2024-2025 电池行业年度报告

VF | VOLTA FOUNDATION

Revision: 20250040601

“电池是我们这个时代的核心技术” - 经济学人

《电池年度报告》总结了我们认为的过去一年电池行业最重要的发展动态。本年度报告旨在提供一个**全面且易于理解**的概览，涵盖电池行业的**现状、研究进展、人才发展**及**政策动态**。我们希望借此**推动深入讨论**，共同探讨电池技术的发展现状及未来发展趋势。

我们在报告中考虑以下关键维度：

1 **产业** | 电池开发与制造方面的商业里程碑

2 **学术** | 基础电池科学领域的学术性突破

3 **人才** | 行业从业人才的供需状况与相关洞察

4 **政策** | 政府的目标、激励措施、监管政策及其影响

5 **预测** | 我们认为未来12个月内可能出现的发展趋势

Disclaimer: The views expressed herein are solely those of the authors, and have not been reviewed or approved by any other organization, agency, employer or company. The primary purpose of this work is to educate and inform. The Content is for entertainment and informational purposes only and you should not construe any such information as investment, financial, or other advice. Data and information is from publicly available sources and often self-reported by the companies. The authors declare no conflicts of interest in producing this report.

本中文版报告由以下组织编写、翻译、校对与分发:

VF | VOLTA FOUNDATION

能斯特未来新能源

EnerZ Medium
新能源情报局
- 能斯特带您预见未来 -

常州市电池技术协会

未经允许不得转载和用于任何商业用途

致谢

VF | VOLTA FOUNDATION

我们的会员与赞助者



2024 BATTERY REPORT

1 行业

VF VOLTA FOUNDATION

Volta Foundation是全球最大的电池专业人士网络。 作为一个全球性的非营利协会，Volta Foundation出版刊物、提供网络机会和行业资源，以促进电池行业内的合作、创新和倡导。

行业概述

2024年是全球电池行业持续增长和适应的一年。全球xEV销量增长25%，达到1770万辆，其中BEV需求增长14%，而PHEV需求激增50%。中国的BEV首次达到了与化石燃料车辆的价格平价。 这一里程碑的出现，正值中国在电动车市场渗透率方面继续引领全球，xEV占新车销售的45%。全球汽车制造商正在调整他们的战略，中国汽车制造商正在向欧洲和全球南方扩展，而一些传统OEM则削减了电动车目标和投资。 电池储能系统（BESS）十年继续获得动力，年增长率达到55%。电池储能系统（BESS）现在占总电池部署的15%，高于2020年的7%，突显其快速采用。2024年，新型电池储能系统的安装量单独贡献了当前累计全球容量150 GW/363 GWh的45%以上，突显了电池储能系统作为电池行业中最具前景和快速增长的领域之一的重要性。

电池组层面的价格自2017年以来出现了最大幅度的下降，从2023年到达到了创纪录的$115/kWh，下降幅度为20%。全球电池制造能力从2024年初的1.05 TWh增加到1.45 TWh。电池供应链的产能过剩导致中国制造的磷酸铁锂电池价格降至不可持续的$40/kWh，造成了内卷竞争和投资回撤。 中国新的工业政策旨在逐步淘汰低质量产能，进一步加大了压力。对于在这一充满挑战的定价环境中航行的电池生产商而言，目前的战略重点包括降低成本、技术创新、垂直整合以及向海外市场多元化，以寻求更高的利润率。中国继续主导供应链，拥有超过80%的关键电池组件和电池。

2024年的电池投资环境放缓，由于利率上升和地缘政治紧张局势，风险投资/私募股权交易减少。尽管增长得益于显著的债务融资和政府资金支持——例如Northvolt ETT AB的50亿欧元绿色融资和美国能源部对BlueOval SK的96亿美元贷款——但Northvolt的破产突显了该行业的风险，打击了投资者信心。公共市场表现参差不齐，成熟的电池OEM因新产品发布而受益，而电动车初创公司、充电基础设施和锂公司股票表现不佳。美国能源部通过向25个项目投资超过30亿美元，支持该行业以增强美国国内电池生产和供应链。

2024年的新兴技术趋势包括中镍高电压NMC和高压实密度磷酸铁锂正极的引入。在干电极加工、LxFP、硅碳负极和预锂化负极的商业化方面取得了显著进展，所有这些都旨在提高能量密度、降低成本和增强安全性。替代型电池化学体系，如钠离子、固态电池（SSB）、硫和锂金属，也在商业化方面取得了进展。值得注意的是，主要由中国制造商开发的钠离子和半固态产品，现已被整合到商业电动车和电池储能系统中。

新颖的应用案例，如电动垂直起降、海洋和数据中心，正在实现更高水平的技术成熟度。值得注意的是，人工智能（AI）正在迅速部署到整个价值链，从材料发现到车队数据分析，以加速这些技术的进步，并成为商业研发和创业能源的新焦点。

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

1月重要事件

WEEK 1

比亚迪在中国徐州斥资14亿美元建造钠离子电池工厂。

智利与SQM组建了国家控股实体，以控制国内锂生产。

WEEK 2

Northvolt筹集了50亿美元的债务融资，以扩建西方世界的第一座循环发电厂。

挪威议会批准立法，允许公司申请许可证，在挪威北极28万平方公里的大陆架上勘探矿产。

WEEK 3

Rivian聘请了前保时捷和苹果公司的Jonas Reinke来帮助推出R2和R3电动汽车平台。

WEEK 4

中创新航宣布计划在葡萄牙建造一座22亿美元的锂离子电池工厂。

美国国家航空航天局和Archer Aviation合作开发eVTOL的先进电池技术。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

2月重要事件

WEEK 1

英国电动汽车注册量达到100万辆，当月销量增长21%。

WEEK 2

大众汽车将在未来五年内在巴西再投资18亿美元。

WEEK 3

LG化学与通用汽车签署了价值190亿美元的正极材料供应协议。

WEEK 4

比亚迪推出1.5万美元的48千瓦时电动汽车，与化石燃料汽车展开价格战。

WEEK 1

Cirba Solutions和EcoPro签署谅解备忘录，在北美生产正极前驱体和正极材料。

WEEK 2

中国组建了由宁德时代、比亚迪、中创新航、亿纬锂能、国轩、政府机构、大学、研究机构和资本合作伙伴等200多家成员组成的固态电池联盟，旨在到2030年推动固态电池的商业化。

WEEK 4

欧洲电池制造商ACC宣布完成44亿美元融资，以在欧洲建设3个电池厂。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

3月重要事件

WEEK 1

比亚迪在印度的销量增长了314%，在印度市场推出了豪华电动汽车。

沃尔沃汽车欧洲电动汽车销量同比增长31%。

WEEK 2

SK On宣布计划从2026年开始大规模生产磷酸铁锂电池。

Rivian推迟了在佐治亚州耗资50亿美元的电动汽车工厂建设。

WEEK 3

蔚来与宁德时代合作开发长寿命电池。

雷诺将在售后提供再制造的驱动器和电池，并计划让客户能够在新的原装零件和再制造部件之间进行选择。

WEEK 4

比亚迪推出了由30千瓦时磷酸铁锂刀片电池供电的超低成本（0.97万美元）电动汽车。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

4月重要事件

WEEK 1

LG新能源和通用汽车的合资企业在田纳西州的第二家美国电池厂开始生产。

宁德时代推出新的天行电池，保修100万英里，使用寿命15年。

WEEK 2

比亚迪宣布计划今年推出下一代刀片电池，将LFP的比能量密度（SED）从140 Wh/kg提高到190 Wh/kg。

宁德时代推出了一款“五年零衰退”的“天恒”固定式蓄电池，其磷酸铁锂电池容量为430 Wh/L，总容量为6 MWh。

WEEK 3

AM Batteries和Zeon合作开发了具有新型粘合剂的干电池电极。

宁德时代推出205 Wh/kg的神行PLUS磷酸铁锂电池，能够在4C下充电，续航里程为“1000公里”。

WEEK 4

LG新能源将授权电池专利以阻止技术侵权。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

5月重要事件

WEEK 1

SES和现代起亚进入B样品资格认证阶段。

Factorial和LG化学签署谅解备忘录以开发固态电池。

WEEK 2

韩国计划斥资70亿美元推动电动汽车电池产业从中国转移。

Ion Storage Systems委托美国最大的固态电池制造工厂之一来生产制造 。

WEEK 3

Lyten开始向包括Stellantis和其他公司在内的汽车原始设备制造商运送锂硫A样品电池。

通用汽车在堪萨斯州投资3.9亿美元用于下一代雪佛兰Bolt电动汽车生产。

WEEK 4

拜登政府上调了部分中国进口商品的关税，包括电动汽车关税从27.5%跃升至102.5%。

Tulip Innovation推出基于LG 新能源和松下新能源锂离子电池技术的新专利许可计划。

来源: Volta Foundation’ s This Week in Batteries Newsletter

6月重要事件

WEEK 1

中国计划投资60亿人民币，在政府主导的项目中开发固态电池。

吉利推出改进的“短刀”磷酸铁锂电池。

WEEK 2

Verkor获得了超过14亿美元的绿色贷款，以完成其在法国北部的工厂。

宝马取消了与Northvolt签订的20亿美元电池合同。

WEEK 3

EnerVenue将为镍氢电池项目筹集5.15亿美元。

国轩和InoBat公司将斥资12.9亿美元建造斯洛伐克电动汽车电池厂。

WEEK 4

亿纬锂能推出了充电率为6C的圆柱电池。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

7月重要事件

WEEK 1

大众汽车宣布计划向Rivian投资总计50亿美元，初始投资为10亿美元。

Sila Nanotechnologies在Sutter Hill Ventures领投的G轮融资中筹集了3.75亿美元。

WEEK 2

比亚迪将在土耳其建造10亿美元的电动汽车工厂，该工厂每年将能够生产15万辆电动汽车和混合动力汽车。

Peak Energy筹集了5500万美元的A轮融资，以扩大钠离子电池的生产。

WEEK 3

Addonics在GM Ventures领投的B轮融资中筹集了3900万美元。

LGES宣布在韩国新建4680生产线，于第三季度/第四季度开始大规模生产，产能为8GWh。

WEEK 4

土耳其宣布投资50亿美元用于电动汽车生产，45亿美元用于电池生产。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

VF | VOLTA FOUNDATION

8月重大事件

WEEK 1

优步与比亚迪合作，为10万名司机提供更低的电动汽车价格和融资。

宝马将建立五个新的高压电池组装基地。

WEEK 2

Natron Energy宣布在北卡罗来纳州投资14亿美元建设超级工厂。

宁德时代对电动垂直起降飞机峰飞航空进行战略投资。

WEEK 3

Northvolt关闭其子公司Cuberg并撤出美国。

梅赛德斯-奔驰韩国公司在电动汽车火灾事件后披露了Farasis供应的电池问题。

WEEK 4

大众汽车缩减了在欧洲和北美的电池工厂计划。

来源: Volta Foundation’ s This Week in Batteries Newsletter

9月重大事件

WEEK 1

24M以13亿美元的估值完成了8700万美元的E轮融资。

WEEK 2

梅赛德斯-奔驰与Factorial 合作开发450Wh/kg的固态电池。

WEEK 3

宝马与REDWOODS建立合作伙伴关系，在美国回收锂离子电池。

WEEK 4

宁德时代表示2023年的研发支出达到26亿美元，雇佣了2.1万名工程师。

日本将为国内电动汽车电池生产提供高达24亿美元的新支持，支持丰田、日产、马自达和斯巴鲁的电动汽车计划。

美国能源部将向25个电池制造行业项目授予30亿美元，其中包括Group14、South32、Mitra Chem和Form Energy。

通用汽车宣布其电动汽车可以使用NACS（北美充电标准），获得17800辆特斯拉超级充电站的使用权。

来源: Volta Foundation’ s This Week in Batteries Newsletter

VOLTA FOUNDATION

10月重大事件

WEEK 1

特斯拉计划在2026年推出4款新电池，包括其自动驾驶出租车的电池。

Enovix开始从其马来西亚工厂的敏捷生产线运送电芯样本。

WEEK 2

通用汽车将取消“Ultium”品牌，将使用的电池类型从三月圆柱电池扩展到磷酸铁锂和方壳电池。

Form Energy完成了4.05亿美元的F轮融资，使其融资总额超过12亿美元。

WEEK 3

力拓以67亿美元收购Arcadium Lithium。

Lyten投资超过10亿美元在内华达州建造世界上第一座锂硫超级工厂，年产能高达10 GWh。

WEEK 4

印尼与宁德时代成立合资企业，投资12亿美元用于电池生产。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

VF | VOLTA FOUNDATION

11月重大事件

WEEK 1

比亚迪的季度销量首次超过特斯拉。

沃尔沃将收购Northvolt电池合资公司。

WEEK 2

宁德时代在固态电池项目中增加了1000名新的研发人员，开始试生产20Ah样品。

比亚迪在中国电动汽车被征收100%关税的情况下，对加拿大的扩张计划踩下了刹车。

WEEK 3

Lyten从Northvolt旗下的Cuberg购买用于制造的资产。

宁德时代宣布推出第二代钠离子电动汽车电池，工作温度低至-40°C。

WEEK 4

Northvolt申请破产；斯堪尼亚贷款其1亿美元用于破产程序。

本田为其专有的固态电池技术开设了一家示范工厂。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

12月重大事件

WEEK 1

Stellantis首席执行官Carlos Tavares因美国销售额下降而提前辞职，但没有任命继任者。

比亚迪推出基于该公司长刀片电池技术的钠离子电池储能电池。

WEEK 2

Stellantis和宁德时代将投资43亿美元在西班牙建造一座磷酸铁锂工厂进行生产。

Coreshell推出商业规模的60安时电池；采用低成本冶金硅与磷酸铁锂正极相结合的技术。

WEEK 3

通用汽车将其在密歇根州兰辛市一家电池厂的股份出售给其合资伙伴LGES，同时他们扩大了技术合作伙伴关系。

美国能源部宣布向FCA和Stellantis的合资企业StarPlus Energy提供70亿美元的有条件承诺，在印第安纳州建造一座电池工厂。

WEEK 4

现代宣布到2025年底生产固态电池，并计划到2030年大规模生产。

来源: Volta Foundation’s This Week in Batteries Newsletter

dragonfly® ENERGY

Dry Electrode Cell Manufacturing Process

Streamlined, Next-Generation, Chemistry Agnostic Platform to Manufacture Highly Cost-Efficient Batteries at Scale Today.

LFP | NMC | LCO | NCA | Graphite | Silicon | + More

Key Benefits

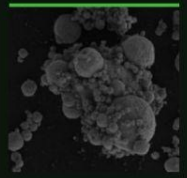
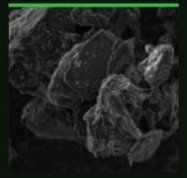
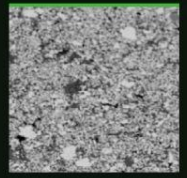
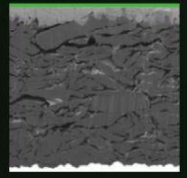
~10%
Lower Total CO2 Footprint

25%
Less Energy Used During Production

20%+
Smaller Factory Footprint

$$
Lower Upfront & Long-Term CapEx

Patented Dual-Sided Dry Deposition Process

Raw Material Intake	Powder Feedstock Prep	Electrode Production	Cell Production
			
Chemistry Agnostic	Spray Drying	Electrostatic Powder Coating	Traditional Processing

Sustainable
0kg of toxic solvent required.

Uniform
Distributes binder materials and carbon conductors with active materials.

Optimized
Enhances mechanical robustness and electrical conductivity.

Less Waste
Reclaims electrode material during the dry coating process.

Explore the Future of Battery Manufacturing





Learn more at dragonflyenergy.com

batterycells@dragonflyenergy.com

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

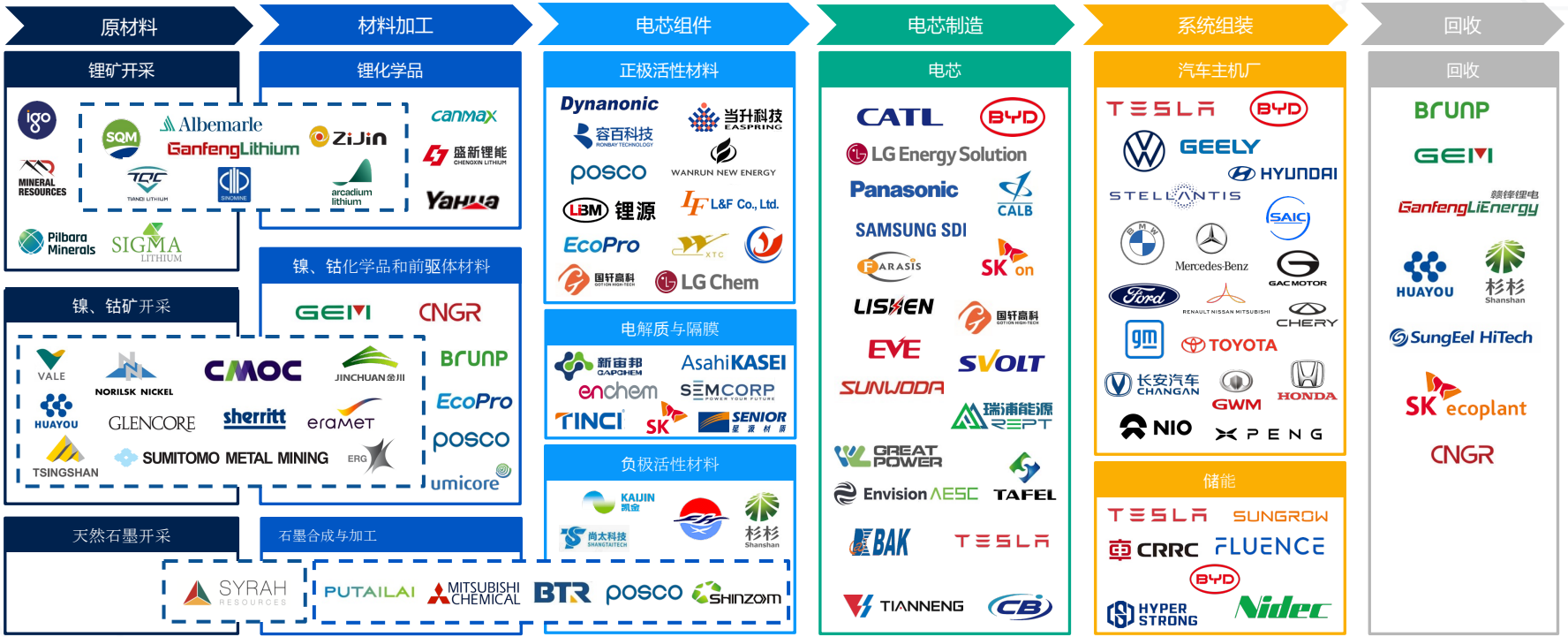
安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

VF VOLTA FOUNDATION

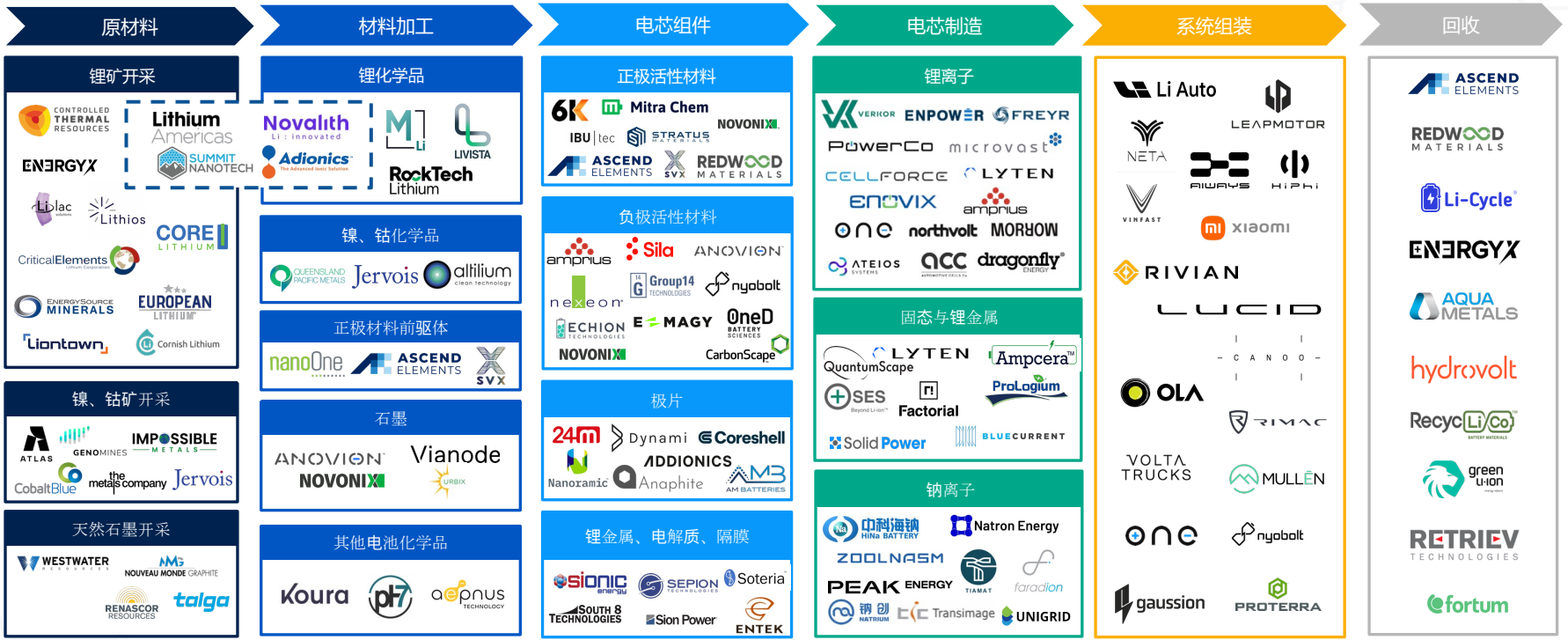
现有企业和/或上市公司（市值/估值超过10亿美元）*



* 截至2024年12月的估计

VOLTA FOUNDATION

初创公司和/或小型公司（估值超过3000万美元）*



* 截至2024年12月的估计

VOLTA FOUNDATION

初创公司和/或大学衍生企业

材料加工

锂化学品
LIVISTA
AUSTVOLT

正极材料前驱体
CHEMX MATERIALS

石墨
NOVATE
granode

(固态) 电解质
NATRION
Ampcera
Qkera

电芯组件

正极活性材料
altilium clean technology
INTEGRALS POWER

负极活性材料
EMAGY
SILI ENERGY
IN ALL SOLID STATE BATTERY
NEBA Lithium Solution
Nanode
ADVANO

其他组件
Soteria
Feon

电芯制造

锂离子
TYFAST
Molyon
Next generation batteries
ABF

固态
Solidion
GQenergy
BTRY
TAISAN
CYMBET CORPORATION
zakuro
Piersica

其他电池概念
Battolyser Systems
broadbit BATTERIES
GEYSER BATTERIES
P+L

工艺技术
8inks
SAKUU

系统
endurance MOVE ON
VIVITRON
欣视界Inx
CLEAN ELECTRIC
Rolled-Ribbon BATTERY COMPANY
东渐
DAOPULSE
INTECELLS
INDIGRID TECHNOLOGY

回收
ecomet reinvig
Primobius Battery recycling without limits
tozero
altilium clean technology
librec Closed-loop Battery Recycling
PRINCETON NUENERGY
BATX ENERGIES Beyond Limitations
ABTC AMERICAN BATTERY TECHNOLOGY COMPANY
CYLIB
EverGreen Lithium

电池企业数据库：电池商业名录

超过2000家公司，涵盖15个供应链环节



来源: Battery Business Directory

关键行业痛点

- 市场碎片化：由于全球电池供应链高度碎片化和孤立，难以识别和评估潜在的合作伙伴、供应商或客户。
- 采购效率低下：电池公司采购和甄别过程耗时，需要手动搜索展会、依赖人脉或使用不可靠的信息来源。
- 数据质量不一致：缺乏关于全球电池行业公司的准确、全面和定期更新的信息。
- 可见度有限：尤其是初创公司或专业供应商，难以获得行业曝光，难以与大型企业和投资者建立联系。

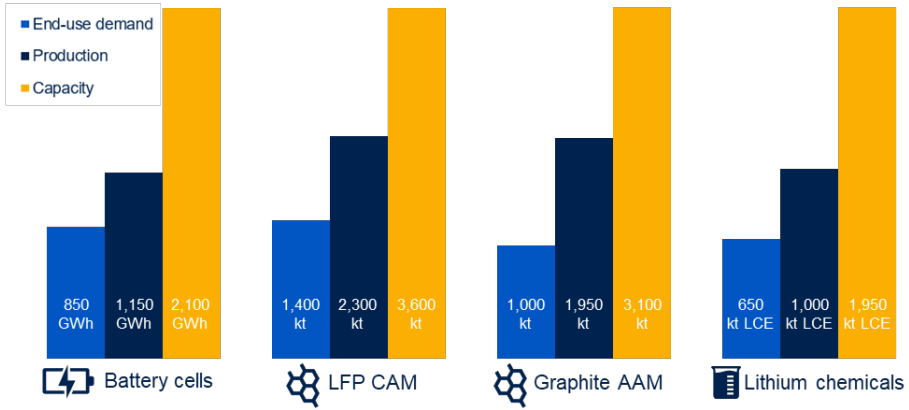
电池商业名录：

电池商业名录是全球电池行业中最大的开放数据库，覆盖15个关键供应链环节，收录了超过2000家企业。该数据库为电池行业从业者提供全面、可靠的数据，帮助他们寻找潜在的合作伙伴、供应商和客户。

VOLTA FOUNDATION

供应链的产能过剩导致了激烈的竞争和投资的回撤

2024年中国部分行业的需求、生产和产能



过剩对生存构成挑战：

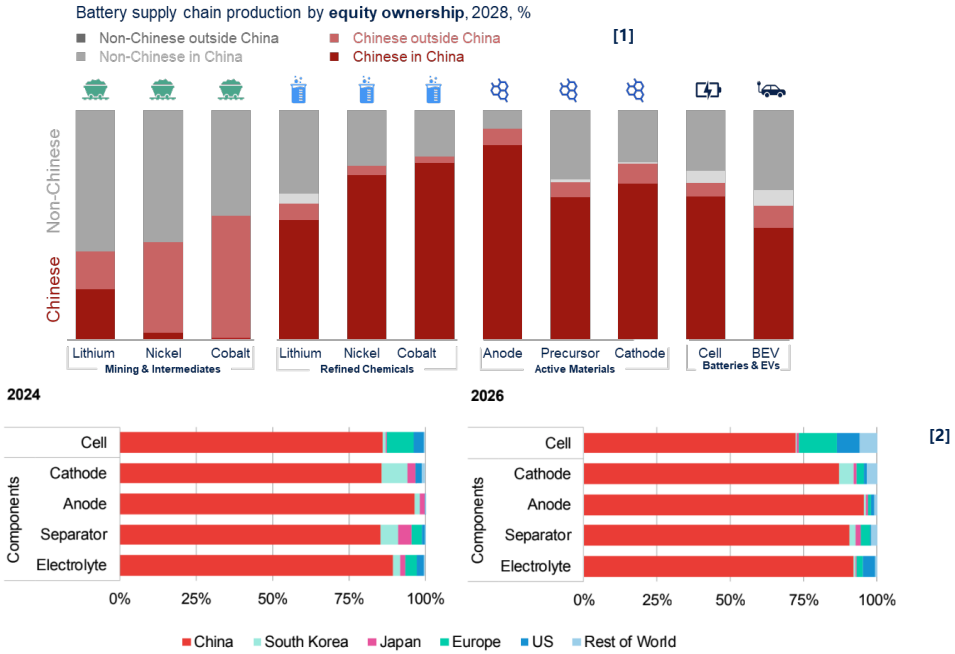
- 在中国，电动车和工业补贴已被缩减，新行业标准旨在**淘汰低质量产能**
- 这导致市场拥挤，供应链多个环节竞争激烈，价格战屡见不鲜，一些公司在没有订单的情况下仍在生产
- 在其他行业，例如光伏行业，这个故事最终导致了一波整合
- 在世界其他地区，产能投资已超出当地需求，许多投资现在被取消、削减或推迟

中国制造商有3个战略选择：

1. 在国内拥抱成本竞争，降价以保持市场份额
2. 专注于技术创新和供应链效率，以优化产品的成本和价值
3. 向海外扩展，那里竞争较少，有机会最大化利润以抵消国内利润缩减

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.
此处所指“需求”包含出口在内。材料与电芯的生产到其最终应用之间存在时间延迟。所有数据均已四舍五入至最接近的50单位。2024年12月的数据为部分预估。

中国对供应链的控制超越了其国界



- 中国没有显著的电池原材料地质储量，但公司已投资海外运营和国内加工产能
- 这表现为在中游化学中间体和活性材料领域的主导地位
- 垂直整合既是战略优势，也是**成本优势**
- 尽管**美国FEOC规则**促使一些企业减少其在中国的所有权比例，但许多非中国的上游和中游项目在2024年被削减，整体情况未发生变化
- 中国的供应链主导地位导致了激烈的竞争环境，挤压了非中国生产商

来源: Content & analysis provided courtesy of [1] CRU Group (Distinguished Partner), [2] BloombergNEF (Distinguished Partner) ;上图显示按所有权划分的产量;
下图显示按地区划分的产能。

VF | VOLTA FOUNDATION

中国制造商正在追逐海外利润和LFP市场潜力

主要中国电池/正极前驱体生产商的当前战略重点

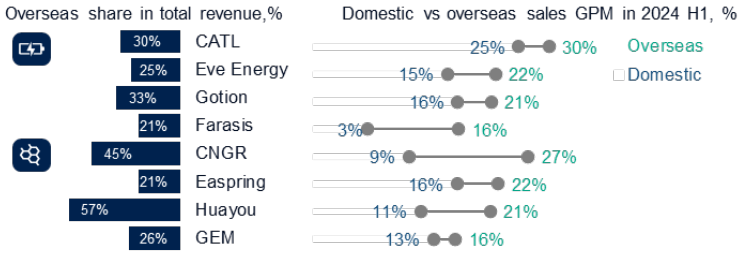
电池生产商

- 通过技术许可模式减少在美国市场的审查
- 与OEM在长期技术路线图上加强合作
- 开发储能、插电式混合动力车和商用车市场的产品
- 快速充电技术
- 通过化学体系和结构变化提高能量密度
- 财政支持供应商以确保高科技材料

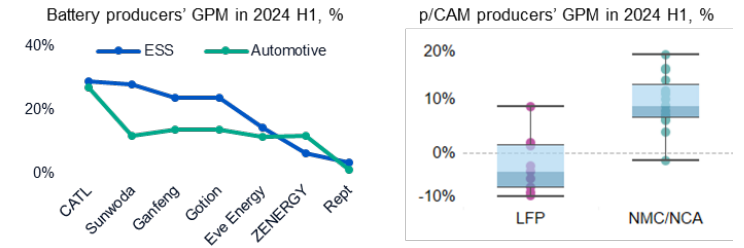
正极前驱体生产商

- 在海外建设试点生产线以吸引OEM和电池客户
- 从待重新开发场地收购现有项目和环境许可证
- 传统三元材料生产商尽管利润低，仍在多元化进入磷酸铁锂
- 扩展金属精炼业务以消耗原材料
- 高压实密度LFP正极材料
- 适用于BEV和PHEV的中镍高压正极材料
- 超高镍正极材料前驱体用于固态电池
- 继续磷酸锰铁锂开发

海外销售对中国生产商来说显著更有利可图



电池制造商从储能系统中获得更高利润，但正极材料前驱体在承担损失



来源: Content & analysis provided courtesy of Cru Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.
GPM = gross profit margin. Box plot displays where 50% of the data points fall.

VF | VOLTA FOUNDATION

韩国公司在电池供应链中的角色

长期: 专注于垂直整合，扩展至磷酸铁锂体系和储能系统，平衡与美国和中国的关系

加速垂直整合

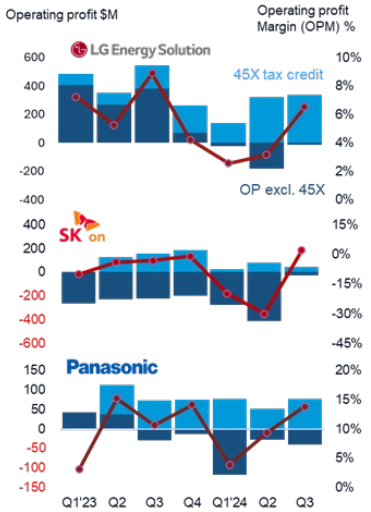
将正极材料前驱体生产带回国内

多样化技术组合

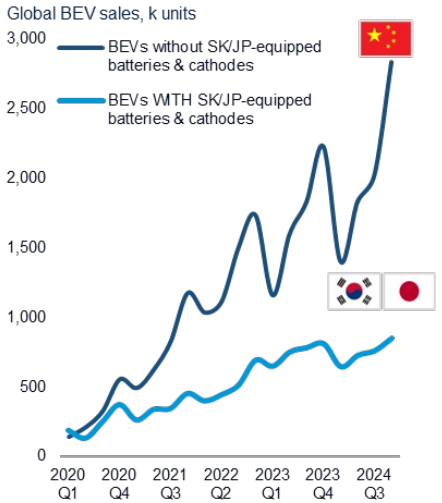
平衡美国要求和中国合作

短期: 在盈利能力和市场份额下降的情况下降低增长预期

韩国公司一直依赖美国的《IRA通货膨胀削减法案》来支撑他们的利润



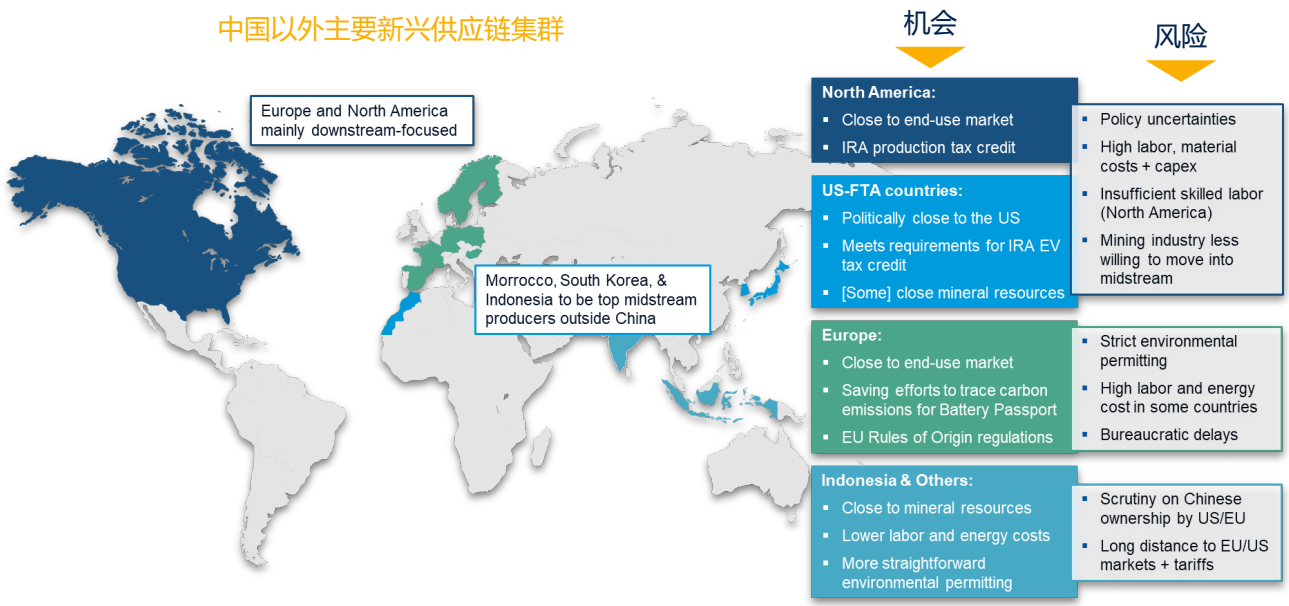
韩国供应的纯电动汽车在竞争中落后于中国对手



来源: Content & analysis provided courtesy of Cru Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.

VF | VOLTA FOUNDATION

集成供应链集群形成的地方



- 亚洲制造商正在调整他们的战略，以捕捉海外市场，在这些市场中他们可以获得更高的利润
- 欧洲和北美正在努力培育国内供应链，同时采取政策以减少对中国的依赖
- **更高的成本**和投资风险正在阻碍更大规模的海外投资
- 因此，供应集群正在聚集在被视为**低成本、低风险国家**如韩国、摩洛哥和印度尼西亚，以供应主要市场

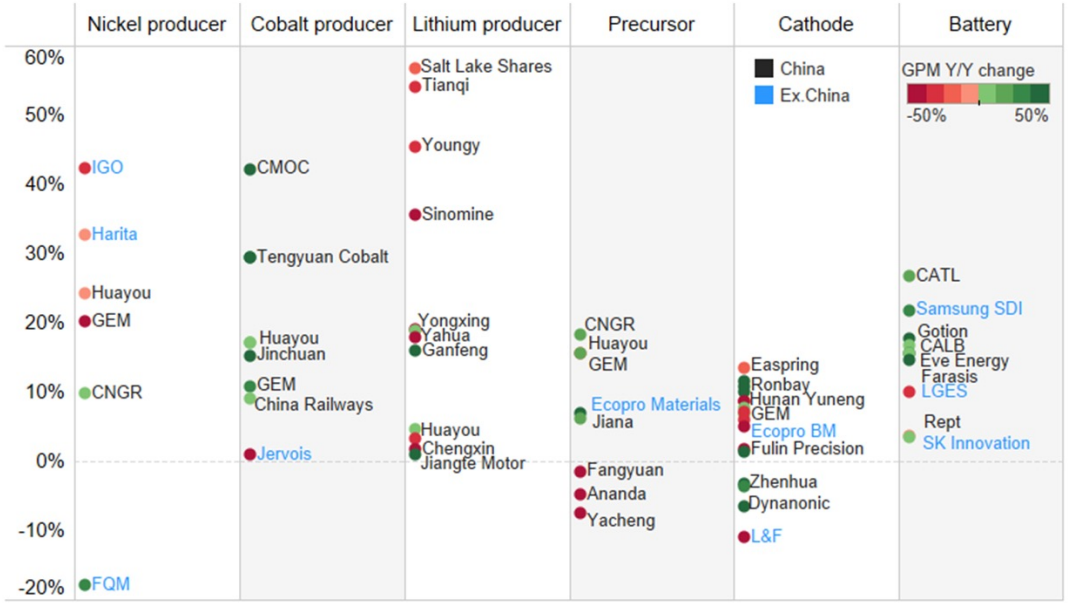
来源: Content & analysis provided courtesy of Cru Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.

VF | VOLTA FOUNDATION

盈利能力在价值链中重新分配

非集成中游生产商面临盈利挑战

2024年第二季度毛利率及同比变化，%



来源: Content & analysis provided courtesy of Cru Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com. Profit margin data from CRU’ s compilation of company reports.

上游矿业和精炼商的利润在2024年显示出显著的差异，因为价格达到了边际生产者的成本水平。

电池生产商继续从原材料价格下跌中获益。

虽然垂直整合的**中游生产商**可以利用矿业和精炼的利润来降低每单位电池管理系统的价格，但非整合生产商正因三元材料的需求放缓和出口客户减少而遭受损失，市场份额正在下降。 他们越来越多地沦为收费角色，利润由电池制造商设定。

磷酸铁锂生产商，尤其是非整合的，因激烈的竞争和电池生产商的强大议价能力而遭受更高的损失。

中国的电池管理系统和电池生产商通常比中国以外的公司拥有更高的利润率，原因在于其成本竞争力。

收购与整合

2024年见证了显著的行业整合与收购，推动因素包括公司退出市场、在财务困境中寻求买家、进入新领域、扩展关键材料的供应链或提升生产能力。

沃尔沃汽车通过行使Northvolt的赎回权完全收购**Novo Energy**。

沃尔沃收购**Proterra**的电池部门以增强电池组制造/组装能力。

力拓以67亿美元收购**Arcadium Lithium**，以增强其锂业务。

UltraLIFE收购**Electrochem Solutions**，以加强医疗/工业解决方案。

Enerpoly收购**Nilar**以提升锌离子电池生产能力，利用**Nilar**的生产线。

Arcadium Lithium以1100万美元收购Li-Metal的知识产权和实物资产。

PureLithium收购**Dimien**资产，专注于钒正极材料。

EnerSys收购**Brentronics**以生产军用和工业电池。

小松收购**American Battery Solutions**

LionVolt收购**AMTE Power**在苏格兰的电芯生产线。

公司破产

在2024年，电池行业面临重大财务挑战，导致几起显著的破产和重组。 多个因素导致来自中国的系统价格和性能下降，包括日益困难的西方国家的产能建设和投资环境的挑战。

northvolt

高生产成本，质量问题，专业劳动力的获取，以及电池市场的竞争（见深入分析）

redflow

在可扩展性和其锌-溴流电池技术的成本以及锂离子电池的竞争力方面面临困难

Ambri

申请破产，指责筹资环境严峻和受阻的扩展制造计划。

BRITISHVOLT

在2023年申请破产并于2024年因资金不足、战略规划不当和缺乏经验而解散。 转型为数据中心。

VARTA

某些电池产品的需求下降和高债务水平 = 重组

FISKER

供应链问题，生产延迟和召回他们的Ocean车辆

LORDSTOWN

生产障碍，需求不足，以及与大型EV制造商竞争的困难，重新品牌为Nu Ride

MOXION

在扩展运营方面的财务压力导致关闭运营。

LION ELECTRIC

在魁北克获得债权人保护，并预计将在美国申请破产保护

ITALVOLT

因**财务不稳定**，官僚障碍，缺乏技术合作伙伴关系和规划而失败。

注意：非详尽列表

VF VOLTA FOUNDATION

northvolt 解读Northvolt破产程序的时间线

Northvolt AB于11月21日申请破产保护。 公司仍在运营，利益相关者继续努力寻求解决方案

2024年6月

宝马取消了价值20亿欧元的电池订单

7月

宣布对业务进行战略审查

10月

- Northvolt的**子公司ETT扩展**[3]申请破产
- **$3亿**由未披露的投资者提供给Northvolt AB作为救助融资，以便给公司更多时间稳定

11月

- Northvolt**AB申请破产。** 流动性状况变得严峻，仅剩几周的流动资产
- **彼得•卡尔森辞去首席执行官职务**
- **$1亿**获得的债务人持有融资
- 高盛资产管理公司注销~$9亿对Northvolt的投资

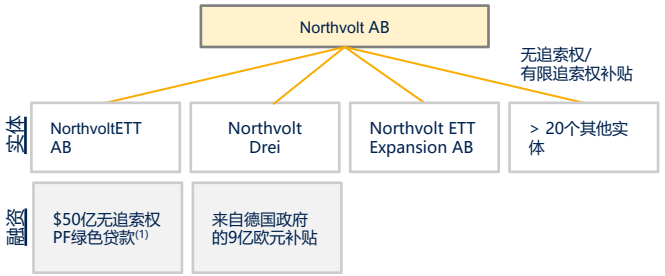
12月

任命马库斯•丹格尔迈尔为NorthvoltETT的首席执行官

- 市场营销**中期融资**以在重组后提供资金支持。
- Northvolt的股东**投票**继续运营，同时寻求财务救助
- **挪威水电公司购买Northvolt的电池回收商的剩余股份**

2025年1月

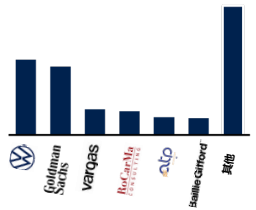
公司 结构



债务结构(2)

Northvolt AB (interest baring Debt)	Dec-23 ($ in '000)
Term loan 1	424,468
Term loan 2	47,427
Term loan 3	707,605
Term loan 4	439,655
Convertible loan 1	371,314
Convertible loan 2	3,209,962
Convertible loan 3	244,796
Term loan 5	137,637
Totals	**5,582,864**

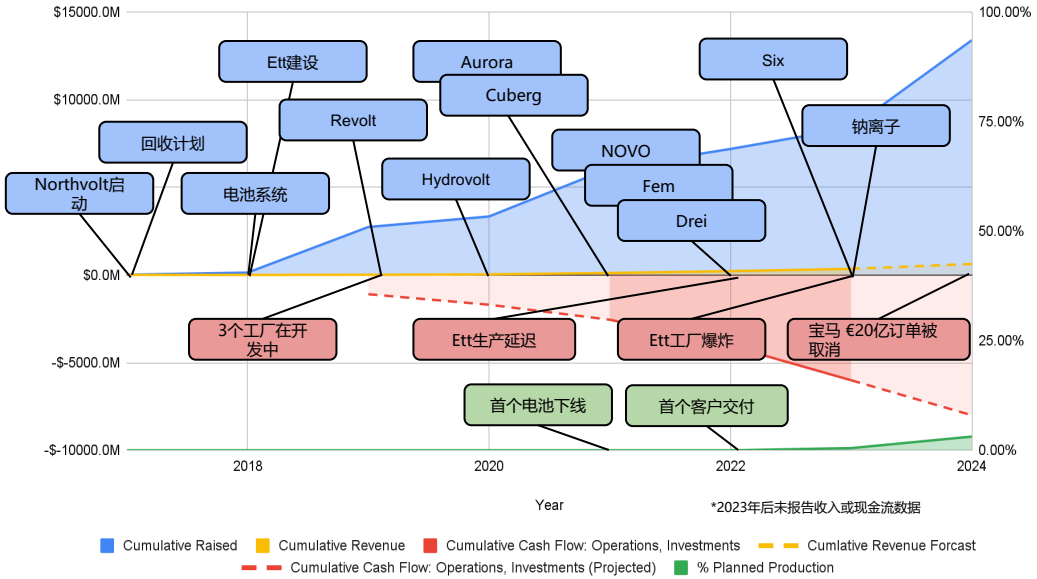
股权所有权(2)



来源: Bloomberg, company releases, Debtwire
债务结构估算来自彭博社（2024年1月19日）及公司公告。
(1) non-recourse indicates that in the event of default at the entity level, the lender do not have the authority to pursue collateral from the parent company (Northvolt AB) ;
(2) Per of the 2023 annual report filing ; (3) Northvolt's flagship battery gigafactory located in Skellefteå, Sweden

VF VOLTA FOUNDATION

Northvolt财务和生产执行问题

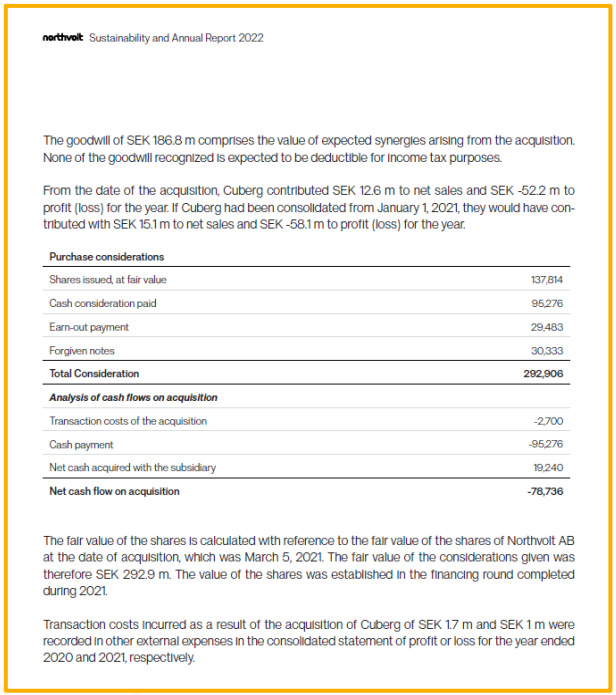


Northvolt在一个知识受限和资本密集的行业中的雄心勃勃的扩张战略暴露了关键失误：

- 对核心业务领域缺乏关注导致资源过度分散和运营效率低下。
- 每轮融资都伴随着新的项目或产品发布，进一步稀释了关注点并加大了能力压力。
- 严重的劳动力短缺加剧了挑战，只有200名员工在管理三个正在开发的工厂。
- 从2024年开始，利率上升的贷款结构要求严格执行，但由于竞争优先事项和劳动力支持不足而受到阻碍。

来源: Northvolt Sustainability Reports 2022 and 2023, Northvolt Production Numbers

northvolt® CUBERG



northvolt Sustainability and Annual Report 2022

The goodwill of SEK 186.8 m comprises the value of expected synergies arising from the acquisition. None of the goodwill recognized is expected to be deductible for income tax purposes.

From the date of the acquisition, Cuberg contributed SEK 12.6 m to net sales and SEK -52.2 m to profit (loss) for the year. If Cuberg had been consolidated from January 1, 2021, they would have contributed with SEK 15.1 m to net sales and SEK -58.1 m to profit (loss) for the year.

Purchase considerations	
Shares issued, at fair value	137,814
Cash consideration paid	95,276
Earn-out payment	29,483
Forgiven notes	30,333
Total Consideration	**292,906**
Analysis of cash flows on acquisition	
Transaction costs of the acquisition	-2,700
Cash payment	-95,276
Net cash acquired with the subsidiary	19,240
Net cash flow on acquisition	**-78,736**

The fair value of the shares is calculated with reference to the fair value of the shares of Northvolt AB at the date of acquisition, which was March 5, 2021. The fair value of the considerations given was therefore SEK 292.9 m. The value of the shares was established in the financing round completed during 2021.

Transaction costs incurred as a result of the acquisition of Cuberg of SEK 1.7 m and SEK 1 m were recorded in other external expenses in the consolidated statement of profit or loss for the year ended 2020 and 2021, respectively.

直到现在，由于缺乏购买价格披露，Northvolt收购Cuberg的影响一直难以评估：

- 购买价格（“现金折价”）为1120万美元现金，包括债务承担（“免除票据”）的1480万美元，其中360万美元为债务。
- 股权（“以公允价值发行的股份”）和收益支付（“收益支付”）为非现金对价。
- 2021年的年化现金损失为690万美元，员工人数为56人。
- 从2021年到2024年，Northvolt因收购Cuberg而产生的总现金损失预计为7800万美元，该收购在破产公告前几个月已关闭。
- Cuberg未能交付可行的商业产品，未能成为该类别电池的领导者；Cuberg未能兑现为现有设施和设备提供‘即插即用’锂金属生产线的承诺；Cuberg未能在其先进的研发计划中为Northvolt的更广泛运营提供支持。

Cuberg 本可以在 Northvolt 的运营成功中发挥重要作用，但在破产前是早期的牺牲品。

来源: Northvolt sustainability reports 2022, and 2023, and PitchBook. Exchange rate on March 10, 2021 1 SEK = 0.11791 USD

VF | VOLTA FOUNDATION

BRITISHVOLT™ POWER ON

Britishvolt：未能达到里程碑 = 缺乏投资

成立于2019年，Britishvolt公司的超级工厂计划因公司低估了资本支出和投资者的需求而被搁置。 最初的计划是在英国诺森伯兰建造一座30GWh的工厂，并获得了包括来自英国政府的£1亿承诺在内的25亿美元资金承诺。

2021

创始人没有电动车经验，并未在2021年公司动工时确保完成诺森伯兰工厂所需的£38亿资金。

2022

未能达到里程碑和过度支出导致资金困难：建设于2022年8月暂停，英国政府在2022年10月拒绝提前拨付£3千万的资金。

2023

英国电池公司于2023年1月进入管理，随后在下个月被澳大利亚的**Recharge Industries**收购。

2024

2024年4月，重启工厂建设的计划失败，诺森伯兰地区的工厂以£1.1亿出售给了美国私募股权公司黑石集团，将被重新开发为数据中心。

来源: Linked above to various news articles

VARTA

VARTA AG批准了一项财务重组计划，获得了保时捷的投资

这家成立130年的德国公司负债累累，并于2024年6月根据德国公司稳定法（StaRUG）开始财务重组

- Varta生产多种电池技术，市场需求有所下降，但该公司的子公司V4Drive生产用于一些保时捷车辆的大型锂离子电池
- 由于重组，公司的股票在法兰克福证券交易所以零价值退市，且其€4.85亿债务减少至€2亿
- 公司的一位长期投资者和保时捷股份公司投资了€6000万，后者获得了Varta AG 50%的股份和V4Drive子公司70%的股份

来源: Linked above to various news articles

iontra

SAY HELLO

TO YOUR BATTERY'S BEST PERFORMANCE

IONTIC, the world's most advanced charging chip doubles the charge speed and cycle life for most Li-ion batteries.

- Backed by 7M+ hours of cycling data
- Validated by third parties



Contact us for a no-cost demo

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

投资环境概述

电池领域的投资涉及多个细分市场，这些市场包括化学材料、生产设备、软件以及电池制造工厂等。至2024年，若干关键趋势已逐渐显现：

融资环境放缓

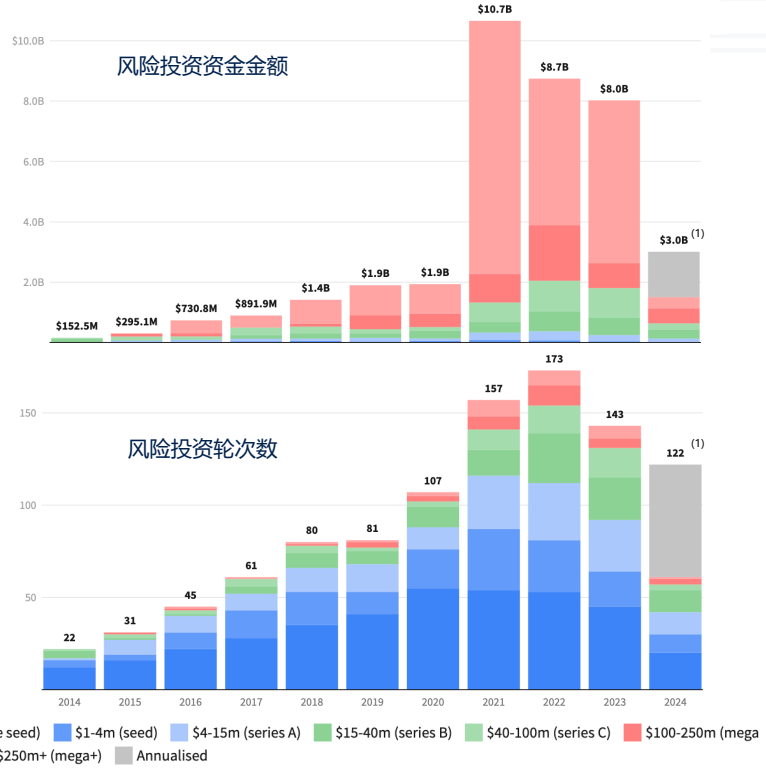
在2024年，风险投资（VC）与私募股权投资（PE）的筹资活动呈现出减缓的趋势，这一现象主要归因于大规模融资轮次（megarounds）数量的下降。相比之下，在2020年至2023年期间，大规模融资轮次曾是市场活动的主要特点。

基础设施的公共和私人资金来源

大规模的债务融资和赠款支持了电池基础设施的增长。2024年值得关注的债务融资包括：Northvolt ETT AB在1月的50亿欧元绿色债券发行、Verkor在5月的13亿欧元债券发行，以及ACC在2月的44亿欧元债券发行。此外，政府贷款和赠款计划继续为资本密集型投资提供优惠条件。值得关注的交易包括美国能源部（DOE）向BlueOval SK提供的96亿美元贷款、欧盟向ProLogium提供的15亿欧元赠款，以及德国政府/欧盟向Northvolt Drei提供的9亿欧元补贴。

宏观经济趋势与近期发展

至2024年，电池产业的投资格局显著受到宏观经济因素的影响，这些因素包括现行的利率环境、政府政策支持以及地缘政治的紧张局势。随着行业增长速度的减缓，企业高层管理团队更加注重资产负债表的稳健性，这导致了利润表（P&L）表现的不振，进而使得公司层面的紧张状况逐渐显现。



(1) 截至7月4日年化

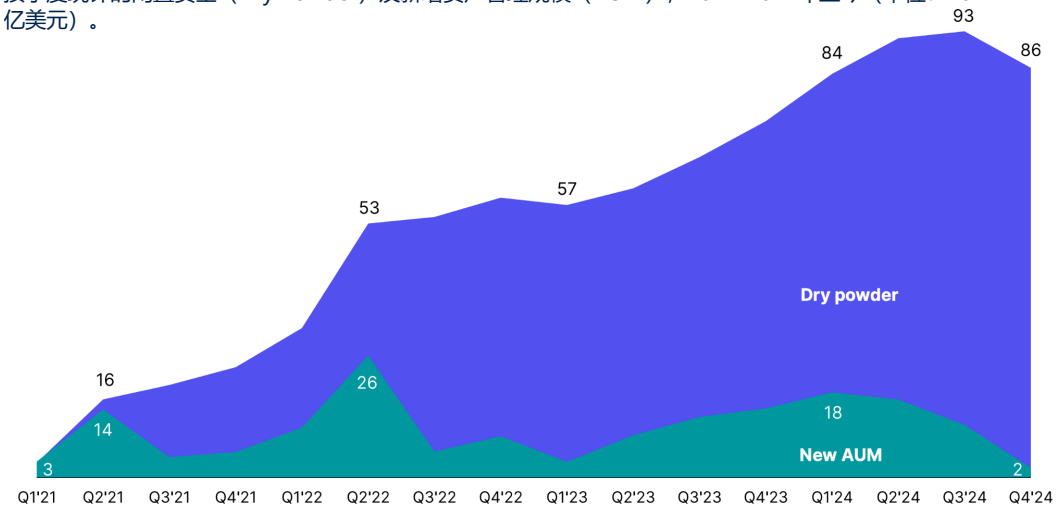
来源：https://dealroom.co/guides/fbc-uk-battery-study-2024

VF | VOLTA FOUNDATION

气候投资者开始部署闲置资金

气候领域可利用的闲置投资资金达860亿美元。

按季度统计的闲置资金（Dry Powder）及新增资产管理规模（AUM），2021-2024年至今（单位：10亿美元）。



2022年的筹资活动显著增加，为专注于气候领域的投资引入了大量未分配资金（即“闲置资金”）。从2022年至2024年上半年，闲置资金的持续增长**揭示了投资者筹集资金的速度超过了他们实施气候投资的速度**，这主要是由于气候基金在推出新基金时吸引了更多的资金。至2024年第三季度，闲置资金达到了930亿美元的顶峰。然而，到了2024年第四季度，环境发生了转变，投资者开始以高于筹集资金的速度来部署资本。

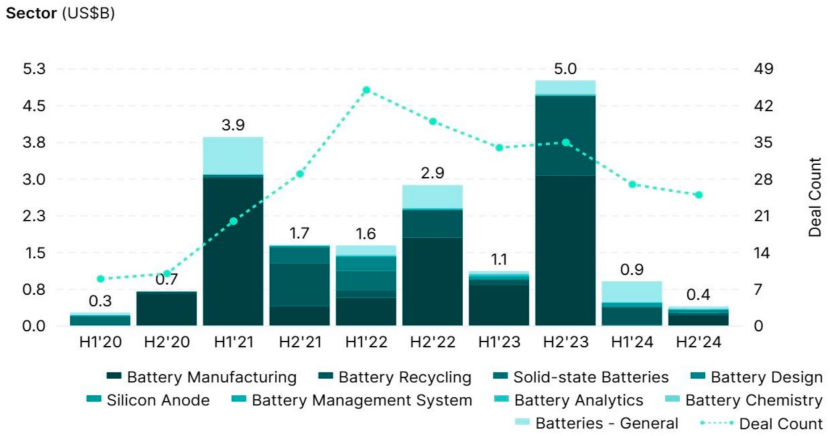
投资者在资金配置的节奏上出现了减缓，**2022年基金在两年的时间里仅投入了其资本的43%，相比之下，2020年同期的基金资本投入率达到了60%。**近期的基金汲取了过往投资的教训，因此在选择投资项目时表现得更为审慎，并且实施了更为严格的尽职调查程序。

内容与分析由Sightline Climate（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.sightlineclimate.com/

VF | VOLTA FOUNDATION

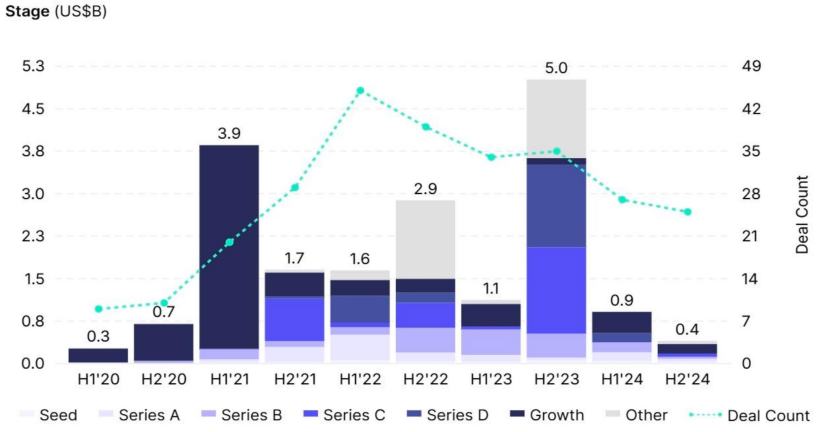
2024 电池技术风险投资

按行业分类的电池技术投资



在不包括储能领域的前提下，电池技术的投资额同比减少了74%，原因是能源和交通行业的电池相关投资被优先考虑分配给了核能和航空等其他领域。宏观经济和政策的不确定性进一步抑制了投资情绪，这包括**美国《通胀削减法案》（IRA）资金的发放延迟、全球政治的不确定性以及资本成本的上升。**

按阶段分类的电池技术投资



与过往的繁荣时期相比，2024年的融资环境更倾向于**资本效率和以里程碑为导向的融资方式，**众多后期融资轮次融合了风险投资、政府补贴以及债务融资。

内容与分析由Sightline Climate（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.sightlineclimate.com/

VF | VOLTA FOUNDATION

五年来风险投资资本在电池技术领域的累计投入（按领域细分）



随着地缘政治紧张局势的加剧以及对中国电池供应链的贸易限制，投资日益集中于**本地化制造和供应链建设（例如美国和欧盟的电池超级工厂、正极/负极生产）**，进一步扩大了左侧图中所示的电池价值链中最大的领域。

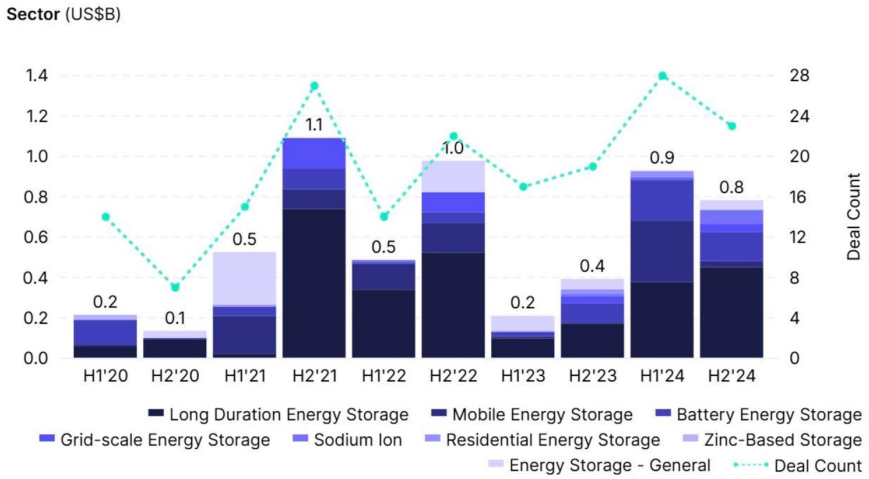
此外，随着欧盟电池法规的颁布以及生产者责任延伸（EPR）框架的执行，政策支持的增强吸引了更多资本流入**闭环电池回收领域**，而不仅仅是新的电芯制造。

内容与分析由Sightline Climate（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.sightlineclimate.com/

VF | VOLTA FOUNDATION

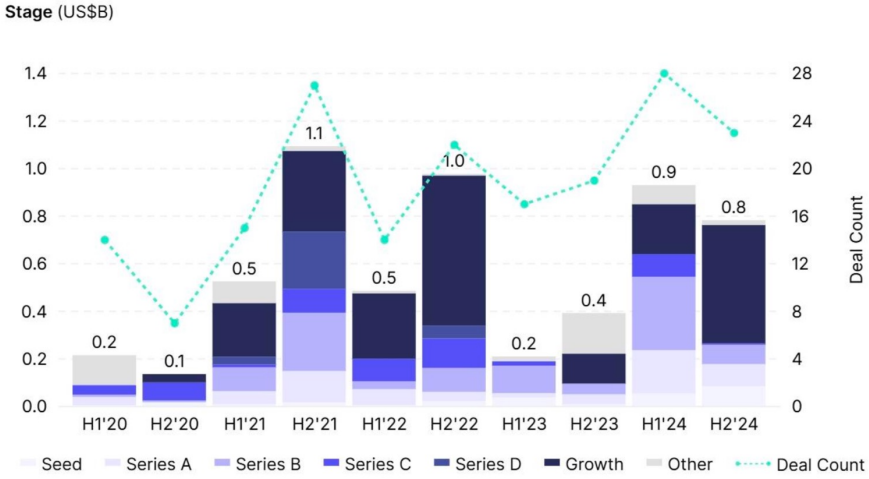
2024年储能领域投资

按领域划分的能源存储投资



至2024年，储能领域的投资实现了显著的复苏，与前一年相比增长了184%。这一增长主要得益于电网加固需求的上升以及国家容量计划的慷慨激励措施，这些计划激励了储能设备的安装。

能源存储投资（按阶段划分）



在储能领域，风险投资呈现出**向后期投资转移的趋势**，C轮融资和成长阶段的交易数量有所增加，与此同时，早期交易的规模保持相对稳定。投资者似乎更倾向于支持那些拥有明确商业化路径的公司。

内容与分析由Sightline Climate（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.sightlineclimate.com/

VF | VOLTA FOUNDATION

五年累计风险资本在储能领域的投入分布（按领域细分）



长时储能（LDES），尤其是电化学储能，一直是风险投资的主要关注点， 在2020-2024年期间累计投资超过20亿美元（其中仅Form Energy就超过12亿美元）。

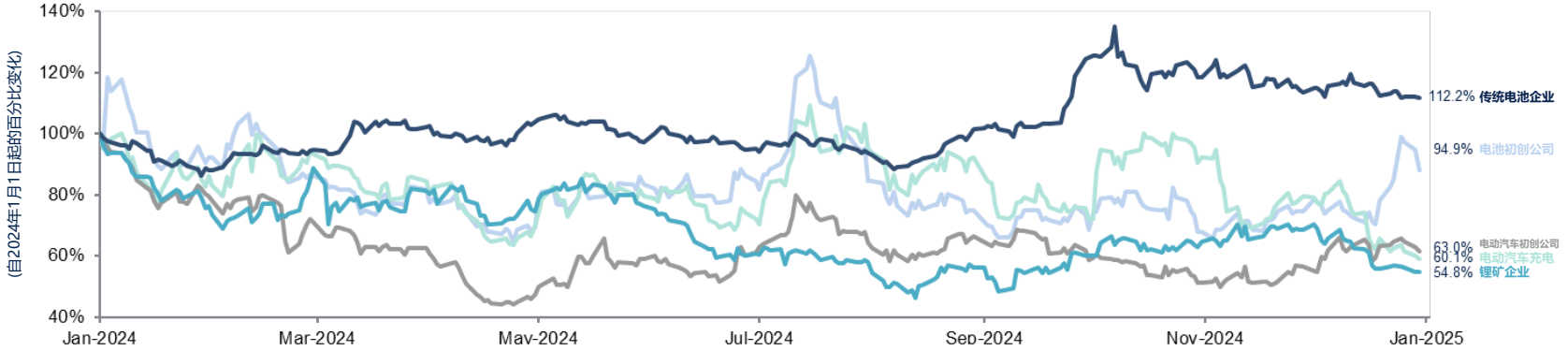
长时储能（LDES）及非锂化学储能（如液流电池和钠离子电池）逐渐受到关注，同时在制造和供应链本地化方面的投资也在增加。对长时储能的兴趣增加主要是因为锂离子电池在电网加固应用中面临挑战，尤其是在需要超过10小时放电的场景中。

内容与分析由Sightline Climate（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.sightlineclimate.com/

VF | VOLTA FOUNDATION

公募市场表现

电动汽车（EV）的需求持续受限，持续对电池公司在公共市场的表现产生负面影响。



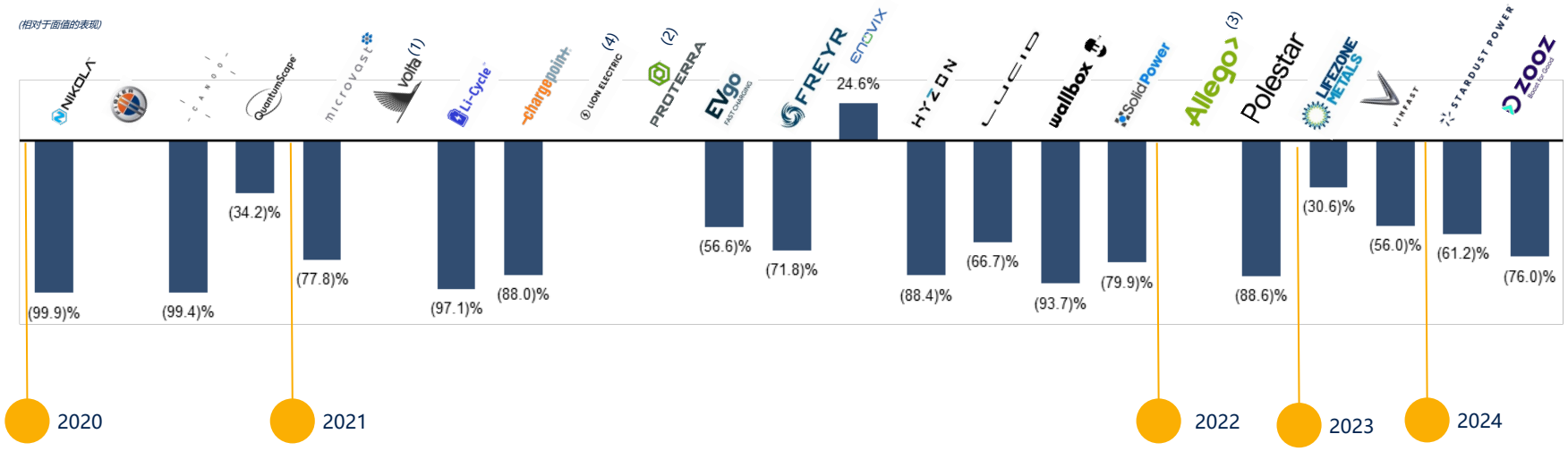
企业类别	传统电池企业	锂矿企业	电池初创公司	电动汽车初创公司(2)	充电设施(1)
关键驱动因素	在2024年，电动汽车主机厂（EV OEMs）对电池的需求增长呈现缓慢态势，且表现出对混合动力电动汽车（Hybrid EVs）的偏好。尽管如此，新型电池产品的问世激发了行业的乐观情绪，这些产品具有更高的能量密度和更低的成本	自年初以来，锂精矿（LCE）的现货价格已下降约30%。由于锂需求的疲软，矿产商纷纷削减资本支出（CapEx）计划，以调整其利润表（P&L）	电池制造企业的资本性支出（CapEx）相对较高，同时客户采购合同条款存在一定的不确定性	在电动汽车市场需求低迷的背景下，尚未实现盈利的转折点，同时遭遇经营上的挑战。	充电桩利用率低，存在不可预见的维护问题，且用户体验不佳。
代表企业	LG Energy Solution, BYD, CATL, SAMSUNG SDI	Albemarle, Standard Lithium, Livent, PIEDMONT LITHIUM, SIGMA LITHIUM	QuantumScape, FREYR, nanoOne, microvast, ENOVIX	RIVIAN, polestar, LUCID, VINFAST	chargepoint, EVgo, blink, wallbox

来源：CapIQ（2025年1月1日）指数按市值加权。 (1) 2024年8月，Tritum被Exicom收购；(2) Fisker于2024年3月退市

VF | VOLTA FOUNDATION

SPAC表现

电动汽车行业的增长势头减缓、管理层发布的业绩指引未能满足预期，以及巨额的资本开支，对电池领域SPAC的市场表现产生了不利影响。除了一家公司之外，监测范围内的所有电池相关股票交易价格均低于10美元的面值。相较于标普500指数，这些被追踪的SPAC公司在2024财年的整体表现下跌约33%，而同期标普500指数则实现了约23%的增长。



来源：CapIQ（2025年1月1日）

(1) 2023年1月，宣布壳牌将收购Volta (2) 2023年11月，普罗特拉出售给沃尔沃和凤凰汽车 (3) 2024年8月，Allego被Meridiam收购 (4) 2024年12月，Lion Electric CCAA重组过程正在进行中

VF | VOLTA FOUNDATION

2024年选择稀释性和非稀释性交易



稀释性　非稀释性

注：方框的大小是按照2025年1月1日的汇率将其他货币换算成美元后得出的。
该列表并未涵盖2024年的所有交易　(1) 截至2024年9月

VOLTA FOUNDATION

美国能源部（DOE）在电池技术领域的联邦资金支持

截至2024年9月，美国能源部（DOE）已向电池技术领域投入超过三十亿美元的资金，资金形式包括拨款和贷款。

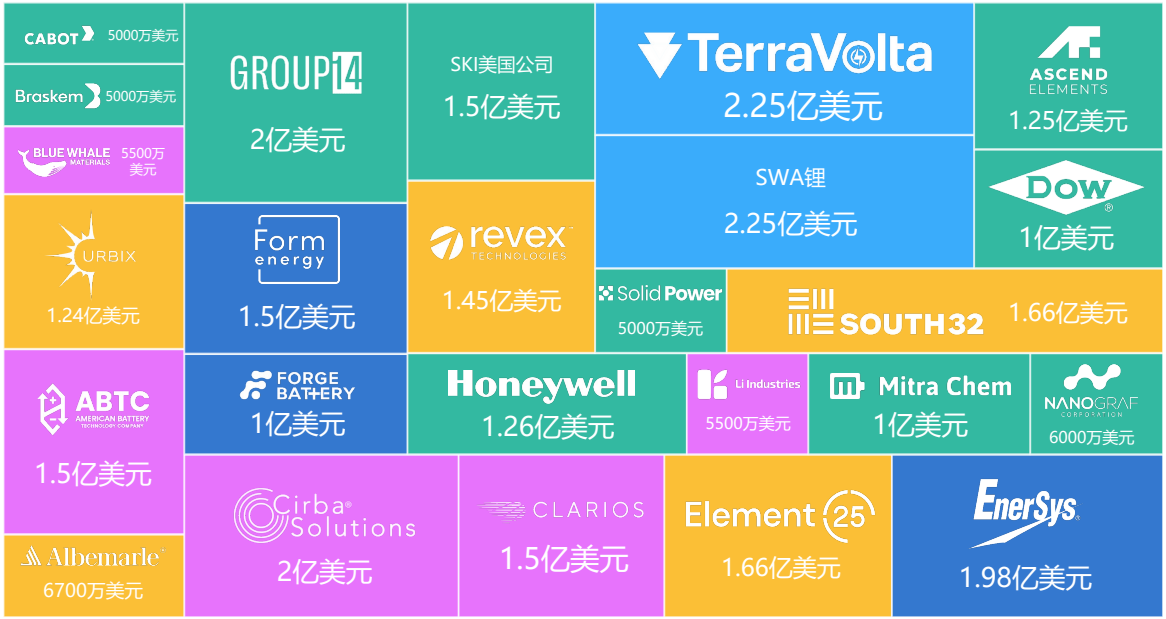
政府所提供的拨款与贷款对整个电池供应链起到了支持作用，涵盖了从矿产开采至电池回收的各个环节。2024年，美国能源部最大的一笔资金支持是在12月末向BlueOval SK公司提供的，金额高达96亿美元（2）。

。

截至2025年1月，已逾160家来自不同领域的美国能源部申请者，寻求超过2000亿美元的贷款资金。

原材料　分离与加工　组件制造　电池制造　回收

电池价值链中美国能源部的选择性贷款(1)



来源：TechCrunch

(1) 截至2024年9月

(2) 美国能源部在2025年1月宣布向瑞维安提供69亿美元

VF | VOLTA FOUNDATION

私募资本市场投资者

自2021年1月起，超过300家专注于早期风险投资、企业风险投资、成长型股权投资、基础设施投资以及私募股权的基金机构，共同管理着超过1500亿美元的气候相关私募资产（AUM）。(1)

投资者类型	早期风险投资公司	企业风险投资公司	后期风险投资公司/ 成长型股权基金	私募基金	基建基金	主权财富基金 / 养老金
投资特点	对尚未实现收入或尚未找到产品适配性的公司进行早期风险投资，涵盖种子轮到A轮融资。	进行早期投资，通常与企业风险投资机构的母公司之间存在潜在的协同效应。企业风险投资对于新技术的验证具有积极作用。	对尚未盈利但已产生收入的公司进行投资，通常处于B轮到D轮融资阶段。	对成熟企业实施控股投资，这些企业拥有明确的现金流特征及清晰的客户关系。	以长期承购合同为基础的基于重资产项目的融资。	专注国家使命的长期耐心投资者，致力气候可持续发展。
投资群体	ARCTERN VENTURES, ACTIVE IMPACT, AeraVC, ANZU PARTNERS, AVAANA, aiim, Baruch, Breakthrough Energy, ClearSky, CLOSED LOOP partners, Earthshot VENTURES, ECOSYSTEM INTEGRITY, eCAPITAL ENTREPRENEURIAL PARTNERS, Keyframe, material impact, Prelude Ventures, TIGERGLOBAL, RIVERSTONE CAPITAL GROUP, +VOLTA	ABB TECHNOLOGY VENTURES, bp ventures, BMW i Ventures, ENGIE New Ventures, gm VENTURES, Chevron 技术风险投资, HITACHI Inspire the Next, PORSCHE VENTURES, HYUNDAI CRADLE, LG Technology Ventures, Microsoft 气候创新基金, SYENSQO, Shell Ventures, Syensqo 风险投资, woven capital, SAMSUNG, TDK VENTURES, TOYOTA VENTURES, THE CLIMATE PLEDGE, VALE, Vale Ventures	Breakthrough Energy, BAILLIE GIFFORD, catalus, Decarbonization Partners, ENERGY IMPACT PARTNERS, FIFTH WALL, INVESTCORP, KOCH, MKB, s2gventures, SoftBank Vision Fund, TPG RISE CLIMATE, +VOLTA, T.RowePrice	APOLLO 清洁能源转型, Ara Partners, ARCLINE INVESTMENT MANAGEMENT, CLEANHILL PARTNERS, ECP	CIP Copenhagen Infrastructure Partners, EQT, GENERATE, KKR 气候相关投资基金, VISION RIDGE PARTNERS, zouk	CPP Investments, GIC, KIA, ADIA, TEMASEK, QIA, جهاز قطر للاستثمار QATAR INVESTMENT AUTHORITY

(1) Sightline Climate (杰出合伙人)。如果要了解更多信息，请访问 https://www.sightlineclimate.com/

VF | VOLTA FOUNDATION

过去四年风险投资和企业风险投资基金的募资情况



自2021年至2024年，气候资本结构逐步趋于成熟，资金阶段的专业化与多样性持续增强。**早期基金逐步实现整合，成长型基金与基础设施基金亦显著扩展**。目前，市场由价值560亿美元的可部署资金引领，主要关注低风险、成熟的技术，这反映出资本配置正向更加纪律化和战略化的方向转变。

这种在各个阶段**不断增长的复杂性**，确保了更健全的气候技术生态系统，能够应对更广泛的技术和可扩展性挑战。

内容和分析由Sightline Climate（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问 https://www.sightlineclimate.com/

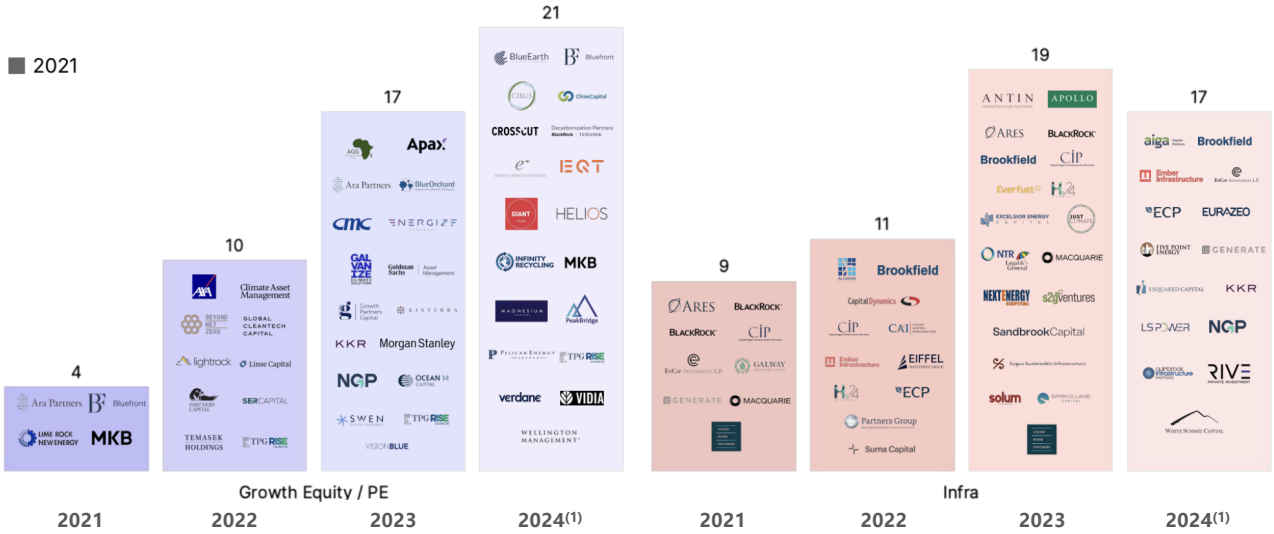
(1) 截至2024年11月7日

VF | VOLTA FOUNDATION

过去四年成长型股权投资/私募股权和基础设施基金领域的募资情况

自2021年至2024年，气候资本结构逐步趋于成熟，资金阶段的专业化与多样性持续增强。**早期基金**逐步实现整合，**成长型基金与基础设施基金**亦显著扩展。目前，市场由价值560亿美元的可部署资金引领，主要关注低风险、成熟的技术，这反映出资本配置正向更加纪律化和战略化的方向转变。

这种在各个阶段**不断增长的复杂性**，确保了更健全的气候技术生态系统，能够应对更广泛的技术和可扩展性挑战。



内容和分析由Sightline Climate（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问 https://www.sightlineclimate.com/

(1) 截至2024年11月7日

2024年新设立的基金

于2024年宣布的，旨在气候与能源转型领域的资本配置额度超过了400亿美元，共计96只新基金成立，相较于2023年创下的历史记录，减少了6%。(1)

I SQUARED CAPITAL **12亿美元** 一月 投资于气候基础设施	ARCTERN VENTURES **3.35亿美元** 一月 早期成长阶段的气候领域	Si Speedinvest **3.5亿欧元** 一月 投资于科技和气候初创公司	Chevron **3亿美元** 二月 气候技术领域	GENERATE **15亿美元** 二月 低碳基础设施	Brookfield **100亿美元** 二月 全球能源转型基金	verdane **11亿欧元** 二月 专注于数字化和脱碳
EQT **30亿欧元** 三月 投资于气候和健康领域	SOSV THE ACCELERATOR VC **3.06亿美元** 四月 投资于深度科技和硬件初创公司	Decarbonization Partners BlackRock | TEMASEK **14亿美元** 四月 投资于气候首发基金	WELLINGTON MANAGEMENT® **3.85亿美元** 四月 气候创新领域	CLEAN ENERGY VENTURES **3.05亿美元** 五月 脱碳解决方案	EURAZEO **7亿欧元** 七月 脱碳和可持续解决方案	LS POWER Innovation and Investment in Energy **27亿美元** 八月 投资于电力和能源基础设施
Brookfield **50亿美元** 九月 新兴市场气候基金	aiga Capital Partners **2.4亿美元** 九月 可持续基础设施	TPG **49亿美元** 十月 专注于气候科技领域	Ember Infrastructure **5亿美元** 十月 气候领域的基础设施解决方案	verdane **7亿欧元** 十月 投资于脱碳解决方案	SOCIUM VENTURES **3亿美元** 十月 专注于气候科技公司	Neos Partners **13.7亿美元** 十一月 可再生能源、电网和数据中心

注意：美元与欧元的转换率为2025年1月1日

(1) Sightline Climate（杰出合作伙伴）。欲了解更多信息，请访问 https://www.sightlineclimate.com/

VF | VOLTA FOUNDATION

2023年大型基金私募资本公告……

于2023年，规模达到或超过5亿美元的大型基金，在基金总数中的占比大约为19%，然而在总资产管理规模（AUM）中的占比却高达约70%。

	APOLLO 清洁能源转型	KKR 全球气候	Brookfield 新兴市场转型	TPG RISE CLIMATE	JUST CLIMATE by generation	NGP	Morgan Stanley 1GT气候基金
关闭 / 发布	2023年春季	2023年夏季	2023年冬季	2022年春季	2023年夏季	2023年夏季	2023年春季
2023年基金规模	$40亿	N/A	>$10亿	$73亿	$15亿	$7亿	$10亿
委托协议	• 投资于多元化的全球收益和混合投资组合 • 专注于脱碳作为总体主题而不是特定资产类别 • 旨在解决资本市场在气候和转型融资方面存在的重大缺口	• 投资范围包括扩展电池技术、电动汽车车队电气化和电动汽车充电、农业和钢铁脱碳 • 该基金的主要针对“气候”，包括交通、食品和工业等部门的脱碳项目进行投资	• 专门为新兴和发展中市场配置资本 • 支持 COP28 行动议程的四大关键议题：能源转型、工业脱碳、可持续生活和环保技术	• 投资于能源转型、绿色交通、可持续燃料和可持续分子以及碳解决方案 • 对创新气候解决方案的成长阶段投资 • 基金的绩效费取决于实现温室气体减排目标的能力	• 重点关注能源、交通、工业和建筑等难以减排的行业，以便在未来十年实现大幅减排	• 为推动/促进可再生能源增长、交通电气化、能源和资源高效利用以及碳排放管理/减少的公司提供成长资本 • 专注于能源转型中的实物资产	• 专注于对成长阶段公司的投资，这些公司将寻求共同避免或消除地球大气中十亿吨二氧化碳当量（CO2e）的排放

注意：资金数字截至2024年1月

VOLTA FOUNDATION

.....一年后，2023年最大的气候基金开始谨慎地部署资本。

除了一项专注于气候投资的基金外，其余均已经获得了与电池相关领域的投资收益。

	APOLLO 清洁能源转型	KKR 全球气候	Brookfield 新兴市场转型	TPG RISE CLIMATE	JUST CLIMATE by generation	NGP	Morgan Stanley 1GT气候
筹集金额(1)	$40亿	$30亿	N/A	~$50亿(2)	$15亿	$7亿	$7.5亿(3)
基金投资	PURMO GROUP	仍在筹款 ZENOBE AVANTUS	• 重新品牌定位为催化转型基金。 • 目标是筹集50亿美元资金。	基金2 Intersect Power 基金1 2024年的投资 BETA Syre	MEVA ENERGY CONTINUUM ABB E-mobility Infinitum ASCEND ELEMENTS VOURITY	INFINIUM CO280 CLOVERLEAF PHYSICS X NOVEON MAGNETICS evrealty	Instagrid Huel everstream ANALYTICS

图例
与电池相关的投资

(2) 代表TPG Rise Climate Fund II
(3) 目标为$10亿，最终筹集$7.5亿

来源：新闻稿，Sightline Climate（杰出合作伙伴）；(1) 一些基金规模已根据之前公布的金额进行调整

https://www.bnnbloomberg.ca/investing/commodities/2024/12/19/blackrock-writes-down-flagship-renewable-fund-overhauls-leaders/

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

章节摘要 - 成本降低现在是电池价值链中的首要任务

目前电池制造成本的情况可以用生产商在价值链中面临的三个挑战来描述：



整个供应链的过剩产能导致投资回撤。



由于利润缩减和竞争加剧，成本降低的努力。



保护主义上升和国内竞争驱动新市场的多元化。

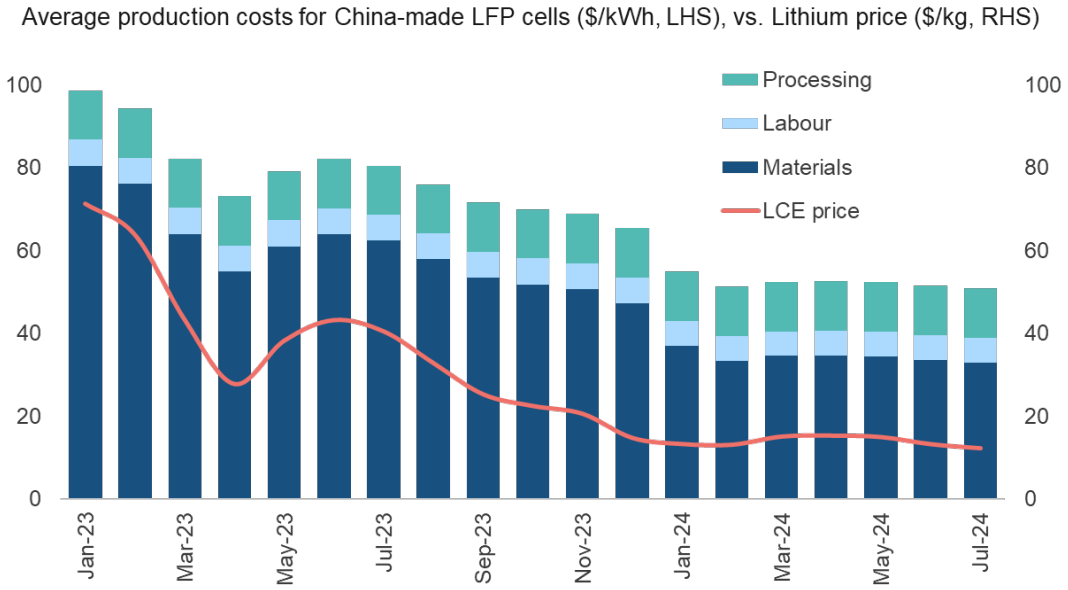
关键要点：

- 电池制造商和汽车制造商将成本降低作为在利润微薄和价格竞争激烈的市场中生存的主要机制。
- 中国的电池价格现在已经低到足以推动深远的需求，但只有最低成本的生产商才能生存。
- 欧洲和北美的新制造商面临基本制造效率和质量的多重障碍。 鉴于此，西方电池行业仍然由亚洲现有企业主导。

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.

VF | VOLTA FOUNDATION

2024年电池制造成本持续下降



自2022年以来，平均电池生产成本大幅下降，主要受材料价格暴跌，尤其是碳酸锂，CAM，和AAM的推动。

低材料价格是由于过剩产能和供过于求所驱动的。

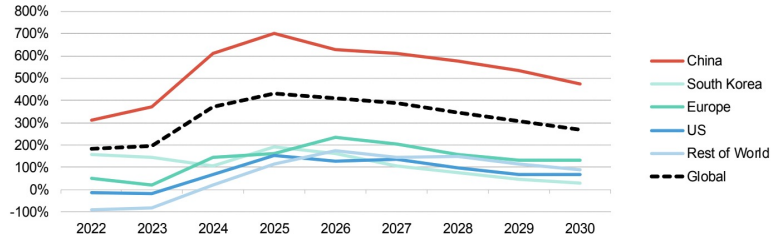
最初成本降低是由于制造效率和电芯设计的逐步改进，但现在的工艺已经优化得如此之好，以至于例如，LFP成本紧密跟随碳酸锂的价格。

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.
LCE = Lithium Carbonate Equivalent.

电池行业的过剩产能导致低销售价格和利润率缩减

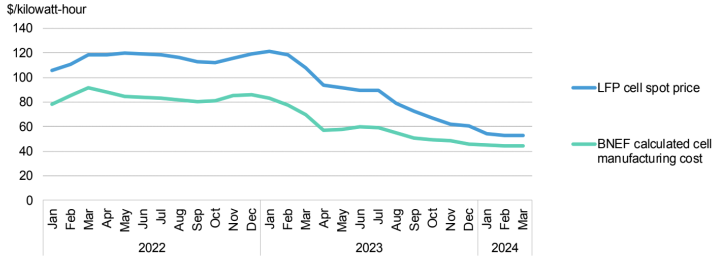
过剩产能是2024年电池价格下降的最大驱动因素之一

Lithium-ion battery cell manufacturing overcapacity ratio if planned factories are built, by market



电池利润空间正在被挤压

China LFP cell spot price and BNEF LFP cell calculated manufacturing cost

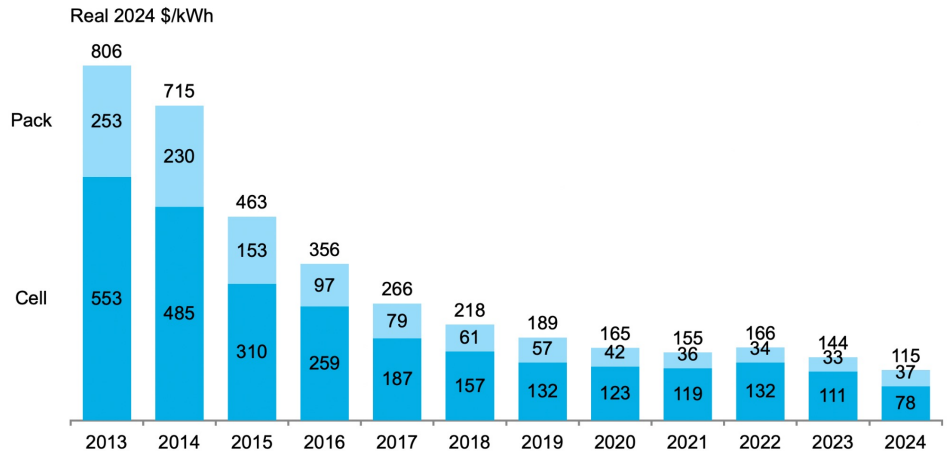


- 随着生产成本的下降，2024年中国制造的电池平均售价也有所下降
- 这一现象的驱动因素是出现了大规模的过剩产能，生产的电池数量超过了消费需求
- 这导致制造商为了保持竞争力和市场份额，以或低于生产成本的价格出售，推动价格降至新低

来源: Main content provided by BloombergNEF (Distinguished Partner), ICCSino (LFP cell spot price). Cell cost and price is based on a prismatic cell and excludes taxes.

电池包价格自2017年以来最大降幅

体积加权平均锂离子电池组和电芯价格分布



平均锂离子电池组价格从2023年下降了20%，在2024年创下115美元/kWh的历史低点。

导致下降的因素包括：

- 电芯制造过剩
- 规模经济和由于增量制造改进（如产量/质量）导致的基础成本降低
- 原材料和组件价格低
- 采用低成本LFP电池
- 电动汽车（EV）销售增长放缓

注意： 价格在不同国家和应用领域之间差异很大。

来源: Content & analysis provided courtesy of BloombergNEF (Distinguished Partner). Note: historical prices have been updated to reflect real 2024 dollars. Weighted average survey value includes 343 data points from passenger cars, buses, commercial vehicles, and energy storage.

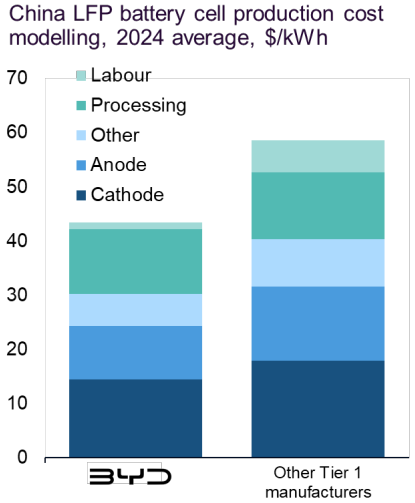
VOLTA FOUNDATION

中国制造商如何实现超低生产成本?

供应链效率与制造卓越密切相关

Vertical integration	Allows downstream companies to source materials at cost price, ability to pass on any high cost of operations down the value chain, and more control over technical specifications.
Midstream price pressure	Intense competition in the midstream is leading to thinner margins and cell manufacturers are pressuring cathode and anode producers for lower prices.
Upstream cost reduction	Chinese refineries are some of the lowest cost operations globally and have secured low-cost mineral resources. This mitigates the largest cost component for battery cells.
Capex leverage	Economies of scale in the downstream (battery/EV) enables lower unit Capex, cheaper financing in the upstream (mining/refining) and hedges investment risk.
Technical innovation	Chinese companies prioritise scaling up and incrementally optimising proven technologies vs. exploring disruptive tech.
Factory yields & automation	Yields and production processes have been so well optimised that only incremental improvements are now being made. Automation reduces labor costs and enables higher yields.
Industrial ecosystem	Chinese companies tend to operate in integrated industrial parks where there is always a consumer for byproducts or waste from adjacent industries.

顶级制造商独占鳌头



近年来，电池成本因三个主要领域到进步得到了缓解：

1. 制造卓越
2. 供应链效率
3. 技术创新

#1 是所有公司的基础。

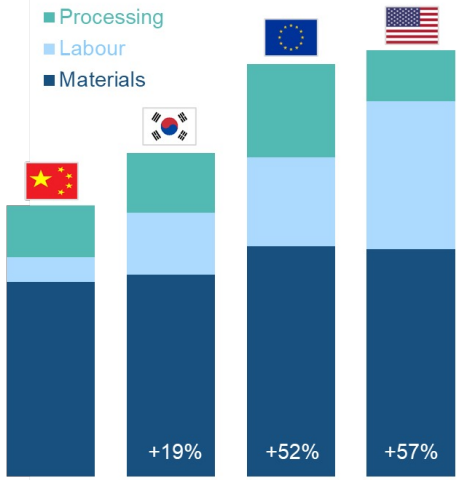
#2 和 #3 使顶级制造商在行业中获得额外优势。

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.
Model is showing an EV (power) cell, prismatic, synthetic graphite anode

中国以外的成本更高，部分原因是固有劣势

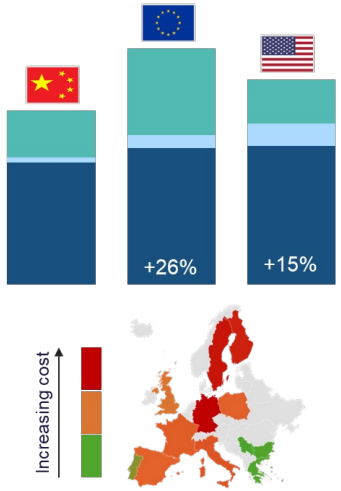
新建超级工厂的产量和自动化最初较低

Average battery cell production costs, NMC 811, 2024 $/kWh



即使将一座最先进的中国工厂移植到欧盟/美国，能源和劳动力成本仍将影响经济性

Modelled battery cell production costs for BYD, LFP, 2024 average $/kWh



模型参数：

- →相同的产量，工厂自动化，材料利润
- →没有进口关税或材料的地方溢价
- →地区平均能源价格
- →本地生产的CAM和AAM

中国以外的生产成本较高受以下因素影响：

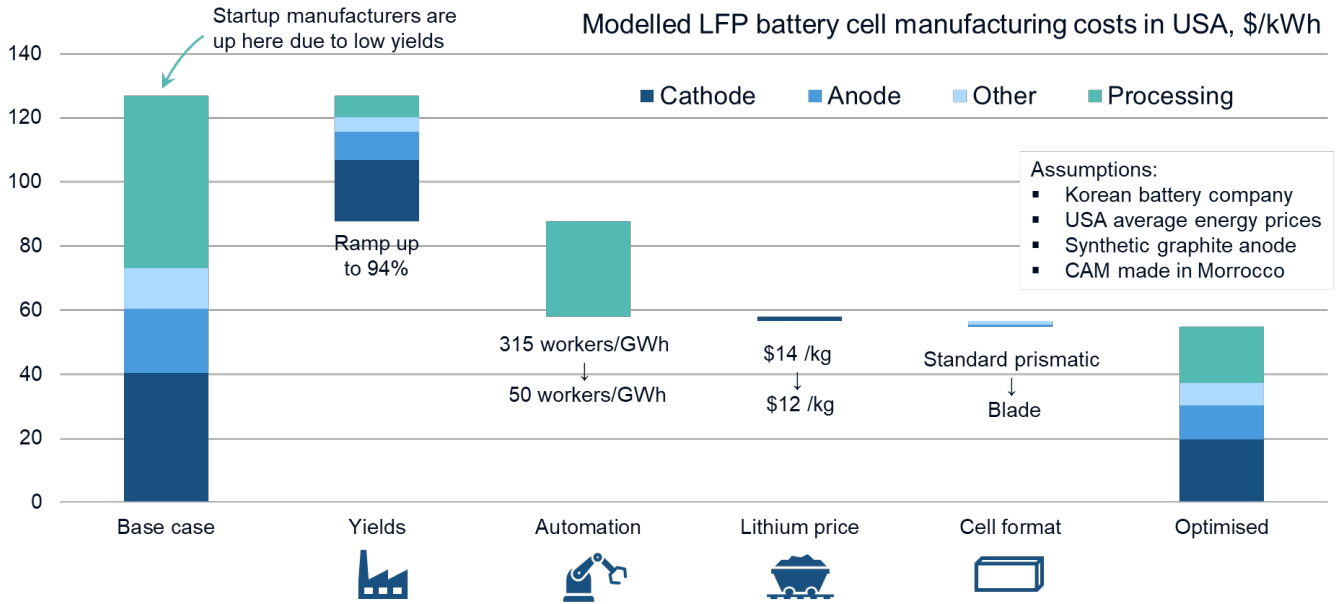
- 最初的产量较低和工厂自动化
- 能源和劳动力成本的差异
- 供应商要求的更高利润
- 进口关税和原材料的地方溢价

……所有这些都可以得到缓解！

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.

自动化和产量对美国成本竞争力至关重要

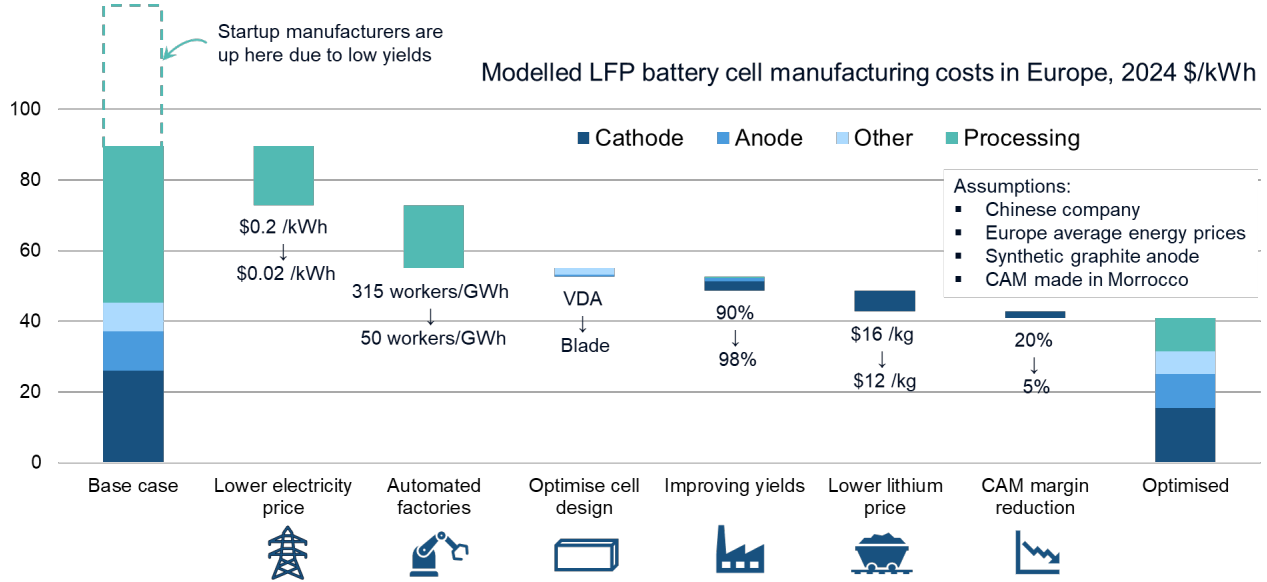
2024年美国LFP电芯制造成本模型，$/kWh



来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.

电价和自动化是欧洲工厂的关键

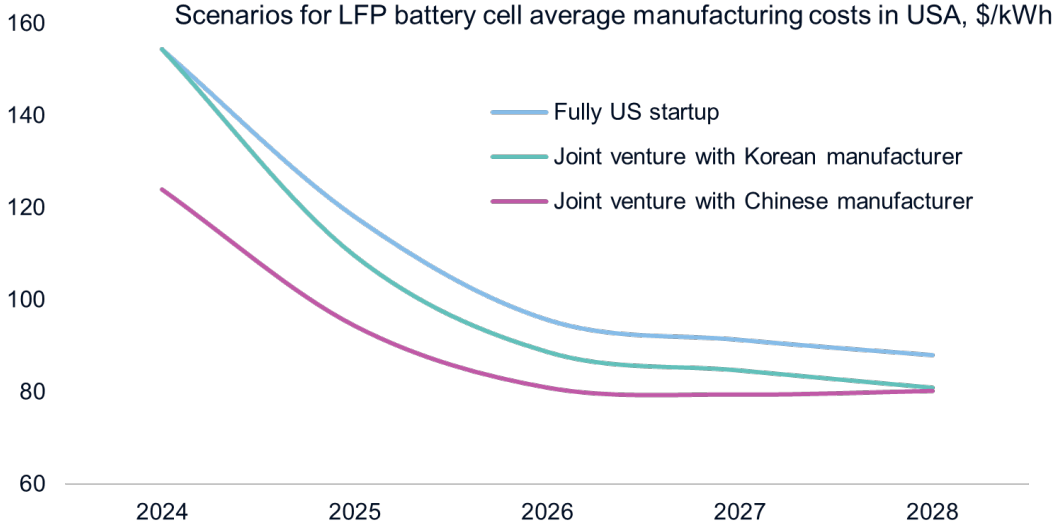
2024年欧洲LFP电芯制造成本模型，$/kWh



来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.

电池困境 - 合资还是独立发展?

合资可以缩短到达盈利到时间



电池制造非常困难，需要低废料率和高产量才能盈利。

到目前为止，选择独立发展的新制造商很少能生存下来。

与经验丰富的生产商进行合资是最成功的策略。

这对于快速降低提升产能时间并增加客户对供应质量和可靠性的信心至关重要。

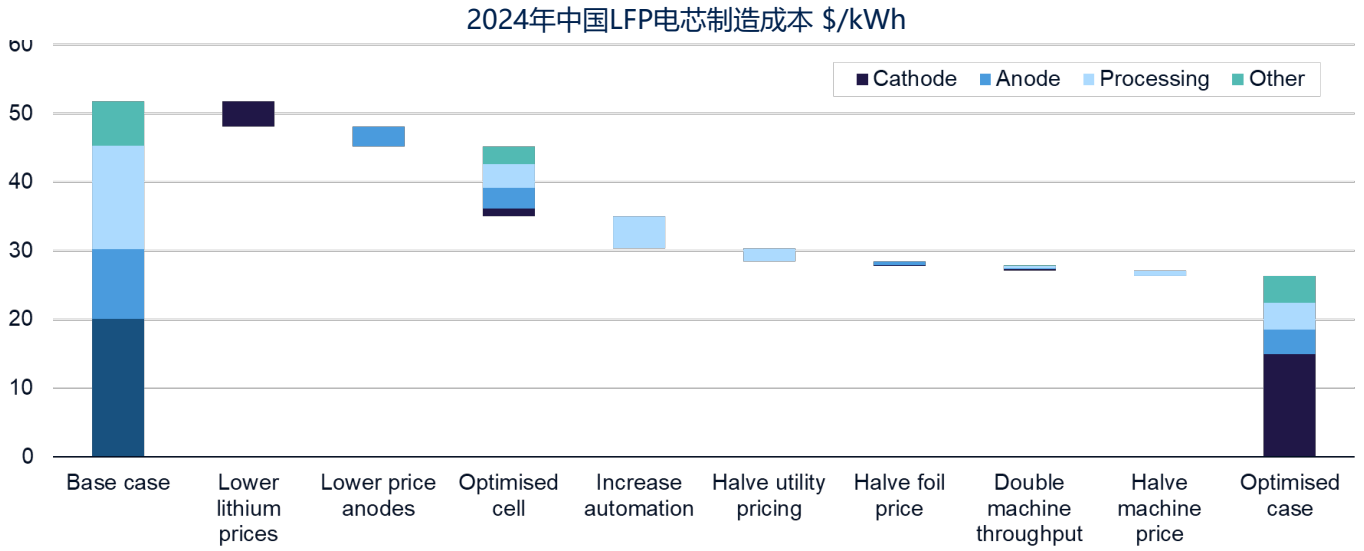
尽管中国企业现在越来越愿意与当地合作伙伴合作，但他们与中国政府一起**正在努力避免关键技术知识的泄露。**

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com. Modeling an EV (power) cell with synthetic graphite anode.

VF | VOLTA FOUNDATION

LFP生产成本还有进一步下降的空间

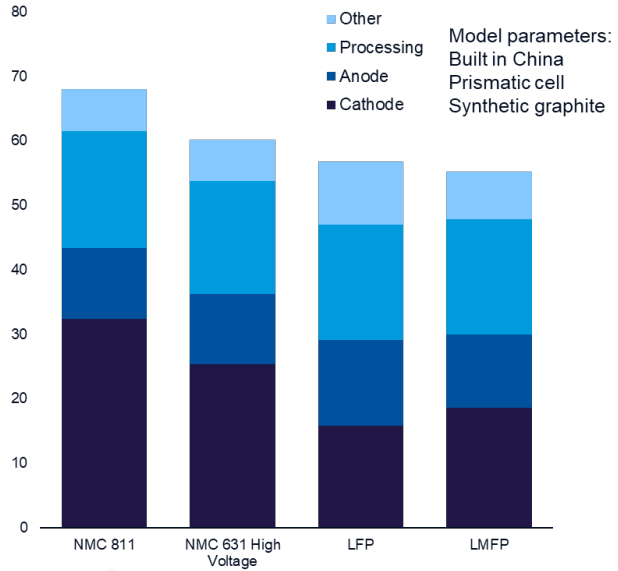
更便宜的原材料、优化电化学性能
和对制造过程的渐进改进：



来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.
Modeling an EV (power) cell with synthetic graphite anode.

LxFP在成本上优于高镍电池

2024年中国平均电芯生产成本 $/KWH



尽管镍和钴的价格下降，与LxFP和新型NMC相比，NMC 811仍然是最昂贵的化学体系。

中镍高压NMC已成为高镍NMC的低成本替代品，同时提供可比的能量密度。

由于缺乏昂贵的原材料和更高效的锂利用率，LxFP系列在降低生产成本方面处于领先地位。

高压实密度LFP正极材料可能使电池成本降低多达3%，继续推动现有化学品的渐进改进趋势。

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

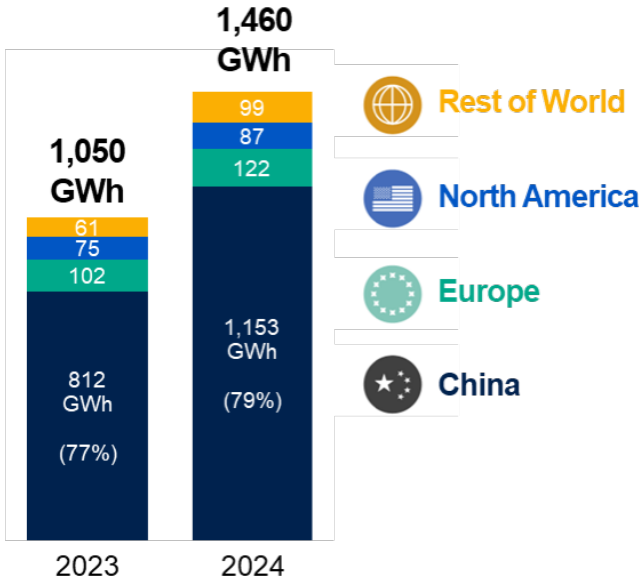
安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

电池制造业进一步迈入每年太瓦时规模时代



2024 年，全球锂离子电池芯产量接近

1.5 TWh

59% 磷酸铁锂电池

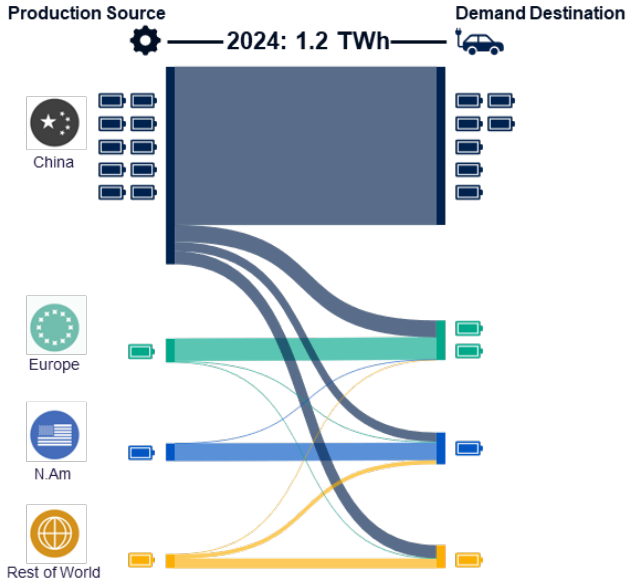
4/5 是动力电池

4/5 是制造的在中国

- 目前仍存在严重的产能过剩，就中国而言，与需求相比，生产过剩
- 这就是LFP的市场份额高于最终使用需求的原因
- 大部分电池需求都是从亚洲进口的，因为中国以外的大多数超级工厂仍在扩建
- 该行业仍然是一个寡头垄断，前**3家制造商占据了2/3的产出**

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.
Battery production data from CRU’ s primary data collection, national industry associations, and manufacturer reports. December 2024 data is partially estimated.

中国是电池出口中心，但生产正在本地化



- 目前欧洲和北美的大部分电池供应来自亚洲进口。
- 随着时间的推移，电池在地区之间的贸易流动正在减弱。电池生产将越来越多地本地化到使用它们的地方，因为：
  - **贸易政策** – 关税随着时间的推移而增加
  - **供应安全** – 汽车行业旨在避免供应中断的重演
  - **成本和ESG** – 跨地区运输笨重电池成本高且排放密集
- 尽管其他地区正在加快生产基地的建设，中国仍将是最大的电池生产国。

来源: Content & analysis provided courtesy of CRU Group (Distinguished Partner). For more information, visit https://www.crugroup.com.
Trade flows less than 1 GWh are not shown. 'Demand Destination' refers to where the battery is installed. Total GWh represents end-use demand and does not show overproduction of battery cells.

