2023-2024 电池行业年度报告

VF | VOLTA FOUNDATION

EnerZ Medium
新能源情报局

Revision: 2024022201

> ***“电池技术正当时.”*** – 经济学人

在这份报告中，我们总结了2023年全球电池行业总重要的进展。该报告旨在提供有关电池研究、产业、人才和政策的当前状况，并希望以此促进电池领域更多更深入的交流，追踪器发展轨迹，并对未来进行合理预测。

本报告主要囊括以下部分：

01 产业	**电池开发和制造的商业里程碑**
02 学术	**基础电池科学的学术突破**
03 人才	**供应、需求和对该领域从业人才的见解**
04 政策	**政府目标、激励措施、法规及其含义**

免责声明：本文表达的观点仅代表作者个人观点，未经任何其他组织、机构、雇主或公司审查或批准。 这项工作的主要目的是教育和宣传。 内容仅供娱乐和参考之用，您不应将任何此类信息解释为投资、财务或其他建议。 数据和信息来自公开来源，通常由公司自行报告。 所有作者在编写本报告中不存在利益冲突。

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.

本报告由以下组织编写并翻译:

VF | VOLTA FOUNDATION

Nernst EnerZ

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 -

赞助报告

感谢Volta Foundation的会员、合作者和赞助商



VF | VOLTA FOUNDATION

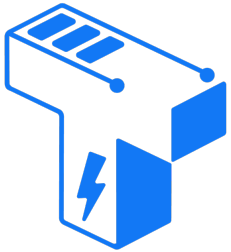
感谢以下单位对本报告翻译的支持



孚 能 科 技
Farasis Energy







储慧智能
CHUHUI TECHNOLOGY



常州市电池技术协会
Changzhou Battery Technology Association

VF | VOLTA FOUNDATION

EnerZ Medium
新能源情报局

01 产业

Volta Foundation是一个独立且非营利性专业协会，致力于支持电池行业的发展。

新能源情报局是中国非盈利公众信息平台。

01 产业 | 概览

2023年是全球电池行业持续增长和调整的一年——电动乘用车销量首次突破1000万辆，尽管利率较高，但同比增长32%。 过去一年，新电动汽车的平均价格下降了 25%，部分原因是制造商争夺市场份额而引发的电动汽车“价格战”，使得新电动汽车的平均价格仅比新车整体市场高出 4%。 锂的成本自 2022 年底达到峰值以来已经下降了 80%，这引起了矿业公司的恐慌，但也导致电池电芯价格降低了 16% 至 107 美元/KWh。

主要趋势包括几乎所有主要 OEM 厂商都大力接受 NACS 充电标准。 受大范围使用磷酸铁锂的影响，电芯形状趋向于大尺寸方形电芯。 到2030年，全球已规划7 TWh的电池产能，其中中国占该产能的68.5%，北美和欧洲的大部分产能集中在三元材料化学领域。在法规方面，美国和欧盟政府在过去一年制定了官方指导方针，以确保关键矿物采购和发展国内电池供应链的更大安全性。

BESS 是一个新兴但快速增长的市场，融资、整合、监管和电池化学方面仍然存在机遇和挑战，期待新的创新以更好地支持该细分市场的增长。

先进的电池化学继续在商业化方面取得进展，主要例子包括 LMFP、钠离子、硫和锂金属化学，而采矿、供应链、制造、软件和其他辅助技术的创新仍然是商用研发和创业的重点。

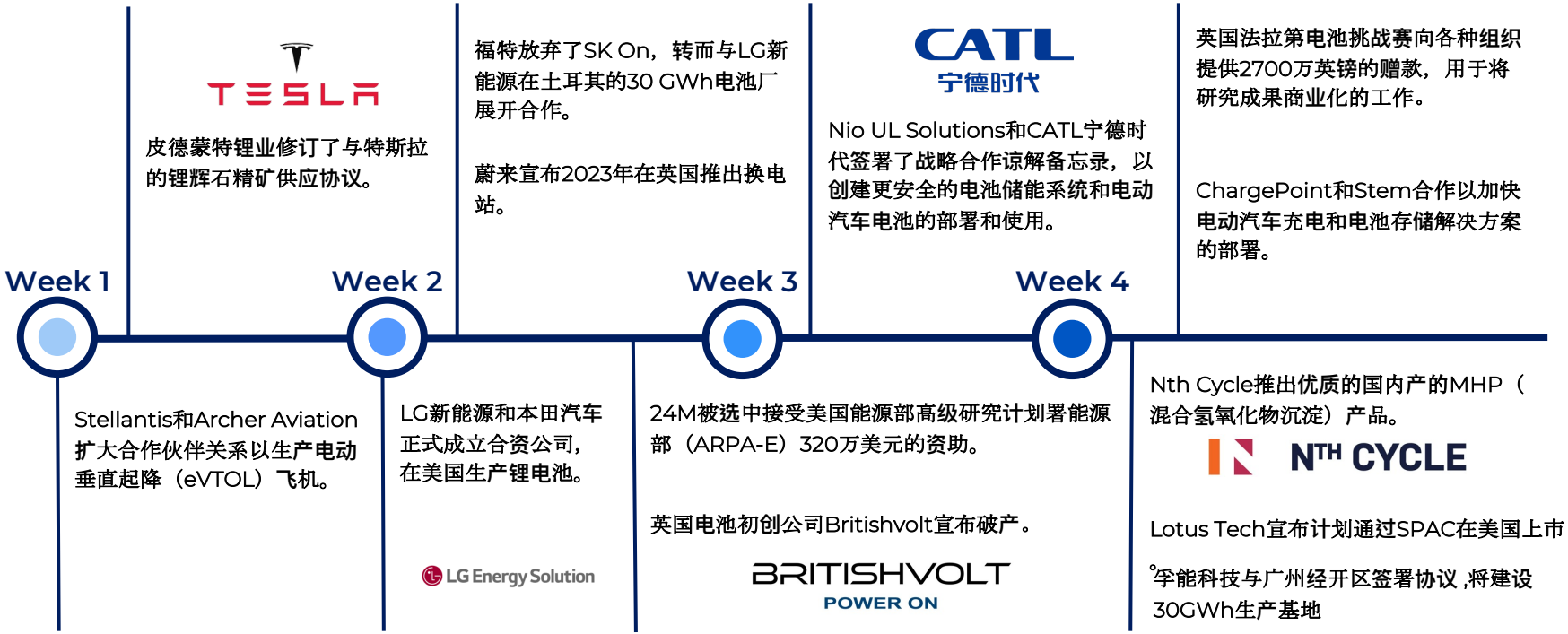


年度事件 | 产业价值链 | 金融 | 电芯成本

电芯和电池组制造 | 应用 | 安全 | 化学及电芯材料

原材料 | 回收 | 软件及分析

年度事件 | 1月


Week 1
Week 2
Week 3
Week 4
皮德蒙特锂业修订了与特斯拉的锂辉石精矿供应协议。
福特放弃了SK On，转而与LG新能源在土耳其的30 GWh电池厂展开合作。
蔚来宣布2023年在英国推出换电站。
Nio UL Solutions和CATL宁德时代签署了战略合作谅解备忘录，以创建更安全的电池储能系统和电动汽车电池的部署和使用。
英国法拉第电池挑战赛向各种组织提供2700万英镑的赠款，用于将研究成果商业化的工作。
ChargePoint和Stem合作以加快电动汽车充电和电池存储解决方案的部署。
Stellantis和Archer Aviation扩大合作伙伴关系以生产电动垂直起降（eVTOL）飞机。
LG新能源和本田汽车正式成立合资公司，在美国生产锂电池。
24M被选中接受美国能源部高级研究计划署能源部（ARPA-E）320万美元的资助。
英国电池初创公司Britishvolt宣布破产。
Nth Cycle推出优质的国内产的MHP（混合氢氧化物沉淀）产品。
Lotus Tech宣布计划通过SPAC在美国上市
°孚能科技与广州经开区签署协议，将建设30GWh生产基地

年度事件 | 2月

Week 1

通用汽车向美洲锂业投资6.5亿美元开发Thacker Pass矿。.

Umicore宣布计划从Terrafame采购镍。

Our Next Energy（ONE）以12亿美元的估值筹集了3亿美元，是电池行业最新的独角兽。

Week 2

福特将Rivian的持股比例从11%降至1.15%。

Redwood Materials获得能源部20亿美元电池材料贷款的有条件承诺。

浦项化学锁定了三星SDI价值326亿美元的订单，用于生产电动汽车电池正极材料。

Week 3

Ionblox从Lilium、Applied Ventures、淡马锡和Catalus Capital筹集了3200万美元的B轮融资.

大众汽车宣布加快电动汽车生产和软件战略的五年计划。

Nano One获得加拿大可持续发展技术公司1000万加元的奖励。

Week 4

福特宣布与CATL合作35亿美元，在密歇根州建造LFP电池厂。

Arrival宣布5000万美元的股本承诺，以加强资产负债表并将债务减少38%。

Nanograf为氧化硅负极筹集了6500万美元的B轮资金。

EO Charging获得Vortex Energy和Zouk Capital 8000万美元的股权投资，以扩大电动汽车车队充电设施布局。

Li Cycle从美国能源部ATVM项目获得3.75亿美元贷款的有条件承诺。

中科海纳电池在中国率先将钠离子电池应用于电动汽车。

Stellantis投资1.55亿美元购买阿根廷一座铜矿的少数股权。

特斯拉宣布在墨西哥投资50亿美元建立工厂，标志着其努力扩大在美国以外的业务。

特斯拉从韩国正极生产商L&F公司订购了29亿美元的电池材料。

年度事件 | 3月

Week 1

特斯拉将美国Model S和Model X的价格下调4%至9%。

美国锂能源公司从加州能源委员会获得1320万美元的拨款，用于建设锂离子试点制造设施。

三星SDI计划与通用汽车建立电池厂。

Our Next Energy（ONE）宣布计划在西弗吉尼亚州建造价值5亿美元的电池存储系统制造厂。

孚能科技将为江铃集团定点供应EV3钠电池包总成，

Week 2

大众汽车宣布在安大略省建立第一家北美电动汽车电池厂。

Circa Solutions和Jacobs结成战略联盟，以扩大北美电动汽车电池材料的制造能力。

由于北京监管机构提出担忧，CATL推迟了在瑞士筹集50亿美元的计划。

大众暂停在欧洲的电池工厂，优先考虑北美工厂。

Week 3

Amprius宣布针对航空市场推出500Wh/kg动力电池。

Gotion暂停了密歇根州大急流城的电池厂。

Posco Future M宣布计划在韩国建造NCA正极设施，产能为30000吨/年。

美国和日本就电动汽车电池的重要矿物达成协议。

Week 4

pH7 Technologies在A轮中获得1600万美元，用于绿色提取和回收关键金属。

Li-Cycle和KION集团建立了锂离子电池回收合作伙伴关系，Li-Cycle宣布在法国建立新工厂。

宝马集团宣布在施特劳宾-博根县建立新的高压电池组装基地。

国轩高科和Edison Power合作开展在日本的储能和电池回收。

年度事件 | 4月

Week 1

Redwood Materials扩大了与美国大众汽车公司的合作关系，从消费电子产品中收集更多的报废电池。

波兰超过美国成为世界第二大锂离子电池生产国。

Stellantis和宝马宣布与松下就新的电动汽车电池厂进行谈判。

特斯拉确认了在上海建立第二家工厂的计划。

土耳其第一辆TOGG电动SUV车型T10X上路，搭载了Farasis Energy cell。

Week 2

大众汽车宣布投资11亿美元在中国合肥建立新的电动汽车研发和采购中心。

24M公司获得了美国先进电池联合会380万美元的合同。

三星SDI在上海开设新的电池研究中心。

大众汽车宣布计划与淡水河谷、福特和浙江华友钴业合作，在印尼建立电动汽车电池生态系统。

Week 3

Freyr宣布计划与西门子合作，将超级工厂的投产时间至少缩短50%。

6K Energy宣布投资2.5亿美元在北美新建正极厂。

Novalith筹集2300万美元建造加工厂，使用苏打水从矿石中提取电池级锂，比现有技术更有效。

Week 4

Sila为电动汽车推出了新的纳米复合硅负极。

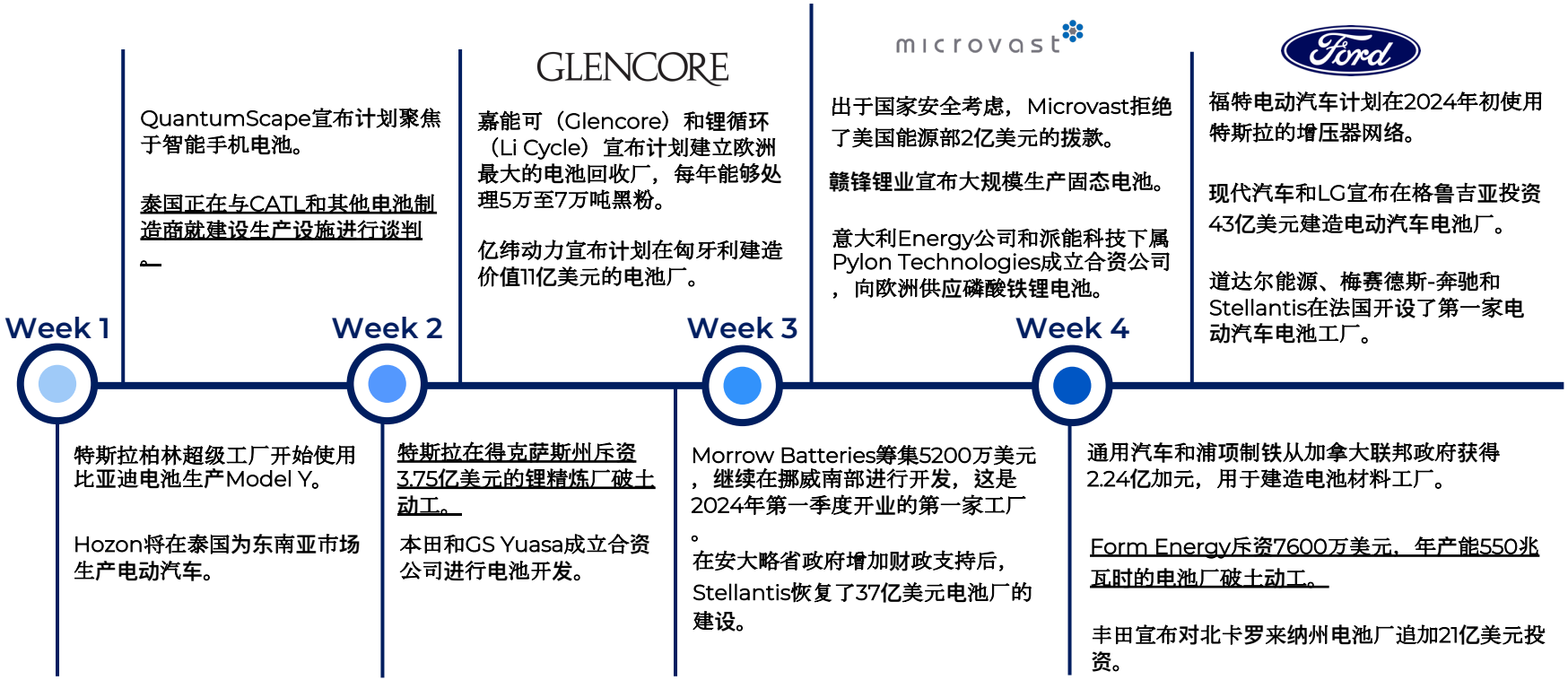
三星SDI和通用汽车宣布成立一家价值30亿美元的电池制造合资企业。

ElevenEs宣布欧洲磷酸铁锂电池厂到2024年产能将达到500兆瓦时/年。

美国和韩国签署谅解备忘录，加快韩国公司在美国发展电动汽车电池制造业。

日本为储能电池提供了18亿美元的补贴。

年度事件 | 5月


Week 1
Week 2
Week 3
Week 4
QuantumScape宣布计划聚焦于智能手机电池。
泰国正在与CATL和其他电池制造商就建设生产设施进行谈判。
特斯拉柏林超级工厂开始使用比亚迪电池生产Model Y。
Hozon将在泰国为东南亚市场生产电动汽车。
GLENCORE
嘉能可（Glencore）和锂循环（Li Cycle）宣布计划建立欧洲最大的电池回收厂，每年能够处理5万至7万吨黑粉。
亿纬动力宣布计划在匈牙利建造价值11亿美元的电池厂。
特斯拉在得克萨斯州斥资3.75亿美元的锂精炼厂破土动工。
本田和GS Yuasa成立合资公司进行电池开发。
microvast
出于国家安全考虑，Microvast拒绝了美国能源部2亿美元的拨款。
赣锋锂业宣布大规模生产固态电池。
意大利Energy公司和派能科技下属Pylon Technologies成立合资公司，向欧洲供应磷酸铁锂电池。
Morrow Batteries筹集5200万美元，继续在挪威南部进行开发，这是2024年第一季度开业的第一家工厂。
在安大略省政府增加财政支持后，Stellantis恢复了37亿美元电池厂的建设。
Ford
福特电动汽车计划在2024年初使用特斯拉的增压器网络。
现代汽车和LG宣布在格鲁吉亚投资43亿美元建造电动汽车电池厂。
道达尔能源、梅赛德斯-奔驰和Stellantis在法国开设了第一家电动汽车电池工厂。
通用汽车和浦项制铁从加拿大联邦政府获得2.24亿加元，用于建造电池材料工厂。
Form Energy斥资7600万美元，年产能550兆瓦时的电池厂破土动工。
丰田宣布对北卡罗来纳州电池厂追加21亿美元投资。

年度事件 | 6月

Week 1

松下将把特斯拉内华达超级工厂的电池产量提高10%。

ForgeNano在C轮融资筹集了5000万美元，用于建设电池生产线。

Week 2

塔塔集团宣布计划斥资16亿美元建造电动汽车电池厂。

Stellantis和Galloo成立合资公司回收电动汽车电池。

Week 3

沙特阿拉伯投资部与中国电动汽车制造商华人运通签署了56亿美元的协议。

丰田宣布计划为其电动汽车生产固态电池，目标是到2030年生产350万辆电动汽车。

RecycLiCo和Zenith Chemical宣布在台湾成立价值2500万美元的锂离子电池回收合资企业。

Week 4

特斯拉宣布，它已经在德克萨斯超级工厂生产了1000万个4680电池。

CATL宣布计划投资14亿美元在玻利维亚建造锂提取厂。

福特和SK On获得92亿美元贷款，在美国建造3座电池厂，产量高达120 GWh，一座在田纳西州，两座在肯塔基州。

Northvolt从加拿大养老基金获得了4亿加元的投资。

阿斯顿·马丁和Lucid宣布在新电动汽车上进行合作。

Lordstown Motors申请破产。

Altris展示了容量为160mAh/g的普鲁士白正极材料。

诺贝尔奖获得者John Goodenough去世，享年100岁，他的工作对锂离子电池的问世具有重大贡献。

保时捷宣布投资219亿美元开发电动汽车和软件。

年度事件 | 7月

Week 1

哥伦比亚宣布计划将290兆瓦的燃煤发电厂改造成太阳能光伏和电池存储设施。

特斯拉宣布，2023年第二季度已生产479700辆电动汽车，交付466140辆电动汽车。

Week 2

Nikola在2022年以1.44亿美元收购电池供应商Romeo Power后，停止了该公司的运营。

英国电动汽车制造商Arrival取消了计划中的SPAC。

Week 3

国轩高科与西门子数字工业软件和巴斯夫签署战略合作协议。

欧盟最终确定了到2027年从废电池中回收50%锂的法规。

Fisker已出售3.4亿美元的可转换债券，以支持额外的电池组生产线。

Li-Cycle与亿纬锂能签署谅解备忘录，合作探索锂离子电池回收解决方案。

梅赛德斯-奔驰从2025年开始为北美电动汽车选择特斯拉的充电标准。

Week 4

塔塔宣布计划在英国建造电动汽车电池厂。

比亚迪宣布计划在印度建造电池和电动汽车工厂，目标是年产10万辆电动汽车。

Graphite One根据《国防生产法》获得3750万美元的国防部拨款。

特斯拉就电动汽车子公司Maxwell专利的超级电容器起诉Cap XX。

Envate和JR Energy Solution宣布成立合资企业，在美国建造电极工厂。

Lion Electric开设电动汽车工厂，可生产2万辆电动公交车。

Stellantis和三星SDI签署谅解备忘录，到2027年建造34 GWh电池厂。

浦项制铁宣布，到2030年将投资920亿美元，改造其电动汽车电池材料业务。

辉能科技和MAHLE签署了开发下一代固态电池的谅解备忘录。

年度事件 | 8月

Week 1

QuantumScape通过公开募股筹集了3亿美元。

亿纬锂能投资4.22亿美元在马来西亚新建电池厂。

LGES与浙江华友回收合作组建电池回收合资企业。

Week 2

通用汽车宣布，所有基于Ultium平台的电动汽车都将实现车到户充电。

Proterra申请破产。

Week 3

兰博基尼在2023年蒙特雷汽车周上推出了其首款电动汽车。

Fisker采用NACS充电口使得到2025年，客户可以使用特斯拉增压器。

John Deere投资7000万美元建设在北卡罗来纳州的办公室和制造厂房。

ICL Specialty Products斥资4亿美元破土动工，计划到2025年生产3000吨/年磷酸铁锂正极材料。

Week 4

Northvolt筹集12亿美元从而将业务扩展到北美。

CATL推出神行电动汽车电池，可在10分钟内充电400公里。

Novonix宣布计划在查塔努加建造价值10亿美元的石墨工厂。

Ecopro BM、SK和福特在魁北克投资14亿美元新建正极生产设施，产能为45000吨/年。

Accure筹集780万美元的A2轮股权融资资金，以使用人工智能来预测锂离子电池的故障。

现代汽车投资4亿美元收购韩国锌业公司5%的股份，以发展镍价值链。

小鹏以7.44亿美元收购滴滴的智能电动汽车部门。

ENGIE收购Broad Reach Power以扩大储能业务。

Redwood Materials在D轮融资10亿美元，以扩大美国电池材料业务。

比亚迪以22亿美元收购捷普的移动业务。

现代和LG向格鲁吉亚电池厂追加投资20亿美元，总投资超过75亿美元。

年度事件 | 9月

Week 1

国轩高科收购斯洛伐克电动汽车电池初创公司Inobat 25%的股份.

CATL宣布计划在德国和匈牙利生产快充神行电池。

KKR以10亿美元收购了储能开发商Zenobe 45%的股份。

吉利汽车（Geely Automotive）旗下高端品牌极氪（Zeekr）申请在美国IPO。

上海特斯拉起诉芯片和汽车零部件制造商冰凌智能科技侵犯知识产权。

Week 2

Lyten为锂硫电池筹集了2亿美元的B轮股权融资资金。

国轩高科宣布在伊利诺伊州建立价值20亿美元的电池厂。

Stellantis宣布计划将全球电池产能扩大到400 GWh。

Rimac与亿纬锂能合作，在电池组中使用46XX系列电池。

Verkor为敦刻尔克电动汽车超级工厂筹集21.4亿美元。

Week 3

Northvolt宣布计划斥资52亿美元在魁北克建立电池工厂。

比亚迪在墨西哥推出售价3.1万美元的新型海豚电动汽车。

国轩高科和InoBat宣布计划到2026年在欧洲建造20 GWh的电池厂以满足大众电动汽车的需求。

LGES筹集了10亿美元的债券来为电动汽车电池工厂融资。

Week 4

丰田采用自行装配线和大规模压铸来赶上电动车竞赛。

美国国务院宣布计划在非洲建造电池工厂，以满足激增的电动汽车电池需求。

Varco Energy从NatWest获得7000万美元的债务融资，用于资助BESS项目。

SK Ecoplant和Ascend Elements宣布成立合资企业，在肯塔基州建造价值6600万美元的电池回收设施，能够处理12000吨的黑色物质。

年度事件 | 10月

Week 1

通用汽车同意将电动汽车电池制造纳入美国汽车工人联合会的协议。

Encorp和Natron Energy宣布使用钠离子电池的混合动力平台。

杉杉宣布在芬兰投资135亿美元建设合成负极厂，产能达10万吨/年.

Week 2

LGES投资30亿美元为丰田提供电动汽车电池。

美国财政部允许从2024年开始将电动汽车税收抵免用作销售点退税。

Week 3

NIO完成了3000万次全球电池交换，进一步证明了换电模式的可行性。

LG化学与丰田就美国工厂达成215亿美元的正极材料交易。

2023年第三季度美国电动汽车销量超过30万辆。

丰田和Idemitsu合作生产全固态电池。

Novonix展示了干法电极合成工艺。

Week 4

Albemarle撤回了收购Liontown资源的非约束性要约。

电动卡车制造商Volta Trucks在瑞典申请破产。

Nio动议将固态电池的使用范围扩大到另外11款电动汽车。

Umicore和AESC签订了北美电动汽车电池材料的长期供应协议。

EnergyX在由韩国浦项制铁集团牵头的B轮融资中筹集了5000万美元。

丰田向北卡罗来纳州电动汽车电池厂追加投资80亿美元。

Factorial宣布在马萨诸塞州建立价值5000万美元的电池制造厂。

E3锂业宣布从DLE采购99.78%纯度的电池级氢氧化锂。

印度电动汽车初创公司Ola Electric从淡马锡和SBI筹集了3.84亿美元，其中包括2.4亿美元的债权资金。

美国电池厂在亚利桑那州的磷酸铁锂超级工厂破土动工。

Stellantis投资16亿美元收购Leadmotor 20%的股份，以加速Leadmotor在中国和欧洲的销售。

年度事件 | 11月

Week 1

Nio在激烈的竞争中裁员10%。

Polestar与SK On合作推出Polestar 5电动电池模块。

比亚迪宣布在匈牙利建立首个欧洲电动汽车工厂。

Week 2

24M Technologies声称通过电极到封装的设计提高了电池的能量密度。

Stellantis宣布斥资32亿美元新建电池厂，根据美国汽车工人联合会协议加薪25%。

Week 3

沃尔沃电池以2.1亿美元收购Proterra Powered商用车业务线。

Matrix Renewables从Emeren收购了3280 MWh的储能电站组合。

Rivian宣布斥资50亿美元建造下一代R2汽车的电动汽车工厂，在佐治亚州创造7500个就业机会。

Lucid发布了一项名为RangeXchange的车对车充电功能。

Week 4

Farasis Energy全球首家实现eVTOL 终端客户交付。

美国能源部宣布35亿美元用于加强国内的电池制造事业。

丰田承认到2030年只计划生产1万辆固态电池汽车。

丰田宣布同意从Redwood公司采购正极和负极铜箔。

Stellantis和CATL签署在欧洲生产磷酸铁锂电池的谅解备忘录。

Northvolt宣布将160Wh/kg钠离子电池用于储能。

大众与麦格纳-斯泰尔合作，以4.92亿美元的价格在2026年前重振Scout电动汽车。

Lilium获得欧盟监管部门批准，可以设计和运营其电动垂直起降飞行器。

Gotion InoBat JV与斯洛伐克签署谅解备忘录，计划建设20 GWh电动汽车电池厂。

由于电动汽车需求疲软，LG和SK On在密歇根州裁员。

Our Next Energy（ONE）裁员25%。

特斯拉推出超充站的超时费.

欧盟宣布为包括储能在内的清洁能源项目提供44亿美元赠款。

年度事件 | 12月

Week 1

AM电池筹集3000万美元由丰田风险投资公司牵头的B轮融资。

Nth Cycle筹集4400万美元B轮融资系列资金，以扩大金属回收和精炼的规模。

Generac投资3000万美元收购Wallbox的少数股权。

Rivian解雇了内部电池开发团队的20名工程师。

EcoPro BM宣布与三星在2024年至2028年间就价值3350万美元的NCA正极达成长期供应协议。

Nornickel将全球镍盈余预测从20万吨增加到25万吨。.

NORNICKEL

Week 2

阿拉伯联合酋长国宣布建立第一家电池回收厂

Our Next Energy（ONE）任命Paul Humphries为首席执行官，接替创始人Mujeeb Ijaz。

Wildcat Discovery宣布在美国生产无镍和无钴正极。

松下和Sila签署供应协议，将Sila的硅负极材料用于电动汽车电池生产。

极氪开始向欧洲的新客户交付产品。

Lucid的首席财务官Sherry House辞职。

ZEEKR

LUCID

Week 3

Hancock和SQM以11亿美元收购Azure Minerals。

Eramet和Vibrantz Technologies宣布达成长期锰矿供应协议。

泰国批准9.7亿美元补贴以提高当地产量。

欧盟47.6%的新车为电动或混合动力汽车。

VinFast与丸红株式会社签署谅解备忘录，回收废旧电动汽车电池。

TotalEnergies开始建设216兆瓦的太阳能发电厂，电池容量为500兆瓦时。.

NIO从阿布扎比CYVN获得22亿美元投资。

Week 4

美国财政部宣布45倍的清洁能源制造业税收抵免规则.。

LG化学斥资32亿美元在田纳西州的正极材料工厂破土动工。

孚能科技全球首辆钠电车型下线仪式在江西南昌江铃集团工厂举行。

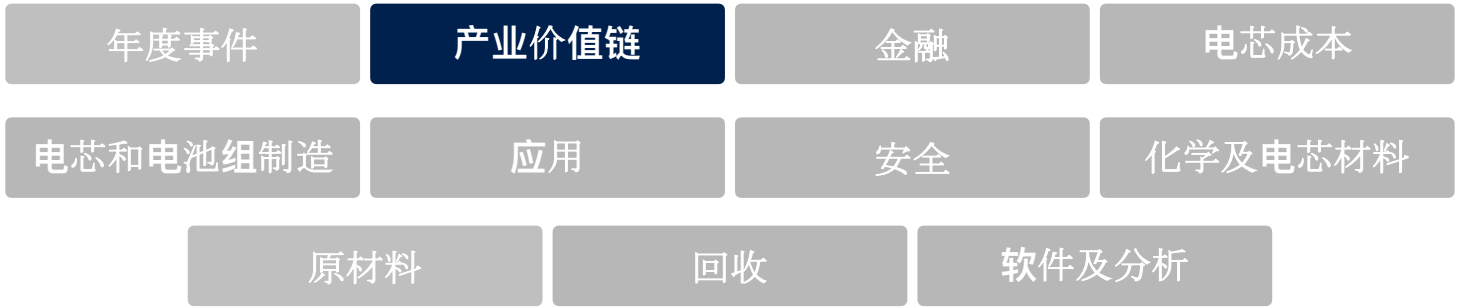
欧盟和英国将电动汽车关税推迟至2026年。

NIO推出价值11.2万美元的旗舰ET9电动汽车。

通用汽车和福特失去了许多电动汽车车型的税收抵免，正在调整采购以重新获得资格。

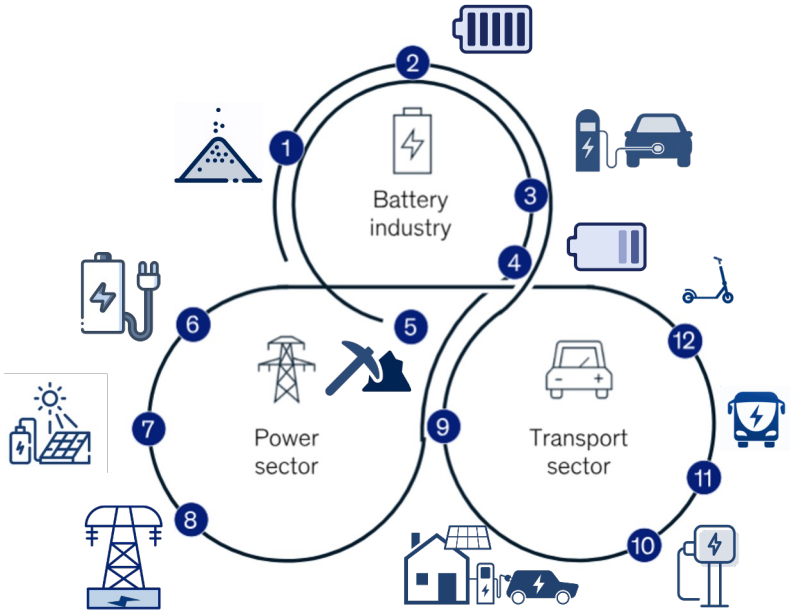
gm

NIO


年度事件
产业价值链
金融
电芯成本
电芯和电池组制造
应用
安全
化学及电芯材料
原材料
回收
软件及分析

产业价值链 | 电池行业价值链内循环

全球电池行业价值链的扩张正在带动上下游多个行业的经济发展



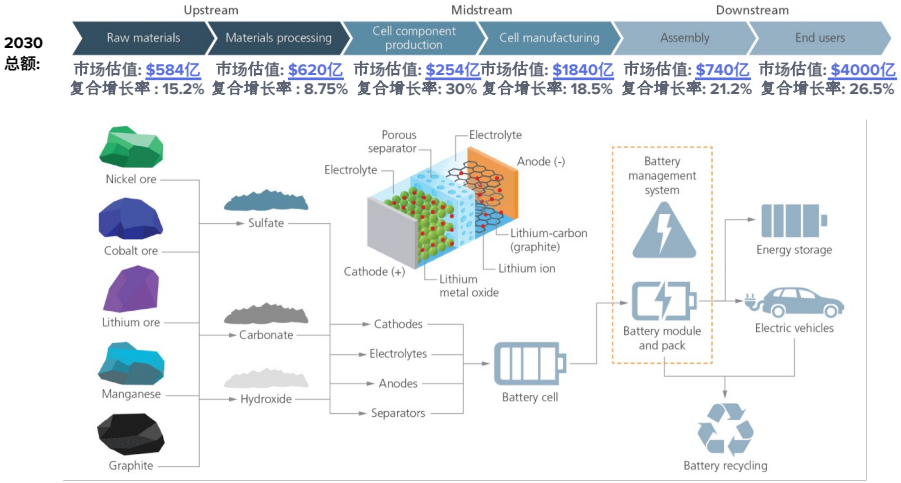
1. 活性材料
2. 电芯和电池包
3. 终端应用
4. 电池维修和翻新
5. 上游矿业和电池回收
6. 梯次利用
7. 分布式储能
8. 集中式储能
9. 车辆到电网
10. 智慧充电
11. 都会新能源车
12. 共享新能源交通

Source: McKinsey Li-ion Battery Demand Forecast 2030

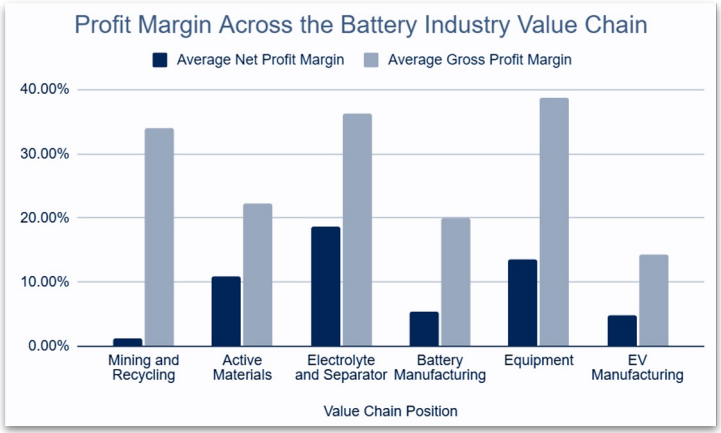
产业价值链 | 电池行业价值链 & 利润概况

电池行业价值链各环节的利润和收入差异显著

- 垂直整合的增长趋势模糊了上游、中游和下游领域之间的传统界限。
- 电芯和新能源汽车生产企业占领了供应链的主要部分（中游和下游）。 尽管与零部件业务相比净利润率较低，但它们凭借雄厚的经济实力和规模仍占据主导地位。



- 采矿，回收、电解液，隔膜以及设备生产公司由于销售成本较低而享有较高的毛利率。 然而，由于运营费用较高（例如高额的前期投资、开采牌照、开采许可），采矿和回收公司的净利润率较低



2017-2022年中国上市公司财务报告数据

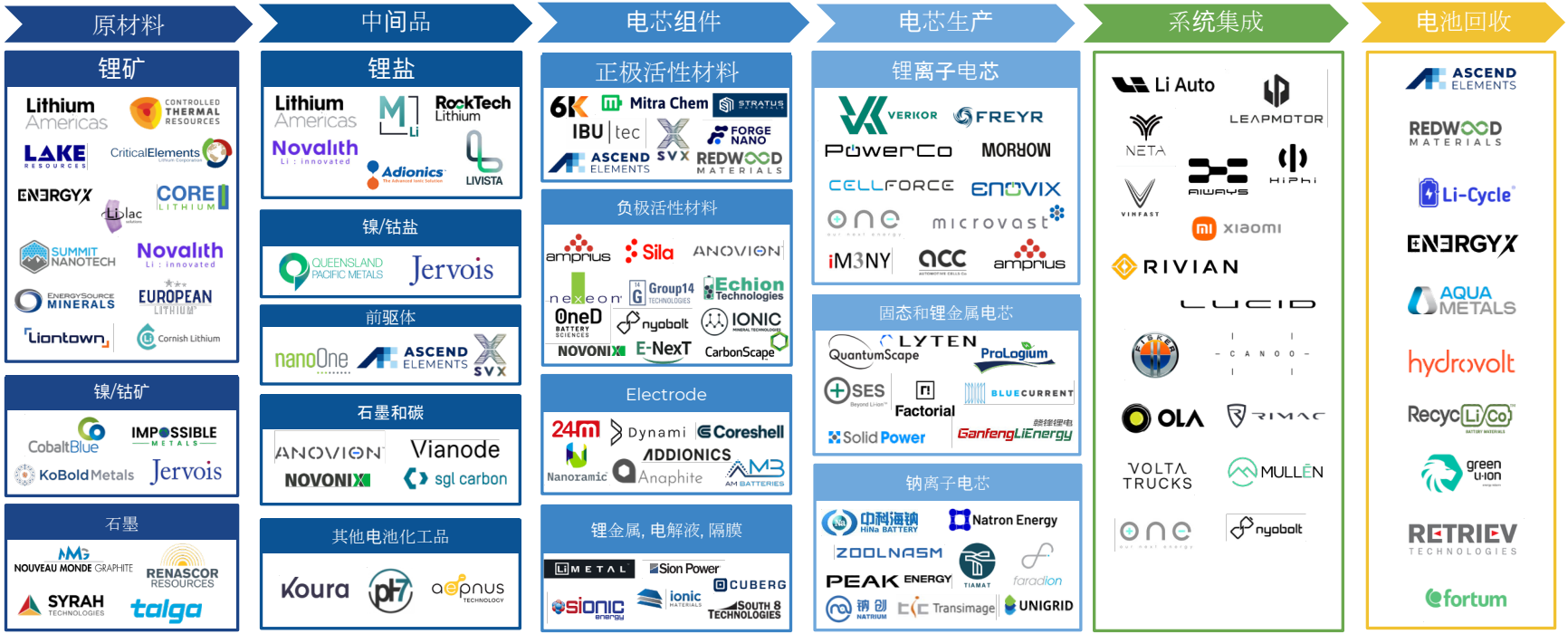
Source: L.E.K. Research

产业价值链 | 市值/估值超过 10 亿美元的老牌企业和上市公司概览*



* estimated as of December 2023

产业价值链 | 市值/估值超过3000万美元的初创公司和小型企业概览*



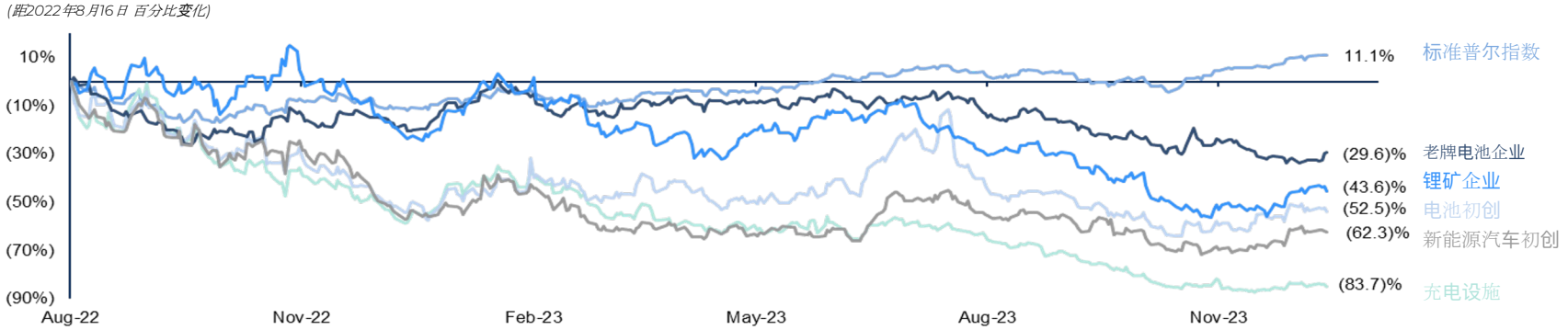
* estimated as of December 2023

VF | VOLTA FOUNDATION


年度事件
产业价值链
金融
电芯成本
电芯和电池组制造
应用
安全
化学及电芯材料
原材料
回收
软件及分析

金融 | 公募市场表现

尽管通过了《降低通货膨胀法案》，但在宏观经济环境以及利率上升对硬科技公司的影响的背景下，大多数上市电池公司的股价在2023年都表现不及预期。



企业分类	老牌电池企业	锂矿企业	电池初创	新能源汽车初创	充电设施
关键驱动因素	2023 年下半年一些传统车企的新能源汽车需求低于预期, 2024 年市场悲观情绪为主	LCE 现货价格较 2022 年高点下跌约 70%	高额的初始投资成本以及投产/扩产的延误	扩产和达产的期限，低于预期的需求	利用率低、不可预见的维护问题、用户体验差
代表企业	LG Energy Solution, BYD, CATL, SAMSUNG SDI	SIGMA LITHIUM, Albemarle, Standard Lithium, Livent, PIEDMONT LITHIUM	QuantumScape, FREYR, nanoOne, microvast, ENOVIX	RIVIAN, polestar, LUCID, VINFAST	chargepoint, EVgo, blink, wallbox, TRITIUM

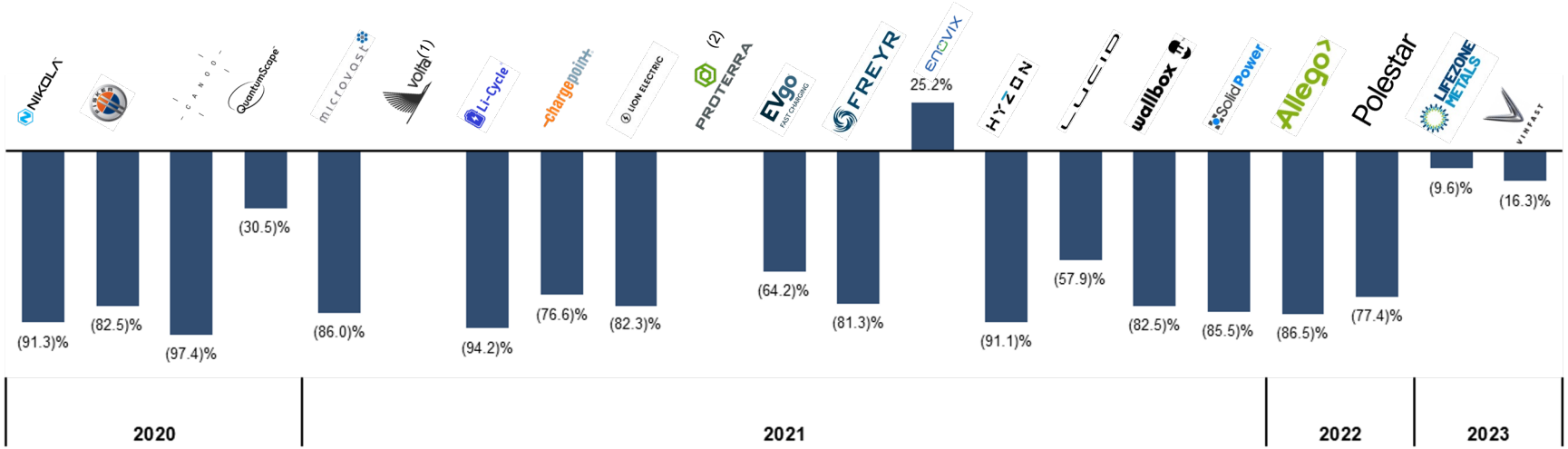
Source: CapIQ (12/29/2023), Press Releases (1)Index weighted by market cap

金融 | 特殊目的收购公司(SPAC)表现

电池相关的SPAC表现与电池股权资本市场一致。

能源转型板块下**SPAC**交易价格相对于初始票面价值
(与 10 美元 SPAC 面价相比的变化百分比)

加息导致资本成本上升，导致投资者从资本要求较高的尚未盈利的公司撤资



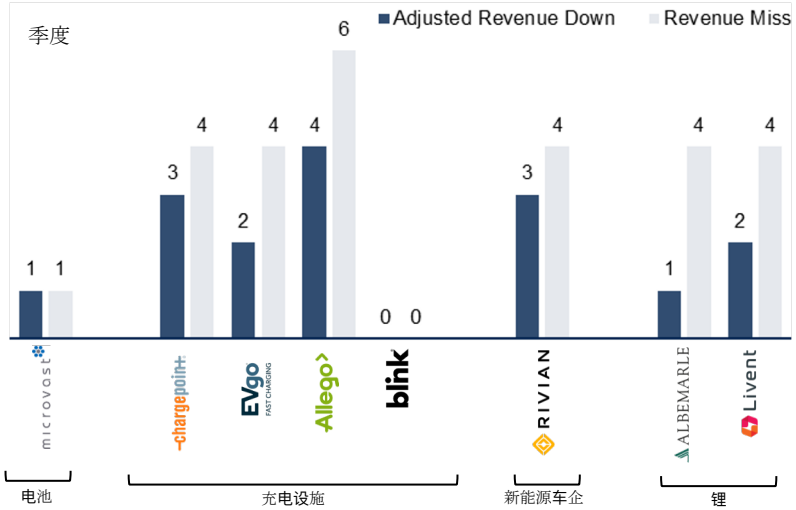
Source: CapIQ 12/29/2023 (1) Jan 2023, announced that Shell would acquire Volta (2) Nov 2023, Proterra sold to Volvo and Phoenix Motors

| 电池行业上市企业面临的难题

与投资者的有限沟通以及投资者的悲观情绪拖累了电池股

2022 年以来的收入预估调整和失误

许多电池企业一直限制与投资者就增长速度进行沟通，对自己发表的声明持谨慎态度，导致华尔街分析师与公司业绩脱节



自 2023 年初以来空头的变化（占公众持股量的百分比）

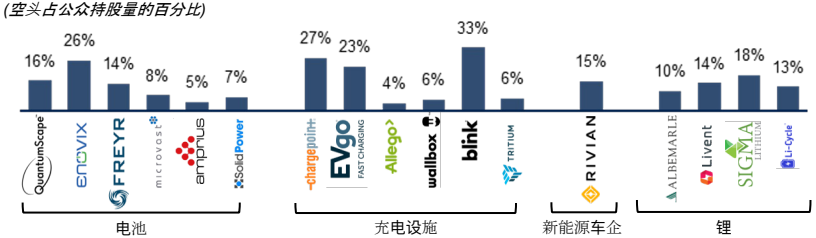
13家公司各自的空头占公众持股量的比例有所上升，表明市场参与者日益浓厚的悲观情绪



现有的空头

4家公司空头兴趣超过20%，表明公募市场对前景高度悲观

(空头占公众持股量的百分比)



VF | VOLTA FOUNDATION

Source: CapIQ(12/29/2023), Wall Street Research, Press Releases (1) Chart reflects companies which had revenue greater than zero for the period. "Revenue Revised Down" reflects a greater than 5% decrease in the analyst estimate in revenue 3 months prior to earnings release to the estimate the day of earnings. "Revenue Miss" reflects a greater than 5% actual revenue miss from the analysts estimates prior to quarterly reporting

金融 | 选择电池股票投资

公募市场萎靡的表现和高利率不利于融资环境

公募股

chargepoint	QuantumScape	EVgo FAST CHARGING	LUCID
$1.75亿	$3亿	$1.25亿	~30亿
以市价发行 战略增强负债表的健康值	二次发行 Working capital and GCP	二次发行 GCP	二次发行 Working capital and GCP
2023年10月	2023年8月	2023年5月	2023年5月

增长股

one our next energy	REDWOOD MATERIALS	VERKOR	LYTEN
$3亿	$10亿	€8.5亿/ €6亿	$2亿
B轮融资 PMV $1.2bn	D轮融资 PMV >$5.0bn	C轮或者借贷融资 总融资 > €2bn	B轮融资 总融资 > $400mm
2023年2月	2023年8月	2023年9月	2023年9月

- 美国的资本市场的交易量从 2022 年约 1000 亿美元的近期历史低点反弹至 2023 年约 1700 亿美元。
- 唯一与电池相关的首次发行是 VinFast 和 LifeZone Metals 去SPAC化。
- 23 年上半年环保科技股的风险投资融资额下降 40%。
- 股份增发更青睐于按市价发行
- 机构能够随着时间的推移逐渐向市场出售股票，而不是通过场外交易大量出售股票
- 大型的的并购交易包括:

并购方		被并购方
REDWOOD MATERIALS	2023年9月	REDUX
arcadium lithium	2023年5月	Allkem Livent
Shell	2023年1月	volta
VOLVO	2023年11月	PROTERRA

VF | VOLTA FOUNDATION

Source: Deal Logic, Public Filings, Press Releases, CTVC | PMV: Post Money Valuation; GCP general corporate purpose (1) $1.2bn in in the over-the-counter market sale of 173,544,948 shares common stock as well as $1.8bn sale of 265,693,703 shares of common stock to Ayar Third Investment Company (2)Reflects the sale of the battery business

金融 | 选择对电池和电动汽车进行信贷投资

可转换债券和绿色债券为电池公司获得资本提供了更多渠道

northvolt CAD 2亿 可转换债券 **使用条件**: 蒙特利尔郊外的电池工厂 2023年11月	RIVIAN $17亿 3.625% 绿色可转换债券 **使用条件**: 清洁交通相关项目 2023年10月	northvolt $12亿 可转换债券 **使用条件**: 欧洲和北美扩张 2023年8月	RIVIAN $15亿 4.625% 绿色债券 **使用条件**: 清洁交通相关项目 2023年8月
 $3.4亿 0.0%可转换债券 **使用条件**: GCP、电池组、未来发展 2023年7月	ENOVIX $1.5亿 3.0%可转换债券 **使用条件**: 马来西亚生产线 2023年4月	northvolt $11亿 可转换债券 **使用条件**: 欧洲电池制造 2022年7月	chargepoint $3亿 3.5% / 5.0% 实物支付可转换债券 **使用条件**: 支持增长提案 2022年8月

- 由于股市环境困难和业务状况日趋成熟，企业发行人探索了债务和绿色债券等替代融资选择。
- 可转换债券为发行人提供了较低的资金成本，并推迟了可能的股权稀释。 考虑到嵌入股权的选择性，可转换债券的发行人能够以相对于普通债券的折扣价发行。
- 私人信贷一直是另类资产管理公司不断增长的资本基础。 2023 年，几家大型基金私人信贷/灵活资本基金宣布致力于清洁转型。 这些新资金可能会作为融资来源来支持电池行业的大量资金支出需求。
- 预计到 2030 年，410 个计划的电池超级工厂产能将达到 9,920GWh（高于 2022 年的 1,722GWh），对获得大量低成本资金的需求将越来越大

Source: Public Filings, Press Releases,

金融 | 私募投资者&投资群体

自 2021 年 1 月以来，207 家早期风险投资公司、企业风险投资公司、成长型股权基金、基础设施基金和私募股权基金管理的私人气候资产 (AUM) 总额为 1,210 亿美元

投资人类型	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	对未产生收入/未生产产品的公司进行早期风险投资 种子轮 – A 轮	对未盈利公司的早期投资。 可能与风险投资公司母公司产生协同效应。企业风险投资有助于验证新技术	已经产生收益，或者有收入未入账的企业 B轮 – D轮	控制对具有明确现金流状况和清晰客户关系的成熟公司的投资	以长期承购合同为基础的基于重资产项目的融资	长期投资者，肩负着推动气候可持续发展的国家使命
投资群体	Arcterra Ventures, Active Impact Investments, AeraVC, Anzu Partners, Avaana, aiim, Baruch Future Ventures, Breakthrough Energy, ClearSky, Closed Loop Partners, Earthshot Ventures, Ecosystem Integrity, eCapital Entrepreneurial Partners, Energy Impact Partners, Keyframe, material impact, Prelude Ventures, Riverstone Capital Group, Tiger Global, +VOLTA	ABB Technology Ventures, bp ventures, BMW i Ventures, ENGIE New Ventures, GM Ventures, Chevron Technology Ventures, Hitachi Inspire the Next, Porsche Ventures, Hyundai Cradle, LG Technology Ventures, Microsoft Climate Innovation Fund, Shell Ventures, Solvay Ventures, woven capital, Samsung Venture Investment, TDK Ventures, Toyota Ventures, The Climate Pledge, Vale Ventures	Breakthrough Energy, Baillie Gifford, catalus, Decarbonization Partners, Energy Impact Partners, Fifth Wall, InvestCorp, Koch, MKB, s2g ventures, SoftBank Vision Fund, TPG Rise Climate, +VOLTA	Apollo Clean Energy Transition, Ara Partners, Arcline Investment Management, Cleanhill Partners, ECP	CIP Copenhagen Infrastructure Partners, EQT, Generate, KKR climate-related investment fund, Vision Ridge Partners, zouk	ADIA, CPP Investments, GIC, KIA, Temasek, QIA Qatar Investment Authority

Source: Pitchbook CTVC

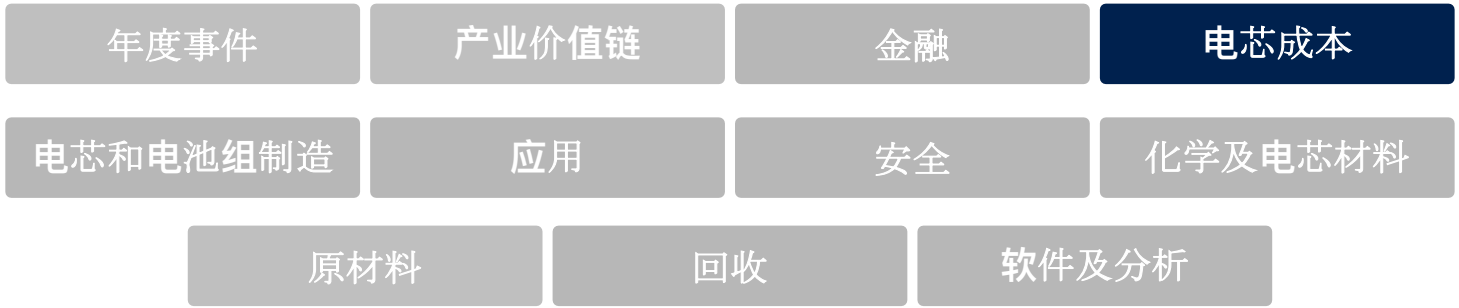
VF | VOLTA FOUNDATION

金融 | 巨型基金私募资本公告

按数量计算，大型基金（5 亿美元以上）约占 2023 年基金的 19%，但占总资产管理规模的约 70%

	APOLLO Clean Energy Transition	KKR Global Climate	Brookfield Emerging Markets Transition	TPG RISE CLIMATE	JUST CLIMATE by generation	NGP	Morgan Stanley 1GT climate
发行时间	2023春	2023夏	2023冬	2022春	2023夏	2023夏	2023春
数额	$40亿	N/A	>$10亿	$73亿	$15亿	$7亿	$5亿
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

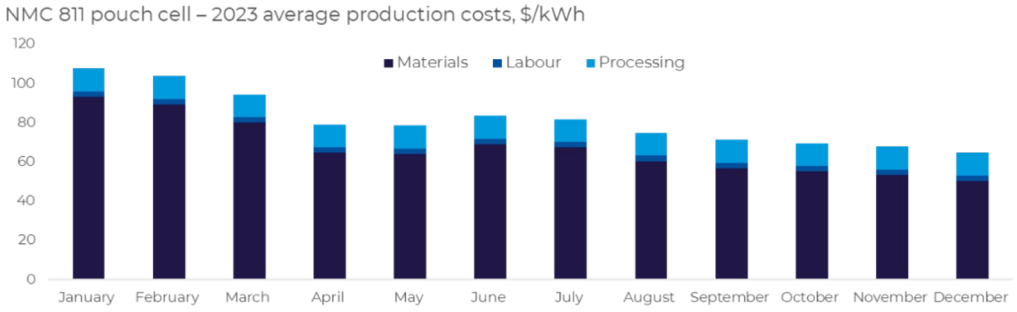
Source: Press Releases, CTVC


年度事件
产业价值链
金融
电芯成本
电芯和电池组制造
应用
安全
化学及电芯材料
原材料
回收
软件及分析

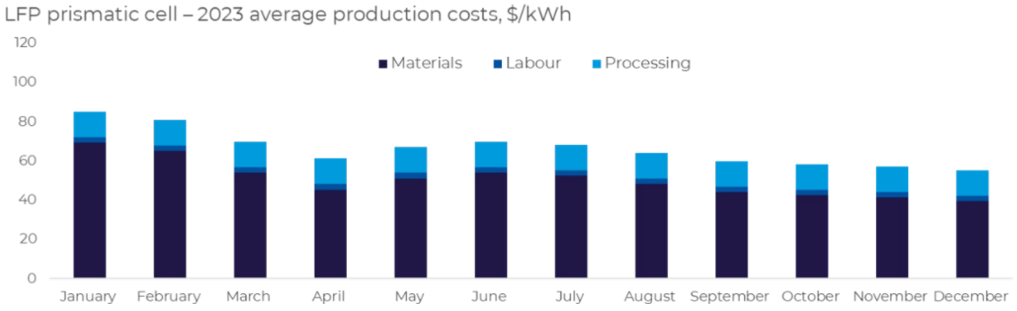
电芯成本 | 2023年电芯成本

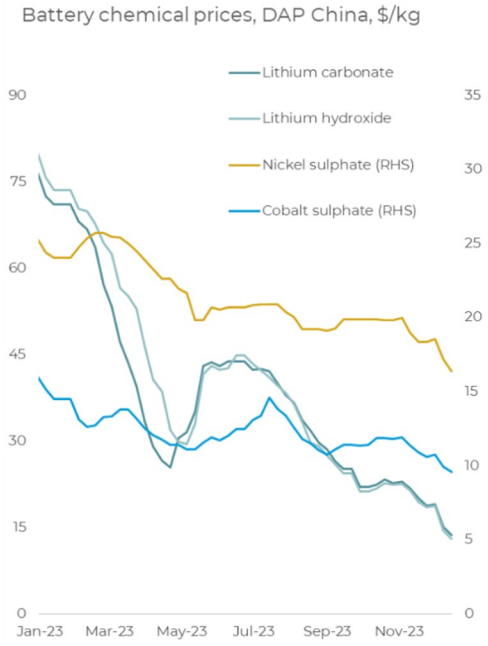
2023年电芯生产成本因为原材料价格的下跌持续下降

三元
高镍8系



磷酸铁锂





Source: CRU Group

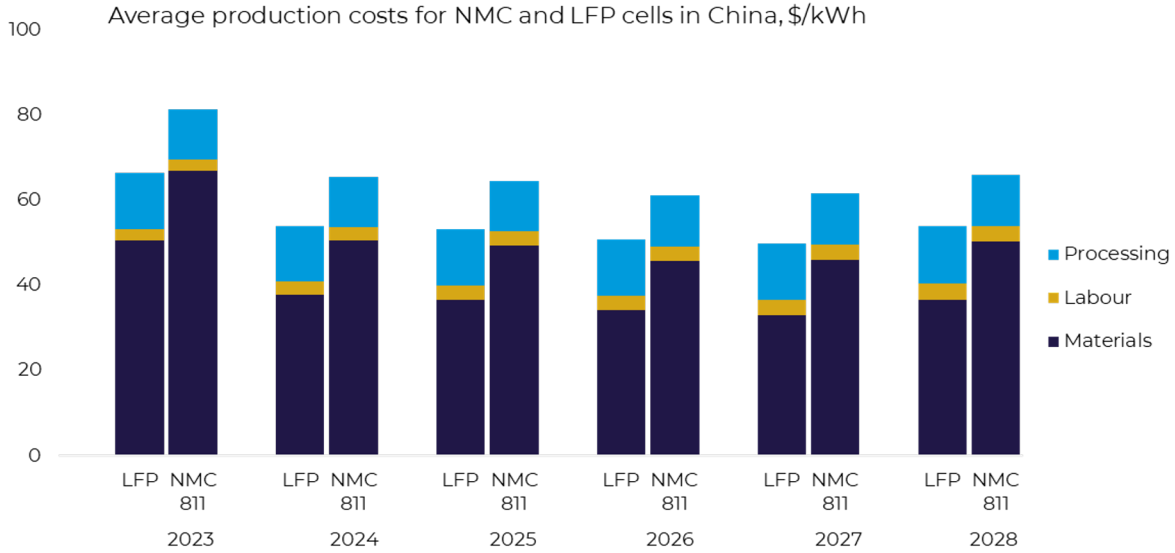
VF | VOLTA FOUNDATION

Cell cost

电芯成本 | 电芯成本预测

电池成本预计到2027年为止将继续下降

原材料价格下跌导致中国平均磷酸铁锂电池生产成本到 **2028** 年将降至**55** 美元/千瓦时以下，平均三元高镍**8**系降至**65** 美元/千瓦时以下



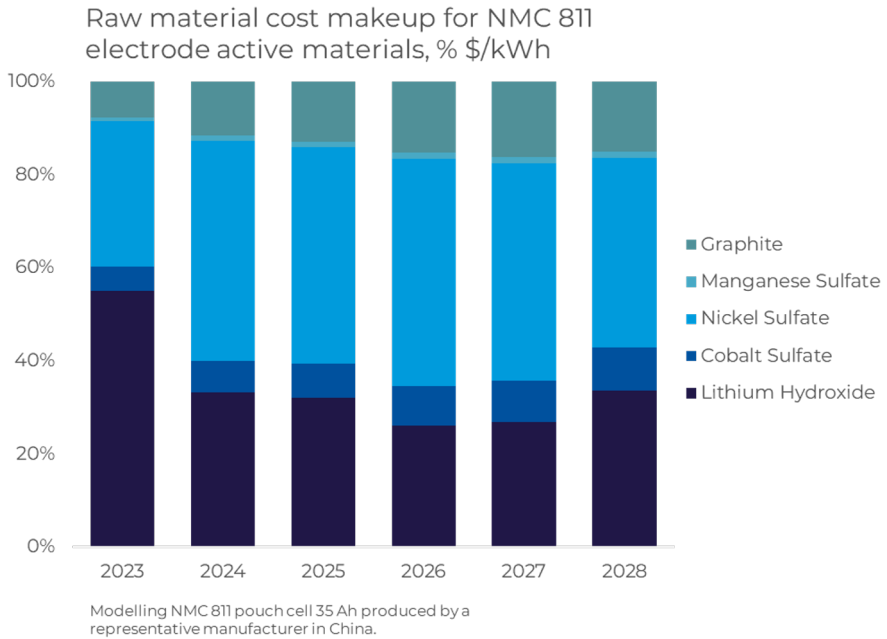
- 65 美元/千瓦时电芯成本意味着电池包成本低于 100 美元/千瓦时；电芯通常占电池包 成本的 70%，其余 30% 是电池包的机械成本。
- 成本前景主要受到锂供需价格动态的影响
- 中国的成品率已经接近实际极限（~99%）
- 中国境外的加工（也包括电力）、劳动力和材料成本普遍较高。 例如，2023 年在美国制造 三元高镍8系软包电池的成本比中国高出约 80%
- 提高良品率，量产以及补贴将有助于提高海外生产企业的成本竞争力

Source: [1] CRU Group [2] BloombergNEF

VF | VOLTA FOUNDATION

电芯成本 | 按材料划分的正极成本明细

硫酸镍将成为高镍正极的主要成本驱动因素



三元电池的成本对镍价波动更加敏感

- 为了提高能量密度，制造商正在向在新型三元正极中采用越来越多的镍
- 廉价的印尼MHP的崛起减轻了下游买家的镍价风险，但这也有其挑战，从其他国家采购镍会产生额外的成本
- 如果锂价保持低位，锂对电池成本的相对影响将会降低。 到本世纪末，锂价的回升代表着最终将恢复供不应求的市场预期，但这种情况存在风险，并且假设镍价也不会发生变化

Source: CRU Group

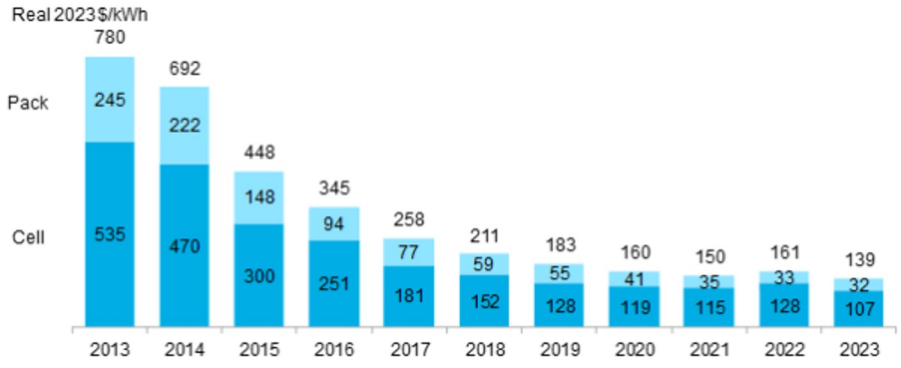
VF | VOLTA FOUNDATION

电芯成本 | 2023年电池包价格

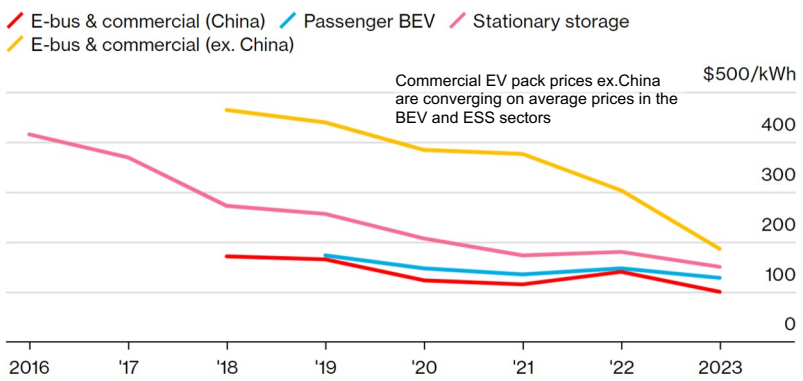
2022年电池价格空前上涨后恢复长期下降趋势

- 平均电池组价格下降 14%，创历史新低 139 美元/千瓦时
- 这主要是由于原材料和配件价格下跌，并且电池供应过剩造成
- 中国的价格最低，其次是美国，然后是欧洲。 中国市场竞争激烈。
- 磷酸铁锂电池比三元电池便宜32%

电池包（非电芯部分）与电芯的价格比最近稳定在约 **1:5**



各应用场景的电池价格同步下跌



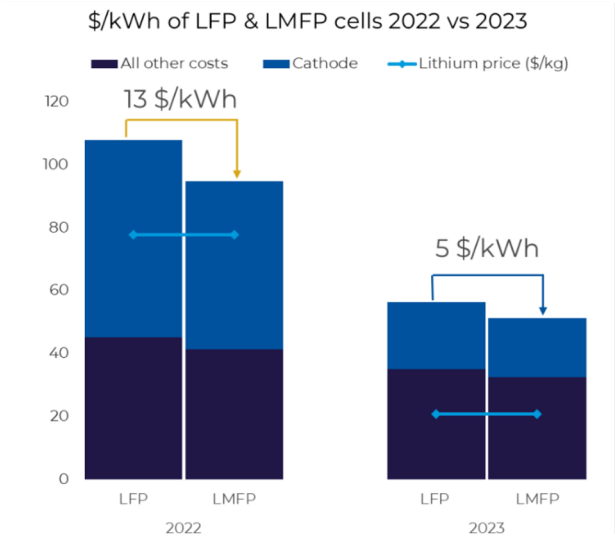
Source: Bloomberg NEF

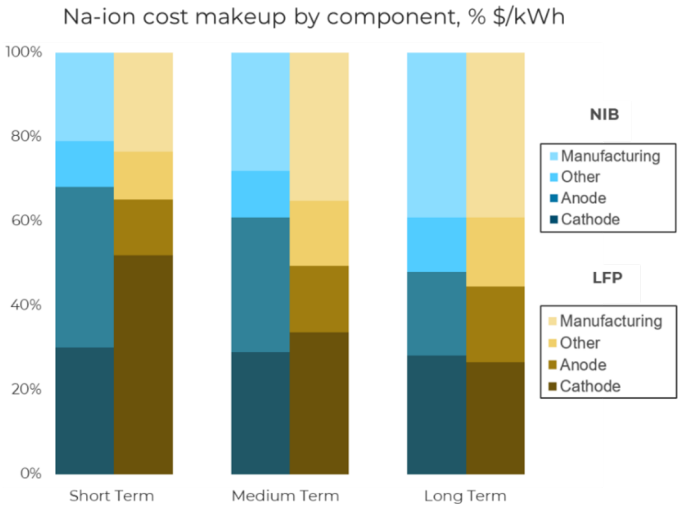
VF | VOLTA FOUNDATION

电芯成本 | 磷酸锰铁锂(LMFP) & 钠离子电池(Na-ion)

LMFP成本优势随着锂价的上涨而增加。 钠离子成本结构以负极为主

- 在锂价较高的情况下，LMFP-LFP 成本差异更加显着
- 使用固相生产路线也比液相生产路线更具成本效益
- 由于硬碳供应链不成熟，推高了负极的成本，使钠离子尚不具备锂离子的成本竞争力。





Short term = 2023 - 2024
Medium term = 2025 - 2028
Long term = 2029+

Source: CRU Group [1], [2]

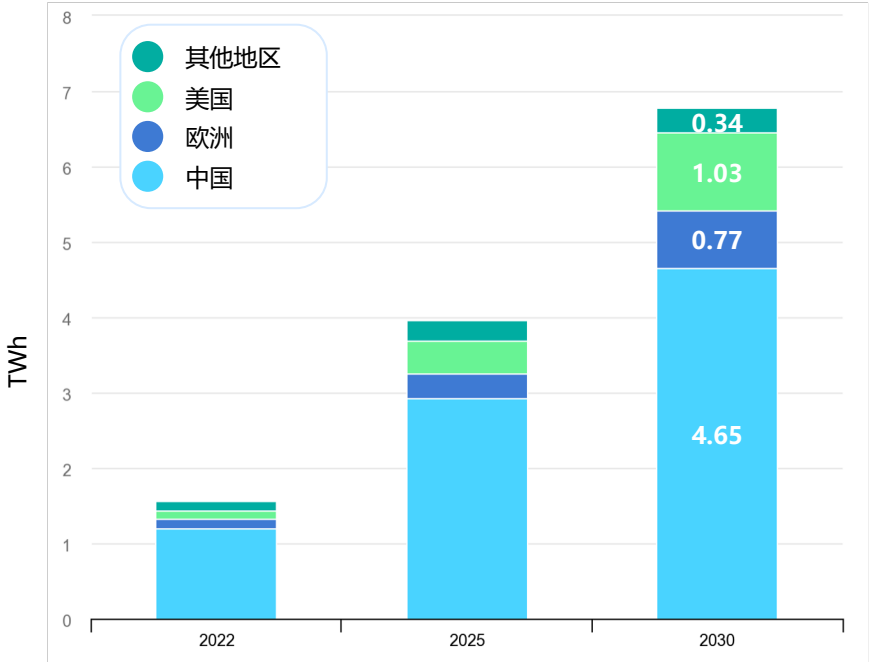
VF | VOLTA FOUNDATION

年度事件 | 产业价值链 | 金融 | 电芯成本

电芯和电池组制造 | 应用 | 安全 | 化学及电芯材料

原材料 | 回收 | 软件及分析

锂电池产能的地理分布（现状与未来）



锂电池产能将稳步增长直至2030年

电动汽车(EVs)和能源存储系统(ESS)是促进锂电池产能迅速增长的两个主要应用领域。

北欧电池公司(Northvolt)在电池产能方面的投资强劲；最近筹集了50亿美元用于扩大电池产能。

根据当前的公告，预计到2030年，锂电池全球产能将达到约7TWh，其中中国将占产能的68.5%。

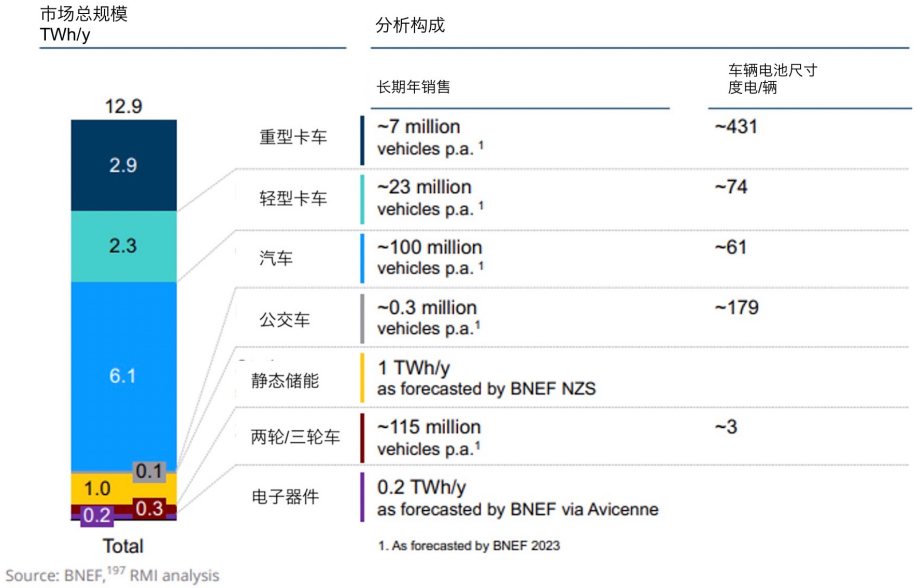
目前，北美和欧洲的大部分产能主要集中在NMC(镍锰钴)电池上。

北美和欧盟在过去一年内已经概述了官方指导意见，以确保这些关键矿物的来源更加安全，并发展更加可持续的供应链。

来源: IEA (Geographic Cell Production Capacity), S&P Global

需求峰值与生产能力

图 33：峰值电池市场总规模



Source: BNEF,[197] RMI analysis

零排放政策：关键因素

到2050年实现零排放的设想（NZE设想）是一个规范性设想，展示了全球能源部门实现到2050年二氧化碳零排放的路径，先进经济体将比其他国家更早实现零排放。该设想还满足了关键的与能源相关的可持续发展目标（SDGs），特别是到2030年实现普遍能源获取和大幅改善空气质量。它与限制全球温度上升至1.5°C（至少有50%的概率）一致，符合政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告中评估的减排需求。