VOLTA FOUNDATION

超级工厂建设跟踪 - 1372 GWh的容量

- 北美在过去2-3年中经历了显著增长，这得益于IRA激励措施
- 然而，多个项目由于财务和政治问题而面临困境或仍然难以实现，包括对IRA未来的不确定性

美国

1 ABF, Tucson, AZ, (+15 GWh)
2 Amprius Tech, Brighton, CO, (+5 GWh)
3 Electrovaya, Jamestown, NY, (+1 GWh)
4 远景 AESC, Smyrn, TN, 3 GWh
5 远景 AESC/宝马, KY, (+30 GWh)
6 远景 AESC/梅赛德斯, Florence , SC, (+30 GWh)
7 福特/宁德时代, Marshall, MI, (+20 GWh)*
9 纳米科技能源, 待定, NV, (+6 GWh)
8 FREYR, Newnan, GA, (+34 GWh)
10 IM3NY, Endicott, NY, 1 GWh, (+37 GWh)*
11 KORE Power, Buckeye, AZ, (+12 GWh)
12 LGES, Queen Creek, AZ, (+53 GWh)
13 LGES, Holland, MI, 5 GWh, (+20 GWh)
14 Ultium Cells, LGES/GM, Lansing, MI, (+50 GWh)
15 Ultium Cells, LGES/GM, Spring Hill, TN, 35 GWh
16 LGES/本田, Jeffersonville, OH, (+40 GWh)
17 松下, DeSoto, Kansas, (+30 GWh)
18 松下/特斯拉, NV, 37 GWh, (+73 GWh)
19 三星SDI/通用汽车, New Carlisle, IN, (+27-36 GWh)
20 (2个工厂) StarPlus Energy (三星SDI/斯特兰蒂斯), 印第安纳州科科莫, (+33 GWh & +34 GWh)
21 SK，乔治亚州商业，22 GWh
22 BlueOval (SK/福特)，田纳西州斯坦顿， (+45 GWh)
23 SK/现代，乔治亚州巴托县， (+35 GWh)
24 特斯拉，加州弗里蒙特，10 GWh
25 丰田，北卡罗来纳州格林斯伯勒， (+30 GWh)
26 LGES/现代，美国，(+30 GWh)
27 Ultium Cells，LGES/通用汽车，俄亥俄州沃伦， 41 GWh
29 Forge Battery，北卡罗来纳州罗利，(1-3 GWh)
30 SAFT，佛罗里达州杰克逊维尔, (+5 GWh)
31 特斯拉, 奥斯丁, TX, 6 GWh (+94 GWh)
32 ONE, 贝尔维尔, MI, 10 MWh (+20 GWh)
33 国轩高科, 曼特诺, IL, (+40 GWh)
34 Lyten, 圣荷西, CA, (+0.2 GWh)
35 Lyten, 里诺, NV, (+10 GWh)
36 (2个工厂) BlueOval (SK/福特), 格伦代尔, KY, (+40 GWh & +40 GWh)
37 Pomega, 沃特伯勒, SC, (+6 GWh)
38 Amplify Cell Tech, 马歇尔县, MS, (+21 GWh)
39 Statevolt, 靠近盐滩湖, CA, (+54 GWh)**
40 Lyten, 圣利安德罗, CA, (+6-10 GWh)

加拿大

41 LGES/斯特兰蒂斯，温莎，安大略省， (+49.5 GWh)
42 PowerOn，圣托马斯，安大略省， (+90 GWh)
43 Lion Electric，乔利埃，魁北克， (+5 GWh)*
44 StromVolt，待定，魁北克， (+10 GWh)
45 Northvolt Six，蒙特利尔，魁北克， (+60 GWh)
46 Bluesolutions，蒙特利尔，魁北克， 0.5 GWh
47 **Molicel**，枫树岭，不列颠哥伦比亚省， (+2.8 GWh)**



如何阅读此地图

基本格式 = 当前容量 GWh, (+额外未来容量 GWh)

建设风险 = (+额外 未来容量 GWh)*

建设暂停/破产 = (+额外未来容量 GWh)**

*total includes future & current capacities; excludes plants with halted construction; takes the highest of future capacity ranges (if range exists)
**note: sodium-ion excluded

VF | VOLTA FOUNDATION

超级工厂建设跟踪 - 1504 GWh的容量

- 根据《电池地图》，当前计划的产能减少了473 GWh
- 由于市场需求疲软、能源成本上升或组织问题，几座超级工厂已被暂停。 德国、瑞典和意大利尤其受到影响

如何阅读此地图
基本格式 = 当前容量 GWh, (+额外未来容量 GWh)
建设风险 = (+额外未来容量 GWh)*
建设暂停/破产 = (+额外未来容量 GWh)**

法国
1 ACC, 13 GWh, (+27 GWh)
2 远景/雷诺, (+30 GWh)
3 Verkor/雷诺, (+50 GWh)
4 辉能, (+48 GWh)
5 Tiamat,, (+5 GWh)

德国
6 ACC, (+40 GWh)**
7 宁德时代, 14 GWh, (+10 GWh)
8 Leclanche, 4.5 GWh
9 Northvolt Drei, (+60 GWh)
10 蜂巢能源, (+24 GWh)**
11 蜂巢能源, (+16 GWh)**
12 特斯拉, 50 GWh, (+50 GWh)
13 PowerCo, (+20 GWh)
14 Cellforce Group, (+20 GWh)
15 Customcells, (+未知 GWh)
16 EAS, 0.5 GWh

意大利
17 ACC, (+40 GWh)**
18 ITALVOLT, (+45 GWh)**
19 FAAM, 0.35 GWh, (+8 GWh)

葡萄牙
20 中创新航 (+45 GWh)

荷兰
21 Eurocell, (+1 GWh)**

瑞典
22 Northvolt, 16 GWh, (+44 GWh)*
23 NOVO (沃尔沃), (+50 GWh)*

匈牙利
24 宁德时代, 100 GWh
25 亿纬锂能, (+28 GWh)
26 三星SDI, 40 GWh, (+10 GWh)
27 SK, 18 GWh, (+29.3 GWh)
28 欣旺达, (+未知 GWh)

挪威
29 Elinor, (+40 GWh)
30 FREYR, (+29 GWh)**
31 Morrow, 未知 GWh (+42 GWh)
32 Beyonder, (+10 GWh)

芬兰
33 Finnish Minerals, (+60 GWh)

西班牙
34 远景 AESC, (+50 GWh)
35 PowerCo, (+60 GWh)
36 Basquevolt, 未知 GWh (+10 GWh)
37 宁德时代/斯特兰蒂斯, (+50 GWh)

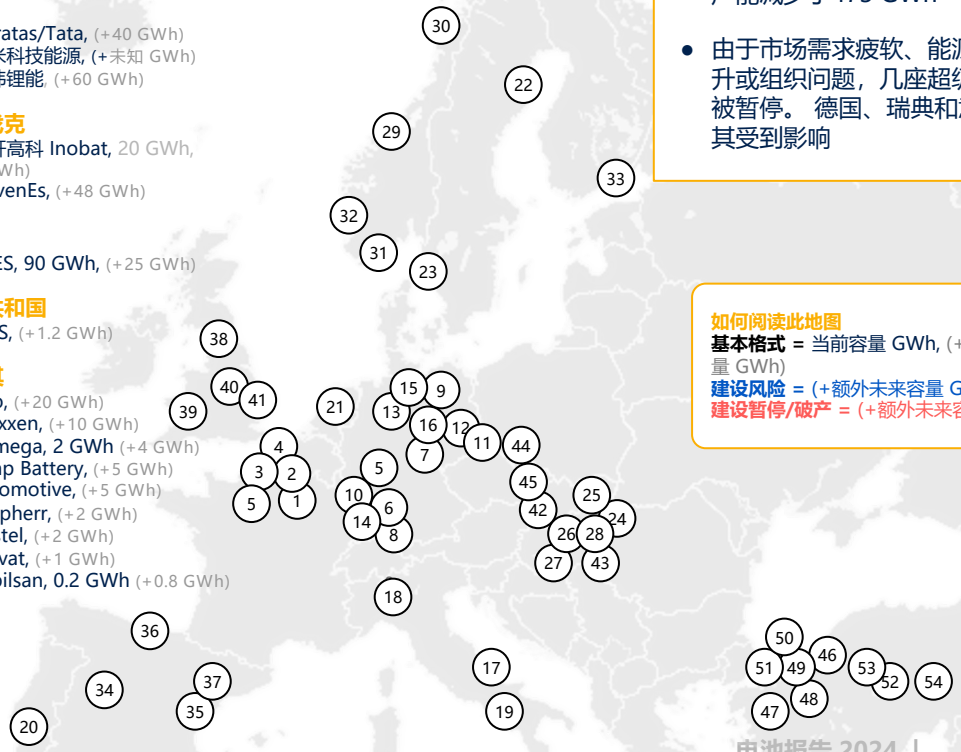
英国
38 远景 AESC, 2 GWh, (+33 GWh)
39 Agratas/Tata, (+40 GWh)
40 纳米科技能源, (+未知 GWh)
41 亿纬锂能, (+60 GWh)

斯洛伐克
42 国轩高科 Inobat, 20 GWh, (+20 GWh)
43 ElevenEs, (+48 GWh)

波兰
44 LGES, 90 GWh, (+25 GWh)

捷克共和国
45 MES, (+1.2 GWh)

土耳其
46 Siro, (+20 GWh)
47 Maxxen, (+10 GWh)
48 Pomega, 2 GWh (+4 GWh)
49 Reap Battery, (+5 GWh)
50 Ottomotive, (+5 GWh)
51 Ampherr, (+2 GWh)
52 Vestel, (+2 GWh)
53 Inovat, (+1 GWh)
54 Aspilsan, 0.2 GWh (+0.8 GWh)



*total includes future & current capacities; excludes plants with halted construction; takes the highest of future capacity ranges (if range exists)
**note: sodium-ion excluded

Source: All uncited factories are from Batteriezellproduktion: Europa gerät ins Hintertreffen

VF | VOLTA FOUNDATION

超级工厂建设跟踪 - 437GWh (+5,796来自中国) 的产能

印度
1 Reliance, Gujarat, (+50 GWh)
2 Amara Raja, Telangana, (+16 GWh)
3 Exide, Karnataka, (+12 GWh)
4 Godi, Hyderabad, (+12 GWh)
5 OLA, Tamil Nadu, (+100 GWh)
6 TATA, Gujarat, (+10 GWh)
7 Lucas TVS / 24M, Thervoy Kandigai, (+10 GWh)
8 Cyngi, Telangana, (+1.2 GWh)
9 JSW/LGES, India, (+10 GWh)
10 Mahanagar/IBC Inc., Bengaluru, (+unknown GWh)

越南
11 国轩高科, Vung Ang, (+5 GWh)

泰国
12 GPSC, Map Ta Phut, (+10 GWh)
13 Amita Technology / Eve, Bang Pakong, (+4 GWh)
14 NV 国轩高科, 莱勇, (+8 GWh)
15 24M/Novo+, 莱勇, (+0.1 GWh)

印度尼西亚
16 宁德时代, Karawang, (+15 GWh)
17 现代/LGES, Karawang, 10 GWh (+10 GWh)

马来西亚
18 亿纬锂能, Kedah, (+未知 GWh)
19 三星SDI, Seremban, 未知 GWh, (+16 GWh)
20 Enovix, Seremban, (+未知 GWh)
21 珠海冠宇, Seremban, (+未知 GWh)

韩国
22 三星SDI, Cheonan, 未知 GWh, (+12 GWh)
23 LGES, Ochang, 21 GWh (+12 GWh)
24 SK, Seosan, 5 GWh
25 Kumyang, Gijang, (+未知 GWh)

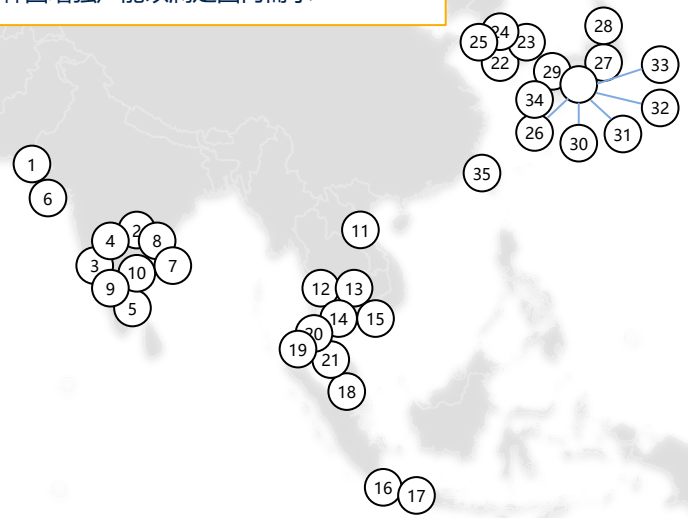
日本
26 Prime Planet, Himeji, 日本, 未知 GWh, (+30 GWh)
27 远景 AESC, Kanagawa, 2.6 GWh
28 远景 AESC, Ibaraki, (+18 GWh)
29 松下, 大阪, 4 GWh
30 松下, Uchida, 10 GWh
31 松下, Asonaka, (+未知 GWh)
32 松下, 群马, (+16 GWh)
33 Electrovaya Tech, 日本, (+未知 GWh)
34 日产, 日本, (+5 GWh)

中国台湾地区
35 辉能，桃园, (+2 GWh)

中国大陆地区
请参见下一页的“中国产超级工厂”

如何阅读此地图
基本格式 = 当前容量 GWh, (+额外未来容量 GWh)

大亚洲正在经历以下增长：
- 一个新兴的印度市场
- 中国制造商在低风险的东盟国家本地化以规避贸易壁垒
- 日本和韩国增强产能以满足国内需求



*total includes future & current capacities
**note: sodium-ion excluded

Source: All uncited factories are from Batterieproduktion, India 1, India 2, Thailand

VOLTA FOUNDATION

超级工厂建设跟踪 - 5796 GWh的产能 | 第 1 部分 共 3

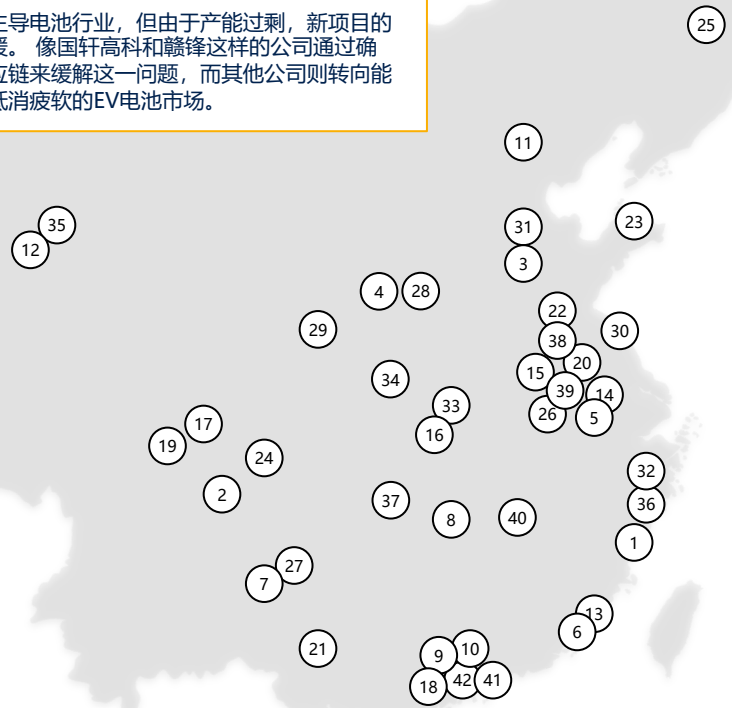
宁德时代
1 宁德，253 GWh，(+27 GWh)
2 宜宾，126 GWh，(+144 GWh)
3 济宁，(+180 GWh)
4 洛阳, 30 GWh, (+90 GWh)
5 常州, 118 GWh
6 厦门, (+60 GWh)
7 贵阳, 30 GWh, (+30 GWh)
8 宜春, 50 GWh
9 肇庆, 25 GWh
10 广州, 12 GWh, (+6 GWh)
11 北京, (+15 GWh)
12 西宁, 11 GWh

中创新航
13 厦门, 20 GWh, (+40 GWh)
14 常州, 32 GWh, (+25 GWh)
15 合肥, 20 GWh, (+30 GWh)
16 武汉, 20 GWh, (+30 GWh)
17 成都, 20 GWh, (+30 GWh)
18 江门, 35 GWh, (+15 GWh)
19 梅山, 20 GWh

LGES
20 南京, 139 GWh, (+6 GWh)

比亚迪
21 南宁, 70 GWh
22 徐州, 15 GWh, (+45 GWh)
23 烟台, (+50 GWh)
24 重庆, 35 GWh, (+10 GWh)
25 长春, 15 GWh, (+30 GWh)
26 芜湖, 40 GWh
27 贵阳, 25 GWh, (+15 GWh)
28 郑州, (+40 GWh)
29 西安, 32 GWh
30 盐城, 30 GWh
31 济南, 30 GWh
32 绍兴, 15 GWh, (+15 GWh)
33 武汉, 12 GWh, (+18 GWh)
34 襄阳, 10 GWh, (+20 GWh)
35 西宁, 24 GWh
36 台州, 22 GWh
37 长沙, 10 GWh, (+10 GWh)
38 蚌埠, 10 GWh, (+10 GWh)
39 滁州, 5 GWh, (+15 GWh)
40 福州, 15 GWh
41 深圳, 14 GWh
42 惠州, 2 GWh

中国仍然主导电池行业，但由于产能过剩，新项目的进展已放缓。 像国轩高科和赣锋这样的公司通过确保上游供应链来缓解这一问题，而其他公司则转向能源存储以抵消疲软的EV电池市场。



如何阅读此地图
基本格式 = 当前容量 GWh, (+额外未来容量 GWh)

来源: New Energy Terminal

*total includes future & current capacities
**note: sodium-ion excluded

VF | VOLTA FOUNDATION

超级工厂建设跟踪 - 5796 GWh 的产能 | 第 2 部分 共 3 部分

中国仍然主导电池行业，但由于产能过剩，新项目的进展已放缓。 像国轩高科和赣锋锂业这样的公司通过确保上游供应链来缓解这一问题，而其他公司则转向能源存储以抵消疲软的动力电池市场。

国轩高科
43 合肥, 14 GWh, (+44 GWh)
44 安庆, 30 GWh, (+10 GWh)
45 柳州, 15 GWh, (+15 GWh)
46 宜春, 10 GWh, (+20 GWh)
47 南京, 28 GWh
48 六安, 15 GWh, (+10 GWh)
49 唐山, 10 GWh, (+10 GWh)
50 滁州, 10 GWh, (+10 GWh)
51 青岛, 3 GWh

蜂巢能源
52 常州, 18 GWh, (+47 GWh)
53 成都, 31.5 GWh, (+28.5 GWh)
54 湖州, 15 GWh, (+15 GWh)
55 达州, (+30 GWh)
56 遂宁, 20 GWh, (+9 GWh)
57 马鞍山, 28 GWh
58 上饶, 24 GWh
59 盐城, 22 GWh
60 南京, 15 GWh

欣旺达
61 金华, 50 GWh
62 南昌, 36 GWh, (+14 GWh)
63 枣庄, 24 GWh, (+26 GWh)
64 宜昌, 20 GWh, (+10 GWh)
65 南京, 18 GWh, (+12 GWh)
66 德阳, 20 GWh

亿纬锂能, SK ON
67 荆门, 146 GWh, (+43 GWh)
68 成都, 20 GWh, (+50 GWh)
69 盐城, 10 GWh, (+30 GWh)
70 沈阳, (+40 GWh)
71 惠州, 24 GWh
72 曲靖, 23 GWh
73 南通, 10 GWh
74 玉溪, (+10 GWh)
75 常州, 7.5 GWh

瑞浦兰钧
76 嘉兴, 12 GWh, (+61 GWh)
77 温州, 26 GWh, (+24 GWh)
78 佛山, 15 GWh, (+17 GWh)
79 重庆, (+30 GWh)
80 柳州, 10 GWh, (+10 GWh)

海辰储能
81 重庆, 28 GWh, (+33 GWh)
82 厦门, 45 GWh
83 菏泽, (+30 GWh)

远景能源
84 十堰, 20 GWh, (+20 GWh)
85 鄂尔多斯, 10.5 GWh, (+20 GWh)
86 沧州, 10 GWh, (+20 GWh)
87 无锡, 5 GWh, (+15 GWh)

楚能新能源
88 孝感, 60 GWh, (+90 GWh)
89 宜昌, 40 GWh, (+110 GWh)
90 武汉, 10 GWh, (+40 GWh)

鹏辉能源
91 衢州, 11 GWh, (+36 GWh)
92 青岛, (+36 GWh)
93 乌兰察布, (+11 GWh)
94 柳州, 10.5 GWh
95 宣城, (+10 GWh)
96 常州, 3 GWh, (+4 GWh)
97 珠海, 未知 GWh
98 驻马店, 未知 GWh

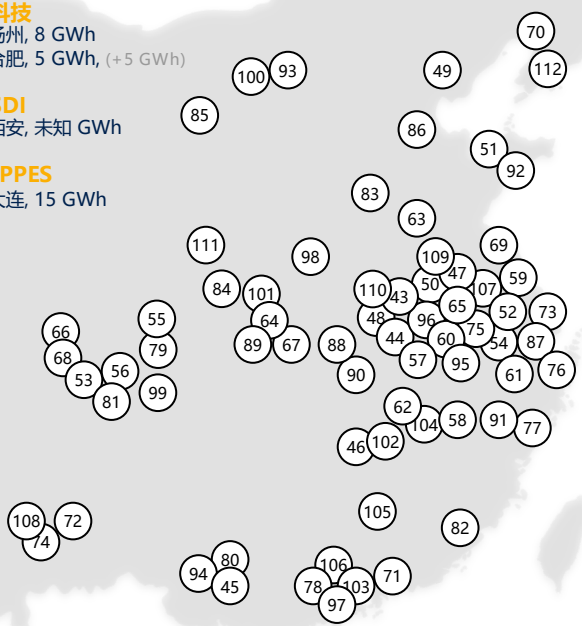
赣锋锂业
99 重庆, (+44 GWh)
100 呼和浩特, (+20 GWh)
101 襄阳, (+20 GWh)
102 新余, 13 GWh, (+6 GWh)
103 东莞, (+10 GWh)
104 南昌, (+10 GWh)

孚能科技
105 赣州, 37 GWh, (+12 GWh)
106 广州, 15 GWh, (+15 GWh)
107 镇江, 24 GWh
108 昆明, (+24 GWh)

派能科技
109 扬州, 8 GWh
110 合肥, 5 GWh, (+5 GWh)

三星SDI
111 西安, 未知 GWh

松下/PPES
112 大连, 15 GWh



如何阅读此地图
基本格式 = 当前容量 GWh, (+额外未来容量 GWh)

来源: New Energy Terminal

*total includes future & current capacities
**note: sodium-ion excluded

VOLTA FOUNDATION

超级工厂建设跟踪 - 5796 GWh 的产能 | 第 3 部分 共 3 部分

中国仍然主导电池行业，但由于产能过剩，新项目的进展已放缓。 像国轩高科和赣锋这样的公司通过确保上游供应链来缓解这一问题，而其他公司则转向能源存储以抵消疲软的EV电池市场。

多氟多
113 南宁, 5 GWh, (+20 GWh)
114 焦作, 11.5 GWh

吉利，耀宁
115 赣州，12 GWh，(+30 GWh)
116 衢州，24 GWh
117 唐山，(+24 GWh)
118 鹰潭，5 GWh，(+15 GWh)
119 宣城，15 GWh
120 盐城，6 GWh，(+6 GWh)
121 岳阳，(+12 GWh)
122 杭州，(+12 GWh)
123 重庆，(+12 GWh)
124 镇江，3 GWh，(+6 GWh)
125 上饶，3 GWh，(+3 GWh)

奇瑞
126 芜湖，6.25 GWh，(+20.75 GWh)

广汽 / 因湃电池
127 广州，12 GWh，(+24 GWh)

力神
128 滁州, 22 GWh, (+20 GWh)
129 天津, 4 GWh, (+26 GWh)
130 无锡, (+24 GWh)
131 青岛, 4 GWh, (+10 GWh)

德赛电池
132 长沙, 6 GWh, (+14 GWh)

天能集团
133 湖州, 9 GWh, (+17 GWh)
134 马鞍山, 3 GWh, (+17 GWh)

双登集团
135 襄阳, 2.8 GWh, (+7.2 GWh)
136 台州, 2 GWh, (+4 GWh)

天弋能源
137 芜湖, 4 GWh, (+11 GWh)

昆宇电源
138 滁州, (+20 GWh)
139 南通, (+12 GWh)
140 常德, 4.5 GWh, (+5.5 GWh)
141 东营, 2 GWh, (+4 GWh)
142 大理, 3 GWh, (+3 GWh)

海四达
143 长沙, (+30 GWh)
144 南通, 5.7 GWh, (+4 GWh)
145 珠海, (+6 GWh)

远航锦锂
146 盐城, 5 GWh, (+10 GWh)

圣阳股份
147 泰安, 2 GWh, (+2 GWh)

利维能
148 滁州, 4 GWh, (+6 GWh)

星恒电源
149 滁州, 5.6 GWh, (+4 GWh)
150 苏州, 2.2 GWh

中比新能源
151 南京, 2 GWh, (+18 GWh)
152 大连, 1 GWh, (+1 GWh)
153 商丘, 0.5 GWh

比克
154 郑州, 4.5 GWh, (+30 GWh)
155 福州, 2 GWh, (+11.5 GWh)
156 深圳, 3.5 GWh

珠海冠宇
157 德阳, (+25 GWh)
158 重庆, (+15 GWh)
159 嘉兴, 2.5 GWh, (+10 GWh)

埃克森新能源
160 绵阳, 6 GWh, (+12 GWh)
161 盐城, (+18 GWh)
162 珠海, (+18 GWh)
163 大理, (+18 GWh)

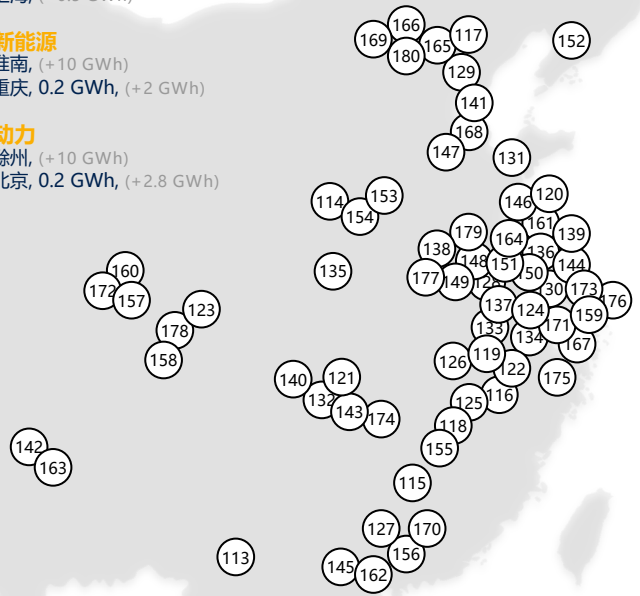
荣盛盟固利
164 南京, (+30 GWh)
165 天津, 6.3 GWh, (+9.2 GWh)
166 北京, 0.5 GWh

卫蓝新能源
167 湖州, 2 GWh, (+20 GWh)
168 淄博, 6 GWh, (+14 GWh)
169 北京, (+8 GWh)
170 深圳, (+0.6 GWh)
171 常州, 0.2 GWh

清陶
172 成都, (+15 GWh)
173 苏州, 0.7 GWh, (+10 GWh)
174 宜春, 1 GWh
175 台州, (+0.5 GWh)
176 上海, (+0.5 GWh)

太蓝新能源
177 淮南, (+10 GWh)
178 重庆, 0.2 GWh, (+2 GWh)

恩力动力
179 滁州, (+10 GWh)
180 北京, 0.2 GWh, (+2.8 GWh)



如何阅读此地图
基本格式 = 当前容量 GWh, (+额外未来容量 GWh)

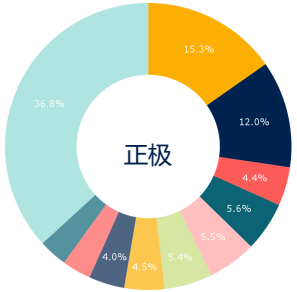
来源: New Energy Terminal

*total includes future & current capacities
**note: sodium-ion excluded

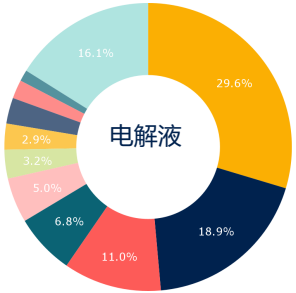
VF | VOLTA FOUNDATION

材料供应商 - 市场份额细分

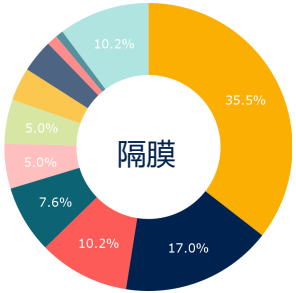
2024年数据



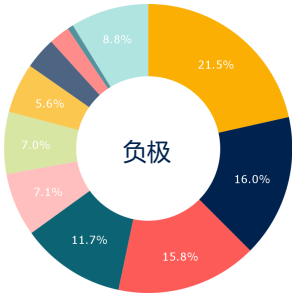
- 湖南裕能（LFP）
- 德方纳米（NCM）
- 湖北万润
- ECOPRO
- 容百锂电
- 龙蟠科技
- 厦钨
- 荣辉
- 比亚迪
- 天津巴莫
- 其他



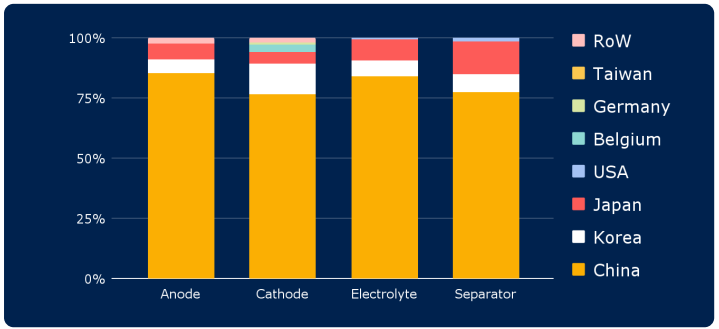
- 天赐
- 新宙邦
- 国泰华荣
- 比亚迪电池
- 三菱化学
- 恩智浦
- 中央硝子
- 东莞杉杉
- Soulbrain
- 东华Etec
- 其他



- 恩捷股份
- 星源材质
- 中锂新材料
- SKIET
- 旭化成
- 明珠
- 东丽
- W-Scope
- Celgard
- 珠海冠宇
- 其他



- BTR新能源
- 凯金
- 紫宸
- 杉杉集团
- 翔丰华
- 中科星城
- 浦项
- 昭和电工
- 三菱化学
- 斯诺
- 其他



活性材料市场份额

中国继续主导活性材料市场。正极行业比其他行业更为拥挤，拥有许多小型参与者。

来源: Fraunhofer ISI - Tim Wicke, Researcher

主要设备制造商 - 美国

工艺区域	Ross	Delta ModTech	Owens	DURR	Wirtz	BW	Digatron	Coesia	Comau	Mpac	Convergix	GROB	PEC
合浆	✓			✓	✓								
涂布		✓	✓	✓	✓	✓							
辊压		✓	✓	✓	✓	✓							
分切		✓	✓	✓	✓	✓							
堆叠		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
卷绕						✓	✓	✓		✓		✓	
入壳		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
注液				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓
化成							✓	✓	✓				✓
脱气							✓		✓				✓
老化							✓	✓	✓				✓
测试 / 分级							✓		✓	✓	✓	✓	✓

来源：Ross, Wirtz Manufacturing, DURR, barryWehmiller, Delta ModTech, Owens Design, Convergix, Comau, Mpac, GROB, Coesia, PEC Corp, Digatron Systems - 非详尽列表

*美国子公司 - 在美国制造

主要设备制造商 - 韩国

工艺区域	TSI	CIS	KGA	PNT	mPlus	ETS	Cowin/Top	Hanwha	Hana	Wonik	DA Tech	MOT	SNF
合浆	✓					✓	✓						
涂布		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
辊压		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
分切		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
堆叠					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
卷绕				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
入壳					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
注液					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
化成							✓	✓	✓	✓	✓		
脱气					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
老化							✓	✓	✓	✓			
测试 / 分级							✓	✓	✓	✓	✓		

Sources: TSI, CIS, KGA, PNT, mPlus, ETS, Cowin Tech Top Material, Hanwha Momentum, Hana Technology, WonikPNE, DA Technology, MOT, SNE - Non exhaustive list

主要设备制造商 - 中国

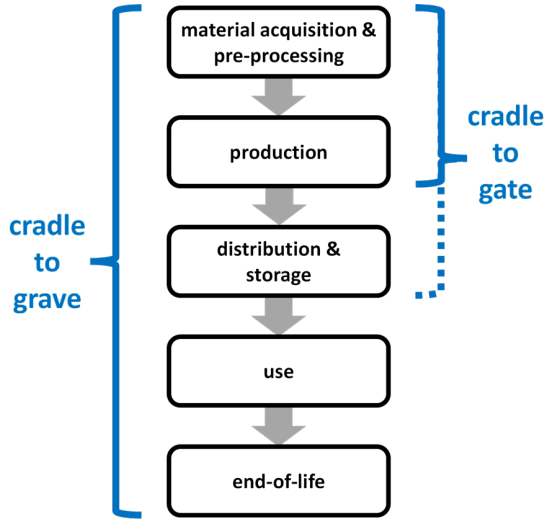
工艺区域	理奇	宏工	软控	GMK	尚水	赢合	利元亨	先导	嘉拓	海目星	博众	航科	恒翼能
合浆	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
涂布			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
辊压			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
分切			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
堆叠						✓	✓	✓	✓		✓		
卷绕						✓	✓	✓	✓	✓			
入壳						✓	✓	✓	✓	✓	✓		
注液						✓	✓	✓	✓	✓	✓		
化成							✓	✓	✓			✓	✓
脱气							✓	✓				✓	✓
老化							✓	✓				✓	✓
测试 / 分级							✓	✓	✓			✓	✓

Sources: AutoRich, Ongoal Technology, Mesnac, GMK, Shangshui, Yinghe Technology, Lyric, LEAD, KATOP, Hymson, Bozhon, Hangke Tech, HYNN - Non exhaustive list

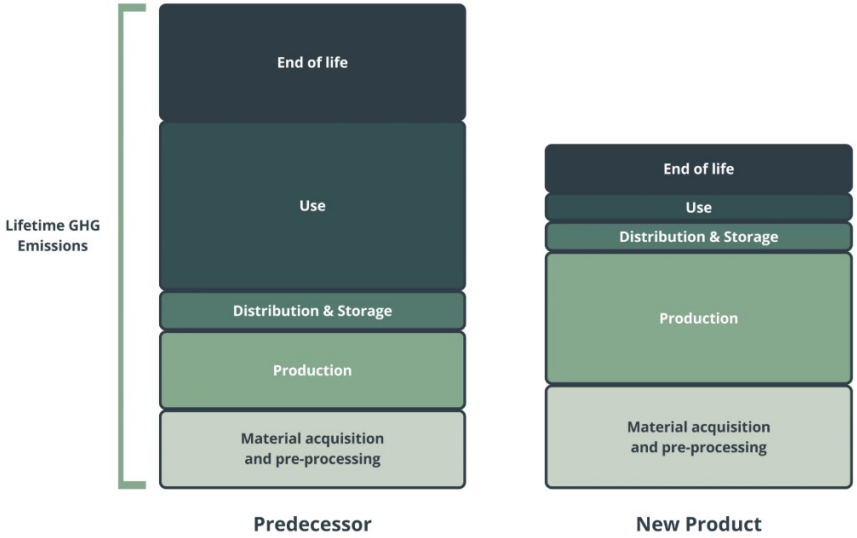
VOLTA FOUNDATION

如今整个电池价值链必须了解其碳足迹（GWP）

即使是小型私人公司也必须了解其GWP，以便能够 响应客户的信息请求



范围1-3（正式，ISO 14040）



范围4 - 避免的排放（非正式）

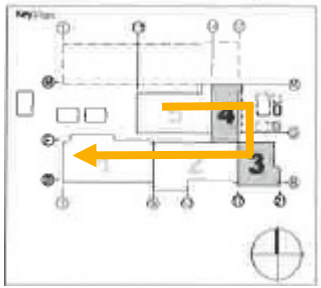
来源: GHG Institute (Scope 1-3, Scope 4)

制造足迹的演变

LGES在密歇根州荷兰市的案例研究

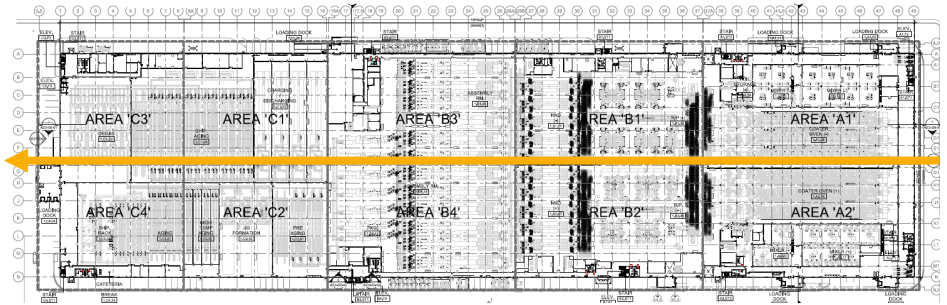
在早期的超级工厂中，通常使用多转角的工厂设计以节省空间，但在当前的生产环境中，使用线性设计以提高效率和可扩展性

启动 (<10 GWh)



临时设计 - 多转角物流路径
委托： 2011
5 GWh

规模 (>10 GWh)

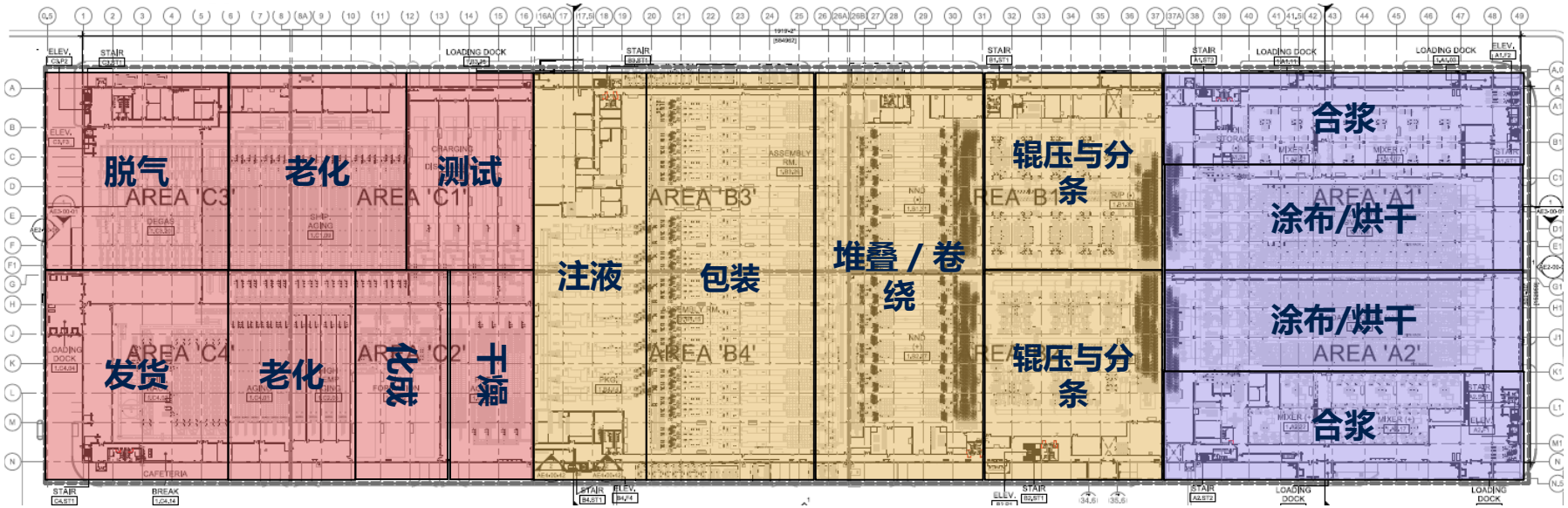


模块化设计 - 简化的物料流
委托： 2024
20 GWh

来源: City of Holland, Michigan, USA

VF | VOLTA FOUNDATION

制造过程组 - 先进的 20 GWh 软包生产线



- 目前使用的许多模型和制造指标基于早期的 ‘GWh规模’ 工厂，使用过时的估算
- 请查看当前一代基于 LGES 设施（先进的）的设施指标

来源: City of Holland, Michigan, USA

VF | VOLTA FOUNDATION

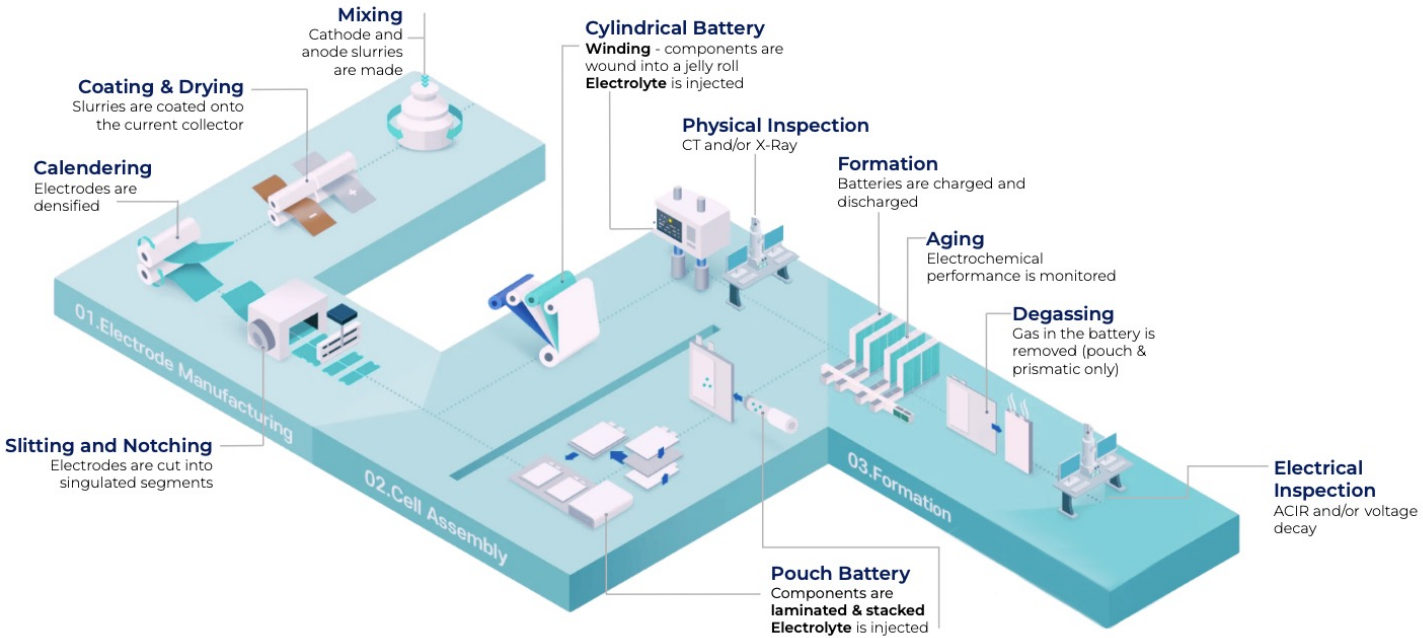
设施指标 - 20 GWh 软包电池，美国 - 1,919’ X 502’ = 963,338 平方英尺

工艺区域	面积 (平方英尺)	面积/GWh (平方英尺)	面积 %	温度	露点	洁净室等级
合浆	96334	4817	10%	22 +/- 2°C	/	ISO 8
涂布	134867	6743	14%	22 +/- 2°C	半干燥 5 到 -5°C	ISO 7
辊压	48167	2408	5%	22 +/- 2°C	半干燥 5 到 -5°C	ISO 7 - ISO 8
分条	48167	2408	5%	22 +/- 2°C	半干燥 5 到 -5°C	ISO 7 - ISO 8
堆叠/卷绕	115601	5780	12%	22 +/- 2°C	干燥 -40 到 -50°C	最低 ISO 7
包装	115601	5780	12%	22 +/- 2°C	干燥 -40 到 -50°C	最低 ISO 7
注液	96334	4817	10%	22 +/- 2°C	额外干燥 -50 到 -70°C	最低 ISO 7
化成	38534	1927	4%	22 +/- 3°C	/	/
脱气	48167	2408	5%	22 +/- 3°C	/	/
老化	125234	6262	13%	22 +/- 3 (HT 30-50)°C	/	/
测试 / 分级 / 发货	96334	4817	10%	22 +/- 3°C	/	/

来源: VDMA , City of Holland (LGES)

VF | VOLTA FOUNDATION

制造流程图 - 概述



*Graphics courtesy of LG Energy Solution. Reproduced with permission.

来源: LG Energy; VDMA; Faraday Institution; Mastering Ramp-up of Battery Production, Fraunhofer

电池容量

方形：1-200+ Ah
软包：1-100+ Ah
21700：3-6 Ah
4680：15-25 Ah

资本支出

$55-127百万/GWh

人力/ GWh

每 GWh 创造 175 个工作岗位

废料 （增加）

15-30%
废料仍然是关键问题，主要由于电极生产和缺乏培训

有关提高产量和减少废料的解决方案，请参见软件解决方案和质量保证/质量控制硬件解决方案

VOLTA FOUNDATION

制造过程图 - 1. 电极生产

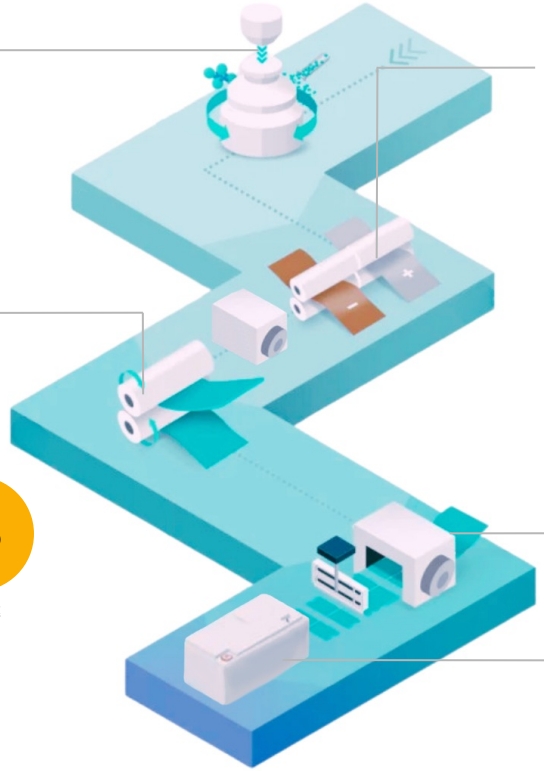
挑战
浆料质量（分散不均）

合浆 浆料是通过混合活性材料、粘合剂和溶剂制成的这三者之间的不同组合对涂布和干燥有很大影响

挑战
电极篇废料；材料的物理损伤

压延
电极被致密化到目标值

在这里，确定电极质量和密度是很重要的



涂布与干燥

电极浆料被涂布到当前集流体上，54%电极生产成本所有其他工艺步骤都依赖于此步骤的质量。

挑战
加工时间；利用率损失；难以测量质量并获取质量指标

切割与缺口处理

电极被切割成单个段未涂布区域被切割出去留下将要接地的部分

挑战
边缘质量（常发生毛刺缺陷 - 危险），难以快速检查；工具磨损；任何工艺中最低的OEE，因为难以自动化

真空干燥

去除剩余溶剂

挑战
加工时间；占地面积；需要12-24小时

39%
总制造成本的

50-80 米/分钟
袋式薄膜速度

20-30 米/分钟
圆柱形薄膜速度

5%
废料率

*图形由LG能源解决方案提供。经许可转载。

来源：LG能源；BCG

VOLTA FOUNDATION

干电极技术 - 制造部署与合作伙伴关系的时间线

在2024年，干电极技术的势头迅速增长，既有成熟的行业巨头，也有雄心勃勃的新兴企业推动下一代电池创新的边界。 从大规模试点生产线到大胆投资、新伙伴关系和突破性产品发布，这一年绝不平静——为重新定义锂离子生产的未来奠定了基础，展开了一场激烈的竞争。

2024年7月
LG能源解决方案计划在今年年底之前完成其干电极工艺的试点生产线，并在2028年前实现系列生产。



2024年8月
特斯拉生产了一辆配备内部干式正极和干式负极4680电池的Cybertruck——使其成为一款全干电极车辆。



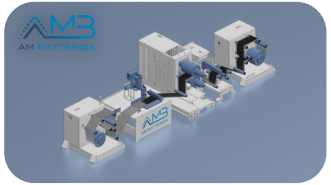
2024年9月
三星SDI在天安工厂完成了“干式电动车生产线”，这是干电极技术的试点生产线，并开始试点生产。



2024年10月
Anaphite在A轮融资中筹集了1370万美元，以商业化其干电池电极材料制备工艺。



2024年12月
AM Batteries Inc.获得了来自芝浦机械株式会社（前身为东芝机械）的投资，以扩大电极生产的干喷涂工艺。



注意：非详尽

来源：韩国先驱, Autoevolution, 三星SDI, Anaphite, AM Batteries

VOLTA FOUNDATION

制造过程图 - 2. 电池组装 - 软包电池

挑战
角落开裂

软包成型

通过压制薄膜来制作外壳

20%
总制造成本的

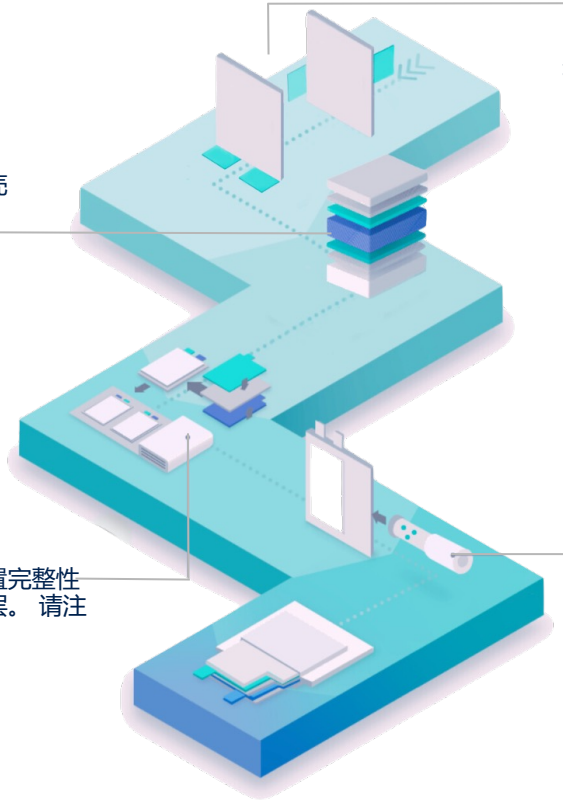
2-20 件/分钟
速度

5%
废料率

挑战
负极和正极片的定位精度（对齐）；速度（影响定位）

层压 & 堆叠/缠绕

层压：层压层以保持位置完整性
堆叠：堆叠电极和隔离层。 请注意卷袋式电池也存在。



标签焊接

标签通过超声波焊接到卷芯上

挑战
箔损伤；涂层附着力

电解液注入

通过计量分配将电解液填充到电极口袋 中

挑战
电池中电解液的投放和分配精度；密封缝中无电解液残留；密封完整性

*图形由LG能源解决方案提供。经许可转载。

来源：LG能源; BCG; RWTH PEM

VF | VOLTA FOUNDATION

制造过程图 - 2. 电池组装 - 圆柱电池

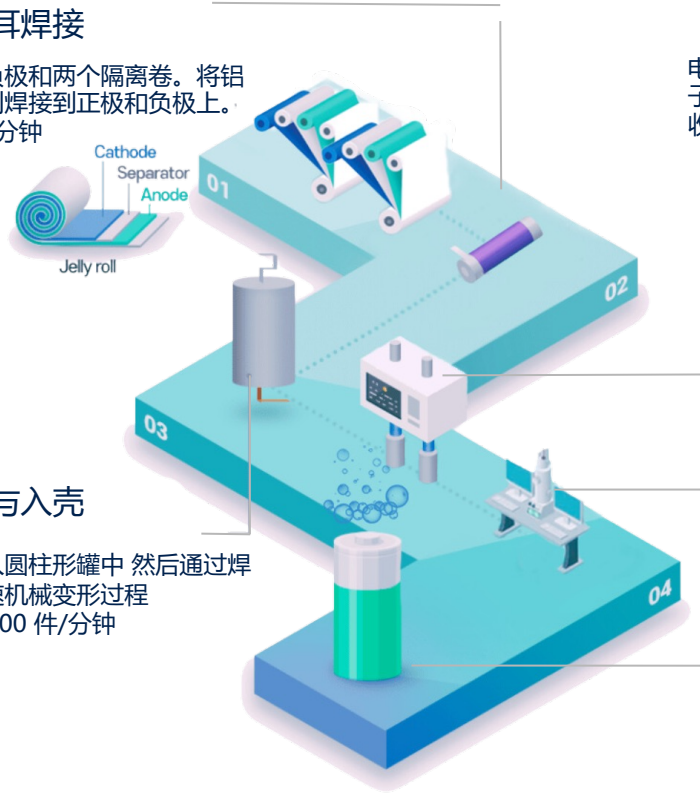
挑战
负极、正极、隔膜对齐；制带、贴带、切割精度；焊接质量（可能引发安全问题）

20%
总制造成本的

5%
废料率

卷绕与极耳焊接

绕制正极、负极和两个隔离卷。将铝和铜极耳分别焊接到正极和负极上。
速度：30件/分钟



挑战
金属污染

制带成型与入壳

极片卷被放入圆柱形罐中 然后通过焊接固定。高速机械变形过程
速度：300-600 件/分钟

电解液注入

电解液被注入真空罐中。罐子被加压以加速电解液的吸收然后密封

挑战
由于密度导致的电解液吸收；电解液的聚集

物理检查

通过CT和/或X射线，分析电芯以检测潜在缺陷。

挑战
分析速度不允许实时分析

脱气/预充电

可选过程以去除气体

挑战
废气处理
在密封和折叠步骤中避免残留气体

*图形由LG能源解决方案提供。经许可转载。

来源：LG能源; BCG; RWTH PEM

VF | VOLTA FOUNDATION

制造过程图 - 2. 电池组装 - 方壳电池

挑战
负极、正极、隔膜对齐

Z-叠片
绕制正极、负极和两个隔膜卷。 将铝和铜接线分别焊接到正极和负极上。
速度：30件/分钟

挑战
吞吐量

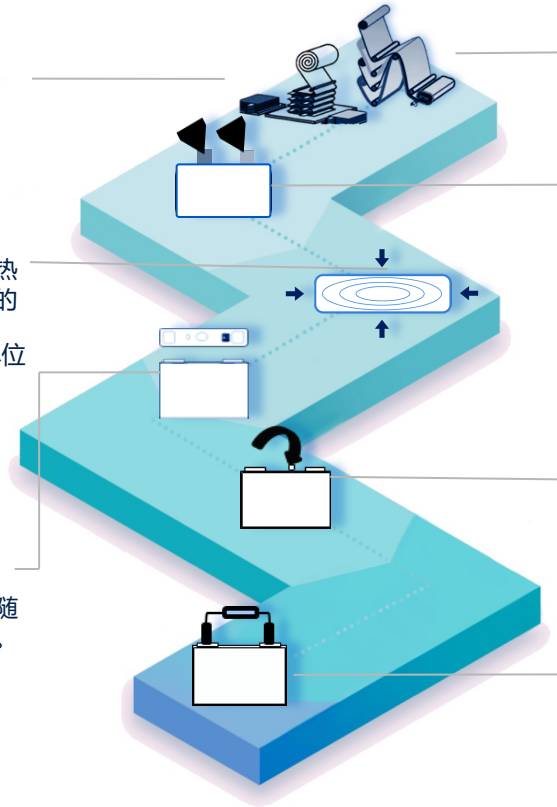
热压
热压机的工作原理是通过施加热量和压力来实现电池组件之间的强大和可靠的结合。
速度（停留时间）：>10秒/单位

20%
总制造成本的

5%
废料率

挑战
盖与罐对齐，错过的激光焊接点

盖与罐焊接
罐与盖的点焊由激光源完成，随后进行盖与罐的完整激光焊接。



卷绕方型
通过控制速度、张力等将切割的正极、负极和隔膜一起卷绕。
速度：30件/分钟

挑战
不均匀应力、毛刺问题和粉末损失

预焊接与修整
正极和负极接线对齐并进行超声波焊接。
速度：18-20个零件/分钟

挑战
负极和正极接线对齐

电解液注入
电解液被注入真空罐中。罐被加压以加速电解液的吸收，然后密封。

挑战
由于密度导致的电解液吸收；电解液的聚集

预充电与成型
在填充后进行预充电，并将电池保持在室温老化，然后进行成型和分级过程

挑战
产量和质量

*图形由LG能源解决方案提供。经许可转载。

来源：宁德时代，亚琛工业大学PEM

叠片与卷绕

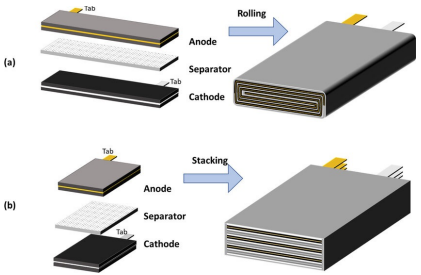
这两种技术有什么不同?

叠片涉及将电极和分隔器叠片成精确的层，层层叠加形成一个平坦的电池。 这些可以是分开的切割层或一个连续的电极。 该过程实现了高能量密度和精确的结构稳定性，使其非常适合需要紧凑的高性能电池的应用，如电动汽车 (EVs) 和航空航天系统。

卷绕，或称为果冻卷过程，涉及将电极和隔离层卷成圆柱形或方型结构。 由于其速度和可扩展性，广泛应用于消费电子和电动工具的大规模生产。

最近的创新包括混合技术，如层压卷绕和Z叠片，结合了叠片和卷绕，以优化能量密度，同时保持制造效率。

叠片过程中的自动化也提高了生产速度，缩小了与卷绕技术之间的差距。



a) 卷绕；b) 叠片

	优点	弱点	机遇	威胁	应用
叠片	由于较低的内阻，具有更高的能量密度和热管理能力。不易膨胀和核心崩溃。 可定制 以适应独特的形状因素，如电动车和航空航天。 改进包装效率 以适应矩形模块，最大化电池组中的体积利用率。	由于精确的层对齐和索引运动，生产速度较慢。 由于复杂的制造设备，成本较高。 在大规模生产中可扩展性有限。由于需要额外切割，可能出现故障（毛刺、分层等）。	对电动汽车和固定式能源存储系统的需求上升，突显了叠片的高密度优势。 自动化和机器人技术的进步使叠片变得更具成本竞争力。	竞争技术，如混合叠片绕组技术，可能会降低其在精度方面的独特性。 与绕组相比，有限的可扩展性可能会阻碍其在大众市场的采用。	增长最快的解决方案，像比亚迪（刀片电池）和苹果正在采用它用于高C率应用（由于较低的内阻）
卷绕	成熟、成熟的技术，具有较低的生产成本。 高生产速度和可扩展性，适合大规模生产。	由于卷层边缘的空隙，能量密度略低。 由于卷绕后的形状影响，方壳电池的系统利用率较低。 在高放电率下容易出现局部热点。	乘用车和商用电动汽车以及消费电子产品的低成本受欢迎程度支持了增长。热管理解决方案的创新，例如关闭分隔器，可能解决热散发的局限性。	新兴电池格式，如固态电池，可能需要新的制造范式。	最稳定的技术，像宁德时代和特斯拉这样的公司以及商业高产量制造商广泛利用这种技术，因为它具有可扩展性和较低的成本。

来源：Tycorun，Bonnen Batteries，评估锂离子软包电池的制造质量

VF | VOLTA FOUNDATION

制造过程图 - 3. 化成

挑战
由于所需时间长导致的低通量；火灾（大多数工厂火灾发生在这里）

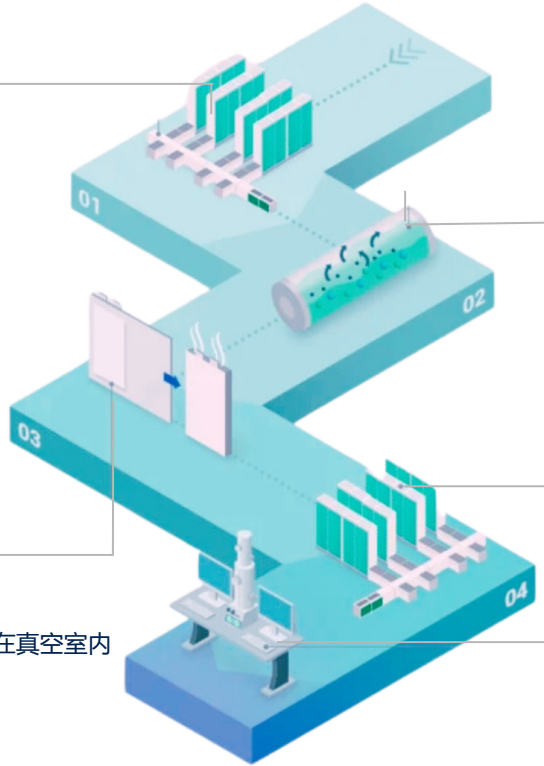
充电与放电

电化学激活。
SEI在负极上形成

41%
总制造成本的

5-25天
时间

9%
废料率



老化

电池在一致的温度和湿度下存储以允许潜在污染的腐蚀机制

挑战
处理时间，通量；
工厂占地面积

充电， 放电与老化

前面的过程会重复进行

挑战
吞吐量

质量 控制

生产线末端检查 - 容量、电阻、电压等，以及外观

挑战
外观和容量的变化；
产量

挑战
电池内部的残余气体；密封质量；通量（大量额外的资本支出）

排气

仅限软包。
老化过程中形成的气体在真空室内被切断 (牺牲气体袋)。

*图形由LG能源解决方案提供。经许可转载。

来源：LG能源; BCG; RWTH PEM

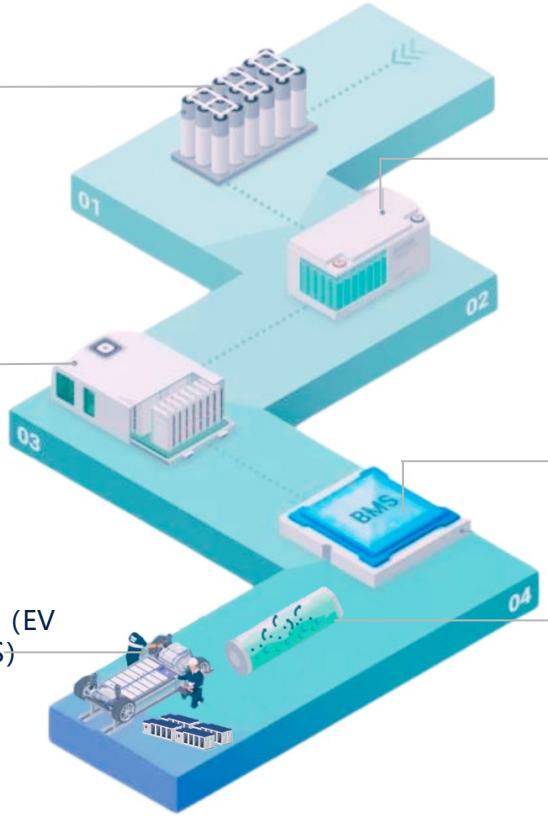
VF | VOLTA FOUNDATION

制造过程图 - 4. 电池包组装

挑战
表面清洁；焊接质量；电芯到电芯匹配

连接电芯

电芯在表面清洁后连接



模块化

电芯被附加到模块外壳上

挑战
确保电缆灵活性，电芯处理

挑战
由于放置造成的损坏（主要是软包电池）；由于模块的质量和尺寸需要大型机械，且在高电压下的安全性

电池包组装

模块被放入电池包中并连接

应用BMS

电池管理系统被应用于电池包

挑战
BMS的正确接线和集成

挑战
电池组与电动汽车或电池储能系统的其他组件的集成

最终集成

电池组随后用于电动汽车（EV）和电池储能系统（BESS）

最终测试

进行一系列电气测试，包括充放电循环，以确保最高质量

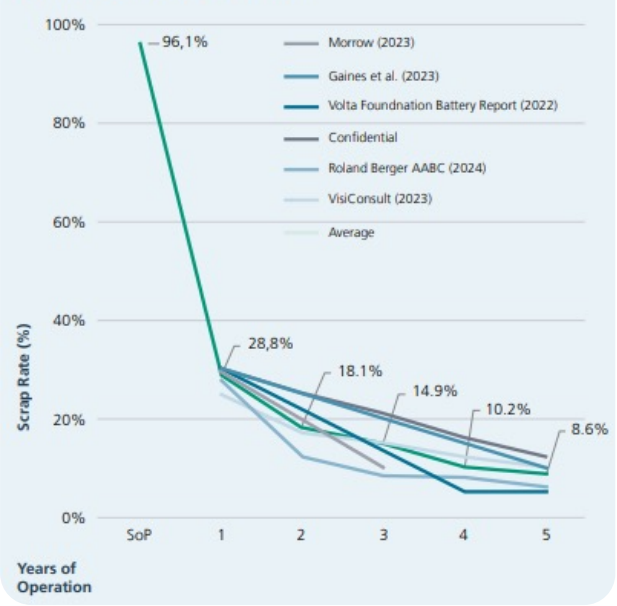
挑战
测试序列、结果和接受的限制因制造商而异，导致缺乏标准化

*图形由LG能源解决方案提供。经许可转载。

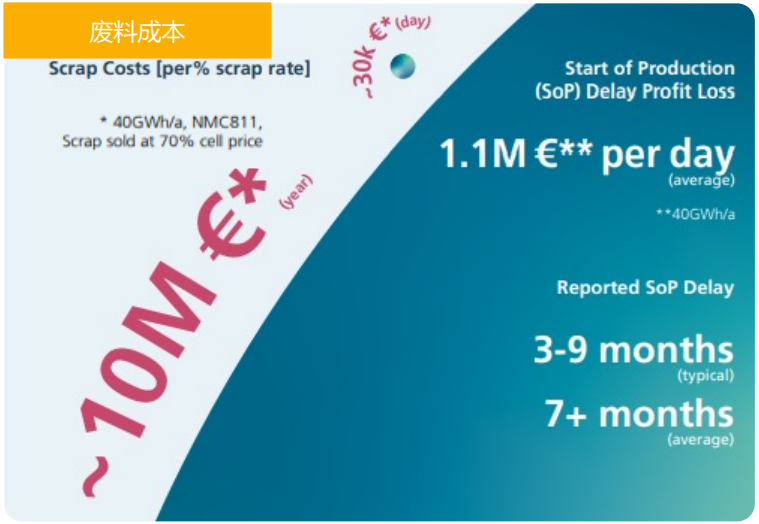
来源：LG能源; RWTH PEM

大规模生产具有挑战性 - 减少废料是与中国竞争的必要条件

运营多年中的废料率



废料成本



所有电池制造商都必须掌握出色的运营以匹配行业领导者宁德时代。现有的和正在开发的制造生产类的数据自动化收集和分析技术集应是主要解决方案。

来源：Mastering Ramp-up of Battery Production, Fraunhofer (Both Figures)

VF | VOLTA FOUNDATION

电芯制造问题 - 电极制造困难

电芯生产的每一步都面临挑战，但有些步骤，如涂布、干燥和分切则存在显著更高的缺陷风险。 该热图展示了这些关键区域，突出了它们的缺陷可能性。

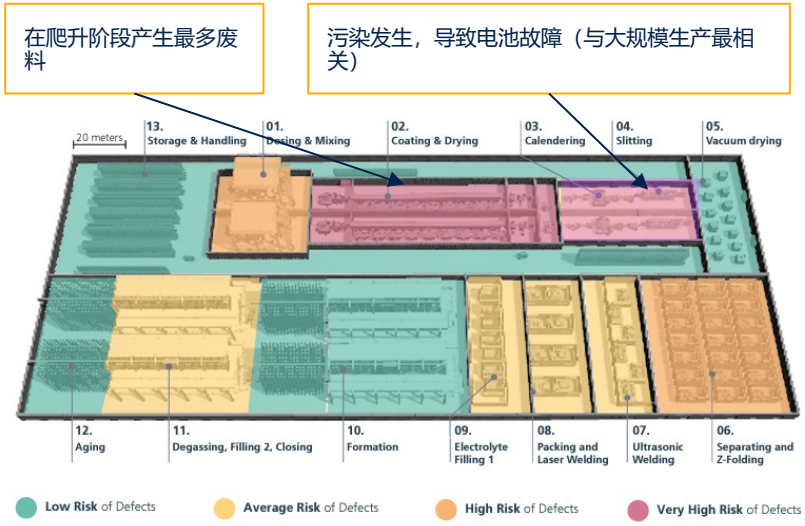
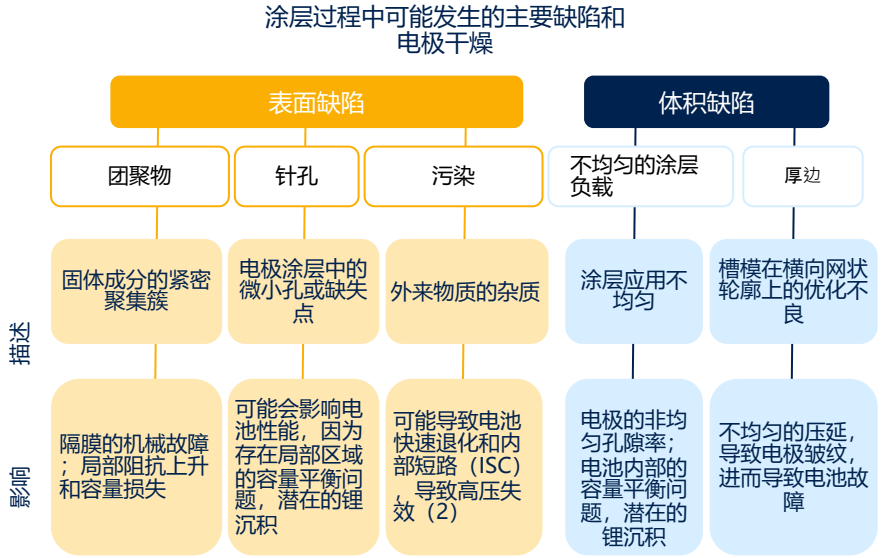


Figure 6 Layout of a typical, modular battery cell production line (7-10 GWh/a) and their risk level for defects. A battery cell factory has multiple of such modules/lines.



来源：Mastering Ramp-up of Battery Production, Fraunhofer (Both Figures but with internal edits*); (2) High-Potential Failure Analysis, Sotto; Detecting the foreign matter defect in lithium-ion batteries[...], Pan et al.

VF | VOLTA FOUNDATION

在质量保证/质量控制中的投资：- 在工业4.0时代的硬件和软件可提高爬升和产量

工业4.0是“制造业数字化的下一个阶段”，由技术、数据和连接性的进步驱动。 其变革潜力在于整合尖端工具和系统以创造更智能、更高效的生产环境。 以下是受工业4.0影响的几个关键制造质量保证/质量控制领域，每个制造商都应考虑：

先进技术和硬件：

传感器和硬件现在被设计得更加紧凑、准确和可靠，使得更广泛、更快速的数据收集具有更高的精度。

机器学习和自主决策：

人工智能/机器学习正在推动令人难以置信的检测设备和软件的发展，这些设备和软件利用预测分析来自动化决策，提高产量和质量。

智能和在线设备：

物联网（IoT）使得实时数据收集、集成和监控成为可能。 它还允许适应性（例如重新校准）。

可追溯性：

先进的设备和软件使得生产线上的可追溯性成为可能， 这是加速产能提升和通过早期识别缺陷和良率问题来减少废料的关键。

一切都是相互关联的。每个过程步骤都会影响下一个。集成和可追溯性是关键。



其他先进行业如半导体已经接受了这一转变，投资数十亿用于质量保证/质量控制和先进分析。

来源：工业4.0的崛起及其对计量学的影响, 什么是工业4.0、第四次工业革命和4IR?

VF | VOLTA FOUNDATION

一些核心在线测量以跟踪质量 - 按工具颜色编码



测量

- 箔片/电极厚度
- 涂层重量
- 外来颗粒
- 粘度

注意: 此列表并不详尽

- 电极厚度
- 皱纹检查

- 毛刺检查
- 尺寸测量

- 分层
- 对齐
- 极耳弯曲缺陷
- 极耳、胶带位置
- 焊接分析/缺陷
- HI-POT耐压测试

- 体焊接位置对齐
- 壳体压接轮廓, 直径
- 壳体边缘缺陷检测
- E-FILL 漏气检测
- 电解质质量

- 电压
- 压差
- 容量
- 交流内阻, 直流内阻

- 收缩包装检查
- 壳体表面检查
- 外观缺陷
- 尺寸测量

使用的典型工具

工具类型

- 光学
- 粘度计
- 泄漏检测器 (通常为氦气)
- 激光扫描仪
- 电气安全测试仪
- 精密天平
- CD设备
- X射线/CT

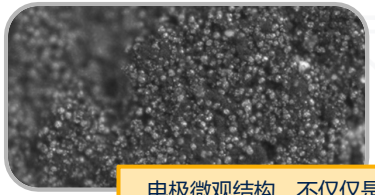
注意：仅列出主要使用的工具

来源：对多个工具供应商的研究和制造专家的见解

VOLTA FOUNDATION

QA/QC技术 - 高分辨率电极在线检测

过去，电极形态在研发中至关重要。但在制造中却不然，主要是因为微米级在线检测几乎不可能。 现在，制造商正在认识到在线电极检测的重要性，因其对电池质量的影响，以及令人兴奋的解决方案正在进入市场。 让我们深入探讨这为何重要以及如何实现。



电极微观结构，不仅仅是漂亮的图片

特征是什么？

- **团聚**和**污染**
- **颗粒**大小、排列和**均匀性**
- **表面粗糙度**
- 电极结构中的空隙
- **缺陷进展**（裂纹、断裂）

捕捉它们为什么重要？

污染：导致电池快速退化和内部短路（ISC），导致电池故障。

团聚：导致涂层中的缺陷，导致废料。

较大颗粒：实现均匀锂沉积，减少枝晶形成 → **提高安全性。**

颗粒排列：有助于离子和电子通道，提高曲折度。

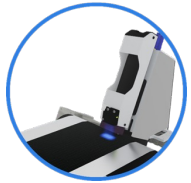
均匀颗粒大小：提升能量/功率密度；非均匀性导致应力、裂纹和退化。

缺陷和空隙：增加电阻，削弱结构→ 降低效率和长期性能。

请阅读下面链接的论文以了解更多信息

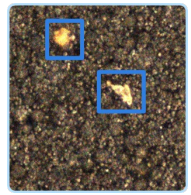
这是如何完成的？ - 示例方法

光学硬件



- 1-3微米分辨率
- 可以以胶卷速度运行
- 每秒拍摄50张以上的图像
- 照明系统以实现三向观察

AI/ML引擎



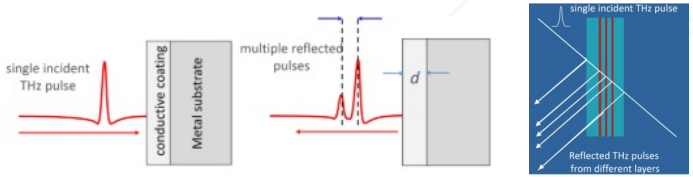
- 即时图像处理
- 识别并测量每个图像特征

提供者示例：PDF SOLUTIONS

来源：PDF Solutions, High-Potential Failure Analysis, Sotto; Detecting the foreign matter defect in lithium-ion batteries[...], Pan et al.; The Impact of Li Grain Size on Coulombic Efficiency in Li Batteries, Mehdi et al.; Particle size and zeta potential of electrode materials: better characterization, better performance, Anton Paar; Balancing particle properties for practical lithium-ion batteries, Zhang et al.; Effect of the grain arrangements on the thermal stability of polycrystalline nickel-rich lithium-based battery cathodes, Hou; Identifying the Origins of Microstructural Defects Such as Cracking within Ni-Rich NMC811 Cathode Particles for Lithium-Ion Batteries, Heenan et al.; The influence of void space on ion transport in a composite cathode for all-solid-state batteries, Hlushkou et al.; Probing the particle size dependence of nonhomogeneous degradation in nickel-rich cathodes for high-energy lithium-ion batteries, Song et al.

QA/QC技术 - 太赫兹

迄今为止，没有传感器技术能够在在线涂层过程中同时、准确且快速地测量涂层密度、涂层厚度和导电性。 太赫兹传感器提供了一种解决方案，可以在一次测量中提供密度、厚度和导电性，允许实时反馈和控制。



特征是什么?

- 涂层的密度
- 涂层的厚度
- 涂层的导电性
- 电磁波长 1 mm 到 100 μm
- 目前在美国电池制造商处部署

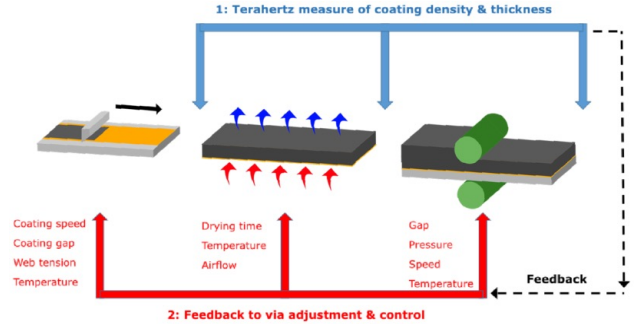
捕捉它们为什么重要?

涂层的密度：每单位面积的活性材料质量决定了电极的最终容量，尽管较高的涂层重量有助于提高能量密度，但通常也会降低功率密度。

涂层的厚度：确保生产过程中涂层厚度的均匀性是大规模生产中最大的挑战之一。 较厚的电极含有更多的活性材料，增加了能量密度，但也具有更大的扩散距离，降低了功率输出，并可能导致电极响应不均匀，从而加速降解。

涂层的导电性: 高导电性提高了在更高放电率下的容量，使电池在给定时间内提取更多能量。

如何做到的? - 示例方法



提供商示例: LUNA

来源: Teraview

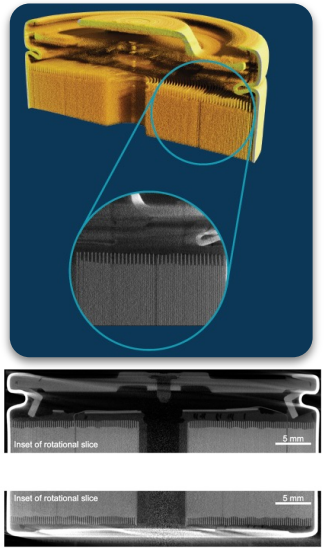
VOLTA FOUNDATION

质量保证/质量控制技术 - CT扫描正在改变电池制造

计算机断层扫描（CT扫描）使用X射线创建电池组件的详细3D图像。 样本在旋转的同时，X射线穿过它，捕获多个2D投影。 这些投影被重建为完整的3D模型，以便进行内部分析。

与传统的2D检查不同，CT提供了电芯的完整体积数据。

	Non-destructive	Scalable to ≤10s/cell	Full cell inspection	Spatially resolved	Resolution of ≤50 µm
Cycling & Storage	✗	✗	✓	✗	
Ultra High Precision Coulometry (UHPC)	✗	✗	✓	✗	
Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)	✓	✗	✓	✗	
OCV decay during formation	✓	✗	✓	✗	
High Potential testing (HiPot)	✓	✓	✓	✗	
Dissection	✗	✗	✓	✓	✓
Cross section	✗	✗	✗	✓	✓
In-line vision	✓	✓	✗	✓	✓
Acoustics	✓	✓	✓	✓	✗
2D X-ray imaging	✓	✓	✗	✓	✓
3D X-ray imaging (CT scanning)	✓	✓	✓	✓	✓



新兴CT技术：更快的扫描电池的CT检查必须与电池生产的高通量相匹配。 在2024年，新的技术应运而生，使用AI支持的重建算法、快速探测器或高亮度X射线源。

全电池在线扫描

由于扫描速度的提高，高速度的整体圆柱电池CT扫描已经被开发出来 - 其吞吐量接近全电池在线CT要求。

数据管理

随着扫描速度的提高，以及在线CT，极大的数据量将被生成（~50 GB/电池）。为了有效管理这些数据，需要强大的数据管理工具以便于数据访问、存储和共享。 作为回应，新的基于云的工具已经被开发出来以应对这些挑战。

提供电池CT的公司选择：

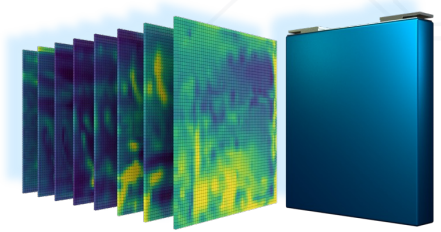
excillum, GLIMPSE, ROYMA, innometry, Waygate Technologies, ZEISS, Nikon, UNICOMP, EXACOM a viscom company, VCbattery, lumafield, TECHVALLEY

来源：Table from "Battery Quality Control via High throughput CT Scanning"

VOLTA FOUNDATION

QA/QC技术 - 高分辨率-高通量超声

超声波已成为电池检测中一种有前景的无损检测方法。 材料特性、密度和孔隙率等因素影响超声波与电池材料的相互作用。 在锂离子电池中，波传播可以使用比奥理论（Biot's theory）描述，该理论适用于饱和流体的多孔介质或电极涂层的浆料模型。



特征是什么？

- 在线高体素计数成像
- 软件启用计量
- 软件启用电气测试（SoC）
- 通常在1-10 MHz之间的频率下运行
- 目前已在美国和欧盟电池制造商处部署

为什么这很重要

捕捉它们？

厚度和密度测量：测量电极厚度和均匀性，以保持一致的性能。

电解液分布分析：评估电解液的均匀分布，这对电池效率至关重要。

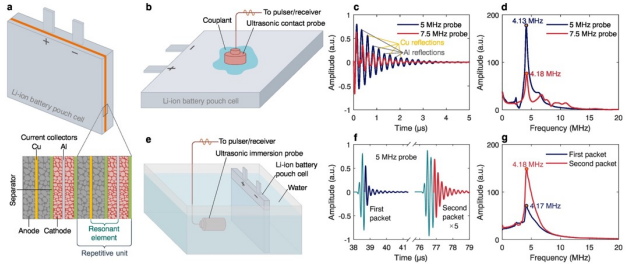
对各种电池化学的适应性：与锂离子、固态和其他新兴电池技术兼容。

质量控制：确保组件的正确对齐并验证制造精度。

数据集成：提供用于过程优化的数据，并反馈到制造系统中。

缺陷和空洞：增加电阻，削弱结构 → **降低效率和长期性能。**

这是如何完成的？ - 示例方法



提供商示例：

TITAN ADVANCED ENERGY SOLUTIONS

liminal

来源：Imperial College London, Liminal Insights, Titan Advanced Energy Solutions


WHERE SAFETY
EFFICIENCY
AND QUALITY
COME TOGETHER
Accelerate your journey to high-volume production with scalable technology: closed-loop control, connected quality management and a manufacturing execution system designed for the battery industry.
Honeywell
LEARN MORE

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

应用概述

电动汽车

全球电动汽车需求保持稳定。 增长率有所放缓，但这并未影响所有市场和公司。

为了适应汽车行业的这一前所未有的变化，汽车制造商正在优先考虑经济实惠且具有竞争力的车辆。

电动汽车（BEV）电池正趋向于更大尺寸和方形铝壳结构。

汽车制造商正在加速推进无模组电池包技术的计划。

锂电池储能系统

电池储能系统（BESS）的市场正在蓬勃发展，其装机量占电池应用总量的比重持续攀升。

快速下降的成本，加上政策和技术创新，推动了锂电池储能系统的日益普及，其中电网测装机量为主要的应用领域。

电网规模的锂电池在在储能系统领域处于领先地位，但其他储能领域如住宅、商业与工业（C&I）、虚拟电厂（VPP）、车对电网（V2G）和长期储能（LDES）等新兴领域也在快速创新。

行业安全技术持续迭代，但仍面临储能系统标准滞后与公众认知挑战。

其他新兴市场

航空公司采用高端锂离子电池技术，已接近市场规模化应用。

越野电动车、轻型电动车、卡车、船舶电池等新兴市场涌现新的利润增长点。

尽管电动自行车销量主导微型出行市场，但解决火灾风险和安全标准是行业优先事项。

人工智能数据中心对锂电池需求激增，支撑可再生能源并网、不间断电源、负载均衡及电能质量调控和其他多元服务。

VOLTA FOUNDATION

电动车电池生产 - 里程碑与联盟

一月

投资 用于开发钠离子电池技术

三月

协议 促进长寿命电池的研究，用于电力交换站

五月

合作 支持现代汽车在中国的合作伙伴关系

七月

协议 向Ampere供应39 GWh LFP软包电池

八月

三星与通用合资在美国生产电动汽车

九月

在日本合资建立新电池生产工厂

十月

合资企业为福特商用电动车供应109 GWh电池

十一月

五年协议 供应67 GWh的4695电池

十二月

合资企业 在西班牙建设LFP电池厂（规划产能50GWh）

延长 14年合作关系 开发方形铝壳电池

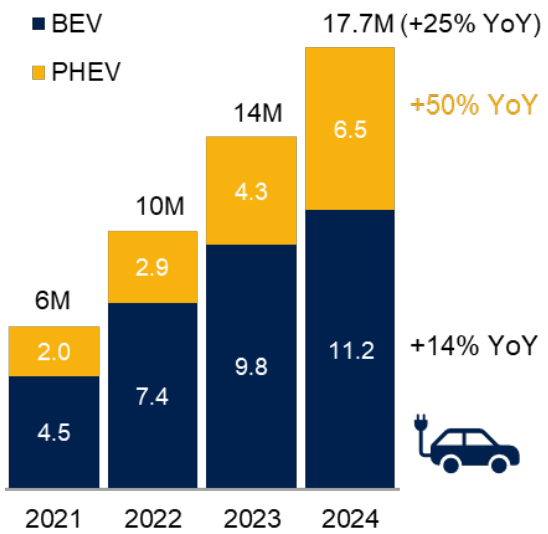
合资企业 开发用于电动车的锂硫电池

来源：上述新闻文章

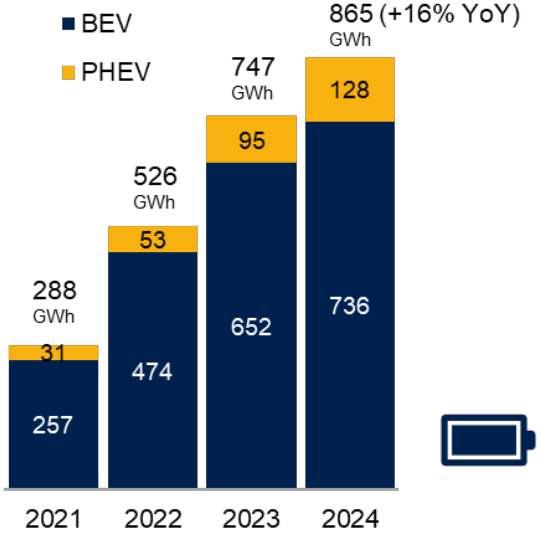
VF | VOLTA FOUNDATION

全球电动车需求依然乐观，但电池用量增速放缓

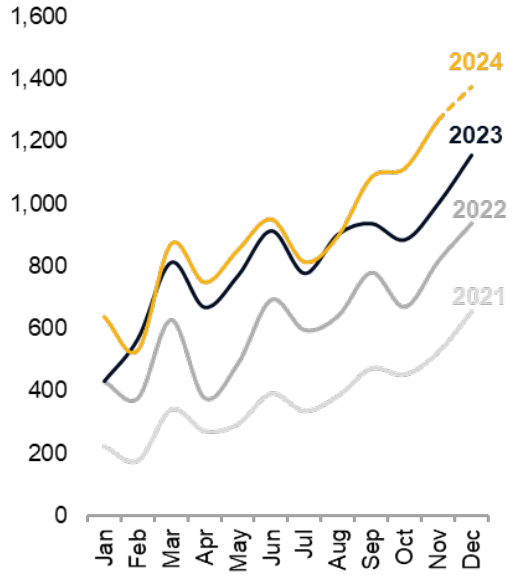
全球轻型电动车*销售，
单位：百万辆



全球轻型电动汽车*电池装机量，单位：GWh



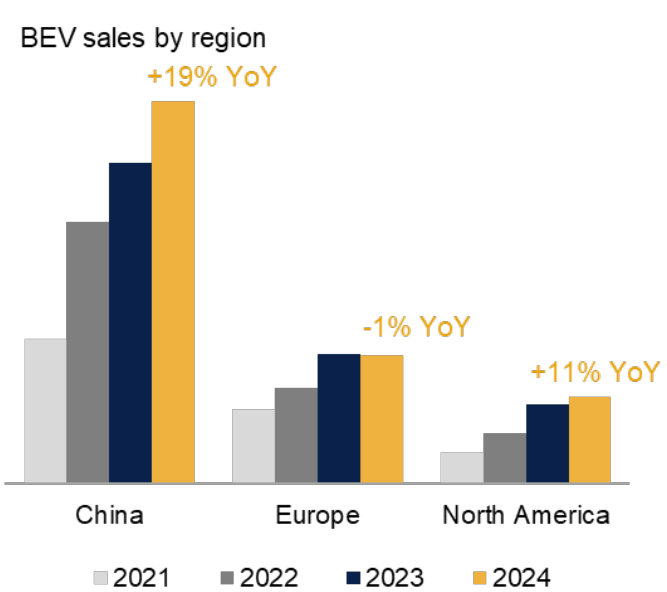
全球BEV销量，2024年，单位：千辆



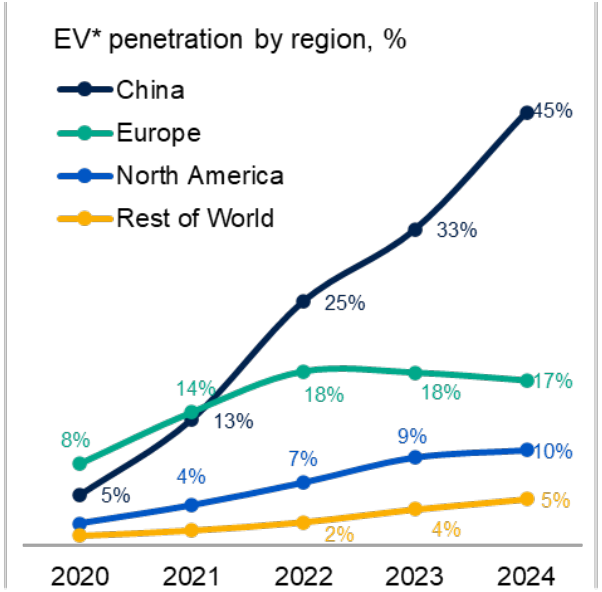
来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。
*电动车包括BEV、PHEV、EREV。显示乘用车和轻型商用车。

电动汽车市场放缓并非所有市场及企业均受到同等冲击

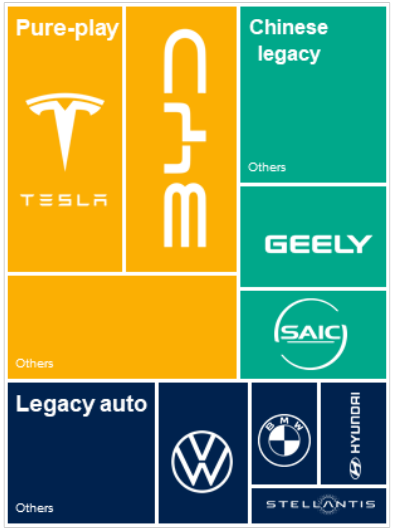
中国正在支撑全球需求增长



主要区域增长路径分化，个体市场增速差异显著

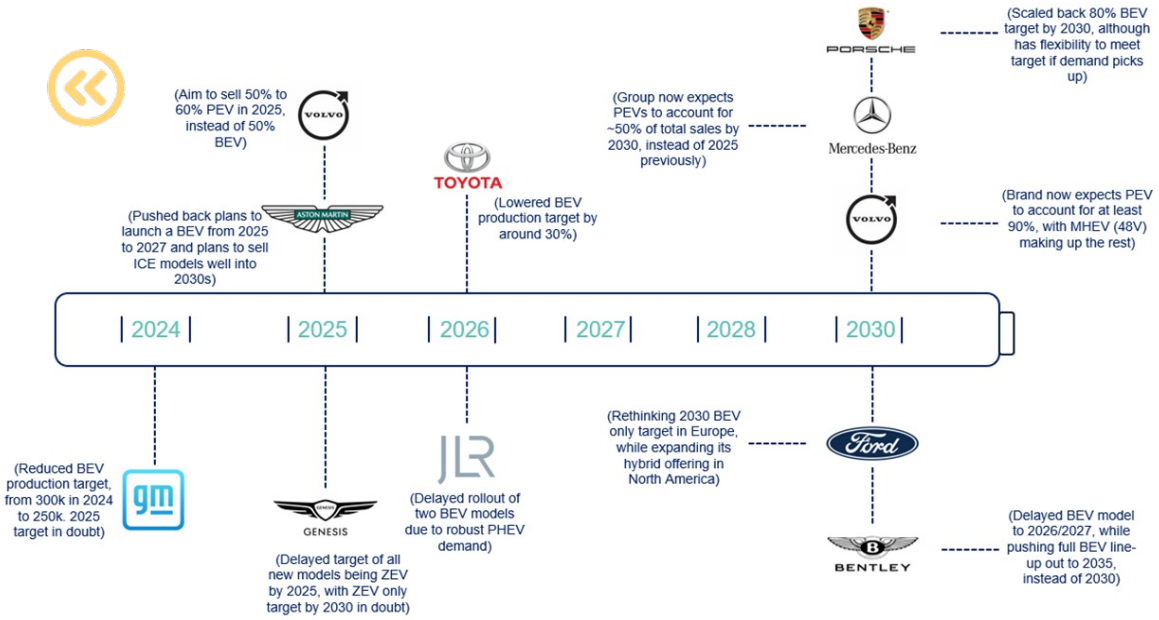


纯电动制造商持续巩固领先地位



来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。
*电动车包括BEV、PHEV、EREV。显示乘用车和轻型商用车。

部分主机厂削减EV激进目标与投资，另一些重申战略承诺



来源：CRU集团，企业公告。PEV = BEV，PHEV，EREV

一些传统汽车制造商需求放缓，促使他们重新评估激进的BEV目标并削减投资计划，而其他公司则重申了他们的承诺。

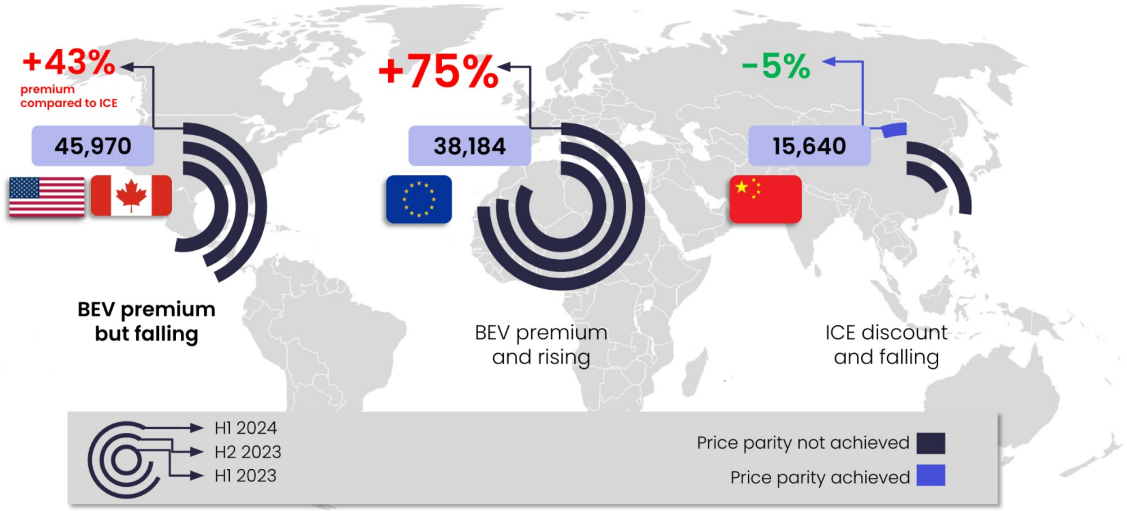
一些公司缩减了他们的混合动力车型阵容，另一些公司则正在游说政策制定者放宽法规。

这种放缓被视为一种缓解，为他们提供了更多时间来提升其电动汽车的能力和竞争力。

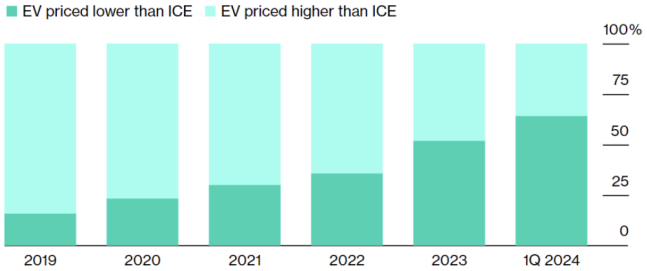
- 坚持到2030年销售目标在欧盟电动汽车市场占比70%，美国及中国市场占比50%
- 目标是在2030年全球年销量 达到555万辆，比2023年增长30%
- 将2024年的销售目标提高到400万辆，高于此前约360万辆的计划

中国实现了电动汽车（BEV）与内燃机车（ICE）价格平价，而世界其他地区正在追赶

基于销售加权平均的电动汽车（BEV）与内燃机车（ICE）基价的地区溢价[1]



中国电动车（EV）车型价格高于或低于内燃机车（ICE）的份额[1]



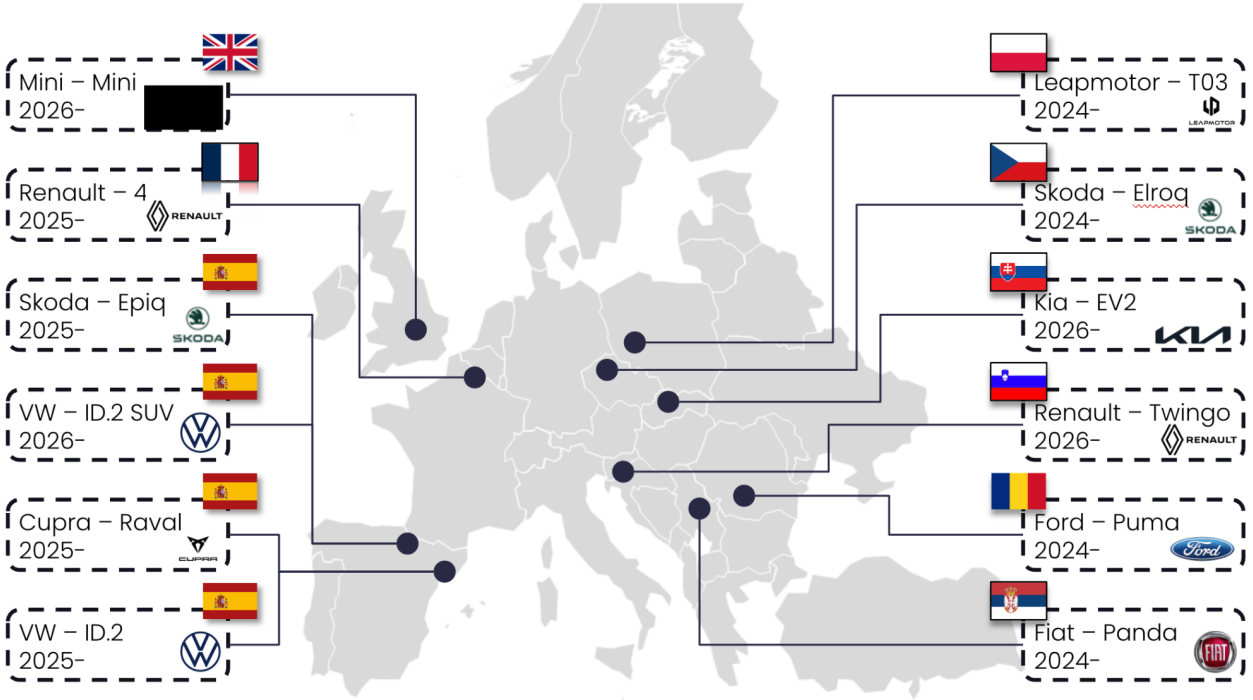
中国汽车主机厂通过以下组合实现了价格平价：

- 基础成本降低
- 激烈的价格竞争
- 规模经济
- 对消费者的地方和国家激励

来源：主要内容由[1]Rho Motion提供，[2] 彭博新能源财经（杰出合作伙伴）

VF | VOLTA FOUNDATION

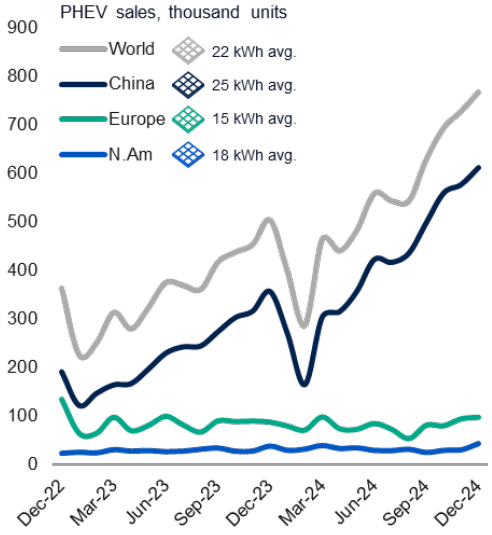
在欧洲即将出现更轻型、更实惠的BEV



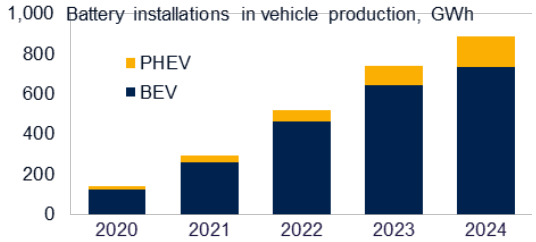
虽然这里没有显示，但也有一些价格实惠的中国进口车型正在销售或计划中。
内容与分析由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://rhomotion.com/research/ev-production-quarterly-outlook/。

许多主机厂正转向插电式混合动力车

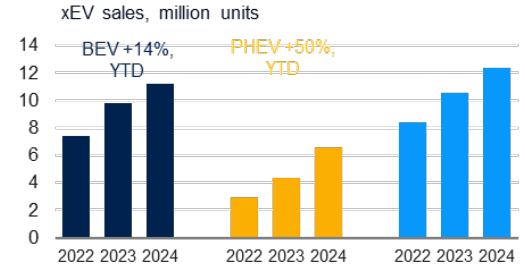
中国正在推动插电式混合动力车的复兴，
并且电池包容量比其他地方更大



插电式混合动力车在短期内对电池需求的贡献有限



插电式混合动力车是今年增长最快的电动汽车类型



- 插电式混合动力车受益于更有利的定价、与BEV相似的激励措施（仅限中国）、车型多样性以及更大的电池包带来的更长续航里程
- 从中国汽车制造商到美国汽车制造商，一系列增程电动车 正在复兴 。 EREV几乎占混合动力汽车电池需求的三分之一。
- 欧盟法规鼓励主机厂增加电池包容量，但2035年的零排放车辆（ZEV）专属法规限制了插电式混合动力车的发展
- 美国主机厂一直依赖于其混合动力汽车的产品，而最新的EPA排放标准允许他们在使用不同动力系统满足平均排放目标方面有更大的灵活性
- 插电式混合动力车短期内支撑了电池需求增长率，但总体来看，因为插电式电动车电池包的容量远小于纯电动汽车电池包的容量，所以电动汽车转向混合动力导致电池需求总量下降。

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。
系列增程电动车（EREV）包含在插电式混合动力车类别中。

增程电动汽车（EREV）的复兴

增程电动汽车是系列插电式混合动力车——本质上是携带小型内燃机的电池电动汽车，以便在需要时为电池充电。
中国纯电汽车制造商与老牌的汽车制造商都讲其动力系统策略转向引入增程式电动汽车。

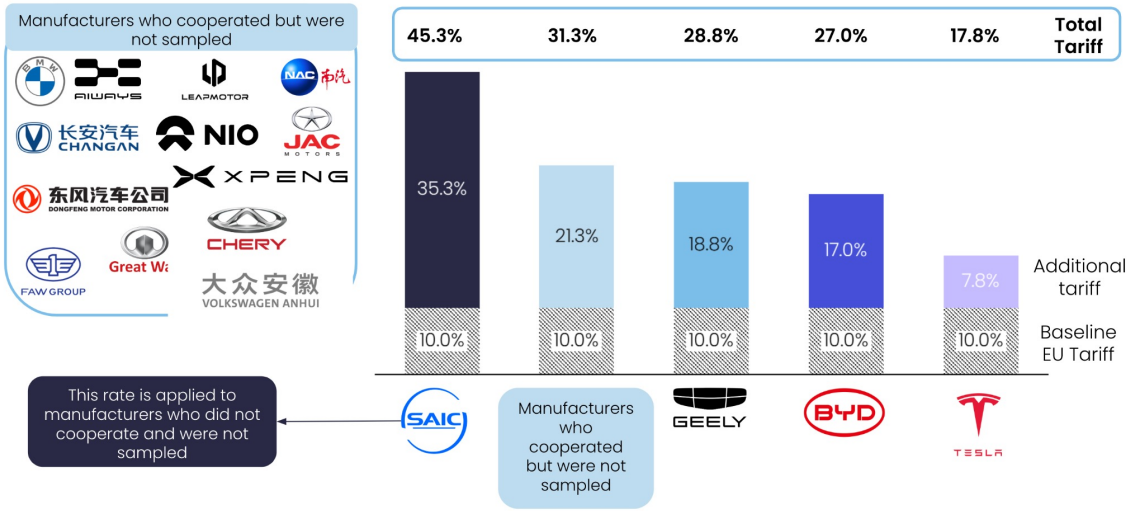
HYUNDAI	08/24 - 宣布新的增程电动汽车型号，具有900公里的总续航里程，调整了之前的品牌战略 计划在2030年前开始量产
NIO	11/24 - 宣布在中东、北非和欧洲推出新的EREV车型，品牌为Firefly 计划在2026年开始量产
XPENG	11/24 - 宣布新的EREV车型，具有1,400公里的总续航里程和430公里的纯电动续航及5C充电速率 计划在2025年H2开始量产
ZEEKR	08/24 - 宣布新的EREV车型，采用全新的电动混合动力技术 计划在2025年H2开始量产
xiaomi	09/24 - 一份泄露的博世文件公开了一款代号为N3的EREV车型 - SUV 计划在2026年开始量产
AVATR	05/24 - 宣布新的EREV车型，搭载宁德时代电池（39 kWh） - 总续航里程1,150公里，纯电动续航245公里 计划在2026年开始量产
STELLANTIS	11/24 - 推出大型车型 基于STLA Frame平台，续航里程1,100公里

来源：现代、蔚来、小鹏、极氪、小米、阿维塔、斯特兰蒂斯

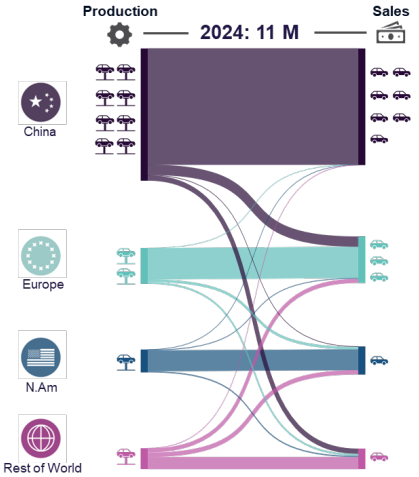
欧盟提高对中国制造的电动汽车的关税

新的关税正在影响中国电动汽车出口到欧盟，一些制造商正在消化增加的汽车成本，虽然这短期阻碍了中国电动汽车进入欧洲市场， 长期来看这项政策鼓励了中国汽车品牌在当地本土化生产。

一些制造商面临近45%的关税[1]



35%的欧盟内BEV是进口的，欧洲是中国BEV出口的主要目的地[2]



来源：[1] 内容与分析由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供，[2] CRU集团（杰出合作伙伴）

VF | VOLTA FOUNDATION

中国主机厂对欧盟加重关税的应对策略

BYD – Szeged, Hungary

Production to start H2 2025

SAIC – Galicia, Spain

Said to be considering establishing a plant in Spain, which aims to start production in 2027. The OEM is also said to be considering Hungary and Czechia.

Chery – Barcelona, Spain

Chery will begin production in Spain before the end of 2024. The capacity of 150,000 does not meet Chery's long-term ambition, the OEM is looking for a second European site.



Geely

Will utilise Volvo, LEVC, and Lotus factories to appropriately arrange production capacity for EU region.

Leapmotor – Tychy, Poland

Started assembly of the T03 at a Stellantis facility.

Kia – Žilina, Slovakia

The EV5 is currently produced in China; however, production is set to begin in Slovakia from 2025

Xiaopeng Motor

Currently looking for a production site in Europe.

NIO

Will consider a European plant if annual sales in the region reach 100,000.

Potential opportunities to circumvent the tariffs

SAIC is considering importing BEVs from Thailand, where is currently produces the MG-4.

Issues with this strategy

For the vehicle to count as Thai, 40% of its components must be local to meet the product origin requirements. The exact tariff on Thai made vehicles entering Europe is unknown given the lack of precedent and trade agreement, although SAIC said it expects a tariff of 10-20%.

Other OEMs that could pursue a similar strategy

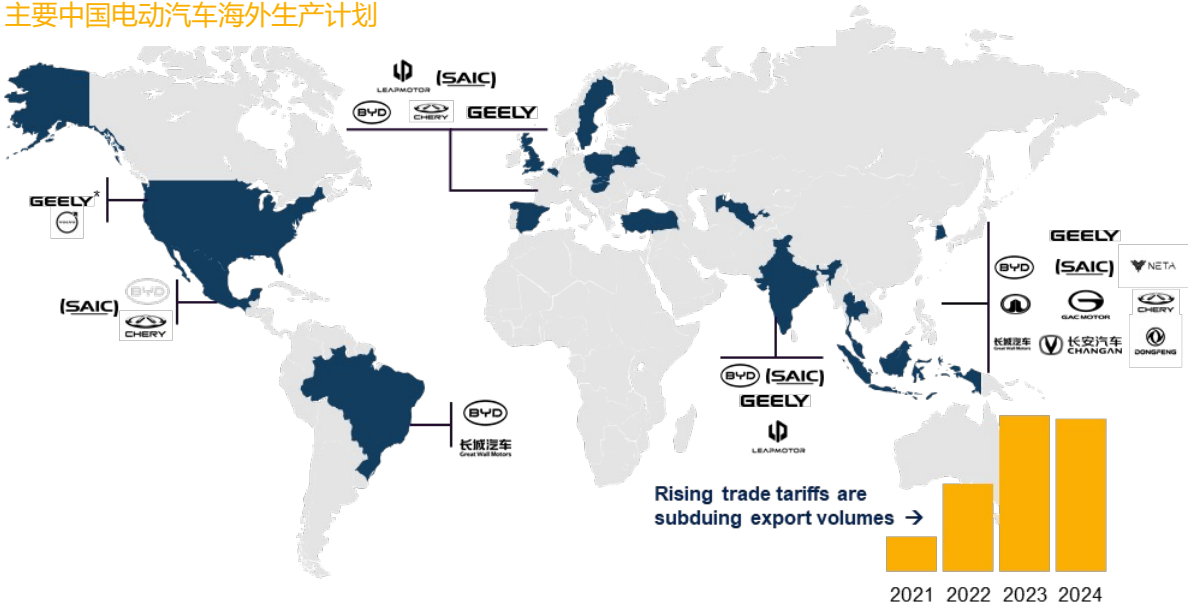
TESLA HONDA Great Wall

内容与分析由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://rhomotion.com/research/ev-production-quarterly-outlook/。

VF | VOLTA FOUNDATION

中国汽车制造商扩张到欧洲和“全球南方”地区

主要中国电动汽车海外生产计划



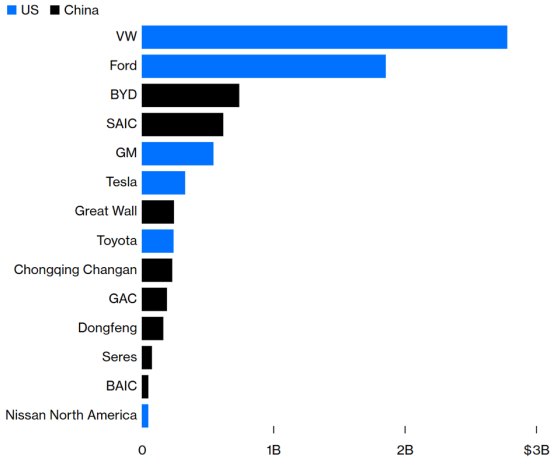
- 中国公司正并利用其成本优势加速全球扩张
- 尽管生产和供应链采购的成本较高，国内竞争和外贸政策促使中国公司在海外建立业务
- 欧洲市场欢迎中国品牌本土化生产，美国总体上反对中国的进入
- 因此，中国主机厂正专注于'全球南方’地区和第三国世界国家，如匈牙利、墨西哥、巴西和东南亚

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。
并非详尽无遗的列表。 包括套件生产。 *吉利在美国的存在是通过其拥有的沃尔沃品牌，沃尔沃品牌归吉利集团所有。比亚迪在2024年9月推迟了其在墨西哥的计划。

VOLTA FOUNDATION

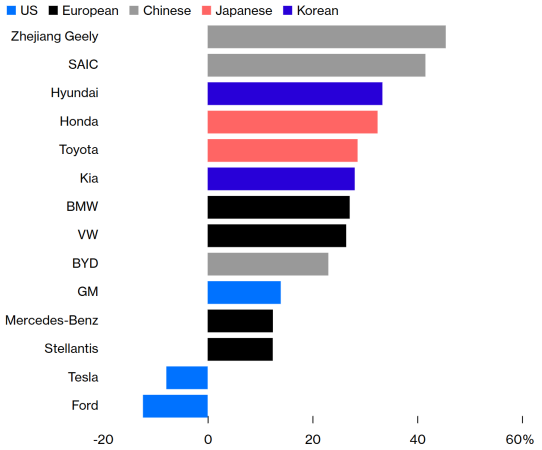
中国缩减了对电动汽车的补贴

中国汽车制造商的补贴与其他地方的补贴相比不具备优势



Source: Bloomberg, Good Jobs First
Note: US data is for 2023. China data is for latest fiscal year.

中国汽车制造商支付的相对标准税率



Source: Bloomberg
Note: Shows the gap between five-year aggregate net income and five-year aggregate pre-tax income, as a share of the pre-tax income figure. Five-year aggregates have been chosen to smooth out inter-year volatility.

主要中国汽车制造商没有独家享有的资金特权

Date	WACC	Weight of debt	Cost of debt	Cost of equity
Kia	19.7%	6.6%	2.86%	20.9
Tesla	12.8	1.5	4.76	12.9
BYD	**10.9**	**6.6**	**1.99**	**11.5**
Hyundai	9.1	69.7	3.13	21.7
Toyota	8.1	46.8	0.67	14.6
Ford	7.3	79.2	6.26	11.4
GM	7.0	72.2	5.38	11.2
Geely	**6.8**	**45.9**	**1.99**	**10.9**
Honda	5.5	57.1	0.67	12.0
BMW	5.3	64.8	2.32	10.8
Mercedes	5.2	66.8	2.36	10.9
SAIC	**5.1**	**61.4**	**1.82**	**10.3**
VW	4.1	79.7	2.63	12.4

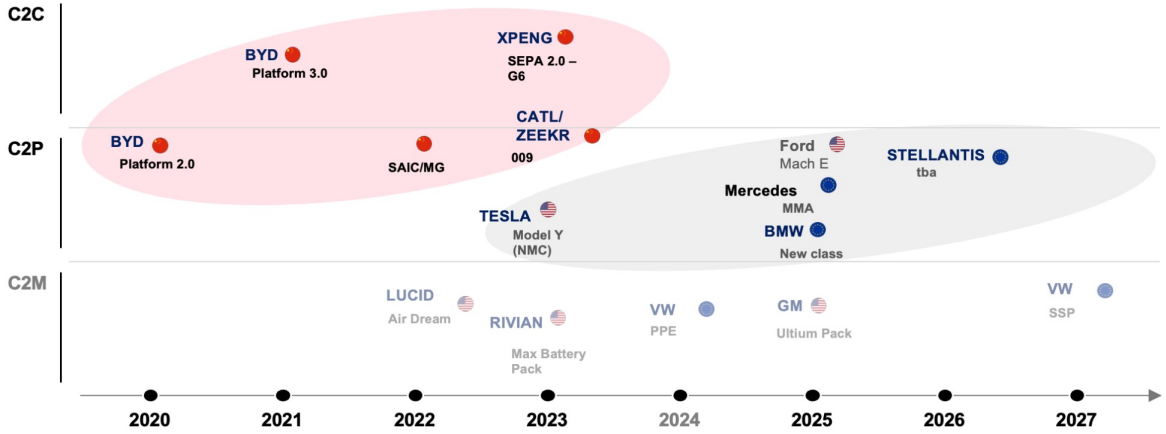
Source: Bloomberg
Note: WACC=weighted average cost of capital.

有关政策的更多信息，请参见政策部分。
来源：彭博新闻

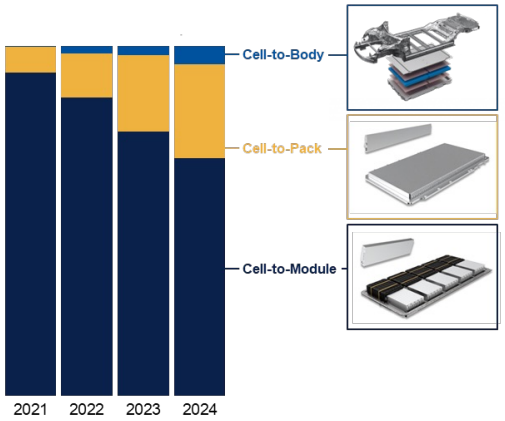
汽车制造商加速无模组电池包计划

- CTP和CTB设计有助于提高能量密度、减轻车身重量以及降低组件成本
- 通常采用大尺寸电芯
- 从电池包结构设计层面提高能量密度，使LFP可以实现在大型车辆上的应用
- 虽然面临技术和电芯使用寿命的双重挑战，但优先考虑降低成本

CTP设计可以针对特定车辆平台进行定制[1]



电池集成架构在电动汽车中的份额，按生产的车辆百分比[2]



来源：主要内容由[1] Roland Berger（杰出合伙人），[2] CRU集团（杰出合伙人）提供

VF | VOLTA FOUNDATION

电动汽车电池包结构的创新

固态电池

NIO

NIO ET7推出半固态电池

梅赛德斯-奔驰与Factorial建立合作关系，共同开发SSBs

QuantumScape

QuantumScape开始生产SSBs B样品

本田发布SSB生产线准备情况

热管理

aspen aerogels

Aspen PyroThin -是一种旨在防止热量和火势在电池包中传递蔓延的隔热材料。 用于通用汽车Ultium平台，并与丰田、斯堪尼亚和奥迪签订合同。

LG Chem

“安全增强层”是位于正极和电流集流体之间的薄膜材料，用以在高温下增加电阻率，防止短路和起火。

制造创新

SAKUU

通过3D打印革命性地改变电池制造，生产定制形状的高性能SSBs，同时消除湿法工艺以提高速度和规模。

AM BATTERIES

粉末到电极-使用先进的喷涂技术直接将干电极粉末喷涂于集流体表面。

24m

电极到电池包 -将电极直接集成到电池包中，省略传统的电芯和模组结构。 。

模块化与材料创新

Xerotech

Xerotech Hibernium -使用21700电芯制造的可扩展模组。可由6种不同的模组组成678种不同尺寸的电池包。

AsahiKASEI sabic

编织复合材料 正在推进电池外壳的发展，像旭化成和SABIC这样的公司正在研发集成了潜入是冷却系统的热失控强化保护的材料。

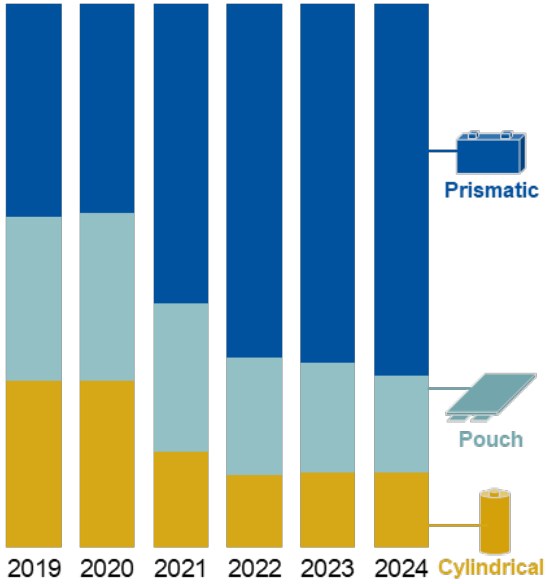
24m

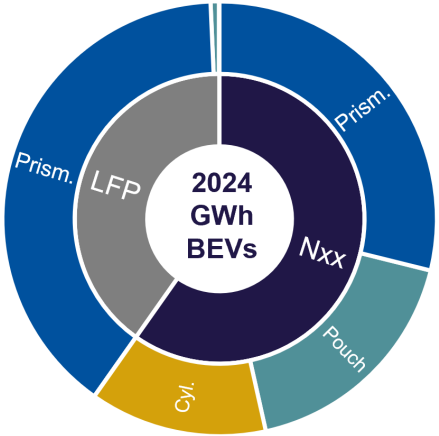
Impervio隔膜可以有效防止电芯内部形成枝晶从而提高电池安全性。

VOLTA FOUNDATION

电池封装形式 - BEV市场趋势向大容量电池发展，主要为方形电池

电池电芯各封装形式在电动汽车中的份额，基于 GWh百分比



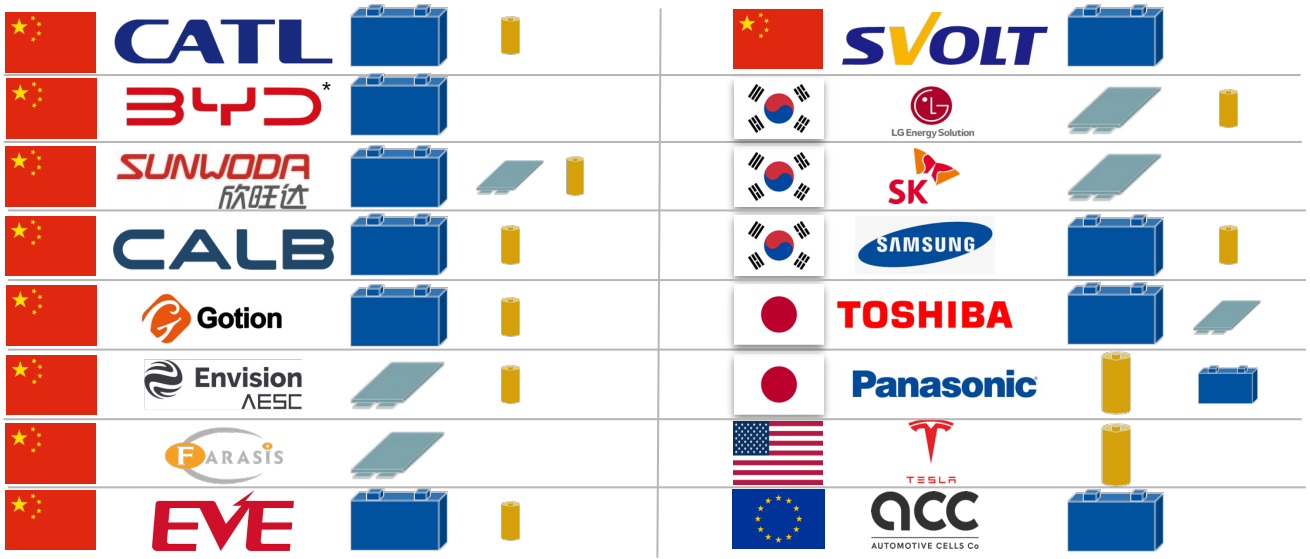


- 电池封装形式受化学体系影响，反之亦然 - LFP正在推动向方壳电池发展的趋势
- 如今两种化学体系都倾向于采用方壳电池
- 中国制造商是市场领导者，他们更倾向于使用方形电池——这是在软包电池的能量密度与圆柱电池的机械强度之间的折中解决方案

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。 注意： ‘Nxx’ 包括NMC及其衍生物

VF | VOLTA FOUNDATION

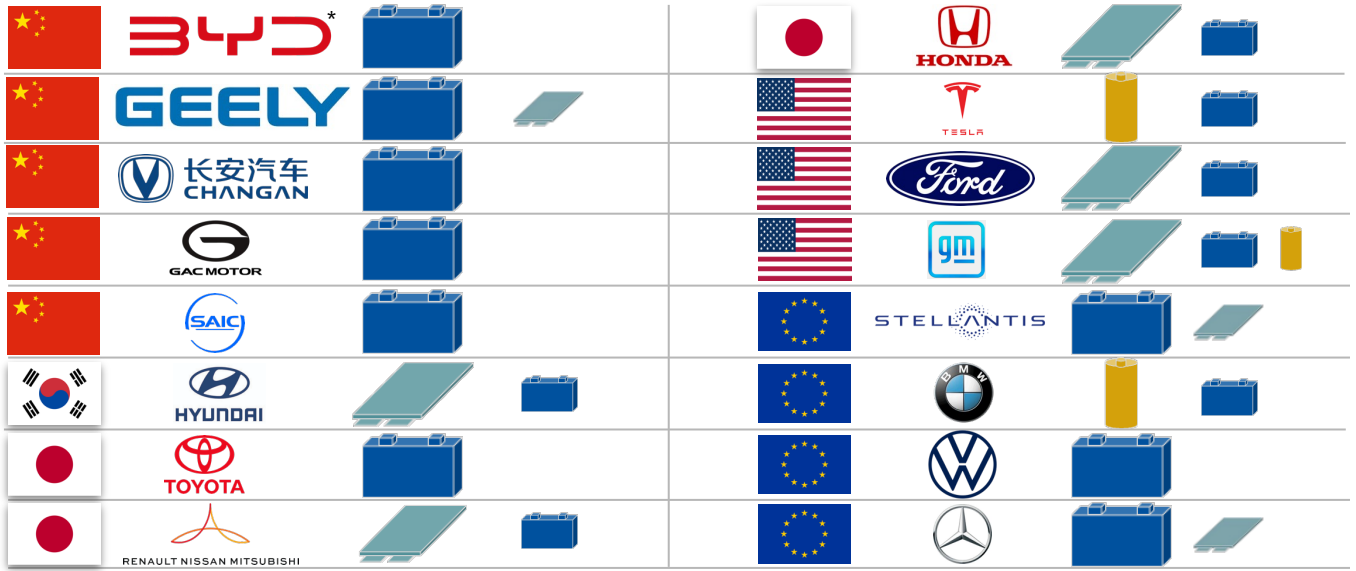
电池制造商的电池封装形式趋向于方形，主要贡献者来自亚洲



主要形状因素的来源：已添加到公司图标中
次要形状因素的来源：宁德时代, 中创新航, 阳光电源, LGES, 东芝, 国轩高科, 远景科技
大图标和小图标分别表示主要和次要电池偏好。
*方壳电池图标被用作刀片电池表示的最佳匹配

VF | VOLTA FOUNDATION

汽车制造商在电池封装形式上与电池制造商有类似的趋势，市场分布更加分散

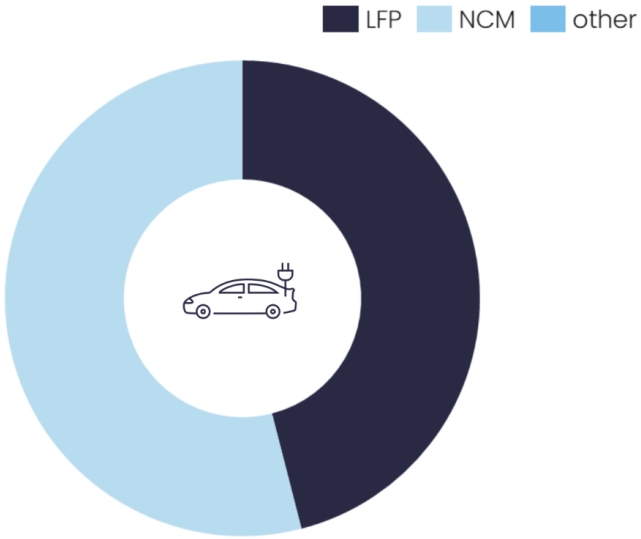


主要形状因素的来源：已添加到公司图标中
次要形状因素的来源：吉利, 现代, 雷诺-日产-三菱, 本田, 特斯拉, 福特, 通用汽车, 斯特兰蒂斯, 宝马, 梅赛德斯-奔驰
大图标和小图标分别表示主要和次要电池偏好。
*方壳电池图标被用作刀片电池表示的最佳匹配

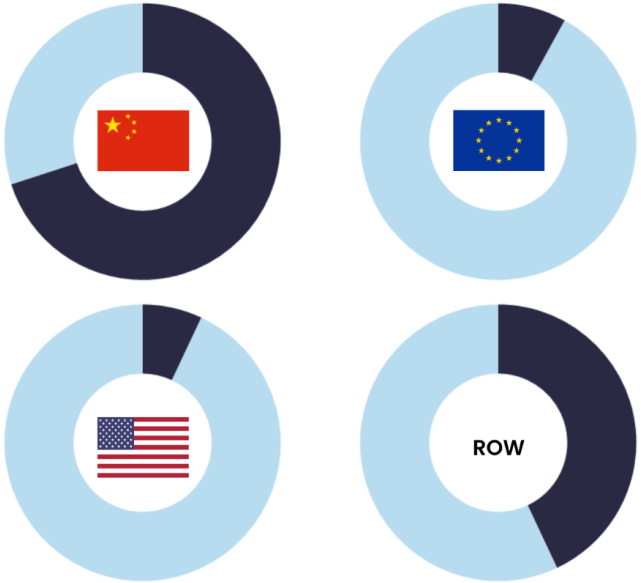
VF | VOLTA FOUNDATION

化学体系因应用领域和地区不同而呈现显著差异

2024年按市场划分的化学体系份额，电动汽车



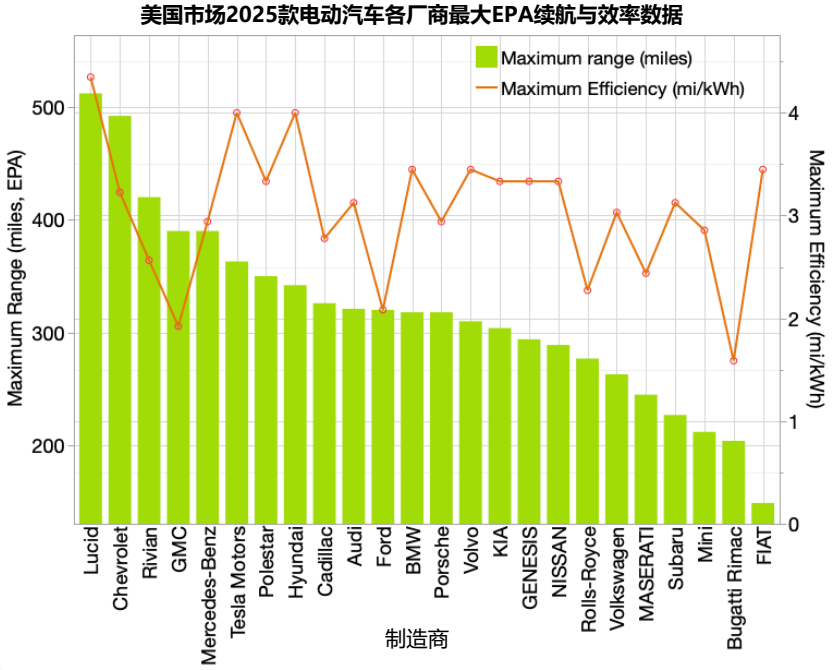
2024年按地区划分的化学体系份额



内容与分析由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://rhomotion.com/research/ev-production-quarterly-outlook/
。 显示按销售基础的化学成分在最终用途需求中的份额。

VF | VOLTA FOUNDATION

美国市场电动汽车的续航和效率趋势



来源：EPA

续航

- 获得EPA认证的电动汽车最长续航为Lucid Air轿车，每次充电后可续航516英里。
- 在2025车型年，所有电动汽车（EV）的中位续航达到了创纪录的283英里，比去年增加了13英里，是2011年车型中位续航里程的四倍以上。

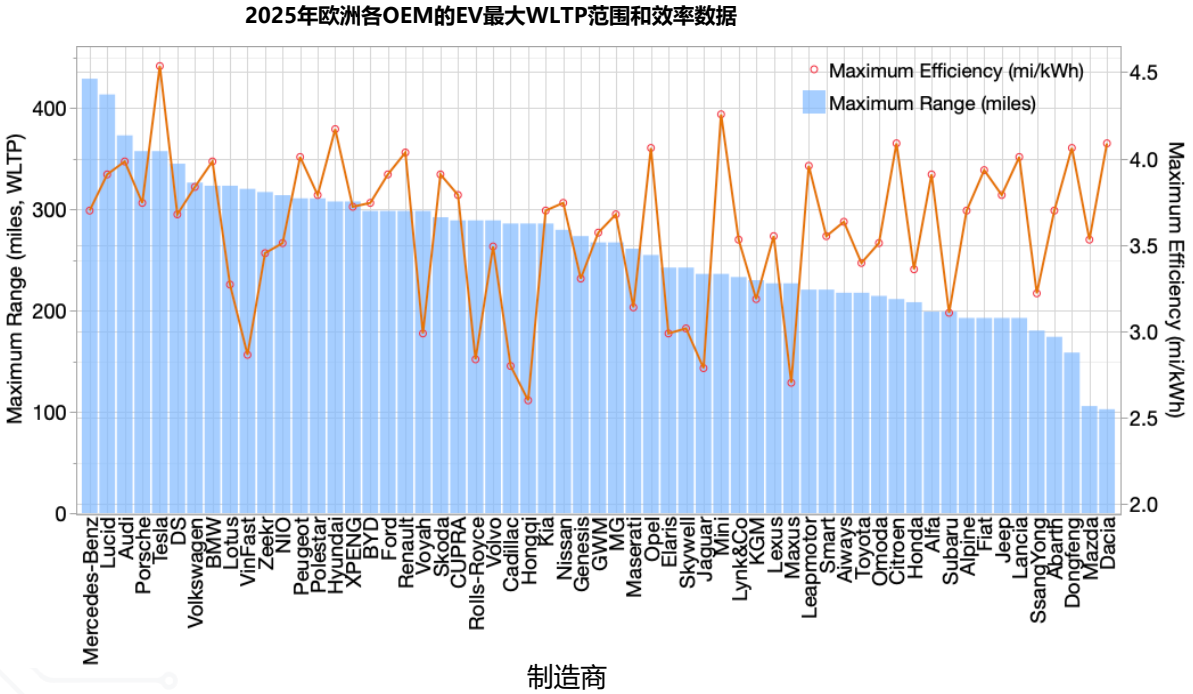
效率

- 对于2025车型年，EPA评级的城市/高速公路综合消耗范围为每千瓦时1.49到4.17英里（mi/kWh）。
- 每千瓦时的英里数（mi/kWh）基于EPA的城市/高速公路综合评级。

注意

本页面的续航和效率值是根据**美国环境保护署（EPA）**的方法估算的，不能直接与以下页面中的WLTP和CLTC值进行比较。

欧盟市场的续航和能效趋势



来源：EV数据库

续航

- EV中续航最长的是梅赛德斯-奔驰EQS 450+ SUV，声称每次充电续航690公里（相当于429英里）

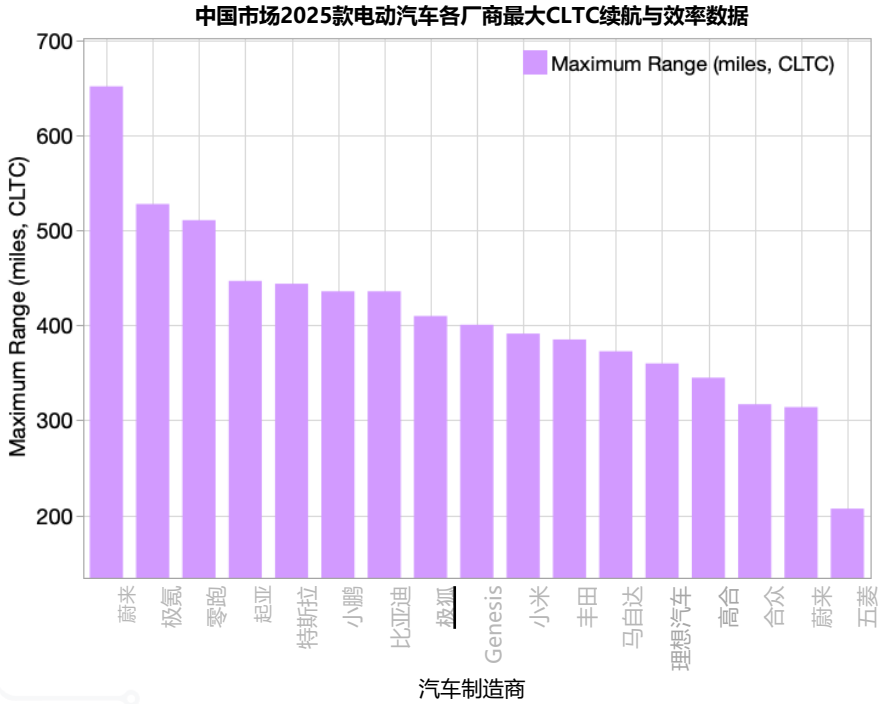
效率

- 欧盟市场的OEM声称效率在每千瓦时1.93到4.54英里（mile/kWh）之间
- 特斯拉的Model 3显示出最高的效率为4.54英里/千瓦时

注意

显示的范围和效率值基于**全球统一轻型车辆测试程序（WLTP）**，且并不适用于与美国环保署认证和CLTC的续航里程及效率值进行直接比较。 然而，原始值已从公里（km）转换为英里（mile），以保持一致性。

中国市场续航里程趋势



来源：制造商网站和媒体（数据汇编）

续航

- 蔚来ET7在2025年车型中获得了CLTC认证的续航里程为1050公里（相当于652英里），并被评为最长续航车型。
- ET7的150kW电池将半固态技术引入市场
- EREVs（增程式电动车）在中国迅速成为一种快速增长的动力系统技术。该混合动力系统与常规BEV一样由电力驱动，同时配备小型内燃机来充电。 这种系统通常可以在较小的电池容量下极大地提升单次充电的续航里程。 **(Electrek)**

注意

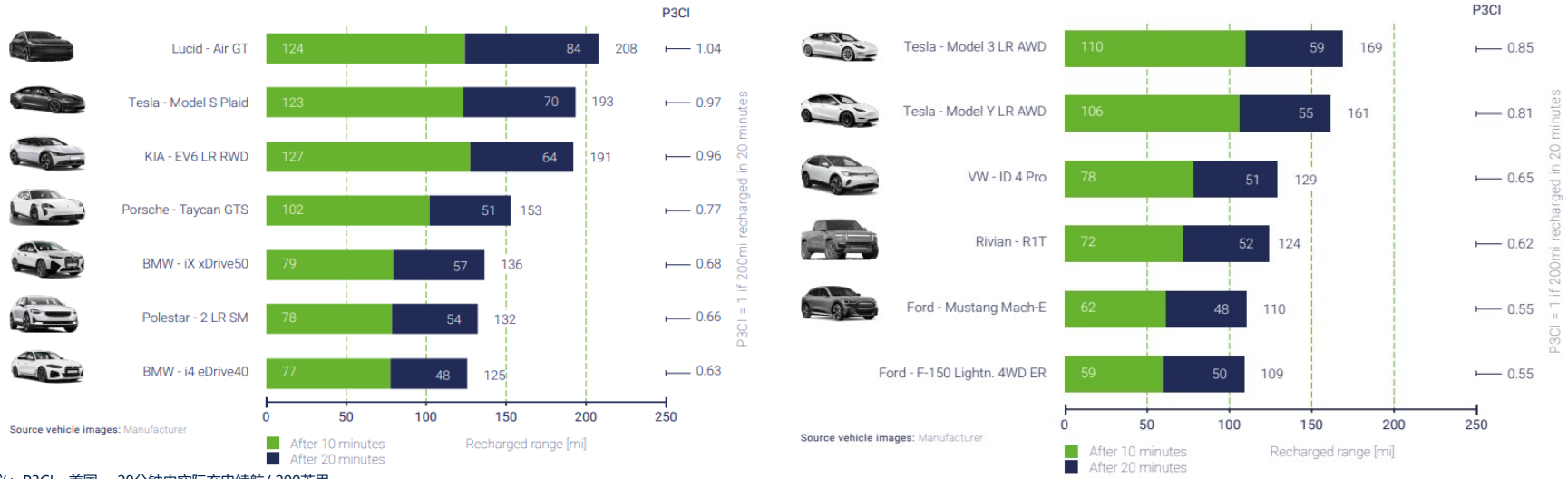
- OEM覆盖：本页面专注于介绍中国汽车主机厂，并未涵盖中国市场上所有的电动车。
- 显示的续航和效率值基于**CLTC（中国轻型汽车测试循环）**，且不应与美国EPA和WLTP的续航和效率值直接比较。 然而，原始值已从公里（km）转换为英里（mile），以保持一致性。

VF | VOLTA FOUNDATION

快速充电趋势 - 北美

用于评估快速充电性能的指标是10-20分钟内快速充电所增加的续航里程。 在北美20分钟内可以增加200英里以上续航的车辆数量低于来自欧盟尤其是来自中国的竞争对手（见下一张幻灯片）。