在到2050年实现零排放的设想（NZE设想）中，新的内燃机（ICE）汽车销售在2035年停止。

哪些政府将采纳和执行NZE设想，以及这将如何最终确定电池需求和产能峰值的时机，仍有待观察。

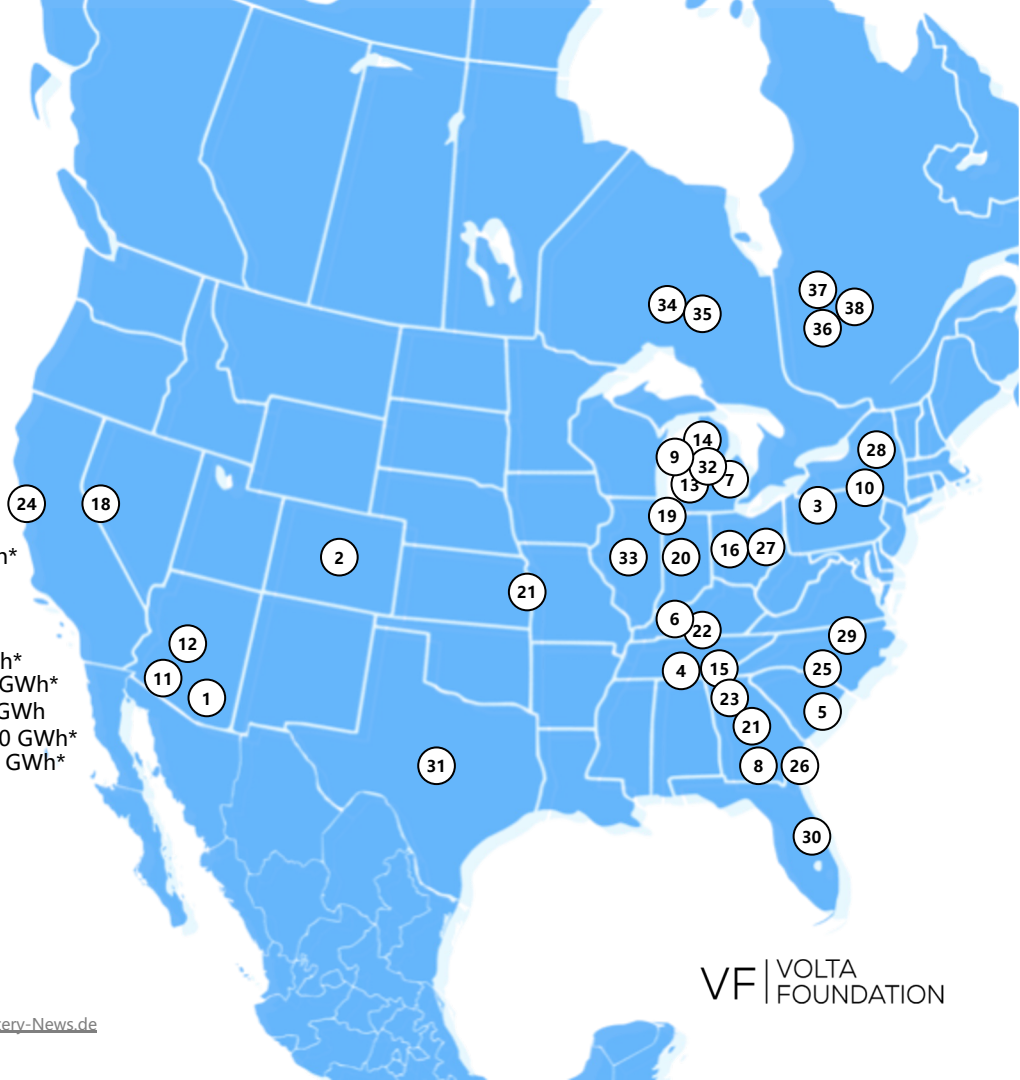
来源: RMI X-Change Batteries

电池和电池组制造 | 电池超级工厂 | 北美

电池超级工厂 - 1,564 GWh产能

美国
1 ABF，美国，15 GWh*
2 Amprius Tech，美国，10 GWh*
3 Electrovaya Tech，美国*
4 远景 AESC，美国，3 GWh
5 远景 AESC，美国，30 GWh*
6 远景 AESC/梅赛德斯-奔驰，美国，40 GWh*
7 福特/CATL，美国，20 GWh*
8 FREYR，美国，34 GWh*
9 Gotion，美国*
10 IM3NY/MAGNIS，美国，38 GWh*
11 KORE Power，美国，12 GWh*
12 LGES，美国，27 GWh*
13 LGES，美国，25 GWh*
14 Ultium Cells，美国，50 GWh*
15 Ultium Cells，美国，70 GWh
16 LGES/本田，美国，40 GWh*
17 松下，美国，39 GWh*
18 松下/特斯拉，美国，100 GWh*
19 三星SDI/通用汽车，美国，30 GWh*
20 三星SDI/Stellantis，美国，67 GWh*
21 SK，美国，31.3 GWh
22 SK/福特，美国，86 GWh*
23 SK/现代，美国，35 GWh*
24 特斯拉，美国，10 GWh
25 丰田，美国，30 GWh*
26 LGES/现代，美国，30 GWh*
27 Ultium Cells，美国，41 GWh
28 Electrovaya，美国*
29 Forge Battery，美国* 1-3 GWh
30 SAFT，美国，2 GWh*
31 特斯拉，美国，100 GWh
32 Our Next Energy，美国，20 GWh*
33 国轩，美国，40 GWh*

加拿大
34 LGES/Stellantis，加拿大，45 GWh*
35 PowerCo, 圣托马斯，加拿大，90 GWh*
36 Lion Electric, 魁北克，加拿大，5 GWh
37 STORMVOLT, 魁北克，加拿大，10 GWh*
38 Northvolt, 蒙特利尔，加拿大，60 GWh*



**未运营，未决定投产时期*

来源: Charged: NA EV Battery Supply Chain, Benchmark Minerals, Felt: Global Battery Factory Database, Battery-News.de

VF | VOLTA FOUNDATION

电池和电池组制造 | 电池超级工厂 | 欧洲

电池超级工厂 - 1,897 GWh 产能

法国
1 ACC，40 GWh*
2 远景 AESC/雷诺，30 GWh*
3 Verkor/雷诺，50 GWh*
4 Prologium，48 GWh*

德国
5 ACC，40 GWh*
6 宁德时代，14 GWh*
7 Leclanche，2.5 GWh
8 Northvolt，60 GWh*
9 蜂巢能源，24 GWh
10 蜂巢能源，16 GWh*
11 特斯拉，100 GWh*
12 PowerCo，40 GWh*

意大利
13 ACC，40 GWh*
14 ITALVOLT，70 GWh*

葡萄牙
15 中航锂电，45 GWh*

荷兰
16 Eurocell，1 GWh

瑞典
17 Northvolt，60 GWh*
18 沃尔沃*
19 NOVO，50 GWh*

匈牙利
20 宁德时代，100 GWh*
21 Cellforce Group，10 GWh*
22 亿纬锂能，28 GWh*
23 三星SDI，40 GWh*
24 SK，47.3 GWh*

挪威
25 Elinor*
26 FREYR，29 GWh*
27 Morrow，43 GWh*
28 Beyonder，10 GWh*

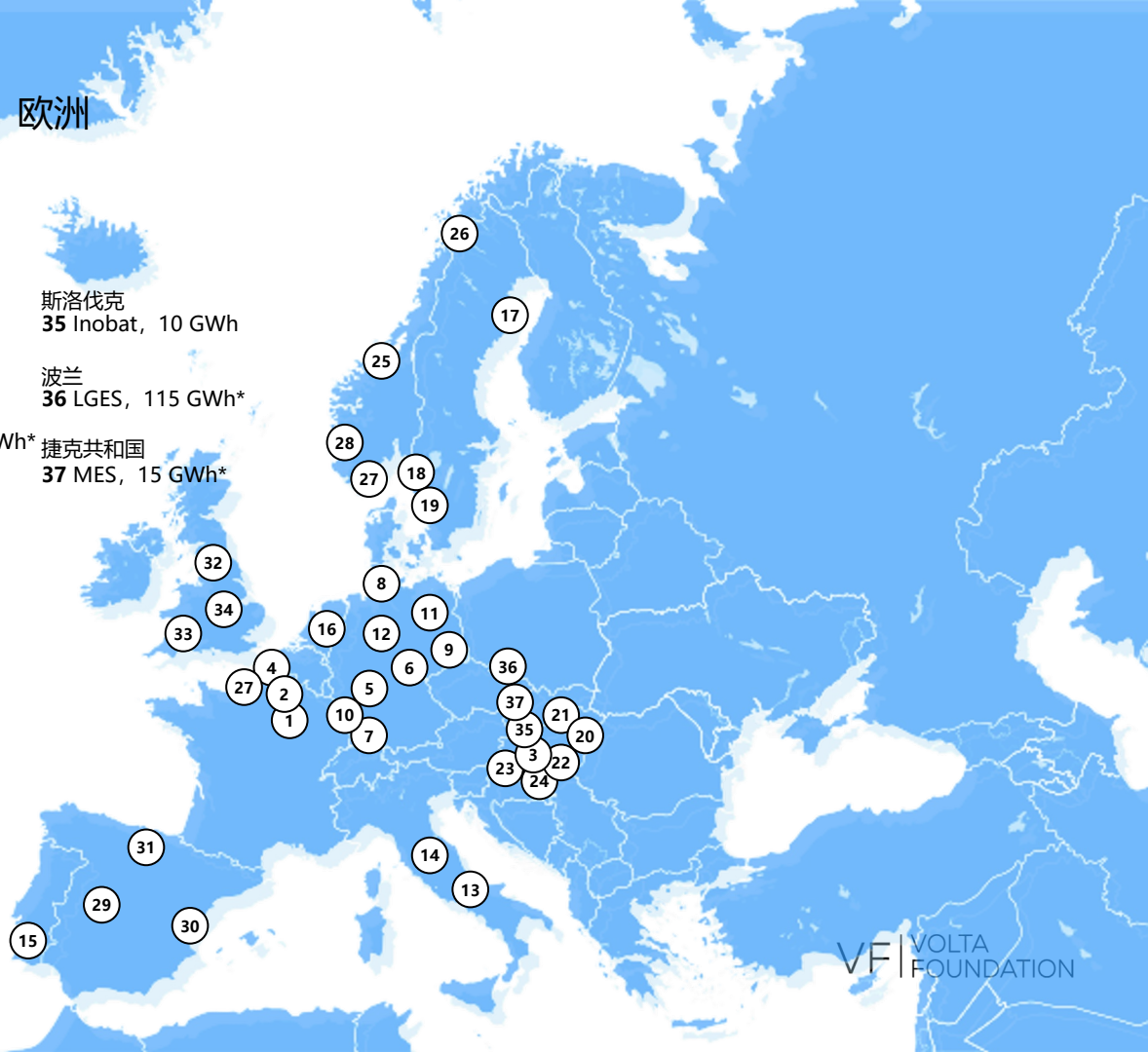
西班牙
29 远景 AESC，50 GWh*
30 PowerCo，60 GWh*
31 Basquevolt，10 GWh*

英国
32 远景 AESC，35 GWh*
33 塔塔，40 GWh*
34 AMTE Power，10 GWh

斯洛伐克
35 Inobat，10 GWh

波兰
36 LGES，115 GWh*

捷克共和国
37 MES，15 GWh*



**未运营，未决定投产时期*

来源: Felt: Global Battery Factory Database, Benchmark Minerals, Battery-News.de

VOLTA FOUNDATION

电池和电池组制造 | 电池超级工厂 | 泛亚洲

电池超级工厂 - 2,691 GWh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*

土耳其
7 Aspilsan, 1 GWh*
8 Siro, Gemlik 20 GWh*

越南
9 Gotion, Vung Ang, 5 GWh*

泰国
10 EVE Energy, Thailand, 6 GWh*
11 GPSC, Map Ta Phut, 10 GWh*

印度尼西亚
12 CATL, Indonesia, 15 GWh*
13 LGES, Karawag, 10 GWh*

马来西亚
14 EVE Energy, Malaysia*
15 Samsung SDI, Seremban, 16 GWh*

韩国
16 Samsung SDI, Cheonan, 12 GWh*
17 LGES, Ochang, 35 GWh*
18 SK, Seosan, 5 GWh

日本
19 Prime Planet, Japan, 7 GWh*
20 Envision AESC, Kanagawa, 2.6 GWh
21 Envision AESC, Ibaraki, 18 GWh*
22 Panasonic, Osaka
23 Panasonic, Uchita, 10 GWh
24 Panasonic, Asonaka*

中国
详见下一页中国电池超级工厂



**未运营，未决定投产时期*

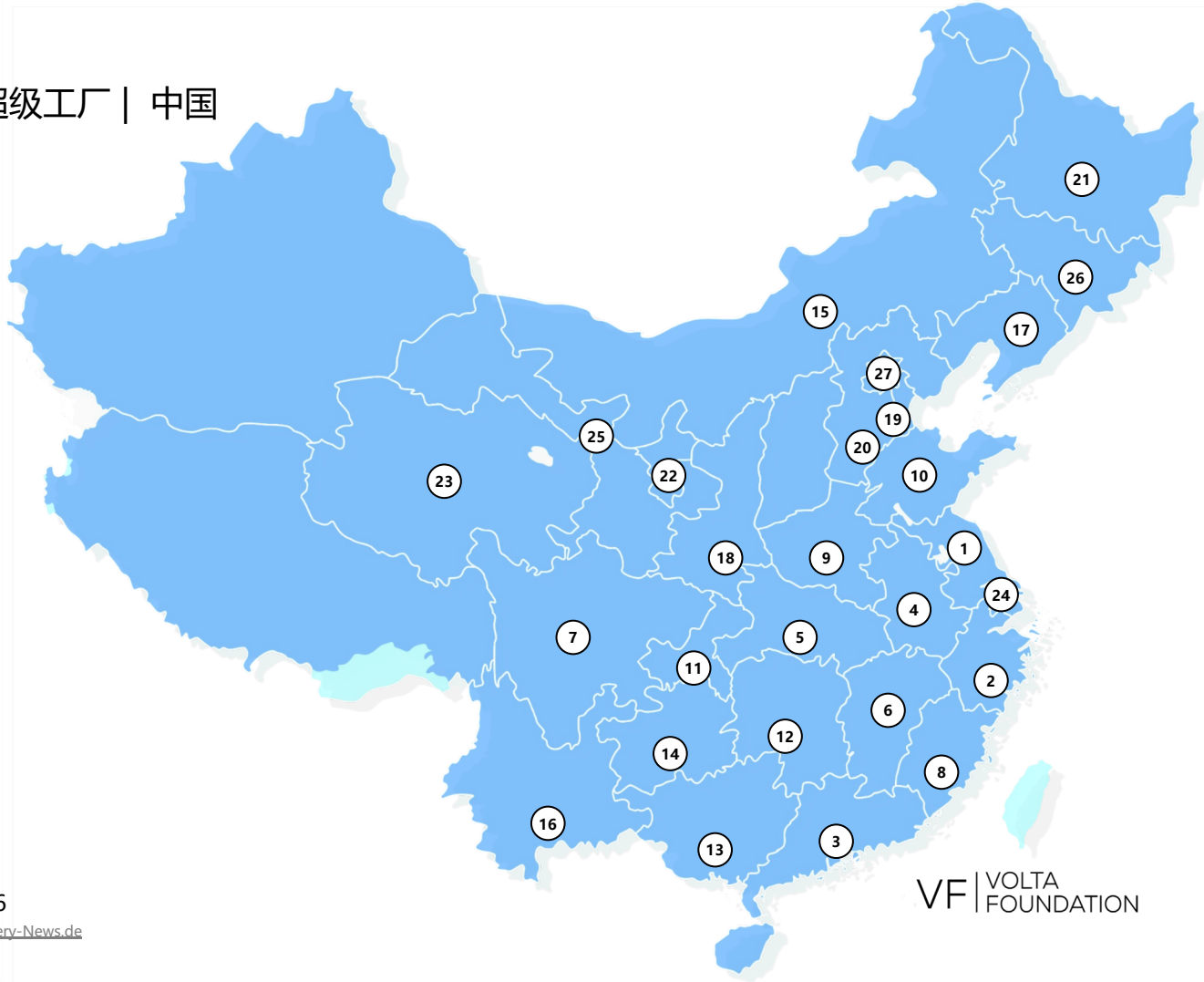
VF | VOLTA FOUNDATION

Source: Global Battery Factory Database, Benchmark Minerals, Battery-News.de

电池和电池组制造 | 电池超级工厂 | 中国

电池超级工厂- 2,293.5 GWh 产能

1 江苏 - 55
2 浙江 - 31
3 广东 - 28
4 安徽 - 24
5 湖北 - 24
6 江西 - 21
7 四川 - 15
8 福建 - 12
9 河南 - 12
10 山东 - 10
11 重庆 - 9
12 湖南 - 9
13 广西 - 8
14 贵州 - 4
15 内蒙古 - 4
16 云南 - 4
17 辽宁 - 3
18 陕西 - 3
19 天津 - 3
20 河北 - 2
21 黑龙江 - 2
22 宁夏 - 2
23 青海 - 2
24 上海 - 2
25 甘肃 - 1
26 吉林 - 1
27 北京 - 1



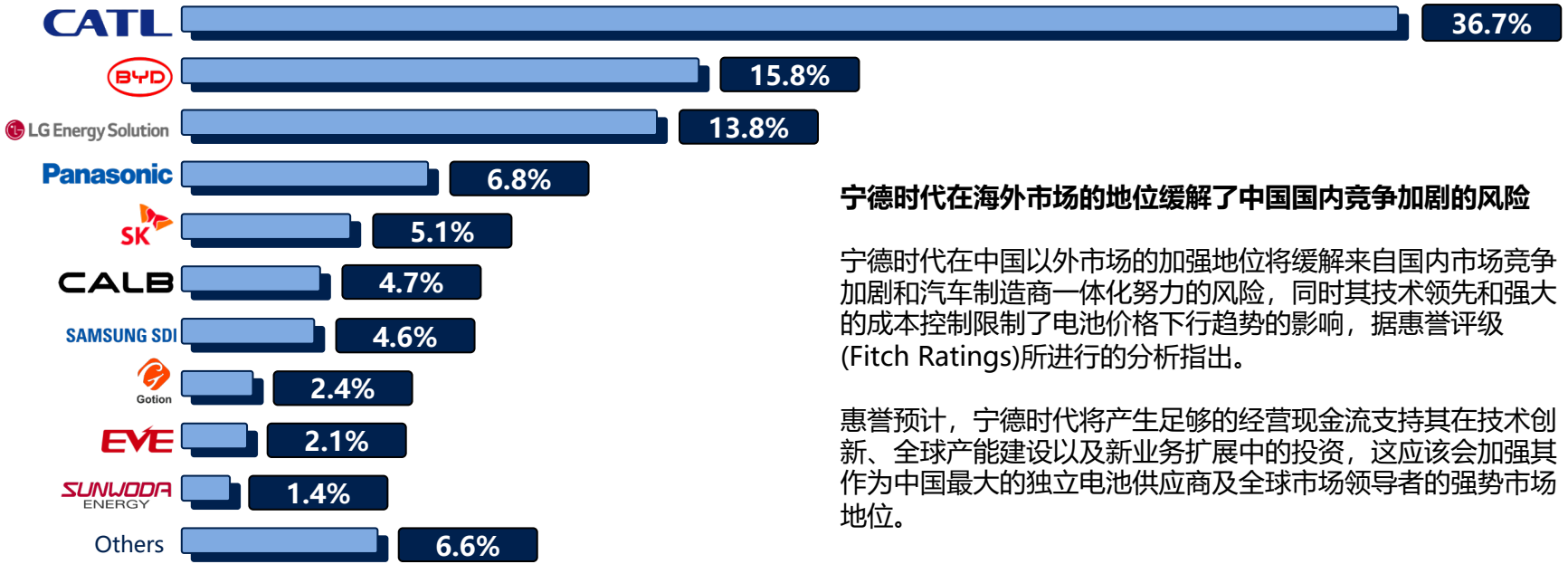
各省份电池超级工厂数量

Source: Global Battery Factory Database, Benchmark Minerals, Battery-News.de

VF | VOLTA FOUNDATION

电池和电池组制造 | 2023年电芯模组生产制造商市占率

宁德时代在全球电池电芯制造商市场份额中独占头筹



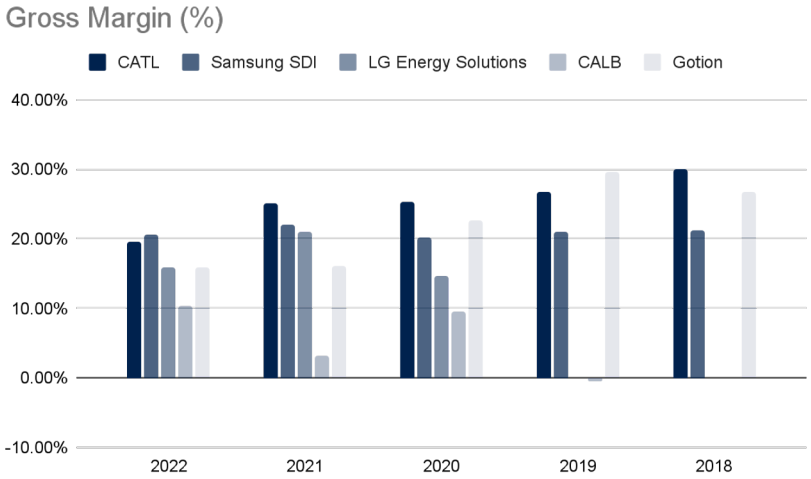
宁德时代在海外市场的地位缓解了中国国内竞争加剧的风险

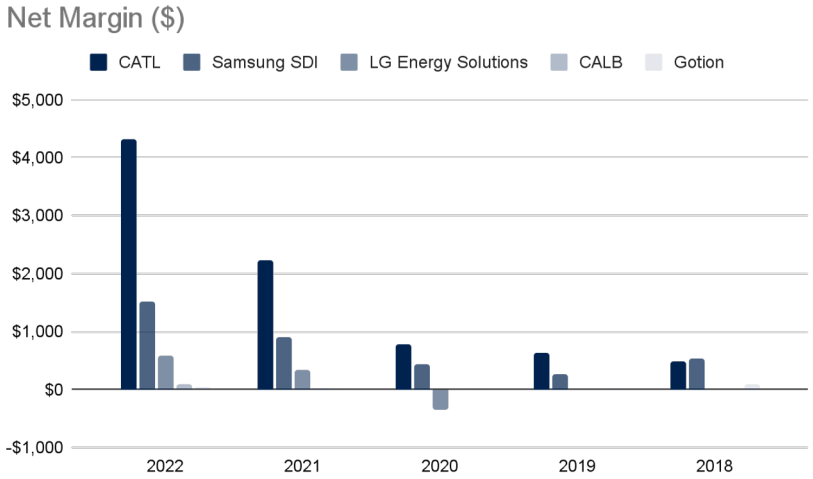
宁德时代在中国以外市场的加强地位将缓解来自国内市场竞争加剧和汽车制造商一体化努力的风险，同时其技术领先和强大的成本控制限制了电池价格下行趋势的影响，据惠誉评级(Fitch Ratings)所进行的分析指出。

惠誉预计，宁德时代将产生足够的经营现金流支持其在技术创新、全球产能建设以及新业务扩展中的投资，这应该会加强其作为中国最大的独立电池供应商及全球市场领导者的强势市场地位。

Source: SNE Research, CATL Market Dominance

电池电芯及电池组制造商利润率概览



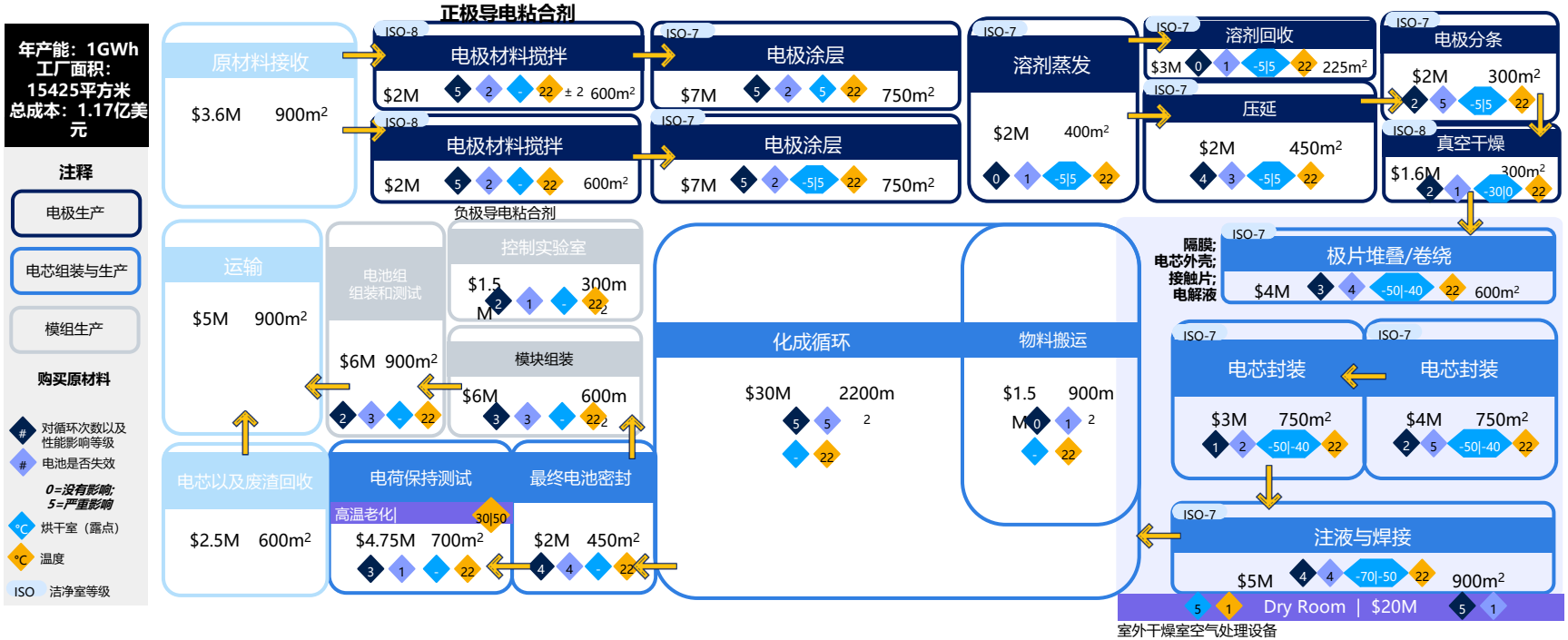


利润率分析

由于材料价格对中游供应商（如正极和负极制造商）的压力，过去5年毛利率稳步下降，进而降低了电池电芯和电池模组制造的利润率。值得注意的是，宁德时代的毛利率呈线性下降，从30%降至20%以下，而净利率由于规模经济的扩大直接导致销售成本以外的费用趋于平稳，因此净利率大幅扩张。

Source: CATL, Samsung SDI, LG Energy Solutions, CALB, Gotion

电池和电池组制造 | 锂电池制造工厂的典型布局



Source: ETN, RWTH-VDMA

VF | VOLTA FOUNDATION

在北美和欧盟，劳动力成本、供应商距离、垂直整合和政策都是造成资本支出成本约为亚洲制造商2倍的因素。

资本支出折旧约占电池成本的 25%，因此在北美和欧盟很难实现商业可行性。

为此，北美和欧盟制定了有利于制造商的政策，并支持可降低资本支出和每千瓦时生产成本的新制造技术。

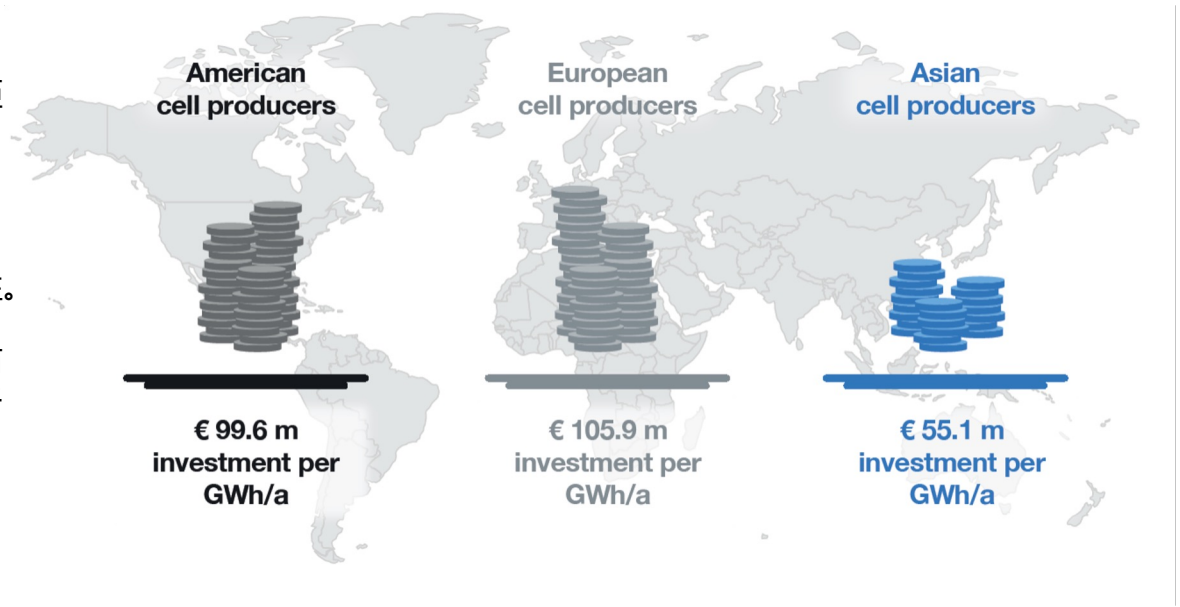
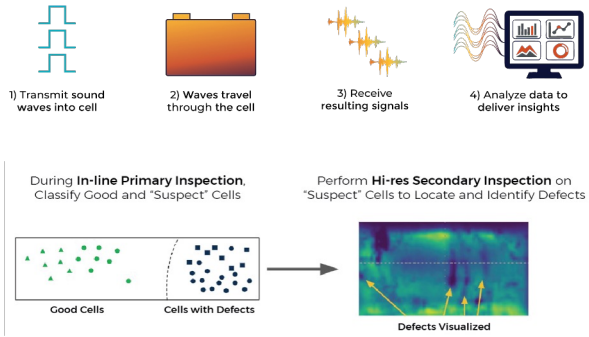


图 17： *按制造商属地划分，建立电池超级工厂的项目成本估算；*来源： *PEM RWTH Aachen University*

Source: Battery Monitor 2023

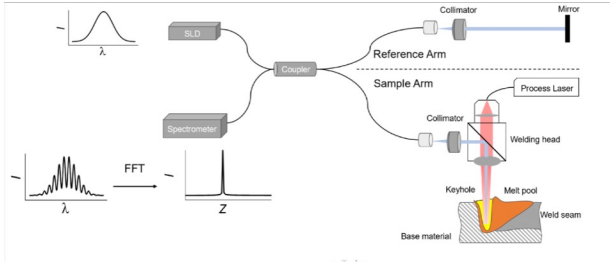
随着生产规模的不断扩大，关键质量特性的质检不足会给电池可靠性带来风险。2023 年，在线测量技术继续发展。

超声波传感器和机器学习用于检测内部缺陷，如电解液浸润质量



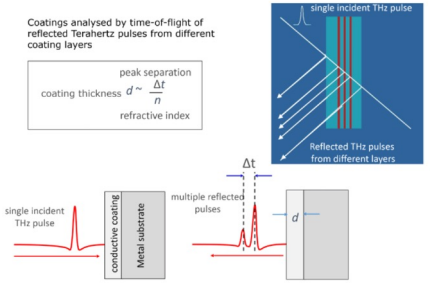
liminal TITAN ADVANCED ENERGY SOLUTIONS

利用OCT技术改善了激光焊接深度的在线测量



TRUMPF IPG PHOTONICS PRECITEC

超高频传感器(THz)用于同时测量电极厚度、负载和电导率



TeraView LUNA ThermoFisher SCIENTIFIC

Source: Liminal, OCT, Teraview, Luna



倍福助您提升电池生产效能

www.beckhoff.com.cn/battery-production

基于 PC 和 EtherCAT 的控制技术助您在汽车、电动汽车和电池行业领域保持领先地位：

- 实现所有制造、装配和生产过程的端到端自动化
- 所有控制功能集成在一个 PC 平台上，显著提高生产效率
- 具有高可扩展性和高模块化程度的自动化产品系列：工业 PC、I/O 系统、驱动技术、TwinCAT 自动化软件
- 高速 EtherCAT 现场总线用作通用的超高速通信系统
- 支持多种接口，可为设备设计提供最大的灵活性



倍福期待与您相约在展会现场。
2024，我们不见不散！

THE BATTERY SHOW EUROPE	10 号馆，10-G30 展台
THE BATTERY SHOW INDIA	5 号馆，B350 展台
THE BATTERY SHOW NORTH AMERICA	A–C 馆，3511 展台

New Automation Technology **BECKHOFF**

电池关键化学成分的制造工艺

Battery Talk: Battery Application Break Down 1/01/2024		Li-Ion (NMC811-Gr)		Li-Ion (NCA-Gr)		Li-Ion (LFP-Gr)		Li-Ion (LCO-Gr)		Li-Ion High Voltage (LNMO)		Lithium Metal (High Ni-Li)		Silicon (High Ni- Majority Silicon)		Sodium ion (NaMOx) **Not Commercial		Lithium Sulfur Battery (LSB) ** Not Commercial		Solid State Sulfidic Lithium Metal Anode **Not Commercial			Solid State Oxidic Lithium Metal Anode **Not Commercial		
Manufacturing Processes for Key Battery Chemistries		Anode	Cathode	Anode	Cathode	Anode	Cathode	Anode	Cathode	Anode	Cathode	Anode	Cathode	Anode	Cathode	Anode	Cathode	Anode	Cathode	Anode	Elyte	Cathode	Anode	Elyte	Cathode
Electrode Production	Extruding and Calendering											X				X		X		X			X		
	Gassing											X				X		X		X			X		
	Lamination											X				X		X		X			X		
	Mixing	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X		X		X	X		X	X
	Coating Active Material	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X		X			X			X
	Coating Electrolyte																				X				
	Sintering																								X
	Calendering	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X		X		X	X			
	Slitting	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
	Drying	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X		X						
Cell Production	Cutting	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
	Aerosol Deposition																							X	
	Tempering																							X	
	Stacking	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Pressing																			X	X	X			
	Contacting	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Enclosing	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Filling	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Conditioning	Formation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
	Ageing	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

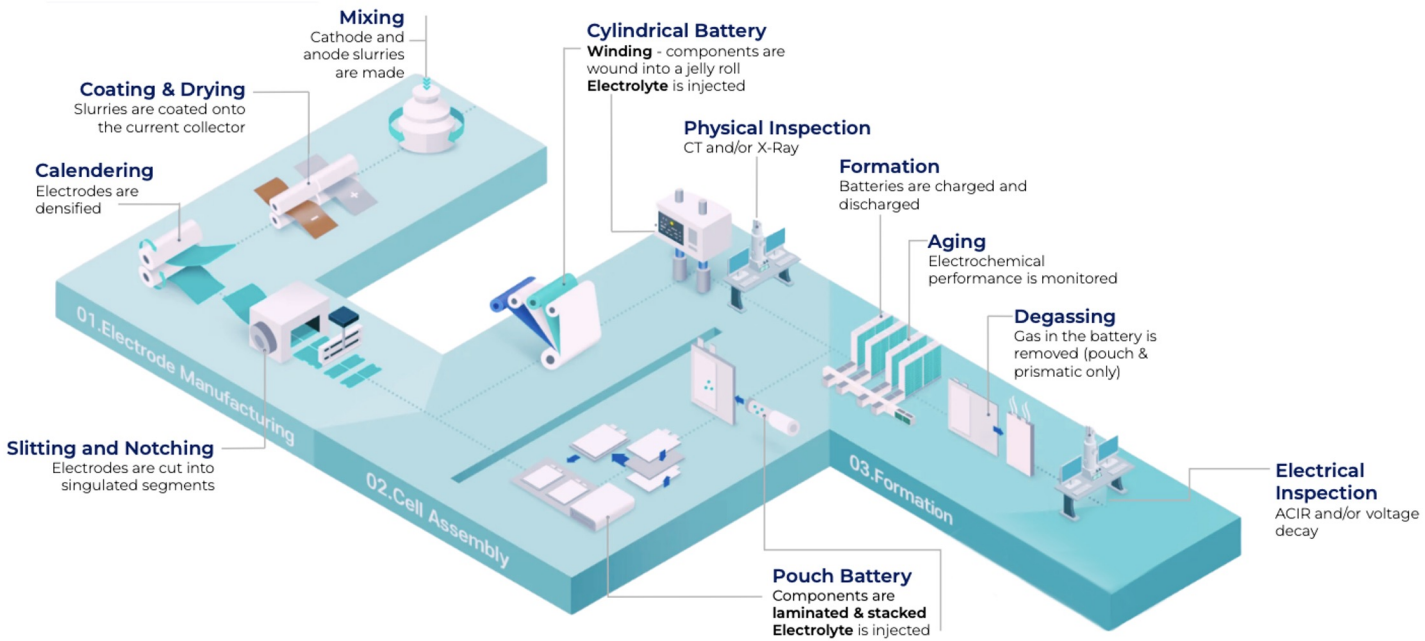
Source: Battery Talk: Battery Application Break Down 1/01/2024 (Version 2.0)

电池和电池组制造 | 电池设备制造商

设备工艺	无锡先导	赢合	杭可	致茂电子	韩华	PNE	mPLUS	Hana	亚智	日立	日本平野	日本东丽	日本片冈
配料搅拌	✓	✓											
涂布	✓	✓			✓					✓	✓	✓	
辊压	✓	✓			✓					✓			
分切	✓	✓			✓	✓			✓	✓		✓	
叠片	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
卷绕	✓	✓			✓	✓							
电芯组装	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓			
注液	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓			
化成	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓					
脱气封口	✓	✓	✓		✓	✓		✓					
老化	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓					
检测 / 分容	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓					✓

Source: China Galaxy International, Chroma, Wonik PNE, mPLUS, Hana, Hanwha, Manz, Hitachi, Hirano, Toray, Kataoka - Non exhaustive list

电池和电池组制造 | 制造工艺流程图 | 概述



*图片由 LG Solution 提供。经许可转载。

生产线产能示例
方形电池：140 万个电芯/年
圆柱电池：7,000 万个电芯/年

资本投入
$55-127 百万/GWh

人力配置/GWh
每 GWh 创造 175 个工作岗位

废料
20%
废料仍然是电池生产需要克服的关键问题之一

有关提高产量和减少废料的解决方案，请参阅软件解决方案和 QA/QC 硬件解决方案

Source: LG Energy, VDMA, Faraday Institution,

VF | VOLTA FOUNDATION

电池和电池组制造 | 制造工艺流程图 | 1. 电极生产

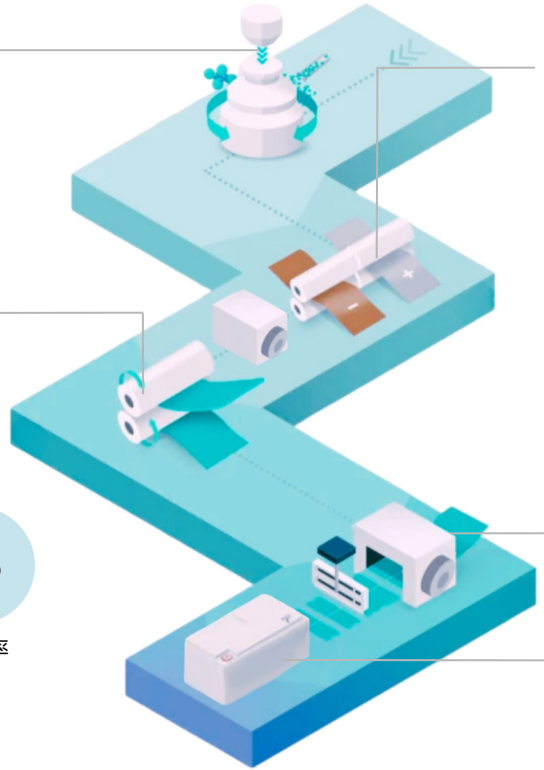
挑战
浆料质量（分散不均匀）

配料搅拌
浆料是由活性材料、粘结剂和溶剂混合而成，这三者之间的不同组合对涂布和干燥有很大影响

挑战
电极废料；材料物理损坏

辊压
使电极密度达到目标值

该工艺中，确定电极质量和密度非常重要



涂布和干燥
电极浆料涂覆在集流器上的成本占电极生产成本的 54%
所有其他工艺步骤都取决于这一步骤的质量.

挑战
处理时间；利用率损失；难以衡量质量和获取质量指标

分切和极耳成型
电极被切割成单段

没有涂层部分被切掉，留下极耳部分

挑战
边缘质量（经常出现毛刺缺陷 - 危险），难以快速检查；刀具磨损；在所有流程中，设备综合效率OEE 最低，因为难以实现自动化

真空干燥
清除残留溶剂

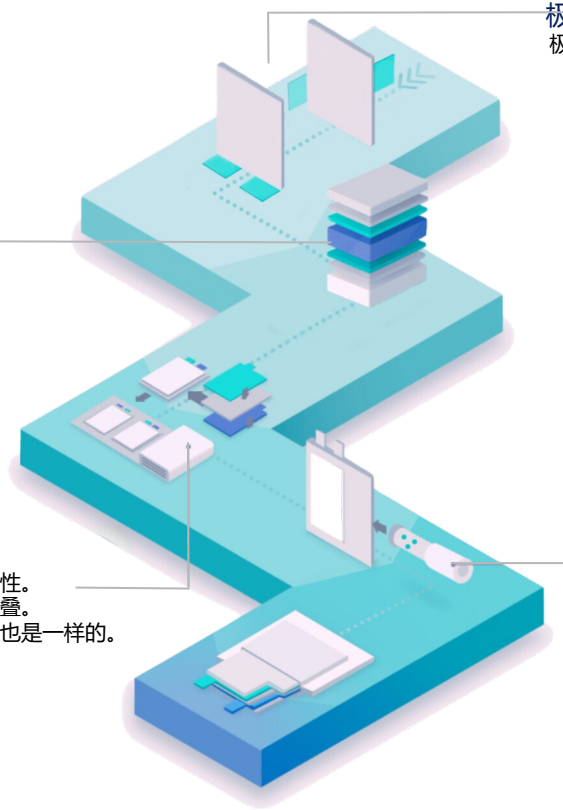
挑战
处理时间；占用空间；需要 12-24 小时

39%	50-80 m/min	20-30 m/min	5%
占总制造成本比例	软包电池覆膜速度	圆柱电池覆膜速度	废品率

*基于 LG Energy Solution 的图表，经授权修改

来源: LG Energy; BCG

电池和电池组制造 | 制造工艺流程图 | 2. 电池组装 | 软包电芯



极耳焊接
极耳通过超声波焊接到卷芯上

挑战
箔片损坏；涂层附着力

挑战
角部开裂

软包电池成型
通过压制薄膜制作包壳

20%
占总制造成本比例

2-20 件/min
速度

5%
废品率

挑战
正负极片的定位精度（对齐）；速度（影响定位）

层压和叠片/卷绕
层压：各层保持位置的完整性。
叠片：将电极和隔膜逐层堆叠。
注意：卷绕电芯的软包电池也是一样的。

注液
定量向电极袋中注入电解液

挑战
电解液在电池中的计量和分布精度；密封缝中无电解液残留；密封完整性

*基于 LG Energy Solution 的图表，经授权修改

来源: LG Energy; BCG; RWTH PEM

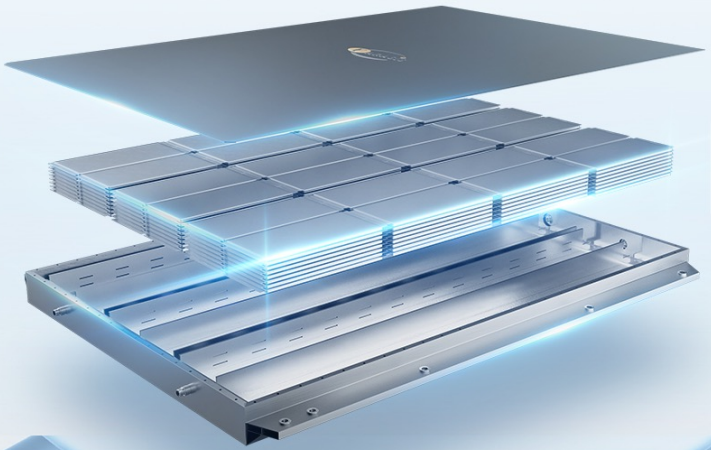
孚能科技超级软包动力电池解决方案SPS（Super Pouch Solution）

SPS是集性能、安全、成本为一体的新一代无模组电池系统解决方案

≥1000 km
续航长

10 min 400 km 续航
补能快

应用本征安全化学体系
多重安全自研技术为产品保驾护航
安全优



50 % 零部件 体积利用率达75%
轻量级

33 % 材料成本 30 % 制造费用
经济性

产线设计兼容不同化学体系，可适配液态、半固态、固态电池，满足车企未来长期产品需求
升级佳

FARASIS 孚 能 科 技 Farasis Energy
全球清洁能源可持续发展的先行者
股票代码：688567

电话：(+86) 0797-7329999
邮箱：sales@farasisenergy.com.cn
网站：www.farasis.com

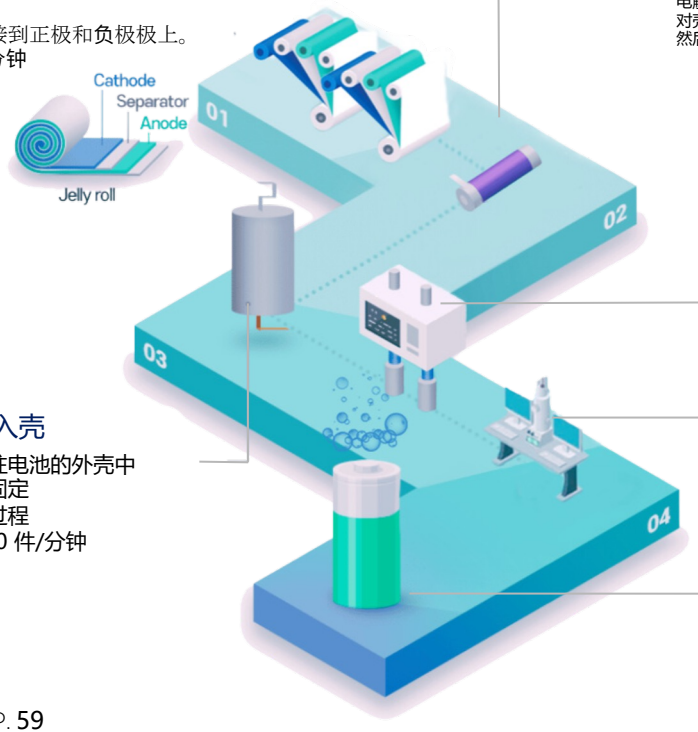
扫码了解更多详情→

电池和电池组制造 | 制造工艺流程图 | 2. 电池组装 | 圆柱电芯

挑战
正极、负极、隔膜对齐；极耳、缠绕、切割精度；极耳焊接质量
（可能引起安全问题）

卷绕和极耳焊接

卷绕正极、负极和 2 个隔膜辊。将铝极耳和
铜极耳分别焊接到正极和负极极上。
速度：**30** 件/分钟



注液

电解液注入真空壳体中
对壳体加压以加速电解液的吸收
然后封口

挑战
电解液吸收取决于密度、汇集

20%
占总制造成本比例

5%
废品率

检测

通过 CT 和/或 X 光，对电池进行分析，以检测潜在的缺陷。

挑战
难以实现实时分析

挑战
金属污染

极耳成型和入壳

将卷芯放入圆柱电池的外壳中
然后通过焊接固定
高速机械变形过程
速度：300-600 件/分钟

脱气/预充电

排除气体的可选流程

挑战
废气处理
避免在折叠和封口步骤中产生残余气体

*基于 LG Energy Solution 的图表，经授权修改

来源: LG Energy; BCG; RWTH PEM

VF | VOLTA FOUNDATION

挑战
正极、负极、隔膜对齐

Z型叠片
卷绕正极、负极和 2 个隔膜辊。将铝极耳和铜极耳分别焊接到正极和负极极上。
速度：30 件/分钟

挑战
设备产量

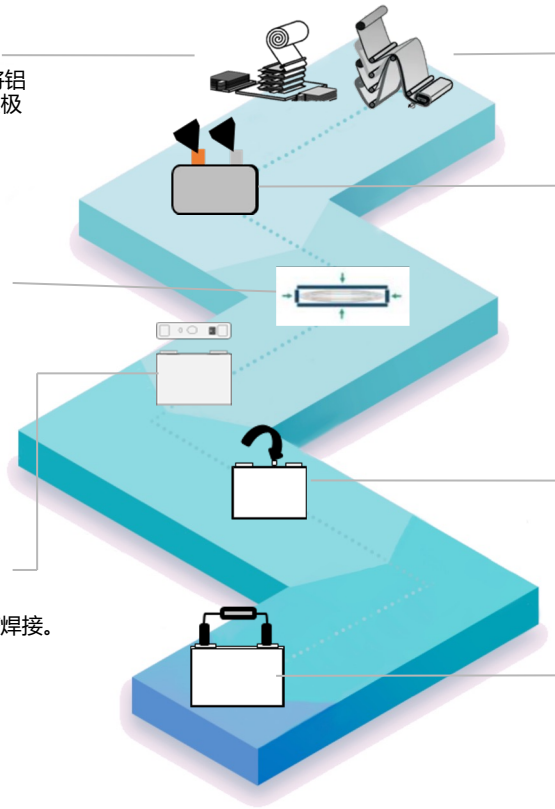
热压
热压机的工作原理是通过加热和加压来实现电池组件之间牢固可靠的结合。
速度（停留时间）：>10 秒/次

20%
占总制造成本比例

5%
废品率

挑战
电芯顶盖与壳体的对齐激光焊接漏点

顶盖焊
通过激光对顶盖和壳体进行点焊，然后用激光对顶盖和壳体进行完整焊接。



方形卷绕电芯
通过控制速度、张力等，将分切好的正极、负极和隔膜卷在一起。
速度：30 件/分钟

挑战
应力不均匀、毛刺问题和粉末脱落

预焊接和修整
正负极极耳对齐并进行 U/S 焊接
速度：18-20 件/分钟

挑战
正负极极耳的对齐

注液
电解液注入真空壳体中对壳体加压以加速电解液的吸收然后封口

挑战
电解液吸收取决于密度、汇集

预充和化成
注液后，对电池进行预充电、RT 老化，然后进入化成、分容流程

挑战
产量、质量

*基于 LG Energy Solution 的图表，经授权修改

来源: CATL, RWTH PEM

VF | VOLTA FOUNDATION

电池和电池组制造 | 制造工艺流程图 | 3. 化成

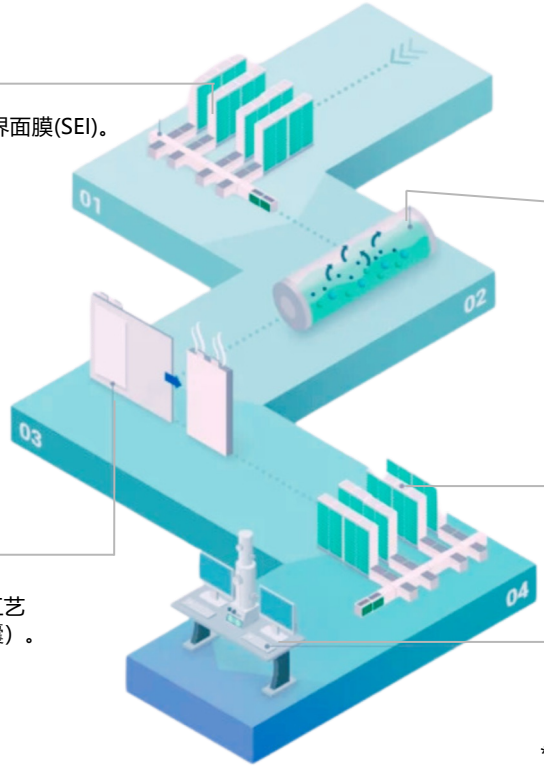
挑战
由于所需时间长，产量低；火灾（大多数工厂火灾都发生在这道工序）

充电和放电
电化学激活。
正极上形成固体电解质界面膜(SEI)。

41%
占总制造成本比例

5-25 天
时间

9%
废品率



老化
电池储存在一定的温度和湿度下，以保证均匀的电解液分布和 SEI 的稳定性

挑战
产量；工厂占用空间

充放电和老化
重复前面的流程

挑战
产量

脱气
仅软包电池。
在真空环境中去除老化工艺中形成的气囊（消灭气囊）。

挑战
电池内残留气体；密封质量；产量（大量额外的成本支出）

品控
产线终端检查
- 容量、电阻、电压和外观

挑战
外观和容量变化；
产量

*基于 LG Energy Solution 的图表，经授权修改

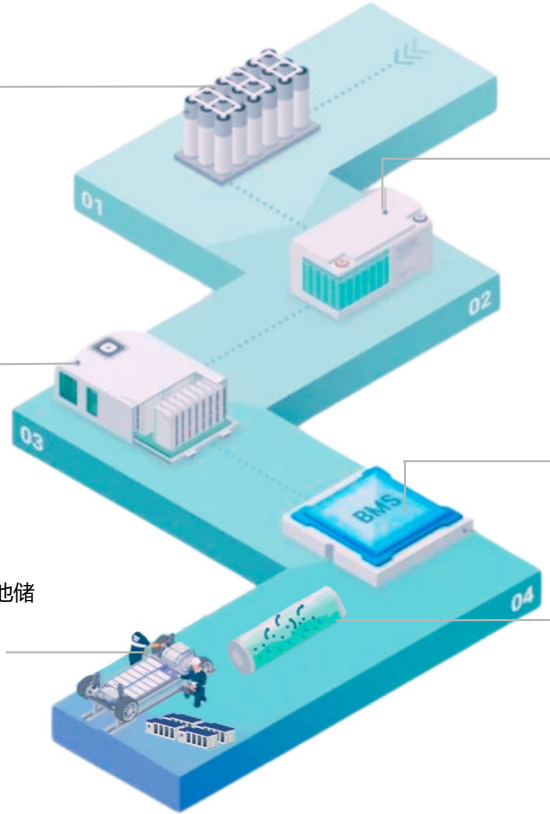
来源: LG Energy; BCG; RWTH PEM

VF | VOLTA FOUNDATION

电池和电池组制造 | 制造工艺流程图 | 电池组组装

挑战
表面清洁；热量管理

连接电池
清洁表面后连接电池



模块化
电芯连接到模块外壳上

挑战
确保线缆的灵活性、电芯的处理

挑战
避免模块短路和损坏

电池组组装
将模块放入电池组并连接

BMS应用
电池组采用电池管理系统 (Battery Management System)

挑战
BMS 正确布线和集成

挑战
电池组与电动汽车或电池储能系统的其他组件集成。电池寿命周期内的极端气候条件和使用情况

最终集成
电池组用于电动汽车 (EV) 和电池储能系统 (BESS)

最终测试
进行一系列电气测试，包括充电和放电循环，以确保品质优良

挑战
不同制造商的测试顺序、结果和公认限值各不相同，导致缺乏标准化

*基于 LG Energy Solution 的图表，经授权修改

来源: LG Energy; RWTH PEM, RWTH PEM,

VF | VOLTA FOUNDATION

电池和电池组制造 | 电池 QA/QC 硬件检测解决方案

检测

Waters™ | TA Instruments

ZEISS

OXFORD INSTRUMENTS

KEYENCE

HITACHI

ThermoFisher SCIENTIFIC

Waygate Technologies
a Baker Hughes business

制造

liminal

TITAN

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

ISRA VISION

HITACHI

AVONIX IMAGING

Nikon

excillum

comet x-ray

COGNEX

Waygate Technologies
a Baker Hughes business

BECKHOFF

PDF/SOLUTIONS™

LUNA

SPEA

分析电池材料清单中最昂贵的部分

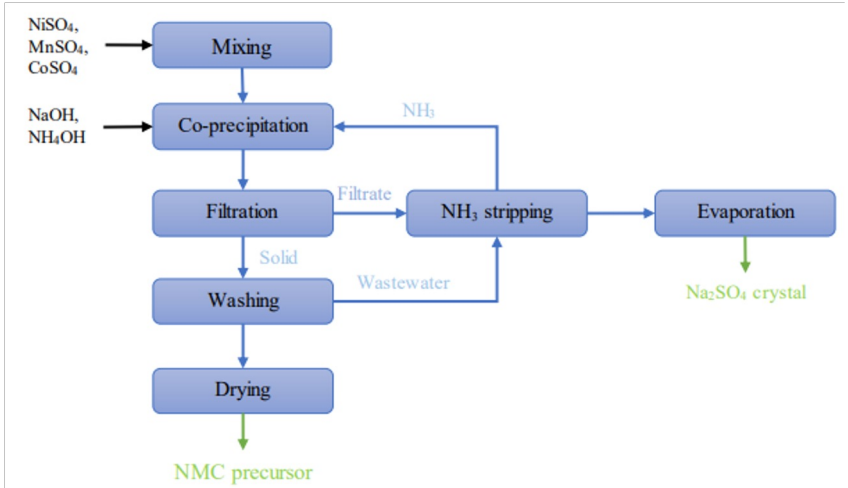


Figure 2. NMC Precursor Production via Co-precipitation

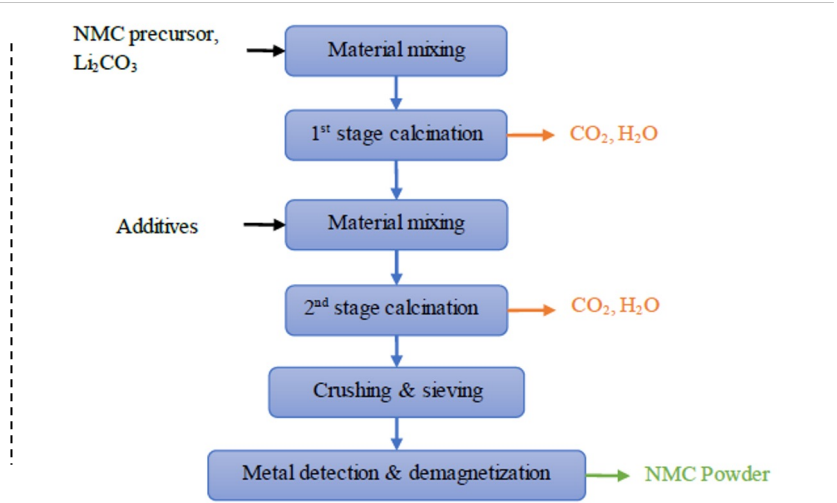
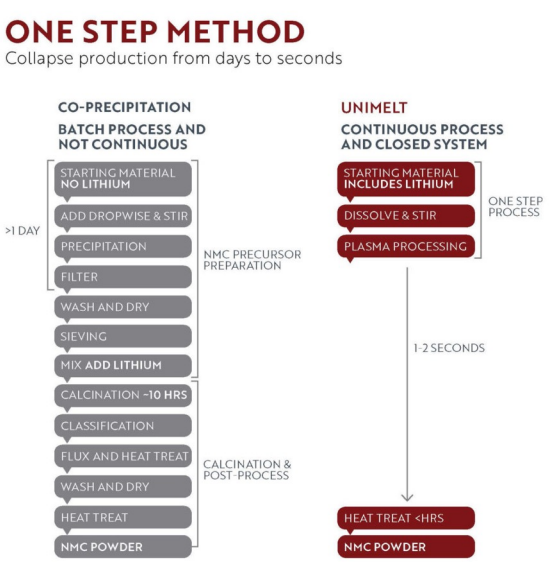


Figure 1. NMC Cathode Powder Production from Precursor via Calcination

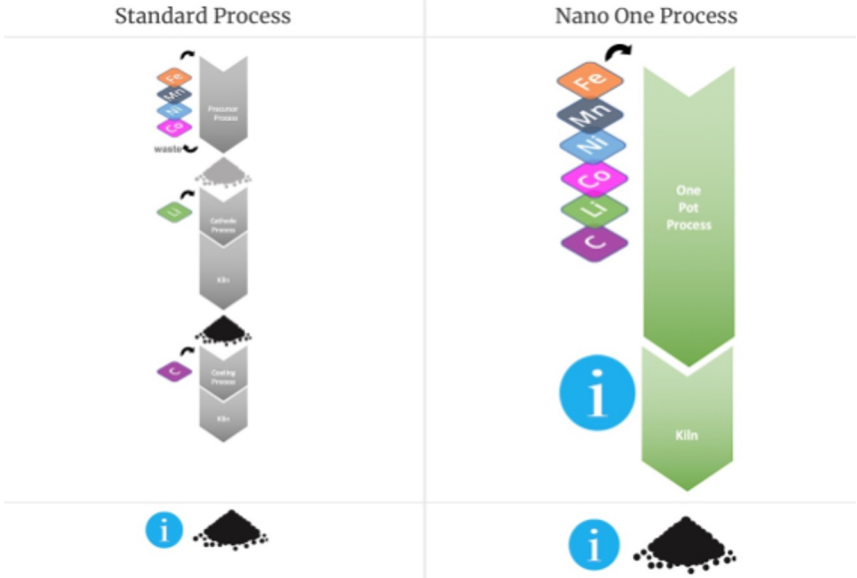
来源: Argonne National Labs

电池和电池组制造 | pCAM-CAM 正极活性材料制造解决方案

降低制造 CAM 的成本、复杂性和环境足迹的创新



6K Unimelt CAM 生产工艺



Nano One One-pot CAM 生产工艺

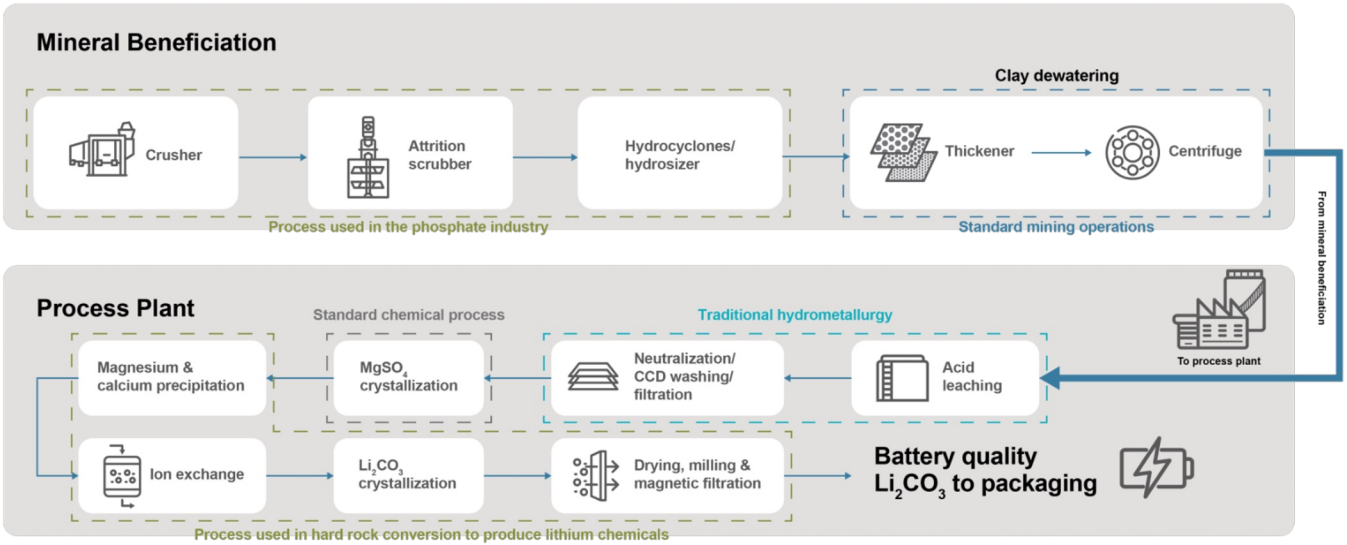
来源: 6K, Nano One

锂的提取和提炼 – 从沉积型锂矿中，经济且大规模地开发电池级碳酸锂（Li2CO3）

即使是高浓度粘土，使用传统工艺也无法从中大规模提取锂。

其他采矿业的工艺被改造用于选矿。

采用硬质岩石锂辉石的转化过程。



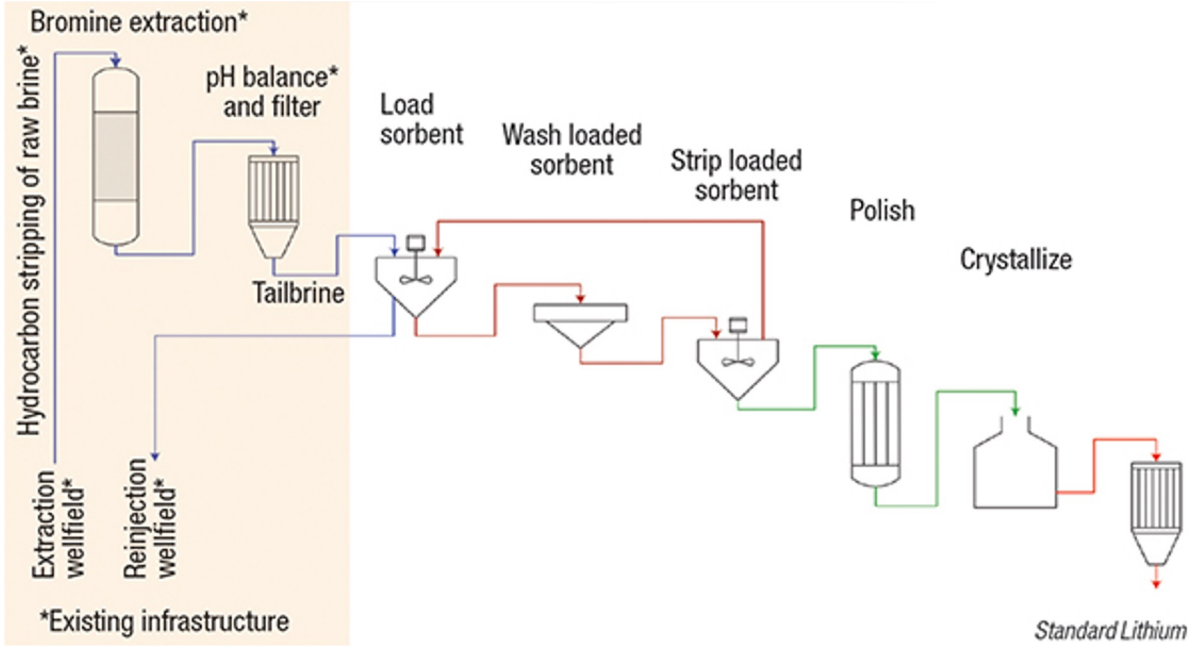
来源: Lithium Americas

锂的提取和提炼 - 直接提取锂

Standard Lithium 与 Lanxess 合作，从油田盐水中选择性提取锂，并生产出电池级锂化合物。

2023 年，针对阿肯色州西南部斯马科弗地层 的两个独立项目完成了可行性研究。

初步可行性研究突出显示，经济可行性部分依据是可重复使用的定制配方的锂选择性吸附剂。



来源: Chemical Engineering

年度事件 | 产业价值链 | 金融 | 电芯成本

电芯和电池组制造 | 应用 | 安全 | 化学及电芯材料

原材料 | 回收 | 软件及分析

与关键电池化学成分的首选性能指标相匹配的应用领域

Applications Matched to Preferred Performance Metrics		Li-Ion (NMC811-Gr)	Li-Ion (NCA-Gr)	Li-Ion (LFP-Gr)	Li-Ion (LCO-Gr)	Li-Ion High Voltage (LNMO)	Lithium Metal (High Ni-Li)	Silicon (High Ni- Majority Silicon)	Sodium ion (NaMOx) **Not Commercial	Lithium Sulfur Battery (LSB) ** Not Commercial	Solid State Sulfidic Lithium Metal Anode **Not Commercial	Solid State Oxidic Lithium Metal Anode **Not Commercial
Aerospace	Planes (Wh/Kg > Rate > Safety/Reliability)	Avg	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad	Avg	**Bad	**Good	**Good	**Good
	Drones (Wh/Kg > Rate > Cost)	Avg	Bad	Avg	Avg	Bad	Great	Great	**Avg	**Good	**Poor	**Poor
	Low Earth Orbit Satellites (Wh/kg > Cycle Life > Safety/ Reliability)	Avg	Avg	Poor	Avg	Bad	Bad	Poor	**Avg	**Good	**Good	**Good
	Medium Earth Orbit Satellites (Cycle Life > Wh/kg > Safety / Reliability)	Avg	Avg	Poor	Avg	Bad	Bad	Avg	**Avg	**Avg	**Avg	**Avg
	Geostationary Orbit Satellites (Cycle Life > Wh/kg > Safety / Reliability)	Avg	Avg	Poor	Avg	Bad	Bad	Poor	**Avg	**Avg	**Avg	**Avg
Automotive	Moped (Wh/Kg > Cost > Self Discharge)	Avg	Avg	Good	Poor	Poor	Bad	Avg	Poor	Bad	**Bad	**Bad
	Motorcycle (Rate > Wh/L > Wh/Kg)	Avg	Avg	Poor	Poor	Bad	Avg	Good	**Bad	Poor	**Avg	**Avg
	Sports Car (Wh/L > Rate > Cycle Life)	Good	Good	Avg	Avg	Poor	Bad	Avg	**Bad	Bad	**Poor	**Poor
	Sedan (Cost > Wh/L > Cycle Life)	Poor	Poor	Avg	Poor	Avg	Bad	Bad	**Avg	Poor	**Bad	**Bad
	Sports Utility Vehicle (Wh/L > Cost > Cycle Life)	Avg	Avg	Avg	Avg	Poor	Bad	Poor	**Bad	Poor	**Bad	**Bad
	Pickup Trucks (Wh/L > Wh/Kg > Cycle Life)	Poor	Poor	Poor	Bad	Bad	Bad	Avg	**Bad	**Avg	**Good	**Good
	Heavy Duty Trucks (Wh/Kg > Cycle Life > Cost)	Poor	Poor	Poor	Bad	Bad	Bad	Poor	**Bad	**Good	**Bad	**Bad

Legend
Great
Good
Avg
Poor
Bad

Source: Battery Talk: Battery Application Break Down

与关键电池化学成分的首选性能指标相匹配的应用领域

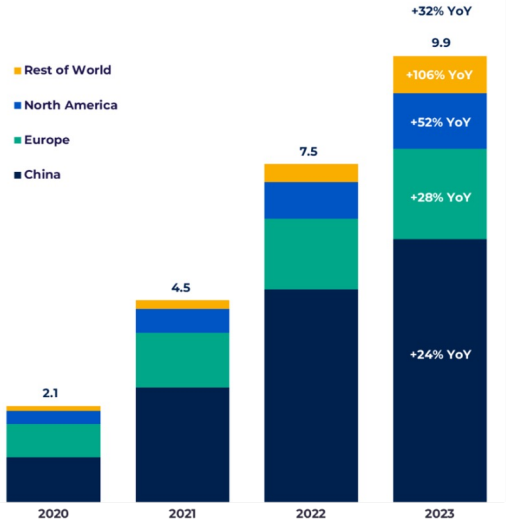
Consumer Electronics	Computers & Tablets (Wh/L > Cost > Safety / Reliability)	Avg	Poor	Avg	Poor	Good	Bad	Poor	**Poor	**Bad	**Poor	**Poor
	Smart Phones & Smart Watches (Wh/L > Cost > Safety / Reliability)	Avg	Poor	Avg	Poor	Good	Bad	Poor	**Poor	**Bad	**Poor	**Poor
	Power Tools & Gardening Equipment (Rate > Cost > Safety / Reliability)	Poor	Poor	Avg	Avg	Good	Bad	Poor	**Poor	**Bad	**Bad	**Bad
	E-Bikes (Cost >Wh/Kg > Rate)	Avg	Avg	Avg	Avg	Good	Poor	Poor	**Good	**Good	**Bad	**Bad
Grid	Grid Balancing (Cost/kWh/Cycle > Safety / Reliability > Cycle Life)	Bad	Bad	Bad	Bad	Poor	Bad	Bad	**Good	**Poor	**Bad	**Bad
	Residential Storage + Smart Grid (Safety / Reliability > Cost/kWh/Cycle > Cycle Life)	Bad	Bad	Poor	Bad	Avg	Bad	Bad	**Great	**Bad	**Bad	**Bad
Military	Infantry (Safety / Reliability > Wh/Kg > Wh/L)	Poor	Poor	Poor	Poor	Bad	Bad	Avg	**Bad	**Good	**Good	**Good
	Backup Power (Communications) (Safety/Reliability > Wh/Kg > Wh/L)	Poor	Poor	Bad	Poor	Bad	Bad	Avg	**Bad	**Good	**Avg	**Avg
	Missiles (Rate > Wh/Kg > Wh/L)	Avg	Avg	Poor	Poor	Bad	Avg	Good	**Bad	**Bad	**Avg	**Avg
	Drones (Wh/Kg > Rate > Safety / Reliability)	Avg	Poor	Poor	Poor	Bad	Poor	Avg	**Bad	**Poor	**Avg	**Avg

Legend
- Great
- Good
- Avg
- Poor
- Bad

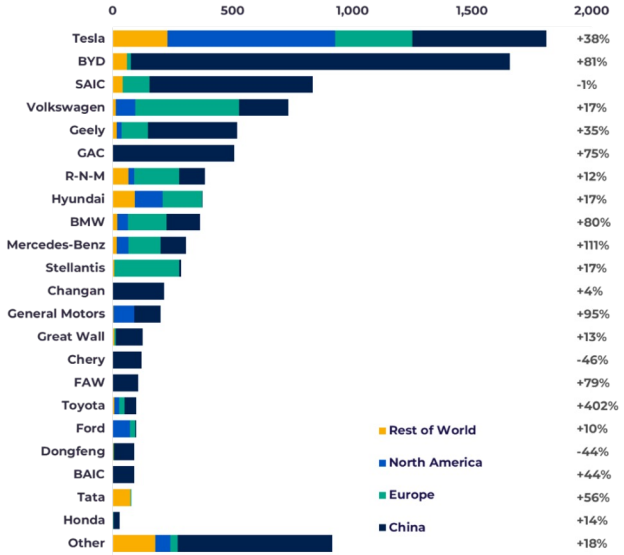
Source: Battery Talk: Battery Application Break Down

纯电动汽车销量增长趋势保持完好

按地区划分的乘用纯电动汽车销量（百万辆）



2023年乘用纯电动汽车销量（千辆）



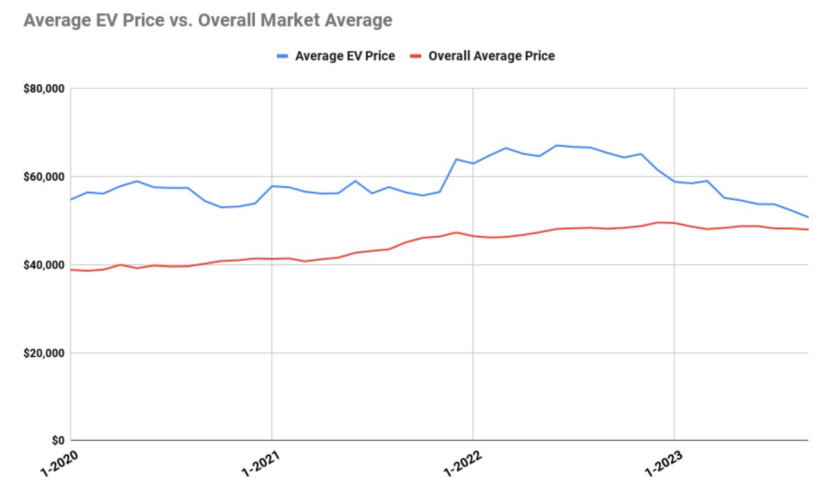
- 2023年纯电动汽车销量首次达到1000万辆。
- 中国仍然是最大的市场，销量约为600 万辆。 所有地区均出现大幅增长。
- 特斯拉和比亚迪仍然是最大的制造商。后者在上季度超越了前者。

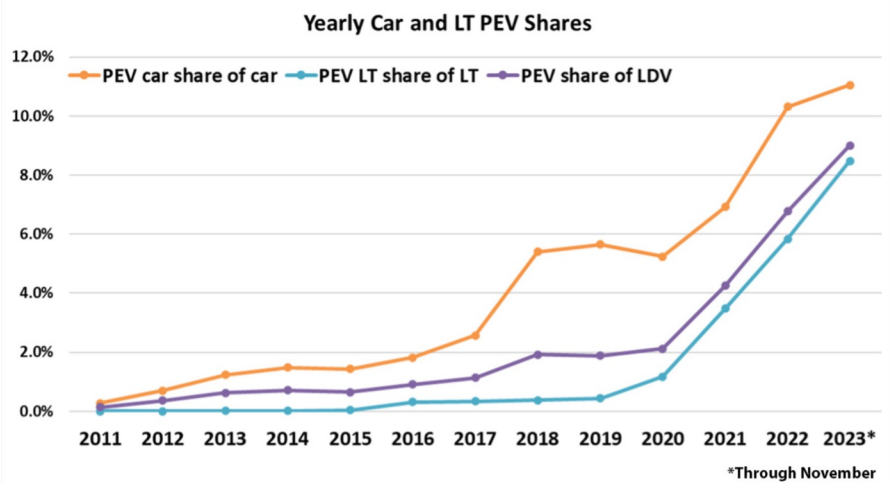
*Showing light duty vehicles registered for personal use only. Light commercial vehicles were an additional ~470k units in 2023. December 2023 is partially estimated.显示仅供个人使用注册的轻型车辆。到 2023 年，轻型商用车将增加约 47 万辆。2023 年 12 月是部分估计的。

Source: GlobalData

电力与内燃机：价格差距缩小，市场份额增加

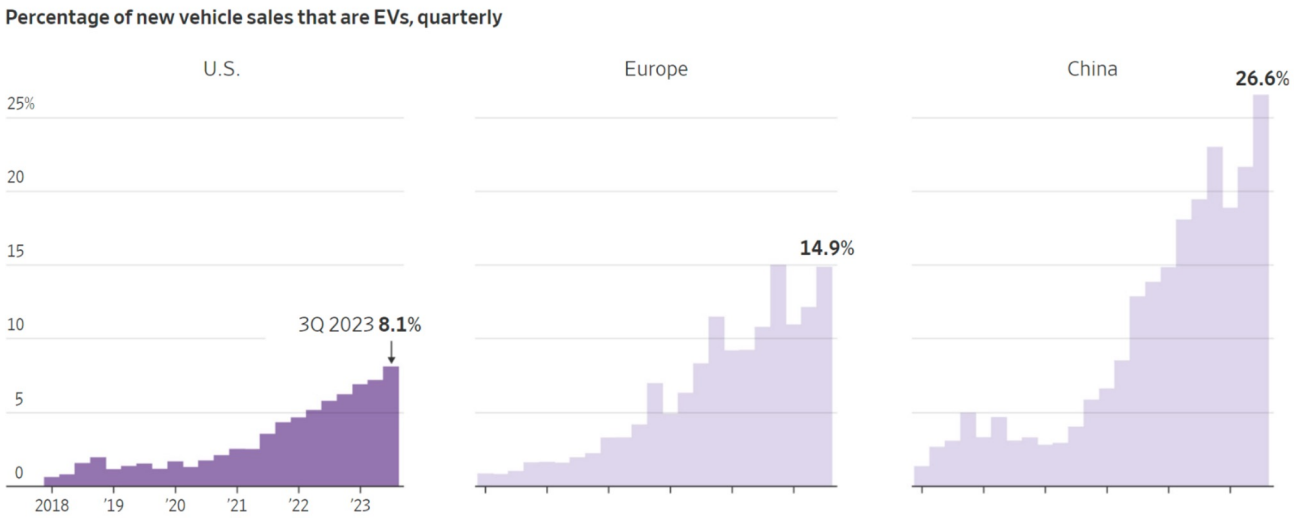
2023年，电动汽车销量占比将快速稳定增长。与此同时，电动汽车的平均成本呈下降趋势，而疫情期间传统乘用车的平均价格不断上涨。





Source: Argonne National Lab, Caredge

中国继续成为采用电动汽车的强国

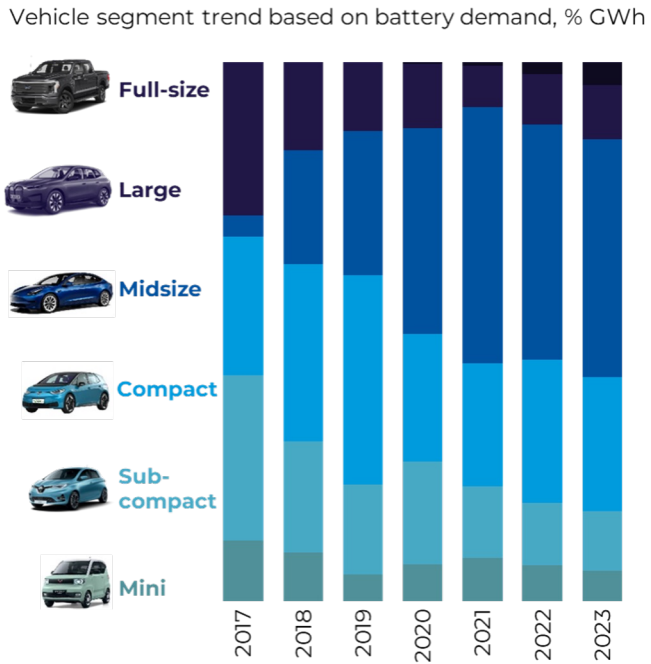


美国和欧洲

- 自疫情爆发以来，中国经历了巨大的增长。
- 相比之下，美国和欧洲的增长轨迹则更为渐进。
- 中国的增长在很大程度上是由政府激励措施推动的（类似国税局如何影响美国的增长）。

Source: GlobalData

电动汽车尺寸和车身类型：市场向中型 SUV 领域靠拢



电动汽车的成本差异、消费者对 SUV 车身风格的需求以及滑板电池拓扑正在推动这一趋势。

迷你细分市场在所有市场（甚至中国）都正在消失，但有迹象表明即将复苏。

Automotive News Europe

Automakers ready low-cost EVs for Europe to counter Chinese threat

Potential competition from China, inexpensive battery technology and concerns about consumer confidence have led to a wave of EVs for less than 25,000 euros.

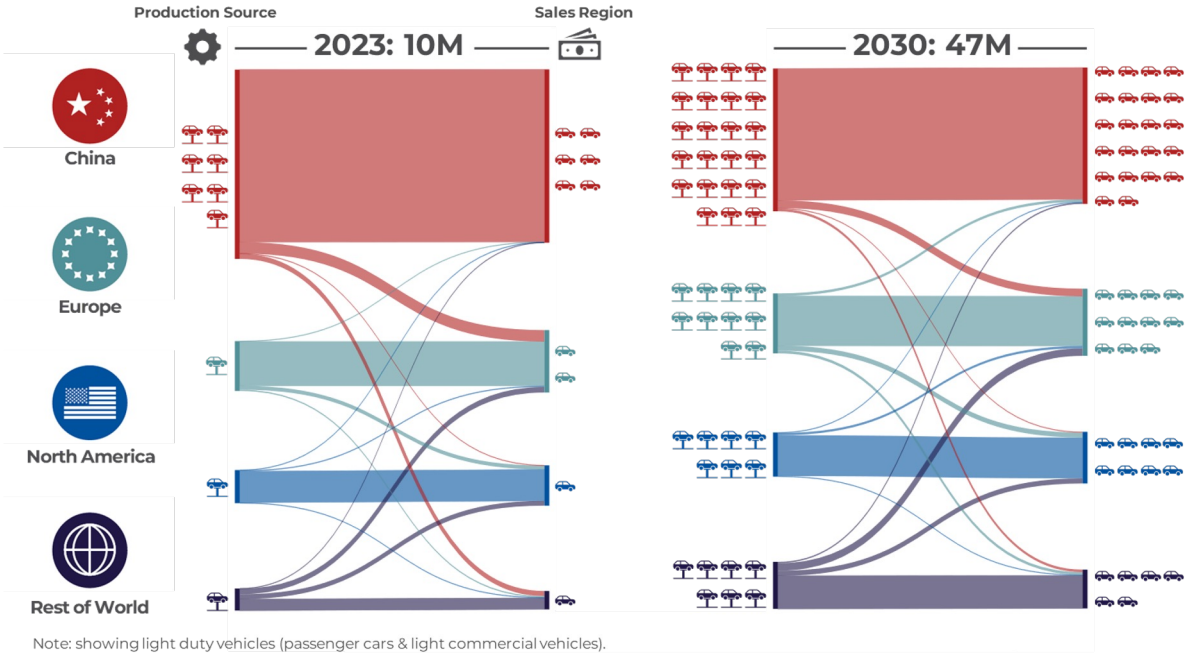


Source: CRU Group, Autonews Europe

VF | VOLTA FOUNDATION

应用 | 电动车| 乘用纯电动汽车

纯电动汽车贸易流：政策助力，各国竞相加速开发本土纯电动汽车制造



本土建造、本土销售

将车辆生产本地化或从其他国家出口的决定是根据车型而定，并受到以下因素的驱动：

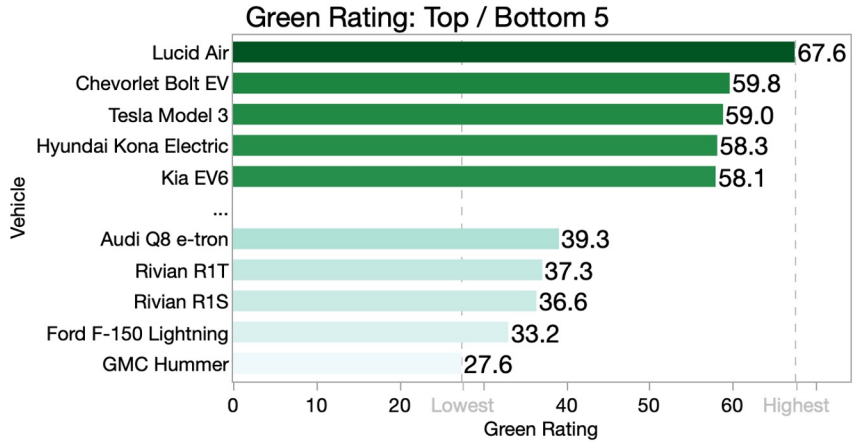
- 本地需求
- 政策
- 成本
- 环境

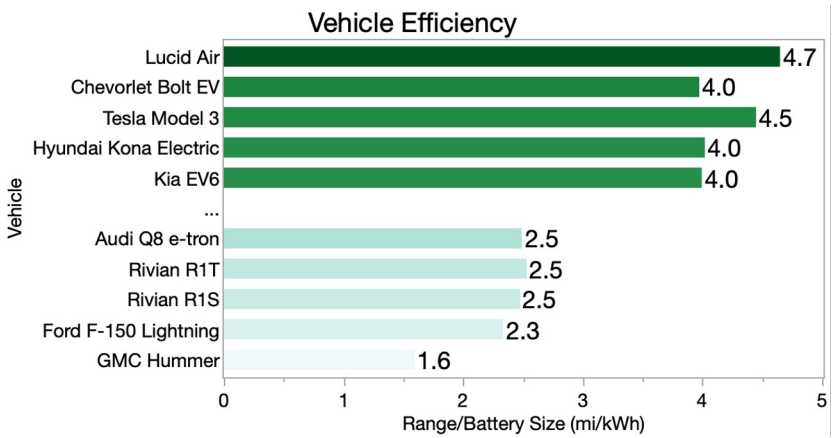
Source: CRU Group

彭博绿色评级强调了卡车/SUV 在车辆层面的低效率

彭博社的绿色评级是汽车行驶过程中的效率和制造电池组所需资源的综合指标。 紧凑型汽车和一些高端电动汽车表现出色，而跨界车、SUV 和卡车在绿色评级中排名最低，与车辆效率评级很好地对应。

$$\text{Green Rating} = \left(\frac{\text{miles of range / curb weight}}{\text{economy benchmark}} \cdot 0.7\right) + \left(\frac{\text{battery size benchmark}}{\text{battery size}} \cdot 0.3\right)$$

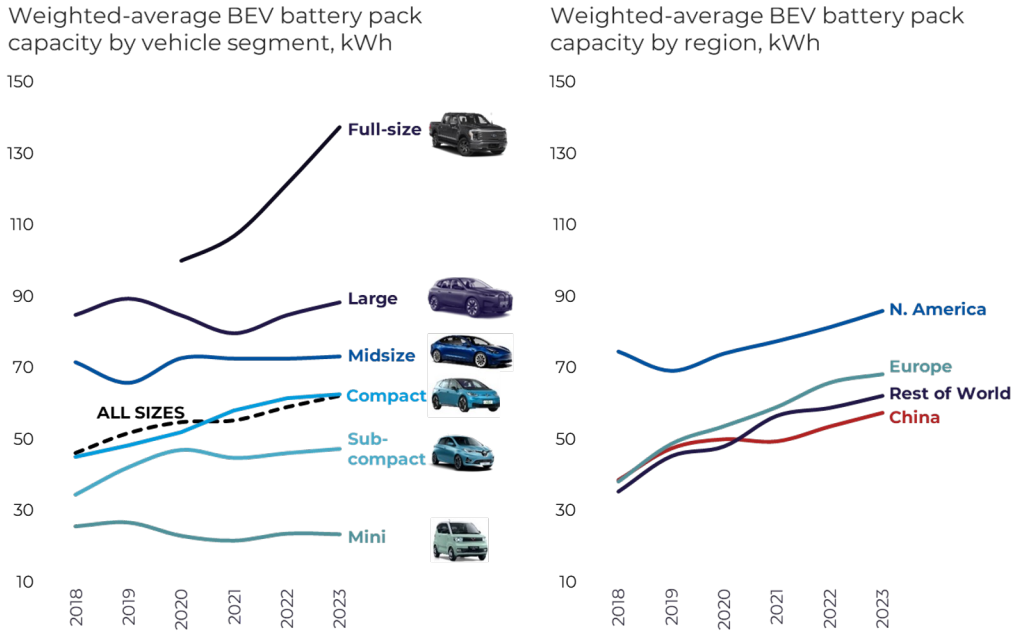




Source: Bloomberg

应用 | 电动车| 乘用纯电动汽车

电池组容量继续增加，但开始趋于平稳



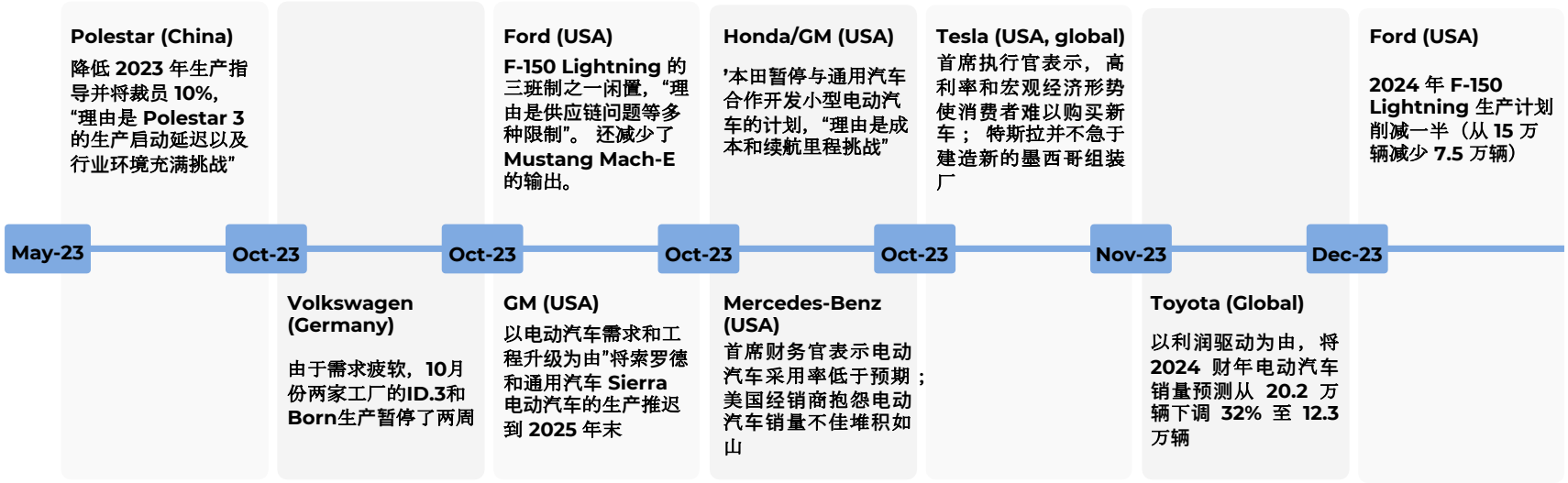
Showing light duty vehicles (passenger cars and light commercial vehicles)

- 产能主要由范围预期驱动
- 容量也由化学组分选择驱动，反之亦然 - 小型电池更有利于 LFP 和钠离子
- 但微型汽车的电池较小，仅占电池需求的一小部分
- 规模调整将有助于节省原材料（每千瓦时容量使用更少的材料）
- 一种情况是，从长远来看，成本和立法压力以及无处不在的快速充电将鼓励电池的“规模调整”

Source: CRU Group

应用 | 电动车| 乘用纯电动汽车

输出混合回调；原始设备制造商称需求缓慢，但现实更为复杂

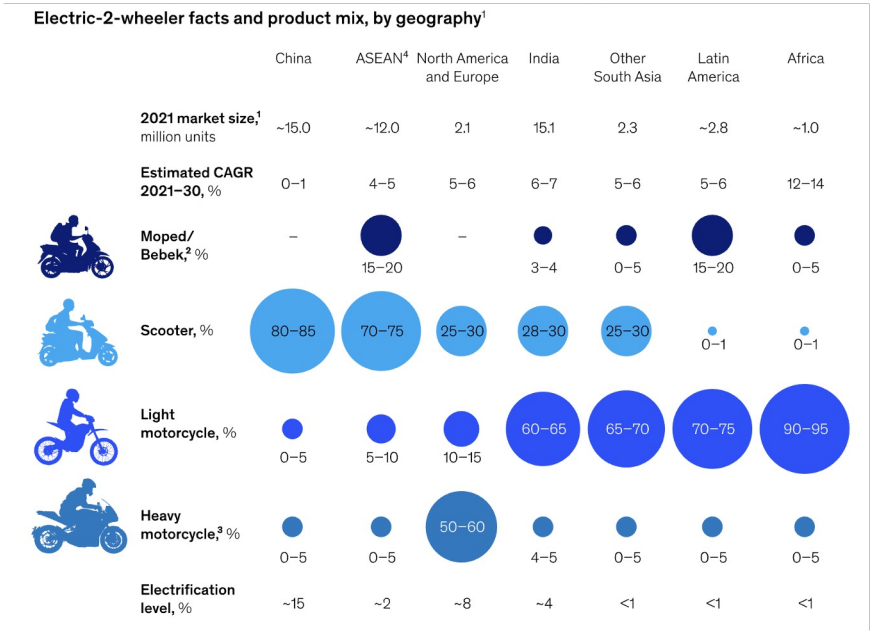


- 传统汽车制造商面临着不断向电动汽车转型、巨额资本支出承诺和盈利能力担忧的困扰，因此出现了减产浪潮和电动汽车目标的淡化
- 行业还面临利率、高库存、劳动力罢工（美国）、对剩余销售价值的担忧以及持续降价和更强大的“纯粹”制造商带来的竞争环境

VF | VOLTA FOUNDATION

应用 | 电动车|轻型运输电动汽车

亚洲市场的电动两轮车



两轮车（踏板车、摩托车、轻便摩托车）被定义为行驶速度超过 25 公里/小时的车辆。另一种定义是 UNECE 定义的 L 类 2 轮车辆。

两轮车是中国、南亚和东南亚的主要个人交通方式，但其排放量占全球排放量的<5%

但印度和中国的城市在世界污染最严重的城市名单中名列前茅。内燃机两轮车是这些城市空气质量恶化的主要原因。

两轮车也是一个重大机遇，因为累计市场规模为 5000 万辆（如果所有两轮车都变成电动的话）。电动两轮车（E2W）也正在更快地实现零排放。

在政府激励措施的帮助下，电动两轮车的总拥有成本 (TCO) 在印度最大的市场上已经优于 ICE，而在中国，E2W 的前期成本与 ICE 持平。

越南和印度尼西亚等国家尚未实现 TCO 平价，但 E2W 市场正在不断增长。

Source: McKinsey, TIME, BNEF, Blume, ICCT, BCG, IQAir

应用 | 电动车| 轻型运输电动汽车

2 两轮车品牌：推动跨地区电气化的主要参与者

China

YADEA
AIMA
niu
TAILG

ASEAN

VINFAST
gogoro
ION MOBILITY
GESITS

India

OLA ELECTRIC
TVS
ATHER
BAJA
Hero

Africa

ROAM
AMPERSAND
Zembo

North America and Europe

ZERO MOTORCYCLES
Vespa
LiveWire
BMW MOTORRAD

Japan

HONDA
YAMAHA
Kawasaki

印度制造商 TVS 和 Hero 正在与 Zero 和 BMW 等初创公司和技术领导者合作或投资，以加速其电气化进程

本田、雅马哈、Bajaj、Hero 和 TVS 等 ICE 现有企业正在开发更多电动汽车产品，并正在扩大运营规模。

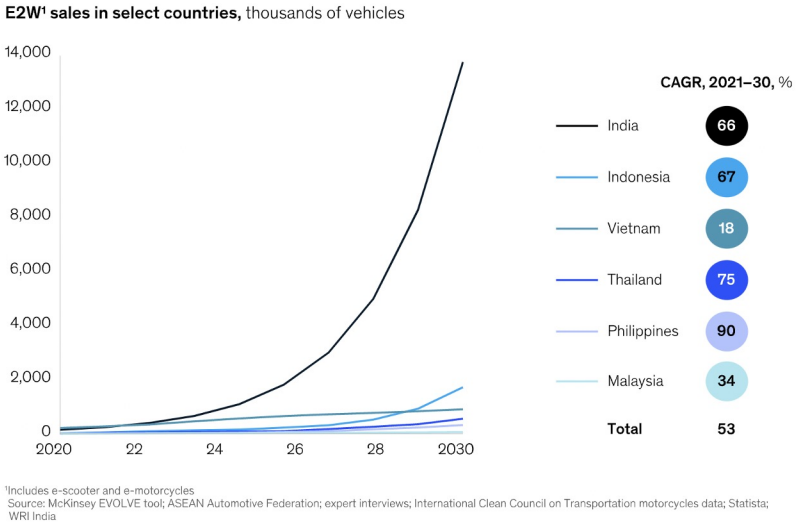
值得注意的合作伙伴/投资

ATHER
ZERO MOTORCYCLES
gogoro
Hero

BMW MOTORRAD
ION MOBILITY
TVS
ULTRAVIOLETTE

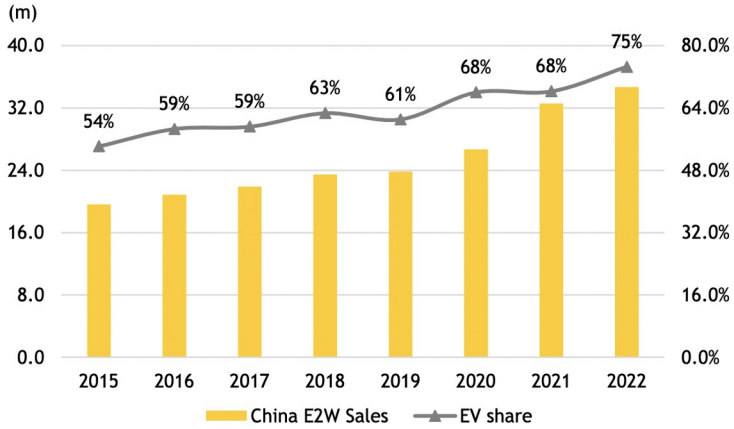
Source: Statista, McKinsey, Maybank, Business Standard, Autocar CNBC,, Company Announcements

两轮车：推动电气化的国家



在政府补贴和支持的帮助下，印度和东盟有望在未来十年实现高速增长。

Fig 24: China's 2-wh EV market: EVs accounted for 75% of China's sales in 2022



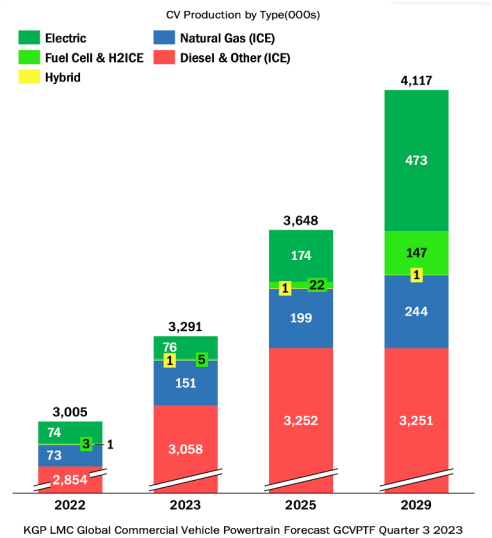
中国市场几乎完全电气化并饱和。

Source: Statista, Mckinsey, Maybank

VF | VOLTA FOUNDATION

应用 | 重型车辆 (HDV) | 法规和市场规模

由于排放法规收紧以及对非柴油动力总成的总拥有成本更加有利，重型车辆（> 6吨）将越来越电动化



KGP LMC Global Commercial Vehicle Powertrain Forecast GCVPTF Quarter 3 2023

主要趋势

法规

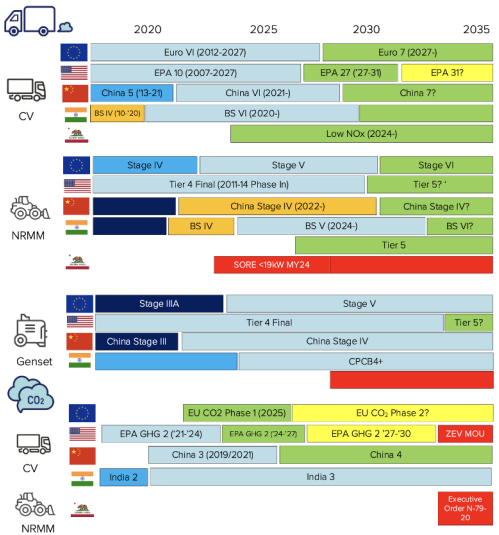
- 北美收紧重型车辆二氧化碳立法（加利福尼亚州 ACT、ACF）、EPA GHG 3、欧洲 HDV 二氧化碳法规推动 BEV 和 FCEV 应用
- ESG/CSR、零排放承诺推动 BEV 建筑和采矿设备
- 全球任何主要市场都没有非公路机械法规，但加州有零排放行政命令和推动纯电动汽车的激励措施

更长的续航里程

- 氢投资将推动 2030 年后燃料电池扩展电动车的续航里程
- 配备更大电池的续航里程更长的纯电动汽车（长途 8 级）将于 2023 年上市

总持有成本

- BEV 在 HDV 应用中的财务状况非常有利，因为总拥有成本 (TCO) 的最大因素是车辆的运营成本，包括燃料成本。

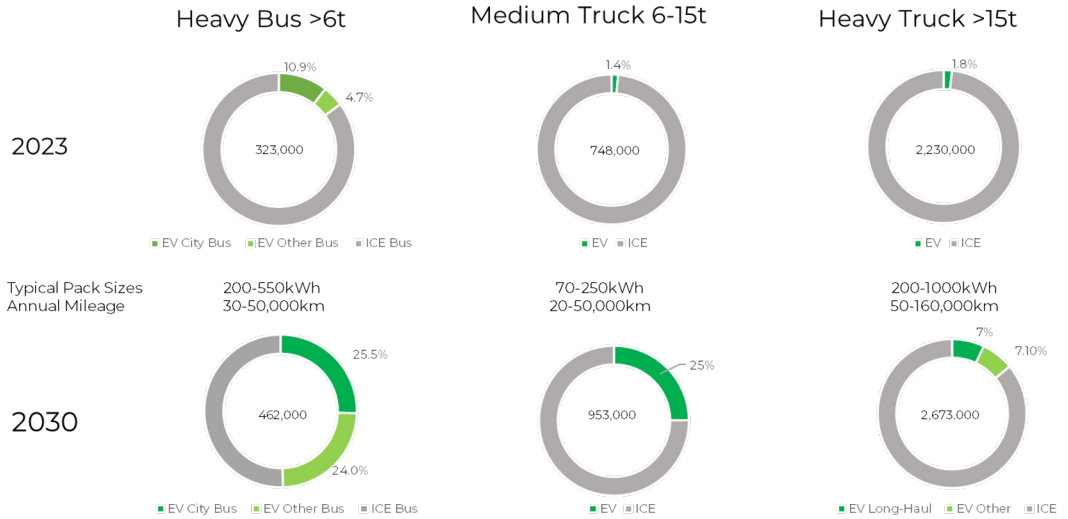


Source: KGP

VF | VOLTA FOUNDATION

应用 | 重型车辆 (HDV) | 电池包尺寸和耐用性

重型车辆的电池尺寸主要取决于使用周期和车辆总重



Unit Sales 2023/2030

重型电池耐用性

重载卡车的耐用性要求将远高于轻载卡车，这会影响化学组分、冷却、充电和保修。 年续航里程长将需要更高级别 (MCS) 的充电，这也会影响耐用性。

针对轻型（GTR 22 起草的立法）和重型（根据 WP 29 制定的提案）的联合国电池耐久性法规正在制定中。

重型电池耐用性的起点是 GTR 22。关键指标包括：

- 保留的 SOCE（认证能源状态）百分比
- X 年服务年限（根据体重类别不同 8-15 年）
- Y 里程（公里）

HDV 指标也要考虑：

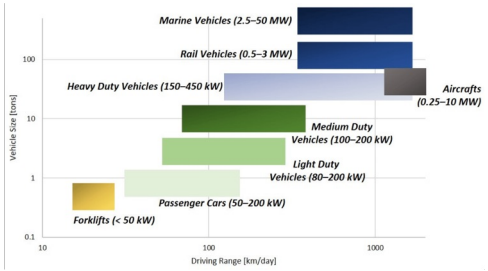
- PTO能源吞吐量
- 总能量吞吐量
- 容量吞吐量测试时间表
- 标准化充电
- 循环测试方法

Source: KGP-GlobalData Commercial Vehicle Powertrain Forecast November 2023 , UNECE

应用 | 重型车辆 (HDV) | 按车辆类型划分的趋势

非公路车辆越来越多地采用电气化推进系统，商用车的一些技术转让促进了应用

- 最大的机器占单位的<1%，但燃料/能源需求为20%
- 建筑、采矿和采石、物料搬运和农业构成了全球非道路机械的大部分。 2023 年行业总数约为 440 万个
- 能源需求取决于尺寸、应用和使用时间，大多数车辆配备 >100kWh 的电池
- 电池需要高循环寿命的化学物质，并结合能量/电力进行能量回收
- 2021 年至 2023 年间，全球可用电机型号数量增加 50%



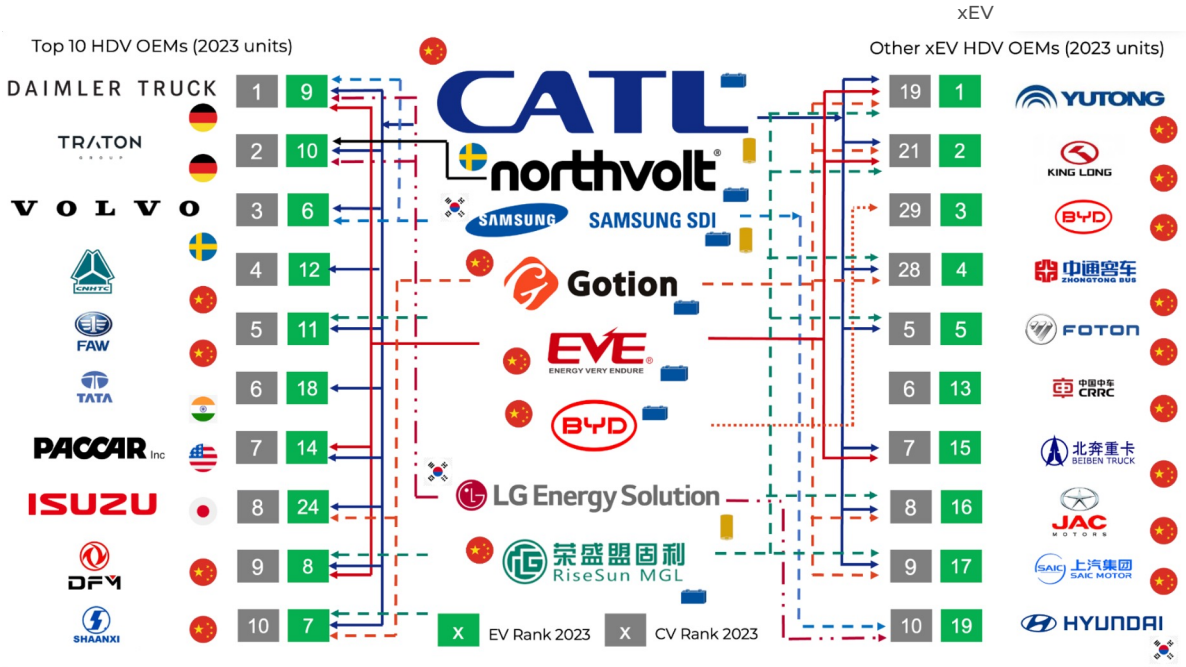
典型电池容量&设备尺寸	设备类型（示例）	功率/电压	技术转移	可供选择型号
10-50 kWh Handheld/ Extra-Compact	压实、自卸车、草坪护理	48V <19 kW	乘用车、叉车	AG - 16 CE - 43 MH - 2
50-100 kWh Compact	小型挖掘机、紧凑型轮式装载机、紧凑型拖拉机、沥青摊铺机、叉车	48-90V 19-75 kW	轻型商用车	AG - 40 CE - 110 MH - 11 Others - 9
100-300 kWh Mid-Sized	轮式、履带式挖掘机、滑移转向、紧凑型履带式装载机、伸缩臂叉装机、轮式装载机	100-300V 75-225 kW	中型卡车	AG - 14 CE - 86 MH - 19 Others - 4
0.3-1 MWh Large	履带式挖掘机、轮式装载机、破碎机、筛分机、港口装卸设备、移动式起重机、打桩机	400-1000V 225-560 kW	重型卡车定制 NRMM	AG - 6 CE - 34 MH - 8 Others - 35
>1 MWh Extra-Large	矿用自卸卡车、船舶、铁路	>1000V >560 KW	定制NRMM	CE/Mining - 32 Others - 3

CE - Construction, AG - Agricultural, MH - Material Handling

Source: KGP-Off-Highway Research Global Non-Road Powertrain Forecast xEV Module November 2023, CECE Summit 2023

应用 | 重型车辆 (HDV) | 供应商、化学、外形因素

2023年，中国将在总重量超过6吨的卡车和客车的电池和车辆供应中占据主导地位



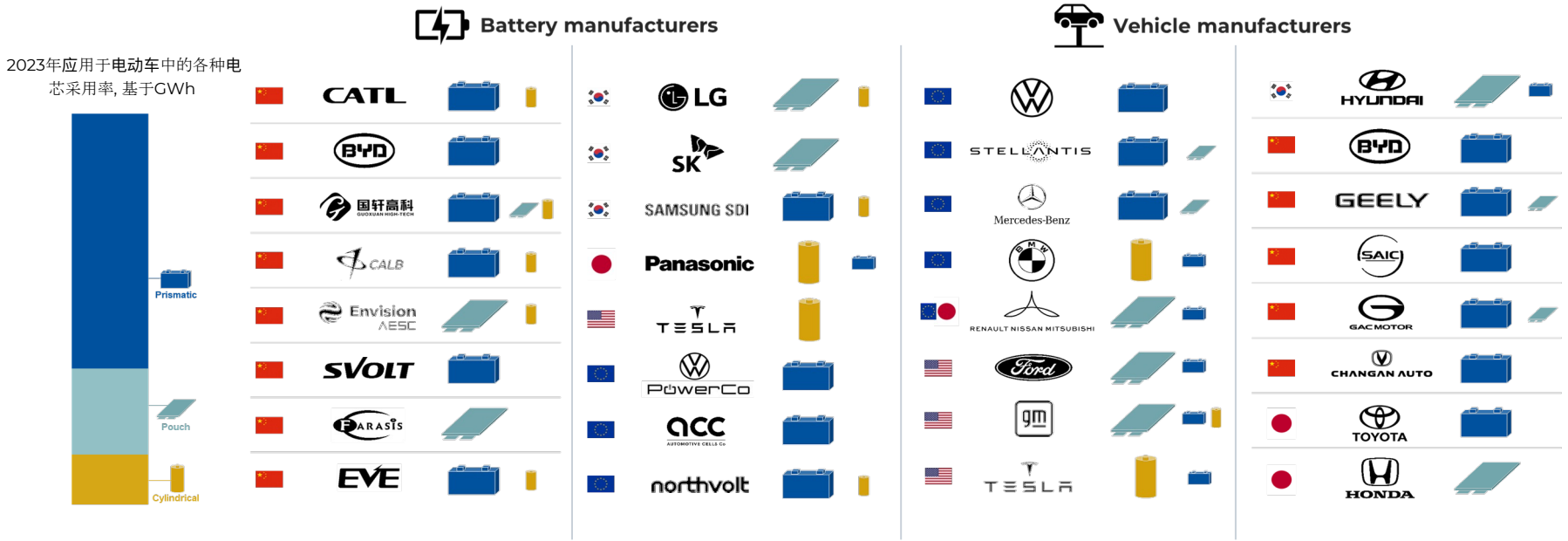
HDV 电池供应链仍然复杂，不同的供应商针对不同的平台和最终用途应用。

目前，中国电池供应商在磷酸铁锂方形电池方面占据主导地位，许多原始设备制造商都使用该电池。圆柱形NMC使用较少，主要在欧洲。

亿纬锂能与戴姆勒卡车、帕卡和 Accelera（康明斯）的合资企业可能会成为 2030 年的主要供应商。

Source: KGP

外形规格：大众市场趋向于大型电芯，尤其是方形电池

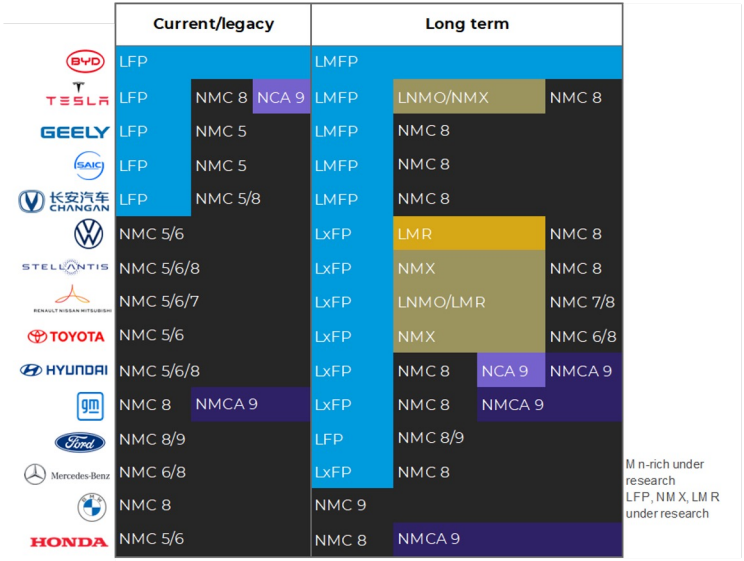


Large and small icons denote primary and secondary form factors respectively.

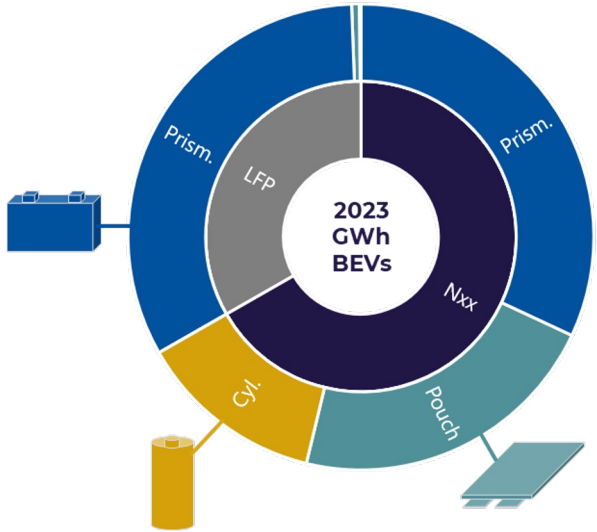
Source: CRU Group, company announcements

汽车主机厂（OEM）的电池电极材料和电池形状选择

OEMs越来越多地采用成本较低和能量密集的化学物质 - 影响材料使用和电池成本

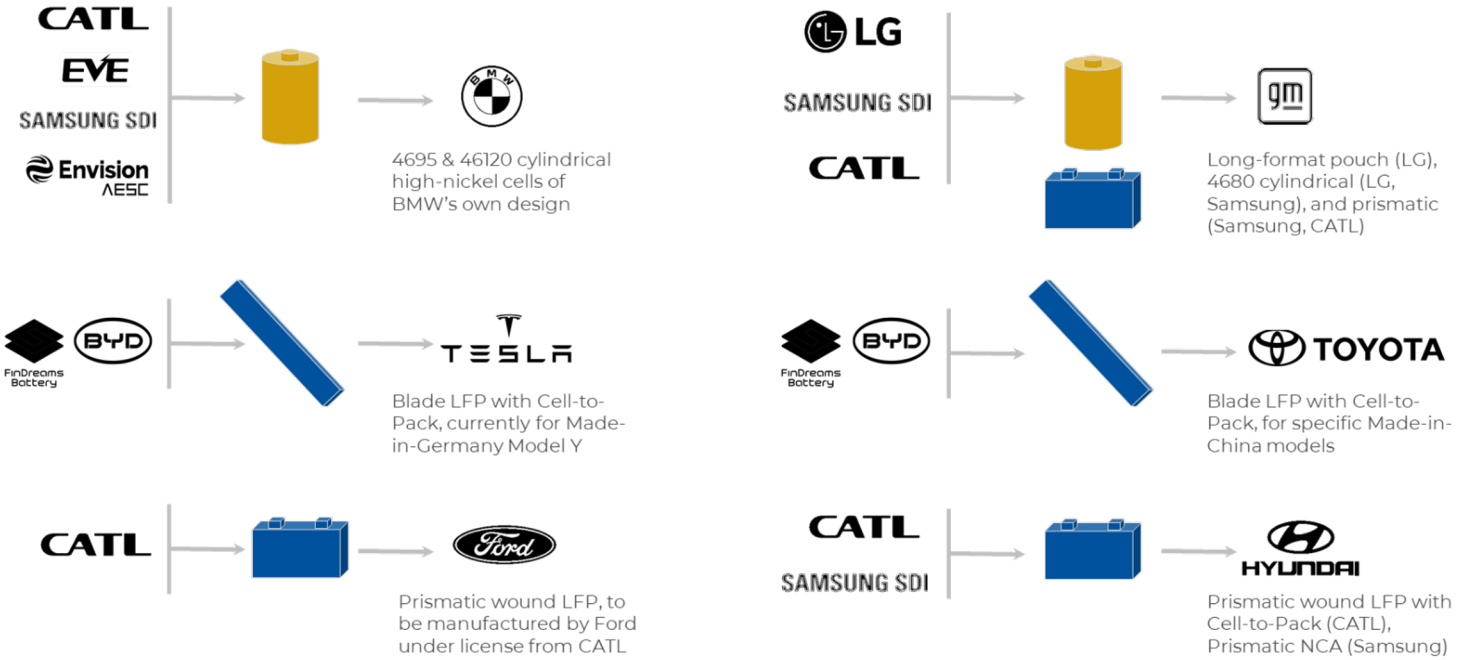


电池电极材料受电池格式影响，反之亦然
LFP是推动方形电芯的趋势



Source: CRU Group [1] [2]

外形规格更新：新兴合作伙伴

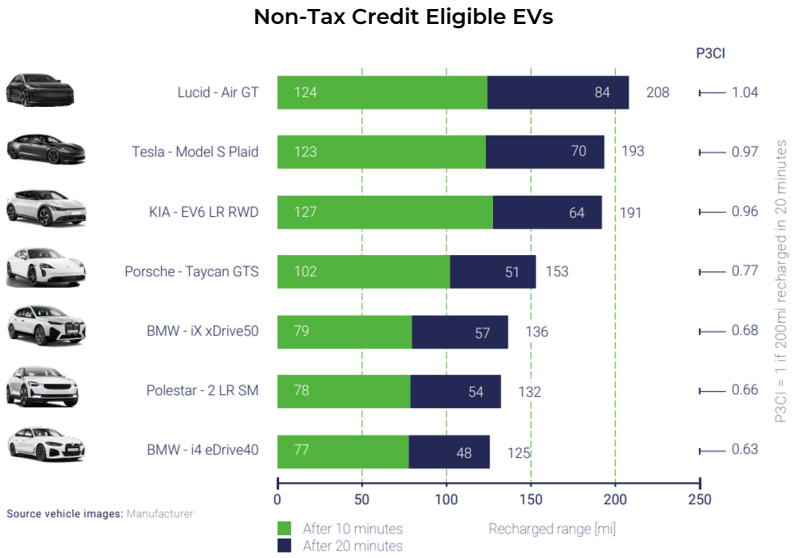


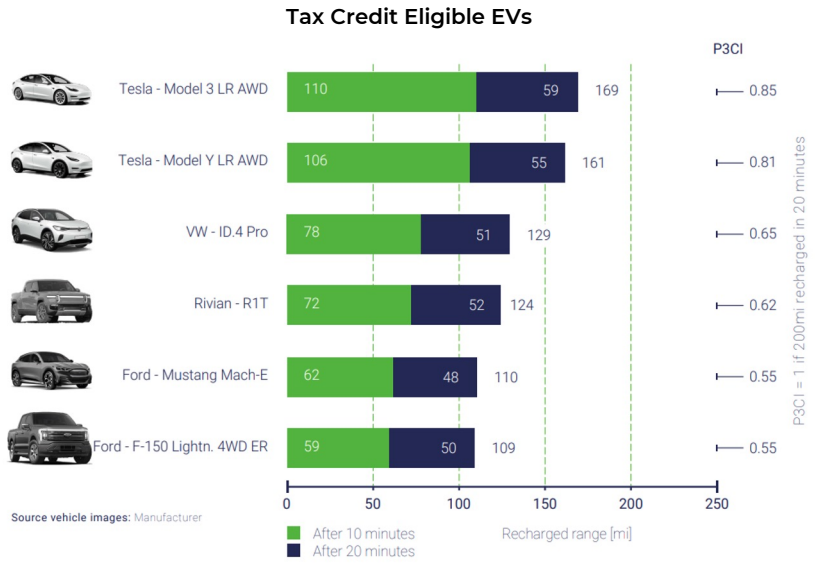
Source: Company announcements: BMW [1], [2], [3], [4], Tesla [5], Ford [6], GM [7], [8], Toyota [9], Hyundai [10], [11]

应用 | 电动汽车| 充电性能

在美国，最高充电速度仅适用于不符合 IRA 激励条件的昂贵高端车型。

直流快速充电 **10** 分钟和 **20** 分钟后添加 **EPA** 范围





定义：P3CI - US = 20 分钟/200 英里内的实际充电范围

Source: P3 Charging Index 2023/06

应用 | 电动汽车| 充电基础设施

NACS（北美充电标准）被几乎所有主要整车厂采用

- 充电基础设施不可靠是 **OEM** 厂商计划从 **2025** 年开始接入北美特斯拉超级充电站网络的主要原因
- 充电系统将标准化为**SAE J3400**
- 主要充电硬件制造商和 **CPO** 也已签约提供配备 **NACS** 硬件的充电站

November 2022: aptera

May 2023: Ford

June 2023: gm, VOLVO, RIVIAN, Polestar

July 2023: Mercedes-Benz, NISSAN

August 2023: FISKER

September 2023: HONDA, JAGUAR

October 2023: HYUNDAI, KIA, BMW, MINI, ROLLS ROYCE, TOYOTA

November 2023: LUCID, SUBARU

December 2023: VW, AUDI, PORSCHE, Scout

June 2023

Hardware manufacturers and CPOs:

chargepoint, SK signet, blink, TRITIUM, wallbox, EVgo, electrify america, ABB

Source: Reuters

欧洲替代燃料结构法规定义了充电基础设施的发展

2023 年 9 月通过的欧盟替代燃料基础设施法规 (AFIR) 规定了国际 TEN-T 网络沿线所有欧盟成员国的强制性基础设施要求。 该法规涵盖轻型车辆和重型车辆充电和加氢要求。 该法规是欧盟绿色协议“Fit for 55”计划的一部分。

轻型充电站最低要求

Target Date	Scope	Capacity Requirement
December 31, 2025	TEN-T 核心* 路网最长 60 公里	- 充电站≥400kW - 且至少一处充电桩≥150kW
December 31, 2027	TEN-T 核心* 路网最长 60 公里 最长 60 公里的 TEN-T 综合*路网	- 充电站≥600kW - 且至少两个充电桩≥150kW - 沿着综合道路网长度的至少 50%，每个充电站提供≥300kW 的功率， - 并且至少有一个点提供≥150kW 的功率
December 31, 2030	最长 60 公里的 TEN-T 综合*路网	- 充电站≥300kW - 且至少一个充电桩≥150kW
December 31, 2035	最长 60 公里的 TEN-T 综合*路网	- 充电站≥600kW - 且至少两个充电桩≥150kW

重型充电站最低要求

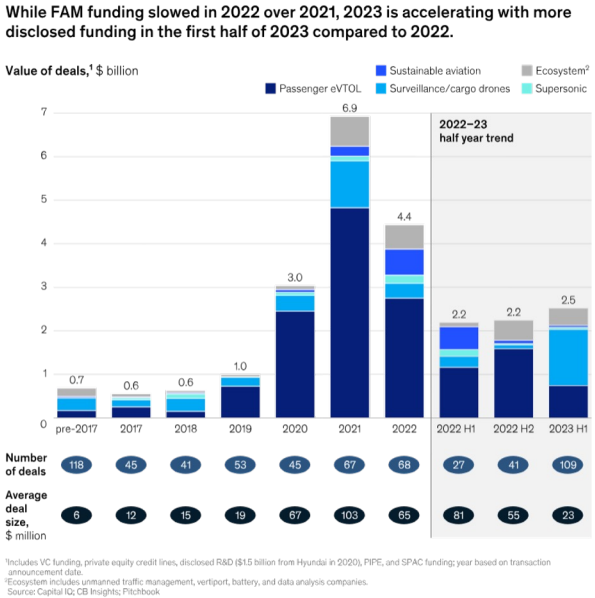
Target Date	Scope	Capacity requirement
December 31, 2025	TEN-T网络在每个城市节点	- - 沿网络超过 15% 的重型车辆充电站， - 每个方向至少 1,400kW 和 1 个 350kW 充电桩- - 可访问的重型车辆点总计 900kW，每个桩至少 150kW
December 31, 2027	TEN-T网络 TEN-T核心网 TEN-T综合网络 安全可靠的停车场	- 重型车辆充电池覆盖网络长度的 50%， - 每个行驶方向- 最小2,800kW功率输出， - 两点≥350kW点- - 最小1,400kW功率输出，其中一点≥350kW- - 两个公共重型汽车站，每个站功率≥100kW
December 31, 2030	TEN-T核心网 TEN-T综合网络安全 在每个城市节点有可靠的停车场	相距最大 60 公里，≥3,600kW，且两点≥350kW- 每个方向都有公共重型车辆池，最大相距100公里，≥1,500kW，其中一个点≥350kW- 至少四个可公开使用的重型汽车站，每个站的功率至少为 100kW。- 公共重型车辆点总计≥1,800kW，单个点≥150kW

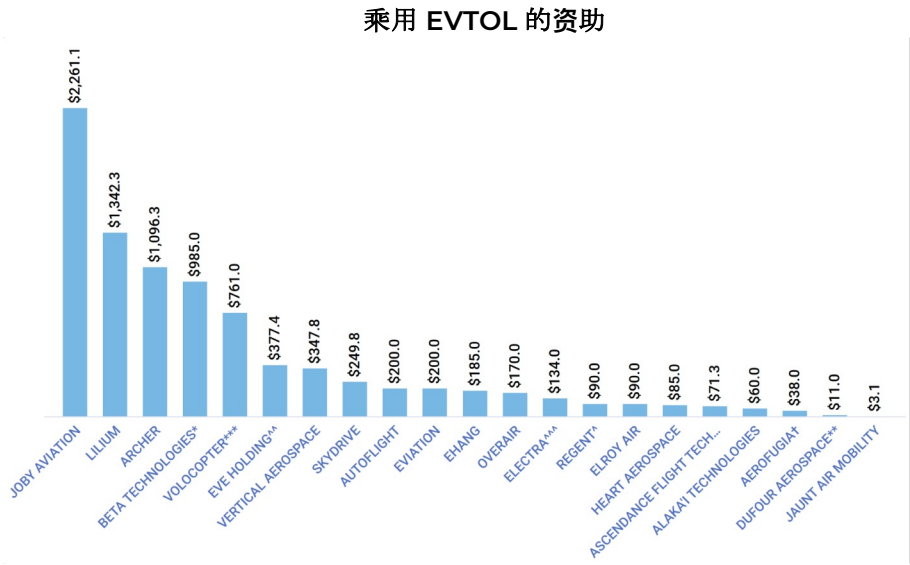
*The core network includes the most important connections linking major cities and nodes, and must be completed by 2030. It needs to meet the highest infrastructure quality standards. The comprehensive network connects all regions of the EU to the core network and needs to be completed by 2050

Source: Regulation (EU) 2023/1804 on the deployment of alternative fuels infrastructure

应用 | 电气化航空| 资金

随着现有企业取得认证的进展，对乘用EVTOL 的资金大幅减少；2023 年无人机将主导投资



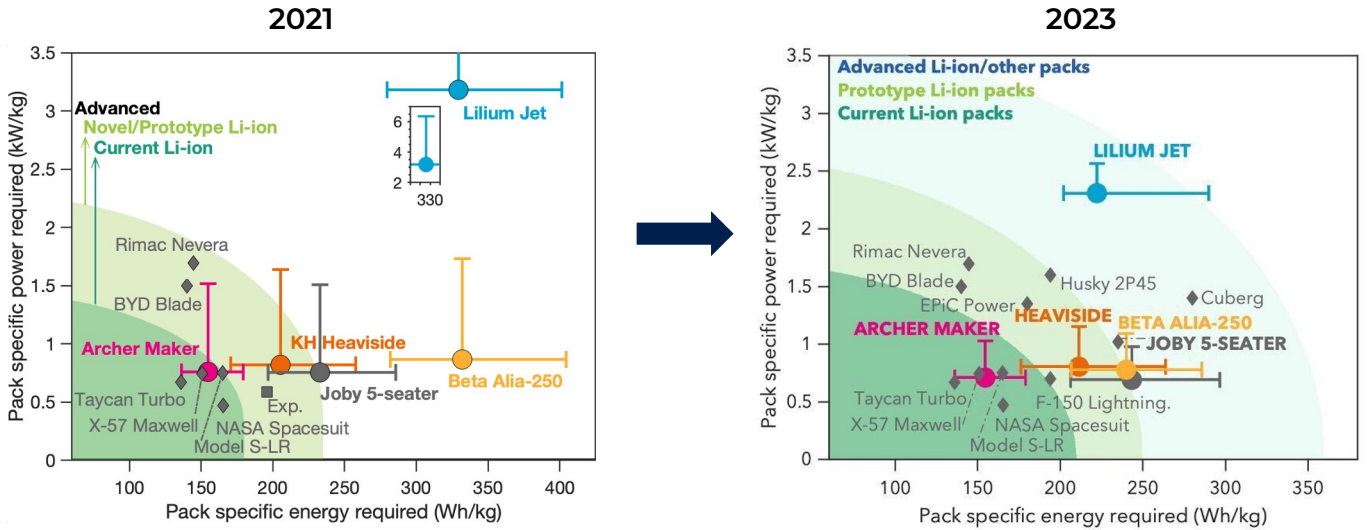


Source: McKinsey and Company, AAM Reality Index (SMG Consulting)

应用 | 电气化航空| EVTOL

电池系统能力提高，EVTOL 公司继续开发更接近现有电池技术的飞机

预计在不久的将来投入生产的 EVTOL 将使用传统的锂离子电池，电池组容量低于 250 Wh/kg，可实现飞机认证和第一代产品。



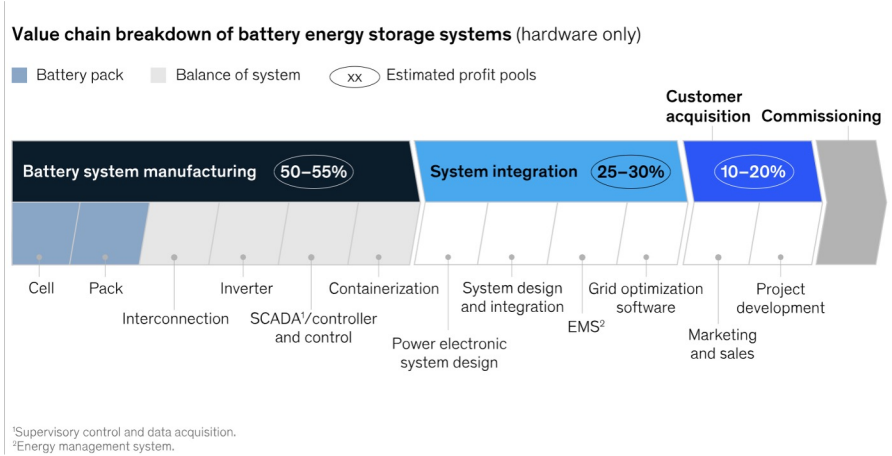
Source: S. Sripad et al., The promise of energy-efficient battery-powered urban aircraft

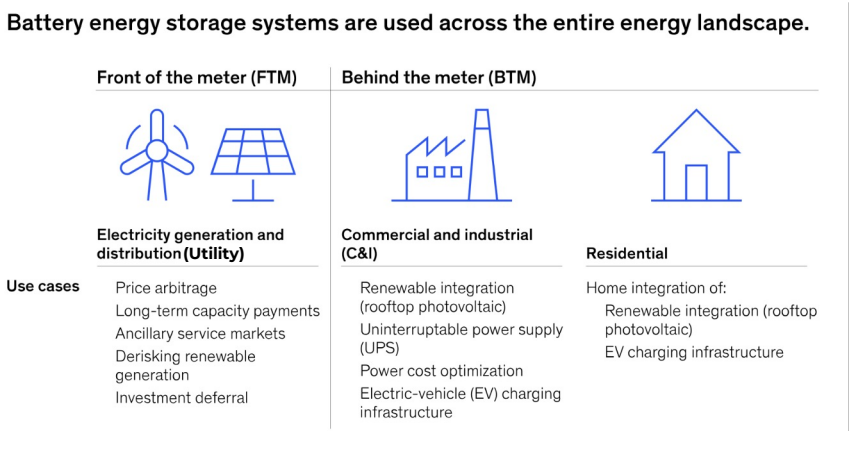
VF | VOLTA FOUNDATION

应用 | 固定式储能（BESS）

BESS 是一个新兴但快速增长的市场

.与 2021 年相比，2022 年电池能源固定存储 (BESS) 的投资将增加两倍，达到 50 亿美元，预计到 2030 年全球 BESS 市场将达到约 120-1500 亿美元。然而，金融家、集成商和电池化学领域存在风险和不确定性 。从电池到调试，生态系统非常复杂，BESS价值链利润池的50%以上由电池系统制造主导。



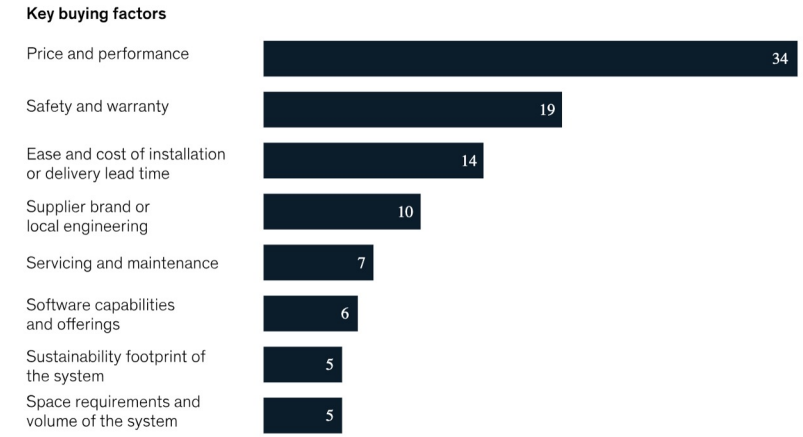


Source: McKinsey

应用 | 固定式储能（BESS）

家用储能产品将于 2023 年转向 LFP，符合消费者对价格、安全性和使用寿命（保修）的最高偏好。

2023 BESS[1] Germany Customer Survey, perceived as most important, % of respondents



[1]Battery energy storage system.
Source: McKinsey BESS Customer Survey, 2023, German market (n = 300)

Table 2: Battery chemistry of major products by selected residential storage providers

Company	2017	2021	2023
Pylontech	LFP	LFP	LFP
BYD	LFP	LFP	LFP
Panasonic	-	NMC	NMC / LFP
LG	NMC	NMC / LFP	NMC / LFP
Tesla	NMC	NMC / LFP	NMC / LFP
Enphase Energy	LFP	LFP	LFP
Sonnen	LFP	LFP	LFP
E3/DC	NMC / NCA	NMC / NCA / LFP	NMC / NCA / LFP
Senec	NMC	NMC	NMC
Powervault	NMC	NMC	LFP

Source: BloombergNEF. Note: NMC = nickel manganese cobalt, LFP = lithium iron phosphate, NCA = nickel cobalt aluminum oxide. Green entries refer to newly launched products or chemistry changes. Grey entries refer to newly announced or upcoming products or chemistry changes.