EPA在直流快速充电10分钟和20分钟后增加的续航里程



定义：P3CI - 美国 = 20分钟内实际充电续航/ 200英里

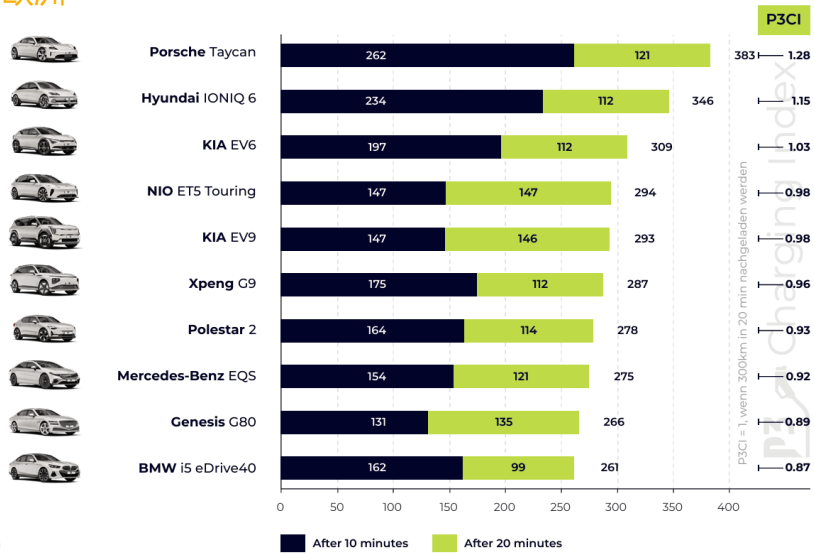
来源：P3充电指数，2023年6月

VOLTA FOUNDATION

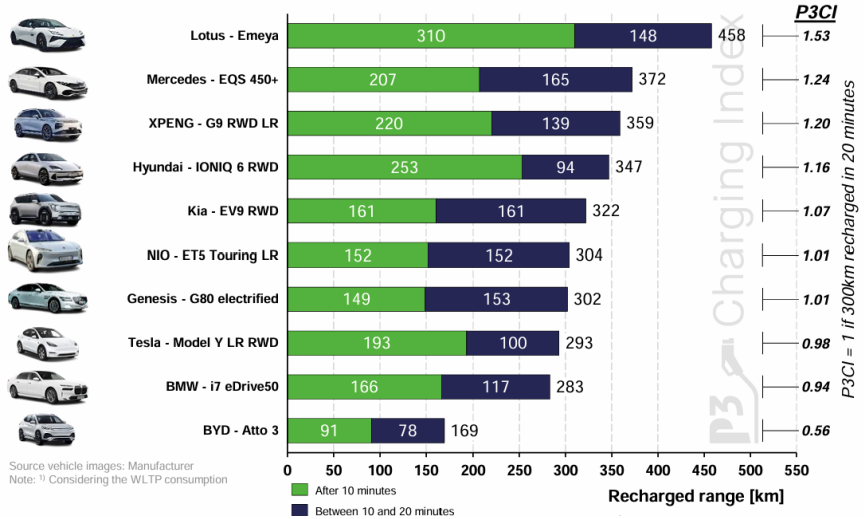
快速充电趋势 - 欧洲和亚洲

用于评估快速充电性能的指标是10-20分钟快速充电所增加的续航里程。在中国充电20分钟可以增加300公里以上续航的车型高于欧洲。

欧洲



中国



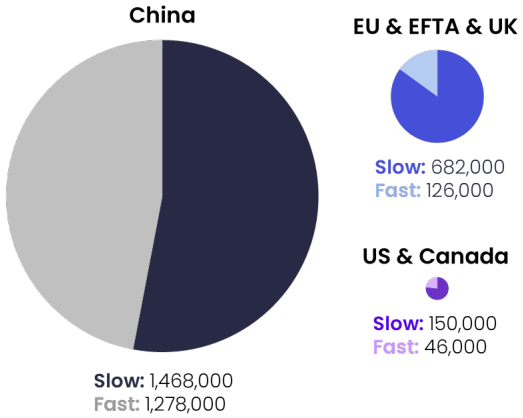
来源：P3充电指数2024，P3充电指数 - 亚洲2024

VF | VOLTA FOUNDATION

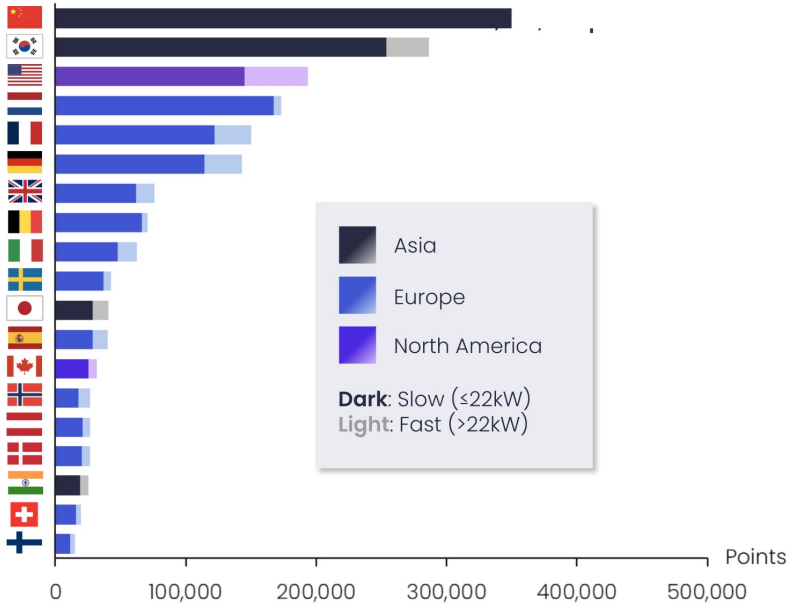
快速直流充电桩安装数量加速部署，中国主导全球装机规模。

到2024年11月，中国公共充电设施保有量已超过346万个，其中约47%为快速直流充电桩。

全球范围内，各国正普遍呈现直流快充技术加速发展的整体趋势。这一转型主要由成本下降、高速充电需求增长及利润潜力提升驱动。



按国家统计的公共充电桩累计数量 - 2024年11月

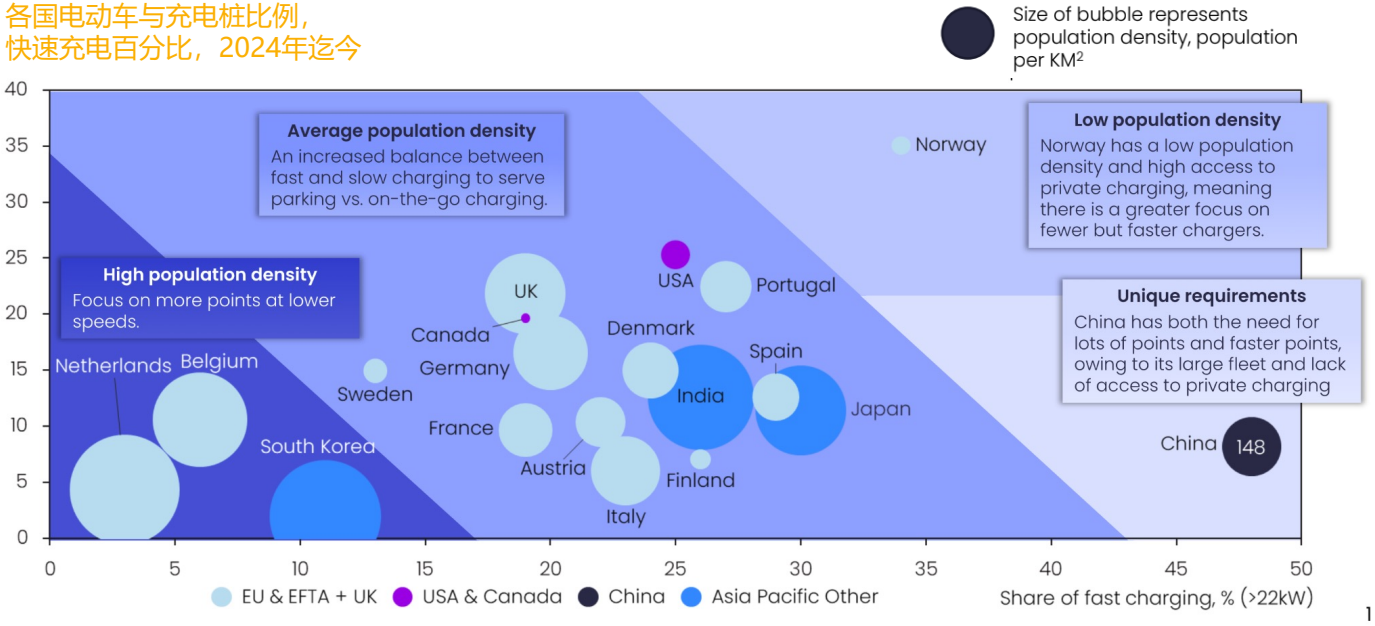


内容与分析由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://rhomotion.com/research/ev-production-quarterly-outlook/。

VF | VOLTA FOUNDATION

快充与慢充基础设施的配比呈现显著国别差异

各国电动车与充电桩比例，
快速充电百分比，2024年迄今



来源：内容与分析由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://rhomotion.com/research/ev-charging-quarterly-outlook/。

人工智能在电动车价值链中的深度融合

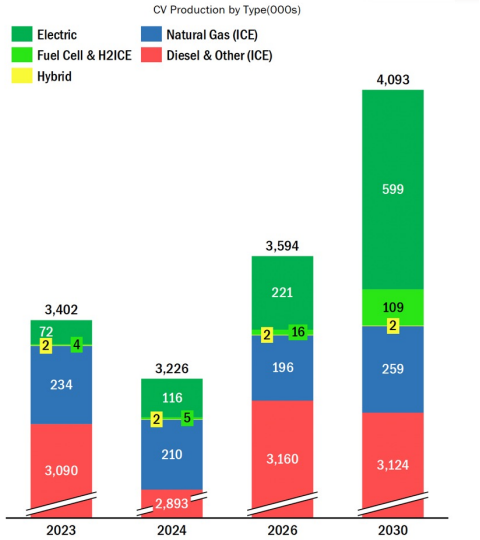
2024年的一个显著趋势是人工智能在锂离子电池整个价值链中的加速渗透

电池材料发现	人工智能模型筛选数千种潜在组合，并帮助预测材料在原子尺度上的材料属性，从而促进电解质、电极和隔膜新材料的发现
加速测试	人工智能通过模拟不同材料组成中的电化学反应，加速测试计划，减少对耗时的物理实验的依赖
制造工艺优化	人工智能用于优化电极涂布和烘干工艺，这可能会使电池‘化成’所需的时间呈指数级减少
电池寿命预测	使用AI模型预测电池老化。 斯坦福能源的一项研究表明，在前100个循环中，寿命预测的误差为9.1%；该预测研究使用的模组由测试循环范围为150-2300循环的124个LFP组成。
批量数据分析	AI还被用于批量分析，以优化性能，并且有助于发现影响电池健康的关键因素。AI还可以检测电池组中的异常，从而防止过早老化。

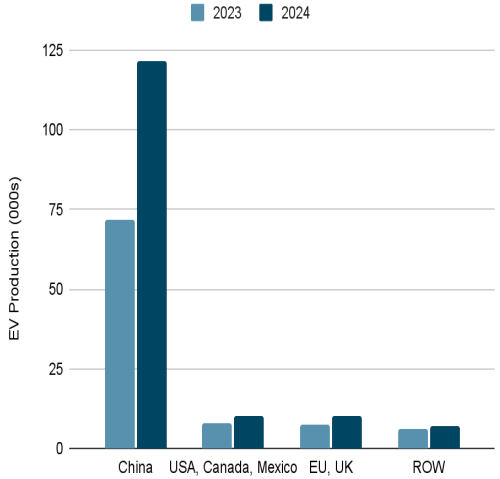
来源：公司公告

重型出行市场发展 - 市场规模与需求增长

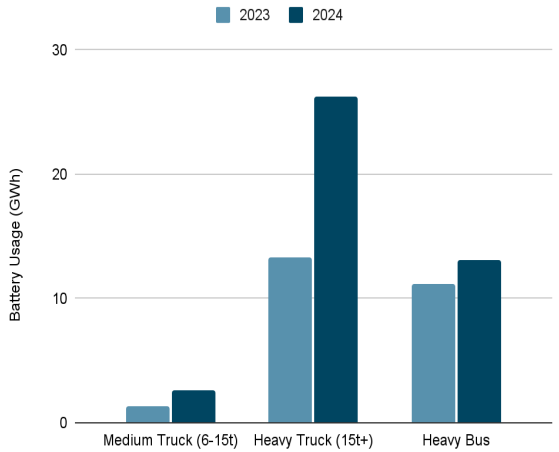
- 全球电动卡车和公交车产量（>6吨 GVW）在2024年增加了56,000辆，较2023年的94,000辆有所增长。尽管全球车辆总量生产下降了167,000辆，但重型出行市场仍增长了60%
- 中国占据了大部分的销量和增量，2024年增加了49,700辆，增长了69%
- 欧洲、美国和中国严格的CO_2和温室气体法规，以及重型电动汽车的总拥有成本下降，将使2030年重型电动汽车生产超过767,000辆
- 2024年重型电动车市场总电池需求预计为42 GWh，较2023年的26 GWh有所增加，不包括中国可更换电池的备件。



重型车辆EV产量2023/2024



重型车辆GWh电池用量，2023/2024

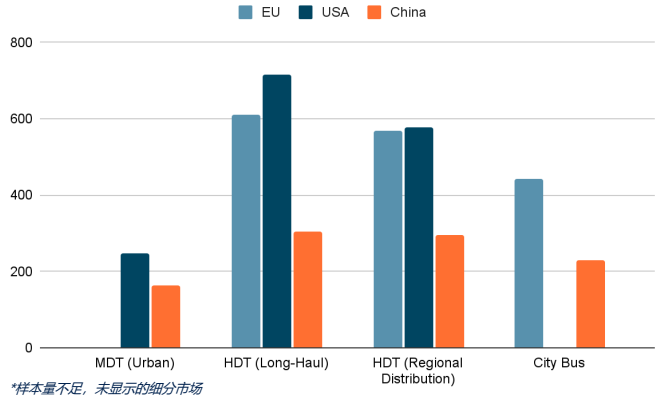


来源：KGP-GlobalData全球商用车动力总成预测2024年第四季度。 电动汽车包括电池电动和燃料电池车辆 >6吨总重

重型出行市场关键参与者 - 电池解决方案与合作伙伴关系

- 2024年，重型卡车电池平均电量为297 kWh，中型卡车平均电量为222 kWh，重型公交车平均电量为254 kWh
- LFP是主要的电池类型，因为原始设备制造商优先考虑循环寿命和成本
- 技术发展将使电池寿命延长至超过160万英里
- 宁德时代主导全球市场，2024年宣布其新款TECTRANS LFP电池
- 其他重要供应商包括三星SDI、国轩高科和EVE。值得注意的是，2027年戴姆勒卡车、PACCAR、Accelera和EVE之间的新合资企业AMPLIFY CELL TECHNOLOGIES将在美国密西西比州工厂开始生产约21 GWh锂电池。

按终端用途划分的电池平均电量，2024



样本量不足，未显示的细分市场

宁德时代TECTRANS

- 耐用性可达2.8百万公里（1.9百万英里）
- 充电速率高达4C（15分钟内达到70% SOC）
- 续航里程高达500公里



AMPLIFY CELL TECHNOLOGIES

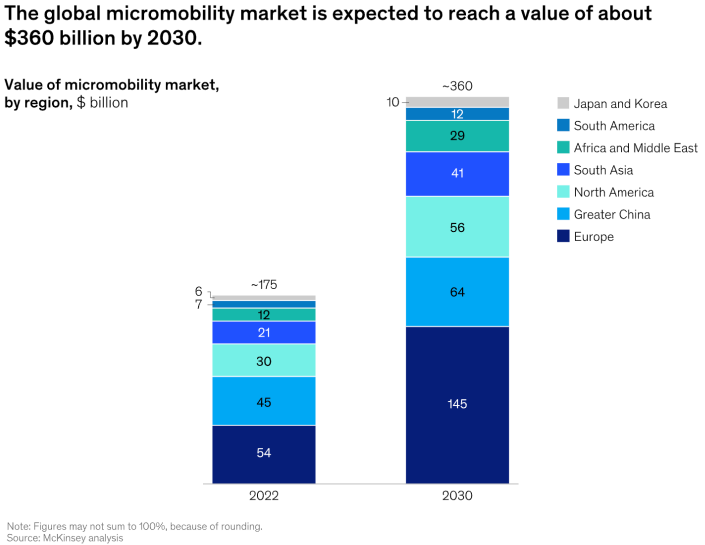
- 戴姆勒卡车（30%）、PACCAR（30%）、Accelera（30%）和EVE（10%）之间的合资企业
- 2027年开始生产，产能21GWh

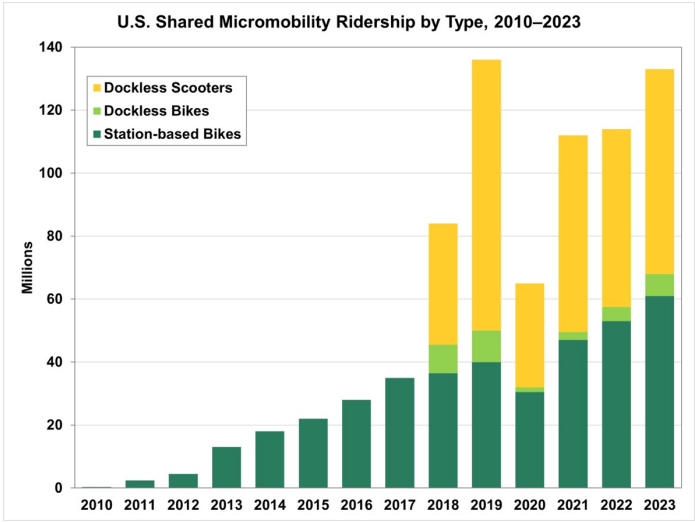
来源：KGP xEV模型数据库2024年11月

VF | VOLTA FOUNDATION

轻型出行市场规模与需求增速

轻型出行市场的增长主要受电动自行车销售驱动。 2022年全球微型出行市场约1750亿美元，麦肯锡[1]估计到2030年，全球微型出行市场将达到约3600亿美元，其中欧洲占据了大部分市场。 美国也要见证创纪录的高需求，主要受益于充足的激励计划[2]。 安全问题仍在持续困扰，促使相关法规的出台[3,4]。





来源: [1] 麦肯锡, [2] 美国能源部, [3] 纽约消防局, [4] 安全公告

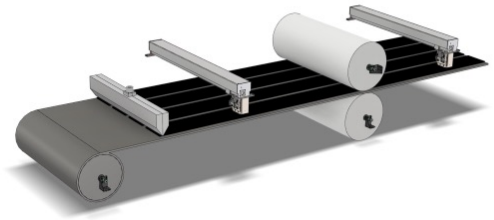
VOLTA FOUNDATION

Quad Plus®

The Future of Lithium Cell Electrode Metrology

- **Cathode Basis Weight (Loading), Thickness, and Density measurements are achieved using advanced Terahertz technology. Single sensor provides precise net coating measurements with the added capability to determine top and bottom coating balance.**
- **Anode loading measurement with Enhanced Ultrasound technology.**

- Metrology solutions are globally sourced and free from proprietary limitations
- Process control system integrator
- Professional engineer partner
- Service & Engineering support team with geographic client reach



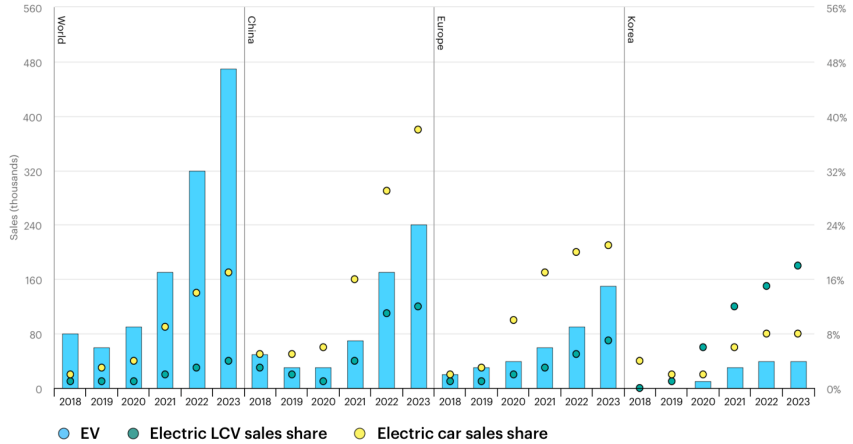
Connect with us:

www.quadplus.com

(812) 724-2323

电动轻型商用车市场规模

电动轻型商用车销售及市场份额，2018-2023



*EV = 电动汽车；LCV = 重量少于3.5吨的轻型商用车。
在中国，LCV包括小型公交车、一些轻型卡车和迷你卡车。
截至2023年的最新可用数据集

来源：国际能源署（IEA）。

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

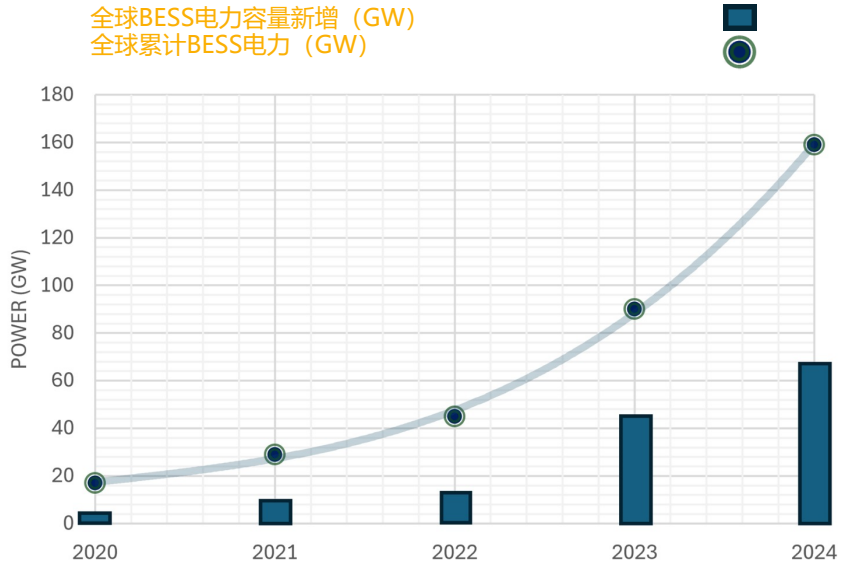
供应链与原材料
回收与再利用
软件

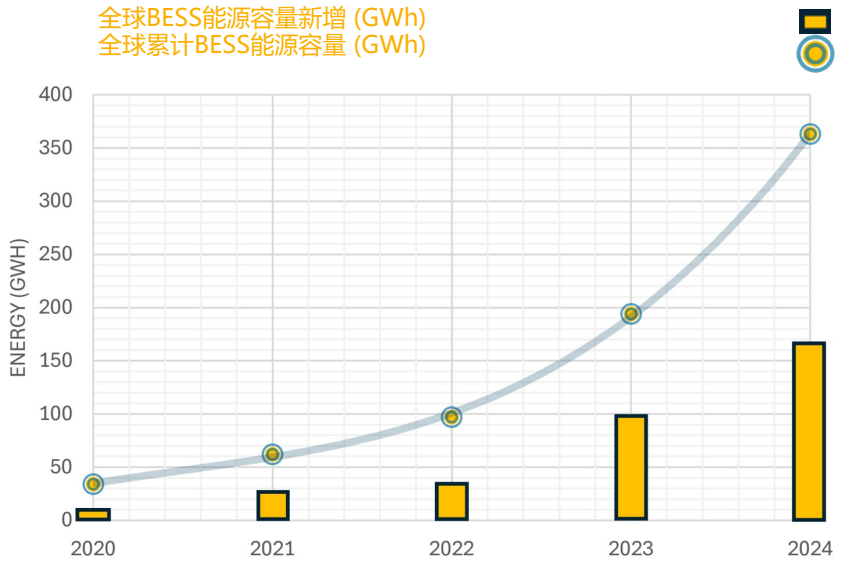
VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

全球BESS（储能电池）部署激增

“能源存储的十年”继续超出预期，2024年新增电池储能系统 (BESS) 69 GW/169 GWh的安装。 这使全球累计BESS容量达到150GW/363 GWh，锂离子电池占2024年电池安装的超过98%。



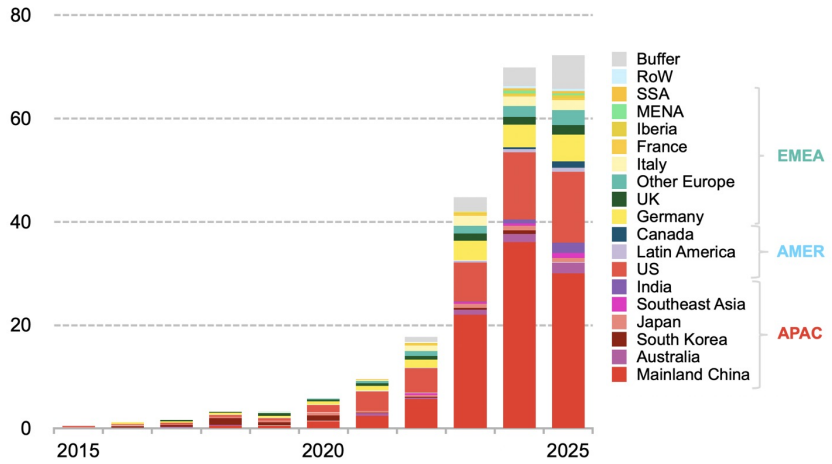


图表来源：由PowerSwitch编制，基于BNEF和Woodmac的公开数据：2020（累计），2020，2021，2022，2023，2024
锂离子比例：Rho Motion（来源：Energy Storage News）

VF | VOLTA FOUNDATION

去年BESS容量新增增长超过55%同比

全球新增BESS功率（GW）



- 2024年全球 BESS 部署的 69GW 在容量基础上代表了55%的增长（相较于2023年的部署）
- 全球电池项目正在激增，但主要集中在少数几个关键国家/地区： 中国 (36GW)、美国 (13GW)、欧洲 (10GW) 和澳大利亚 (2GW)
- 《经济学人》称，2024年大规模电网储能是“增长最快的能源技术”
- 2020年代继续符合预期，这将是能源存储的十年

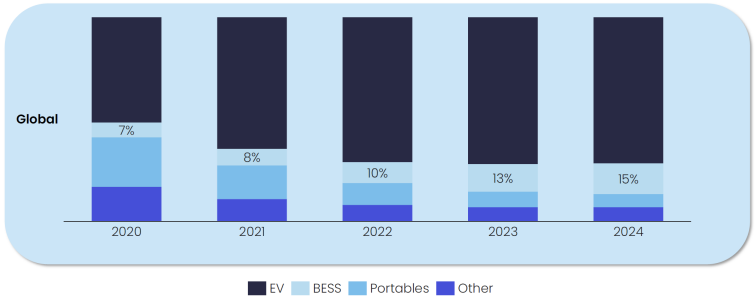
来源：主要内容由彭博新能源财经 BloombergNEF（杰出合作伙伴）提供。

VF | VOLTA FOUNDATION

BESS在电池需求中的份额自2020年以来翻了一番

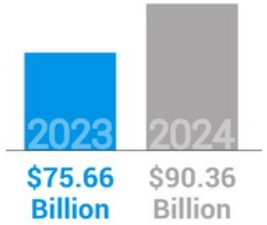
一个不断增长的电池细分市场

BESS在整体电池市场中的份额



- BESS的部署增长速度超过了整个电池行业
- BESS现在占总电池部署的15%，较2020年的7%有所上升
- 激增的主要驱动因素是电池成本下降、政府政策激励以及对BESS技术和项目的投资大幅增加

BESS市场的价值



- 在2024年，BESS市场的价值同比增长超过20%，达到$90B
- 公用事业规模市场占该市场的85%以上，其余部分分为住宅和商业及工业（C&I）安装
- 锂离子电池是市场领导者，2024年超过98%的电网规模BESS部署使用锂离子电池
- 在容量方面，预计锂离子电池将在2025年超越抽水蓄能
- 公用事业市场驱动了大约87%的需求

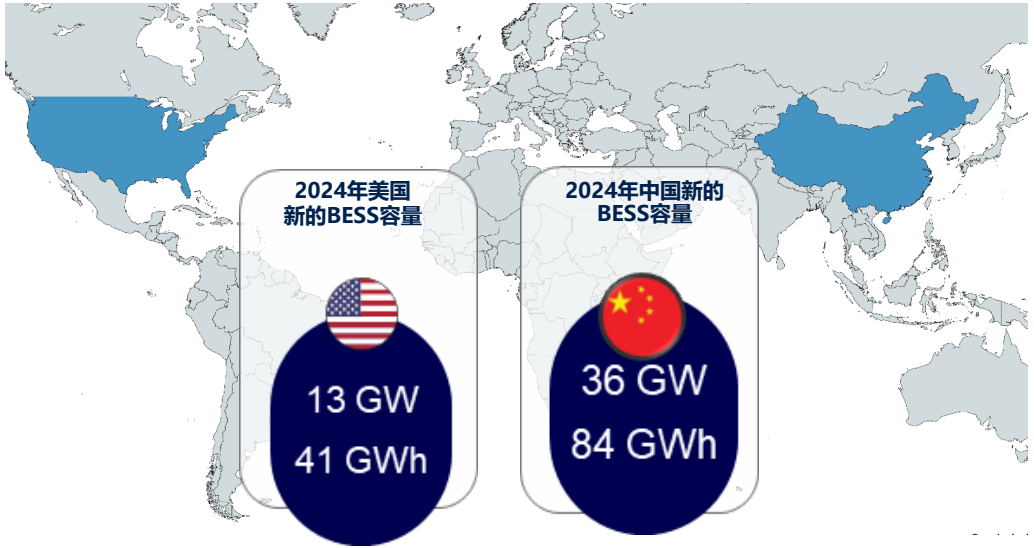
来源：主要内容由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供

VF | VOLTA FOUNDATION

中国和美国市场在BESS部署中领先

美国和中国在BESS部署方面是明显的领导者：

- 这两个市场合计约占2024年所有BESS项目的70%，按容量计算
- 中国大陆的BESS安装在2024年是明显的市场领导者。他们在2024年全年新增了36 GW/84 GWh，按GW计算比2023年增长了64%
- 美国各个细分市场的能源存储部署预计在2024年全年将达到13 GW/41 GWh，按GW计算比2023年增长了72%



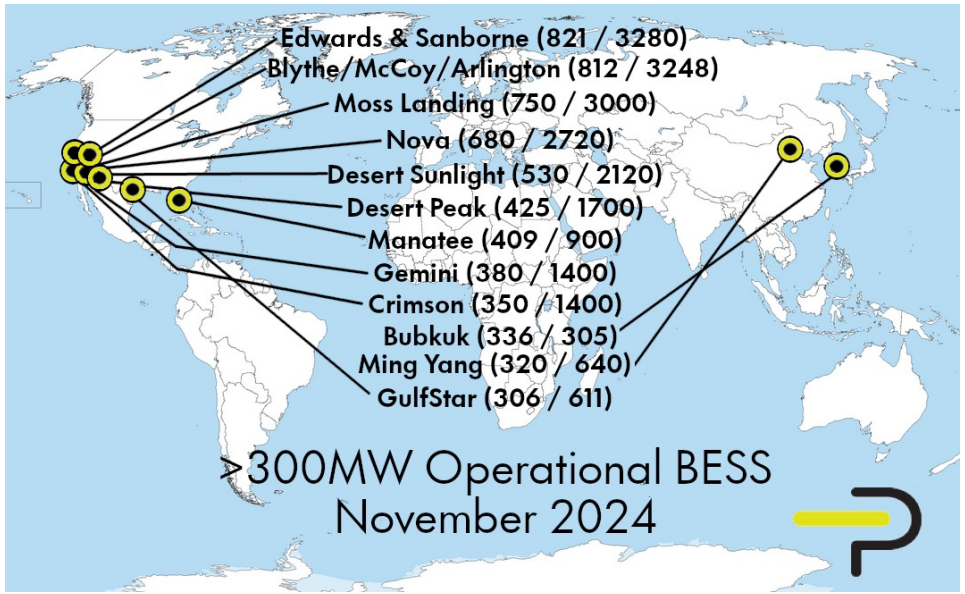
来源：来自杰出合作伙伴BloombergNEF的数据。

VF | VOLTA FOUNDATION

排行榜 - 按互连功率划分的全球BESS安装

- 单个BESS安装正在不断增大 - 截至2024年11月，最大的运营BESS是位于加利福尼亚的Edwards & Sanborn BESS，容量为821 MW / 3,280 MWh
- 许多系统是分阶段建造的，彼此相邻，采用单独的互连申请
- 虽然中国在已部署的BESS容量上领先美国，但美国在大型单个项目的建设上领先，全球11个超过300MW的运营项目中有9个位于美国
- 目前有多个项目正在开发中，预计将突破1 GW的门槛，但尚未有此规模的系统投入运营

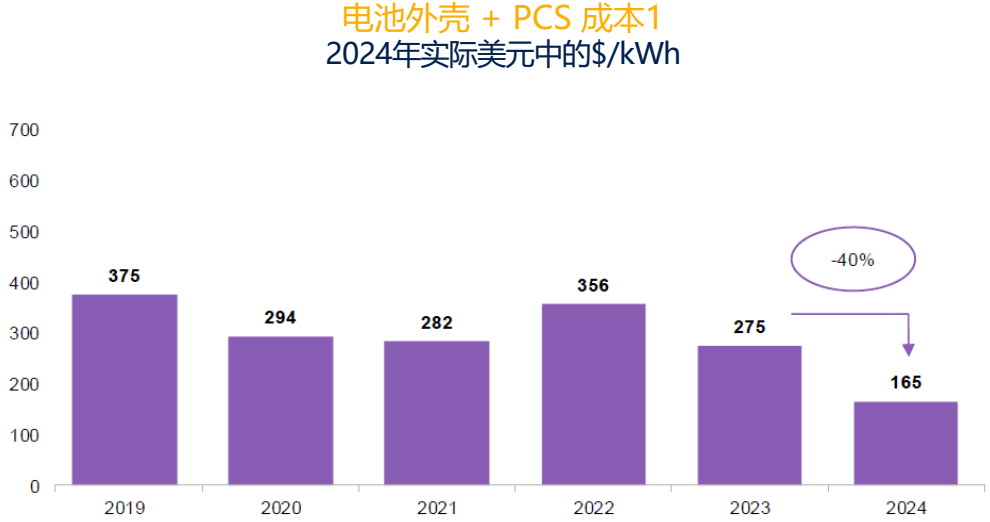
截至2024年11月的运营BESS项目（MW / MWh）



来源：PowerSwitch，基于项目开发者的公开数据。

2024年储能成本显著下降

- 当今储能市场的最大驱动力之一是电池成本的快速下降
- 根据BNEF的数据，2024年每千瓦时的平均成本下降至$165/kWh，较2023年同比下降40%，且不到2019年价值的一半
- 在中国，成本下降得更快——2024年12月在中国对16 GWh电池外壳+ PCS的投标平均价格为$66/kWh
- 2022年价格的上涨是由于供应受限、高锂价和持续的疫情供应链问题所驱动



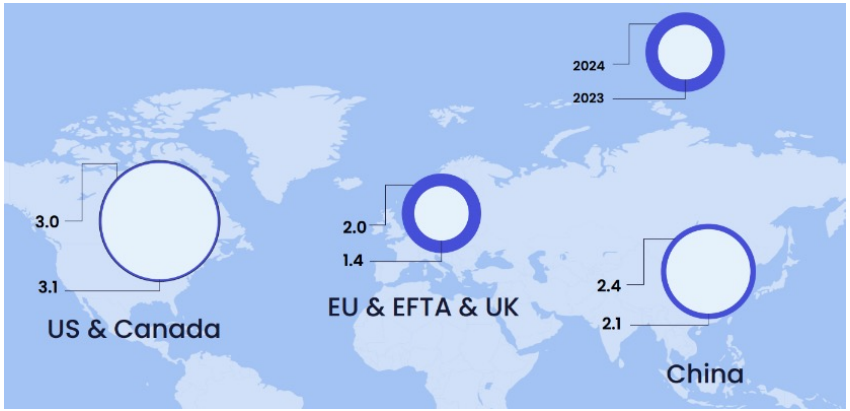
来源：包括彭博新能源财经的内容。

[1] 此定价基于可用能量容量的单位，包括直流电池外壳和逆变器系统（PCS），但不包括EPC（总包）和电网连接成本。

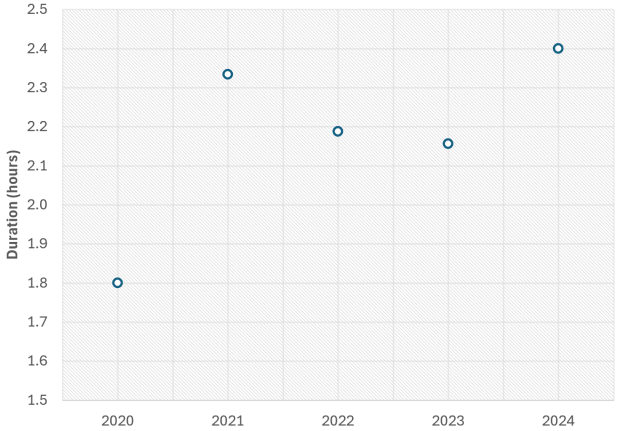
VF | VOLTA FOUNDATION

平均项目持续时间持续上升

按地区划分的平均BESS持续时间（小时）[1]



全球平均项目持续时间（小时）[2]



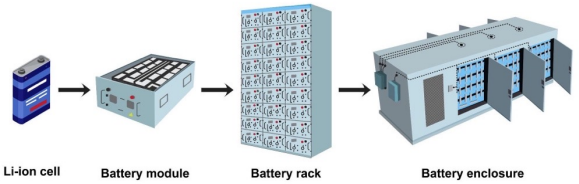
- 储能持续时间定义为在额定功率下放电电池额定能量的时间 - 充放电倍率（C rate）与持续时间成反比
- BESS项目的平均持续时间从2020年的1.8小时增加了33%，达到2024年的2.4小时
- 这主要是由于从NMC转向LFP化学体系，此外，基于日益增长的用例和市场，储能成本按每千瓦时计算下降，偏好更长的持续时间和降额因素

来源: [1] Rho Motion 在能源存储新闻 Energy Storage News中讨论；[2] 由 PowerSwitch 编制，基于 BNEF 和 Wood Mackenzie 的公开数据: 2020 (累计), 2020, 2021, 2022, 2023, 2024

VOLTA FOUNDATION

BESS 电芯和集成系统的关键参与者

BESS 项目从电芯到模组，再到电池包，最后到集成到集装箱/舱体。 2024 年的一个主要趋势是电池制造商向价值链上游移动，提供集成系统，通常与使用相同电芯的集成商竞争。 此幻灯片展示了领先的电芯制造商和系统集成商。 一些既是电芯制造商又是系统集成商的公司使用自己的电芯以及其他电芯制造商的电芯。



既是BESS 电芯制造商又是系统集成商的参与者

Envision AESC
eos
CATL
saft
Narada
BYD
HITHIUM
ESS INC
CATALYZING A CLEANER FUTURE
Form energy
Gotion
EVE Energy
INVINITY ENERGY SYSTEMS
REPT
TrinaStorage
CALB
SAMSUNG
SAMSUNG SDI
LG Energy Solution
GREAT POWER

BESS系统集成商

AESI AMERICAN ENERGY STORAGE INNOVATIONS
Midea Industrial Tech.
中国中车 CRRC
ENERGY VAULT Enabling a Renewable World
e-STORAGE A subsidiary of Canadian Solar
EVLO
FLEXGEN
FLUENCE A Siemens and AES Company
HUAWEI
HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES
HYPER STRONG
KEHUA TECH
NHOA ENERGY
POWIN
PREVALON A Mitsubishi Power Americas Company
RelyEZ
risen storage
WÄRTSILÄ
SERMATEC
SUNGROW
TESLA

VOLTA FOUNDATION

领先的储能项目开发商

BESS开发商是指那些获取土地、签署购电协议、采购组件并管理BESS项目的EPC（即项目总包）公司。 该行业包括大型和小型公司的混合，从具有广泛发电能力的跨国独立发电商到只有少数项目的小公司。 此幻灯片展示了领先的BESS项目开发商，按其最大项目所在地区分类 - 请注意，一些开发商也在提到的地区以外¬¬。

北美开发商

acciona, aes, AREVA POWER, AVANTUS, AXIUM INFRASTRUCTURE, aypa, Brookfield Renewable, Clēnera, EDF renewables, enel, GRIDSTOR, Hecate Energy, Invenergy, Intersect Power, KEY CAPTURE ENERGY, NEXTera ENERGY, akaysha, NRSTOR, Ørsted, PINEGATE RENEWABLES, PLUS POWER, PRIMERGY, RECURRENT ENERGY A subsidiary of Canadian Solar, REV RENEWABLES, RWE, SB Energy, spearmint energy, STELLAR RENEWABLE POWER, STRATA CLEAN ENERGY, TERRA-GEN, VISTRA ENERGY

欧洲和拉丁美洲开发商

Alcemi, AURA POWER, ENGIE, BW ESS, Grenergy, GIGA STORAGE, STATERA BALANCING THE GRID, frv, S4 ENERGY, HE HARMONY ENERGY, Zelestra, tagenergy, ZENOBĒ

亚洲和非洲开发商

ACWA POWER, 中国南方电网 CHINA SOUTHERN POWER GRID, JSW Energy, 中国三峡 China Three Gorges Corporation, GLOBELEQ, INFINITY POWER A MASDAR INFINITY COMPANY, Reliance Industries Limited, Scatec, MASDAR, MERALCO Terra Solar, TATA, TATA POWER

澳大利亚的开发商

akaysha, amp, EQUIS, enel Green Power, lightsource bp, NEOEN, res

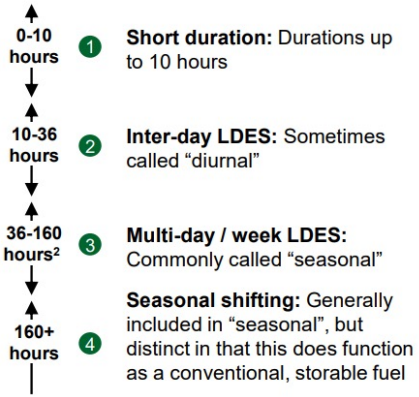
VF | VOLTA FOUNDATION

BESS用例总结

BESS项目是多功能资产，可以为任何电网提供广泛的用途（“跟随电网”），或通过生成自己的电网（“形成电网”）来服务于离网地点或选择与主电网隔离的并网地点。虽然BESS项目使可再生能源在电网中的渗透更深，但有五个主要用例占据了项目大部分收入：

- **辅助服务**：一系列用于帮助维持电网稳定的服务，例如频率响应
- **可再生能源整合**：帮助确保有效利用可再生能源产生的能量
- **电网支持**：管理传输和分配网络的约束
- **资源充足性**：提供可以在高峰需求期间部署的电力容量，以减轻电网的压力
- **能源套利**：在价格低时储存能量，在价格高时出售，从而最大化利润





来源：包括来自Roland Berger 罗兰贝格（杰出合作伙伴）的内容。

探索利润模型 - 合同驱动与商业驱动

BESS利润模型可以根据运营策略和风险承受能力分为合同驱动型或商业驱动型。选择受到BESS所在能源市场的影响，以及市场条件、财务目标和投资者的风险偏好的影响。无论模型如何，BESS系统提供灵活性，可以同时提供多种应用，使运营商能够从多种来源叠加收入，并将收入策略与不断变化的市场机会对齐。2024年建造的大多数系统使用了合同驱动型和商业驱动型利润的某种组合。

机制	合同驱动	商业驱动
利润稳定性	可预测的收入：与固定利率的长期协议	可变收入：根据市场波动
市场暴露	对价格波动的有限暴露	完全暴露于市场动态
风险水平	通过保证支付降低风险	由于市场波动而面临更高风险
利润潜力	稳定但较低的回报	在有利条件下潜在更高的利润
主要利润来源	收费（固定支付）、容量、能源对冲	能源市场、容量拍卖、辅助服务
投资者画像	优先考虑稳定性的风险回避型投资者	风险承受能力较高的投资者，寻求更高回报

来源：Camelot Energy Group

VOLTA FOUNDATION

BESS部署路径

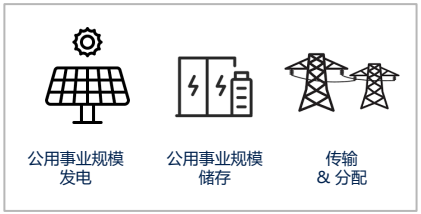
根据它们相对于电表的位置以及它们在能源系统中的角色，BESS系统可以以两种方式部署：

- 表前（FTM）：连接到电网的传输或配电网络，或与可再生能源发电共址
- 表后（BTM）：安装在公用事业电表后面，通常由商业、工业或住宅消费者直接拥有/管理并提供能源

BESS系统也可以根据**连接类型**以不同方式部署：

- **并网**：连接到主电网，支持削峰和平衡可再生能源，随着可再生能源扩展和电网韧性需求的增长，需求也在增加
- **离网**：独立于主电网，在偏远地区提供电力或作为电力备份，随着对农村电气化和可持续能源解决方案的采用趋势增加

注意：混合系统能够在并网和离网模式之间切换，在间歇性电网和可再生能源场景中正获得关注。

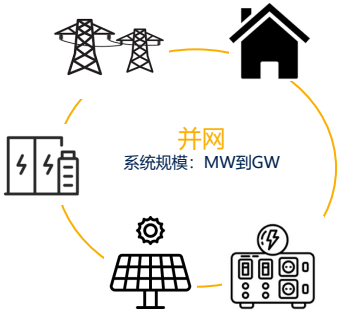




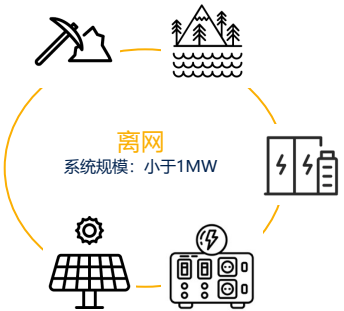
前端电表（FTM）
市场份额：80%
系统规模：MW到GW

对比

后端电表（BTM）
市场份额：20%
系统规模：5kW到10MW



对比



来源：NREL，Symtech Solar和Cervicorn Consulting

ESS技术可融资性 - 衰减、循环寿命和产品保修/担保

- **施工质量保证：**大多数BESS制造商与EPC承包商一起，提供一项‘施工质量保证’，该保证涵盖系统达到商业运营日期（COD）后的一个时期。 通常情况下，该保修有效期为1-3年，涵盖初始缺陷和组件故障（短期）。

- 性能保证：在COD之后，制造商通常会根据单独的长期服务协议（LTSA）为其系统提供性能保证。这些保证允许在经过容量测试验证的情况下，保证一定程度的衰减，该测试每年进行一次。LTSA的最常见条款是保修：
  - 20年内7200个循环（相当于每天1个循环），尽管一些制造商提供高达10000个循环的25年保修
  - 从COD起的100%到第20年约70%的典型衰减
  - 典型的循环效率
  - 保证可用性为97%或更高，排除系统的计划维护时间

- **纠正性维护：**大多数LTSA不涵盖纠正性维护，这是由于系统操作中意外事件造成的，尽管一些合同提供更高价的‘扩展保修’，其中包括更大的支付以应对纠正性维护工作。

- **保险要求：**在项目的多个层面上，保险是典型的：制造商为其预期的衰减水平投保，EPC承包商持有保险单以覆盖施工中的不可预见问题，项目在达到COD后转为运营项目保险。

- **可融资性：**上述所有政策、保修和担保在行业中变得更加标准化，从而增强了对公用事业规模能源存储项目融资的信心；总体而言，这是行业成熟和变得更具可融资性的标志。

来源：PowerSwitch，诺顿罗斯富布赖特，ACCURE，DNV，能源存储新闻

VF | VOLTA FOUNDATION

公用事业规模BESS产品趋向于>5 MWh容量的20英尺集装箱

品牌	产品	直流容量（MWh）*	产品图片
CATL	TENER 天恒	6.25	
FLUENCE	Gridstack Pro	5.6	
BYD	MC Cube T	6.4	
e-STORAGE	SolBank 3.0	5.0	
POWIN	Pod	5.0	
SUNGROW	PowerTitan 2.0	5.0	
WÄRTSILÄ	Quantum 3	5.0	
HYPER STRONG	HyperBlock III	5.0	

标准尺寸，日益增长的容量

- 早期的ESS行业使用40英尺的集装箱；后来演变为10英尺的‘立方体’产品，但行业现在已统一为一种尺寸：20英尺的集装箱

20英尺（6米）长 x 8英尺（2.4米）宽 x 8.5英尺（2.6米）高

- 出于安全考虑和运输便利，每个集装箱逐渐增加了更多的能量。电池单体的能量密度增加、更大格式的电池单体以及更高效的设计都促进了这一趋同。虽然一些设计使用传统的波纹纸箱集装箱，但其他设计则选择了专有的外壳。
- 几乎所有舱体都具有内置液冷功能，尽管一些提供空气冷却作为替代方案。
- 行业仍然在产品中分为两类：一种是在舱体中具有内置PCS单元（交流侧产品），另一种是需要外部PCS（直流侧产品）。交流侧产品的显著领导者包括特斯拉、阳光电源和Wartsila。

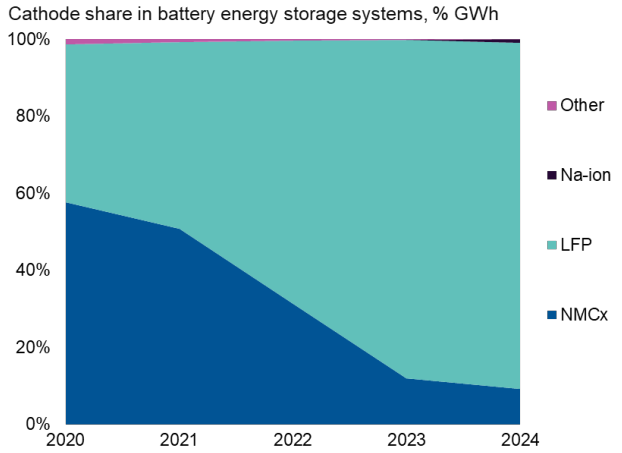
* 每个项目的直流额定容量由制造商报告。 产品外壳基于20英尺集装箱。 所有产品均为直流侧，除了PowerTitan 2.0和Quantum3。

VF | VOLTA FOUNDATION

BESS主要基于LFP，但在长时间应用中面临限制

领先的BESS化学品

LFP（磷酸铁锂）已超越NMC（三元）成为主导的固定储能化学品，今天占据超过80%的ESS（储能）市场



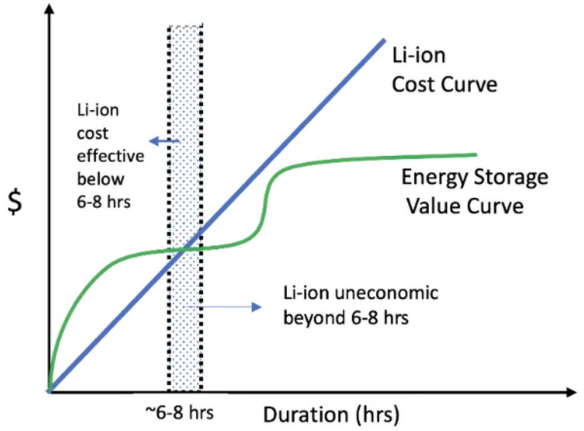
基于锂的ESS在较长时间内的限制

锂离子储能在短时间内在两个使用案例中具有成本效益：

(1) 从几秒到1小时的需求-供应匹配

(2) 能源套利（即在便宜时购买能源、充电，在高价时出售、放电）

在当前价格下，锂离子电池在任何使用案例场景中超过8小时、后并不具成本效益，这推动了对替代化学的研究
(见LDES)



来源：来自CRU集团的正级化学图表（杰出合作伙伴），来自MCJ Newsletter的成本效益图形。

替代化学 - 钠离子、铁空气和液流电池

尽管锂离子电池占据了约98%的BESS市场，但仍有几种竞争的化学体系正在争夺领导地位，基于成本、安全性能和持续时间的改善。 有关这些技术的更多信息，请参见非锂化学部分。

钠离子（Na-ion）电池

用于 2-10小时的电网存储、住宅存储和铅酸电池替代





2024年关键发展：

- 比亚迪推出了一款用于大规模电网应用的BESS长刀片钠离子电池（90 Wh/kg）
- 海辰推出了一款专门用于公用事业规模存储的钠离子电池
- 宁德时代宣布了一款结合锂离子/钠离子电池的电芯
- 美国能源部 宣布了一项5000万美元的拨款以推进钠离子电芯技术的研究

液流电池

旨在 ~6-24小时的能源存储以稳定电网并提供峰值转移/负载转移能力



2024年关键发展:

全球流电池总容量增加至>40 GWh

- **钒流电池（VFRB）：** 在亚洲进行了大规模容量的增加，包括一个700 MWh项目 在中国。
- 铁流电池： 在加利福尼亚宣布了2 GWh的铁流部署，在澳大利亚超过3 GWh。

金属空气电池

旨在支持高达100小时的用例 以提供季节性存储的可调度容量



2024年关键发展：

- **铁空气：** Form Energy在其F轮融资中筹集了4.05亿美元。 与明尼苏达公用事业公司Great River Energy (GRE)在2025年即将开展的1.5 MW/150 MWh项目。
- **镍/氢：** EnerVenue筹集了5.15亿美元，并宣布在密尔沃基进行其2-12小时持续时间电池的试点项目。

来源：https://vanitec.org/latest-from-vanitec/article/china-sees-surge-in-100mwh-vanadium-flow-battery-energy-storage-projects

VF | VOLTA FOUNDATION

长时储能（LDES）技术

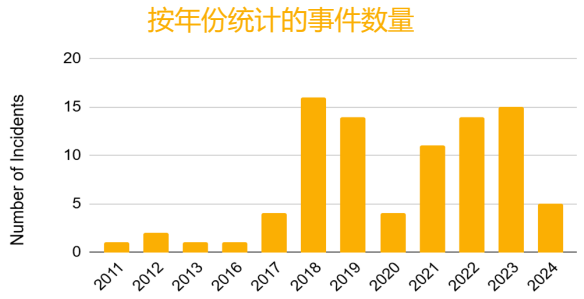
- LDES的定义各不相同，但通常被认为在8小时（0.125C）到100小时（0.01C）之间。
- LDES涵盖了包括化学、热能和机械在内的广泛技术，此外还有电化学（电池）。
- 截至2024年部署的电池LDES约为2 GW，约等于全球已部署BESS容量的1%。
- 长时储能计划™，是美国能源部的能源地球计划™之一，旨在将提供10小时以上连续电力的系统的储存成本降低90%。
- 尽管长时储能（LDES）有显著的投资和潜力，但锂离子电池目前占据了超过98%的已安装储能市场，在银行可贴现性、循环效率（RTE）和产品供应方面占据主导地位

Technology	Market readiness	Storage duration (hours)	Round-trip efficiency (%)	Geographical footprint (kWh/m²)
Vanadium Flow batteries	Early commercial	4-24+	60-80%	20-50
Lithium-Ion (LFP, NMC)	Commercial	2-10	85-96%	90-95
Sodium-Ion	Early commercial	4-20	60-85%	2-43
Zinc Air	Early commercial	10-100	40-45%	2-43
Zinc Bromine Flow	Early commercial	4-12	60-70%	2-43
Iron Air	Early commercial	100	40-45%	75-225
Non-Metal chemical storage	Emerging	0-200	40-50%	300-1500

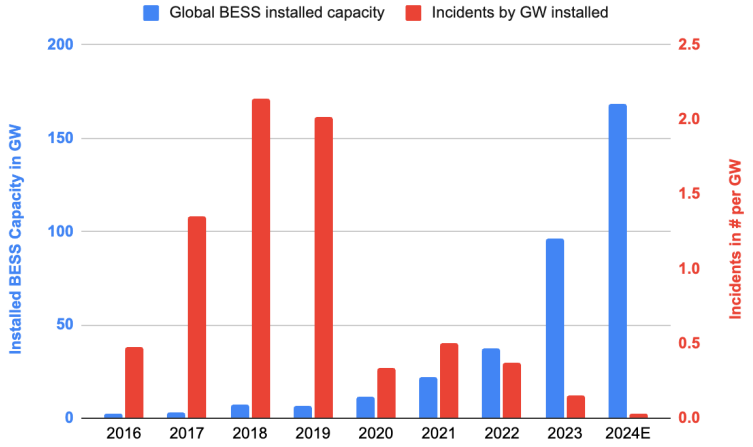
来源：Rho Motion；LDES理事会

VF | VOLTA FOUNDATION

BESS安全事件发生率的大幅下降



- 2024年5月来自电力研究院（EPRI）的报告对运营BESS项目中的操作事件进行了最全面的分析
- 事件被定义为：*“由于BESS系统或组件故障引起的事件，导致安全风险增加。”对于锂离子BESS，这通常是热管理风险，例如火灾或爆炸。”*
- **2024年发生了5起可记录事件**（美国3起，日本1起，新加坡1起）
- 这些事件突显了**有效灭火系统**设计的重要性
- 有效的应急响应计划对于减轻与BESS事件相关的风险至关重要，这些计划包括：
  - 撤离程序
  - 空气质量监测
  - 公共安全措施



GW装机容量增长，事件减少： 随着总装机BESS容量的指数增长，事件数量保持不变或减少

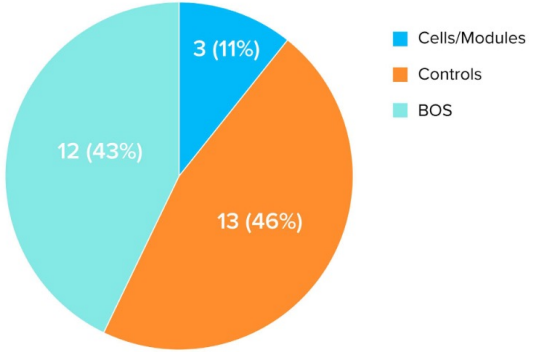
按GW计算的事件最低: 事件按装机GW比例反映出自2016年以来最低的比率（0.03事件/GW装机）

来源：BNEF，EPRI，EPRI维基，2016年至2023年已安装BESS容量的数据：KEARNY，电力存储技术的蓬勃发展，2024年9月；2024：能源存储新闻 Energy Storage News

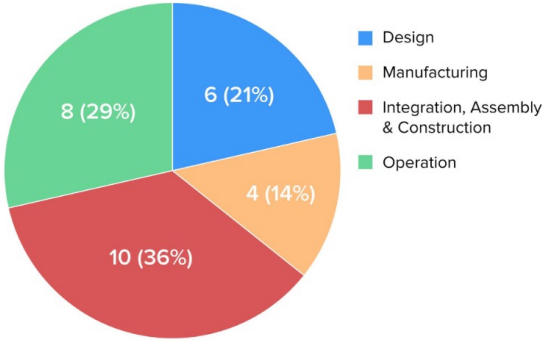
VF | VOLTA FOUNDATION

控制问题和集成挑战主导安全事件，而非直接的电芯故障

按触发组件分类的事件



事件的根本原因



BOS = 系统平衡

- 控制问题引发了许多事件： 虽然**只有11%的事件直接归因于电芯故障**，但更多事件是由于操作条件超出预定义安全窗口而间接引发的电芯故障所导致的
- 问题在项目生命周期的早期发生：大约**3/4的案例中，事件发生在施工**、调试或运营的前两年内
- 集成仍然具有挑战性：**与集成相关的问题是导致事件的最常见根本原因**，包括接线、冷却系统或安全系统

来源：EPRI

ESS安全 - 大规模燃烧测试是现有消防测试标准的新补充

- UL 9540A：该标准由美国私营认证机构UL Solutions制定，是消防测试的领先标准，几乎每个主要制造商都使用该标准进行了测试。 它涉及测量在实验室控制燃烧中系统各个组件的结果，从最简单的开始，逐步到最复杂的：
  - **电芯级**：单个电芯燃烧，测量产生的气体
  - **模组级**：一组连接在一起的电芯的燃烧
  - **单元级**：一组连接在一起并安装在电池簇和/或舱体内的电池模组
  - **安装级**：与单元测试相同的设置，增加了用于火灾抑制系统

- 对整个BESS单元的大规模测试：这些测试涉及故意触发整个BESS舱体内的热失控事件，以评估其控制火灾和防止蔓延到相邻舱体的能力。

- 大规模火灾测试的好处：
  - 这些测试通常超过NFPA 855和UL 9540A中概述的当前行业标准要求
  - 为即将到来的**CSA C800**标准做准备，该标准将在2026年建立能源存储系统大规模测试的新安全基准
  - CSA C800模拟现实生活中的事件，并提供对最坏情况下火灾性能的洞察，以支持适当的风险评估

来源：Utilitydive，BatteryStandardsTable

ESS安全 - 规范与标准

美国能源部为旨在采购BESS的机构提供了一个模板，并强调了相关的规范和标准。 在2024模板中添加了以下标准：

NFPA 68: 该标准涉及通过减压通风进行的explosion protection爆炸保护。在BESS的背景下，这涉及设计通风系统，以安全释放压力，以防止爆炸事件导致的灾难性故障。
NFPA 69: 该标准侧重于explosion prevention systems 爆炸预防系统，例如那些在爆炸造成重大损害之前检测和抑制爆炸的系统。 对于BESS，这涉及安装灭火系统、气体检测系统和其他措施，以防止电池模块内发生火灾和爆炸。
NFPA 72:该标准涵盖火灾报警和信号系统。 对于BESS，这涉及安装火灾报警器、烟雾探测器和其他早期预警系统，以检测火灾并启动适当的响应，例如激活灭火系统或警报人员。

其他相关的代码和标准：

代码/标准	描述
NFPA 70	国家电气规范
NFPA 855	固定能源存储系统的安装标准
UL 1642	锂电池标准
UL 1973	用于轻型电气铁路应用和固定应用的电池
UL 9540	能源存储系统和设备

代码/标准	描述
UL 9540A	评估电池能源存储系统中热失控火灾传播的测试方法
IEEE 1547	分布式能源资源与相关电力系统接口的互连和互操作性标准
UL 1741	静态逆变器和充电器、变换器、控制器及互连系统设备的标准
UL 62109-1	光伏电力系统用电源转换器的安全性 – 第1部分：一般要求

作为减少火灾和提高安全性的努力的一部分，AHJ和消防员要求这两个文件用于ESS系统的安装：(1) 紧急响应计划和(2) 退役计划/指南。

来源：Energy.gov, Energy.gov

主要市场BESS项目的监管地图



对于**受监管市场**，存在特定的MW或MWh目标，项目通过竞争性招投标进行招标，然后通过谈判的购电协议授予。

在**非监管市场**，开发者进行互连研究，并必须支持因项目而产生的网络升级费用。 采购可能通过政府激励或合同进行监管，或者可能在私人市场上进行。

无论是通过竞争性授予，还是为了在特定市场中获取收入而建立，电网必须根据BESS的具体充放电要求允许互连。通常基于公用事业、电网运营商或监管机构的申请/研究而允许。 根据安排，开发者可能需要资助支持项目所需的电网升级的部分或全部费用。

大多数项目必须获得某种国家、州、省或地区的批准 - 这包括必须咨询的任何规划或选址委员会、环境批准，以及任何额外的研究，如噪音或社区批准。必须遵循电气和建筑规范。

具有管辖权的地方当局（AHJs）执行对国家、州和地方规范的合规性。

根据AHJ对规范的解释，该项目及其关键组件，如BESS、PCS和控制系统，必须满足某些要求。 在产品层面，这可能包括UL 9540、UL 9540A、相应的IEC标准，以及项目必须满足的项目级标准，如NFPA 855。

电池储能投资激增

自2018年以来增长五倍：电池储能投资激增，以满足电气化和可再生能源整合的需求。

电池存储投资创纪录增长

- 预计2024年全球电池存储投资将超过500亿美元，2023年增长70%，主要由美国和欧洲主导
- 总投资：1500亿美元，其中1150亿美元用于EV动力电池，400亿美元用于储能
- 主导地区：90%的资金集中在中国、欧洲和美国

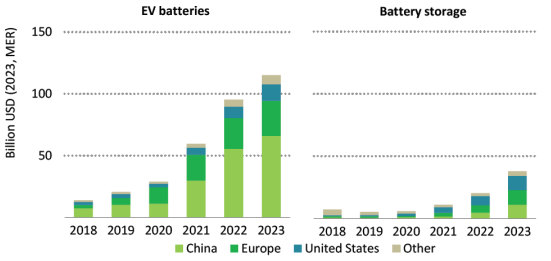
风险投资焦点

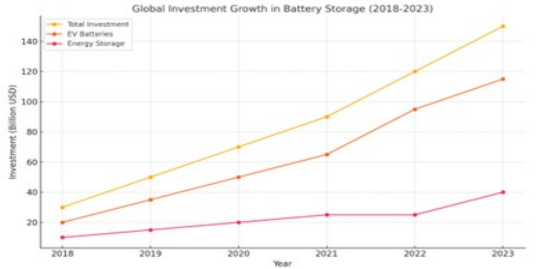
- $60亿用于创新，如新化学和电池回收- 技术投资
- 15%的资金用于回收和锂的替代品- 技术投资

领先发展的顶尖企业

- 中国能源投资：11.8 GW容量- 部署
- NextEra Energy：在美国的10.9 GW- 部署
- Engie：在欧盟、美国和拉丁美洲扩展，计划6.3 GW- 部署

2018-2023年全球电动汽车电池和电池储能投资





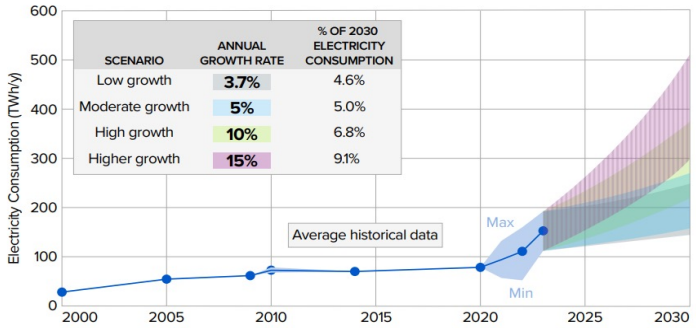
	Capacity installed or in an advanced stage (GW)	Main project location
China		
CNNP Rich Energy	11.8	China
CGN Wind Energy	8.5	China
State Power Investment	6.8	China
Huadian New Energy	5.6	China
China Energy Investment	5.6	China
North America		
Hecate Energy	10.9	United States, Canada
Nextera	9.8	United States
Solar Proponent	5.5	United States (Texas)
Terra-Gen	2.4	United States (California)
AES	2.2	European Union, India, Latin America, United States
Europe		
Engie[1]	6.3	Australia, European Union, Latin America, United States
NEOEN	4.3	Australia, Canada, European Union
RWE	4.0	European Union, United States
Enel	4.0	European Union, Latin America, United States
EDF	2.0	European Union, United Kingdom
Australia		
Akaysha Energy	2.8	Australia
AGL Energy	1.5	Australia
CEP Energy	1.2	Australia

技术投资推动创新和可持续性，部署投资则专注于规模化和与现有能源系统的整合。

来源：电池与安全能源转型世界能源展望特别报告，RechargeNews

人工智能和数据中心是电力需求和BESS部署的主要驱动因素

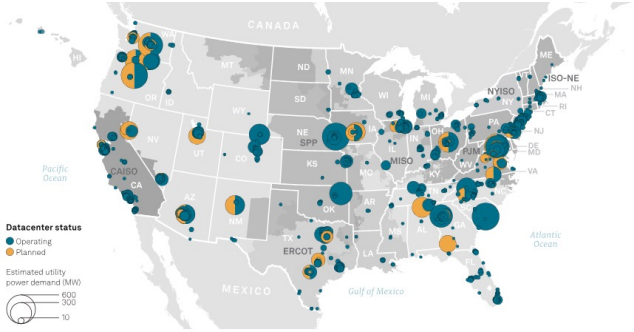
美国数据中心潜在电力消费预测：2023–2030



生成式人工智能在过去二十年中加速了电力需求的速度和规模，超过了任何其他技术。” *麦肯锡报告，2024*

- 预计到本世纪末，数据中心的电力需求将增长三倍，从2024年占美国总电力需求的3%增长到2030年的9%
- 在15%的增长情景下，美国数据中心的电力需求预计将增加到超过400 TWh/年，包括大量BESS安装

美国数据中心地理分布及预计电力需求：2023-2030



“数据中心的地理分布显著不均，造成局部电网压力。” *EPRI白皮书，2024*

- 截至2024年，全球约有10,655个数据中心，其中一半（5,381个）位于美国。
- 有限的电网容量导致数据中心考虑自我发电，主要是太阳能光伏和电池储能
- 在美国，15个州占全国数据中心负载的80%，其中弗吉尼亚州的数据中心消耗了该州超过25%的总电力

来源：麦肯锡，EPRI，标普全球

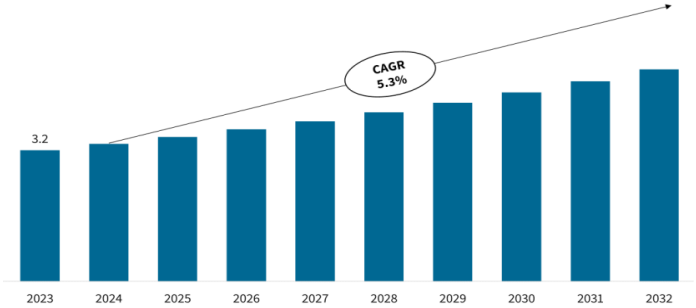
生成式人工智能与数据中心 - 电池市场规模、趋势及竞争格局

鉴于数据中心的巨大电力消耗，确保其运营可持续性的呼声日益高涨。 因此，像谷歌、苹果和Meta这样的主要超大规模企业已承诺到2030年仅使用无碳能源，推动显著减少柴油发电机的使用。 运营商越来越多地转向电池储能系统 (BESS) 以减少数据中心和人工智能应用的碳足迹。

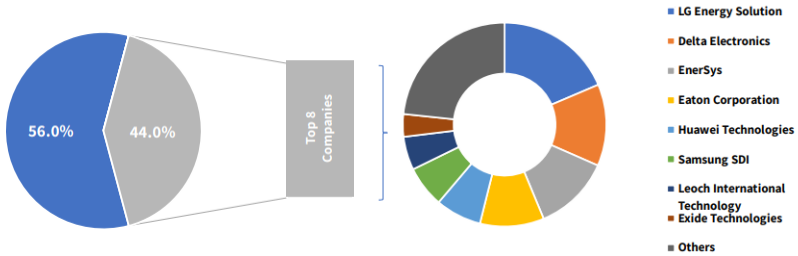
数据中心电池市场趋势：

- **电池化学的演变**：从传统铅酸电池到镍锌和锂离子电池，数据中心运营商正在探索多种选择以确保高可靠性。
- **不间断操作**：任何停机时间都可能非常昂贵，推动对强大能源存储解决方案的需求。
- **空间限制**：设施的占地面积有限，使得能量密度和效率在最大化电力容量方面至关重要。
- **平衡成本与耐用性**：运营商仔细权衡耐用性、总拥有成本和维护便利性等因素，以确定最佳选择。

全球数据中心电池市场规模 2023 - 2032（美元十亿）：



全球数据中心电池市场份额按公司划分，%



来源：麦肯锡，电力研究院，标准普尔全球，全球市场洞察

废电池 - 将电动汽车电池再利用于BESS

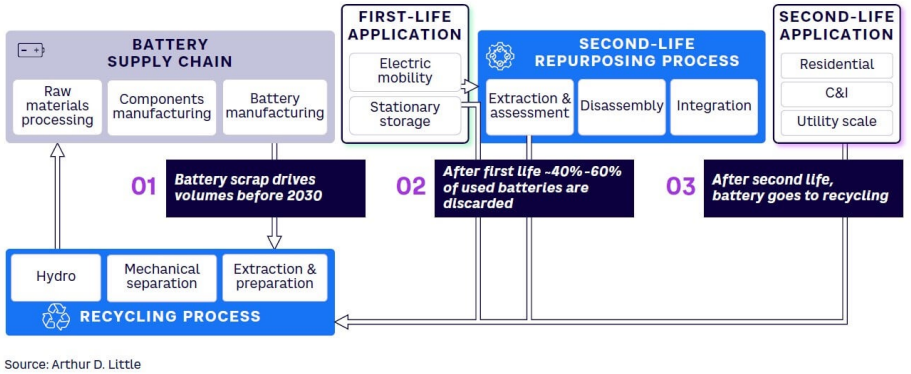
梯次和再生电池是指在从电动车（EV）中拆除后用于其他应用的电池。它们要么重新放回电动车中，要么转化为固定式电池储能系统（BESS）产品。

梯次和再生使用案例具有挑战性，因为虽然它们降低了成本，但电芯必须从电动车中拆除、测试、整合到新产品中，并重新销售。UL 1974和IEC 6330是用于评估电池再利用的标准

废旧电动汽车电池市场预计在2024年约为$2B，但随着电动汽车市场的渗透率增加，预计将迅速增长。 许多汽车制造商已开始努力将其车辆的二手BESS应用商业化。

2024年二手电池企业活动亮点：

- 起亚（Kia）欧洲与德意志铁路的初创公司 encore 合作，将电动汽车电池再利用为能源存储系统
- 奥迪股份公司和RWE在德国的能源存储项目利用了电动汽车的电池。
- 日产和ecobat合作回收、修复和再利用日产的电动汽车电池



Source: Arthur D. Little

来源：AD Little 二手电池：最大化电动汽车电池的生命周期

商业与工业 (C&I) ESS - 市场趋势

2023年，C&I能源存储部门的估计市场规模为30亿美元，新安装的容量达到2.4 GW/4.9 GWh，约占整体市场按功率容量的3%。 C&I的增长是由于BESS成本下降、政府政策支持、需求成本上升，以及工业设施在新建设施（特别是数据中心）上现场共同建设联合发电（和存储）的趋势。

2024年影响C&I能源存储未来的五大趋势

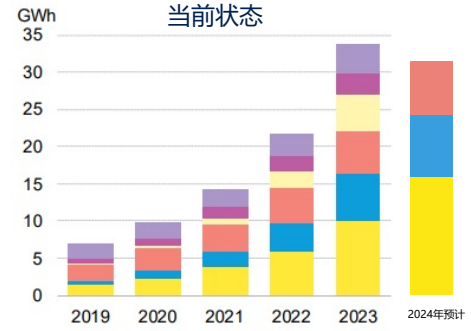
1. 产品标准更严格：由于许多参与者涌入C&I市场，认证机构对代码和合规性的控制力度加大，例如UL 9540A（第4版）和9540（第3版）、UL 1741和1741 SB、UL 5500用于远程软件更新，以应对PCS、BMS和EMS的网络安全威胁。
2. 20年的设备使用寿命已被采纳为行业标准：与公用事业规模的产品一样，具有更高使用寿命的产品在竞争中提供更大的优势。
3. 服务即存储：与公用事业规模的部署不同，C&I需要更大的客户参与，以解释其价值主张和向购电方展示投资回报，因为BESS通常位于C&I客户的物业上。许多C&I安装并不是直接由购电方资助，而是签署了保证公用事业税节省的购电协议，使得这一前景在资本上更不密集，对潜在客户更具吸引力。
4. 虚拟电厂（VPP）能力：作为附加价值流，许多C&I安装利用VPP来增加C&I BESS安装的投资回报率。根据市场情况，C&I BESS安装能够聚合和优化BESS资产，使其获得的收入显著高于仅为当地购电方服务时的收入。请在本演示文稿稍后查看VPP幻灯片以获取更多详细信息。
5. 智能操作与维护（IO&M）。有效的商业与工业BESS必须与其他能源组件紧密合作，例如现有的SCADA控制、光伏控制（如适用）以及与电网及其税费的结合。优化内部负载与外部价格曲线以最大化盈利能力是关键。因此，需要自动化操作和维护以实现完整的系统运行。



来源:https://energybase.com

VF | VOLTA FOUNDATION

住宅ESS - 市场与动机



Source: BloombergNEF

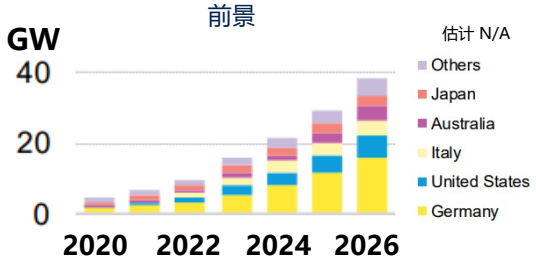
增长：所有主要市场都已推出激励措施以促进储能设施的安装

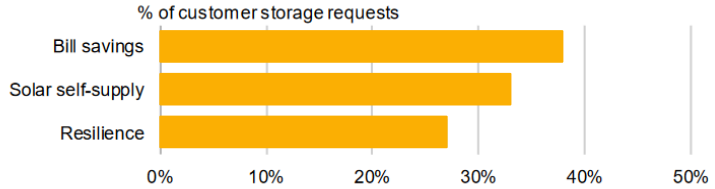
激励措施：补贴、自用激励和时变税率为电池储能创造了经济利益

光伏市场：成熟的住宅光伏市场支持了储能的增长——尤其是在意大利和德国，光伏+储能的比例分别为77%和75%。与美国和澳大利亚仅有9%到15%的光伏+储能比例形成对比

安装住宅储能的主要动机：

1. 经济利益和账单节省：主要原因是降低成本和节省电费
2. 太阳能自供和可持续性：房主希望增加太阳能自供
3. 韧性和备用电源：在电网不可靠或频繁停电的地区，电池提供了宝贵的备用电源，确保在中断期间持续供电





Source: EnergySage, BloombergNEF

来源：BloombergNEF (Distinguished Partner), Estimate 2024, USA: WoodMac, WoodMac, ESS-News and assuming similar growth in WoodMac; Battery-Charts; GER; Review-energy; ITA

VF | VOLTA FOUNDATION

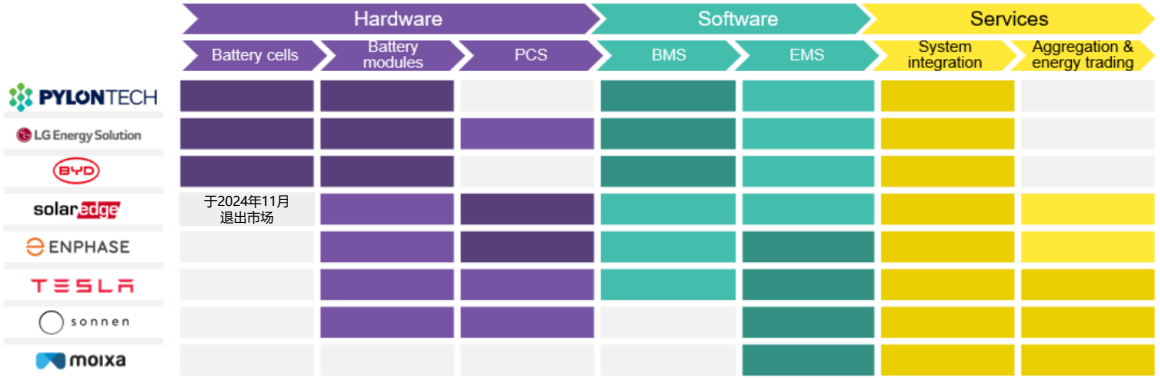
住宅ESS - 选定的住宅储能公司

竞争加剧：成熟的电池和太阳能制造商正在进入住宅能源存储市场。

下游关注：储能系统提供商正专注于下游活动，如建立强大的本地安装网络、系统集成以及先进的能源和电池管理软件。

战略合作伙伴关系：电池制造商通常依赖与当地集成商的贴牌合作伙伴关系以获得市场准入。

市场特定解决方案：随着能源市场变得越来越复杂，对符合特定市场法规和税费的住宅储能系统的需求日益增长。



较深的阴影代表核心业务

来源：PV-Magazine, 彭博新能源财经（杰出合作伙伴）

虚拟电厂（VPP）可以帮助减少电网负荷，但其参与在很大程度上依赖于区域政策。

总体

虚拟电厂（VPP，也称为分布式电厂）是对静态能源存储资产的协调充放电，以作为电网上的更大BESS资产。虚拟电厂（VPP）通常使用大量住宅或商业与工业（C&I）规模的电池产品进行部署。这些系统通常由第三方拥有，并参与协调者补偿电池所有者的项目。 作为回报，协调者管理资产队列，以参与大型市场，例如公用事业容量市场，而单个资产无法访问这些市场。

好处

虚拟电厂（VPP）可以提供电网服务，确保消费者参与市场，减少电网拥堵，并为希望参与能源转型的消费者提供额外的收入来源。 由于它们是分布式资产，因此不依赖耗时的互连问题，并且对公用事业公司来说是可取的，因为它们在不在特定点引入额外压力的情况下减少了电网的需求。

挑战

虚拟电厂（VPP）的成功依赖于监管、政策和市场规则。一个积极的例子是特斯拉与太平洋煤气电力公司（PG&E）推出的项目。形成的虚拟电厂在2024年7月提供了100兆瓦的电力，从而减少了对化石燃料峰值电厂的需求。然而，许多公用事业公司没有允许虚拟电厂（VPP）在这些地点参与的市场或市场规则。

来源：国际能源署，Guidehouse Insights

整个市场包括所有灵活负荷：

截至2024年，北美市场已经包含超过33GW的灵活负荷，通过VPP管理（不仅仅是电池）。在这个领域运营的一些顶级VPP聚合商包括：

- CPower Energy: 7 GW
- Voltus: 7 GW
- Enel NA: 5 GW

关注住宅储能

某些住宅BESS产品制造商已为其用户提供虚拟电厂（VPP）参与作为自愿补偿项目。

一些较大虚拟电厂部署的显著公开示例在此展示：

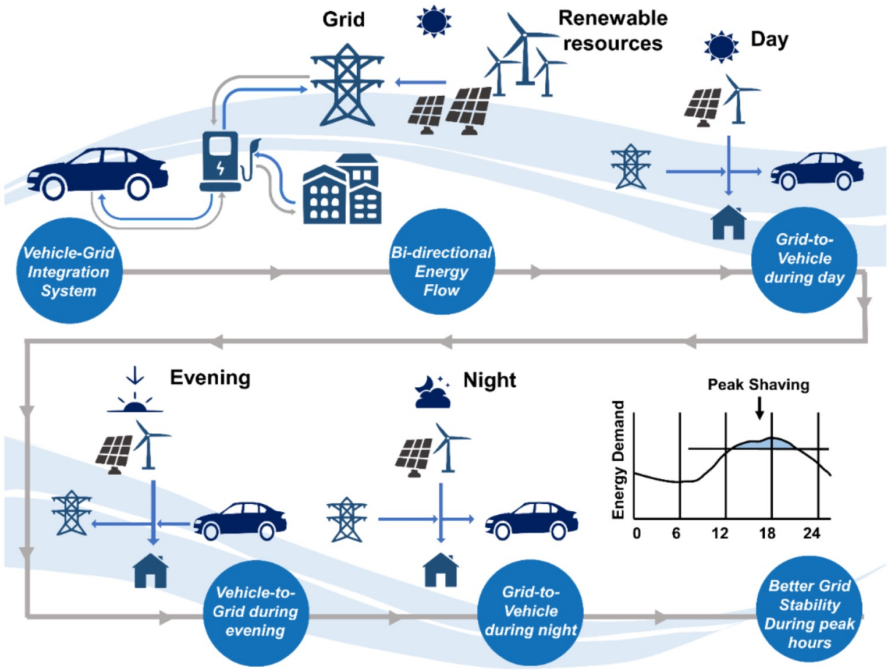
- sonnen：40 MW / 2024年9月 / 美国德克萨斯州
- TESLA：~100 MW / 2024年7月 / 美国加利福尼亚州
- SUNRUN：32 MW / 2024年7月 / 美国加利福尼亚

车辆到电网（V2G）在试点项目中测试，面临扩展挑战

车对电网（“V2G”）是**利用电动车的双向充电能力为电网提供服务**。 目前全球道路上有约4000万辆电动车（包括插电式混合动力车和动力电池驱动的电动汽车），总计超过1300 GWh的能源存储（相对于到2024年底大约340 GWh的固定能源存储）。 随着两个市场的持续增长，V2G技术也在不断发展，使电动车主能够通过将车辆连接到电网来实现盈利。 与虚拟电厂（VPP）一样，V2G通过成千上万的分布式储能电池同时充电或放电来部署。

V2G已在试点项目中广泛部署，但尚未大规模普及。 部署面临许多**技术和经济挑战**：

- V2G需要充电和放电，而某些车辆并不允许双向电力流动。
- 在车辆制造商之间没有标准或通信协议，因此大多数V2G程序必须由特定制造商运行
- 该技术需要大量车辆参与，以实现显著的规模经济



来源：MDPI

VF | VOLTA FOUNDATION

全球BESS政策支持概述

通过全球倡议加速部署：各国政府通过补贴、目标和监管改革支持电池储能，以加速可再生能源的整合。 有关此主题的更多信息可以在报告的政策部分找到。

标准化保修实践减少复杂性，降低风险，促进BESS部署，增强投资者和消费者信心。

美国

- 通货膨胀削减法案：最高可享受50%的联邦税收抵免用于电池储能
- 州级目标：预计在9个州的20年内增加50 GW的存储，包括加利福尼亚州和马萨诸塞州的LDES目标

中国

- 在2025年前超越2020年国家目标30 GW；新的区域计划目标为2025年达到80 GW
- 要求与风能和太阳能项目配对存储（10-30%）；提供财务激励，如上网电价和免除电网税费

印度

- 国家能源存储系统框架：要求新可再生项目提供5%的存储
- 免除12年的州际传输费用；可行性缺口资金覆盖项目成本的40%

欧盟

- 通过国家能源和气候计划，目标到2030年达到45 GW
- 改革以消除双重征税；如希腊、意大利的差价合同等机制
- 欧盟创新基金和复苏设施提供财务支持

	Battery storage target (GW)	Energy storage target (GW)	Target year	Note
Australia		6.3	2030	Target in state of Victoria
China		78	2025	Excludes PHS
European Union				
Greece	3.1	5.3	2030	
Hungary		1	2030	
Italy	15		2030	
Portugal	1		2030	Additional 3.9 GW PHS
Romania	0.24		2025	
Spain		22	2030	At least 0.4 GW BTM storage
India	47.24	73.93	2032	
Japan	24 (GWh)		2030	
Korea		24.51	2036	Additional 1.75 GW PHS
United States				
California	35.2	36.2	2045	
Connecticut		1	2030	
Maine		0.4	2030	
Massachusetts		1 GWh	2025	
Nevada		1	2030	
New Jersey		2	2030	
New Mexico		2	2034	
New York		6	2030	
Virginia		3.1	2035	

Status of battery eligibility:
- Legally eligible
- Eligible only in some jurisdictions, or in pilot projects, or for some services only
- Not eligible or type of use not available

选定国家的背后政策措施

	Financial support	Dynamic and/or time-of-use tariff	Market access (through aggregators)
Australia	High	High	High
Canada	Medium	Medium	Medium
China	Medium	High	Medium
Germany	High	High	Medium
India	Low	Medium	Low
Italy	High	High	High
Japan	High	High	Medium
Korea	Low	Medium	Medium
United Kingdom	High	High	High
United States	High	High	Medium
Level of implementation	High	Medium	Low

按国家和使用类型划分的电池储存资格

	Type of use			
	Wholesale arbitrage	Ancillary services	Capacity	Grid congestion relief and/or grid deferral
Australia	High	High	Medium	Low
Canada	Medium	Medium	Medium	Medium
China	Medium	Medium	Low	Low
Germany	High	High	High	High
India	High	Medium	High	Medium
Italy	High	Medium	High	Medium
Japan	High	High	High	Low
Korea	Low	Low	High	Low
United Kingdom	High	High	High	High
United States	High	High	Medium	Medium

来源：电池与安全能源转型世界能源展望特别报告，DNV，ESMAP

VF | VOLTA FOUNDATION

IRA投资税收抵免指南

在美国，通货膨胀削减法案通过投资税收抵免为可再生能源行业提供了巨大的推动力，该抵免为太阳能、风能和储能项目的建设提供激励，通过提供联邦税收抵免来抵消项目成本的一部分。

原法律有几个模糊的条款，这些条款已通过美国国税局（IRS）逐步发布的指导得到了澄清。 下表显示了IRA中描述的税收抵免，这些抵免从2022年到2036年逐渐减少。 尽管有人担心即将上任的特朗普政府会撤销这些抵免，但这需要国会通过法案，这在共和党在美国参议院和众议院的微弱多数情况下是可能但困难的。

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Base for All Projects															
Base ITC*	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	4.50%	3%	0%
Bonus for Meeting Dcms**		2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	1.50%	1%	0%
Bonus for Siting in "EC"		2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	1.50%	1%	0%
Adders for Projects that Meet Labor Requirements															
Base ITC*	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	18%	12%	0%
Bonus for Meeting Dcms**		8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	6%	4%	0%
Bonus for Siting in "EC"		8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	6%	4%	0%
Allocated Low-Income Bonus for Projects Under 5 MWac* **															
Base ITC*		10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	7.50%	5%	0%
Bonus for Meeting Dcms**		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	15%	10%	0%
Bonus for Siting in "EC"															

* 实际的逐步减少基于所示日期中的较晚者或电力部门CO2排放量在2022年水平下降75%后的年份。
** 必须包括100%的国内铁/钢以及随着时间推移逐渐增加的制造商品百分比。
*** 分配的信用额度将基于申请和奖励流程，这一流程将由秘书制定。每年最多1.8 GWdc。
DCMS = 国内内容最低标准; EC = 能源社区;

来源：IRA，HR5376

IRA“本土成分”激励与要求

IRA有条款为能够证明项目中使用的某些硬件是在美国制造的项目提供额外的税收抵免。这样做的目的是激励美国制造锂离子电池，以应对中国在该领域的主导地位。 本节总结了这些激励措施的条款，包括最近的美国财政部指导意见。

“本土成分” （Domestic Contents）激励（增加2%，对ITC绝对增加10%，对PTC相对增加10%）

- 适用于2023年或之后投入服务的项目
- 在2024年之前开始建设的项目中，制造产品总成本的40%必须来自于在美国开采、生产或制造的产品
  - 对于2025年开始建设的项目，比例为45%；2026年为50%；2027年及以后为55%*
- 要符合资格，项目中使用的所有铁和钢必须来自美国
- 对于追求国内内容奖金的私人BESS安装，没有可用的例外豁免

直接支付的国内内容要求

- 适用于2024年或之后开始建设的项目
- 资格与国内内容奖金类似
- 如果未满足“本土成分”要求，则可用的税收抵免部分将根据以下时间表减少
  - 如果项目建设在2024年开始，则为90%
  - 如果项目在2025年开始，85%
  - 如果项目在2025年之后开始，0%
- 财政部在以下情况下需要提供例外：
  - 如果在美国生产的钢铁、铁或制造产品的包含使得整体建设成本增加超过25%
  - 如果相关的钢铁、铁或制造产品在美国没有以足够和合理可得的满意质量生产

来源：联邦太阳能税，HR5376

BESS“安全港”（Safe Habor）表

ITC的另一个条款是新的‘安全港’表格。 IRS的这一指导允许纳税人通过依赖于特定识别的美国制造组件或子组件的附加固定百分比来确定项目的“本土成分”百分比，而不是依赖于制造商披露其实际直接制造成本。

项目还可以根据IRS在通知2023-38中的早期指导，通过确定能源项目制造商的美国直接成本占所有制造商的美国和非美国产品直接成本的总百分比来符合国内内容奖金的资格。 然而，新的安全港将使许多能源项目的开发者和赞助商不再需要追踪所有制造商的成本。

APC	MPC	Grid-scale BESS	Distributed BESS
Battery Pack/ Module	Cells	52.0	26.9
	Packaging	5.6	13.4
	Production	**8.0**[13]	**2.9**[13]
Inverter/ Converter	Printed Circuit Board Assemblies	1.4	5.4
	Thermal Management System for Inverter	0.4	-
	Electrical Parts	0.5	-
	Enclosure & Skids	0.4	1.0
	Production	**1.9**[13]	**4.3**[13]
Battery Container/ Housing	Enclosure	14.8	22.8
	Battery Management System	7.4	10.1
	Thermal Management System for Battery Container/Housing	5.6	10.1
	Production	**2.0**[13]	**3.1**[13]
Steel or iron reinforcing products in foundation	-	Steel/Iron Product	-
Total	-	**100**	**100**

来源：通知2025-08 国内内容指导

VF | VOLTA FOUNDATION



ESS行业痛点 - 专注于调试和项目规划

1. 紧迫的时间表： 通常由于建筑和设备交付延迟导致供应链问题，在竞争市场（如美国的ERCOT）中，平均需要超过 1,000天才能使BESS上线。
2. 供应链： 来自不同地区的组件导致复杂的物流，尤其是变压器库存不足，2024年的交货时间可达120周。
3. 电池管理系统（BMS）故障： 不可靠的BMS可能导致意外停机、危险情况以及过充或深度放电等问题。
4. 电芯质量：故障单元可能会对机架性能产生负面影响，并增加保修索赔和安全事件的风险。
5. 充电状态（SOC）估计错误：特别是在LFP电池中，不准确的SOC估计可能导致系统失衡。
6. 集成复杂性：表现不佳的辅助组件和故障的容器设计决定了温度和湿度水平，这可能导致组件损坏和事故
7. 许可和电网互联批准：获取必要的许可证和批准可能会显著延迟项目时间表。 在ERCOT市场，平均延迟时间超过6个月。
8. 知识和能力差距：BESS市场的快速增长突显了开发者和储能供应商之间的专业知识短缺

来源：Fluence, Accure, TWAICE, IHI terrasun

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

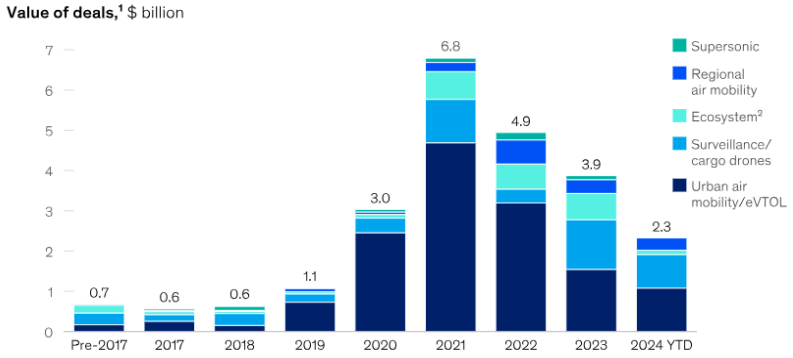
VF | VOLTA FOUNDATION

电动航空业领导者在资金下降中逐渐做好市场准备

未来空中交通(FAM)或先进空中交通(AAM)是一个涵盖各种先进空中运输模式的总称，包括使用eVTOL飞行器的**城市空中交通(UAM)**、使用eVTOL、eCTOL和eSTOL飞行器的**区域空中交通(RAM)**、**无人侦察机和货运无人机**以及超音速航班。

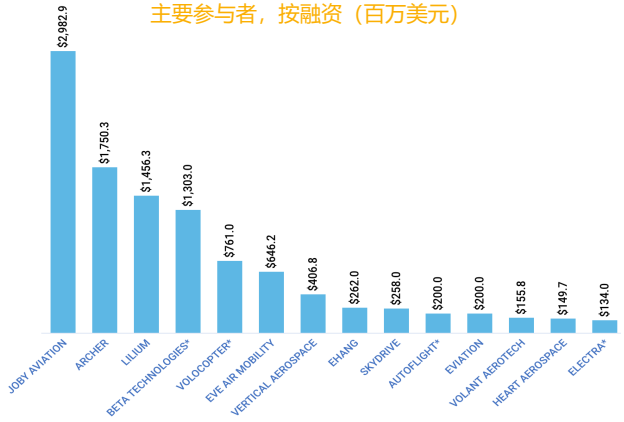
一份麦肯锡的报告显示，截至2024年8月，该行业的融资已达到23亿美元，其中近80%投向城市空中交通(UAM)和无人机。虽然这表明投资额到年底时有望与2023年的39亿美元总额相当，但也反映出自2021年达到峰值水平之后投资额持续下降。

未来空中交通的总披露融资已下降



来源：AAM Reality Index

主要参与者，按融资（百万美元）



融资下降发生在行业面临特别挑战的时期，因为**该行业的主要公司接近做好市场准备的状态**。这一关键阶段需要大量财务资源，以确保安全性、可靠性和合规性。对一些在2024年申请破产的欧洲公司，资金缺乏缺乏尤其严重。

三个**关键因素**决定公司的成败：建立明确的**认证路径**、实现**全规模生产**以及展示**强劲的市场需求**。

VF | VOLTA FOUNDATION

2024年值得注意的电池电动航空事件

2024年见证了各公司在融资、新战略合作伙伴关系和获取认证的进展方面截然不同的命运。

一月

NASA与Archer合作开发下一代电池技术用于电动飞机

宁德时代宣布一款预计将在2028年用于电动飞机的电池，可提供1800英里续航

Archer获得FAA认证以开始运营商业航线

FAA和EASA发布了关于eVTOL认证标准的更新和统一指导

二月

Heart Aerospace在B轮融资中筹集了1.07亿美元

Joby Aviation完成FAA认证流程的第三阶段

PROPEL-1K计划。美国能源部宣布拨款1500万美元以推进航空领域下一代储能

六月

峰飞航空和宁德时代签署了一项价值数亿美元的战略投资与合作协议

七月

Archer获得汽车巨头斯特兰蒂斯额外5500万美元投资

八月

Archer与Anduril合作建造防御飞机，并筹集4.3亿美元

新的投资者财团将以2亿欧元拯救Lilium

Volocopter申请破产，同时寻求投资者

Vertical Aerospace完成5000万美元投资协议

10月

丰田向Joby Aviation投资5亿美元

Lilium正式申请破产

BETA Technologies募集了超过3亿美元的额外股权

十二月

VF | VOLTA FOUNDATION

主要电池电动航空参与者

美洲

Joby, ARCHER, wisk, EVE MOBILITY REIMAGINED, supernal, overair, PIVOTAL, BETA, SURFAIR, EVIATION, REGENT, COSMIC AEROSPACE, ELROY AIR, Whisper Aero, ELECTRA

欧洲、中东和非洲

VOLOCOPTER, LILIUM, VERTICAL, AUTOFLIGHT, ascendance, PIPISTREL, VOLTAERO, AURA AERO, Heart Aerospace, Delivering Today DRONAMICS, MAEVE AEROSPACE, DUFOUR AEROSPACE, VÆRIDION

亚太地区

EHANG 亿航, AEROFUGIA 沃飞长空, SKYDRIVE, VOLANT, 亿维特航空 EVT AEROTECHNICS, 时的科技 TCab Tech, VERTAXI 御风未来, VOLAR AIR MOBILITY

开发重点

eVTOL | eSTOL/eCTOL

世界eVTOL飞行器目录专注于eVTOL，包括了来自400多位设计师的1000多个概念。这张幻灯片展示了AAM主要参与者的列表，按eVTOL和eSTOL/eCTOL进行分类。汽车原始设备制造商（如大众汽车和本田）以及飞机原始设备制造商（如空客）也在开发各自的型号。更有可能投入生产的部分设计（根据AAM实现指数评估）的技术细节将在接下来的幻灯片中讨论。

来源：EVTOL News，AAM Reality Index

VF | VOLTA FOUNDATION

eVTOL（电动垂直起降）

尽管一些eVTOL飞行器也针对区域空中交通(RAM)，但主要用于城市空中交通(UAM)，其大多数电池规格尚未披露。准备上市的型号依赖高端锂离子电池，而正在开发的设计则采用固态、锂硫或金属空气等创新化学原理。在投资压力下，电池化学成分的选择由飞行器发布和认证时间表决定。

							
飞行器	VoloCity - **Volocopter**	EH216-S - **亿航智能**	S4 - **Joby Aviation**	Midnight - **Archer**	Prosperity 1 - **峰飞航空**	AE200 X01 - **沃飞长空**	VX4 - **Vertical Aerospace**
最大起飞重量 乘客数量 续航里程	1000 kg 1+1名飞行员 20 km	620 kg 2（自动驾驶） 35 km	2400 kg 4+1名飞行员 161 km	3175 kg 4+1名飞行员 32-80 km	1500 kg 4（自动驾驶） 250 km	- 4+1名飞行员 -	- 4+1名飞行员 161 km
电源供应 充电系统	电池电动 电池更换	电池电动 -	电池电动 -	电池电动 快速充电	电池电动 -	电池电动 -	电池电动 快速充电
电池	锂离子	17 kWh	锂离子 235 Wh/kg（电池包级）	锂离子（能元科技） 142 kWh	160 kWh	-	锂离子（能元科技）
首飞 投入运营 *(已宣布)*	2021 2025	2018 2023	2018 2025	2023 2025	2022 2026	2023 2026	2023 2027

来源：多个公司网站和公告；数据汇编

eSTOL（电动短距起降）、eCTOL（电动常规起降）

eSTOL和eCTOL飞行器的讨论少于 eVTOL，因为它们类似于传统飞机，但对区域航空交通(RAM)至关重要。与eVTOL飞行器一样，它们目前依赖于成熟的电池技术，并期待电池化学的进一步发展。 因此，一些准备好上市的型号报告的续航里程低于最初承诺，混合动力系统更为常见。此外，一些公司（如ZeroAvia）正在研发氢燃料电池替代方案。

						
飞行器	ALIA CX300 - **Beta Technologies**	Alice - **Eviation**	Viceroy - **Regent**	EL - **Electra Aero**	ES-30 - **Heart Aerospace**	Velis Electro - **Pipistrel**
最大起飞重量 乘客数量 续航里程	3175 kg 5+1名飞行员 621 km	8400 kg 9+2名飞行员 463 km	7000 kg 12+2名飞行员 290 km	1400 kg 9+2名飞行员 800 km	- 30+飞行员 200 km（全电） 800 km（混合）	600 kg 1+1 名飞行员 86 km
电源供应 充电系统	电池电动 快速充电 (1小时)	电池电动 快速充电	电池电动	混合动力	混合动力 快速充电 (0.5小时)	电池电动 快速充电 (1小时)
电池信息	锂离子	锂离子 820 kWh 260 Wh/kg（电池级）	-	锂离子	-	-
首飞 投入运营 *(已宣布)*	2020 2025	2018 2023	2018 2025	2023 2029	2022 2026	2023 2026

来源：多个公司网站和公告；数据汇编

VF | VOLTA FOUNDATION

货运无人机

货运无人机是先进空中交通中最具多样性的类别，载荷范围从几公斤到几百公斤不等。服务范围也有显著差异，达到最高航程的型号通常使用混合动力系统。许多eVTOL和eSTOL设计师活跃于这一市场，推出新型号或将客运设计改造为货运。在某些型号中，货物存放在无人机的机身内，而其他型号则外部携带。

					
飞行器	CarryAll - **峰飞航空**	Nuuva V300 - **Pipistrel**	Chaparral C1 - **Elroy Air**	EH216-L - **亿航智能**	Zipline **平台1、 2**
最大载荷 续航	400 kg 250 km	460 kg 2500 km	136 kg 483 km	220 kg 35 km	1.8-3.6 kg 38 km (**2**) - 190 km (**1**)
电源供应	电池电动	混合动力	混合动力	电池电动	电池电动
电池信息	160 kWh	-	-	-	-
首飞 投入运营 *(已宣布)*	2023 2024	2024 2025	2023 2024	2020 2021	2016（**平台1**） -

来源：多个公司的官方网站和公告；数据汇编

船用电池 - 概述

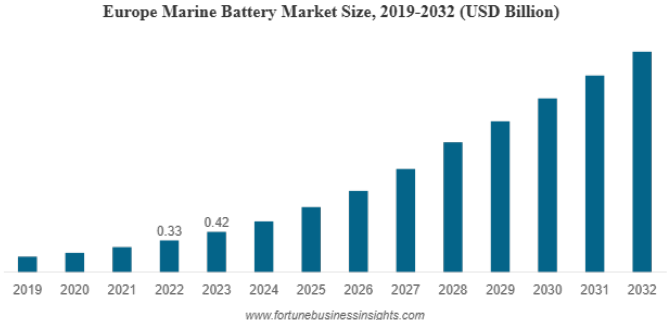
预计到2032年，欧盟的船用电池市场将从2023年的4.2亿美元增长至超过17亿美元，全球需求将超过50亿美元。

锂离子电池占所有已部署船用储能的约35%，紧随其后的是铅酸电池和燃料电池。

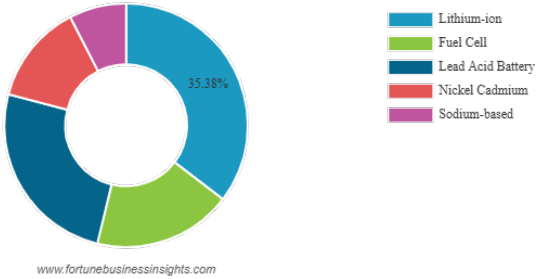
应用领域包括为辅助负载和/或推进系统提供能源，适用于从渡轮到游艇的各种船只。电池应用于三种主要类型的系统中：

- **半混动：**电池作为船舶辅助系统的一部分，以提供混合或全电网。
- **全混动：**电池与船舶的主引擎一同安装，提供支持或允许船只在短时间内以电力驱动。
- **全电动：**电池是船只的唯一动力来源提供动力。一些全电动游艇使用水翼将船只抬出水面，与排水船相比，能效提高约80%。

欧洲船用电池市场规模，2019-2032（十亿美元）



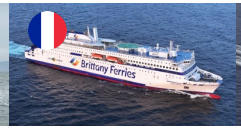
全球船用电池市场份额，按电池分类，2023年度



来源：Fortune Business Insights

VOLTA FOUNDATION

船用电池 - 应用

							
船名 (公司名)	MF Ampere (Norled)	Elektra (FinFerries)	Bastø Electric (Bastø Fosen)	Candela P-12 (Candela)	N30 (Navier)	Saint-Malo (Brittany Ferries)	Artemis EF-24 (Artemis)
投运时间	2015	2017	2021	2024	2024	2025	待定
船舶类型	全电动	混动	全电动	水翼全电动	水翼全电动	混动	水翼全电动
电池容量	1.04 MWh	1.0 MWh	4.3 MWh	0.25 MWh	0.11 MWh	11.5 MWh	2.8 MWh
典型航线	6 km横渡	1.6 km横渡	10 km横渡	最高74 km	最高140 km	260 km横渡	最高130 km
船只容量	360名乘客 120辆汽车	375名乘客 90辆汽车	600名乘客 200辆汽车	30名乘客	4到6名乘客	1,300名乘客 470辆汽车	150名乘客

来源：多个公司网站和公告

航天应用

SpaceX 星舰火箭预计将继续降低入轨成本，并应用更大的电池以支持任务能力提升。

应用	大气压力	任务示例	电池化学示例	平均任务持续时间	辐射	平均温度	设计挑战
地球	101.3 kPa	电动汽车	石墨 + NCM	8-12年	H-3、Be-7、C-14、Na-22 0.21 mSv/年	-30°C至+40°C	腐蚀
上层大气	200 Pa	层析统计	石墨 + LCO	<100天	He、通过Fe离子的Li-、中子 1-10 MeV 1.2 中子/cm^2/s	-20°C至-60°C	低温、结冰、压力变化
近地轨道(LEO)	10^{-6} - 10^{-9} Pa	ISP卫星	石墨 + NCA 或 LFP	<30天（载人） 4 - 26年（星座）	1000-10 M 质子和电子/cm^2/s	-65°C至+125°C	在频繁温度变化下密封
地球同步轨道(GEO)	10^{-12} Pa	媒体广播	石墨 + NCA 或镍氢	>7 年 (许多在 EOL 之后运行)	质子400-500 km/s和电子 30/cm^2/s	-196°C至+128°C	日历寿命，高循环寿命
月球	3 x 10^{-9} Pa	月球探测车	Pu-238 RTG（放射性同位素热电发生器）	3个月（设计寿命） 31 个月（实际使用） （玉兔月球车）	质子、电子10-10000 MeV、1-10 质子/cm^2/s	-130°C至+120°C	较长的热和冷/黑暗周期
火星	560 Pa	火星探测车	石墨 + NCA	90天（NASA设计寿命） （机遇号工作了约15年）	质子、电子 1-1000 MeV，100-1000/s	-153°C至+20°C	在温度变化、RTG辐射下密封
深空	10^{-14} - 10^{-18} Pa	深空探测器	Pu-238 RTG（放射性同位素热电发生器）	超过45年 （旅行者号）	质子、电子 1-10,000 MeV 100-10,000/s	-270°C	日历寿命，RTG辐射和减少加热

来源：(1) NASA (2) Virtue Market Research (3) E3S (4) Zhang, J., et al. (5) ESA (6) Singh, L., et al. (7) NASA (8) IDA Org (9) Naito, M., et al. (10) Guo, J., et al. (11) NASA (12) Phys Org (13) NASA (14) NASA (15) Space Flight

航天任务

2024年完成的任务要求电池在多种不同的太空条件下运行。未来计划的太空任务预计将增加对太空电池开发和特定应用测试的需求，以应对环境挑战。

	通信卫星	月球任务	近地轨道人类栖息地	科学舱	爱好者	火星任务
公司	SpaceX	NASA	Vast	Varda	Crunchlabs	JAXA
任务	截至2025年1月，6,912颗Starlink卫星在轨，其中6,874颗工作正常。更大的V2卫星预计将在2025年发射。	Artemis	Haven-1	2024年的药物试验	太空中的自拍相机；2025年1月发射	MMX任务前往火星的卫星火卫一，收集并带回样本
预期寿命	~5年	~30天	在轨3年，其中40天载人	~8个月（之前的W-1测试任务）	~0.1到1年	5年返回任务
对电池设计的影响	燃料仓是系统寿命的限制因素。在星座轨道中防止热失控以避免凯斯勒综合症至关重要。	月球表面温度-130°C的月夜和120°C的月昼分别超过14天，需要专门的热设计。	90分钟的温度波动。电池在微陨石撞击下会释放有毒气体，故必须与乘员隔离。	90分钟的表面温度波动。持续的电力消耗以维持科学舱的工艺温度。	120 Wh立方体卫星电池。手机电池必须耐受近地轨道的操作条件。	QSO轨道上的长时间任务。电池在宽温度变化下的寿命。
电池挑战	电池寿命、温度循环	大范围长时间温度变化、辐射	人类生命安全、微陨石	近地轨道和再入舱的热管理	要求基本操作热稳定性的重敏感设计	火星表面温度范围-4°C至-112°C，太阳辐射较低

来源：Starlink，JAXA 1，CrunchLabs 1，CrunchLabs 2，Jaxa 2，Artemis

医疗设备电池

全球医疗电池市场一直在稳步增长，其推动因素是便携式和植入式设备的日益普及。预计到2033年将达到约26.4亿美元，在预测时间段内年均增长率为5.32%。[3]

医疗设备电池的监管环境非常严格。制造商必须遵守一般的电池标准和特定的医疗法规，以确保在全球市场上的安全性、可靠性和合规性。关键标准包括IEC 62133-2、UL 2054、ISO 13485、ISO 14971、IEC 60601-1和IEC 60601-1-11。[1]

应用	使用案例示例	关键公司与发展	常用化学	预期日历寿命	预期循环寿命	挑战
体内电池	心脏起搏器、用于骨科植入物的新传感器	Ilika正在测试一种用于感知植入物有效性的医疗固态电池。[5] 脑植入物（如Neuralink）需要无线电池技术等方面的进步。[9]	大约10年前曾使用可充电电池，但在心脏起搏器中寿命短暂。[8] 锂离子一次电池在如今的心脏起搏器中更为常见。[4]	最长10年[7]	锂离子电池是一次性的 新的微型固态电池目标1000+循环[5]	更换心脏起搏器中的电池需要手术。用于传感技术的无线可充电电池正在开发中，并将需要FDA批准。
体外电池	带针头的一次性胶布，用于血糖监测	雅培实验室报告称CGM血糖监测产品销售增长21%。[2]	MnO_2, Ag_2O_6	~3天（一次性）	一次性使用	缺乏高效的回收途径使得一次性医疗设备的材料很少被回收，可能导致土壤和水源污染。

来源：Regulations Summary[1]，Abbot Labs[2]，Market Size[3]，Li-I[4]，Micro Solid-State Batteries[5]，External Body Chemistries[6]，Calendar Life[7]，Rechargeable Issues[8]，Neuralink[9]

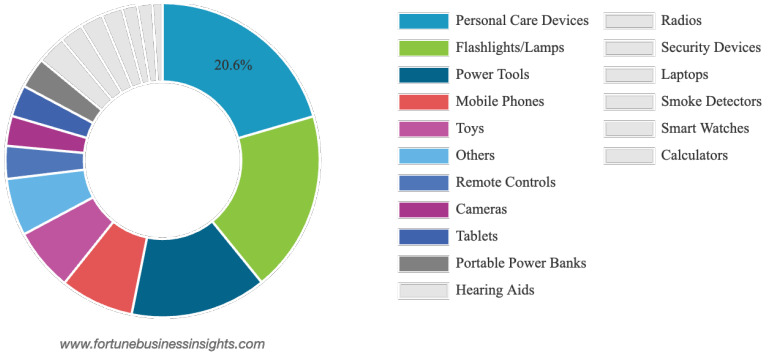
消费电子产品

消费电子产品中的电池包括碱性电池、锌碳电池、锂离子电池、镍氢电池和其他电池。

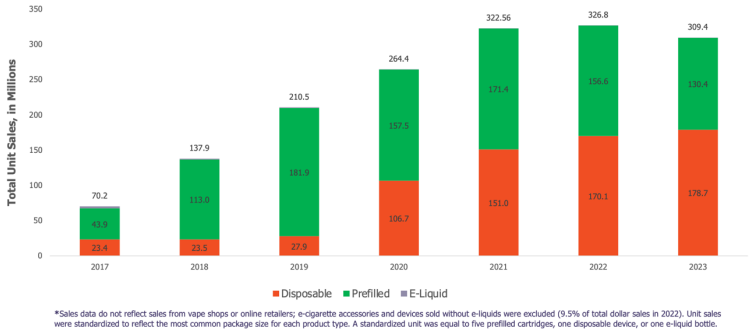
消费者对便携式和家用电子设备（如电动工具）的需求不断增加，也提升了对便捷回收途径的需求。

电子烟（VAPE）电池
从2020年到2023年，美国的电子烟销售总量增加了42.8%，其中94%为一次性产品[1]。在英国，每周丢弃约130万**一次性**电子烟，相当于每年10吨电池[2]。

全球消费电池市场份额，按应用划分，2023年度



美国全国电子烟销量，按产品类型划分，年度估计，2017-2023*



*Sales data do not reflect sales from vape shops or online retailers; e-cigarette accessories and devices sold without e-liquids were excluded (9.5% of total dollar sales in 2022). Unit sales were standardized to reflect the most common package size for each product type. A standardized unit was equal to five prefilled cartridges, one disposable device, or one e-liquid bottle.

来源：Fortune Business Insights，CDC Foundation Report，Joule

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

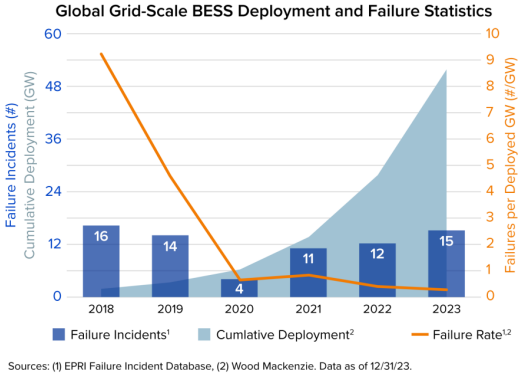
VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

火灾事件与响应

火灾事件凸显了多方面措施在降低电池产品失效发生率方面的重要性。这些措施包括验证具有抗传播能力的设计，在质量、工作标准、处理、存储、应急响应和安全处置报废锂离子电池方面采取主动措施，以降低火灾风险。

公共事件案例与响应
美国加利福尼亚州奥泰梅萨美国：Gateway储能设施发生火灾。火灾持续了几天，电池多次复燃。消防员执行疏散命令并努力控制火势。
中国福建省福州市：比亚迪经销商发生火灾，这是自2021年以来第十起比亚迪火灾。比亚迪进行调查，表示车辆电池未发现异常，并否认火灾源于其车辆。
韩国京畿道华城：Aricell旗下一家锂电池工厂发生系列爆炸并导致大火，造成23名工人遇难，8人受伤。大约145名消防员和50台消防设备经过约五小时扑灭了火灾。随后，三名公司官员因违反工业安全法被调查，首席执行官被逮捕。
美国加利福尼亚州圣佩德罗：一辆载有锂离子电池的大型卡车在洛杉矶港附近翻车，导致持续了数天的火灾。消防员让火灾耗尽其可燃材料并自行熄灭。该事件导致文森特·托马斯大桥和多个港口码头关闭，扰乱了运营。
美国佛罗里达州：因在海伦飓风期间暴露于盐水风暴潮而引发16起锂离子电池火灾，包括六辆电动车。居民被建议拔掉受损设备的插头并将其移至开放空间，相关机构协调安全处置措施。电动车制造商被敦促为易受风暴影响的地区提供指导。
美国密苏里州弗雷德里克敦：在关键矿物回收设施（一家锂离子电池回收厂）发生大规模火灾，释放出浓重的有毒烟雾。当局下令居民撤离并实施就地避难令。密苏里州自然资源部评估了潜在的环境影响。



Sources: (1) EPRI Failure Incident Database, (2) Wood Mackenzie. Data as of 12/31/23.

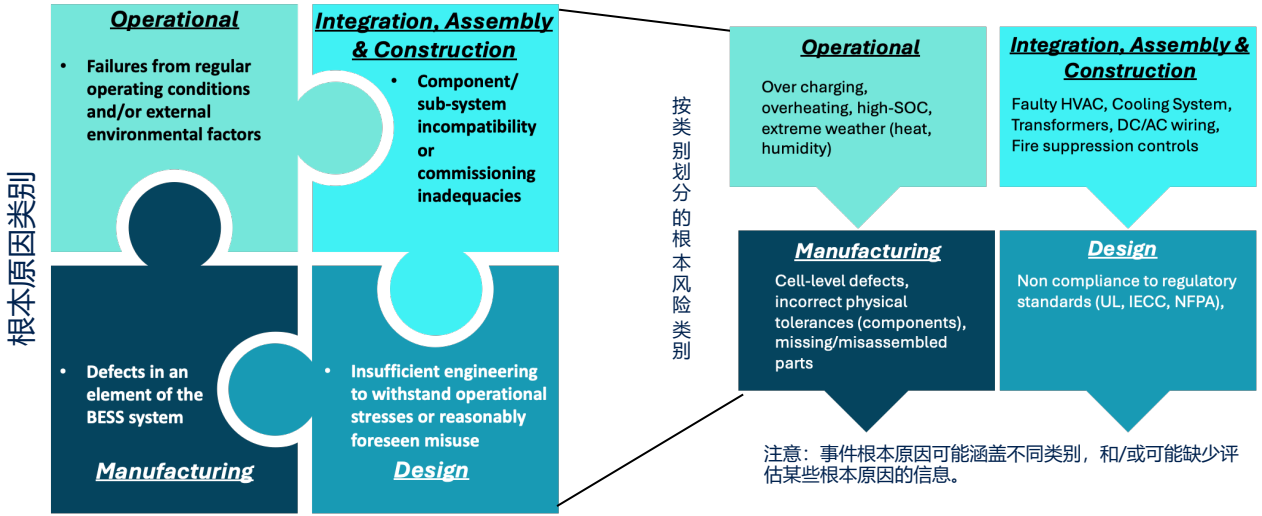
来自EPRI的数据表明，随着更多电池系统的部署，BESS的故障率已下降。

VOLTA FOUNDATION

BESS失效的根本原因

可公开获取的按根本失效模式分类的**BESS热失控事件记录**可能有限和/或不完整。

虽然对BESS热事件的根本失效模式的具体枚举有限且可能高度复杂，但它们可大致分为以下几个类别：



注意：事件根本原因可能涵盖不同类别，和/或可能缺少评估某些根本原因的信息。

热事件数据库：

- UL- 171个热失控事件
- EPRI- 26个具有根本原因

根本原因数据库有限的原因：

1. 评估损坏组件的困难
2. 调查所需的大量成本和时间，
3. 由于诉讼方面的考虑，不愿为具体事件提供根本原因

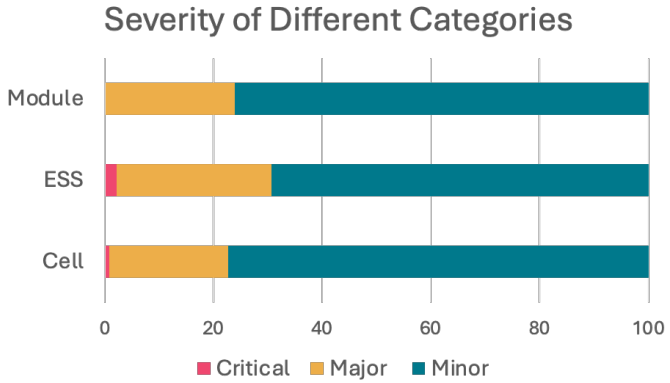
有关最常见的BESS火灾根本原因，请参见 BESS部分

VF | VOLTA FOUNDATION

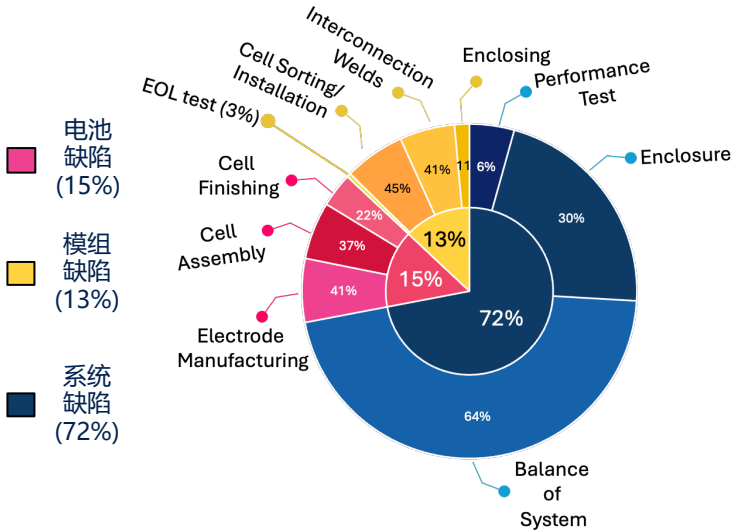
BESS系统的质量评估

对五个国家320多个BESS单元的质量审计进行的荟萃分析（Meta-analysis）显示，与电芯或模组级缺陷相比，系统级缺陷最有可能导致高严重性失效，并且是BESS系统中最常见的质量风险类型，占质量问题的72%。

图中的外圈表示主要风险的各个类别。由于不当集成程序导致的系统缺陷占系统级质量问题的大多数。



细粒度分类的质量风险



来源：Clean Energy Report[注：报告使用的数据截至2023年12月，幻灯片中显示的数据根据作者提供的数据重制，这些数据考虑了截至2024年11月的汇总质量审计数据。]

案例研究 - 纽约州跨机构消防安全工作组(WG)

2023年初和年中，纽约市发生了多起BESS火灾，促使成立了一个跨机构工作组(WP)，旨在调查三起高关注度的火灾事件并审查相关的法规、标准和规定，目标是对消防法规和安全环境更改提出建议。

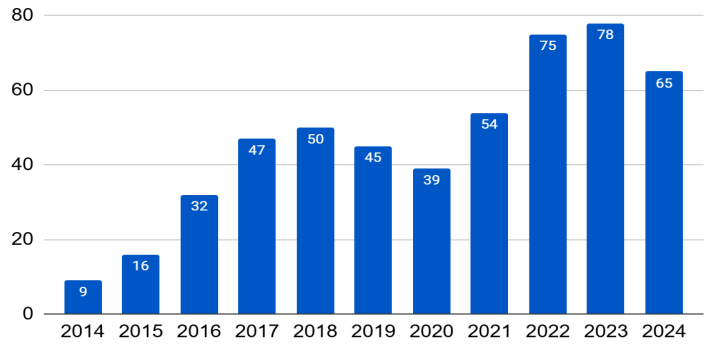
在公众和行业安全领导者进行反馈后，制定中的规则通知(Notice of Rule in Development)于**2024年7月发布**。完整的建议和变更列表可以在此查看。一些针对BESS系统（> 600 kWh）的**关键建议**包括:

法规	变更
FCNYS 1206.8	所有BESS项目需进行行业资助的独立同行评审。
FCNYS 1206.7.1	发生BESS火灾时，必须在15分钟内派遣具备安装知识的待命人员，并在4小时内到达现场。
FCNYS 1206.11.8	将安全标识要求扩展到BESS单元之外。
FCNYS 1206.2	不再允许公用事业所有的BESS项目享受消防法规豁免。
FCNYS 12.07.05.4	集中监控所有BESS安装的火灾探测系统的站点服务报警。

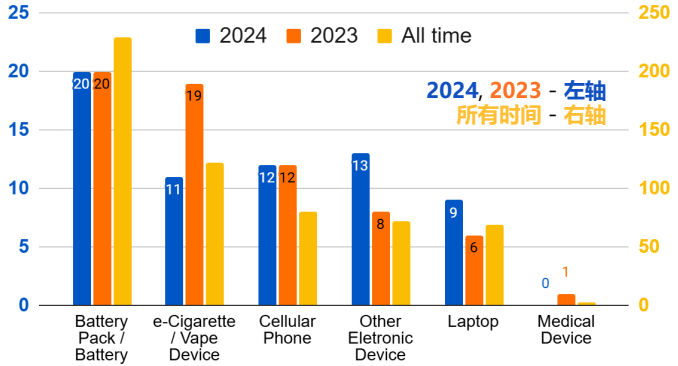
VF | VOLTA FOUNDATION

航空安全事件

美国电池相关事件数量



按类别划分的美国电池相关事件数量



事件数量保持稳定：截至2024年12月2日，美国FAA总共报告了65起事件。这与2023年同期报告的事件数量（63起）大致相同。

电子烟继续导致事件：与2023年相比，电子烟和类似设备造成的事件几乎增加了一倍。

安全程序已到位：对此类事件的响应包括机组人员将故障设备放入热隔离袋中，航班继续前往目的地。

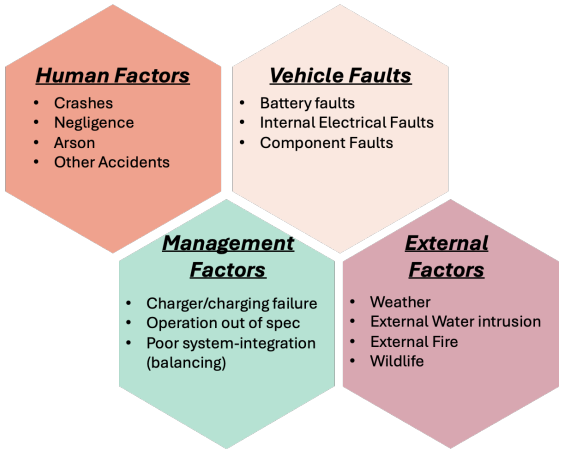
来源：FAA

电动汽车热失效的根本原因

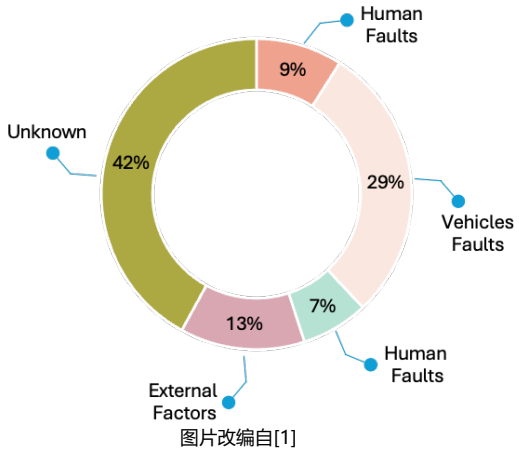
电池和充电故障仍然是电动汽车电池火灾的一个令人担忧的根本原因。

虽然不同的数据集在根本原因因素的分类上存在差异，但车辆故障和电池管理相关因素仍然是已知的电动汽车热事件的主要根本原因。

根本原因类别



事件根本原因归类统计



图片改编自[1]

来源：[1] Tohir, M.Z.M., Martin-Gomez, C., Open. Res. Eur., [2] Zhang,Z., Dong, H., Wang, L., Wang, Y., He, X., Energ. Technol., [3] EV Fire Safe

VF | VOLTA FOUNDATION

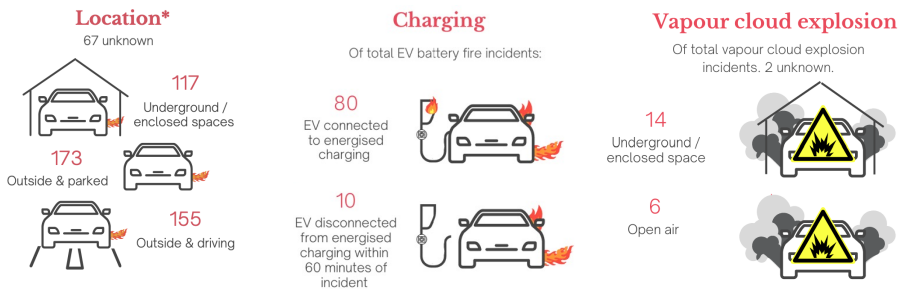
充电期间的电动汽车热失效

自2010年以来，电动汽车火灾安全分析的511起火灾事件，有90起发生在车辆充电时。近一半事件的原因在事件发生后仍然未知。

一部分事件以爆炸告终，其中大多数涉及停放在封闭空间中的汽车。

充电时事件的频率

图片来自[3]



Looking for a trusted global expert in battery research?

The Electrochemical Safety Research Institute (ESRI) is part of UL Research Institutes, a nonprofit organization with 130 years of expertise in safety science. We work to advance the safer design and deployment of energy storage and energy generation through science.

Thermal Runaway & Fire Suppression | New Battery Materials | Hydrogen Fuel Safety | Lithium-ion Battery Recycling

UL Research Institutes | Electrochemical Safety

Scan to learn more about our research and collaboration opportunities

UL.org/ESRI

NFP.ElectrochemicalSafety@UL.org

赞助内容

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

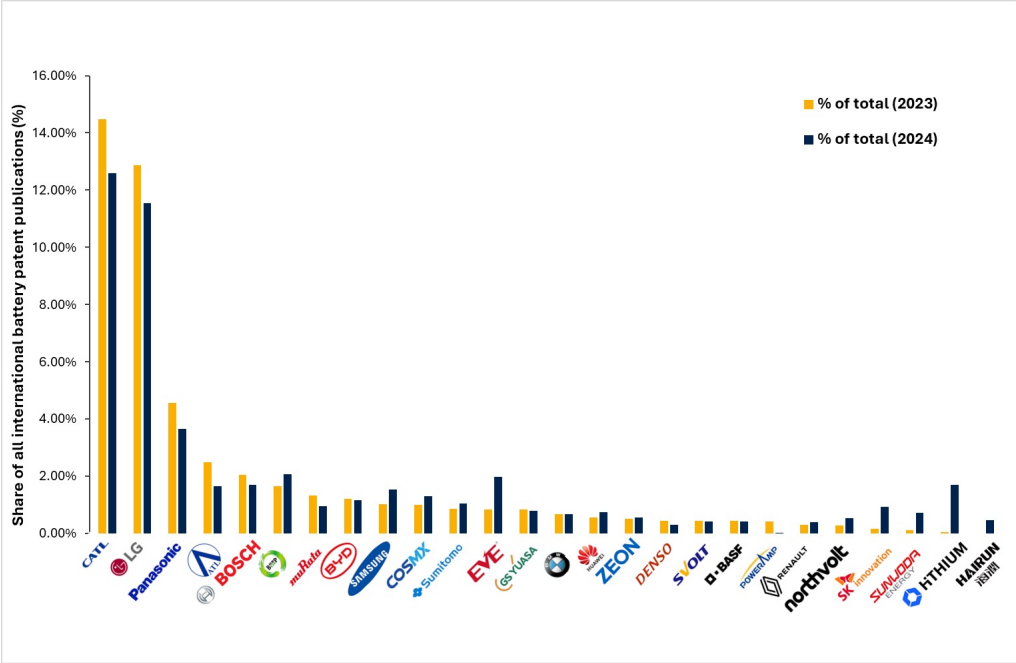
VF | VOLTA FOUNDATION

VOLTA FOUNDATION

2023年到2024年电池专利格局的变化*

- 国际 (PCT)**专利申请总数增加了4.19%**（从2023年的10,578份申请增加到2024年的11,021份）
- 2024年，**宁德时代和LG继续主导**PCT出版物，分别占总数的12.6%和11.6%
- 2024年亿纬和海辰的专利数量显著增加。 海辰尤其引人注目，因为其数量从2023年的微不足道到2024年占据显著份额。海辰现在排名仅在前五大电池申请者之外。
- 博世是前十名申请者中唯一的非亚洲公司

*由于专利申请提交与公布之间存在18个月的滞后，2024年出版物的数据反映了在2022年中至2023年中提交的申请

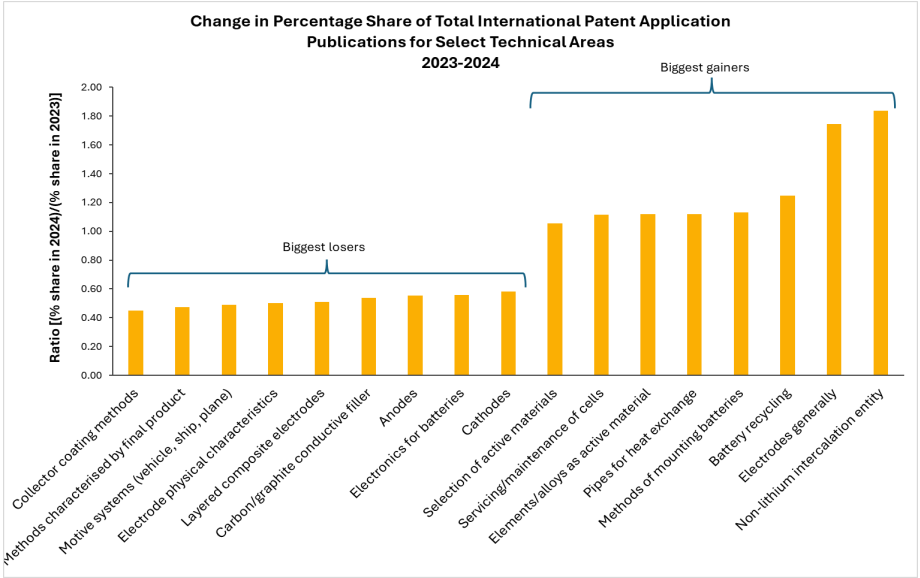


来源：Espacenet搜索2023年和2024年在CPC分类H01M（电池）中的PCT出版物，按申请人名称过滤，并限制为两年中的“头部”申请人

推动创新的技术领域 - 2023年和2024年的专利数据*

- 2024年技术领域中增长最大的领域是“*除锂以外的金属插层，例如镁或铝*”（CPC分类H01M 10/054）
- 一般电极创新(H01M 4/02)和电池回收方法(H01M 10/54)也经历了显著增长
- 电极制造用的集流体涂布方法 (H01M 4/0404)减少幅度最大
- 总体来看，创新似乎已经从电池组件层面转移到宏观层面，例如维护、回收、热管理和电池组安装

*由于专利申请提交与公布之间存在18个月的滞后，2024年出版物的数据反映了在2022年中至2023年中提交的申请



来源：Espacenet搜索2023年和2024年在CPC分类H01M（电池）中的PCT出版物，按CPC子类过滤，并限制为最普遍的子类和这些最普遍子类中的最大“变动者”

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

电池化学概述

锂离子电池的性能由其关键组件的性质和相互作用决定：负极、正极、电解液和隔膜。

负极

负极通常由石墨或硅制成，通过在充电状态下容纳锂离子,影响能量密度、循环寿命和充电倍率

正极

正极由锂钴氧化物或镍钴锰(NMC)等材料组成，决定了电池的容量、电压和热稳定性。

电解质与隔膜

电解液通常是含有锂盐的液体或凝胶，溶解在有机溶剂中，促进电极之间的离子传输，同时保持电化学稳定性。

隔膜是一种多孔膜，防止正极和负极之间的物理接触，从而避免短路，同时允许离子流动。

电池设计

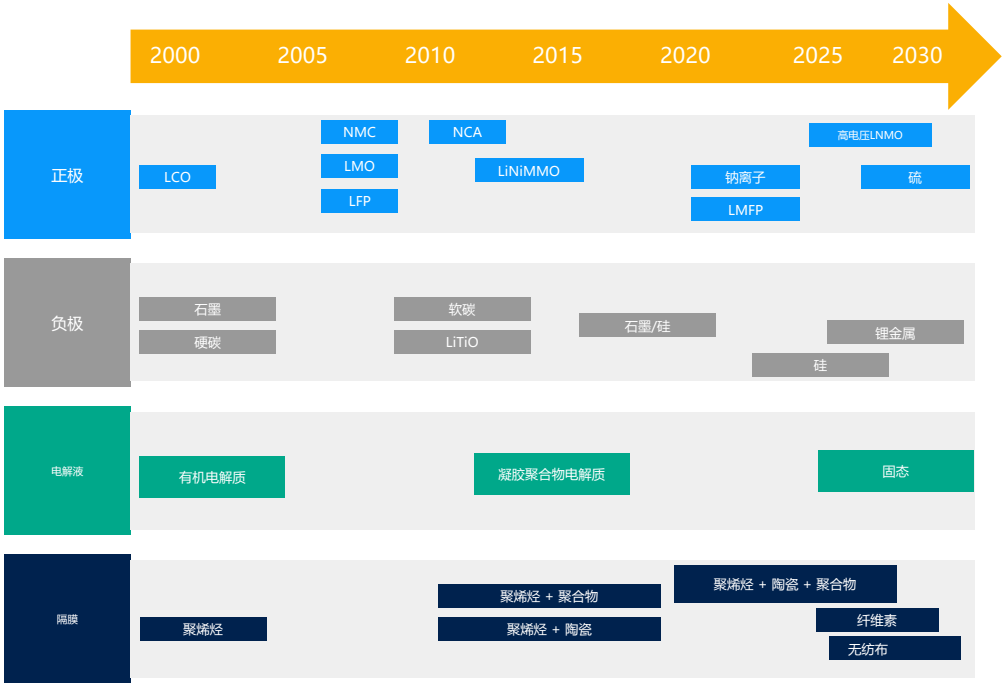
除了材料，电池设计在性能中也起着至关重要的作用。 电极厚度、压实密度、电池几何形状和热管理系统等因素影响能量输出、热散失和整体效率。

优化的电池设计必须在性能需求（如能量、容量、功率传递以及整体安全性和可靠性）与系统成本之间取得平衡。

来源：2023年电池年度报告电池化学, 电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日（版本3.0）

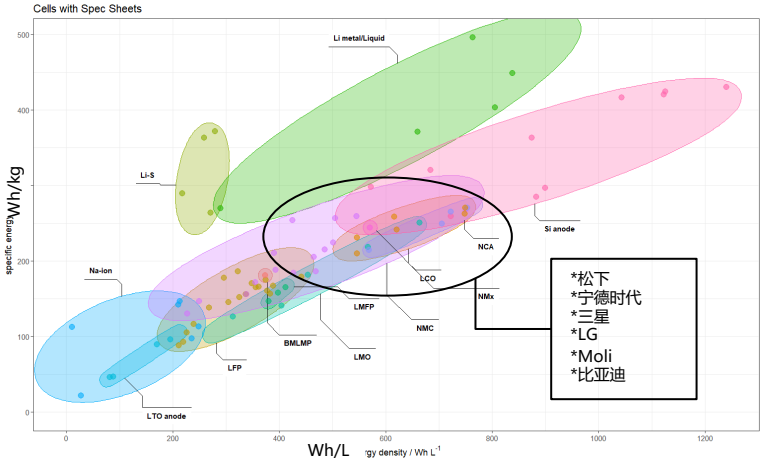
VF | VOLTA FOUNDATION

单体电芯化学发展时间线



实现500 Wh/kg：美国、欧盟和日本政府机构的关键目标

- USA Battery 500
- USCAR
- Japan Rising II (now Rising III)
- Battery 2030 EU



来源：电池报告2023（第117页），电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日（版本3.0

VOLTA FOUNDATION

Performance Metrics for Key Battery Chemistries	Lithium Ion								Sodium ion	Lithium Metal	Solid State	Lithium Sulfur
Cathode Anode	High Voltage LCO Gr	NMC Gr	NCA Gr	LFP Gr	LMFP Gr	LMO Gr	High Voltage LNMO Gr	High Ni Majority Silicon	NaMOx Hard Carbon	High Ni Lithium Metal	High Ni Lithium Metal	Sulfur Lithium Metal
Gravimetric Energy Density Wh/kg (cell level)	180-200	250-300	250-280	160-205	190-230	100-150	150-165	325-350	130-160	400-450	300-450	300-500
Volumetric Energy Density Wh/L (cell level)	400-700	650-800	600-750	250-400	400-580	300-400	400-650	750-1000 +	150-300	700-1000	700-900	450-650
Cycle Life (C/2+ rate) (>80%)	750	1500	1000	3000	2000	500	750	500	6000	400	500	300
Calender aging (Qual)	Avg	Avg	Avg	Good	Avg	Low	Poor	Low	Avg	Avg	-	Avg
Self Discharge (%/Month)	1.00%	0.25%	2.50%	0.50%	1.00%	2.00%	-	5.00%	0.20%	-	-	1.00%
Charge Rate Capability (Qual)	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Good	Avg	Low	Low	Avg
Discharge Rate Capability (Qual)	Good	Avg	Avg	Avg	Avg	Good	Avg	Good	**Avg	Avg	Avg	Avg
Safety (Active Materials)	Avg	Low	Low	Avg	Avg	Avg	Low	Low	Good	Poor	**Poor	**Avg
Possible Form Factors and Challenges	No Issue	No Issue	No Issue	No Issue	No Issue	No Issue	No Issue	*High Swelling*	No Issue	handling issues	Manufacturing Challenges	No Issue
Nominal Voltage (V) Voltage Range (V)	3.6 (3.0 - 4.5)	3.7 (2.5 - 4.3)	3.6 (3.0-4.3)	3.2 (2.5 - 3.65)	3.7 (2.75 - 4.0)	3.8 (3 - 4.3)	4.7 (3.0 - 5.0)	3.5 (2.5 - 4.2)	3.1-3.7 (1.5 - 4.2)	3.7 (2.5 - 4.2)	3.7 (2.5 - 4.2)	2.1 (1.5 - 3)
Cathode Specific Capacity (mAh/g)	274	215	200	170	160	148	147	215	170	215	215	1675
High Temperature Operation (60C+)(Qual)	Low	Avg	Low	Good	Good	Low	Low	Avg	Good	Low	**Low	Good
Low Temperature Operation (10C-)(Qual)	Poor	Good	Good	Poor	Avg	Avg	Avg	Good	Poor	Low	**Low	Poor
Recycle Value (Li, Co, Ni, Cu) for Cost/Effort	Good	Avg	Avg	Low	Low	Low	Avg	Avg	Poor	**Avg	**Avg	Low

最佳 5
良好 4
平均 3
低 2
差 1

* 除正极外，电池设计和组件可以对电池性能指标产生很大影响
* 标记[-]表示没有规格表可供判断。
标记为“**”的评级基于已发布的数据，但没有商业电池
有关更多详细信息和来源，请访问：Battery Talk：电池应用细分 2025年1月1日（版本3.0）

VF | VOLTA FOUNDATION

Applications Matched to Preferred Performance Metrics		Market Size and Priority					Lithium Ion								Sodium ion	Lithium Metal	Solid State	Lithium Sulfur
		2024 Market in Billion USD	Priority #1	Priority #2	Priority #3	Priority #4	High Voltage LCO Gr	NMC Gr	NCA Gr	LFP Gr	LMFP Gr	LMO Gr	High Voltage LNMO Gr	High Ni Majority Silicon	NaMOx Hard Carbon	High Ni Lithium Metal	High Ni Lithium Metal	Sulfur Lithium Metal
Aerospace	Planes	426.42	Safety	Wh/kg	Power	Reliability	Poor	Low	Low	Poor	Poor	Poor	Poor	Good	Poor	Low	**Good	Great
	eVTOL	11.10	Power	Wh/kg	Safety	Reliability	Poor	Avg	Avg	Poor	Poor	Poor	Poor	Good	Poor	Great	**Good	Great
	Low Earth Orbit Satellites	12.90	Cycle Life	Wh/kg	Reliability	Safety	Avg	Avg	Avg	Avg	Low	Poor	Poor	Low	Avg	Poor	**Good	Poor
	Medium Earth Orbit Satellites	47,,44	Cycle Life	Wh/kg	Reliability	Safety	Avg	Avg	Avg	Avg	Low	Poor	Poor	Avg	Avg	Poor	**Avg	**Avg
	Geostationary Orbit Satellites	17.24	Cycle Life	Wh/kg	Reliability	Safety	Avg	Avg	Avg	Avg	Low	Poor	Poor	Low	Avg	Poor	**Avg	**Avg
Automotive	Moped	68.64	Wh/L	Cost	Self Discharge	Cycle Life	Low	Avg	Avg	Good	Good	Low	Low	Avg	Avg	Poor	**Poor	Poor
	Motorcycle	84	Wh/L	Cost	Cycle Life	Self Discharge	Low	Avg	Avg	Low	Low	Low	Poor	Good	Low	Avg	**Avg	Low
	Sports Car	89.15	Wh/kg	Wh/L	Power	Cycle Life	Avg	Good	Good	Avg	Avg	Poor	Poor	Good	Poor	Low	**Good	Poor
	Sedan	235.9	Cost	Wh/L	Cycle Life	Self Discharge	Low	Avg	Avg	Avg	Good	Poor	Avg	Poor	Avg	Poor	**Low	Low
	Sports Utility Vehicle	333	Wh/L	Cost	Cycle Life	Self Discharge	Low	Avg	Avg	Avg	Good	Poor	Avg	Poor	Avg	Poor	**Low	Low
	Heavy Duty Trucks	215.54	Wh/L	Wh/kg	Cycle Life	Cost	Poor	Low	Low	Low	Low	Poor	Poor	Avg	Poor	**Avg	**Low	**Avg
	Industrial Trucks	24.72	Wh/kg	Cycle Life	Cost	Self Discharge	Poor	Avg	Low	Low	Low	Poor	Poor	Avg	Poor	**Avg	**Low	**Good
Consumer Electronics	Computers & Tablets	448.76	Wh/L	Safety	Reliability	Cost	Good	Avg	Low	Avg	Avg	Low	Good	Low	Low	Poor	**Poor	**Poor
	Smart Phones & Watches	566.12	Wh/L	Safety	Reliability	Cost	Good	Avg	Low	Avg	Avg	Low	Good	Low	Low	Poor	**Poor	**Poor
	Power Tools & Gardening	39,5	Power	Cost	Safety	Reliability	Good	Poor	Low	Avg	Avg	Low	Good	Low	Low	Poor	**Poor	**Poor
	E-Bikes	48.7	Cost	Wh/kg	Safety	Reliability	Avg	Avg	Avg	Avg	Good	Avg	Good	Low	Good	Poor	**Poor	**Good
Grid	Grid Storage (Balancing)	7.51	Cost	Cycle Life	Reliability	Safety	Good	Low	Low	Good	Poor	Poor	Poor	Poor	Good	Poor	**Poor	**Good
	Residential Storage + Smart Grid	37.6	Reliability	Safety	Cost	Cycle Life	Avg	Low	Low	Good	Good	Avg	Avg	Poor	Great	Poor	**Avg	**Avg
Medical Devices	Defibrillators	11.34	Safety	Reliability	Power	Self Discharge	Avg	Low	Low	Avg	Low	Avg	Low	Good	Poor	Low	**Avg	**Poor
	Surgical Tools	14.26	Safety	Reliability	Power	Cycle Life	Avg	Low	Low	Avg	Avg	Avg	Low	Good	Poor	Low	**Avg	**Poor
	Pacemakers	4.4	Safety	Reliability	Cycle Life	Self Discharge	Low	Low	Low	Avg	Avg	Low	Low	Poor	Poor	Poor	**Good	**Poor
	Monitoring Devices	22.548	Cycle Life	Cost	Safety	Reliability	Low	Low	Low	Good	Low	Low	Avg	Poor	Good	Poor	**Poor	**Poor
Military	Infantry	309.77	Reliability	Safety	Wh/kg	Self Discharge	Poor	Avg	Avg	Poor	Low	Poor	Poor	Good	Poor	Poor	**Good	**Good
	Backup Power		Reliability	Safety	Wh/kg	Wh/L	Poor	Avg	Avg	Poor	Low	Poor	Poor	Good	Poor	Poor	**Good	**Good
	Missiles		Power	Wh/kg	Wh/L	Reliability	Good	Avg	Avg	Low	Low	Low	Poor	Good	Poor	**Good	**Good	**Good
	Drones		Power	Wh/kg	Wh/L	Reliability	Good	Avg	Avg	Low	Low	Low	Poor	Good	Poor	**Good	**Good	**Good

最佳 5
良好 4
平均 3
低 2
差 1

* 除正极外，电池设计和组件可以对电池性能指标产生很大影响
标记为“**”的评级基于已发布的数据，但没有商业电池

有关更多详细信息和来源，请访问：Battery Talk: 电池应用细分 1/01/2025 (版本 3.0

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

正极介绍

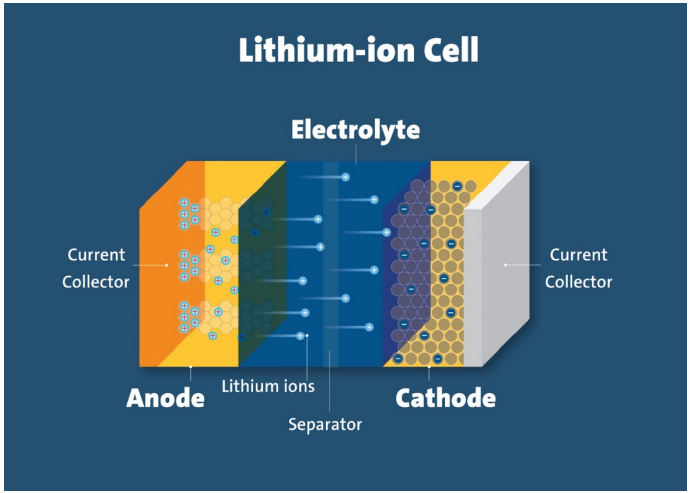
在锂离子电池中正极的组成，通常由过渡金属氧化物制成，如钴酸锂($LiCoO_2$)、锰酸锂 ($LiMn_2O_4$)、镍钴锰酸锂 (NMC) 或磷酸铁锂 (LFP)，每种材料在能量密度、循环寿命、成本和热稳定性方面提供不同的平衡，具体取决于所使用的金属组合；正极材料的选择显著影响电池的整体性能特征，如电压、能量密度和功率能力。

正极的功能：
在充电过程中，锂离子从正极移动到负极，储存能量；在放电过程中，过程反转，锂离子重新移动回正极。

影响正极选择的因素：

- **能量密度：**电池每单位重量可以储存多少能量。
- **功率密度：**电池可以多快地提供功率。
- **循环寿命：**电池在显著退化之前可以承受多少次充放电循环。
- **成本：**正极材料的价格。

近期趋势：
研究集中在提高性能和降低成本：
*高镍NMC成分，减少钴含量以实现更高的能量密度，同时保持安全性和成本效益。
*开发LMFP，在LFP中添加锰，以提高电压和能量密度。



来源：Redwood, ANL, Nature-锂离子电池正极化学, 电池报告2023电池化学, Battery Talk: 电池应用细分 1/01/2025 (版本 3.0

VOLTA FOUNDATION

主要前驱体材料和正极材料生产商

美洲

2030年产能计划*:
750千吨电池正极材料
175千吨前驱体材料

LG Chem
POSCO
EcoPro
WANRUN NEW ENERGY
BASF
TESLA
ASCEND ELEMENTS
REDWOOD MATERIALS
国轩高科

欧洲、中东和非洲

2030年产能计划*:
1,000千吨电池正极材料
300千吨前驱体材料

umicore
BASF
当升科技 EASPRING
HUAYOU
CNGR
LG Chem
EcoPro
XTC
Hunan yuneng
BTR
容百科技 RONBAY TECHNOLOGY

亚太地区

2030年产能计划*:
9,000千吨电池正极材料
4,700千吨前驱体材料

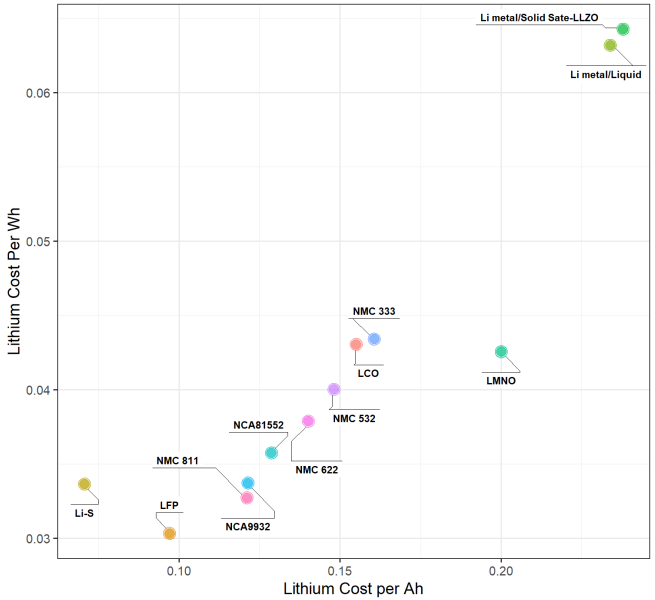
当升科技 EASPRING
CNGR
Dynanonic
GEM
国轩高科
HUAYOU
容百科技 RONBAY TECHNOLOGY
XTC
EcoPro
LG Chem
POSCO
Sumitomo
WANRUN NEW ENERGY
瑞翔新材
L&F Co., Ltd.
Lopal 龙蟠科技
富临精工 FULIN P.M.
湖南云能新能源
BASF
umicore

操作中

计划中

*截至2025年第一季度公布的计划。未进行风险调整

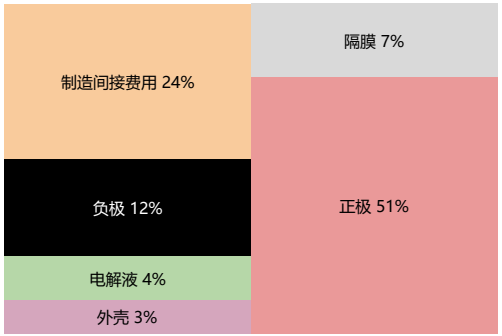
锂电池能量密度与成本图 - 朝着更便宜的电池迈进



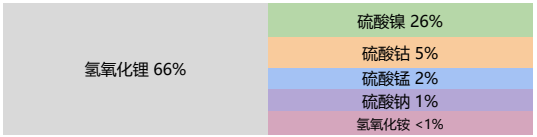
当前市场条件要求电动汽车使用更便宜的电池，同时保持现在NMC811电池的性能。

- 成本驱动因素
  - 电池正极材料(CAM)是主要驱动因素，占电池成本的>~50%
  - 氢氧化锂($LiOH$)或碳酸锂(Li_2CO_3)占电池活性材料成本的>50%，不包括加工/间接费用
- 实现更便宜的电动汽车
  - LFP是实现每千瓦时最低锂成本的近期解决方案
  - 在LFP之外，制造商需要转向先进的化学材料，如锂硫(LiS)，以维持成本降低的同时提高性能

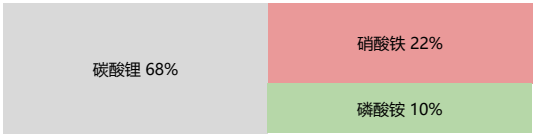
电池成本构成



NMC811 成本细分



LFP 成本细分



欲了解更多详情，请访问：电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日 (版本 3.0)

来源：电池官方,电池报告 2023 (第 131 页),电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日 (版本 3.0)

VOLTA FOUNDATION

镍含量对NCM和NCA正极性能及应用的影响

	NCM 5系列*		NCM 6系列		NCM 8系列		NCM 9系列		NCA 8系列
	多晶	单晶	多晶	单晶	多晶	单晶	多晶	单晶	
容量 (mAh/g)	155	185	176	190.8	210	195.8	217	214	195
价格 (美元/吨) 01/02/25	11,386 (耗材)	13,588 (新能源车)	13,119 (耗材)	14,489 (新能源车)	15,237 (耗材) 16,980 (新能源车)	不适用	不适用		19,503
工艺难度	高镍材料必须在O_2中烧结，而中镍材料可以在空气中烧结。 高镍材料需要LiOH作为锂源，而中镍材料可以使用Li_2CO_3；LiOH可能导致设备腐蚀。 高镍材料对湿度更敏感，相比中镍材料，导致锂残留更高。								
优势	良好的性能平衡和相对较低的成本		适中的能量密度，良好的循环寿命和安全性		高能量密度，高稳定性		高能量密度，因此每千瓦时成本更低		良好的能量密度，良好的速率能力，更好的稳定性
应用	EV		EV		EV		重型电动汽车 长续航EV		EV、电动工具、两轮车。

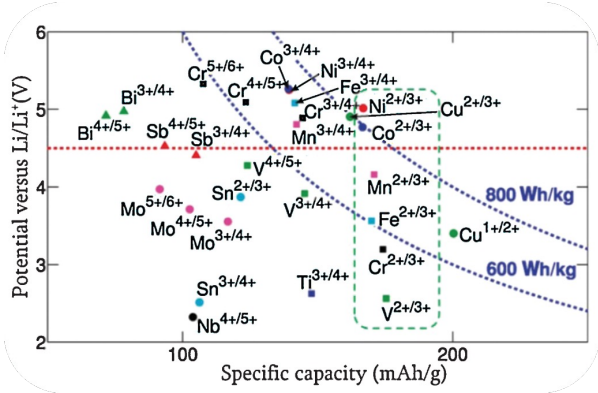
*5系列意味着成分中约有50%的镍

来源：MTI,MSE,方正报告,SMM

VF | VOLTA FOUNDATION

高电压正极 - 机遇、挑战与研发趋势

- 正极材料的理论电压极限由其活性元素的氧化还原电位定义。 NCM天然提供比LFP更高的电压，因为镍、锰和钴离子的氧化还原电位高于铁离子[1]。
- 通过优化颗粒形态、调整元素比例以及应用掺杂或包覆，可以提高实际电压极限。



[1] 正极材料的比容量

来源：刘等，材料今日 2016

- 高电压电池市场正在快速增长，受到对长续航EV、高级消费电子产品和高容量能源存储需求的推动。 更高的电压使得每单位正极材料能够提供更大的容量和更多的能量传递。
- 当前高电压研发趋势集中于高电压LCO、单晶中镍NCM以及LMFP。
  - 高电压LCO非常适合用于消费电子、无人机以及AI中心和超级计算机的电源供应。
  - 单晶中镍NCM利用高电压来弥补中镍较低的容量，同时提供增强的安全性。
  - LMFP在保持热稳定性的同时提升了LFP的电压，使其适合与高电压中镍NCM混合使用。
- 然而，高电压带来了产气问题、电解液兼容性和热量产生等挑战，需要先进的热管理技术和电池到包（CTP）设计。

VOLTA FOUNDATION

镍钴锰（NMC）基本信息 （SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	威胁
NMC	**•性质和性能：** ○ 高能量密度 ○ 低温性能 ○ 高电压 • 强大的电池供应链 • 高回收价值	**•安全性** ○ 高热释放 ○ 循环过程中危险的副反应 ○ 气体逸出，电池膨胀 ○ 镍、钴对人类和环境健康有害 • 金属和加工的高成本	**•广泛的应用场景** ○ 长续航/高端电动汽车 ○ 公交车、船只、重型设备、电动工具 • 广泛的回收供应链市场 • 在安全性和性能方面的持续进步	• 在降低成本和更安全替代品方面的进展 ○ LFP、 LNMO、钠离子 • 镍和钴供应链 ○ **镍和钴使NMC成本高昂，** 尽管金属价格处于历史低点 ○ 镍的开采可能会带来环境破坏

锂镍锰钴氧化物 (NMC): 现代电动车中最常见的正极化学之一，尤其是在中国以外的地区。

显著的研究进展: 对NMC安全性和性能的改进仍在研究中，包括高电压中镍化学的变体以及新的掺杂剂和包覆配方。

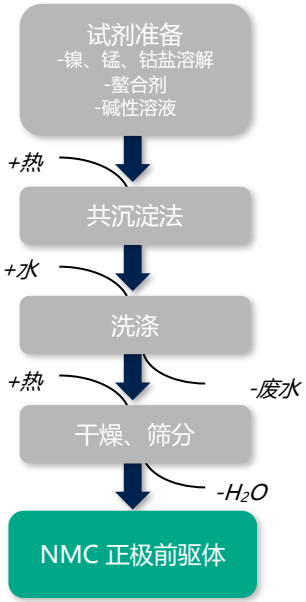
当前行业领导者: 主要位于中国、韩国、日本和欧洲，但北美的产能正在筹备中。

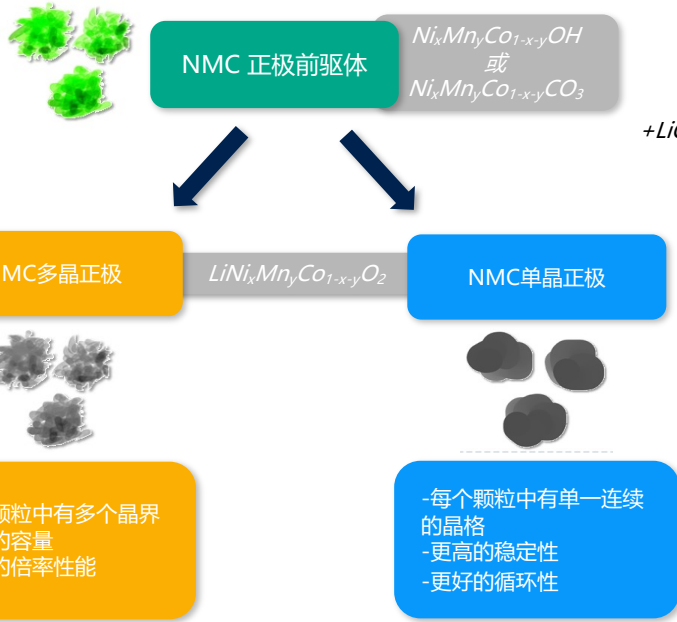
来源：F I Saaid等。Heliyon Cell Press. 2024

VF | VOLTA FOUNDATION

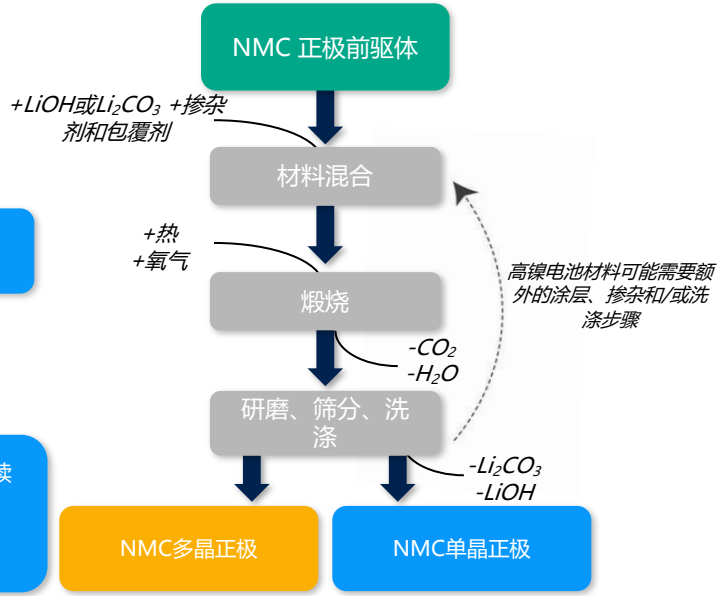
NMC正极活性材料合成工艺

NMC 正极前驱体合成概述





NMC正极合成概述



来源：单晶与多晶的比较 → Dahn等。Chem. Mater. 2009, 21, 1500–1503 → https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cm803144d
前驱体合成过程 → Jing Li 等. J. Electrochem. Soc. 2017, 164 A1534 → https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0401714jes/pdf

VF | VOLTA FOUNDATION

一月

Ascend Elements 目标到2030年通过其Hydro-to-Cathode®工艺实现NMC622电池材料碳足迹减少90%

ASCEND ELEMENTS

二月

LG Energy Solution 弗罗茨瓦夫（波兰）计划到2027年交付约20万个NMC电池模组用于电动公交车

LG Energy Solution Wrocław Sp. z o.o.

三月

CobaltBlue 计划在澳大利亚Kwinana建设钴镍精炼厂，预计到2026年生产以满足美国IRA和欧盟CRMA的需求

CobaltBlue

四月

green li-ion 推出首个美国电池级正极前驱体生产回收设施，能够处理来自NMC电池的3千吨黑粉

green li-ion

五月

Orano 和厦门钨业**新能源** 签署协议在法国敦刻尔克建设电池正极材料和前驱体两座工厂

orano

厦钨新能源 XTC New Energy

六月

LOHUM NMC电池材料生产商（印度）计划到2027年将二次电池回收能力从5 GWh扩展到30 GWh，投资1亿美元

LOHUM

7月

华友钴业 宣布在匈牙利Ács的NMC电池材料工厂建设进展

华友钴业 HUAYOU COBALT

八月

NOVONIX 和 **CBMM** 签署联合开发协议，专注于Nb添加以改善NMC电池材料的循环寿命

NOVONIX

CBMM

九月

Altilium 向UKBIC交付首个EcoCathode™ NMC用于NMC811电池的生产和认证

altilium clean technology

十月

当升科技 收到芬兰科特卡NMC电池厂项目的环境许可证

EASPRING FINLAND

十一月

Axens 计划在法国圣索尔夫收购土地，与**湖南长远锂科共同建设NMC电池材料联合工厂**

Axens Powering integrated solutions

湖南长远锂科股份有限公司 HUNAN CHANGYUAN LICO CO.,LTD

十二月

Ascend Elements 计划在乔治亚州Covington生产高达3千吨电池级碳酸锂，预计于2025年开始

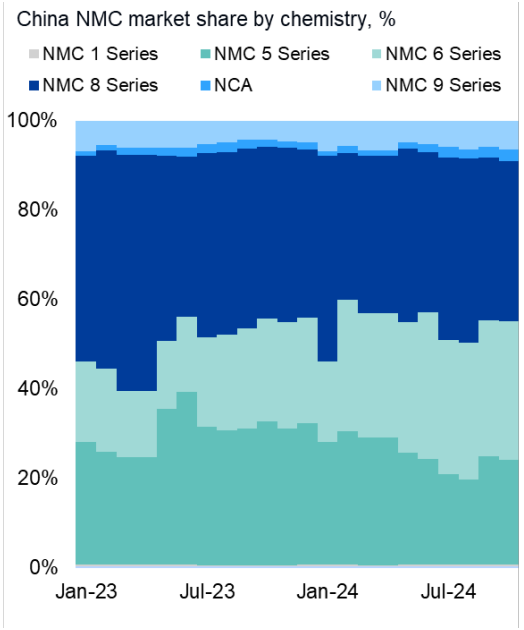
ASCEND ELEMENTS

来源：上述各种新闻文章

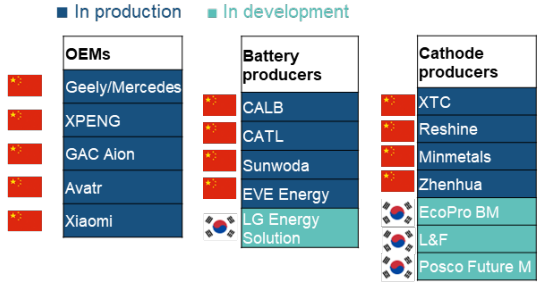
VF | VOLTA FOUNDATION

中镍高电压技术旨在增强NMC的竞争力

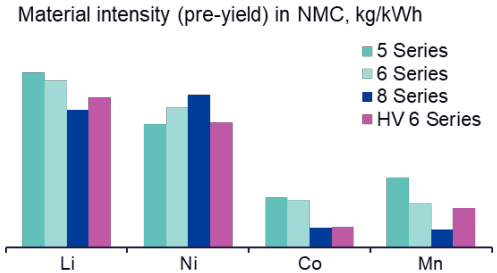
中镍现在占据中国镍正极市场的大部分



制造商计划生产中镍高电压正极



材料强度与NMC 811相当



- 中镍高压正极提供NMC 811的能量密度，同时具备NMC 5/6系列的低成本
- 由单晶材料实现
- 电池衰减的风险更高，但这正在得到缓解
- 在镍/钴价格高企时开发，现在在畅销的BEV中越来越多地被采用
- 高电压化学降低了对昂贵原材料的需求
- 几家汽车制造商现在正逐渐远离高镍化学

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。 中镍高压的建模强度基于NMC 631变体

VF | VOLTA FOUNDATION

镍钴铝酸锂(NCA)基本信息 （SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	威胁
NCA	• **高能量密度，具有优良的速率能力** • 长时间的日历寿命和结构稳定性 • 没有锰浸出或结构变形问题 • 成熟的生产技术 • 强大的回收价值 • 在过程中可以省略洗涤步骤	• 由于镍含量高和铝价格以及制造过程，成本较高 • 热稳定性问题，特别是在高温下 • **复杂的制造过程，难以均匀地将铝融入正极材料颗粒中**	• 高功率应用，如电动工具、叉车、电动卡车 • 在电动赛车中的应用 • **消费电子和电动汽车的快速充电能力** • 高端电动汽车，具有更长的续航里程 • ESS	• **来自NCM和NCMA化学体系材料的竞争** • 高电压正极材料的出现 • NCA技术和产品的可及性和成本效益不如NCM

镍钴铝酸锂（NCA）： 继续在电动汽车和便携式电子设备中占据重要技术地位。

发展进展： 优化速率能力和热稳定性。

领先公司： 松下和住友在推动和普及NCA电池方面发挥了关键作用，涵盖特斯拉车辆等多种应用。 此外，三星SDI和EcoPro在过去一年中对NCA开发进行了重大投资。

主要用途： 电动汽车应用，其余为电动工具、电动自行车和便携式电子设备。

来源：电池报告2023, GEM有限公司, ZHNANO

VF | VOLTA FOUNDATION

一月

EcoPro BM 和三星SDI签署价值335亿美元的NCA 正极材料供应协议，涵盖2024-2028年

二月

Cirba Solutions 与 **EcoPro** 合作，开发用于正极前驱体和正极材料生产的回收材料。

三月

斯特兰蒂斯推出道奇充电器日托纳，这是基于STLA大型架构的首款车型，配备100.5 kWh NCA电池

四月

EcoPro BM 获得GEMX®平台的非独占许可，用于高镍电池材料（如gNMC®，gNCA®）的生产，来自**CAMX Power**

五月

沃尔沃卡车使用高镍NCA电池组，但仍在探索其他电池化学成分

六月

三星 SDI获得GEMX®平台的非独占许可，用于gLNO®，gNMC®，gNCA®来自**CAMX Power**

7月

三星SDI与NextEra能源达成7.24亿美元的交易，提供总容量为6.3 GWh的三星电池盒1.5

八月

三星 SDI与**GM**达成协议，成立一家合资企业，资本为35亿美元，在印第安纳州新卡尔斯莱生产27 GWh的电动汽车电池

九月

NEXT-GEN和SIEMENS签署谅解备忘录，以支持下一代在澳大利亚建设NCA 正极材料工厂的努力

十月

Posco Future M 在韩国浦项的工厂开始生产年产30千吨的NCA正极

11月

彭博新能源财经报告显示，Redwood Materials的NCA CAM生产方法比开采和精炼原材料所需的水减少60%，能量减少80%

十二月

M2i Global 与 **NEXT-GEN术**合作，在澳大利亚建立一个年产2-10千吨的NCA电池材料中试线

来源：上述各种新闻文章

VOLTA FOUNDATION

镍钴锰铝(NCMA)基本信息 （SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	威胁
NCMA	• 结合了NCM和NCA的优势 • 减少钴含量，降低成本并解决供应链问题 • 高能量密度 • 适用于各种电池格式，提供设计和应用的灵活性	• 合成过程中需要精确控制以保持质量 • 由于高镍含量导致的结构不稳定性 • 高镍含量推高了原材料、正极材料生产和制造过程（如CTP）的成本。 • 热不稳定性	• 具有长续航和快速充电能力的高端电动车(EV) • 需要高输出和快速能量传递的电动工具 • 无人机 • 对有价值材料的强回收潜力	• 来自NMC、NCA和LFP的竞争 • 对高镍含量的安全担忧日益增加 • 对镍价格的高敏感性

镍钴锰铝酸锂(NCMA)：代表锂离子电池的下一代发展，结合了NCA和NCM的优势。

优势：这种化学成分优先考虑高镍、高能量密度、改善热稳定性，并减少对钴的依赖。正在进行的研究集中于优化其成分和长期性能。

NCMA在高端电动车中获得关注：行业领袖，如LG能源解决方案、丰田和瑞维安，正在推动在电动车中商业化NCMA电池的努力，主要生产设施最初设在美国。

来源：LG电池实验室, Kim等, J. Power Sources 2023

VOLTA FOUNDATION

一月

LG化学在田纳西州克拉克斯维尔破土动工建设NCMA正极生产厂，预计2026年开始供应60千吨/年

LG Chem

二月

LG化学 与GM 签署170亿美元合同 供应2026年至2035年期间的500千吨NCMA正极材料

LG Chem gm

三月

LG Energy Solution 研发 投资 在2023年超过760万美元，计划增加对NCMA和LFP电池开发的支出

LG Energy Solution

四月

L&F 赢得 $6.8B 合同，为欧洲电芯生产商提供 176 kt NCMA 正极，合同期限为 2025 至 2030 年

L&F Co., Ltd.

五月

起亚发布最新的EV3车型，续航600公里，配备由HLI绿色能源生产的NCMA电芯

KIA

HLI GREEN POWER

五月

凯迪拉克 推出 OPTIQ 模型，基于 Ultium 平台，配备 85 kWh NCMA 电池组，续航里程为 300 英里

CADILLAC

八月

LG Energy Solution 计划在年底前完成位于韩国Ochang的干法工艺中试生产线，目标是2028年实现大规模生产

LG Energy Solution

七月

HLI绿色能源 在印度尼西亚卡拉旺开设 $1.2B 电池工厂，年产能为 10 GWt/h 的 NMCA 电池，供电 150,000 辆 BEV

HLI GREEN POWER

十月

LG Energy Solution 签署两项协议，总价值 $9.5B，向福特汽车 提供总计 109 GWh 的电池，合同期限为 2026 至 2032 年

LG Energy Solution

Ford

十月

LGEnergy Solution 和丰田 签署供应协议，从 2025 年开始每年提供 20 GWh 的 NCMA 模块用于 BEV

LG Energy Solution

TOYOTA

十二月

Ultium Cells 庆祝在其俄亥俄州沃伦工厂生产第1亿个NMCA 电池

ultium cells

十一月

LG Energy Solution 签署 5 年期、价值 $6.7B 的协议，为瑞维安 R2 SUV 提供 67 GWh 的 NCMA EV 电池，该车型预计于 2026 年首发

LG Energy Solution

RIVIAN

来源：上述各种新闻文章

VF | VOLTA FOUNDATION

钴酸锂（LCO）基本信息（SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	威胁
LCO	• 高能量密度：理想用于便携式电子设备 • 广泛的现实世界数据可用性；非常适合医疗应用 • 更高的电压能力：支持高达4.5V的电压 • **成熟技术：与其他正极化学相比，使用记录更长** • 最高回收价值	• 较低的热稳定性 • 由于过热限制在较低的C速率 • 更高的成本 • 在高功率需求下降低的循环性 • **钴价波动和供应不稳定** • 气体演化 • 制造和采矿过程中的环境影响	• **便携式和消费电子产品** • 需要10年以上可靠性数据的行业 • 国内行业中的高回收价值 • 为需要高容量和能量密度的AI和超级计算机提供能源 • 在利润较低的便携设备中与NCM混合	• **高能量NCM和NCA用于高性能应用** • 高电压NCM用于能源密集型使用案例 • 由于地缘政治因素，钴的伦理问题和供应不稳定性

锂钴氧化物 ($LiCoO_2$): 仍然是广泛使用的正极材料，特别是在智能手机、笔记本电脑和医疗设备等消费电子产品中，因其高能量密度和稳定电压。

研究重点： 提高其实用容量、增强热稳定性、改善循环寿命，并减少其环境影响，特别是通过回收倡议。

当前行业领导者： 生产主要集中在中国、日本和韩国。

来源：LCO概述，LFP优缺点，LCO与LFP，LCO生命周期，刚果的钴争议，

VOLTA FOUNDATION

一月

纳米科技能源 18650 2Ah LCO安全电池及其NMC（2.1Ah）和LFP（1.5Ah）版本已准备在加利福尼亚州奇科的奇科2工厂投入生产

二月

SiAT 和 CPDC 显示在2代LMFP浆料中添加5%的LCO可以防止在4.5V的钉子穿透测试中发生灾难性故障

三月

EaglePicher 获得GS Yuasa合同，供应第四代LSE112（112 Ah，3.75V）LCO/石墨电池用于太空

四月

Cobalt Blue Holdings计划在澳大利亚珀斯附近建设钴-镍精炼项目，这是该国首个大规模钴和镍精炼厂

四月

苹果 宣布到2025年在所有苹果设计的电池中使用100%认证的回收钴

六月

TMC 和 SGS 从深海多金属结核中生产出世界首个硫酸钴，展示了该资源的可行性

7月

Ateios Systems 宣布发布首个无PFA的RaiCore™高压锂钴氧化物电极

九月

Electra Battery Materials Corporation宣布获得2000万美元的国防部战略投资，用于北美首个电池级钴精炼厂

十一月

日本财团和**东京大学**在南鸟岛港口发现230百万吨稀有材料，包括610千吨钴

十二月

Ateios Systems获得35万美元的NSF Engines拨款，用于开发RaiCore™ LCO正极

十二月

Cobalt Blue 和 Ecobatt 宣布战略合作伙伴关系，以通过处理回收电池的黑质建立关键矿物的国内供应链

十二月

Ateios Systems 与多家电池制造商签署战略合作伙伴关系，提供其RaiCore™高压锂钴氧化物电极

来源：上述各种新闻文章

钴酸锂(LCO)基本信息

钴酸锂仍然是便携式电子设备中锂离子电池的主要正极材料，因为它具有高比容量和稳定的放电平台。随着对更高能量密度和更长循环寿命的需求增加，提高工作电压已成为最有效的解决方案。通过将充电截止电压提高到4.4 V以上，可以提取更多锂，使更多Li^+离子参与脱嵌锂过程，从而显著提升实际容量。**高电压LCO在先进消费电子产品、无人机以及AI中心和超级计算机的能源供应解决方案中越来越受到需求。**

限制电压 (V)	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6
容量 (mAh/g)	140	155	170	185	220
平均电池电压 (V)	3.91	3.92	3.94	3.97	4.03
比能量 (Wh/kg)	457.3	607.6	669.6	733.5	885.9
比能量 (Wh/L)	2299	2552	2812	3081	3721
增加 %		11%	10%	9.5%	21%

来源：吴等，能源化学杂志，2022，SMM1，SMM2

在2023年中，上海有色网(SMM) 开始发布高电压 LCO 的价格，以增强市场透明度，并帮助上下游行业管理价格波动和风险。 **这一举措反映了高电压 LCO 技术的成熟，以及对高能量密度在先进电子应用中日益增长的需求。**

电压 (V)	价格 (美元/吨) 01/03/25
4.2	16,182.32
4.4	16,617.55
4.45	17,161.6
4.48	17,639.15
4.5	18,062.3
4.53	20,888.55

VOLTA FOUNDATION

磷酸铁锂 (LFP) 基本信息 （SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	威胁
LFP	• **性价比**：使用丰富且相对便宜的材料，避免使用钴和镍 • **安全性**：具有高热和化学稳定性，降低过热和火灾的风险 • **长循环寿命**：这些电池可以承受比其他化学品更多的充放电循环，使其非常适合需要长期耐用性的应用	• **与NMC或NCA正极相比，能量密度较低，限制了电动车（EV）或便携设备的续航能力** • 体积限制：较低的能量密度要求更大更重的电池组以实现相同的容量 • LFP生产的很大一部分集中在中国 • 回收LFP电池的激励较低	• **电动车市场增长**：对经济实惠和安全电池的需求与LFP技术在入门级和商业电动车（EV）中的应用非常契合 • **固定式能源存储**：长循环寿命和安全性使LFP非常适合可再生能源存储系统，这是一个快速增长的市场 • **电芯到电池包技术**：有助于抵消能量密度问题，并因降低复杂性而减少电池包成本	• 像NMC化学这样的高能量密度替代品在性能关键应用中超越LFP • 市场饱和：快速采用可能导致过剩和利润率下降，影响严重依赖LFP正极的生产商 • **LFP电池的回收价值最低，可能在回收法规下造成问题**

磷酸铁锂(LFP)：在2024年巩固了其在全球电池行业的主导地位，占据了56%的锂离子正极市场份额[1]。

近期激增：主要受到中国广泛采用的推动，LFP电池满足了该国超过70%的电动车（EV）需求。

LFP技术的吸引力：在于其成本效益、安全性和环境优势，因为它避免使用稀缺和昂贵的材料，如镍和钴。

全球扩张：包括欧洲和美国在内的国际制造商已开始探索LFP解决方案，以提高EV的可负担性和可持续性。

来源：电池报告2023（第125页），自然-锂离子电池正极化学，电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日（版本3.0）

VF | VOLTA FOUNDATION

一月

第一磷酸盐公司与**美国电池工厂公司**及**整合电力有限公司**达成协议，每年生产40千吨LFP正极

二月

LG能源解决方案签署协议，从中国的**常州立元**购买160千吨LFP电池管理系统，截止日期为2029年

三月

SK宣布将在2026年大规模生产LFP电池，具体取决于需求

四月

江苏洛普科技在印度尼西亚Kendal工业园区启动LFP生产厂，初始产量为30千吨

五月

湖南云能宣布在西班牙埃斯特雷马杜拉投资1.355亿美元建设50千吨每年LFP电池生产厂

六月

国轩高科计划在摩洛哥Kenitra建设一个价值13亿美元的LFP电池厂，目标是在2026年第三季度开始生产，初始产能为20 GWh

7月

AESC西班牙开始在西班牙卡塞雷斯建设年产30 GWh的LFP超级工厂

八月

Morrow Batteries在挪威阿伦达尔开设首个GWh LFP电芯工厂，计划在年底前交付产品

九月

第一磷酸盐选择在萨格奈-拉克-圣让，加拿大魁北克建设10千吨LFP正极工厂，利用距离80-120公里外的矿山提取的磷酸盐

十月

StB超级工厂公司，一家澳大利亚-中国合资企业，在菲律宾新克拉克市开设了一个价值1.246亿美元的LFP电池厂，容量为300 MWh

十二月

斯特兰蒂斯和**宁德时代**宣布计划投资高达€41亿在西班牙萨拉戈萨建立大规模LFP电池管理系统工厂的合资企业

福特计划在密歇根州马歇尔建设20 GWh LFP电池厂，预计于2026年由子公司**蓝环电池公园密歇根运营**

来源：上述各种新闻文章

VF | VOLTA FOUNDATION

高压实密度正极是LFP技术的下一个进化

反应方法	Solid-phase			Liquid-phase
Compacted density, g/cm³	Normal 2.3-2.5	High 2.5-2.65	Very high 2.65-2.7	High 2.45-2.5
Improvement		Dual-sintering process	Iron oxalate synthesis	
Pros	Simple process, cost-effective	Precise particle control, fewer impurities	Better uniformity and higher density	Small particle size and high purity
Cons	Poor particle size control, impurities	Higher energy cost, lower capacity	Higher costs, technical difficulties	Initial capital costs are higher
Companies	Yuneng, Wanrun, Changzhou Liyuan etc.	Yuneng, Wanrun, Anda Tech	Shenghua	Dynanonic

- 在LFP电池中实现快速充电
- 更高的能量密度
- 需要新的工具和工艺
- 售价较高
- 已经在中国的几款BEV中使用

OEMs supplied by CATL
HCD LFP batteries

CATL Shenshing PLUS 电池 | ZEEKR | DEEPAL | EXEED | ARCFOX | AION

OEMs supplied by BYD
HCD LFP batteries

FinDreams Battery | BYD | DENZA

高压实密度（HCD）LFP正极材料 - 通过解决电极厚度与性能之间的权衡，提高能量密度和快速充电能力。

在中国，这可能会加速旧LFP产能的淘汰，制造商必须升级设备并修改工艺。 HCD LFP涉及从单次烧结转变为双次烧结工艺，以确保精确的颗粒控制、更少的杂质和均匀的碳涂层。

尽管新工艺增加了生产时间和成本，但电池制造商愿意为高质量材料支付溢价，并帮助 struggling LFP 生产商投资新一代生产线。

HCD也被称为‘第四代LFP’，在中国最近的提案中专门列出以限制高端LFP的技术出口。

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

磷酸锰铁锂(LMFP) 基本信息 （SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	威胁
LMFP	• **比 LFP 更高的能量 密度** • 每千瓦时成本低于 NMC • **锰的丰富性和低成本** • 更高的电压 • 比 LFP 更好的低温性能 • 热稳定性 • 高电压平台 • 利用现有的 LFP 制造工艺和基础设施	• 与 LFP 相比，循环寿命降低，原因是锰的姜泰勒畸变和金属溶解到电解液中。 • **电导率差，锂离子扩散** • 与 LFP 一样，SOC 估算具有挑战性 • 双电压平台影响了电池一致性，导致 BMS 中的里程数据波动	• **中长续航 EV** • 重型车辆（卡车和公交车） • 将正极与 NCM 混合用于高电压电池 • 在 EV 应用中有潜力替代 LFP	• 行业标准化缺乏导致产品不一致 • 规模化挑战 • 对 LMFP 的高级改进增加了工艺复杂性 • **供应链不发达**

磷酸锰铁锂(LMFP)：新兴正极材料，提供高能量密度、安全性和成本效益，理想用于重型电动车 (EV) 和能源存储系统 (ESS)

研究重点：通过涂覆、掺杂和尺寸减小来提高电导率和锂离子扩散

LMFP 开发：由主要中国电池制造商主导，新的北美公司也在推进 LMFP 技术，以用于电动车 (EV) 和能源存储系统 (ESS)

来源：电池报告 2023 (第125页),电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日 (版本 3.0)

VOLTA FOUNDATION

LMFP与LFP

结构

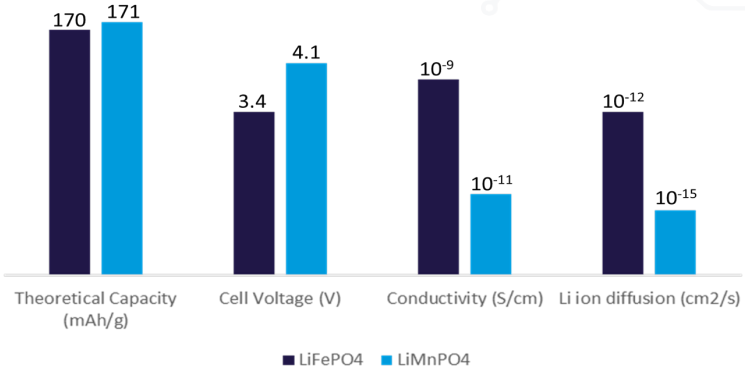
- LMFP部分用锰替代LFP中的铁。
- 将锰纳入系统提高了氧化还原电压，从而增加了整体能量密度。

性能

- LMFP在低温性能下的容量发挥比LFP更稳定。
- 两种化学成分的安全性特征相似。

市场/使用

- LMFP-64（60% 锰含量）是市场上最广泛可用的成分，研究工作现在正转向70% 锰含量。
- 由于电压相似，LMFP通常与NMC混合，这提高了安全性并降低了相对于NMC的成本。



LMFP中的Mn/Fe比率 (标称电压, 实际容量, 能量密度)

LFP (0% Mn)	20% Mn*	40% Mn	60% 锰	80% 锰	**LMP** (100%Mn)
3.4V	3.44V	3.48V	3.64V	3.96V	3.95V
161.0 mAh/g 534.9 Wh/kg	161.7 mAh/g 553.5 Wh/kg	157.4 mAh/g 557.0 Wh/kg	142.4 mAh/g 515.8 Wh/kg	126.3 mAh/g 459.9 Wh/kg	63.0 mAh/g 230.6 Wh/kg

*20% 锰: $LiMn_{0.2}Fe_{0.8}PO_4$

来源：国元证券, 电池报告 2023 (第125页)

二月

SiAT宣布与CPDC建立战略合作伙伴关系，推出第二代LMFP浆料，添加磷氮化合物以增强安全性。

三月

Mitra Chem与圣戈班陶瓷建立战略合作伙伴关系，以在2026年商业化符合IRA标准的LMFP正极

五月

吉滕达EV推出高性能的Primo S和Primo Plus滑板车，配备LMFP和NMC电池

七月

LOHUM计划开发LMFP，作为新的回收和电池管理系统生产设施的一部分，预计到2027年实现20 GWh的产能，获得1.36亿美元的投资支持。

九月

Firebird Metals获得在中国湖南金石运营电池级锰硫酸盐和四氧化锰工厂的许可证，目标是在2025年底开始初步生产

十一月

Integrals Power 开始向欧洲和美国的客户分发LFP和LFMP电池正极材料样品。

二月

特斯拉 验证了来自宁德时代的LMFP电芯（M3P），这些电池已在奇瑞和华为的电动汽车中使用。

二月

比亚迪宣布推出基于LFMP的第二代刀片电池，具有220 Wh/kg的单体能量密度和190 Wh/kg的电池包重力能量密度。

四月

国轩InoBat电池获得来自斯洛伐克的€214M，用于在斯洛伐克斯卢拉尼建设L(M)FP电池工厂

六月

Wildcat Discovery Technologies与**Austin Elements** 建立合作关系，以回收LMFP电池和电池废料

七月

瑞浦兰钧展示430-520 Wh/LLMFP电池，采用Wending®技术以增强快速充电性能和安全性在巴黎车展上

十月

容百科技完成10 gt LMFP固态容量项目的建设

十二月

来源：上述各种新闻文章

VF | VOLTA FOUNDATION

锰酸锂 (LMO) 基本信息 （SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	威胁
LMO	• 与NMC和NCA相比，LMO具有更好的热稳定性 • 基于LMO的电池具有更长的循环寿命 • 对电动汽车和电动工具具有良好的功率密度 • 由于锰成本低，生产成本高效 • **锰比钴更丰富且毒性更低** • LMO是固态电池中更有前景的材料之一 • 低成本下的高效率	• 与NMC和NCA相比，LMO的能量密度较低 • 充电截止电压较低，为4.2V • LMO电池可能具有更高的自放电率 • LMO可能会遭受容量衰减和高功率下的效率差 • 在低温下表现相对较差 • **在长周期内，由于结构退化，容量衰减会发生**	• **LMO电池在成本和性能之间取得平衡，可能导致更实惠的电动车** • LMO更可持续且不需要钴 • LMO的稳定性可能对固态电池很有趣 • 与OEM的合作可能增加LMO的采用 • 电动两轮车、轻型车辆和无人机的兴起为LMO技术提供了机会	• **在更成熟的化学体系中，快速进展，例如NCA、NMC和L(M)FP** • 随着消费者对长续航EV的需求，较高能量的CAM，例如NMC或NCA可能会超过LMO • L(M)FP具有更低的成本和更好的热稳定性和性能 • 由于锰更为丰富，其提取可能导致更大的环境影响和污染

锰酸锂（**LMO**）：起源于John B Goodenough的团队，LMO在1990年代初进入市场，并用于早期的日产聆风。

优势：LMO的优势在于其成本效益、安全性和环境益处，以及避免使用稀缺和昂贵材料（如钴或镍）。

LMO目前没有很大的市场份额：由于高自放电率和在多次充放电循环中导致的容量衰减，LMO的循环寿命较短，这主要是由于锰溶解和结构退化所致。 然而，一些公司已经能够通过多种技术来管理这个问题。

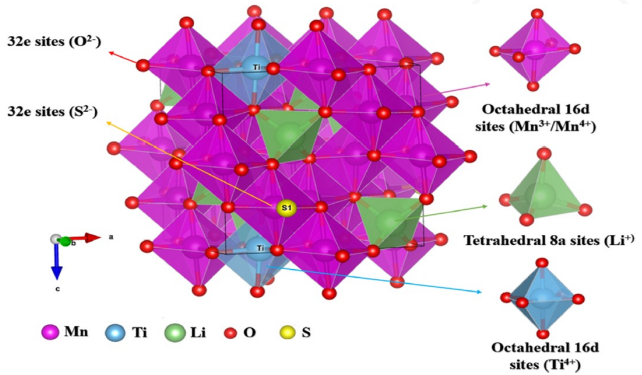
来源：电池报告2023（第130页）。

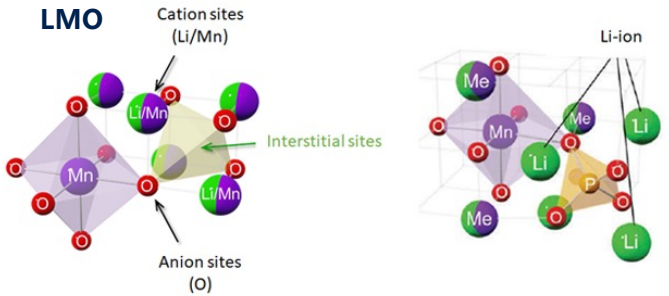
VF | VOLTA FOUNDATION

LMO ($LiMn_2O_4$) 尖晶石结构的稳定化

阳离子和阴离子替代可能增强LMO CAM性能：

- 来自庆尚国立大学的研究人员介绍了一种新型多取代尖晶石，通过在特定位置部分用钛（Ti^{4+}）替代锰（Mn^{4+}），并用硫（S^{2-}）替代氧（O^{2-}）。 这种方法通过减轻贾恩-泰勒畸变来稳定结构，并在尖晶石的操作寿命[1]中保持容量完整性。
- 特斯拉申请了一项专利，提出用碱金属或碱土金属阳离子Mn^{+}（例如 n = 1: Na+或 K+，或 n = 2: Mg^{2+}或 Sr^{2+}）替代锂（Li^{+}），用一种13族元素M' m+（如B^{3+}或 Al^{3+}）替代锰（Mn^{4+}），并用阴离子掺杂剂Xk^{-}（如 F^{-}或 Cl^{-}或 SO_4^{2-}）替代氧（O^{2-}），在Li(1+a)MbMn(2-c)M' cO(4-d)Xe中，以通过稳定尖晶石结构和减少锰溶解来改善循环寿命[2]。
- 丰田中央研发实验室通过引入非金属元素，如硼(B^{3+})和磷(P^{5+})，到间隙位置，改善了LMO正极的循环寿命并提高了其容量。 硼掺杂稳定了晶体结构，从而延长了电池寿命。 磷通过允许更多的锂+存储，增加了电池容量，从而提高了能量密度[3]。





来源：[1]O. Nyamaa等，Mater. Adv.，2024，5，2872-2887；[2]WO专利2024147993A1；[3]丰田中央研发实验室

VF | VOLTA FOUNDATION

一月

木星矿业从南非Tshipi Borwa矿提取并销售锰矿石，并探索将其精炼成电池级Mn材料的技术

二月

锰X能源 计划成为北美首家为EV电池提供可持续高纯度锰的矿业公司

三月

加纳锰矿公司与宁夏**天源锰业集团**成立$450M合资企业用于锰精炼

四月

Calix Ltd. 生产一种新型的LMO正极，采用Calix闪光煅烧技术。CXL LMO/Li金属显示可逆容量为110mAh/g，500个循环后容量保持率为86%

四月

太蓝新能源声称通过一种富锂锰基正极的新型全固态电池，创造了能量密度的新纪录，提供超过1300英里续航

六月

斯特拉图斯材料宣布LXMO™软包电芯的关键性能里程碑，超过1000次完整深度放电循环，保持初始容量的>80%

七月

特斯拉 获得新型“掺锰富正极活性材料”的专利，具有更好的循环寿命和降低的锰溶解

九月

吉亚尼金属获得15年采矿许可证，用于博茨瓦纳的Kgwakwe山，用于电池级锰

九月

火鸟金属 获得在中国湖南省金石运营其电池级锰硫酸盐和四氧化锰工厂的许可，目标 2025年末开始生产

九月

SOUTH32 获得$166M美国能源部拨款，用于亚利桑那州Hermosa Clark项目，以支持商业规模锰生产的发展

十一月

吉亚尼金属报告在南非约翰内斯堡的电池级锰矿演示工厂的调试进展

十一月

Mn Battery Minerals Pty Ltd 计划成为全球高纯度硫酸锰一水合物的生产商

来源：上述各种新闻文章

VF | VOLTA FOUNDATION

镍锰酸锂（LMNO）基本信息 (SWOT分析)

	优点	缺点	机遇	威胁
LMNO	• LMNO的能量密度高于LMO，接近NMC和NCA • 可用于长续航EV和高性能消费电子产品 • **LMNO提供比其他高能量正极更好的热稳定性** • 更高的充电电压截止值为4.7 V • 基于LMNO的电池表现出良好的循环寿命，在多次充放电循环中容量衰减最小	• 容量低于 基于NMC的正极 • 在高充电速率下电压不稳定 • 生产成本高于LFP或LMO • **复杂的制造过程需要对材料成分进行精确控制** • 与L(M)FP相比，在低温下表现较差 • LMNO可能在循环过程中遭受锰溶解和结构降解 • 缺乏在LMNO的充电电压下稳定的低成本电解质	• 对中长程电动车的需求日益增长 • 热稳定性和长循环寿命是BESS的优势 • 下一代固态电池的理想候选者 • **适合电动航空、无人机和轻量级移动应用** • 降低来自钴的供应链风险	• NMC具有更高的能量密度，而L(M)FP具有更低的生产成本 • 替代的无钴化学成分，如L(M)FP，可能在成本更低的情况下提供更优越的性能 • 由于固态电池的进步，其他电池管理系统（CAM）可能变得更具竞争力 • **对电池制造中镍的需求增加可能会降低LMNO的成本效益**

镍锰酸锂（LMNO）：LMNO作为LMO正极的先进版本出现。通过添加镍，它提供了比LMO更高的能量密度和更高的截止电压（4.7 Vvs4.2 V），

LNMO技术的发展：始于2000年代中期，但仍主要存在于电池原型中，目前尚未在电动车（EV）中使用。然而，关于钴矿开采的可持续性和供应链风险的日益关注可能会加速其采用。

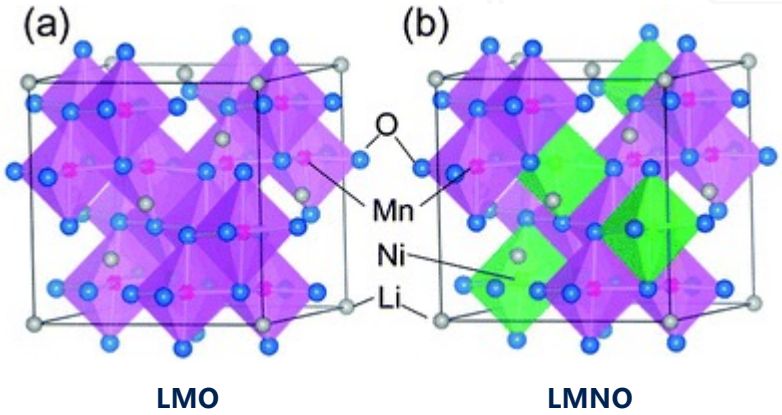
关键参与者：该技术可能很快会在中长续航电动车（EV）、轻型航空、无人机和电池储能系统（BESS）中实施。Morrow电池、Topsoe和NanoOne正致力于商业化LMNO技术。

来源：电池报告2023（第130页），电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日（版本3.0）

VF | VOLTA FOUNDATION

LMNO与LMO

- 在LMNO与LMO相比中，锰部分被镍替代
- 将镍引入系统提高了氧化还原电压，从而增加了整体能量密度
- LMNO提供更高的能量密度，通常在180-200 Wh/kg之间，而LMO的能量密度适中，为140-160 Wh/kg
- LMNO的截止电压为4.7 V，而LMO的截止电压为4.2 V
- 与LMO相比，LMNO在低温性能上有所改善



LMO **LMNO**

LMO中的Ni/Mn比率 (电池电压，实际容量，能量密度)

LMO (0% Ni)	30% Ni	50% Ni	70% Ni	80% Ni	**LNO** (100% Ni)
4.0 V	4.3V	4.7V	4.8V	4.9V	4.4V
120.0 mAh/g 180.0 Wh/kg	170.0 mAh/g 230.0 Wh/kg	200.0 mAh/g 300.0 Wh/kg	220.0 mAh/g 330.0 Wh/kg	230.0 mAh/g 360.0 Wh/kg	250.0 mAh/g 380.0 Wh/kg

来源：K. Mukai等，RSC Adv.，2013，3，11634-11639

VOLTA FOUNDATION

二月

Topsoe 在丹麦弗雷德里克松启动 LNMO CAM试点，设计产能为200吨/年

South 8 Technologies 开发了LiGas®液化气电解质，并展示了与4.6V LNMO电池的完全兼容性

二月

Echion Technologies和 **Morrow Batteries**签署多年供应协议用于Morrow的LNMO-X技术中的XNO™负极

五月

Echion Technologies与 **Topsoe**发布了一份关于高性能3V LNMO-XNO™电池系统的白皮书

3beLiEVe项目展示了 LNMO电池的回收过程

六月

Morrow Batteries在挪威格里姆斯塔德开设挪威最大的电池研究中心

IREC与**Topsoe**合作开发可水处理的LNMO材料和电极

六月

七月

COBRA项目通过生产一个采用LNMO正极和Si/C负极的原型而结束

九月

HyList项目获得Horizon Europe的资金，以开发基于LNMO CAM的第4代全固态锂电池

十一月

十月

South 8 Technologies的LiGas®液化气电解质被TIME评选为2024年最佳发明以提高锂电芯的安全性、成本和性能

Nano One在2024年获得了11项新专利，包括LNMO CAM的一锅合成技术

十二月

Morrow Batteries获得$1.31亿贷款用于LFP和LNMO化学的规模化和开发

十二月

来源：上述各种新闻文章

SpectraPower: Silicon Valley's Battery Lab

Located in Livermore, CA, SpectraPower offers comprehensive battery services tailored for the energy storage industry with a focus on companies developing new materials and testing batteries. Partner with SpectraPower to accelerate your battery innovation from concept to commercialization.

- **Facility: Complete pouch cell fabrication and test line including:**
  - Powder and Slurry processing and preparation
  - Electrode coating (single and double sided)
  - Electrode preparation: calendaring, punching, and tabbing
  - Cell assembly: automated stacking, sealing and electrolyte fill
  - Cell Testing: >700 channels, from 1 mA to 1000A
  - Environmental chambers: -70°C to 200°C
  - Biologic Electrochemical Impedance Spectroscopy, 4-point probe

- **Services offered:**
  - Prototype Cell Fabrication and Comprehensive Cell Testing
  - Custom Electrode Fabrication incorporating advanced materials
  - Cell Disassembly, Analytical Services, and Reporting
  - Third Party Evaluation and Due Diligence
  - Expert Reports, Testimony, and Independent Testing for litigation, safety incidents, and intellectual property cases.









Why go to the trouble, risks, delays, and costs of building and staffing your own prototype line when the SpectraPower Team can build your cells today!

Why Choose SpectraPower?

- **Experienced Team:** Our team has a proven track record, including building America's first Li-ion manufacturing plant.
- **State-of-the-Art Facilities:** Equipped to handle a wide range of battery technologies and testing requirements.
- **Fast Project Initiation:** With a large inventory of battery materials, we can initiate projects quickly without sourcing delays.

SpectraPower can provide fixed price services or support time and materials projects.

Contact us for a quote today!
Email: info@spectrapowerllc.com
Website: www.spectrapowerllc.com

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

负极摘要及关键点2024

在2024年，石墨因为其经济性、可靠性和在全球供应链中的主导地位， 仍然是主要的负极材料 。 然而为实现更高的能量密度， 研究主要集中在开发硅基负极， 或与石墨负极混合或替代。 虽然硅提供了更高的比容量，但其在嵌锂过程中体积膨胀带来了如开裂和粉化等挑战。 通常采用如纳米结构、先进的粘合剂和优化的电极设计等解决方案，以便在商业电池中实现实际应用。

关于2024年锂离子电池负极材料的关键点：

主导材料： 石墨仍然是最常用的负极材料，因为其价格低廉且性能可靠。 全球供应严重依赖中国，中国占天然石墨生产的70%和加工能力的90%。

新兴技术： 硅基负极因其相较于石墨具有更高的能量密度而受到广泛关注，同时其没有锂金属的安全隐患，也没有固态锂金属的成本和制造复杂性。

研究重点： 各大企业正在积极开发和申请硅基负极技术，以解决硅负极在充电过程中体积膨胀的挑战，包括纳米结构、结合粘合剂和导电添加剂，以及优化电极和电池设计。

市场趋势：石墨供应和可用性问题引发了在中国以外扩大石墨生产的倡议，并将重点放在建立替代负极材料（例如，硅、锂金属、LTO和硬碳）的供应链上。

来源：Ufine, Benchmark Minerals, 电池报告2023（第133-42页）, 电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日（版本3.0）

负极材料关键性能指标

锂离子电池中负极材料的选择是一个关键决策，取决于其应用场景的具体要求，并显著影响电池的整体性能、安全性和经济性。 石墨是一个可靠且具有成本优势的选择，而硅和锂金属则提供更高的能量密度，但在稳定性和安全性方面面临挑战。 钛酸锂（LTO）虽然能量密度较低，但在安全性和循环寿命方面表现优异。
选择负极材料时考虑的几个因素：

能量密度

具有更高能量密度的负极材料可以存储更多锂离子，从而使电池具有更大的能量存储能力。 不同材料，如石墨、硅和锂金属，提供不同的能量密度，选择取决于其具体的应用要求。

循环寿命

电池在不显著降解的情况下能够经历的充放电循环次数对于持久和可靠的能源存储至关重要。负极材料必须在多个循环中表现出稳定性和耐用性，以确保电池的使用寿命。

成本

材料的成本在决定电池的整体性价比中起着关键作用。 负极材料应在保持可接受性能水平的同时，具备大规模生产的经济可行性。

安全性

安全性是电池设计中的首要关注点。 负极材料应尽量减少枝晶形成的风险，因为枝晶可能导致内部短路、过热和潜在的安全隐患。 稳定的负极极材料有助于锂离子电池的整体安全性。

速率

快速充电涉及高充放电速率，负极材料必须有效促进锂离子在正极之间的快速移动，这是电动汽车和消费电子等应用中的一个重要指标。

正极兼容性

正极和负极材料必须兼容，以确保锂离子的高效运输并最大化电池性能。 材料的整体电化学兼容性有助于电池的效率和可靠性。

可制造性

所选择的负极材料应适合成本效益高且可扩展的制造工艺。 加工的便利性及其在电池生产线中的整合是商业可行性的实际考虑因素。

环境影响

越来越强调选择环保和可持续的负极材料。 行业正在探索在锂离子电池的生产、使用和处置过程中对环境影响最小化的材料。

来源：电池报告2023（第133页），电池讨论：电池应用细分 2025年1月1日（版本3.0）

常用负极材料及其性能比较

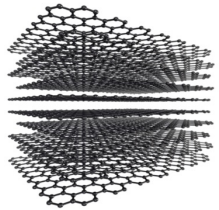
	石墨	硅	钛酸锂	锂金属
描述	石墨由于其稳定性、成本效益和成熟的制造工艺，一直是传统选择。	硅提供比石墨更高的能量密度，但伴随有体积膨胀相关的挑战。	LTO提供较低的能量密度，但具有更长的循环寿命。	锂金属提供最高的能量密度，但伴随有与安全性和循环寿命相关的挑战，通常是由于锂枝晶造成的。
优点	广泛用于锂离子电池，稳定、低成本，并表现出良好的循环性能。	理论容量高，导致与石墨相比具有更高的能量密度。	卓越的循环寿命、高速能力和优良的安全特性。	最高的理论容量，可显著增加的能量密度。
缺点	有限的能量存储容量，可能阻碍高能量密度电池的发展。	成本高于石墨（每千克），并且在充放电循环中显著的体积膨胀导致颗粒脱落和循环寿命降低。	与石墨和硅相比，能量密度较低。	在循环过程中容易形成枝晶，带来安全风险并降低循环寿命。 正在进行的研究集中于解决这些挑战。

来源：Ufine，电池报告2023（第134页）

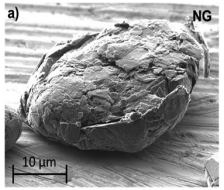
VOLTA FOUNDATION

石墨基础信息

石墨是锂离子电池（LIBs）行业标准负极活性材料（AAM）。



石墨是一种碳的同素异形体，有天然石墨，也可以人工合成。 锂离子嵌入其层状结构中。 完全锂化的石墨 (LiC6) 提供了372 mAh/g的理论最大容量。 用于AAM的完全加工天然石墨称为未包覆球形纯化石墨 (USPG)。 碳包覆应用于天然和合成石墨，增强电导率，减少表面反应，并在循环过程中提高库仑效率。

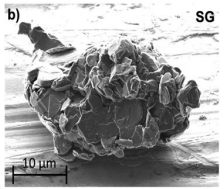


天然石墨

生产过程：开采片状石墨、研磨、选矿（例如：浮选）、除杂和球形化以生产USPG。

\+ 容量和倍率能力可能略优于人造石墨。

— 采矿可能导致环境退化。 化学纯化（例如HF）可能是危险的。



人造石墨

生产过程：碳质前体（例如石油焦和煤焦油）在高温下处理并精炼。

\+ 循环寿命和热稳定性可能略优于USPG。

— 能源密集型生产过程。 前驱体是石油化工行业的副产品。

供应商

天然和人造石墨的主要供应商包括贝特瑞、杉杉和璞泰来（中国）、浦项（韩国）和Resonac（日本）。

替代品

将天然石墨和人造石墨混合，有时还会加入少量的氧化亚硅（SiOx）是很常见的。 其他形式的硅，与石墨混合或作为替代品，使用有限但正在广泛开发中。

来源：Jakob Asenhaeur 等 (2020) 石墨作为锂离子负极材料的成功故事... *可持续能源与燃料, 4(11)*, 5387-5416. K Zaghib 等 (2003) 天然石墨的净化过程... *电源杂志, 119–121*, 8-15. Seong Jin An 等 (2016) 对锂离子电池石墨固体电解质界面的理解现状... *碳, 105*, 52-76.

主要石墨AAM生产商

美洲

SYRAH TECHNOLOGIES
ANOVION
NOVONIX
epsilon ADVANCED MATERIALS
WESTWATER RESOURCES
Vianode

欧洲、中东和非洲

talga
Vianode
PUTAILAI
杉杉 Shanshan
BTR

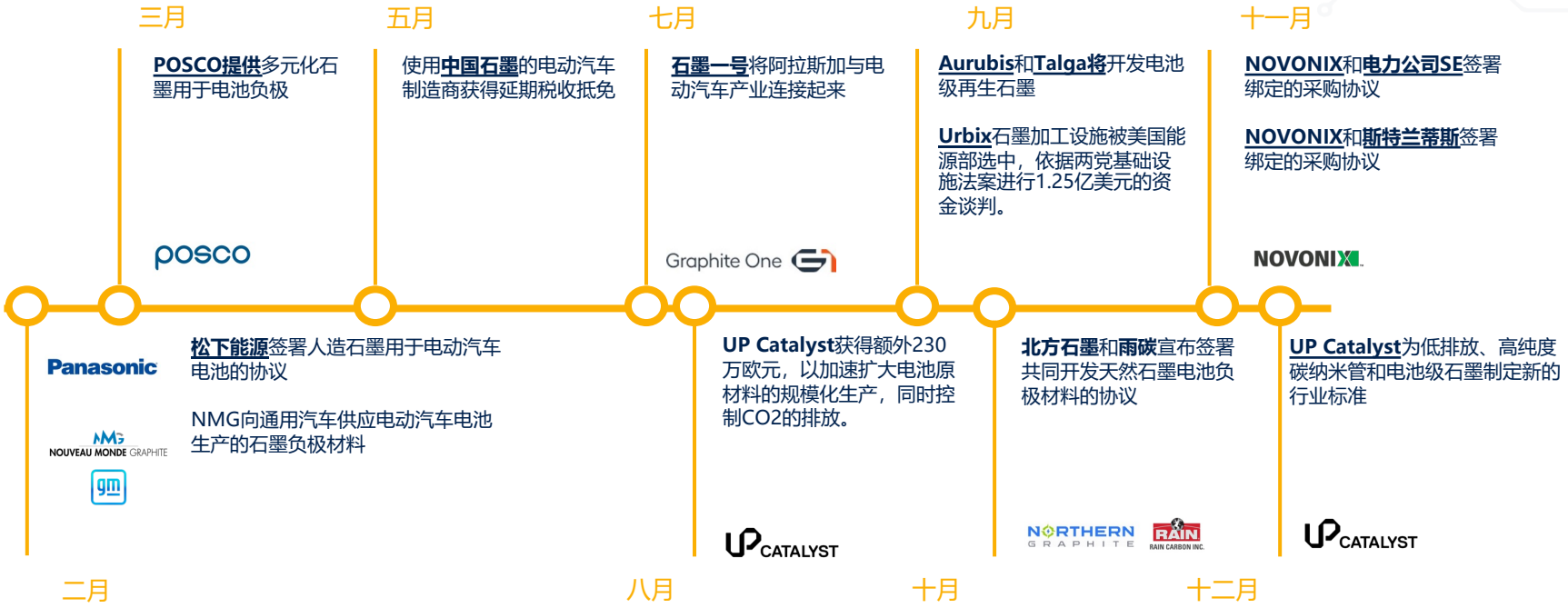
亚太地区

BTR
杉杉 Shanshan
SHINZOM
KAIJIN 凯金
国轩高科 GOTION HIGH-TECH
尚太科技 SHANGTAITECH
PUTAILAI
posco
MITSUBISHI CHEMICAL
RESONAC
epsilon ADVANCED MATERIALS

操作中

计划中

来源：公司公告



来源：公司公告（每个链接在来源中）

锂金属历史 - 锂离子电池的始祖

锂金属负极作为可充电锂电池中最早使用的材料之一，具有悠久的历史，提供极高的理论比容量(3,862 mAh/g)和低电化学电位，使其在高能量应用中具有吸引力。 20世纪70年代和80年代的早期研究集中在其在锂金属电池中的潜力，但这些努力受到安全问题的阻碍，主要是锂枝晶的生长——在充放电循环中形成的针状锂沉积物。 这些枝晶可以刺穿隔膜，导致短路和热失控，带来重大风险。 因此，锂离子电池（Li-ion）的发展在1990年代获得了动力，这种电池使用石墨负极。 虽然石墨提供较低的比容量（372 mAh/g），但其稳定性、安全性和耐久性使其成为商业应用的标准，从而促进了便携式电子设备和电动汽车（EVs）的广泛采用。

近年来，由于对具有更高能量密度的电池的需求不断增长，锂金属负极的研究兴趣重新升温，尤其是在eVTOL、无人机和航空航天应用方面。 材料科学和电池设计的进步导致了旨在减轻锂金属安全性和稳定性挑战的创新。正在开发的技术，如固态电解质、保护涂层和先进的分离器，旨在抑制锂晶体的形成并增强循环寿命。 锂金属负极在性能上有潜力超越石墨和硅基负基，使其成为下一代电池研究的关键焦点。 其成功地整合到固态电池和锂硫电池系统中，将代表一个重大进步，标志着锂离子行业向更高性能解决方案的转变，同时解决长期存在的安全性和可扩展性等挑战。

来源：固态电池中的锂金属负极, 高安全性锂金属负极, 更安全的锂金属电池

锂金属基础信息 （SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	威胁
锂金属	• 高能量密度 • 轻量化 • 使其他先进电池化学，如固态和锂硫电池成为可能	• 有限的循环寿命 • 成本（较高） • 低库仑效率 • 锂金属的可制造性 • 安全性（枝晶形成和高反应性）	• 对高能量密度电池的需求 • 航空航天 • 高端汽车 • 与国防相关的应用（无人机） • 固态技术的进展	• 来自其他技术（NMC/硅电池）和新兴化学如金属空气或锂硫的竞争 • 安全法规 • 锂成本上升和供应链担忧

锂金属负极由于锂的低密度和高理论比容量，提供了极高的能量密度。 然而，锂金属技术面临重大挑战，主要与安全性有关。 锂金属负极在充电过程中容易形成枝晶，这可能导致短路、热失控和火灾。 此外，它们与电解质的反应性可能会降低循环寿命和效率。

与用于锂离子电池的传统石墨负极相比，锂金属负极理论上可以提供更高的容量，但稳定性显著较差，商业化挑战更大。 与硅基负极相比，锂金属提供更高的容量，但在安全性和耐用性方面较差。 与可能使用锂金属负极的锂硫电池相比，这些电池具有类似的安全隐患，但可以提供更低的生产成本和重量优势。 许多公司正在努力或已经致力于缓解锂金属负极固有的安全挑战，采用如固态材料、电解质设计、保护涂层和枝晶抑制等技术。

来源：固态电池中的锂金属负极，高安全性锂金属负极，更安全的锂金属电池，电池报告2023（第140-142页）

VF | VOLTA FOUNDATION

已宣布或计划布局锂金属电池的企业

锂金属生产商

ALBEMARLE
Li METAL
TIANQI LITHIUM
GanfengLithium
CEL
SQM
arcadium lithium
MINERAL RESOURCES
Pilbara Minerals
APPLIED MATERIALS

电池制造商

LYTEN
QuantumScape
SES
Sion Power
Factorial
NexTech Batteries
Solid Power
BlueSolutions
one
our next energy
Zeta ENERGY
AMERICAN LITHIUM ENERGY
SEPION TECHNOLOGIES

对电动汽车制造商感兴趣

gm
BOLLORÉ
STELLANTIS
HYUNDAI MOTOR GROUP

VOLTA FOUNDATION

一月

Sion Power在由LG能源解决方案主导的早期融资轮中筹集了7500万美元。

二月

24M宣布Eternaltye是一种为锂金属配制的电解质，具有改善循环寿命和倍率的性能。

三月

SLAC 发布了一项关于锂金属负极原子级压延老化机制的研究，强调电解质设计是一个关键因素。

四月

SES AI将开始根据现代汽车和起亚的联合开发协议开发B样品。B样品生产线将为城市空中出行制造电池。

五月

Adden Energy在实验室规模的电池中展示了锂金属电池在室温下的<10分钟快充。

六月

SK On宣布了一种凝胶聚合物电解质，可以在室温下促进锂金属性能，具有良好的快速充电和电池安全性。

七月

PowerCo与Quantumscape宣布成立合资企业，制造固态锂金属电池。

八月

SES AI 的100Ah电池通过了GB38031-2020，中国的电动汽车电池安全标准。

Cuberg作为Northvolt的子公司，关闭其大门，技术转移至瑞典。

九月

Li-Metal宣布提议从加拿大证券交易所退市，原因是“市场条件严峻。”

十月

Lyten宣布计划在内华达州里诺附近建立全球首个锂硫超级工厂，预计于2027年投入商业运营，采用锂金属负极。

锂金属负极的技术经济分析表明，与挤出和原子层沉积相比，热蒸发是一种更具经济可行性的方法，可用于大规模生产锂金属负极。

十一月

Lyten宣布收购位于加利福尼亚州圣利安德罗的Cuberg生产设施，以建立一个200 MWh的锂-硫电池生产线，预计在2025年投入商业运营。

十二月

来源：上述各种新闻文章

VOLTA FOUNDATION

硅基础信息

加工硅材料用于与石墨复合或其替代品，用于锂离子电池 (LIBs) 中增加负极克容量。



锂可以与硅形成合金，完全锂化的硅 ($Li_{15}Si_4$) 常温下理论最大容量为 3,579 mAh/g——是石墨的 9.6 倍。 然而，硅在锂嵌入时会经历高达400% 的体积膨胀。 在循环过程中，体积膨胀和收缩可能导致极片脱落和容量衰减。 材料工程策略旨在遏制这些问题，尽管通常会在容量上与硅的理论最大值之间妥协。

氧化亚硅 (SiOx)

生产过程：蒸发Si和SiO_2然后冷凝；以及球磨Si和SiO_2粉末。

\+ 已建立的生产方法广泛使用多年。

– 负极中使用量限制在 < 10%，可 以获得合理的循环寿命。

硅碳 (Si-C)

生产过程：通过化学气相沉积（CVD）硅烷形成纳米硅颗粒于多孔碳结构中。

\+ 结构设计用于抑制体积膨胀和降解。

– 生产多孔碳结构所需的热过程的能量成本。

纯硅 (Si)

生产过程：研磨粗硅（用于生产微米Si）；以及在集流体上或石墨中用硅烷进行CVD（用于生产纳米Si）。

\+ 没有无效的负极材料意味着更高的比容量。

– 存在体积变化和脱落的风险。

供应商

SiOx的主要供应商包括大洲电子材料（韩国）、贝特瑞（中国）和信越化学（日本）。

替代品

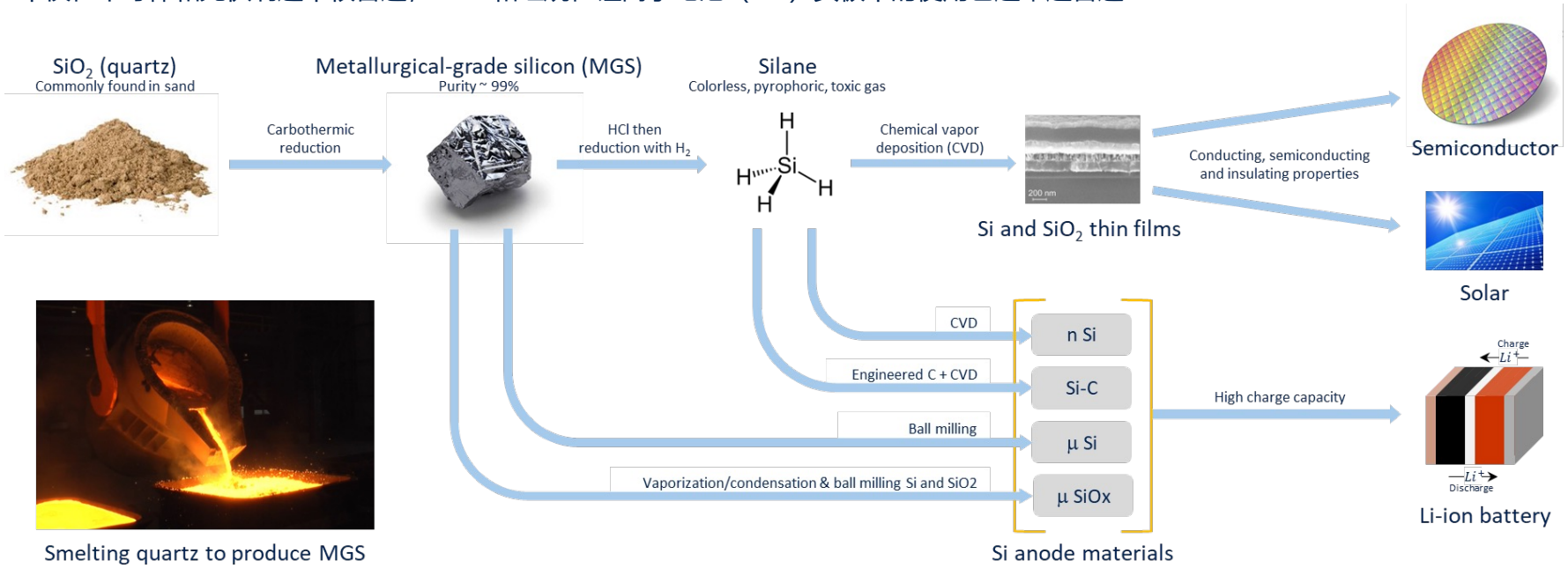
硅被认为是锂离子电池（LIBs）中最有前途的负极材料，因为其理论容量非常高。研发以减轻容量衰减问题仍在继续，例如通过复合材料、微结构、纳米结构和涂层。

来源：Mazir Ashuri 等 (2023) 硅氧化物用于锂离子电池负极...《电源杂志》，559。 Iwamura, S. 等 (2015) 富锂锂硅合金作为含锂材料...《科学报告》，5，8085。 Zhang 等 (2023) SiOx 基负极的最新进展...《纳米研究能源》，2(3)。 Zuo, Xiuxia 等 (2017) 硅基锂离子电池负极...《纳米能源》，31(1)，113–143。 P.U. Nzereogu 等 (2022) 锂离子电池的负极材料...《应用表面科学进展》，9。

VF | VOLTA FOUNDATION

从沙子到 MGS 和从硅烷到硅负极

不仅在半导体和光伏制造中很普遍，MGS和硅烷在锂离子电池（LIB）负极中的使用也越来越普遍



来源：Favors, Z. 等（2014）从海滩沙中可扩展合成纳米硅以实现长循环寿命锂离子电池。*Sci Rep. 4*, 5623。 Zuo, Xiuxia 等（2017）基于硅的锂离子电池负极... *Nano Energy. 31(1)*, 113–143。 P.U. Nzereogu 等（2022）锂离子电池的负极材料... 应用表面科学进展。*9*。 Elkem（2023）从石英到硅再到硅氧烷。 Mazir Ashuri 等（2023）锂离子电池负极的硅氧化物... 电源来源杂志，559

VOLTA FOUNDATION

硅负极制造商继续开发、认证、规模化生产 (1 of 2)

前10名负极活性材料（AAM）制造商和使用硅负极的电池制造商

	Group14	Enovix	Sila	StoreDot	Enevate
AAM或电池	AAM	电池	AAM	电池	电池
总部	华盛顿州伍登维尔	加利福尼亚州弗里蒙特	加利福尼亚州阿拉米达	以色列赫兹利亚	加利福尼亚州尔湾
成立年份	2015	2007	2011	2012	2005
员工人数	350	561	409	140	76
类型	初创公司	公开上市 NAS:ENVX	初创公司	初创公司	初创公司
筹集的总金额	$683M	$616M	$1,310M	$191M	$202M
融资阶段，日期	PE增长，2023年9月	PIPE，2021年7月	G轮，2024年6月	E轮，未上市	E轮，2021年
估值 / 市值	$3,000M	$2,100M	$1,970M	$1,270M	$501M
技术方法	硅封装在多孔碳基体中	较厚的硅，堆叠结构并限域	纳米复合硅	基于硅的负极，分层结构	以硅为主的负极，孔隙
目标应用	电动汽车，消费电子	电动汽车，能源存储	消费电子，电动汽车	电动汽车	电动汽车

来源：按后期估值排名前20的公司，见Pitchbook（2025年1月）。 Crunchbase、DealRoom和公司网站。 不包括对硅感兴趣的大型成熟的AAM和电池制造商。

VOLTA FOUNDATION

硅负极制造商继续开发、认证、规模化生产 (2 of 2)

前10名中有7家总部位于美国西部

	OneD	Amprius	Nexeon	Zhide	GruEnergy
AAM或电池	AAM	电池	AAM	AAM	AAM
总部	加利福尼亚州帕洛阿尔托	加利福尼亚州弗里蒙特	英国阿宾顿	中国金华	加利福尼亚州圣荷西
成立年份	2013	2008	2006	2018	2017
员工人数	45	84	108	未上市	43
类型	初创公司	公开上市 NYSE:AMPX	初创公司	初创公司	初创公司
筹集的总金额	$99M	$305M	$99M	$197M	$20M
融资阶段，日期	C轮融资，2023年6月	首次公开募股，2022年6月	PE增长，2022年8月	D1轮，2024年8月	A3轮，2023年3月
估值 / 市值	$366M	$360M	$352M	$197M	$120M
技术方法	石墨颗粒中的硅纳米线	集流体上的硅纳米线	基于多孔状的含硅粉末	碳基质中的硅纳米颗粒	硅碳复合材料，包覆型
目标应用	电动汽车	航空	电动汽车，穿戴设备，医疗	消费电子，电动汽车	消费电子，电动汽车

其他前20名

来源：根据Pitchbook（2025年1月）的后融资估值排名前20名。 Crunchbase、DealRoom和公司网站。 不包括对硅感兴趣的大型成熟AAM和电池制造商。其他前20名按估值顺序排列，数据来源于Pitchbook（2025年1月）。

硅负极的预锂化

预锂化是一个将锂直接添加到锂离子电池硅负极中的过程，以补偿在首次循环中锂的损失。 这个过程可以提高电池的能量密度、循环寿命和倍率性能。

硅负极提供比传统石墨更高的能量密度，但其高容量导致在固体电解质界面（SEI）形成过程中大量消耗锂，并因体积膨胀而导致结构不稳定。 预锂化通过在第一次充电之前向负极引入锂来补偿这种损失，确保正极保留更多的可逆容量。 预锂化的技术包括化学方法、电化学沉积和使用富锂添加剂。 虽然在提高能量密度和循环寿命方面有效，但在大规模生产过程中仍然面临挑战，例如高成本、确保安全性以及管理锂在生产过程中的反应性等。

预锂化的作用

提高能量密度： 预锂化可以提高电池的能量密度。

改善循环稳定性： 预锂化可以改善电池的循环稳定性。

减少副反应： 预锂化可以减少负极和电解液之间的副反应。

防止破裂: 预锂化可以防止硅颗粒破裂和粉化。

来源：预锂化效应, 硅负极的预锂化, 预锂化策略

VF | VOLTA FOUNDATION

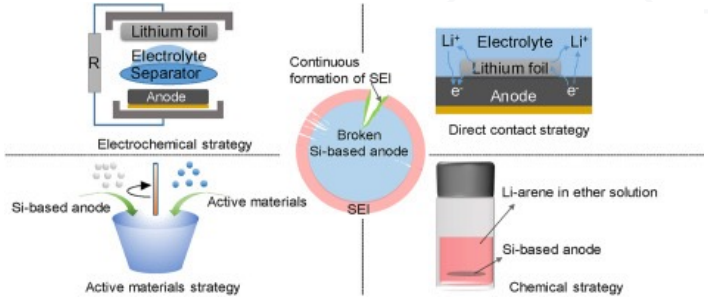
硅负极的预锂化 - 方法

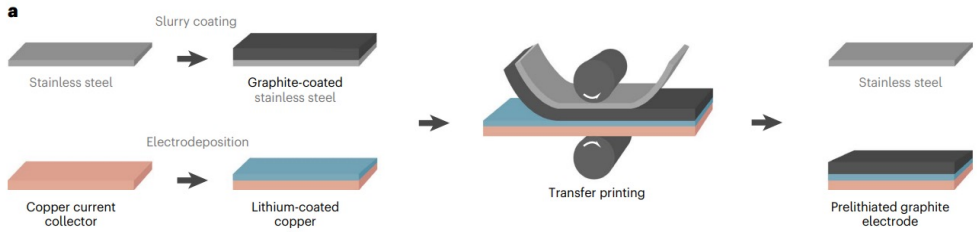
原位预锂化：该方法在电池制造过程中在负极底部放置一层超薄的锂箔。

直接接触预锂化：该方法涉及将锂直接添加到负极。

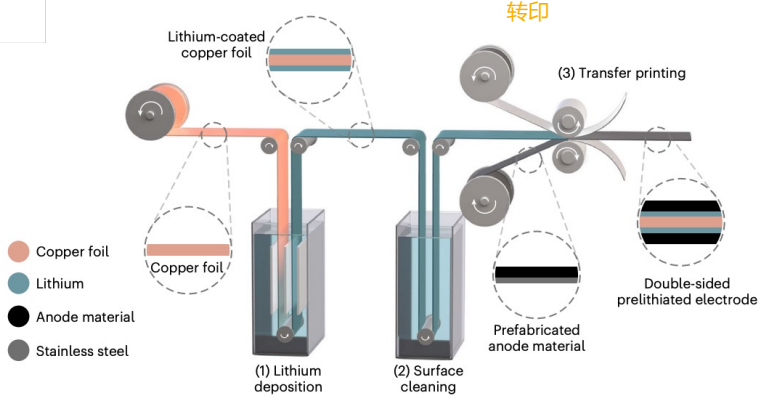
热蒸发：该方法使用锂金属的热蒸发来预锂化负极。

转印：该方法使用电沉积设备生产预锂化硅负极。





转印



转印

来源：预锂化效应, 硅负极的预锂化, 预锂化策略

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

电解质 – 寻找在成本、性能和安全方面有潜力的合适材料

锂离子电池中的液态电解质促进锂离子在正极和负极之间的运输。 电解质经过优化，以提高离子导电性、热/电压稳定性以及与电极材料的兼容性。 设计良好的电解质可在电极上形成稳定的SEI，保护电极，同时允许离子在SEI和电解质之间自由通过。

类别	目的	考虑因素	示例
锂盐	增加导电性以允许离子传输。分解产物可参与SEI形成。	更高的导电性和溶解度提高了倍率性能，这是高功率或快速充电的关键方面。热和电化学稳定性可能会减少Li+储存并影响寿命。锂盐是大多数传统电解质的主要成本组成部分。	$LiPF_6$：由于其溶解性、稳定性和成本而最为常见。高潮湿敏感度，释放有害氟化物。降解温度 >60 °C 和电压 >4.3-4.5V。LiFSI和LiTFSI更受青睐，因为它们具有更高的稳定性（热和电化学）和更高的导电性，但成本高昂。 较少见：$LiBF_4$（导电性较低）。$LiClO_4$（良好的导电性，氧化剂），$LiAsF_6$（高导电性且稳定，毒性和昂贵），$LiNO_3$（锂金属稳定剂，安全性问题）。良好的SEI形成剂，稳定，昂贵：LiBOB，LiDFOB，$LiPF_2O_2$。 盐以低浓度作为添加剂使用，以抵消缺点。
溶剂	离子导电的介质，润湿隔膜和电极。参与SEI形成。	粘度和冰点：较高的粘度会减慢离子导电性，随着温度降低而恶化，降低倍率性能。溶剂：选择溶剂以提高离子导电性和溶解度。在电极表面溶剂混合物还必须有效地去溶解离子。与电极材料共存。	碳酸酯：因其成本、与常见活性材料的兼容性以及溶解盐的能力而最为常见。 溶剂混合物包括：*循环*：EC（高冰点，石墨稳定剂），FEC（向SEI添加F^-，支持Si负极）。*线性*：DMC（改善粘度和导电性），DEC（增强低温性能），EMC（与前者相似但挥发性更低），氟化（新兴，更昂贵但支持高电压）。 酯类（MP、EA等）和醚类（DME、DOL、glymes）与锂金属具有良好的兼容性，但易燃性高。 腈类（乙腈、丁二腈等）在高温性能上也有所改善，并且具有更宽的电压窗口，但与其他成分的毒性和反应性存在一些担忧。
添加剂（<~10%质量分数）	调整性能。修改SEI，增强稳定性，抑制气体形成等。	兼容性：细致平衡电池化学与应用需求。添加剂通常增强某一方面的性能，同时对另一方面产生负面影响。浓度：添加剂通常有助于形成SEI，但过厚的SEI层可能会耗尽锂库存并降低速率性能。	添加剂涵盖广泛的化学成分，通常包含多个功能团：不饱和添加剂是典型的（VC，VEC），并通过电还原在负极形成SEI，普遍认为它们在正极也发挥作用。 FEC通常作为添加剂用于向SEI中添加LiF。含有其他功能团的分子的氟化也是常见的。 含硫添加剂如PS或DTD可以形成先进的SEI并改善系统的稳定性。毒性和监管问题有时限制了使用。磷化合物在高浓度下可以减轻可燃性，但可能形成过厚的固态电解质界面（SEI）。腈类和异氰酸酯形成的膜通常适用于高电压。

来源：1. Electrolytes and Interphases in Li-Ion Batteries and Beyond. Kang Xu. Chemical Reviews链接

VOLTA FOUNDATION

二月

24M（美国）推出Eternalyte，旨在提高锂金属电池的循环寿命和倍率性能。

印度的GFCL宣布其$LiPF_6$工厂预计在年底前投入运营。

South8的LiGas（美国）展示了LMNO电解质，改善了高电压击穿的历史挑战。

Sepion Technologies发布了其新电解质的视频，自熄灭时间“比商业电解质好25倍”。

九月

德国**E-lyte**宣布在德国开设首个电解质工厂，年产能力达到20千吨。

11月

韩国材料公司EnChem将为AESC位于奥尔达市的工厂提供70%的电解质。

总部位于美国的Koura宣布在经过测试后扩展定制电解液业务，具有较短的交货时间。

中国的Do-Fluoride与Soulbrain成立合资企业，提供$LiPF_6$盐。

三月

美国的AI初创公司Chemix宣布获得2000万美元A轮融资，用于数据驱动的电解液开发。

四月

日本的旭化成宣布基于乙腈的电解液，承诺提供出色的“超宽温度”性能。

美国初创公司Feon宣布获得610万美元种子资金，用于先进电解液的发现及其锂金属电池的UN 38.3认证。

六月

三菱宣布与合作伙伴T2M开展回收试点，包括从电动汽车电池中回收电解液。

十二月

来源：上述各种新闻文章

电解质类型与研究领域

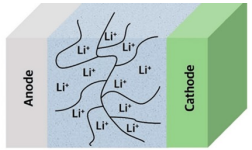
在电解质行业，技术进步旨在克服关键电池挑战：液态电解质的反应性、温度性能和锂离子电池的使用寿命；使新兴负极（硅、锂金属、 “无负极”）成为可能。

借鉴非液态技术：
全固态电池是行业的重要推动力，其他地方有详细介绍，但半固态凝胶（聚合物 + 液体电解质）和液化气正在商业化。

液化气：South8的LiGas，被《时代》评为2025年最佳发明，非毒性气体具有降低火灾风险和高倍率能力（低粘度 + 高导电性）。



半固态和凝胶电解质： 迈向固体聚合物电解质，聚合物基体被液体（溶剂+盐）饱和。 它们的可燃性较低，且通常具有更高的温度稳定性。 与固体电解质类似，离子导电性相较于传统液体较低，进展通常寻求提高导电性。在锂金属电池中，它们表现出较少的枝晶形成。 来源

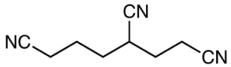


Gel Polymer Electrolyte

2400万, Anthro Energy, QuantumScape, 以及其他公司使用凝胶聚合物。

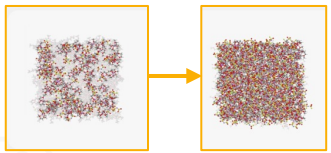
扩展分子库：
遵循现有的液态电解质模型，进展集中在发现新分子以添加到混合物中。

人工智能发现： 像Chemix和Sepion这样的公司使用人工智能和机器学习来发现新的电池材料。



腈化学体系： 最近几家公司宣布了腈溶剂和添加剂。 旭化成宣布使用乙腈作为溶剂，以扩大电解质的最佳温度范围。 特斯拉在2019年专利中与杰夫·达恩教授共同发布了腈硫酸盐，而Sila则发布了2023年专利。 Ascend Performance材料公司制造了Trinohex Ultra（如左图所示），这是一种三腈添加剂，在2021年与三星的挑战中获胜。

推进盐化学：
$LiPF_6$是最常用的电解质盐，但通过修改浓度或化学成分来增强性能。



高盐浓度： SES宣传了“盐溶于溶剂”电解液（左侧所示）具有高盐浓度，承诺更高的库仑效率，并使锂金属电池能够使用液态电解质。 PNNL推广了局部高浓度电解质（LHCEs），它们使用第二种溶剂（稀释剂），在盐溶解度较差的情况下实现类似效果。 这个概念正在向行业转移，例如Giner Inc所宣传的开发工作。

双盐电解质： 虽然$LiPF_6$具有成本效益，但在电解质中添加次级盐可以提高性能，同时缓解更具吸引力的选项的成本或溶解度挑战。 几篇出版物和专利1,2提到这一概念，几家工业电解质供应商提供双盐选项。

离子液体（ILs）： 因其稳定性和不易燃性而显示出潜力，但成本和粘度限制了它们的应用。 最近，IL被用作添加剂或共溶剂，以平衡这些挑战的优势。 来源

VOLTA FOUNDATION

锂离子电池电解质的关键参与者

美洲

Koura
TINCI天赐
新宙邦 CAPCHEM
enchem
Dongwha
soulbrain
3M
BASF We create chemistry
MITSUBISHI CHEMICAL
UBE

欧洲、中东和非洲

ELYTE
TINCI天赐
enchem

亚太地区

TINCI天赐
新宙邦 CAPCHEM
杉杉股份 Shanshan
HSC CORPORATION *
国轩高科 GOTION HIGH-TECH
enchem
冠城大通*
RTXC 瑞泰
AsahiKASEI
MITSUBISHI CHEMICAL
soulbrain
GTIG
SHINSHUJA 603026

研究中

已宣布

*主要专注于组件制造

电池隔膜类型与技术

锂离子电池隔膜物理上将正极和负极分开，同时允许锂离子的运输。 最常用的锂离子电池隔膜通常由聚烯烃材料（通常是PE或PP）涂覆陶瓷制成。 锂离子电池中使用的其他不同类型的隔膜具有不同的性能特征和权衡，广泛分类如下。

隔膜类型	材料	特性
聚烯烃	聚乙烯（PE）和/或聚丙烯（PP）	聚烯烃隔膜因其成本效益、化学稳定性和易于制造而被广泛使用。 它们通常出现在商业锂离子电池中。
陶瓷涂层	带有陶瓷涂层的聚乙烯或聚丙烯隔膜	陶瓷涂层隔膜提供增强的热稳定性和安全性。 陶瓷层通过抑制内部短路和锂枝晶的生长来帮助防止热失控。
复合型	不同聚合物、陶瓷或其他材料的组合	复合隔膜利用多种材料的优势，以实现性能的平衡，主要是增加电化学稳定性、防止短路和抑制锂枝晶的生长。
微孔型	通常由聚乙烯或聚丙烯与添加的填料或陶瓷涂层组成	微孔隔膜具有多孔结构，允许有效的离子传输，同时保持良好的机械强度。 添加填料或陶瓷涂层可以增强热稳定性并降低热失控的风险。
玻璃纤维	与聚合物基体结合的玻璃纤维	玻璃纤维隔膜具有良好的机械强度，可用于高温应用。 它们以耐穿刺和优异的热稳定性而闻名。
无纺布	由合成纤维制成的无纺材料	无纺布隔膜提供良好的机械强度，通常用于灵活且轻便的电池设计。 它们可以提供灵活性和适应不同电池形状的能力。
复合膜型	聚合物和陶瓷材料的组合	复合膜隔膜旨在提供机械强度、热稳定性和离子导电性之间的平衡。 它们旨在提高锂离子电池的安全性和性能。

来源：Celgard，Sepion，锂离子电池隔膜综述，2400万，2023年电池报告（第132页）

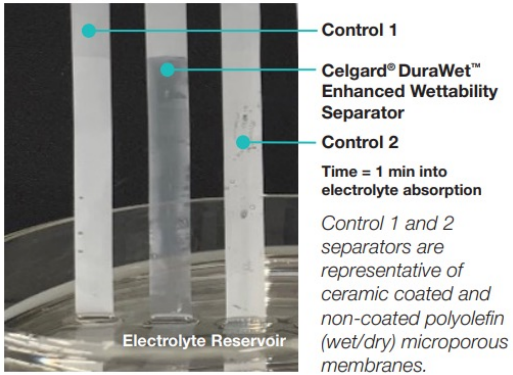
VOLTA FOUNDATION

隔膜的开发重点

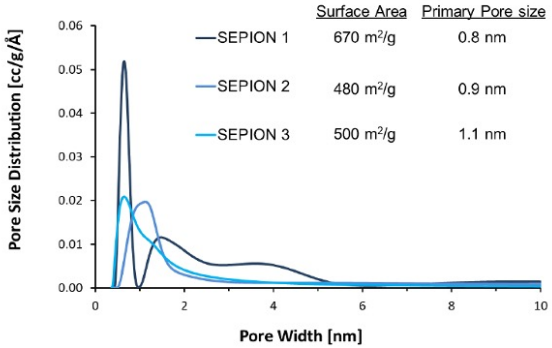
隔膜是一种薄膜，能够在电子上隔离正负电极，同时为通过电解质的离子传输提供多孔介质。 它还可以发挥安全功能，例如减缓枝晶穿透对电极的速度，并在短路发生时减缓热失控。

2024年技术发展的领域包括润湿性、离子选择性和安全性。

Celgard展示了一种与典型对照相比具有改善润湿性的隔膜，可 减少所需的电池浸泡时间。



Sepion的离子选择性涂层防止过渡金属通过亚纳米级的孔径进入负极。



使用**24M的Impervio**隔膜构建的电池在过充滥用条件下抑制热失控，相较于对照组。



来源：Celgard，Sepion，24M

VOLTA FOUNDATION

锂离子电池隔膜的关键参与者

美洲

ENTEK
CELGARD
SEPION TECHNOLOGIES
24m
GORE
Magnera
Soteria
QuantumScape
GNEM
META Go Beyond.

欧洲、中东和非洲

FREUDENBERG INNOVATING TOGETHER
SENIOR
AHLSTROM
GESSNER
MICROPOROUS

亚太地区

AsahiKASEI
TORAY
SUMITOMO CHEMICAL
SK innovation
SEMCORP POWER YOUR FUTURE
恒力石化 HENGLI PETROCHEMICAL
中材锂膜有限公司
ZIMT
UBE UBE INDUSTRIES,LTD.
GELLEC 金力股份
惠强新能源 HUIQIANG NEW ENERGY
PuEad
沧州明珠 CANGZHOU MINGZHU
鸿图隔膜 HongTu Separator
蓝科途
ProLogium

VF | VOLTA FOUNDATION

一月

SK ie technology正在探索加拿大的电池隔膜制造厂。Ontario 和 Quebec正在考虑中。

二月

Trent Capital Partners收购电池隔膜公司Microporous的全部控制权。

三月

noco-noco与**Neogen Chemicals Ltd**签署了为期3年的X-SEPA™电池隔膜在印度的营销和分销许可协议

四月

本田已与**旭化成株式会社**达成基本协议，合作在加拿大生产电池隔膜

五月

Green New Energy Materials将在北卡罗来纳州丹佛市建设首个价值1.4亿美元的电池隔膜制造设施

六月

Prologium交付8000个Logithium™技术的锂离子陶瓷固态电池样品，配备创新的陶瓷隔膜。

七月

ENTEK获得1.2亿美元的有条件贷款，用于在美国印第安纳州特雷霍特建设电动汽车电池隔膜制造厂

八月

Semcorp完成匈牙利德布勒森湿锂电池隔膜生产厂的第一阶段建设。

九月

24M发布了新的测试数据，表明变革性电池隔膜Impervio™可以显著提高电池在过充电时的安全性

十月

Sepion Technologies获得1750万美元用于在美国加利福尼亚州西萨克拉门托建设电池隔膜制造厂。

十一月

旭化成株式会社在加拿大安大略省波特科尔本市奠基建设价值16亿美元的锂离子电池分离膜制造厂

十二月

QuantumScape发布Cobra，新一代陶瓷固态电池隔膜生产设备

来源：上述各种新闻文章

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

固态电池行业当前状态的关键趋势

主机厂竞赛

几乎所有汽车主机厂都在以不同的策略积极参与固态电池竞赛：

- 内部研究SSB（例如：丰田）
- 与SSB公司的战略合作伙伴关系（例如：蔚来与卫蓝）
- 对一家（例如：宝马、福特、斯特兰蒂斯）或多家SSB公司的直接投资（例如：梅赛德斯、现代、起亚）
- 公开披露的混合策略，结合内部开发与对其他公司的投资（例如：本田）

技术

- 关于使用何种电解质尚无共识，尽管聚合物已达到最高的成熟度。显然，越来越多的趋势是采用半固态聚合物电解质，以增强与正极的兼容性
- 值得注意的是，亚太地区对硫化物SSB的关注显著增加

时间线

- 该领域的大多数初创公司成立于2010年至2016年之间，现在要么已上市，要么处于投资的后期阶段
- 几家公司最近宣布将在2025年1月开设试点规模生产线（例如：现代/SES-AI、本田）
- 大多数参与者的生产开始时间（SOP）预计或将宣布在2025年至2030年之间

来源：公司公告和新闻报道，电池报告2023（第158-165页）

固体电解质的类型

固态电池与传统锂离子电池的不同之处在于它们使用固体电解质。 然而，对于固体电解质的优选化学成分尚未达成共识，因为每种类型都有其独特的优缺点。

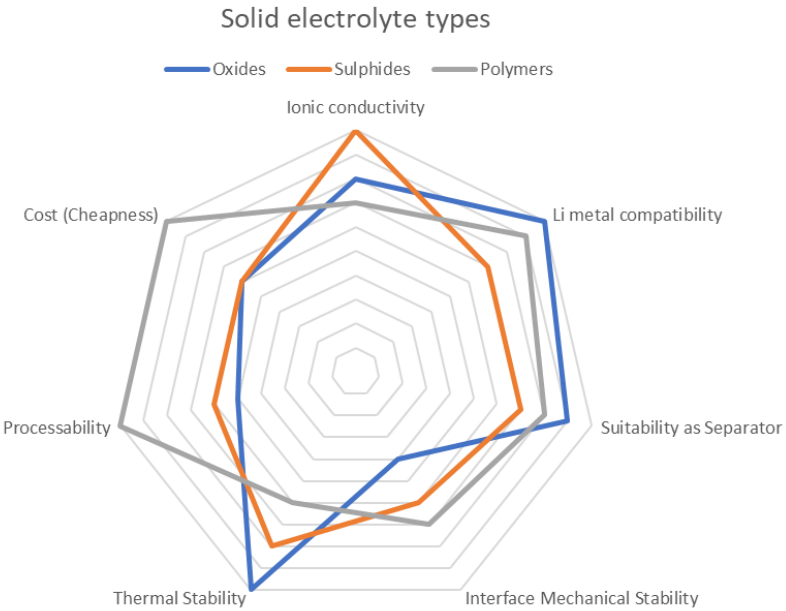
使用的两种最常见的电解质家族是：

- **陶瓷**（包括氧化物和硫化物）
- **聚合物**（固体、复合材料或凝胶；后者通常被称为半固态电解质）

良好固态电解质的关键特性包括高离子导电性、稳定的电极-电解质界面、高热稳定性和电化学稳定性、抑制枝晶的能力、高可加工性和低制造成本。

陶瓷电解质表现出高离子导电性和机械强度，但在界面特性方面表现不佳。 与它们的刚性特性相比，聚合物则具有良好的界面特性，但在离子导电性和机械强度方面存在不足。

到目前为止，聚合物由于其优越的可加工性，已实现更高水平的技术准备。



来源：BatteryBits,电池报告2023（第158-165页）

与传统液态电解质锂离子电池的制造差异

化学	负极生产	正极生产	隔膜生产	电池组装
液态电解质锂离子电池	负极浆料混合和涂布、干燥、压延	负极浆料混合和涂布、干燥、LT烧结	挤出工艺，可以是干法和湿法	堆叠、包装、电解液填充和脱气、老化
氧化物固态电池	锂箔挤出、压延、层压	负极浆料混合和涂布、干燥、LT烧结	浆料混合与涂布、高温烧结、层压、低温烧结	堆叠压制、老化
硫化物固态电池	锂箔挤出、压延、层压	负极浆料混合和涂布、干燥、LT烧结	浆料混合与涂布、干燥、轧制	堆叠压制、老化
聚合物固态电池	锂箔挤出、压延、层压	挤出、轧制	挤出、轧制	堆叠压制、老化
关键制造差异	与锂离子电池相比，主要归因于锂金属箔的挤出工艺，存在显著差异。 值得注意的是，基于硅的负极工艺更类似于传统的锂离子方法。	对于氧化物和硫化物，正极经历的过程类似于传统的锂离子，但固体电解质颗粒被混合在浆料中。 此外，氧化物SSBs需要昂贵的烧结步骤。 另一方面，聚合物SSBs需要挤出。	在氧化物和硫化物SSBs中，隔膜的湿处理与锂离子电池中采用的传统挤出工艺显著不同。	与锂离子电池不同，固态电池（SSBs）不需要电解液填充和脱气，这是固态电池的一大独特优势。

来源：弗劳恩霍夫ISI

与传统液态电解质锂离子电池的制造差异

固态电池与基于液体电解质的电池共享共同组件，但由于固体电解质和负极材料的选择，资源需求有所不同。 主要有两个区别：电解质中新金属的加入和锂含量的增加。

新型金属的加入

在固态电池中加入如镧、锗或锆等新型金属使其与传统锂离子电池有所不同：

- 锆是常见的，且没有显著的供应链问题。 (存在于氧化物固态电解质中)
- 镧虽然在稀土金属中相对丰富，但随着固态电池（SSB）采用的增加，可能面临需求上升。 (存在于氧化物固态电解质中)
- 锗相对稀缺且成本高，可能不适合在电池中广泛使用。 (存在于氧化物和硫化物固态电解质中)

锂含量

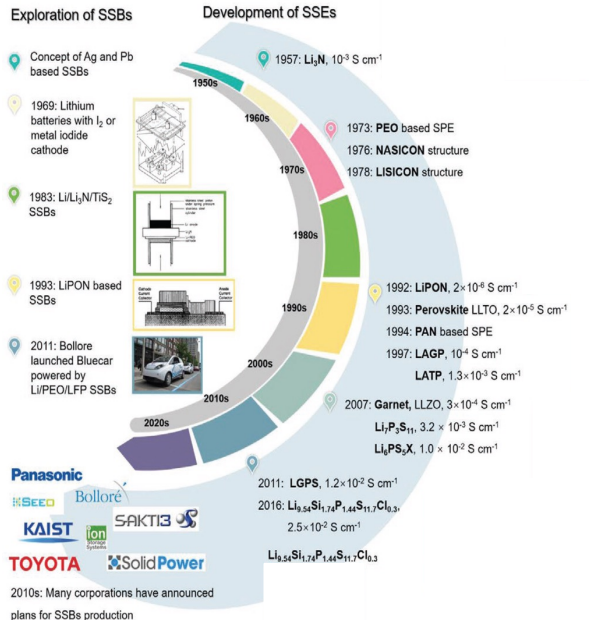
关于锂需求：

- 正极材料与传统锂离子电池相比没有重大变化。
- 电解质发生显著变化，固态电解质导致锂的平均额外需求比液态有机电解质高出10到20 g/kWh。
- 负极中的锂金属需要额外的锂含量，粗略相当于从液态电解质过渡到固体电解质。 额外的锂含量因负极厚度和为提高电池性能而添加的多余锂而异。

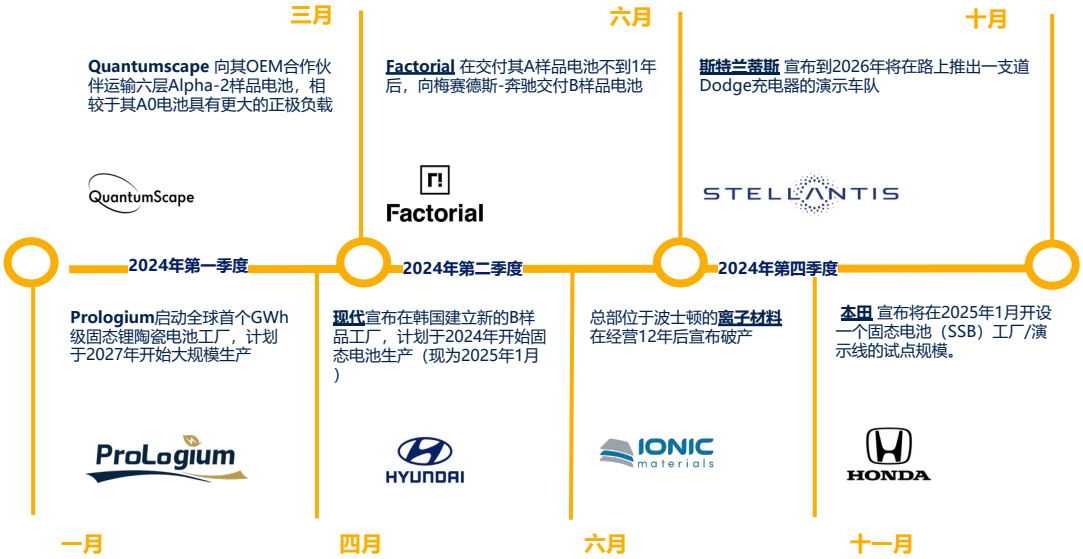
来源：弗劳恩霍夫ISI

VF | VOLTA FOUNDATION

固态电池 - 最新进展



2024年以宣布固态电池生产设施开始逐步增加A和B样电池的生产为主导。



来源：公司公告和新闻报道，电池报告2023（第158-165页）

VF | VOLTA FOUNDATION

主要固态参与者

美洲

BLUECURRENT
Hydro Québec
Factorial
SOELECT INC
ION
QuantumScape
24m
Solid Power
Adden ENERGY
SAKUU
ENSURGE
SES

欧洲、中东和非洲

BlueSolutions
BASQUEVOLT
ilika
ITEN
SOLITHOR
LionVolt
LiNa Energy
StoreDot
PowerCo

亚太地区

ProLogium
TDK
太蓝新能源 TALENT NEW ENERGY
TOYOTA
SK on
SVOLT
NISSAN
Panasonic
HONDA The Power of Dreams
SAMSUNG SDI
HYUNDAI
LG Energy Solution
SOLIVIS
BYD
CATL
GanfengLithium
WELION

电解质选择

- 氧化物
- 未披露
- 聚合物
- 硫化物
- 半固态

来源：Pitchbook、Crunchbase、公司公告和新闻报道
注意：$10M的融资已被选为地图的门槛

VF | VOLTA FOUNDATION

主要固态电池参与者及OEM投资

固态电池行业已见证显著投资和增长，拥有多样的电解质技术以及由既有企业和新兴初创公司实现的显著融资里程碑。 我们这里只包括主要专注于固态电池的公司。

公司	电解质技术	发布日期	基金，阶段	知名主机厂投资者
Blue Solutions	聚合物固态电解质	1998	$496M - 上市	BOLLORÉ
Ilika	氧化物固态电解质	2004	$30M - 上市	-
Ensurge	氧化物固态电解质	2005	$1.8亿 - 公开	Mercedes-Benz
Prologium	氧化物固态电解质	2006	$5.38亿 - E轮	Mercedes-Benz, VINFAST
QuantumScape	氧化物固态电解质	2010	$15亿 - 公开	VW
24M	半固态电解质	2010	$1.85亿 - H轮	VW
Solid Power	硫化物固态电解质	2011	$3.87亿 - 公开	BMW, Ford, SOLVAY, SAMSUNG
Iten	氧化物固态电解质	2011	$1.1亿 - C轮	-

来源：Dealroom, Crunchbase, Pitchbook

注意：$10M的融资已被选为表格的阈值

VF | VOLTA FOUNDATION

主要固态电池参与者及OEM投资情况

固态电池行业已见证显著投资和增长，拥有多样的电解质技术，以及由成熟企业和新兴初创公司实现的显著融资里程碑。 我们这里只包括主要专注于固态电池的公司。

公司	电解质技术	发布日期	基金，阶段	知名OEM投资者
SES	半固态电解质	2012	$600M - 公共	HYUNDAI, KIA, HONDA, GM, LG, SK, GEELY
StoreDot	半固态电解质	2012	$190M - D轮	Mercedes-Benz, SAMSUNG, VINFAST, VOLVO, OLA ELECTRIC
Factorial Energy	聚合物固态电解质	2014	$240M - D轮	HYUNDAI, KIA, Mercedes-Benz, STELLANTIS
Blue Current	聚合物固体电解质*	2014	$46M - 系列未知	-
Ion Storage Systems	氧化物固态电解质	2015	$85M - 债务融资	TOYOTA
Sakuu	未披露	2016	$84M - C轮	-
Svolt	硫化物固态电解质	2016	$2.9B - B轮	xiaomi
Welion	半固态电解质	2016	$287M - D轮	xiaomi, HUAWEI
Tailan New Energy	氧化物固态电解质*	2018	$5500万 - B轮	CHANGAN

*复合电解质

来源：Dealroom, Crunchbase, Pitchbook
注意：$10M的融资已被选为表格的阈值

主要固态电池参与者及主机厂投资情况

固态电池行业已见证显著投资和增长，拥有多样的电解质技术以及由既有企业和新兴初创公司实现的显著融资里程碑。 我们这里只包括主要专注于固态电池的公司。

公司	电解质技术	发布日期	基金，阶段	知名OEM投资者
LionVolt	氧化物固态电解质	2020	$2000万 - A轮	-
Solivis	硫化物固态电解质	2020	$1900万 - B轮	-
Solithor	氧化物固态电解质	2021	$1000万 - 种子轮	-
Soelect	聚合物固态电解质	2021	$1300万 - A轮	gm VENTURES
Adden Energy	未披露	2021	$2000万 - A轮	-
BasqueVolt	聚合物固态电解质	2022	$3000万 - 种子轮	-

来源：Dealroom, Crunchbase, Pitchbook
注意：$10M的融资已被选为表格的阈值

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造

应用
- 电动汽车 (EV)
- 电池储能系统 (BESS)
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

锂-硫电池基本信息 （SWOT分析）

	优点	缺点	机遇	挑战
锂硫（LiS）	• 成本 • 安全性 • 比容量 • 硫的丰富性	• 循环寿命 • 能量密度 • 电池供应链 • 功率 • 难以读取的充电状态	• 低/中档/入门级 EV • 电动公交车 • 电动卡车 • 对成本敏感的应用	• NMC/高电压LNMO • 钠离子电池 • 关于能量密度和电池循环寿命的法规 • 材料成本上升

在2024年，锂硫（Li-S）电池仍然是一种有前景的下一代能源存储技术，随着技术进步，解决了诸如“穿梭效应”和有限循环寿命等关键挑战。 电池的进步包括改进正极设计、先进电解质和纳米结构硫材料，以增强循环稳定性和能量密度。

Li-S电池具有显著优势，包括更高的理论能量密度和由于硫的丰富性而带来的成本效益。 它们特别适合需要轻量级能源存储的应用场景，如无人机、航空和长续航电动汽车。

然而，Li-S电池面临来自成熟锂离子电池的挑战，如磷酸铁锂（LFP），后者尽管能量密度较低，但具有更好的循环寿命、安全性等优势。 此外，锂金属电池是另一种竞争技术，具有相当的能量密度，但面临锂枝晶形成和安全性方面的挑战。 尽管有这些竞争者的存在，持续的研究和行业合作表明，未来在可持续能源存储中，锂硫电池可能成为关键角色。

来源: 路透社, ,阿贡国家实验室, UFine ,电池官员,电池报告 2023 (第 143-146 页)

VF | VOLTA FOUNDATION

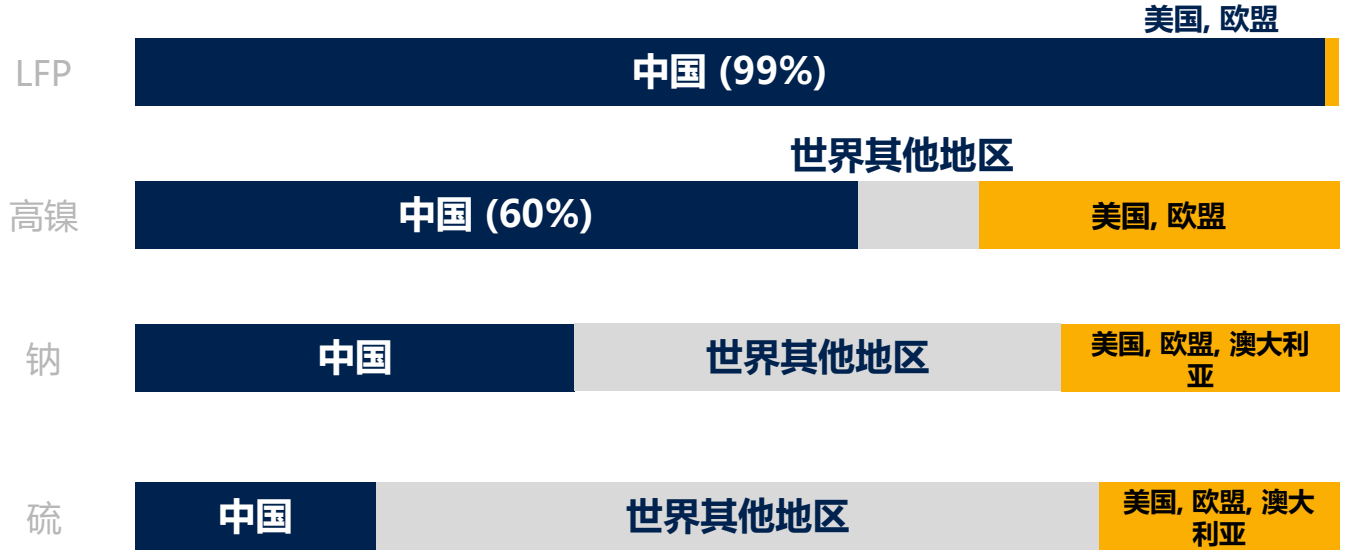
锂-硫电池材料清单

活跃	材料属性	容量 (mAh/g)	电压范围 (V)	堆积密度 (g/cm³)	循环寿命	前景与挑战
正极	硫碳	1100 - 1674	1.5-3.0	0.3 - 0.7	50-300	• 相较于传统锂离子电池更安全 • 电压窗口对电池设计构成限制 • 由于堆积密度导致的能量密度低
	硫化聚丙烯腈	300 - 600	1-2.5	0.4 - 0.6	100-600	• 能量密度低，无论是体积能量还是重量能量 • 由于标称电压导致的功率密度有限
	硫化锂	1000 - 1166	1.5-3.0	0.3 - 0.7	50-300	• 高湿敏感性导致成本增加 • 由于堆积密度导致的能量密度低
负极	硅	3000 - 4200	0.1-1	0.8-1.0	100-1000	• 由于堆积密度导致的能量密度低 • 原料限制成本与质量
	锂/锂合金	3200 - 3800	0-0.2	0.5-0.7	50-600	• 需要管理高容量变化 • 报告的循环寿命有限

不活跃	材料属性	描述	前景与挑战
电解液	基于醚的	LiTFSI盐在醚/氟醚中	• 醚的溶解性允许广泛使用添加剂和盐以提高负极稳定性 • 醚在电池内溶解活性电池材料
	基于碳酸酯的	$LiPF_6$盐在环状/线性碳酸酯混合物中	• 良好的氧化稳定性，但需要管理气体生成/积累
集流体	铝箔	用于正极	• 在< 1 V时，铝会与锂反应 • 铝的重量相对于正极负载显著
	铜箔	用于负极	• 铜的重量对整体电池重量有显著影响 • 由于化学窗口 - 铜在0V时应该是可以的

来源：1. Yao, A. Benson, S.M., Chueh, W.C. 钠离子电池能多快学习？ 评估与锂离子电池的技术经济竞争力场景。 arXiv::2403.13759v3 (2024) ; 2. 上海金属市场 (SMM). Metals.com. ; 3. Omenya, A. 钠离子电池开发. 美国能源部-OE同行评审 (2024). ; 4. Lee, J. 低成本钠离子电池以实现电网规模能源存储：普鲁士蓝衍生正极与完整电池集成; 2013.