Source: BloombergNEF, McKinsey

应用 | 固定式储能 | 电池要求比较

与电动汽车应用相比，电池储能系统 (BESS) 优先考虑使用寿命而不是能量密度和充电速率。

Battery metrics and best-fit applications for lithium-ion batteries

Application		Energy density	Cycle life	Cost	Charge rate	Safety
Electric vehicles	Passenger EVs					
	Commercial EVs					
	Electric buses					
	Two- and three-wheelers					
Stationary storage	Utility-scale					
	Commercial					
	Residential					

Source: BloombergNEF. Note: Green = most important metric, Yellow = less important metric, Grey = relatively unimportant metric

要点:

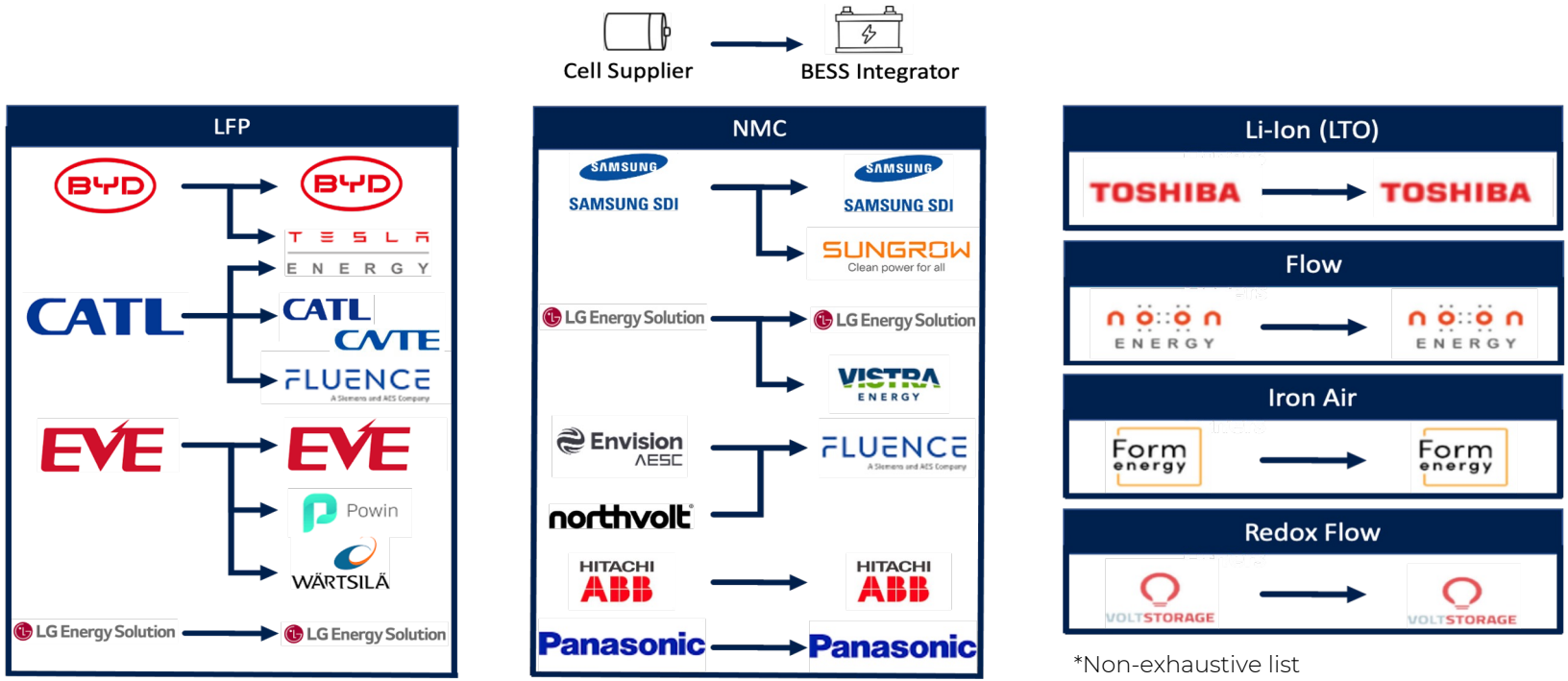
- 接受较低的充电速率（≤1C）
- 与电动汽车相比，BESS 的循环寿命至关重要与电动汽车相比
- 接受较低的能量密度（对占地面积的限制较少）。 更高的能量密度是电动汽车的关键，越轻越好。 然而，较高密度的电池不太可能提供固定存储所需的长循环寿命

Source: BloombergNEF

应用 | 固定式储能 | 参与者：电池供应商和集成商



应用 | 固定式储能 |合作伙伴



*Non-exhaustive list

Source: BYD, CATL, EVE- Powin, Wartsila, Panasonic, LG, Samsung SDI,, LG - Vistra,,Fluence, Hitachi ABB,, Toshiba, Voltstorage,, Noon Energy,, Form Energy ,

美国超过 6 GWh的 BESS 调试延迟

US BESS sites by status in Q3 2023	Megawatt (MW)	Megawatt hours (MWh)
运营中的**BESS (Q3 23)**	13,477 MW	38,337 MWh
安装就绪的**BESS ((Q1-Q3 23)**	4,393 MW	13,142 MWh
安装就绪的**BESS Q3 23**	2,142 MW	6,227 MWh
正在建设中的**BESS**	8,134 MW	23,000 MWh[e]
正在建设中或中后期中的**BESS**	21,445 MW	62,109 MWh
项目延迟的BESS	**6,160 MW[e]**	**17,500 MWh[e]**

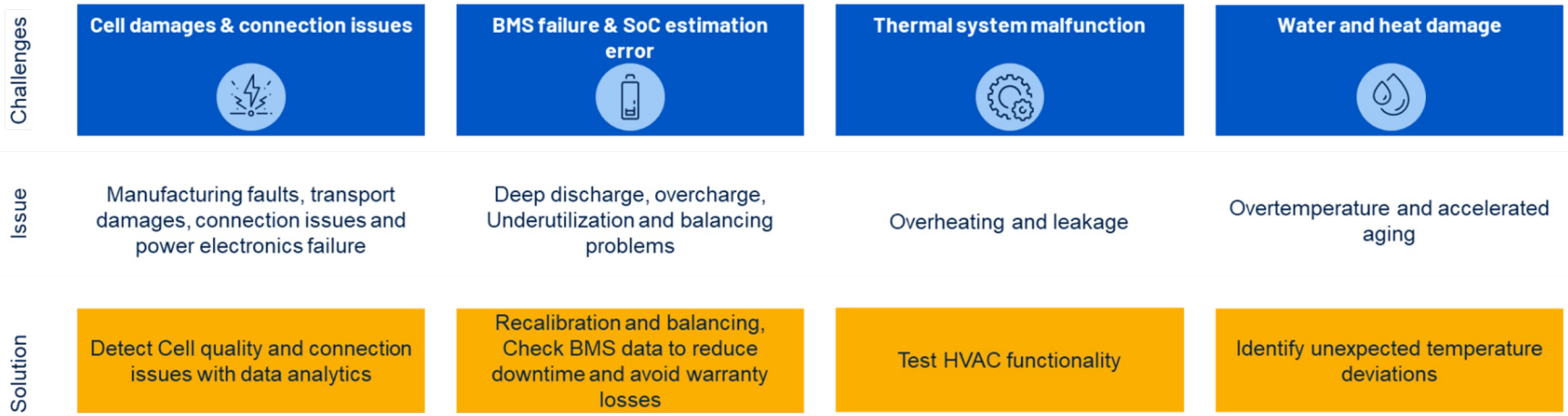
调试阶段是**BESS**价值链中的关键步骤，责任和风险从承包商转移给客户

- 调试阶段存在重大财务风险
- 由于延迟的高额处罚，对快速佣金的激励
- 根据 Modo Energy 的数据，ERCOT 中 50% 的收入来自前 50 天
- 调试报告缺乏电池详细信息

要点：按时完成调试项目的内部压力很大，这可能会导致性能和安全性受到影响。 调试延误对项目投资回报的影响很大。

Source: Clean Power, Modo Energy

导致BESS调试延迟的4大挑战



要点：外部因素和操作不规则可能导致电池间的不平衡。 额外的电池级仪器和强大的实时数据可见性对于识别和主动解决这些问题至关重要。

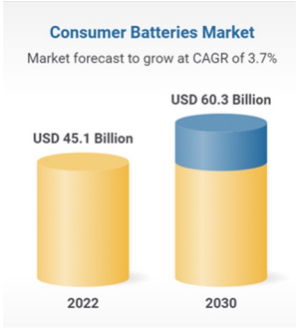
Source: Energy Storage News


TECLOMAN
助力全球能源转型
自主研发全矩阵产品，多场景储能应用覆盖发电侧+电网侧+用户侧
发电侧储能
工商用户处储能
移动电源车/数据中心电源
电网侧储能
户用储能
TECLOMAN
PRE-INSTALLED
ENERGY STORAGE SYSTEM
网址: www.tecloman.com
邮箱: info@tecloman.com
地址:成都市新都区桂湾路900号

应用 | 消费电子产品 - 智能手机

各智能手机厂商旗舰手机的电池容量和充电能力

- 手机电池容量范围从 2400 mAh 到 5050 mAh
- 手机充电功率范围为 25 W 至 240 W，可在约 60 分钟至约 9 分钟内实现充满电。
- 消费电子产品电池的全球市场预计到 2022 年将达到 451亿美元，预计到 2030 年将增长约 30%，达到 603亿美元，分析期间复合年增长率为 3.7%。



Device manufacturer	Apple	Samsung	Google	Xiaomi	Sony	Huawei	Oppo	Vivo	Realme	OnePlus	Nothing
Product	iPhone 15 Pro Max	S23 Ultra	Pixel 8 pro	Redmi Note 12 Explorer	Xperia 1 IV	Mate XS	Find X5 Pro	iQ00 10 Pro	GT3	10T	Phone 2
Battery capacity [mAh]	4441	4855	5050	4300	5000	4500	5000	4700	4600	4800	4700
Max charging power [W]	25	45	27	210	30	55	80	200	240	150	45

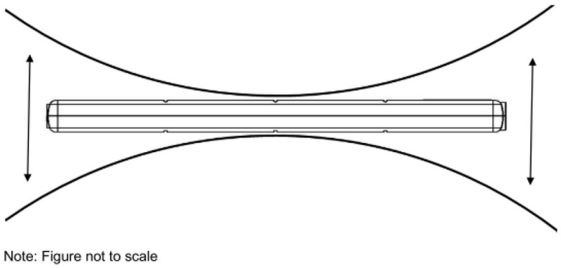
Source: Fast charging phones in 2023 - Phonearena

应用 | 军事与国防

独特且要求严格的军事应用

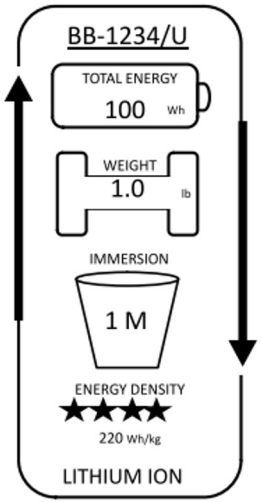
新电池技术正在帮助电池制造商满足军用规格

- 电池的军用规格（“MilSpec”）旨在确保极端操作条件下的最低容量要求。
- South 8 和 NanoGraf 等电池技术公司可以减少或消除暴露在极端温度或钉子/射弹穿透时发生的灾难性故障。



Note: Figure not to scale

一致性（柔韧性）测试夹具



标准化简化电池标签

MIL-PRF-32383 Inspection & Test Requirements

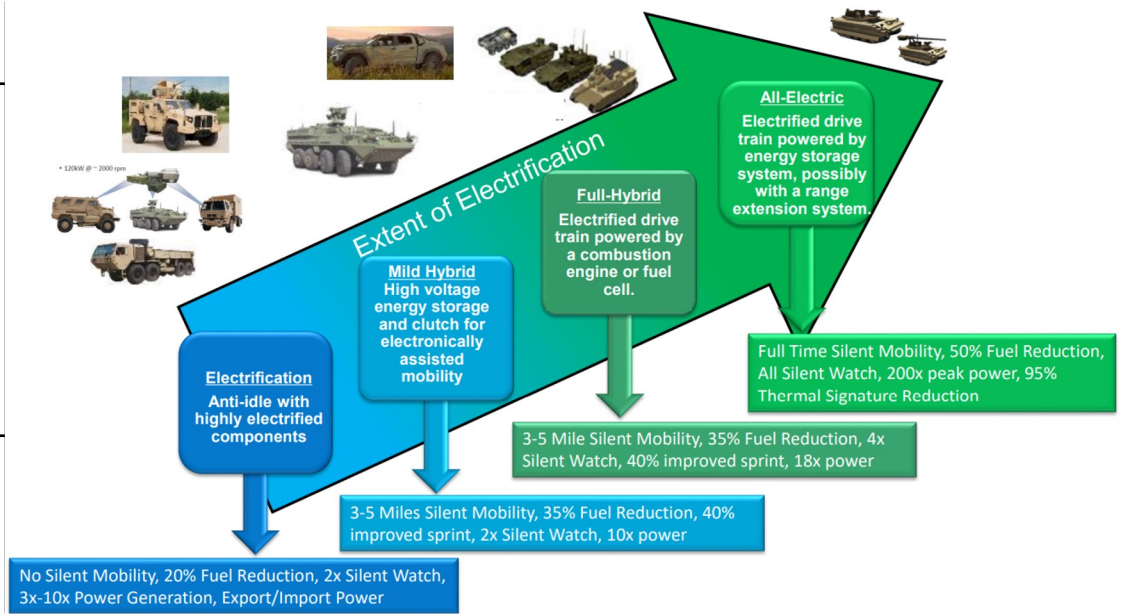
Visual and mechanical	Immersion, shallow
Dimensions and weight	Transit drop, severe
Battery open circuit voltage	*Surface friction*
Insulation resistance	*Salt Fog*
Altitude	*Chemical resistance*
Explosive decompression	*Electrostatic Discharge*
Charge acceptance	*Solar radiation*
Capacity discharge (initial)	Immersion, shallow (post drop)
Cycle life	State of charge
Battery storage life	SMBus
Overcharge/electrical leakage	Full capacity discharge
	Extreme low temp. discharge
Low temperature discharge	Extreme high temp. discharge
High temperature discharge	Battery case vent
Projectile	Short circuit protection
High rate discharge	*Impact*
Retention of charge	High temperature temporary cut-off
Pulse discharge	High temperature permanent cut-off
Motor inrush current	Electromagnetic interference
Thermal shock	*Pulse magnetic field*
Mechanical shock	Interchangeability
Vibration (discharge)	Lithium Battery Safety Program (US Navy) Tests
Conformability	*Bullet Penetration*
Connector insertion	
Flat terminal strength	

Source: US Department of Defense

美国军用车队电气化

战术和非战术舰队的替换策略

- 第 14057 号行政命令要求到 2035 年所有非战术美国军用（以及所有其他联邦）车辆实现零排放
- 美国国防创新部门正在与潜在供应商合作开发标准化电池系统，以实现多种最终用途国防平台的电气化。
- NDAA 通过了法律（SEC 154。禁止使用资金采购某些电池），自 2027 年 10 月 1 日起拒绝为国防部采购电池提供资金（比亚迪、远景能源、EVE Energy、国轩高科、锂能源、宁德时代）
- 非战术车队约为 174,000 艘，战术车队约为 250,000 艘



Source: U.S. Army, National Academy of Sciences

应用 | 太空应用

太空探索中对储能的需求不断增长。 使用的技术取决于任务概况的性质。

- 载人任务需要额外的设计考虑，以保护人类免受潜在的有毒热失控副产品气体的影响。
- 空间电池必须承受较宽的温度范围，这可能会由于热膨胀率差异而影响电解质密封的完整性。

Applications	Ambient Pressure	Mission example	Cell chemistry example	Avg. mission duration	Radiation	Avg. temperature	Design challenges
Earth	101.3 kPa	Electric vehicle	Graphite + NCM	8-12 years	H-3, Be-7, C-14,Na-22 0.21mSv/year	-30°C to +40°C	Corrosion
Upper atmosphere	200 Pa	Stratostats	Graphite + LCO	<100 days	He, Li- through Fe ions Neutrons 1-10 MeV 1.2 Neutrons/cm^2/s,	-20°C to -60°C	Low temperatures, icing, pressure variations
Low earth orbit (LEO)	10^{-6} - 10^{-9} Pa	ISP satellites	Graphite + NCA or LFP	<30 days (humans) 4 - 26 years (constellations)	1000-10 M Protons and Electrons/cm^2/s	-65°C to +125°C	Sealing under frequent temperature variation
Geosynchronous orbit (GEO)	10^{-12} Pa	Media broadcasting	Graphite + NCA or Nickel Hydrogen	>7 years (many operating past EOL)	400-500 km/s Protons & Electrons 30/cm^2/s	-196°C to +128°C	Calendar life, high cycle-life
Lunar	3 x 10^{-9} Pa	Lunar rover	Pu-238 RTG (radioisotope thermal generator)	3 months design, 31 months life (Jade Rabbit rover)	Protons, Electrons 10-10000 MeV, 1-10 Protons/cm^2/s	-130°C to +120°C	Extended duration of hot and cold/dark periods
Mars	560 Pa	Martian rover	Graphite + NCA	90 days NASA design (Opportunity lasted ~15 years)	Protons, Electrons 1-1000 MeV, 100-1000/s	-153°C to +20°C	Sealing under temperature variation, RTG radiation
Deep space	10^{-14} - 10^{-18} Pa	Deep space probes	Pu-238 RTG (radioisotope thermal generator)	45+ years (Voyager)	Protons, Electrons 1-10,000 MeV 100-10,000/s	-270°C	Calendar life, RTG radiation and decreasing heating

Source: (1) NASA (2) Virtue Market Research (3) E3S (4) Zhang, J., et al. (5) ESA (6) Singh, I., 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

年度事件 | 产业价值链 | 金融 | 电芯成本

电芯和电池组制造 | 应用 | 安全 | 化学及电芯材料

原材料 | 回收 | 软件及分析

安全 | 事故

2022年到2023年的安全相关事件的减少数量

- 消费类产品被记录了大量的事件，其次是小型移动产品。
- 大部分时间报告来自于美国、欧洲与中国。
- 大多数报告的事件引发了起火，少数情况是胀气、漏气或过热。



Source: UL Lithium-ion Battery Incident Reporting

VF | VOLTA FOUNDATION

纯电车辆与微型移动设备的认证与标准

车用动力电池

- UL 2580
- GB 38031
- UNECE-R 100 Rev. 3
- UN 38.3
- ISO 6469-1
- SAE J2929

轻型移动设备电池

- UL 2271 (Light Electric Vehicle)
- UL 2849 (E-Bike)
- EN 15194 (E-Bike)
- UL 2272 (E-Mobility Devices / E-Scooters)

图例



Source: (1) UL, (2) Cycling Weekly, (3) UL E-bike Standards

2023年汽车动力电池因安全问题的召回

1月

Volkswagen ID4: 大众ID4 12伏电池起火隐患

3月

Ford Lightning: 电池缺陷引起火灾风险

4月

BMW: 某些混动车型上，高压电池监测电路的不当生产

5月

Mercedes: 电池安全相关的软件召回

6月

Cadillac Lyric and Hummer EV: 纯电车电池连接处的不当焊接 (2022年的渗水)
Jaguar I-Pace: 起火风险
Tesla: 电池瞬时断路器召回

8月

Nikola: 所有纯电卡车因电池起火召回
Volvo/Mack: 短路风险

9月

Porsche and Audi: 电池密封不足

10月

Ford Mach-E: 高压电池功率损失

11月

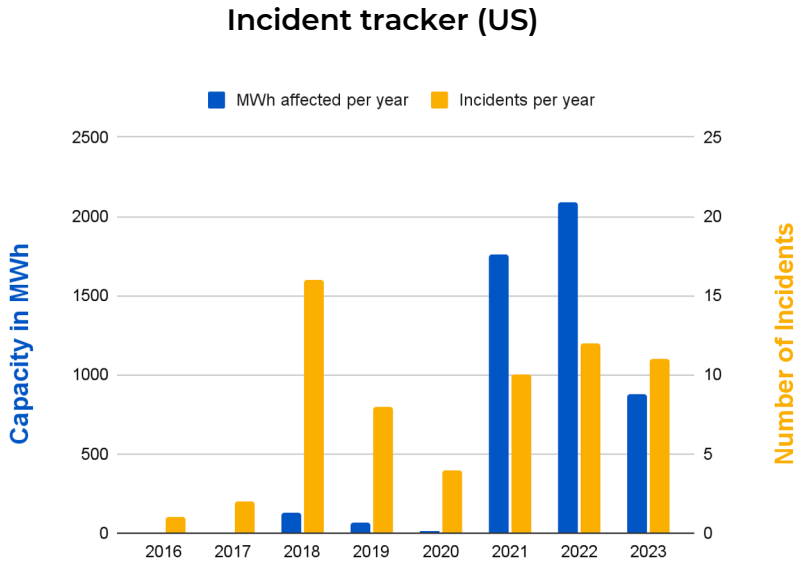
Toyota RAV4: 加速转弯情况下电池发生移动

详细的根本原因分析通常不会公开。
所有电池在发货前都被认为是已经通过汽车行业规定的强制性监管测试。

电网规模安装后的安全事故呈下降趋势

- EPPI数据库显示美国的并网后的系统发生了11起事故，其中9起发生在运营阶段的前2年。
- 7起在美国，2起法国，1起澳大利亚，1起台湾.
- 纽约州成立了跨机构消防安全工作组，旨在确保纽约州范围内能源储存系统的安全性和安全性。 [2]
- 尽管在2023年投入使用的能源储存量达到99GWh，大约是2022年新增储存量的两倍，但每年的事件数量 仍然保持稳定，不过，大多数这些系统仍然相对较新。[3]





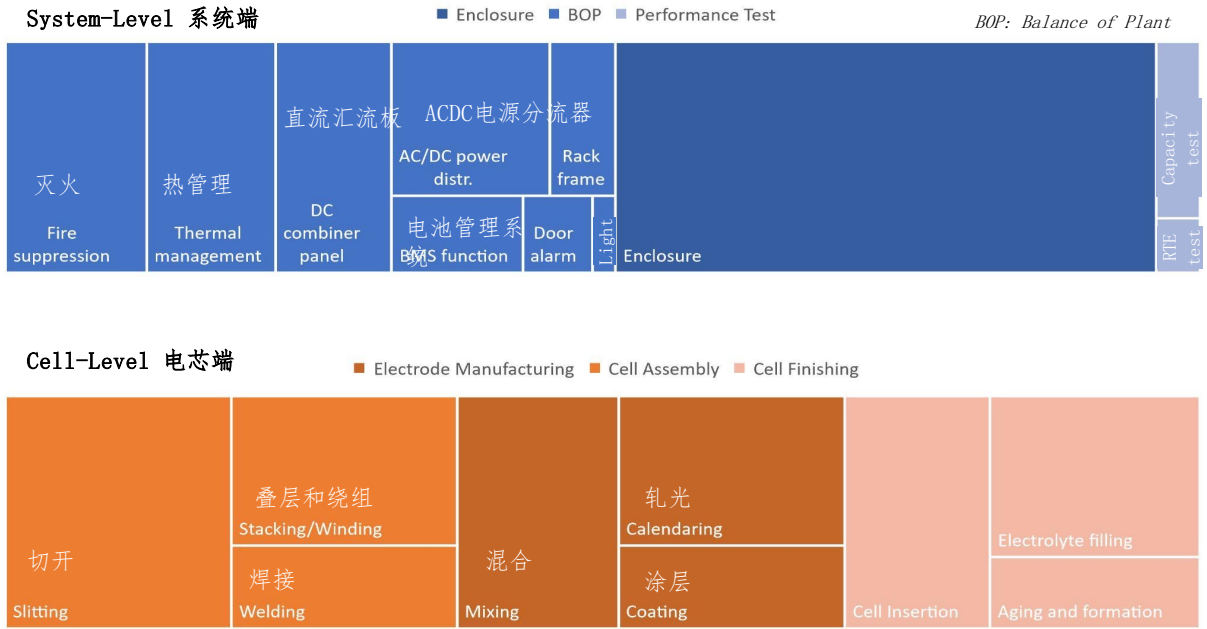
Source: EPRI; [2] PublicPower; [3] BNEF

安全 | 固定式储能

并网后储能系统的安全问题源头

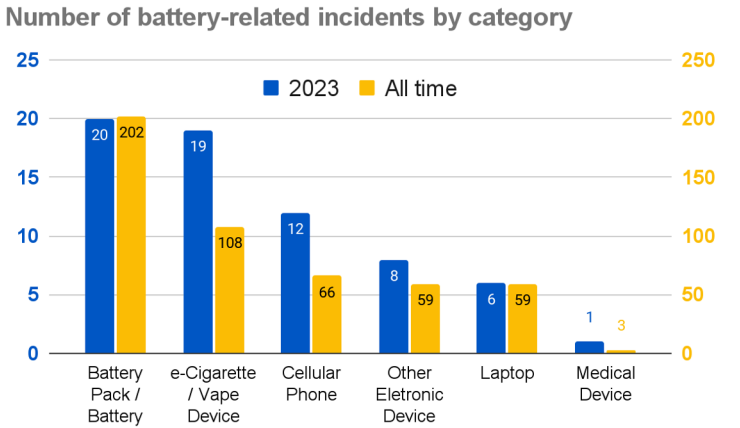
- 系统端问题占比最大47%其次是电芯端30%和模组端23%。
- 尽管电池组装生产已经高度自动化，家储系统的组装依然需要大量的人工且很容易出错。

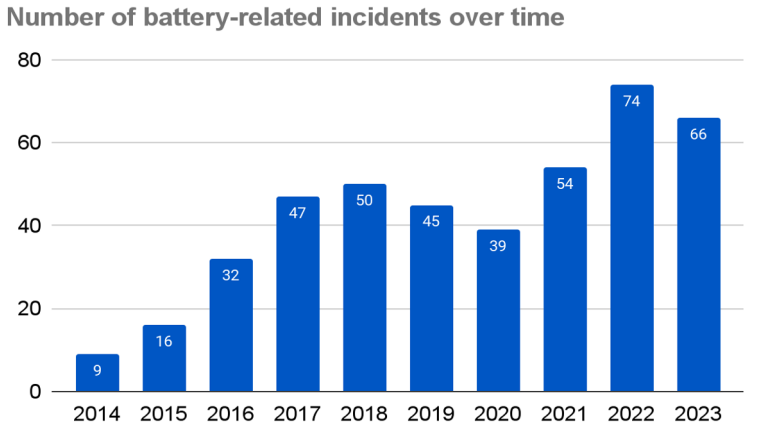
问题分布



Source: CEA/PV-magazine

涉及电池的美国航空安全事故





- 这些航空行业的事件是由美国联邦航空局（FAA）收集的，其中包括往返于美国的航班上出现的“涉及烟雾、火灾或极端高温”的事件。[1]
- 电池组/电池是美国联邦航空局记录的事件数量最多的类别[1]
- 在这一类别中，大多数事件涉及到移动电源或电池充电器导致热事件。[2]
- 这些事件中绝大多数（80%）发生在客机上。这些飞机的机组人员配备了热封袋，用于安置处理故障设备。[2]

Source: FAA [1]; DOT [2]

安全 | 停车场

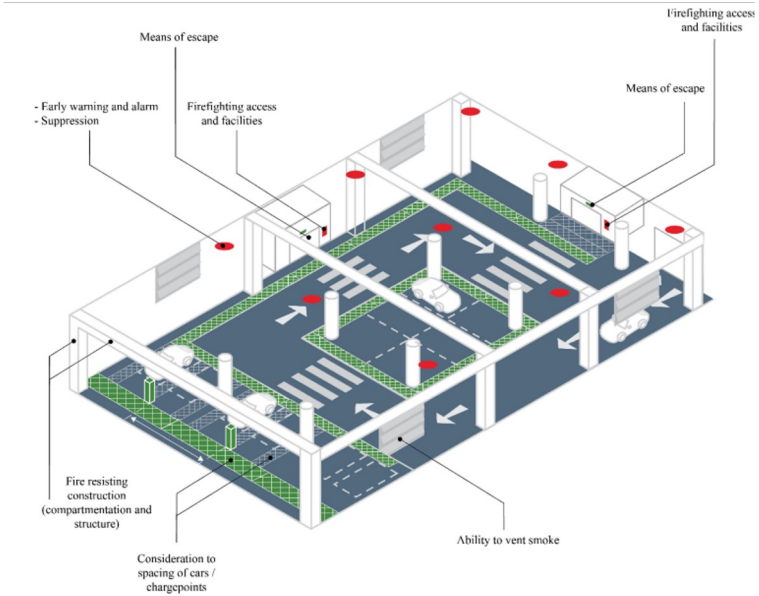
邻近行业的规范和标准发展滞后，比如停车场等。随着越来越多的安全问题，很多研究正在进行以应对新的安全挑战。

尽管火灾规模相似，但与内燃机车辆相比，电动车辆面临额外的灭火挑战：

- 电池再点火
- 易爆与可燃气体的潜在爆炸可能性
- 有毒气体的潜在泄露可能性
- 用于火灾扑灭的电池外壳内部的进入通道

目前针对缓解措施的研究和指导

- **现有结构**
  - 建筑物的业主应进行火灾风险评估，以评估引入电动车是否会增加额外的危险。
- **新的架构**
  - 充足的间距
  - 充足的火灾检测（气体、烟雾、热检测）
  - 适当的水压抑系统和通风系统
  - 经过培训和经验丰富的消防人员，配备适当的装备

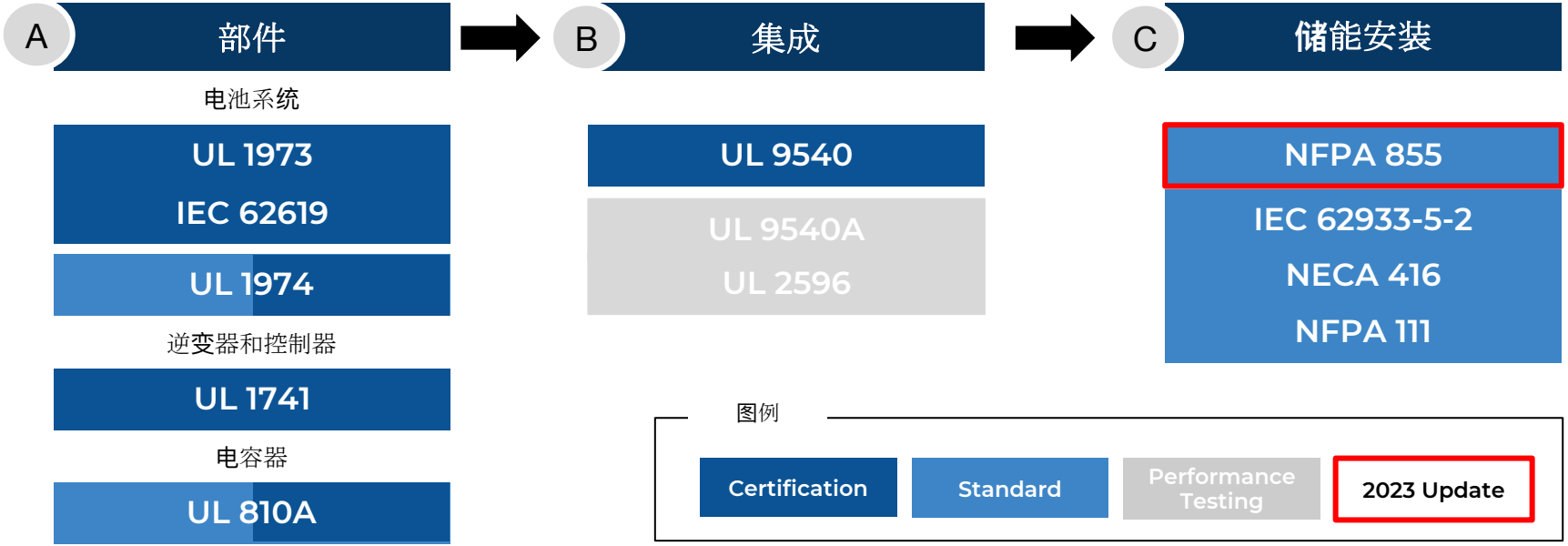


EV停车场设计实例[3]

Source

Source: [1]NFPA; [2]Siemens; [3]ARUP

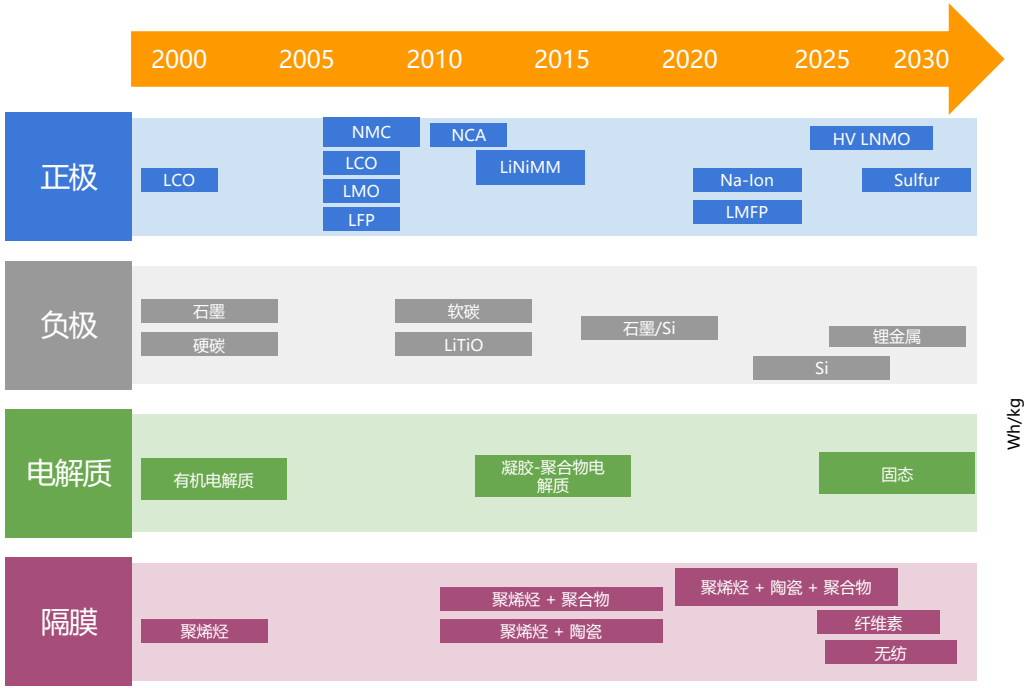
工商业家用储能入网系统认证与标准



Source: Clean Power; [2] WoodMackenzie - Energy storage technology trends report II; UL


年度事件
产业价值链
金融
电芯成本
电芯和电池组制造
应用
安全
化学及电芯材料
原材料
回收
软件及分析

电池化学体系发展路线图

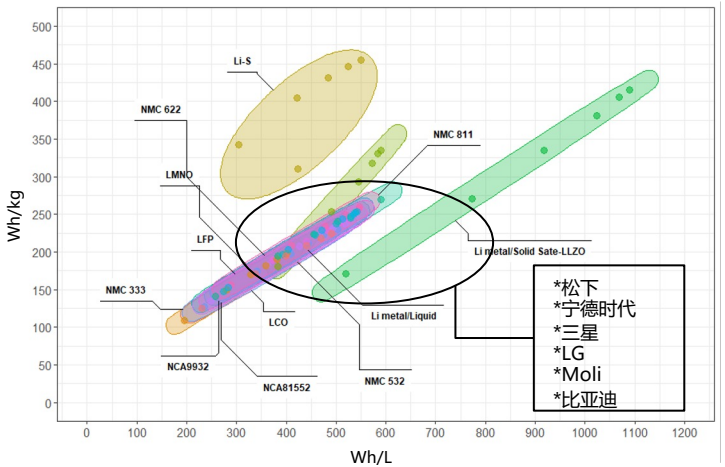


** 500 Wh/kg 的电池是美国、欧盟和日本政府的目标

*美国 “电池 500” 计划

*日本 “崛起 II” 计划(现在是崛起 III 计划)

*欧盟 “电池 2030” 计划



来源: Battery Talk: 电池应用解析 1/01/2024 (版本 2.0)

电池关键材料电化学指标表现

Legend: Great | Good | Avg | Poor | Bad

Performance Metrics for Key Battery Chemistries	Li-Ion (NMC811-Gr)	Li-Ion (NCA-Gr)	Li-Ion (LFP-Gr)	Li-Ion (LCO-Gr)	Li-Ion High Voltage (LNMO)	Lithium Metal (High Ni-Li)	Silicon (High Ni- Majority Silicon) **Prototype Phase	Sodium ion (NaMOx) **Market Soon (CATL)	Lithium Sulfur Battery (LSB) **Not Commercial	Solid State Sulfidic Lithium Metal Anode **Not Commercial	Solid State Oxidic Lithium Metal Anode **Not Commercial
Gravimetric Energy Density Wh/kg (cell level)	265-290	250-280	160-200	180-200	150-165	400-450	325-350	130-160	300-500	300-450	300-450
Volumetric Energy Density Wh/L (cell level)	650-800	400-600	250-400	300-450	280-300	700-1000	750-900	150-250	450-650	800-1100	800-1100
Nominal Voltage (V)	3.7 (2.5 - 4.2)	3.6 (3.0-4.2)	3.2 (2.5 - 3.65)	3.6 (3.0 - 4.5)	4.0 (3.0 - 5.0)	3.7 (2.5 - 4.2)	3.7 (2.5 - 4.2)	3 (1.0 - 4.2)	2.1 (1.8 - 2.4)	3.7 (2.5 - 4.2)	3.7 (2.5 - 4.2)
Cell Cost $/kWh 2023	$112.70	$120.30	98.5	123.6	No Data	No Data	No Data	*40-80 (CATL)	No Data	No Data	No Data
Cycle Life (C/2+ rate)	1500	1000	2000	750	250-500	200-400	**500	**3000-6000	**150-300	**250-500	**250-500
Self Discharge (Qual)	Avg	Avg	Avg	Avg	Bad	Bad	Avg	**Avg	**Bad	**Good	**Good
Calender aging (Qual)	Avg	Avg	Avg	Avg	Bad	Avg	Avg	**Avg	**Avg	**Bad	**Bad
Rate Capability (Qual)	Avg	Avg	Avg	Good	Avg	Good	Good	**Avg	**Avg	Good	**Poor
Safety (Qualitative)	Poor	Poor	Avg	Poor	Good	Bad	Poor	**Good	**Avg	**Poor	**Good
High Temperature Operation (60C+)(Qual)	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad	**Good	Poor	**Good	**Good
Low Temperature Operation (10C-)(Qual)	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	**Bad	**Good	**Bad	**Bad
Recycle Value (Li, Co, Ni, Cu) for Cost/Effort	Avg	Avg	Poor	Good	Poor	Avg	Avg	**Bad	**Bad	**Poor to Bad	**Poor to Bad
Possible Form Factors and Challenges	No Restriction	No Restriction	No Restriction	No Restriction	No Restriction	No Restriction	*High Swelling*	No Restriction	No Restriction	*manufacturing limitations*	*manufacturing limitations*

* * 除了正极之外，电池设计和组件可以对电池性能指标产生很大影响。

有关更多详情，请访问：Battery Talk: 电池应用解析 1/01/2024 (版本 2.0)

对于锂离子电池来说，正极的重要性不言而喻。
正极在充放电循环中负责储存和释放锂离子，促使电子流动，确保能源稳定和持续供应。然而，正极面临着几个风险，包括有限的能量储存容量，离子扩散速度慢（尤其是在较厚的正极中），以及成本较高（镍、钴、碳酸锂/氢氧化锂）与其他电池组件相比。

关键趋势与发展领域

高镍正极

研究人员正在努力研发镍含量更高的正极材料，例如NMC（镍锰钴）和NCA（镍钴铝）。高镍正极的目标是提高能量密度，改善整体电池性能。

LFP/LMFP

行业正逐渐转向大规模采用 LFP，并在 LMFP 的开发上取得进展。相较于高镍和高钴化学成分，LMFP 提供了更高的能量密度，同时保持了低成本结构。

低钴化

为了应对高成本、环境问题和供应链问题，正在努力减少或淘汰正极材料中的钴使用。这涉及开发无钴或低钴正极。

固态正极

固态电池技术，包括固态正极，是研究的重点领域。与传统液态电解质锂离子电池相比，固态电池有潜力提供更高的能量密度、更好的安全性和更长的循环寿命。

包覆 & 结构

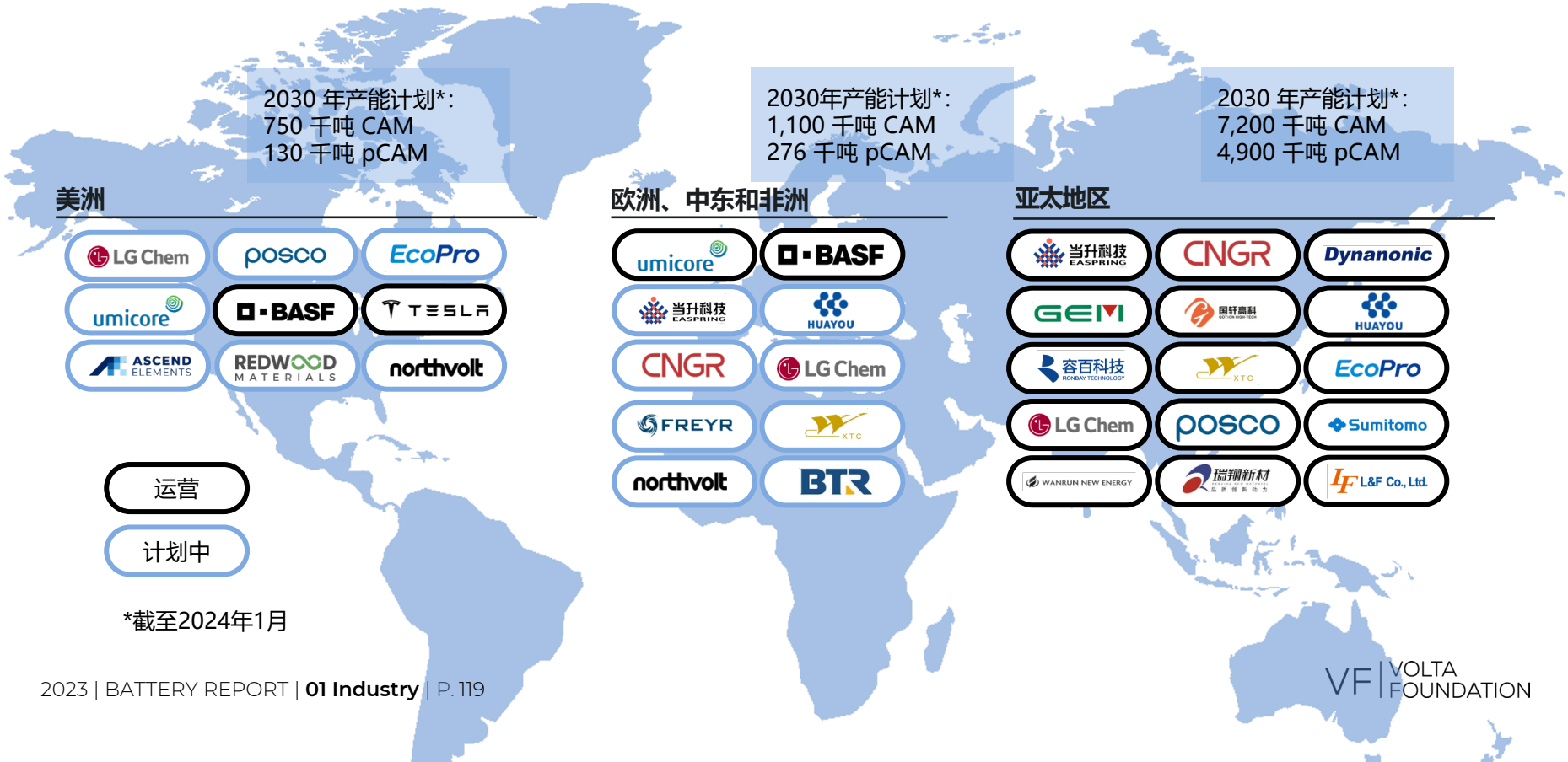
研究人员正在探索先进的涂层和纳米结构正极材料，以增强正极-电解质界面的稳定性，减少副反应，并提升整体电池性能。

回收

未来，可持续发展实践备受关注，包括针对正极材料的回收利用技术，以解决锂离子电池的环境影响。

资料来源:对锂离子电池的思考 - 本质、锂离子电池中正极的角色、理解正极材料的电化学电位

化学及电芯材料 | 正极 | 主要行业玩家



2030 年产能计划*:
750 千吨 CAM
130 千吨 pCAM

美洲

LG Chem
POSCO
EcoPro
umicore
BASF
TESLA
ASCEND ELEMENTS
REDWOOD MATERIALS
northvolt

2030年产能计划*:
1,100 千吨 CAM
276 千吨 pCAM

欧洲、中东和非洲

umicore
BASF
当升科技 EASPRING
HUAYOU
CNGR
LG Chem
FREYR
XTC
northvolt
BTR

2030 年产能计划*:
7,200 千吨 CAM
4,900 千吨 pCAM

亚太地区

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.

运营

计划中

*截至2024年1月

优劣势分析：磷酸铁锂 (LFP) vs. 镍锰钴 (NMC)

S

LFP 优势

- 高安全性
- 长循环寿命
- 铁蕴藏量充足

NMC 优势

- 能量密度
- 低温性能
- 功率密度
- 强大的电池供应链
- 高回收价值

W

LFP 劣势

- 重量
- 能量密度
- 低温性能
- 薄弱的材料供应链(材料需求 > 供应)
- 功率密度
- 难以读取充电状态
- 回收价值低

NMC 劣势

- 成本
- 安全性
- 镍/钴供应链

O

LFP 机遇

- 低/中档/入门级电动汽车
- 电动巴士，电动自行车
- 储能
- 对成本敏感的应用

NMC 机遇

- 长续航/高端电动汽车
- 电动巴士，电动自行车，电动摩托车
- 电动工具 / 对性能敏感的应用

T

LFP 风险

- 镍钴锰三元/高电压无钴镍锰酸锂
- 钠离子电池
- 无法满足高能量密度的规定
- 材料成本增加

NMC 风险

- 磷酸铁锂/高电压尖晶石型无钴镍锰酸锂
- 原材料成本增加

2023年，镍锰钴（NMC）电池技术在能量密度、安全性和成本效益方面取得了显著进展。

持续的研究致力于优化正极配方，提高循环稳定性，并探索可持续材料的应用。

在2023年，NMC 电池领域的前沿研究主要集中在先进的正极配方上，采用超高镍含量以提升能量密度。

总体而言，NMC 电池的最新研究旨在推动性能、安全性和可持续性的进步。

2023年，领导NMC电池生产的主要参与者包括CATL、LG Energy Solution、SK On和Samsung SDI。

:资料来源: 磷酸铁锂 优劣势, 太平洋西北工业实验室- 磷酸铁锂 vs. 镍钴锰三元路线之争, 生态树- 锂电池的磷酸铁锂 vs. 镍钴锰三元路线之争，优劣势分析：磷酸铁锂 (LFP) vs. 镍钴锰三元 (NCM)

优劣势分析：镍钴铝（NCA）vs. 镍锰钴（NMC）

S

NCA 优势

- 安全性
- 能量密度

NMC 优势

- 能量密度
- 低温性能
- 功率密度
- 强大的电池供应链
- 高回收价值

W

NCA 劣势

- 重量
- 成本
- 安全性
- Ni/Co供应链

NMC 劣势

- 成本
- 安全性
- 镍/钴供应链

O

NCA 机遇

- 低/中档/入门级电动汽车
- 电动工具
- 便携式电子产品

NMC 机遇

- 长续航/高端电动汽车
- 电动巴士，电动自行车，电动摩托车
- 电动工具 / 对性能敏感的应用

T

NCA 风险

- NMC
- 高电压LNMO
- 镍和钴材料成本增加

NMC 风险

- 磷酸铁锂/高电压尖晶石型无钴镍锰酸锂
- 原材料成本增加

2023年，镍钴铝（NCA）电池在电动汽车和便携电子产品领域继续保持着突出地位。

在优化电极材料、提高能量密度和改善整体性能方面取得了不少进展。

像松下和三星 SDI 这样的主要参与者，其中松下是特斯拉电池的首要供应商，为 NCA 电池在各种应用中的推广和广泛使用做出了重要贡献。

NCA 电池主要用于电动汽车应用，而电动工具、电动自行车和便携电子产品也在逐渐增加其应用范围。

Source: Battery Talk: Battery Application Break Down 1/01/2024 (Version 2.0)

优劣势分析：锂钴氧（LCO）vs. 镍锰钴（NMC）

S

LCO 优势

- 能量密度
- 更高的电压能力（最高达4.5 V）
- 功率
- 比其他正极化学成分更成熟的技术
- 高回收价值

NMC 优势

- 能量密度
- 低温性能
- 功率密度
- 强大的电池供应链
- 高回收价值

W

LCO 劣势

- 较低的热稳定性温度
- 低放电电流可能导致电池组过热
- 由于过热，限制倍率
- 寿命较短
- 使用的钴量最多
- 钴的成本和稀缺性

NMC 劣势

- 成本
- 安全性
- 镍/钴供应链

O

LCO 机遇

- 便携式和消费类电子产品
- 需要10年以上可靠性数据的行业
- 国内工业中的高回收价值

NMC 机遇

- 长续航/高端电动汽车
- 电动巴士，电动自行车，电动摩托车
- 电动工具 / 对性能敏感的应用

T

LCO 风险

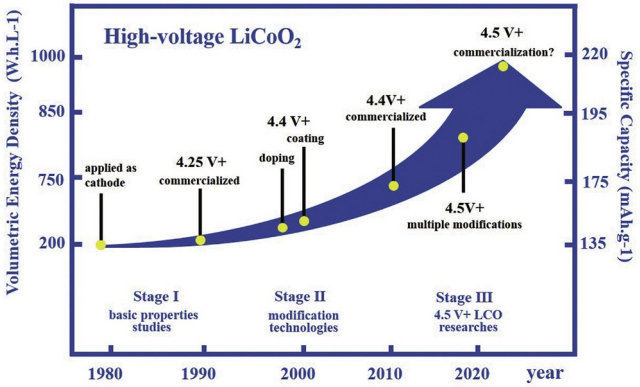
- 高能量密度的NMC811和NCA用于高性能
- 高压的LMNO
- 钴材料成本不断增加

NMC 风险

- 磷酸铁锂/高电压尖晶石型无钴镍锰酸锂
- 原材料成本增加

锂钴氧化物电池（LCO）因其相对较高的钴含量而以其高能量密度和热稳定性著称。

LCO 具有相对较高的电压能力。由于过去钴的成本，电动汽车行业早已摆脱了对 LCO 的依赖。不过，智能手机、笔记本电脑和其他便携电子产品对 LCO的需求仍然很大。



Source: LCO Overview, LFP Pros and Cons, LCO vs LFP, LCO Life Cycle, Congo's Cobalt Controversy

优劣势分析：磷酸铁锂 (LFP) vs. 镍锰钴 (NMC)

S

LFP 优势

- 高安全性
- 长循环寿命
- 铁蕴藏量充足

NMC 优势

- 能量密度
- 低温性能
- 功 率 密 度
- 强大的电池供应链
- 高回收价值

W

LFP 劣势

- 重量
- 能量密度
- 低温性能
- 材料供应链薄弱（材料需求大于供应）
- 功率
- 难以读取电荷状态
- 回收价值最低成本 (*2022)

NMC 劣势

- 成本
- 安全性
- 镍/钴供应链

O

LFP 机遇

- 低/中端/入门级电动汽车
- 电动公交车、电动自行车
- 储能电站
- 对成本敏感的应用领域

NMC 机遇

- 长续航里程/高端电动汽车
- 储能电站
- 电动公交车/自行车/摩托车
- 电动工具/对性能敏感的应用领域

T

LFP 风险

- NMC
- 高电压LNMO
- 钠离子电池
- 能量密度的监管
- 原材料成本增加

NMC 风险

- LFP
- 高电压LNMO
- 原材料成本增加

过去，锂铁磷酸铁（LFP）电池主要用于中国的小型、低成本电动汽车。然而，近几年来，LFP已经开始在更大型的车辆中广泛应用。

几乎所有主要的汽车制造商现在都已经制定了使用LFP的计划。

此外，LFP也是能源存储系统中主要采用的化学体系。

资料来源：Battery Talk：电池应用细分 2024年1月1日（版本2.0）

优劣势分析：磷酸锰铁锂（LMFP）与磷酸铁锂（LFP）

S

LMFP 优势

- 能量密度
- 每千瓦时成本
- 锰资源丰富且成本低廉
- 每千瓦时使用的原材料更少
- 更易于估计电荷状态

LFP 优势

- 更好的循环寿命
- 中国现有的供应链
- 不需要锰

W

LMFP 劣势

- 循环寿命（取决于铁锰比）
- LMFP CAM和新锰化学品的供应链尚不成熟

LFP 劣势

- 能量密度
- 低温性能
- 在中国以外缺乏供应链
- 难以读取充电状态

O

LMFP 机遇

- 中长程电动汽车
- 卡车和公共汽车

LFP 机遇

- 低/中端/入门级电动汽车
- 电动公交车、电动自行车
- 储能电站
- 对成本敏感的应用领域

T

LMFP 风险

镍含量高的NMC在长程应用中的竞争
高压LNMO
LMR（可充电锂金属）
LMFP CAM建设较慢
锰化学品生产

LFP 风险

- NMC
- 高压LNMO
- 钠离子电池

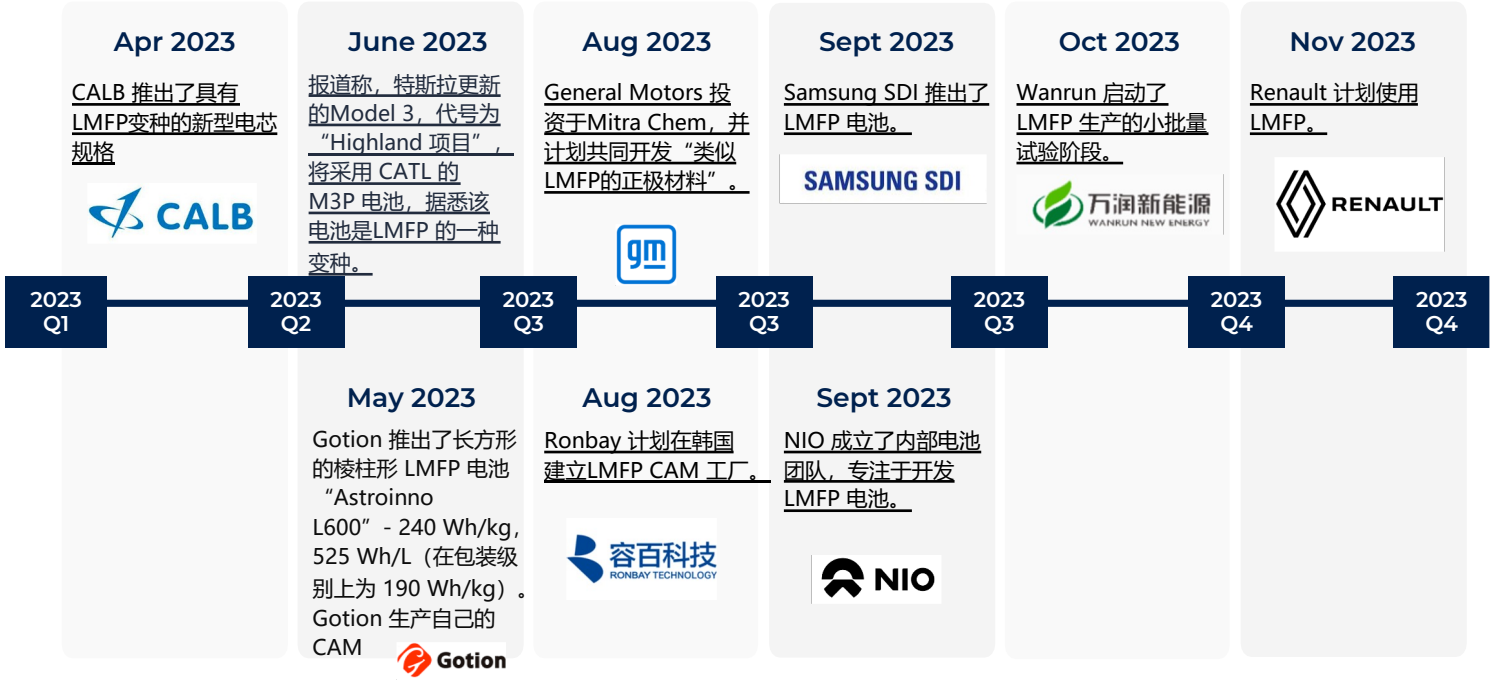
磷酸锰铁锂（LMFP）相较于磷酸铁锂（LFP） 具有更高的能量密度，同时保持了较低的成本结构。

LMFP主要由中国制造商作为LFP的演进来推广。最初的变体并非纯粹的LMFP，而是与 NMC 混合。

最初的优化决策涉及锰铁比例、生产路径（固态 vs. 液态相）以及锰化学原料。

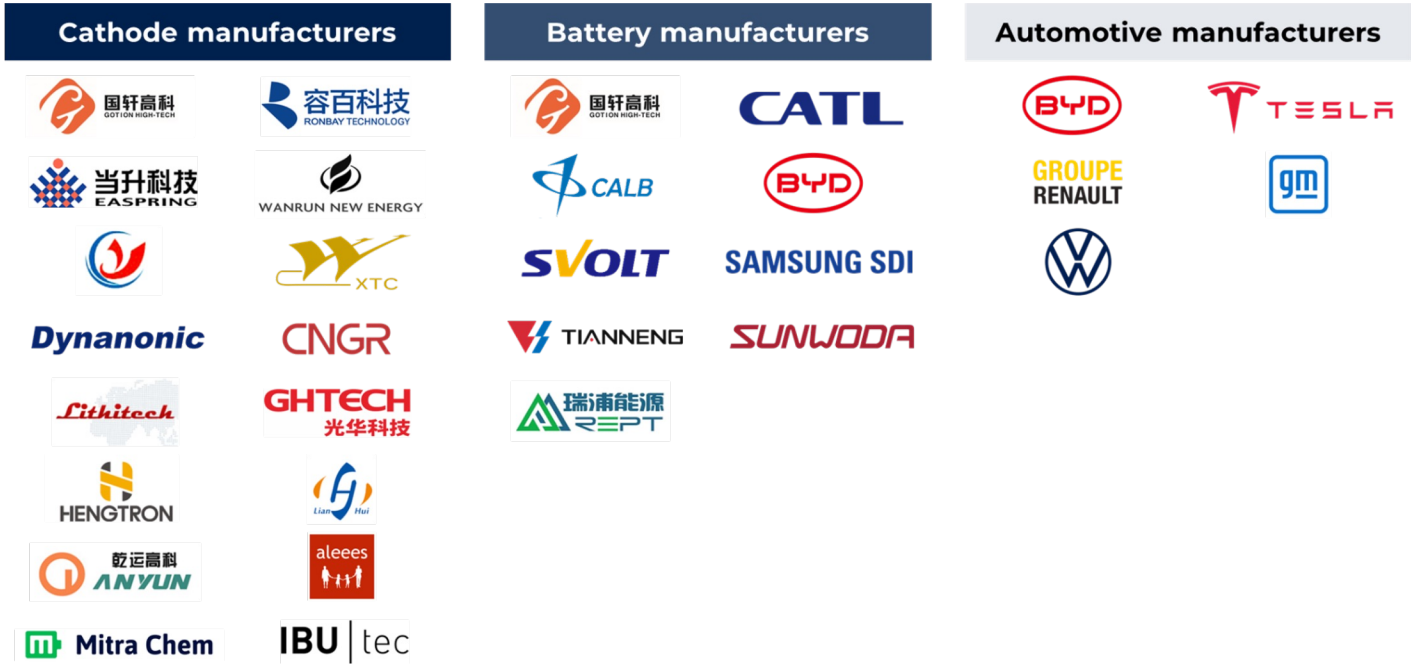
资料来源：CRU集团，takomabattery

化学及电芯材料 | LMFP | 标志性事件



资料来源：公司公告（领英链接）

已宣布或有计划采用LMFP技术的制造商



资料来源：CRU集团，公司公告

优劣势分析：锰酸锂 (LMO) vs. 磷酸铁锂(LFP)

S

LFP 优势

- 高安全性
- 长循环寿命
- 铁蕴藏量充足

LMO的优势：

- 成本
- 安全性
- 功率能力（快速充电能力）

W

LFP 劣势

- 重量
- 能量密度
- 低温性能
- 材料供应链薄弱（材料需求大于供应）
- 功率
- 难以读取电荷状态
- 回收价值最低
- 成本 (*2022)

LMO 劣势

- 能量密度
- 寿命
- 高温性能

O

LFP 机遇

- 低/中端/入门级电动汽车
- 电动公交车、电动自行车
- 储能电站
- 对成本敏感的应用领域

LMO 机遇

- 电动自行车/滑板车
- 静态储能
- 对成本敏感的应用领域
- 长续航里程/高端电动汽车（NMC/LMO混合型）

T

LFP 风险

- NMC
- 高电压LNMO
- 钠离子电池
- 能量密度的监管
- 原材料成本增加

LMO 风险

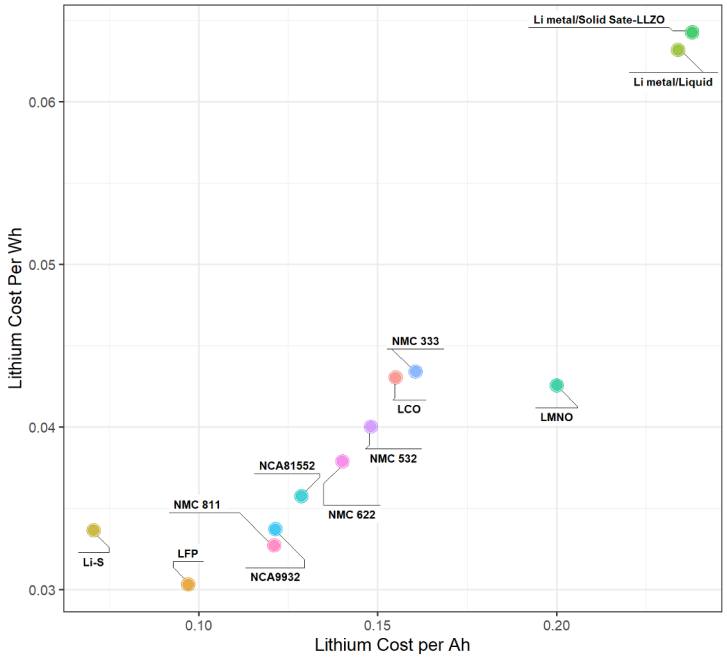
- LMFP
- 高压LNMO

锰酸锂（LMO）是较早商业化的锂离子电池技术之一，其优势在于成本效益和高功率输出。然而，与以其卓越循环稳定性和安全特性而闻名的LFP相比，LMO 通常具有较低的循环寿命和热稳定性。

最近LMO 材料开发的趋势是NMC/LMO 混合，充分利用 NMC 的高能量密度与 LMO 的增强功率能力。这种混合物适用于需要高容量和良好功率输出的应用，如混合动力电动汽车或某些便携电子产品。

资料来源：Battery Talk：电池应用细分 1/01/2024（版本2.0）

锂化学 Wh及Ah成本地图：朝着更经济的电池发展



当前市场形势要求电动汽车（EV）的电池更便宜，但性能要与现代NMC811电池相当。

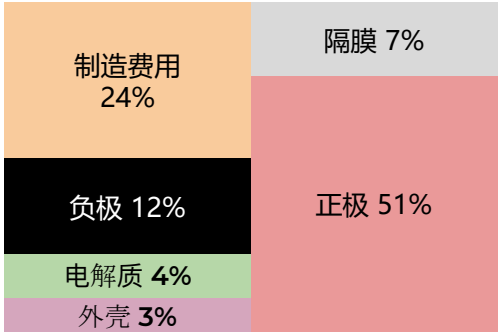
CAM是电池成本的主要驱动因素，占据了成本的大约50%以上。

氢氧化锂（LiOH）或碳酸锂（Li_2CO_3）占据了CAM成本50%以上，不包括加工和间接费用。

为了实现更便宜的电动汽车，LFP是近期最佳解决方案，可以获得每千瓦时最低的锂成本。

除了 LFP 之外，制造商还需要转向先进的化学成分，例如硫化锂（Li_2S），以维持成本下降的趋势并提高性能。

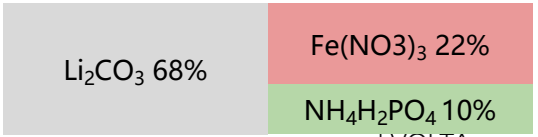
电池成本分解



NMC811 成本分解



LFP 成本分解



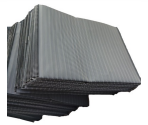
资料来源：Battery Talk：电池中的锂 第1部分，Battery Talk：电池中的锂 第2部分，Battery Talk：电池中的锂 第3部分

VF | VOLTA FOUNDATION

锂电池隔膜在物理上隔离开正负极电极，同时允许锂离子的传输。最常用的锂电池隔膜通常由聚烯烃材料（通常是PE或PP）制成，并涂有陶瓷层。锂电池中还有许多其他不同类型的隔膜，它们具有不同的性能特点和权衡，被广泛分类如下。

隔膜类型	材料	特性
聚烯烃膜	聚乙烯（Polyethylene, PE）和聚丙烯（Polypropylene, PP）	聚烯烃隔膜因其成本效益高、化学稳定性好、易于制造而得到广泛应用，常见于商用锂离子电池中。
陶瓷涂层膜	带有陶瓷涂层的聚乙烯或聚丙烯隔膜	带有陶瓷涂层的隔膜提供了增强的热稳定性和安全性。陶瓷层通过抑制内部短路和枝晶的生长，有助于防止热失控的发生。
复合膜	不同聚合物、陶瓷或其他材料的组合	多重复合隔膜利用多种材料的优势来实现性能平衡，主要是为了增加电化学稳定性、防止短路和抑制锂枝晶的生长。
微孔膜	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，可以在保持良好机械强度的同时实现高效的离子传输。加入填料或陶瓷涂层可以提高热稳定性并降低热失控的风险。
玻璃纤维膜	玻璃纤维与聚合物基体相结合	玻璃纤维隔膜具有良好的机械强度，可用于高温应用。它们以耐穿刺和出色的热稳定性而著称。
非织造布膜	由合成纤维制成的无纺布材料	无纺布隔板具有良好的机械强度，常用于灵活且轻便的电池设计中。它们可以适应不同的电池形状，提供灵活性和适应性。
陶瓷复合增强膜	聚合物与陶瓷材料的组合	陶瓷复合增强膜旨在在机械强度、热稳定性和离子导电性之间取得平衡。它们被设计用于提高锂离子电池的安全性和性能。







Source: Battery Talk: Battery Application Break Down 1/01/2024 (Version 2.0)

化学及电芯材料 | 负极 | 概述

锂离子电池中负极材料的选择是一项关键决策，它取决于应用的具体要求，并对电池的整体性能、安全性和成本效益产生重大影响。石墨是一种可靠且具有成本效益的选择，而硅和锂金属具有更高的能量密度，但在稳定性和安全性方面面临挑战。LTO 虽然能量密度较低，但在安全性和循环寿命方面表现出色。在选择负极材料时要考虑几个因素：

能量密度

能量密度较高的负极材料可以储存更多的锂离子，从而使全电池具有更大的能量容量。石墨、硅和锂金属等不同材料的能量密度各不相同，如何选择取决于具体的应用要求。

循环寿命

电池能够经历多少次充放电循环而不会出现明显的性能下降，对于电池能否持久可靠地储存能量至关重要。负极材料必须在多次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

材料成本在决定电池整体成本效益方面起着至关重要的作用。负极材料应具有大规模生产的经济可行性，同时保持可接受的性能水平。

安全性

安全是电池设计的首要考虑因素。负极材料应将枝晶形成的风险降至最低，因为枝晶形成可能导致内部短路、过热和潜在的安全隐患。稳定的负极材料有助于提高锂离子电池的整体安全性。

充放电速率

快速充电包括较高的充电速率和放电速率，负极材料必须有效地促进锂离子快速进出负极，这在电动汽车和消费电子产品等应用中是一项重要指标。

与正极的兼容性

负极极和正极材料必须兼容，以确保高效的锂离子传输并最大限度地提高电池性能。材料的整体电化学兼容性有助于提高电池的效率和可靠性。

产业化

所选负极材料应具备成本效益和可扩展的制造工艺。易于加工和集成到电池生产线是商业可行性的一个实际考虑因素。

环境影响

人们越来越重视选择环保和可持续发展的负极材料。业界正在探索能最大限度减少在锂离子电池生产、使用和废弃过程中，对环境影响的材料。

Source: Battery Talk: Battery Application Break Down 1/01/2024 (Version 2.0)

常用负极材料和性能权衡

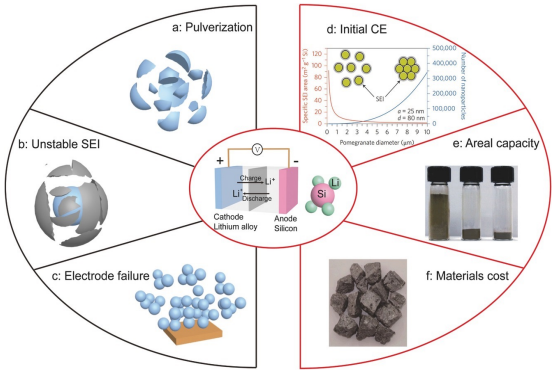
	石墨	硅	钛酸锂	锂金属
描述	由于石墨的稳定性、成本效益和完善的制造工艺，它一直是传统体系的选择。	硅具有比石墨更高的能量密度，但存在与体积膨胀相关的挑战。	钛酸锂的能量密度较低，但循环寿命较长。	锂金属具有最高的能量密度，但由于枝晶的形成，通常在安全性和循环寿命方面存在挑战。
优点	广泛应用于锂离子电池，稳定，成本低，且具有良好的循环性。	理论容量高，能量密度比石墨高。	超长的循环寿命，高倍率能力和卓越的安全性能	最高的理论容量，可能导致显著增加的能量密度
缺点	有限的储能能力，会阻碍高能量密度电池的发展	成本高于石墨（每公斤），并且在充放电循环过程中经历显著的体积膨胀，导致机械降解和循环寿命缩短	与石墨和硅相比，能量密度低	在循环过程中容易形成枝晶，存在安全隐患，降低循环寿命。正在进行集中研究解决这些挑战。

Source: Battery Talk: Battery Application Break Down 1/01/2024 (Version 2.0)

硅基材料可以提供电池能量密度的巨大改进，因为1个硅原子可以容纳4个锂原子(相比之下，现有的石墨需要6个碳原子才能容纳1个锂原子)。硅的理论容量为3600 mAh/g，而石墨的理论容量为372 mAh/g。

缺点包括在Li合金化/脱合金中体积膨胀(300-400%)。这可以通过过量的硅暴露导致SEI的发展，并可以分解整个负极。因此，制造硅主导的负极一直具有挑战性，通常只使用少量(3-8%)。

硅负极面临的主要挑战



	氧化硅	硅复合材料	冶金硅
成分构成	· 由硅和氧组成 · 常见的变体包括：一氧化硅 (SiO) 和二氧化硅 (SiO_2)	· 金属硅或氧化硅 · 其他形成因素包括硅纳米线、硅颗粒上的碳图层和3D结构	· 纯单质硅
优点	· 理论容量比石墨高 · 与纯硅相比，体积膨胀更小解决了一些机械应力问题	· 优化硅/碳基纳米结构以缓冲硅的体积变化 · 复合碳网络提高了导电性，增加了附着力和更高的化学稳定性	· 制造成本最低 · 硅材料中能量密度最高
挑战	· 与纯硅相比，电导率更低 · 由于SEI层的形成，可逆容量可能受到限制	· 在嵌锂和脱锂周期中，大量的体积膨胀和收缩 · 机械应力和电极粉碎 · 比金属硅和大多数SiO更高的生产成本	· 在嵌锂和脱锂周期中，大量的体积膨胀和收缩 · 机械应力和电极粉碎 · 高容量的衰减，降低循环寿命

化学及电芯材料 | 硅负极 | 值得关注的年度事件时间轴

一月

Group14与Nexeon 发生法律纠纷

三月

Amprius 签署了购买位于科罗拉多面积约为775K sq ft 场地的意向书

六月

Enevate与JRES以授权制造的形式合作

Amprius 放弃美国能源部 $5000万的项目经费

OneD完成$4500万 C轮融资

九月

Enevate 与NantG Power 签署合作协议

十一月

极星原型车使用了StoreDot的硅负极材料

Sila 华盛顿州Moses Lake工厂剪彩

二月

Ionblox：与国轩高科合作开发硅基于硅负极和硫正极的新型离子电池I 完成3200万美金 B轮融资

Nanograf 进行$6500万融资

四月

Group 14 在华盛顿州开始建造世界最大的高端硅碳负极材料工厂

七月

Nexeon 签署与松下的供货协议

十月

Enovix 关闭了在旧金山湾区的场地，并同步建造在马来西亚槟城的场地设施

中国宣布一系列限制电池用石墨产品的出口

十二月

CustomCells获得Enevate的欧洲生产许可

Sila 签署与松下的供货协议

Source: Company announcements (each linked in source)

硅负极初创公司正在持续发展并与工业界伙伴不断增加联系

公司名称	Sila Nano	Enevate	Enovix	Amprius	Group14	IONBLOX	Nexeon	OneD	Storedot	Advano	Leydenjar	Coreshell	Ionic Mineral
总部地址/成立时间	美国加州 2011	美国加州 2005	美国加州 2007	美国加州 2008	美国华盛顿州2015	美国加州 2017	英国 2006	美国加州 2013	以色列 2012	美国路易斯安那州2016	荷兰 2016	美国加州 2018	美国犹他州 2020
员工数*	368	71	220	51	150	22	81	45	119	30	86	30	12
融资规模/估值	$933M/3.3B	$202M/501M	$414M/1.8B	$622M/$441M	$683M/3B	$42M/80M	$262M/352M	$78/345M	$269M/1.27B	$40/Unknown	$43M/Unknown	$30M/Unknown	$20M/Unknown
投资阶段	F轮	E轮	已上市	已上市	C轮	B轮	B轮	C轮	D轮	A轮	A轮	A轮	B轮
硅含量	50%	70-100%	100%	100%	50%		80%	5% to 50%		5-75%	100%	60-90%	80-100%
技术路线	包裹有坚硬碳壳的含硅多孔颗粒	包裹有SiC/C壳的最大可达40微米级硅颗粒	带金属-半导体涂层的硅颗粒，3D 电芯制造技术	带有硅氧化层的硅纳米线	硅单质被渗入到多孔碳中	包裹有碳壳和金属涂层的纳米硅和氧化亚硅颗粒	包裹在SiC壳和硅氧化物中的纳米硅颗粒	通过铜催化剂在石墨表面生长纳米硅线	固定在导电支架结构里的有金属涂层的纳米硅	S用硅碎渣为原料，功能化表面的纳米硅	通过PECVD在铜基体上生长的多孔硅	微米尺寸冶金硅，无硅烷	从埃洛石中连续高温金属还原SiO2成硅纳米管
性能表现	800 Wh/L	350 Wh/kg, 5分钟充电至75%	900 Wh/L 297 Wh/kg	435 Wh/kg, 1200 Wh/L, 1000 圈	350 Wh/kg	305 Wh/kg 640 Wh/L	400-450mAh/g	3250 mAh/g of Si 纳米线	5分钟极速充电	350 Wh/kg 90美金/kWh	450 Wh/kg 1350 Wh/L	增加30%能量密度750+圈	纯硅电极 3200 mAh/g, 85% ICE 2500 mAh/g 稳定，15% 硅替代石墨 750mAh/g 91% ICE 700 mAh/g 稳定容量
目标应用	电动车，消费电子	电动车，消费电子	消费电子	国防，飞行器	消费电子	飞行器	电动车，消费电子	电动车	电动车	电动车，消费电子，储能	国防，飞行器	电动车、移动	电动车、消费电子、国防
投资合作伙伴	Mercedes, Whoop, CATL, TDK, Samsung, Panasonic	RNM Alliance; LGES, Samsung	Intel, Qualcomm	Airbus, US Army	Porsche, ATL(TDK), BASF, Showa Denko, SK	Applied Materials, Lilium	WACKER, SK Chemicals	GM Ventures, Volta Energy Technologies	BP, EVE, Daimler, Vinfast,Samsung, TDK	Mitsui Kinzoku	EIB	Zeon, Meyers Manx	Soon to be public

Source: Pitchbook, Intercalation Station Silicon Series (1 2 3 4) Battery Talk Case Study on Group14

钛酸锂（LTO）与石墨（Graphite）的优缺点对比

S

LTO 优点
· 功率密度
· 安全性
· 循环寿命
· 低温性能
· 无SEI生产和析锂

Graphite 优点
- 能量密度
- 成本
- 供应链

W

LTO 缺点
· 成本
· 能量密度
· 高温性能
· 产气

Graphite 缺点
- 循环寿命
- 安全性
- 高低温性能

O

LTO 机遇
· 轻混电动车
· 电动巴士
· 混合储能系统
· 高功率场景应用
· 低温环境应用

Graphite 机遇

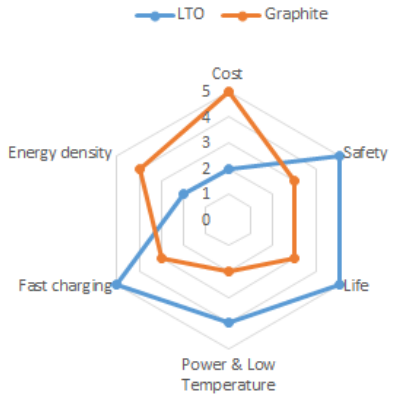
- 电动车和储能电站

T

LTO 风险
· 钠离子电池
· 增长中的材料成本

Graphite 风险
- 硅负极的性能改善
- 锂金属负极
- 供应链的区域管制

当石墨负极在锂离子电池中得到广泛应用时，钛酸锂（LTO）则作为一种替代品，特别是在那些重视安全性、耐用性、快速充电和功率密度而非能量密度的应用中。钛酸锂通常用于微混合动力车辆中，因其高功率密度而受到青睐。



Source: Global LTO Battery Market

化学及电芯材料 | 钛酸锂负极（LTO） | 行业参与者

东芝：在锂离子电池的钛酸锂（LTO）负极开发方面一直是一个突出的参与者。该公司一直参与制造LTO电芯，并推广其在各种应用中的使用，包括电动车和工业能源存储。

NEC能源解决方案：以其能源存储解决方案而闻名，他们在某些电池系统中利用了LTO技术。该公司专注于提供电网能源存储解决方案，并已部署基于LTO的电池用于各种项目。

Altairnano：现称为能源存储系统（ESS），一直参与高级能源存储技术的开发。他们已经研究LTO负极材料，用于高功率和长寿命应用。

NEI：是一家活跃在开发能源存储应用高级材料的材料科学公司。他们已经研究了包括LTO在内的各种类型的负极材料，并参与了研发工作。

A123 Systems：万向集团的子公司，一直参与开发各种应用的锂离子电池。他们在某些电池产品中利用了LTO技术，特别是用于高功率应用。

Kokam：一家韩国公司，一直参与高级电池系统的开发和制造。他们在某些锂离子电池中使用了LTO负极技术，适用于电动车和电网存储等应用。

Leclanché：一家瑞士能源存储公司，已经在各种能源存储解决方案上进行了工作，包括锂离子电池。他们已经探索在某些电池系统中使用LTO负极。

ATL：一家总部位于中国的主要电池制造商，一直参与生产各种应用的锂离子电池。虽然他们以使用不同的负极材料而闻名，但在某些电池配置中可能会探索或使用LTO。

Source: Global LTO Battery Market

锂金属 (Li-Metal) 与 石墨 (Graphite) 优缺点对比

S

Li-Metal 优点
- 体积能量密度
- 质量能量密度
- 原料供应链

Graphite 优点
- 成本
- 循环寿命
- 功率
- 安全性

W

Li-Metal 缺点
- 循环寿命
- 功率密度
- 电池供应链
- SOH指标清晰度
- 产能
- 安全性

Graphite 缺点
- 区域供应链
- 能量密度

O

Li-Metal 机遇
- 航空航天
- 国防
- 无人机
- 其他有补贴的应用

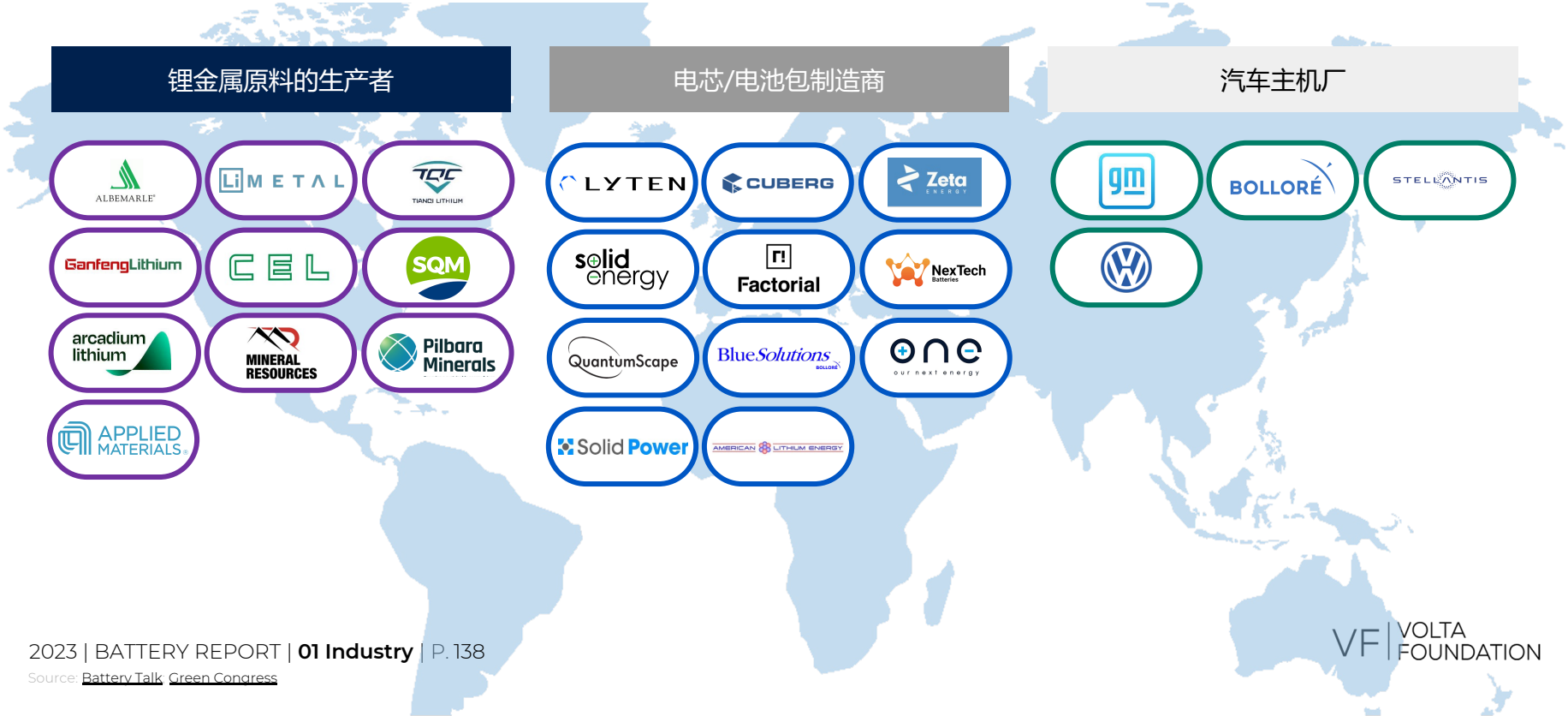
Graphite Opportunity
- 低成本电动车
- 储能电站
- 电动巴士，自行车和摩托车
- 电动工具和性能敏感性应用