锂-硫 - 一种地理无关的电池化学

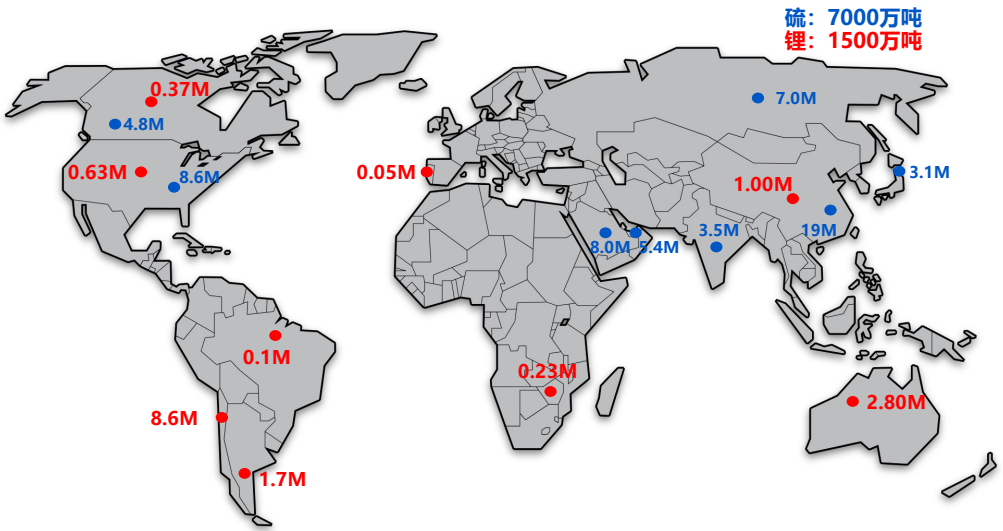


*** 钠离子高度依赖于正极/负极的匹配。
*** 某些正极/负极相匹配的供应链严重依赖中国

来源: 路透社, ,阿贡国家实验室, IJFine, 电池官员,电池报告 2023 (第 143-146 页)

VF | VOLTA FOUNDATION

硫的丰富性是解决长期电池供应链挑战的关键



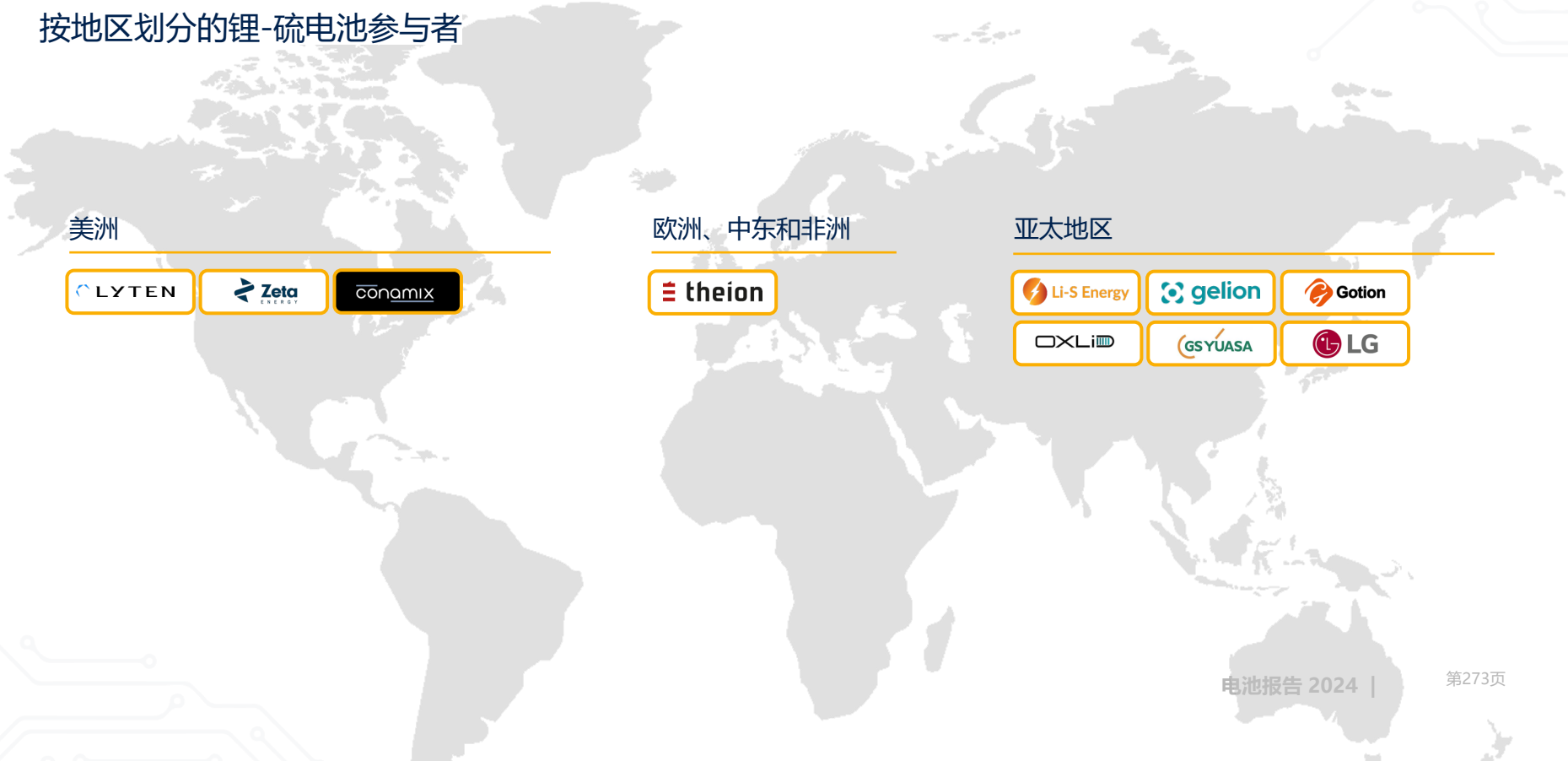
经济可回收硫/锂的来源。 1

- 硫和锂或按地区去中心化。 它在全球各国均有供应，只是数量有所不同。
- 硫以元素硫和硫化矿物等形式存在，通常作为化石燃料精炼和天然气处理的副产品获得。 其作为原材料商品的既定角色减少了加工要求，使其成为工业应用（如硫酸生产和肥料制造）中高效且具有成本效益的资源。
- 锂硫电池采用与锂离子电池相同的制造方法，相较于其他新兴的下一代技术，其因为锂的应用省去了负极的混合、涂层和辊压过程，但仍可快速实现扩大生产。
- 常见优点：低温操作，0%或100% SOC下都可储存/运输，高能量，低成本，材料易得。
- 常见缺点：与锂离子相比功率密度较低，近期成本较高，标称电压较低，安全性和制造过程的不确定性。

来源: 路透社, ,阿贡国家实验室, UFine ,电池官员,电池报告 2023 (第 143-146 页)

VOLTA FOUNDATION

按地区划分的锂-硫电池参与者



美洲

LYTEN

Zeta ENERGY

conamix

欧洲、中东和非洲

theion

亚太地区

Li-S Energy

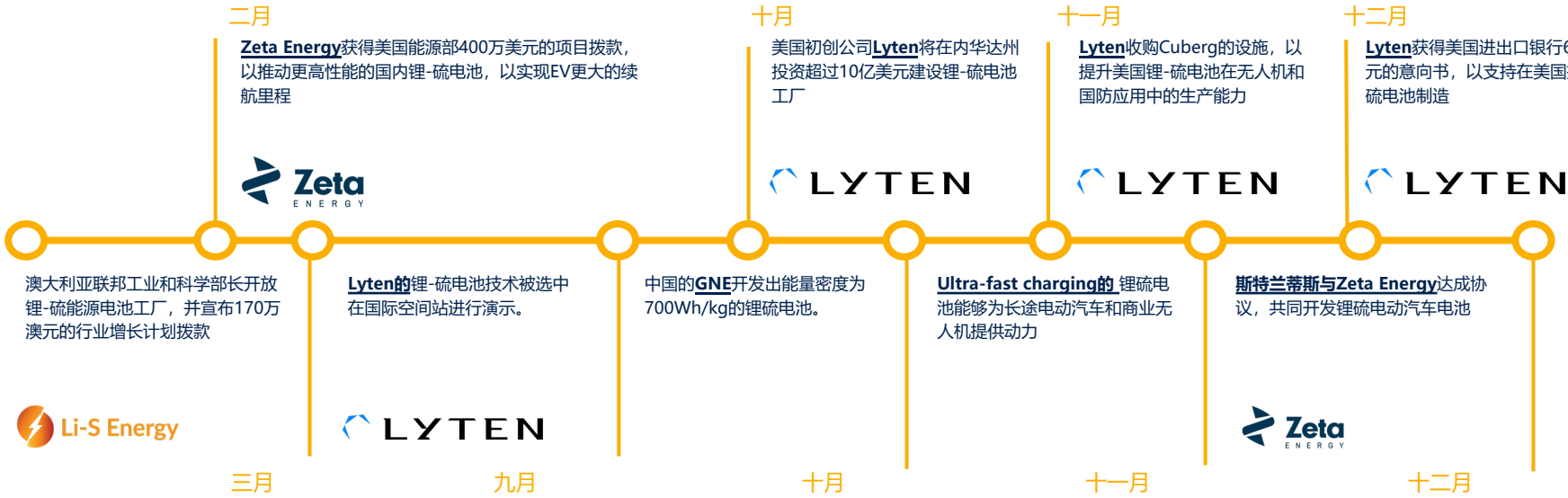
gelion

Gotion

OXLiD

GS YUASA

LG


三月
澳大利亚联邦工业和科学部长开放锂-硫能源电池工厂，并宣布170万澳元的行业增长计划拨款
Li-S Energy
二月
Zeta Energy获得美国能源部400万美元的项目拨款，以推动更高性能的国内锂-硫电池，以实现EV更大的续航里程
Zeta ENERGY
九月
Lyten的锂-硫电池技术被选中在国际空间站进行演示。
LYTEN
十月
中国的GNE开发出能量密度为700Wh/kg的锂硫电池。
十月
美国初创公司Lyten将在内华达州投资超过10亿美元建设锂-硫电池工厂
LYTEN
十一月
Ultra-fast charging的 锂硫电池能够为长途电动汽车和商业无人机提供动力
十一月
Lyten收购Cuberg的设施，以提升美国锂-硫电池在无人机和国防应用中的生产能力
LYTEN
十二月
斯特兰蒂斯与Zeta Energy达成协议，共同开发锂硫电动汽车电池
Zeta ENERGY
十二月
Lyten获得美国进出口银行6.5亿美元的意向书，以支持在美国扩大锂-硫电池制造
LYTEN

来源：上述各种新闻文章

LITHIUM-SULFUR

Let's Electrify Everything

LYTEN

Weight Matters

50% lighter weight than lithium-ion. Comes in cylindrical and pouch formats.

Supply Chain Matters

Complete supply chain independence from China. No nickel. No Cobalt. No Manganese. No Graphite.

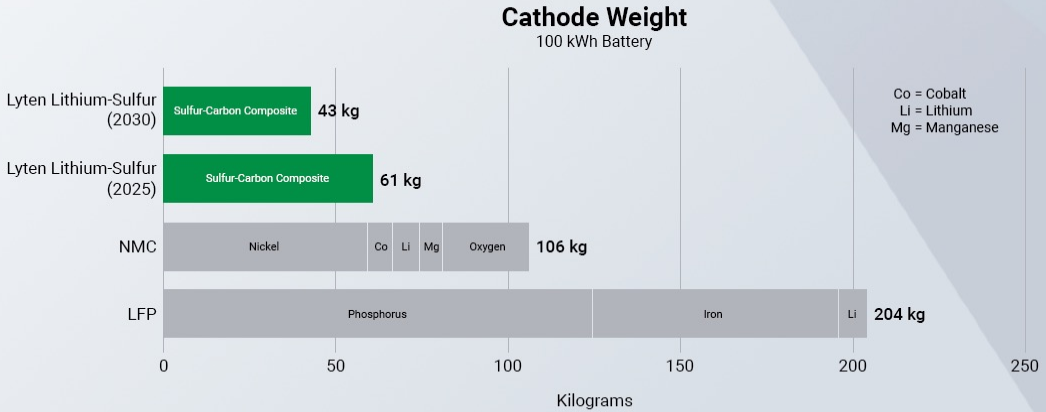
Temperature Matters

Performance improves by >20% at high temperatures.

Cost Matters

Made from abundantly available, low-cost materials.





lyten.com

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造
应用
- 电动汽车（EV）
- 电池储能系统（BESS）
- 其他

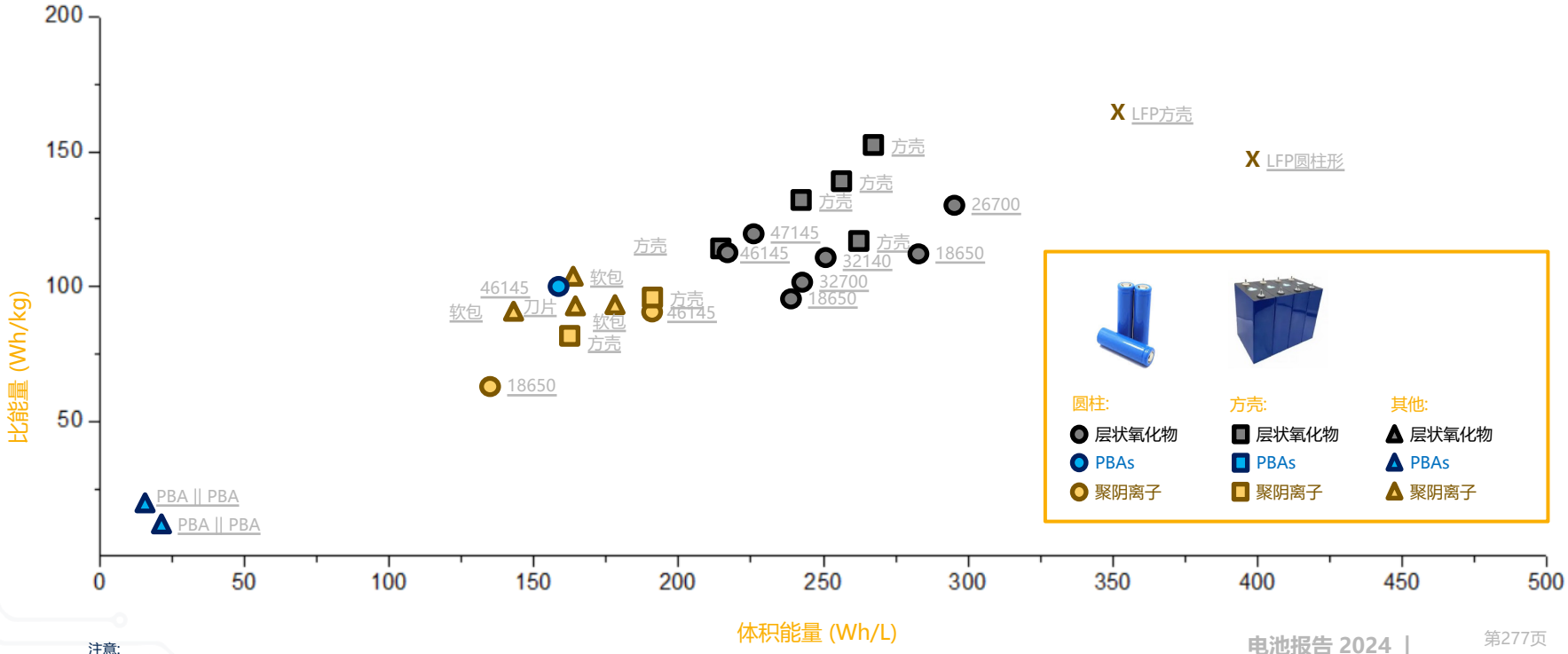
安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学体系

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

钠离子形状因素及报告的能量密度

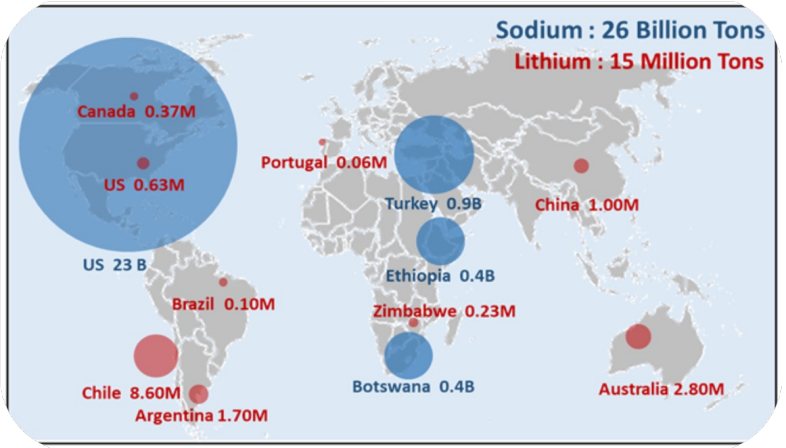


注意:
仅显示报告了Wh/kg和Wh/L的商业可用产品。

VF | VOLTA FOUNDATION

丰富的钠资源是解决长期电池供应链挑战的关键

经济可回收的 钠 / 锂资源。 [1]



- 美国拥有全球超过90%的钠材料储备。[2]
- 钠以苏打灰 (Na_2CO_3) 形式自然存在，已经是一种成熟的原材料商品，减少了加工要求。
- 丰富的资源和易于加工使得原材料价格比等效的Li_2CO_3低100倍。 在规模化生产中有潜力实现低于$40/kWh。[3]
- 钠离子电池采用与锂离子相同的制造方法，允许与其他新兴下一代技术相比立即扩展生产能力。[4]
- 常见优点：低温操作，潜在的0 V或0 % SOC存储/运输，高功率/倍率，长循环/寿命。
- 常见缺点：与锂离子相比能量密度较低，短期成本较高，电压范围更广，安全性声明的不确定性。

来源：见上面的参考文献

VOLTA FOUNDATION

一月

斯特兰蒂斯投资钠离子：宣布计划资助Tiamat，旨在多样化其电动车电池组合。



一月

比亚迪与淮海合作，在30 GWh钠离子电池工厂奠基，成为全球最大的钠离子电池工厂。



二月

Farasis Energy推出钠离子驱动的电动车：JMEV EV3，提供250公里的城市通勤续航。



三月

江淮汽车在其YiWei品牌下推出钠离子电动车出口，向拉丁美洲运送10,000辆车辆。



四月

宁德时代宣布奇瑞汽车将成为第一家使用其大规模生产的钠离子电池的电动车公司。



六月

韩国材料巨头**Ecopro BM**将为一家韩国汽车制造商生产钠离子正极。



七月

全球最大的钠离子电池在中国投入运营：大唐集团在湖北省宣布了一套100 MWh的钠离子电池系统。



八月

Natron Energy宣布计划在北卡罗来纳州建设一个14亿美元、120万平方英尺的钠离子电池制造设施。



十月

Reliance收购了100%位于英国的Faradion，计划在其Dhirubhai Ambani绿色能源超级工厂中建立超级工厂。



十月

宁德时代推出了Freevoy超级混合电池，这种混合动力汽车电池将同时包含LFP和钠离子化学成分。



十一月

美国能源部拨款5000万美元建立钠离子储能（LENS）联盟。由美国能源部的阿贡国家实验室主导。



十二月

中国电动车巨头**比亚迪**推出了钠离子大规模储能BESS产品，使用其长刀片电芯。



VF | VOLTA FOUNDATION

钠离子电池材料清单

活跃	材料	$/千克	示例化学公式	前景与挑战
正极	层状氧化物	9 – 13 [1] 4.3 – 8 [2,3]	O3 – $NaNi_xFe_yMn_zO_2$, O3 - $NaCu_xFe_yMn_zO_2$ P2 - $Na_aFe_xMn_yO_2$, P2 - $Na_aNi_xMn_yO_2$	在高电压下，材料的稳定性可能限制可用容量并需要镍，但相对较高的能量和高堆密度
	聚阴离子	4 – 6 [1,2]	$Na_3V_2(PO_4)_3$, $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ $Na_4Fe_3(PO_4)_2(P_2O_7)$, $Na_2Fe_2(SO_4)_3$	体积能量密度和比能量密度较低，但改善安全性可能在电池包层面降低成本
	普鲁士白/蓝	2.5 – 3.5 [4] (预计)	$Na_2Fe[Fe(CN)_6]$ $Na_2Mn[Fe(CN)_6]$	湿度敏感性可能会增加材料和电池制造的成本
负极	硬碳	4 – 11 (现实) [1,2] 4 – 32 [1,2,3]	C	不断增长的供应链正在推动成本降低，但许多原材料选择可能限制成本和产量。
	合金	8 – 20 [1,2]	P, Sn, Sb, Pb, Sn_xP_3	高理论体积能量密度，但必须管理膨胀，可能限制实际能量密度
	无负极	不适用	Na *(注：目前没有商业化的Na箔)*	高能量密度且加工最小，但必须管理膨胀，可能限制实际能量密度

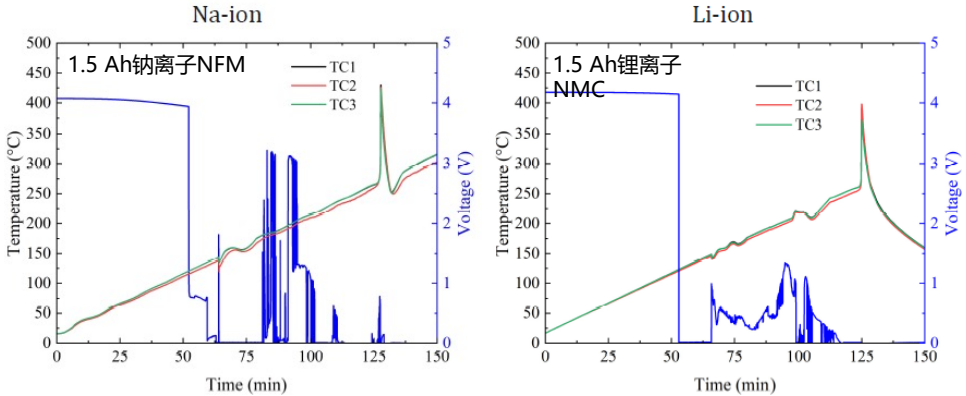
不活跃	材料	$/千克	示例化学公式	前景与挑战
电解液	$NaPF_6$碳酸盐基	7 - 11 [1,3]	$NaPF_6$ 在EC/PC/DEC/DMC/EMC中	良好的氧化稳定性，但在高电压/热失控时会产生挥发性/毒性气体。$NaPF_6$ 形成可溶的SEI物种。
	$NaPF_6$ 基于醚的	未知，但glymes的成本是PC的2-3倍	$NaPF_6$ 在DEE/DME/DEG/TEG/THF中	优越的SEI稳定性和较低的钠沉积风险/与钠金属的兼容性，但氧化稳定性有限。$NaPF_6$ 形成可溶的SEI物种。

来源：1. : 1. Yao, A. Benson, S.M., Chueh, W.C. How quickly can sodium-ion learn? Assessing scenarios for technoeconomic competitiveness against lithium-ion batteries. arXiv::2403.13759v3 (2024). ; 2. Shanghai Metals Market (SMM). Metals.com. ; 3. Omenya, A. Sodium-Ion Battery Development. DOE-OE Peer Review (2024). ; 4. Lee, J. Low Cost Sodium-Ion Battery to Enable Grid Scale Energy Storage: Prussian Blue-Derived Cathode and Complete Battery Integration; 2013.

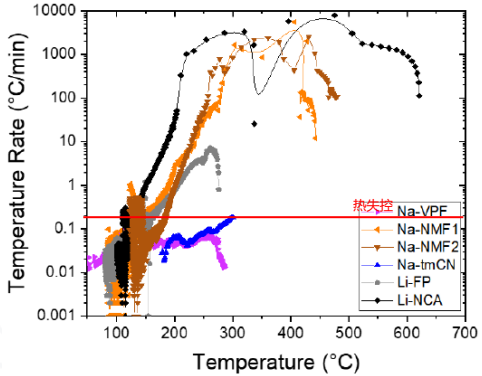
VF | VOLTA FOUNDATION

关键发现来自钠离子与锂离子 – ARC / 热坡度测试

- 钠离子层状氧化物（NFM）显示出与锂离子NMC/NCA相似的热失控特性（>1˚C / min）。
- 钠离子多阴离子（NVPF）和普鲁士蓝避免热失控（<1˚C / min）。
- 钠离子普鲁士蓝在电池滥用过程中会产生氰化氢。
- 热失控风险与能量密度/电池容量相关。



来源：亚历克斯·M·贝茨和洛雷恩·托雷斯-卡斯特罗，桑迪亚国家实验室



Cell Type	Onset Temp (°C)	Vent Temp (°C)	Peak Temp (°C)	Peak Temperature Rate (°C/min)
Li-NCA	87	112	620	7,867
Li-FP	90	153	276	7.2
Na-VPF	51	98	300*	0.14
Na- NMF1	87	134	442	5,607
Na- NMF2	147	125	487	2,528
Na-tmCN	177	96	300*	0.18

*300 °C is safety cutoff temp.

来源：Rachel Carter, Gordon Waller, Connor Jacob, Dillon Hayman 和 Corey Love，美国海军研究实验室

Destructive method	Cell Type	Max Temperature (°C)	Thermal Runaway Onset	Observable response
Nail Penetration	Na-ion	216.5	1.91 mm	Vent, smoke, sparks, violent pressure release
	Li-ion	98.1	1.88 mm	No observable effect
Crush	Na-ion	167.9	6.67 mm	Vent, smoke, sparks, lid pop
	Li-ion	296.3	9.71 mm	Vent, smoke, sparks, lid pop
External Short Circuit	Na-ion	132.8	N/A	Vent, smoke, electrolyte leak, swelling
	Li-ion	140.8	N/A	Swelling
Thermal Ramp	Na-ion	430.1	271.1 °C	Vent, LE leak
	Li-ion	398.1	269.1 °C	Vent, LE leak

VF | VOLTA FOUNDATION

钠离子的新性能报告

0 V或0%储存与运输

报告发现，在过放电至0%或0 V时没有不良影响的潜力，这主要是由于缺乏铜箔。

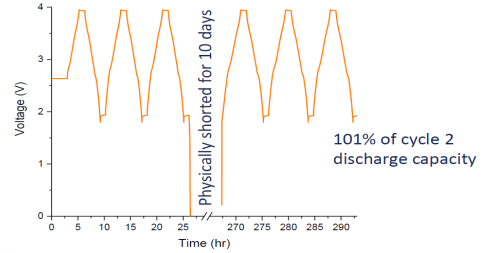
低温操作

钠离子电池可以在-40 ˚C或更低的温度下工作。 这主要归因于所使用的电解质，避免了锂离子电池中出现的迟缓效应。

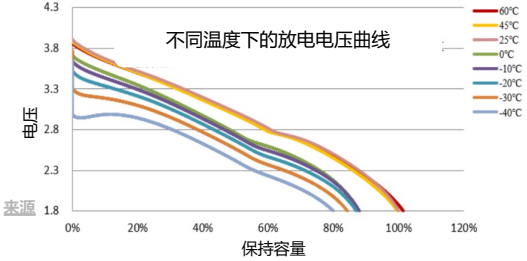
高功率 / 快速充电超越锂离子电池

放电速率 >10 C，充电速率 >4 C，通常报告的情况，这主要得益于硬碳（与石墨相比）的速率能力。

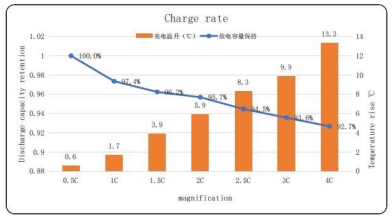
来源

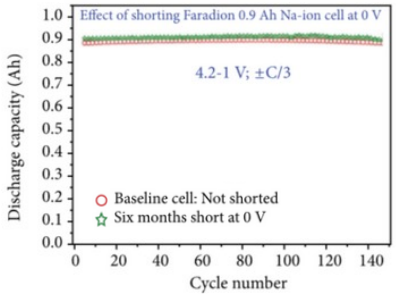


来源



来源





0.5C charge at 25°C, cut-off 0.05C		-40°C	-30°C	-20°C
Discharge C-rate	0.33		82.4%	88.0%
	0.5	73.9%	83.6%	89.8%
	1		83.8%	88.8%
	2		84.6%	88.0%
	4			

来源：Rachel Carter, Gordon Waller, Connor Jacob, Dillon Hayman 和 Corey Love，美国海军研究实验室

VF | VOLTA FOUNDATION

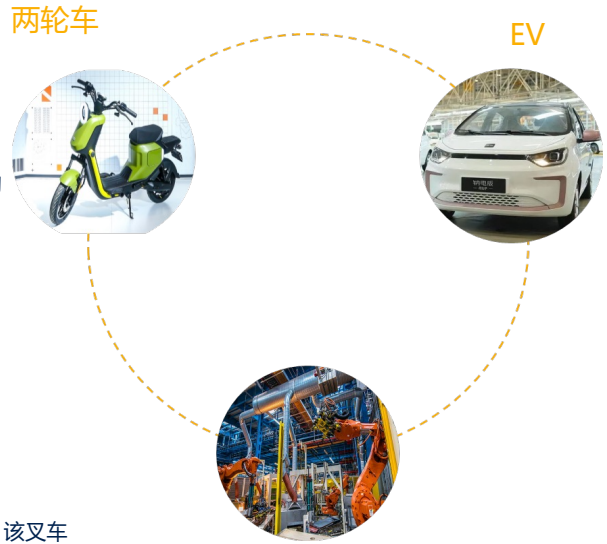
钠离子电池在两轮车和与锂离子电池在电动车中的混合集成方面具有应用前景



中国的TAILG 已在其豪华电动自行车中推出新的钠离子电池技术，能够在0°C以下的温度下行驶115公里，同时保持25 km/h的速度，生命周期超过2,000个循环。

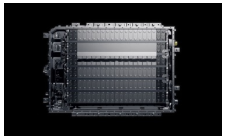


小松开发并展示了一款1.5吨电动叉车的概念机，该叉车由钠离子电池供电，计划于2024年3月在工地开始进行概念验证测试。





JMEV推出了全球首款钠离子动力电动车，JMEV EV3（青年版）。该A00级电动车配备了Farasis Energy的140-160 Wh/kg钠离子电池，续航里程为251公里。



宁德时代的Freevoy 混合动力汽车电池组。 集成了钠离子电池和锂离子电池，能够在10分钟充电后提供超过280公里的续航，并在<-20°C的低温下正常运行。

钠离子电池在各种能源存储应用中表现出强劲进展，并在多种场景中作为潜在的铅酸电池替代品。

电网规模能源存储



比亚迪 最近推出的钠离子BESS产品，采用其专有的长刀电芯，具有2.3MWh的能源存储容量，电压范围为800V-1400V。

住宅能源存储



澳大利亚公司**PowerCap**最近推出了一种创新的钠离子电池系统，专为家庭能源存储而设计，选项范围从3.4 kWh到20.4 Wh。

备用电源供应



Natron 将钠离子电池的生产能力提升至每年600兆瓦，以满足数据中心在人工智能激增下的能源存储需求。

其他作为铅酸电池替代品



Biwatt 在2024年扩大了其住宅钠离子储能系统的商业部署。 此外，Biwatt正在推出面向工具的钠离子产品，包括替代铅酸电池的P1（12V 100Ah）、启动电池P2（12V 70Ah）和应急启动器。

VF | VOLTA FOUNDATION

钠离子电池参与者按地区/关注领域

美洲

STANDARD POTENTIAL
amandarr
BM
Nanode
Elementium
FERMI ENERGY
24m
MANA
UNIGRID
Natron Energy
NVTX ENERGY
PEAK ENERGY
ADENA POWER
INLYTE ENERGY
ENLIGHTEN

开发重点

- 材料
- 电池 / 模块
- 完整系统

欧洲、中东和非洲

ALTRIS
storaenso
TIAMAT
faradion
LIONVOLT
BMZ THE INNOVATION GROUP
VARTA BY CLARIOS
amte power
LiNa Energy
TAIFAN

亚太地区

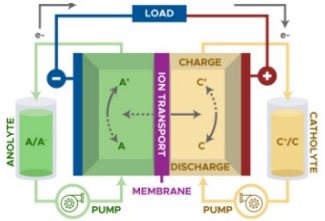
钠创 NATRIUM
Smooth Way
容百科技 RONBAY TECHNOLOGY
INDI ENERGY
EcoPro BM
kuraray
BTR
BSG
AEKYUNG CHEMICAL CO.,LTD.
ZEC 振华新材料 ZHENHUA E-CHEM
新宙邦 CAPCHEM
cham CHAM BATTERY
ZOOLNASM 众钠能源
PARASIS
EVE
鹏辉 GREAT POWER
盘古钠祥 PARAGONAGE
Gotion
SODION ENERGY
中比电池
EVE
VEKEN 维科技术
中科海钠 HiNa BATTERY
SVOLT
Neg
VISION
LiFUN
NGK
HIGHSTAR 海四达
CATL
BYD

VF | VOLTA FOUNDATION

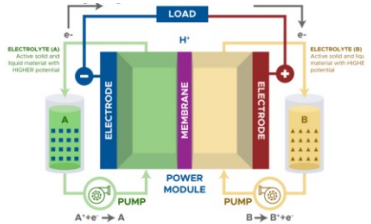
氧化还原液流电池

氧化还原液流电池（RFBs）的形状和化学成分各不相同，具有广泛的性能，可实现长寿命、安全性和发展机会。

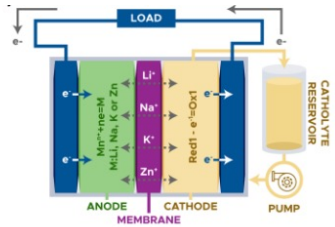
传统液流电池



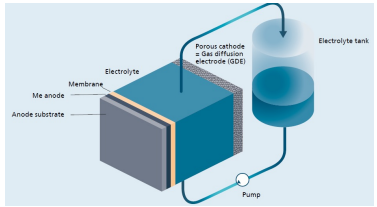
氧化还原靶向液流电池



混合液流电池



金属空气



截至2023年的数值[1]	传统液流电池	金属空气
质量能量密度	22-30 Wh/kg	20 Wh/kg (铁-空气) 150-300 Wh/kg (锌-空气)
体积能量密度	30-40 Wh/L	28 Wh/L (铁-空气) 100-200 Wh/L (锌空气)
循环寿命	>10,000	500
储存寿命	20年	25年
效率	60-90%	59-64%
其他特性	不易燃	不易燃，高可持续性

来源：; DOE Flow Battery Technology Assessment; Fraunhofer Institute Alternative Battery Technologies Roadmap 2030+

VOLTA FOUNDATION

液流电池公司在美洲和欧洲、中东及非洲迅速崛起

美洲

- noon ENERGY
- ESS INC
- Form energy
- ENERVENUE
- cmblu
- STRYTEN ENERGY
- LARGO
- VRB ENERGY
- THE SUN COMPANY
- e-ZINC
- ABOUND an energy solutions company

欧洲、中东和非洲

- voltstorage
- REDOX
- KEMIWATT Your energy bank
- pinflow energy storage
- redoxblox
- cellcube
- INVINITY ENERGY SYSTEMS
- elestor
- SINERGY FLOW
- RIVUS power that flows

亚太地区

- allegro
- RKP
- i2TR i-battery 艾博特

希望确立自己在长时储能电网技术领域的领导地位。
这些技术种类繁多，处于从研发到商业部署的不同发展阶段。

- 金属空气
- 钒
- 有机
- 铁
- 其他

$10亿已投资于金属空气/液流电池，2024年

由政府资金主导，标志着能源存储市场的增长以及对更安全、更长时间选项的需求

公司名称	融资金额（百万美元）	融资来源（主要投资者）	投资类型
Allegro Energy	$11.1	Grantham基金会	A轮
CleanTech Strategies LLC	$5.0	美国能源部	项目资助
CMBlu Energy	$31.5	希腊环境与能源部	制造补助金
e-Zinc	$31.0	Evok Innovations	A2轮
ESS, Inc	$115.0	EXIM MMIA, 昆士兰州政府和私人	制造补助金
Form Energy	$475.0	美国能源部, T Rowe Price	项目补助金，F轮
Invinity Energy Systems	$29.7	美国能源部	项目资助
NextEra Energy Resources Development	$49.1	美国能源部	项目资助
Noon Energy	$8.8	加利福尼亚能源委员会	项目资助
Redflow	$39.0	加利福尼亚能源委员会, 美国能源部	项目补助金
Redox One	$40.0	Tharisa	A轮
RedoxBlox	$74.5	Khosla Ventures, 加利福尼亚能源委员会, Prelude Ventures	项目补助金，A轮
Stryten Energy	$5.0	美国能源部	制造补助金
VRB Energy	$55.0	Shaxi Red Sun Co. Ltd.	战略投资

VOLTA FOUNDATION

合作伙伴关系推动了商业液流电池技术的部署和进一步发展，成为头条新闻

一月

Stolthaven与XL Batteries宣布合作伙伴关系

XL Batteries

Stolthaven Terminals

三月

梅赛德斯-奔驰订购CMBlu Energy的首个可持续SolidFlow能源存储系统

cmblu

六月

向PowerFlex出售4MWh用于加利福尼亚光伏+储能项目

INVINITY ENERGY SYSTEMS

powerflex EDF Renewables

7月

Invinity官方在英国开设新的制造设施

INVINITY ENERGY SYSTEMS

十月

CellCube获得1900万美元用于兆瓦级钒基氧化还原流电池系统

cellcube

十二月

Stryten Energy和Largo推出LDES公司Storion Energy

STRYTEN ENERGY

LARGO

ACWA Power与VoltStorage合作开发铁盐电池

voltstorage

ACWA POWER

一月

Octet Scientific与e-Zinc形成关键合作伙伴关系，以推动能源存储创新

Octet Scientific

e-zinc

五月

California Agency授予2670万美元用于LDES项目

noon ENERGY

redoxblox

redflow

六月

EnerVenue与AVID集团签署主供应协议，加速在澳大利亚的扩展

ENERVENUE

AVID GROUP

八月

EnerVenue为RWE提供LDES容器用于试点项目

ENERVENUE

RWE

十二月

Argonne and Idaho National Labs 与CMBlu Energy合作进行LDES项目

cmblu

Argonne NATIONAL LABORATORY

INL Idaho National Laboratory

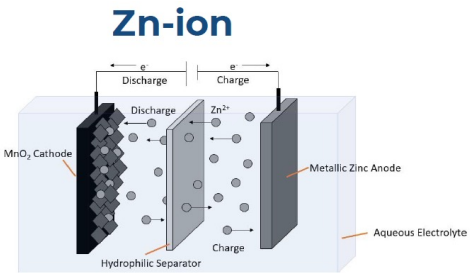
十二月

锌离子电池

锌二氧化锰电池作为廉价、安全和可持续的可充电电池，在推进家用原电池设计方面取得了重大发展。

基础化学

锌离子电池正在使用近中性和碱性电解液进行开发。 由于材料成本低以及现有的初级电池市场供应链，这些电池的$50/kWh电池成本水平具有潜力。 制造过程在生产过程中排放的CO2减少了70%，并且是完全可回收的。 在理论最大比容量为308 mAh/g的情况下，许多新兴公司和研究正在进行，以推动锌离子电池解决二氧化锰溶解问题并改善充电能力。



使用案例：备用电源和电网储能

LDES: NYSERDA向四个示范项目授予近1500万美元

国土安全部宣布首批获奖者，授予83.5万美元"Clean Power for Hours Challenge"以庆祝2024年地球日

OCED授予LDES STORED项目，由UEP主导，与NYPA和EPRI合作



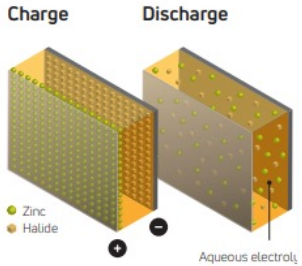
锌溴电池

锌溴电池利用锌基的水性电解质获得了商业化进展，提供安全、耐用且灵活的能源存储，适用于3-12小时的日内应用

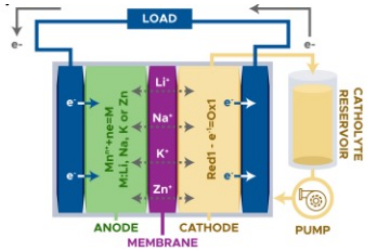
非液流化学

Inspired by zinc plating baths

Z3 battery modules store electrical energy through zinc deposition. Our aqueous electrolyte is held within the individual cells, creating a pool that provides dynamic separation of the electrodes. During charge and discharge, ions move through the electrolyte to their respective electrode to donate or accept electrons, creating a current flow through the bipolar stack..



液流化学



通过将电解液罐与电池负极侧的锌镀层结合，液流电池设计在电力存储中提供了灵活性和可扩展性。

这些电池的研发始于1970年代的Exxon，Primus Power和Redflow等公司进一步推动了设计，尽管这两家公司现在已不再活跃。

使用案例：电网存储

Eos Energy与Pine Gate Renewables签署协议以扩展现有关系

Eos Energy宣布与印度能源及加利福尼亚能源委员会扩展现有项目

Eos Energy与密苏里州斯普林菲尔德市公用事业公司签署协议，提供216 MWh的能源存储

Eos Energy与FlexGen合作，加速完全整合的美国制造的固定储能解决方案，用于LDES应用



特点：

不可燃，无需HVAC/灭火系统

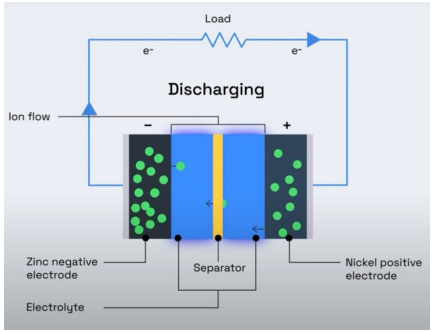
国内制造和采购(Eos声称超过85%来自美国)

持续时间：今天为3-12小时

镍锌电池

镍锌电池作为铅酸电池的替代品正在增长，适用于关键基础设施，提供更高的功率密度、室内消防安全和更低的总拥有成本。

基础化学



$Zn + 2NiOOH + 2H_2O \rightarrow Zn(OH)_2 + Ni(OH)_2$

特点:
功率密度是铅酸电池的3倍，体积为一半，重量为三分之一

形状因素



像AEsir technologies这样的公司能够利用铅酸电池制造商使用的生产线，因为它们在设计上有相似之处。

EnZinc同样计划通过向现有制造商销售其负极海绵和锌镍设计来利用现有的生产线。

使用案例：备用电源

Vertiv与ZincFive合作为北美和EMEA的数据中心UPS提供安全可靠的镍锌电池能源存储

ZincFive宣布交付和合同签署1GW的关键数据中心电力解决方案

Kohler不间断电源与ZincFive联手提供安全、可持续的镍锌能源存储解决方案，服务于数据中心

EnZinc开设关键电池组件制造中心，以满足日益增长的客户需求



VF | VOLTA FOUNDATION

锌电池比较

安全性、可持续性、长时间储存和长电池寿命是锌电池技术增长的主要驱动因素。

	锌离子	锌镍	锌溴	锌空气	锂离子
商业应用	储能 (3-12小时)	不间断电源 (<1小时)[3]	储能 (3-12 小时)[2]	储能 (24+ 小时)	电动汽车; 储能 (1-4 小时)
质量能量密度 (Wh/kg)	150[1]	140[1]	60-75[3]	100-400[3]	250-300
体积能量密度 (Wh/L)	100-400[1]	300[1]	60-70[3]	135-1000[3]	650-800
电压 (V)	1-1.5	1.2-1.9[3]	1-1.8[2]	0.9-1.4[3]	2.5-4.2
循环寿命	5-10,000[1]	500[1]	10,000[2]	500	1500
DOD		100%			80-95%
循环寿命	15-20 年[1]	15 年[3]	20 年[2]	15-20 年[1]	10
安全性		不易燃，不与空气或水反应[3]			差
可持续性评估分数		9.4/10	9.5/10		差

来源：1 ; 1 DOE Energy Earthshots Technology Strategy Assessment Zinc Batteries ; 2 https://www.eose.com/technology/ ; 3 Zinc Battery Initiative Presentation

VF | VOLTA FOUNDATION

美洲和EMEA有机会在锌电池制造方面领先，不仅有许多电池制造商在场，还有很大一部分供应链

美洲

电池制造商

ZincFive
eos
URBAN ELECTRIC POWER
e-zinc
ENZINC
SALIENT ENERGY
IMPRINT ENERGY
ZELOS
THE SUN COMPANY
ABOUND

供应链

Zochem
Octet Scientific
CELGARD
sabic
TETRA

欧洲、中东和非洲

enerpoly
hilabs
SUNERGY

everZINC+
Brüggemann
GRILLO
IMR METAL POWDER TECHNOLOGIES GmbH
Easyl Zinc

亚太地区

gelion
PMB DEFENCE

JG CHEMICALS
bdj
NIPPON SHOKUBAI
Silox
Diamonchem
HINDUSTAN ZINC Zinc & Silver of India
vedanta transforming for good

- 锌离子
- 锌镍
- 锌卤化物
- 锌空气
- 锌盐
- **电解液**
- 电极材料
- 隔膜

VOLTA FOUNDATION

锌电池市场的主要参与者已宣布在电网储能和数据中心市场进行更多商业部署

四月

LDES: NYSERDA向四个示范项目颁发近1500万美元

URBAN ELECTRIC POWER

NEW YORK STATE | NYSERDA

五月

ABB推出创新的镍锌电池，作为领先的数据UPS解决方案

ZincFive

ABB

七月

Eos Energy成功启动首条先进制造生产线的商业生产

eos

Eos Energy宣布与印度能源和加利福尼亚能源委员会扩展现有项目

IE INDIAN ENERGY LLC

eos

八月

Kohler不间断电源与ZincFive合作，为数据中心提供安全、可持续的镍锌能源存储解决方案

ZincFive

KOHLER. UNINTERRUPTIBLE POWER

十二月

Eos Energy与FlexGen合作，加速全面集成的美国制造的固定储能解决方案，用于LDES应用

FLEXGEN

eos

Eos Energy和Pine Gate Renewables签署协议以扩展现有关系

eos

PINEGATE RENEWABLES

四月

DHS宣布首批获奖者，颁发83.5万美元的"清洁电力小时挑战"奖金，以庆祝2024年地球日

U.S. DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY

URBAN ELECTRIC POWER

七月

Vertiv与ZincFive合作，为北美和EMEA的数据中心UPS提供安全可靠的镍锌电池能源存储

ZincFive

VERTIV.

OCED授予LDES STORED项目，由UEP与NYPA和EPRI合作领导

NEW YORK STATE OF OPPORTUNITY. NY Power Authority

EPRI ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

URBAN ELECTRIC POWER

11月

Eos Energy与密苏里州斯普林菲尔德市公用事业公司签署协议，提供216 MWh的能源存储

eos

City Utilities Connecting Our Community

十二月

Eos Energy与国际电力公司签署400MWh订单，以提供加利福尼亚的关键韧性

INTERNATIONAL ELECTRIC POWER

eos

锌电池制造商面临从研发到商业化的挑战性转型

从试点项目到商业生产，努力通过增强制造流程、加强供应链合作伙伴关系和确保资金来扩大规模，推动其运营。

	制造/供应链合作伙伴关系公告
AEsir Technologies, Inc.	Celgard与AEsir Technologies形成战略联盟 印度斯坦锌与美国AEsir Technologies携手开发锌电池 Vedanta NIco与AEsir Technologies合作，利用镍锌电池革新电动汽车电池技术
e-Zinc	e-Zinc筹集3100万美元用于制造设施
enerpoly	锌离子电池创新者Enerpoly收购完整电池生产和包装组装线，以增强欧洲能源韧性 瑞典Enerpoly开设全球首个锌离子电池超级工厂
ENZINC	EnZinc开设关键电池组件制造中心，以满足日益增长的客户需求
eos	Eos Energy Enterprises与TETRA Technologies, Inc.延长合作伙伴关系，扩大电解液生产能力 Eos Energy成功启动首条先进制造线的商业生产 Eos Energy与Wabash签署谅解备忘录，显著加速美国制造的能源存储解决方案的供应链生态系统 Eos Energy Enterprises与SABIC Specialties联手生产专用电流收集器
URBAN ELECTRIC POWER	美国能源部向国内清洁能源制造设施的获奖者颁发1500万美元
ZincFive	ZincFive加速在美国制造业的投资

VF | VOLTA FOUNDATION

美国政府在锌电池技术上投资了8.05亿美元，主要用于领先制造商的部署和规模扩大

公司名称	融资金额（百万美元）	融资来源（主要投资者）	投资类型
新实验室有限责任公司	$5.0	美国能源部	项目资助
城市电力公司	$0.4	美国国土安全部	项目资助
Redflow	$9.0	加利福尼亚能源委员会	项目资助
Eos Energy Enterprises	$315.5	Cerberus Capital Management	战略投资
e-Zinc	$31.0	Evok Innovations	A2轮
Urban Electric Power	$6.5	美国能源部	项目资助
NextEraEnergy Resources Development	$49.1	美国能源部	项目资助
Redflow	$30.0	美国能源部	项目资助
Urban Electric Power	$5.0	美国能源部	项目资助
Eos Energy Enterprises	$303.5	美国能源部贷款项目办公室	贷款承诺
EnZinc	$8.0	对风险投资	A轮
Eos Energy Enterprises	$42.0	加利福尼亚能源委员会	项目资助

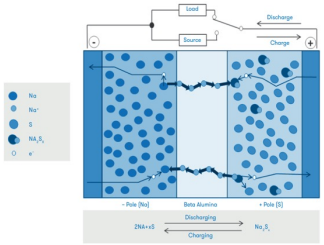
高温电池

高温电池使用熔融电极，电极之间由固体陶瓷电解质隔开。 它们是为静态储能应用开发的，放电持续时间可达8小时。

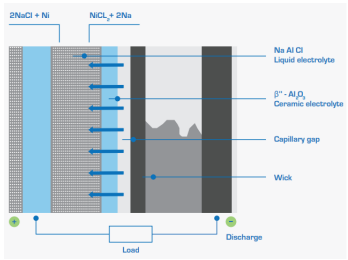
系统概述

高温电池在超过250摄氏度的温度下运行，以确保电极保持在熔融状态并具有电化学活性。 电解质通常是钠β-铝氧化物。 截至2024年，已经成功商业化的两种高温电池化学体系是：

钠-硫 [1] 电池，其中熔融硫和熔融钠与β-铝氧化物电解质层分开。



钠镍氯 [2] 电池，有时称为ZEBRA电池，使用氯化镍和熔融钠电极。



使用案例：电网存储

高温电池的单体能量密度通常为100到200 Wh/kg，并在温度下运行时的往返效率约为70%到80%。 它们已广泛应用于能源存储领域，放电持续时间可达8小时，适合与太阳能光伏系统配对。



来源: [1] NGK Insulators - Product. [2] EASE - Technologies

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造
应用
- 电动汽车（EV）
- 电池储能系统（BESS）
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学体系

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

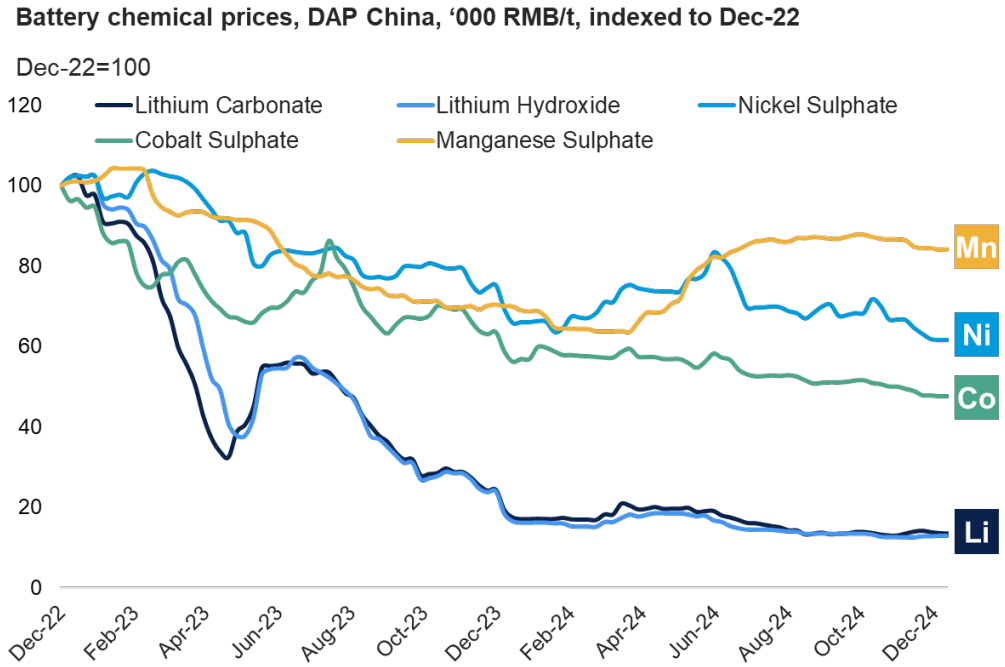
VF | VOLTA FOUNDATION

章节摘要 - 概述

- 2024年对原材料生产商和中游企业来说是一个充满挑战的年份，但对任何购买材料的人来说却是一个好时机。
- 供应增长持续超过需求，进一步压低了价格。
- 现在许多矿业和冶炼企业——尤其是高成本的企业——正在削减供应，并调整资本支出以重新与需求增长对齐。
- 然而，投资仍在全球范围内推动供应增长，利益相关者渴望在电池原材料的光明未来中巩固自己的地位。
- 主要下游制造商正在加速垂直整合战略，并直接投资于原材料。
- 中国是2024年唯一一个看到原材料进口增长的主要市场。
- 来自电池的锂需求是长期确定的，但由于政策变化和行业回撤，其在中国以外的增长速度和规模现在面临比以往更大的风险。
- 所有电池原材料随着时间的推移都在被节约，而在镍和钴的情况下，正在被替代。

VF | VOLTA FOUNDATION

2024年电池原材料价格保持低位



- 矿业投资增加了电池材料的供应
- 供应的增长速度超过了电动车和电池的需求
- 公司在减少库存方面面临困难
- 电动车中对LFP的持续转变减弱了对镍和钴的需求

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

VF | VOLTA FOUNDATION

锂 - 低价格对电池成本有利，但风险在于长期供应

供应超过需求使锂的价格降至38个月来的最低水平。 虽然低价格使得电池成本降低，但这也意味着（一般来说，虽然有例外）：

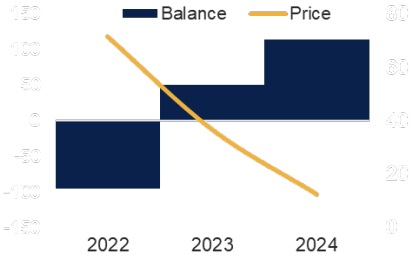
- 来自电动汽车（EV）和大规模储能系统（BESS）的进一步需求反馈
- 运营中的矿山在短期内受到限制
- 短至中期的项目投资受到抑制

……所有这些都增加了供应无法跟上需求的风险。

这意味着持续的波动周期，尽管不如过去那样严重。

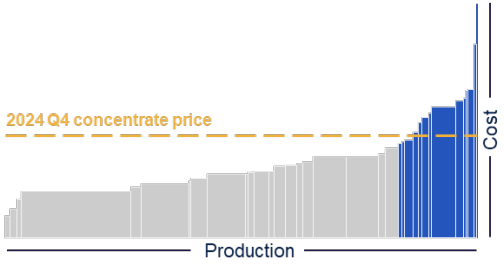
Surplus supply continues to weigh on prices…

Lithium market balance and price, kt LCE & $/t LCE



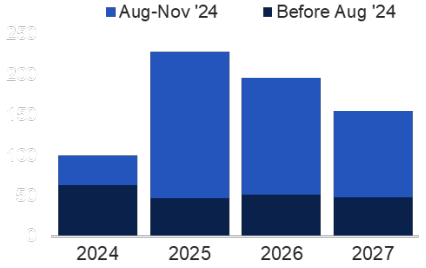
…which pressures margins for the highest-cost mines

Value-adjusted cash mining costs*, $ /dmt conc.



…which results in curtailments to mining supply

Realised mine curtailments, kt LCE, as of Dec-24



来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

*成本曲线仅显示了斜长石作业。

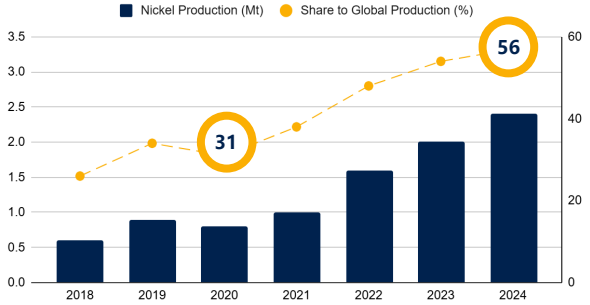
锂行业最新趋势

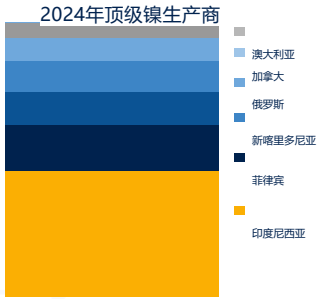
许多生产商继续运营，尽管其他地方有所限制，矿山许可证仍在继续发放	供应正在从新的来源中出现，例如阿根廷、非洲和中国的四川省	平均锂矿石品位随着时间的推移而下降，这增加了生产锂化学品的成本
高成本的矿工和非整合的精炼商正在努力实现盈利	中国的锂精炼厂是成本最低的，但也未充分利用	各类规模的独立矿业公司正在优化流程并扩大生产以降低成本
电池中的锂强度正在下降，随着时间的推移，每千瓦时所需的材料减少	由于过度生产，尤其是LFP，CAM中消耗的锂远高于最终用途	中国在进口和精炼方面领先，但CAM正在向海外扩展，导致地区锂化学品消费的转变
领先的电池制造商在加速垂直整合的过程中对锂价格产生影响	在广州期货交易所，实物交割的价格发现正在加速	并购活动正在升温，但供应仍在按地区和资源多样化

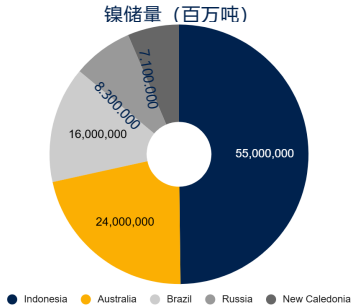
来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

印度尼西亚正在巩固其在镍行业的主导地位

印度尼西亚的镍出口从40亿美元增加到350亿美元







来源：标普全球，SMM

镍减产政策

目前有44座冶炼厂在运营，26座仍在建设中。 这种情况导致2024年镍价下跌，因为低成本供应涌入市场。

为了缓解过剩供应的情况和可能削弱投资及该国在市场上领先地位的风险，印度尼西亚已：

- 对RKEF镍铁冶炼厂实施了暂停令
- 考虑取消RKEF冶炼厂的税收假期
- 考虑未来的政策，支持高品位镍冶炼厂（HPAL，这对电池行业相关）

2024年的镍矿生产也因官僚延误，导致从菲律宾大量进口。

ESG合规性

印度尼西亚正在努力设计适合其当地条件的ESG框架，平衡可持续镍生产与全球市场需求及环境责任。

镍行业最新趋势

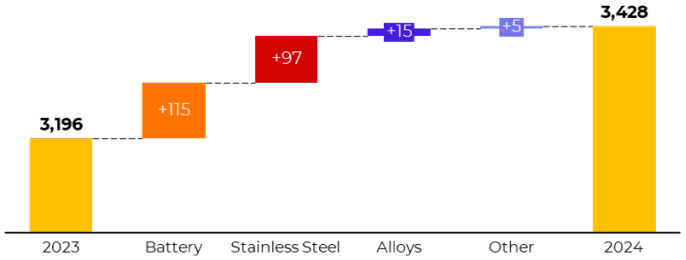
对印尼供应的投资仍在继续，但西方支持的项目在该国被取消	印度尼西亚正在实施削减政策以缓解过剩并保护高品位的运营	项目削减，尤其是在澳大利亚，已使印尼的供应降至多年来的最低水平
领先的电池制造商在镍和钴的应付款方面获得影响力，因为他们加速垂直整合	电池中镍需求疲软促使pCAM和NiS生产商转向（非电池）金属精炼	非整合的镍硫酸盐和pCAM生产商正面临盈利困难
pCAM中的镍消费在过去3年中一直停滞不前	不锈钢仍然是镍的最大需求驱动因素	电池和汽车制造商现在正在从高镍化学品转向高电压中镍化学品
电池中的镍强度正在下降，随着时间的推移，每千瓦时所需的材料减少	中国在精炼方面处于领先地位，但pCAM正在海外扩张，导致区域镍需求发生变化	镍硫酸盐产能在中国的扩张正在放缓，但在印度尼西亚和韩国加速

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

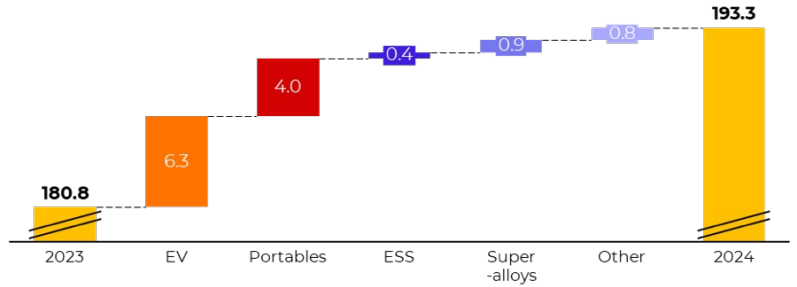
VF | VOLTA FOUNDATION

钴需求依赖于电池，而不锈钢推动镍需求

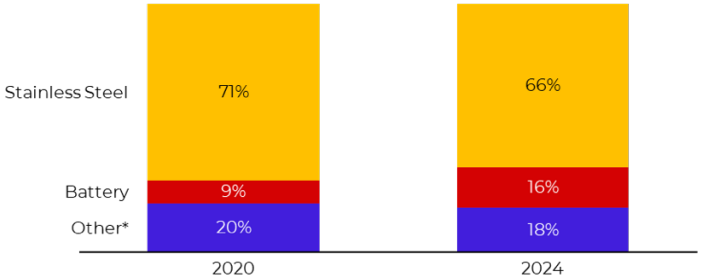
Nickel Demand (2023 vs. 2024), Unit: kt Ni contained



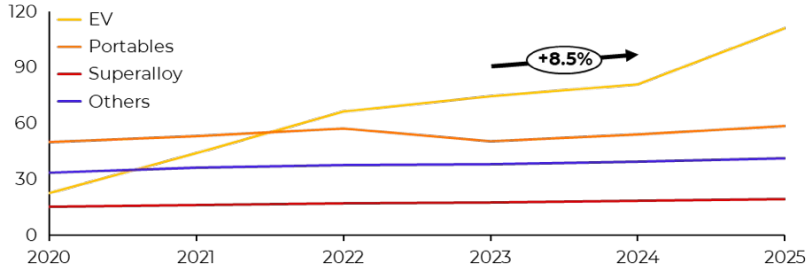
Cobalt Demand (2023-25), Unit: kt



Nickel Demand by Application, Unit: kt Ni contained



Cobalt Demand by subsegment, Unit: kt

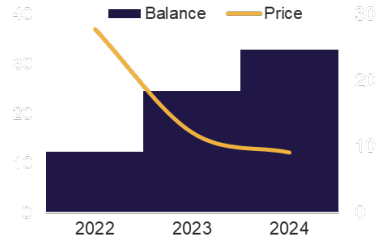


来源：内容与分析由Benchmark Minerals Intelligence（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/cobalt。

VOLTA FOUNDATION

钴处于严重的过剩状态

Refined cobalt market balance & price, kt and $/lb Co



关键趋势：

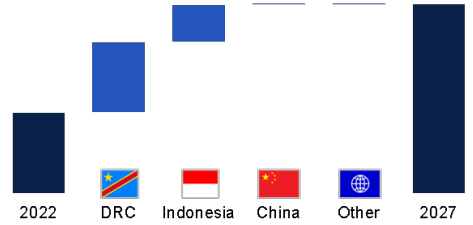
刚果（金）、印度尼西亚和中国推动了过剩和过剩产能

供应正变得更加集中——几项澳大利亚和美国的项目已被减产

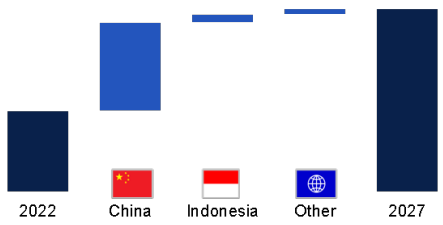
钴的需求正在多元化，超出中国，新的前驱体钴（pCAM）项目正在进行，但主要集中在印度尼西亚等低风险和低成本国家

Very little supply outside the Chinese-controlled DRC-Indo-China triumvirate

Additional mine supply, kt Co



Additional refined supply, kt Co



供应增长导致的大量过剩：

几乎所有钴都是作为镍或铜的副产品开采的。 因此，矿工们并不因钴价低迷而退缩，只要镍和铜市场仍具激励，他们将继续生产。减产远不足以平衡市场。

钴正在被节约和替代：

向无钴LFP的转变以及NMC正极材料的改进正在大幅抑制电池对钴的需求——五年来，钴的平均强度下降了三分之二。

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

锰在电池中即将迎来巨大的需求增长

中国主导高纯度锰加工，并生产最便宜的产品[1]



用于制造
锂离子和钠离子电池的锰化学品[2]:

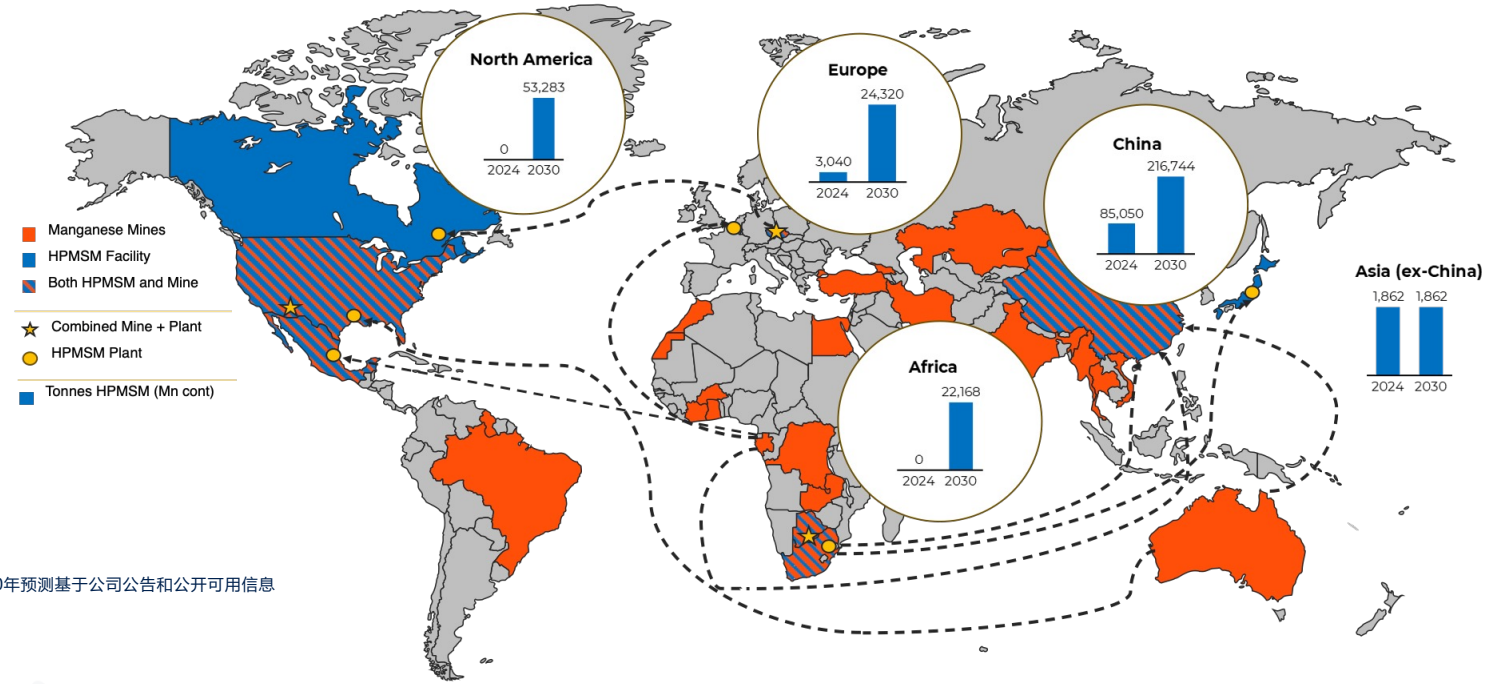
硫酸锰
- 用于NMC、NMCA、LMFP、未来的LNMO和LMR

碳酸锰
- 用于LMFP和层状氧化钠离子

四氧化锰
- 用于LMFP和层状氧化钠离子

来源：[1] 锰金属公司, [2] CRU集团（杰出合作伙伴）

锰矿集中在亚洲（中国及中国以外地区）2024年

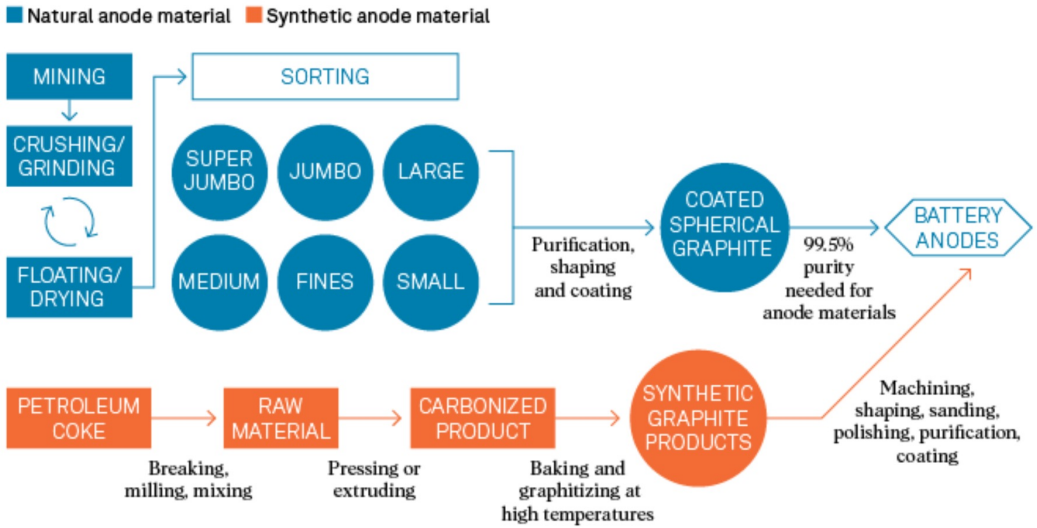


2030年预测基于公司公告和公开可用信息

来源：内容与分析由Benchmark Minerals Intelligence（杰出合作伙伴）提供。如需了解更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/manganese。

石墨 101

天然石墨是从地球上开采的合成石墨源自石油焦



超过85%的电池使用合成石墨

天然石墨（历史上）生产成本更低，且碳排放强度远低于合成石墨。

合成石墨因其高纯度和可预测的性能而受到青睐，具有快速充电和长循环寿命的优点。

合成石墨工厂的交货时间远短于天然石墨矿。

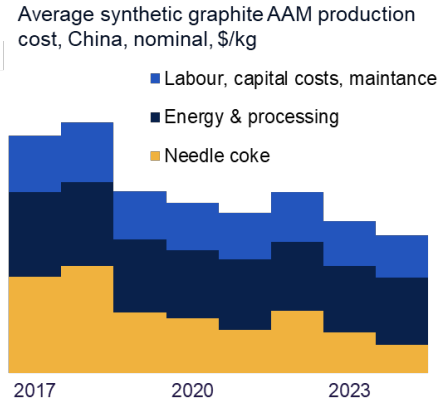
合成石墨已巩固其市场份额，但有时会与少量天然石墨混合使用。

中国控制着85-96%的生产，具体取决于所讨论的产品。

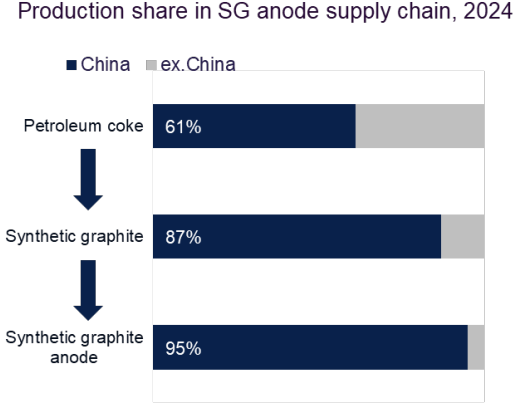
来源：S&P/电池材料评论

合成石墨成本显著下降

Abundant feedstock and low energy prices keep Chinese costs low



…but geopolitics and higher costs ex.China pose a risk to supply & prices



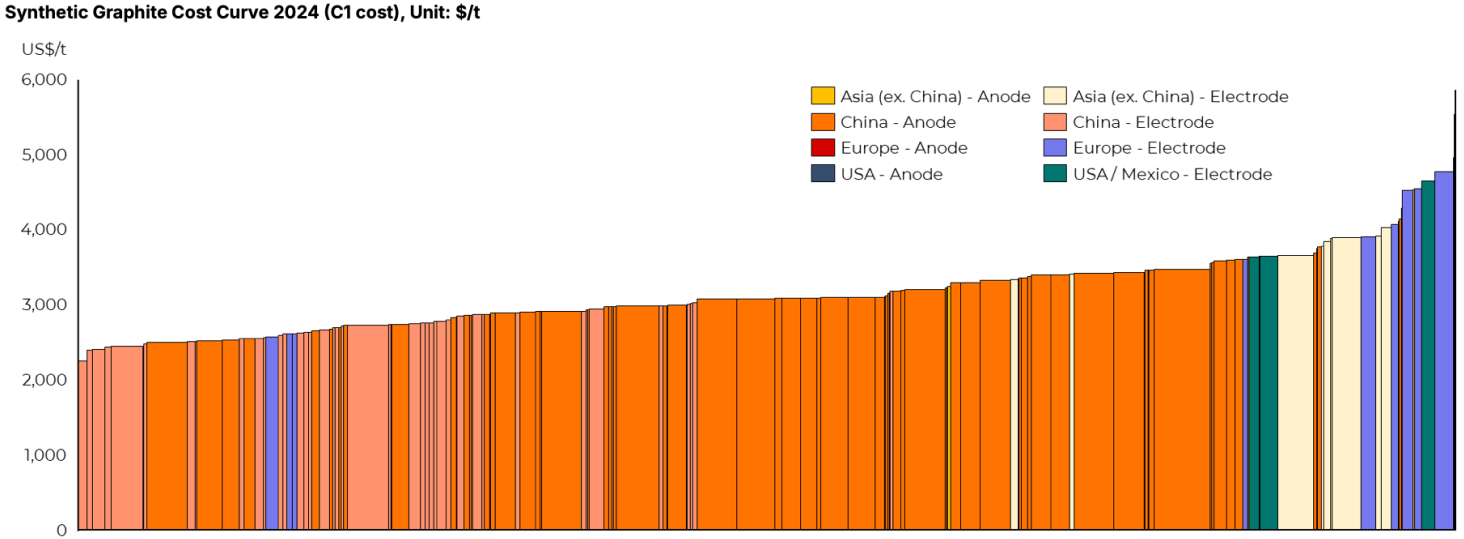
合成石墨负极材料的生产和采购成本近期显著下降

- 基础成本受电力和针状焦价格驱动，因为SG生产是一个能源和石油密集型的过程。
- 中国长期以来在石油焦和石墨负极方面存在大量的产能过剩。
- 与电池管理系统市场类似，中国的AAM处于产能过剩和激烈的价格竞争状态，而生产商目前在中国以外的地区能够要求更高的价格。
- 对中国以外价格的主要上行风险是如果中国完全禁止出口或在其他地方施加惩罚性关税。
- 中国以外的生产正在向印度尼西亚、摩洛哥以及美国和欧洲的有限地区集中，其基础成本可以达到与中国相似的水平。

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。 AAM = 负极活性材料。未显示价格差。

高成本是中国以外合成石墨生产的主要障碍

中国的生产成本低于世界其他地区，主要是由于廉价能源和丰富的原材料。



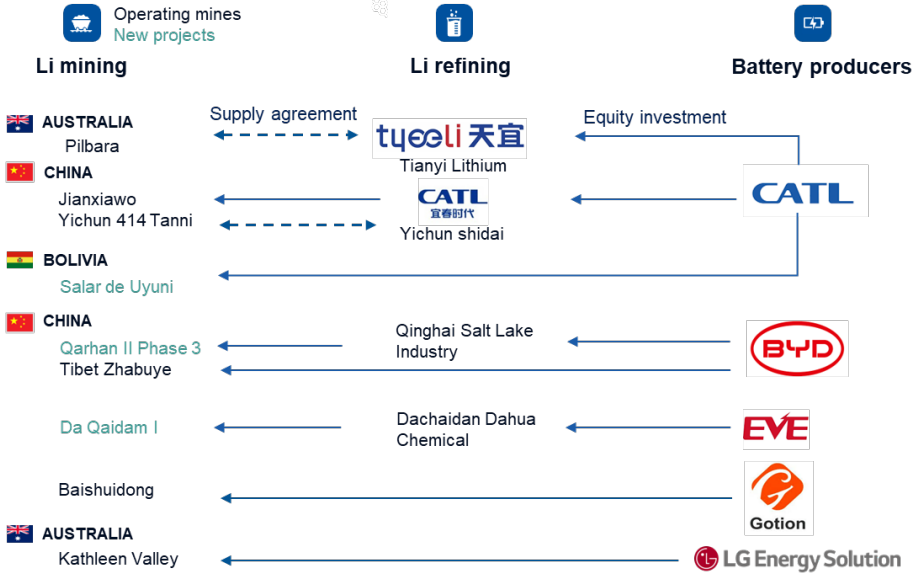
备注：

- C1成本包括原材料、加工成本、管理费用、能源成本、劳动成本、物流成本及其他成本（如有）
- 在成本曲线上，不同的操作会生产出不同类型的负极材料和电极，质量和碳含量各异，因此出售的所有材料不会获得相同的价格。

来源：内容与分析由Benchmark Minerals Intelligence（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/synthetic-graphite。

领先的电池制造商对材料价格的影响力增强

示例：电池制造商参与锂的上游供应



来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

电池制造商进行垂直整合，而中游则被沦为中间商

为了减少价格波动对成本的影响，并获得额外的竞争优势，电池生产商通过收购锂、镍和钴资源及精炼厂的股权，加快了其垂直整合策略。

这一趋势有几个影响：

- 更多的矿产原料从开放市场中移除并转移到内部，这使得电池制造商能够控制成本并确保供应。
- 制造商对现货市场的依赖减少，使得现货价格的代表性降低。
- 正极生产商越来越多地被 relegated 到一个收费角色，利润率由电池制造商设定。

供应链中的影响力可能会随着时间的推移而变化，这取决于供应的可用性与需求的紧张程度。

下游制造商在2024年继续直接采购供应

2024年达成的主要供应协议

锂

- SQM — HYUNDAI
- Pilbara Minerals — LG Energy Solution
- Pilbara Minerals — posco — SK
- ALBEMARLE — BMW

正极

- EcoPro — HYUNDAI
- EcoPro — TESLA
- LG Chem — TESLA
- L&F Material Co., Ltd. — SK
- LBM — LG Energy Solution
- LBM — Ford

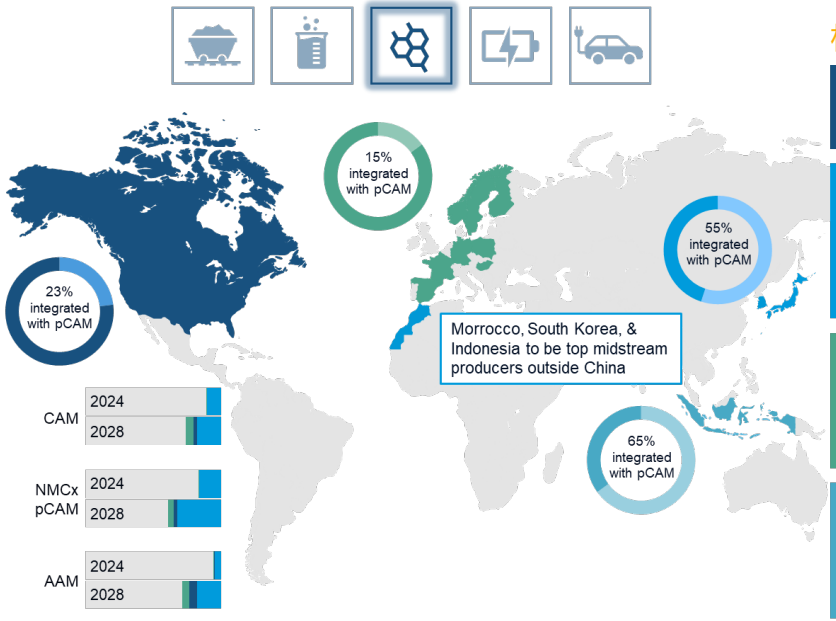
负极

- BTR — Ford
- AMG — gm
- AMG — Panasonic

来源：公司公告

VOLTA FOUNDATION

p/CAM供应的多样化正在逐渐改变区域电池材料消费



机会

North America:
- Close to end-use market
- IRA production tax credit

US-FTA countries:
- Politically close to the US
- Meets requirements for IRA EV tax credit
- Morocco is close to phosphate resources

Europe:
- Close to end-use market
- Saving efforts to trace carbon emissions for Battery Passport
- EU Rules of Origin regulations

Indonesia & Others:
- Close to mineral resources
- Lower labor and energy costs
- More straightforward environmental permitting

风险

- Policy uncertainties
- High labor, material costs + capex
- Insufficient skilled labor (North America)
- Mining industry less willing to move into midstream
- Strict environmental permitting
- High labor and energy cost in some countries
- Bureaucratic delays
- Scrutiny on Chinese ownership by US/EU
- Long distance to EU/US markets + tariffs

- 前驱体和正极材料的生产——精炼电池化学品的第一个消费点——正逐渐扩展到中国以外
- 亚洲生产商正在调整他们的策略，以捕捉海外市场，在这些市场中他们可以获得更高的利润
- 欧洲和北美的贸易政策也旨在激励中国以外的供应
- 中国以外的更高成本和投资风险正在阻碍更深层次的海外投资
- 因此，供应集群正在形成于被视为低成本、低风险国家如韩国、摩洛哥和印度尼西亚，以供应主要市场

来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。 仅显示主要计划的pCAM/CAM/AAM基地。 ‘集成pCAM’包括前驱体铁磷酸盐和三元前驱体。

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造
应用
- 电动汽车（EV）
- 电池储能系统（BESS）
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学体系

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

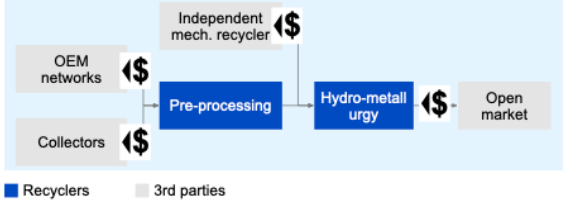
VF | VOLTA FOUNDATION

回收商谨慎考虑其商业模式，以应对长期挑战

当前北美和欧盟回收市场采用“买卖”模式 - 中国市场以更多封闭循环合作伙伴关系为特征

Open – "Buy & sell"

- **Recyclers buy batteries** or get even get paid to take batteries (esp. for LFP) from OEM networks and/or independent collectors
- Some recyclers buy additional black mass from independent shredders
- Recyclers **sell recycled materials/metals** in open market (e.g., to refiners or P-CAM/CAM producers)
- Exposure of recyclers to fluctuating raw materials prices



Closed – "Recycling-as-a-Service (RaaS)"

- **Recyclers become service providers** and charge cell manufacturers or OEMs a **fee to recycle the material**
  - Cell manufacturers or OEMs own the inputs (scrap, EoL batteries) and outputs (recycled materials) of the recycling process
  - RaaS is usually applied in closed loop partnerships
- While RaaS has already been introduced in China, it is not yet widely adopted in EU and NA as it requires:
  - Large capacity installations (esp. for hydrometallurgy)
  - Steady stream of sufficient volumes to ensure asset utilization
  - Established closed loop partnerships & reverse logistic networks

"The service business model works in China, but it has not been widely introduced into Europe & North America – Likely to be adopted more by the end of the decade"

短期内，纯回收商的利润率受到低原材料价格的压力。

在封闭循环/收费安排中运营的公司更能抵御当前市场动态的影响。

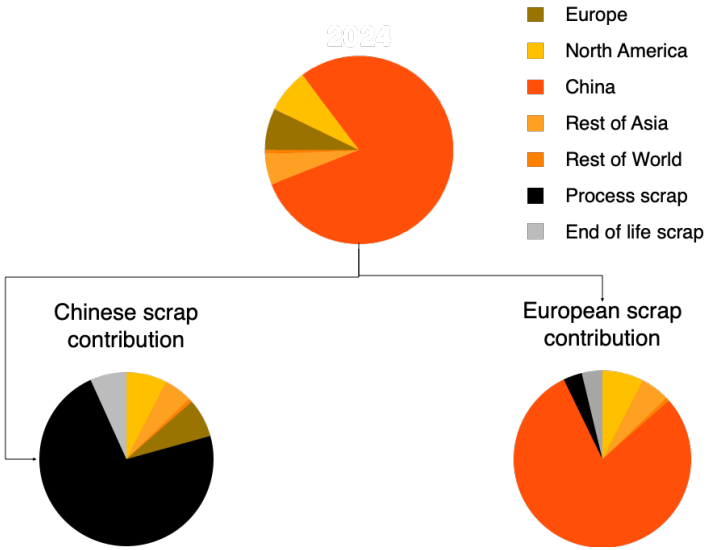
从长远来看，随着报废电池的数量超过制造废料，公司将希望抓住‘开放买卖’模式的机会。

为了增加附加值和改善利润，黑质精炼商正在垂直整合，涵盖收集、粉碎/黑质生产以及前驱体正极生产（pCAM）。

来源：内容与分析由Roland Berger（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.rolandberger.com/en/Insights/Global-Topics/Battery/。

过程废料的可用性目前超过生命周期结束的废料

2024年中国和欧洲联合废料池与总区域废料分布的对比



中国废料在2024年占全球回收废料的80%以上。 绝大多数是**工艺（制造）废料。**

中国已扩大其电池制造能力，以跟上全球电池需求，导致工艺废料成为其区域废料池的主要贡献者。

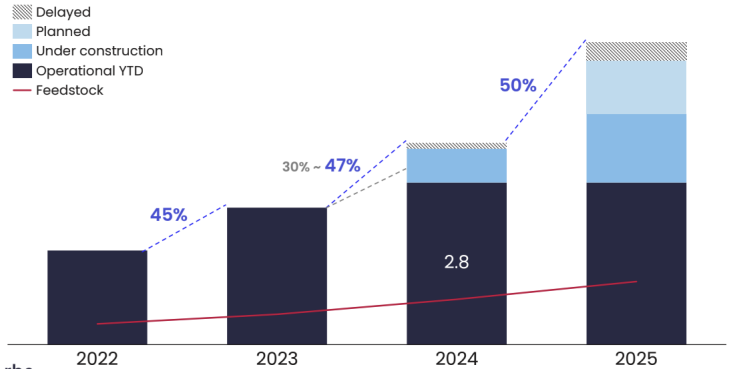
随着世界其他地区加速电气化，但仍在建立区域制造能力，尽管报废量相对较小，生命周期结束的废料仍然主导了过程废料。

来源：内容与分析由Benchmark Minerals Intelligence（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/recycling。

2024年回收预处理能力增长放缓

预处理超过黑质精炼能力

按工厂状态划分的全球年预处理能力，单位：百万吨

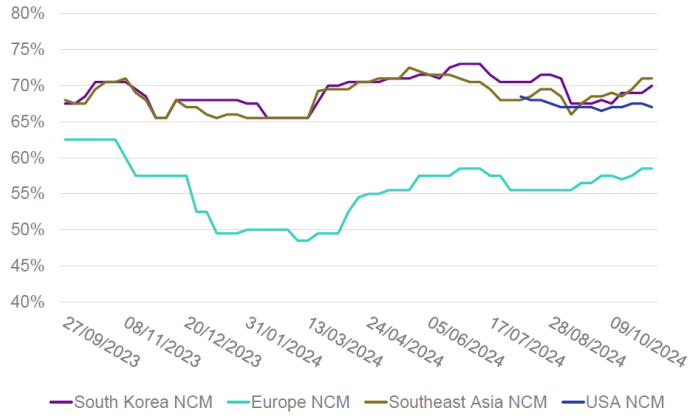


77% China's share in TYD 2024

9% Europe's share in TYD 2024

全球存在两个黑质市场：欧洲和其他地区

不同地区的NCM应付价格，应付百分比



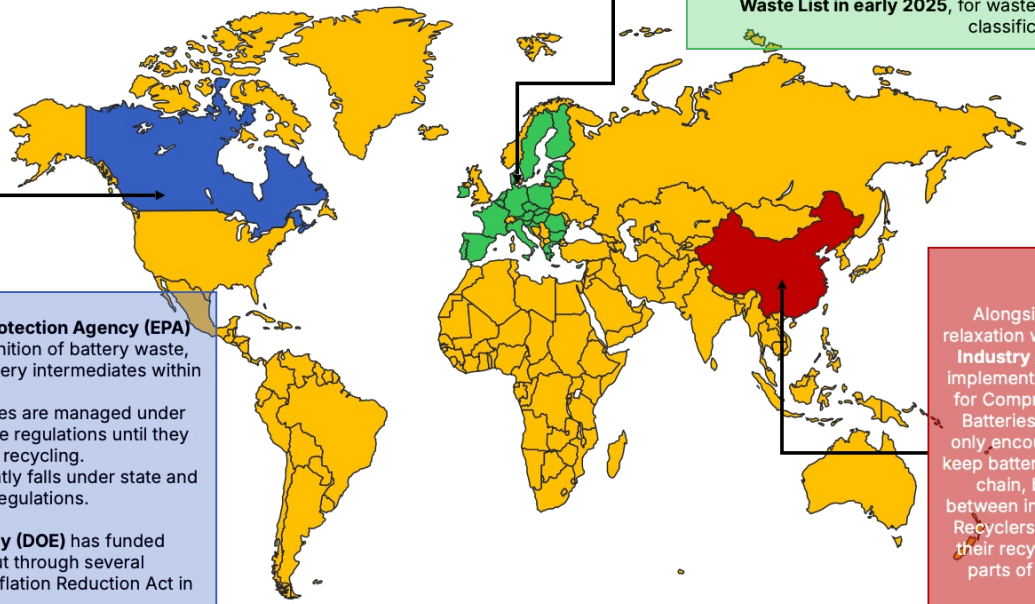
来源：Rho Motion（杰出合作伙伴），Fastmarkets

VOLTA FOUNDATION

全球范围内的回收立法

Within the EU, the **critical raw materials act (CRMA)** and the **EU battery regulation** have been implemented, outlining critical mineral recycling rates, recovery targets in the near- to mid-term.

The European Union (EU) is expected to **disclose its updated European Waste List in early 2025**, for waste battery and battery intermediate classification.



- The **US Environmental Protection Agency (EPA)** is responsible for the definition of battery waste, black mass and other battery intermediates within the US. Currently:
  - Lithium ion batteries are managed under the universal waste regulations until they reach a facility for recycling.
  - Black mass currently falls under state and local solid waste regulations.
- The **Department of Energy (DOE)** has funded recycling capacity buildout through several initiatives as part of the Inflation Reduction Act in recent years.

Alongside the planned black mass import relaxation within China, **The Chinese Ministry of Industry and Information Technology (MIIT)** implemented the "Industry Standard Conditions for Comprehensive Utilisation of Waste Power Batteries for New Energy Vehicles". This not only encourages reliable recycling practices to keep battery materials within the Chinese supply chain, but also encourages collaboration between industries to meet these requirements. Recyclers are expected to continually develop their recycling technologies/equipment for all parts of the battery and enhance recycling efficiency.

来源：内容与分析由Benchmark Minerals Intelligence（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/recycling。

VF | VOLTA FOUNDATION

欧盟回收内容要求对电池成本的影响可能微乎其微

Impact of recycled content and recycled premium on cell production cost, 2024, % $/kWh

EU Battery Regulation target

	2031	2036
Lithium	6%	12%
Nickel	6%	15%
Cobalt	16%	26%

Baseline price assumption

Lithium carbonate	$21.6 /kg
Lithium hydroxide	$24.1 /kg
Nickel sulphate	$5.6 /kg
Cobalt sulphate	$6.3 /kg

Recycled material premium

	LFP 2031	LFP 2036	NMC 811 2031	NMC 811 2036
-10%	-0.1%	-0.2%	-0.2%	-0.5%
-5%	0.0%	-0.1%	-0.1%	-0.3%
0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5%	0.0%	0.1%	0.1%	0.2%
10%	0.1%	0.2%	0.2%	0.5%
20%	0.2%	0.3%	0.4%	1.0%
30%	0.2%	0.5%	0.7%	1.5%
40%	0.3%	0.7%	0.9%	2.0%
50%	0.4%	0.8%	1.1%	2.4%

Likely premium range

欧盟电池法规要求未来在欧盟使用的电池必须含有最低限度的回收材料。

汽车制造商和电池制造商将**争抢回收材料**，如果这与可用原料的短缺相结合，二次材料可能会要求溢价。

然而，对整体电芯生产成本的影响可能微乎其微，对于磷酸铁锂（LFP）的影响小于镍钴锰（NMC），因为只有碳酸锂受到影响。

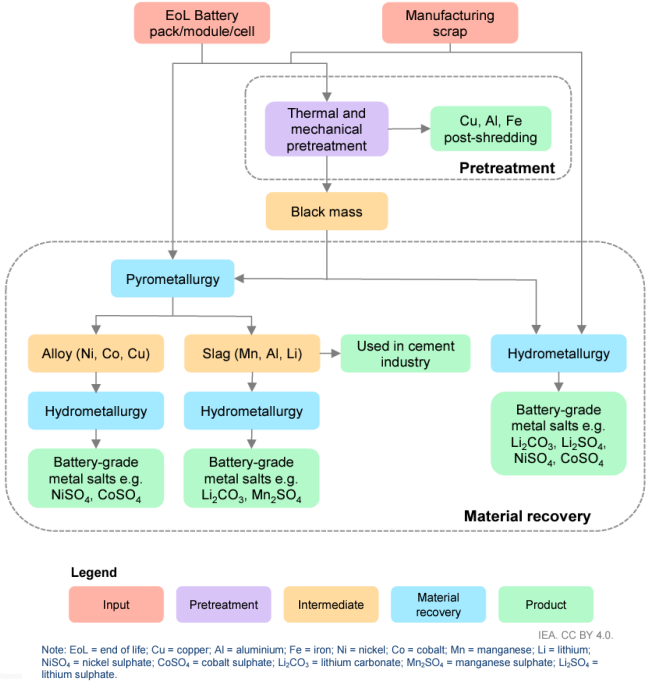
欧洲制造商特别关注回收磷酸铁锂（LFP）的经济性。考虑到组成材料的相对较低价值，这可能会阻碍该地区的黑质精炼商建立磷酸铁锂（LFP）回收能力并生产碳酸锂。

最可能的情况是法规迫使磷酸铁锂（LFP） 回收进行，而将负担转嫁给下游制造商。 然而，即使在‘收费’的情况下，**使用磷酸铁锂（LFP）的整体生命周期成本仍显著低于NMC。**

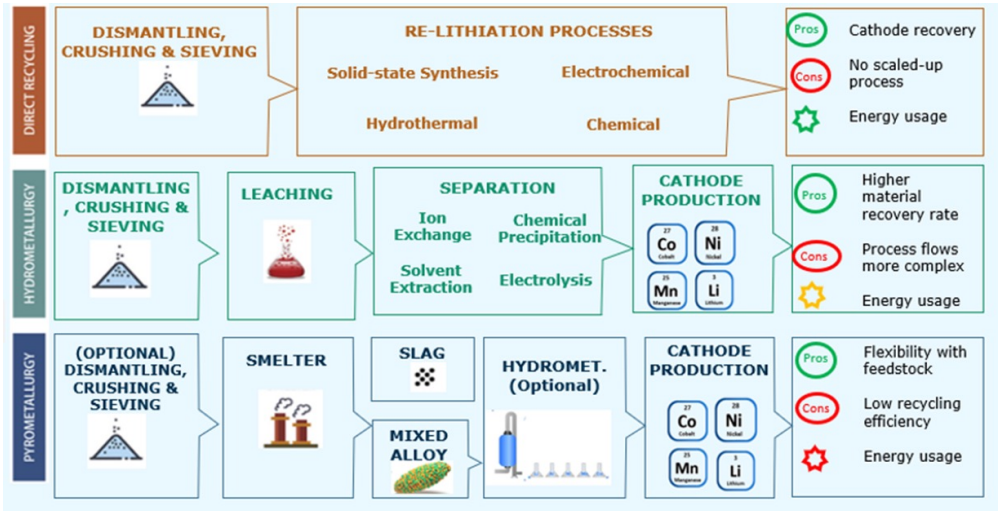
来源：内容和分析由CRU集团（杰出合作伙伴）提供。如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

VF | VOLTA FOUNDATION

回收过程 - 全球95%的产能使用湿法或其变体



热处理法：更成熟且对原料更灵活，但但碳排放强度较高
湿法：材料回收率更高，但工艺流程更复杂
无论是热处理法还是水热法都有环境问题，处理要求可能成本高昂

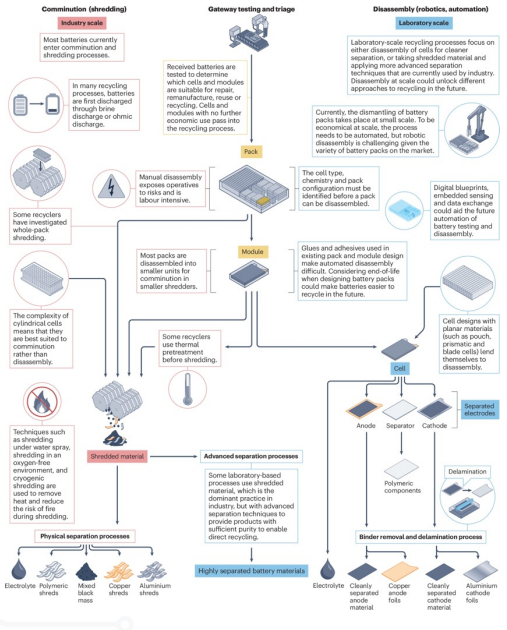


来源：IEA，Malene Fumany

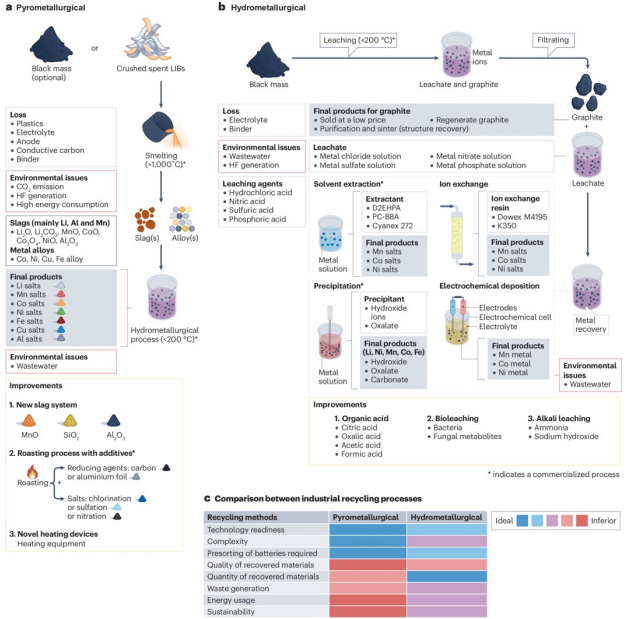
VF | VOLTA FOUNDATION

回收过程正在演变，以提高回收率并降低成本

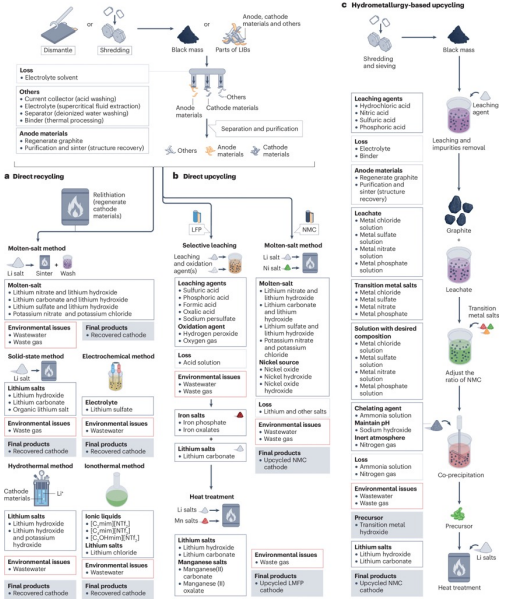
预处理过程



工业回收过程



开发回收过程

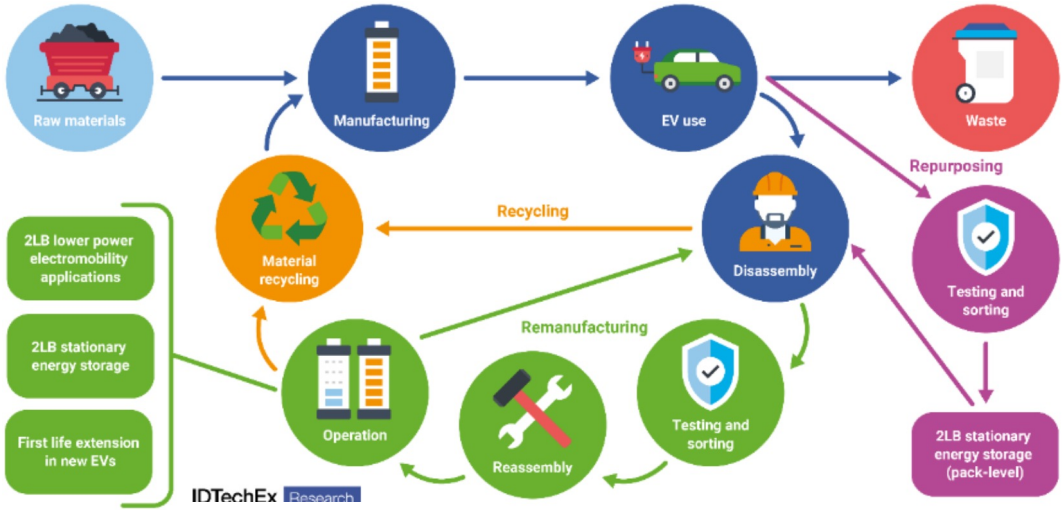


来源：Ma, X., Meng, Z., Bellonia, M.V. 等. 锂离子电池回收的演变. 《自然》期刊

VF | VOLTA FOUNDATION

二次生命电池 - 概述

- 二次生命电池包括电池单体、模块和电池包，当它们接近使用寿命时，会被重新用于功率要求较低的应用场景。
- 电池的使用寿命通常在70-80%的健康状态（SoH）时被认为结束。 超过这个值，性能退化加速，这样的电池只能在较低的C速率下有效使用，例如在住宅储能系统中
- 一些二次生命电池会回到电动车（EV）中，如果一个同样老化的电池组需要更换其中的某个电芯/模块。 这个操作被称为再制造



来源：IDTechEx

二次生命电池 - 当前应用

- 一般来说，任何使用新电池的产品也适合使用二次生命电池。
- 最常见的应用场景是当新的锂离子电池可能过于昂贵，或者低需求量使得潜在买家无法从传统供应商处购买电池。
- 二次生命电池对于具有环境、社会和治理（ESG）要求的项目也很有吸引力
- 到目前为止，二手电池已经找到了它们在各种细分应用领域中的位置，例如离网电源银行和轮式能源存储系统，甚至更传统的产品，如公用事业规模的BESS阵列。



1 – 5 kWh



10 – 30 kWh



>1000 kWh

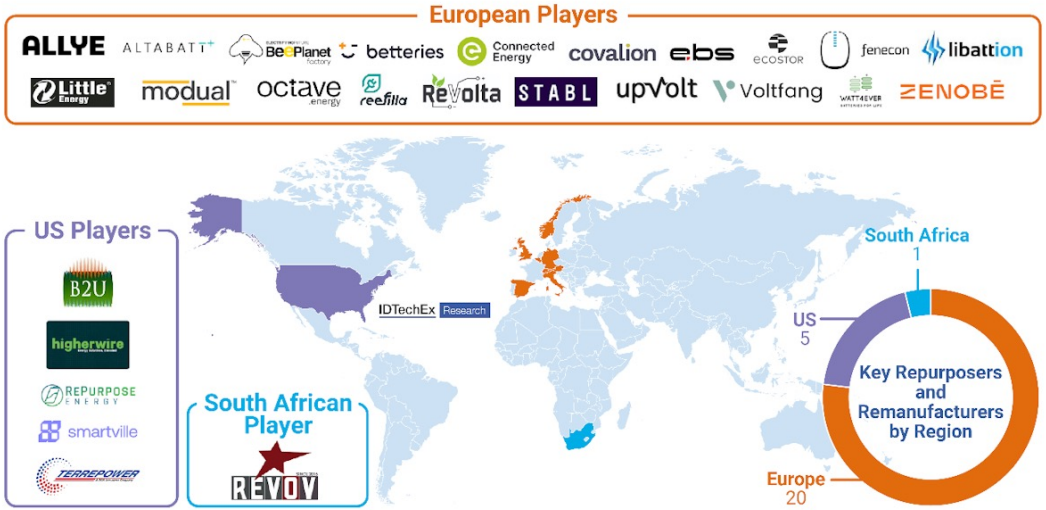
来源：E-Energy，Reefilla，B2U

电池再利用 - 一个面临激烈竞争的新兴行业

上游竞争来自不断涌现中国的更便宜新电池

下游竞争来自电池回收公司，这些公司争相为其工厂寻找原料

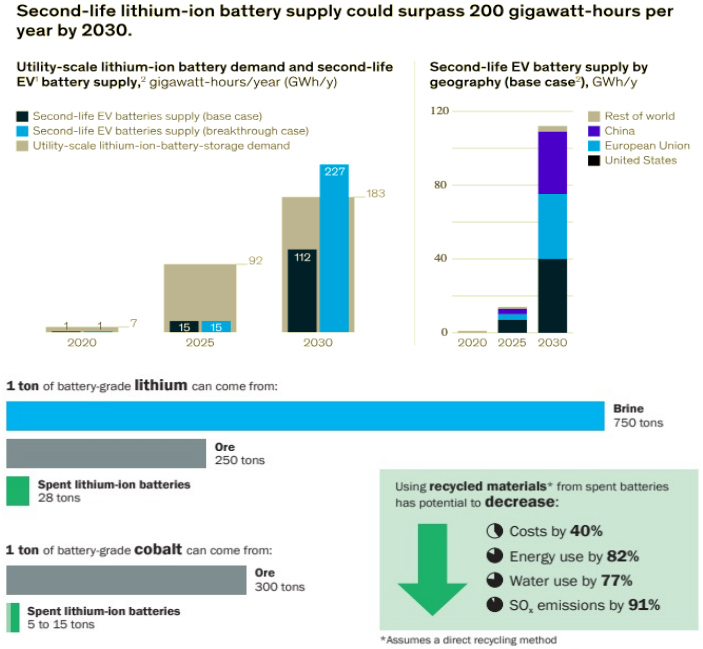
该行业主要在欧洲发展，欧洲的电池法规通过第73条中列出的条款使合法的电池再利用成为可能



来源：IDTechEx

再利用和回收显著减少CO_2排放并节省成本

- 今天的电池回收技术可以回收80%-95%的关键矿物。
- 使用回收正极材料的车辆电池制造成本可以降低5-30%。
- 将报废的电动汽车电池重新用于BESS可以使生产成本降低约40%，并且与全新BESS相比，可将其排放足迹减少约50%。
- 二次利用的电动汽车电池可以持续超过5年，具体取决于其健康状态和第二利用的应用（使用场景）。
- 二次利用BESS避免的排放是在制造过程中实现的，但往返效率较低。
- 二次利用电池市场预计到2031年将达到$28.17B，2024年为基年，年均增长率为43.9%。



来源：美国能源部（图形），世界经济论坛，麦肯锡公司（图形），陈等，电动车杂志，Systemiq，电池通行证联盟，ReCell中心，国际能源署

VF | VOLTA FOUNDATION

标准化缺乏导致电池拆解的复杂性

- 不同电动车电池包架构的广泛分布导致在统一电池拆解策略方面的复杂性
- 更复杂或繁琐的拆解过程会产生额外成本
- 即使在相似的电池架构中，如何安全处理不同老化程度的电池包也可能存在差异
- 拆解电池的低数量使得这一过程至今主要依赖人工
- 然而，多个欧洲项目已经开始研究自动化电池拆解，例如CarE-Service，DemoRec和DemoBat
- 图像识别软件、机器学习和人工智能的使用被认为是最大化自动化电池拆解系统能力的关键



来源：亚琛工业大学

关于如何获取二次利用电池的整合正在发生

- 使用过的电池可以来自多个来源：使用过的电动汽车、测试车辆电池、废料场、过剩库存、挣扎中的原始设备制造商
- 管理如此多样化的来源以及不同电池架构的复杂性，只有通过细致的产品文档、性能测试和验证以及物流专业知识才能解决
- 许多公司已经开始应对处理这种复杂性，优化整个采购体验，但其中许多公司未能活到2025年
- BatteReverse项目跟踪所有在更广泛的欧盟内的二次利用电池利益相关者情况，目前仅列出了四个市场，分别是Circunomics（德国）、Cling Systems（瑞典）、GBD（挪威）和Second Life EV Batteries（英国）
- 一些再利用者直接从原始设备制造商（OEM）采购电池，尽管这会产生供应商锁定问题



来源：BatteReverse

1 行业

重要事件
行业价值链
金融
成本
电芯与电池包制造
应用
- 电动汽车（EV）
- 电池储能系统（BESS）
- 其他

安全
法律
化学体系
- 正极
- 负极
- 电解质与隔膜
- 固态
- 锂-硫
- 非锂化学体系

供应链与原材料
回收与再利用
软件

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

软件参与者概述

电池循环与材料研发数据解决方案

VOLTAIQ
Byterat
Polaron
MONOLITH
BATALYSE
MATERIALS R&D CLOUD
astrolabe analytics
NOBLEAI
AIONICS
Wildcat Discovery Technologies
ENERGSOFT
CITRINE INFORMATICS

多尺度电池建模

COMSOL
GT AutoLion
ABOUT:ENERGY
Ansys
Chemix
BATEMO
PyBaMM
ELECTRODER
HEXAGON
SIEMENS
ionworks

制造过程控制

BECKHOFF
Rockwell Automation
camLine
Honeywell
ABB
Palantir
INFICON
Ignition
LEAD
SIEMENS
PDF/SOLUTIONS
SICK
Schneider Electric

制造分析

PDF/SOLUTIONS
VOLTAIQ
AmpLabs
HEXAGON
SIEMENS
APPLIED MATERIALS
E7
eyelit 7
ACCURE

电池质量与检测

PDF/SOLUTIONS
KEYENCE
Nikon
lumafield
EXACOM
Waygate Technologies
TITAN
excillum
liminal
ISRA VISION
GLIMPSE

电池管理系统软件

Brill Power
BattGenie.
elysia
eatron
BREATHE
ELECTRA VEHICLES

能源管理系统

INDIE
FRACTAL EMS
FLEXGEN
POWIN
FLUENCE

电池智能/现场分析

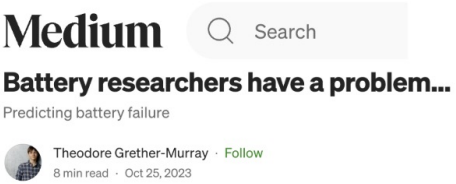
TWAICE
novo
Coulomb AI
zitara
eatron
MICANTIS
elysia
ACCURE
volytica diagnostics
Brill Power
ELECTRA
PowerUp

ESS数据、优化与部署

TYBA
Gridmatic
Equilibrium Energy
enspirec
Entrix
arenko
enertel.ai
Powerline
HABITAT
keeling labs
AURORA
Ascend Analytics
AmpLabs
modo
infyos
terralayr
Storlytics
Cellect

VF | VOLTA FOUNDATION

电池分析所涉及的组织、清洗和准备电池数据需要大量时间和精力



来源：
来自Electra Vehicles、Ionworks、Form Energy的高管

“**缺乏可访问的数据**是第一大问题。”

“没有[好的数据]，你无法建立好的模型。 自己获取[好的数据]非常困难且成本高昂。”

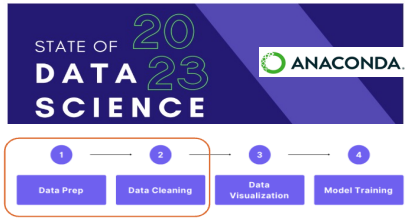
“我们绝对想要对这个进行建模，但你无法在没有……收集所有数据的情况下验证你的模型。”



调研范围：
165名负责美国和欧洲电动汽车电池测试、验证和开发的汽车行业决策者

57%的受访者认为解读复杂关系在庞大的多参数数据集中是电池验证的一个重大障碍。

61%的人估计通过利用标准化数据集的AI驱动电池特性测试可以节省数月到数年的时间。



调查结果：数据准备和清理被报告为数据从业者最耗时的活动。
范围 = 1,071名受访者

BIGDATAWIRE

调查发现，数据准备仍然占据数据科学家的时间
——亚历克斯·伍迪

根据Anaconda对数据科学家的调查，数据科学家大约花费45%的时间在数据准备任务上，包括加载和清理数据。

来源：Medium: Battery Researchers have a problem... , Forrester: AI for Battery Validation / Doc, Anaconda: State of Data Report 2023 / Doc, Big Data Wire: Data Prep Still Dominates Data Scientists' Time, Survey Finds

VF | VOLTA FOUNDATION

标准 – 各地电池实验室旨在建立电池数据的行业标准，促进在电池科学中使用开源基于物理的和AI模型

请支持公共中文标准库建设

2021

电池档案

推出第一个公共数据存储库，以标准化方式可视化、分析和基准测试电池数据。

2022

电池数据本体

BattInfo建立了一个电池及电池材料属性的本体，促进了元数据的标准化

2023

电池数据基因组

阿贡国家实验室发布行动号召，建立电池科学社区统一的数据采集和共享实践。

电池参数交换

法拉第研究所推出BPX标准，以标准化基于物理模型参数的报告和测量。

2024+

电池数据格式 (BDF)

电池数据联盟**, 一个Linux基金会项目，推出电池数据格式 - 一种新的电池循环数据格式标准

* FORRESTER® **AI For EV Battery Validation**
行业研究 - 2024年5月
基础: 165名负责美国和欧洲电动汽车电池测试、验证和开发的汽车行业决策者

“超过一半（57%）的受访者指出，解读庞大多参数数据集中的复杂关系[对于AI驱动的电池验证]是一个显著障碍。” 大多数（61%）估计从利用标准化数据集的AI驱动电池特性测试中节省了数月到数年的时间。

来源：Forrester: AI for Battery Validation / Doc , ** Battery Data Alliance/Linux Foundation

VF | VOLTA FOUNDATION

软件在电池制造中的重要性 - 数字化是提升产量和质量的关键

提升电芯制造的产量非常复杂，常常导致高废料率、延误和质量问题。 早期废料率可达到**15–30%**，导致每天高达**€90万**的损失，针对一个**40 GWh工厂**，生产准备的延误平均为七个月，每天损失**€110万**。

这些挑战源于电池生产的复杂性，涉及多达140个相互关联的步骤、严格的质量要求和有限的行业标准化。 解决这些难题需要先进的**数字工具和数据驱动策略**，以优化流程、减少浪费并加速生产稳定。

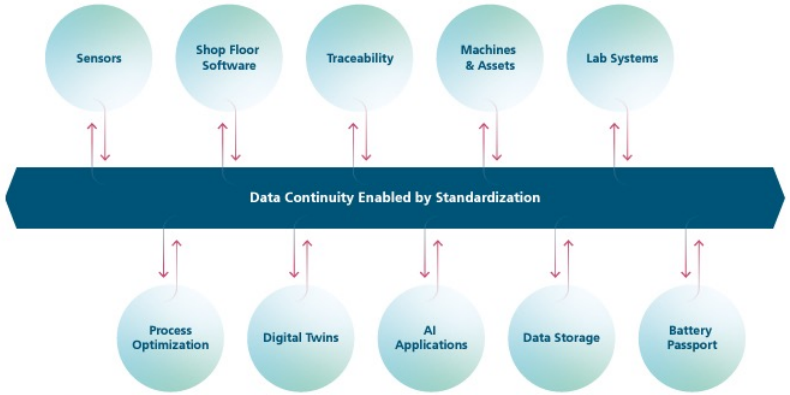


Figure 17 Example of different systems accessing data automatically using a standardized interface.

数字化在电池生产中的关键领域

数字追溯（从极片到电芯）
追踪极片和电芯在生产过程中的能力，允许有效监控、缺陷识别、根本原因分析和流程优化。 该领域是电池制造商迄今为止最大的陷阱之一。

根本原因分析与优化
强大的数据收集、存储和分析基础设施允许系统化的根本原因分析（RCA）。 这将帮助制造商理解工艺参数之间的相互依赖关系，及早发现生产中的错误，并优化电池质量。

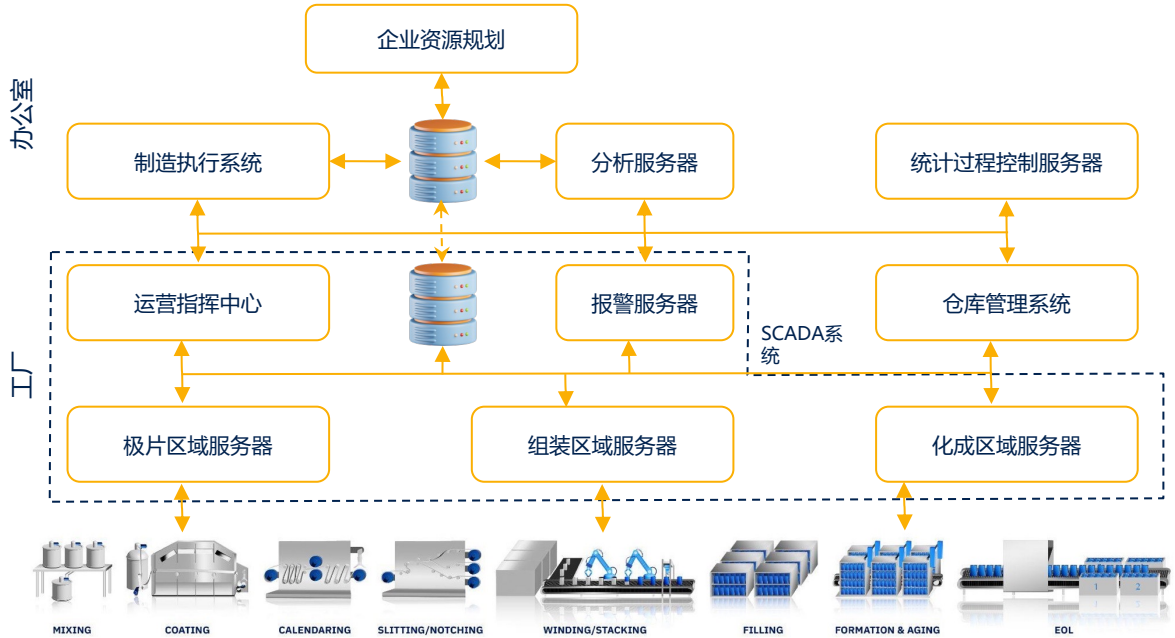
效率与学习率
软件通过集成与分析图像、传感器和其他数据，利用先进的数据分析和机器学习加速生产学习曲线，提供对工艺的洞察。

集成与标准化
模块化IT架构和标准化数据模型简化了机器集成，能够在各种生产系统、工具和生产线之间实现无缝通信。

来源：Mastering Ramp-up of Battery Production, Fraunhofer; Internal Expertise

VF | VOLTA FOUNDATION

典型制造数据基础设施



来源：PDF Solutions; Graph from Internal Experts

制造数据类型

一些核心示例：

物联网/故障检测
设备传感器数据收集

过程
计量、运行卡、材料、MES等。

图像
X射线图像、CCD图像、光学图像等。

测试
EOL：化成、老化、质量控制及其他

每种数据类型都是独特的，需要其自己的数据存储和特征化策略。例如，图像占用大量空间，可能需要独特的存储方法。

制造商必须在生产线上**安装所有正确的传感器、检查**和**测试系统**，以实现足够的数据**可追溯性**和**分析**

VOLTA FOUNDATION

数据存储选项 - 云、私有化部署或混合解决方案

电池制造产生巨大的数据量（每条生产线每天高达**2-7TB**），其中很大一部分来自用于电池和电极检查的关键图像数据。 此外，汽车客户通常要求他们的供应商提供10年跨度的的数据。

管理和存储如此庞大的数据量对于确保高效和可扩展的运营至关重要。

像半导体这样的先进行业已经认识到云的重要性，许多行业采用混合方法，以在安全性、可扩展性和成本**之间取得平衡。**

特征	本地	云
可扩展性	受基础设施限制	高度可扩展
成本	高前期和维护成本	按需付费，具有成本效益
数据共享	仅限本地访问	集中且全球可访问
安全性	高物理控制	通常具有更优越的加密和协议
灵活性	有限	高灵活性
部署	成熟但不够灵活	获得关注
复杂分析	更难扩展	支持AI/ML以获取高级洞察

分级数据存储方法
以管理大量数据

为了管理和存储大量数据，许多公司使用**分层数据存储**系统。 这种方法随着时间的推移，将不太关键的数据从高速的Tier 1级存储转移到更具成本效益的Tier 2级或直接云存储。

这种方法**降低成本，允许高效的长期数据归档**，并确保在需要进行分析或其他目的时无缝访问和重新归档。

来源： “Cloud Vs. On-Premise Analytics”，“What is tiered storage?”，“Automotive Optocouplers—Beyond Meeting the Electrical Performance at High Temperature”

VOLTA FOUNDATION

高级分析

“传感器的广泛部署[...]正在生成**海量数据。** 这些数据中的大部分是无用的，但其中也隐藏着模式，或者说部分模式，而这些模式往往不易察觉。[...] 这些数据可以作为**指导，帮助[...] 识别制造中的缺陷**，这些缺陷之前未被注意到。” (*Semiengineering, 2024*)

在大数据中，重点曾经是数据挖掘，但**下一次演变是高级数据分析**，应用人工智能对数据进行分析以发觉那些模式。 让我们探讨如何将其应用于电池制造。

通往高级数据分析的管道

数据收集

您需要收集所有这些以进行高级数据分析

物联网/故障检测
设备传感器数据收集

过程
计量、运行卡、材料、制造执行系统等。

图像
X射线图像、CCD图像、光学图像等。

测试
终端检测：化成、老化、质量控制及其他

数据湖

数据存储

数据特征化：
从原始信息中提取特征

数据对齐和协调：
将数据从极片对齐到堆叠极片再到组装电电芯

分析应用

许多电池问题在生产线末端或在成型/老化过程中被发现。
通过AI/ML数据分析产生的洞察使制造商能够更早识别问题，从而节省时间。

整体产量仪表板
通过产量趋势、关键参数和设备性能集中数据

缺陷管理系统（DMS）
将所有视觉检查连接到**中央系统**并沿着极片、堆叠极片和电芯**可视化缺陷**

预测质量偏差
利用AI/ML**及早识别问题**，在化成/老化之前

FDC**（故障检测与分类）** - 识别关键**控制指标**

过程控制 & 工具对工具匹配
确定**超出规格的工具**，匹配工具性能，& 识别工具问题的**根本原因**

预测性维护
最小化所有设备的停机时间，无论是旧设备还是新设备

先进过程控制
例如， 使用**工具信息和AI**，将厚电极通道引导到性能更高的卷绕机/堆叠机上进行

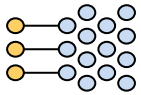
化成/老化分析
可从复杂的形成/老化数据中**提取关键参数**

VOLTA FOUNDATION

利用大型语言模型弥补技能差距

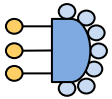
当前挑战：技能差距

熟练工程师、技术人员和工具操作员的短缺造成了瓶颈，少数专家被需求压得喘不过气来。



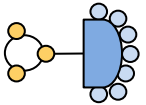
AI作为解决方案：

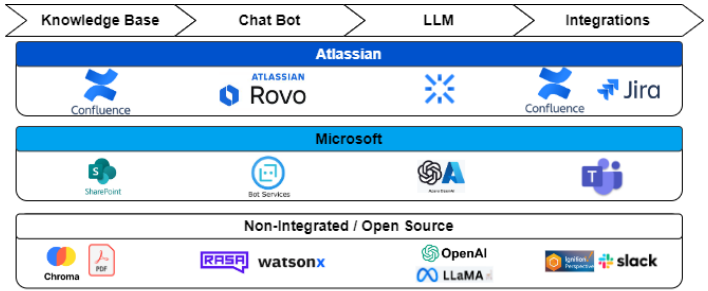
实施基于大语音模型的智能体可以加速企业专业度的调取，以高效地解决用户查询。



知识库增强：

专家可以将注意力从处理询问转向推动公司技术进步，并丰富知识库以实现持续改进。





来源：“How LLMs Are Transforming The Customer Support Industry”，“How Large Language models (LLM) help enterprises enhance customer experiences Alekya Jonnala Software Development Manager in Amazon”

VF | VOLTA FOUNDATION

构建工业AI管道以实现可靠性、可扩展性和成本效率

先进的AI为电池制造提供深刻见解，通过抛弃单一模态、单一任务的范式，转向多模态、多任务，并在海量数据上进行预训练[1]。 但高昂的硬件成本和员工培训阻碍了采用[2]。

目标：工厂基础模型

- 实时微缺陷图像分析
- 实时宏缺陷图像分析
- LLM指引的失控行动计划（OCAP）
- LLM增强的PM（预防性维护）
- 根本原因分析

我们需要什么来进行工厂部署？

可靠性：确保AI系统在工厂操作中在不同条件或工作负载下始终如预期般表现。

可扩展性/可用性：使AI系统能够处理不断增加的数据量或计算需求，并保证AI系统在关键工厂流程中随时可用。 [3]

异构计算：利用多样化的硬件（例如，CPU、GPU、FPGA）来优化不同类型和大小的模型性能。

模型的生命周期管理：加强模型和数据的可追溯性，以确保在快速的产品和过程创新面前保持适配性。

如何完成？ - 示例方法

人工智能套件

kafka

模型操作

kubernetes

边缘推理

人工智能训练

模型修剪

模型量化

边缘盒配置

来源： [1] Zhang, Large Scale Foundation Models for Intelligent Manufacturing Applications: A Survey, Zhang et al.; [2] "High Cost Hinders AI Adoption Among IT Clients", Consultia; [3] Edge AI: A Taxonomy, Systematic Review and Future Directions, Jill et al.

VF | VOLTA FOUNDATION

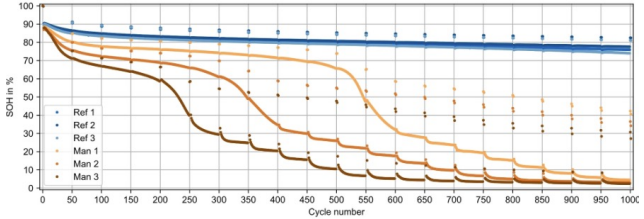
极片到电芯的可追溯性 - 挑战与方法

上游波动，如面密度不一致，可能影响电池循环稳定性。 然而，批量浆料混合和卷对卷电极片制造的波动在下游电芯组装过程中难以追踪。

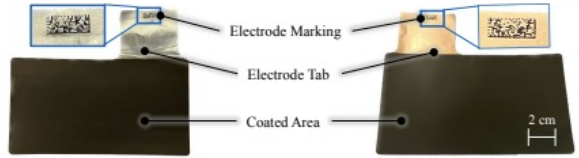
当前方法： **采用**批次级（例如总浆料粘度、成分）和卷对卷级（例如平均质量负载、厚度）的聚合质量指标，并将其关联到子电芯。然而局部可追溯性是缺失的。

正在开发： 周期性数据矩阵代码（DMCs），激光标记在电极箔材上，用于编码局部质量指标，可以在电芯组装过程中同步解析。 这提高了从卷基到单个电芯的面密度和N/P比的可追溯性的分辨率。

循环不稳定可能是由于局部不合格的面密度和N/P比造成的



每个单位极片上的DMC携带局部面密度数据



浆料混合
批量处理

电极制造
卷对卷工艺

电池组装
单元流程



来源：Chemistry Europe, Advanced Science News, Mastering Ramp-up of Battery Production

VOLTA FOUNDATION

质量控制解决方案

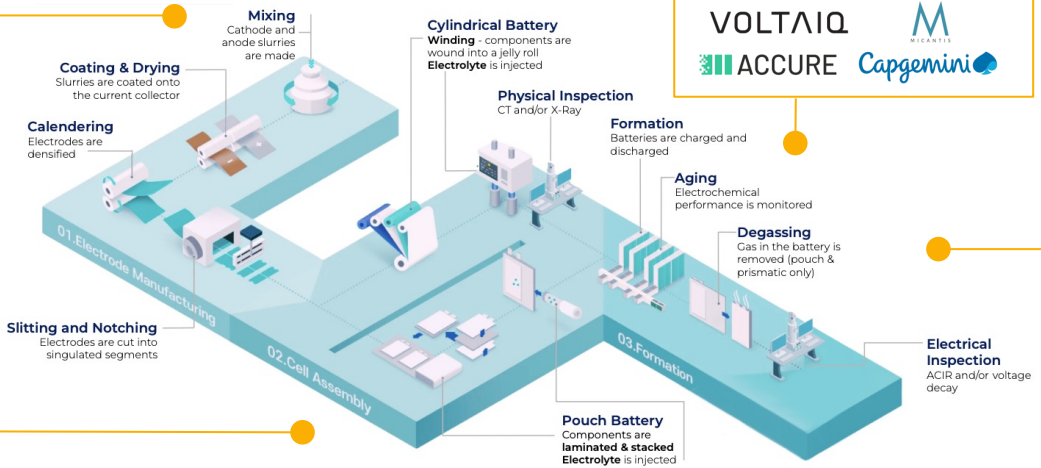
质量控制在电池制造中至关重要，因为像宁德时代这样的公司旨在实现如**每十亿分之一（PPB）**的缺陷率等雄心勃勃的标准。 实现这一目标具有挑战性，因为电池的不可预测性，使得在生产的每个阶段发现问题变得至关重要，以避免昂贵的召回和保修支出。

来料质量控制和在线表征，使用化学分析工具、显微镜、成像工具等。

ThermoFisher SCIENTIFIC, PerkinElmer, PDF SOLUTIONS, TESCAN, KEYENCE, TA Instruments, ZEISS, SirenOpt, METTLER TOLEDO

在线制造质量控制工具，监控和调节设备，同时跟踪机器参数，以确保一致的生产标准。

SIEMENS, Honeywell, Rockwell Automation, Schneider Electric, PDF SOLUTIONS, Ignition, SICK Sensor Intelligence., Palantir



基于数据的质量控制，从形成数据分析充放电信号中的缺陷。

VOLTAIQ, MICANTIS, ACCURE, Capgemini

生产线EOL和分级设备用于根据测试数据分析性能和质量。

KEYSIGHT TECHNOLOGIES, NOVONIX, NEWARE, Arbin INSTRUMENTS, HIOKI

使用CT扫描、超声波、X射线和光学扫描等技术进行生产线末端电池组装检查，以确保结构完整性和质量合规性。

Waygate Technologies, GLIMPSE, EXACOM a viscom company, lumafield, ISRA VISION, Nikon, TITAN ADVANCED ENERGY SOLUTIONS, excillum, liminal

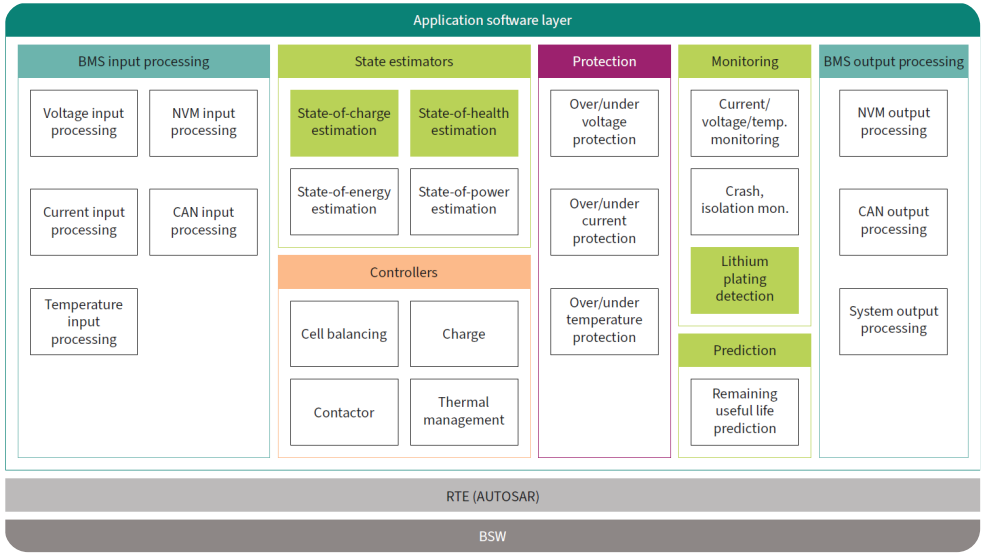
来源：LG Energy, different providers listed above

电池管理系统 - 概述

现代电池管理系统（BMS）必须满足比以往更高的需求。

它们现在处理高级功能，如剩余使用寿命（RUL）预测、诊断和更快充电，同时也具有稳健性和准确性——即使对于LFP化学成分的电池也是如此（该类电池的准确监控难度更高）。 电池管理系统必须支持新兴电池化学成分，增强安全性，并遵守像电池护照这样的新法规。主要挑战包括启用无线解决方案（需要复杂的网络软件）、确保网络安全（如防篡改电池历史和电池护照合规的安全数据），以及支持空中下载（OTA）更新。 电池管理系统还必须适应电池更换场景，在这些场景中，它与不同的车辆和驾驶员接口，集成新的测量技术，如在运作中的电化学阻抗谱（EIS），并与领域和区域架构（例如，具有在电池外运行的软件的X-in-1系统）对齐。 云分析集成进一步增加了这种复杂性。

最后， **人工智能**正在通过提供以前无法实现的高安全性、多功能性和更短的产品上市周期的解决方案，彻底改变电池管理系统，推动创新新时代的到来。



现代电池管理系统软件架构概述 *(1)*

来源： (1) Exploring next-generation AI battery management systems with Infineon and Eatron technologies, In the New Era of Wireless Battery Management Systems (wBMS), Security Takes the Spotlight | Analog Devices, Driving the future: A comprehensive review of automotive battery management system technologies, and future trends - ScienceDirect, Software can unlock hidden potential in EV batteries

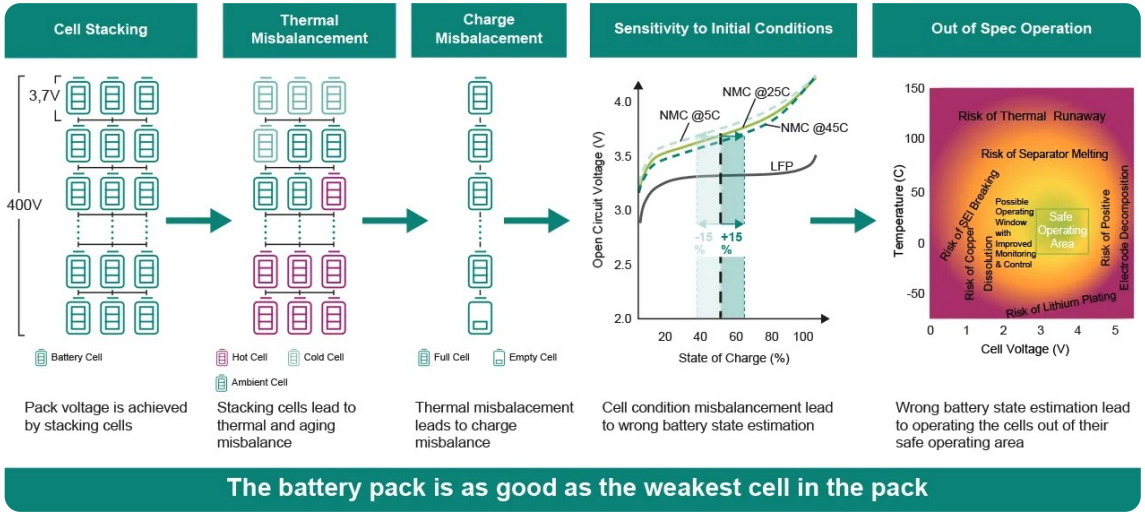
电池管理系统 - 估算

在边缘估算电池状态和寿命是一项具有挑战性的任务，特别是对于像LFP这样化学成分的电池。

准确的估算对每个电芯至关重要，因为**电池组的整体性能取决于其最弱的单元。**

历史上，对于不同正极体系，汽车、，可移动设备和储能应用的状态估算精度要求约为**3%（对NMC）**和**5%（对LFP）**的充电状态（SoC），以及**优于5%**的健康状态（SoH）。 然而，最近的期望要求在NMC和LFP等化学体系中，对于SoC和SoH的准确性**优于2%**。

满足这些严格要求推动了**先进物理模型**和数据驱动方法的采用，利用最新的 **AI** 实现前所未有的精度。



图形来源于 (1)

来源：（1）Accelerating eMobility with Automotive Grade AI for Batteries - EE Times，Exploring next-generation AI battery management systems with Infineon and Fatron technologies

VOLTA FOUNDATION

电池管理系统 - 诊断

由于云端和车载的计算能力提升，机器学习通过实时监测和预测，改变了诊断领域，这在传统算法中是无法实现的。

现在可以在电池管理系统中使用实时机器学习模型检测析锂、电池极耳破损和预测热失控风险。

现代硬件支持跨应用部署

英飞凌Aurix TC4与PPU加速器

- 实现了>95%的速度提升，适用于析锂检测和剩余使用寿命（RUL）预测等机器学习功能。

Syntiant边缘AI加速器

- 支持广泛的应用：消费电子、电动自行车、微型轻型商用车（LCVs）、具有低功耗机器学习加速能力的叉车。

链接云和嵌入式解决方案

边缘和云计算以提高准确性

- 链接生态系统方法**用于诊断、预测、健康状态（SOH）和剩余使用寿命（RUL）**
- 自适应电池管理系统（BMS）
- 利用在线和离线计算能力进行批量分析，提高准确性，减少误报和漏报

现实世界影响

软件更新替代更换

安全召回越来越多地通过诊断软件更新而不是完全更换电池来处理。

示例：保时捷Taycan召回

创新合作伙伴关系

LG能源解决方案（LGES）与高通

- LGES诊断软件部署在高通的车载SoC上。
- 利用高计算能力提高诊断和性能。

BMS - 辅助控制

热管理已经发展到能够实现更快的充电，预测性热管理正变得越来越普遍

历史上，热管理专注于保持电池在其最佳温度范围内。 然而，随着对更快直流充电的需求增加，现代热管理系统必须预测并管理在直流充电过程中产生的热量。

像特斯拉、保时捷、奥迪和现代这样的汽车制造商已经实施了预测性热管理，以实现快速充电。 这些系统通过冷却或加热来预调电池，确保电池在到达充电站时处于最佳温度。 通常，当驾驶员在导航系统上选择直流充电站时(1)，或基于导航路线、出发计时器和驾驶员的使用行为等因素(2)，系统会开始提前调整，

预调可以将充电时间缩短多达50%，正如右侧的特斯拉Model 3示例所示(3)。

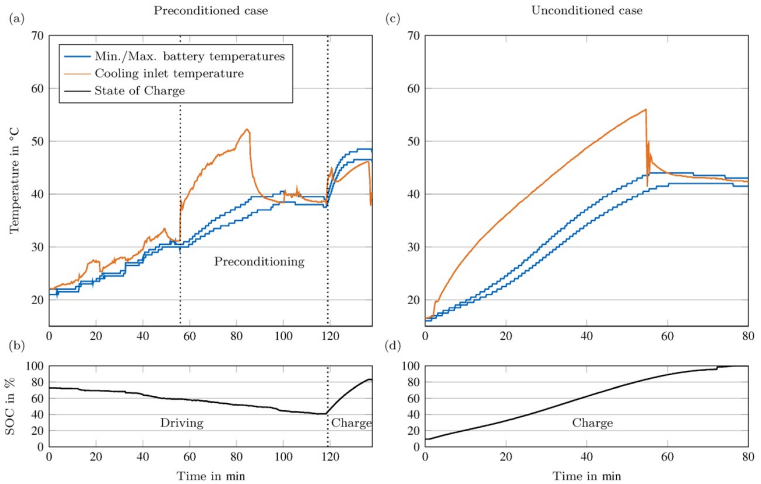


图11来自(3)：左侧为预处理的特斯拉Model 3，右侧为未处理的情况。

来源: (1) Hyundai Ioniq 5 battery preconditioning, (2) High-performance, compact, and intelligent: the high-voltage battery for the Premium Platform Electric | Audi MediaCenter
(3) Quantifying the State of the Art of Electric Powertrains in Battery Electric Vehicles: Comprehensive Analysis of the Tesla Model 3 on the Vehicle Level, Porsche reveals predictive thermal management system - electrive.com

VOLTA FOUNDATION

电池资产管理软件整合为五个关键领域

资产管理

用于电池资产整体运营管理的平台，结合新技术和商业绩效。

Origami
Cellect
arenko
stem

性能分析

ACCURE Battery Intelligence
TWAICE Battery Analytics Software
volytica diagnostics
elysia by Fortescue WAE
zitara
Brill Power
AVILOO BATTERY DIAGNOSTICS
BiB
BAMO MAS
Coulomb AI
ELECTRA
eatron TECHNOLOGIES

市场优化

通过算法交易、聚合实现电池收入优化的软件

sunc
enspired
volue
modo
Entrix

生命周期管理

circunomics
cling
Recurrent
CURRENTS

调度（充电/放电）和收入优化

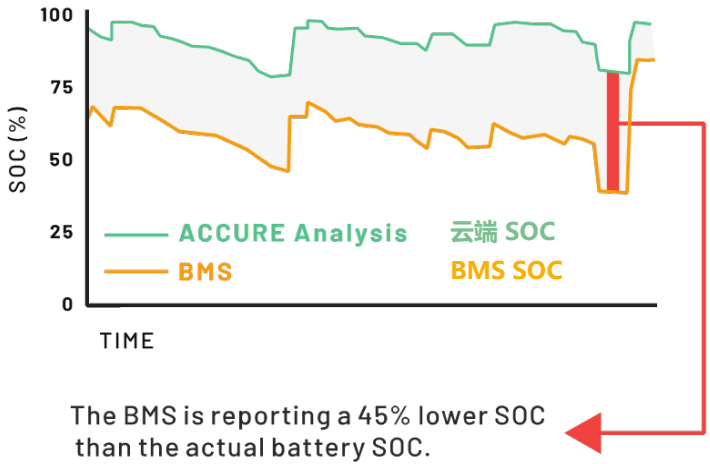
TYBA
Gridmatic
Equilibrium Energy
Ascend Analytics
enspired
HABITAT ENERGY
arenko
enertel.ai
Powerline
Entrix
terralayr
geniess
keeling labs
AURORA
Storlytics Energy Storage Made Simple

来源：Energize Capital: Battery Software Deep Dive

VF | VOLTA FOUNDATION

SOC估计 - 性能分析可以减少LFP电池系统中的BMS SOC估计误差

50+ MWh LFP BESS中电荷状态（SOC）估计误差的示例



LFP系统的平坦OCV曲线导致BMS SOC估计误差

- BMS使用库仑计数（电流累计）来估计SOC，但传感器误差会随着时间的推移而累积
- 休息期间用于重新校准库仑计数
- 由于LFP系统的平坦OCV曲线，LFP系统中的重新校准变得困难

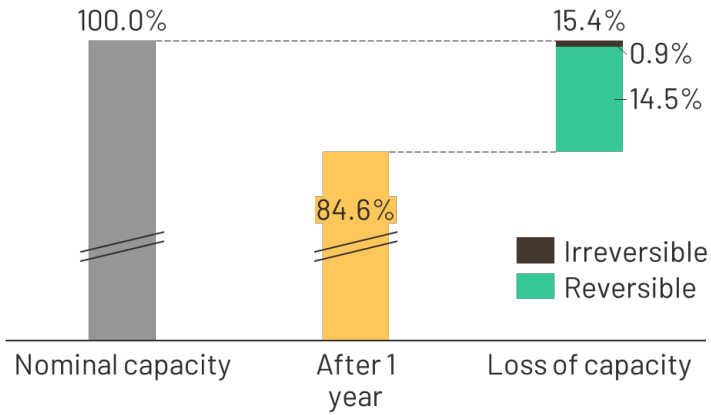
基于云的SOC监测可以减少SOC估计误差

- SOC误差检测系统识别错误，允许在低价值时间段进行重新校准
- 持续的基于云的SOC修正可以将SOC估计误差最小化到+/-3%

来源： “Overcoming SOC Inaccuracies in LFP Batteries: How to Increase Revenue and Simplify Operations”，“How State of Charge Estimations Can Make or Break Your BESS Project”

不均衡性 - 预测性维护可以减少BESS中的不均衡性并恢复可逆容量损失

示例：80 MWh+ LFP BESS的容量损失



- 由于老化导致的不可逆容量损失
- 由于不均衡性和SOC估算误差导致的可逆容量损失

不可逆容量损失的缓解策略

- 不可逆容电池模组的替换
- 电池能源存储系统级别的增强

可逆容量损失的缓解策略

- 内部BMS均衡
- 强制均衡（例如，均衡循环）
- SOC估算器的重新校准
- 使用均衡性器单元的外部平衡

预测性电池分析使预测性维护能够恢复可逆容量损失

来源： “Reclaiming Lost Capacity: Understanding Reversible Battery Degradation”

VOLTA FOUNDATION

网络安全漏洞

BMS漏洞

传感器破坏：攻击者可以篡改温度传感器（例如，添加电阻）以导致过充或过放，损坏电芯。

软件修改：恶意行为者可能会更改BMS软件或使用低功耗芯片来干扰操作。

硬件特洛伊木马：在设计/制造过程中进行电路修改（例如，在微处理器中）可以被外部或内部触发。

状态估计攻击：通过操纵系统内的方法或位置来干扰计算。

固件更改：固件可以被篡改以损害功能。

通信网络漏洞

无线通信：易受电磁干扰和网络攻击的影响，这会干扰CMU-PMU数据。

CAN总线：旧版本缺乏身份验证和加密，容易受到操控。

物联网平台：像MQTT这样的协议可能通过假路由器或未经授权的节点被利用，从而危害网络安全。

外部通信：BESS访问入口、云服务和人机界面（HMI）是攻击者潜在的入侵点。

V2X通信：新兴技术（例如，V2C、V2G）面临可靠性和安全风险。

电动汽车充电基础设施（EVSE）：攻击可以绕过凭证、发送恶意软件或停用充电器。

外部接口漏洞

OBD端口和USB：通过连接设备作为攻击入侵点。

供应链：在制造过程中引入的恶意软件或硬件特洛伊木马可能会危害系统。

来源：Cybersecurity of Battery Management Systems, In the New Era of Wireless Battery Management Systems (wBMS), Security Takes the Spotlight | Analog Devices, Cyber-Physical Cloud Battery Management Systems: Review of Security Aspects, Cybersecurity of Battery Energy Storage Systems, Cybersecurity of Battery Energy Storage Systems

VOLTA FOUNDATION

网络安全攻击类型、影响及对策

攻击类型

机密性攻击：通过间谍软件、恶意软件、暴力破解或克隆，未经授权访问敏感数据。
完整性攻击：恶意数据修改，包括虚假数据注入、随机延迟和重放攻击。
可用性攻击：系统功能的干扰，例如拒绝服务（DoS）攻击。

攻击的影响

功能影响：故障，例如“拒绝充电”攻击。
经济损失：由于退化导致的提前维护或电池更换。
安全风险：过充、过放或冷却系统受损导致的热失控或火灾。
副作用：损坏的数据影响未来的电池模型和算法。
电网不稳定：V2G攻击干扰电网的频率和电压。

对策

加密：使用TLS和数据库加密来保护敏感数据。
弹性软件设计：实施安全算法、稳健的状态估计器和安全编码实践。
硬件安全模块（HSM）：确保软件的真实性、完整性和安全通信。
用户认证：对敏感数据访问要求多因素认证。
交叉验证：比较车载和云端BMS计算以检测异常。
物理保护：安全外壳，移除不必要的端口，并硬连接组件。
数据透明度：在数据和算法决策中涉及人工监督。
无线BMS安全：保护密钥，认证和加密无线通信并保护调试端口。
异常检测：结合电池建模、状态估计和统计方法来检测虚假数据注入攻击。
深度防御：采用零信任方法，分层物理、安全网络和设备安全。

来源：Cybersecurity of Battery Management Systems, In the New Era of Wireless Battery Management Systems (wBMS), Security Takes the Spotlight | Analog Devices, Cyber-Physical Cloud Battery Management Systems: Review of Security Aspects, Cybersecurity of Battery Energy Storage Systems, Cybersecurity of Battery Energy Storage Systems

网络安全标准与法规

BESS

NERC CIP：保护电网网络资产的标准，可能包括能源存储系统。

NIST网络安全框架：自愿框架，用于改善网络安全，涵盖识别、保护、检测、响应和恢复。

IEEE标准：

2030-2011 & 2030.2-2015：智能电网互操作性框架，参考ISO/IEC 27000和NISTIR 7628等安全标准。

1547-2018: 涉及分布式能源资源（DER）的互连和互操作性，包括对通信强制协议的网络安全要求，如IEEE 2030.5（SEP2）、IEEE 1815（DNP3）和Sunspec Modbus。

P2686（草案）：针对能源存储应用中的电池管理系统的推荐实践，涵盖物理和软件接口。

ISA/IEC 62443（ISA-99）：与工业自动化和控制系统安全相关的BESS标准，涵盖运营商、服务提供商和制造商的要求。

DHS NCCIC和ICS-CERT：提供有关改善工业控制系统网络安全的资源，采用深度防御策略。

CIS关键安全控制：为组织提供优先的网络安全行动。

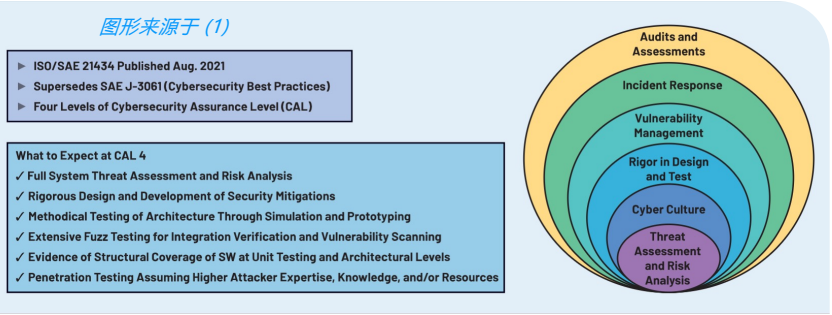
汽车

ISO/SAE 21434:2021：“道路车辆 - 网络安全工程”定义了在车辆电气和电子系统的生命周期内，从开发到报废，管理网络安全风险的要求。 引入了汽车网络安全集成级别（ACILs）来量化网络安全要求。

联合国法规第155号：在许多国家要求车辆实施网络安全管理系统。

ISO 15118-20:2022：“道路车辆 - 车辆与电网通信接口”规定了电动汽车与充电电网之间的安全通信，包括数字证书和基于TLS的加密。

图形来源于 (1)



来源：Cybersecurity of Battery Management Systems, (1) In the New Era of Wireless Battery Management Systems (wBMS), Security Takes the Spotlight | Analog Devices, Cyber-Physical Cloud Battery Management Systems: Review of Security Aspects, Cybersecurity of Battery Energy Storage Systems, Cybersecurity of Battery Energy Storage Systems

VF | VOLTA FOUNDATION

维修权法案

维修权运动正在**全球范围内获得动力**，**带来了对电池软件的重要影响。**

全球政策与立法

美国：多个州，包括加利福尼亚州、科罗拉多州、明尼苏达州和纽约州，正在推出“修理权”立法，赋予独立修理店获取工具和文档的权利。

欧盟： **欧盟**正在积极推动可修复性和循环经济，相关法规包括：

a. **欧盟电池法：** 包括关于回收内容、碳足迹、电池护照（包含修复、拆解和碳足迹的信息）、性能和耐用性、健康状态，以及回收效率的条款。

b. **欧盟维修权指令（2024/1799）：** 要求制造商提供维修服务，鼓励在责任期内进行维修，并在维修后延长12个月的保修期。

法国：一个可修复性指数已被采用，产品评分范围为0-10。

南非： 政府已签署“维修权”立场声明。

德国：一项草案维修法将要求制造商储备10年的备件，并在被要求的14天内以合理价格提供。

对电池相关软件的影响

独立维修的启用：欧盟禁止限制独立维修的软件和其他做法，确保对兼容和再利用备件的访问。

可获取的信息和工具：修理工和消费者将能更好地获取修理信息和工具，包括软件和诊断工具。

在线修理平台：一个欧洲的平台将连接消费者与当地修理服务，可能包括软件信息。

强制修理：制造商必须在保修期后修理技术上可修复的商品，可能包括必要的软件更新和补丁，以确保更换后的电池正常功能。

可更换电池：新的便携设备和轻型交通工具必须配备可更换电池，设计时不得用软件锁。

电池护照：从2027年2月起，电动汽车电池需要一个包含修理和拆解细节的数字护照。

健康状态（SoH）数据：电池管理系统必须提供可访问的、最新的SoH信息。 预计到2027年6月，将出台统一的SoH确定标准。

2024 | BATTERY REPORT

2 学术界

VF | VOLTA FOUNDATION

Volta Foundation是全球最大的电池专业人士网络。 作为一个全球性的非营利协会，Volta Foundation出版出版物、提供网络机会和行业资源，以促进电池行业内的合作、创新和倡导。

VF | VOLTA FOUNDATION

2 学术界

锂离子电池/固态
- 对锂离子正极的研究揭示了原子结构、微观结构、掺杂、涂层和电解质如何稳定高镍和富锂相。
- 负极材料研究正在重新审视锂电池的根源，重点关注稳定的锂金属剥离和镀覆。
- 固态电池的可重复性是一个挑战——提出的标准和方法论旨在推动该领域向前发展。

钠离子电池
- 钠离子电池正在从学术界走向商业化。 虽然硬碳似乎是首选负极，但最佳正极——普鲁士蓝/白、NASICON、层状氧化物——仍然不确定。
- 未来几年将揭示关键挑战和创新，包括钠离子固态电池的进展。

新材料
- 学术界正在推动新晶体结构、材料和突破的发现。
- 将实验室创新转化为商业产品需要时间——但过去的发现，如 LCO、NMC 和 LFP，已经为此铺平了道路。
- 深度学习正在加速揭示下一代正极和电解质成分。
- 分子电解质是高效研究方法的主要候选者。

行动号召
- 学术研究补充了工业活动。 学术界有更多自由去探索未经验证的想法和材料，并深入研究电池机制。 学术界可以分享最佳实践并制作开源工具。
- 学术研究应该是一个探索和理解的场所。其创造的是面向未来的知识，而不是可立即出售的产品。

宏观研究趋势
开创性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

2 学术界

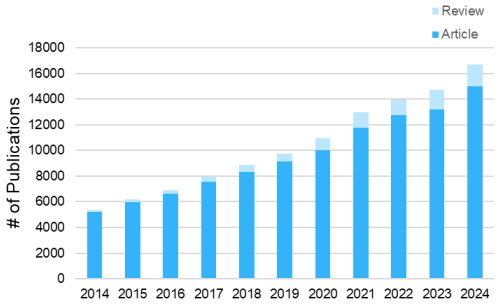
宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

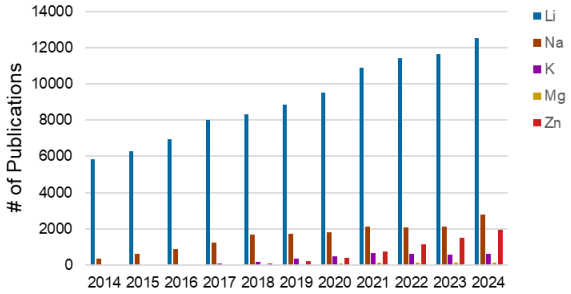
中国和印度推动了学术出版物增长；钠和锌越来越受欢迎

- 2024年，学术出版物数量持续增加，包括更多的综述文章
- 对替代化学品如钠、钾和锌的兴趣日益增长
- 中国发表的论文数量超过美国、印度、韩国和德国的总和

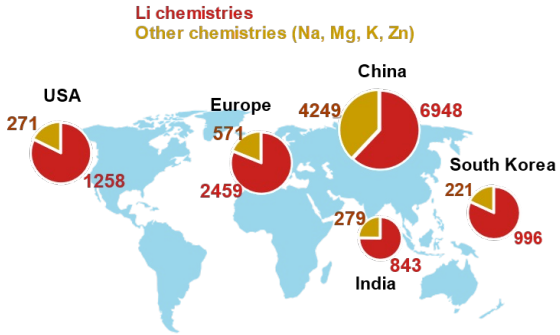
年度出版量



电池化学重点



各国研究量

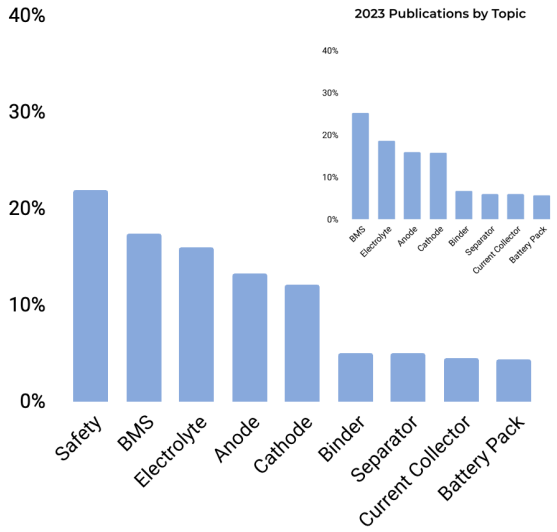


来源：Queried from https://www.webofscience.com/, accessed 2025-01-09
Queries: (TS=("lithium-ion batter* " OR "Lithium ion batter*" OR "Li ion batter*" OR "Li-ion batter*" OR "lithium-ion cell* " OR "Lithium ion cell*" OR "Li ion cell*" OR "Li-ion cell*" OR "sodium-ion batter* " OR "Sodium ion batter*" OR "Na ion batter*" OR "Na-ion batter*" OR "sodium-ion cell* " OR "Sodium ion cell*" OR "Na ion cell*" OR "Na-ion cell*" OR "potassium-ion batter* " OR "Potassium ion batter*" OR "K ion batter*" OR "K-ion batter*" OR "potassium-ion cell* " OR "K ion cell*" OR "K ion cell*" OR "K-ion cell*" OR "magnesium-ion batter* " OR "Magnesium ion batter*" OR "Mg ion batter*" OR "Mg-ion batter*" OR "magnesium-ion cell* " OR "Mg ion cell*" OR "Mg ion cell*" OR "Mg-ion cell*" OR "zinc-ion batter* " OR "Zinc ion batter*" OR "Zn ion batter*" OR "Zn-ion batter*" OR "zinc-ion cell* " OR "Zn ion cell*" OR "Zn ion cell*" OR "Zn-ion cell*"))

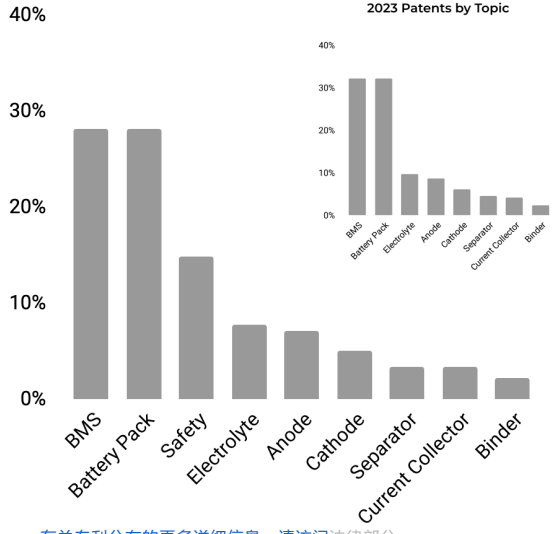
安全性是最常发表的主题，系统级设计是最常专利的主题

- 安全性在2024年超越了电池管理系统和电解质，成为最常发表的研究主题。
- 材料层面的研究主题保持了与去年相同的排名顺序。
- 电池管理系统和电池组创新，作为系统级主题，仍然是最常专利的领域。

2024年按主题分类的出版物



2024年按主题分类的专利



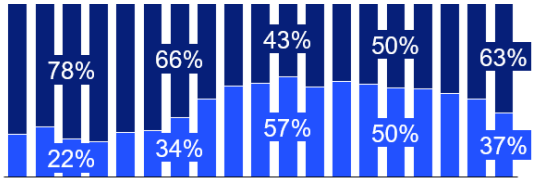
有关专利分布的更多详细信息，请访问法律部分

来源：查询自https://scholar.google.com，访问日期2025-01-05
查询：(battery X) after:priority:20240101，其中X = 感兴趣的主题

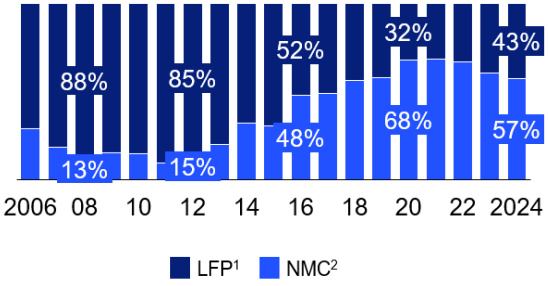
研究从镍钴锰电池转向磷酸(锰)铁锂电池

- 自2016年以来，镍钴锰的专利申请比例一直在下降，从2020年起，磷酸铁锂占据了大多数
- 锂铁磷与镍钴锰的出版物比例**遵循与专利相同的趋势，但大约晚5年**
- 这一趋势在中国远比世界其他地区更为明显：在2022年，中国62%的电池专利是磷酸铁锂，而世界其他地区仅为41%

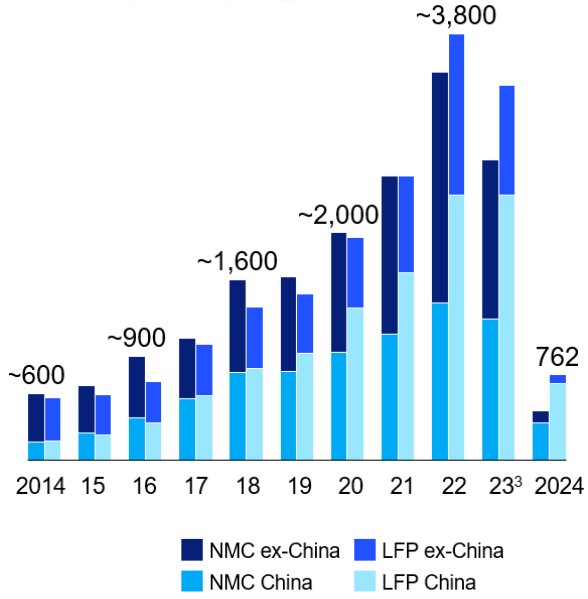
镍钴锰和锂铁磷专利申请的份额



NMC和LFP的出版物份额



每个专利局的专利总数



1. Search terms: battery AND cathode AND ("LFP" OR "LMFP" OR "iron phosphate" OR "FePO4")
2. Search terms: battery AND cathode AND ("NMC" OR "NCM" OR "NCA" OR "nickel manganese cobalt" OR "LiNiMnCoO2")
3. Not all filed patents are already published

Source: McKinsey, Patents queried from Google Scholar and Publications queried from Web of Science, accessed 2024-09-01. Queries: for LFP: battery AND cathode AND ("LFP" OR "LMFP" OR "iron phosphate" OR "FePO4"); for NMC: battery AND cathode AND ("NMC" OR "NCM" OR "NCA" OR "nickel manganese cobalt" OR "LiNiMnCoO2")

2 学术界

宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

二次锂离子电池发明的里程碑

1970年代

斯坦利·惠廷汉展示了第一个能够嵌入锂的正极，使用TiS_2和其他二硫化物[1],[2]。[1970年代]。

[1] Whittingham. Science. 1976
[2] Whittingham. Prog. Solid St. Chem 1978

米歇尔·阿尔芒介绍了“rocking-chair”电池的概念，该电池通过在不同的正极和负极插层材料之间转移离子来储存能量[3]。[1970年代]

[3] Mauger et al. J. Electrochem. Soc. 2020

1980年代

约翰·古迪纳夫采用能够在高电压下可逆嵌入锂离子（Li^+）的正极材料（$LiCoO_2$）[4]。[1980年]

[4] Mizushima et al. Mater. Res. Bull. 1980

拉希德·雅扎米展示了使用聚合物电解质成功将锂嵌入到石墨中[5] [1983].

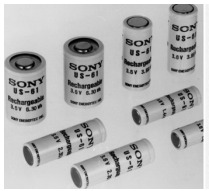
[5] Yazami. J. Pow. Source. 1983

吉野彰展示了一种可充电的锂离子电池，该电池在旭化成公司工作时使用碳质材料作为负极[6]。[1985年专利]

[6] Profile of Akira Yoshino

1990年代

索尼发布了第一款成功的商业锂离子电池[1991]。



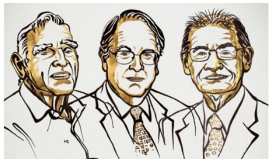
图片来自索尼档案

锂离子材料的进展，现在已无处不在，继续采用新的正极化学，如**LTO**[7]，**NMC**[8]，以及**LFP**[9]。

[7] Ferg et al. J. Electrochem. Soc. 1994
[8] Delmas et al. Solid State Ion. 1992
[9] Padhi et al J. Electrochem. Soc. 1997

当前

2019年诺贝尔化学奖授予“因锂离子电池的发展”。



锂离子电池基础、材料和应用的持续发展

VF | VOLTA FOUNDATION

TiS_2 - 第一个锂离子插层电极及锂基电池的发明



1972年，斯坦利·惠廷汉在埃克森研究与工程公司进行了第一次锂离子电池的电化学测量。惠廷汉的发明在1973年的专利和1976年的学术期刊中披露。

惠廷汉的电池设计，TiS_2//Li，使用了一种最初不含锂的正极，这意味着电池处于预充电状态，并在操作过程中依赖锂的嵌入。 由于硫的中等电负性，TiS_2//Li 的平均电压为 2.2V。令人难以置信的是，他首次报告的电池循环了 1100 次，容量保持率超过 80%!

尽管他的正极（TiS_2）和负极（锂金属）并未被商业可充电锂电池采用，但这款电池在历史上留下了不可磨灭的印记。

2019年，惠廷汉因“锂离子电池的发展”获得诺贝尔化学奖。

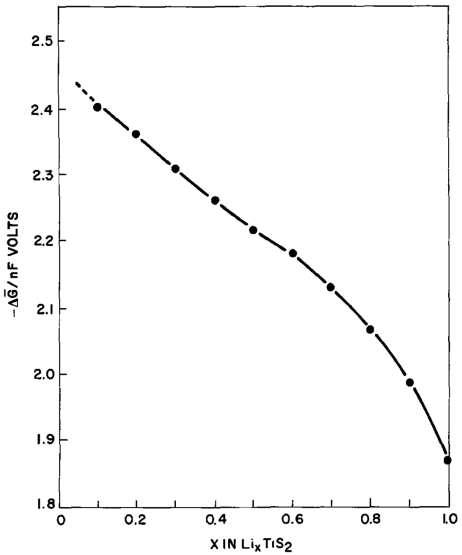


Fig. 2. Partial molar free energy of formation of Li_xTiS_2

熟悉能斯特方程的人会认识到，y轴就是熟悉的电压E(V)

来源：Whittingham, Chalcogenide battery. US patent 4,009,052, 1973. Whittingham Science 1976. Whittingham J. Electrochem. Soc. 1976. Whittingham Nat. Energy 2021.;
Image - Binghamton University

VF | VOLTA FOUNDATION

$LiCoO_2$ (LCO) - 第一个高电压插层正极



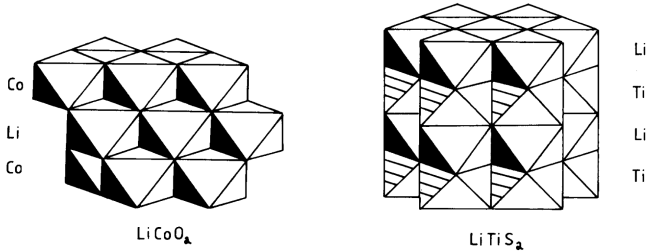


FIG. 1
Idealised structures of $LiCoO_2$ and $LiTiS_2$

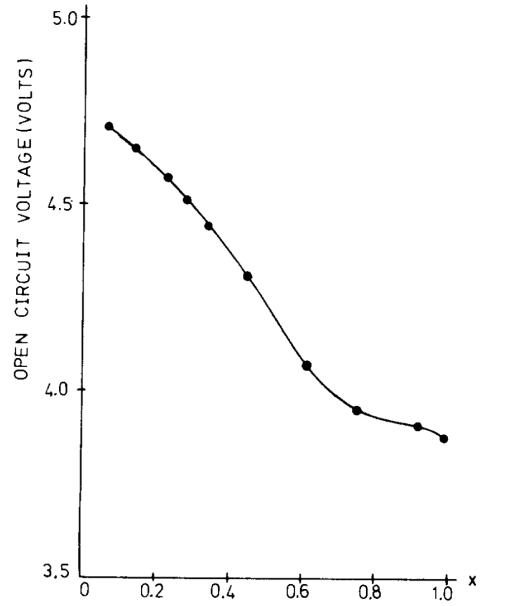


FIG. 3
Open circuit voltage versus composition x for $Li_xCo_{1.01}O_2/Li$

1980年，约翰·古迪纳夫的团队在牛津大学揭示了氧化物正极 $LiCoO_2$，作为一种高电压锂离子插层材料。

描述这一发现/发明的方式没有比以下更强有力的了：
45年后，可以安全地打赌，你正在使用的用来阅读这份电池报告的设备是由$LiCoO_2$供电的。

$LiCoO_2$的层状结构，与$LiTiS_2$相似，后来通过元素替代在成分上进行了改变，以形成NMC和NCA材料类别。

来源：Mizushima, Jones, Wiseman, Goodenough Mat. Res. Bull. 1980, Manthiram, Goodenough Nat. Energy 2021.; Image - UChicago

VOLTA FOUNDATION

$LiFePO_4$ (LFP) 和 $LiMn_xFe_{1-x}PO_4$ (LMFP) - 具有两相（去）锂化的橄榄石磷酸盐

Goodenough在德克萨斯大学奥斯汀分校的研究小组在1997年于《电化学学会杂志》上发表了三篇关于各种金属磷酸盐的论文。 在这些研究中，他们识别出$LiFePO_4$和$LiMn_xFe_{1-x}PO_4$作为廉价且无毒的锂离子电池正极候选材料。

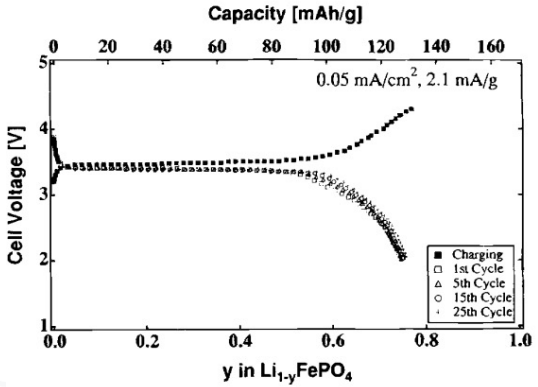
LFP中的锂原子可以在**3.4 V vs. Li^+/Li的电压下可逆提取**

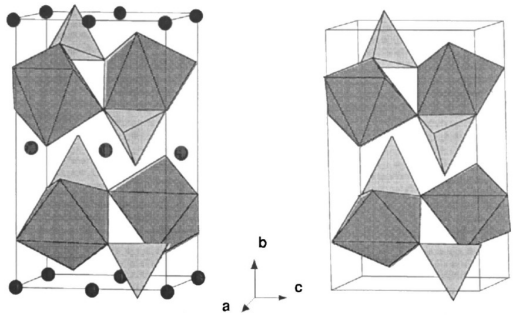
插入电压与充电状态无关

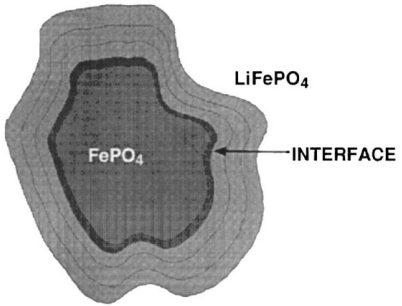
$LiFePO_4$和$FePO_4$之间具有相似的橄榄石晶体结构

电压（$Fe^{3+/2+}$ = 3.4 V, $Mn^{3+/2+}$ = 4.1 V）在碳酸盐电解质的稳定窗口内

被提出的机制为$LiFePO_4$和$FePO_4$的向内移动的**两相共存**







来源：Padhi, Nanjundaswamy, Goodenough J. Electrochem. Soc. 1997, 4, 1188, Padhi, Nanjundaswamy, Masquelier, Okada, Goodenough J. Electrochem. Soc. 1997, 5, 1609, Padhi, Nanjundaswamy, Masquelier, Goodenough J. Electrochem. Soc. 1997, 8, 2581.

VF | VOLTA FOUNDATION

$LiMn_2O_4$ (LMO) - 一种比LCO更便宜的替代品，但在过渡金属溶解方面存在困难

尽管其容量有限且存在锰溶解，$LiMn_2O_4$仍然是一个经济上具有吸引力的正极，已在中国的低端应用中得到使用。

$LiMn_2O_4$以立方结构存在，能够达到
148 mAh/g的理论容量

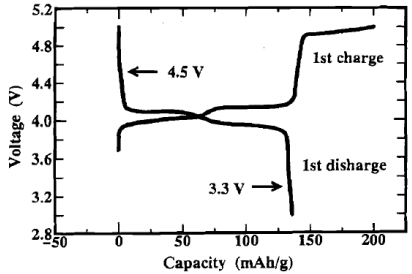
Mn_2O_4尖晶石在4.1 V和3.9 V提供了锂插入的四面体位点

立方结构允许各向同性的膨胀和收缩

当锂化学计量比大于1时，立方对称性降低为四方对称

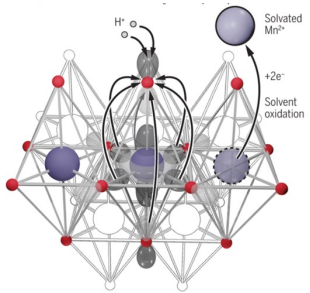
$LiMn_2O_4$由于锰溶解与电解液的相互作用，稳定性差

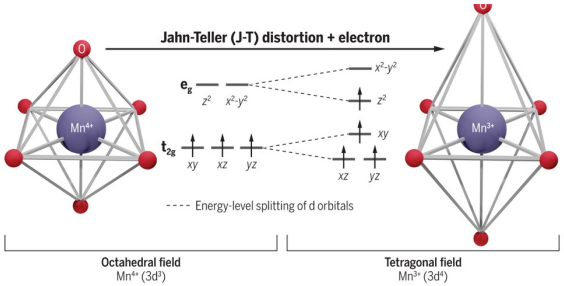
姜-泰勒畸变导致非各向同性膨胀和结构完整性丧失



在3.0 V和5.0 V之间操作的Li || $LiMn_2O_4$电池的典型充放电曲线[4]

$$2Mn^{3+}_{(solid)} \rightarrow Mn^{4+}_{(solid)} + Mn^{2+}_{(solution)}$$





来源： [1] Thackeray, M. M., et al. Materials Research Bulletin 19.2 (1984): 179-187.
[2] Asl, H. Y., & Manthiram, A. (2020). Science, 369(6500), 140-141.
[3] Thackeray, M. M., Shao-Horn, Y., Kahaian, A. J., Kepler, K. D., Skinner, E., Vaughey, J. T., & Hackney, S. A. (1998). Electrochemical and Solid-State Letters, 1(1), 7.
[4] Yongyao Xia et al 1997 J. Electrochem. Soc. 144 2593
[5] Gummow, R. J., De Kock, A., & Thackeray, M. M. (1994). Improved capacity retention in rechargeable 4 V lithium/lithium-manganese oxide (spinel) cells. Solid State Ionics, 69(1), 59-67.
[6] Nitta, Naoki, et al. "Li-ion battery materials: present and future." Materials today 18.5 (2015): 252-264.

VF | VOLTA FOUNDATION

$Li[Ni_{1-x-y}Mn_xCo_y]O_2$ (NMC)：层状金属氧化物高能/高功率正极

首次报告于1999年，经过十年的单元和双元过渡金属氧化物研究，三元NMC已成为层状氧化物材料中最常用的正极类别之一，因为它提供了高电压和高容量。

NMC中的锂原子可以在**~3.8 V vs. Li^+/Li的电压下可逆嵌入迁出**

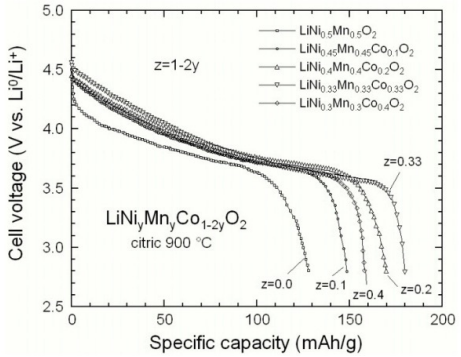
已报告的比容量高达**~220 mAh/g**

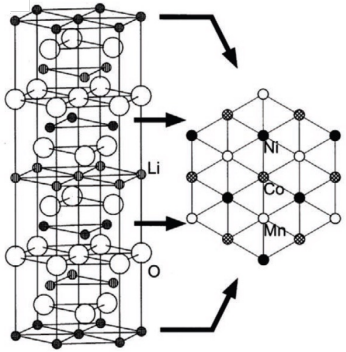
层状晶体结构类似于LCO

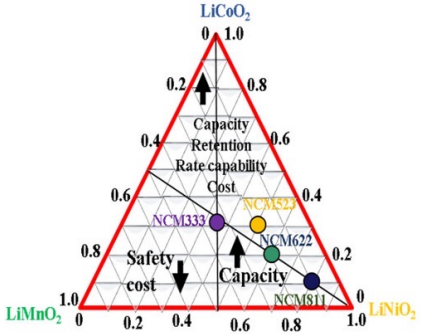
锂在层间插层，并非所有锂都可以被去除，否则结构将会崩溃

成分的多样性允许**调节性能和稳定性**

镍提高容量，钴提高导电性，而无活性锰则稳定结构







来源：[1]J. Power Sources 1999, 81-82, 416-419；[2] Nat. Commun. 2020, 11, 1550；[3]Adv. Energy Mater. 2020, 10, 1903864；[4]J. Power Sources 2003, 119, 644；[5]Materials 2016, 9, 595

首个商业可行的锂离子电池，使用石油焦作为稳定极



1985年，吉野彰在旭化成株式会社开发了第一款商业上可行的锂离子电池，使用石油焦作为负极。 石油精炼的副产品，石油焦可以在约0.5 V v. Li^+/Li的低电位下可逆插层锂离子，而不会导致结构降解。

其无定形碳区域作为连接点，将层状结构压在一起以提供结构完整性。 虽然这些区域限制了容量，但该材料的稳定性和耐用性使其成为第一款商业采用的负极，为可靠、持久的可充电电池铺平了道路。

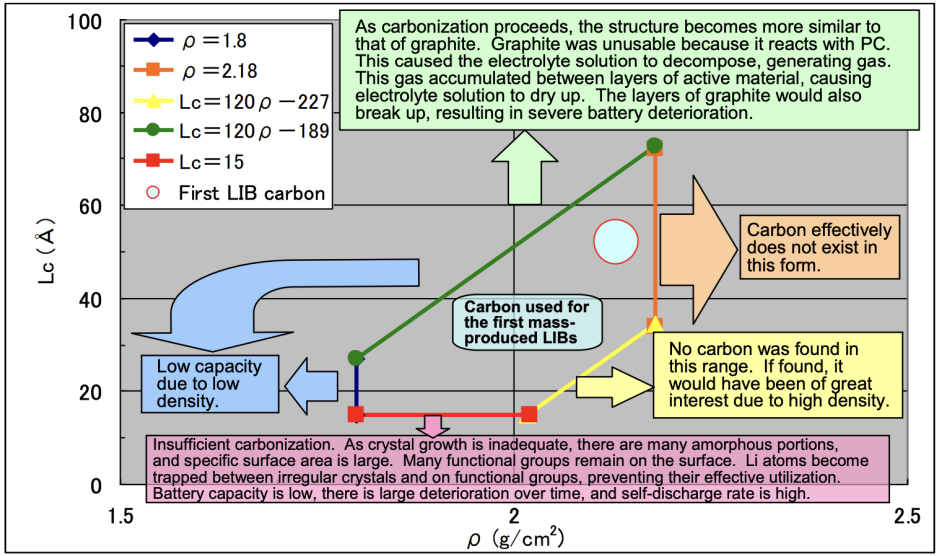


Figure 4. Carbonaceous material suitable for LIB discovered by Dr. Yoshino In 1985

来源：Yoshino, A. Nat Energy 6, 449 (2021), Xie, A retrospective on lithium-ion batteries. Nat Commun 11, 2499 (2020); [1] Nobel Prize, [2] Asahi Kasei

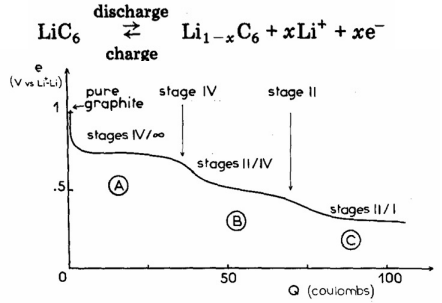
VF | VOLTA FOUNDATION

石墨负极的发现与商业化

Yazami和Touzain于1983年首次演示了锂在石墨中与聚合物电解质的电化学插层 [1]。
自那时以来，石墨已成为锂离子电池中首选的负极材料。

基础知识

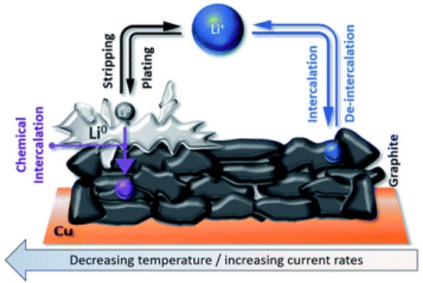
石墨是一种碳的同素异形体，具有 sp2 杂化，其中石墨烯片通过相对较弱的范德华力相互连接[1]。 锂以阶段性方式插层到石墨中（插入石墨烯层之间）。 在最后阶段，达到 LiC_6 的化学计量比，对应的理论比容量为 372 mAh g^{-1} [2]。



石墨 || 锂系统的开路电压（OCV）

挑战

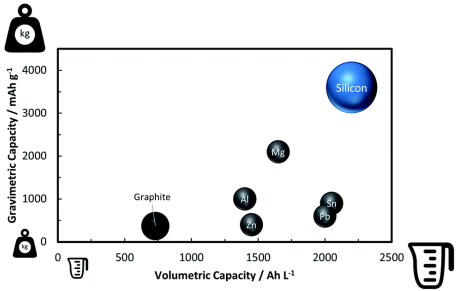
锂化过程（充电）中的速率能力有限可能导致锂在石墨表面沉积，从而引发短路 [2]。
首次循环不可逆容量损失由于电解液还原和固态电解质界面（SEI）的形成。
石墨无法通过传统的火法冶金或湿法冶金进行回收 [2]。



最新进展

天然石墨与人造石墨：虽然人造石墨通常比天然石墨更昂贵，但它具有更高的纯度、更好的热稳定性，并且不依赖于自然资源 [2]。

合金型负极材料硅/氧化硅可提高能量密度。 硅的理论能量密度为3579 mAh g^{-1} [2]。



来源: [1] Yazami, R., and Ph Touzain. "A reversible graphite-lithium negative electrode for electrochemical generators." Journal of Power Sources 9.3 (1983): 365-371.
[2] Asenbauer, Jakob, et al. "The success story of graphite as a lithium-ion anode material–fundamentals, remaining challenges, and recent developments including silicon (oxide) composites." Sustainable Energy & Fuels 4.11 (2020): 5387-5416.

碳酸盐电解质 - 商业锂离子电池中使用最广泛的溶剂

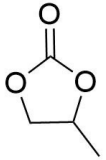
环状碳酸酯

丙烯碳酸酯（PC）

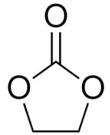
在1950年代到1990年代，典型的电解液由溶解在PC中的各种锂盐组成 [1]。 PC表现出强的溶解能力，并且在4.0 V_{li} 以上具有高氧化稳定性。 不幸的是，PC可以与锂共同插层进入石墨，导致剥离，从而限制了其实际应用。

乙烯碳酸酯（EC）

最初，PC被优先选择而不是EC，因为EC的熔点为37 °C。为了克服这个高熔点，EC通常与线性碳酸酯如二甲基碳酸酯和二乙基碳酸酯混合[1]。 Dahn等人的发现，即EC形成了稳定的固态电解质界面（SEI），是实现石墨负极的关键[2]。 基于EC的电解质与石墨负极结合，使锂离子电池的能量密度提高了30–50%。



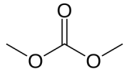
丙烯碳酸酯 (PC)



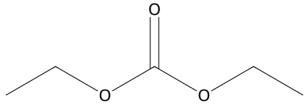
乙烯碳酸酯 (EC)

线性碳酸酯

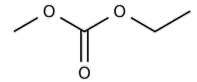
线性碳酸酯通常与其环状对应物一起用作共溶剂。 在1994年，Tarascon和Guyomard首次将DMC作为共溶剂添加到EC中 [3] [4]。 线性碳酸酯具有相对较低的沸点、粘度和介电常数。 因此，它们通常用于改善电解液中的离子传输。 令人惊讶的是，当与环状碳酸酯结合时，所得到的混合物的稳定窗口增加到 5.0 V [5]。 目前，环状和线性碳酸酯混合物被广泛使用。 其他常见的线性碳酸酯包括 DEC、EMC 和 PMC。



二甲基碳酸酯 (DMC)



二乙基碳酸酯 (DEC)



乙基甲基碳酸酯 (EMC)

“在各种品牌的锂离子电池中，... 这些公式仍然是专有信息；然而，绝大多数显然是基于两个不可或缺的成分：作为溶剂的EC和作为溶质的$LiPF_6$。 在大多数情况下，还使用一种或多种线性碳酸盐，从DMC、DEC或EMC中选择，作为共溶剂以增加电解液的流动性并降低其熔点。” [5]

来源：
[1] Xu, K. Li-ion battery electrolytes. *Nat Energy* 6, 763 (2021). https://doi.org/10.1038/s41560-021-00841-6
[2] Rosamaría Fong et al 1990 J. Electrochem. Soc. 137 2009. DOI 10.1149/1.2086855
[3] Guyomard, D.; Tarascon, J. M. *J. Electrochem. Soc.* 1993, *140*, 3071. DOI: 10.1149/1.2220987
[4] Tarascon, J. M.; Guyomard, D. *Solid State Ionics* 1994, *69*, 293. DOI: 10.1016/0167-2738(94)90418-9
[5] Xu, Kang. "Nonaqueous liquid electrolytes for lithium-based rechargeable batteries." *Chemical reviews* 104.10 (2004): 4303-4418.

2 学术界

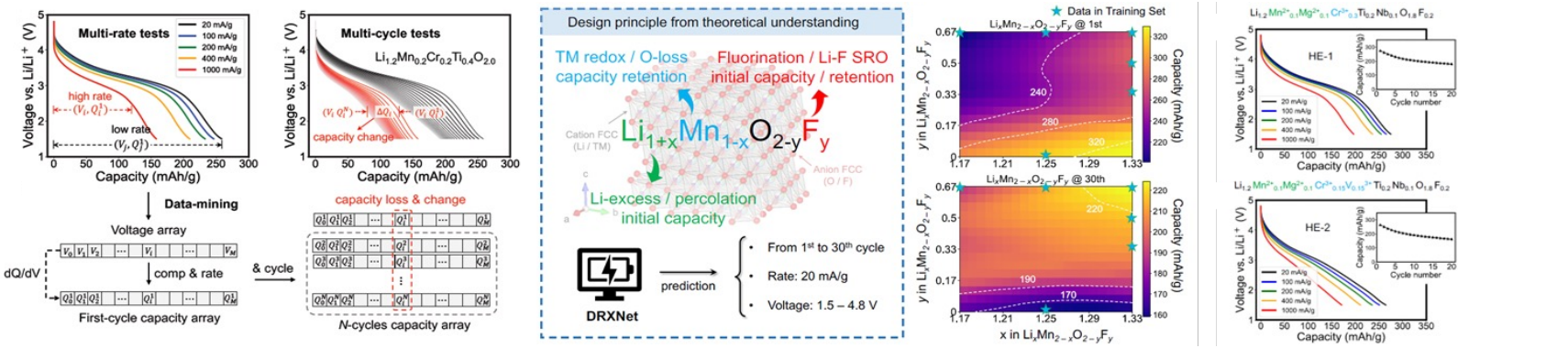
宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

针对多组分电池正极电化学实验的深度学习

机器学习在电池研究领域的迅猛发展正引发材料发现、性能预测和工艺优化三大方向的革命性变革，但其真正实现范式突破的关键在于解决高通量实验验证这一核心挑战。Zhong 等人最新研发的DRXNet机器学习框架为此提供了创新解决方案——该平台专注于优化无序岩盐（DRX）结构电池正极材料，通过整合14种金属元素、超过19,000组放电电压曲线构建多维数据库，不仅能精准预测材料电化学特性，更成功指导了锂锰氧氟（Li-Mn-O-F）复合正极及多元高熵体系等突破性材料的研发。



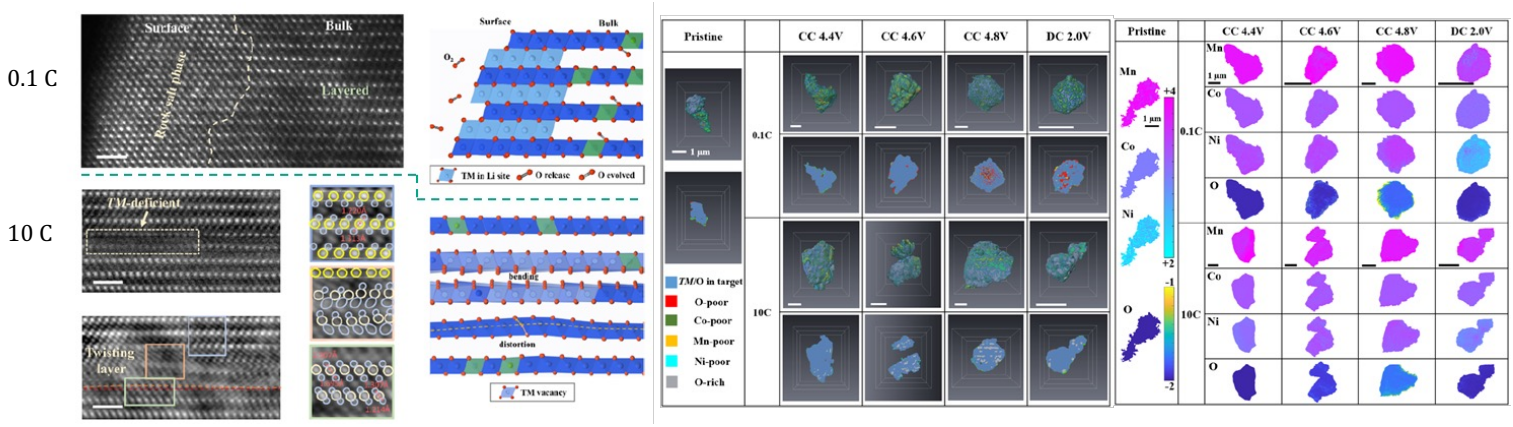
DRXNet能够快速识别有前景的高性能和可持续锂离子电池材料，有效应对数据稀缺与复杂优化等关键挑战。

来源：Zhong et al. *Joule* 2024

VF | VOLTA FOUNDATION

揭示层状富锂氧化物正极的降解路径

Liu 等人研究了层状富锂过渡金属氧化物（LRTMO）作为锂离子电池高能量密度正极的降解路径。LRTMO在循环过程中存在结构不稳定性和不可逆变化，导致容量衰减和电压下降。研究利用X射线断层扫描和扫描透射电子显微镜等多维分析工具，揭示了不同循环倍率下的两种不同降解机制。



LRTMO的降解路径受循环倍率驱动而呈现显著差异：在低倍率循环下，氧缺陷主导降解过程；而在高倍率循环下，晶格畸变和离子扩散限制则成为主要因素。均质化反应动力学和增强结构稳定性是提升其性能的关键

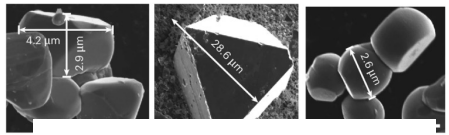
来源：Liu et al. Nat. Nanotechnol. 2024

面向更稳定的正极-电解质界面（CEI）的机理研究

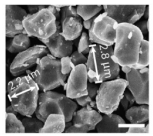
模型正极材料

为建立可靠的性能基准并有效分离正极侧的影响，需要构建模型正极材料体系。单晶高镍NMC与商用多晶NMC811是理想的候选材料。

单晶 NMC76

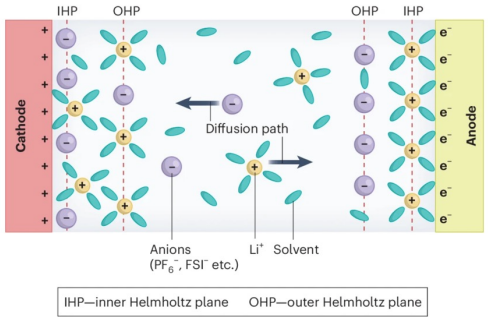


具有不规则形貌的单晶 NMC811



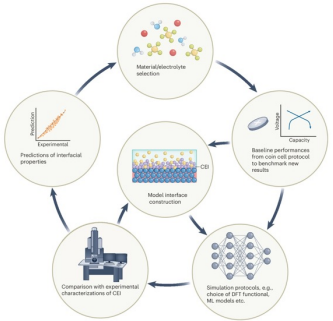
稳定CEI的电解液及添加剂

电解质组分及其氧化稳定性决定了CEI的组分特征。当正极发生极化时，内亥姆霍兹平面主要受阴离子主导，这表明盐的调控策略可能发挥重要作用。
其他解决方案包括使用功能添加剂或开发更稳定的溶剂体系。



CEI的模拟

将第一性原理模拟技术与机器学习相结合，将有助于解析先进表征技术获得的复杂结果。然而，原子级模拟的应用存在一个重要限制：其结果的准确性和预测能力高度依赖于基础模型的精确度和复杂度。



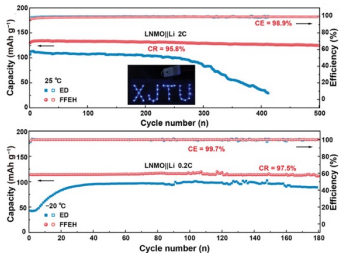
“在电池研究领域，学界对正极-电解质界面（CEI）在多尺度时空维度下的形成与演化机制，特别是在高电压条件下的行为规律，仍缺乏系统性认知。当前亟需在这一领域取得突破性进展，以实现CEI特性在原子尺度上的精确调控，从而进一步提升电化学储能系统的稳定性。”

来源：Xiao, J., Adelstein, N., Bi, Y. et al. Assessing cathode–electrolyte interphases in batteries. Nat Energy 9, 1463–1473 (2024).

VF | VOLTA FOUNDATION

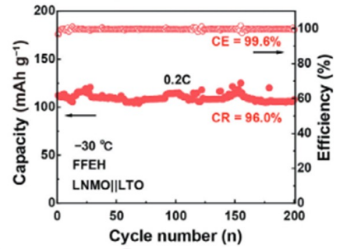
基于不可燃电解质的无机富集界面重构策略实现高压$LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$正极材料的低温性能优化

半电池

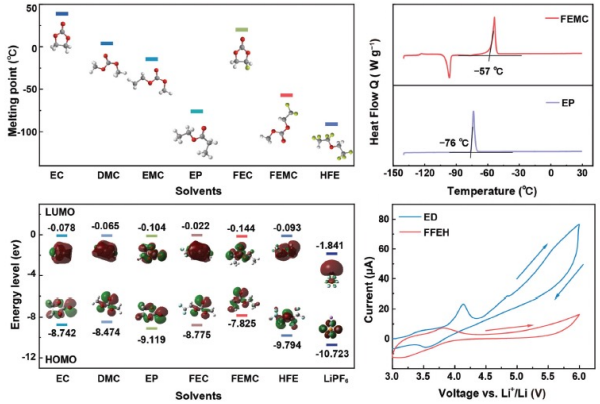


- 25 ℃ 循环性能： 在2C倍率下循环500次后，容量保持率高达95.8%。
- −20 ℃ 循环性能： 在0.2C倍率下，LNMO正极展现出114 mAh g^{-1}的可逆容量，180次循环后容量保持率仍达97.5%

全电池



- 钛酸锂（LTO）作为"零应变材料"，与LNMO正极匹配可构建高性能储能体系。
- 基于2.0-3.5 V工作电压窗口组装的LNMO||LTO纽扣电池，在-30℃极端条件下循环200次后仍保持≈96.0%的容量保持率。



结构-性能的相关性：
通过混合溶剂的协同分解反应，形成了富含Li_2CO_3/LiF的异质结构CEI层。该界面层兼具LiF的电子阻挡能力、Li_2CO_3的快速Li^+传输动力学特性以及优异的机械稳定性。
稳健、均匀且良好平衡的CEI层随后防止催化的副反应，阻止了过渡金属溶解，并确保快速的界面反应动力学交叉到LNMO正极，从而改善电池的循环稳定性。

来源: Adv. Funct. Mater. 2024, 34, 2400996

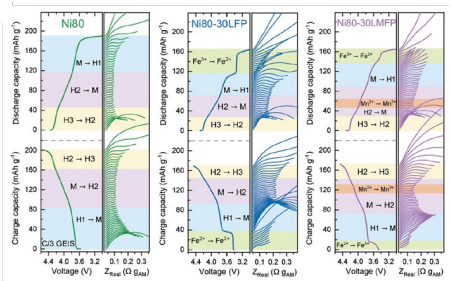
VF | VOLTA FOUNDATION

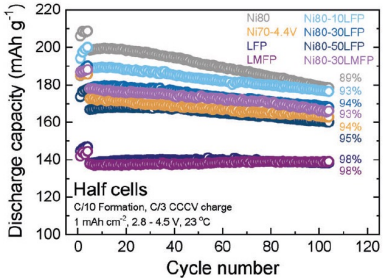
层状/橄榄石（NMA/LMFP）混合正极的成本和性能

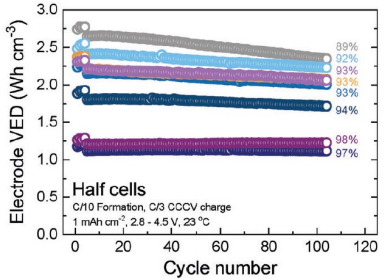
将层状氧化物与橄榄石结构材料混合，可有效实现与低镍正极相当的能量密度和循环稳定性，同时保持适中的充电电压。当与30 wt%的橄榄石型$LiMn_{0.5}Fe_{0.5}PO_4$（LMFP）混合时，层状氧化物在低荷电状态下的扩散限制获得了显著改善，同时其脉冲功率特性可与高镍体系相媲美。

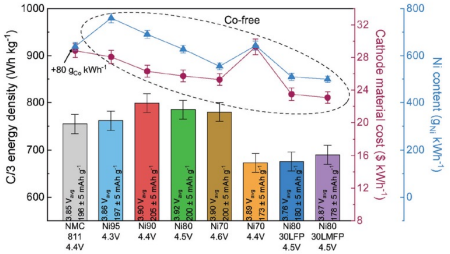
动力学 当放电电压降低至LFP或LMFP的电化学活性窗口时，体系阻抗显著降低。由于LMFP具有更高的平均电压和更平坦的电压平台，其电化学活性起始电压（≈3.6 V）较LFP（≈3.4 V）会更高。

性能与成本 将橄榄石正极与高镍正极混合可以在保持能量密度和循环稳定性的同时，将正极镍含量和材料成本降低至80%以下。基于体积能量密度考虑，Ni80/LMFP的最佳复合比例应控制在最多30% LMFP。









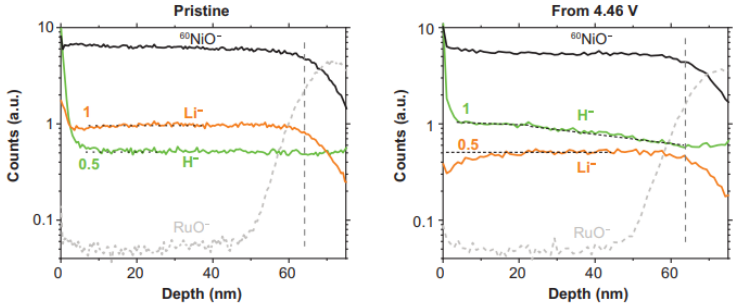
来源: Adv. Energy Mater. 2024, 2403002)

VF | VOLTA FOUNDATION

碳酸酯溶剂氢化作用引起的NMC正极材料降解机制

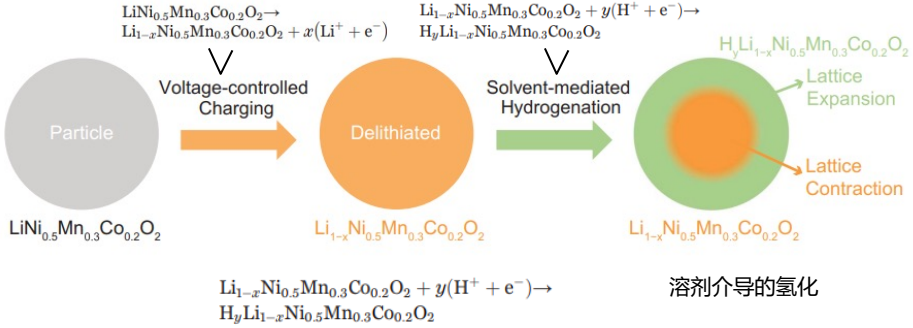
传统理论认为，含碳酸酯电解液体系中的正极降解与自放电主要源于锂离子从电解液向正极的扩散。然而，Wan 等人通过密度泛函理论（DFT）计算，结合X射线近边吸收谱（XANES）、近边X射线吸收精细结构（NEXAFS）、X射线衍射（XRD）和X射线吸收谱（XAS）等光谱学表征技术，发现质子可通过电解液中含-CH_2基团的分解产物嵌入带电正极。这种从碳酸酯溶剂到脱锂正极的氢转移过程会在较高截止电压（>4.3V）下显著加速。

飞行时间二次离子质谱（TOF-SIMS）深度剖面分析



A) 在LP57电解液中原始状态下的NMC-532电极膜
B) 在LP57电解液中充电至4.46V的NMC-532电极膜

***注意带电电极表面膜层中氢离子浓度随深度变化的特征规律（参见图B）。**



Wan 等人提出了一种通过溶剂介导氢化作用导致NMC正极降解与自放电的新机制。

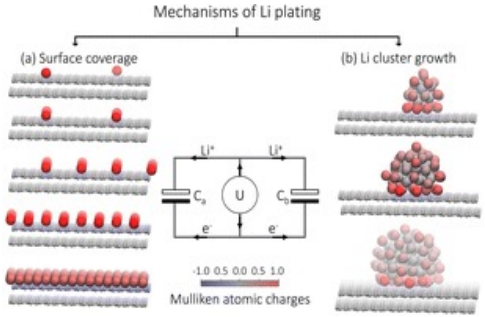
来源：Wan et al. Science 2024

2 学术界

宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

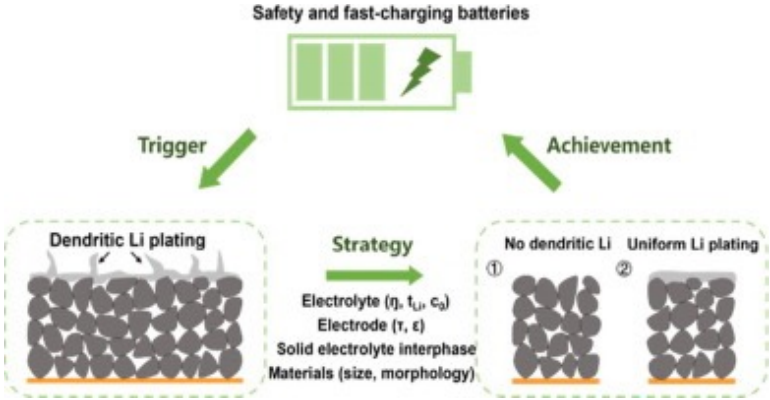
VF | VOLTA FOUNDATION

在快速充电时，如何避免锂离子在石墨负极上发生沉积和形成枝晶?



利用第一性原理模拟：Bhandari 等人推断锂离子的沉积会发生在以下阶段：当相对于金属锂电极的电位大于零时，锂离子的沉积过程主要发生在材料表面；当相对于金属锂电极的电位低于一个临界转换电压时，聚集的锂离子会发生大量的还原反应并形成金属锂团簇（即未锂化石墨的临界转换电压为 -12 mV，而锂化石墨的临界转换电压为 -29 mV）。
*Bhandari 等人鼓励实验人员去验证这些结论。

针对同一主题，Liu 等人撰写了一篇关于枝晶状金属锂形成机制以及抑制金属锂沉积的综述。他们不仅描述了锂离子在负极片中完整的传输路径，还探讨了材料的体相和表面、极片孔隙结构以及电解液对锂离子传输的影响。

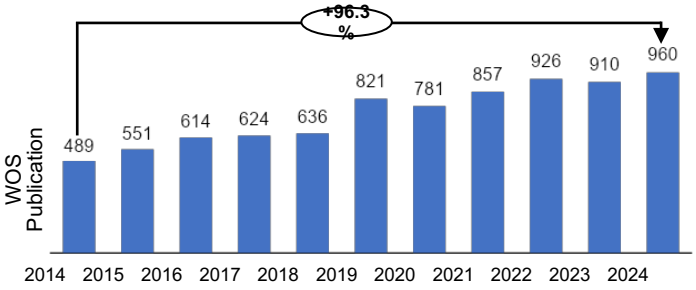


关键点:
石墨表面的固态电解质界面膜仍未得到充分的阐释（或理解）。
采用可逆且均匀的锂沉积或许是实现石墨快速充电的最佳策略。

来源 : Bhandari et al. J Mat Chem A. 2024 ; Liu et al. J. En Chem. 2024

关于硅负极的研究论文数量持续增长。固态电池中硅负极的作用机制得以揭示并成为2024年重要科研成果亮点之一。

论文数量趋势



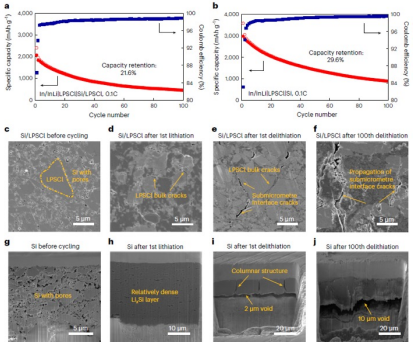
在过去十年间，以“硅负极，锂离子电池”为关键词的研究论文数量增长了96.3%（从489篇增至960篇），这表明该领域持续受到关注。

硅的优缺点：

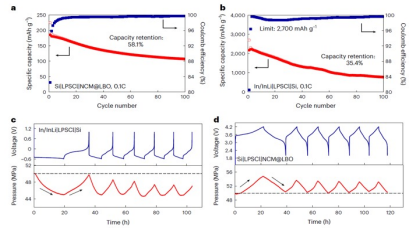
- 理论比容量高（在室温下，$Li_{3.75}Si$的理论比容量达3579 mAh/g），锂化电位低，且产生锂枝晶的风险低（相对于Li^+/Li电对仅为0.3V）。
- 锂化过程中会出现严重的体积膨胀，这会导致硅颗粒粉碎，并持续形成固体电解质界面膜（SEI膜）。

来源：Web of Science, Nat. Mater. 23, 543-551 (2024))

研究进展亮点



2维和3维的扫描电镜图像：SI|LPSCL界面



全电池：SI|LPSCL|NCM@LBO体系

在硅（Si）与Li_6PS_5Cl的界面处，固体电解质界面膜（SEI）的快速生长会致使复合负极的电阻大幅增加，进而造成电池容量的迅速衰减。

未混入固体电解质的纯硅负极展现出了充足的离子电导率和电子电导率，从而能够实现高比容量。

与硅负极/固体电解质相互连通的三维界面相比，在脱锂过程中形成的微米级空隙会在这些纯硅负极的二维界面上产生更大的机械应力。

VF | VOLTA FOUNDATION

通过不同方法实现含硅负极的有效应用

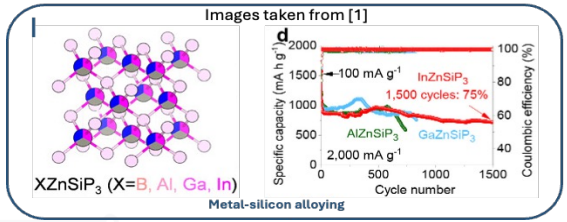
颗粒包覆策略旨在应对硅材料（约320%）的大幅体积膨胀，从而最大程度减少颗粒的开裂或粉碎情况。颗粒开裂或粉碎可能会导致电子接触的丧失和（或）活性材料利用率低下，进而造成容量保持率低的问题。以下文章重点介绍了近期发表的采用了三种最常用的颗粒包覆策略的相关论文：



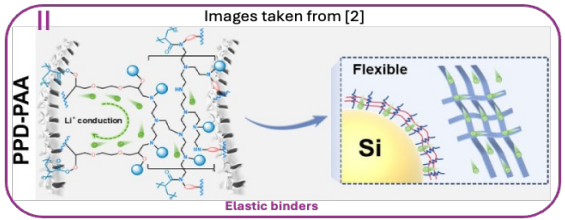
硅负极在锂化/脱锂过程中的体积膨胀会导致其循环性能严重下降。对此，人们正在研究各种技术，以提升含硅负极的性能。

不同的包覆策略

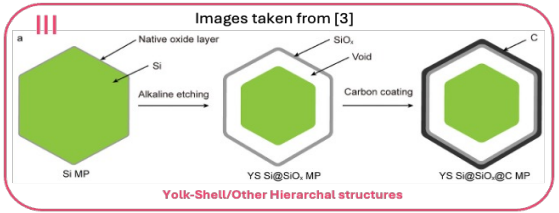
Li等人[1]采用球磨法，从磷化硅（SiP）球状晶体中系统地制备出了多种高熵硅基金属颗粒，进而以硅为基础生成了多种储锂活性材料。在这些材料中，$InZnSiP_3$在1500次循环（电流密度为2 A/g）后，其容量达到了约720 mAh/g，并且在高倍率（电流密度为10 A/g）下仍能保持相近的容量。



Sun等人[2]以聚丙烯酸（PAA）为主链，聚乙二醇（PEG）/聚乙烯亚胺（PEI）为连接体，制备出了一种仿生三维交织导电粘结剂。该粘结剂降低了锂离子传导的阻力，并缓解了锂化过程中的体积应力。在电流密度为8.0 A/g的条件下，其倍率性能达到了约1900 mAh/g，并且在高面容量负载（3 mAh/cm^2）的情况下，经过150次循环后，容量保持率仍能超过85%。



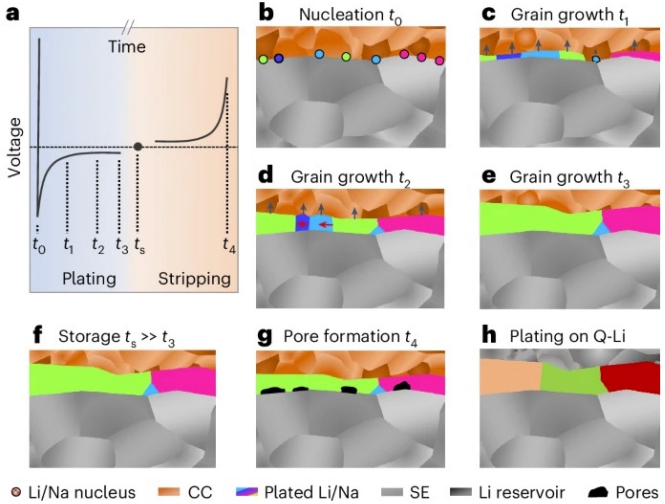
Wu等人[3]通过碱蚀刻步骤，利用微米级硅颗粒合成了一种核-壳结构。该步骤在硅的表面、双层“壳”层之间形成了一个空隙，从而能更好地适应体积膨胀。采用这一策略后，在全电池中经过100次循环后，其容量保持率高达95%。



来源：[1] Li et al. J. Am. Chem. Soc. 2024; [2] Sun et al. Nano Lett. 2024.; [3] Wu et al. Small. 2024 ; [4] Choi and Aurbach. Nat. Rev. Matter. 2016

VF | VOLTA FOUNDATION

利用电子背散射衍射技术对无负极固态电池中金属锂和金属钠的微观结构进行成像研究



图：无锂源电池在经历电化学沉积与溶解过程时，碱金属薄膜的柱状微观结构的演变示意图及其成因。

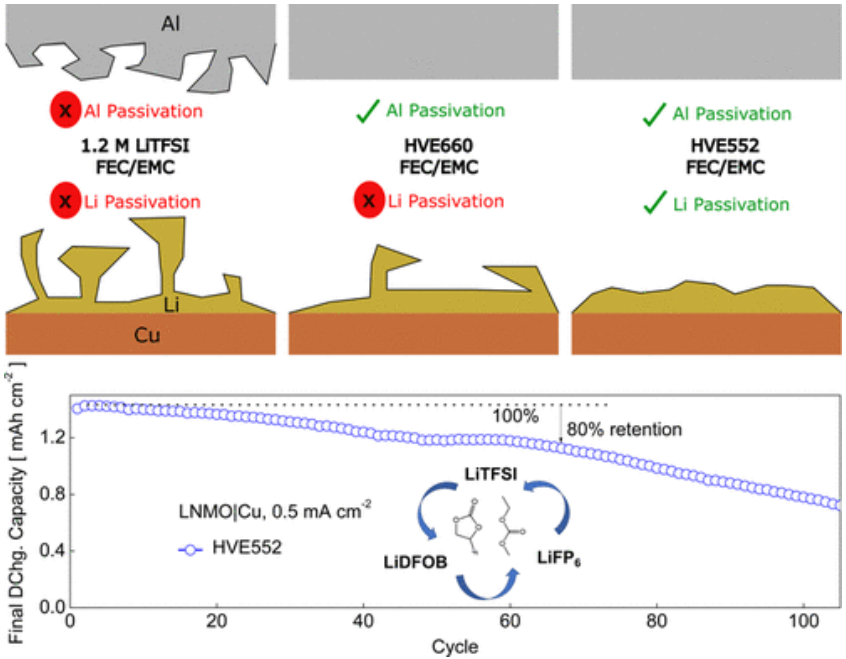
在这项研究中，通过原位电子背散射衍射技术对金属的生长和溶解过程进行了研究，从而得出了一些新的见解：

- 通过控制沉积的微观结构，可以调节相关的电化学性质，例如实际的电化学剥离容量。在小晶粒微观结构上进行调整的效果更加明显
- 控制集流体或固体电解质的微观结构不能显著影响沉积金属的微观结构。在锂箔上沉积的锂与固体电解质或锂箔的微观结构不匹配
- 在电沉积过程中，碱金属内部晶界的移动促成了晶粒的合并。特定的杂质（例如籽晶层或颗粒）可以影响这种晶界运动，并用于修改微观结构

a-g：金属电极一个循环的电压分布示意图（a），以及相应的金属微观结构示意图，包括成核时的微观结构（b），随后在时刻t_1(c)、t_2(d)和t_3(e)的晶粒生长过程的微观结构、储存后的微观结构（f），以及由电化学溶解引发形成孔洞后的微观结构（g），沉积在锂源上的金属微观结构示意图（h）。

来源：Fuchs et al. Nature Mat., 2024

用于 5 V无负极锂金属电池的三元盐-溶剂型电解质体系



- 研发了一种由双三氟甲磺酰亚胺锂（LiTFSI）、二氟草酸硼酸锂（LiDFOB）和六氟磷酸锂（$LiPF_6$）三种盐在碳酸酯类溶剂（氟代碳酸乙烯酯/碳酸甲乙酯，FEC/EMC）中组成的体系，应用于高能密度锂金属电池。
- 双三氟甲磺酰亚胺锂（LiTFSI）对铝表面具有强腐蚀性，不过，通过添加二氟草酸硼酸锂（LiDFOB）盐对铝集流体进行钝化处理，可减轻这种腐蚀。然而，由于二氟草酸硼酸锂（LiDFOB）会被快速消耗，LiTFSI和LiDFOB的二元盐组合无法实现电池的长期循环。
- 六氟磷酸锂（$LiPF_6$）可形成富含氟化锂（LiF）的固态电解质层，以此来提高电池的循环稳定性和长期性能，同时还能增强离子传导性。
- 该电解质在无钴的锂镍锰氧（$LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$）-无负极锂金属电池中进行了测试，该电池完成了65次循环，且容量损失小于20%。

来源: Shubhadeep Pal et al. , ACS Energy Letters 2024

2 学术界

宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

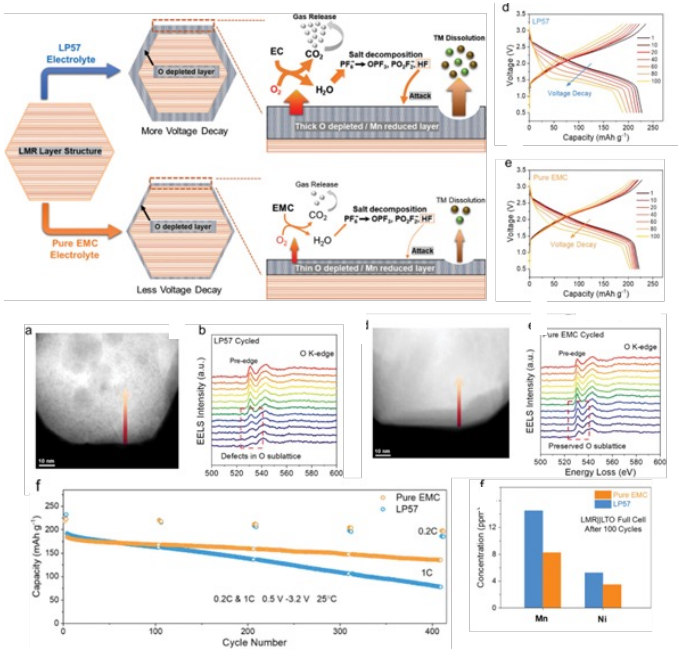
富锂高压电池电解液开发新策略

Wang 等人提出了一种创新方法，通过研究不同电解液溶剂对正极表面氧损失的影响，有效抑制$Li_{1.2}Mn_{0.6}Ni_{0.2}O_2$（LMR）正极的电压衰减和容量衰减。

本研究侧重于EC对正极表面氧损失的影响。研究发现，虽然EC溶剂不影响体相氧稳定性（通过同步X射线衍射SXRD和恒电流间歇滴定技术GITT证实），但会加剧表面氧损失（通过X射线吸收谱XAS、电子能量损失谱EELS和拉曼光谱证实）。进一步研究表明，这种表面氧损失与Ni、Mn溶解增加密切相关（漏电流分析和在线电化学质谱验证OEMS）。

LMR||LTO电池的恒电流循环测试表明，与EC/EMC混合电解液相比，纯EMC电解液在400次循环后容量保持率提升75%。

使用无EC电解液（如纯EMC）可减少正极表面氧损失和过渡金属溶解，同时最大限度地降低富锂高压电池的容量衰减和电压衰减。



来源：Wang, Rui, et al. "Influence of Carbonate Electrolyte Solvents on Voltage and Capacity Degradation in Li-Rich Cathodes for Li-ion Batteries." Advanced Energy Materials (2024): 2401097.

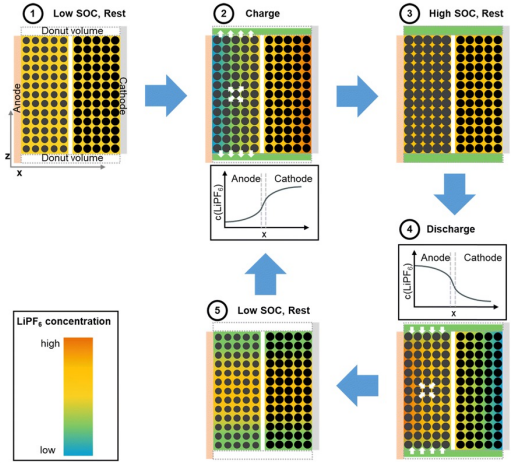
VF | VOLTA FOUNDATION

电解液迁移所引起的盐浓度不均——大尺寸锂离子电池的新型老化机制

宝马公司的Solchenbach等研究人员提出了一种尚未充分研究的电池老化机制：电解液迁移诱导盐浓度不均一性（EMSI）

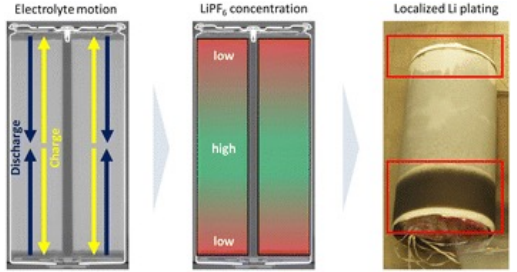
在该机制中，充电时从卷芯排出的电解液盐浓度低于平均水平。

经过多次循环后，由于盐浓度沿卷芯高度（约95mm）重新平衡需要数周至数月时间，导致盐浓度极化现象逐渐形成。



此假设通过以下方法得到验证：

- X射线计算机断层扫描
- 转动惯量分析
- 电池拆解
- 沿卷芯高度（z轴）采样的离子色谱 (IC) 和液相色谱-质谱分析 (LC-MS)
- 循环过程中的容量、直流内阻和放电末端滑移分析
- P2D模拟



这种盐浓度极化分布会导致局部衰减和锂沉积，加速容量衰减和内阻增长。这种现象在更大尺寸、更高倍率的电池中更为显著。

在电解液负载量较低的电池中，这种效应并不明显
（即使在100% SOC下也没有净电解液从卷芯排出）

来源：Solchenbach et al. Energy Environ. Sci. 2024.

全固态电池的电池性能可重复性

本研究系统考察了全固态电池（ASSB）循环数据在不同实验室间的可比性。研究人员将商用NMC 622正极、Li_6PS_5Cl固态电解质和铟箔发送至21个不同研究组，要求各研究组在统一测试条件下，使用各自的电池组装设备和制备工艺进行ASSB电池的组装与循环测试

经过预处理后，0.1C倍率下的初始放电容量分布在23.7-143.1 mAh/g之间。这一结果表明，不同研究组和电池组装设备获得的ASSB电池数据可比性有限。

为提高数据可比性，我们建议在表1中详细报告所有工艺参数和电池参数。

此外，本研究里43%的电池失败率表明ASSB电池的组装具有挑战性，因此建议报告失效电池数量，以更好地评估组装方案的可重复性和可靠性。

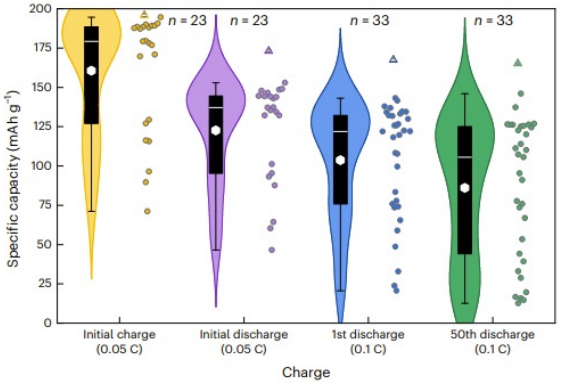


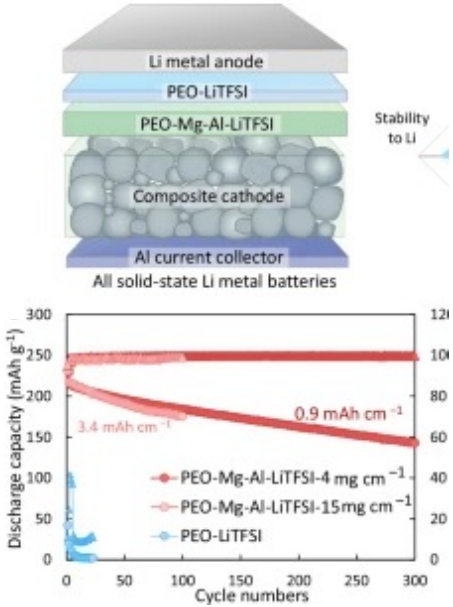
Table 1 | Set of ASSB assembly parameters

Parameter	Unit
Pressures p_x and **compression times** t_x used to process each cell component x (separator, positive electrode, negative electrode)	MPa and min
Compression profile at each step, that is, how fast the pressure was applied and released	
Cycling pressure p_{stack}, including if and how it was controlled during cell cycling	MPa
Atomic In-to-Li ratio in the negative alloy electrode[29]	at%
Positive electroactive material (CAM) loading	mg cm^{-2}
Initial open circuit voltage E_{OCV}	V vs Li^+/Li
Rest time t_{rest} before cycling	min or h

Parameters that should be consistently reported together with ASSB cell cycling data.

来源：Puls et al. Nat Energy. 2024

强路易斯酸配位PEO电解质在4.8V级全固态电池中实现超过580Wh/kg的能量密度



聚乙烯氧化物（PEO）基电解质是固态电池的常用材料，但通常在高电压下抗氧化性较差，限制了能量密度。

引入Mg^{2+}和Al^{3+}离子通过减弱醚氧链中的电子密度，减少与正极的不良相互作用，从而提高了循环稳定性。

作者使用路易斯酸配位电解质和高镍正极在4.8V下实现了300次循环的高电压稳定性。此外，工业级电解质膜和Ah级软包电池的演示，包括一个具有良好循环稳定性的电池，展示了其在实际应用中的潜力。

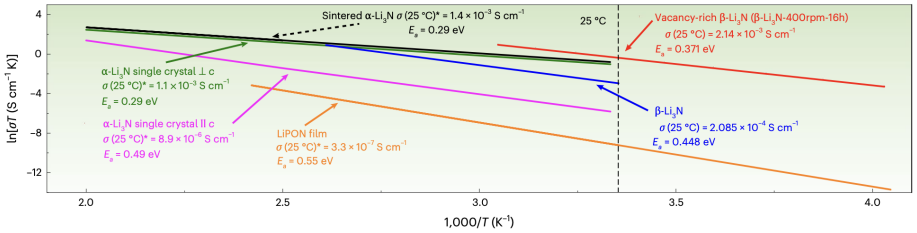
来源：An et al. Nature Comm., 2024

VF | VOLTA FOUNDATION

富空位β-Li_3N超离子导电电解质用于全固态锂金属电池的稳定循环

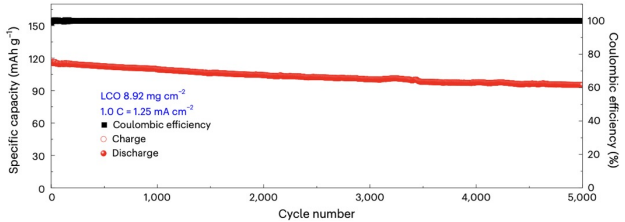
Li等人利用空位介导的超离子扩散机制在β-Li_3N中实现了2.14 × 10^{-3} S cm^{-1}的室温离子电导率，并表现出极其稳定的循环性能，超过了几乎所有报道的氮化物基固态电解质。

富空位β-Li_3N的离子电导率与其他氮化物基固态电解质的比较

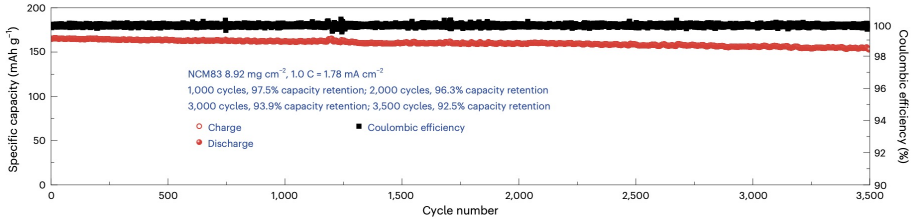


全电池应用：

LCO正极：在1.0C下循环5,000次，容量保持率为82.05%，容量为95.2 mAh/g



NCM83正极：在1.0C下循环3,500次，容量保持率为92.5%，容量为153.6 mAh/g



来源：Li et al. Nature Nanotech. 2024

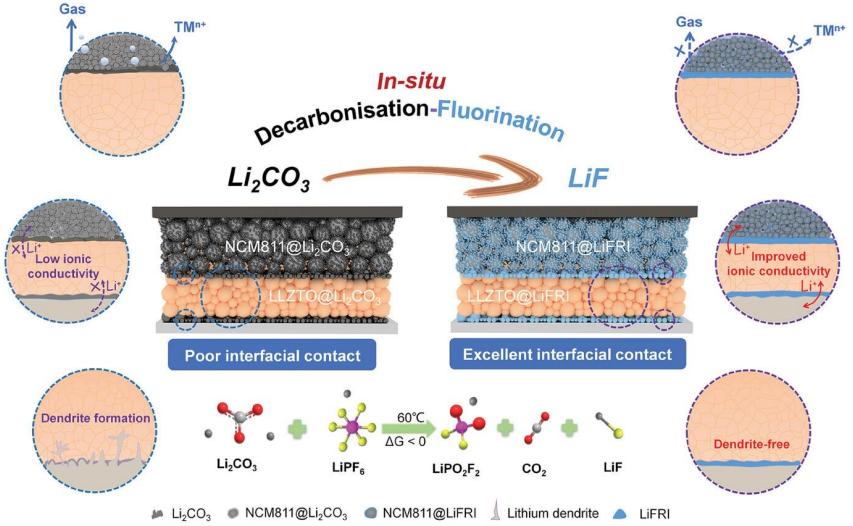
VF | VOLTA FOUNDATION

固态电池中原位Li_2CO_3转化以改善界面接触

锂插层陶瓷（如LLZTO）在接触水分或CO_2时通常会自发形成一层非活性的Li_2CO_3，阻碍循环中的动力学。传统的Li_2CO_3去除方法通常涉及高温或酸处理，这可能会损坏底层的LLZTO陶瓷电解质。

天津大学的研究人员开发了一种低温脱碳-氟化策略来解决这一问题。通过在60°C下将原位Li_2CO_3与$LiPF_6$反应，他们成功地在整个电池中构建了超稳定的富LiF界面。

值得注意的是，这种氟化策略能够去除所有界面（包括晶界）中的大部分Li_2CO_3。所有界面的氟化还抑制了寄生反应，同时降低了界面电阻，消除了高达4.5V的循环窗口内的气体逸出，并展示了高达7,000小时的循环稳定性。



Li_2CO_3是常见的锂电池降解产物，会抑制电池循环。将Li_2CO_3原位转化为富LiF区域，可形成具有稳定电化学循环的保护性界面。

来源：Guo, Pan, Yi, Chi, Yin, Geng, Yin, Zhan, Zhao, Jin, Fang, He, Kang, Wu, Yang

2 学术界

宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

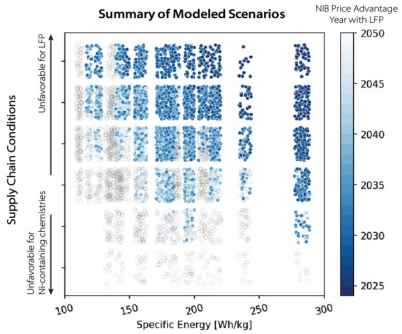
VF | VOLTA FOUNDATION

钠离子电池 - 锂离子电池的新型替代品

钠离子电池的成本预测

Yao等人[1]的研究表明，到 2030 年代初，钠离子电池的成本有望与低成本的锂离子电池持平。该研究探索了 6000 多种应用场景，以评估各种发展路线图和市场条件，并强调大量的研发进展对于实现这一转变至关重要。

研究指出，钠离子电池领域已形成显著的制造产能布局，截至2030年已宣布的产能规划总量超过240GWh，这表明业界对该技术的高度关注和投资意愿，旨在应对锂价波动的市场环境。



钠离子电池已突破纯学术的研究范畴，正式进入产业化应用阶段。

四种商用钠离子电池的拆解分析

Dorau等人[2]对四种市售圆柱形钠离子电池进行了全面分析，揭示了其在结构设计与电化学性能之间的关键关联机制。

这些电池的容量范围为1.3-10Ah，工作电压在3.0-3.1V，采用镍锰铁(NMF)层状氧化物作为正极材料，并搭配粒径为2-12μm的硬碳作为负极。

正极材料通过锆（Zr）或铜（Cu）掺杂进行改性，可提升离子扩散速率并增强结构稳定性，从而减缓容量衰减。全电池的比面积容量达1.29–1.98 mAh/cm²。在0°C低温环境下，所有电池均存在钠金属析出风险，可能导致高倍率充电时的安全隐患。

隔膜为聚乙烯基材，涂覆有保护性的氧化铝涂层（α-Al_2O_3）。在正极中掺杂锆或铜可改善离子扩散和结构稳定性，减轻电池退化。比面积容量范围为1.29毫安时/平方厘米到1.98毫安时/平方厘米。在0°C时进行高倍率充电，所有电池都存在钠枝晶析出的风险，这可能导致安全隐患。

Table I. Specifications and CAD models of the examined cells according to the data sheets provided by the manufacturer.

Manufacturer	Transimage	Highstar	Highstar	CBAK
Cell model	18650E-1300	NaCR18650-1.3ER	NaCR3290-5ER	32140NS
Cell index (in this work)	I	II	III	IV
Cell diameter and height in mm	18 × 65	18 × 65	33 × 90	33 × 140
Nominal voltage in V	3.1	3.05	3.05	3.0
Nominal capacity in Ah	1.3	1.3	5	10
Maximum charge current in C-rate	1	1	1	0.5
Maximum discharge current in C-rate	3	6	5	3
Voltage limits in V	1.5 to 3.95	1.8 to 3.95	1.8 to 3.95	1.5 to 3.95
Internal resistance in mΩ	⩽ 20	⩽ 30	⩽ 4	⩽ 4
Mass in g	30	36.5	145	267
CAD model				

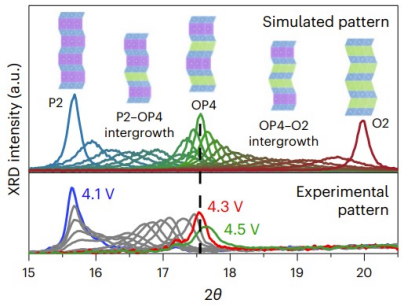
来源：

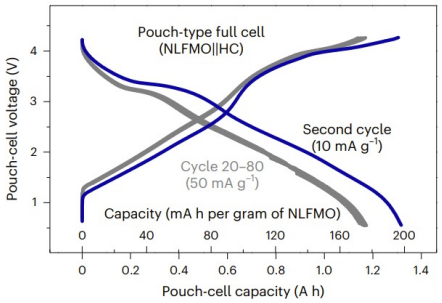
[1] Yao, A., Benson, S.M. & Chueh, W.C. Critically assessing sodium-ion technology roadmaps and scenarios for techno-economic competitiveness against lithium-ion batteries. Nat Energy (2025)

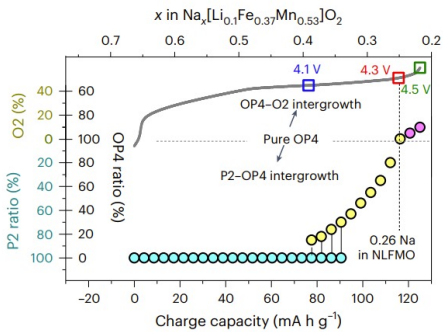
[2] Comprehensive Analysis of Commercial Sodium-Ion Batteries: Structural and Electrochemical Insights, Filip Adam Dorau et al 2024 J. Electrochem. Soc. 171 09052

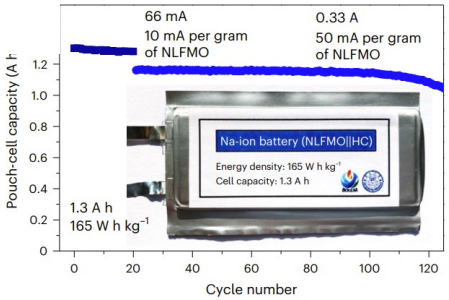
VF | VOLTA FOUNDATION

调控OP4相变机制可实现高循环稳定性









Wang等人[1]通过精准调控P2–OP4–O2共生结构，成功抑制了高SOC状态下的结构相变。研究发现，OP4相作为边界相可阻止不可逆结构畸变，实现198 mAh/g的比容量，100次循环后具有92%的容量保持率。该研究定量分析了正极亚晶格中的锂离子在过渡金属（TM）层与碱金属（AM）层间的可逆迁移行为，且该迁移行为在4.3 V截止电压下仍保持高度可逆性。

研究将关键OP4相变锁定于4.3 V电压点，有效消除了邻近O型堆垛缺陷引发的结构畸变。通过协同优化阳离子（Fe/Mn）与阴离子（O）的氧化还原活性，该材料实现125.5 mAh/g的首次充电容量和165.8 mAh/g的放电容量。

基于此正极开发的钠离子软包电池能量密度达165 Wh/kg，建立了钠电(SIB)性能新标杆。将正极的电压窗口从1.5 V提高到4.3 V，能量密度从480 Wh/kg提升到了550 Wh/kg（正极材料层面），提升了15%，标志着钠离子电池技术的重大突破。

通过协同调控P2–OP4–O2相变路径，可稳定层状氧化物的电化学性能，抑制结构畸变，显著提升能量密度，在提升氧化还原可逆性的同时保持高容量保持率。

来源: [1] Wang, X., Zhang, Q., Zhao, C. et al. Achieving a high-performance sodium-ion pouch cell by regulating intergrowth structures in a layered oxide cathode with anionic redox. Nat Energy 9, 184–196 (2024)

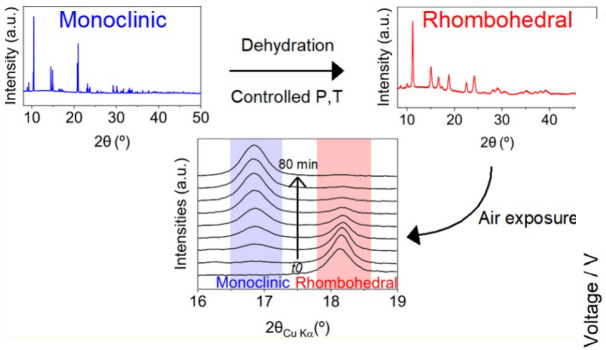
VF | VOLTA FOUNDATION

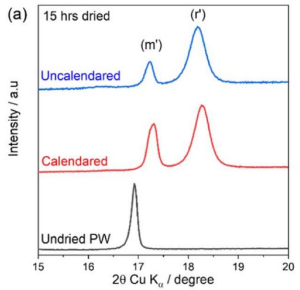
水分含量调控——普鲁士白体系稳定性与性能提升的关键机制

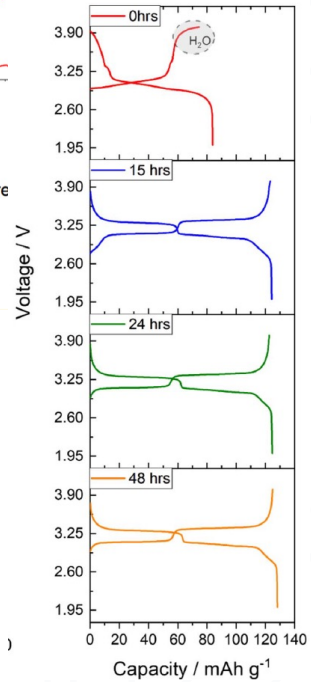
Dreyer等人[1]对普鲁士白（PW）正极的气体析出行为进行了定量研究，结果表明：在循环过程中，使用$NaClO_4$电解液体系的氰气（$(CN)_2$）释放量显著高于$NaPF_6$体系。未经干燥处理的PW材料在过充状态下释放高达6.44 wt%的水分，引发氢气（H_2）析出；而$NaPF_4$电解液可有效抑制有毒氰气生成，揭示了材料含水量与电解液选择对电池安全性的关键影响。

Maddar等人[2]的研究表明，在170℃、10^{-2}mbar真空条件下对普鲁士白（PW）进行48小时脱水优化处理，可达到10 wt%的水分脱除，材料结构转变为菱方相结构，比容量提升至~160 mAh/g。延长干燥时间和降低真空压力可进一步改善电化学性能。再水化实验显示，材料在标准环境条件下可吸收高达10%的水分，导致性能改善完全逆转，这验证了稳定性控制的临界水含量阈值。

Clavelin等人[3]系统研究了普鲁士白（PW）正极的脱水与再水化行为，发现单斜相（monoclinic）向菱方相（rhombohedral）的相变温度在10^{-2}mbar真空条件下可降至120℃（常规20mbar压力下需135℃）。菱方相较单斜相展现出更高的储钠能力，其比容量达理论值的90%（~154 mAh g^{-1}），显著优于单斜相的81%（~126 mAh g^{-1}）。值得注意的是，暴露于空气中80分钟内，超快再水化过程即引发菱方相（rhombohedral phase）向单斜相（monoclinic phase）的逆向转变。







有效调控普鲁士白（PW）正极的水分含量与脱水工艺，对其电化学性能优化及电池安全性保障至关重要。若辅以高效干燥策略，水性电极加工工艺同样具备可行性。

来源：

[1] Dreyer SL, Maddar FM, Kondrakov A, Janek J, Hasa I, Brezesinski T. Elucidating Gas Evolution of Prussian White Cathodes for Sodium-ion Battery Application: The Effect of Electrolyte and Moisture. Batter Supercaps 2024:202300595.
[2] Maddar FM, Walker D, Chamberlain TW, Compton J, Menon AS, Copley M, et al. Understanding dehydration of Prussian white: from material to aqueous processed composite electrodes for sodium-ion battery application. J Mater Chem A 2023;11:15778–91.
[3] Clavelin A, Thanh D Le, Bobrikov I, Fehse M, Drewett NE, López GA, et al. Dehydration Conditions and Ultrafast Rehydration of Prussian White: Phase Transition Dynamics and Implications for Sodium-Ion Batteries. ACS Mater Lett 2024:5208–14.

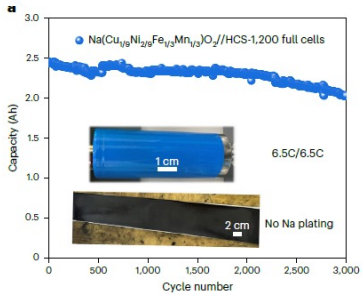
VF | VOLTA FOUNDATION

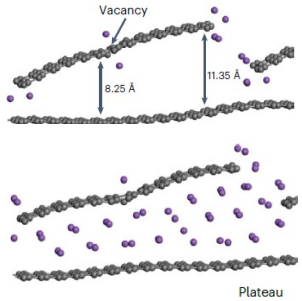
硬碳材料储能机制的新发现

硬碳负极的快充技术

Li等人 [1]揭示了硬碳负极中锂（Li^+）与钠（Na^+）的统一存储机制，提出钠离子在楔形纳米孔中的类欠电势沉积（UPD-like）过程。

由于于钠与石墨烯壁之间的界面能差，这种机制促使准金属钠簇在略高于平台电位下发生沉积。基于这些理论开发的容量为3 Ah的26700电芯，在6.5C的超快充下未发生析钠，且循环3000周具有83%的容量保持率。该研究同时强调了平衡储钠容量与快速动力学特性的最优孔径为约1纳米（~1 nm），从而对纳米孔几何结构如何驱动电化学性能提供了根本性理解。

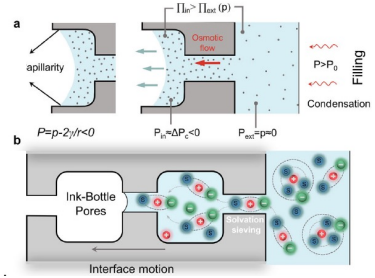


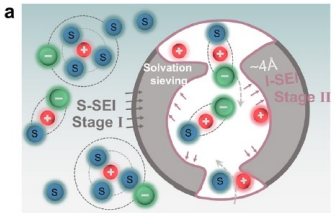


不依赖SEI的预脱溶剂化过程

Lu等人[2]通过揭示硬碳纳米孔内一种新型的、不依赖固态电解质界面（SEI）的预脱溶剂化过程，该过程由毛细管效应和渗透压驱动，从而重新定义了硬碳中的钠离子存储机制。与传统的SEI模型不同，该机制改变了电解质的溶剂化结构，在老化10天后实现了创纪录的99.09%的初始库仑效率（ICE）。

该研究提出了双SEI模型，分为表面SEI（S-SEI）与内部纳米孔SEI（I-SEI）。I-SEI更薄、富含无机物成分，可降低钠离子的传输阻抗，在全电池中实现了1.02的N/P及282 Wh/kg的能量密度。这一发现颠覆了以往对纳米孔在钠离子存储中作用的认知，证实了纳米孔主动调控钠离子存储行为的关键作用。





来源:

[1] Li, Y., Vasileiadis, A., Zhou, Q. et al. Origin of fast charging in hard carbon anodes. Nat Energy 9, 134–142 (2024)

[2] Lu, Z., Yang, H., Guo, Y. et al. Consummating ion desolvation in hard carbon anodes for reversible sodium storage. Nat Commun 15, 3497 (2024).

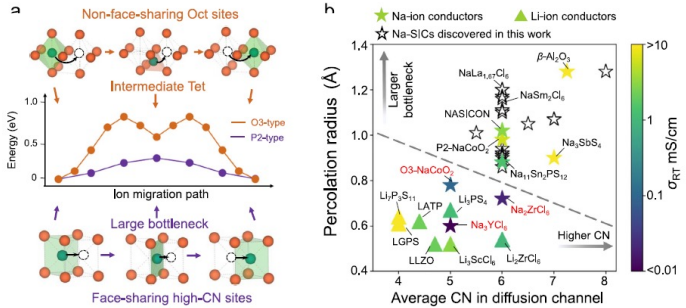
VF | VOLTA FOUNDATION

固态电解质工程领域的重大突破

钠超离子导体设计

Wang等人[1]确立了面共享高配位位点（CN≥5）为钠离子快速传导的关键结构特征，揭示了一类基于氯化物的钠超离子导体(NaxMyCl6)体系，其室温下高离子电导率高达1.4 mS/cm 。

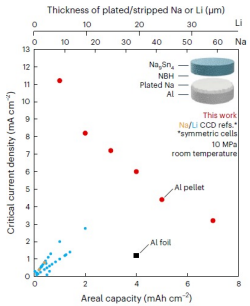
通过先进计算筛选方法，识别出了35种新型结构候选材料（包括NaLa1.67Cl6），其面共享八面体传导通道展现出低活化能垒（约0.13eV）。该发现不仅超越了Na2ZrCl6等传统材料的导电性能（0.02mS/cm），更确立了协调大瓶颈尺寸与低扩散势垒的核心设计准则。

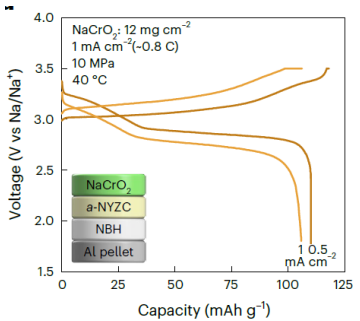


无负极设计原则

Deysher等[2]在无负极钠电全固态电池领域取得了一项突破性进展，他们在10MPa、40℃条件下成功实现了无负极钠全固态电池的稳定循环，其库仑效率高达99.96%，循环次数超过400次。

通过冷压法形成致密结构的硼氢化钠（$Na_4B_{10}H_{10}B_{12}H_{12}$）固态电解质，能够在超过6 mA/cm²的电流密度下进行循环。研究展示了一种创新的铝颗粒集流体，该集流体改善了固-固界面接触，实现了1 mAh/cm²的面容量下的均匀钠沉积与剥离。该集流体降低了界面电阻，并促进了致密钠层的沉积，这是抑制枝晶生长并维持电池结构完整的关键要素。





来源:

[1] Wang, S., Fu, J., Liu, Y. et al. Design principles for sodium superionic conductors. Nat Commun 14, 7615 (2023)

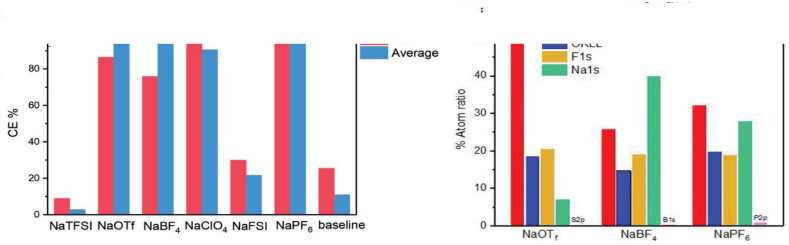
[2] Deysher, G., Oh, J.A.S., Chen, YT. et al. Design principles for enabling an anode-free sodium all-solid-state battery. Nat Energy 9, 1161–1172 (2024).