T

Li-Metal 风险
- 高镍/硅体系
- 钠离子电池
- 能力密度和循环寿命的相关法规
- 增长中的材料成本

Graphite 风险
- 钠离子电池
- 区域法规

有锂金属相关项目计划的制造商



Source: Battery Talk, Green Congress

公司	技术	员工数量	专利数量	资金总额($)	备注
QuantumScape	金属氧化物-固态-锂金属或无负极	850+	300+	800+M	QuantumScape是一家资金雄厚的初创公司，拥有庞大的员工和专利组合，是该领域的行业领导者之一，但最近由于许多承诺和没有交付而黯然失色。QuantumScape是锂金属固态电池的冠军，我们很期待它在未来几年的发展
Cuberg	金属氧化物-液体电解质-金属锂	150-200	26	Private	Cuberg最初是一家专注于开发锂金属电池液体电解质的公司，后来被Northvolt收购，以对冲未来电池发展的风险。Northvolt已经推出了一些出色的第三方测试数据，但这些数据也受到了静置时间和不对称率的严格审查。
Factorial Energy	金属氧化物-固态-锂金属或无负极	150-200	24	244+M	固态电池公司拥有良好的专利组合，由于OEM最近的投资，其背后有很大的动力。到目前为止，factorial一直相对平静，直到它发布了制造工厂的消息。看到这家公司的最终目的地将是一件有趣的事情，因为它挑战着固态制造业的巨大障碍。
SolidEnergy Systems	金属氧化物-液体电解质-金属锂	130-160	27	597M	较低的员工数量和专利数量表明其处于早期发展阶段，但最近的UN 38.3认证证明了袋状细胞的重大发展。Nextech很可能正在运送样品，但他们的低专利数量可能不足以提供足够的进入壁垒。
Blue Solutions	锂金属聚合物电池	200-300	5	属于Bollore私人所有	Blue Solutions是Bolloré集团旗下公司，是唯一一家可用于运输和固定应用的全固态电池商用制造商。他们目前销售固态锂金属聚合物(LMP®)电池。金属锂聚合物并不是一项新技术，而且已经出现了，看看它们在固态领域的着落将会很有趣。

锂硫(Li-S)与锂镍锰钴氧化物(NMC)的利弊

S

Li-S 优势

· 成本
· 安全性
· 比能量
· 丰富的硫

NMC 优势

- 能量密度
- 低温性能
- 功率
- 强供应链
- 高回收价值

W

Li-S 劣势

· 循环寿命
· 能量密度
· 电池供应链
· 功率
充电状态难以读取

NMC 劣势

- 成本
-安全性
- Ni/Co供应链

O

Li-S 机遇

· 低/中/入门级电动汽车
· 电动公交
· 电动卡车
· 成本敏感应用

NMC机遇

-远程/高端电动汽车
- 固定存储
- 电动公交车, 电动自行车, 电动摩托车
- 电动工具/性能敏感应用

T

Li-S 技术问题

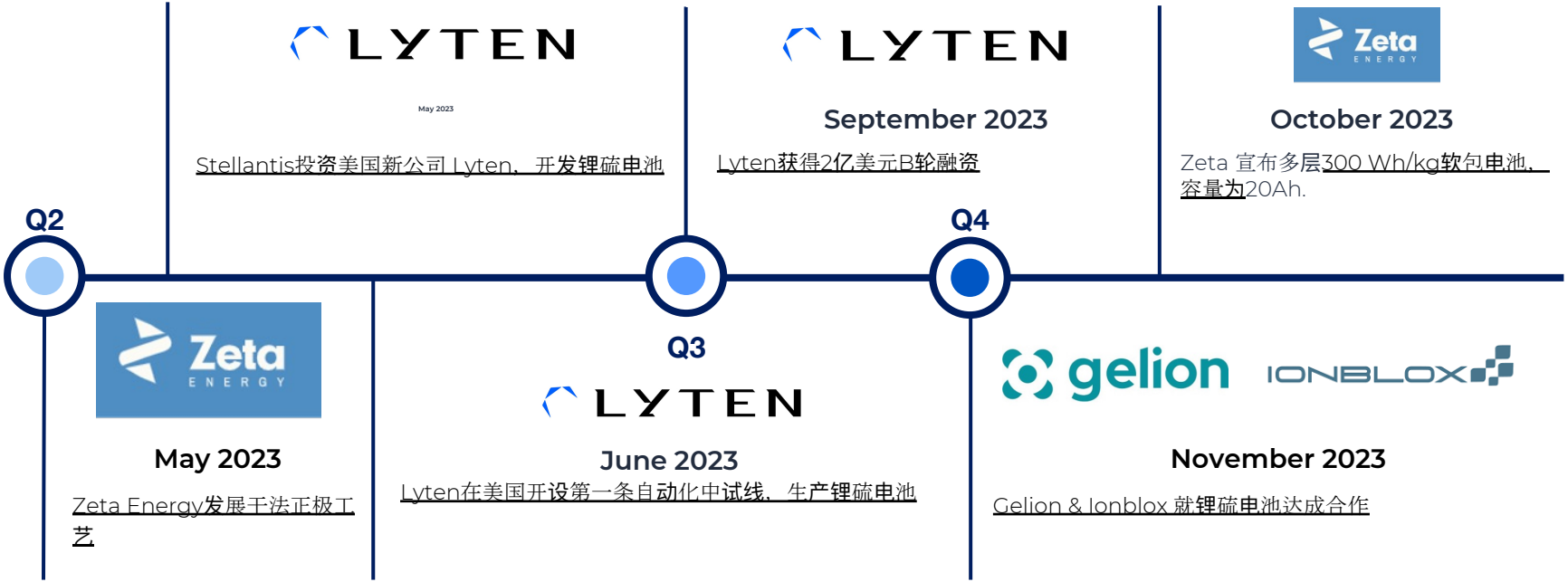
· NMC/高压LNMO
· 钠离子电池
· 关于能量密度和包循环寿命的规定
· 增加材料成本

NMC 技术问题

- 提高材料成本LFP / 高压LNMO
-增加原材料成本

活性材料	材料性能	电容 (mAh/g)	电压范围 (V)	振实密度 (g/cm^3)	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	· 相对于传统锂离子，安全性更好 · 电压窗口禁止封装设计 · 振实密度导致体积能量密度低
	硫化聚丙烯腈（SPAN）	300 - 600	1-2.5	0.4 - 0.6	100-600	· 较差的体积能和重量能 · 由于标称电压的限制，功率密度有限
	锂硫	1000 - 1166	1.5-3.0	0.3 - 0.7	50-300	· 高水分敏感性导致更高的成本 · 由于振实密度导致体积能量差
负极	硅	3000 - 4200	0.1-1	0.8-1.0	100-1000	· 由于振实密度导致体积能量差 · 原料限制了成本和质量
	锂/锂合金	3200 - 3800	0-0.2	0.5-0.7	50-600	· 需要处理大量变化 · 报告的循环寿命有限

非活性材料	材料性能	类型	前景与挑战
电解质	醚基	醚/氟醚中的LiTFSI盐	· 醚的溶解度允许广泛使用添加剂和盐来保持负极的稳定性 · 醚溶解电池内的活性CAM物质
	碳酸酯基	环状/线型碳酸酯混合物中的LiPF6盐	· 良好的氧化稳定性，但需要控制气体的产生/积聚
集流体	铝箔	用于正极	· 在< 1 V时铝会与锂发生反应 · 铝的重量与正极负载量有显著关系
	铜箔	用于负极	· 铜的重量对电池的整体重量有很大影响 · 由于化学窗口-铜应在0 V下反应


LYTEN
May 2023
Stellantis投资美国新公司 Lyten，开发锂硫电池
LYTEN
September 2023
Lyten获得2亿美元B轮融资
Zeta ENERGY
October 2023
Zeta 宣布多层300 Wh/kg软包电池，容量为20Ah.
Q2
Q4
Zeta ENERGY
May 2023
Zeta Energy发展干法正极工艺
Q3
LYTEN
June 2023
Lyten在美国开设第一条自动化中试线，生产锂硫电池
gelion
IONBLOX
November 2023
Gelion & Ionblox 就锂硫电池达成合作

公司	技术	员工数量	专利数量	基金($)	备注
Lyten	硫正极-锂金属负极	250-300	350+	410M	Lyten是一家资金雄厚的初创公司，拥有大量员工和专利，有望做出重大贡献，但尚未公布任何公开数据。目前，已经开设了一条试验生产线，并对生产活动保持透明。根据员工数量和制造能力推测，该公司将在最近推出样品电池。
Theion	单斜硫正极-锂金属负极	24	4	未披露	最近在Drexel大学研究基础上成立的公司，资金数额未公开，员工数量少，推测其处于研究和扩产的初期阶段。
Li-S Energy	硫正极-锂金属负极	11-50	1	102.4M (截至 1/08/2024)	凭借氮化硼正极提前上市，基于员工和专利数量推测，其很可能在试图确定其资本流向，以获得最佳的发展回报。
NexTech Batteries	硫正极-锂金属负极	15-20	3	1M	员工数量和专利数量少，表明该公司处于发展初期，但最新获得的UN38.3认证，表明该公司的软包电池技术有所发展。该公司很可能正在送样，但是由于专利数量少，可能不足以打破进入市场的壁垒。
Zeta Energy	硫正极-3D碳负极	15-20	5	31.2M	最近获得了美国能源部的资助，是一家在该领域极具潜力的新企业。虽然获得了大量政府资助，但从员工和专利数量上来看，公司处于初始发展阶段。
Coherent	硒 硫正极-锂负极	不清楚	NA	未披露	锂硫领域的新玩家，在激光、网络和光学领域是一家成熟公司。目前不清楚其为何涉足这一领域，但这种投资仍是振奋人心的。

LYTEN

锂-硫电池

面向大众市场的新电池化学体系



重量更轻

能量密度已超过软包和圆柱三元锂离子电池，比能量即将超过两倍。

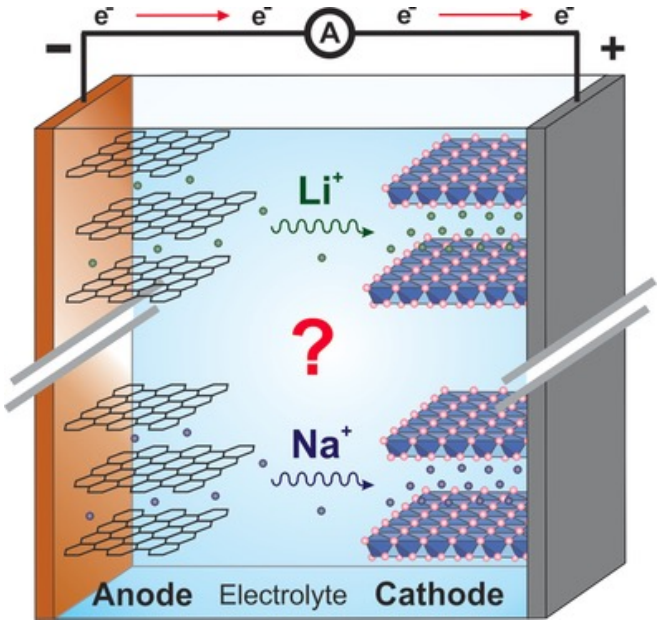
低成本

无三元材料，无石墨，正极由易得、便宜的硫和甲烷制成。

美国本土供应链

2024 年商品化

lyten.com



- 钠离子电池是锂离子电池的候补替代技术，遵循离子可逆插层的”摇椅“原理。
- 相比于锂（氧化还原电位-3.01 V，离子半径0.76 Å），由于钠的氧化还原电位较高 (−2.71 V vs. Na^+/Na), 尺寸大 (1.02 Å)，因此其能量密度较低，反应动力学慢，但钠离子电池也具有优点。
- 对铝惰性，可用铝做负极集流体，并能与各种3d过渡金属配合，顺利发生Na插层反应。
- 由于钠来源丰富，钠离子电池具快充能力和更宽的使用温度范围，所以钠离子电池适用于对成本效益和使用寿命要求较高的固定储能应用。
- 作为电网储能的潜在解决方案，正在进行旨在实现较低的储能平均成本的研究，目标是低于$0.1/kWh。

在固定储能领域，钠离子电池是锂离子电池的更为经济、安全的替代品，其具储量丰富和低成本的优势。

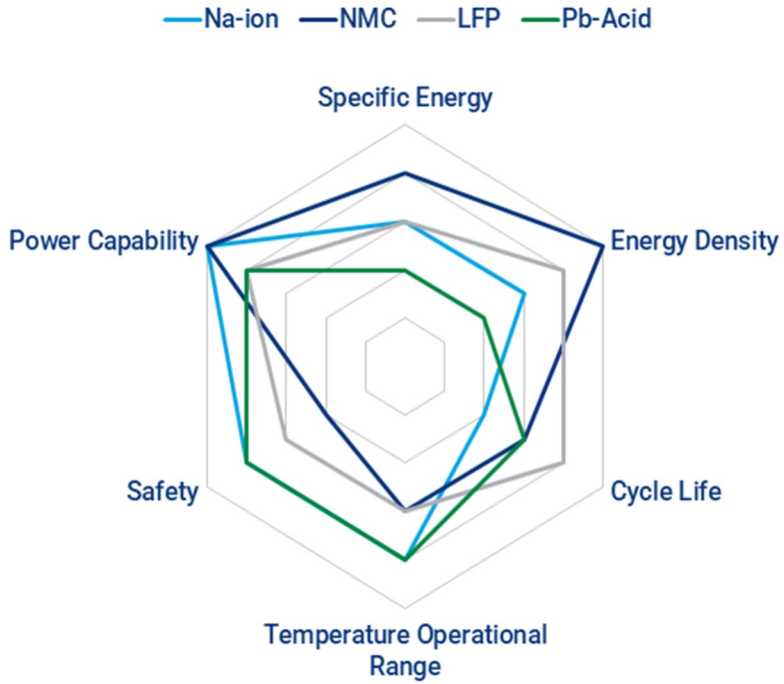
Source: Polyanionic Cathode materials for Sodium ion batteries, Dissertation from Mr. Huang Zhang (KIT)

活性组分	材料性质	容量 (mAh/g)	电压区间 (V)	振实密度 (g/cm³)	循环寿命	安全性	前景 & 挑战
正极	层状氧化物 (1,2)	120-150	2.0-4.0	2.2-3.2	2000-5000	放热和释放氧气	· 未明确热稳定性 · 宽电压范围限制了集成
	聚阴离子 (3,4)	90-120	2.0-3.5*	0.6-0.9	5000-10000	有限的热释放	· 因振时密度问题，限制了体积能量密度 · 有限的倍率性能 /功率密度
	PBAs (5,6)	150-170	4.2V in NVPF * 2.0-4.0	0.6-0.9	5000-10000	释放氰化物气体	· 高的湿度敏感性提高了成本 · 振时密度限制了体积能量密度
负极	硬碳 (7,8)	250-300	0-1.5	0.8-1.0	5000-10000	迅速释放能量，燃烧生成 CO_2	· 振时密度限制了体积能量密度 · 原料限制了成本和质量
	合金 (9,10)	650-850	0-0.8	6.6-7.3	1000-3000	缓慢释放能量，氧化为 M-O_2	· 需要面对严重的体积变化问题 · 有限的循环寿命
	钠 (11,12)	1166	0	-	<1000	-	· 处理钠箔存在挑战 · 无钠循环寿命限制 & 体积变化

惰性组分	材料性质	描述	前景& 挑战
电解液	醚基 (13)	$NaPF_6$ 溶于线性聚乙烯醚	· 醚类与Na负极兼容 与石墨不兼容), 能形成有效、稳定的界面层（SEI） · 有限的抗氧化性，不能用于高电压正极
	碳酸酯基 (14)	$NaPF_6$ t溶于环状/线性碳酸酯混合物	· 好的抗氧化性，在高电压时，需要处理气体产生/聚集问题 · 与金属负极不相容
集流器	铝箔	用于正、负极侧	· 铝与钠不反应（与锂不同） · 减少重量、成本，替代铜。

化学及电芯材料 | 钠离子电池 | 与锂离子电池的比较

钠离子电池		锂离子电池
元素丰度	~23000 ppm	20 ppm
质量能量密度	140-150 Wh/Kg	140-280 Wh/Kg 取决于化学性质 (NMC, LFP, LTO, NCA etc.)
体积能量密度	250-400 Wh/L	250-750 Wh/L 取决于化学性质 (NMC, LFP, LTO, NCA etc.)
循环寿命	2000-20,000	2000-20,000
快速充电能力	已证明短周期4C; R&D 仍在进行	取决于化学性质 (NMC - <1C, LFP - <2C, LTO - <6C)
工作温度范围	–20 °C to 60 °C	0 °C-45 °C (For LTO, -30 °C - 60 °C
安全性	在 0 V下安全传输	通常以50% SOC传输，以避免过放电

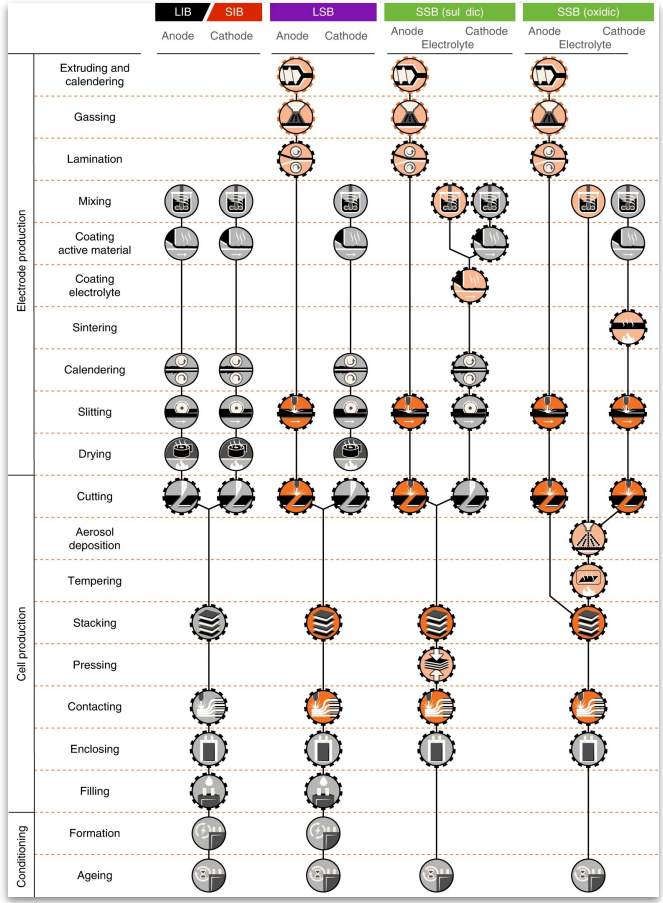


Source: Wood Mackenzie

VF | VOLTA FOUNDATION

化学及电芯材料 | 钠离子电池 | 生产工艺

- 钠离子电池的生产工艺与锂离子电池**基本相同**
- 避免需要重新发明用于其他下一代电池的制造步骤/协议（例如Li-S、Li-ASB、SSE）
- 外形因素是灵活的，圆柱电池、 方形电池、软包电池都能用于制造钠离子电池和锂离子电池
- 降低生产成本的潜在领域：**减少室内干燥需求，消除SOC传输需求**



LIB or identical production step

New step compared to LIB

Inert gas atmosphere (argon)

Dry room atmosphere

Same step and different manufacturing technology compared to LIB

Source: Duffner, F., Kronemeyer, N., Tübke, J. et al.

VF | VOLTA FOUNDATION

钠离子所号称的优点和潜在优势领域

号称的优点	原因	前景	挑战
降低成本	SIB的BOM低于LIB（NCE的历史平均值为200美元/吨，LCE为20000美元/吨）	• 大量的NCE减轻了供应链波动 • 负极/无铜/电解质的潜在成本降低	• 由于不成熟的供应链，较低的BOM尚未体现在较低的电池成本上 • 对Ni, V，其他含稀土材料的依赖，或对某些SIB阴极的高水分敏感性
0 V存储和传输	由于Al的抗氧化性，负极上不存在Cu允许0 V放电	• 避免了SOC运输需求（UN38.3），并减少了处理/传输安全隐患 • 在没有充电的情况下，可在长时间储存期间防止过放电	• 目前尚无针对SIB运输标准的监管指导，SIB仍与LIB归为同一类别 • 充分的BMS水平保护能够防止过度放电，使需求无效
更宽的温度范围	使用低MP /高温稳定电解质(例如SIB中的PC和LIB中的EC)	• 在极低温度（-40 °C）下具有高容量利用率。 • 在更高的工作温度（60 °C）下降低了热冷却要求	• 低温性能受限于放电，充电仍要求在-10 ℃以上 • 当使用高电压正极时，在高温下会产生过量的气体
提升安全性	SIB的较低热量释放/热量释放率	• 降低系统水平成本(安全/防火成本) • 如果能够满足安全指标，则有可能服务于室内BTM市场(符合NFPA 855)	• 有限的ARC测试数据可供参考 • 层状氧化物(火灾危险/氧气释放)、多氯联苯(氯化物气体危险)的安全问题
集成容易性	与LIB在系统层面形成因素兼容	• 采用现有的BMS / Power电子装置进行系统集成	• 一些SIB电池化学物质使用不直接兼容的宽电压范围

化学及电芯材料 | 钠离子电池 | 重大事件

2月
海钠- 江淮首次在道路上进行钠离子电动汽车测试（25千瓦时电池组）

3月
孚能科技将为江铃集团定点供应EV3钠电池包总成，预计2023年第二季度实现量产装车

4月
比亚迪海鸥版将钠离子电池模型纳入低成本电动汽车

4月
宁德时代的钠离子电池为奇瑞电动汽车提供动力，新电池品牌ENER-Q，为多种类型的电动汽车提供动力

8月
Great Power与合作伙伴在中国启动电网规模钠离子电池项目

10月
匹克能源与Veteran execs秘密合作，大规模生产钠离子电池

11月
Northvolt公司开发了最先进的钠离子电池，在160 Wh/kg，PBA的基础上进行了验证

11月
大众控股的江淮汽车开始在中国大规模生产钠离子电池驱动的电动汽车

12月
KPIT公布了能量密度高达170 Wh/kg的钠离子电池

1月 2024
比亚迪与淮海合作建设30GWh钠电池厂，打造全球最大钠离子计划t


JAC


BYD


JMEV


Yiwei


KPIT

孚能科技与江铃集团合作的全球首辆钠电车型正式下线

按地区/重点领域划分的钠离子电池厂商



研发重点

1. 材料
2. 电芯和模组
3. 电池集成包
4. 完整电源系统

钠离子电池前景	产地	创立时间	正极	负极	Wh/kg	Wh/L	循环寿命	参考
Natron Energy		2012	普鲁士蓝	普鲁士蓝	15-20	20-25	>50000	Link
TIAMAT		2012	聚阴离子	硬碳	65-85	135-150	>3000	Link
ALTRIS		2012	普鲁士蓝	硬碳	160	未报道	未报道	Link
中科海钠 HiNa BATTERY		2012	层状化合物	硬碳	145	未报道	>4500	Link
CATL		2012	普鲁士蓝/层状化合物	硬碳	160	未报道	>3000	Link
EVE		2012	层状化合物/聚阴离子	硬碳	135	未报道	>2500	Link
faradion		2012	层状化合物	硬碳	160	未报道	>4000	Link
FARASIS		2012	层状化合物	硬碳	150-160	未报道	>2000	Link
GREAT POWER		2012	层状化合物	硬碳	125-145	240-270	>3000	Link

Note1: Significant variations between cylindrical vs pouch reported datapoints Note2: Metrics obtained from news reports, no verified datasets publicly available

钠离子电池的体积能量密度(Wh/L)是实现更高续航里程的瓶颈

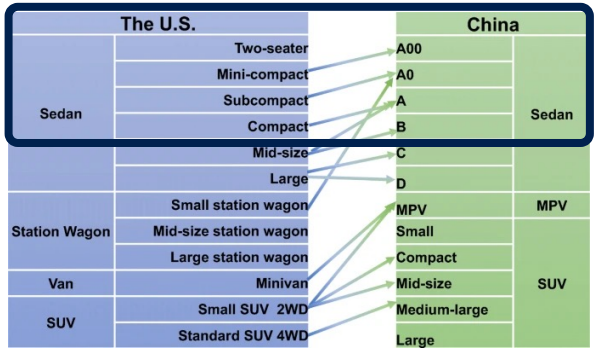
A00级EV报告指标

规格 : 20-40 kWh
行驶里程 : 250-400 km





OEM的目标电动汽车应用:
小型和迷你型电动汽车







Source: JAC-EV Publish day

VF | VOLTA FOUNDATION

钠在ESS市场中的地位

表前市场(更大的部署空间)

钠离子储能公司Peak Energy 启动投资1000万美元

By Cameron Murray
October 5, 2023



替代品:Li-LFP /液流电池/ Na-S /锌/液态金属/金属-空气
关键指标:平准化成本($/kWh/循环)>安全性>循环寿命>速率

表后市场 (更小的部署空间)

Biwatt 推出新的住宅用钠离子电池

Biwatt Power, 一家中国制造商，已经开发出一种新型的家用钠离子电池，其效率达到97%，预期寿命超过3000次循环。

AUGUST 11, 2023 EMILIANO BELLINI



替代品:Li-LFP /铅酸
关键指标:安全性>资金成本($/kWh) >循环寿命

钠离子:2-8 小时的最佳时间点



挑战:

- **成本和安全性仍未得到验证**
- **循环寿命还有待大规模验证**



负载平衡
成本/kWh/周期 >安全性/可靠性>循环寿命

频率平衡
成本/kWh/周期 >安全性/可靠性>C-倍率

住宅存储+智能电网
安全性/可靠性>成本/kWh/周期 >循环寿命

Source: DOE, CTVC

VF | VOLTA FOUNDATION

目前全固态电池产业的发展趋势

- **制造商赛道:**
  - 几乎所有的汽车制造商都参与到固态电池赛道，通过以下方式:
    - 自主开发 (如：丰田汽车)
    - 与固态电池公司合作 (如：蔚来汽车与 卫蓝新能源)
    - 直接投资一家 (如：BMW, Ford, Stellantis) 或多家固态电池公司 (如：Mercedes, Hyundai, Kia)
    - 混合战略，自主研发并投资固态电池公司 (如：Honda)
- **技术:**
  - 尽管聚合物技术成熟度高，但尚未就使用何种电解质达成共识。值得注意的是，使用半固态电池来提升正极材料工作性能的产业趋势明显。亚太地区对硫化物固态电解质的关注度较高。
- **时间轴:**
  - 该领域大部分初创企业成立于 2010至 2016期间，现已上市或处于投资后期阶段。
  - 大部分参与者预计或宣布的投产时间在2026至2029年之间，少数乐观者的目标是2024年。

固态电解质的类型

由于使用固态电解质，固态电池与传统液态电池不同。然而，由于每种固态电解质都有其优缺点，所以尚未就首选的固态电解质成份达成共识。

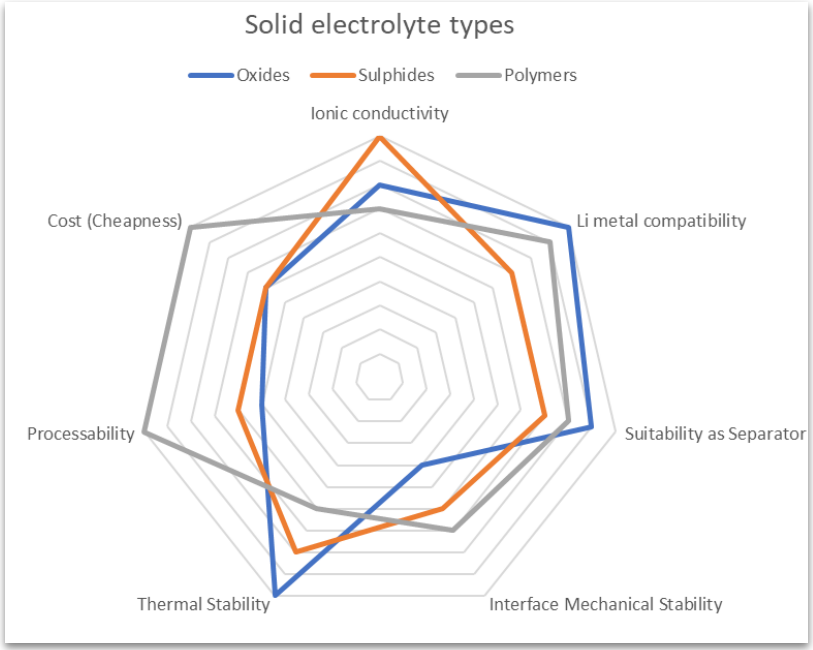
最常用的两种固态电解质：

- 陶瓷 (包括氧化物和硫化物)
- 聚合物 (固体，复合物或凝胶；后者通常被称为半固态电解质)

固态电解质的性能评价指标包括：高的离子导电率，稳定的电极-电解液界面，高的热、电化学稳定性，抑制枝晶生长，好的加工性和低的制造成本。

陶瓷电解质表现出高的离子导电率和机械强度，但是界面性能差。相反的，有机聚合物呈现出优良的界面性能，但是离子导电率低，机械强度差。

目前，聚合物因其卓越的加工性能而在技术上达到较高水平。



Source: BatteryBits

与传统液态电解质的制造差异

化学类别	负极制造	正极生产	隔膜生产	电池组装
液态锂离子电池	制浆、涂布、干燥、压片	制浆、涂布、干燥、压片	干法或湿法挤压工艺	堆垛、包装、填充电解液、脱气、老化
氧化物固态电池	锂箔挤压、压延、层压	制浆、涂布、干燥、低温烧结	制浆、涂布、高温烧结、层压、低温烧结	叠压、老化
硫化物固态电池	锂箔挤压、压延、层压	制浆、涂布、干燥、层压	制浆、涂布、干燥、层压	叠压、老化
聚合物固态电池	锂箔挤压、压延、层压	挤压、层压	挤压、层压	叠压、老化
主要制造差异	区别很大，尤其是锂金属的挤压工艺。值得注意的是，对Si负极的处理工艺接近于传统锂离子电池。	对于氧化物和硫化物，正极处理工艺与传统锂离子电池相似，但是固态电解质颗粒混于浆料中。此外，氧化物固态电解质需要昂贵的烧结步骤。另外，聚合物需要挤压。	对于氧化物和硫化物，隔膜的湿法处理工艺与传统锂离子电池明显不同。	固态电解质不需要填充和脱气过程，这算是一个优点。

Source: Fraunhofer ISI

化学及电芯材料 | 固态 | 供应链 & 制造

固态电池和液态锂离子电池具有相同的组件，但是对电解质和负极材料有不同的资源需求。主要有两个区别：电解质中新加入的金属元素，以及锂含量的增加。

加入新金属元素

在固态电池中新加入La、Ge、Zr等金属元素，使它与传统锂离子电池不同：

- 锆是常见的，不存在严重的供应链问题（存在于氧化物固态电解质中）。
- 镧在稀土元素中含量丰富，随着固态电池的应用，需求量会上升（存在于氧化物固态电解质）。
- 锗相对稀缺且成本高，可能不适宜于在电池中广泛应用（存在于氧化物和硫化物固态电解质中）。

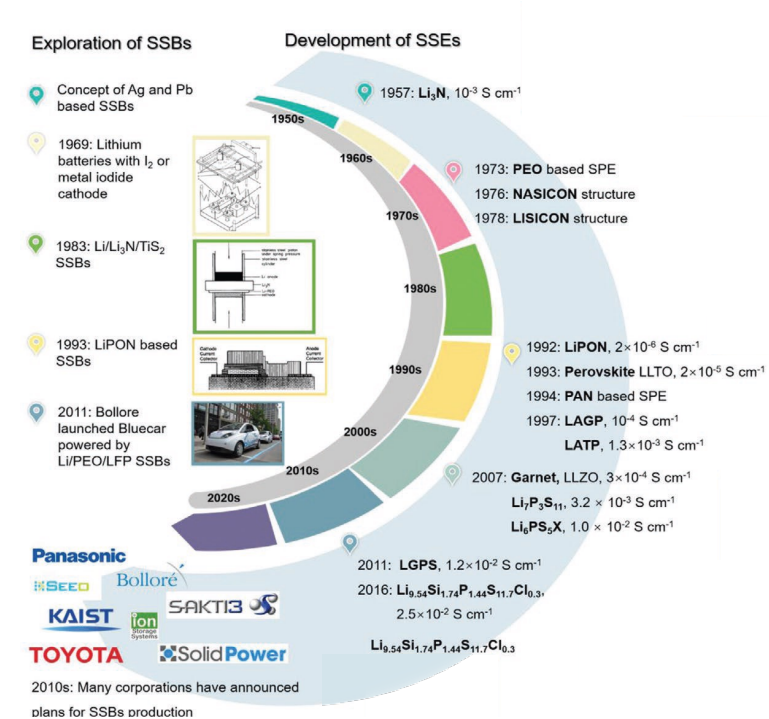
锂含量

关于锂元素的需求:

- 正极材料需锂与传统锂离子电池相同。
- 主要区别在于电解质，相比于液态有机电解质，固态电解质额外平均需要10-20 g/kWh锂元素。
- 负极锂金属需要更多的锂，基本等同于上述从液态电解质到固态电解质转变的所需量。额外的锂含量取决于电极片的厚度，以及为提高电池性能而加的过量锂。

Source: Fraunhofer ISI

化学及电芯材料 | 固态 | 主要事件



与2022年相比，2023年在固态电池的新投资和合作方面乏善可陈。 固态电池公司巩固了现有的合作关系，并在商业化的道路上部署之前筹集的资金。对于大多数公司来说，投产时间仍是个变数。

Q2

ProLogium

五月: ProLogium宣布在法国Dunkirk建造价值 €5.2b 的Gigafactory工厂

Q3

CATL

四月: 电池巨头CATL推出了能量密度为500 (Wh/kg)的凝聚态电池（半固态）。

WELION NIO

七月: WeLion已向电动汽车制造商Nio交付首批半固态电池芯

Q4

TOYOTA

六月: 丰田公司宣布在固态电池方面取得突破性进展，并承诺在2027-2028年实现商业化（后更正为“2030年及以后”）。

Factorial

十月: Factorial Energy已向汽车制造商交付了超过 100 Ah 的锂金属电池A样品进行测试。

Solid Power

十一月: Solid Power向宝马交付了首批 A-1 EV电池，正式进入汽车行业。

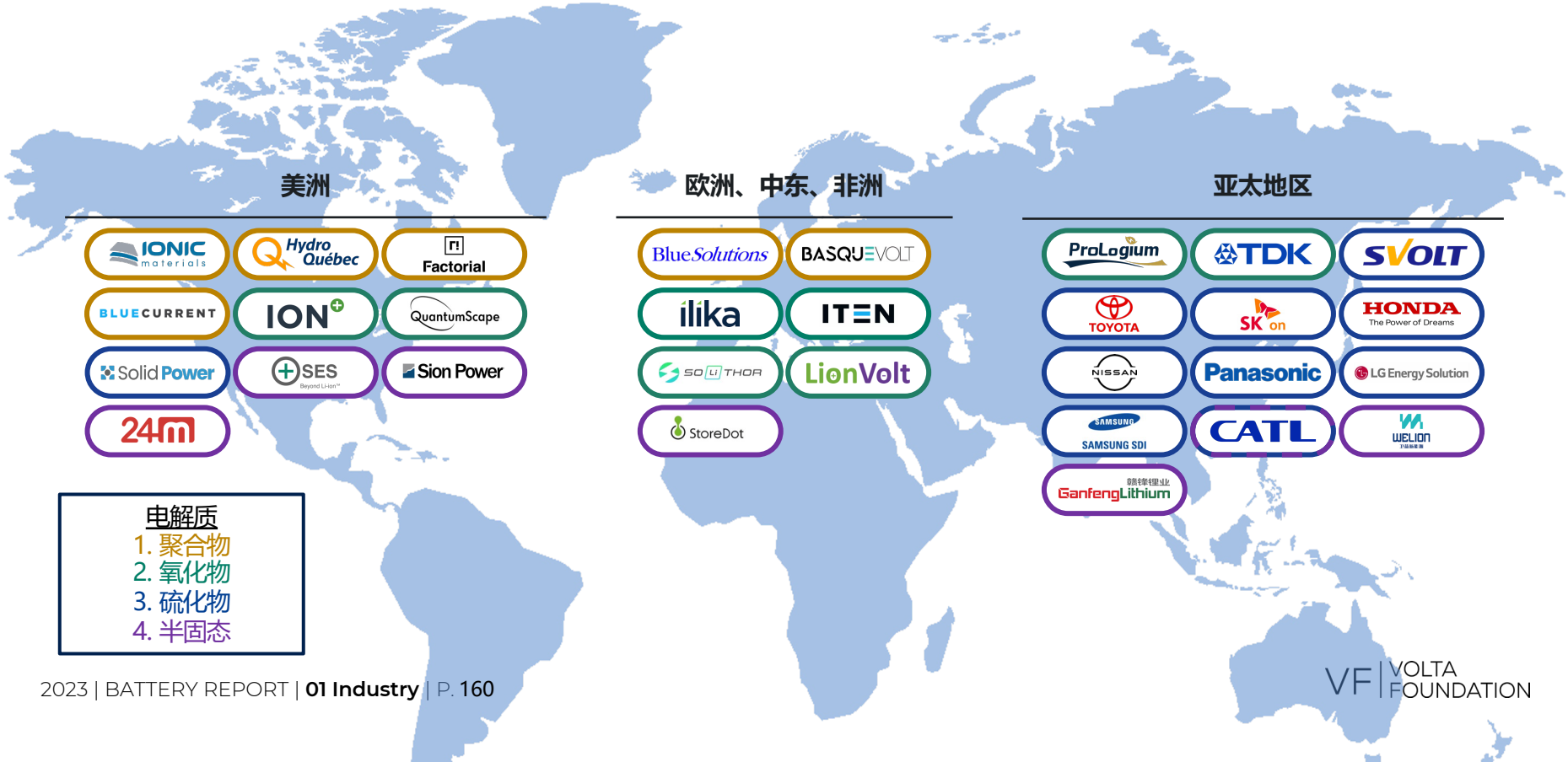
SES Beyond Li-ion™

十一月: SES 推出了容量为 107 Ah的新型锂金属电池芯。

Source: Xu, L., Lu, Y., Zhao, C.Z., Yuan, H., Zhu, G.L., Hou, L.P., Zhang, Q., & Huang, J.Q.

VF | VOLTA FOUNDATION

化学及电芯材料 | 固态 | 行业参与者



电解质
1. 聚合物
2. 氧化物
3. 硫化物
4. 半固态

VOLTA FOUNDATION

2000年后的初创企业

公司	电解质技术	建立日期	基金、阶段	有名的CVCs
Ilika	氧化物固态电解质	2004	$30M -上市	-
Ensurge	氧化物固态电解质	2005	$25M - 上市	-
Prologium	氧化物固态电解质	2006	$538M -E轮	Mercedes-Benz
QuantumScape	氧化物固态电解质	2010	$1.5B - 上市	VW
24m	半固态电解质	2010	$107M -E轮	-
Solid Power	硫化物固态电解质	2011	$387M - 上市	BMW, Ford, SOLVAY, SAMSUNG, A123 SYSTEMS
Iten	氧化物固态电解质	2011	$110M -C轮	-
Ionic Materials	聚合物固态电解质	2012	$65M -C轮	NISSAN, SAMSUNG, MITSUBISHI MOTORS, RENAULT, HYUNDAI, TotalEnergies
SES	半固态电解质	2012	$600M -上市	HYUNDAI, KIA, HONDA, gm, LG, SK, GEELY
StoreDot	半固态电解质	2012	$210M - D轮	Mercedes-Benz, SAMSUNG, bp, VINFAST, VOLVO, OLA ELECTRIC

Source: Dealroom, Crunchbase

2000年后的初创企业

公司	电解质技术	建立日期	融资阶段	有名的CVCs
Factorial Energy	聚合物固态电解质	2014	$240M -D轮	HYUNDAI, KIA, Mercedes-Benz, STELLANTIS
Blue Current	聚合物固态电解质（复合物）	2014	$46M -不清楚	umicore
Ion Storage Systems	氧化物固态电解质	2015	$53M - A轮	-
Sakuu	不清楚	2016	$16M - A轮	-
Svolt	硫化物固态电解质	2016	$2.9B - B轮	xiaomi
Welion	半固态电解质	2016	$275M -D轮	xiaomi, HUAWEI
LionVolt	氧化物固态电解质	2020	$6.2M - 刚开始	-
Solithor	氧化物固态电解质	2021	$10M - 刚开始	-
BasqueVolt	聚合物固态电解质	2022	$30M - 刚开始	enagas, Iberdrola

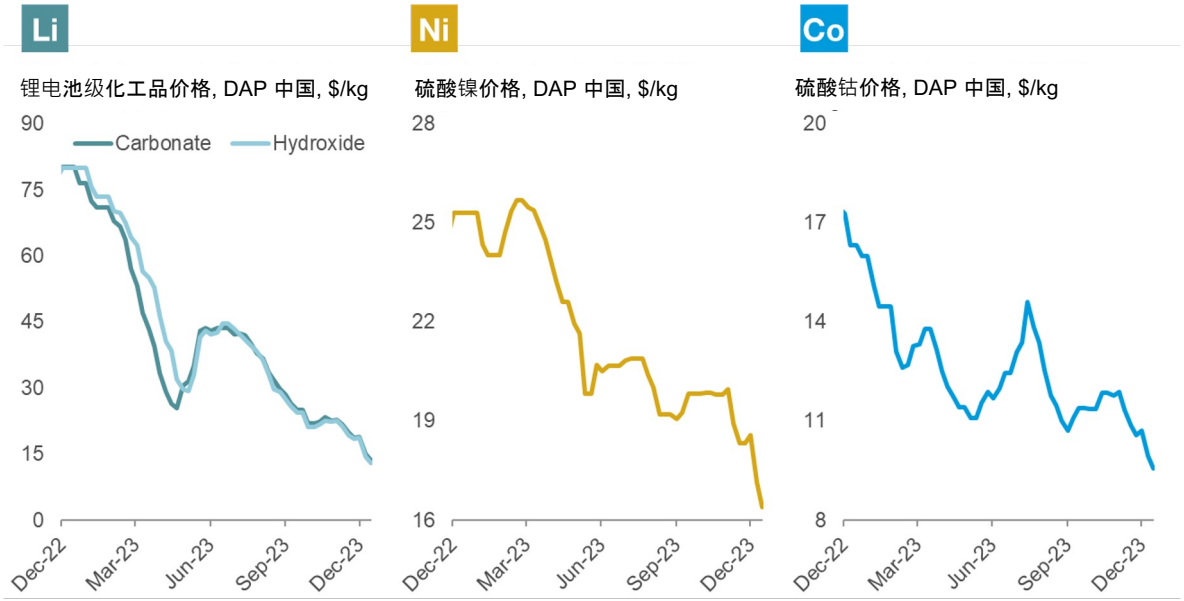
Source: Dealroom, Crunchbase

年度事件 | 产业价值链 | 金融 | 电芯成本

电芯和电池组制造 | 应用 | 安全 | 化学及电芯材料

原材料 | 回收 | 软件及分析

2023年电池化学品价格因供大于求而下跌



导致价格下降的因素

- 矿业投资增加了市场上电池材料的供应
- 与 2022 年相比，电动汽车和电池需求的增长速度有所放缓
- 自今年年初以来，中国市场库存居高不下
- 对LFP的需求持续扩大削弱了对镍和钴材料的需求

来源: CRU Group

| 锂 101 |碳酸锂当量 （LCE）

由于锂化合物种类繁多，通常以碳酸锂当量（“LCE”）来指代锂含量。技术用碳酸锂一般要求品位为99.0%，电池品级至少为99.5%。

- 氢氧化锂：用于高镍电池需要 1.544 LCE
- 碳酸锂：用于 LFP 和低镍电池需要 1 LCE
- 锂金属：用于锂金属电池需要 5.323 LCE

随着越来越多的公司希望实施可变合同以最大限度地提高利润率，这些倍数会根据给定化学品的成本变化起到乘数的作用。

锂化合物和矿物的转换系数

转换自		转化自锂金属	转换自氧化锂	转化自碳酸锂	转化自氢氧化锂
锂金属	Li	1.000	2.153	5.323	3.448
氧化锂	Li_2O	0.464	1.000	2.473	1.601
碳酸锂	Li_2CO_3	0.188	0.404	1.000	0.648
氢氧化锂	LiOH	0.29	10.625	1.544	1.000

来源: Battery Talk: Lithium in Batteries Part 1, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 2, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 3

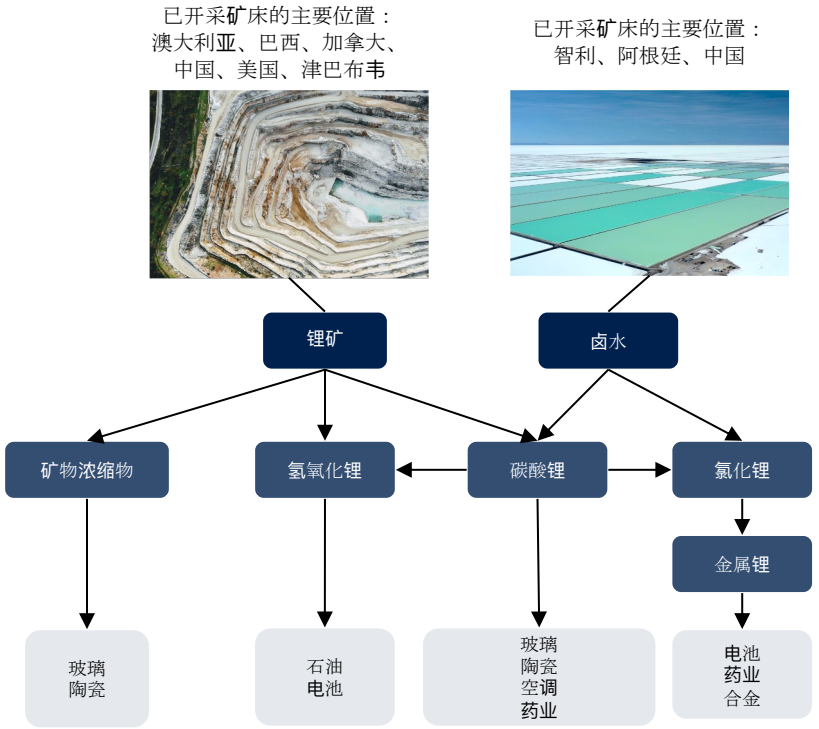
原材料 | 锂 101 | 类型 & 来源

锂金属在环境中并非天然存在，锂最常见于含锂矿物中，例如伟晶岩中的锂辉石 （$LiAlSi_2O_6$） 或卤水中的氯化锂 （LiCl） 等溶解盐：

硬岩矿 - 矿床被加工成工业上广泛使用的精矿，或可转化为碳酸锂或氢氧化锂。

锂卤水 - 通常来自蒸发湖泊和盐沼。盐水的化学成分在每个地点都是独一无二的，并且在同一盐沼中可能会发生巨大变化。

锂粘土 - 尽管许多项目正在研究其潜力，但尚未从粘土中生产出锂粘土。



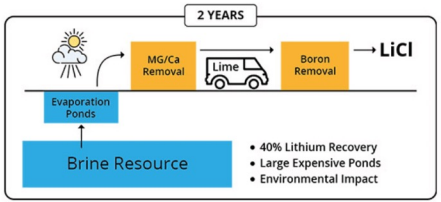
来源: Battery Talk: Lithium in Batteries Part 1, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 2, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 3

- 由于难以获得硬岩矿物和卤水提取的耗时/耗水，公司转向直接锂提取方向

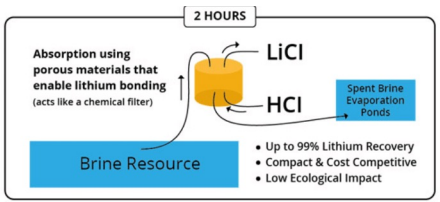
- DLE *应做到*:
  - 对环境的影响较小（耗水量较小）
  - 低碳生产
  - 更低的耗水量
  - 由可再生能源提供动力（尽管从技术上讲，盐水可以做到这一点）
  - 减少矿山/炼油厂启动和运行所花费的时间
  - 转换效率为70-80%



常规工艺：蒸发池



直接锂萃取：化学流程



来源: Battery Talk: Lithium in Batteries Part 1, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 2, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 3

直接锂提取

锂提取 （DLE） 的各种工艺包括：

1.吸附（吸附作用）：该技术采用吸附剂选择性地附着在锂上，通过洗涤程序消除不需要的离子。
公 司 ： SunResin 、 IBM 、 Summit Nanotech 、 Vulcan Energy、Koch Technical

2. 离子交换：通过物理化学过程，离子污染物被分离，因为不需要的离子被类似电荷的离子取代。离子交换材料充当选择性筛子，只允许锂（和氢）离子通过。
公司： Lilac Solutions

3.溶剂萃取：使用含有溶剂和萃取剂的有机溶液，从卤水中提取锂，通过化学或物理手段转化为LiCl（或离子）。
公司： Solvay， Adionics

4. 膜分离：采用纳滤和反渗透等膜技术，这种方法选择性地去除硬度（Mg、Ca）并回收锂。
公司： Energy X

5.电化学分离：利用电化学电池，该方法将LiCl直接转化为LiOH或Li_2CO_3，绕过氢氧化钙等中间体。目前处于早期阶段，尚未达到商业化

特性	硬岩矿物	卤水	
	采矿	蒸发	DLE
生产时间（从提取到生产）	几周到几月	几月到几年	几小时到几天
锂回收率	~60-80% (通过后续加工)	~ 40-60%	~ 70-90%+
资本支出成本	根据品级而不同	~US$23-34,000/tpa LCE	~US$26-34,000/tpa LCE
运营支出成本		~US$3,300-4,900/tpa LCE	~US$3,300-4,900/tpa LCE
锂产品	锂辉石 (~5-6% Li_2O)	碳酸锂 (Li_2CO_3), 氯化锂 (LiCl), 氢氧化锂 (LiOH)	碳酸锂 (Li_2CO_3), 氯化锂 (LiCl), 氢氧化锂 (LiOH)
过程	加热、冷却、破碎和焙烧	大气蒸发、工厂加工	不同的工艺，如吸附、离子交换、溶剂萃取、膜分离、电化学分离
耗水量	高	高	低-中
能量消耗	高	低 (曝晒蒸发)	中
排放	高	低	低

来源: Goldman Sachs report

VF | VOLTA FOUNDATION

中国、津巴布韦和巴西的新生产商供应激增

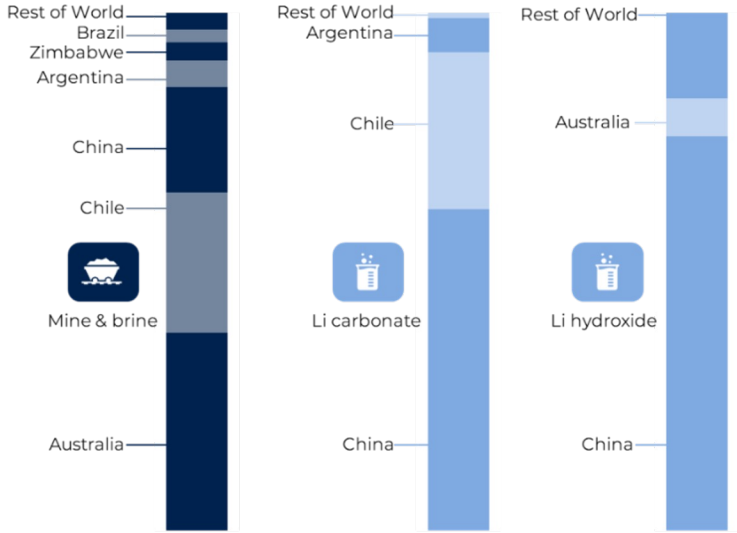
2023主要锂矿商



2023主要锂精炼商



2023主要锂产出国，kt LCE



来源: CRU Group

VF | VOLTA FOUNDATION

2024年初启动新采矿/精炼厂的时间模型

	Task Title	Duration (months)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
	Project Evaluation and Feasibiilty Studies																						
1.1	Exploration and Screen of Projects	6-12	x	x																			
1.2	Pre-feasibility study	18-24		x	x	x	x																
1.3	DFS or bankable feasibility study	24-36				x	x	x	x	x	x												
	Engineering, approvals, and process development																						
2.1	Process R&D for LCE or new Raw materials/process	24-36							x	x	x	x	x	x									
2.2	Basic Engineering	12										x	x										
2.3	Detailed Engineering (PFMEA/PPAP	12-18											x	x	x								
2.4	Permitting	12-24													x	x	x	x					
	Construction and approval of new production plant																						
3.1	construction/approval	24-36														x	x	x	x	x	x		
	Ramp up production																						
4.1	Start of production	1																	x				
4.2	Stabilization of product quality	12																		x			
4.3	Stabilization of the productivity	24																			x	x	x	x	
	Approval of commercial production product																						
5.1	QA/QC of product	0.5																					
5.2	12 month product applciation/perofrmance testing	12																				x	x
	Continus produciton of the product																						
6.1	Production of product	0.25																					x
6.2	QA/QC of product	0.25																					x
6.3	Packaing and Intermeediate storage	0.25																					x
6.4	Special specifications of product	1.5																					x
	Order placement logisti																						
7.1	Delivery to port	0.5																					x
7.2	Ship to Customer	1																					x

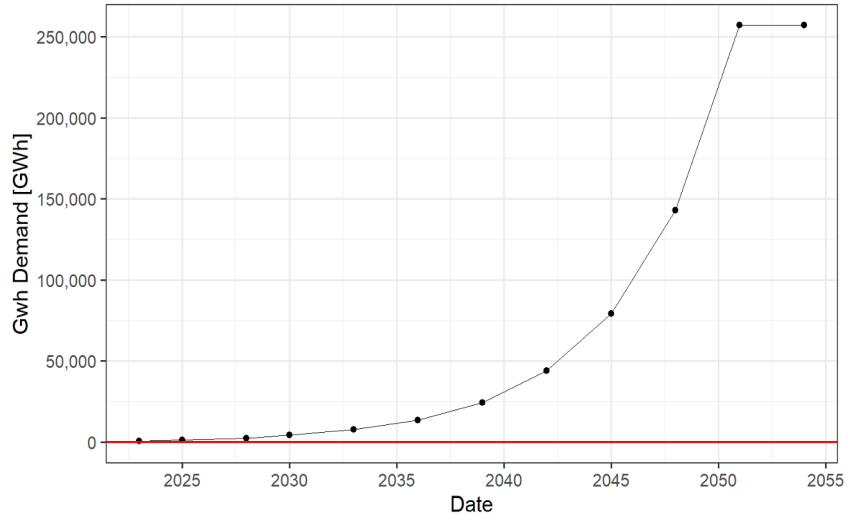
考虑到进场和使新材料达到要求所需的所有步骤，今天开矿以满足2030年电池复合年增长率的需求最大的障碍是时间。

最糟糕的情况是用31年的时间从头开始开采一座新矿山至产品被客户认可，最好的情况是16年内，除非像直接锂提取（DLE）这样的新技术在不久的将来实现。

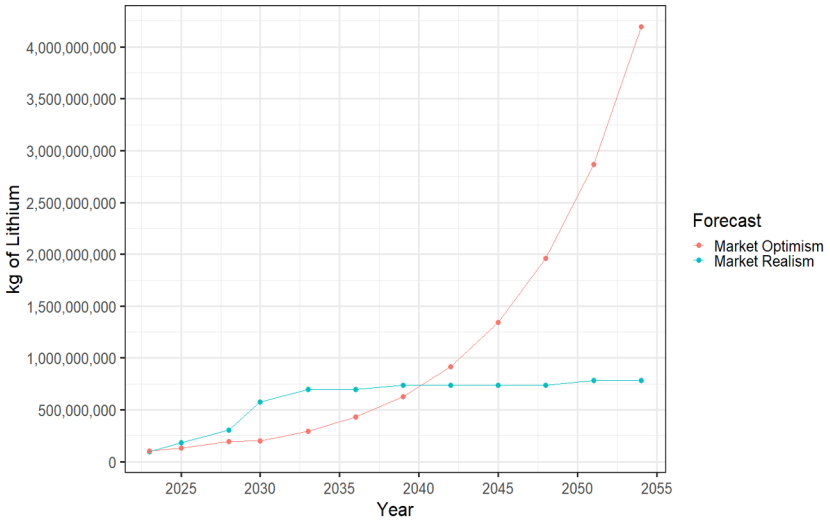
DLE将扩大许多卤水的现有生产，同时也允许更快地引入新的卤水。

来源: Battery Talk: Lithium in Batteries Part 1, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 2, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 3

锂市场现实主义与乐观主义建模的年度增长率比较



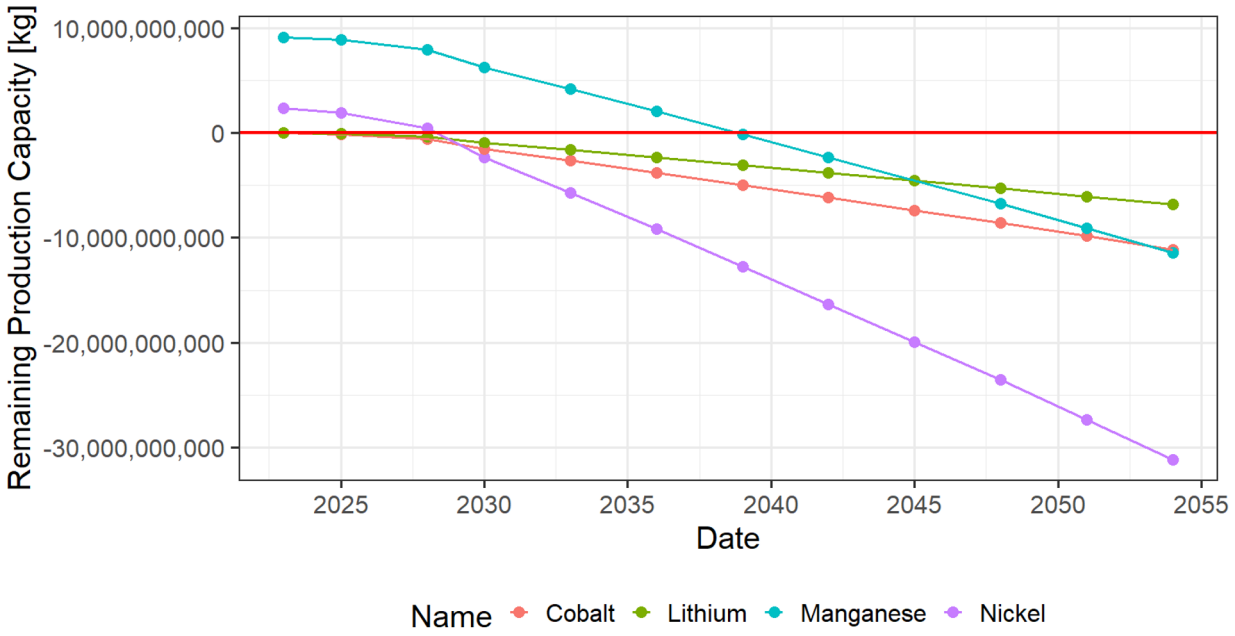
市场乐观主义



市场现实主义
20.5% AGR Li (仍为乐观估计)
10% AGR Co (46% 刚果)
5.1% AGR Ni
6.4% AGR Mn

来源: Battery Talk: Lithium in Batteries Part 1, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 2, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 3

锂生产数据与市场对需求的乐观态度



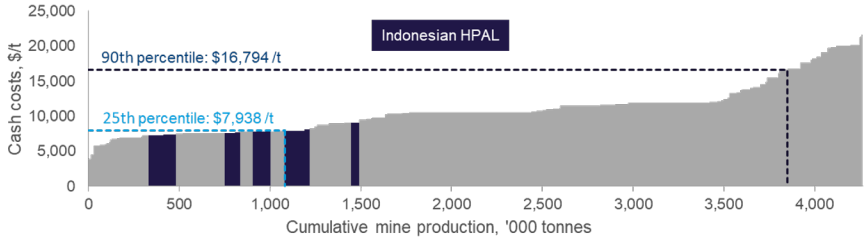
为了跟上预计电池需求的预期复合年增长率，锂业务需要在2028年前启动几个新项目，或者公司需要缩减规模。

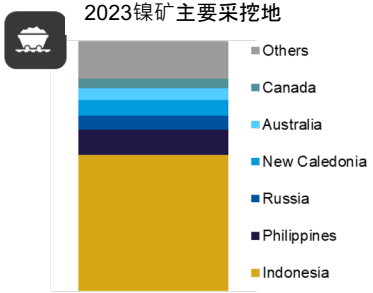
直到最近，锂的年产量增长大多围绕着现有矿山的产量增长，而不是新来源。

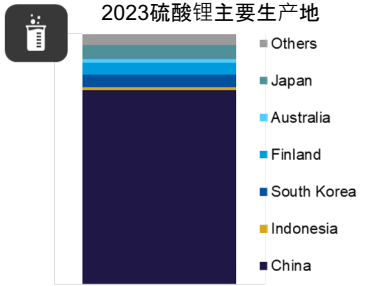
来源: Battery Talk: Lithium in Batteries Part 1, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 2, Battery Talk: Lithium in Batteries Part 3

印尼生产的电池用镍成本最低：

2025年镍产量（kt）与现金成本（$/t）注：极端异常值已从镍成本曲线中删除。







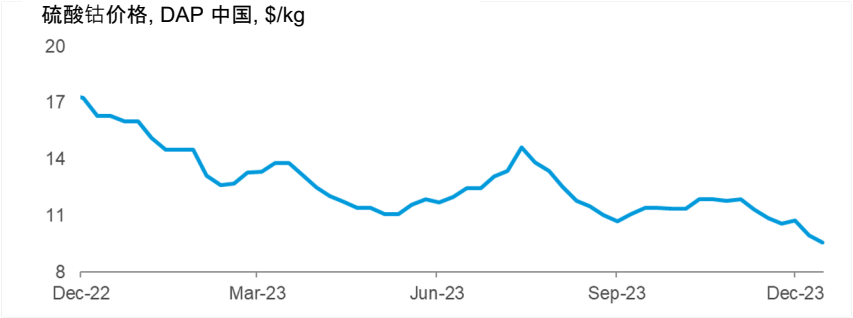
……但实际运营伴随着高碳排放、尾矿和森林砍伐等状况：

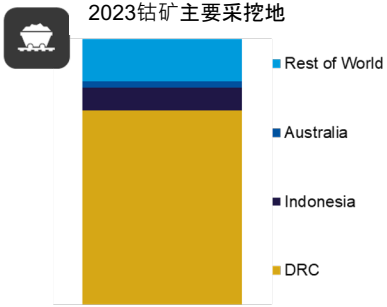


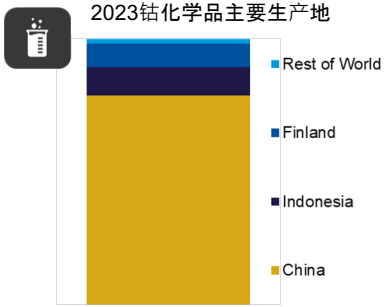


来源: CRU Group, Financial Times

钴市场价格创历史新低







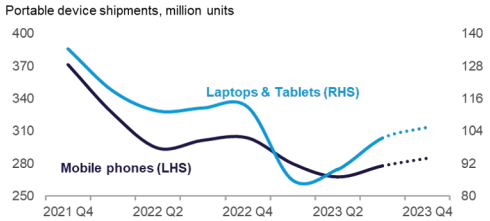
项目增加带来的大量盈余：

几乎所有的钴都是作为镍和铜的副产品开采的。因此，矿工不会被低钴价格吓倒，只要镍和铜市场激励生产，他们就有望继续生产。

钴正在被节约和替代：

无钴LFP的兴起和越来越高的镍NMC化学成分正在软化电池中对钴的需求。

便携式电子产品市场需求下降而便携式电子产品严重依赖富含钴的LCO电池：



来源: CRU Group

锰因电池需求大量涌入

中国主导高纯锰加工，同时生产最便宜的产品[1]



用于制造锂离子和钠离子CAM的Mn化学物质[2]：

硫酸锰-用于NMC、NMCA、LMFP、未来的LNMO、LMR

碳酸锰-用于LMFP和层状氧化物钠离子

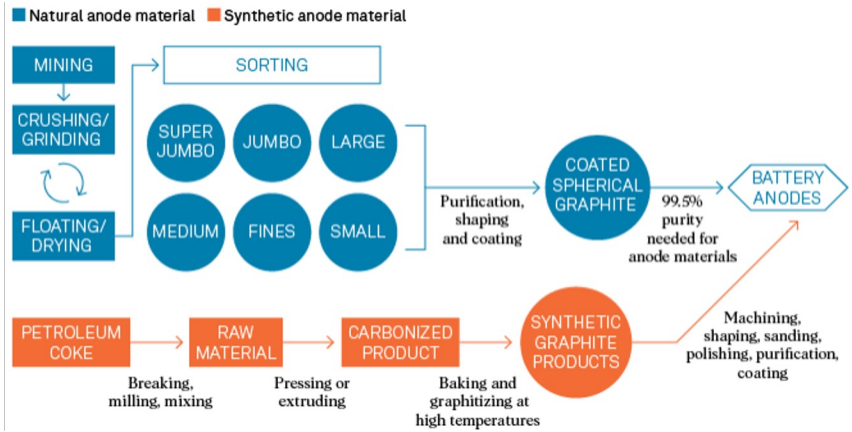
三氧化锰-用于LMFP和层状氧化物钠离子

来源: [1] Manganese Metals Company, [2] CRU Group

原材料 | 石墨

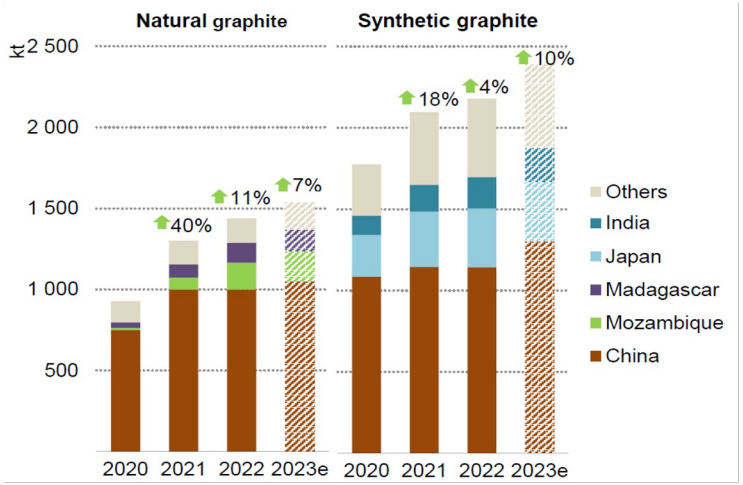
天然石墨 vs 人造石墨

天然石墨是从地球上开采的，而人造石墨来源于石油焦



经验法则：
~每kt负极消耗约0.45 kt天然石墨
~每kt负极消耗约1 kt合成石墨前体
~每GWh电池容量约1.2 kt石墨负极材料

- 天然石墨更便宜，生产碳密集度更低。
- 人造石墨因其更高的纯度和可预测的性能，以及更快的充电和更长的循环寿命而备受青睐。与矿山投产相比，建造合成石墨工厂所需的时间也更短。



来源: S&P/Battery Materials Review, IEA, Nouveau Monde Graphite

VF | VOLTA FOUNDATION

人造石墨是最常用的石墨，但碳强度是一个挑战

人造石墨的高成本源于其石墨化过程，该过程需要长时间的高温加热以去除杂质。

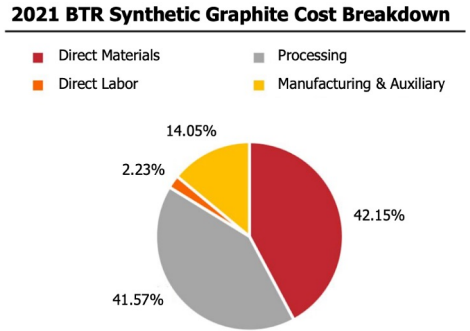
生产地点对碳排放强度的影响取决于其所使用的能源

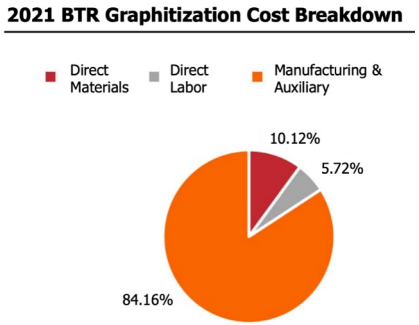
全球不同负极级石墨产品对环境影响的对比

Comparison of Environmental Impacts of Different Anode Grade Graphite Products Globally

影响种类	北部石墨	天然石墨-中国	人造石墨-中国	单位（每公斤功能单位）
全球变暖潜能值	9.5	16.8	17.0	kg CO_2 eq.
酸化潜力	0.04	0.03	0.01	Mol H^+ eq.
颗粒物形成	6.4E-7	1.0E-3	2.3E-4	疾病发病率

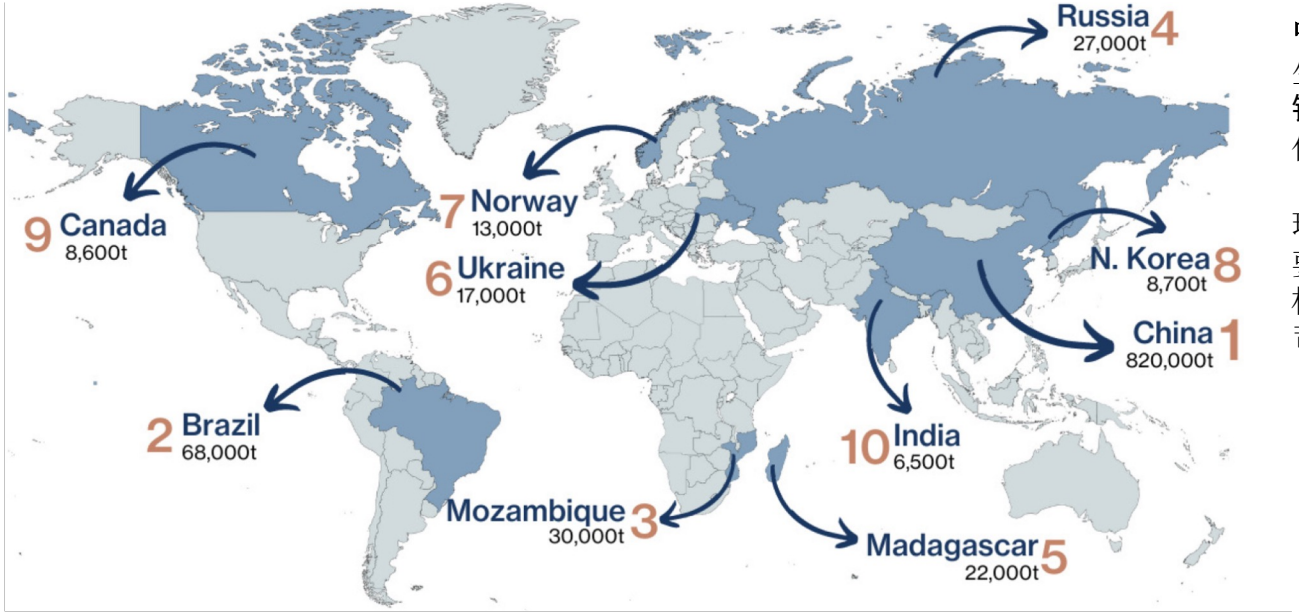
电价对制造成本有很大影响





来源: Minviro for Northern Graphite, East Asia Qinghai Securities Co., Ltd.