VOLTA FOUNDATION

液态电解质在钠金属/钠离子电池中的应用

醚类电解液中形成稳定固体电解质界面膜（SEI）实现钠负极优异循环稳定性

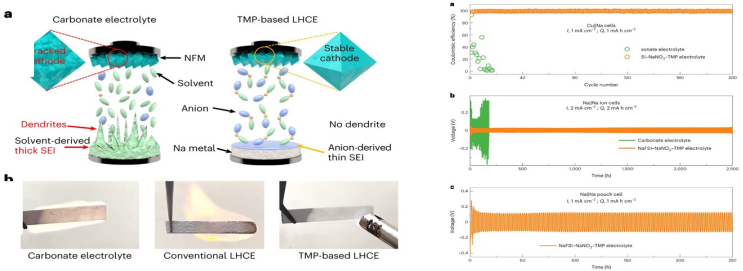
Le等人[1]的研究表明，含有1M NaBF4 的G4电解液在0.5 mAh cm-2的面容量和 0.5 mA cm-2 的面电流的钠负极循环测试中，经过1000次循环后仍能保持99.9%的库仑效率。而在硬碳负极中，该电解液在300次循环后容量保持率可达95%。XPS分析表明，电解液在正极侧形成了富含N-F和Na_2O的复合电解质界面（CEI）；而在负极侧，XPS结果显示SEI主要由无机物主导构成



Le等人研究表明，含有1M NaBF4或1M NaPF6的G4电解质是实际应用钠金属/钠离子电池的有前景候选材料。

盐类调控溶剂化结构实现钠金属电池的稳定

He等人[2]使用$NaNO_3$盐作为稀释剂调节溶剂化结构，构建了一种1.1 M NaFSI-$NaNO_3$-磷酸三甲酯（TMP）电解液，该电解液能够稳定钠金属负极-电解液界面。在Na||NFM电池中，该电解液在C/5倍率下经过500次循环后容量保持率达80%。由于TMP的存在，该电解液还表现出阻燃性能。



新型的1.1M NaFSI-NaNO3-TMP电解液在Na || NFM电池中，以C/5倍率循环500次后，容量保持率可达80%。

来源:

[1] Le, Phung ML, et al. "Excellent cycling stability of sodium anode enabled by a stable solid electrolyte interphase formed in ether-based electrolytes." *Advanced Functional Materials* 30.25 (2020): 2001151. ; [2]He, J., Bhargav, A., Su, L. *et al.* Tuning the solvation structure with salts for stable sodium-metal batteries. *Nat Energy* 9, 446–456 (2024). https://doi.org/10.1038/s41560-024-01469-y

2 学术界

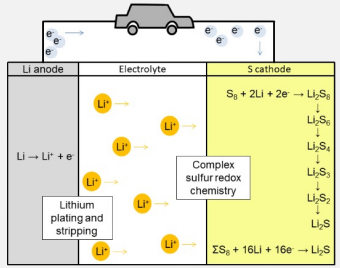
宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

VOLTA FOUNDATION

锂-硫电池技术在2024年面临快速增长，具有不同的优势和劣势

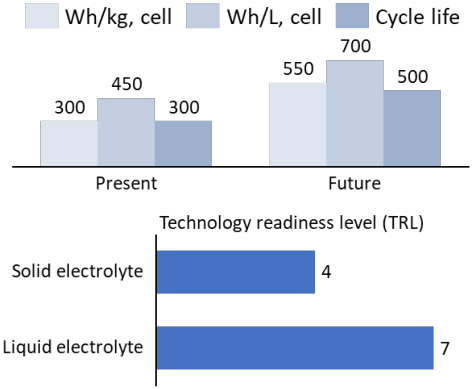
工作原理



- 负极：
  锂 ⇔ 锂$^+$ + e$^-$
- 正极：
  S + 2Li+ + 2e$^-$ ⇔ Li_2S
- 总体：
  S_8 + 2Li ⇔ Li_2S_8

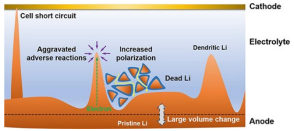
E ≈ 2.15 V *vs.* Li / Li$^+$

优点

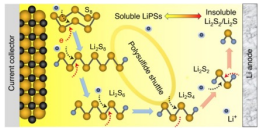


缺点

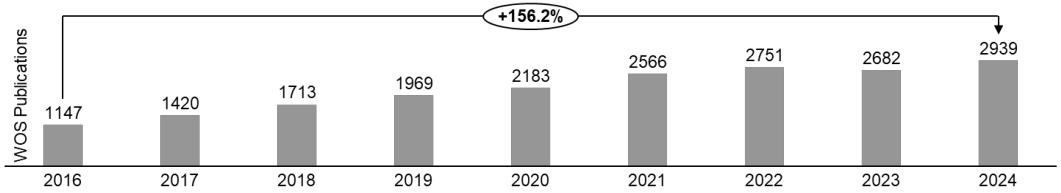
负极	锂树枝晶
	体积膨胀
	不稳定的SEI
	化学反应性
正极	S/Li_2S 导电性
	S/Li_2S 体积膨胀
	多硫化物穿梭
	迟缓动力学



锂金属负极



可溶性多硫化物
(Li_2S_x, 6≤x≤8)



从2016年到2024年，Web of Science中关于锂-硫电池的出版物数量增加了156.2%

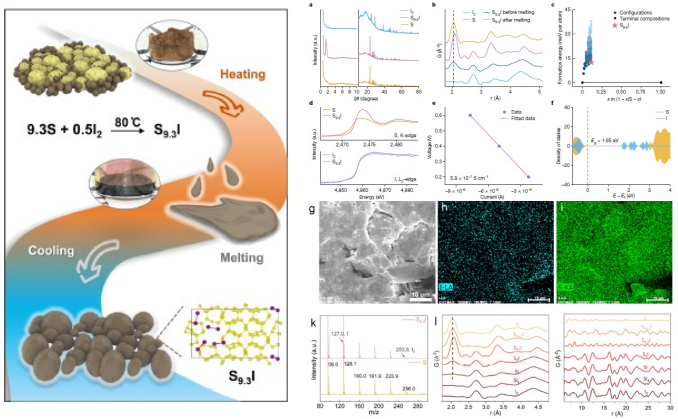
在2024年，有2939篇出版物将“锂-硫电池”作为关键词之一

来源：https://iolitec.de/node/657，Web of Science，替代电池技术路线图2030+（弗劳恩霍夫ISI，doi:10.24406/publica-1342），Adv. Sci. 2022, 9, 2103879，Front Chem., 2020, 8:409

VF | VOLTA FOUNDATION

一种新的硫碘分子晶体，$S_{9.3}I$，作为固态锂-硫电池正极，以解决硫的导电性差和界面不稳定性

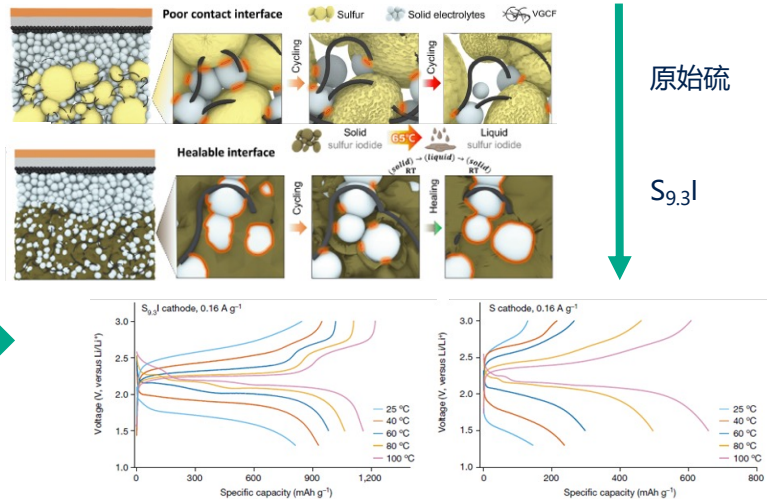
材料性质



合成：该材料通过研磨S和I_2粉末合成，然后加热至80°C。I_2 分子被整合到 S 晶格中，形成独特的晶体结构。

关键属性：$S_{9.3}I$ 显示出半导体级导电性（在 25°C 时为 5.9×10^{-7} S cm^{-1}），并具有低熔点（约 65°C），通过周期性重熔实现受损界面的自愈合。

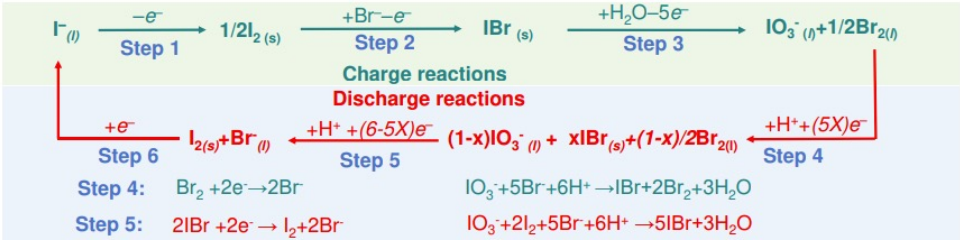
电化学性能

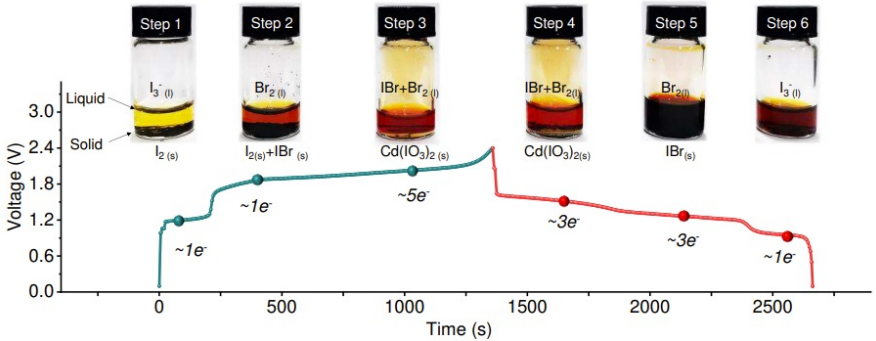


来源：Zhou, J., Holekevi Chandrappa, M.L., Tan, S. 等. 可愈合且导电的硫碘化物用于固态锂-硫电池. Nature 627, 301–305 (2024). https://doi.org/10.1038/s41586-024-07101-z

VF | VOLTA FOUNDATION

由异卤素启用的可逆多电子转移 I^-/IO_3^- 用于超高能量密度水系电池的正极





来源：[1] Xie et al., Nat. Ener 2024

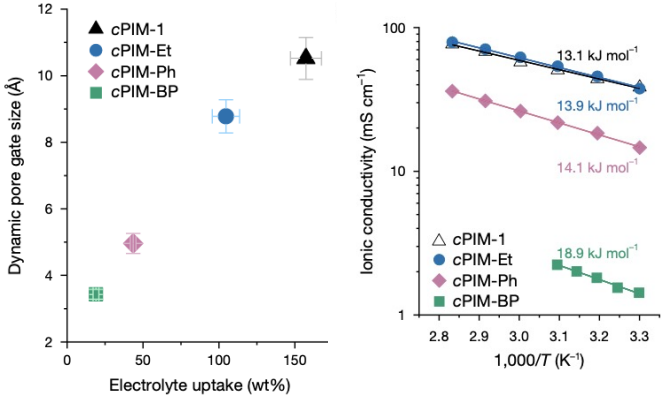
谢等人[1]探索了一种基于卤化物离子的新的水系电池系统。 尽管仍处于开发的早期阶段，他们取得了：

- 高能量密度：在正极电解液水平下，使用高异卤素电解液和 I_2/IO_3^- 对中的多电子转移，能量密度超过 1200 Wh L^{-1}。
- 高效性能：在电流密度为 120 mA cm^{-2} 时保持 72% 的能量效率。
- 长循环寿命：在超过1000个循环中展示了改善的稳定性

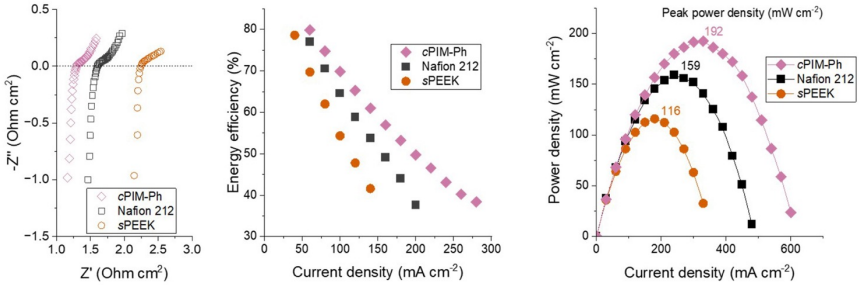
VF | VOLTA FOUNDATION

通过聚合物膜中的水合微孔选择性离子传输

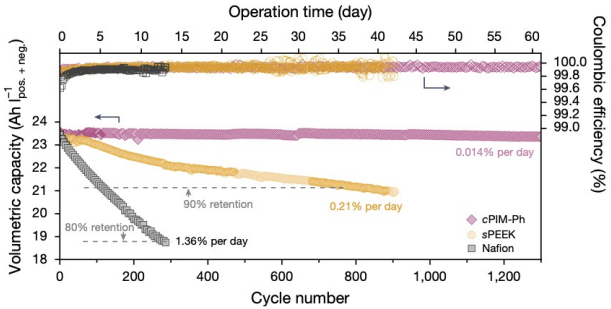
1. 在制造的聚合物中，具有苯基的内在微孔羧基聚合物（cPIM-Ph），孔门尺寸为5.0 ± 0.3 Å，在高离子导电性和对氧化还原活性物质的低渗透性之间达到了最佳平衡。



2. cPIM-Ph的性能优于Nafion 212和sPEEK，在广泛的电流密度范围内提供了卓越的能量效率、更高的峰值功率密度和更低的界面电阻。



3. 在AORBF应用中，容量延迟减少至0.014%/天，循环时间为1000小时。

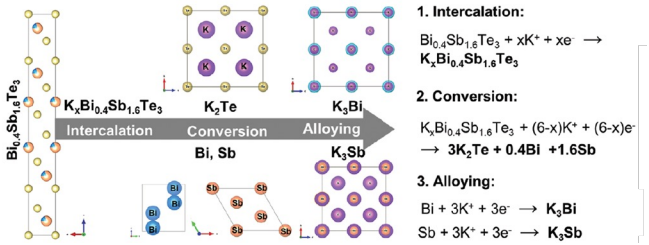


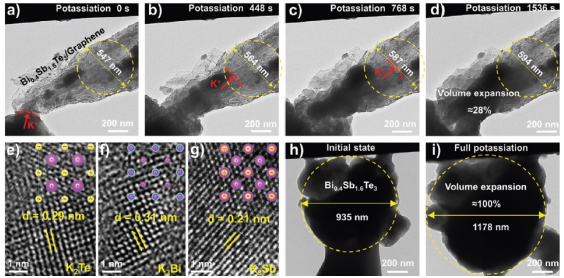
在水合状态下的过度膨胀会影响水性有机氧化还原液流电池（AORBF）中分离膜的选择性和导电性。Wang et al. 通过调节各种合成聚合物中孔的亲水性和刚性来解决这个问题。

来源：Wang et al. Nature. 2024

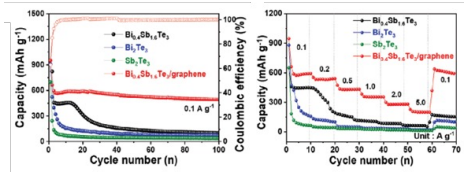
VF | VOLTA FOUNDATION

一种由层状三元$Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te_3$和石墨烯组成的复合负极，开发用于钾离子电池

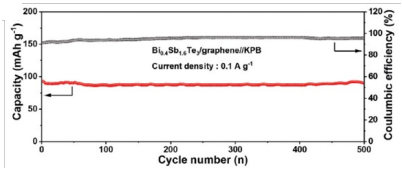




合成： 设计了一种复合负极，使用层状三元$Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te_3$锚定在石墨烯层上，其中Bi原子作为Sb的晶格软化剂。



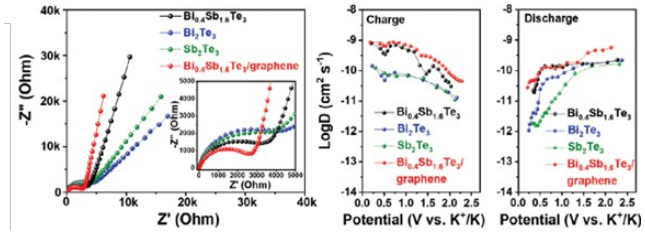
循环稳定性和速率能力



$Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te_3$/石墨烯//KPB全电池

结构-性能相关性：

由于其晶格排列和结构，$Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te_3$/石墨烯在钾化/脱钾过程中表现出28%的减小膨胀，并展现出良好的K^+离子转移动力学，使其在高速率下具有500个循环的使用寿命。



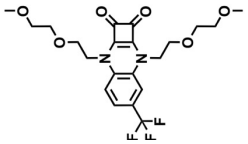
理论计算和电化学检查阐明了K^+迁移路径，并表明$Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te_3$/石墨烯中的能量障碍降低。

来源：Adv. Mater. 2024, 36, 2313835

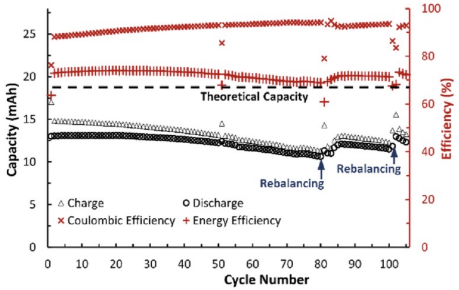
高电位和多电子正极电解质的Squaramide支架开发，用于氧化还原液流电池

合成具有低容量衰减和高溶解度的高电位正极电解质材料，以用于非水有机氧化还原液流电池（N-ORFB）应用仍然是一个挑战。 为了解决这个问题，Tracy 等人报告了一类新型正极电解质材料，这些材料源自方酸喹啉（SQX）和方酸酰胺（SQA）材料。

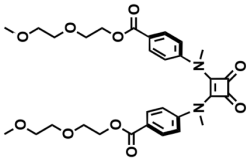
SQX-1



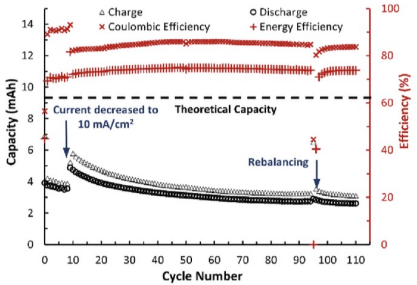
$E_{1/2}$ vs Fc/Fc^+: 0.51 V
% 衰减/h: 0.23%
循环/时间: 100循环/ 22.5小时
最大荷电状态（SOC）：88%



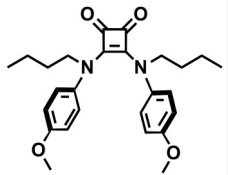
SQA-1



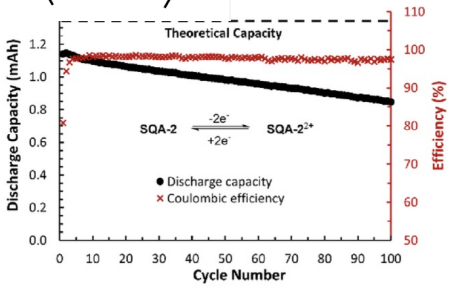
$E_{1/2}$ 对 Fc/Fc^+: 0.81 V
% 衰减/h: 0.36%
循环/时间：100 次循环/ 20.8 小时
最大荷电状态（SOC）：81%



SQA-2



$E_{1/2}$ 对 Fc/Fc^+: 0.48 V, 0.82 V
% 衰减/h: 0.56%
循环/时间：100 次循环/ 40.2 小时
最大荷电状态（SOC）：86%



注意：SQX-1 和SQA-1 在液流电池中测试，SQA-2 在H-cell 设置中测试。

来源：Tracy等人，《美国化学杂志》，2024

2 学术界

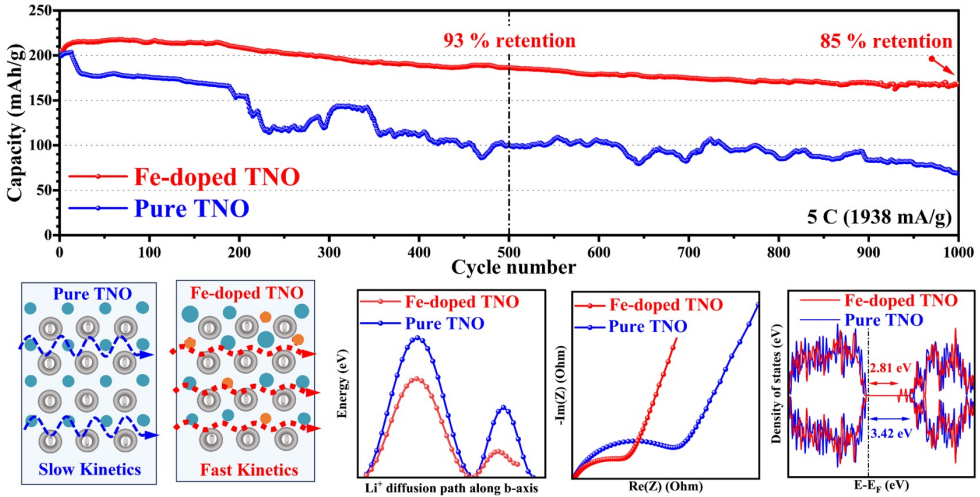
宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

$TiNb_2O_7$负极的替代掺杂以实现极快充电

Yu等人报告了一种具有长循环稳定性的超快充负极材料，该负极是通过在单晶$TiNb_2O_7$纳米结构中进行铁（Fe）的替代掺杂实现的。通过结合理论建模和实验表征，揭示了铁的替代掺杂影响材料电子性能、离子扩散动力学以及结构稳定性的潜在机制。最佳的Fe^{3+}掺杂的TNO（$TiNb_2O_7$）单晶材料（$Fe_{0.05}Ti_{0.95}Nb_2O_{6.975}$）在10C（仅6分钟充电时间）的超快速充电协议（结合1C放电）下展现出了238 mAh/g的卓越充电比容量，并且在5C倍率下比容量为200 mAh/g，经过1000次循环后容量保持率为85%。计算结果表明，Fe^{3+}的替代掺杂导致了带隙的降低，同时锂离子（Li^+）扩散的能垒也有所减小。



通过密度泛函理论（DFT），利用Fe^{3+}替代掺杂的方法合成了一种具备超快充性能和长循环寿命的$TiNb_2O_7$负极材料。

来源: F. Yu, etal., "Fe^{3+}-substitutional doping of nanostructured single-crystal $TiNb_2O_7$ for long-stable cycling of ultra-fast charging anodes", Nano Energy 133 (2025) 110494

VF | VOLTA FOUNDATION

利用磁场效应增强扩散动力学过程，并有效延长电池寿命。

Chen等人报告称，磁场能够改善锂离子电池和钠离子电池的电极动力学、离子传输性能以及电池使用寿命。

在扣式电池中添加钕铁硼（NdFeB）磁性垫片后，NMC 622//Cu电极的化成循环过程明显更加均匀，这一点从图1中对照组（a）和施加磁场组（b）的化成循环中电压随时间的变化情况可以得到证明。施加磁场组在首次（c）和第二次（d）循环中，其容量也得到了大幅提升。

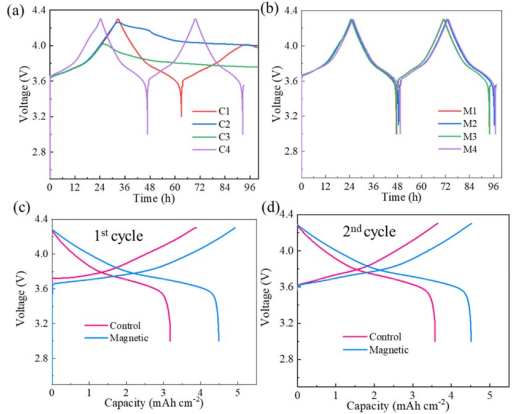


图1

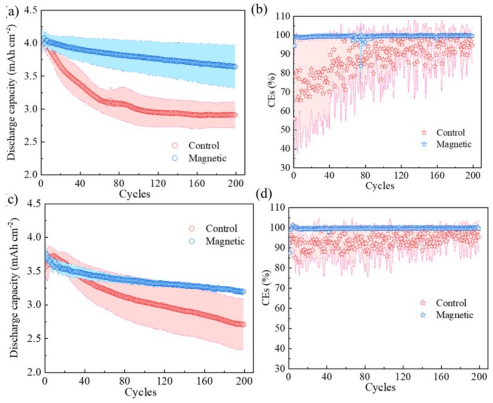


图2

此外，当对NMC 622//石墨电池进行较长时间的循环测试时（见图2），在电池施加磁铁的情况下，其容量保持率和库仑效率有明显提升。针对NMC 622//石墨电池在有/无磁场条件下的循环性能：两组电池在电流密度为0.5 mA/cm^{2}时的放电容量（a）和库仑效率（b），以及在电流密度为2 mA/cm^{2}时的放电容量（c）和库仑效率（d）均显示出差异，施加磁场时电池的性能表现更优。

来源：Chen et al. Journal of Power Sources Volume 602, May 2024. DOI:https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.234323

VF | VOLTA FOUNDATION

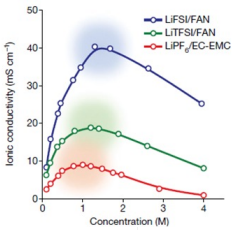
将氟乙腈（FAN）与双(氟磺酰)亚胺锂盐相结合，实现超快锂离子传导

本文介绍了一种全新的锂盐-溶剂配体机制。在此机制中，小尺寸的氟乙腈（FAN）溶剂会在锂离子（Li^+）周围形成双重溶剂化鞘层，从而产生快速的锂离子传输通道，并形成稳定的固体电解质界面膜（SEI）。

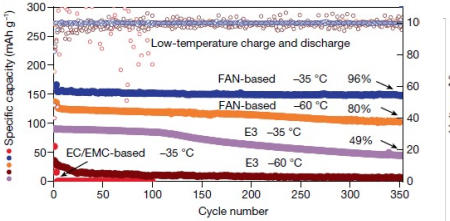
典型工况性能：

- 在零下80摄氏度时，软包电池的可逆容量达到其室温容量的51%。
- 在6C高倍率充电测试中，基于氟乙腈（FAN）的电解质表现优于传统电解质，在3000次循环后容量保持率仍达80%。

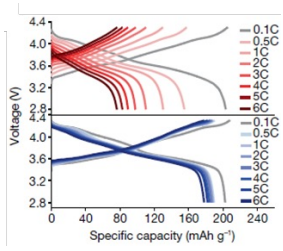
超高离子电导率

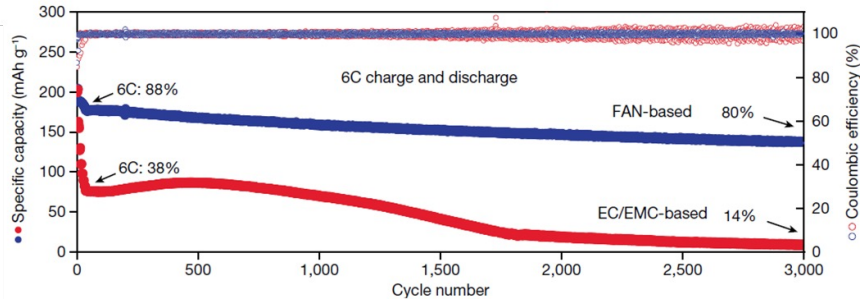


低温性能



快速充电性能





来源：Nature. 2024. 627(8002): 101-107 (https://www.nature.com/articles/s41586-024-07045-4)

2 学术界

宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

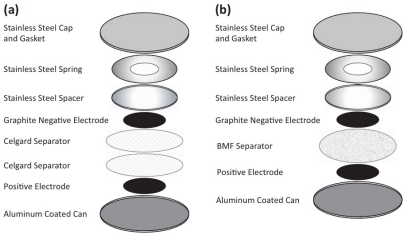
VF | VOLTA FOUNDATION

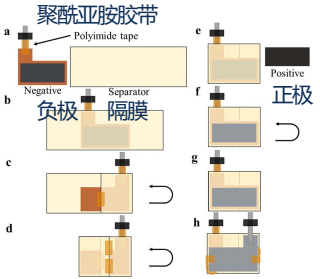
VF | VOLTA FOUNDATION

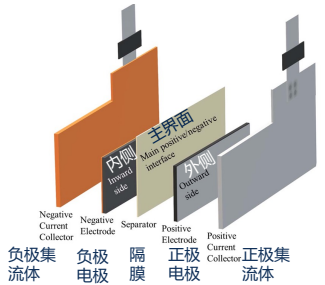
纽扣电池与软包电池在电池研究中的比较

	纽扣电池	软包电池
过程	电极和隔膜圆盘冲压，然后将圆盘、间隔器和弹簧压入硬币电池中。 对于统计分析，建议每批生产3-10个电池。	电极分切和堆叠、极耳焊接、封袋、注液、化成、排气和二次封装。
电极对齐	正极和负极的对齐非常重要（理想情况下为100%）。Murray等人的研究表明，使用相同尺寸电极、单层聚丙烯吹塑微纤维(BMF)隔膜、用真空笔而不是镊子构建的硬币电池比其他纽扣电池配置更具可重复性[2]。	由于许多手动步骤，产生主要的对齐错位风险。Garayt等人的研究表明，单层软包电池在没有负极过焊的情况下表现更好[3]。
电池压力	内部压力来自弹簧和堆叠厚度。	夹具提供外部压力。
电解液	电解液的量需要控制（过量电解液可能导致在压接过程中溢出）。	由于表面积更大，软包电池的干燥和电解液浸润更为重要。

“为了获得关于新电池材料的准确和可靠的数据，重复性和电池制造质量对于确保可重复的研究结果至关重要” [1]







来源：
[1] Dai, F., Cai, M. 锂电芯制备和评估的最佳实践. *材料通讯* 3, 64 (2022). https://doi.org/10.1038/s43246-022-00286-8
[2] Vivian Murray 等 2019 电化学学会杂志 166 A329
[3] Matthew D. L. Garayt 等 2023 电化学学会杂志 170 080516

VF | VOLTA FOUNDATION

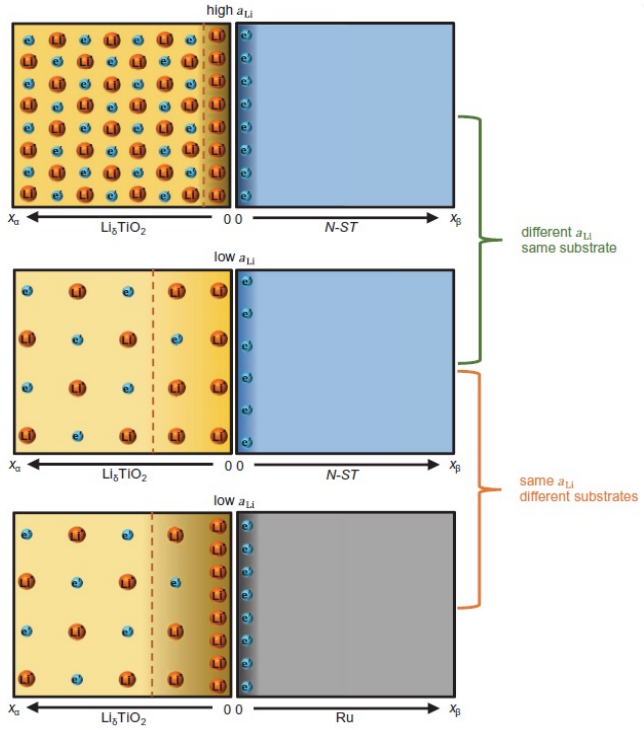
嵌入与超级电容储存概念的统一 —— 氧化钛的储存特性

本研究弥合了嵌入型电池与超级电容器之间的差距，提供了一种统一的方法来理解能量储存中高能量密度与快速充放电能力之间的权衡。

电池电极中的嵌入储存和超级电容储存通常被视为独立现象，因此在不同的科学社区中进行研究。 通过对不同厚度的氧化钛薄膜进行定制实验，肖等人的研究展示了这两种过程同时发生的情况。

厚样品和/或集流体的高电子（自由）能量有利于插入模式，而薄样品和/或集流体中多余电子的易于容纳则有利于超级电容模式。

Fig. 5. Sketch of the storage situation for the phase combination of $Li_\delta TiO_2$ and current collector. Increased Li activity (a_{Li}) increases bulk storage and boundary storage (but to a lesser degree) and decreases the space charge width (indicated by dashed lines). If *N-ST* is replaced by Ru, the degree of interfacial storage is enhanced, whereas the bulk storage stays the same. Because of the high electronic concentration in electronic conductor, the screening is negligible.



来源：肖等人，《科学》，2024年

VF | VOLTA FOUNDATION

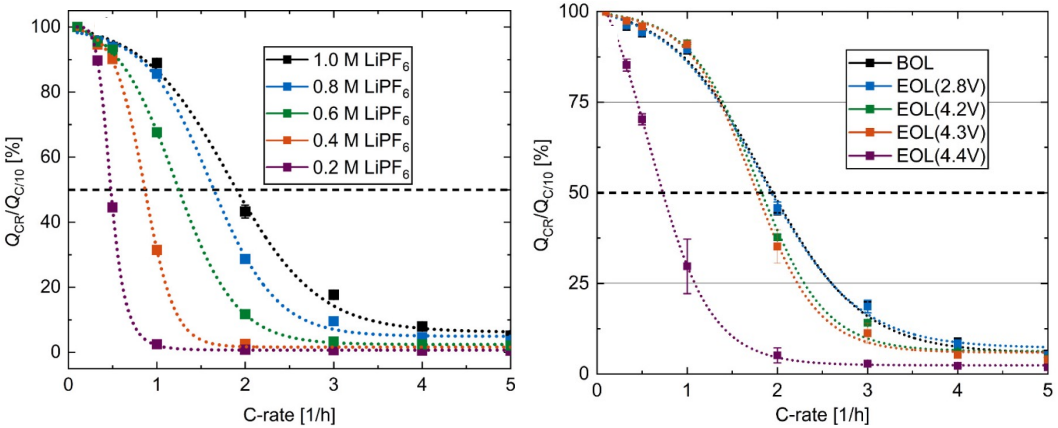
电解液六氟磷酸锂($LiPF_6$)衰减过程中的耗竭降低了电池的快充能力

正极的电解液氧化导致电解液中$LiPF_6$浓度的降低。 $LiPF_6$浓度的降低在慢速容量检查或直流脉冲中不可观察，但严重影响快速充电性能。Hartmann等人使用单层软包电池清楚地展示了$LiPF_6$浓度对低速充电和高速充电性能的影响。 这项工作突显了氧化稳定电解质的关键需求，以确保电动汽车在其生命周期内的一致快速充电性能。

单层软包电池中人工$LiPF_6$的变化（左）验证了$LiPF_6$耗竭是衰减的电池充电速率能力下降的主要原因（右）。 $LiPF_6$在衰减的电池中的耗竭通过离子色谱法和核磁共振验证，并在该研究中详细描述了$LiPF_6$的反应路径。

(左) 在25 °C下，不同$LiPF_6$浓度电解液的单层软包电池的放电速率能力。 电极来自于商业高镍（85%）NMC和石墨电池的初始使用阶段。

(右) 在25 °C下，单层软包电池在45 °C下以恒定电压保持1个月的日历老化放电速率能力。



来源：Hartmann等，电化学学会杂志171 060506

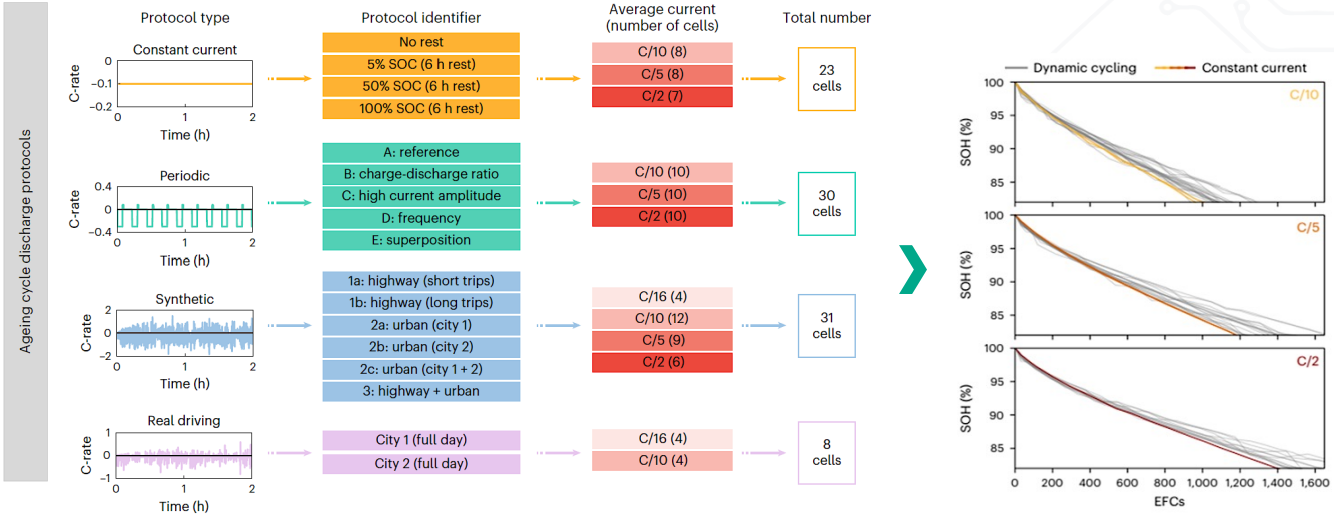
VF | VOLTA FOUNDATION

动态循环增强电池寿命

动态循环相比于恒流循环改善了电池寿命。

无论是否循环，随时间衰减被确定为容量下降的主导因素。

恒流循环并不能准确代表电动汽车的现实衰减情况。



电池化学和设计需要基于更现实的负载曲线进行评估，以更好地理解在不同层面（化学、材料和电池）上的衰减机制。 因此，通过基于现实循环条件重新审视衰减机制，可能会有改善电池性能和寿命的机会。

来源：自然能源，2024：1-9 (https://www.nature.com/articles/s41560-024-01675-8)

2 学术界

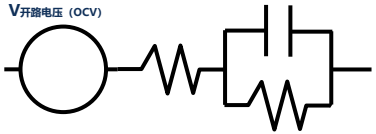
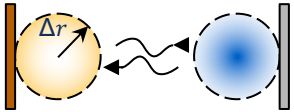
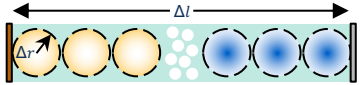
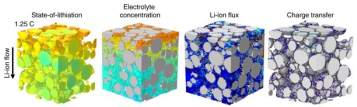
宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

电化学与简化模型 - 模型类型及应用

简单但实用 → *深刻但复杂*

	等效电路模型 (ECM)	单粒子模型 (SPM)	伪二维模型 (P2D)	微观结构解析模型
				 来自[2]
描述	电阻、电容和其他电路元件	界面电荷转移、固相质量传输和电阻	与SPM相同，但具有多个粒子域和电解液质量传输	在实际电极的三维重建上求解的控制方程
空间维度	无	1 (r: 粒子中的径向)	2 (r: 粒子中的径向，l: 电解液中的厚度)	在所有相中都是三维的
研发应用	模块/包装/系统设计 电池管理系统开发，电化学阻抗谱，电池老化分析	模块/包装/系统设计 充电协议优化 电池管理系统开发	电池和电极设计 模块/包装/系统设计 充电协议优化 电池管理系统开发	纳米、微米或介观尺度的颗粒和电极设计

来源： [1] "The evolution of battery modelling: From electrochemical to data-driven approaches"；[2] Lu et al. Nature Comm. (2020) 11 2079; [3] Battery modelling – Why 'physics-based' is not always best Other key references: Marquis et al 2019 J. Electrochem. Soc. 166 A3693; Plett and Trimboli, Battery Management Systems Vol. II and Vol. III; DeCaluwe et al 2018 J. Electrochem. Soc. 165 E637

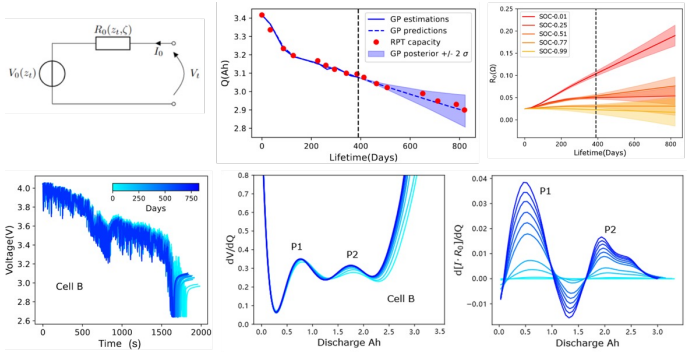
VF | VOLTA FOUNDATION

将人工智能集成到电池性能模型中，以便从有限数据中进行准确外推

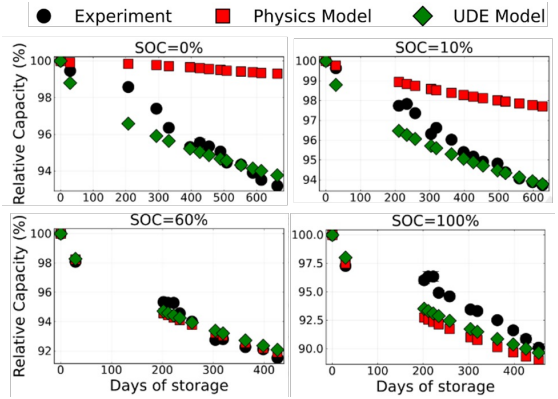
识别能够同时预测电池性能（即，预测电池响应与荷电状态、温度和倍率的关系）和退化（电池寿命期间性能变化）的模型是极具挑战性的。 性能和寿命的经验模型，包括等效电路模型，虽然更容易拟合，但在新的操作条件下外推效果较差。

基于物理的模型在新的操作条件下外推效果良好，但准确描述测试过程中观察到的电池性能变化的微分方程的定义极具挑战性。 将人工智能集成到电池性能模型中，通过学习可用的测试数据来补偿模型误差，从而减轻这一缺点，并将寿命预测从确定性转变为概率性。

Zhou等人[1]证明了通过高斯过程学习状态来增强一个极其基本的等效电路模型，以获取性能和健康参数。 所学习的模型能够补偿整个生命周期内的开路电压（OCV）变化。



Kuzhiyila等人[2]证明了使用通用微分方程（UDE）来增强基于物理的固态电解质界面（SEI）生长模型，从而使简单模型能够预测NMC811|Gr-Si电池的SEI生长。



来源：[1] Zhou 等人 arXiv 2407.06639v2, [2] Ayyangatu Kuzhiyil 等人 SSRN 4948229

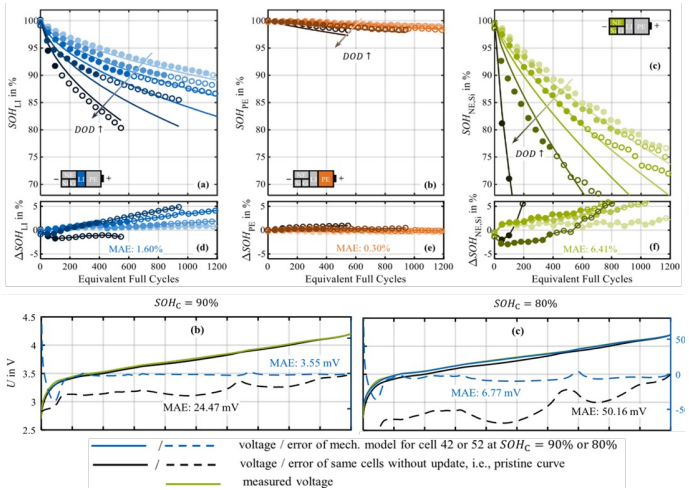
VF | VOLTA FOUNDATION

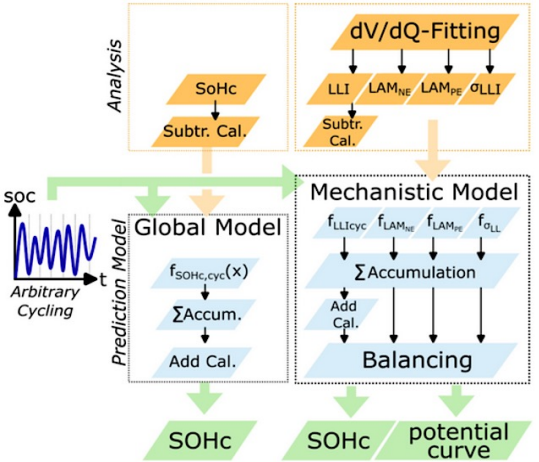
从加速老化数据中估计和推断老化模式，以估计电池生命周期内的容量衰减和开路电压曲线的变化

锂库存损失（LLI）和正负极活性材料损失（LAM_{PE}, LAM_{NE}）等退化模式多年来一直通过微分电压或增量容量分析进行计算。Karger等人[1]和Stadler等人[2]展示了在多种操作条件下LLI、LAM和容量演变的映射，从而能够估算开路电压曲线的变化和动态实际操作中的容量变化。 该方法可以使用标准加速老化数据实施，并显著提高预测准确性。

(左) Karger等人[1]拟合了LLI和LAM演变与操作条件（包括温度、放电深度、上限切断电压）之间的经验模型，针对NCA|Gr-Si电池。 所得到的模型将开路电压曲线形状的估计误差降低了多达8倍，而仅使用容量进行预测时则无法实现这一点。

(右) Stadler 等人[2] 总结了识别（‘分析’）和外推（‘预测’）容量和开路电压模型的工作流程。



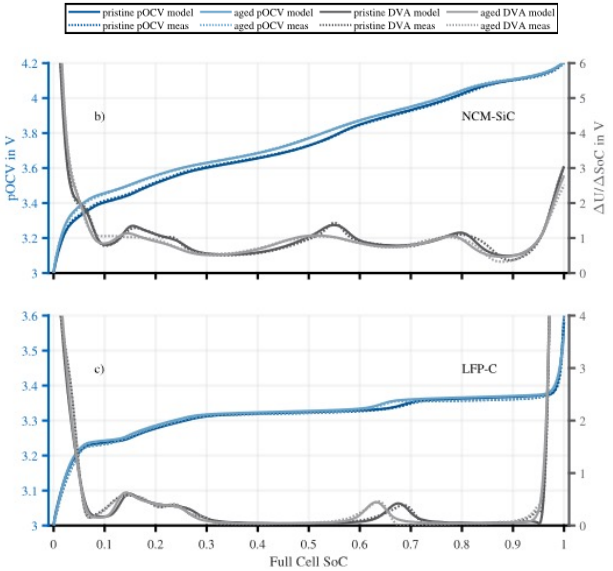


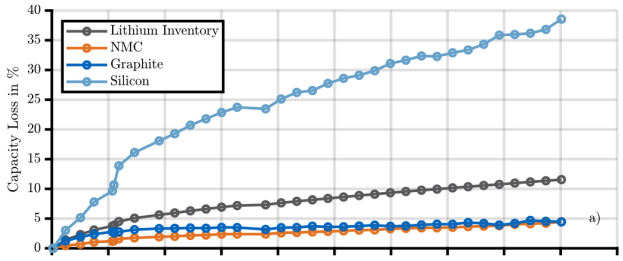
来源：[1] Karger et al Journal of Power Sources 593, [2] Stadler et al Batteries and Supercaps e202400211

Kirst 等人估计电池生命周期内的半电池电极电位和降解模式，从而实现非破坏性的降解模式分析 - 无需半电池！

传统的降解模式分析需要提取负极和正极的样本，然后小心构建与金属锂的半电池，以测量电极电位曲线，这限制了降解模式分析仅适用于可以进行破坏性表征的电池。

Kirst 等人[1] 开发了一种方法，可以在电池生命周期内非破坏性地估计电极电位曲线以及 LLI 和 LAM。该方法能够对任何电池进行退化模式分析，而无需对电极材料进行破坏性表征。





来源：Kirst et al Journal of Power Sources 602

VF | VOLTA FOUNDATION

锂离子电池退化中颗粒与固态电解质界面（SEI）开裂的建模

通过考虑开裂的影响，使用一组参数描述检查周期频率对日历退化速率的影响，以便准确描述SEI生长。 开发的模型在PyBaMM中公开可用，使其他研究人员能够立即实施该模型。

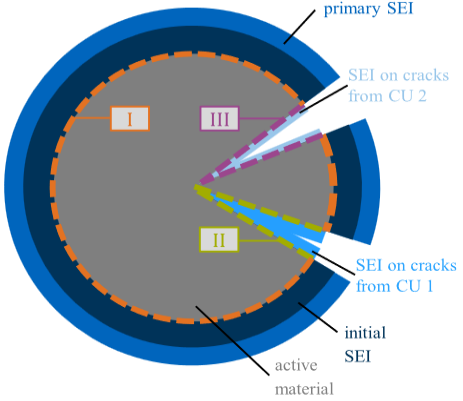
$$A_{\text{particle},2} = A_{\text{primary},2} + A_{\text{cr},1} + A_{\text{cr},2} > A_{\text{particle},ini}$$

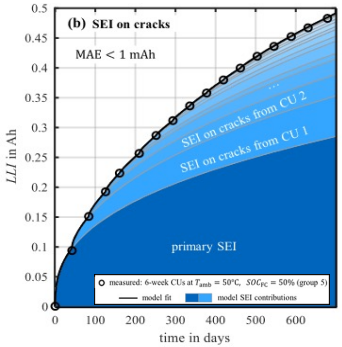
with:

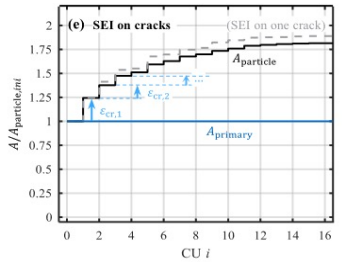
I: $A_{\text{primary},2} = A_{\text{particle},ini}$

II: $A_{\text{gap},1} = \varepsilon_{\text{cr},1} \cdot A_{\text{particle},ini}$

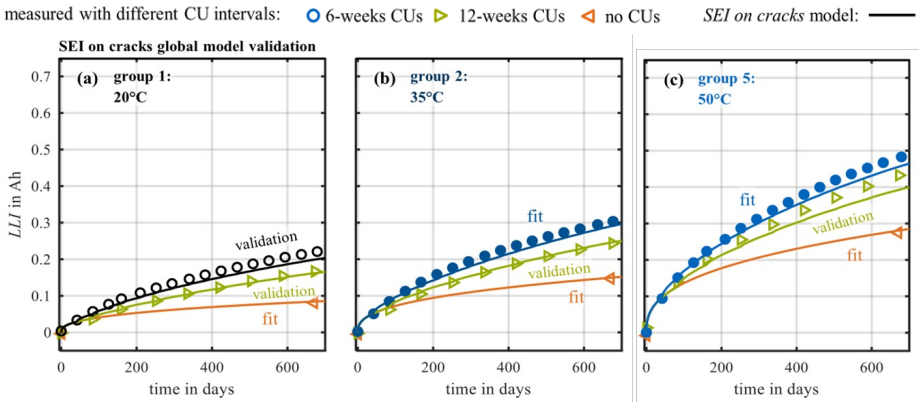
III: $A_{\text{gap},2} = \varepsilon_{\text{cr},2} \cdot A_{\text{particle},ini}$







基于物理的模型在日历老化过程中对SEI生长的描述需要同时包括固体颗粒开裂和SEI开裂，以确保准确性。



来源： Karger et al Journal of the Electrochemical Society 171]

VF | VOLTA FOUNDATION

基于多孔电极理论的锂离子电池电化学机械变形的快速仿真

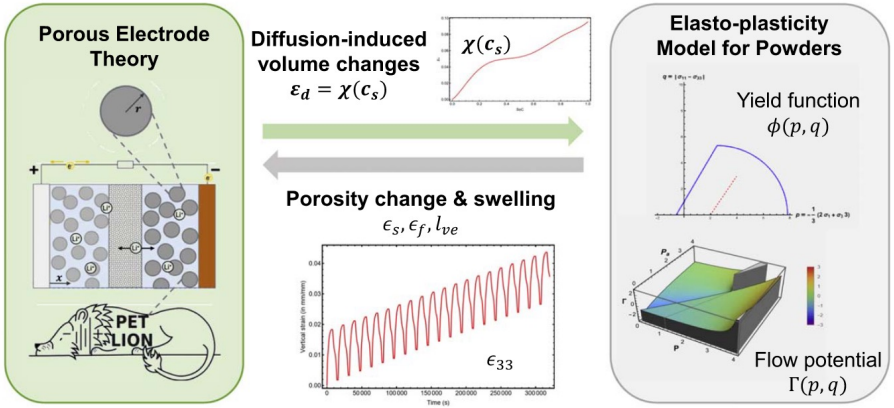
麻省理工学院和东北大学的研究人员扩展了多孔电极理论（PET）模型，以包括插层引起的机械变化，捕捉循环过程中电极厚度和孔隙率的\可逆和不可逆变化。

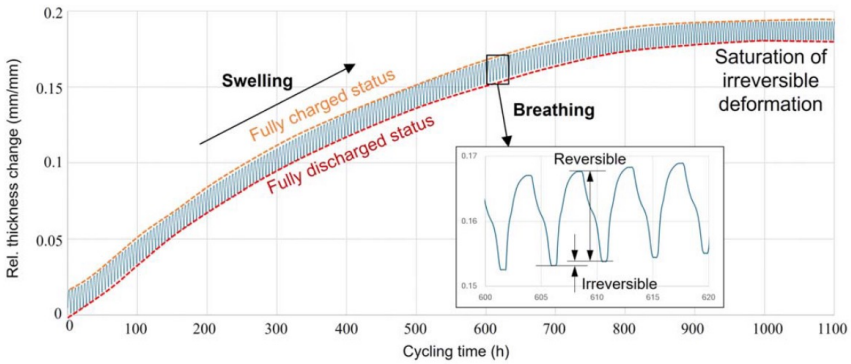
多孔电极理论（PET）
又名道尔-富勒-纽曼（DFN）

+

德鲁克-普拉格/上限（DPC）模型用于粉末的机械形变

= 可变形的PET





来源：Ipers, Pathak, Bazant, Zhu *et al. J. Electrochem. Soc.* 2024.

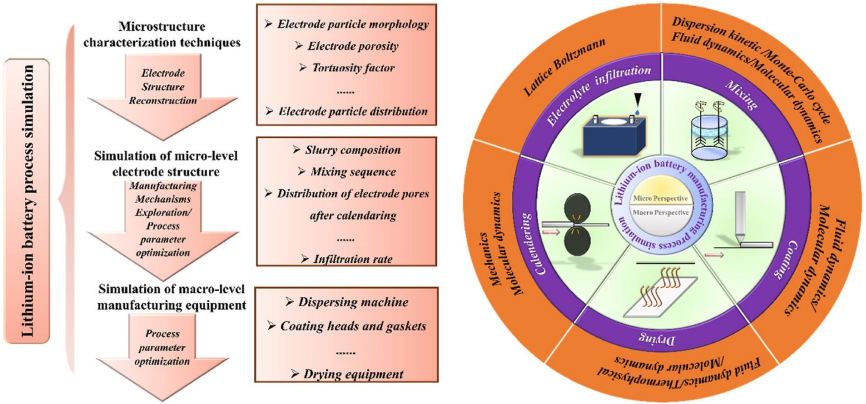
2 学术界

宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

通过仿真优化电池制造，节省成本和开发时间



挑战与展望

- 差距：需要更好的模型来应对从实验室到生产规模化的复杂性
- 未来方向：
  - 人工智能 (AI) 技术以增强过程可预测性
  - 多尺度模型的集成以提高仿真准确性

来源：J. Power Sources 610 (2024) 234717

关键步骤

匀浆

需要产出一致性高的均匀浆料，控制粘度和颗粒分散程度。 温度、混合速度和顺序等参数会影响浆料质量。

涂布

许多工艺，包括槽模涂布，旨在实现均匀的厚度和材料分布。 仿真模型处理涂布速度和浆料流变学等参数。

干燥

干燥去除溶剂，并在过程中形成多孔结构。 优化干燥条件可以将缺陷减少到最低并确保均匀的粘合剂分布。

辊压

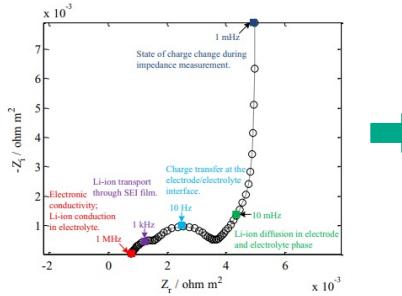
电极被压实以提高密度和导电性。 仿真可以用来优化压实参数，并防止过大的压力损坏材料。

VF | VOLTA FOUNDATION

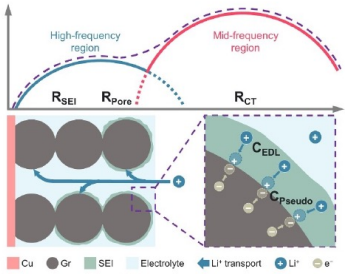
使用“三电极”系统对多孔电极进行电化学阻抗谱(EIS)分析

目标： 通过使用参考电极重新解释多孔电极的EIS，分析频率依赖行为，并理解其与离子传输和电容的关系。

常见认知

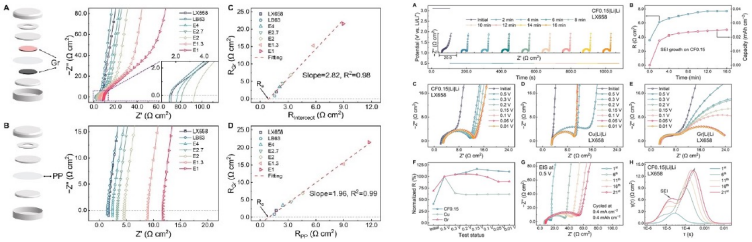


新认知

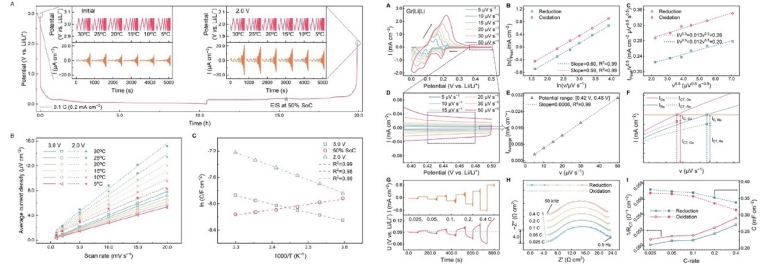


实验配置： 实施三电极系统以分离工作电极响应

EIS分析： 奈奎斯特图和弛豫时间分布 (DRT) 用于解卷叠加过程



高频： 主要受离子在孔道和固态电解质界面 (SEI) 内部传输的影响



中频： 受伪电容影响，与电双层 (EDL) 电容不同

来源：《德国应用化学国际版》2024, 63, e202406054 (doi.org/10.1002/anie.202406054)，《电化学学会杂志》，162 (13) A7037-A7048 (2015)

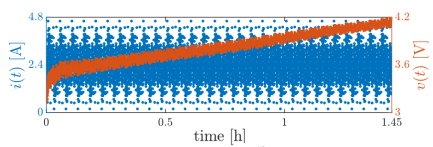
VF | VOLTA FOUNDATION

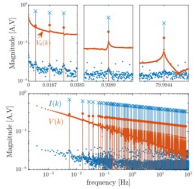
通过最低充放电描绘电池动力学

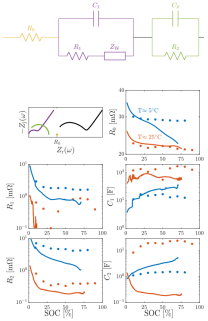
使用传统方法描绘电池动力学，例如在不同的SOC和温度下记录EIS，耗时巨大，使这些方法在工业研发或电池生产中不切实际。 最近已经展示了多种新方法，通过仅一次充电或放电使用交流（AC）[1]或同时使用交流和直流（DC）信号[2]来映射电化学动力学，从而实现对材料开发或电池生产和质量控制目的的高度详细表征，而无需额外的测试时间。

非平稳奇异随机相位多谐波阻抗与等效电路建模

Hallemans等人[1]不仅对非线性和非平稳EIS进行了出色的综述，还展示了使用单次充电或放电进行动力学映射和等效电路模型拟合。



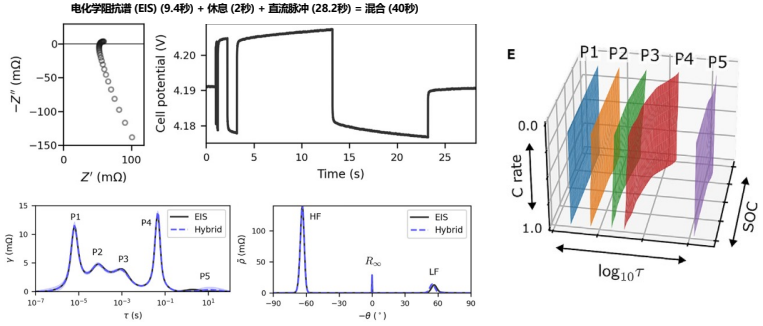




(顶部) 非平稳EIS在充电过程中的电压和电流。 (右) 频率依赖的电流和电压谱。
注意在低频下，由于充电导致的开路电压 (OCV) 增加，掩盖了阻抗响应。

通过耦合AC+DC的快速电化学呈现

Huang等人[2]报告了一种新颖的测量技术和一种新的模型无关EIS分析方法（DRT+DOP），使用贝叶斯方法从离散测量中估计SOC和C速率的连续曲面。

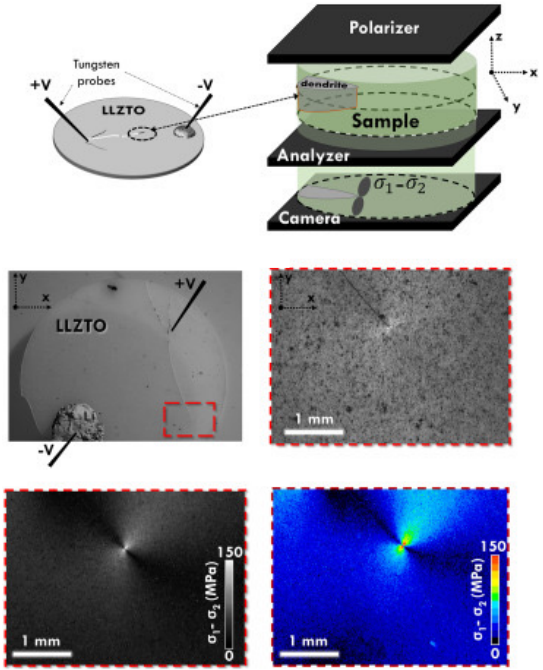


来源：[1] Hallemans et al. Electrochimica Acta 466 142939, [2] Huang et al. Joule 8 2049-2072

非线性EIS的进一步理论与应用：Ji和Schwartz, 电化学学会杂志, 第1部分和第2部分

VF | VOLTA FOUNDATION

固态电解质中的原位光弹性应力测量



来源：Athanasiou, Fincher, Gilgenbach, Gao, Carter, Chiang, Sheldon

通过光弹性测量探测枝晶引起的应力

由于陶瓷固态电解质的脆性及直接测量的困难，测量其内部应力场可能具有挑战性。

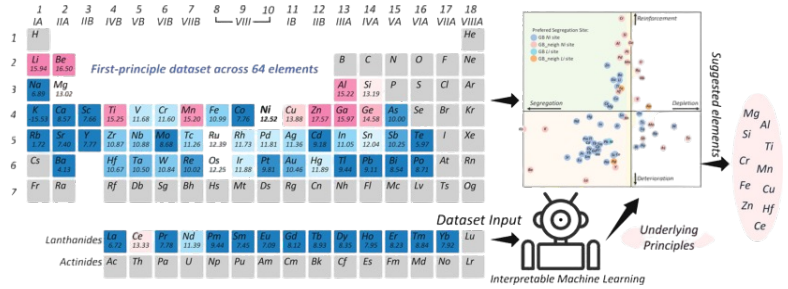
布朗大学和麻省理工学院的研究人员开发了一种新方法，通过光弹性直接测量在工作状态下固态电池中树突周围的应力场。 该测量依赖于测量通过半透明 LLZTO 磁盘的偏振光的厚度平均延迟变化。 延迟的变化可以映射到应力状态的变化，从而生成树突尖端的工作状态应力状态图。

这种测量模式允许首次直接观察锂枝晶生长周围的应力。 测得的应力值与枝晶传播预期的值相符。 通过Abaqus进行额外建模，以考虑如泊松收缩(Poisson Contraction)等外部影响。

光弹性应力测量允许直接测量枝晶尖端的应力场
在原位（Operando）固态电池中。

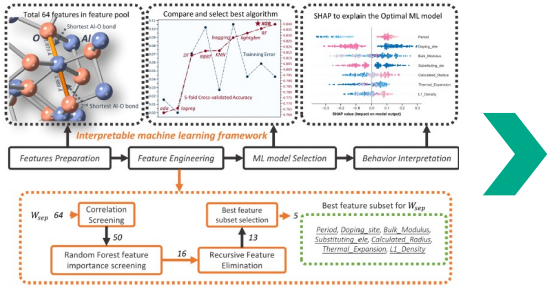
VOLTA FOUNDATION

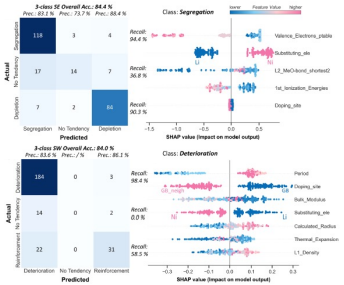
高镍正极中的晶界工程：高通量第一性原理与可解释机器学习研究的结合



一种协同方法结合了高通量第一性原理计算和可解释的机器学习（ML）框架，以评估通过掺杂引起的强化来增强晶界（GBs）的可行性。

结果表明，使用掺杂元素能够有效锚定和增强晶界，如镁、铝、硅、钛、铬、锰、铁、铜、锌、铪和铈，其中一些已在实验中成功使用。





机器学习（ML）工作流程包括特征准备、特征工程、ML模型选择和模型应用（每个过程的简要表示在顶部和底部）。

为了通过掺杂增强晶界，元素应放置在镍位点和晶界附近，而不是直接在边界本身。 此外，选择具有较低周期、更高体积模量和较小原子半径的掺杂剂可以提升晶界增强的概率。

来源：Acta Materialia 276 (2024) 120144 (DOI: 10.1016/j.actamat.2024.120144)

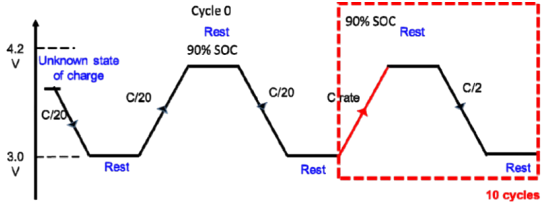
2 学术界

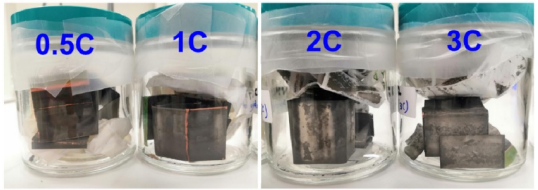
宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

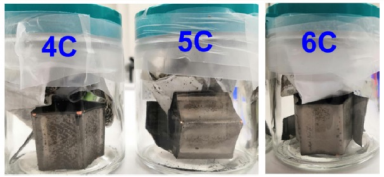
VF | VOLTA FOUNDATION

水作为唯一溶剂，从三元电池中回收材料，

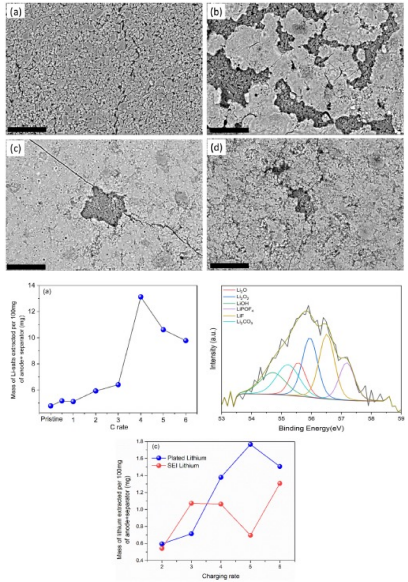
电化学浓缩







水净化



报告了一种环保的回收方法，用于通过在负极上电化学浓缩锂并仅使用水进行后续工作的再生大容量三元电池。

三元软包电池的循环表明在5C充电速率下最大锂回收的潜力。 从放电和拆解的电池中提取的负极浸入去离子水中，导致锂溶解和从铜箔中回收石墨。

从以4C充电速率循环的NMC软包电池中获得的负极、铜集流体和隔离膜中每100毫克最多可提取13毫克锂盐。 在低C速率循环的电池中提取的锂盐富含碳酸锂，而在高C速率循环的电池中提取的盐则富含锂氧化物和过氧化物。

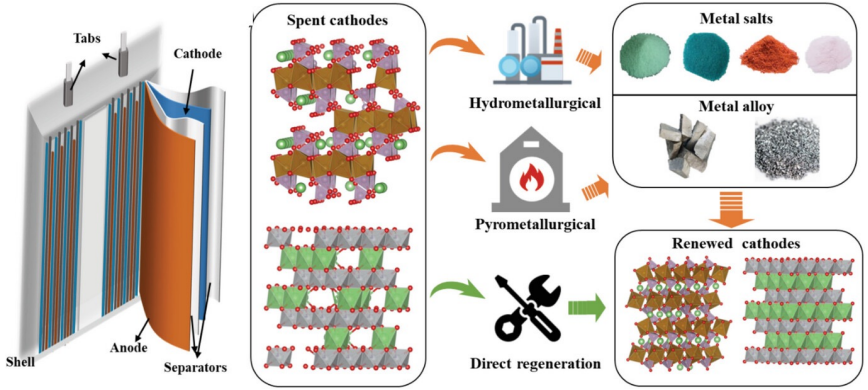
来源： Journal of Environ. Manage. 366 (2024) 121710 (https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121710)

VF | VOLTA FOUNDATION

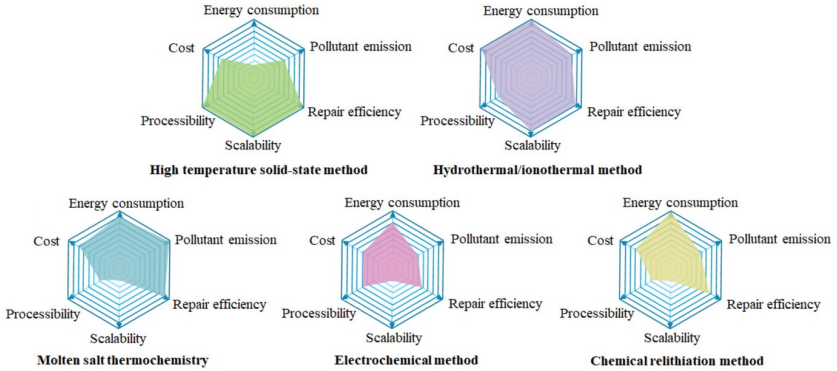
锂离子电池的直接回收

传统回收工艺被认为具有可扩展性，但直接再生技术则会带来更高的经济回报

- 有价值的元素（锂、镍、钴）是传统回收的重点
- 湿法和火法路线 → 重点关注元素提取
- 直接再生路线 → 重点关注正极材料的提取



- 正极的五种主要直接回收路线
- 水热法路线显示出很大的潜力
- 水热过程用外部锂源对废旧正极进行退火修复



来源：Lan, Y., Li, X., Zhou, G., Yao, W., Cheng, H., & Tang Y.

2 学术界

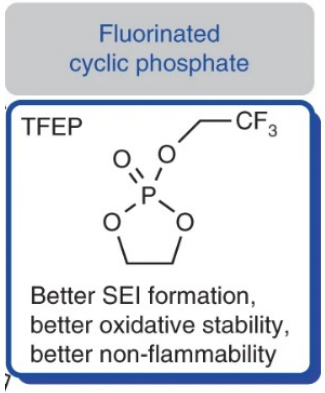
宏观研究趋势
奠基性文献
锂离子
正极
负极
电解质
钠离子
新型与替代化学
快速与极快速充电
基础知识
寿命预测与建模
测试与分析技术
回收
电池安全

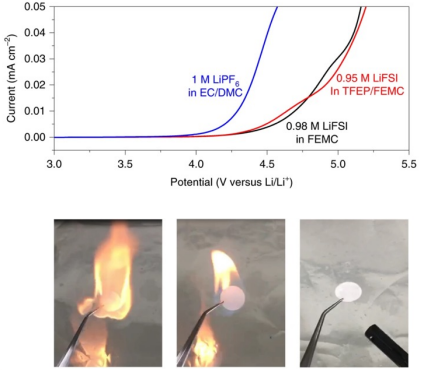
VF | VOLTA FOUNDATION

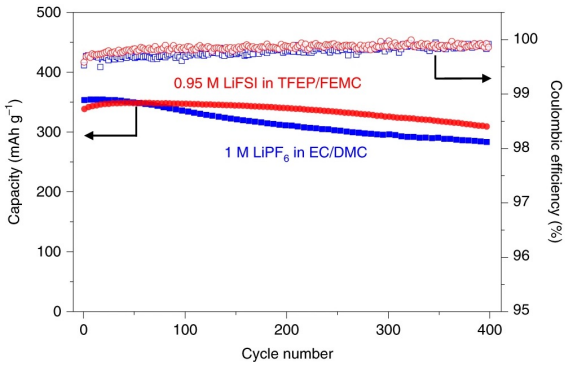
VF | VOLTA FOUNDATION

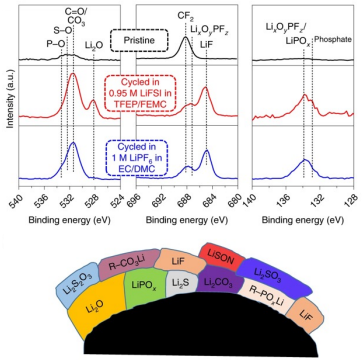
用于提高安全性的环状磷酸盐基电池电解液

受到乙烯碳酸酯（EC）和三乙基磷酸酯（TEP）结构的启发，Zheng等人合成了一种氟化环型磷酸盐溶剂，2-(2,2,2-三氟乙氧基)-1,3,2-二氧磷烷-2-氧化物（TFEP）。将其与LiFSI盐和FEMC共溶剂结合，电解液在5.0 V（相对锂）下表现出氧化稳定性以及由于功能磷酸酯基团而具有的阻燃能力。 在C/2速率下，石墨|锂金属半电池的循环实现了91.4%的库仑效率，持续400个循环。 石墨上的固体电解质界面膜(SEI) 的XPS结果揭示了Li_2O、LiF、Li_2CO_3以及各种含硫和含氮的无机物种的存在，这些产物被认为对提高界面稳定性和延长循环寿命至关重要。









发现一种新的电解液配方，TFEP，显示出优异的非易燃性，同时使石墨负极（~0.1 V VS Li）和高电压的$LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$ (LNMO) 正极（~4.7 V VS Li）稳定运行。

来源：郑, O., 山田, Y., 尚, R. *et al.* 一种用于高电压和安全操作的循环磷酸盐基电池电解液。 *自然能源* 5, 291–298 (2020)

2024 BATTERY REPORT

3 人才

VF VOLTA FOUNDATION

Volta Foundation是全球最大的电池专业人士网络。 作为一个全球性的非营利协会，Volta Foundation出版刊物、提供网络机会和行业资源，以促进电池行业内的合作、创新和倡导。

VF | VOLTA FOUNDATION

2024年“人才”中的关键发现和趋势

今年的人才板块整合了来自Volta Foundation社区的电池人才普查，采集了1000多名电池行业专业人士的一手数据、H-1B职位统计数据和教育资源。 该普查于2024年10月启动，揭示了劳动力趋势，技能缺口以及人口统计数据。 我们在三个月内收到了1,081份回复，相当于参与者投入了246小时。后续内容中的数据选自《电池人才普查报告》（完整版将于2025年中旬发布）。

吸引人才

需求端

- 生产制造、工艺放大和工艺过程是最紧缺的技能
- 招聘经理对非技术技能的重视程度超过了员工的普遍预期

供给端

- 学生对行业的未来保持乐观态度，但对自身的就业能力缺乏自信
- 一半的从业者正在寻找工作机会

留住人才

薪酬

- 美国在全球薪资中处于领先地位
- 三分之二的人表示自己的薪酬与他们期望不符
- 美国薪资早期趋于平稳，而欧洲薪资随着年龄的增长而增长

员工满意度

- 目前在行业内的从业者报告整体高满意度
- 更高的职位与更高的工作满意度相关，但工作与生活的平衡却很糟糕

多样性

- 性别差异在初级岗位和高管级别的岗位都比较显著
- 女性在初级岗位的薪资低于男性30%，但她们自己认为薪酬相对公平，并且对工作比较满意

人才存留

- 员工将“挑战” “学习”和“成长”作为加入一个公司的主要因素
- 当跳槽时， “薪资”成为首要驱动力

3 人才

概述

电池人才普查

H-1B分析

教育资源

Volta Foundation劳动力和人才发展工作概述

行动计划

VF | BATTERY CAREERS

- 全球规模最大的电池行业虚拟招聘会。
- 2024年注册22家公司，求职者超过2000多名。
- 2025年4月3日和10月2日将举办虚拟招聘会。

VF | BATTERY WORKFORCE

- 推动制定并实施提升电池行业劳动力的计划。
- Volta将联合工业界、政府及学术界领袖，共同应对行业挑战，促进绿色职业人才的专业化发展专业发展，确保吸引、留住和培养顶尖人才，形成系统化机制。
- Volta将发布《电池产业人才发展报告》，并深化与"电池产业人才挑战计划"（Battery Workforce Challenge）等全球领先人才机构的战略合作。

研究与基础

BATTERY TALENT CENSUS

- 该项目于2024年10月启动，旨在收集行业内劳动力趋势、薪酬、多元化及人才缺口方面的可操作数据。
- 收集主要数据以揭示人才供给与人才需求之间的差距。
- 后面内容中的数据节选自《电池人才普查报告》，该报告将于2025年年中发布。

3 人才

概述
电池人才普查
H-1B分析
教育资源

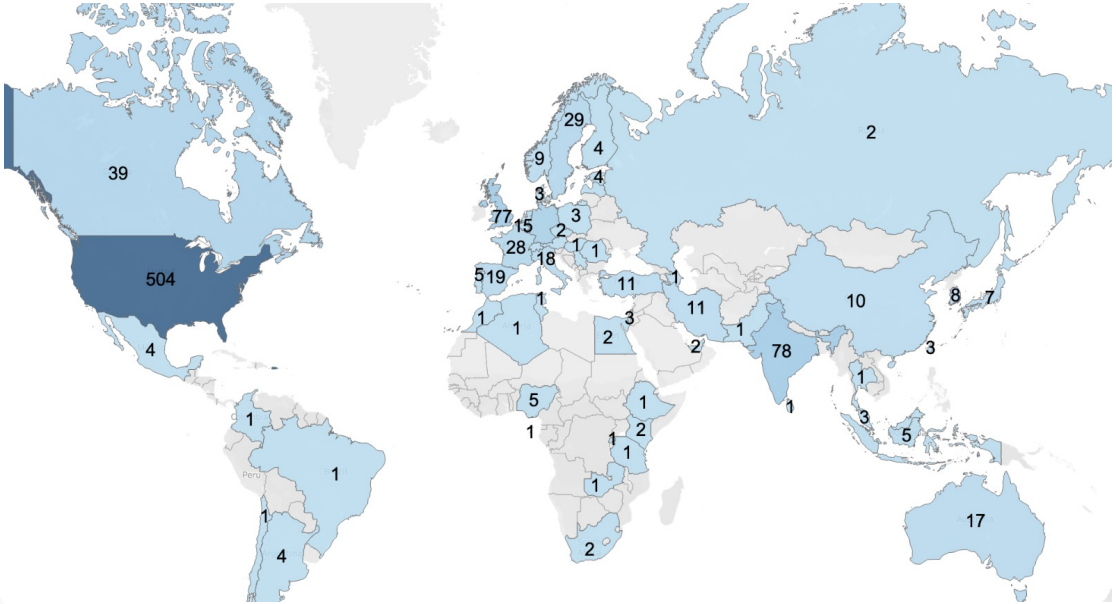
VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

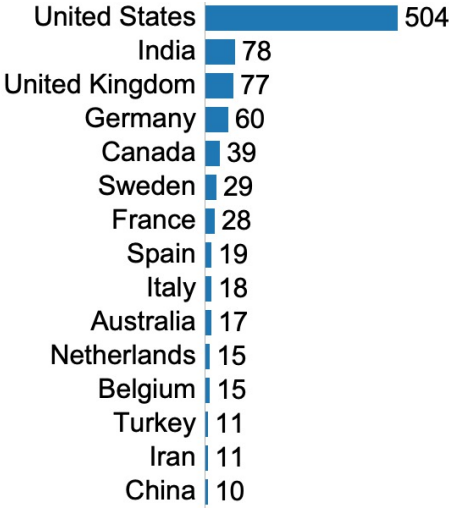
谁参与了人才普查 (1/5)?

我们在2024年10月3日至12月31日的三个月期间收到了1,081份问卷调查反馈表。

受访者总计花费了246个小时填写普查问卷调查表。



47%的反馈结果来自美国。 其余主要来自欧洲国家（英国、德国、瑞典、法国）、印度和加拿大。

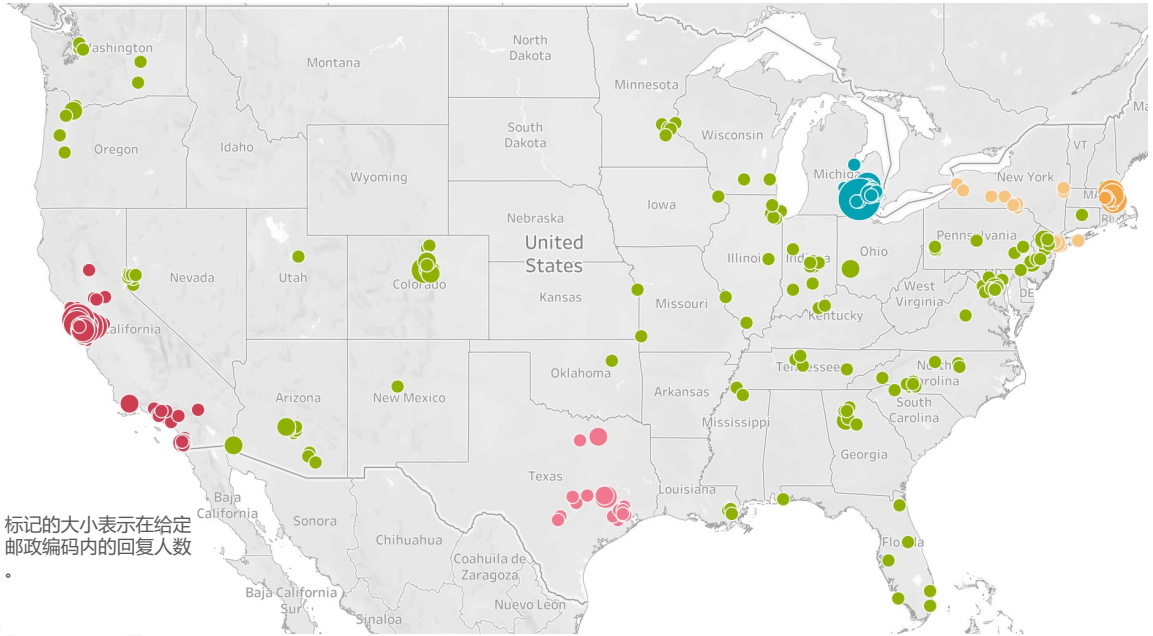


本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

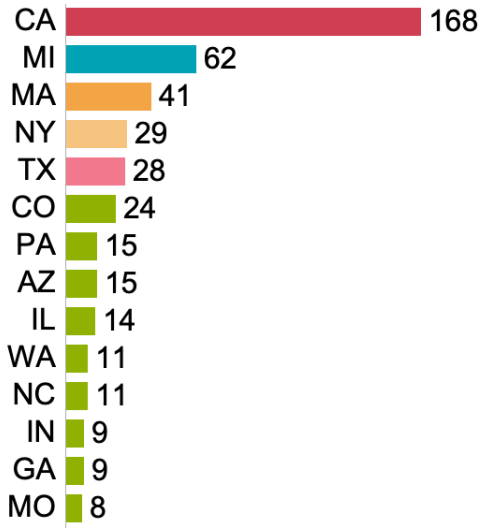
谁进行了普查 (2/5)?

在美国范围内，我们共收到了504份独特的回复，覆盖了364个不同的邮政编码。



标记的大小表示在给定邮政编码内的回复人数。

在美国，加利福尼亚州和密歇根州的回复人数最多，其次是马萨诸塞州、纽约州、德克萨斯州和科罗拉多州。

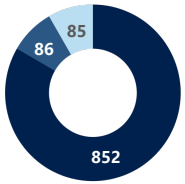


本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VOLTA FOUNDATION

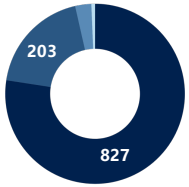
谁进行了普查 (3/5)?

“您目前的就业状况是什么？”



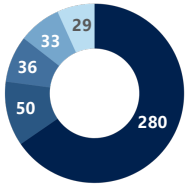
- 我正在从事相关专业工作（例如公司、国家实验室）
- 我正在上学或正在培训中（例如学生或博士后）
- 我现在没有工作，但我曾在一家公司工作过

“您最认同的性别是什么？”



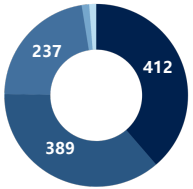
- 男性
- 女性
- 拒绝回答
- 非二元性别

“您的公民身份状态是什么？”



- 公民（本土出生）
- 公民（外籍出生）
- 非公民（F1/M1/OPT持有者）
- 非公民（TN，绿卡，...）
- 非公民（H-1B）

“您最高的教育水平是什么？”



- 博士
- 硕士
- 学士
- 高中文凭
- 副学士学位（社区大学）

80%的受访者目前在该行业工作（1063人中有852人）

8%是学生（1063人中有86人）

受访者受教育程度较高
75%至少拥有硕士学位，39%拥有博士学位。

20%是女性（1068人中有203人）

在美国，3.4%的工人持有H-1B签证（852人中有29人）

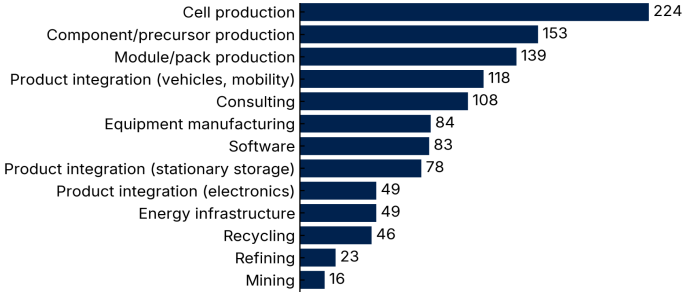
本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

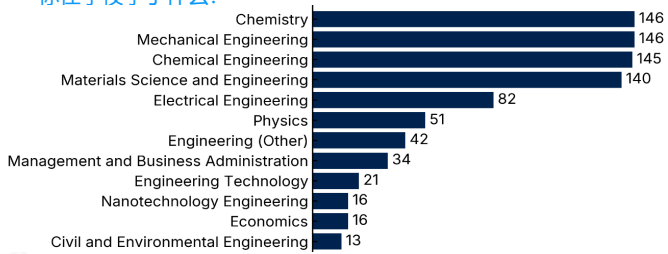
谁进行了普查 (4/5)?

对于那些目目前身处行业内的从业者，我们询问他们是否以填写一份包含37个额外问题的问卷，内容涉及所在公司、职位、薪酬等方面。75%的受访者（640人中的852人）同意。 这些受访者普遍具有技术背景，供职于产业链各个不同环节上的公司，涵盖各层级的独立技术贡献者和管理人员。

"[你的公司在] 价值链上的位置在哪里？"



"你在学校学了什么？"



"你目前的职位是什么？"



本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

谁进行了普查 (5/5)?

对于目前在行业中的人，我们询问他们是否可以填写一份关于他们公司、角色、薪酬等额外的37个问题，75%的受访者（852人中的640人）同意。这些受访者普遍具有技术背景，供职于产业链各个不同环节上的公司，涵盖各层级的独立技术贡献者和管理人员。

行： “你认为自己所在的公司处于什么发展阶段？”

列： “你目前的级别是什么？”

	入门	发展中	职业	高级	专家	经理	总监/副总裁	执行官	*总计*
前期启动	1	4	2	2	4	5	1	1	***20***
初创公司	9	20	36	54	26	28	23	21	***220***
规模扩大	4	18	32	47	30	20	19	16	***186***
中型	2	9	12	11	11	15	8	3	***72***
成熟	11	17	33	60	29	31	15	4	***202***
总计	27	71	116	176	101	99	66	45	937

表格显示每个类别内的受访者数量， 由于不同公司使用不同的级别标准，我们为受访者提供了一个标准的级别标准。

本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

“在你看来，电池行业中最需要具备的三项技能是什么？”

受访者被要求最多提供三个答案，他们可以填写任何他们认为相关的内容，我们也没有预先定义技能类别。他们的回答如下：

Scale up, the ability to keep up with and foresee research/industry trends and directions, language abilities (Chinese, Korean, Japanese) to learn from the bigger battery markets Design for Reliability, Test Agile, Innovative, Communication design, manufacturing, and testing Electrochemistry, Process, Data Analysis Scientific Observation, Data Analysis, ability to contribute to a team Data analysis; research and experimentation; presentation skills data science, manufacturing, pouch cells Technical Knowledge; Software; Entrepreneurship BMS, Safety, and process engineer [cell knowledge] Electrical knowledge / organisational skills / poise Manufacturing scale-up Knowledge, Research, Analytical Power MATLAB optimisation 1; COMSOL 2; Skill 1 - Cell Engineering (R&D and Mature Products), Skill 2 - Product Pricing/Cost Engineering, Skill 3 - Strategic Partnership software/programming battery chemistry design testing Material Synthesis, Material Characterization, Data Analysis, Long term vision and planning skills: Product knowledge. People communication Leadership; Project Planning; Manufacturing Basics failure analysis; techno-economic analysis, standards electrochemistry, adaptability, perseverance Cell cycling experience, electrode fabrication experience, SEM hands-on experience building cells; materials research for dry processes; interdisciplinary collaboration Battery Health Estimation Algorithm Battery Field Systems Engineering. Battery Cost and Estimation Expertise Design process test Mature products, Battery products strategy and management,Battery system design and operation, Communications; integration instead of verticality Technical background, customer relationship, industry understanding Data analysis, statistics, communication Creativity; problem solving; eye for detail Communication, presentation, abstraction Analysis, engineering, business skills small molecule development for liquid electrolyte 1. BMS, 2. Battery pack scale performance and safety concept, 3. Failure analysis and feedback to design/process/application intrapersonal skills, technical knowledge, grid knowledge Process Engineering, Equipment Engineering and scale up for production Skilled battery techs Supply Chain, Embedded Systems, Unit Economics Unk Cell design; Cell manufacturing; Pack design Manufacturing Experience, Industrial Knowledge, Quality Engineering "Analytics; Physics; Engineering" Systems, modeling and tools, supply chain cell fabrication Skill 1: Good knowledge about science of batteries, Skill 2: Familiarity with new approaches such as AI and Machine Learning, Skill 3: Networking and communication skills Cell design, cell manufacturing process ramp-up, battery simulation and analytics Strong manufacturing knowledge, financial planning in the industry, end consumer market knowledge troubleshooting, learning, communication Modelling; Testing; Algorithms Electrochemical analysis, resilience, adaptability rawmaterials value chain, long term safety and circular economy Creativity materials science, electrochemistry, eagerness/ability to learn Market Knowledge, Product Knowledge on New Technologies, Strong Work Ethic Fundamental electrochemistry knowledge, Material characterization, Data analysis and interpretation Design of experiment (DoE); communication; leadership Skill 1: Application/Integration Engineering. Skill 2: Systems Engineering. Skill 3: Marketing Networking; fundraising; risk assessment analytics; chemistry; negotiation Electrochemistry. Data Analysis. Data Presentation Realistic project planning, cell working principle knowledge, customer management Understanding of interrelationships between processes; Understanding of Deviation; QMS Critical Mineral commercial expertise Manufacturing, cell and testin I think that polymer science fundamentals are under appreciated in the battery space Adaptability, Resilience, Creativity Patience; dexterity; statistical analysis Cell design, Chemistry, Manufacturing and automation engineering. Strategic Growth, B2B Lead Gen, D2C Growth Marketing Technical, Problem solving and Management 1. Electrochemistry, 2. Cathode materials synthesis 3. Metallurgy electrochemical analysis; data analysis; logical thinking Test bench, integration, pack-level assembly AI/ML, Electrochemical Expertise, Thermal Management Manufacturing; AI optimization; Safety testing Battery modelling, testing and maintenance, battery safety cross-functional work, bsuiness/tech junction Sales "electrochemistry fundamentals; AI methods; interdisciplinarys" Scientist, AI/ML, Supply Chain Gigafactory manufacturing experience; knowing how to work with Asian companies (technically, culturally, etc); multidisciplinary engineering (knowing how to speak the language of other parts of batteries) System engineering basics Innovation, comperhensive understanding, contineous seeking for additional knowledge cell modeling ; political maneuvering; networking Data evaluation/statistics skills; genuine people skills; entrepreneurial mindset Creative engineering, clear communication and expectations; multidisciplinary thinker Design, Thermal, Packaging Battery safety experience -- understanding how to minimize potential failures/TR Battery Management Systems, Battery Modeling, Battery Charging, Battery Thermal Controls Process scale-up, Electrolyte development, Electrochemical data analysis Engineering supply chain project development Battery manufacturing; go-to-market experience; thermal management Technical expertise; basic chemistry knowledge; presentation and communication skills Manufacturing excellence; supply chain logistics management; safety Material Characterization; Programming; Hardware Knowledge sales, energy market architecture, public speaking Product development, business development, sales & marketing Complex problem solving, manage preassure, innovation 1, 2, 3 Marketing, Manufacturability, Leadership Skill 1 Prior knowledge of industry Skill 2 ability to formulate effective procedures skill 3 flexibility EIS, design of experiment, pouch cell build experience Skill 1 - Problem solving skills Subject Matter Expertise, Market Research, Commercial Negotiations Faire protection engineering; maintenance; manufacturing technician Software skills, commercial/technical expertise, systems based approaches Skill 1: basic chemistry and electrochemistry knowledge skill2:mechanical design; skill3:clear communication Material Development Battery manufacturing skills, capabilities to quickly build prototype, simulation skills Battery energy storage system; electrical engineering Materials knowledge; research experience; understanding of basic science Chemistry Materials knowledge, python, leadership 1) Basic understanding of a battery 2) Battery failures Mandarin: Presentation skills; Metrology project management; critical thinking; communication Experience with deposition techniques; Experience with batteries; Experience with imaging techniques Characterization;testing;synthesis Electrochemistry, mechanical and electrical engineering Work prioritization and planning, advanced problem solving methods, core engineering methods (GD&T, and other traditional tools) Manufacturing experience; failure analysis; pack design battery management systems, Testing, validation Cell Production; Cell Design; Simulation Manufacturing; Materials Science; Data Analytics Process Engineering; Product; Controls &Automation People leadership, chemistry, data analysis Skill 1 - ability to think independently to solve problems that cut across the academic areas of study, Skill 2 - abilit electrical engineering, data science, manufacturing Coding; Electrochemistry knowledge Advanced manufacturing; supply chain; cell development Data analysis, presentation, coding strong team work skills and intercultural competence, know how in data science, frustration tolerance :-) software engineering (as opposed to data science) strategy, networking, leadership creativity, knowledge, methodology Materials Science Knowledge, Engineering, cathode fabrication Process development; statistics; electrochemistry Electrochemistry, Materials Science, Critical Thinking data analysis Manufacturing manufacturing; software; reliability Materials Science, electrochemistry, process engineering Cell quality, supplier negotiation, battery SOC Manufacturing, Electrochemistry, Team building "Computer science; Electronics; Modelling" The ability to improve the process; software automation [Critical thinking]; [Problem solving], [Team work] [multilingualism 1] [product design 2] [marketing 3] leadership, honesty, economics Motivation, Innovation, AI Coordinated BMS / cell strategy, Battery case manufacturing, Battery case cover materials, ISO26262, FUSA, Thermal Runaway perserverance, adaptability, attention to detail integration into bigger picture, understanding numbers Materials characterization skills; bench to pilot scale-up ability; processing/properties understanding Manufacturing experience; Understanding technology from lab to product; understanding market segments Electrochemistry data analysis/data science; manufacturing/scale-up knowledge; good communication of scientific findings [cell chemistry], [electronics],[systems engineering] Control engineer, process engineer, manufacturing engineer Systems level thinking; battery data understanding; voice of customer Electrochemistry and battery chemistry; BMS; Modeling [Full Battery Chemistry and Cell Design understanding and Experience],[High Volume Manufacturing Process and Equipment Experience], [Accurate Cost and Time Planning for R&D to Pilot to Manufacturing] Open minded, technical expert, negotiator Leadership Communication Empathy Curiosity; Perseverance; Teamwork Data analysis, coding, Critical thinking; data visualisation and analysis; depth and breadth together Programming; electrochemistry; mechanical design Skill1: Firmware Controls development; Skill2: Battery Testing; Skl3: Cell Testing; Skill4: Test Pipeline Knowledge; Skill4: Charging Test Knowledge data analysis; quality control; hands-on know-how Electrochemistry fundamentals [Process Engineering]; [Chemical Engineering]; [Electrode Fabrication] Skill 1: systems approach with scientific methodologies; skill 2: both chemistry and engineering process R&D; skill 3: safety testing and mitigation analysis Material Synthesis; Cell design; cell modeling Mass production related skills such as the knowledge to setup the production line, the knowledge of how to improve the yield in the short time frame and how to find the best match between the equipment and raw materials Simulations; Electrical Circuits; Test Plan Design Lean Manufacturing for Cell Production; Software engineering, product marketing, market optimization experts Product management [Battery modelling] [project management] [market knowledge] "Fundamental knowledge of the electrochemical kinetics", "Experience", "Global economic status" Project management; operations experience (in commercial sized manufacturing plant, scale up experience communication, power electronic knowledge, compliance knowledge Problem solving; communication; experience [technical knowledge beyond a very specialized field]; [market knowledge beyond cherry-picked studies and forecasts] I can make cathodes and anode materials for Li,)Na, and Zinc-ion batteries Reactor / Scale-up engineers, equipment engineers interdisciplinary (mechanical + electrical skills), high voltage design knowledge, excellent general design skills Soft Skills Problem solving; collaboration, manufacturing Data science, process engineering, failure analysis deep work, experimental design, reasoning chemistry, electrochemistry and fabrication (1) hands-on experience in battery manufacturing at the MP scale (2) Difference between testing for R&D vs production, (3) how to balance between "science experiment" vs "something the customer cares about" Mechanical design "Communication; collaboration;team work;AI") data analysis, electrochemistry, systems engineering Process optimization, system engineer, manufacturing engineer Battery Integration, Practical Thinking, Regeneration of electric power 1. PLC programming ,in depth knowledge of battery management system and quick decision JMP (data analysis, experiment design), CAD, project management Electrolyte development, Simulation and battery design Certification; Specification; Procurement SOH prediction; thermal management; BMS Materials science expertise, battery management system (BMS), and data analysis Manufacturing, Data science, Electrochemistry knowledge flexibility in thinking; strategic action; endurance Manufacturing, Manufacturing, Manufacturing Technical understanding, result oriented, drive Cell knowledge, battery project experience with big OEM, supply chain foresight; adaptibility, resilience Scale up engineering Innovation, project management, teamwork [manufacturing]; [design-to-cost]; [system integration] [Ability to forecast price trends],[Technology trends] data science knowledge; AI based algorithm capability; battery design expertise Thermodynamics, coding, guesstimating Skill 1; Battery material design for the high storage capacity electro-thermal simulation, soild-solid interfacial chemistry, solid polymer electrolyte Leading a technical team with emotional intelligence., failure analysis standardized in residential battery industry(honesty versus marketing, could help clear up issues to standardize, sexual harassment trainings for technical managers Technology transfer; Cell reliability analysis; Process engineering electrochemistry, process engineering, BMS [Critical thinking]; [Market-driven thinking]; [Strategic analytical capability] Innovation; Business Development; Cross-cultural Understanding Predicting battery deterioration and failure Artificial intelligence; Analytical Development; Team Management System Integration characterization, manufacturing, recycling Process Engineering, Product Management, Technology Development Flexibility, Knowledge, Qualification "Clear communication with chinese suppliers";"understanding ageing of batteries";"system thinking for fast charging" Explaining complex things in a simple way, data handling and manipulation; production process knowledge data analysis, electrical engineering, programming Maintenance engineers, skilled production operators, skilled process engineers Electrochemistry; knowledge about real batteries; programming for data processing Understanding of manufacturing and data visualization Electrical/power electronics systems development, next generation modeling (i.e beyond porous continuum modeling), leadership/organizational skills Adaptability; polyvalence Cell Modeling; High Power Electrical Engineering; Mechanical Engineering Problem solving, communication Technical know how; flexibility; market knowledge Automation and AI integration into the manufacturing process; handling hazardous materials and chemical engineering Pilot line operation and scaling; testing protocol; customer development Creativity; interdisciplinarity; communicativeness Technical project/program management; Business acumen Coding; modelling; cell assembly Pragmatism; cost analysis; Chinese language Technical writing; Engineering economic analysis; Industrial engineering & design for manufacturability Hollistic understanding, material, battery regulations domain expertise; ability to construct BMS; willingness to keep up with industry developments Curiosity, team spirit Data Science; Cell physics; metallurgy Fundamental materials science knowledge; fundamental materials processing knowledge; data science applied to materials science. All types of battery manufacturing expertise (from cathode active material to formation), failure analysis for yield improvement in manufacturing. Communication, Getting things done, working under pressure safety; cost optimization; economy of scale Equipment design, process optimization, facility design and implementation Lean manufacturing, Robotics, Logistics Industry experience; data processing / data analysis; vendor management. battery pack design systems engineering, cross-functional teamwork "Battery design", "Cell research", "BMS" electrochemistry background, materials science, data analysis Lean six sigma; Electrochemistry, Presentation/documentation "Data Driven Decision Making", "IOT Base Decision Making", "Communication soft Skills"" battery testing results interpretation; more time efficient battery testing methodologies; interaction between chemists and engineers Modeling/simulation, algorithms, testing material synthesis, material analysis, electrochemistry [CAD Skills]; [production experience]; [project management] Data Analysis; Leadership; Fast-paced learning [Basic electrochemistry];[Impedance spectroscopy] scaling technology; battery recycling; battery manufacturing Digitalization; Quality; Logistics "[Analysis];[characterization];[Understanding]" System integration, mechanical engineering, chemical engineering High volume manufacturing experience; experience with high volume manufacturing tools - how they work, how to spec them, Digital Architecture for a battery factory... MES/SCADA R&D engineers Modeling experience, quantitative analysis Comprehensive knowledge of cell design and end to end process interactions, process control, understanding what a comprehensive cell safety evaluation really needs to include. [communication];[controls oriented modeling];[physics intuition] [Compliance]; [Functional Safety]; [Testing] Electrical Engineering, Town Planning, C Suite Diverse Mindset; Interdisciplinary Communications; Public Engagement Electrolyte, Testing Protocol, New Materials (endurance); (problem solving thinking); (specialist knowledge)) Open Minded, Future problem solves, passionate about decarbonization, communication, digital, technical Analytical Skill; Knowledge Sharing; Mutual Understanding Cross department collaboration, process improvement, efficient record keeping / data entry "Understand the battery production process; Have electrochemical knowledge; Understand market dynamics and influences" [Competences within the specific manufacturing processes.] [Emission/effluent abatement systems and environmental control.[Curious, level-headed, adaptable, Surface analysis knowledge; Material characterization Domain knowledge, Coding and data interpretation data science, battery recycling expertise, circular economy expertise Curiosity; Agility; Patience knowledge in electrochemistry, material chemistry, system design [Chemistry];[Battery management systems];[Product & system design]; Persuasion; Synthesis of divers information; Production know-how [global strategic view] ;[real compromise for action against climatic change] materials, electrochemistry, electric Manufacturing, Upscaling, cell design integration;

我们编写了代码来分析文本，定义技能类别，并计算每个类别中的回复数量。

接下来的内容展示了部分研究的结果。

完整的研究结果报告将收录于《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

2024电池人才普查

目标

技能差距

识别技能缺口和新兴培训需求

薪酬趋势

深入解析不同层级、岗位及地区间的薪酬水平、奖金结构与福利待遇差异

工作满意度

量化不同层级、职位和地区的工作幸福度

学生视角

深入了解下一代进入职场的视角

影响

人才支持政策

人才培养与培育的指导性政策策略

促进多样性与包容性

推动包容性招聘和工作场所的倡议

本页内容节选自

《电池人才普查报告》

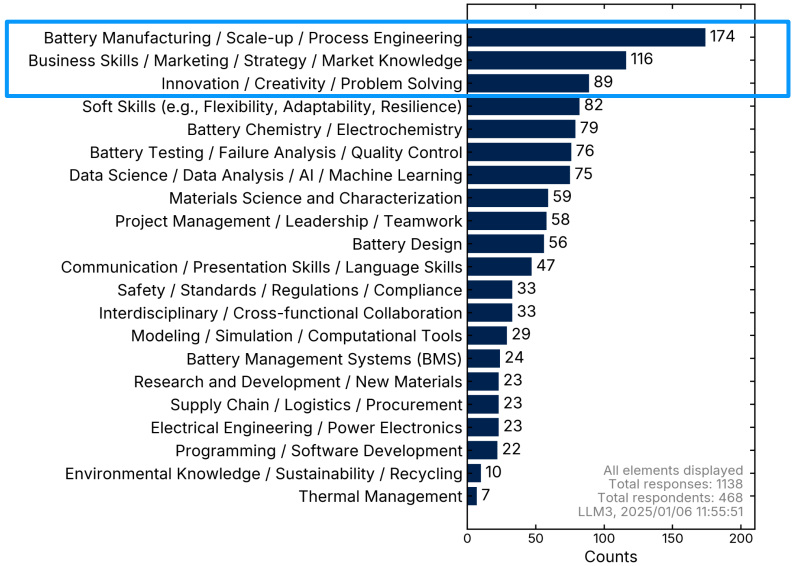
该报告将于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

主要技能 - “生产制造能力”、“解决问题能力”、“商业/市场知识”

“在你看来，电池行业中最需要的三项技能是什么？”

(根据高级员工和具有招聘权限的高级经理)



在制造方面，供需差距更大，因为顶尖大学几乎没有本科或研究生培训。 这是学术战略中的一个根深蒂固的问题，政府政策围绕材料创新，但不围绕工艺和制造过程。

- Cuberg创始人兼前首席执行官Richard Wang

公司不再寻找研究科学家，他们在寻找工艺工程师。归根结底，风险投资者希望收回他们的投资，因此这一切都与执行有关。

- 马特·安德斯， Pangea Talent Solutions

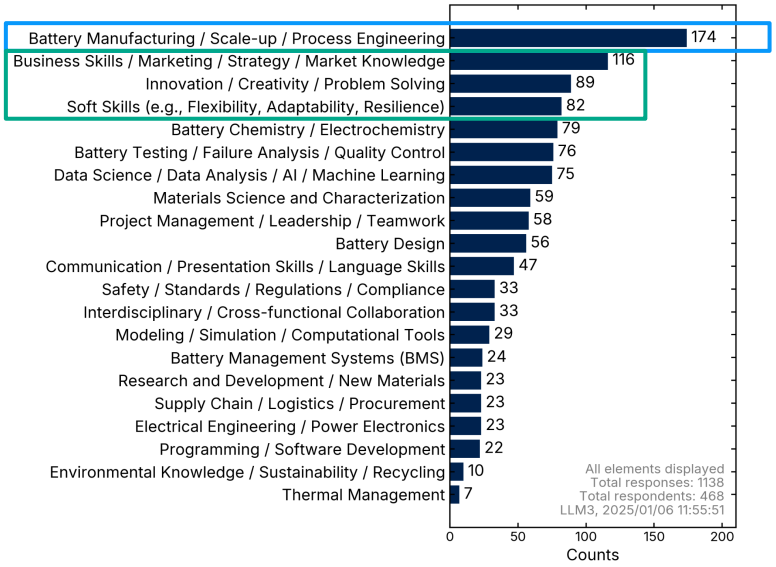
本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

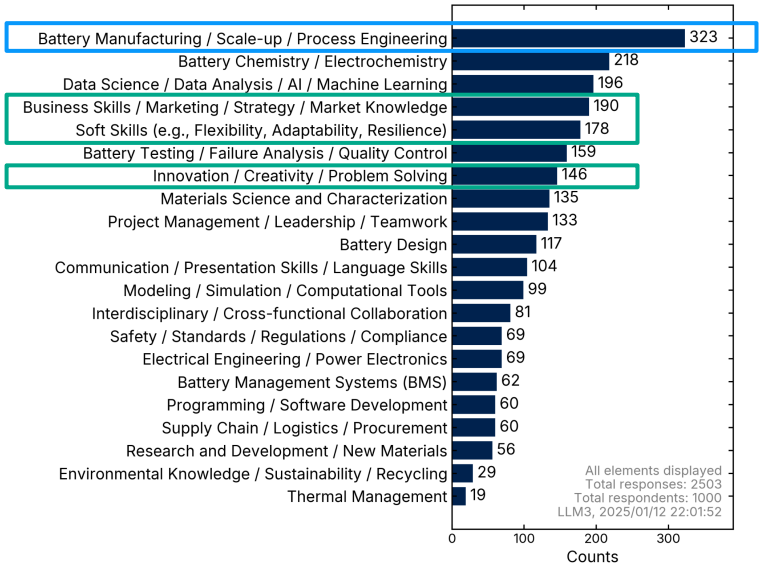
招聘经理对非技术技能的重视程度超过了员工的期望。

“在你看来，电池行业中最需要的三项技能是什么？”

(根据**高级**员工和具有招聘权限的高级经理)



(根据所有人)



本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

“在你看来，哪些技能对你的成功贡献最大？”

受访者被要求最多提供三个答案，他们可以填写任何他们认为相关的内容，我们也没有预先定义技能类别。他们的回答如下：

Doing a PhD on the same class of materials as start up, ability to be adaptable and troubleshoot, strong network Curiosity Communication, Ambition growth mindset, communication, and more practicing Battery fundamentals Observation, proficiency in applied mathematics, willingness to learn materials science communication; characterization Technical Knowledge Presentation Skills; Data Analysis learning Knowledge, Problem Solving Skills, Innovative Thinking MATLAB 1; CAE 2; Skill 1 - Excel, Skill 2 - Powerpoint, Skill 3 - Quick Comprehension Continuous learning; Diligence Marketing planning skills mathematical people skills Communication, product knowledge, self-motivation, communication depth of knowledge; consulting experience openness to learn previous internship experience good communication Communication Energy Engineering BMS and Electrical Collaboration; multi-potential influence capabilities People skills, product applications skills, Creativeness; Eagerness to take on new projects critical thinking, project planning, tenacity strategic planning, strong technical articulation, setting clear and decisive vision sales Hard work Interdisciplinary environment, project involvement, mentorship Knowledge, engineering background, communication and data analysis; literature review; people skills Test and validation; leadership Communication, systems thinking, fast learning Adaptability, specific market knowledge, communication materials, electrochemistry and social skills Communication; Organization; Diligence hard work; chemistry; creativity deep learning and observation toleration listening , hard work Persistence 1, Vision 2, Creativity 3 Collaboration; critical thinking patience Robotics, Automation and Energy Resourcefulness, Communication Leadership Passion, common sense; thin-film deposition electrochemical analysis; logical thinking test bench, cell fabrication Problems solving, communication, adaptability Software Development; Python; Industrial IoT Leadership, curiosity, attention Network to a wide range of people to understand fully the industry; learning quickly and trial by fire ; Personal responsibility taking; communication skills; domain knowledge Experience in battery field critical thinking problem solving software development Drive/ambition, desire to learn systems-level knowledge about battery Electrochemical cell testing, Materials characterization, Interpersonal relationship building Interpersonal skills; problem solving organization Curiosity; common sense frustration tolerance Quick learning, coding 8/analytical skills, communication speaking, negotiation, listening Complex problem solving, innovation, efficiency Lean Startup independent learner, political networker, good presentation skills Problem solving skills Strategic Sourcing and Supplier Management, Cost Management, Risk Management, Leadership and Team Development Program Management; Communication; Leadership analytical thinking 1) problem solver 2) fundamental understanding of batteries 3) ability to apply knowledge to different topics time management; innovation; tenacity science communication; data science; problem solving Software development, analytical skills, self-teaching skills Strong fundamental technical skills, interpersonal skills, communication skills Fundamental understanding, electrochemistry, market knowledge testing research hypothesis , synthesis, writing Experimentation; Mechanical Testing, Electrochemistry People skills; business acumen; testing & validation Skill 1 - Thinking outside the box; Skill 2 - Willingness to ask questions; Skill 3 - Willingness to work with others Adaptability, Critical thinking Rigor, work ethic profound electrochemistry know-how, passion for the field, endurance fund raising open to change Ability to adapt and learn; electrochemistry; materials science engineering fundamentals; willingness to learn; communication problem solving, team work, organizational skills research 1, networking 2, languages 3 EHS Publishing, Research, Public Speaking Flexibility, well-roundedness, perseverance willingness to learn, curiosity, attention to detail Year-long internship assembling cells, Testing cells and observing material characterization studies Good command of fundamentals of engineering (heat transfer, mass transfer, etc) and chemistry, creativity (envisioning solutions); willingness to accept new challenges, independent thinker; electrochemistry fundamentals; good communication battery data/customer voice (Multi-tasking), [Project Financial Planning],[Communication] Battery research, electrode manufacturing, cell assembly Hard work Cummins, Inc engineering veteran, Rivian Startup model - These companies have sound engineering practices, well balanced ethics and community responsible concept. That honed my engineering DNA Science/engineering fundamentals; programming; communication skills No Answer Skill 1; both basic research and applied manufacturing knowledge skill 2; managerial skills skill 3; flexibility and learning mindset Quick learner, good analytical skill; adaptable Fundamental knowledge, problem solving ability and quick learning ability Computer programming, Calculus, Circuit Design Communication, scope management, strategic analysis Industry analysis, data visualization ability to learn, adapt, communicate Problem solving; communication; curiosity “ability to ask the right questions”, “ability to research efficiently” Deep Work, Experimental Design, Molecular Design broad knowledge and expertise in different science areas Grit, luck, curiosity prioritization, data analysis Math, Broad knowledge Perseverance, Quick Learning, Experimental Approach Adaptability, knowledge and agile JMP, Project Management, Analyzing test data Maverila Electrochemical analysis; cell formation and testing, product development TAKING RESPONSIBILITY; ABILITY TO GRASP CONCEPTS FAST; ATTENTION TO DETAIL Battery knowledge, Data analysis, Passion for the problem analytic thinking life long learning, people skills Organization, willingness to learn, growth mindset technical, progress in research, Industry knowledge Long term views, Forecasting/Planning Detail oriented, meticulous”, “inquisitive”, team player Product knowledge; coding skills; hands-on mentality management, sales channel, marketing Attention to detail, pushing myself to speak my mind and learning to trust my, Gut Data analysis; technology transfer, experiment design Electrochemistry, leadership Critical thinking; Strategic analysis Communication, Strategy Planning, Business Development Curiosity Creativity; energy, persistance Drive, focus Problem Solving, Critical Thinking, Innovation Good background, Flexibility, Team working “Enthusiasm\High standards\Work smart” Foundational knowledge on batteries; knowing how to learn new things quickly; python materials science, presentation skills, electrochemistry Open mind, quick decision making, strong management Battery fundamentals; motivation and ownership; communication Fundamental knowledge of electrochemistry, flexibility in work Thick Skin regarding being queer at my first few jobs, first principles knowledge of batteries developed in grad school, willingness to take on new tasks and learn quickly, Polyvalence; adaptability Communication, fast learning Grit Creativity, Fast learning; Curiosity Written and oral communication; program management; managing expectations Electrode manufacturer; adaptability; priority management Networking; languages; interest also in non-lab topics Technical writing, Market research; Chemical engineering education Attention to details; problem solving; mathematical foundation; interpersonal skills Materials science knowledge Mix of technical and commercial understanding Hands on learning in lab environment Prioritization, data analysis, problem solving flexibility, chemistry and engineering background; organised Leadership; public speaking; general engineering knowledge direct experience, cross-functional knowledge, teamwork Persistence, electrochemical knowledge, communication skills Curiosity, Tenacity Data Driven Decision Making; Eagerness to learn, continuous improvement, creating and maintaining relationships communication, leadership, professional Analytical thinking; computer skills; people-skills; Fast learning Team player, Data Analysis Digitalization, Modelling Communication Open mind, being involved, determination to learn new skills, Multi-disciplinary state of mind Adaptability & drive engineering skills, people skills, ability to see big picture and future potential Administrative experience, technical experience, public engagement experience (Motivation); (electrochemical battery knowledge) Passion for the industry, future problem solver, Proactiv communication, flexibility, transparency Quick Learning, Pushing on the Job, Mutual Understanding Self motivation [Positive attitude] [Courage to try and to be in the wrong (and admit so).] [Curiousness], Sales, marketing, strategy, organisation, Polyfunctionality, Agility, Knowledge pragmatic, organised, experienced Flexibility, Synthesis of diverse info base knowledge, motivation to learn, knowledge transfer Adaptability, Ambition to learn, communication, being prideful of my effects on the products, detailed and organized, owning the responsibilities Coding, Electrochemistry, Hands On (ability to synthesize and integrate insights from different field of knowledge) [hands-on skills], [curiosity-driven learning] Strategic thinking, knowledge and understanding of micro and macro environments 20 years of experience in electronic design, method, curiosity for knowledge Innovative Mindset, Creativity, Curiosity creativity, innovation, Analytical Thinking, Self-learning; Self-Motivation collaboration; curiosity; scientific approach Sales and commercial astute Supplier relationships, Training 30 years ago as a 530 electric generator repair in the Army Reserves, time management, the inquisitive skills; presentation skill Critical thinking, Analytical skills, Communication instrumentation, communication, sense of humor flexibility, pick things up quickly Multidisciplinary constraint management, visualizing models in my head, Microsoft excel Adaptability,problem solving,communication Adaptability, resilient, curious Skill 1: domain know-how knowledge; Skill 2: project management Analytical skills, chemical analysis, effective communication initiative, curiosity, openness Electrochemistry, Test and validation methods; Design thinking Collaboration & communication Collaboration, attention to detail Education; Social Interactions; Self-Motivation Innovation\self motivated; leadership Analytic Thinking; Open minded; Basic Principles Customer/market focus; Maximum use of resources; Decision Know the science very well; keep up with current research findings; manage up Not giving up, take it home, write all your functional uses Strategic ideas; Communication; Research Continuous learning approach, Problem solving, communication Intelligence Understanding datasheets; Schematic Design; Hardware Testing Battery fundamentals, my research topic Ability to create right network, Passionate, hard worker Chemistry, Unit Operations, Materials Science Hard-work, Willingness to do everything, Communication Commitment, Curiosity, Focused System Engineering, Practical knowhow, digital engineering adaptability; resilience; focus problem solving, communication, creativity Non-linear thinking; problem solving; willingness to learn sector knowledge; interoperability; resiliency techno-economic / cross-disciplinary skills/thinking; confidence (speaking + leadership); vulnerability (willingness to ask questions, gain trust) Materials science; Electrochemistry; Synthesis Communication expert knowledge strategic thinking Electrochemistry, Materials, Problem solving independence, logic thinking, people skills 1. battery internship; 2. cross-functional education (chemical engineering & material science); 3. passion/curiosity of the battery sector Resiliency; problem solving; eye for detail Willingness to learn; electrochemistry; coding Determination; Interest in learning; Curiosity Engineering experience Analytical thinking System and Safety knowledge Leadership, general battery knowledge, regulations Self guided learning organizational skills, data analysis Hands on Utility PV experience, technical background,Fast learner Personal Motivation; Necessity; Education Personal Interest and curiosity about various types of batteries and Production capability checks Dedication and good memory, strategic thinking, and continuous learning. “[Critical thinking skill];[material synthesis skill];[data analysis skill]” Problem solving, technical, project management Creativity, Experience, Hands-on Communication Project management, engineering fundamentals Python; Deep Learning, Electrochemistry, Battery Deep industry knowledge, people skills, project management skills Problem solving, networking Reliability; Pattern Recognition; Continuous Learning Troubleshooting the equipment Independent thinking, research oriented mentality Fundamental knowledge, Research experience, Continuous development mindset Soft skills Persistence, Communication Project Management, Systems Engineering, Requirements Management Communication; Project Management; English listening, imagination, chemistry, understanding applications Flexibility, adaptability, resilience Quick learning, autonomy Ability to learn quickly; battery physics and chemistry; data analysis [Innovation][electronics][curiosity] Multi-Tasking Ability, Innovative and Crazy Mindset, Identifying Mistakes Open mindedness; scripting; full cell design experience No success Experience, Salesmanship, Drive Data analysis, continuous learning, python Flexibility, desire to learn Industrial Automation and mechatronics, automobile repairs, power systems troubleshoot Ambition; Endurance; Project Management Good foundational knowledge self-taught, curious Asked questions, Spoke to everyone Knowledge about batteries, willingness to take ownership; [Battery knowledge], [Hands-on testing], [Automotive background] Endurance; Overcoming complex problems; strategic thinking Relentless learner; physics theory knowledge; listening Experience in adjacent markets; technical & commercial mix; questioning attitude Knowledge learning; working hard Collaboration; Quick Learning; Compliance Experience Hands-on experience; constantly learning new information perseverance, curiosity, critical thinking grit Communication, Problem Solving, Powder Handling Fundamentals Fast learning, precision, big picture thinking Communication; Neurotic5m; Fast Learner research capability, open minded meticulous, drive, passion networking, eagerness to learn; electrochemistry knowledge Problem-solving; Data Analysis; Literature screening “commitment; keep learning; keep improving what you learn;” Process Design, Optimisation; Excel Connections in the industry; communication skills; keeping up with the development of the industry (technology and product) Background in battery R & D PM, Management, Organization, battery knowledge, Data Analysis; Clear thinking; clear communications solid state chemistry; Goal oriented; flexible; organized Empathy, efficiency, experience managing in startups; manufacturing background;strong engineering/technical skills “Strategic” “hard working” “curious” knowledge communication; analysis Cell design, materials science, Python Verbal, written and visual communication Systems understanding; battery construction; quality commitment; curiosity; attentiveness Experimental testing, modeling, electrical Circuit analysis Communication Simulation, Business Scientific knowledge, hands on ability, willingness to learn and work Creative thinking; team player; attention to details people management, project management, Inquisitiveness Relationship building, Analytical problem-solving, Curiosity The ability to search for information quickly; data analysis; clear communication Persistence, Vision, Humbleness Industry knowledge; CAD application familiarity soft skills, fundamental materials science and electrochemistry, analysis communication, computers, precision testing, Tesla Proactive; call to action, process creation Independent worker, Thirst for knowledge Problem Solving test/troubleshooting; data analysis, physics fundamentals 1) communication 2) problem solving 3) presentation Enthusiasm, sincerity and technical depth Programming, data analysis Perseverance, curiosity, troubleshooting Adaptability, Curiosity, Strategic thinking Battery Quality, production, maintenance observation and analysis speed of execution Eagerness to solve problems, strategize product plan considering market sentiments, improving profitability, Teamwork, Collaboration in cross functional things; analytical understanding of changes, materials discovery/electrochemistry/sales Managing people, engineering Research, Critical Thinking, Data Analysis Problem solving, leadership, strategic thinking Communication, strategic thinking, Resilience, Curiosity, Ambitious Electrochemistry, material science; process engineering People; solid state chemistry, innovation Measurement & Test; Materials Science; Semiconductor industry experience Technical knowledge on batteries and cost analysis Networking, customer engagement, technology expertise People skills/leadership,commercial Battery knowledge Customer focus; Dedication Attention to detail; organizational skills; Efficient; Time management Communication skills, self-confidence, Strategic view Specific software knowledge; Breadth of materials knowledge Dynamic learning, Conversation Deep RSD experience Love for batteries Always-learning mentality Technical Sales analyzing data, managing team, getting swarm intelligence Tenacity ; Perspicacity ; Listening “[communication][hands-on battery skills],[re-test]” organization / materials development; Initiative, accountability, grit Leadership, Technical, Finance Engineering Fundamentals; Hands-on Training; Process/Quality Training Electrochemistry, Electrochemistry, Electrochemistry Operational Management, Product Development and launch Collaboration, Adaptation, Learning Fast Learning; Outgoing personality Dedication and hard work Communication; Technical Understanding; Attitude/Care for work Industrial experience; team work, electrochemistry knowledge Data science; data processing Analytical; communication; holistic problem solving interdisciplinary skills, technology, policy Being able to think across disciplines; willingness to learn by lots of observation Teaching Fast Learning; Flexible Financial modelling, communication, adaptability, communication, willingness to learn, listening WORKING HARD AND WITH OTHERS, THINKING huge prior experience with electrochemistry Industrial, fast learner, Communication Skill 1: materials science; Skill 2: battery components Creative; project management learning Electrochemistry, materials science, leadership stakeholder management Human skills Ability to adapt, Recruitment; Leadership skills persistence, effort, communication programming, excitement, perspective Analytics technical expertise in mineral exploration, excellent communication, curiosity to learn Intellectual Curiosity, networking, perseverance Willingness to work, online courses skill 1 language; skill 2 polymer background Stakeholder management, sales; visionary Negotiation , New Technology Knowledge ; Meeting Regulation for Safer EV Manufacturing openness; perseverance flexibility; courage scientific expertise; data processing, adaptability; core technical skills; adaptability; communication self-confidence Communication rare in the field Computer Science/electrical / electronic systems knowledge Attention to detail, Fellow; Focus Skills Materials science/electrochemistry analytical instruments strategic thinking; sales skills; listening Communication Flexibility, Desire to Learn, Networking Experience Knowledge, Technical proficiency Electrochemical knowledge; being a quick learner communication lifelong Learning attitude Time management; open communication; basic programming Finance, accounting; tax Willingness XRD/crystallography, Python communication, efficiency, attention to detail openess to ask questions Generalist, Battery Knowledge (PhD), hands-on engineering Problem solving, Empathy, Public speaking, strategy Mindset\willingness to learn; critical thinking and reasoning; Endurance; teamwork; experience [Leadership];[Knowledge];[Multitasking];[Communication];[Experience] previous experience with electrochemistry Industrial Automation, Battery energy storage system integration, Microsoft excel Solid state chemistry, people management 1. Ability to tread on experiences from different industries, 2. Crisis management, 3. Curiosity Adaptability, tenacity, continuously learner Program management, technical, engineering Critical thinking; Analytical; Persistent “Adaptation; Research” Research and Development; Technical; Analytical Management skills; patience, Projects- deep handling 1. Hardworking 2. Experience 3. Management [Excellent Quality]; [Support to Customers]; [Hard-Working] Hardworking [hard-working]; [not giving up]; [patience] Programming, Electronics Fast learning, autonomy, curiosity flexibility, curiosity, dedication Logical thinking; quickness of mind; wide professional knowledge incl. Business science Problem-solving]; Teamwork; Time management Problem solving; Mechanical mind; Cross-functional knowledge Automotive ecosystem; understanding, business acumen, networking Flexibility; Open Mindset, Sociability, Technical and scientific mastery; Management, Stricture Skill 1 - read a lot - learn quickly; grit, determination, big picture thinking, optimism Can do attitude, flexibility, experience Communication; Project Management; Data Analysis; Empathy; Proactivity, Teamwork; Critical Thought; Materials Knowledge Problem-solving skills, Curiosity, Strategic Thinking product development; material knowledge; sales knowledge; marketing; mentoring Agility, Easy Learning skills, Social skills Technical knowledge, hands-on experience, materials science Battery and energy industry expertise; being a “full stack” marketer [engineering][electronics][manufacturing system] problem solving, communication, perseverance Adaptability, Fundamental Electrochemistry Knowledge multidisciplinary knowledge, willingness to learn, creative thinking “Engineering ; Technical ; Applications” global contacts; process experience; economics critical thinking, wanting to learn; self starter; electrochemistry, communication Quick learner Flexibility 1. Broad Technical Knowledge 2. Industrial Industry Experience 3. VOC skills Multitasking adaptability; diplomacy detailed mindset, data science, communication curiosity, adaptability, social skills Asking questions; intellectual humility knowledge, personality, academic history Flexibility Practical knowledge about battery production; teoretical knowledge about li-ions battery,statistical skills 1. Knowledge 2. Risk Taking 3. Problem Solving Curious; motivated; autonomous mechanical design, high volume product design, first principle thinking, curiosity, drive decision making; cost analysis; relationship building Engineering; practical hands on Skills; adaptability Communication; analytical thinking; Resilience, humility, determination connections, experience, professional knowledge Expertise in wholesale and retail, regulated and deregulated power markets; strong analytical skills; adaptability, engineering, project management, strategy Independent learning; Teamwork; Being organized Good Communication Skills; Broad knowledge in many engineering disciplines; Materials science background Creativity; chemistry; discipline Deep understanding of technology, strategy, and leadership Software, networking, electronics Fundamental knowledge (Cell testing) ; (battery Pack Testing); (BMS Testing) Project management, business strategy, analysis Battery knowledge Lab experience Willing to learn Chemistry knowledge, impedance analysis, intuition Critical thinking, communication, and engineering background Skill1: Networking, Skill2: Experimental Subject knowledge, Skills 3: knowhow market Picking up concepts quickly Software Development Physics background, programming, data analysis Technical understanding of energy storage ; experience with required equipment , communication skills Curiosity, grit, adaptability Ability to learn good communication; coding in python Proactive, good communication, presentation Flexibility, fast learning, perseverance Python data analysis; test engineering battery electrochemistry Research, Data analysis, Communication Materials synthesis, testing and advanced analysis global knowledge of battery innovation “Simulation study; Cell Manufacturing; Electrode synthesis” Team management, quick learning, innovation, team leadership perseverance, curiosity, courage, vehicle integration Continuous learning, foundational knowledge, programming flexibility; understanding of start ups; emerging tech approach Fundamental knowledge; persistency; critical thinking Being quick learner, taking risk, agile product development approach Data analysis, molecular quantum mechanics, cell modelling Network Communication; perseverance programming determination; perseverance UNCs chemistry program Experience; Education; Scientific Curiosity; Leadership, planning Fast learner, analytical mindset, detail-oriented 1. Electrical background 2. Understanding of the renewable energy industry 3. I had a wide knowledge base I Generation, open mindedness, collaboration International; network business development People leadership, techno-economics, communication [DoE],[Python Programming],[Data Analysis] Team leadership skills, mentorship of peers, inter-team collaboration Laboratory skills Troubleshooting, question formulation, communication electrical, electronic knowledge; project management, testing knowledge Focus, network, interest experience across multiple disciplines, productization focused, solution selling creativity, fundamental knowledge of batteries ndt, testing Electrochemistry Product Knowledge (Battery structure + chemical transport phenomena); Problem Solving Acumen luck; communication; product knowledge Material Synthesis, Analytical Characterization Expertise, Teamworking, business analytics, strategic planning Dedication; enthusiasm resilience Drive, quality, interpersonal skill Deep knowledge in several technologies, experience in many R&D projects oriented to bring up new market products Education, Ambition, Fiction Battery industry knowledge, automotive industry knowledge, communication skills Adaptability and Flexibility, Technical Proficiency, Problem Solving Mathematical modeling; mentorship; experiment design keeping my mouth shut, when my employer lies to customers and investors Synthesis, testing via electrochemical method, structural characterization people skills; project management; technical knowledge Problem solving and critical thinking; Hands on approach; Hard work adaptability; strive for excellence; synthesis Matlab, Technical Understanding, Analysis Experience from many different fields technical knowledge; knowing the customer, soft skills analytical abilities - ability to solve problems and combine solutions Learn Quick Fail Fast Electrochemical Data Analysis; Material Characterization Autonomy; open-minded; commitment Electrochemistry knowledge; previous experience in battery industry and critical thinking Communication; solid state chemistry; attention to detail Communication; project leading; business strategy chemistry; hardware software Adaptability, Resourcefulness, Communication Analytical Chemistry; Lab Management ; R&D Duty cycle understanding Battery Basics, Simulations Learning, hands on work Communication skills, Ability to write articles, Networking technical ceramic knowledge Adaptability Data analysis, critical thinking Knowledge, relevant experience; creativity Ability to simplify, root cause problem solving, listening to customers for problem statements Experience; Chemistry, Creativity Grit; passion; planning vast knowledge of many industries Observation, Self study, Learn from breakdowns/faults Desire to learn; Engineering Background, Positive Attitude Fundamental knowledge Experimental skill; Adaptation skill; Communications, leadership, tact, technical Ability to adapt quickly, 12 years of marketing & comms experience in a different industry and educating myself on technical partndustry Curiosity; determination; creativity [pilot-line production]; [cell production]; [Test and validation] Characterization techniques; Electrochemistry experience; Data analysis utility industry knowledge from internship; emotional intelligence; teamwork