天然鳞片石墨产量最高的生产商（吨）



中国主导着天然片状石墨的生产和加工，并垄断了用于锂电池负极的球形石墨的转化过程。

球形石墨的化学纯化过程需要强酸处理和氢氟酸等危险材料，而这些材料在欧盟等司法管辖区受到高度监管。

来源: Hague Centre for Strategic Studies

中国的主导地位正在推动对替代来源的搜索

石墨负极活性材料设施计划（非详尽）

	制造商	负极种类	国家	产能	集成的矿山
SYRAH	Syrah Resources	天然	美国	45 kt/y	莫桑比克
MITSUBISHI CHEMICAL	Mitsubishi Chemical	天然和人造	美国	10 kt/y	无
WESTWATER	Westwater	天然	美国	40 kt/y	美国
NOUVEAU MONDE GRAPHITE	Nouveau Monde Graphite	天然	加拿大	43 kt/y	加拿大
RESONAC	Resonac (Hitachi C.)	天然和人造	日本	20 kt/y	无
talga	Talga	天然	瑞典	20 kt/y	瑞典
Vianode	Vianode	人造	挪威	1.5 kt/y	n/a
sgl carbon	SGL Carbon	人造	波兰	未知	n/a
ANOVION	Anovion	人造	美国	35 kt/y	n/a
NOVONIX	NOVONIX	人造	美国	50 kt/y	n/a
posco	POSCO	天然和人造	韩国	90 kt/y	No
epsilon	Epsilon Materials	天然和人造	美国	50 kt/y	No
SUPERIOR GRAPHITE	Superior Graphite	天然和人造	美国	24 kt/y	No

2023年12月，中国对石墨出口实施了进一步的控制，促使人们对非中国来源重新产生了兴趣（更多细节见**政策**部分）。

融资和许可是前中国生产商面临的一大挑战。

综合计划仅占全球产能的约6%。

来源: 公司公告

年度事件 | 产业价值链 | 金融 | 电芯成本

电芯和电池组制造 | 应用 | 安全 | 化学及电芯材料

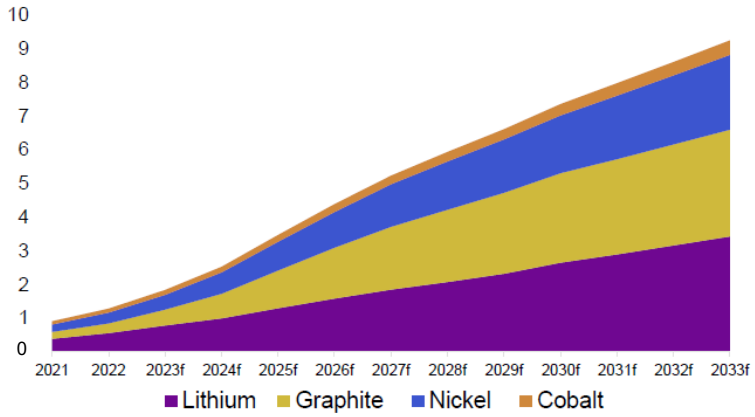
原材料 | 回收 | 软件及分析

回收 | 市场 | 电池回收金属供需预测

预计到2033年，锂电池的需求量将以每年15%的复合年增长率增长五倍，这一趋势将直接推动对电池金属材料的需求增长

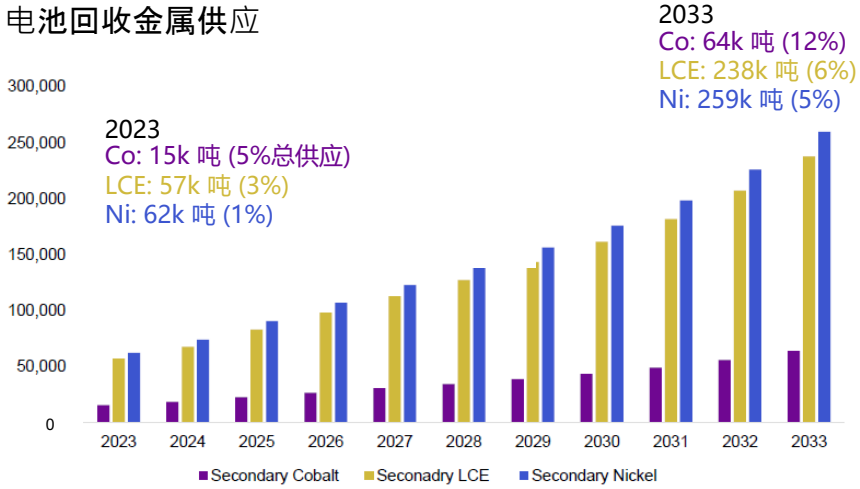
随着电气化和电池生产的激增，对电池金属的需求预计将不断上升。短期内，回收利用可以帮助满足这部分需求，为那些原生金属产量低的地区提供边际的供应安全。长期来看，回收将在满足市场需求方面发挥关键作用

锂电池金属需求
百万吨



Source: Fastmarkets battery recycling and black mass outlook

电池回收金属供应



Source: Fastmarkets battery recycling and black mass outlook

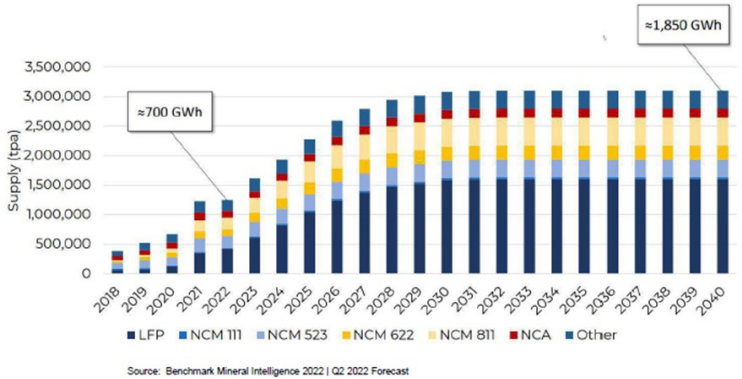
数据来源: Fastmarkets Battery Recycling Forecast. Battery Raw Materials Global Outlook Webinar - November 2023, EU recycling market study Strategy& | PEM of RWTH Aachen University

VF | VOLTA FOUNDATION

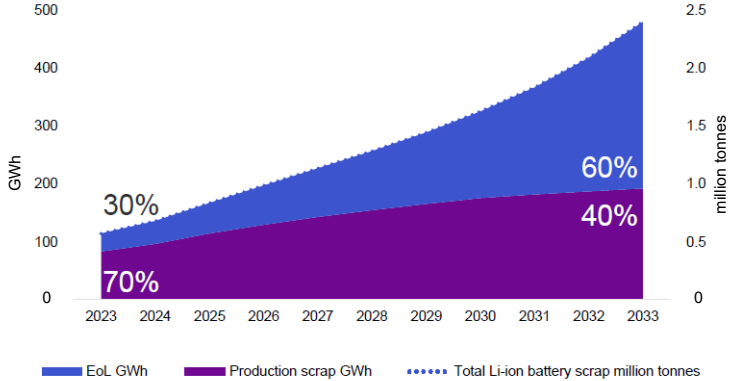
回收 | 市场 | 电池化学预测与回收原料

到2040年，欧洲的电池回收市场预计将比2030年增长十倍，这一增长最初将由超级工厂的废料推动，而从2030年起，报废电池的数量将开始显著增加。

回收利用有助于缓解原材料的稀缺问题，并为那些原生金属产量低的地区提供供应安全



- 工业中主流的电池化学成分对回收原料有重要的影响
- 预计随着磷酸铁锂（LFP）电池日益受到欢迎，回收原料将从镍钴锰（NCM）电池转向磷酸铁锂（LFP）电池，到2030年，LFP电池将占回收原料供应的50%以上



- 随着第一波电动汽车在2030年达到报废期，预计回收市场将大幅增长
- 在2023年，全球预计将产生总计110GWh（约合550万吨）的电池废料，而到2033年，这一数字预计将增长至480GWh（约合2400万吨）

Source: Benchmark Minerals, Fastmarkets Battery Recycling Forecast. Battery Raw Materials Global Outlook Webinar - November 2023, . EU recycling market study Strategy& | PEM of RWTH Aachen University

回收 | 市场 | 监管驱动因素

欧盟立法设定的最低门槛目标鼓励回收利用。美国目前还没有强制执行电池回收或回收率的法律义务。然而，中国和韩国已经制定了先进的电池回收法规和效率要求。



亚洲在电池回收法规方面领先

自2013年首次制定法规以来，韩国和中国在电池回收方面处于领先地位。目前的电池回收率约为90%



欧盟修订了其法规

自2006年起，欧盟电池指令规定回收率为55%，要求建立新的框架，因为2006年的立法重点是消费电子电池。随着2023年的电池法规，欧盟为建立一个闭环的电池价值链设定了一个相关的里程碑



明确的目标促进闭环循环

随着欧盟法规在2023年生效，它为每种关键材料设定了回收效率和回收率，并定义了用于电池生产中回收材料的最低使用目标。

先进的电池回收法规和效率

- 自2013年以来，韩国已建立了约90%的电池回收率
- 中国拥有大约90%的电池回收率，对于重要性较低的材料如锰的回收率超过85%，并且还有关于废水处理的法规

新的电池回收监管环境于2023年8月采纳

- 欧洲修订了自2006年起的电池指令，扩大了法规范围，将电动汽车电池纳入其中，并规范了整个电池生命周期
- 更新后的监管框架引入了生命周期末期的要求，如收集和回收目标，以及扩大生产者责任
- 修订后的欧盟法规从2031年起设定了70%的回收效率，并在回收目标上增加了一倍以上，到2035年使用回收材料的最低水平也有所提高。

美国目前还没有制定电池回收的一般义务规定

- 研究项目、能源部的锂电池回收竞赛，以及“Call2Recycle”等项目都是为了推动电池回收生态系统的发展而设立的
- 关键矿产和材料计划通过将用于清洁技术的原材料分类为关键材料，间接地影响了电池回收

数据来源: EU recycling market study Strategy& | PEM of RWTH Aachen University

回收 | 主要玩家 | 竞争格局

湿法冶金工艺在行业中获得了最大的关注



火法冶金

火法冶金是第一代的电池回收工艺，但需要进行大量的再处理

关键优势：减少废物产生和降低运营成本
关键挑战：高能耗、高资本成本以及较低的锂回收率

湿法冶金

湿法冶金和直接回收在保持材料原有质量（包括结构、涂层、形态）方面具有较大可能性，但扩大规模时需要更多的资本性支出。

关键优势：减少废物产生、降低能耗，以及模块化的资本成本结构
关键挑战：对原料的一致性有较高要求，且在小规模操作时可能比火法冶金成本更高

直接正极回收

直接正极回收技术仍处于研发和商业化的早期阶段，但对制造商来说价值最高

关键优势：减少废物产生、降低能源消耗、提高回收率
关键挑战：生产成本较高，且尚未经过商业验证

数据来源 Max Werny et al. Shruti Suriyakumar et al.

回收 | 主要合作 | 超级工厂及其电池回收伙伴

美国

超级工厂	电池回收合作伙伴
Panasonic ENERGY	REDWOOD MATERIALS
Envision AESC	
TOYOTA	
KOREPOWER	RENEWANCE
SK innovation	ASCEND ELEMENTS
C4V	RecycLiCo BATTERY MATERIALS
Factorial	영풍 YOUNG POONG
LG Energy Solution	Li-Cycle
ultium cells	
EVE	
TOYOTA	Cirba Solutions
HONDA	

欧洲

超级工厂	电池回收合作伙伴
ACC AUTOMOTIVE CELLS Co.	umicore
PowerCo	
EVE	Li-Cycle
MORROW	
ITALVOLT	AMERICAN MANGANESE INC.
InoBat	GIGAMINE
SVOLT	BASF We create chemistry
CELLFORCE	
CATL	
ProLogium	elemental strategic metals
FREYR	STENA
northvolt	hydrovolt
ABB	REVOLT

Source: Li-Cycle Investor Presentation November 2023, ABB

回收 | 投资

科技公司初创企业和老牌企业正在竞相开发更清洁、更经济的电动汽车电池回收技术，全球投资者正在向回收设施投入数十亿美元资金

公司	计划投资金额（单位：百万美金）	备注
REDWOOD MATERIALS	$1000	**Redwood**公司筹集了超过10亿美元的资金，专注于收集报废电池，并提高精炼能力。Redwood获得了美国能源部20亿美元贷款的有条件承诺，用于含有回收成分的电池材料
ASCEND ELEMENTS	$542	**Ascend Elements**（前称Battery Resources）已筹集5.42亿美元资金，用于在肯塔基州霍普金斯维尔的140英亩场地上建立北美首个利用回收材料的阴极前驱体（pCAM）工厂
Li-Cycle	$375	**Li-Cycle**是一家致力于锂离子电池回收的公司，它已经获得了美国能源部先进技术车辆制造（ATVM）计划提供的3.75亿美元贷款的有条件承诺。这笔贷款旨在支持Li-Cycle在纽约建设其主要的锂离子电池回收工厂
Cirba Solutions	$282	**Cirba Solutions**与美国能源部（DOE）合作扩大俄亥俄州的锂离子电池回收业务。这次超过2亿美元的扩展部分得益于美国能源部超过8200万美元的资助
AQUA METALS	$5	**Aqua Metals**与韩国储能解决方案和电池材料公司Yulho建立了战略合作伙伴关系。作为合作的一部分，Yulho对Aqua Metals进行了500万美元的战略股权投资，这不仅显示了Yulho对Aqua Metals变革性技术的信心，也为其在韩国试验规模生产设施中展示合作成果提供了机会。此外，Aqua Metals将授权Yulho在其亚洲和欧洲的工厂中部署Aqua Metals专有的AquaRefining精炼技术
ABTC AMERICAN BATTERY TECHNOLOGY COMPANY	$60	**ABTC**获得了美国能源部（DOE）1000万美元的资助，用于开发新的锂离子电池回收技术。此外，ABTC还获得了高达5000万美元的投资，以支持包括锂离子电池回收在内的商业规模电池材料建设项目

Source: Li-Cycle Investor Presentation November 2023

回收 | 投资

科技公司初创企业和老牌企业正在竞相开发更清洁、更经济的电动汽车电池回收技术，全球投资者正在向回收设施投入数十亿美元资金

公司	计划投资金额（单位：百万美金）	备注
Electra	$21.5	Electra电池材料公司已完成私募配售，募集总额达到2150万美元，以推进其黑粉回收战略和能力的提升，并用于在加拿大建设电池级硫酸钴精炼厂
NTH CYCLE	$44	Nth Cycle,一家专注于关键金属精炼的创新型公司，已经完成了4400万美元的B轮股权融资和额外的非稀释性融资。这次融资由VoLo Earth Ventures领投，该公司是科罗拉多州一家专注于气候解决方案的风险投资公司；MassMutual通过其MM Catalyst Fund I参与投资；Caterpillar Venture Capital Inc.也参与了融资。这笔资金将用于扩大Nth Cycle的清洁关键金属精炼技术，并支持其商业化进程
Mecaware	$4.3	Mecaware 一家致力于成为法国和欧洲电池回收和战略金属生产的领导者的公司，已经成功筹集了430万美元的资金
PRINCETON NUENERGY	$20	Princeton Energy在A轮融资中筹集了1600万美元，以推进直接回收技术。 Princeton Energy从美国能源部获得了437.5万美元的资助，以推动正极活性材料制造的进步
CNGR 中伟	$2000	CNGR Advanced Material Co.正与非洲私人投资基金Al Mada合作，在摩洛哥建立一个工业基地，以开发用于NCM（镍钴锰）电池的前驱体活性材料、生产LFP（磷酸铁锂）正极的生产单元，以及用于电池材料回收的设施 CNGR和CRONIMET 联手合作，致力于完善电池回收的闭环系统

Source: Li-Cycle Investor Presentation November 2023

回收 | 挑战

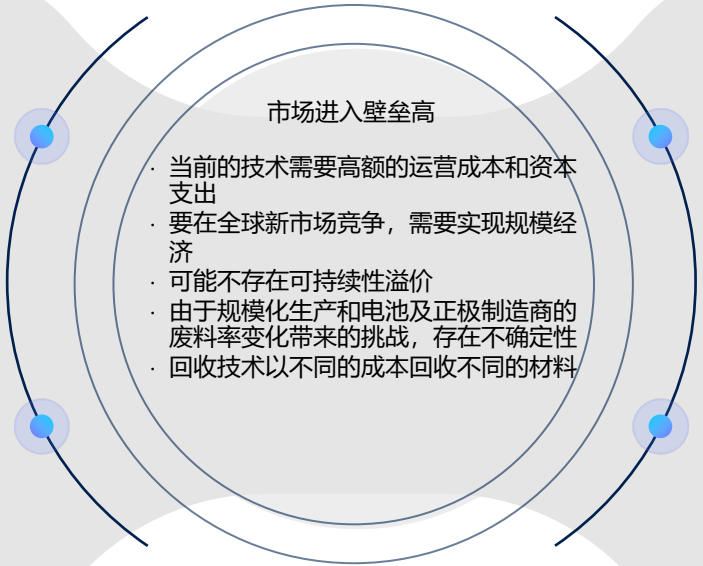
电池产量的增加、法规的收紧、可持续性的提高以及原材料的稀缺性推动了回收的需求。然而，回收在多个方面面临挑战

竞争者众多

- 对于新进入者来说，有一个小窗口的机会，欧盟已经宣布了超过30个回收项目
- 电池制造商、汽车原始设备制造商（OEMs）和传统回收公司都在寻求引领能源转型并获取利润空间

采购商议价能力

- 精炼材料市场主要由少数几家企业主导，通常是正极材料制造商或集成电池制造商
- 精炼公司需要长期的购销协议来回收购入资本，这给了买家更大的议价能力



市场进入壁垒高

- 当前的技术需要高额的运营成本和资本支出
- 要在全球新市场竞争，需要实现规模经济
- 可能不存在可持续性溢价
- 由于规模化生产和电池及正极制造商的废料率变化带来的挑战，存在不确定性
- 回收技术以不同的成本回收不同的材料

生命周期末期的替代选择

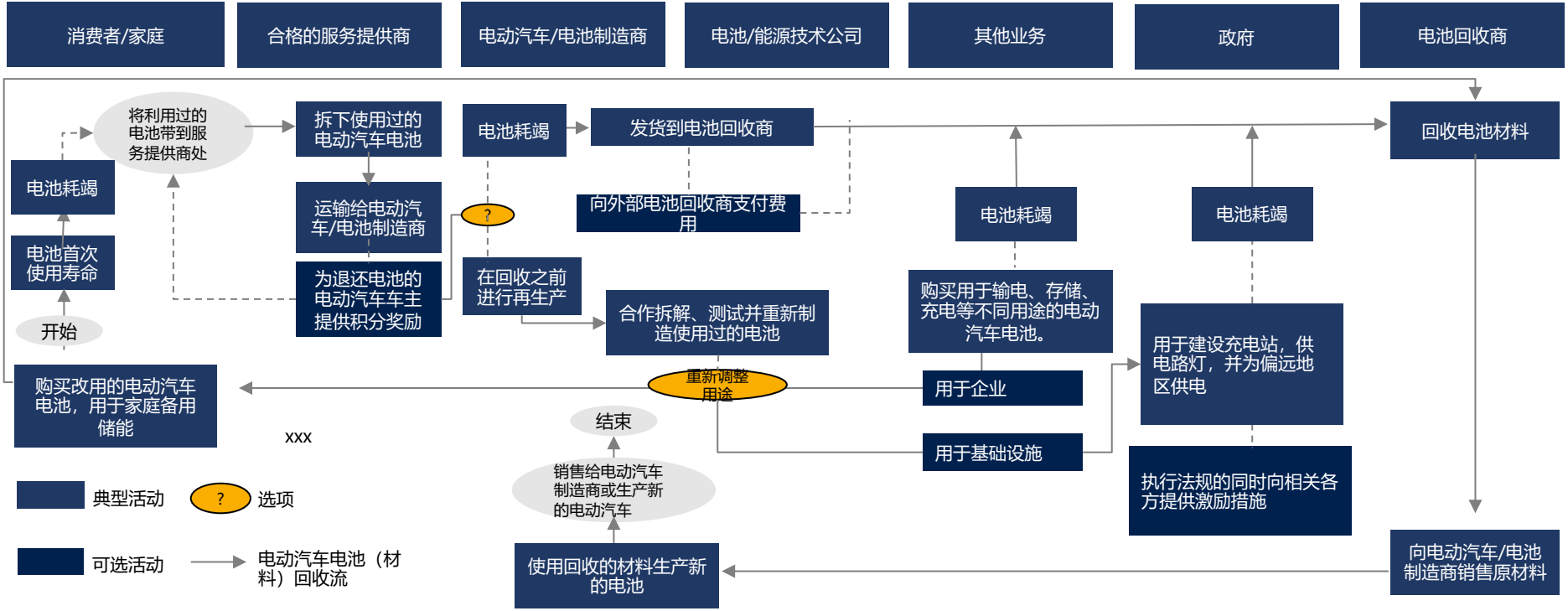
- 二次使用应用延长了电池可以被回收的时间
- 不同市场之间关于危险废物的规定差异可能会导致电池被填埋处理，特别是对于那些使用较低价值材料的电池化学成分

供应商议价能力

- 目前，最大的原料供应量来自电池制造商的电池废料，这是一个高度集中的市场，拥有很大的议价能力
- 电池制造在地区上集中，并且通常与供应商位于同一地区，以减少运输成本

电池回收 | 挑战 | 供应链的复杂性

电池回收的复杂供应链限制了各个环节的盈利能力，可能导致将电动汽车电池出口到不规范危险废物的国家。统一国际废物处理法规，明确各国生产者责任将有助于规范和激励关键利益相关者



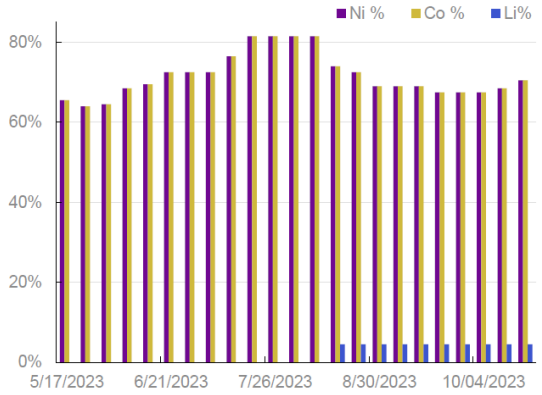
资料来源：基准矿产情报

VF | VOLTA FOUNDATION

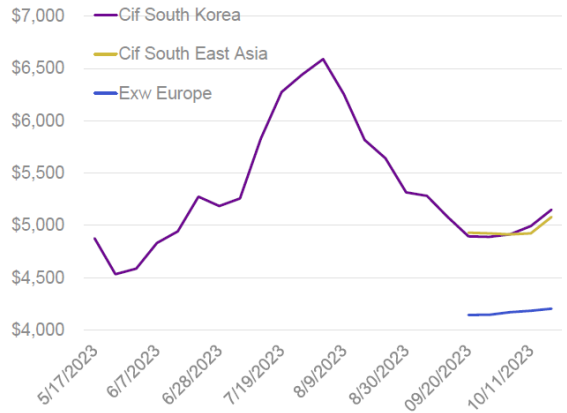
回收 | 黑粉 | 应付账款&价格

在2023年，全球黑粉产量约为500万吨。预计到2027年，这一数字将增加至约1000万吨黑粉。这一市场的一个主要障碍是各地区非统一的支付方式和定价机制。目前尚不清楚回收商是否能够获得"绿色"价格溢价

NCM, NCA韩国应付账款



NCM黑粉价格

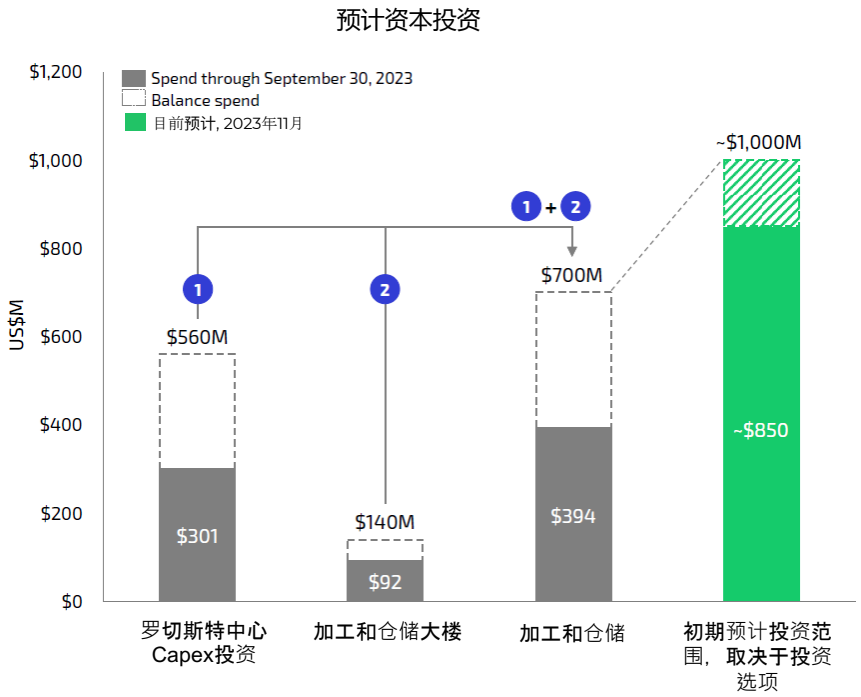


应付账款:
目前，黑粉的价格通常是基于镍和钴含量的百分比来定价的，因为还没有其他确定黑粉价格的方法。在韩国，镍和钴的周度支付比例大约是70%，而锂的支付比例是4.5%

价格:
- 在亚洲，NCM（镍钴锰）和NCA（镍钴铝）黑粉的价格比欧洲的黑粉价格高出20%，这是由于亚洲的回收率较高
- 欧洲的黑粉市场供应过剩，这是由于预处理能力超过了精炼能力
- 价格还可能受到黑粉杂质百分比的影响

Source: Fastmarkets Battery Recycling Forecast. Battery Raw Materials Global Outlook Webinar - November 2023

案例研究：Li-Cycle 罗切斯特中心



罗切斯特中心项目的关键学习点

- 由于新冠疫情后的劳动力、建筑材料和其他相关领域的通货膨胀，罗切斯特中心的资本支出（CAPEX）可能超出最初的估计
- 鉴于上述情况，Li-Cycle不得不重新审查该项目、时间线和其承包策略
- Li-Cycle还修改了其工艺流程图，以生产混合氢氧化物沉淀物（MHP）而非镍、钴金属盐。这一改变有助于减少短期资本支出，但也会对其收入产生影响
- 为了降低运营成本（OPEX），Li-Cycle可能会考虑减少员工人数。同时，为了资助其运营，Li-Cycle也可能探索额外的融资选项

关键要点总结

- 精炼中心项目通常具有较高的工程采购和建设（EPC）成本以及劳动力成本，导致较高的资本支出（CAPEX）
- 回收行业在成本结构、支付方式、原料输入、回收投入量、工艺流程和回收率等方面缺乏明确性和标准

Source: Li-Cycle Investor Presentation November 2023

年度事件 | 产业价值链 | 金融 | 电芯成本

电芯和电池组制造 | 应用 | 安全 | 化学及电芯材料

原材料 | 回收 | 软件及分析

软件与分析 | 整个电池生命周期的软件解决方案

设计/研发分析

示例：模拟、预测建模、电池设计改进

AIONICS
VOLTAIQ
TWAICE
ionworks
ABOUT:ENERGY
Ansys
MONOLITH
infyos
BATEMO
GT AutoLion
ELECTRODER
MINVIRO
NOBLEAI
Chemix
ENERGSOFT
Julia SIM
Byterat
PyBaMM

过程控制

示例：设备数据、MES

ABB
BECKHOFF
camLine
elisa company
Honeywell
INFICON
MITSUBISHI ELECTRIC
PDF/SOLUTIONS
RA Rockwell Automation
SIEMENS
Schneider Electric

制造分析

示例：FDC、产量提高

PDF/SOLUTIONS
VOLTAIQ
SIEMENS
APPLIED MATERIALS
AmpLabs
E7 eyelit 7
Optimize manufacturing performance

现场分析

示例：MES、现场数据

TWAICE
Honeywell
VOLTAIQ
Brill Power
BattGenie.
eatron TECHNOLOGIES
novo
volytica diagnostics
zitara
ACCURE Battery Intelligence
Coulomb AI

基于云的算法克服 BMS 限制

	BMS 的限制	基于云的算法如何克服 BMS 的限制
目光短浅	BMS 专注于对紧急问题做出反应，从系统和现场的其他电池学习的能力有限。	统计异常检测：云分析可以比较来自数百万个单元的数据，从而实现统计异常检测和趋势分析。这样可以及早识别偏离正常行为的情况，有助于预防潜在问题。
计算能力有限	老化模型更新的不一致：随着电池老化或在不同条件下运行，它可能不会调整其算法，从而导致不准确、SoC 和 SoH 估计不准确，影响整体系统性能。	云解决方案提供可扩展的计算能力。这种可扩展性确保可以有效地处理和分析来自外部系统的数据，从而保持系统的可靠性和准确性。
对历史数据的访问有限	BMS通常缺乏强大的历史数据分析能力，阻碍了趋势监控和长期性能分析。	基于云的解决方案可以调查历史数据，识别长期趋势和潜在问题，而这些问题对于仅依赖实时数据的 BMS 来说可能并不明显。
并非 100% 故障安全	BMS 本身可能会遇到问题。例如，如果 BMS 无法识别传感器错误，则可能会导致电池故障。	云分析提供对 BMS 和传感器功能的持续监控。它可以检测 BMS 故障和传感器问题，防止潜在的重大问题。
缺乏预见事件的能力	BMS 无法预测意外事件，例如由于插头松动而导致电流数据不正确。	基于云的平台利用先进的预测模型来更准确地预测电池性能。这使得主动维护和优化成为可能，确保电池系统高效运行。

Source: https://www.accure.net/battery-knowledge/battery-management-systems-and-predictive-analytics-overview

软件与分析 | BMS软件

通过先进的 BMS 算法提高安全性、循环寿命、充电时间和运行时间



Source: Concept Review of a Cloud-Based Smart Battery Management System for Lithium-Ion Batteries: Feasibility, Logistics, and Functionality

苏州储慧智能科技——新能源电池BDA服务商

储慧智能 CHUHUI TECHNOLOGY

Battery Design Automation-BDA工具链

前沿研发

dMaterialInnovator
材料计算与仿真

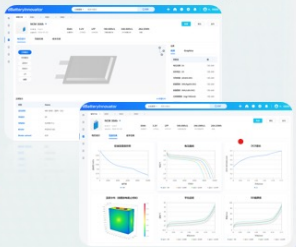
- dMaterialDesign 材料设计
- dMaterialSimulator 材料仿真

设计与仿真

dBatteryInnovator
电芯智能研发与仿真

- dBatteryDesign 电芯设计
- dBatterySimulator 电芯仿真
- dMaterialLibaray 电池材料库

电芯智能设计
在线模拟仿真
材料自动推荐
设计成本估算
……



实验与测试

dBatteryLabIntelligence
电池及材料测试与分析

- dEln 实验
- dLims 检测
- dReport 报告
- dAnalysis 分析

大规模数据采集
数据自动化计算
实验室管理
智能报告
数据智能应用
……



客户案例

- **某龙头企业电性能参数库及表征数字化平台项目**
  建立统一的测试中心管理平台、专业的测试方案库、电性能参数库
- **蜂巢能源试验数据分析平台项目**
  设计建立理化、性能、安全、原材料、机理仿真5大数据库；搭建自动报告分析系统
- **欣旺达LIMS系统及数据平台项目**
  实现测试工步自动下发、数据自动采集、异常自动判异，数据对比分析优化实验流程

苏州储慧智能科技有限公司

为电池上下游企业提供一站式数字转型服务，服务于锂电、钠电、材料、汽车、储能等众多相关企业。

战略合作伙伴

- 江苏省“智改数转”指南撰写单位
- 工信部“全国先进储能大赛”评委单位
- 固态电池产品标准化技术委员会委员单位

TEL：18151090023
地址：苏州工业园区创意产业园5栋A-3F

VF | VOLTA FOUNDATION

EnerZ Medium
新能源情报局

02 学术

Volta Foundation是一个独立且非营利性专业协会，致力于支持电池行业的发展。

新能源情报局是中国非盈利公众信息平台。

科研概览 | 正极 | 负极 | 电解质

机器学习 | 其它

科研概览 | 正极 | 负极 | 电解质

机器学习 | 其它

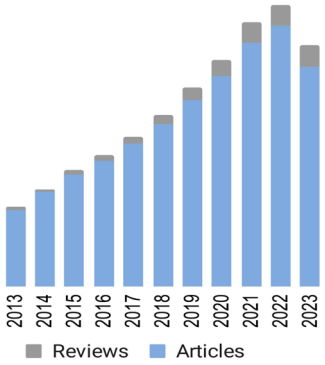
相关研究出版物增长速度放缓，趋于平稳，钠离子受到欢迎，中国保持领先

2023年，研究出版物的总体数量暂时放缓，与基础实验研究相比，综述占总量的8%。

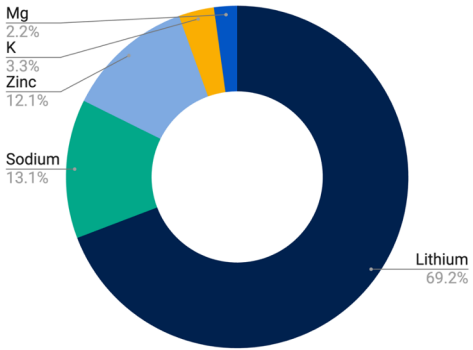
锂离子电池继续主导着研究的重点，尽管有13%的文献报道钠离子电池取得了进展。

中国在电池论文发表数量和影响因子(h指数)方面保持绝对的领先地位，其次是美国和印度。

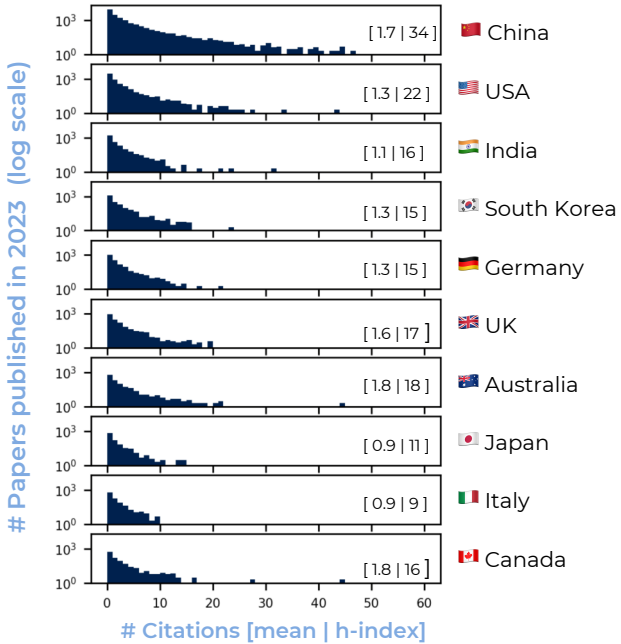
相关出版物



化学电池焦点



2023年出版物与引用排行榜



VF | VOLTA FOUNDATION

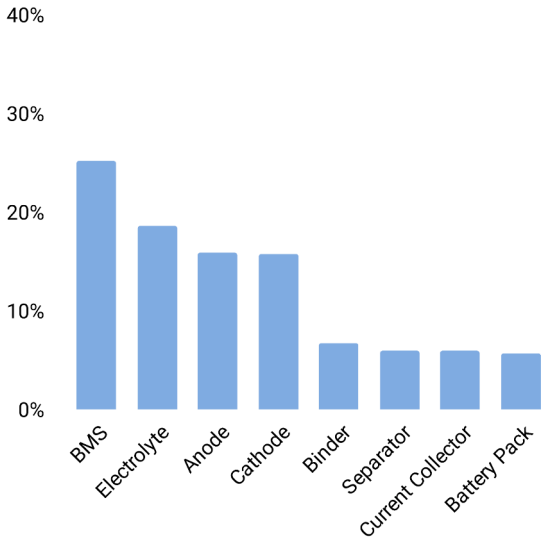
Source: (accessed 2023-12-10): (1) Web of Science Query: "ALL=(battery)" Date: 20XX-01-01 to 20XX-12-31 (2) Web of Science Query: "ALL=(X battery)" Date: 2023-01-01 to 2023-12-31

2023年电池管理系统成为研究的焦点

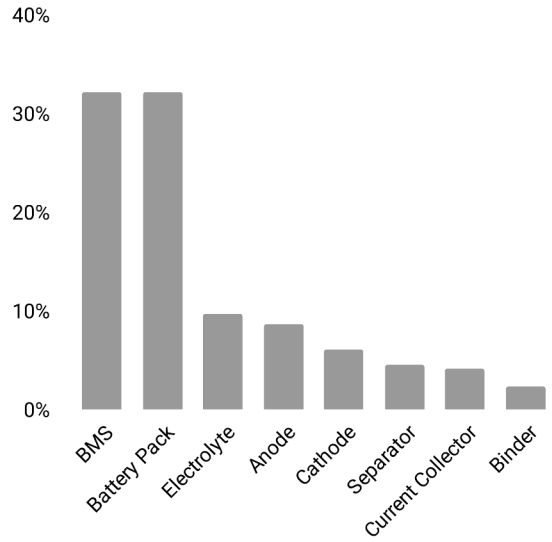
概要：

- 2023年电池管理系统和算法成为研究者们关注的热点
- 有关于电解质的文献在数量上超过电极材料。电解质的相关专利在行业内也出现了类似的增长。.
- 正如在2022年所观察到的那样，产业化领域整体上继续倾向于电池组集成和管理系统的创新。

2023出版物分类



2023专利分类

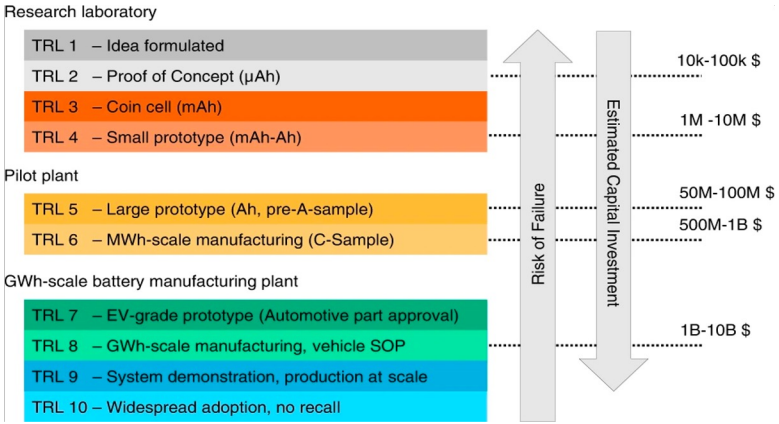


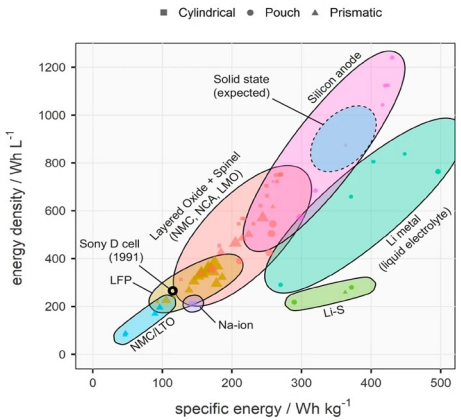
Source: (accessed 2023-12-10): Google Scholar/Patents Query: "X Battery" Date: 2023-01-01 to 2023-12-31

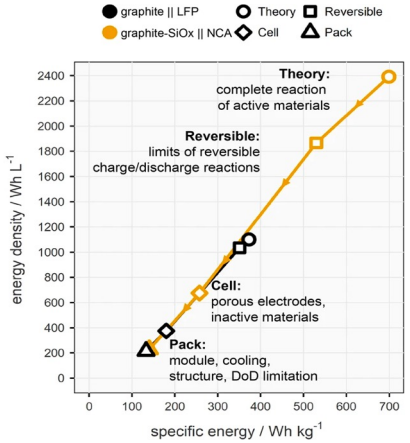
VF | VOLTA FOUNDATION

呼吁通过采取透明、充分、公正和详尽的交流沟通方式，以缩小学术界与产业界之间的差距

- 学术研究需要跨学科合作，并根据客户需求提供行业咨询，从而为电池行业带来巨大利益
- 必须在多个系统级别考虑关键性能指标。材料级KPI可能无法转化为电池组级(例如，尽管材料级差异，电池组级LFP和NCA电池具有相似的电池组能量密度)。
- 电池研究人员应该认识到将材料整合到电池供应链中的实际挑战，例如成本考虑，并且可以通过在电池系统的各个层面上的逐步改进来实现性能目标







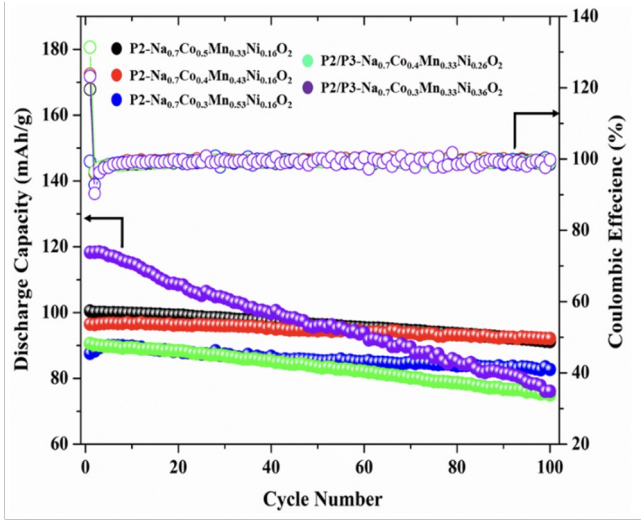
Source: Frith, J.T., Lacey, M.J. & Ulissi, U.

科研概览 | 正极 | 负极 | 电解质

机器学习 | 其它

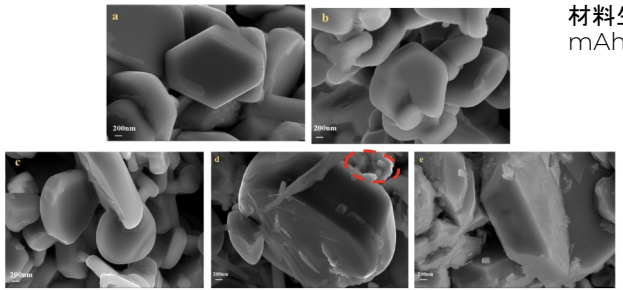
Ni/Mn含量对于钠离子电池正极材料性能影响

C. Hakim及合作者合成5种不同层状氧化物$Na_{0.7}Co_xMn_yNi_zO_2$ (x+y+z=1)以研究改变过渡金属组成和降低钴含量对于电化学特征及性能的影响。



C/10倍率下不同电极材料循环性能

结果表明，尽管Mn含量增加导致了初始放电容量降低，但是，经过100圈循环后，容量保持率表现出相对较高水平（约94-95%优于低Mn高Co材料的90-91%）。



同时，Ni含量的替身会导致混合相（P2和P3）材料生成，表现出提升的放电容量（约120 mAh/g）但降低的倍率性能。

图 2) 样品扫描电镜照片：
a) P2-$Na_{0.7}Co_{0.5}Mn_{0.33}Ni_{0.16}O_2$,
b) P2-$Na_{0.7}Co_{0.4}Mn_{0.43}Ni_{0.16}O_2$,
c) P2-$Na_{0.7}Co_{0.3}Mn_{0.53}Ni_{0.16}O_2$,
d) P2/P3-$Na_{0.7}Co_{0.4}Mn_{0.33}Ni_{0.26}O_2$ 和
e) P2/P3- $Na_{0.7}Co_{0.3}Mn_{0.33}Ni_{0.36}O_2$.

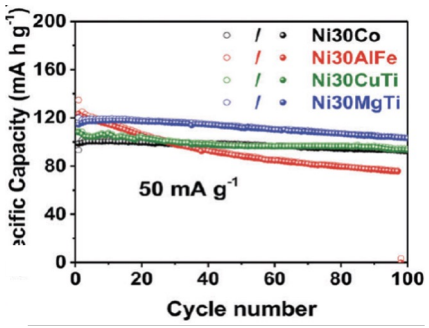
Mn, Ni含量在NaxTMO2 (T代表过度金属)层状氧化物正极材料中能够影响电池性能：提高Mn含量能够改善循环稳定性，而提高Ni含量能够获得更高放点容量。

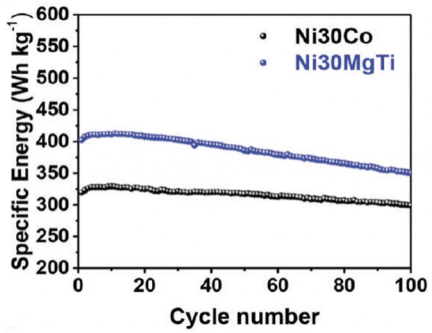
信息源: C. Hakim, H. D. Asfaw, R. Younesi, D. Brandell, K. Edström, I. Saadoune

VF | VOLTA FOUNDATION

用于钠离子电池的无钴层状氧化物正极材料

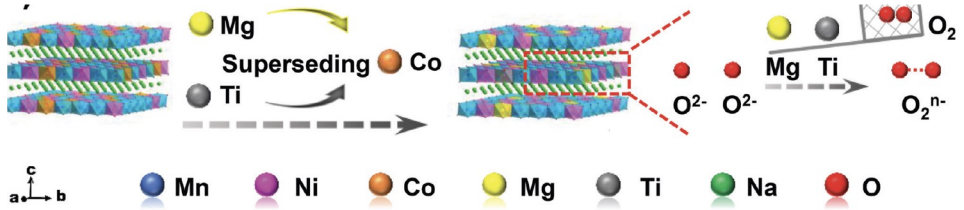
一种新型钠离子电池正极材料合成策略：Mg、Ti替代Co





Liu等研究人员提出一种低成本、高性能的钠离子电池正极材料合成路线：采用Mg和Ti元素替代较贵的Co元素。具体为使用固相烧结的工艺，通过混合金属氧化物和碳酸钠并在300 rpm球磨处理后，再进行900 oC烧结。

样品中最优的无Co正极- $Na_{0.67}Mn_{0.53}Ni_{0.3}Mg_{0.085}Ti_{0.085}O_2$在2.0-4.25电化学窗口和50 mA/g的电流密度的条件下，具有118 mAh/g的可逆比容量。该容量水平优于相应的含Co材料，此外Mg和Ti的引入还能够提升放电电压中值（从3.21V 提升至3.59 V）从而将整体能量密度从325 Wh/kg提高到410 Wh/kg。



研究者采用固相烧结工艺，提出一种低成本合成高性能无Co钠离子电池正极材料的方法。研究表明，通过Mg和Ti对于Co的替换能够提升电芯放电电压和能量密度。

信息源: Z. Liu, J. Wu, J. Zeng, F. Li, C. Peng, D. Xue, M. Zhu, J. Liu

VF | VOLTA FOUNDATION

正极 | 富锂层状氧化物的合成路线敏感性

碳酸锂颗粒尺寸对于富锂层状氧化物的合成效果具有重要影响

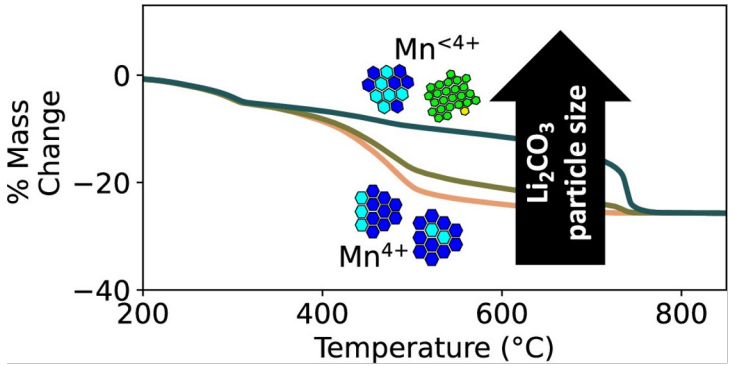
Busse及合作者研究了碳酸锂尺寸对于富锂层状氧化物烧结工艺的影响。
前期研究表明，碳酸锂熔融对于合成过程至关重要。

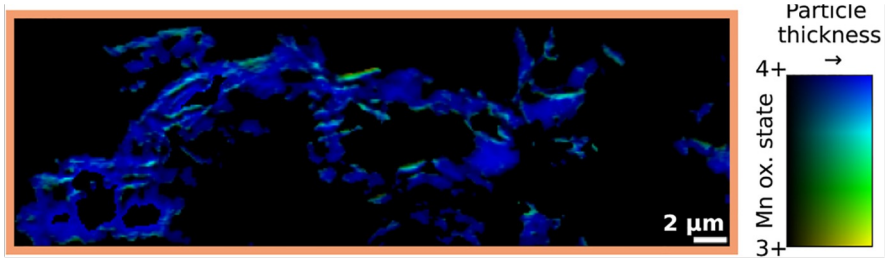
典型的表现为中间相和反应不均匀性被频繁地观察到。本工作将上述现象归因于不匹配的前驱体颗粒尺寸。

阳离子有序化会发生于富锂正极材料中，这会影响电势差曲线和电荷存储能力。该过程受到合成方法和颗粒特征的显著影响。

上述参数精细控制的重要性对于产业规模工艺是不言自明的，但是对于批次间差异原因的影响并不明确。目前，仅碳酸锂颗粒尺寸和形貌在学术论文中报告过。

本研究表明：当锂盐和前驱体具有类似的颗粒尺寸时，碳酸锂熔融过程对于高均匀性富锂正极材料的制备无显著影响。





信息源: C. Busse, Csernica, P.M., Lim, K., Lee, J., Jiang, Z., Rivera, D.F., Kim, Y.J., Shapiro, D.A., Gent, W.E., Chueh, W.C.

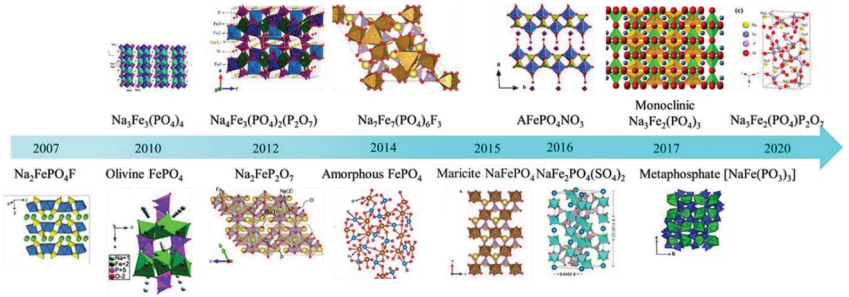
VF | VOLTA FOUNDATION

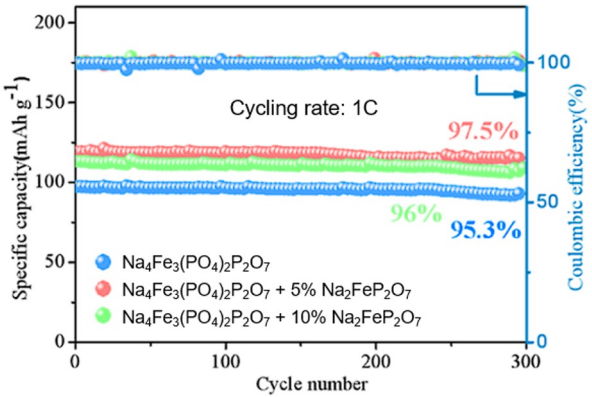
可持续性磷酸铁材料快速发展使其成为高性能钠离子电池正极的有力竞争者

相较于层状氧化物和普鲁士蓝等竞争者，聚阴离子作为钠离子电池正极的高化学和循环稳定性更加具有吸引力。特别是，铁基磷酸材料由丰富且可耻寻的元素组成，因而具有明显的成本优势。Liu等人的综述论文中总结了目前铁基磷酸盐正极的研究进展，尤其是突出了通过新组分设计该类材料在能量密度方面的提升。

混合铁基磷酸盐-焦磷酸盐化学体系是目前最为吸引人的选择。通过合理的组分设计，如$Na_4Fe_3(PO_4)P_2O_7$和$Na_3Fe_2(PO_4)P_2O_7$可获得110-125 mAh/g的容量以及千圈级循环稳定性。

但是，为了与磷酸铁锂材料竞争，仍然需要不断发展这类材料在能量密度、导电包覆层以及预钠化方面的技术水平。





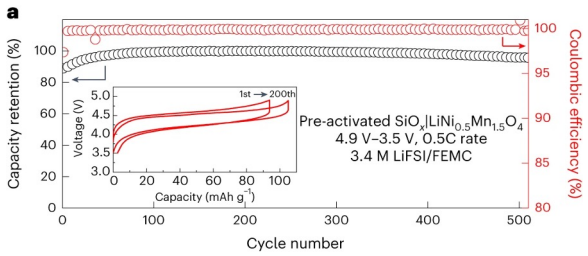
混合磷酸铁钠聚阴离子正极由价格便宜、含量丰富的元素构成，表现出优异的容量和循环稳定性，从而能够与层状氧化物和普鲁士蓝同系物等相竞争。

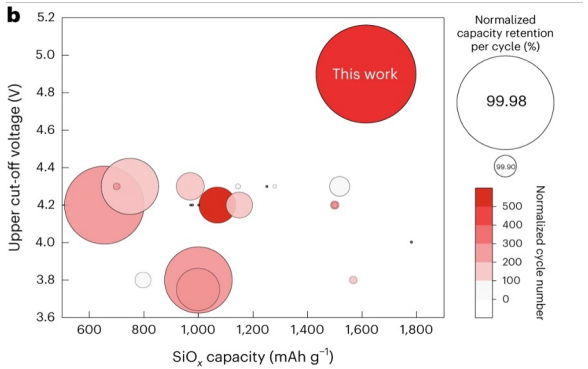
信息源: Y. Liu, X. Cui, Y. Liu, Y. Xia, and Liu, Z., Cao, Y., Zhang, H., Xu, J., Wang, N., Zhao, D., Li X., Liu, Y., Zhang J.

科研概览 | 正极 | **负极** | 电解质

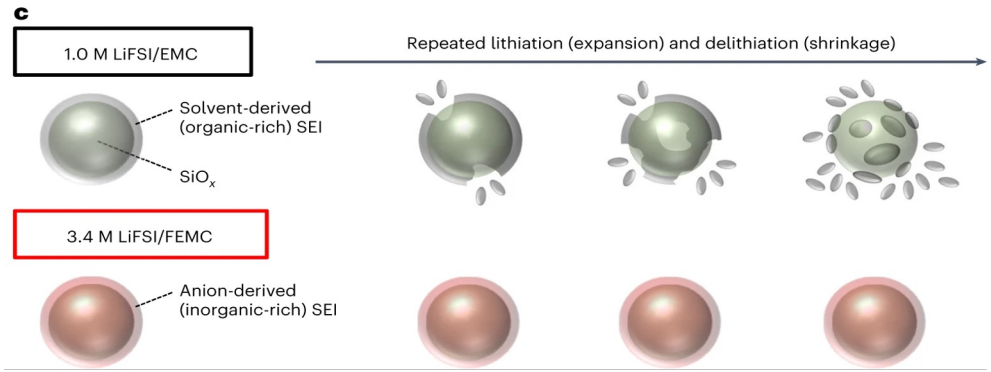
机器学习 | 其它

电解质设计赋能高能量密度SiOx/LNMO电池





来自东京大学和韩国SKKU的研究者开发出一种能够稳定的循环的$SiO_x/LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$电池（如图a所示），其最高截止电压可达4.9 V并具有来源于硅氧化物的高容量（如图b所示）。上述性能是通过采用能够生成高强度SEI膜的$LiN(SO_2F)_2$ (LiFSI)y盐和具有较高氧化电位的碳酸甲酯FEMC来实现的。



研究结论：具有4.9V截止电压以及长循环稳定性的$SiO_x/LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$电池是通过3.4M的LiFSI/FEMC电解质实现的。

信息源: Ko, S., Han, X., Shimada, T., Norio, T., Yamada, Y., Yamada, A.

负极 | 预嵌锂硅/碳负极

在石墨和硅/碳负极中应用一种新型转移印刷预嵌锂过程能够获得更高的初始库伦效率和能量密度

通常，电池陈化过程中的锂损失会导致初始库伦效率和能量密度下降。锂损失在硅基负极的程度更为强烈，这是由体积变化和缺陷位造成的。多样的预嵌锂方法普遍应用于在负极中嵌入额外的锂以补充从正极端损失的锂。

来自于清华大学的研究人员提出"卷对卷"电沉积和转移印刷系统用以制备预嵌锂的石墨和硅碳负极。

该系统包括：

1）铜箔锂金属电沉积

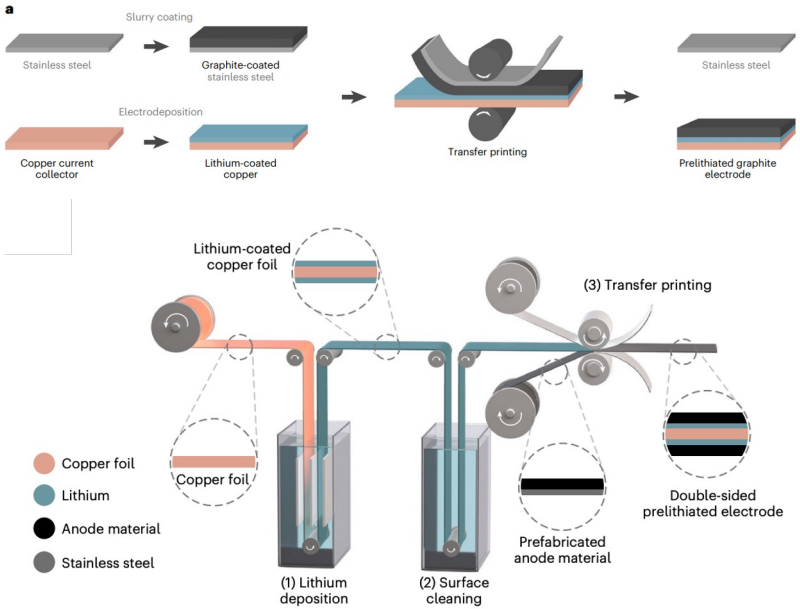
2）表面清洁

3）预制备负极的转移印刷

4）预嵌锂电极的连续生产

上述方法能够将石墨和硅/碳负极半电池的初始库伦效率分别提升至99.99%和99.05%，同时也能够提高全电池初始库伦效率和能量密度。

研究结论：一种高效且低廉的预嵌锂工艺并匹配相应的"卷对卷"制造系统，能够释放硅基负极的全部潜能



信息源: C. Yang, H. Ma, R. Yuan, K. Wang, K. Liu, Y. Long, F. Xu, L. Li, H. Zhang, Y. Zhang, X. Li and H. Wu

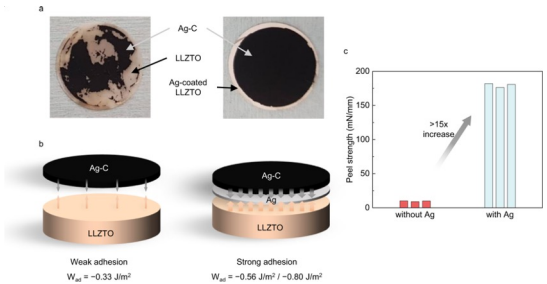
VF | VOLTA FOUNDATION

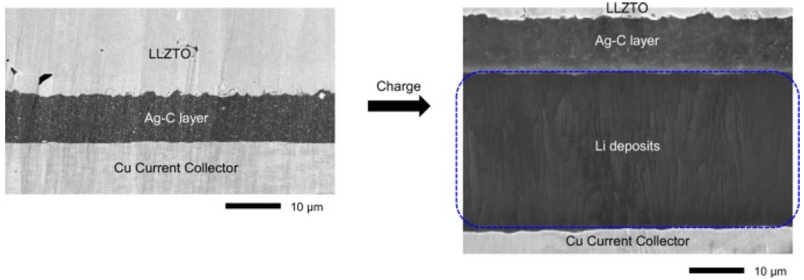
无机固态电解质的表面工程

本研究目的是采用Ag包覆无机固态电解质(LLZTOSS)以提升准固态电池性能。所提出的假设为采用在LLZTO表面使用银包覆层的方式，结合Ag-C复合保护层能够防止枝晶穿刺，增强界面稳定性，并提升高电流密度下的运行能力。

上述LLZTO固态电解质层是通过流延铸造实现的，同时多种界面包括Ag-C界面已经包覆在LLZTO表面。相应具有Ag-C界面的电池，与同等无界面条件相比，表现出提升的循环稳定性以及更好的在高电流密度下避免短路的能力。全电池体系Li|Ag-C/Ag/LLZTO/IL|NCM 333具有非常出色的初始放电容量和在25°C和1.6 mA/cm²条件下，800圈循环后85%的容量保持率。研究表明，多界面层能够有效为固态电解质形成屏障，防止枝晶穿刺并在多圈充-放电循环具有实质的容量保持能力。

固态电解质LLZTO的表面工程能够实现在无外界压力需求的条件下，显著提升锂金属电池的循环稳定性。

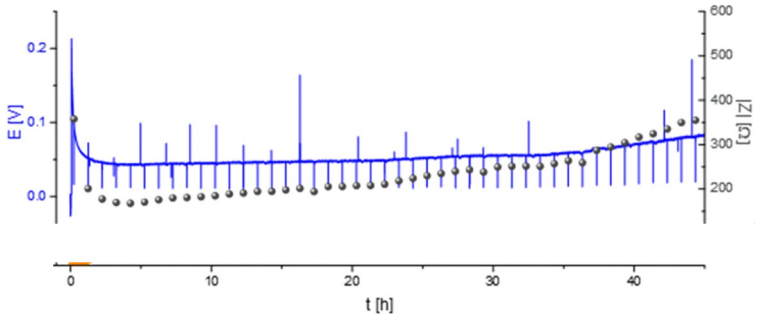


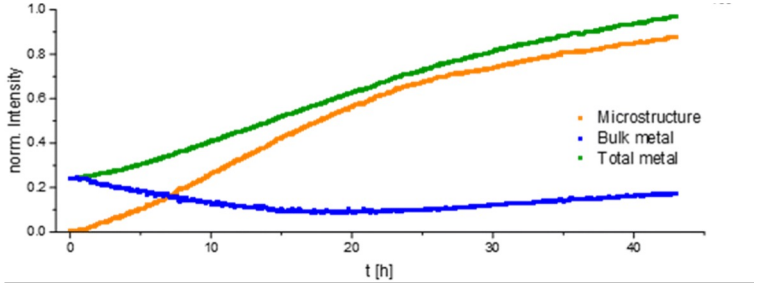


信息源: Kim, JS., Yoon, G., Kim, S., Sugata, S., Yashiro, N., Suzuki, S., Lee, M.J., Kim, R., Badding, M., Song, Z., CHang, J., Im, D.

对于锂金属电池软短路退化问题的理解

S. Menkin等研究者对于锂沉积过程中软短路问题进行了细致的研究。该论文提出了对于锂金属电池过程中电压走势和阻抗变化的更加细致的理解，这历史性的将类正方形波形与均匀沉积与脱出相关联。基于酯类和碳酸盐类液体电解质的对称电池极化实验结果，作者依据观测到可逆软短路现象提出重新定义关键电流密度的概念。





Operando Li NMR and impedance (GEIS) measured at 8 Hz intensities measured during unidirectional Li plating at 1 mA cm-2 in an NMR in situ cylindrical symmetrical Li cell with LP30 electrolyte.

通过将EIS和NMR实验方法相结合，可获得表征和预测软短路的可逆性以及向硬短路的演化路径

相较于硬短路通常豪欧姆范围的阻抗值，由软短路所产生的阻抗表现数以十计到百计的欧姆值。

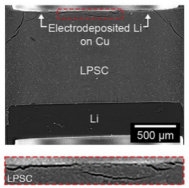
信息源 S. Menkin, J. Fritzke, R. Larner, C. de Leeuw, Y. Choi, A. B. Gunnarsdottir, and C. P. Grey

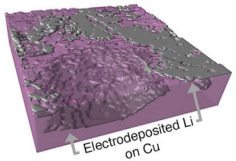
合金界面层有助于提升库伦效率

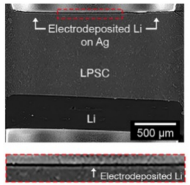
佐治亚理工和普渡大学的研究者对于在循环过程中，位于Cu集流体和S基固态电解质的无负极结构：100 nm Ag和Au界面的演化进行了探索。结果表明：电池充电过程中，Ag和Au合金层由于Li沉积形成了新的合金。这使得Li能够在集流体上均匀生长，从而提高昆仑效率并阻止电池短路，这甚至可以持续发生于合金因为形成固溶体溶质或颗粒状从而脱离集流体的情形下。

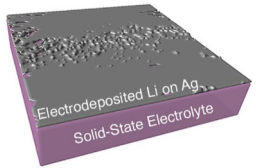
Au和Ag界面都具有的功能是，尽管形貌在演化，在Li沉积后（形成Li-Au颗粒或者溶解后的Li-Ag）能够保持相对均一的分散。因此，在Li脱离的末期（放电），在Cu集流体和固态电解质界面处，所得合金能够返回界面同时抑制接触损失，从而避免了无负极固态电池的关键弱点。其它具有不同反应行为、电池电势、和/或机械特性的合金体系有可能无法和成本较高的Ag和Au金属有一样的表现。

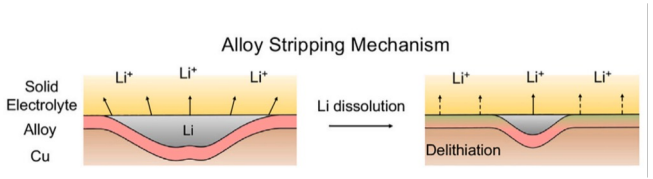
该工作全面的形貌和电化学表征有助于理解已知的Ag和Au负极界面在提升固态电池稳定性方面的有利影响。







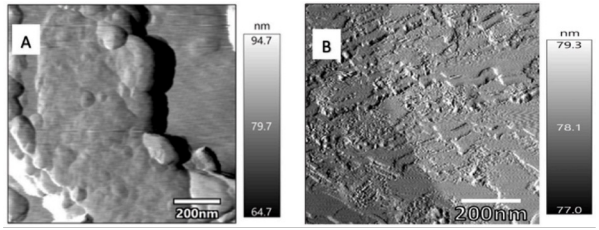




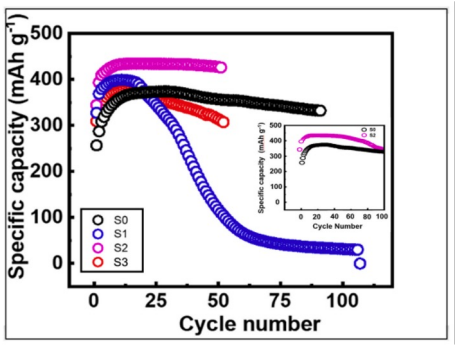
信息源: S. E. Sandoval, J. A. Lewis, P. P. Mukherjee, M. T. McDowell, et al.

构筑微结构和缺陷以提升石墨负极的电化学性能

来自北卡罗来纳州立大学和橡树岭国家实验室的研究者采用纳秒脉冲激光烧结技术(PLA)以改变石墨结构从而提升其电化学性能。PLA技术所产生的碳空穴在充电过程中可提供更多的Li+活性位并在放电过程中提高20%的电流密度。此外，由此产生在石墨表面的台阶和凹槽能够提高Li^+的扩散传输。同时，石墨表面有可能影响Li传输的非活性无序碳和PVDF也会被去除。然后，PLA过程参数必须经过优化。如果空穴浓度过高，Li^+拥挤会造成电子捕获以及Li沉积。



图A-B: 未经过PLA处理的参比石墨(A)和优化PLA过程的石墨样品(B)的AFM图像。图C: 参比样品(S0)与未烧结和未优化PLA样品(S1), 优化后样品(S2)和过度烧结和未优化PLA样品(S3)的比较



Comparison of different techniques to enhance the performance of Graphite anodes.

Methods	Electrode	Capacity	% increase
Nanosecond annealing (our work)	Graphite standard anode	360 mAh/g	
	Laser treated Graphite anode	430 mAh/g	19.4%
Pore structuring [63]	Graphite standard anode	276 mAh/g	
	3D structured Graphite anode	308 mAh/g	11.5%
	Graphite standard anode	332 mAh/g	
	3D structured Graphite anode	332 mAh/g	0%
AlF3 coating [64]	3D structured Graphite anode	302 mAh/g	
	Coated graphite	337 mAh/g	11.6%
Acid surface treatment [65]	Presitine graphite	370.42 mAh/g	
	Acid treated graphite	396.88 mAh/g	7.1%
	KOH treated graphite	415.75 mAh/g	12.1%

纳秒脉冲激光烧结技术(PLA)通过增加结构中空穴和表面台阶和凹槽以获得提升的锂离子电池倍率性能

信息源: N. Khosla, J. Narayan, R. Narayan, X Sun, M P Paranthaman

导电聚合物可以作为功能性表面涂层用于负极材料

来自劳伦斯伯克利国家实验室的研究者们开发一种导电聚合物涂层，简称HOS-PFM。将该图层与Si或Al相结合能够提高锂电池的循环寿命和能量密度。该聚合物的弹性结合其离子和电子传导能力有助于保持循环过程中Si或Al材料破碎时的电气接触。此外，该包覆层还能提升循环过程中负极和集流体的粘结性。上述特性使得HOS-PFM表现出良好的容量、能量密度以及循环稳定性，性能指标能够匹配目前可行的多数先进电极材料。

研究结论：一种功能聚合物涂层可强化离子-电子混合传输能力，作为一种负极保护的有效方法从而提高循环效率。



信息源: Zhu, Sternlicht, Ha, Fang, Liu, Savitzky, Zhao, Lu, Fu, Ophus, Zhu, Yang, Minor, Liu and Berkeley Lab News Release

科研概览 | 正极 | 负极 | 电解质

机器学习 | 其它

| 高熵（HE）电解液提高稳定性

增加电解质的熵能提高电解液的离子电导率和倍率性能

通过引入多种电解质盐来增加液体电解质的熵，可以改变溶液的溶剂化结构，提高电解质的溶解度，改善电解质-电极界面的离子迁移率和电化学稳定性。在这种情况下，增加熵会导致电解液具有更负的吉布斯自由能，从而获得多组分下稳定的均匀电解液，而这在之前低熵条件下不可能实现(图1)。

王等人采用$LiNO_3$，一种常见的不溶于商业化EC/DMC体系电解液中的添加剂，来证明引入LiTFSI、LiFSI和LiDFOB的混合盐会使HE电解质具有更高的离子电导率、扩散率、锂离子转移数和更高的LiNO3溶解度。由于锂金属上的溶解/沉积更致密、更均匀，也具有到更稳定的循环性能(图2)。

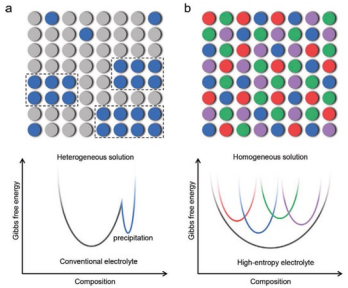


图 1.

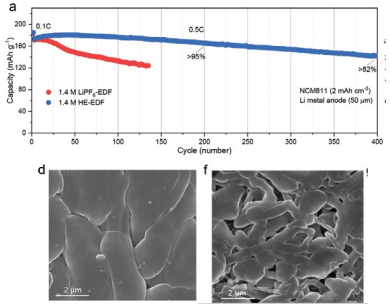


图 2.

Kim等人通过增加电解质熵(这里通过引入更多的共溶剂)显示了类似的弱溶剂化和离子聚集体，并证明了在高电流密度下，醚基和碳酸酯基电解液的离子电导率和循环稳定性都得到了改善(图3)，其中EL2、EL4和EL5分别对应于具有2、4和5溶剂的电解液。

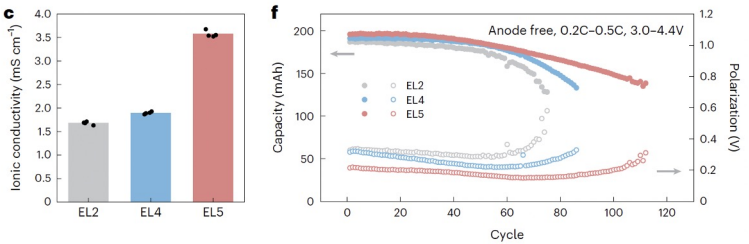


图 3.

高熵电解液改变溶剂化结构，增强溶解度、离子迁移率、离子电导率、扩散率和电化学稳定性。

Source: Q. Wang, C. Zhao, Z. Yao, J. Wang, F. Wu, S. G. H. Kumar, S. Ganapathy, S. Eustace, X. Bai, B. Li, J. Lu, M. Wagemaker, and Kim, S.C., Wang, J., Xu, R. et al.

VF | VOLTA FOUNDATION

提高Zn电池性能的水系电解液添加剂

水溶液电解质继续引起人们的关注，特别是后锂离子电池时代。锌离子电池具有较高的能量密度，但锌负极材料上的副反应和不均匀枝晶生长限制了其应用。

Zhang等人使用$NH_4H_2PO_4$添加剂来调节Zn^+沉积，以避免枝晶的形成。在这种情况下，NH^{4+}被优先吸附在Zn负极上以阻止自由水分子，这称之为“屏蔽效应”，而H_2PO^{4-}形成缓冲液，保持良好的pH值(图1)。这导致Zn离子更均匀和稳定的沉积/溶解，从而提高Zn//Zn和Zn//Cu电池的容量保持率。高可逆的锌溶解/沉积行为;Zn/ Zn对称电池在1 mA· cm^{-2}下稳定循环2100h，在4 mA · cm^{-2}下稳定循环1900 h，在10 mA · cm^{-2}下稳定循环930 h。

在1000次循环中，锌/铜不对称电池的平均库伦效率高达99.4%。NHP添加剂还提高了Zn//MnO2全电池和Zn//活性炭电容器的电化学性能。

在水系锌电池中，添加剂如NHP可以减少枝晶的生长和副反应的发生。

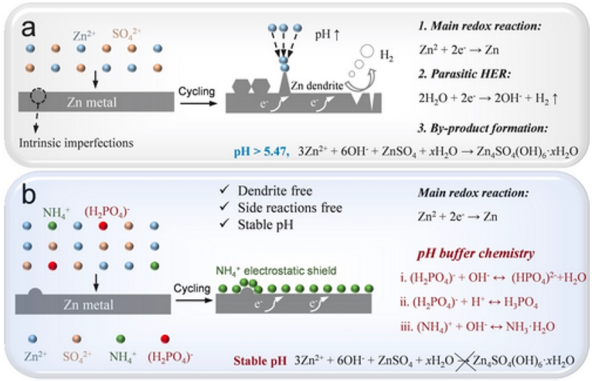


图 1.

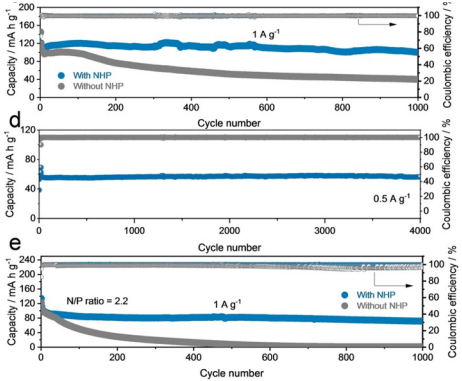


图 2.

Source: W. Zhang, Y. Dai, R. Chen, Z. Xu, J. Li, W. Zong, H. Li, Z. Li, Z. Zhang, J. Zhu, F. Guo, X. Gao, Z. Du, J. Chen, T. Wang, G. He, I. P. Parkin

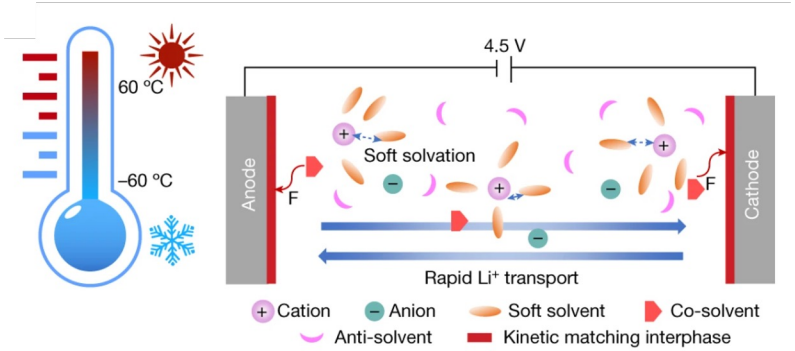
| 极端条件下的电解液设计

电解液的设计原则为高压、快充、宽温电池奠定了基础

在极端条件中使用的锂离子电池需要新型电解液。理想情况下，这些电解液需要不易燃，能够在宽电压和温度范围内工作，并能够快速充电，同时降低析锂的风险。

Xu等人开发并验证了在极端条件下(±60°C)运行的高能电池的电解质设计策略。溶剂选择的主要标准是:低凝固点，中等沸点和宽的电化学窗口。第二个标准是溶剂化能力;合适的溶剂体系可以在保持锂盐解离的同时保证低锂离子解离能。为了保持离子电导率，软溶剂与高度解离的锂盐配对。

研究人员将他们的设计标准应用于使用1M LiTFSI MDFA/MDFSA-TTE电解质的NMC811 | |石墨全电池。扣式电池(面积容量>2.5 mAh· cm $^{-2}$)能够在宽温度范围(−60°C至+60°C)下工作，软包电池在300次循环容量保持率为83%，−30°C时平均库伦效率超过99.9%。

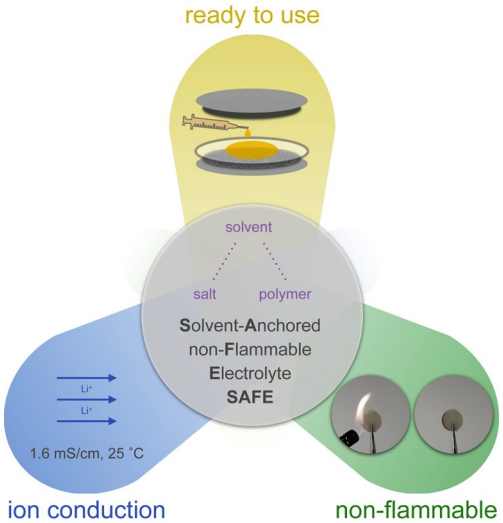


极端条件下应用的锂离子电池，其电解液设计原则包括选择相对低DN (<10)和高介电常数(>5)的溶剂，以使Li⁺/溶剂结合能最小化，同时仍能解离Li盐。添加具有高还原电位的组分可以在两个电极上形成富LiF的界面相，从而促进类似嵌锂/脱锂动力学发生。

Source: Xu, J., Zhang, J., Pollard, T.P. et al.

电解质 | 溶剂锚定，不易燃电解液(SAFE)

在NMC和石墨全电池中，使用SAFE实现了400次循环而没有容量衰减



含有有机溶剂的电池电解液通常是易燃的，这带来了安全问题。不易燃、无溶剂的聚合物电解液已经开发出来，但由于室温下离子电导率太低，因此仅限于高温操作。凝胶电解质在室温下具有较高的离子导电性，但如果没有锚定的溶剂分子，其安全性就会受到损害。

斯坦福大学和加州大学伯克利分校的研究人员发明了一种溶剂锚定的不易燃电解质(SAFE)。这种SAFE在室温下增加了离子电导率，而未影响其不可燃性。当在商用NMC和石墨电池中使用时，SAFE在室温下实现了>400次循环，而没有明显的容量衰减。

SAFE由双三氟甲烷磺酰亚胺锂[LiTFSI]、二甲氧基乙烷[DME]和聚硅氧烷组成，它们与离子溶剂化官能团相连。溶剂与盐和聚合物配合，使聚合物增塑化并增加离子电导率。

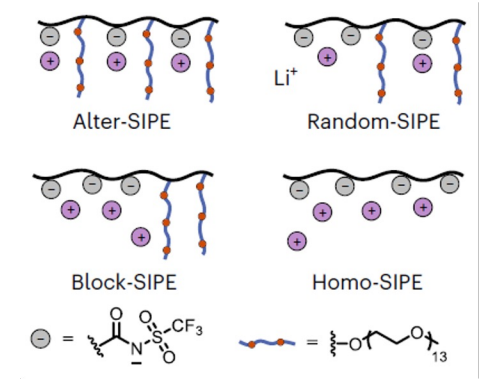
溶剂锚定聚合物电解质解决了聚合物和凝胶电解质的两个问题:室温下的低电导率和可燃性问题。SAFE的室温离子电导率为1.6 mS/cm，工作窗口为25℃-100℃。

Source: Huang, Z. Lai, J.C., Kong, X., Rajkovic I., Xiao X., Celik H., Yan H., Gong H., Rudnicki P., Lin Y., Ye Y., Li Y., Chen Y., Gao X., Jiang Y., Choudhury S., Qin J., Tok J.B.H., Cui Y., Bao Z.

VF | VOLTA FOUNDATION

分子工程为固态锂电池创造了高离子电导率的聚合物

目前在室温条件下，聚合物电解质表现出明显低于液体和陶瓷电解质的离子电导率，这阻碍了它们在商业化电池中的广泛应用。最近的研究表明，具有特定重复单元的交替聚合物可以显著提高锂离子(Li^+)的电导率，在室温下可提高三个数量级。这项研究表明，氟化锂盐和聚乙烯氧化物(PEO)侧链的交替排列可以在分子水平上增加离子分布的均匀性。这种排列有利于阴离子与Li^+之间的调制络合，从而增强Li^+的解离。它还促进了一种新的迁移机制，由PEO, Li^+和阴离子的序列辅助。采用这种设计的全固态电池的结构显示出稳定性，而且还可以减少枝晶的生成。



单离子聚合物电解质(SIPE)

	Alter-SIPE (**P8**)	Random-SIPE	Block-SIPE	Homo-SIPE
σ (S cm^{-1})	4.2×10^{-5}	4.1×10^{-6}	7.4×10^{-7}	1.6×10^{-9}
t_{Li}^+	0.93	0.91	0.90	0.95
σ_{Li}^+ (S cm^{-1})	3.9×10^{-5}	3.5×10^{-6}	6.7×10^{-7}	1.5×10^{-9}
Simulated D_{Li}^+ (cm^2 s^{-1})	4.0×10^{-9} (3.2×10^{-9})	2.1×10^{-9}	1.3×10^{-9}	2.5×10^{-10}

通过聚合物电解质的拓扑控制进行分子工程，可以影响Li^+的解离和传导，从而获得理想的链迁移率，克服离子电导率低的固有限制。

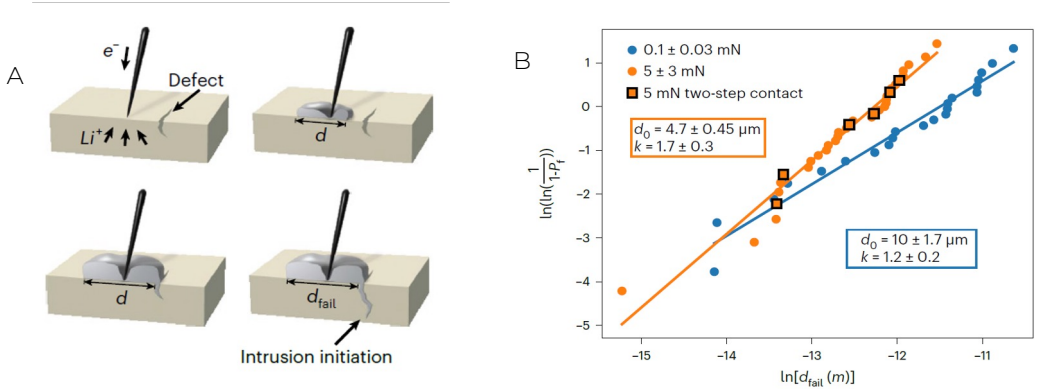
Source: Han, S., Wen, P., Wang, H. Zhou, Y., Gu, Y., Zhang, L., Shao-Horn Y., Lin, X., Chen, M.

| 锂在石榴石(LLZO)型固体电解质中的传输性能研究

机械应力可以在LLZO电解质中形成纳米级裂纹，有利于锂的嵌入与脱出

全固态锂金属电池在锂沉积过程中会有短路的风险。斯坦福大学的研究人员通过在56个表面无缺陷的LLZO固态锂金属电池表面进行锂沉积的实验（下图A），结果发现，锂嵌入石榴石型电解质的主要原因是电流聚焦效应和纳米级表面裂纹的存在。这些因素的影响比以前理论的原因如电子泄漏或电化学还原更大。研究还表明，锂嵌入发生的可能性在统计上与锂金属的大小(直径)相关，遵循Weibull分布(下图B)。这表明，锂嵌入的起始点往往发生在电流更集中的位置或LLZO内微观结构缺陷集中的位置。

纳米级裂纹（预先存在或通过外部负载产生）是锂金属嵌入锂石榴石电解质的根本原因，这些纳米裂纹的扩展可以通过机械方式控制。 对这种嵌入过程的了解将使下一代固态电池的开发和制造能够在更高的充电速率下保持稳定。



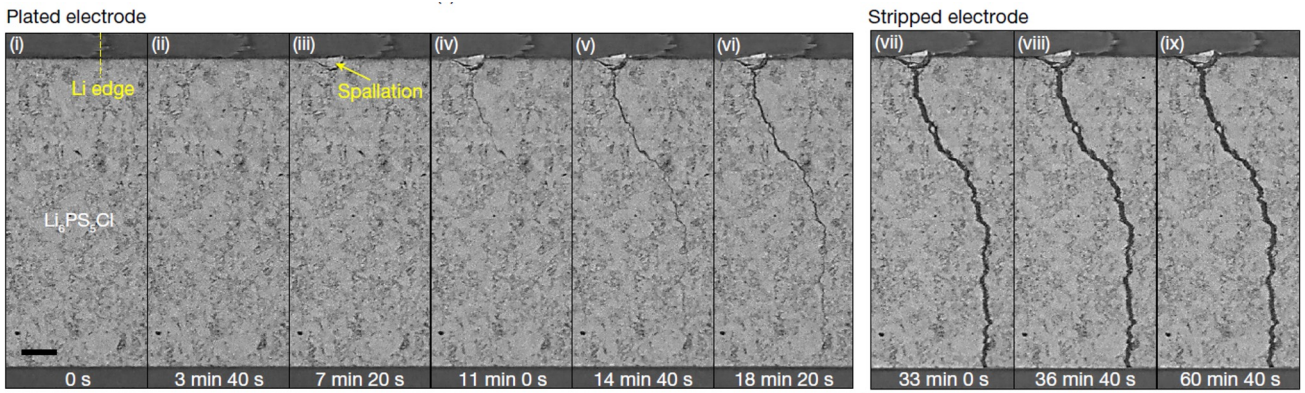
同样地，麻省理工学院蒋业明领导的团队先前证明，锂枝晶的形成是由于电解质(LLZTO)的机械失效。他们的研究进一步表明，控制机械应力可以有效地引导这些枝晶的生长轨迹。.

Source: McConohy, Xu, Cui, Barks, Wang, Kaeli, Melamed, Gu, Chueh and Fincher, Athanasiou, Gilgenbach, Wang, Sheldon, Carter, Chiang

| 银辉石固态电解质中的枝晶生长

在锂金属/SE固态电池中，枝晶的形成和生长是两个独立的过程

在电池实际应用的充电倍率下，锂枝晶的形成会造成电池的短路和失效。牛津大学的研究表明锂枝晶的形成和生长过程受不同因素的影响。对于Li6PS5Cl固体电解质而言，枝晶的形成在很大程度上受晶界断裂强度、孔径和密度、电流密度等局部条件的影响。枝晶生长的驱动因素有很多，包括材料的整体断裂韧性、枝晶的物理特性，以及电池使用过程中的操作参数如电流密度、电池堆所有压力和充放电深度等。实验观察显示，使用这些电解质的电池系统在不同的压力条件下表现出不同的寿命，与中压(约7 MPa)相比，在低压(约0.1 MPa)下的循环寿命明显更长。



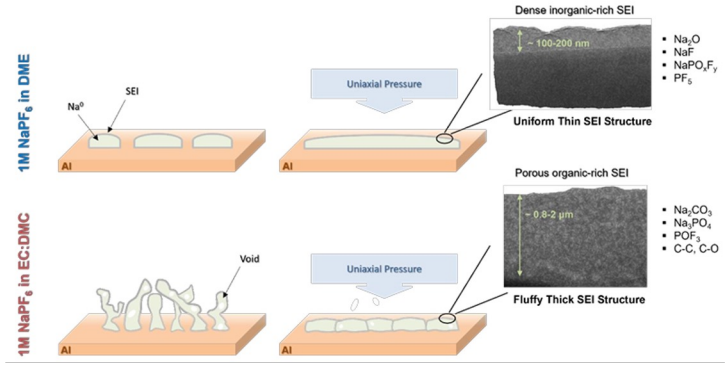
低压力条件在充电过程中有助于抑制银辉石固态电解质中的锂枝晶圣生长，但在放电过程中可能没有好处。锂金属充放电的动力学控制仍然是一个巨大的挑战。

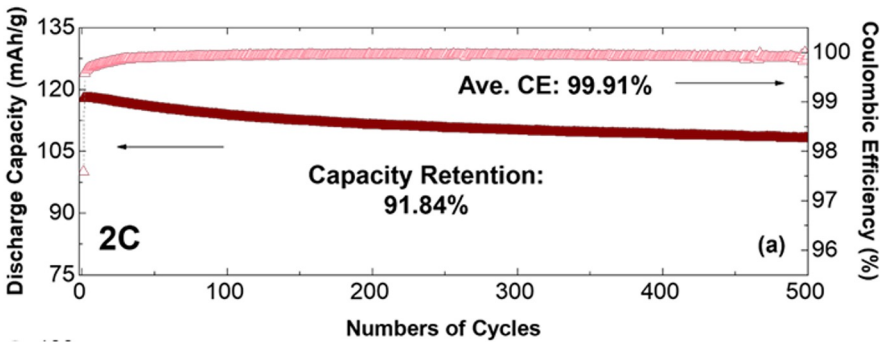
Source: Ning, Li, Melvin, Chen, Bu, Spencer-Jolly, Liu, Hu, Gao, Perera, Gong, Pu, Zhang, Liu, Hartley, Bodey, Todd, Grant, Armstrong, Marrow, Monroe, Bruce

在2C倍率条件下，钠金属电池使用醚类电解液，500次循环后容量保持率>90%

Sayahpour等人通过控制金属钠在醚基电解液的中沉积过程开发了一种全电池，实现了在2C倍率下，500次循环后容量保持90%。研究的重点是开发使用Na金属负极的高能量密度钠离子电池(SIBs)。调控电池所受压力压力和SEI层的化学成分是实现钠负极应用的关键因素。较高的单轴压力控制了电沉积Na层的均匀性和厚度，从而实现了高的首次效率。

作者在报告中指出，SEI的厚度及其化学成分在很大程度上取决于电解质的类型，醚基电解质可以形成薄而致密的SEI，而碳酸盐基电解质可以形成蓬松而多孔的SEI。在当前2C的速率下，经过500次循环后，该小组的容量保留率达到了91.84%





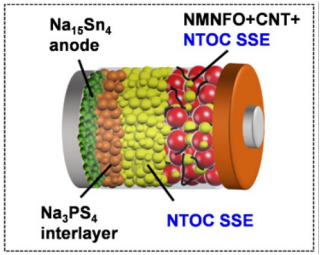
Source: Sayahpour B., Li W., Bai, S., Lu, B., Han, B., Chen, Y., Deysher, G., Parab, S., Ridley, P., Raghavendran, G., Nguyen, L.H.B., Zhang, M., & Meng, Y.S.

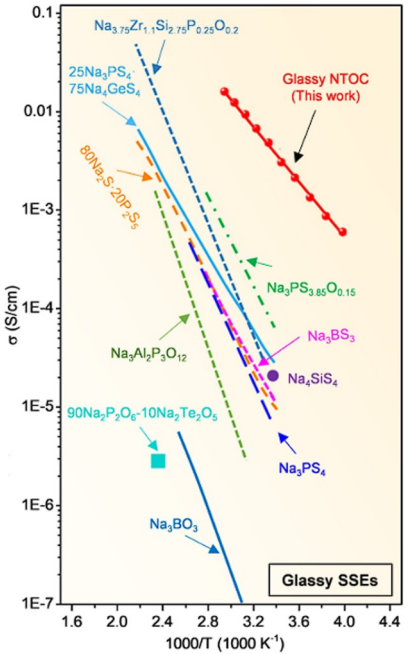
软的超离子导体玻璃具有高的导电性和优异的成型性

除了高的离子电导率外，固态电解质的良好成型性对于实际应用也至关重要，因为在固态电池制作中，需要在高压高温条件下，实现足够的界面接触所需的热压步骤是制造的关键瓶颈。非晶玻璃态是固态电解质中一个有趣的分支，因为它们具有高变形能力和缺乏不利于离子扩散的晶界，但迄今为止大多数玻璃材料都表现出受限制性的低离子电导率。

Lin和Zhao等人报道了一种新的超离子氯氧玻璃态电解质0.5 Na_2O_2 - $TaCl_5$ (NTOC)，其离子电导率高达4.6 mS cm^{-1}，比之前报道的玻璃电解质高出20多倍。这种出色的性能是由于氯和氧的双阴离子产生的独特局部结构。重要的是，NTOC具有较高的结构成形性，并且在干燥空气中具有良好的化学稳定性。当应用于固态钠离子电池时，具有超过 500次的优越循环稳定性，显示出了玻璃态NTOC电解质的潜力。

玻璃态电解质中的双阴离子化学可以显著提高离子电导率。由于其高导电性、可成形性和稳定性，0.5Na_2O_2-$TaCl_5$化合物有望成为实用的钠离子固体电解质。





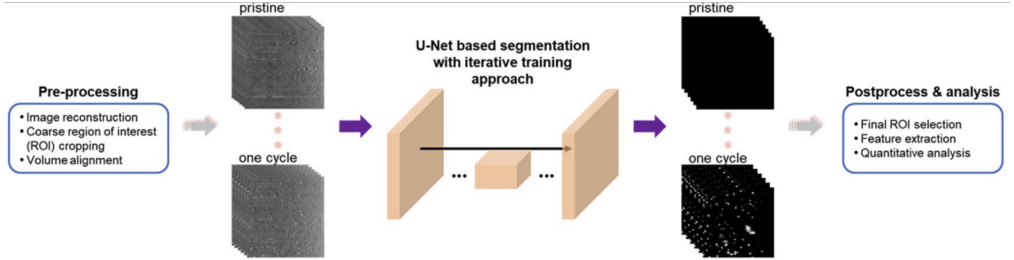
Source: Lin, Zhao, Wang, Luo, Fu, Xiao, Gao, Li, Zhang, Xu, Yang, Hao, Duan, Sun, Guo, Huang, Sun

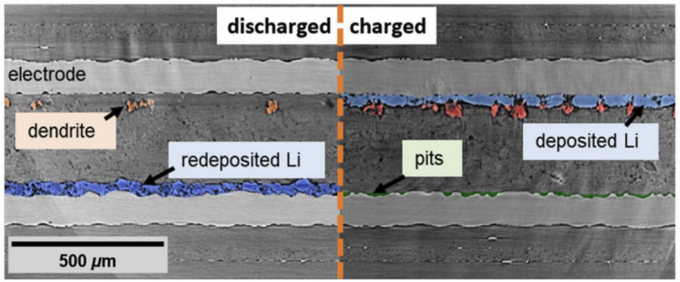
科研概览 | 正极 | 负极 | 电解质

机器学习 | 其它

用于锂金属结构动态分析的深度学习计算机视觉模型

研究人员提出并训练了一种基于机器学习（ML）计算机视觉的自动分割方法（“batteryNET”），分析微计算机断层扫描（μCT）数据集来研究锂金属/聚合物电解质电池中锂结构的动力学。 ML 模型语义分割结果展示了与 Li 相关的奇异成分变化，解决了数据集中的不同形态。下面提供了循环锂形态的可视化，包括电极、沉积锂和再沉积锂的体积和有效厚度的计算。本研究讨论了这些组件之间的空间关系。该方法的重点是开发计算机视觉 ML 模型来检测和分析锂金属/聚合物电解质电池循环的动态。





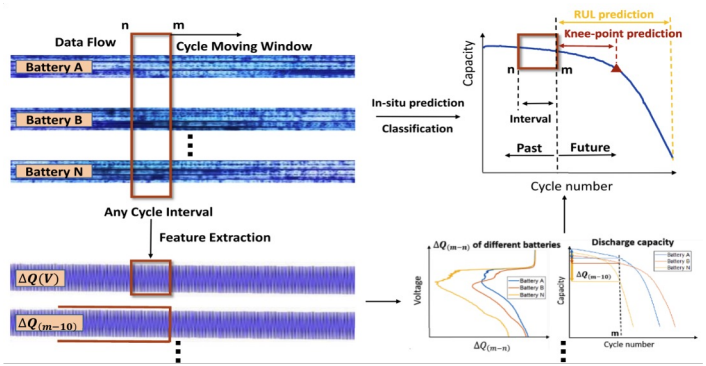
BatteryNET是一种机器学习计算机视觉自动分割系统，用于量化相对于电极体积的死锂、沉积锂和再沉积锂，从而可以快速准确地分析锂金属电池数据集。

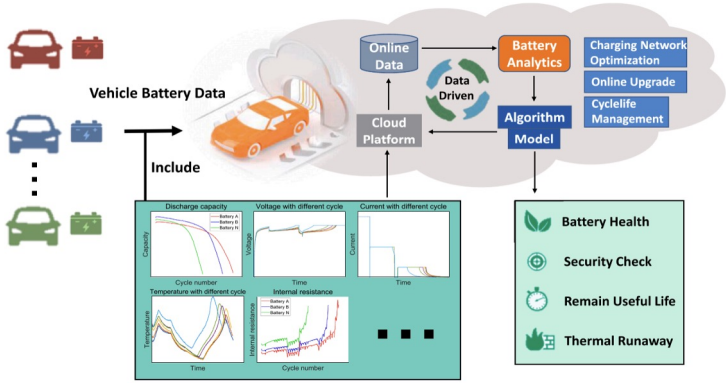
Source: Huang, Y., Perlmutter, D., Fei-Huei Su, A. et al.

基于云的电池预测和健康管理

使用机器学习开发云计算管道，以实现准确的原位电池寿命预测

原位电池寿命预测和分类对于锂离子电池预测和健康管理（PHM）非常重要。这项研究提出了一种基于云的 PHM 管道，具有新颖的物理特征驱动的移动窗口 ML 模型，可用于预测电池剩余使用寿命和拐点。所提出的 ML 模型根据来自 A123 的一批 124 个 LFP/石墨电池的实验数据进行了验证。结果表明，该方法对剩余使用寿命和拐点的预测准确（预测误差极小）。





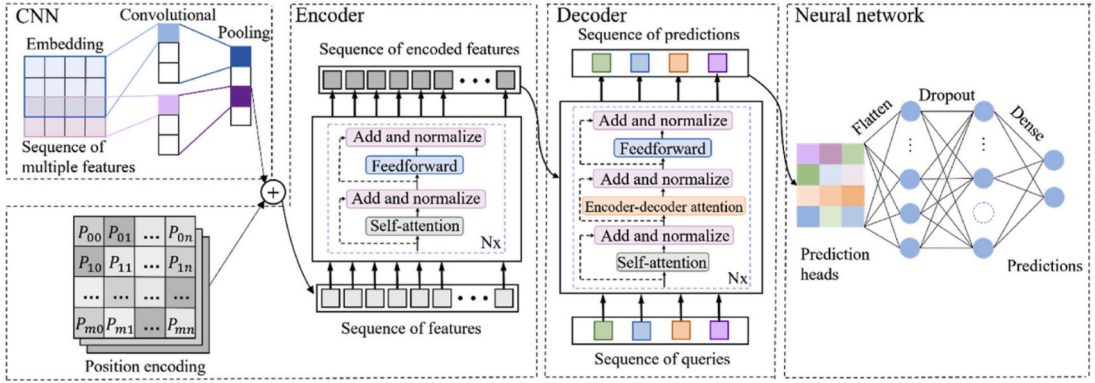
使用机器学习来捕获物理特征和电池寿命之间的关系，证明剩余使用寿命和拐点预测具有很高的准确性，误差分别较低，分别为 55 个周期和 3.55%。

Source: Zhang, Yongzhi, and Mingyuan Zhao

| 基于变压器的电池预测和 SoH 预测

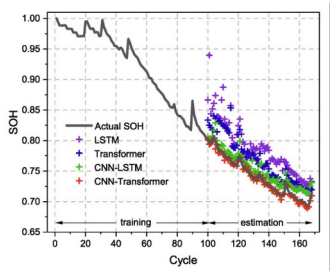
深度学习Transformer模型可提供准确稳定的电池SoH预测

锂离子电池的 SoH 估算对于确保电池运行的可靠性和安全性，同时从长远来看降低维护和服务成本至关重要。本研究提出了一种基于卷积神经网络 (CNN)-Transformer 框架的新型 ML 预测模型。皮尔逊相关系数（PCC）和主相关分析（PCA）用于特征选择的预处理。 NASA 电池数据集用作训练和测试数据集。测试结果表明，该CNN-Transformer模型可以高精度、稳定地预测电池 SoH。

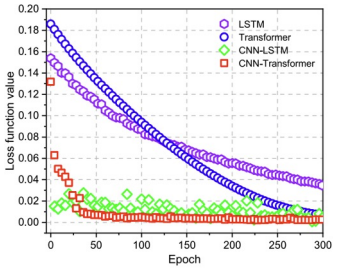


卷积神经网络根据 **NASA** 数据集预测电池 **SoH**，误差在 **1%** 以内。

准确性：



效率：



Source: Gu, Xinyu, K. W. See, Penghua Li, Kangheng Shan, Yunpeng Wang, Liang Zhao, Kai Chin Lim, and Neng Zhang

| 人工智能驱动的 A-Lab：利用机器人和机器学习合成无机材料

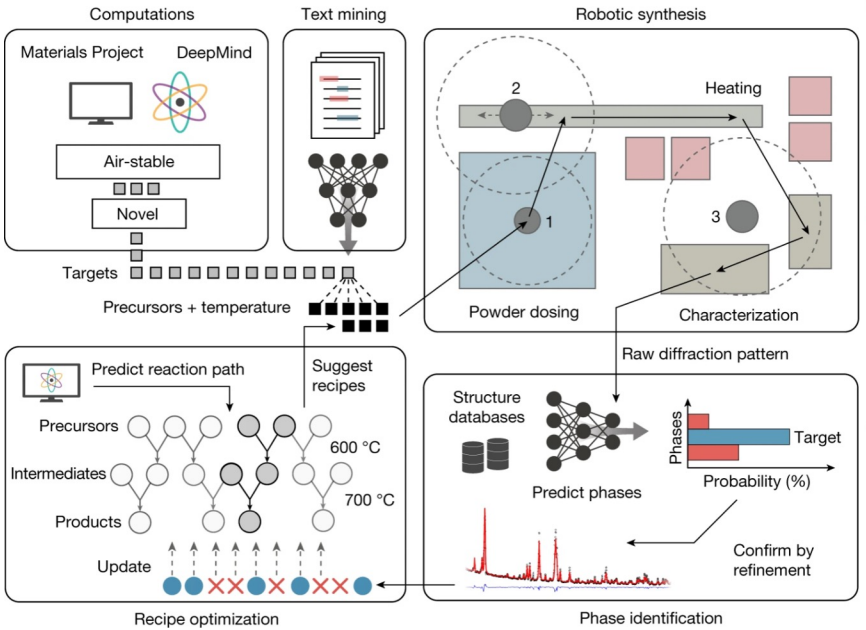
新型材料加速合成的自主实验室

加州大学伯克利分校和伯克利实验室建立了 A-Lab，融合了机器人技术、数据库、机器学习和文献数据，用于无机粉末合成的自主优化。 A-Lab 计划并解释了机器人进行的实验的结果。

材料项目确定了新颖的、空气稳定的目标。根据科学文献训练的机器学习自然语言模型提出了合成方法。全自动机器人实验室通过执行 1) 粉末计量、2) 样品加热和 3) 通过 XRD 表征产品来测试配方。通过 XRD 评估样品纯度并通过 ML 模型进行分析。当样品不纯时（< 50% 目标产率），A-Lab 提出了基于热力学主动学习算法的新型合成配方。

A-Lab 的成功凸显了人工智能在材料发现、连接计算和实验方法方面的潜力。

A-Lab 是一家自主实验室，仅在 17 天内就从 58 个目标中合成了 41 种新型无机化合物。



Source: N.J. Szymanski, B. Rendy, Y. Fei, R.E. Kumar, T. He, D. Milsted, M.J. McDermott, M. Gallant, E. Dogus Cubuk, A. Merchant, H. Kim, A. Jain, C.J. Bartel, K. Persson, Y. Zeng & G. Ceder

SAILSFORCE AI

种子客户招募计划

随着新能源产业的快速发展，国际市场竞争日益激烈
Sailsforce AI深知挑战与机遇并存，特此推出第一代原型产品——一个利用人工智能技术助力中国新能源企业“走出去”的创新解决方案。我们诚邀光伏组件、家庭储能、工商业储能、动力电池、充电桩、新能源设备分销商、渠道商及售后服务商各3家企业，加入我们的**种子客户计划**。
作为种子客户，您将享有以下独家福利：

- **免费应用**：获得6个月的Sailsforce AI服务免费试用。
- **定制化服务机器人**：根据您上传的企业及产品材料，打造专属于您的服务机器人，支持30多种语言，助力您的企业在全球市场中无障碍沟通与交流。
- **前沿技术体验**：率先体验基于人工智能的企业级服务解决方案，提升企业国际竞争力。
- **影响产品发展**：通过提供宝贵的反馈，直接影响产品优化与升级，共同塑造未来的行业解决方案。

我们期待与前瞻性的企业合作，共同推动全球新能源事业的发展。若您的企业愿意成为行业的先行者并加入种子客户计划，请扫描本页二维码联系我们的管理员，探索更多合作可能。添加时请备注公司名以及姓名职务。

让我们携手共创未来，将您的新能源解决方案推广到全球每一个角落！Sailsforce AI期待与您的精彩合作。

科研概览 | 正极 | 负极 | 电解质

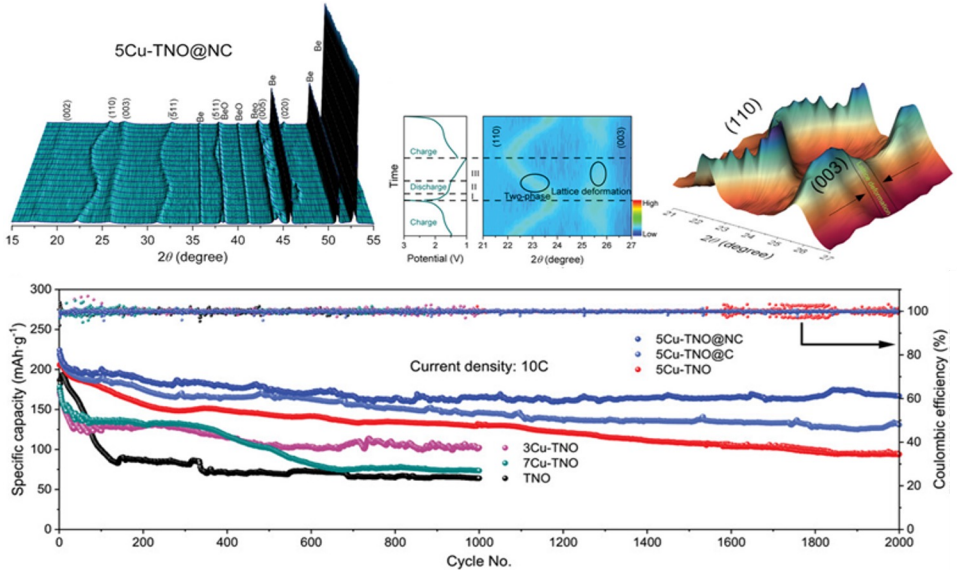
机器学习 | 其它

| 先进负极材料$TiNb_2O_7$：快充和长循环寿命的新选择

在$TiNb_2O_7$介孔中掺杂Cu^{2+}可以提高快充和循环寿命

$TiNb_2O_7$是几种很有前途的负极材料之一，但在充放电过程中存在体积变化大以及离子/电子动力学缓慢的问题。Yang等人创造了一种5% Cu^{2+}掺杂的$TiNb_2O_7$微球负极材料，其表面有氮掺杂碳涂层，具有提高材料比容量发挥和循环性能的作用。

采用微波法快速合成了均匀的$TiNb_2O_7$微球。为了增强Li^+离子的储存能力，研究人员添加了Cu^{2+}和碳涂层。Cu^{2+}增加了晶格体积和离子/电子电导率。密度泛函理论表明，Cu^{2+}掺杂剂取代Ti^{4+}离子，降低Li^+扩散势垒，提高离子电导率。在10C的高倍率下，经过2000次循环后，材料的容量稳定在167.0 mAh g^{-1}。

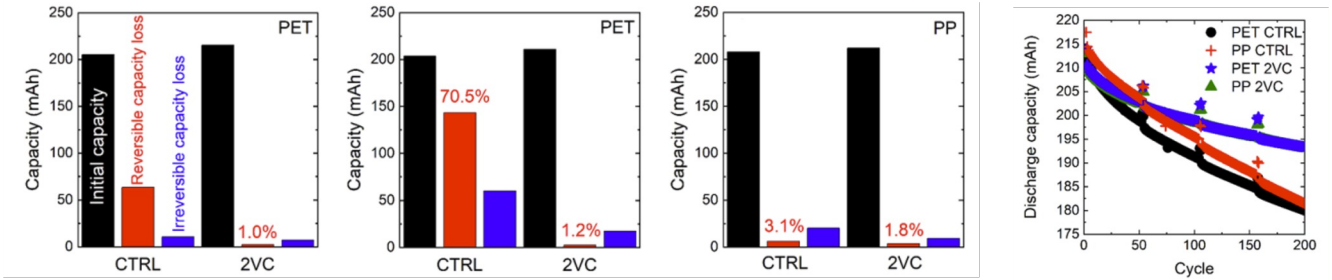


N掺杂碳包覆的$TiNb_2O_7$经过优化Cu^{2+}掺杂后，表现出快充和循环稳定性

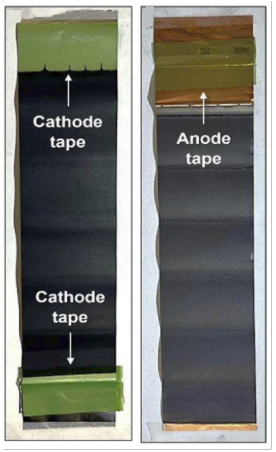
Source: C. Yang, D. Ma, J. Yang, M. Manawan, T. Zhao, Y. Feng, J. Li, Z. Liu, Y.-W. Zhang, R. B. Von Dreele, B. H. Toby, C. P. de L. Albarrán, J. H. Pan

用PP胶带代替PET胶带，避免降解

达尔豪斯大学的研究人员分析了用于锂离子电池的各种常用胶带材料的化学稳定性，:聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)和聚丙烯(PP)。用FTIR研究了不同条件下LFP/石墨软包电池循环过程中胶带的化学降解产物。PET胶带表现出明显的降解，导致产生对苯二甲酸二甲酯(DMT)。PET分解的副产物被确定为氧化还原产物，致使锂离子电池内发生大量自放电。PP胶带表现出强大的化学稳定性，在类似的应力条件下，降解产物可以忽略不计。作者提到，聚酰亚胺(PI/Kapton)胶带的化学性质也很稳定，但它的成本比PP胶带高得多。



使用PET和PP胶带的电池在70℃化成及40℃存储后容量的损失（其中2VC指在EC:DMC中的2%碳酸亚乙烯酯）



在圆柱电池中**PET**胶带用于包覆极耳和空箔的位置

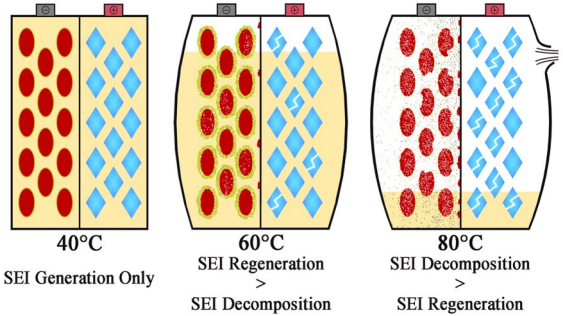
在锂离子电池装配过程中从PET过渡到PP胶带，将有助于减轻PET降解所带来的不利影响

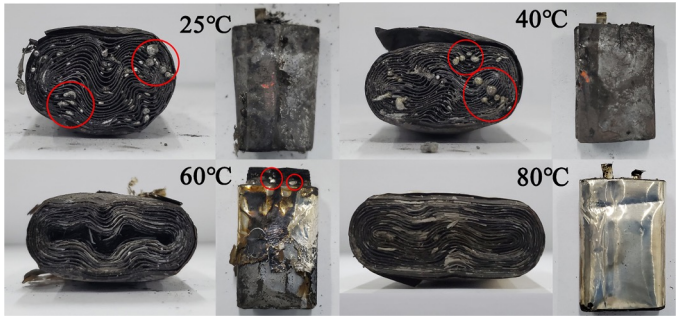
Source: Adamson, A., Tuul, K., Bötticher, T. et al.

老化温度对锂离子电池热稳定性的影响

研究人员研究人员在不同温度下使用商用软包电池(NCM622+LMO||石墨)循环。结果发现电池在25°C和40°C都时表现出较慢的容量损失，但在40°C时由于SEI过度生长而导致更快的衰减。在60°C下，容量在30次循环后衰减，这是由于SEI不断重复再生。在80°C下，由于SEI生长，电池在7圈后跳水。经过ARC测试后，电池在25°C时放出的热量最多，发生明显老化。

在 25 °C and 40 °C 循环后的电池中发现铝珠，这表明电池内部温度超过了铝的熔点。在80°C的电池中，由于铝塑膜破裂和电解质蒸发，铝是完整的，是的电池内部的热量得以释放。该研究表明了工作温度对软包电池性能和安全性的影响。

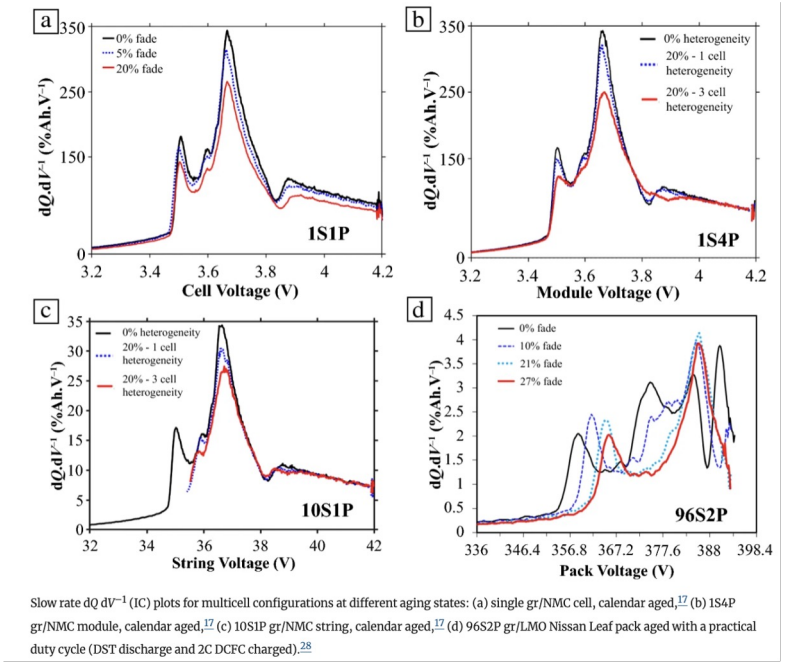




锂离子电池在高温条件下循环，电池的电阻升高和内部热失控，导致电池循环失效，这主要是由于SEI膜的分解造成的。

Source: Gao T., Bai J., Ouyang D., Wang Z., Bai W., Mao N., & Zhu Y.

从单体电芯到模组/电池包的挑战



Slow rate dQ dV^{-1} (IC) plots for multicell configurations at different aging states: (a) single gr/NMC cell, calendar aged,[17] (b) 1S4P gr/NMC module, calendar aged,[17] (c) 10S1P gr/NMC string, calendar aged,[17] (d) 96S2P gr/LMO Nissan Leaf pack aged with a practical duty cycle (DST discharge and 2C DCFC charged).[28]

对电池包中的单体电芯检测的挑战如下：

- 检测信号的瞬时特性
- 检测信号的灵敏度
- 信号检测所需时间
- 从失效的电池包中分离出不同状态的单体电芯
- 需要额外配制精度更高的传感器
- 更多车载计算能力
- 针对电池设计和化学体系的大数据集合

可重构的测试装置和快速验证平台用来加速从单体电芯到电池包配置的先进管理和诊断技术的发展。

Source: Tanim, T.R., Dufek, E.J. & Sazhin S.V.信号

STEER

Guiding "What to build" by quantitatively predicting techno-economic viability

A SLAC-Stanford partnership working backwards from TWh-deployment to guide R&D directions, investment decisions, and policy agendas.

5 Pillars of STEER

- Technology Learning Curves
- Market Growth Analysis
- Minerals & Materials Supply Chain
- Device & Systems Modeling
- Energy Systems Modeling



Sally Benson
Co-PI



Will Chueh
Co-PI



Adrian Yao
Founder & Team Lead

Inaugural Industry STEER Launch Workshop | November 1, 2023





By the Numbers

180+ attendees

100+ companies (**20+** startups, **20+** VCs)

4 panels, covering:

- Na-ion vs. Li-ion in short-duration storage
- Storage durations for a decarbonizing grid
- Minerals constraints on energy transition
- Realistic pathways to break into EV market

A partnership between

SLAC-Stanford Battery Center & **Precourt Institute for Energy**

SLAC NATIONAL ACCELERATOR LABORATORY

Stanford | ENERGY

For info, contact ayao2@stanford.edu

VF | VOLTA FOUNDATION

VF | VOLTA FOUNDATION

EnerZ Medium
新能源情报局

03 人才

Volta Foundation是一个独立且非营利性专业协会，致力于支持电池行业的发展。

新能源情报局是中国非盈利公众信息平台。

| 2023年电池行业人才动态速览

各大洲的行业仍在寻找人才

日本正在培训青少年以填补电动汽车电池行业的人才缺口

Quartz

通用汽车、福特与州立和大学合作招募未来的电动汽车人才

Detroit Free Press

随着行业重新调整焦点，裁员同时发生

电动汽车：电动汽车电池行业裁员潮

The Information

电动汽车电池初创公司 Our Next Energy 裁员 25%

Reuters

政府加大电池人才投入力度

美国能源部和 Stellantis 宣布电池人才挑战赛

CleanTechnica

欧盟电池技能计划宣称完成 50,000 门课程的里程碑

Smart Energy International

2023年薪资继续上涨

工资中位数在上升，但跟不上通货膨胀

H-1B Survey

工资差别很大。协商你的工资。

H-1B Survey

H-1B 调查

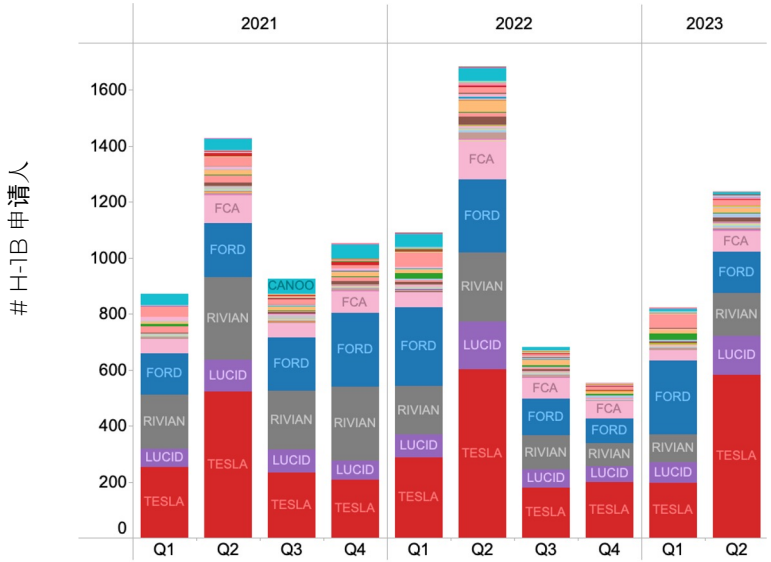
薪水

人才培养

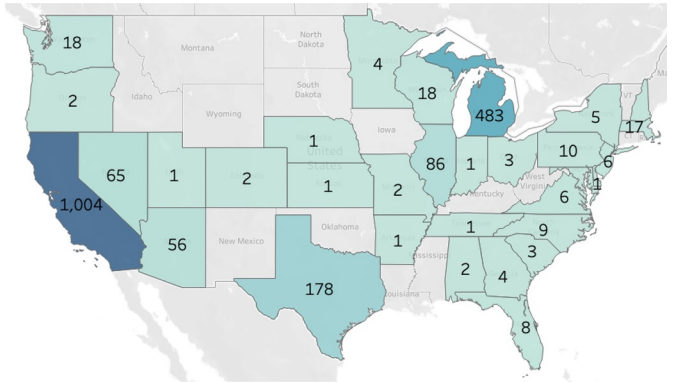
社区

H-1B 调查 | 哪些公司赞助电池行业相关签证？

H-1B 是根据《移民和国籍法》在美国提供的**签证**，允许美国雇主**临时**雇用外国工人从事特殊**职业**。 H-1B 申**请**信息（包括公司、**职务**和工资）可通过 h1bdata.info 公开获取。我们**分析了**这些数据以**总结**最新**趋势**。工资数字表示基本工资。



H-1B 赞助量在 2022 年中期有所下降，但在 2023 年上半年再次回升。绝大多数 H-1B 申请仍然由加利福尼亚州和密歇根州的汽车制造商赞助。

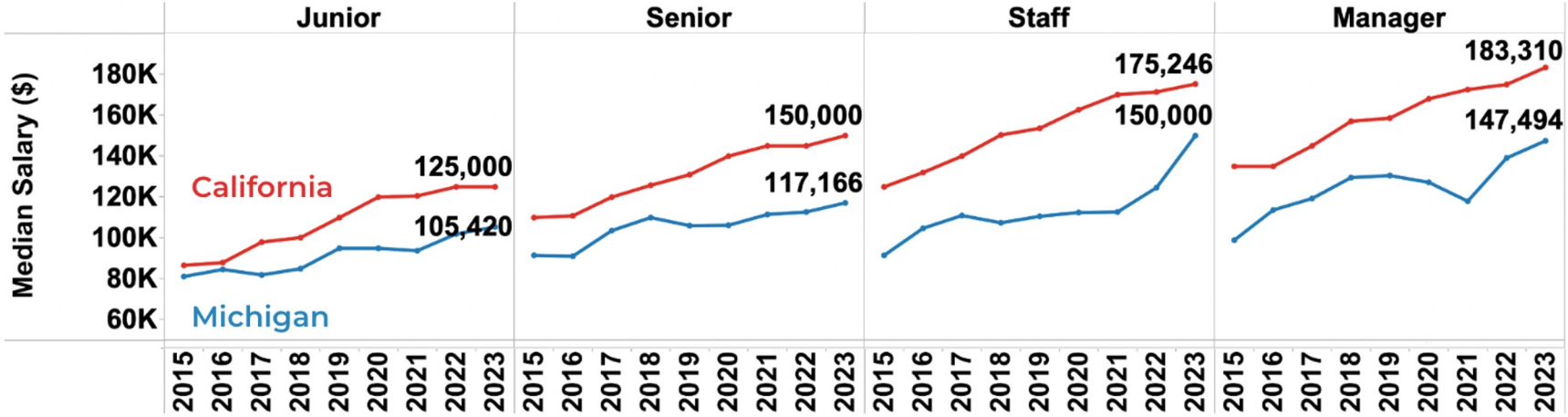


地图按州显示 H-1B 申请人数量。数据仅涵盖 2023 年前两个季度。

VF | VOLTA FOUNDATION

H-1B 调查 | 2023年电池行业薪资继续上涨

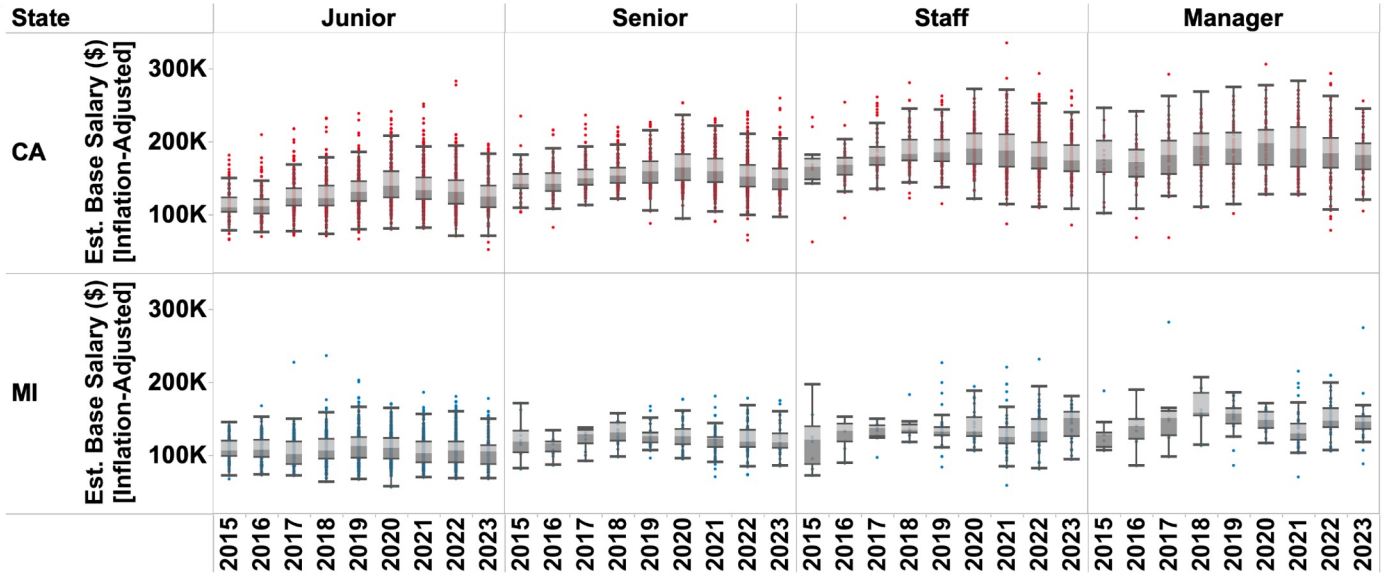
H-1B 是根据《移民和国籍法》在美国提供的**签证**，允许美国雇主临时雇用外国工人从事特殊职业。 H-1B 申请信息（包括公司、职务和工资）可通过 h1bdata.info 公开获取。我们分析了这些数据以总结最新趋势。工资数字表示基本工资。



VF | VOLTA FOUNDATION

H-1B 调查 | 工资差别很大，协商你的薪水。

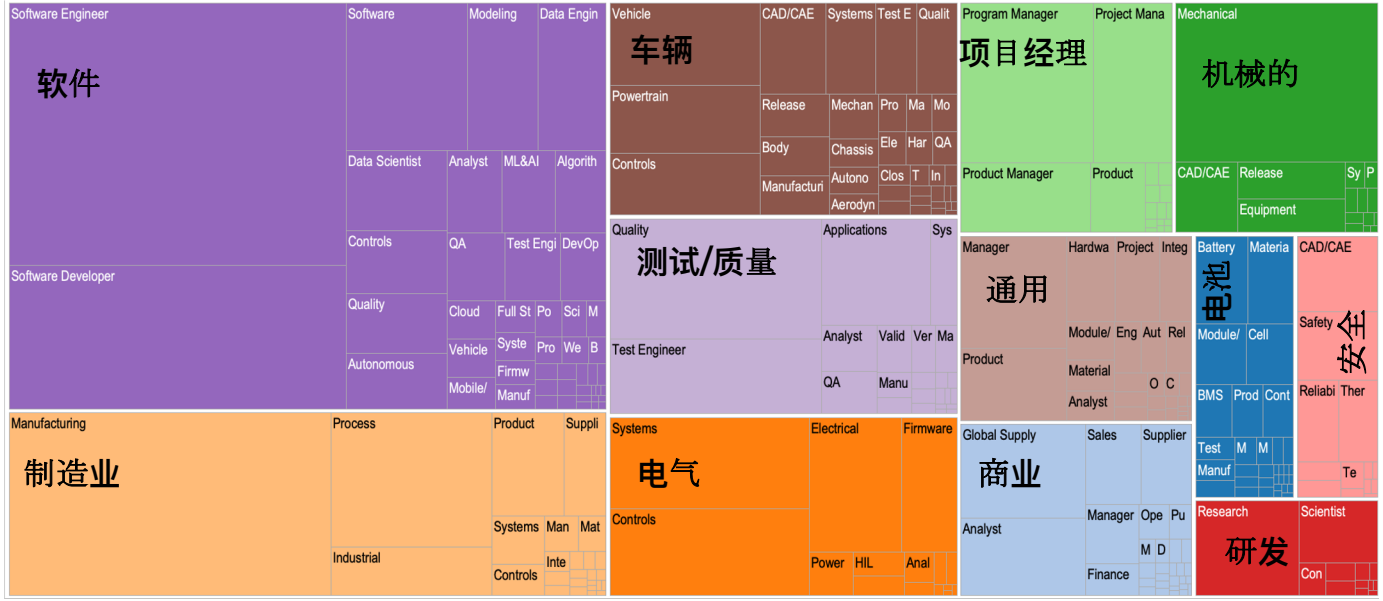
H-1B 是根据《移民和国籍法》在美国提供的**签证**，允许美国雇主临时雇用外国工人从事特殊职业。 H-1B 申请信息（包括公司、职务和工资）可通过 h1bdata.info 公开获取。我们分析了这些数据以总结最新趋势。工资数字表示基本工资。



VF | VOLTA FOUNDATION

H-1B 调查 | 公司招聘什么职位？| 包括汽车公司

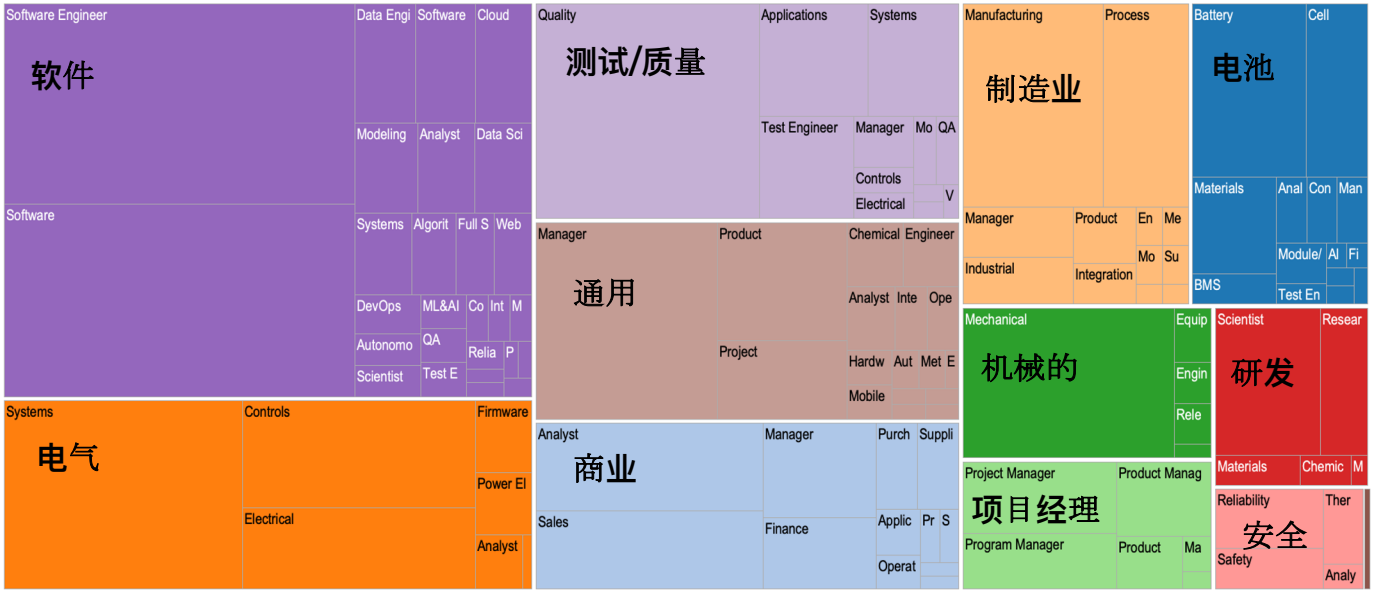
我们分析了 2012 年至 2023 年间超过 20,000 份 H-1B 申请的职位名称，涵盖整个价值链中的数十家电池公司（请参阅此处的完整列表）。我们将职位名称分为不同的职位类别。下面显示的每个框的大小对应于与职位名称匹配的职位申请的数量。



VF | VOLTA FOUNDATION

H-1B 调查 | 公司招聘什么职位？ | 不包括汽车公司

我们分析了 2012 年至 2023 年间超过 20,000 份 H-1B 申请的职位名称，涵盖整个价值链中的数十家电池公司（请参阅此处的完整列表）。我们将职位名称分为不同的职位类别。下面显示的每个框的大小对应于与职位名称匹配的职位申请的数量。



VF | VOLTA FOUNDATION

H-1B 调查

薪水

人才培养

社区

薪水 | 获得报酬：薪酬数据库如是说

在接下来的表格中，我们从薪酬数据库 Pave 中编制了基本工资。

这些范围仅考虑基本工资，并且仅根据个人贡献者的职位和级别制定。

所提供的范围可能无法完全体现与全部职责范围、公司阶段或个人任期相关的细微差别，并且可能需要根据这些因素进行调整。

地点

Pave 通过列出所有城市的薪酬差异、对薪酬差异进行排名，然后运行聚类算法来确定应将哪些城市分组在一起来创建位置等级。

经验水平

- 入门级别：为小型或特定功能项目做出贡献。在每个项目中接受定期指导和检查。
- 中等级别：拥有小型或特定功能的项目。提供每个项目内关键里程碑的更新并接收意见。
- 资深级别：识别、定义公司愿景和目标并将其转化为较低级别的功能项目/方向。根据业务需求确定团队领导者的目标。定期接收每个项目的关键里程碑的更新。

pave

使用的输入和定义

Source: https://www.pave.com/

薪水 | 入门级别

pave	高消费水平（例如，旧金山、西雅图、纽约）			中等消费水平（例如芝加哥、奥斯汀、丹佛、波士顿）			低消费水平（例如，明尼阿波利斯、RTP、亚特兰大）		
职位	50%	75%	90%	50%	75%	90%	50%	75%	90%
硬件工程师	---	---	---	---	---	---	$57k	$60k	$99k
应用工程师	$65k	$71k	$79k	$56k	$65k	$76k	$50k	$60k	$67k
项目经理	$75k	$90k	$135k	$70k	$80k	$90k	$67k	$80k	$108k
产品经理	$99k	$132k	$148k	$87k	$116k	$130k	$82k	$109k	$123k

基本工资

** 硬件工程师的某些级别和位置的数据不足*

Source: https://www.pave.com/ :

H1-B 调查

薪水

人才培养

社区

人才培养 | 助力电池行业发展的美国顶尖学校

该地图突出显示了US News排名中“燃料和能源”类别中排名靠前的学院的完整列表，以及“材料科学”和“化学”领域中QS世界大学排名前15的学校。



VF | VOLTA FOUNDATION

人才培养 | 推动电池未来发展的学院概况

学院	简介	对电池行业发展的意义
THE UNIVERSITY OF TEXAS AT DALLAS	• 国防部在3年内拨款3000万美元 • 资金支持 • 创新电池技术和制造工艺的商业化	将与北德克萨斯州的社区大学合作，为技术人才提供培训。根据美国能源部国家可再生能源实验室2020年报告，预计到2030年，美国电池储能行业将至少需要130,000名额外工人，其中德克萨斯州至少需要12,000名工人
University of Nevada, Reno	• 研究团队正在通过内华达可持续发展研究所（该大学的一个虚拟组织）进行合作 • 专注于电池研究、教育和人才培训	创建电池和储能技术辅修课程，也是美国第一个此类课程。该辅修课程的核心是一个动手实验室，学生可以利用化学原料开始制作和测试锂离子电池
THE OHIO STATE UNIVERSITY	• 正在计划建设电池研发中心，预计2025年4月开放 • 该实验室将加速国内电池材料和制造的发展	新设施将用于培训下一代先进制造技术人才
TENNESSEE COLLEGES OF APPLIED TECHNOLOGY	• TCAT与免费技术学校进行实验，以满足行业对受过培训的工人的需求 • 与日产汽车公司合作的Smyrna园区于2017年开放，该公司在附近生产电动车	学生们主要在讲座和车间中学习：学习焊接管道的理论和实践、液压动力系统故障排除或者通过编程使机器人移动电池部件

Source: UT Dallas; University of Nevada, Reno; Ohio State;; Tennessee College of Applied Technology

人才培养 | 2023电池人才挑战赛

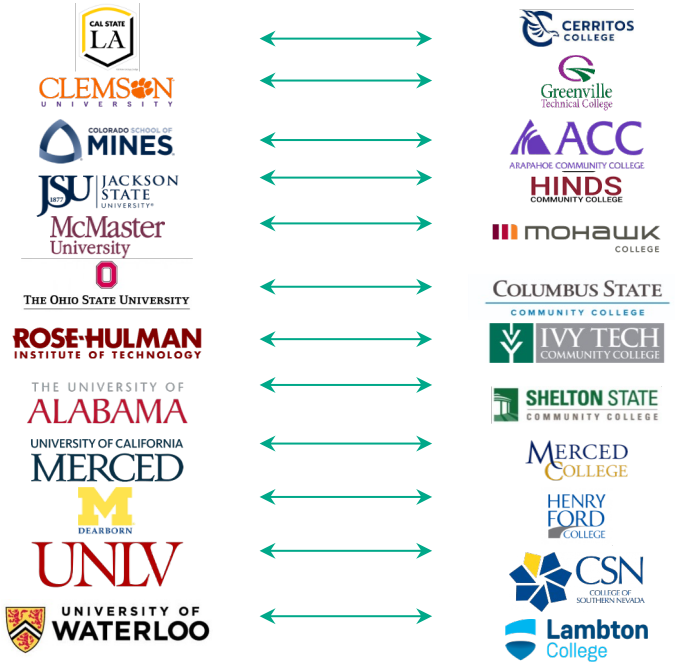
电池人才挑战赛是由能源部、Stellantis和阿贡国家实验室发起的一项计划。这一独特的挑战邀请大学和职业学校合作设计、构建、测试先进的电动车电池组并将其集成到Stellantis车辆中。

12所大学与社区学院、商业学校或其他职业合作伙伴联手满足竞赛要求。总体目标是为多元化的员工队伍提供未来电池工程和制造职业所需的技能。

该挑战赛于2023年秋季拉开帷幕。获胜团队将获得100,000美元的奖金。

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | STELLANTIS | Managed by Argonne NATIONAL LABORATORY

入选大学和职业合作伙伴



Source: https://battchallenge.org/

VF | VOLTA FOUNDATION

人才培养 | 英国电池行业人才开发项目

英国加大对从实验室到车间的电池行业人才开发的支持

技术级别	项目	内容
Level 2-4	电池人才培训技术计划	由伯明翰大学学院牵头，与财团合作伙伴华威制造集团(WMG)、克兰菲尔德大学、RAVMAC和JLR共同投资120万英镑用于数字化电池培训(西米德兰兹郡)。 130万英镑用于由纽卡斯尔大学与财团合作伙伴新达勒姆学院领导的国家电池培训和技术学院
Level 2-5	UKBIC电池制造培训项目	英国电池工业化中心(UKBIC)现在提供的课程包括电池制造入门和设计课程。法拉第电池挑战赛提供资金开发6个免费培训课程，以培养英国电池行业技术
Level 2-8	英国电气化技能——国家电气化技能框架和论坛	向Coventry大学提供70万英镑，通过"英国电气化技能"的新举措，在国家电气化技术框架和论坛上提供协调一致的方针，以重新培训、提高新技能
Level 3	电池制造技术人员学徒制	高水平的技能促进了电池制造技术员学徒培训，使学员能够接受电极技术员、电池组装技术员、测试技术员或电池组装技术员的培训
Level 8	法拉第研究所博士培养项目	法拉第研究所继续开展其博士培训计划，该计划为与其项目一致的跨学科顶尖博士人才提供强化培训。2024年10月的项目将于3月开始招聘。

Source: UKRI; UCB; Newcastle Uni; UKBIC; Eventbrite; InsiderMedia; HVMC; IFATE; FI - PhD; FI - Cohort 7

| 电池制造将创造多少工厂工作岗位？

电池工厂创造的就业岗位数量取决于（1）就业岗位的计算方式（例如是否包括模块/电池组组装）（2）制造商采用的工艺技术（例如自动化水平、设备外包）以及（3）流程成熟度（例如，他们需要多少年时间来改进其制造流程）

每GWh需60至125个岗位 (咨询公司)
- McKinsey, 2022

麦肯锡报告称，平均而言，新电池工厂每生产GWh产能就会增加约80个就业岗位。这个数字带有一些不确定性，因为价值链覆盖范围存在差异，例如仅电池生产与本地模块和电池组生产或研发设施位于同一地点的情况尚不清楚。

每GWh需65至162个岗位 (新闻报道)
- Electrek, 2018

Electrek调查的一份国家审计报告显示，据报道，特斯拉超级工厂在年产量20GWh时雇用了3,249名员工，其中包括1,201名松下员工、1,955名特斯拉员工以及来自电池供应商Heitkamp & T humann Group的93名员工。等效的“每GWh就业机会”取决于特斯拉员工是否包含在计算中。

每GWh需35个岗位 (工厂模式)
- BatPaC v5.0, 2022

BatPaC v5.0工厂模型报告每年需要3,876,000小时的劳动力来生产50GWh的产出。假设每个工人每年工作2,236小时(每周工作43小时)，则相当于每GWh需要35名工人。

每GWh需44至119个岗位 (研究报告)
- Cotterman et al., 2022

Cotterman et al.披露了每个电动车动力系统的劳动强度(LI)，假设电池组容量为60kWh。 LI因数据源以及是否包含包/模块组装而异。对于可用数据，LI范围为11-16小时(行业来源)和6-15小时(公共来源)。每年工作2,236小时，这意味着每GWh需要44至119名工人。

人才培养 | UAW: 电池人才的新驱动力

2023 年美国汽车工人联合会 (UAW) 罢工和由此产生的协议标志着美国传统汽车工人首次集体承认汽车制造和电池制造的未来是紧密相连的。这是经济大衰退以来一系列谈判和不断变化的情绪中的最近一次。

三大巨头的利润增长92%，而工人的通胀调整后工资下降19%

2007-08

危机中的让步

- 三巨头（克莱斯勒/Stellantis、福特、通用汽车）面临重大损失
- 为了支撑他们，UAW同意加薪、保障生活成本和退休人员医疗保险



2019

第一次涉及电池的谈判

- 举行为期40天的罢工后，通用汽车工人获得了3%的加薪，但接受了俄亥俄州洛兹敦汽车工厂关闭
- 在谈判期间，通用汽车提议在洛兹敦新建电池工厂
- UAW拒绝了电池厂，因为它提供的就业机会较少，单独合同下的工资较低

2023

电池型UAW的开始

- 针对三大巨头的历史性罢工带来了25%的加薪和生活费用保障的回归
- UAW现在可以在密歇根州、田纳西州的新电池厂和BlueOval EV园区组织通用汽车/Ultium和福特工人
- ICEV工人可以转移到电动车工厂

未来会怎样?

美国电池制造工作的薪资可能会更高。反之，公司可能会放慢美国电池工厂的建设，并重新考虑美国之外的选择。更多ICEV工人可能愿意转向电池/电动汽车工厂。公司、教育工作者和政策制定者应加大对技能再培训的支持。

Source: Peoplesdispatch.org

人才培养 | 随着行业重新调整焦点，裁员进行时

	公司	裁员规模	原因
初创公司	one our next energy	25%	该公司表示，这一决定是“为了应对市场状况”，但没有进行详细说明 (来自Bloomberg)
	LUCID	18%	裁员约1,300名员工，占员工总数的18%，以降低运营费用并在今年发布第二款车型之前保留现金 (来自WSJ)
	RIVIAN	6%	Rivian正在集中资源提高汽车产量并实现盈利 (来自Reuters)
	ENOVIX	185个工人	因将大部分业务转移至马来西亚而裁员 (来自The Information)
老牌公司	gm	1300个工人	由于生产的车辆停产，通用汽车计划在密歇根州解雇约1,300名工人 (来自CNBC)
	Ford	700个工人	此次裁员存在“多重限制，包括供应链以及八月份恢复生产后进行质量检查的加工和交付车辆” (来自Motley Fool)
	LG Energy Solution	位于密歇根工厂的170个工人 (10%员工)	裁员是由于“生产缺口和汽车制造商重新调整电动车转型的速度” (来自Automotive Dive)
	SK on	位于佐治亚州工厂100+个工人	SK考虑放缓扩张，以应对需求疲软 (来自Financial Times)

H-1B 调查

薪水

人才培养

社区

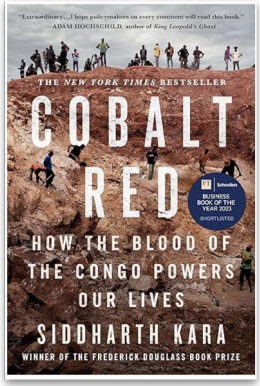
新闻

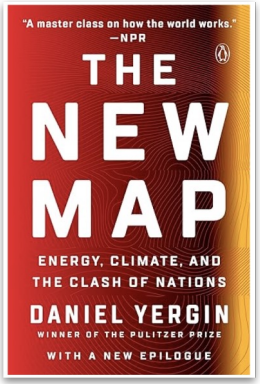
- This Week in Batteries (TWIB)
- Intercalation Station Newsletter
- The Electric by Steve LeVine
- Better Batteries Newsletter
- Lithium Valle Newsletter
- Green Rocks Newsletter

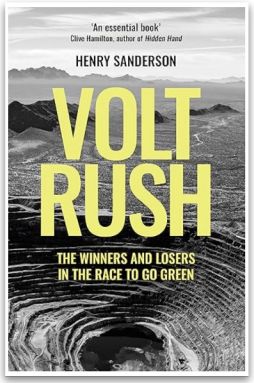
多媒体

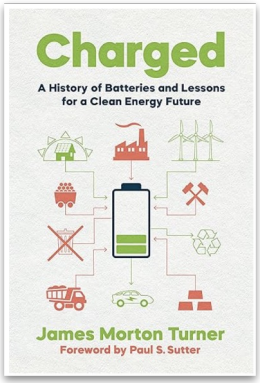
- The Limiting Factor YouTube
- The Global Lithium Podcast
- Recharge by Battery Materials Review
- Battery Generation Podcast
- Battery + Storage Podcast
- Redefining Energy

书籍










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
电池报告精彩解读，
尽在能智库
联系电话/微信：
18861284160 孟博士

VF | VOLTA FOUNDATION

EnerZ Medium
新能源情报局

04 政策

Volta Foundation是一个独立且非营利性专业协会，致力于支持电池行业的发展。

新能源情报局是中国非盈利公众信息平台。

04 政策 | 进展综述

2023 年，随着各国优先考虑可持续实践并积极寻求保护关键矿产供应，全球范围内的全面转型将显而易见。

在北美，IRA 电动汽车税收抵免的更新取得了长足进步，反映了激励电动汽车承诺的具体实施。与此同时，随着《欧洲电池法规》的出台和《关键原材料法》的实施，重要的监管框架开始发挥作用，标志着为确保国内基本电池材料稳定供应而采取的战略举措逐步生效。与此同时，中国通过实施石墨出口管制来应对全球动态。印度通过启动国家先进电池化学项目，向前迈出大胆一步。矿产资源丰富的国家寻求保护和利用其战略自然资源：澳大利亚公布了关键矿产战略，新兴市场和发展中经济体提出了关键矿产战略建议。

除了区域边界之外，世界各国都在积极寻求财政激励措施，以促进创新、增强当地电池制造能力并强化供应链。

政策概要 | 北美 | 欧洲
亚洲 | 世界其它地区

政策总结 | 北美 | 欧洲

亚洲 | 世界其他地区

VF | VOLTA FOUNDATION

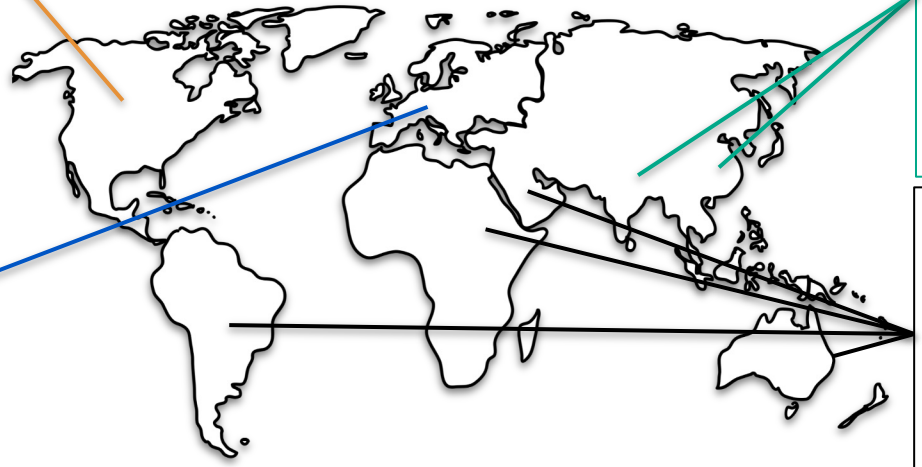
政策总结 | 电池政策的一年变化

2023 年：出台更多政策激励措施、可持续性监管和确保关键矿产供应的一年

北美:
- IRA电动汽车税收补贴更新
- 促进本土生产和电动汽车销售的举措，包括引入“外国关注实体”规则。

欧洲:
- 欧洲赞成引入新的电池法规以刺激可持续性。
- 宣布关键原材料法以确保国内电池材料供应。
- 2023 年末将宣布额外财政激励措施，以促进创新、本地制造和供应链。

全球政策趋势和更新



亚洲:
- 中国引入石墨出口管制，以回应美国和欧盟阻止中国制造的纯电动汽车获得激励措施。
- 中国投资非国内上游资源供应链。
- 印度启动国家高级电池化学计划

世界其它地区:
- 新兴市场和发展经济国家寻求战略性地利用关键矿产资源，但在电动汽车政策方面处于落后位置
- 澳大利亚推出关键矿产战略。

政策总结 | 北美 | 欧洲

亚洲 | 世界其他地区

美国在寻求电动汽车销量和国内制造能力的增长

Incentive for consumers and OEMs: Clean Vehicle Tax Credit (30D)

New vehicles[4] must satisfy two conditions to qualify for a purchase tax credit up to $7,500:

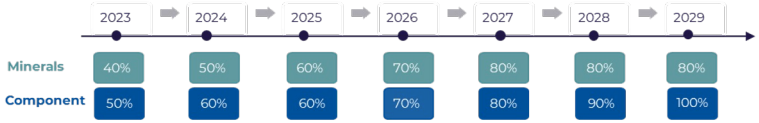
1. Assembled in North America +
2. **Foreign Entity of Concern (FEOC) compliant:** Vehicles may not contain any critical minerals (from 2025) or battery components (from 2024) that were extracted, processed, or manufactured by a FEOC.