我们编写了代码来分析文本，定义技能类别，并计算每个类别中的回复数量。

接下来的内容展示了部分研究的结果。

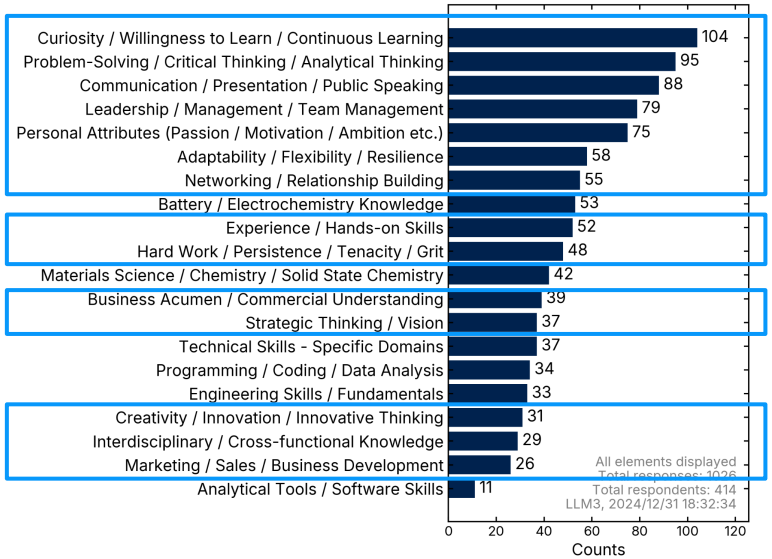
完整的研究结果报告将收录于《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

绝大多数受访者认为个人成功主要原因是“软技能”，而不是技术技能

“在你看来，哪些技能对你的成功贡献最大？”

(根据**高级**员工和具有招聘权限的高级经理)



绝大多数回应强调了学习、解决问题、沟通、领导、建立网络和适应能力。

技术技能相对不那么重要：

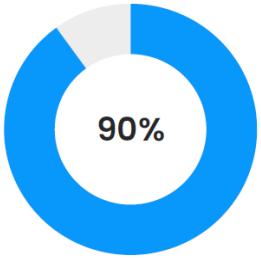
- 电池/电化学排名第8
- 材料科学排名第11
- 特定领域的技术技能排名第14
- 编码排名第15

本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

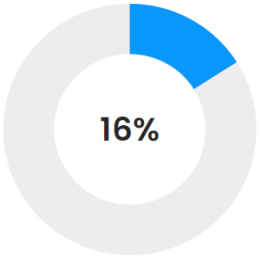
在行业中，岗位培训是一种常态

“当你刚入职的时候，接受了哪些方面的培训？”



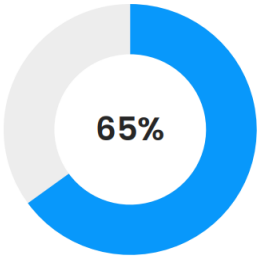
受访者中表示在刚入职的时候接受了岗位相关培训

岗位培训学习普遍存在



部分受访者中有接受正式培训项目

正式培训项目仍然很少



一些受访者表示“更好的基础知识”是提高第一天工作表现的关键。

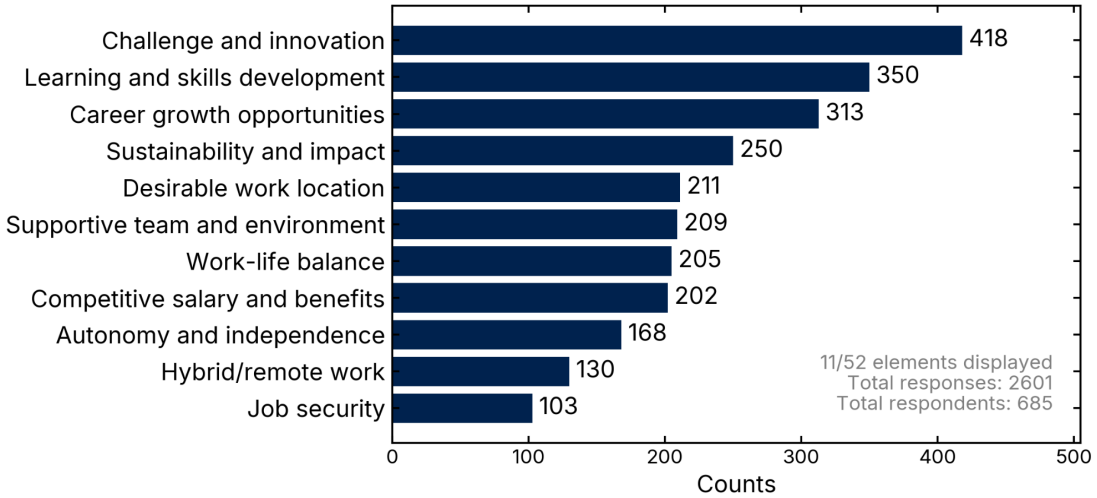
基础知识仍然重要

本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

选择一家公司背后的关键驱动因素 - 挑战、创新、影响、学习、成长

“你为什么选择现在的岗位和公司？”



最主要原因是：挑战、创新、影响、学习和成长。

工作与生活的平衡、工作地点和薪资排在第二位。

本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

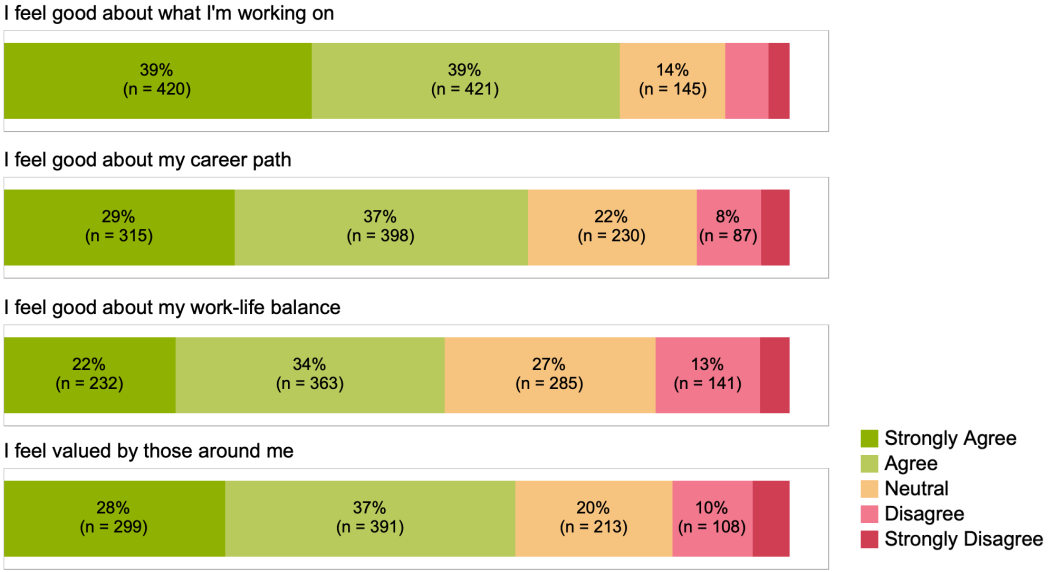
工作幸福感 - 坚实的基础与成长的空间

78%的受访者对他们正在从事的工作感到满意。

66%的受访者对他们的职业发展感到满意。

56% 的受访者对他们的工作与生活平衡感到满意。

65% 的受访者感觉被周围的人重视。



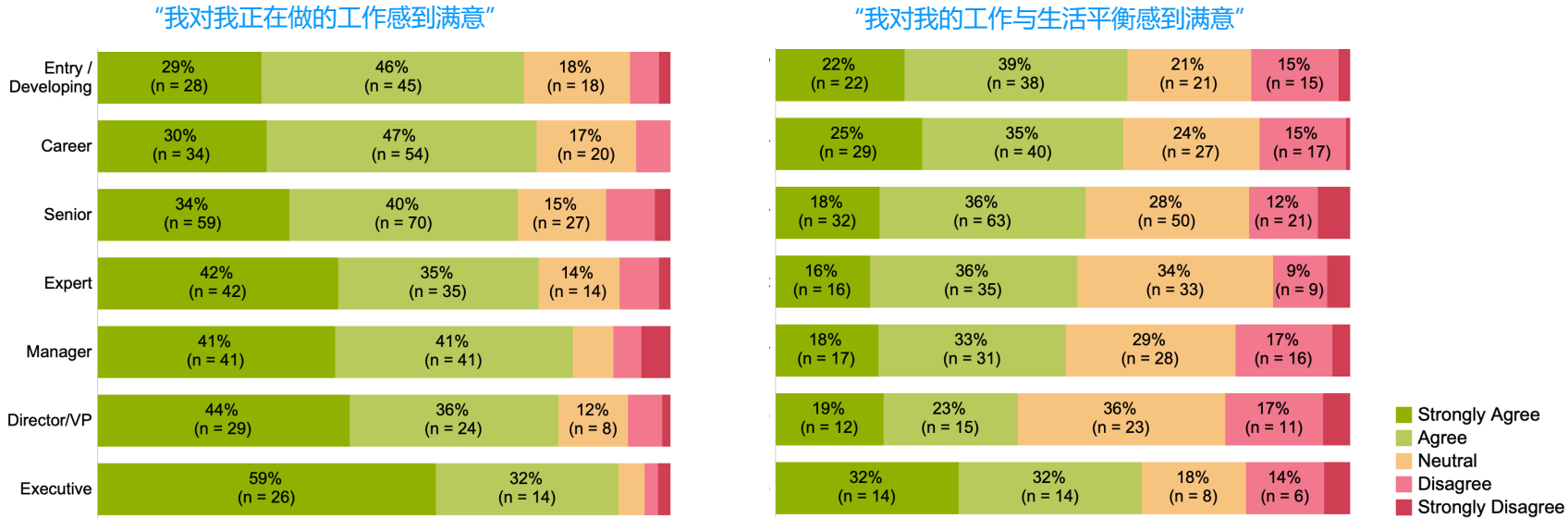
本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

更高职位与更高的工作满意度相关，但工作与生活平衡最不理想

91%的高管对自己正在从事的工作感到满意，而入门初级岗位中只有75%的人对现在的工作感到满意。

在更高层级岗位，对于工作与生活平衡感不理想，唯独高管对他们的工作与生活平衡感到最好。



本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

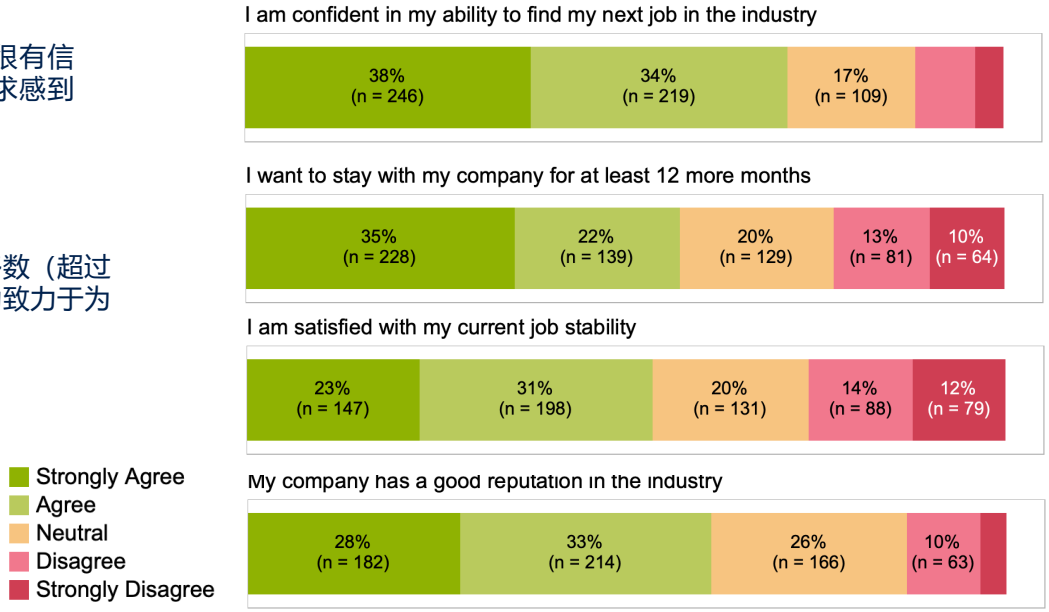
角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

整个行业信心、留任和乐观

大多数（72%）的行业受访者对自己找到下一份工作的能力很有信心，这表明他们对自己的技能和该行业对有经验的员工的需求感到乐观。

> 尽管电池行业近期动态有些不可预测，和我们交流的大多数（超过90%）电池专业人士对长远的前景保持乐观态度……全力致力于为未来制造电池。
>
> - 杰米·希尔德，Strativ Group

行业反馈（N = 665）



本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

学生视角-乐观，但受到技能和就业能力差距的制约

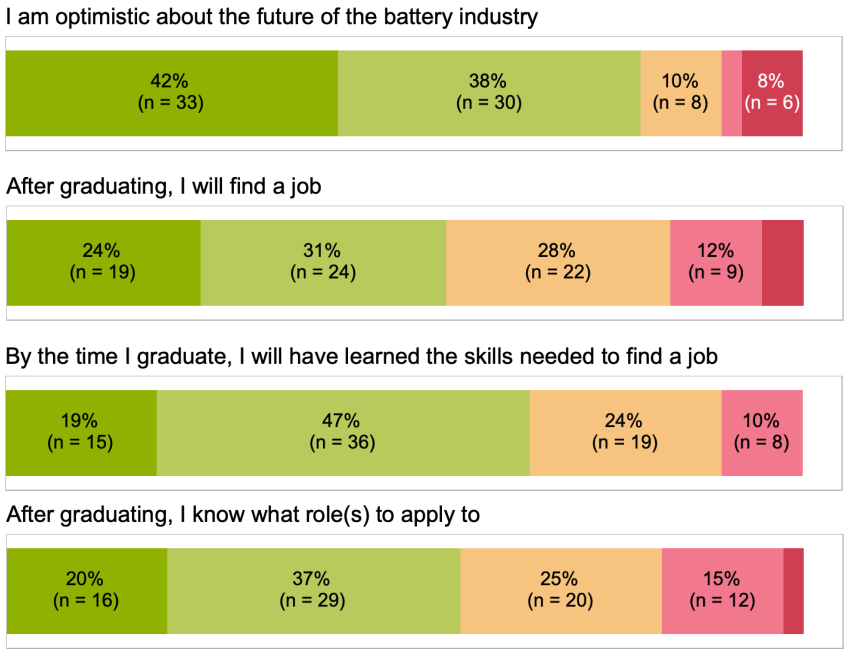
学生们对电池行业的未来保持乐观态度，80%的人表达了积极的态度。

然而，只有51%的学生认可他们毕业后就能找到工作这点， 这可能表明对工作可用性、自身就业能力或两者的担忧。

34%的学生对于自己在毕业时能否具备就业所需的技能保持中立和怀疑态度，这点突显了教育与行业期望之间的潜在差距。

43%的学生表示自己可能不知道应该申请哪些职位，这表明在明确行业角色和发展路径方面还有提升的空间。

来自学生的反馈 (N = 79)



本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VOLTA FOUNDATION

一半的行业专业人士正在积极寻找新的工作机会

入门级专业人士对新机会有更高的兴趣

- 64%的入门/发展专业人士正在寻找新机会，这是所有职位级别中最高的比例。
- 洞察：这可能反映了人们强烈的成长、学习或向上流动的愿望。 公司需要通过指导、培训和明确的晋升路径来吸引这一群体。

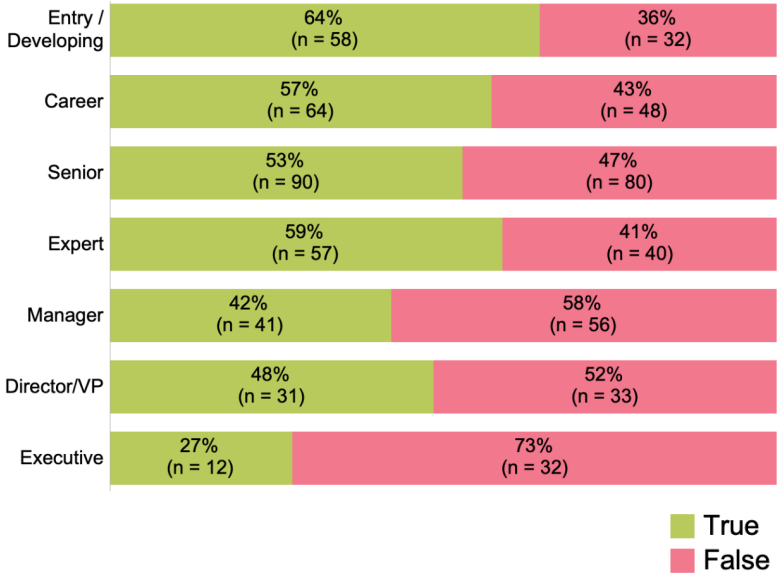
中期职业人才的流动性

- 职业（57%）、高级（53%）和专家（59%）级别显示出对寻找新职位表现出一致兴趣。
- **洞察**：这些群体可能在寻找晋升、更好的薪酬或文化契合度。 公司可以制定有针对性的留任策略，例如领导力提升或灵活的职业发展路径，以减少员工流失。

高层职位人才求职下降

- 27%的高管正在寻找机会——这个比例最低。
- 洞察：高级职位通常伴随着更大的稳定性、满意度或对组织的投资。 这也可能表明高管们感到更加根深蒂固，不愿意通过换岗来冒险。

“你目前是否在寻找新的工作机会？”



本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

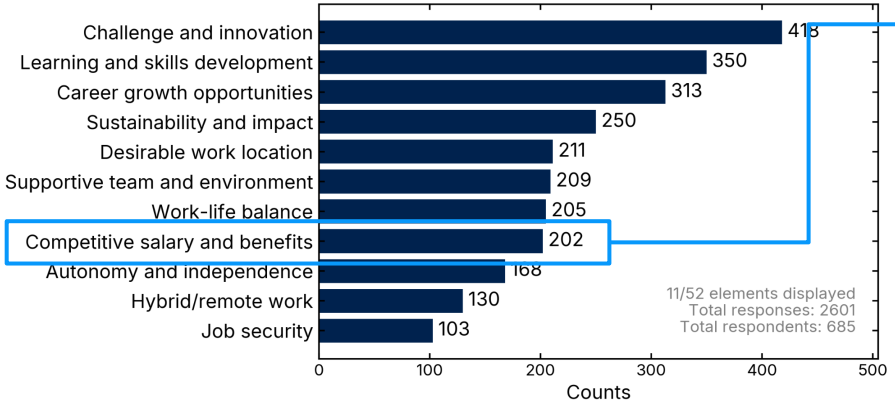
角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

VF | VOLTA FOUNDATION

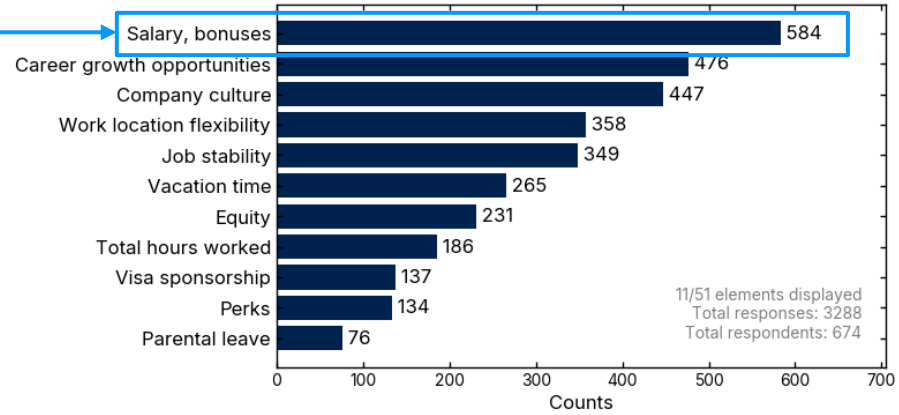
为了挑战而来，为了金钱而去

薪资是加入一个公司的第八大常见原因，但却是离开去加入另一个公司的首要原因。

“你为什么选择现在的岗位和公司？”



“如果有另外一个公司，给你提供一个同类型的职位，你会考虑哪些因素来决定是否加入？”



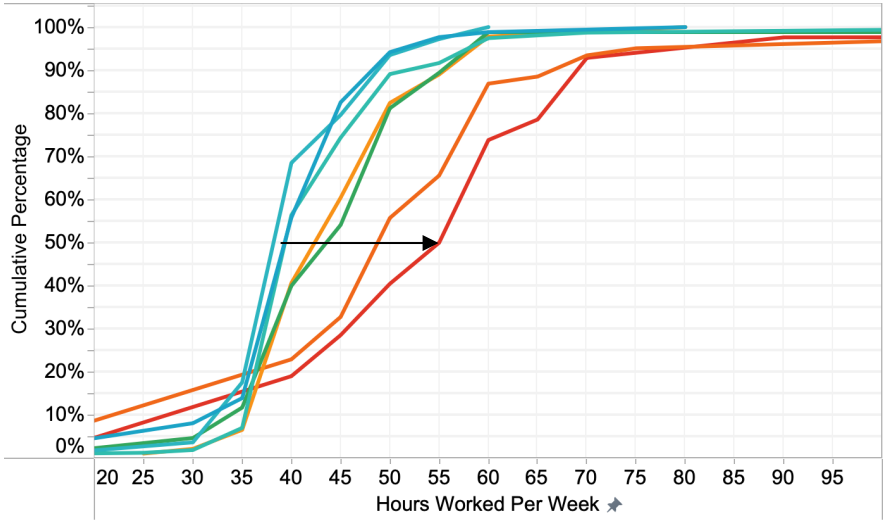
本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

VF | VOLTA FOUNDATION

领导者的工作时间往往比个人贡献者更长

“你上周工作了多少小时？”



级别

- Entry / Developing
- Career
- Senior

~每周40小时

- Expert
- Manager

~每周45小时

- Director/VP
- Executive

>每周50小时

“每周工作小时数”来自受访者对“你上周工作了多少小时？”这一问题的回答。排除假期（例如，11月/12月）的数据不会显著改变分布。 公司的发展阶段来自受访者对“你如何分类你公司的目前发展阶段？”这一问题的回答。

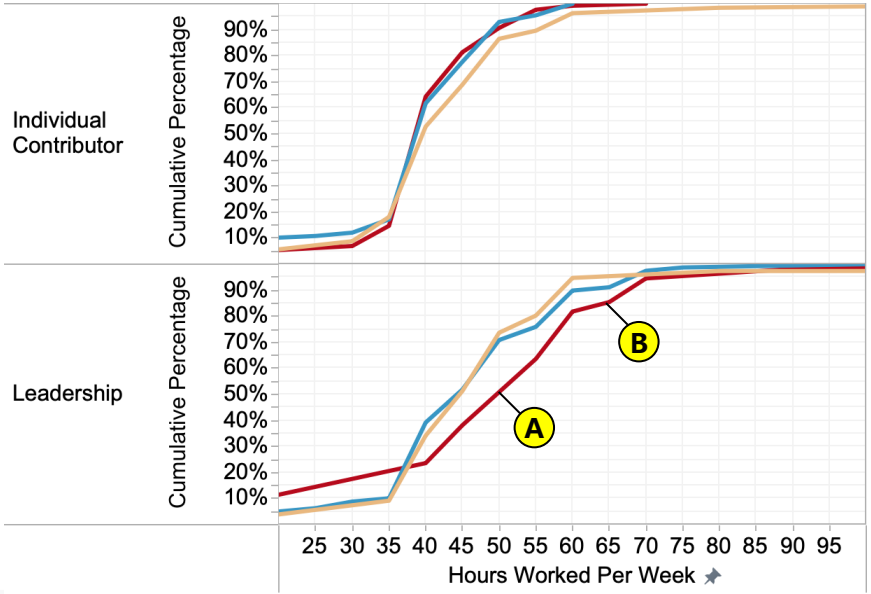
本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

VF | VOLTA FOUNDATION

在扩张阶段，领导团队每周多工作5到10小时

“你上周工作了多少小时？”



公司阶段

- 前期启动/初创
- 扩张
- 中型/成熟

在扩张阶段：

A 50%的领导者每周工作超过50小时

B 15%的领导者每周工作超过65小时

“每周工作小时数”来自受访者对“你上周工作了多少小时？”这一问题的回答。排除假期（例如，11月/12月）的数据不会显著改变分布。 公司的发展阶段来自受访者对“你如何分类你公司的目前发展阶段？”这一问题的回答。

本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

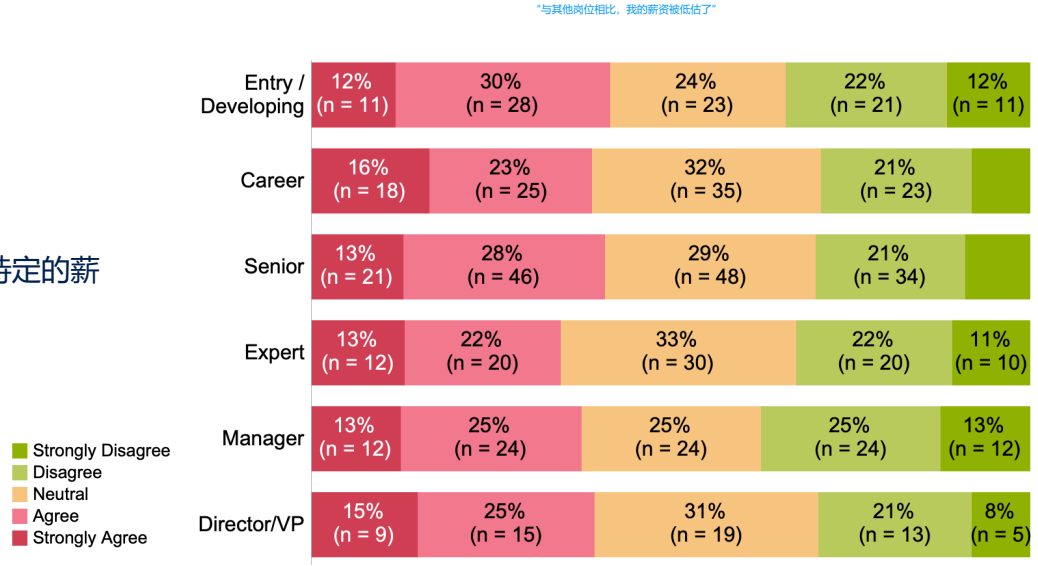
你认为自己被低估还是高估了薪资？

三分之二的人觉得现在的薪酬与他们的期望不符

三分之一的人觉得自己薪资过高。

三分之一的人觉得他们的薪水偏低。

影响：期望不匹配可能是由于缺乏明确的基准和行业特定的薪酬透明度数据。



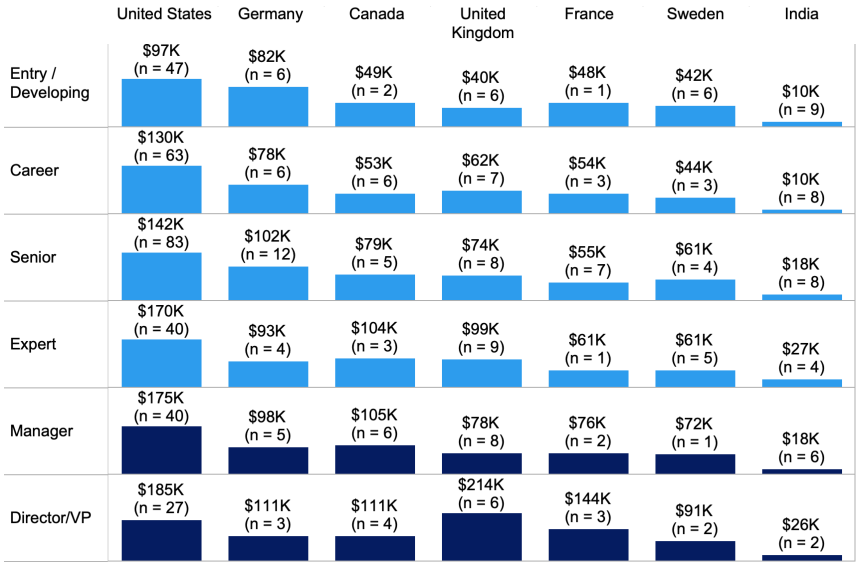
本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

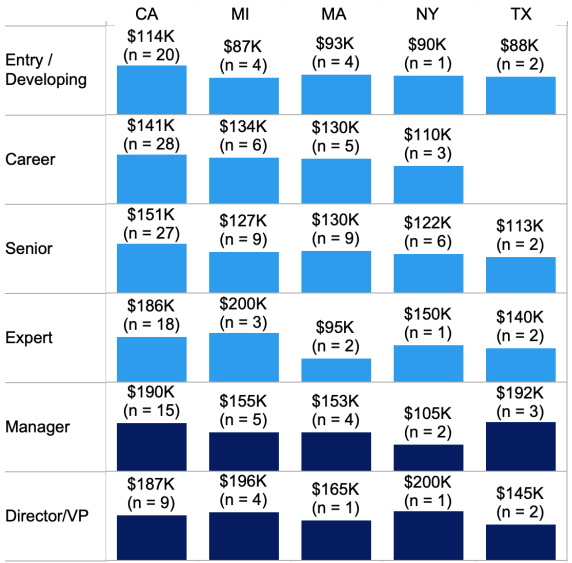
VF | VOLTA FOUNDATION

“你的年薪是多少？”

不同国家之间的比较
以美元计的中位数基本收入



不同州的比较（仅限美国）
以美元计的中位数基本收入

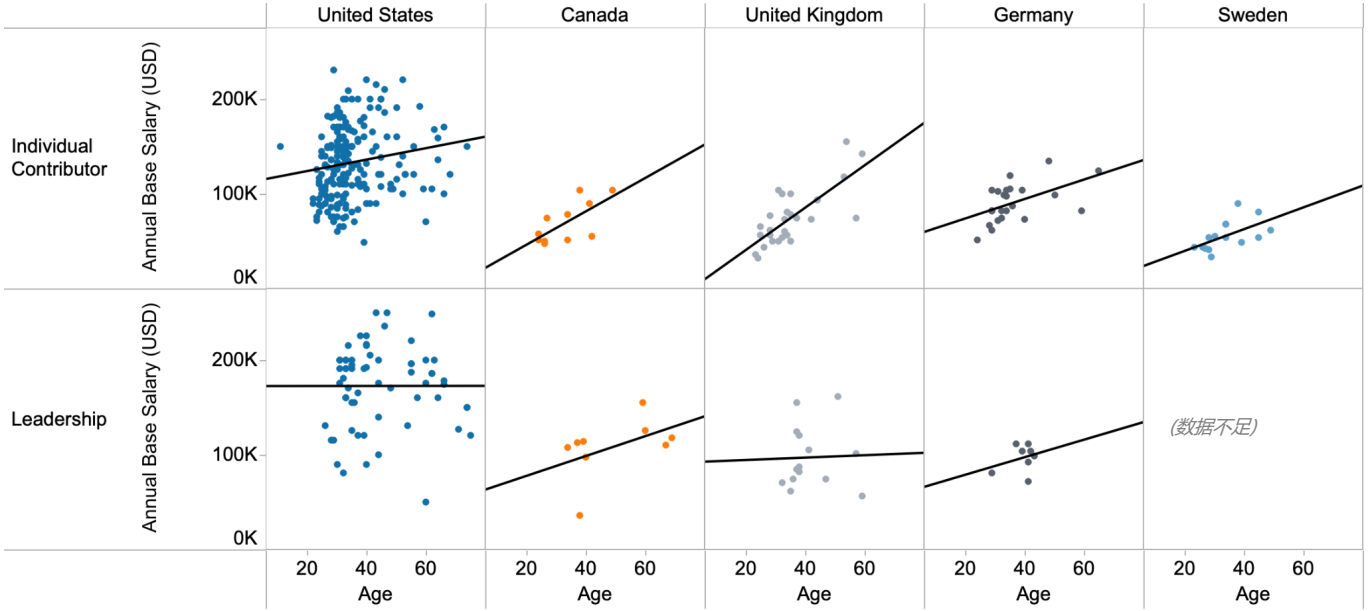


本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

VF | VOLTA FOUNDATION

你的年龄与薪水的相关性如何，这取决于你居住的地方。



在美国，个人贡献者的薪资早期趋于平稳，进一步增长需要担任领导角色。**在欧洲，薪资随着年龄的增长而更为稳定**，反映出与任期和经验相关的更强职业发展。

国家对应于问题“你的办公室位于哪个国家？”的答案。响应进一步按角色级别分组，其中“个人贡献者”包括入门/发展/职业/高级/专家角色，而“领导力”包括经理/总监/副总裁/高管角色。回归线在排除异常值后表示最佳拟合。 基本工资以美元报告，使用2024年12月的汇率。 散点图包含总共375个数据点。

本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

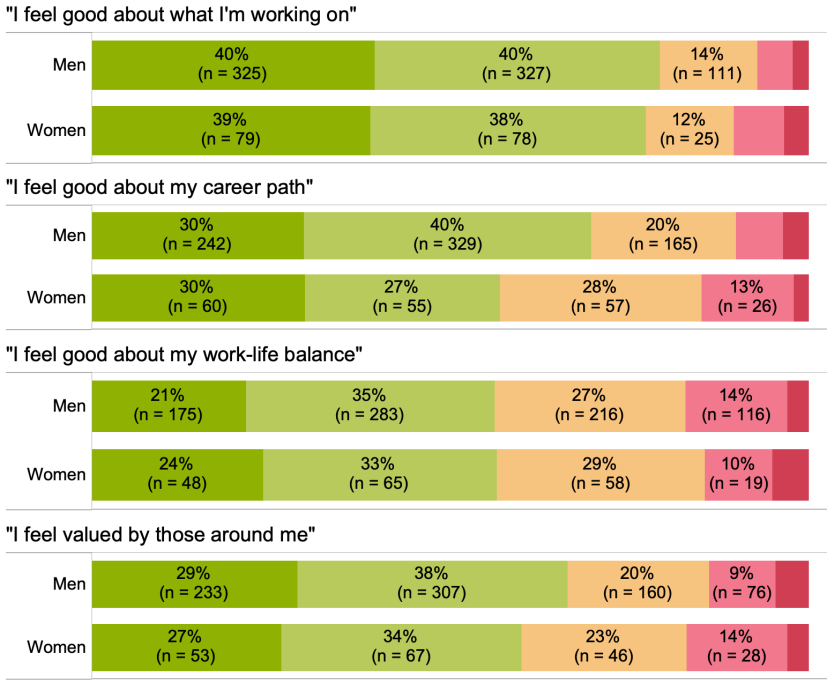
男性和女性在工作幸福感方面得分相似

80%的男性
77%的女性 对他们正在从事的工作感到满意

70%的男性
67% 的女性 对他们的职业发展感到满意

56% 的男性
57% 的女性 对他们的工作与生活平衡感到满意

67% 的男性
61% 的女性 感到周围的人重视他们



> 当人们感到被重视和授权时，他们不仅仅是在工作——他们在创新，激励他人，并推动变革。

凯瑟琳•麦克兰德•里维拉
AM电池公司人力资源高级总监

本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

VF | VOLTA FOUNDATION

随着高级职位的增加，男女比例下降

在个人贡献者角色资历的增加，男女比例从22%下降到15%，下降幅度为32个百分点。

男女比例随着管理角色的高级性增加，从21%下降到9%，下降幅度为57个百分点。

可能原因：

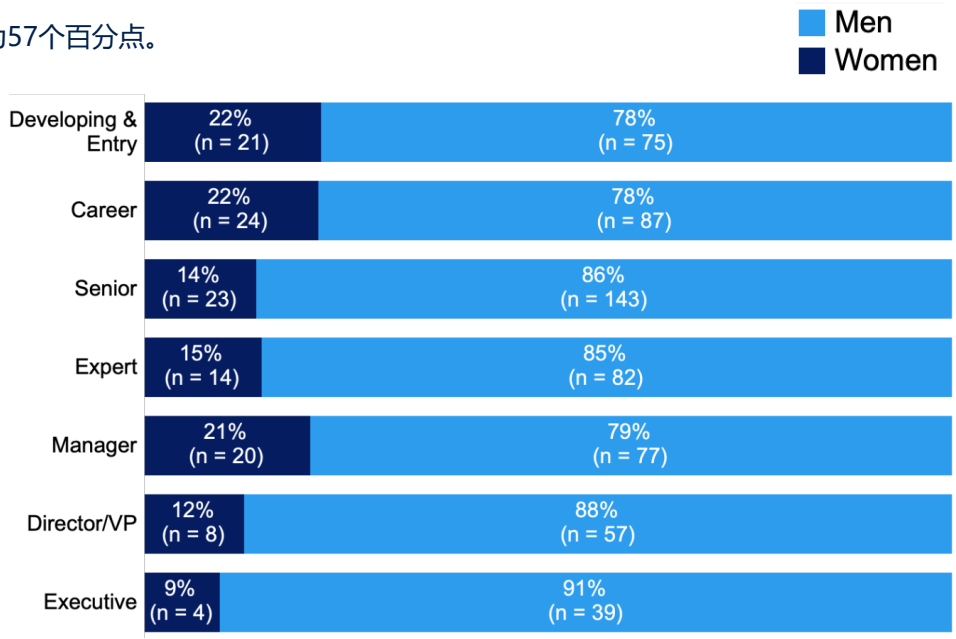
(1) 玻璃天花板：女性晋升遇见的障碍，比如获得的指导有限有限，社交或领导机会也有限。

(2) 留任：组织文化、工作与生活平衡的问题，系统性偏见阻碍女性晋升到高级职位。

行动建议：

针对性的策略，包括导师制倡议和增强探亲假的政策，可以帮助更多女性晋升到高管职位。

通过培养包容性文化，公司可以释放其人才库的全部潜力，并推动领导层的更大公平。

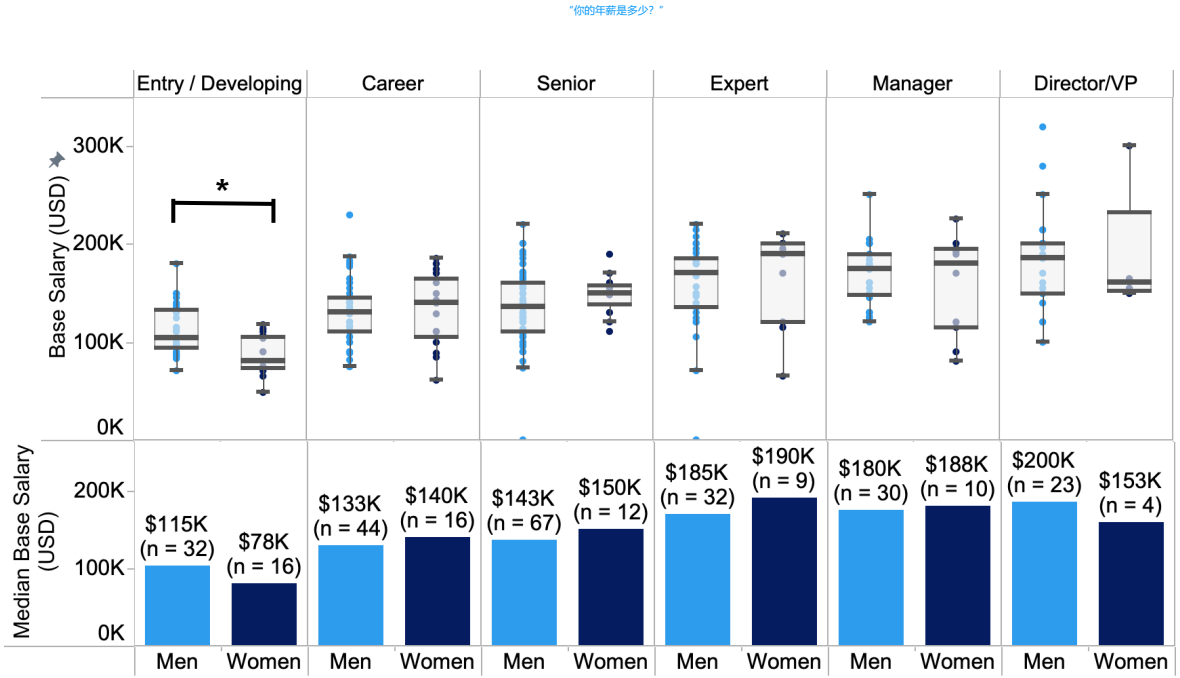


本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

VF | VOLTA FOUNDATION

入门岗位中性别薪酬差距明显，但随着岗位高级性增加而缩小



在入门/发展层级，女性的平均薪酬比男性低30%。

这一发现具有统计显著性，*p*值<0.05（以*标记）。 角色类型的差异无法解释薪酬差异（两个组均以技术角色为主）。

箱线图显示25th、50th和75th百分位数。须条显示排除异常值的范围。 排除了薪资为$0的受访者。仅包括目前在职的受访者。仅限美国。】对“入门/发展”类别进行了统计显著性测试，使用标准t检验。箱线图包含209个数据点。

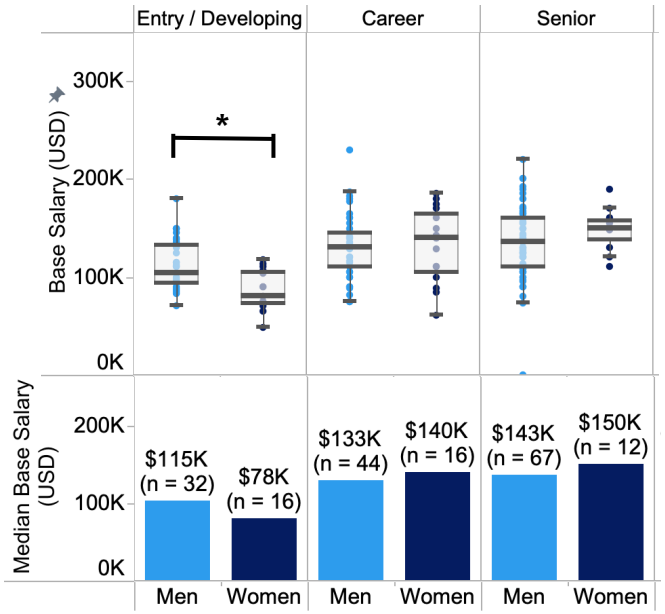
本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

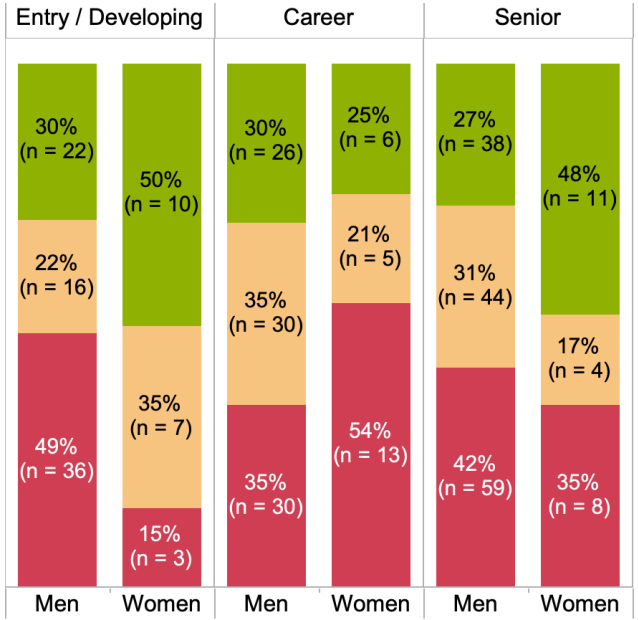
VF | VOLTA FOUNDATION

在入门级别，女性薪酬偏低但她们自己并不认为被低估

"你的年薪是多少？"



"我与类似职位相比，薪酬偏低"



在入门/发展级别，女性的平均薪酬比男性低30%。

但只有15%的女性认为“与类似职位相比，我的薪酬偏低。”

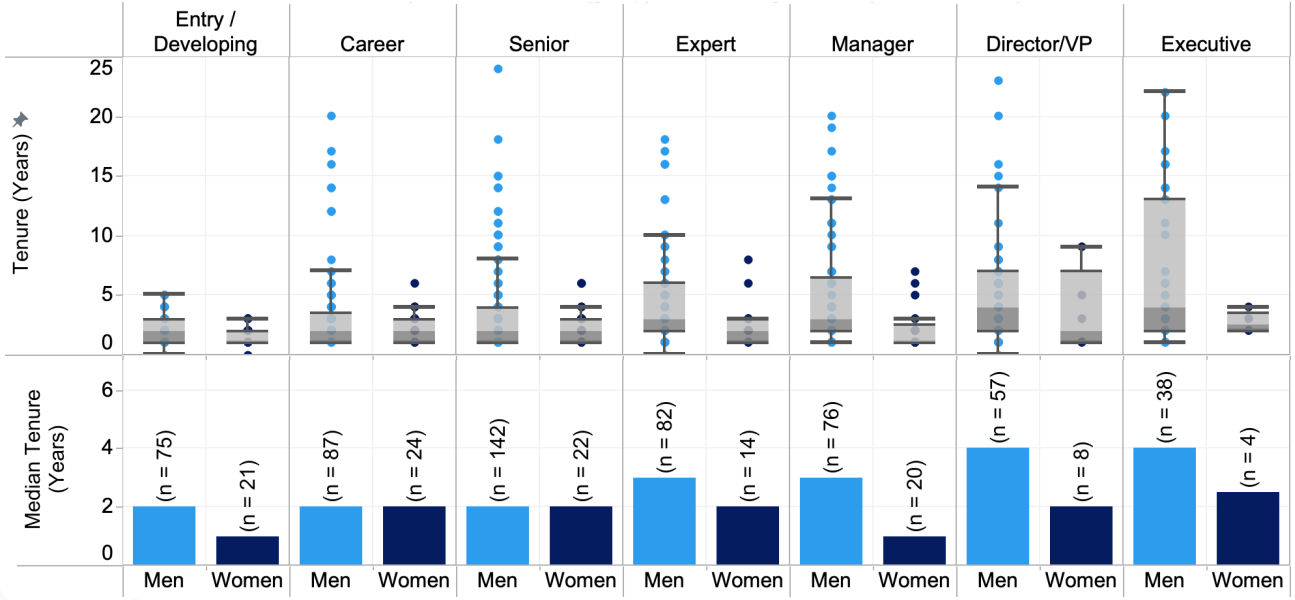
本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

VF | VOLTA FOUNDATION

任期中的性别差异 - 反映了历史上障碍和劳动力的演变

“你在公司工作了多少年？”



与许多STEM相关的领域一样，历史上电池行业一直以男性为主。

女性进入这些领域时，可能仍需要面临文化和结构性挑战，在某些情况下导致任期较短。

本页内容节选自《电池人才普查报告》，该报告预计于2025年年中发布。

角色定义：入门/发展：参与项目；职业：负责项目；高级：领导小型项目；专家：领导大型项目；经理：提供直接监督；总监/副总裁：管理高级领导。

VF | VOLTA FOUNDATION

推动变革 - 关于减少电池行业性别偏见的对话

2024年第一季度

2024年2月12日

电池研究中的女性：开创创新与平等

Gender Equality Committee

BATTERY 2030+

2024年第二季度

2024年第三季度

2024 WOMEN IN BATTERIES CONFERENCE

VF | VOLTA FOUNDATION | Stanford ENERGY StorageX Initiative

2024年7月26日

深入探讨电池行业女性面临的挑战 & 集思广益以推动积极变革的倡议

2024年第四季度

2024年10月10日

变革催化剂小组讨论：推动女性在电池行业发展的高级领导

THE BATTERY SHOW NORTH AMERICA

Women in Battery Meet-up @Future Battery Forum 2024

2024年11月5日

与技术职位上的女性电池专家聚会沟通

到2025年，我们预计将继续付出更多的努力，像能源部的电池劳动力挑战计划，推出区域培训中心，为增强技能发展和劳动力准备。

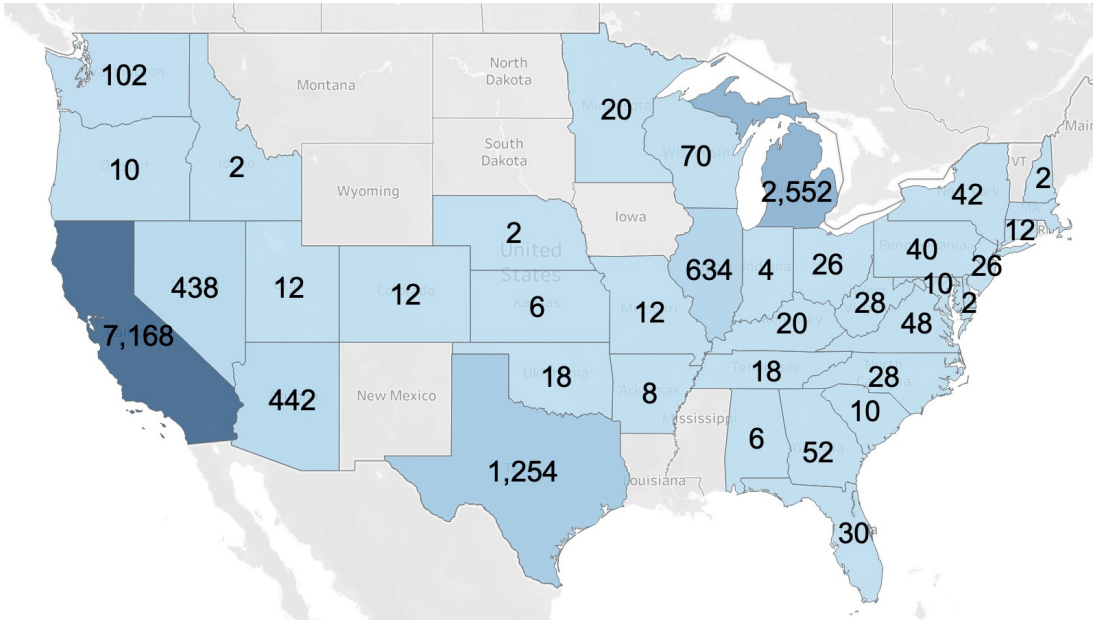
3 人才

概述
电池人才普查
H-1B 分析
教育资源

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

H-1B 签证申请提交地图（统计范围： 2023 年 1 月到 2024 年 6 月）



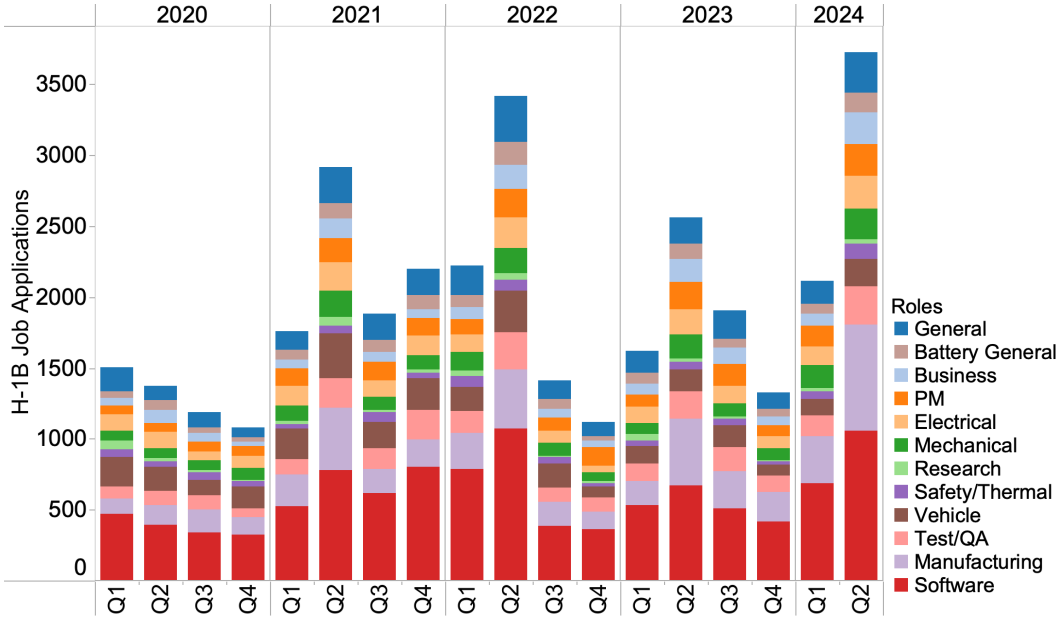
H1-B 申请的六个主要州：

1. 加利福尼亚
2. 密歇根
3. 德克萨斯州
4. 伊利诺伊州
5. 亚利桑那州
6. 内华达州

H-1B 是一种美国工作签证，允许美国雇主临时雇用外籍工人在其专业领域中工作。 H-1B 申请信息，包括公司、职位和薪资，公开可通过 h1bdata.info 获取。 我们分析了这些数据以总结最新趋势。源代码： GitHub

VF | VOLTA FOUNDATION

H-1B 申请上升，制造业角色需求增加



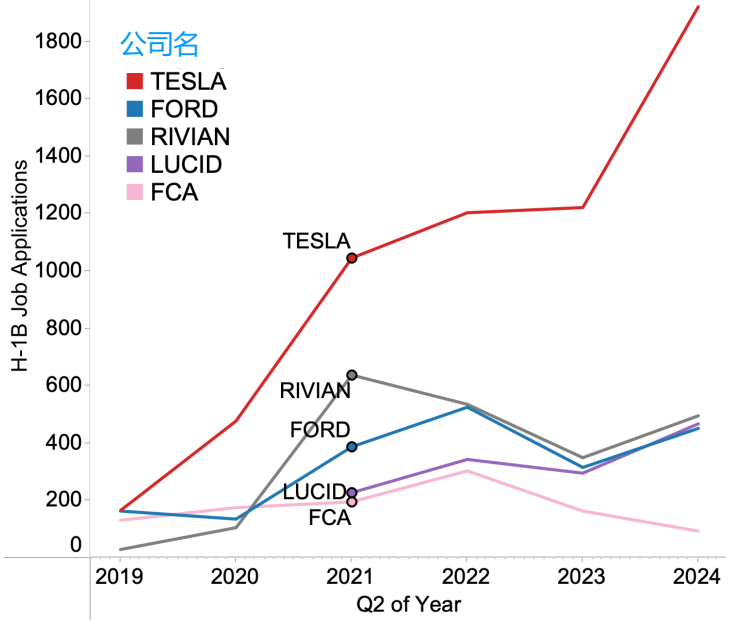
H-1B 申请在2020到2024年间整体增加，在 2024 年第二季度创下记录。

软件和制造业岗位的申请占主导地位，在2024年占所有 H-1B 申请的约 50%。

H-1B 是一种美国工作签证，允许美国雇主临时雇用外籍工人在专业职业中工作。 H-1B 申请信息，包括公司、职位和薪资，公开可通过 h1bdata.info 获取。 我们分析了这些数据以总结最新趋势。源代码： GitHub

VF | VOLTA FOUNDATION

哪些公司正在招聘 H-1B 人员?



最大的 H-1B 雇主是汽车公司。

特斯拉，Rivian，福特，Lucid，FCA

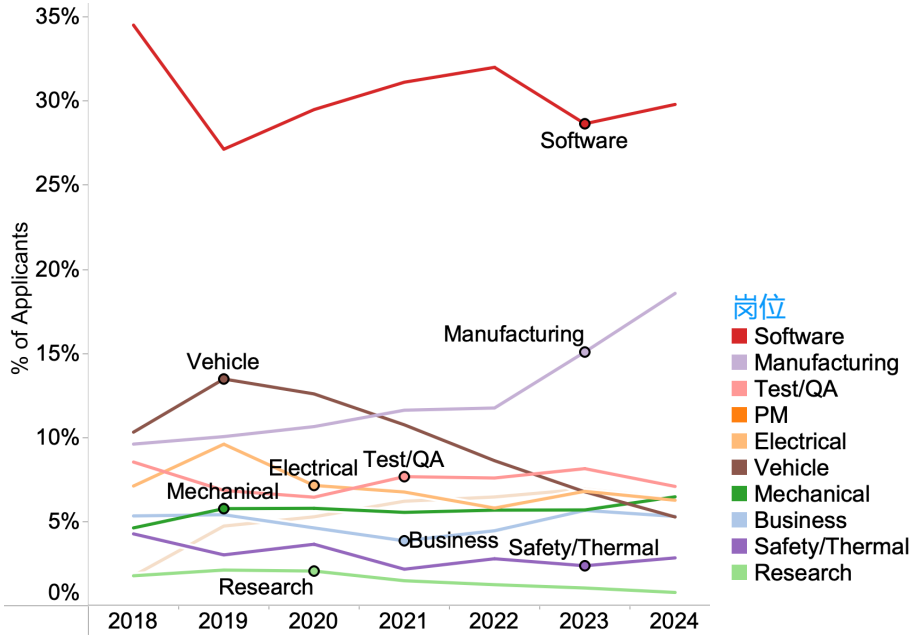
特斯拉在2024年进行H-1B招聘狂潮。

特斯拉在2024年前两个季度提交的H-1B申请（3,020）超过了2023年全年（2,752）的总和。

H-1B 是一种美国工作签证，允许美国雇主临时雇用外籍工人在其专业领域中工作。 H-1B 申请信息，包括公司、职位和薪资，公开可通过 h1bdata.info 获取。 我们分析了这些数据以总结最新趋势。源代码： GitHub

VF | VOLTA FOUNDATION

哪些岗位正在上升?



制造岗位正在增加。

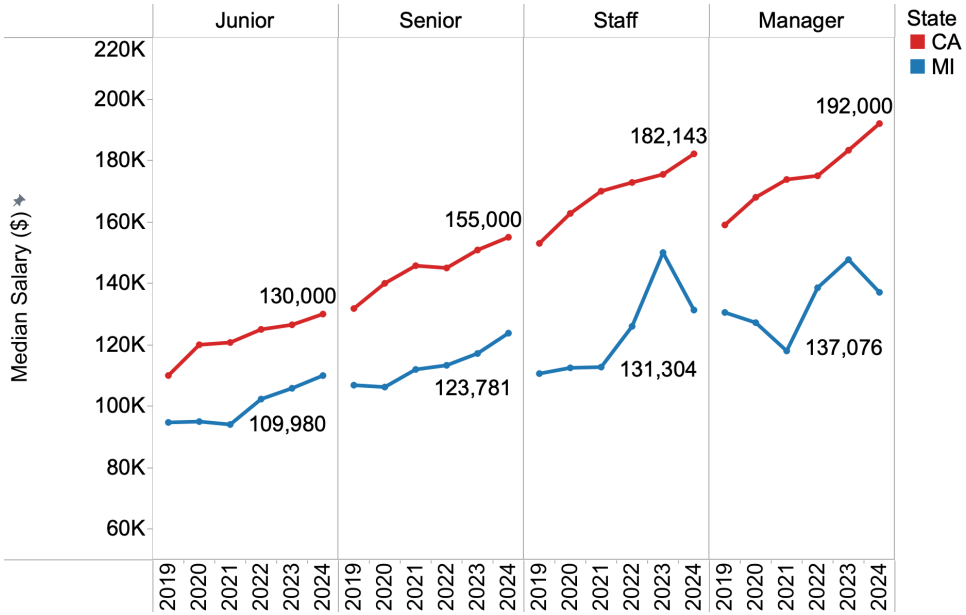
车辆和研究岗位正在减少。

保持稳定的岗位：软件、测试/质量保证、项目管理、电气、机械、商业、安全/热能

H-1B 是一种美国工作签证，允许美国雇主临时雇用外籍工人在其专业领域中工作。 H-1B 申请信息，包括公司、职位和薪资，公开可通过 h1bdata.info 获取。 我们分析了这些数据以总结最新趋势。源代码： GitHub

VF | VOLTA FOUNDATION

比较H-1B薪资趋势 - 加利福尼亚与密歇根按职位级别



整体薪资持续上升。

例外的是密歇根的员工/经理岗位，似乎在下降。

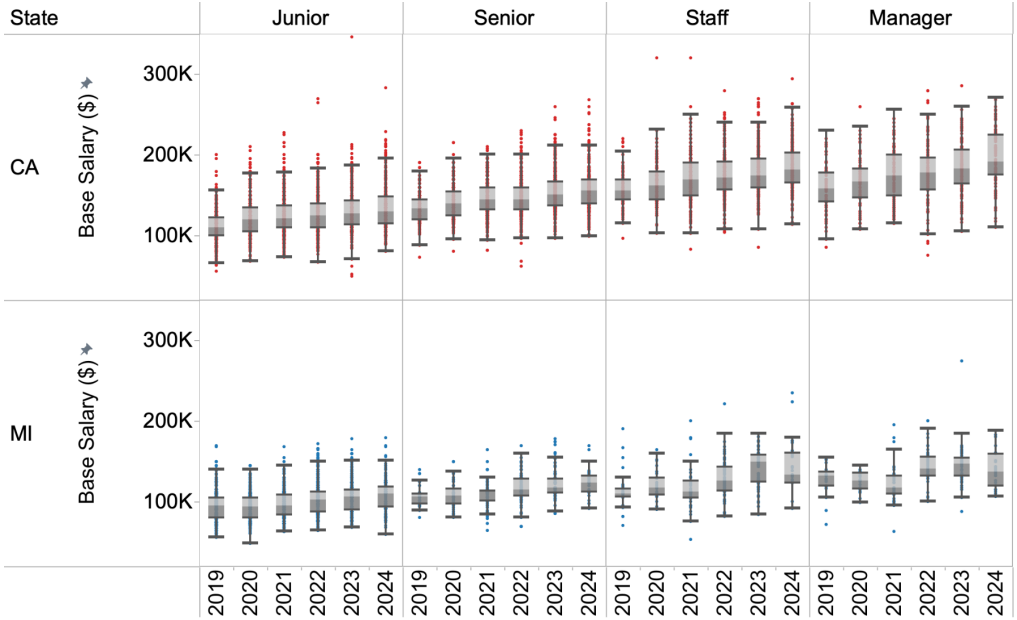
密歇根与加利福尼亚的薪资差距仍然存在。

加利福尼亚的薪资约高出30%，但生活成本也更高。

H-1B 是一种美国工作签证，允许美国雇主临时雇用外籍工人在其专业领域中工作。 H-1B 申请信息，包括公司、职位和薪资，公开可通过 h1bdata.info 获取。 我们分析了这些数据以总结最新趋势。源代码： GitHub

VF | VOLTA FOUNDATION

薪资差异很大 - 谈判你的薪资!



加利福尼亚的基本薪资范围更广，可能反映了更为多样化的岗位、地区生活成本差异、快速增长的公司、人才短缺、谈判灵活性、薪酬不平等和经济不确定性。

H-1B是一种美国工作签证，允许美国雇主临时雇用外籍工人在其专业领域中工作。 H-1B 申请信息，包括公司、职位和薪资，公开可通过 h1bdata.info 获取。 我们分析了这些数据以总结最新趋势。源代码： GitHub

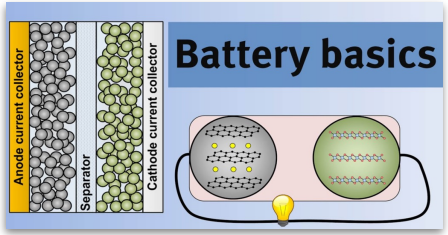
3 人才

概述
电池人才普查
H-1B分析
教育资源

VOLTA FOUNDATION

对电池感兴趣但时间紧迫？ 以下是我们最喜欢的免费“电池速成课程”。

电池基础 - 锂离子电池科学的介绍
22分钟



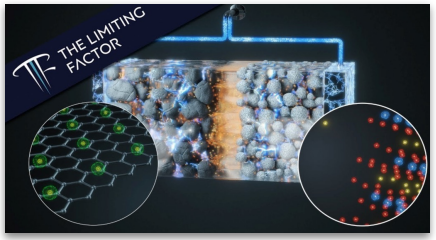
油管频道： Billy Wu

锂离子电池是如何制造的 [使用食物！]
24分钟



油管频道： 跨越纳米宇宙

锂离子电池实际上是如何工作的 / 超写实
17分钟



油管频道： The LIMITING FACTOR

POTESTAS ET SCIENTIA SINCE 2003 BATTERY UNIVERSITY

一般电池知识以及理解充电方法和电池监控的资源

Battery Design
from chemistry to pack

为电池工程师提供的实用资源，包含电池设计、电池类型、BMS、模组、电池包集成和基准信息

您想推荐您最喜欢的教育资源以供明年的电池报告中文版吗？

孟博士， 电子邮箱 mxh@eiiai.com

来源：链接在上方

VOLTA FOUNDATION

需求技能及学习途径 - 电池制造与设计

UNIVERSITY OF MICHIGAN

电芯制造、测试与设计

在线 | $1200 | 30小时 | 自主学习

2025年4月开始

针对大规模制造挑战、工艺基础、缺陷、测试方法和电池设计的行业相关课程，由行业资深人士授课。

The Electrochemical Society
Advancing solid state & electrochemical science & technology

锂离子电池制造与电池包设计

在线 | $399+ | 25小时 | 自主学习

2025年3月开始

针对制备层压电极、电极堆叠/卷绕工艺方法和电池包的行业相关课程，由行业资深人士授课。

udemy

锂离子电池制造基础

在线 | $45 | 自主学习 | 2小时

立即开始

主要制造步骤的巡览及相关见解。

您想推荐您最喜欢的教育资源以供明年的电池年度报告中文版吗？ 孟博士，电子邮件 mxh@eiiai.com

来源：链接在上方

VF | VOLTA FOUNDATION

需求技能及学习途径 - 电池管理系统



安妮亚•米特罗斯，博士

安妮亚的电池管理系统 (BMS) 课程

在线 | 免费 | 自主学习

立即开始

关于BMS实施的行业相关内容，包括安全性、测试和可靠性考虑；由行业资深人士授课。

UCCS University of Colorado Colorado Springs

电池管理系统算法专业化

在线 | 免费 | 自主学习

立即开始

由格雷戈里·普莱特博士授课，并由Coursera主办，学习如何建模锂离子电池电芯并使用他们来管理电池包。

udemy

电动汽车高级电池管理精通

在线 | $13.99 | 自主学习

立即开始

专注于为电动汽车设计BMS，涵盖从电芯选择和算法设计到硬件电路和在STM32微控制器上实现代码的所有内容。

您想推荐您最喜欢的教育资源以供明年的电池年度报告中文版吗？ 孟博士， 电子邮件 mxh@eiiai.com

来源：链接在上方

VOLTA FOUNDATION

需求技能及学习途径 - 电化学与电池材料

The Electrochemical Society
Advancing solid state & electrochemical science & technology

培养未来领导者的锂离子电池行业

在线 | $399+ | 15-25小时

立即开始

两门课程：(1) “锂离子电池组件的材料科学：电解质、正极和负极”，以及 (2) “电池的电化学技术与诊断”

OpenCourseWare

电化学能源系统

在线 | 免费

立即开始

由马丁·巴赞博士授课，讲解电化学设备的原理，重点是数学模型的开发。

PURDUE UNIVERSITY nanoHUB

可充电电池材料科学导论

在线 | 免费

立即开始

由埃德温·加西亚博士授课，采用独特的“自下而上”方法学习可充电电池的材料科学。

UNIVERSITY OF OREGON

电化学视频讲座

在线 | 免费

立即开始

一系列关于电化学热力学、高级电化学和电化学工程的讲座。

您想推荐您最喜欢的教育资源以供明年的电池年度报告中文版吗？ 孟博士， 电子邮件 mxh@eiiai.com

来源：链接在上方

VF | VOLTA FOUNDATION

需求技能及学习途径 - 技术员培训项目

OBIC

技术员-短课程

面对面 | $2.2k | 每月 | 3天

为能源存储领域的技术员提供的课程，强调电池的基本原理。

Soteria™

电池技术员培训

在线 | $2.4k | 按需 | 25小时

课程涵盖电芯和电池模组的设计、操作、测试、维护和更换。

eit InnoEnergy

电动汽车技术员培训

在线 | 按需

两部分课程专注于高压车辆组件测试仪器和设备的安全性和维护。

NENY new energy new york
POWERED BY BINGHAMTON UNIVERSITY

NENY电池学院

在线 | 免费（仅限纽约居民）

灵活的学习平台用于劳动力培训，包括能源存储入门和电池技术员课程。

HENRY FORD COLLEGE
FUTUREDRIVEN

电池技术员培训

在线 | $500 | 8周

专注于设计、操作、测试、维护和更换所需的 电芯和电池包的新技能。

您想推荐您最喜欢的教育资源以供明年的电池年度报告中文版吗？ 孟博士， 电子邮件 mxh@eiiai.com

来源：链接在上方

VOLTA FOUNDATION

需求技能及其学习途径 - 电池安全

充放电

免费电池安全短期在线课程

在线 | 免费 | 按需 | 4小时

重点关注电池基础；**安全处理、充电和电动自行车的维护**；管理风险；安全处置和回收使用过的电池。

制造过程

电池安全入门

在线 | $385 | 按需 | 3小时

专注于基本**电池**制造、测试、存储、处理和处置的安全方面。

热相关

锂离子电池短期课程：基本概念、电池安全和建模技术

在线 | 免费 | 按需 | 2小时

重点关注**热安全、热建模和热失控。**

回收设施

再生电池安全课程

线下和在线 | 按需

重点关注**回收设施的安全**；帮助回收设施应对新风险。

您想推荐您最喜欢的教育资源以供明年的电池年度报告中文版吗？ 孟博士， 电子邮件 mxh@eiiai.com

来源：链接在上方

提供从一般到具体内容的培训中心

主办	链接	描述
BatteryMBA	电池MBA	结合技术和商业知识
L&T EduTech	L&T EduTech电动出行项目	电动出行重点：电池系统、充电基础设施和电动车技术
renac renewables academy	电池储能系统用于电网辅助服务	电池储能系统在电网辅助服务中的应用
eit InnoEnergy	技能学院免费课程	一系列与能源和电池技术相关的免费课程
SAE INTERNATIONAL	SAE国际课程	对各种电池技术和应用的基本知识和见解
NENY new energy new york	NENY电池学院	灵活的学习平台，提供微证书项目以进行劳动力培训
	电池在线培训	“终身学习项目……结合前沿知识与行业见解”
coursera	Coursera	推荐课程：1) 锂电池基础，2) 电池导论，3) 电池管理系统，4) 锂电池技术创新
BIC	BIC教育系列	面对面的课程包括能源储存短期课程、质量培训、技术员课程和操作员培训
Soteria	电池培训课程	旨在弥补电池行业知识差距的培训项目

2025年计划举行的网络研讨会

主办	链接	描述
The Electrochemical Society	ECS网络研讨会系列	杰出学者展示电化学和固态电池科学的研究
THE FARADAY INSTITUTION	法拉第机构大师班	专注于电池技术和相关研究主题的课程和活动
UNIVERSITY OF MICHIGAN	建模网络研讨会VENKAT	电池建模研究和电池技术的进展
Rigaku	Rigaku电池网络研讨会	X射线分析技术以深入了解电池性能和材料
Advanced Batteries & Energy Storage RESEARCH	先进电池与能源存储研究网络研讨会	关注电池生命周期中的创新，包括采矿实践
physicsworld	物理世界网络研讨会	涵盖包括能源存储技术在内的一系列科学主题
BATTERY 2030+	电池2030卓越研讨会	未来电池技术与可持续性相关的各种教育网络研讨会
Fastmarkets CRU BENCHMARK	Fastmarkets, CRU, Benchmark Minerals	期货市场、电池技术与政策、供应链、市场动态
VOLTAIQ | NOVONIX	先进电池质量分析系列	微分容量 (dQ/dV) 和NOVONIX的超高精度库仑计 (UHPC)

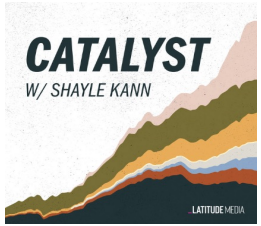

联合新能源人才
共讨新能源技术
共建新能源之都
常州市电池技术协会
Changzhou Battery Technology Association
龙头走访 大咖专场 游学串联 学术背书
机构鉴定 权威顾问 横向课题 纵向专项
会议筹办 人才培养 创业孵化 技术咨询
联系人：孟博士 18861284160

VOLTA FOUNDATION

我们2024年最喜欢的播客

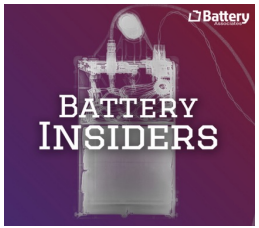








新闻、气候、投资，
访谈、讨论



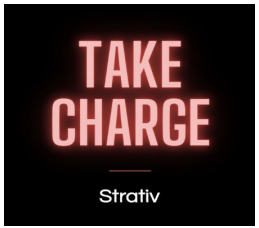




新闻，
访谈、讨论

研究、技术主题













来源：链接在上方

2024 | BATTERY REPORT

4 政策

VF | VOLTA FOUNDATION

Volta Foundation是全球最大的电池专业人士网络。 作为一个全球性的非营利协会，Volta Foundation出版出版物、提供网络机会和行业资源，以促进电池行业内的合作、创新和倡导。

4 政策

概述
北美
欧洲
亚洲
南美

VF | VOLTA FOUNDATION

政策概要

2024年，全球出台了多项政策，这些政策聚焦于供应链多元化、保护本土产业，并在电池产业及新一代技术领域争夺主导权与影响力。

中国在采取措施应对国内产能过剩的同时，进一步巩固其在电池供应链、电池技术及终端应用市场的全球领先地位。

美国推出针对性财政支持，助力本土项目发展，同时加大对中国企业参与美系供应链的限制力度。

欧洲则上调对中国电动汽车的关税，试图保护本土汽车产业，但仍保持对中国投资的开放态度。与此同时，欧洲在电动汽车补贴及区域性发展目标方面面临削减压力，但循环经济及回收利用等政策取得一定进展。

在其他地区，一些国家正逐步加强贸易保护措施，以在快速增长的电池产业中获取经济与战略利益，但整体上仍对中国合作保持一定开放性。

尽管面临部分挑战，各国依托充裕的电池供应与极低的成本，加速推进能源转型，加大相关投资力度。

VF | VOLTA FOUNDATION

政策概要

2024年：电池政策的年份，重点在于供应链保供和多样化，保护国内产业，并在电池行业和新一代技术中掌握控制权和影响力。

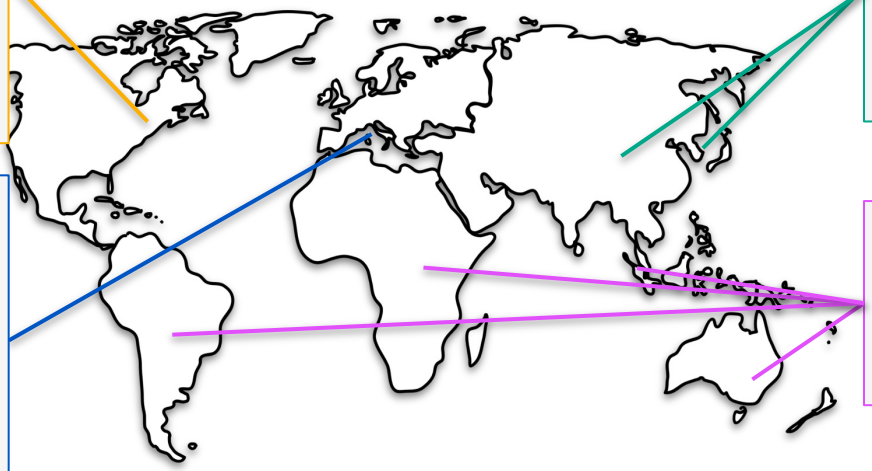
北美

- 美国能源部拨款30亿美元支持电动车和电网电池供应链的发展
- 加拿大启动了关键矿产中心，并投资于生产和可追溯性，但暂停了电动车补贴
- 美国和加拿大对中国制造的电动车、电池和电池材料征收了更高的关税
- 墨西哥靠近美国汽车市场，USMCA《美墨加协定》实现了新的外资投资和合资企业

欧洲

- 欧洲关键原材料法案正式通过
- 欧洲委员会和欧洲投资银行将进行大量投资，以支持电动车电池电芯制造产品
- 许多国家继续提供电动车补贴，但德国暂停了2024年的补贴
- 对不同的中国车企征收关税，最高可达45.3%的关税
- 根据不同车企，对中国进口的电动汽车征收关税，最高关税可达45.3%

全球政策要点/趋势



亚洲

- 中国已推出新的行业标准，旨在逐步淘汰低端产能
- 中国发布出口技术目录公开征求意见，禁止高端磷酸铁锂正极材料和提锂相关技术的出口
- 中国取消和下调部分电池产品出口退税
- 中国新能源汽车车辆购置税减免政策延长至2027年，并推出车辆报废和以旧换新政策。

世界其他地区

- 印度尼西亚开始实施政策，惩罚低端和高排放的镍冶炼作业
- 阿根廷与美国签署了一项谅解备忘录，授予其在关键矿产方面的自由贸易地位

VF | VOLTA FOUNDATION

2024年关键事件

一月

中国延长新能源汽车购置税免征政策，实施期限至2027年。对2025年底前购置的纯电动汽车，单车免征购置税额度最高可达人民币3万元。

欧盟宣布将通过国家援助机制注资40亿欧元，用于新建车用动力电池、热泵及光伏组件生产基地。

五月

中国发布《锂电池行业规范条件（征求意见稿）》，明确限制"单纯扩大产能"类制造项目。

美国宣布对华加征高技术产品关税，其中电动汽车关税税率提高至100%，动力电池关税升至25%。

六月

欧洲委员会宣布对从中国进口的电动车征收临时惩罚性关税，税率区间为17.4%-38.1%。

八月

欧盟**《电池与废电池法规》（2023/1542号）**项下多项新规正式生效。

九月

美国能源部宣布超过30支持覆盖14个州的25个重点项目，旨在提升电动汽车用先进电池及关键材料产能。

十月

韩国要求汽车制造商强制披露电芯及电池组技术参数。

十二月

中国宣布对稀土矿物实施严格出口管制并禁止对美出口，同时取消多类电池相关产品出口退税

2025年1月

中华人民共和国商务部就限制出口特定类型**磷酸铁锂正极活性材料及锂冶炼技术**发布征求意见稿。

产业部分政策亮点

资金	电池储能系统	电动汽车	矿产	其他
美国能源部电池技术专项基金计划	全球重点市场电池储能项目合规路线图 全球储能产业政策支持体系全景分析 电池储能系统：《通胀削减法案》电池储能系统投资税收抵免实施细则 电池储能系统：储能系统本土化成分奖励与达标要求对照 电池储能系统：《通胀削减法案》电池储能系统安全港政策	欧盟上调中国产纯电动汽车（BEV）进口关税 中国新能源汽车财政补贴退坡机制实施	印尼镍矿出口限制政策升级 全球电池回收立法	电池管理系统网络安全认证标准 《设备维修权法案》

4 政策

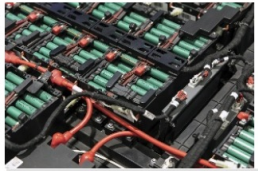
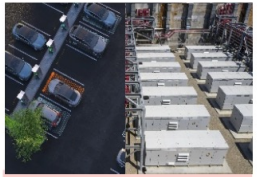
概述
北美
欧洲
亚洲
南美

VOLTA FOUNDATION

美国《通货膨胀削减法案》（IRA）税收抵免及其影响

新一届特朗普政府计划对IRA税收抵免政策进行调整，首阶段调整聚焦电动汽车购置税抵免条款。

行业预期生产税收抵免将新增“敏感外国实体”限制条款，与现有投资税收抵免形成政策联动。

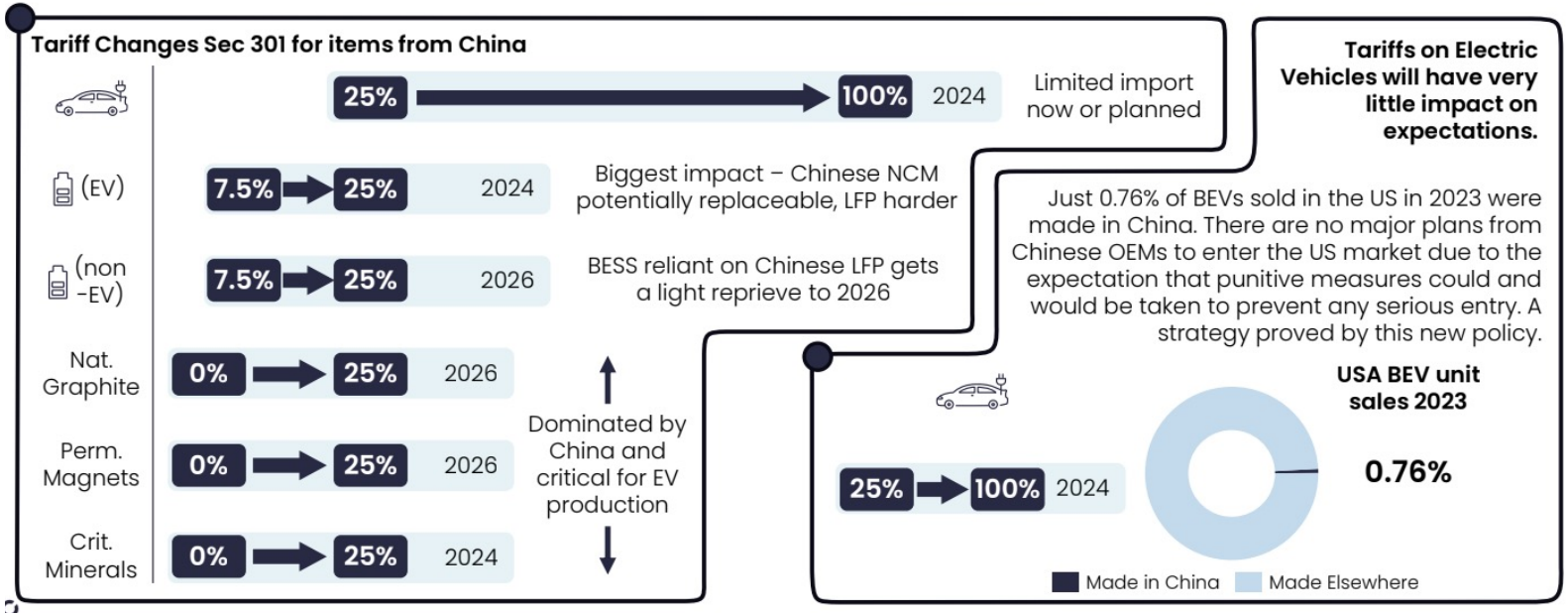
Raw materials	Components	Cell	Pack	Applications	End of life
					
Critical minerals production tax credit **10% of costs**	**Battery electrode active materials** production tax credit **10% of costs**	**Battery cells** production tax credit **$35/kWh**	**Battery modules** production tax credit **$10/kWh**	**EV** tax credit **$7,500** **Energy storage** investment tax credit **6% (base credit)** **Up to 30%** **+ 10%**	**Critical minerals** production tax credit **Battery electrode active materials** production tax credit **Recycled materials** indirectly through EV tax credit

来源：内容与分析由BloombergNEF（杰出合作伙伴）提供。

如需更多信息，请访问https://about.bnef.com/contact/。

VF | VOLTA FOUNDATION

拜登政府对中国的关税预计将在特朗普任内进一步增加



来源：内容与分析由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供。

如需更多信息，请访问https://rhomotion.com/research/ev-battery-quarterly-outlook/。

VF | VOLTA FOUNDATION

美国301条款关税上调对电动汽车电池供应链的影响

Rationale

- Tariff increases in response to perceived **unfair Chinese trade practices, overcapacity, and excess production.**
- **Being tough on China and incentivising and protecting domestic manufacturing**, addressing and remedying human rights abuses.

Timeline and next steps

- Announced tariff increases for 2024 are effective from **27 September 2024**
- Announced tariff increases for 2026, effective from **1 January 2026**

Potential consequences

- **US supply localisation ('onshoring')**
- **Ex-China supply diversification** and increasing US ex-China dependencies
- **Chinese retaliation** (tariffs, export restrictions, trade investigations)
- **Supply chain adjustments** and tariff circumvention
- **Slower EV adoption**: climate and EV customers affected
- **De-facto blocking EV imports from China**

From September 2024

EVs
27.5% → 100% (+2.5% MFN Tariff)

Li-ion EV batteries
7.5% → 25%

Other critical minerals (including cobalt and manganese ores and concentrates)
0% → 25%

From January 2026

Permanent Magnets
0% → 25%

Natural Graphite
0% → 25%

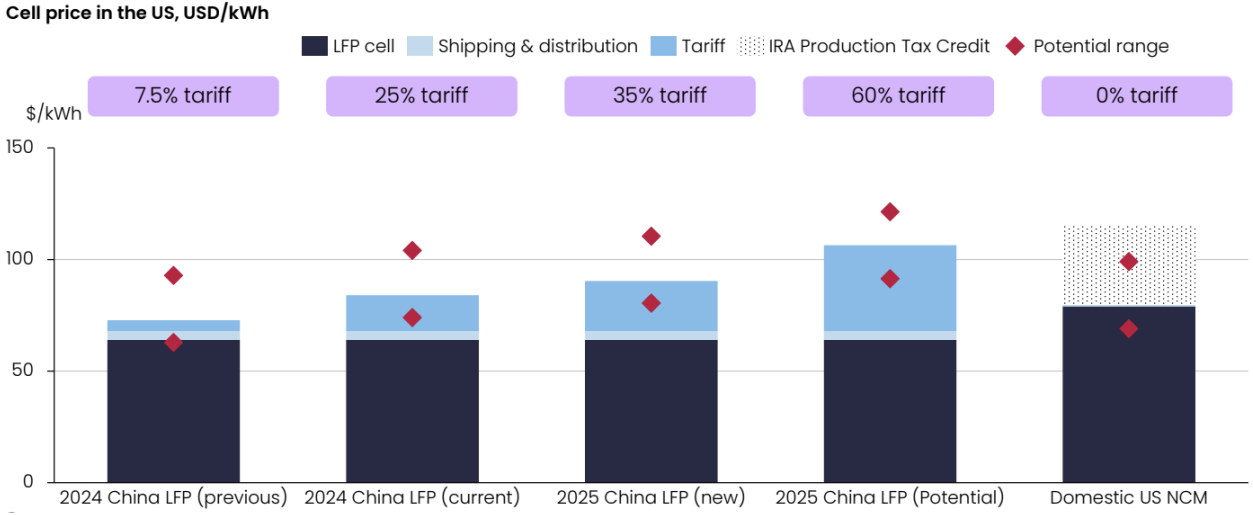
Now

Natural and Synthetic Graphite Anodes
0% → 25%

来源：内容与分析由基准矿业情报（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/policy-newsletter。

VF | VOLTA FOUNDATION

美国电池关税政策或将推动本土三元材料产业发展



美国总统当选人唐纳德·特朗普表示，他将在就职首日对所有来自加拿大和墨西哥的进口商品征收25%的关税，并对中国商品额外加征10%的关税。这一对华关税将在现有税率基础上进一步提高，并覆盖所有中国进口商品。

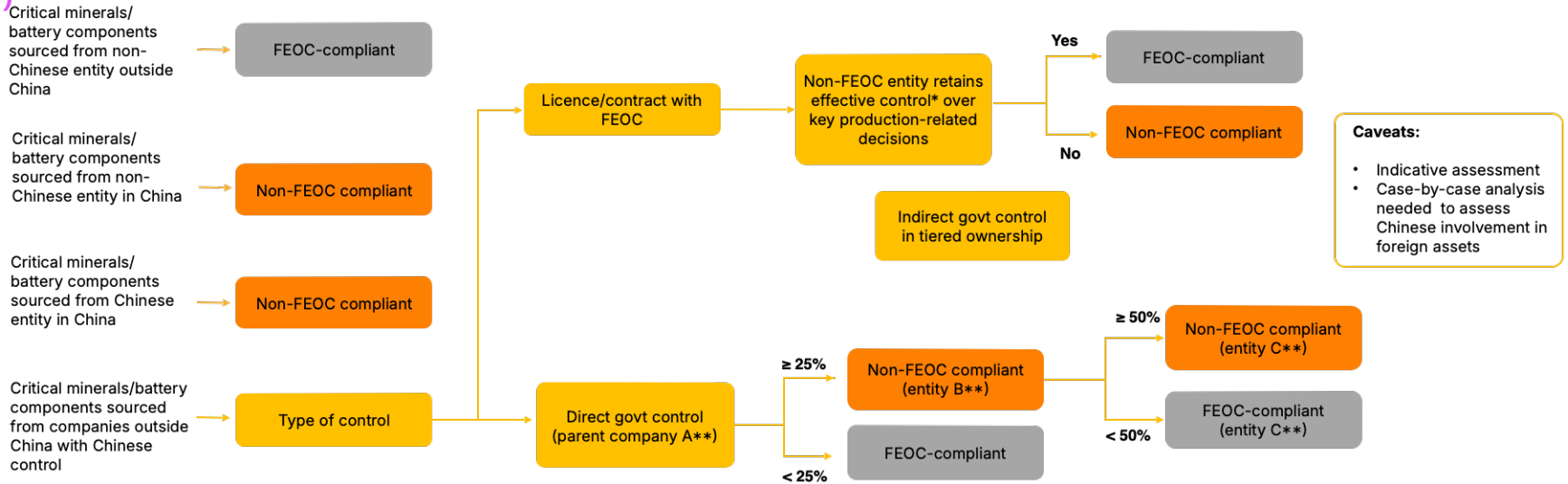
鉴于近期美国已将中国电池（用于电动汽车领域）的进口关税从7.5%上调至25%，若新政实施，来自中国的电池进口关税将升至35%。此外，此前曾有建议将关税提高至60%的讨论。

来源：内容与分析由Rho Motion（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://rhomotion.com/research/ev-battery-quarterly-outlook/。

VF | VOLTA FOUNDATION

“外国关注实体” （Foreign Entity of Concern, FEOC）合规性认定标准

FEOC规则目前仅适用于电动车税收抵免（30D）



**有效控制 = “决定生产数量或时间的权利，以及哪些实体可以购买或使用生产输出的权利；限制生产现场的访问，仅限承包商自己的人员；或独占维护、修理或操作对生产至关重要的设备的权利。*

来源：内容与分析由基准矿业情报（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/policy-newsletter。

（IRA）最终版先进制造产品（AMP）45X条款有利于中游企业，矿业界则认为激励措施不足

Scope

- Battery manufacturers can claim as much as **$10/kWh** for domestic battery module production and **$35/kWh** for domestic battery cell production (**or $45/kWh** if modules do not use battery cells).
- Domestic producers can claim as much as **10% credit** of the costs incurred due to producing **electrode active materials and 50 critical minerals** (i.e. 10% for mining and 10% for refining, see below).

Timeline

- While the **credit phases out for battery component production by 2032**, **critical mineral projects are not subject to the phaseout,** which is significant in the context of intense competition with subsidised Chinese producers, a low-price environment and domestic permitting issues.
- The final rules will become effective on **27 December 2024**.

Eligibility of critical mineral projects (mining and refining)

- While the draft rules did not consider raw material extraction costs as production costs, resulting in financial support for some mineral processing activities but no mining, **the final October 2024 rules include extraction costs**.
- Only minerals being refined qualify, **meaning that domestic mining projects alone are not eligible for the credit**; they must have corresponding processing operations. As a result, **domestic processing and integrated projects** (see examples on the map) can **qualify**.

No FEOC restrictions and Trump 2.0. factor

- Under the final rule, no FEOC and strict sourcing rules are included, unlike the IRA Section 30D EV tax credits. This means parts of eligible components may be sourced ex-US for local production to qualify. However, **stringent sourcing and FEOC requirements may be added under the next Trump Administration**.

Examples of mining projects with corresponding processing facilities (integrated projects)

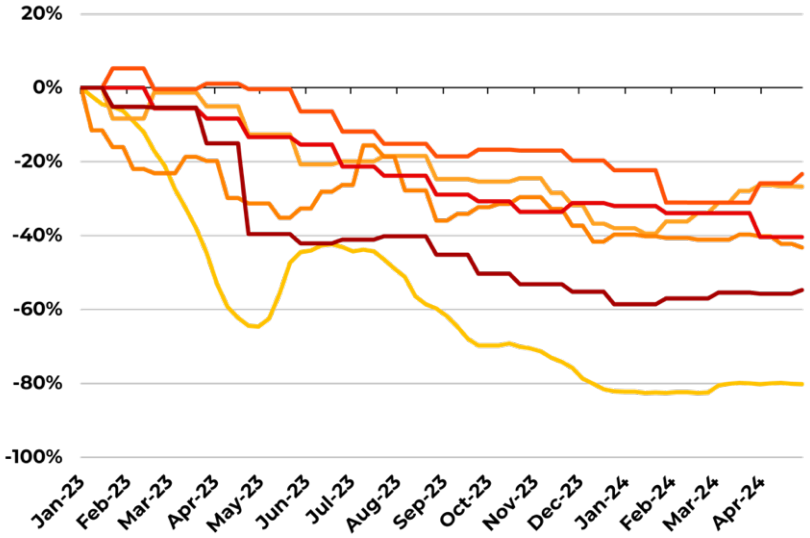


来源：内容与分析由基准矿业情报（杰出合作伙伴）提供。

如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/policy-newsletter。

美国与欧盟权衡干预市场以促进本土关键矿产发展

低价环境加大矿业和加工项目融资难度



US weighing pricing support mechanism

- The Biden Administration considers setting **a price floor to pay the difference when market prices fall below that threshold** for critical minerals produced by US projects.
- The main goal of this initiative is to create an **attractive and reassuring business environment for investors**, given the volatile market and the current low-price environment caused by Chinese oversupply.

Joint EU Critical Raw Materials purchasing platform

- This platform would leverage Europe's market power by **centralising EU27 demand for the joint purchasing of critical raw materials** and coordinating negotiations with producing countries.
- It would help to localise market demand, address market volatility, and manage future EU strategic stockpiling.

Lithium Carbonate (Battery), EXW China
Nickel Sulphate, EXW China
Cobalt Sulphate, EXW China
Manganese Sulphate, EXW China
Natural Graphite 94-95%, -100 mesh, FOB China
Synthetic Graphite Pre calcinated pet coke, DDP China

来源：内容与分析由基准矿业情报（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/policy-newsletter。

4 政策

概述
北美
欧洲
亚洲
南美

应对外部强力激励措施，欧盟试图通过多项补贴迎头赶上

电池产业生态相关补贴计划

时间	基金项目	重点	预算
2019 - 2031	IPCEI：欧洲共同利益重大项目	这一泛欧倡议旨在建立一个可持续且具有竞争力的欧洲电池产业链。来自12个欧盟成员国的资金支持超过50家企业，推动创新电池技术的首次工业化应用。	61亿欧元
2021 - 2027	地平线欧洲计划及BATT4EU联合资助项目	BATT4EU的目标是到2030年建立完整的欧洲电池产业链。核心目标包括提升电池能量密度和功率密度、加快充电速度、延长循环寿命、降低电池成本、优化制造和回收工艺，并减少碳足迹。 电池研究还通过其他项目获得资金，例如由欧洲研究委员会（ERC）和欧洲创新委员会（EIC）发起的项目。	955亿欧元（其中BATT4EU获925亿欧元）
2023 - 2025	TCTF：临时危机过渡框架	该框架为关键行业提供支持，以推动向净零经济过渡。主要支持电池、太阳能板、风力涡轮机、热泵、电解槽的制造投资，同时为关键原材料的回收产业提供财政支持。	12.87亿欧元（用于过渡措施）
2020 - 2030	创新基金	创新基金旨在帮助企业投资清洁能源和工业领域，以促进经济增长、创造本地可持续就业，并强化欧洲在全球技术领域的领导地位。	380亿欧元
自1958年以来	欧洲投资银行	作为欧盟的主要贷款机构，欧洲投资银行是全球最大多边金融机构之一，同时也是全球最大的气候融资提供方之一。	绿色金融目标：到2030年达成1万亿欧元

来源：电池欧洲

VF | VOLTA FOUNDATION

主要补贴措施侧重于研发与创新、产业规模提升及清洁技术债务融资

地平线欧洲
研究与创新

在“地平线欧洲”（2021-2027）框架下，BATT4EU合作伙伴计划设立了**9.25亿欧元**专项资金，支持从事电池领域**研究与创新（R&I）**的联盟项目。

资助领域包括：原材料、新型电池化学体系、电池设计、制造、应用（涵盖交通出行与固定储能）、拆解与回收，以及跨领域议题（生命周期评估（LCA）、电池护照等）。

创新基金
扩大到商业水平

16个储能制造项目申请总计**12.7亿欧元**的公共资金支持。

这些项目涵盖**电池组件制造、电芯与电池包生产**及**电池回收**领域。

目前**受益企业**包括：FREYR、Northvolt、Vianode、Talga、Gränges、Fenecon、Eramet、BASF及Valeo。

创新基金最新资助计划将预算扩大至**34亿欧元**，其中**10亿欧元专门用于支持电芯制造项目**。

欧洲投资银行
债务融资

自2018年以来，涵盖整个电池价值链的**10家公司**获得了**超过3.7亿欧元**的欧洲投资银行融资支持，带动了**超过7亿欧元的投资**。

Northvolt和**Verkor**是最具代表性的风险债务投资案例。

来源：BEPA，欧洲委员会，欧洲投资银行

不同国家电池相关补贴之间的显著差异



德国：

联邦教育与研究部（BMBF）确认“从2025年起，剩余资金不太可能启动任何新的电池研究项目”。



荷兰：

在2024年12月，启动了一项专注于电池循环利用的创新资金申请。 预算为€ 9000万，资助电池回收、下一代化学品、延长电池寿命以及重型运输的循环电池项目。



西班牙：

作为PERTE资金计划的一部分，西班牙工业部已承诺为**斯特兰蒂斯（Stellantis）**在萨拉戈萨附近Figueruelas工厂建设潜在的**电池单体工厂提供总额1.33亿欧元的补贴**。此外，工业部还同意将**为萨贡特（Sagunt）PowerCo电池工厂的资助金额从9800万欧元增加至1.52亿欧元**。

来源：Spiegel Möbilitat，RVO，路透社

欧盟电池法规2023-2024

2023年7月：
欧洲理事会通过了《电池法规2023/1542》，为欧盟的电池管理设定了法律框架

2023年12月：
设定便携式电池的回收目标 - 回收量应达到市场投放量的45%

2024年2月：
第6条
限制电池中有害物质的使用（镉、汞、铅）

2024年8月：
第10条
对超过2kWh的工业电池、LMT电池和电动车电池引入性能和耐用性要求

第12条
固定式**能源存储系统（ESS）**的安全规则

第14条
有义务提供电池健康状态和预期使用寿命的信息（适用于ESS、LMT、电动汽车电池）

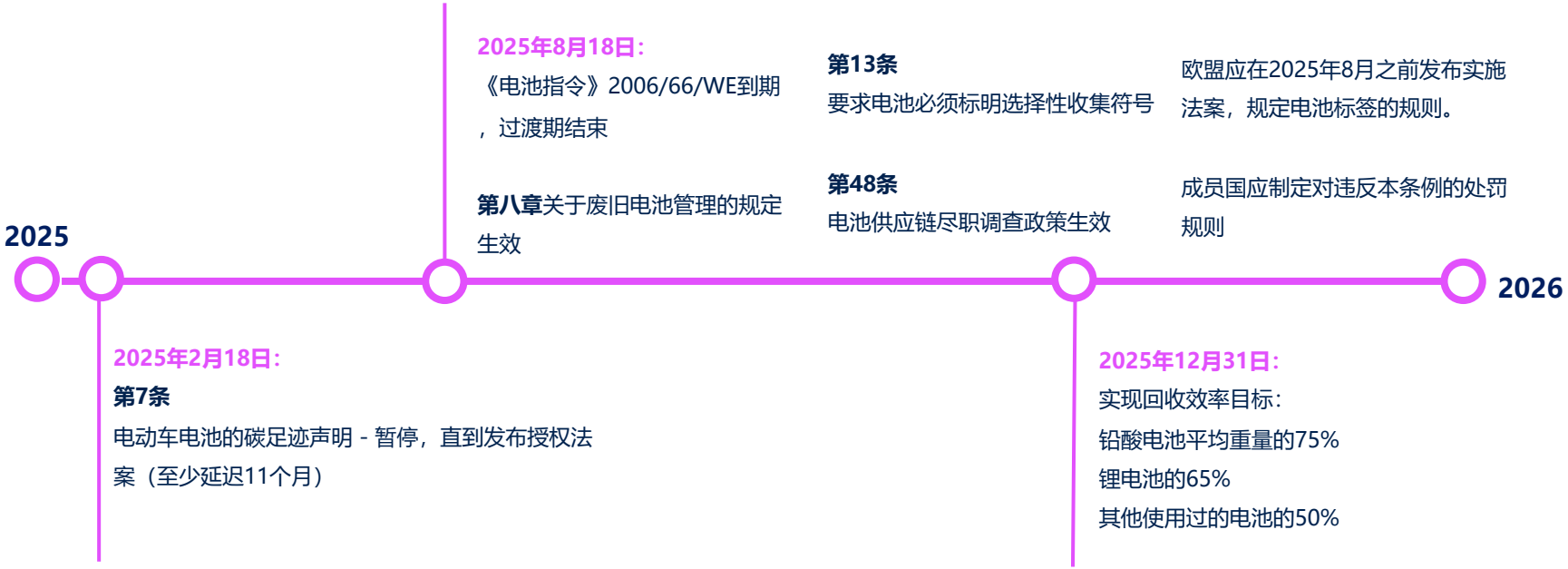
第四章
引入CE标志、欧盟合规声明以及电池与欧盟市场合规性的评估

2023 — 2024 — 2025

来源：https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng

VF | VOLTA FOUNDATION

欧盟电池法规至2025年



来源：https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng

尽管监管不确定性仍然存在，欧盟准备实施即将到来的电池护照

电池护照的实施带来了挑战并需要付出努力，但一旦实施也将释放巨大的价值

实施当前中的挑战和努力

- 电池护照主要是一个**数据管理工作**（~55%）
  - 标准、流程和技术的制定是简化数据管理的关键领域，这将有助于实现电池护照的净价值
- **上游数据收集以及软件开发**被认为是电池护照实施中最重要的子任务
  - 软件和数据的专业程度是影响护照实施工作的关键杠杆
- **90%以上的工作转化为固定成本**，软件开发、维护和项目管理等重大任务与销售电池的数量无关
  - 第三方服务提供商通过将固定成本分摊到多个客户上，可能会减少实施工作的难度
- **剩余的监管不确定性应得到解决**，例如数据属性的标准化以及如何获取和记录最新动态数据的规范。

通过护照在多个直接使用案例中的价值创造：

- 由于直接获取供应链信息，**改善的环境、社会和治理（ESG）数据传递更加透明，采购决策更加明智。**
- **简化的残值评估，**独立运营商的技术测试成本减少约2-10%。
- 更高效的回收，前处理和后续处理成本减少约10-20%。
- 电池的服务流程更简化，**废旧电池的交易更便捷。**

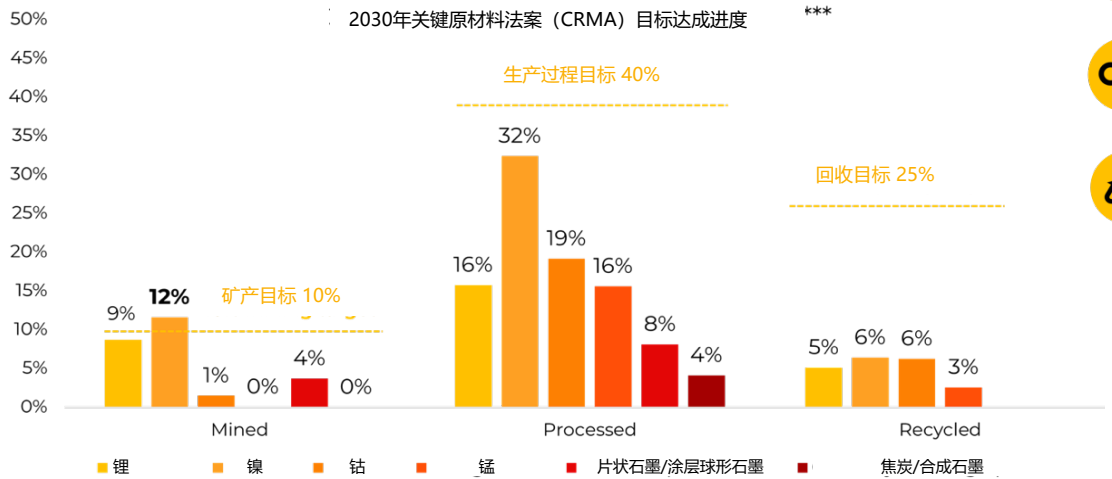
企业和政策制定者的不作为可能会显著降低电池护照的价值机会

来源：电池护照

VF | VOLTA FOUNDATION

欧盟本土关键矿产产量未达区域目标

- 欧盟委员会已收到170份战略项目申请（其中71%来自欧盟内部），涵盖采矿、加工及回收全价值链环节。最终项目清单预计于2025年第一季度公布。根据《关键原材料法案》（CRMA），入选战略项目将享受简化的审批流程与更便利的融资渠道
- 根据欧盟委员会最新政策议程，关键原材料（CRMs）将在以下未来计划中占据核心地位：《新清洁工业协议》（预计2025年2月26日发布），《循环经济法案》，欧盟关键原材料平台（旨在通过联合采购形成全球议价能力，并管理战略储备）



在《关键原材料法案》通过数月后，距离实现2030年本土生产目标仅剩5年时间，以下分析揭示了当前挑战的严峻程度。

仅镍有望达成10%的本土开采目标以满足电池应用需求。

所有电池战略原材料的欧盟本土加工量预计低于40%的目标值。

循环回收成为三大目标中差距最大的环节，钴、锂、锰及镍预计无法达成25%的回收率目标

*《关键原材料法案》设定以下非约束性综合生产目标：到2030年，欧盟战略原材料（SRMs）年消费量中至少10%须来自本土开采，40%来自本土加工，25%来自回收利用，同时确保每种战略原材料年消费量中来自单一第三国的比例不超过65%。

**（基于Benchmark第四季度预测数据）

来源：内容与分析由基准矿业情报（杰出合作伙伴）提供。

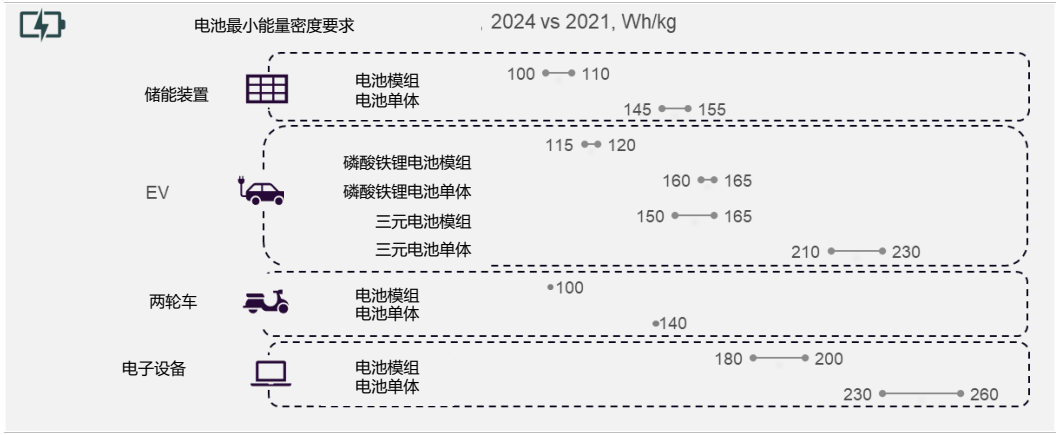
如需更多信息，请访问https://www.benchmarkminerals.com/policy-newsletter。

4 政策

概述
北美
欧洲
亚洲
南美

VF | VOLTA FOUNDATION

中国实施更高行业标准加速淘汰低端产能





2024年5月，工业和信息化部发布《锂离子电池行业规范条件（2024年修订征求意见稿）》，针对行业产能过剩及产品质量参差问题，提出约束指标。

这次行业标准升级旨在**加速淘汰低端产能**及落后企业，而非限制整体供应增长。

尽管新规属行业指导性文件而非法律强制要求，但预计将产生以下实际约束效应：

- 未达标企业将面临国内产能扩张的融资渠道收紧，及工业用地审批受限。
- 如果产能过剩问题仍未解决，政府可能会采取更多后续措施。近期已实施的石墨负极材料出口退税取消（税则号3801.10.00）即为先例。

来源：内容与分析由CRU Group（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。
行业标准还包括对AAM、隔膜、研发投资、杂质和工厂利用率的要求。

中国拟限制磷酸铁锂正极材料及锂冶炼技术出口

受限制的磷酸铁锂技术

技术	指标
磷酸铁锂	● 该材料在 300MPa 下粉体压实密度≥2.58g/cc。 ● 0.1C可逆容量≥160mAh/g ● 首次库伦效率≥97%
磷酸锰铁锂	● 该材料在 300MPa 下粉体压实密度≥2.38g/cc ● 0.1C首次库伦效率≥90%， ● 0.1C 可逆容量≥155mAh/g， ● 0.1C 平均电压≥3.85V， ● 1C 放电容量保持率≥97%， 2C 放电容量保持率≥95%
原材料	● 振实密度＞2.1g/cc ● 磁性异物＜10ppb

受限制的锂提取技术

锂辉石提锂生产碳酸锂技术

- 碳化热解提纯技术
- 母液循环使用技术
- 连续生产自动控制技术
- 氢氧化锂碳化技术

锂辉石提锂生产氢氧化锂技术

- 冷冻析钠技术
- 蒸发结晶技术
- 连续生产自动控制技术
- 粉碎干燥技术

原卤直接提锂技术

- 吸附剂材料合成技术
- 卤水吸附提锂 PID 流程、吸附和膜集成配套装置等技术

金属锂（合金）及锂材制备技术

- 多负极电解技术
- 金属锂蒸馏提纯技术
- 金属锂（合金）及锂材压延加工技术

高端技术主导权将稳固掌握于中国企业手中

2025年1月2日，中华人民共和国商务部发布《两用物项和技术出口管制目录（征求意见稿）》，拟对高振实密度磷酸铁锂正极活性材料制备技术和先进锂冶炼技术实施出口限制。

中国已为其他高科技行业制定类似计划，既是出于地缘政治的考虑，也是为了战略性地维持中国在供应链各环节的主导地位。

大多数磷酸铁锂在建项目由中资企业全资持有，但此提案将影响与外资合作伙伴（尤其是韩国企业）的合资项目

正极活性材料的技术规格要求超出当前行业平均水平（对应新型高压实密度磷酸铁锂技术），意味着低端材料和“传统技术”将不受限制。

若政策实施，非中资企业在磷酸铁锂及锂冶炼技术领域实现类似成本优势与技术突破的周期可能延长，规模化应用进程或将放缓。

来源：内容与分析由CRU Group（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

4 政策

概述
北美
欧洲
亚洲
南美

南美地区 - 政策与创新对锂资源供应至关重要

南美拥有（总体上）全球最大规模的锂资源储量和最低的开采成本，尽管面临技术和法规方面的挑战：

	阿根廷	智利	玻利维亚
			
2023 Exports	$301 M	$7,825 M	$14 M
Growth since 2020	2.5x	2.5x	0.3x *
Growth to 2028	250 - 450 kt/y LCE	100 - 180 kt/y LCE	0 - 60 kt/y LCE
政策&创新	▪ 西方&中国技术 ▪ 税收抵免、透明的许可审批流程及动态政府监管 ▪ 财政收入通过 权益金+税收	▪ 西方技术 ▪ 政府直接运营管理、高度不透明的许可审批流程 ▪ 累进式复杂权益金+税收	▪ 中国（及俄罗斯）技术 ▪ 政府管控开采 ▪ 直接经营收益

来源：内容与分析由CRU Group（杰出合作伙伴）提供。
如需更多信息，请访问https://www.crugroup.com。

2024 | BATTERY REPORT

5 预测

VF | VOLTA FOUNDATION

Volta Foundation是全球最大的电池专业人士网络。 作为一个全球性的非营利协会，Volta Foundation出版出版物、提供网络机会和行业资源，以促进电池行业内的合作、创新和倡导。

2025年发展预测

1. 全球电动汽车需求 将持续增长，主要驱动力包括中低价位车型的推出、充电网络扩张以及公众接受度的普遍提升。新能源车销量将首次突破2000万辆大关。

2. 插电式混合动力汽车的市场份额将持续扩大，部分得益于中国对欧洲出口车型比例的增加。插混车型需求增长率预计超过50%。

3. 电池储能系统需求 将加速增长，主要推动因素包括经济性改善、可再生能源并网规模扩大、人工智能数据中心需求激增以及并网流程的优化。电池储能系统需求增长率预计将超过50%。

4. 全球商业模式 将在2025年进一步成熟，领军制造商、技术创新者和关键市场参与者将通过建立合资企业和技术授权协议推动发展。预计将宣布5个以上重大合资项目。

5. 初创电池企业将实现重大技术突破，其开发的C样品固态电池将于2025年进入高级验证阶段。然而，实现规模化生产将面临多重挑战——受限于原材料供应瓶颈和高端生产设备的可获得性，商业化进程可能因此延缓。

6. 《通胀削减法案》（IRA）将持续驱动2025年美国电池产业增长，其税收激励机制（如第45X条制造税收抵免）有效催化了本土生产设施和供应链投资。政策不确定性及对清洁能源税收抵免、关键矿物采购要求等核心条款的潜在调整，可能引发短期市场波动。尽管存在挑战，创造就业岗位的两党共识与区域经济效益仍将支撑本土电池制造的持续发展动能。

其他

VF | VOLTA FOUNDATION



Linda Jing
Volta Foundation



Yen T. Yeh
Volta Foundation



Michael Liu
Sila



Sam Adham
CRU Group



Drew Lebowitz
Powerswitch



Aubert Demaray
SpectraPower



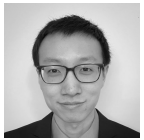
Nicolò Campagnol
McKinsey



Alex Cipolla
Anxer



Maithri Venkat
Lucid Motors



Andrew Weng
University of Michigan



Wendy Papakostandini
Anzu Partners



Nicholas Yiu
Voltaiq



Charlie Parker
Ratel Consulting



Nika Ptushkina
PDF Solutions



Kent Griffith
UC San Diego



Matthew Christolini
Morgan Stanley



Darren H. S. Tan
UNIGRID



Dhevathi Kannan
UL Research



Mouda Abusukhella
Sylvatex, Inc.



Erika Guerrero
Electric Goddess



Aaron Wade
Gaussion



Sriram Bharath
UC Berkeley



Jeffrey Bell
Lyten



Lorenzo Grande
Teraton

Disclaimer: The views expressed herein are solely those of the authors, and have not been reviewed or approved by any other organization, agency, employer or company. The primary purpose of this work is to educate and inform. The Content is for entertainment and informational purposes only and you should not construe any such information as investment, financial, or other advice. Data and information is from publicly available sources and often self-reported by the companies. The authors declare no conflicts of interest in producing this report.

VF | VOLTA FOUNDATION

感谢我们的贡献者提供的见解和专业知识。

作者

INDUSTRY

Notable Events
Nicholas Yiu, Voltaiq
Mouda Abu-Sukheila, Sylvatex

Value Chain
Nicholas Yiu, Voltaiq
Michael Liu, Sila Nanotechnologies
Sam Adham, CRU

Finance
Alex Cipolla, Anxer
Matt Chistolini, Morgan Stanley
Katherine He, TDK Ventures

Costs
Aaron Wade, Gaussion
Sam Adham, CRU

Cell & Pack
Charlie Parker, Ratel Consulting
Nika Ptushkina, PDF Solutions

Applications
Aaron Wade, Gaussion
Alex Cipolla, Anxer
Drew Lebowitz, PowerSwitch
Erika Guerrero, Electric Goddess
Maithri Venkat, Lucid Motors
Michael Liu, Sila Nanotechnologies
Sam Adham, CRU
Sriram Bharath, UC Berkeley

Safety
Dhevathi Kannan, UL Research Institutes
Sergio Mendoza, Exponent

Cell Chemistry
Aubert Demaray, SpectraPower, Battery Talk
Jeffrey Bell, Lyten, Battery Talk
Darren H. S. Tan, UNIGRID

Supply Chain & Recycling
Sam Adham, CRU
Lorenzo Grande, TERATON

Software
Nika Ptushkina, PDF Solutions
Nicholas Yiu, Voltaiq

ACADEMIA

Kent Griffith, UC San Diego
Dhevathi Kannan, UL Research Institutes
Nicolo Campagnol, McKinsey & UC Louvain
Aaron Wade, Gaussion

TALENT

Andrew Weng, Volta Foundation
Wendy Papakostandini, Anzu Partners

POLICY

Michael Liu, Sila Nanotechnologies
Sam Adham, CRU

贡献者

INDUSTRY

Abhineet Nigam, WHOOP
Alex Woodrow, KGP
Andrew Smagala, Lyten
Behnoosh Bornmaher, P3
Callum McGuinn, Mewburn Ellis LLP
Can Kurtulus, Eatron Technologies
Crystal Jain, Form Energy
David Lukito, Electrios Consultants
Tom Maull, Elysia Battery Intelligence
Dhiren Mistry, Ascend Elements
Elias Garcia Goma, STS Certified
Emil Espes, Excillum
Emily Dickens, Octet Scientific
Eveline van der Maas, 8inks
Gabriel Crane, Stanford University
Georg Angenendt, ACCURE
Grayson Shor, Pacific NW Battery Collaborative
Ken Broom, Novonix BTS
Katharina Gerber, Siemens
Lude Rong, Volta Foundation
Igor Golub
Jeff McDowell, Zephyr Scientific
Jerry Cheng, New Energy Terminal
Jhalak Sharma
Jiankuan Li, Nanode
Katherine He, TDK Ventures
Kimberly Berman, Pivot Research
Kyle Veugeler, Siemens
Lorenzo Grande, TERATON
Marcel Bresk
Maria Terese, Tesla
Mary York
Matthias Simolka, TWAICE
Miguel A. Gonzalez, Exponent
Nurbol Ibadulla
Paul Sinclair, Volta Foundation
Raul Arredondo
Rodrigo Salcedo Campino, AVEC
Ryan Pekarek, LiNK-BT
SaeWon Kim, Lucid Motors
Shivam Chauhan, Customized Energy Solutions
Siddharth Kurwa, Natron Energy
Sivasambu Bohm, Zhejiang Hanano
Suraj Vallamkonda, Ather Energy
Tim Suen, Form Energy
Thomas Filhon, Ørsted
Tyler Evans, Mana Battery
Xinran Feng, eJoule
Xinyue Li
Paul Gasper, NREL

ACADEMIA

Andreas Gouder, McKinsey
Amelia Dai, MIT
Daniel Wang, MIT
Fan Yu, McGill University
Gabriel Crane, Stanford University
Jayanth Ramamurthy, Iowa State Uni
J.J. Marie, The Faraday Institution
Joyce Zheng, UPenn
Miguel A. Gonzalez, Exponent
Mikołaj Nowak, AGH University
Rodrigo Salcedo Campino, AVEC
Paul Gasper, NREL
Stevie Zhang Ph.D., Renault Group
Tim Suen, Form Energy

TALENT

Anterjot Singh Bains
Amelia Dai, MIT
Kaitlyn Lagasca, Anzu Partners
Maithri Venkat, Lucid Motors
Michael Norton, Lumicity
Mikołaj Nowak, AGH University

POLICY

Bennett Resnik, Venn Strategies
Isabelle Christensen Ph.D., Zelestra
Filip Gabryelewicz, PSNM
Kimberly Berman, Pivot Research
Maarten Buysse, Bax
Wendy Papakostandini, Anzu Partners

DESIGN

Dana Bubonovich, Volta Foundation
Milena Cywińska

Disclaimer: The views expressed herein are solely those of the authors, and have not been reviewed or approved by any other organization, agency, employer or company. The primary purpose of this work is to educate and inform. The Content is for entertainment and informational purposes only and you should not construe any such information as investment, financial, or other advice. Data and information is from publicly available sources and often self-reported by the companies. The authors declare no conflicts of interest in producing this report.

VF | VOLTA FOUNDATION

感谢我们的顾问对本报告提供的反馈



Bob Galyen
Principal,
Galyen Energy LLC



Shirley Meng
Professor, University of Chicago
Chief Scientist, Argonne National Laboratory



James Frith
Principal,
Volta Energy Technologies



Steve LeVine
Editor,
The Electric



Dee Strand
Chief Scientific Officer,
Wildcat Discovery Technologies



Kenzo Nagai
Lithium-Ion Battery Industry Consultant | Advisory Board Member X-Tesla | X-Apple SPG | X-Molicel



Mateo Jaramillo
Chief Executive Officer,
Form Energy



Billy Wu
Professor,
Imperial College London



Venkat Viswanathan
Professor, University of Michigan Co-Founder, Aionics, Chement, & Battery Aero

Disclaimer: The views expressed herein are solely those of the authors, and have not been reviewed or approved by any other organization, agency, employer or company. The primary purpose of this work is to educate and inform. The Content is for entertainment and informational purposes only and you should not construe any such information as investment, financial, or other advice. Data and information is from publicly available sources and often self-reported by the companies. The authors declare no conflicts of interest in producing this report.

VF | VOLTA FOUNDATION

Thank You to Our Distinguished Partners

BENCHMARK

BloombergNEF

CRU

rho motion
A BENCHMARK COMPANY

Roland Berger

sightline climate

VF | VOLTA FOUNDATION

Citations & More

"The Battery Report 2024." Volta Foundation, 25 January 2025. Web. [Date accessed].

Please cite the report appropriately.

FEEDBACK FORM

To submit suggestions and error corrections, please fill out this form: https://forms.gle/b4V6JBehVFdpKkyt7

LICENSE

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License

SPONSORSHIP

For sponsored slides, partnerships, and speaking engagements, please reach out to us at sponsorship@volta.foundation



金宇明

吉林大学物理学硕士，曾就职宁德时代、大众汽车等企业，深耕动力电池设计、制造、测试等相关领域，具有8年行业经验，现就职A2MAC1负责电动汽车电池的技术和成本洞察



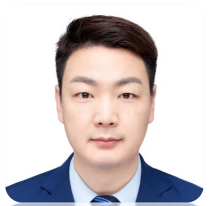
张雨薇

北京中创碳投科技有限公司高级投资经理。具有超过十年工作经验。高级技术经纪人、科技评估师、碳管理师。在战略管理、品牌管理、企业碳管理咨询、信息技术及技术成果转化与产业化领域具有丰富工作经验。



张梦露

新能源领域从事国际业务开发工作，曾就职于能源企业及研究机构，本科毕业于北京大学、硕士毕业于法国巴黎政治大学国际能源项目，求学期间曾在IEA总部、法国电力集团、美国Brookings实习，毕业后在新能源及锂电行业积累了国际经验。



黄俊

动力和储能电池行业ESG从业人员。重心主要集中在：1. 推动企业ESG披露和评级提升，提高企业可持续发展水平；2. 致力于碳管理和减排，助力企业实现绿色低碳发展；3. 关注供应链溯源，确保供应链的环境、社会和治理合规性。希望通过我的努力，为行业可持续发展贡献力量。



石超珺

美国上市公司总监，拥有美国top20化学工程博士学位，并持有ESG认证。具备超过十年以上的电池行业经验，专注于北美能源领域的研发、工艺开发和电池生产。长期与亚洲上下游市场保持紧密合作，在新能源技术和可持续发展方面积累了国际经验，不断精进专业积累与行业影响力。



黄倩萍

深耕国际贸易15年。曾在外企担任大客户管理经理、销售运营经理超10年，对全球市场运作有深入理解。广东捷盟智能装备股份有限公司担任海外销售经理，专注于动力电池制造设备的国际市场拓展，助力海外客户项目达成



王全

现在安徽国资下属皖江金融租赁股份有限公司担任高级客户经理。一直在金融租赁公司从事实体企业的投融资工作，落地锂电原材料、四大主材、电芯集成和后端回收处理等各板块客户



孟星华

常州市电池技术协会秘书长，电池材料领域13年研发与中试经验，致力于推动本地电池供应链的稳健发展与出海行动。善于利用AI技术探索电池领域的数据、信息与知识。



高可心

聚焦于新能源汽车产业发展背景下的动力电池全生命周期管理与政策引导机制，旨在系统梳理与分析当前我国及国际在动力电池研发、制造、回收利用、梯次利用、绿色低碳发展等关键环节出台的相关政策



朱登伟

8年锂电池/钠电池设计开发经验，熟悉圆柱/方形铝壳/软包电池的设计开发。



包晗

曾任职于国内顶尖猎头公司，专注于新能源、人工智能、芯片等前沿科技领域的人才战略服务，多年行业深耕经验，擅长为高端人才提供精准的职业规划、薪酬分析及市场趋势解读为企业匹配核心人才。



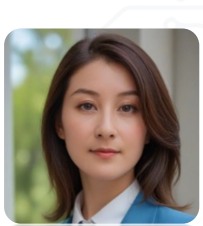
郑永为

美国Rivian电动汽车公司担任高级电芯工程师，美国新能源非盈利组织Volta Foundation联合创始人兼执行编辑，公众号新能源情报局联合创始人，中国电池非营利社区电池圆桌派联合创始人



王淑慧

从事锂离子电池相关研究工作十余年，现任职于联泓（江苏）新材料研究院，从事液态锂离子电池电解液，复合固态电解质、新型硅碳负极的研究工作。



张珺

能合智能科技有限公司合伙人，从事新能源电池行业数据工程、数据分析与建模相关的工作。目前致力于探索AI前沿技术在新能源电池领域中的融合应用。



董彬彬

北京化工大学材料科学与工程专业硕士。于锂电正极材料研发领域深耕十载，先后就职于行业头部正极材料企业、电芯企业及整车厂。在正极材料开发、供应商管理、团队管理等方面经验丰富，在行业内具备较高专业素养与实践能力。



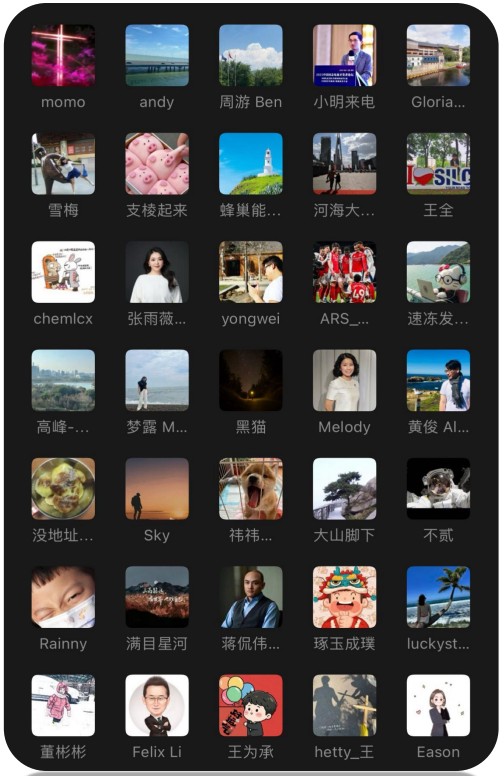
姚玮良

加州大学圣地亚哥博士，芝加哥大学博后。拥有八年锂电池学术科研经历，高压正极材料、电解液设计，先进表征技术的研究和干法电极工艺开发方面积累了丰富的研究经验，致力于提升电池性能与安全性。目前在企业进行未来能源技术的创新研发，探索下一代储能解决方案。



樊黛茜

Battery Value Chain欧洲市场从业者，关注与电化学体系和新能源产业有关的一切，期待与您通联。



感谢参与翻译的全部志愿者为中国电池社区发展作出无私的贡献

可扫**描**二维码**参与**问题讨论



THE BATTERY REPORT IS A PROGRAM BY:

VF | VOLTA FOUNDATION

支持电池年度报告中文版的翻译者们和英文版创作者

支付宝人民币



VF美金