Vehicles must also meet **critical mineral** and **battery component** requirements, each accounting for 50% of the total credit:



Part 1: Critical Mineral Requirement $3,750
Minimum % value of critical minerals[1] in the battery must be extracted OR processed[2] in the US or Free Trade Agreement country.

Part 2: Battery Component Requirement $3,750
Minimum % value of components[3] in the battery must be manufactured OR assembled in North America.



Incentive for suppliers: Advanced Manufacturing Production Tax Credit (45X)

Battery components[3] and critical minerals[5] produced in the US may qualify for tax credits under certain requirements.

	2023 Full credit	2030 75% credit	2031 50% credit	2032 25% credit
Battery modules ($/kWh)	10.00	7.50	5.00	2.50
Battery cells ($/kWh)	35.00	26.30	17.50	8.80
Electrode active materials (% of production cost)	10.0	7.5	5.0	2.5
Critical minerals (% of production cost)[5]	10.0	7.5	5.0	2.5

Notes:
1- Critical minerals applicable to batteries include: Li, Ni, Co, Mn, graphite, among trace minerals
2- Processing means the refining of minerals into constituent materials include powder of CAM and AAM, foils, electrolyte sales and additives etc.
3- Battery Components include: electrode, electrolyte, separator, battery module
4- Selling price must not exceed $80k for vans, SUVs, and pickup trucks, and $55k for other vehicles
5- As per latest guidance, the cost of raw material extraction of acquisition used to produce the critical mineral or active material is excluded from the tax credit

信息来源: US Treasury, US Treasury, CRU Group

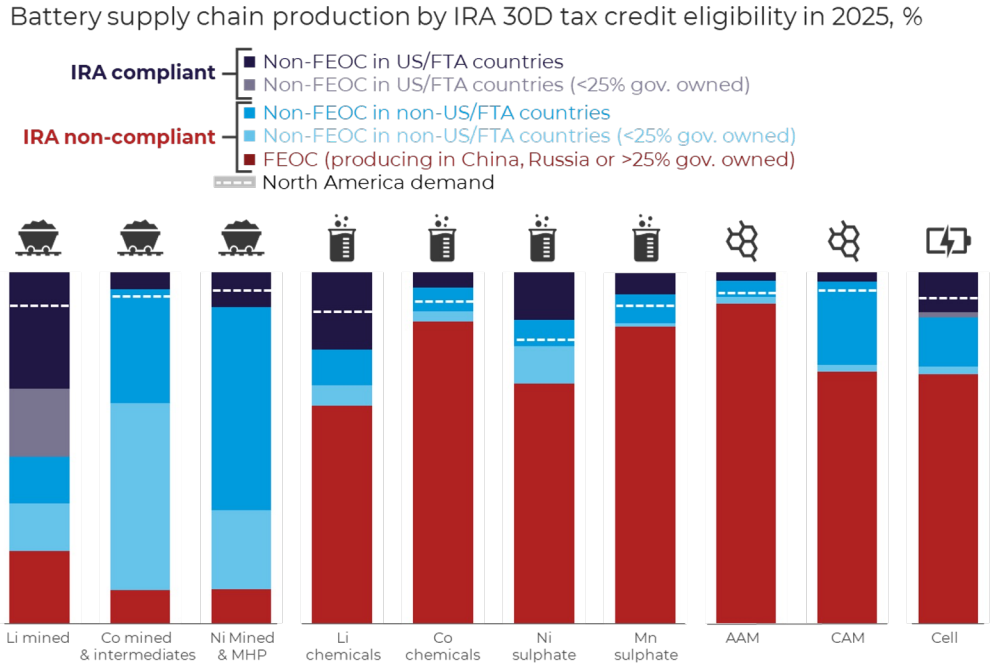
关于外国关注实体 (FEOC) 规则的指南草案

为了获得税收抵免资格，车辆不得包含由 FEOC 提取、加工或制造的任何关键矿物（自 2025 年起）或电池组件（自 2024 年起）

2023 年 12 月，官员们采纳了关于该规则的进一步指南草案。

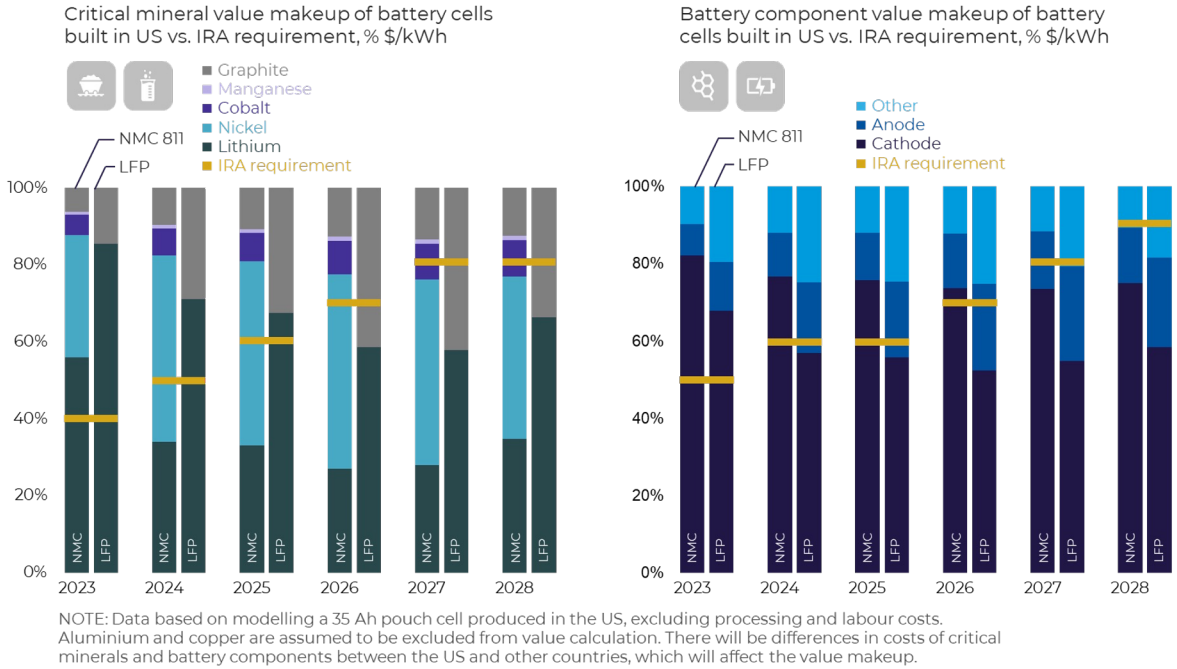
常见的理解：FEOC 适用于中国和俄罗斯境内的所有生产，以及这些国家/地区政府*拥有 25% 以上所有权的任何公司。

*具体为政府、军队和高级官员的家属。



信息来源: US Treasury, CRU Group

制造商在矿物和零部件采购方面面临越来越严格的标准以获得税收抵免



NOTE: Data based on modelling a 35 Ah pouch cell produced in the US, excluding processing and labour costs. Aluminium and copper are assumed to be excluded from value calculation. There will be differences in costs of critical minerals and battery components between the US and other countries, which will affect the value makeup.

随着时间的推移，门槛变得更加严格，汽车制造商将需要采购更多由非自由贸易协定国家或中国主导的零部件供应。后者将受 FEOC 规则限制。

刚果民主共和国的钴、印度尼西亚的镍、磷酸铁锂正极、石墨负极、中国的高纯锰就是最深刻的例子。

信息来源: US Treasury, CRU Group

政策概要 | 北美洲 | 欧洲

亚洲 | 其他地区

欧洲 | 《绿色协议产业计划》

欧盟加大力度以降低投资风险、增强供应链韧性并保障能源独立。

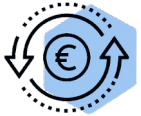
《绿色协议产业计划》（GDIP）于2023年公布，旨在提升欧洲净零排放产业的竞争力，并加速向气候中和目标过渡。该计划旨在营造一个更有利的环境，以扩大欧盟对实现欧洲气候目标所需的净零技术和产品的制造能力。GDIP范围广泛，涵盖众多不同技术，包括电池技术。

《绿色协议产业计划》主要有4大板块



可预测和简洁高效的管理体系

与电池相关的倡议：
- 《关键原材料法案》



加速获取补贴

与电池相关的倡议：
- 2021-2027年间欧盟投资3,720亿欧元
- 创新基金在未来十年将投入400亿欧元，其中2023年，30亿欧元将专门用于电池生产
- 欧洲战略技术平台（清洁技术）



提升适用于绿色转型的技能

与电池相关的倡议：
- 构建欧洲技能议程
- 增加技能和职业培训



推进有助于供应链韧性的开放性贸易举措

与电池相关的倡议：
- 推进欧盟自由贸易协定网络建设
- 建立关键原材料俱乐部
- 发展“清洁技术/零网络工业伙伴关系”

来源: GDIP; GDIP explainer;InvestEU; Dedicated instrument for battery value chain

欧洲 | 《欧盟关键原材料法案》

欧盟就该法案达成一致，确保本土原材料供应

2023年3月，欧盟发布了《关键原材料法案》提案，以确保欧盟能够获得安全、可持续的关键原材料供应。

2023年11月达成临时协议

改法案目标:

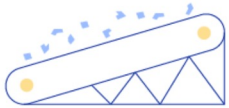
- 增加欧盟的关键原材料供应并使其多样化
- 加强循环，包括回收利用
- 支持有关资源效率和替代品开发的研究与创新

《欧盟关键原材料法案》是欧洲绿色交易和欧盟工业战略的一部分。

《关键原材料法案》2030年目标:



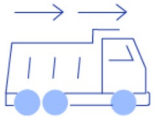
欧盟采矿
欧盟至少10%的战略原材料消耗应在欧盟境内开采



欧盟制造原材料
欧盟应该提高其在价值链上的加工能力，并能够生产至少40%的战略原材料年消耗量



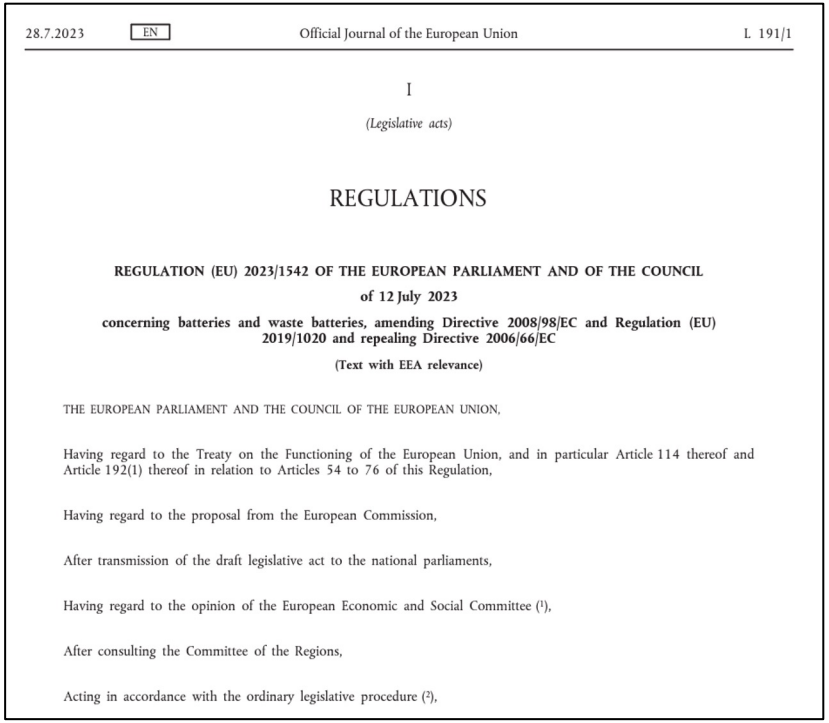
欧盟回收
至少25%的欧盟每年消耗的每种关键原材料都来自本土回收



其他资源
欧盟在任何相关加工阶段对每种战略原材料的年消耗量不超过65%来自单个第三国

Source: Proposal; Provisional Agreement; CRM Act Infographic;

欧洲 | 《欧盟电池法规》



28.7.2023 EN Official Journal of the European Union L 191/1

I

(Legislative acts)

REGULATIONS

REGULATION (EU) 2023/1542 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
of 12 July 2023
concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC
(Text with EEA relevance)

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION,

Having regard to the Treaty on the Functioning of the European Union, and in particular Article 114 thereof and Article 192(1) thereof in relation to Articles 54 to 76 of this Regulation,

Having regard to the proposal from the European Commission,

After transmission of the draft legislative act to the national parliaments,

Having regard to the opinion of the European Economic and Social Committee (1),

After consulting the Committee of the Regions,

Acting in accordance with the ordinary legislative procedure (2),

2023年7月12日，欧盟议会通过《欧盟电池和废电池法规》，将于2024年2月18日起开始实施

该文件是欧盟绿色协议的一部分。它构成了未来几十年欧洲市场电池行业的监管框架。

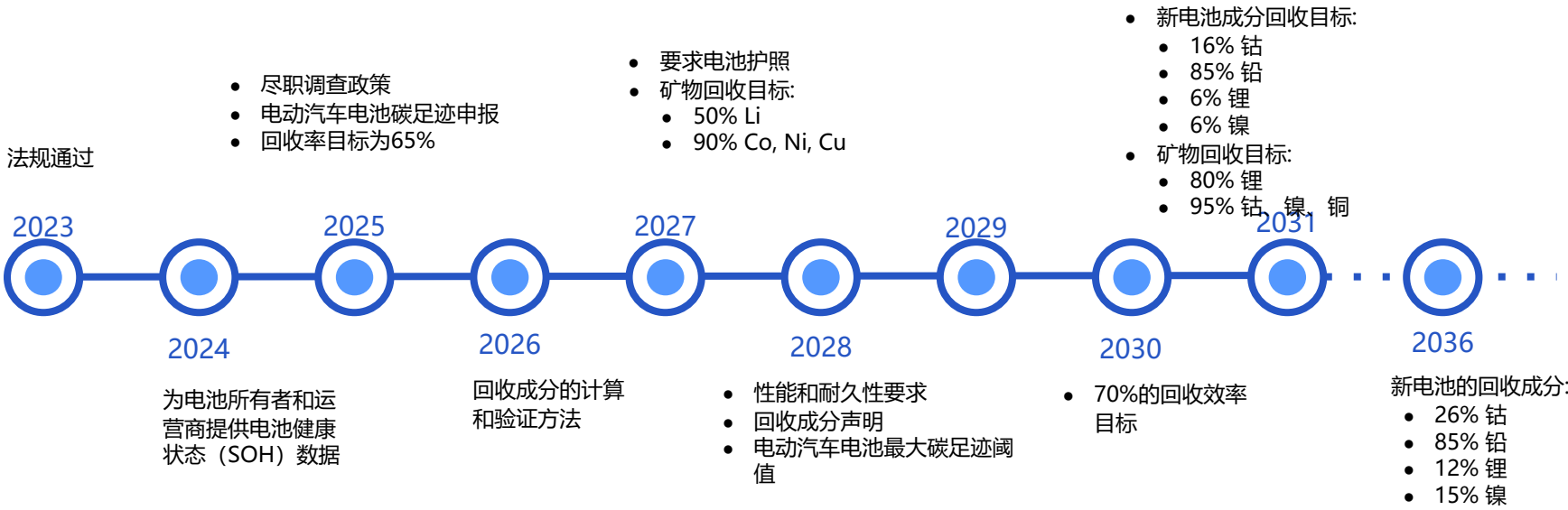
该法规影响的宏观领域包括:

- 可持续性（电池碳足迹声明和供应链尽职调查）
- 循环性（定义明确的扩展生产者责任和回收目标）
- 数字化（标签和电池数码产品护照）

Source: EU Batteries Regulation

欧洲 | 《欧盟电池法规》

电池法规的章节、条款和段落将不会同时实施，而是按照从2024年到2037年的时间间隔实施。此外，在该法规中，预计还将有若干授权法案和实施法案，它们对于填补法规空白、规范法规实施以及适应未来技术和市场发展至关重要。预计这些法案将在2024年至2031年间发布。



Source: EU Batteries Regulation, EU recycling market study Strategy& | PEM of RWTH Aachen University

电池护照将要求数据共享

从2027年2月开始，欧盟将强制要求为移动和固定电池提供电子“电池护照”(数字产品护照- DPP的一个例子)。



电池型号信息(“静态”数据)

- ;可公开获取:例如，材料成分、碳足迹、回收含量、预期循环使用寿命、额定容量、重量、制造商、生产地点;
- 对有“合法利益”的人开放:部件的详细组成、部件编号、拆卸信息和安全措施;
- 公告机构、市场监督当局和欧盟委员会均可查阅:证明符合法规的测试报告结果。

单体电池信息(“动态”数据):

- 对有“合法利益”的人开放:
  - 性能和耐久性参数;
  - 健康状况信息;
  - 电池的状态(“原始”、“重新利用”、“再利用”、“再制造”或“废弃”);
  - 使用数据:循环次数、事故、运行情况和充电状态。

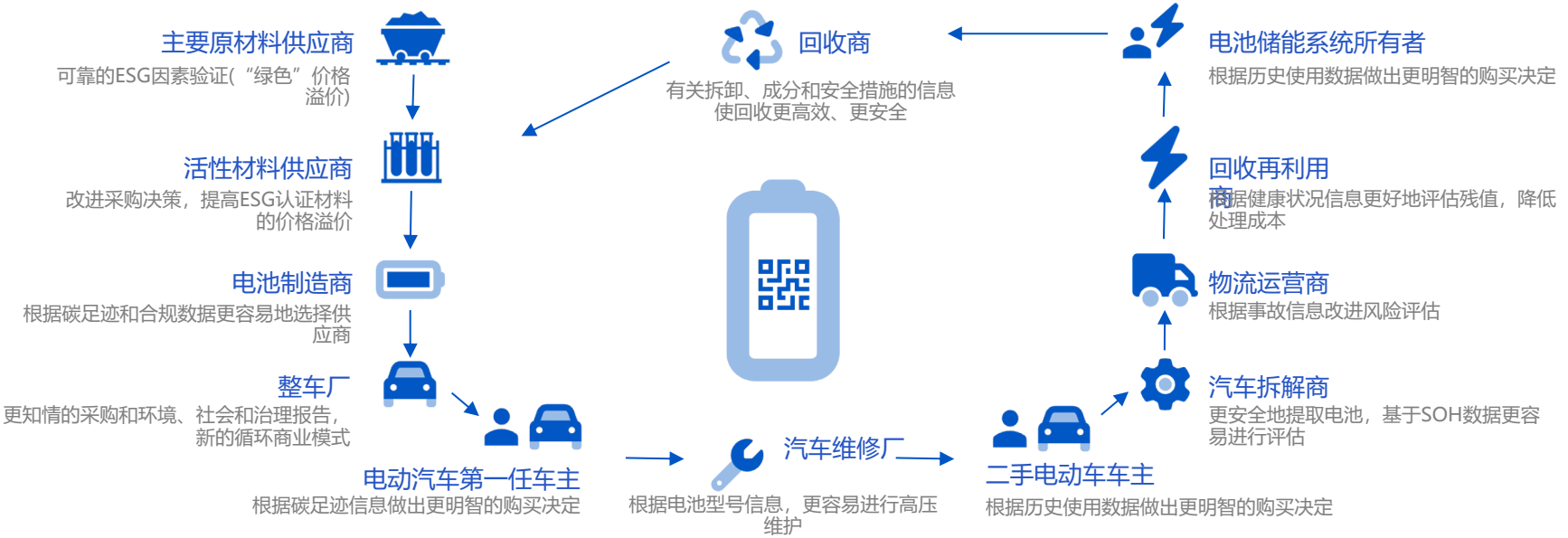
从2026年8月开始，委员会将提供关于哪些人构成“合法利益”的指导。在尊重电池制造商知识产权的前提下，提供电池管理系统的详细信息。

Source: EU Batteries Regulation

欧洲 | 电池护照的影响

整个电池价值链将受到新的数据共享规则的影响

《电池法规》引入的信息共享机制将施加新的报告义务，并对整个电池价值链的运营产生重大影响，从而在各种使用场景中产生价值。



Source: EU Batteries Regulation, Battery Pass, COBRA Market Intelligence Report

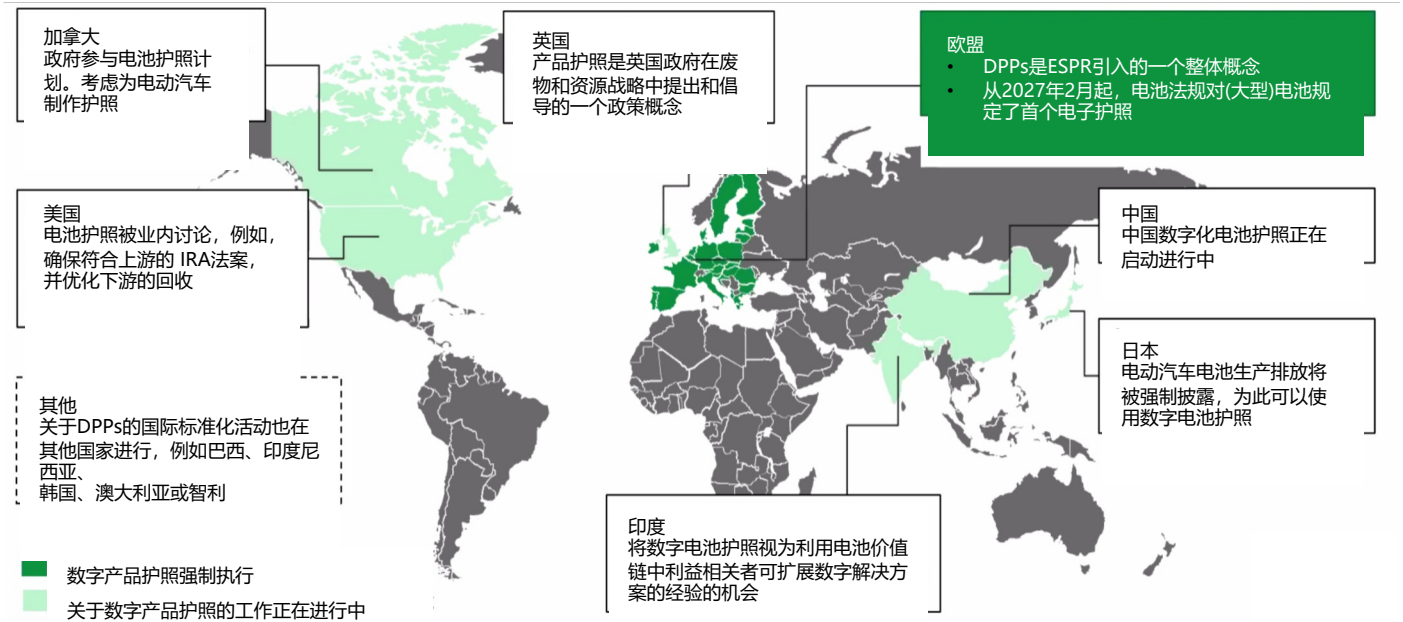
欧洲 | 电池护照

和其他地区法规的比较

欧洲电池护照是一项数字产品护照(DPP)，是一项数字化计划，旨在确保电池价值链的透明度和促进可持续性。

目前，许多其他国家正在研究类似的法规。

重点在于这些框架之间如何有效的相互协同



Source: thebatterypass.eu

欧洲 | 英国战略更新

英国响应行业要求，对电池采取协调一致的方法



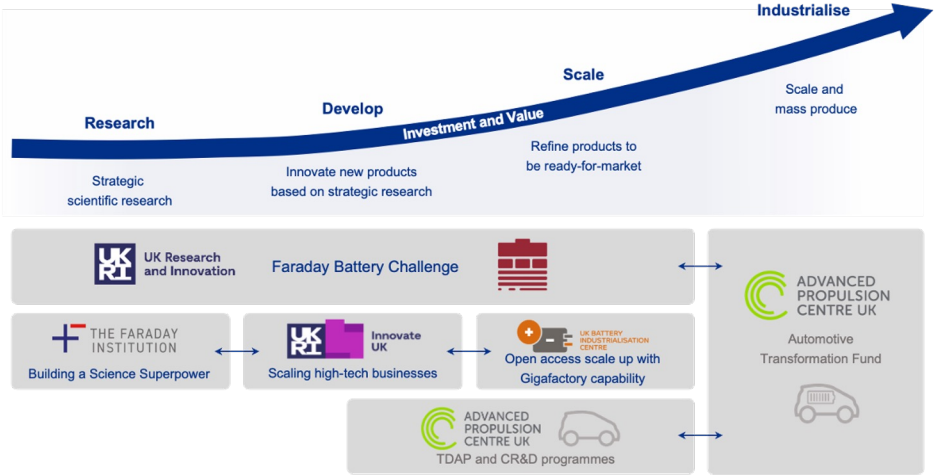
英国政府发布了《英国电池战略》，重点关注3个关键支柱:设计、制造、维护。

为 "Auto2030 "计划提供20亿英镑的财政支持，作为 "先进制造业计划 "的一部分，该计划提供了45亿英镑的公共资金来支持英国的制造业雄心。

2022 年发布的 “关键矿物战略 ” 更新了内容，更详细地说明了如何实施该战略，并承诺建立国际合作伙伴关系，以确保材料供应。

这些战略还致力于创造有利的监管环境和新的金融工具，以公共资金吸引私人资金。

英国提供补助资金，支持电池的研究、开发、推广和产业化:



Source: UK Battery Strategy; Advanced Manufacturing Plan; Critical Mineral Strategy Refresh, Green Finance Institute

欧洲 | 欧洲创新基金

欧洲继续提供强有力的激励措施来支持电池创新



欧盟委员会启动了40亿欧元的2023年创新基金，用于包括储能在内的创新型脱碳技术（同时还有30亿欧元用于电池）

	预算	最低资本支出	摘要
大规模普遍去碳化	17 亿欧元	€100m	创新储能技术建设与运行
中等规模的全面脱碳	€500m	€20m to €100m	
小规模一般去碳化	€200m	€2.5m to €20m	
清洁技术制造业	€1.4bn	€2.5m	包括在欧洲扩大规模、提高供应链弹性和战略自主权
试点	€200m	€2.5m	预计创新程度高于其他主题



Faraday Battery Challenge
UKRI Delivered by Innovate UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

拨款1100万英镑用于电池创新项目

3600万英镑和3800万英镑用于升级英国电池工业化中心

1200万英镑用于创建先进材料电池产业化中心。

8,690 万英镑用于16个扩大和研发净零汽车技术的项目（其中12个项目侧重于电动汽车电池及其供应链）。

Source: Innovation Fund; Battery Supply Chain Fund; Innovate UK KTN; UKBIC-£36m; UKBIC-£38m; InnovateUK KTN-AMBIC; APC

欧洲 | 2023年电动汽车政策方面变化

欧洲国家在电动汽车的激励政策和内燃机淘汰的政策



欧盟委员会：

- 批准将与英国签订的《贸易与合作协议》中有关电动汽车和电池的现行原产地规则延长至2026年12月31日。同时确认欧盟理事会在法律上不可能延长这一期限。
- 2023年欧盟成员国电动汽车的税收优惠和购买激励措施



法国：

- 推出"生态奖金"，使法国和欧洲生产的汽车比中国生产的汽车更受青睐。补贴取决于汽车生产和运输过程中的二氧化碳排放量
- 推出每月100欧元的电动汽车租赁计划



德国：

- 与欧盟委员会达成协议，修改2035年的内燃机禁令，允许在2035年后销售和注册内燃机汽车，只要它们使用“零碳”合成燃料。



英国：

- 修订了逐步淘汰内燃机汽车销售的计划。新规定指出，到2030年，80%的新车销售和70%的货车销售必须实现零排放（尾气排放）。2035 年，100% 的新车销售必须实现零排放。

Source: RoO extension; ACEA incentives list; Rho Motion - France updates; SAE - German agreement with EU; UK Gov - ICE sales

政策概要 | 北美洲 | 欧洲

亚洲 | 其他地区

亚洲 | 目前的电池政策目标和2023年更新

保持行业领先地位的激励政策和措施



- 到2025年的政策目标：
  - 改善锂、镍和钴的供应、
  - 实现新体系电池技术突破，例如态单体比能量达到500 Wh/kg。
  - 在全球领先镍、钴的回收比例大于98%，锂大于85%
- 数百万人民币用于电池创新资金奖励。
- 新能源汽车购置补贴变为免税政策。在2025年12月31日前购置的新能源汽车免征车辆购置税。
- 《关于组织开展公共领域车辆全面电动化先行区试点工作的通知》：聚焦公共领域运输车辆；新技术新模式创新应用；充换电服务体系。



- 到2030年的政策目标：
  - 国内蓄电池制造能力提升至150GWh/年
  - 实现全固态电池商业化应用
  - 温室气体排放量比 2013 年减少 46%
  - 培养3万名电池及产业链相关的专业人才
  - 动力电池包价格不超过10k 日元/kWh，户用储能价格不超过70k 日元/kWh
- 为日本电池生产提供高达22亿美元的支持。
- 与美国达成协议，确保电动汽车关键矿产供应，使用在日本收集或加工材料的电动汽车将有资格享受美国提供的、每辆7500美元的电动汽车补贴。



- 2023年电池产业路线图建议目标：
  - 国内正极活性材料生产能力提升至158万吨
  - 在未来5年，电池设备出口额提升至35亿韩元
  - 蓄电池回收率达100%
  - 2023年全球动力电池市场占有率达40%
- 启动2023-2030年公私联合研发创新基金，到2030 年将投入不低于20万亿韩元用于先进电池技术的商业化。

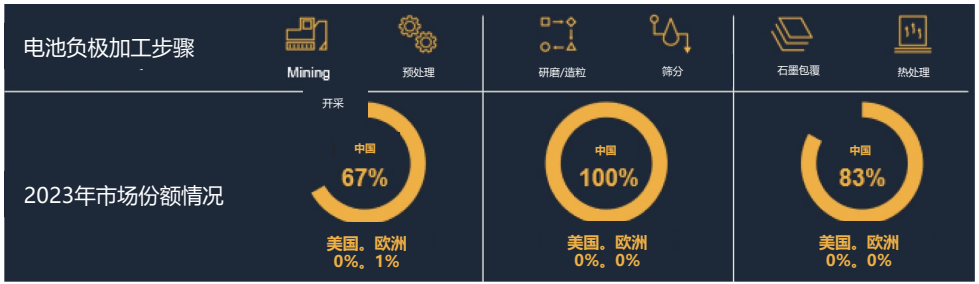
Source: China Policy Explainer; China Dialogue; Gov.cn; Japan Policy Explainer; Reuters-$2.2bn; Reuters-US Trade Deal; US-Japan Trade Deal; South Korea Policy Explainer; Korea Herald

亚洲 | 中国对石墨物项实施出口管制

从2023年12月起，出口经营者向中国境外出口石墨产品必须申请出口许可证。

系列序号	物项	参考海关商品编号
1	高纯度（纯度>99.9%）、高强度（抗折强度>30Mpa）、高密度（密度>1.73克/立方厘米）的人造石墨材料及其制品	3801100030、3801909010、6815190020
2	天然鳞片石墨及其制品（包含球化石墨、膨胀石墨等）	2504101000、2504109100、3801901000、3801909010、3824999940、6815190020

中国在天然石墨、人造石墨、负极活性材料的供应中占据主要地位



中国出口:

- 每年出口10万吨天然石墨，主要销往日本、韩国、美国、印度和欧洲；
- 每年6万吨球形石墨，主要销往日本、韩国和美国
- 每年8万吨负极活性材料（主要销往日本、韩国和美国）

中国在石墨供应方面的主导地位，正在推动寻找替代来源（更多背景信息，请参见本报告 "工业 "中的 "原材料 "部分）

Source: CIRS、Syrah Resources

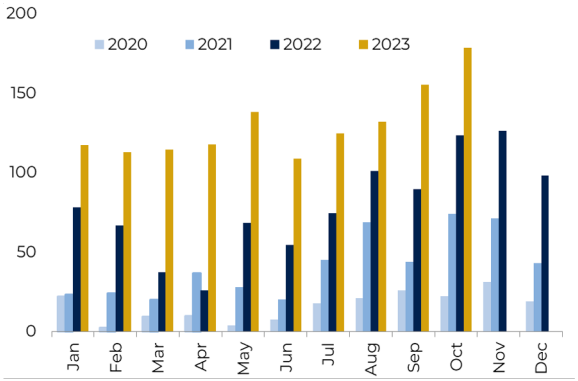
VF | VOLTA FOUNDATION

亚洲 | 各国政府对于中国纯电动汽车进口的措施

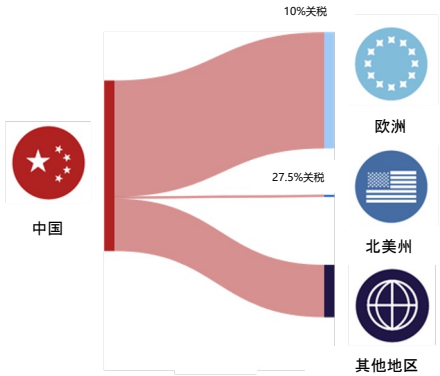
欧盟反补贴调查

2023年10月4日：欧盟委员会对中国电动汽车补贴展开调查，称“全球市场充斥着廉价电动汽车，由于巨额的国家补贴，这些汽车的价格被人为压低”。*“这可能导致欧盟委员会对从中国进口的电动汽车征收反补贴关税。”*

中国纯电动汽车出口增长123%



2023年，欧盟纯电动汽车销量的近30%来自进口



中国出口的大部分车为西方整车厂，但中国的份额正在增长

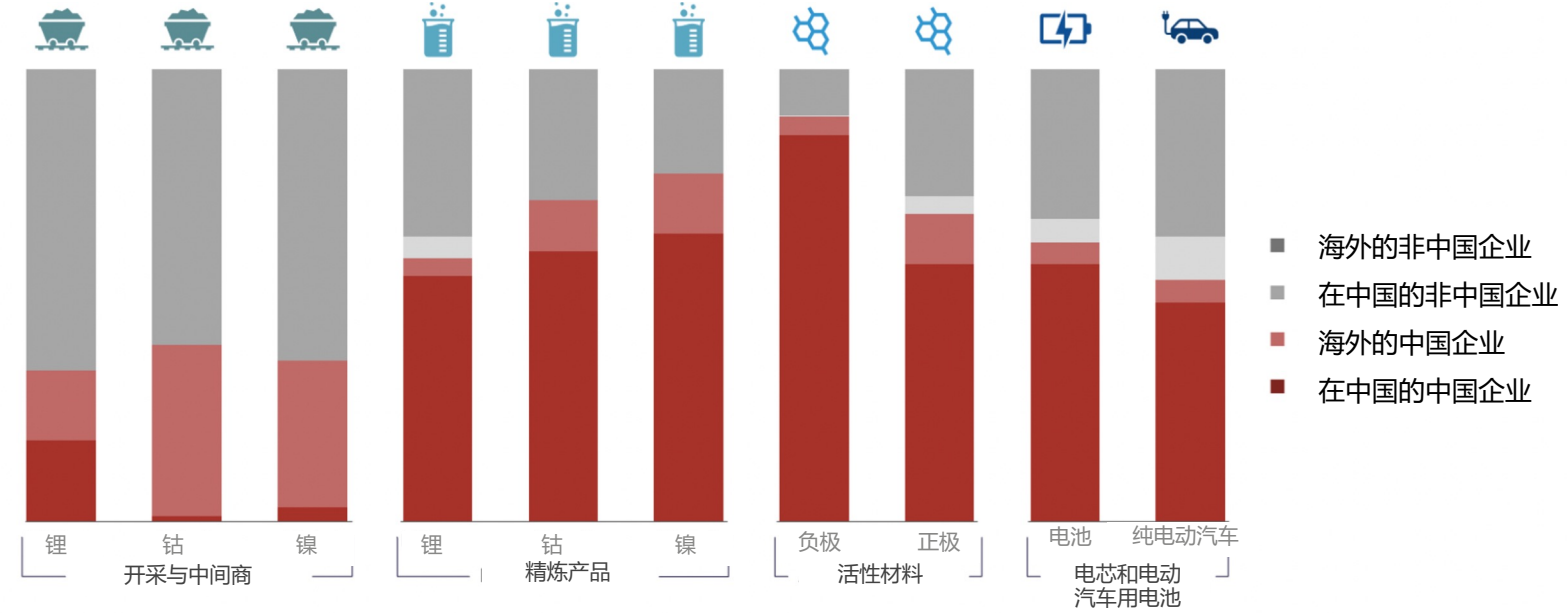


Source: European Commission, CRU Group, CRU Group

VF | VOLTA FOUNDATION

中国电池产业在全球的投资布局

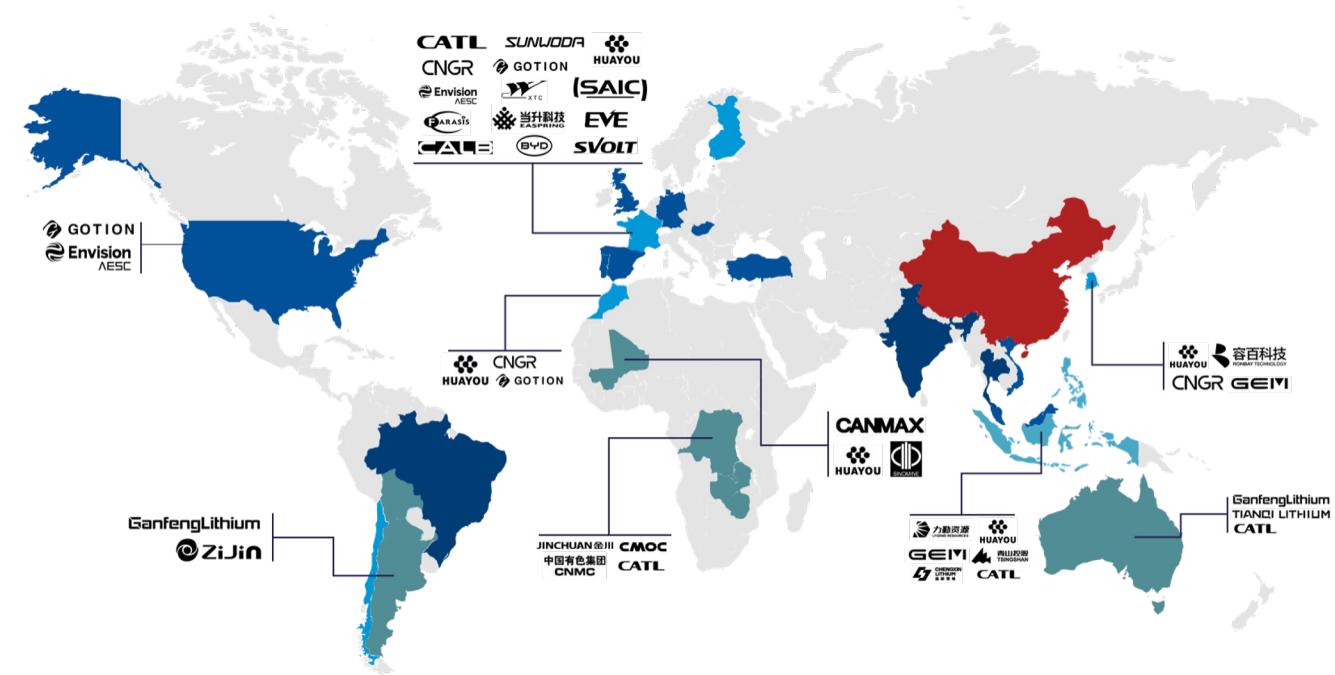
按照所有者权益分类的电池供应链生产预测（2028年）



Source: CRU Group

亚洲 | 电池的地缘政治因素

中国电池产业在全球的投资布局



原材料&精炼材料

在国家支持的推动下，中国的矿业公司正在各大洲收购资产，以确保廉价且稳定的原材料供应。

活性材料&电池

中国的电池企业和正极材料企业正在和其他地区建立合作伙伴关系，建立生产基地

电动汽车

中国汽车制造商正积极扩大出口，并计划进行本土化生产，以避开贸易关税。

Source: CRU Group

VF | VOLTA FOUNDATION

2023年印度储能行业政策、法规、公告的主要发展情况

1. 发布储能和抽水蓄能系统推广指南，发布可再生能源+储能项目竞标指南
2. 政府批准为4 GWh单独的电池储能项目提供可行性缺口补助（37.60 亿印度卢比）
3. 印度中央电力监管委员会 (CERC) 允许储能系统参与高价--日前市场 (HP-DAM) 部分的交易
4. 印度政府确定了30种关键矿物，年内还拍卖了20个关键矿产区块
5. 2023年，印度政府设定了 4% 的储能义务 (ESO) 目标，迄今为止，已有 10 个邦在本邦的可再生能源政策中实现了这一目标
6. 印度拉贾斯坦邦是第一个宣布2030年储能目标的邦，该邦提出了到2030年达到10 GWh的目标
7. 印度中央电力局（CEA）修订了印度的储能系统需求，到2029-2030年分别为61 GW/336 GWh。2027-2032年间共需投资 36.8 万印度卢比
8. 在贾坎德邦和拉贾斯坦邦发现了锂储量
9. 宣布在 2023 年实现50 GWh的电池生产能力
10. 本年度共发布了 25 份与储能相关的招标书，涉及40 GWh储能系统容量

Source; Economic Times; PIB.gov - Cabinet; PIB.gov - CERC; Critical Minerals; Economic Times - Mineral Blocks; MNRE.gov - Energy Storage Obligation; Mercom India- Rajasthan Energy Storage Target; Solarquarter - CEA; Jharkhand; CNBC - Rajasthan; Economic Times - 50GWh; JMK - ESS tenders

亚洲 | 印度 | 政策目标和驱动

政策驱动

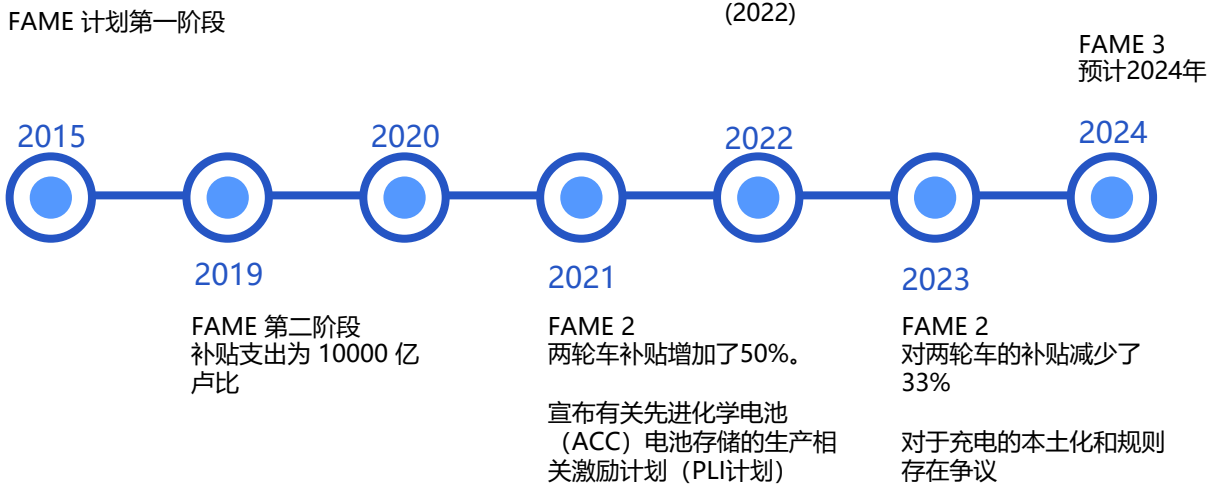
- 能源独立
- 改善空气质量
- 价值链本土化
- 提升制造能力

政策目标

- 2030年本地电池产量达50GWh
- 2030年30%的汽车销售量变为电动汽车
- 2030年实现500GW可再生能源装机目标

政策工具

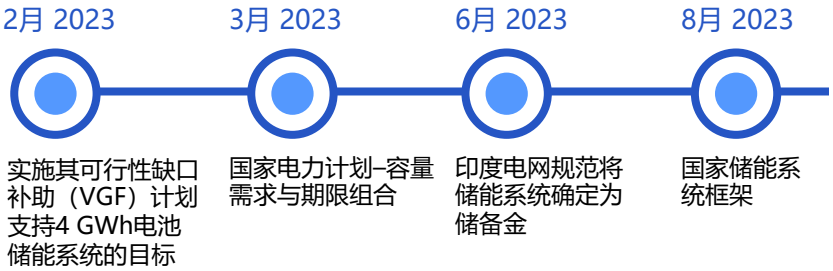
- 电池生产的生产关联激励计划
- （混合动力和）电动汽车的快速应用和生产计划(FAME)
- 为储能提供可行性缺口补助



Source: Niti Manufacturing Strategy; Switch Delhi; RMI; Niti-Advanced Cell Chemistry; Ministry of Heavy Industries

VF | VOLTA FOUNDATION

2023年储能电池系统政策更新



印度政府在《2023年联邦预算案》中宣布，将通过可行性缺口资金支持容量为 4GWh的电池储能系统。2023 年9月，内阁批准了37.60 亿卢比的预算支持。

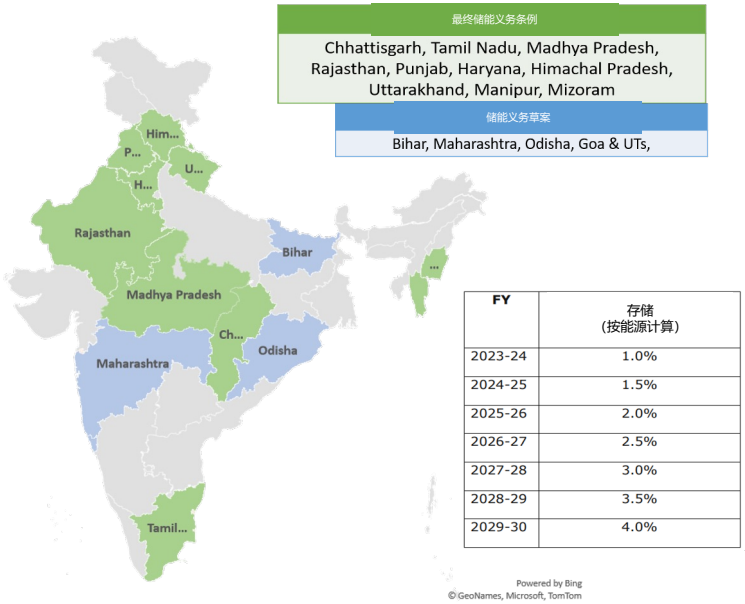
国家电力计划要求，到2026-2027年，可能需要8.68 GW/34.72 GWh的电池储能系统容量来满足电网的储能需求。然而，到2031-2032年，除了基于PSS的26.68 GW装机容量外，电池储能需求将增至47.24 GW/236.22 GWh。

《2023年印度电网规范》（IEGC）规定，合格资源之一可以参与印度的辅助市场，这是支持电网运行、维持电网电力质量、可靠性和安全性的必要服务。

印度政府发布了储能系统（ESS）国家框架，旨在实现24X7的可调度可再生能源实时结算（RE-RTC）电力，降低总体能源成本，减少温室气体排放，重新设计能源市场以激励储能系统参与市场竞争，通过部署储能系统提升电网稳定性和可靠性，监测和评估储能系统的性能和影响，并为制定政策和投资决策提供反馈。该框架提出了多项措施，以加强印度储能系统部署。

Source: India Energy Storage Alliance- Annual Market Assessment Report – 2023; Cabinet; vision report; Central Electricity Regulatory Commission;

亚洲 | 印度 | 最终采用的激励和监管政策



FY	存储（按能源计算）
2023-24	1.0%
2024-25	1.5%
2025-26	2.0%
2026-27	2.5%
2027-28	3.0%
2028-29	3.5%
2029-30	4.0%

*在旁遮普邦，旁遮普邦电力监管委员会（PSERC）已经通知了“总可再生能源购买义务（Total RPO）”，但并未提供具体来源的RPO分配明细，包括能源存储义务（ESO）在内。

可再生能源购买义务(RPO)：电力部引入了统一的可再生能源购买义务(RPO)，其中所有配电许可证持有者必须从可再生能源中消耗其总需求的指定最低数量。该计划自2016年开始实施。

储能义务（ESO）：电力部于2022年发布了直至2029-30年的最新RPO和储能义务。ESO 应按能源占总电力消耗的百分比计算，只有当每年储存在储能系统中的总能量的 85%来自可再生能源时，才算履行了储能义务。

RPO 应按能量占总耗电量的百分比计算。风能 RPO 只能由 2022 年 3 月 31 日之后投产的风力发电项目 (WPP) 生产的能源来满足。

大型或小型水电项目，包括抽水蓄能项目（PSP），应在2019年3月8日之后投产。除风能和水能外，其他可再生能源发电项目生产的能源可满足其他 RPO 的要求。

储能义务（ESO）应由太阳能/风能连同/通过储能实现，只有当每年至少有85%的储能系统储能来自可再生能源时，储能义务才算实现。

Source: India Energy Storage Alliance- Annual Market Assessment Report – 2023; Cabinet; vision report; Central Electricity Regulatory Commission;

VF | VOLTA FOUNDATION

亚洲 | 印度 | 投标运行情况：截至2023年12月储能系统招标情况

50个招标项目 | 46 GWh 储能系统容量 (31 GWh PSP, 3 GWh储能系统, 12 GWh技术未知) 和23.4 GW相关的可再生能源装机 (9个正在进行 (2 GWh) | 19个公开招标(29 GWh) | 3个运行中)

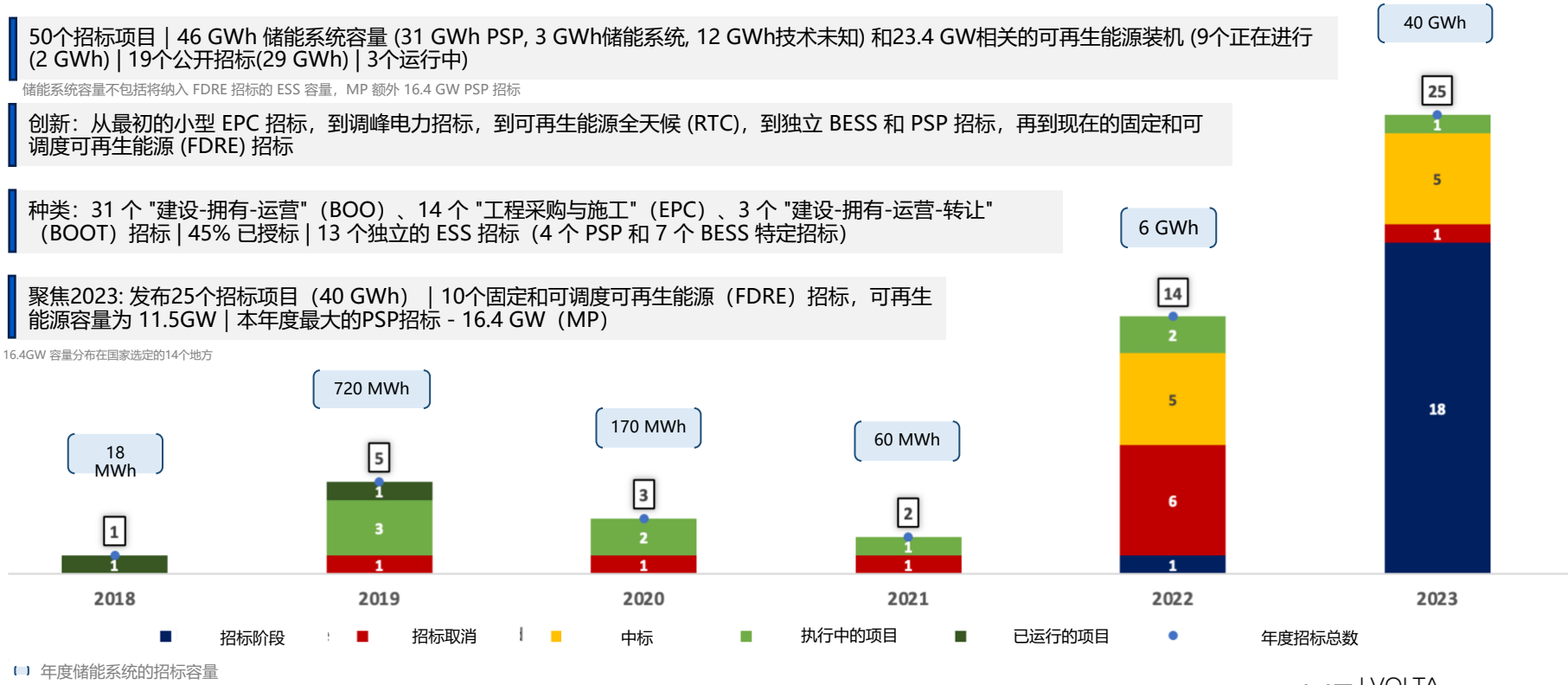
储能系统容量不包括将纳入 FDRE 招标的 ESS 容量，MP 额外 16.4 GW PSP 招标

创新：从最初的小型 EPC 招标，到调峰电力招标，到可再生能源全天候 (RTC)，到独立 BESS 和 PSP 招标，再到现在的固定和可调度可再生能源 (FDRE) 招标

种类：31 个 "建设-拥有-运营"（BOO）、14 个 "工程采购与施工"（EPC）、3 个 "建设-拥有-运营-转让"（BOOT）招标 | 45% 已授标 | 13 个独立的 ESS 招标（4 个 PSP 和 7 个 BESS 特定招标）

聚焦2023: 发布25个招标项目（40 GWh） | 10个固定和可调度可再生能源（FDRE）招标，可再生能源容量为 11.5GW | 本年度最大的PSP招标 - 16.4 GW（MP）

16.4GW 容量分布在国家选定的14个地方



Source: Analyzed and Compiled from public announcements by SECI, MNRE, MoP and Organization Announcements; Tender Results

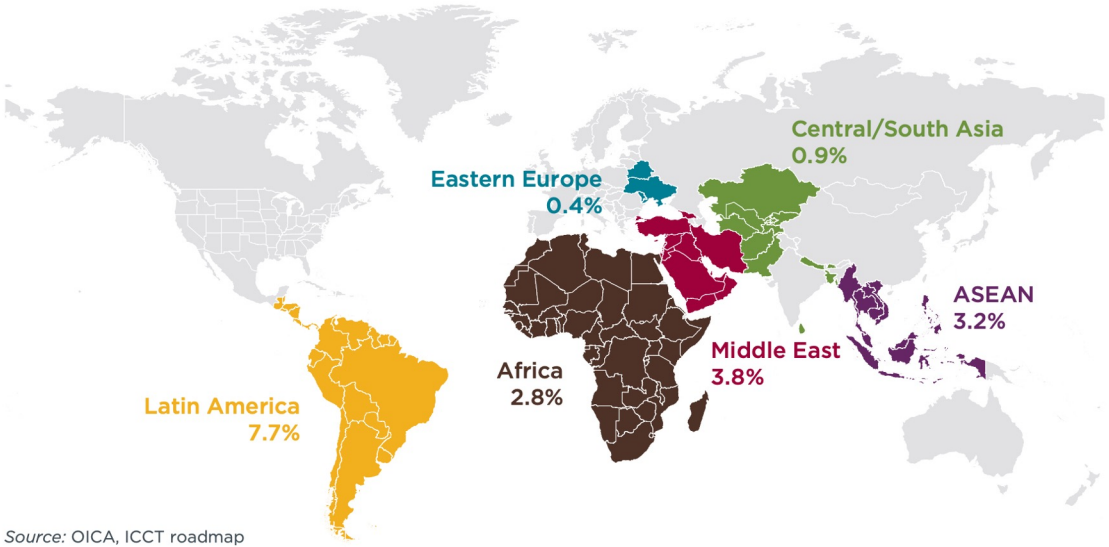
VF | VOLTA FOUNDATION

政策概要 | 北美洲 | 欧洲

亚洲 | 其他地区

其他地区 | 新兴国家和发展中国家陆上车辆市场

新兴国家和发展中国家陆上车辆市场占19%，但是更多的政策来需要扶持电动车行业的发展



Source: OICA, ICCT roadmap

*on-road means passenger cars, vans, buses and trucks and excludes 2-3 wheelers in this analysis

新兴市场和发展中国家 (EMDE) 道路车辆（不包括 2-3 轮车辆）的市场份额约为全球总量的 19%。 这代表着到 2050 年每年减少 47.39 亿吨二氧化碳当量的脱碳机会。

全球 新兴国家和发展中国家的目标是到 2050 年每年减少 11.57 亿吨二氧化碳当量。

所有新兴市场和发展中经济体的纯电动汽车市场份额约为市场总量的 1%。

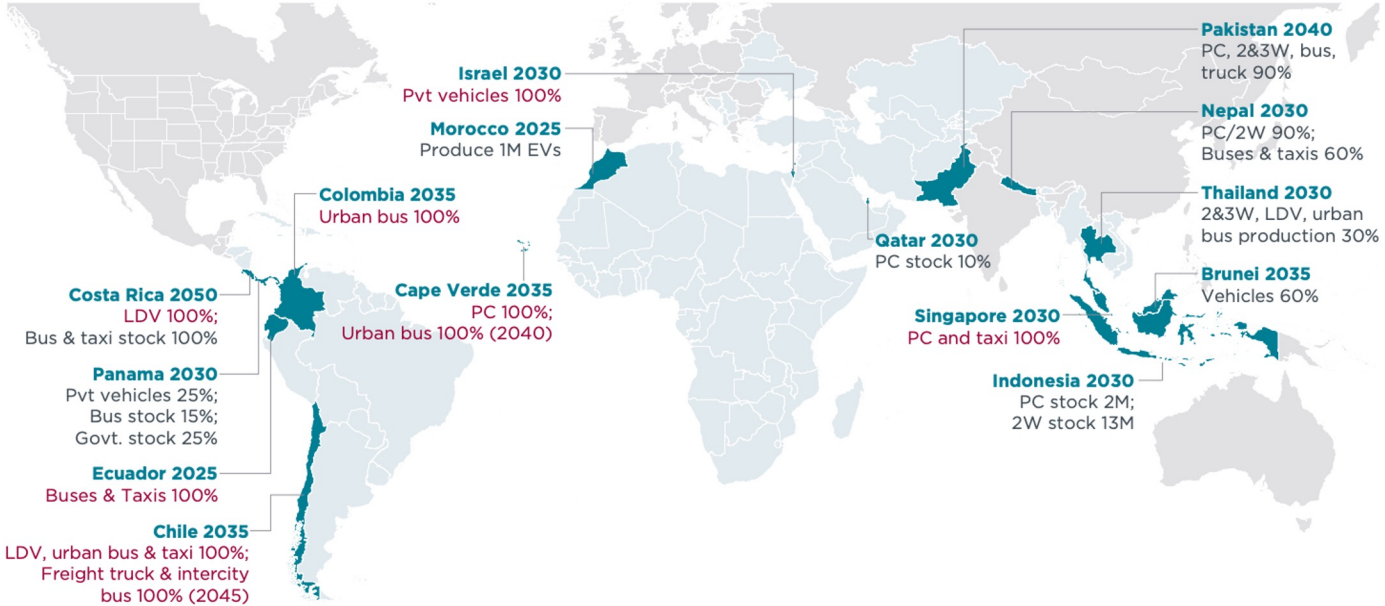
支持所有 EMDE 地区 2017 年至 2021 年 BEV 过渡的可用拨款为 8,440 万美元。

实现 BEV 转型所需的财务支持预计为 49.6 亿美元。 需要更多的财政支持来弥补赤字。

Source: ICCT Briefing Paper

其他地区 | 新兴国家和发展中国家燃油车退出时间

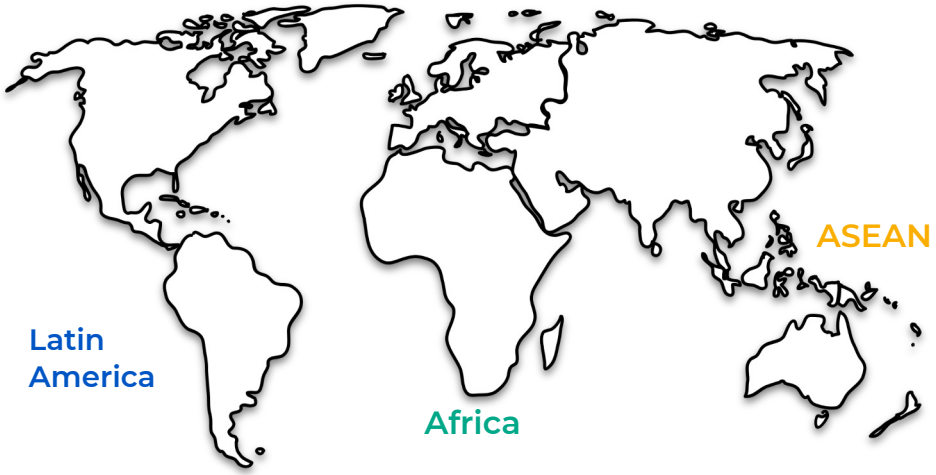
一些新兴市场和发展经济国家已推出内燃机汽车淘汰日期，这促进了纯电动汽车的使用。然而，大多数 新兴 国家和发展中国家并没有这样做，包括大多数非洲、东欧、中/南亚和拉丁美洲，这些国家占全球道路车辆市场的 16%。就 燃油车 淘汰日期的实施而言，东盟是最进步的。



Source: ICCT Briefing Paper

其他地区 | 新兴国家和发展中国家关键材料政策

新兴国家和发展中国家正在制定政策，以战略性地利用其作为全球电池矿物供应商的地位



非洲： 非洲开发银行集团提出了制定非洲绿色矿产战略的文件。该文件概述了如何利用绿色转型和非洲丰富的矿产资源来实现工业化和经济多元化。完整的非洲绿色矿产战略即将出台。

东盟： 东盟-IGF矿产合作：对东盟关键矿产供应链的范围界定研究评估了东盟如何利用和扩大其矿产和工业价值链，而不成为“其他地方发生的能源和数字转型的牺牲区”。

拉美： 拉丁美洲和加勒比经济委员会发布了一份报告，评估了拉丁美洲战略性开发其丰富的锂储量以促进经济增长的机会以及与之相关的挑战。

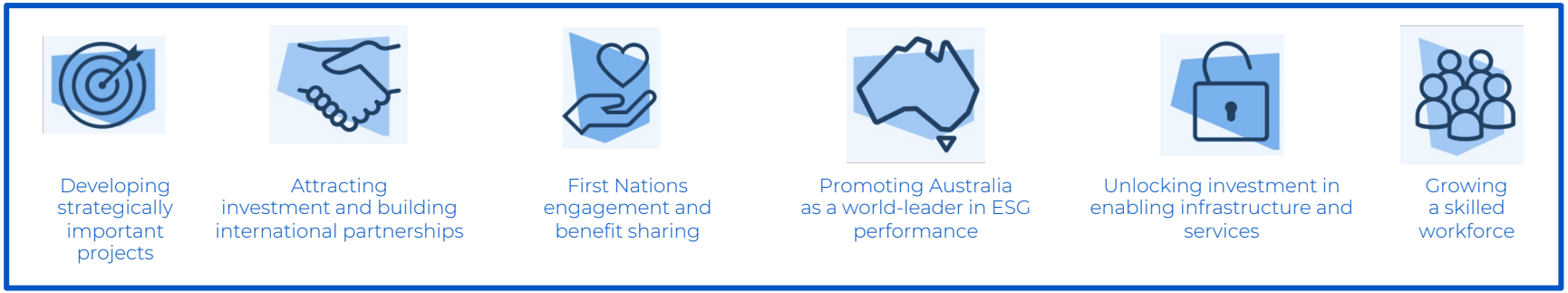
Source: African Development Bank Group; ASEAN-IGF Minerals Cooperation; Economic Commission for Latin America and the Caribbean

VF | VOLTA FOUNDATION

关注关键材料的可持续供应

澳大利亚电池政策的核心是为电池供应链中关键矿物的开采做出全球贡献，并重点强调积极的环境、社会和治理因素。该战略通过国家重建基金和北澳大利亚基础设施基金获得了数十亿澳元的支持。

澳大利亚发布了关键矿产战略，重点关注 6 个关键领域：



同样在 2023 年：

- 更新了关键矿物清单，并创建了战略矿物清单，其中包括与电池相关的矿物，如镍、铜、氟、磷和铝。
- 就制定国家电池战略举行了磋商。

澳大利亚制造电池计划提案也已发布，主要包括两个方面：1) 电池区股权投资和 2) 支持澳大利亚发展中心，耗资 1.23 亿澳元。

Source: Australian Battery Policy Explainer; Critical Mineral Strategy; Critical Mineral List; Critical Mineral List Update 23; National Battery Strategy Consultation; Australian Made Battery Plan

2023-2024 电池行业年度报告

VF | VOLTA FOUNDATION



主要作者 | 排名不分前后



Linda Jing
Volta Foundation



Yen T. Yeh
Volta Foundation



Aubert Demaray
SpectraPower



Jeffrey Bell
Lyten



Michael Liu
Sila



Sam Adham
CRU



Aaron Wade
CRU



Jennifer Channell
Anaphite



Alex Cipolla
Anxer



Charlie Parker
Ratel Consulting



Nika Ptushkina
PDF Solutions



Sriram Bharath
UC Berkeley



Dhevathi Kannan
UL Research



Mouda Abusukheila
Sylvatex, Inc.



Wendy Papakostandini
Anzu Partners



Andrew Weng
University of Michigan



Darren Tan
UNIGRID



Pooja Vadhva
Rimac Energy



Katherine He
TDK Ventures



Rohit Kumar
Standard Chartered Bank



Jhalak Sharma
Cognizant



Nanette Jarenwattananon
Lucid Motors



Eric Zheng
Rivian



Kent Griffith
UC San Diego



Sneha Solanki
Liminal



Lara Dienemann
Exponent

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.

翻译团队

| 排名不分前后



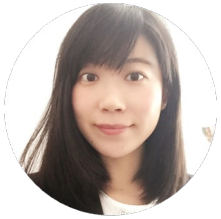
郑永为
Volta Foundation
新能源情报局



尚谷楠
Wood Mackenzie



孟星华
常州市电池技术协会



梁梦蕾
WSFS Bank



陈鹏
Beckhoff Automation
USA



胡小毛
特隆美储能



David G. Pan
Pegasus Enterprise



李新
Beckhoff自动化



高可心



付多
Rystad Energy睿咨得
能源咨询



王淑慧
联泓（江苏）新材料
研究院有限公司



童谣
深职大-菲尼
基 SWCNT



王全
长江联合金融租
赁有限公司



Weiwei Zong
Break Through Tech



王娟
北京工业大学



张秩燕

VF | VOLTA FOUNDATION

参与编写

Thank you to our Contributors for their input and their subject matter expertise.

Authors

Industry

Notable Events
Eric Zheng, Rivian
Mouda Abu-Sukheila, Sylvatex
Value Chain & Finance
Katherine He, TDK Ventures
Sam Adham, CRU
Costs
Sam Adham, CRU
Aaron Wade, CRU
Cell & Pack
Charlie Parker, Ratel Consulting
Mouda Abu-Sukheila, Sylvatex
Nika Ptushkina, PDF Solutions
Applications
Michael Liu, Sila Nanotechnologies
Sriram Bharath, UC Berkeley
Sam Adham, CRU
Pooja Vadhva, Rimac Energy
Cell Chemistry
Aubert Demaray, SpectraPower
Jeffrey Bell, Lyten, Battery Talk
Alex Cipolla, Anxer
Darren Tan, UNIGRID
Raw Materials
Sam Adham, CRU
Aaron Wade, CRU
Aubert Demaray, SpectraPower, Battery Talk
Jeffrey Bell, Lyten, Battery Talk
Recycling
Rohit Kumar, Standard Chartered
Jhalak Sharma, Business Consulting
Software
Sneha Solanki, Liminal

Academia

Dhevathi Kannan, UL Research Institute
Lara Dienemann, Exponent
Nanette Jarenwattananon, Lucid Motors
Kent Griffith, UCSD

Talent

Andrew Weng, Volta Foundation
Wendy Papakostandini, Anzu Partners

Policy

Jennifer Channell, Anaphite Ltd.
Alex Cipolla, Anxer, Volta Foundation

Predictions

Yen T. Yeh, Volta Foundation

Contributors

Industry

Adrian Yao, Stanford
Ahmed Chahbaz, RWTH Aachen University
Alex Woodrow, Knibb Gormezano (KGP)
Arthur Claire, Sinovoltaics
Chirag Bansal, Log 9 Materials
Crystal Jain, Form Energy
Darren H. S. Tan, UNIGRID Battery
Digital Comm Team (SANG BOK LEE), LG Energy Solution
Erika Guerrero, Electric Goddess
Faith Kileo, WAGA Tanzania
Gayatri Dadheech, Exide Energy
Georg Angenendt, ACCURE
Gibson Kawago, WAGA Tanzania
Hubert Biteau, Code Red Consultants
Jason You, CATL
Jon Fold von Bülow, Morrow Batteries
Luke Workman, Electric Goddess
Matthew Chistolini, Mizuho
Matthias Simolka, TWAICE
Nicholas Yiu, Intercalation, Voltaiq
Piotr Grudzień, Bax & Company
Pranav Nagaveykar, FEV Group
Raul Arredondo, Defining Humanity
Sam Adham, CRU
Saheem Absar, ADVANO
Shashank Sripad, And Battery Aero
Shiying Wang, Cornell
Shreyas Seethapathy, Ather Energy
Siddharth Kurwa, Natron Energy
Solid State Battery
Teng Zhang, Breathe Battery Technologies
Yixuan Li, UCSD
Yan Zhao, Breathe Battery Technologies
Vincent Pluvinage, OneD Battery Sciences

Academia

Andrew Wang, Intercalation, Columbia
Chirag Bansal, Log 9 Materials
Cassius Clark, Nyobolt
Fan Yu, McGill University, McISCE
Gayatri Dadheech, Exide Energy
Marco Siniscalchi
Mahmoud Reda, University of Vienna
Omar Alshangiti, University of Oxford
Siddharth Tiwari, Panasonic
Tianyu Zhu, Clemson University
Vincent Wu, UC Santa Barbara
Zhaoyi Xu, Pull Data

Talent

Jennifer Channell, Anaphite Ltd.
Omar Ahmed, University of Michigan

Policy

Bindu Madhavi, Customized Energy Solutions
Debmalya Sen, World Economic Forum
Gayatri Dadheech, Exide Energy
Piotr Grudzień, Bax & Company
Rahul Walawalkar, Customized Energy Solutions
Raul Arredondo, Defining Humanity
Sam Adham, CRU
Shreyas Seethapathy, Ather Energy

Supporters

Tim Suen, Form Energy
Gabe Hege, NVIDIA
Paul Sinclair, Volta Foundation
Myra S. Dyer, Volta Foundation

Design

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.

顾问委员会

Thank you to our Advisors for providing feedback to this report.



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



Venkat Viswanathan
Professor, University of Michigan, Co-Founder, Aionics, Chement, & Battery Aero



Anna Stefanopoulou
Professor,
University of Michigan

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.

引用要求

“The Battery Report 2023.” *Volta Foundation*, X January 2024. Web. [Date accessed].

请根据以上格式恰当引用本报告.

反馈

关于报告的任何问题或建议，请联系 Contact@NernstEnerZ.com 。

授权许可

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

赞助

如对赞助本报告或相关活动感兴趣，请联系 sponsorship@volta.foundation 或 Contact@NernstEnerZ.com

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.

2023-2024 电池行业年度报告

VF | VOLTA FOUNDATION

