

动力电池行业研究买入（维持评级）

行业专题研究报告(深度)

本报告的主要看点：

1. 从技术、生产、经济性等角度全方位对比正极补锂与负极补锂并阐述各个工艺技术难点与各家公司的解决方法，强调铁酸锂为当前经济性最优选择。
2. 从验证、工艺、经济性壁垒论述补锂剂先发优势企业享受 2-3 年超额收益。
3. 从经济性及生产的角度阐明补锂剂行业竞争格局以及未来发展趋势。

预锂化：正极易于负极，铁酸锂目前为经济性最优选择

行业观点

- 我们通过多重维度系统分析补锂剂整个产业链演化，得出主要结论如下：
 1. 正极预锂化能否取代负极预锂化或二者能否共存取决于 1) 负极预锂化能否实现技术突破 2) 经济性。
 2. 正极补锂剂铁酸锂及镍酸锂已实现工业化，随着高镍三元正极搭配硅碳负极放量，补锂剂将迎来放量契机。
 3. 正极补锂剂先发头部公司竞争能力得到强化有望获得超额收益，其核心来自于进入壁垒。
- 经济性与工业化：正极补锂剂铁酸锂最优，负极需观察产业链变化。由于正极添加剂可在正极浆料匀浆过程中添加，无需额外生产工艺改进，且铁酸锂及镍酸锂满足完美正极补锂材料 4 点要求，虽其生产仍存在难点，但龙头企业已解决，因此最先实现工业化生产，根据我们计算，铁酸锂较镍酸锂经济性更优，并且预锂化与锂价高度相关，未来伴随锂价格下降，降本空间较大；负极化学法或为实现工业化最有希望和现实意义的方法，虽存在反应不可控、可能形成枝晶、化学不稳定以及使用条件苛刻等问题，但目前已有专利已解决；电化学法预锂化后需要频繁电池拆卸及重新组装，工业化难度较大。
- 正极补锂剂如何迭代：镍酸锂迈出第一步，更经济的铁酸锂为第二代。对于市场：为追求高能量密度，硅基负极及高端动力/储能电池对补锂的需求都将推动补锂剂的渗透率快速提升；对于产品：镍酸锂已实现量产，经济性更好的铁酸锂放量在即；对于行业：高镍三元配硅碳负极、高端储能及动力电池放量在即，补锂剂迎来放量契机。
- 进入壁垒：正极补锂剂壁垒主要体现在验证壁垒、工艺壁垒、与经济性壁垒。验证壁垒：根据产业链通常情况，预锂化验证周期短则半年长则 1-1.5 年，先通过测试且量产的企业抢占市场，巩固其拥有的生产专利先发优势，客户转换成本高，从而拥有较强护城河。工艺壁垒：各企业通过其专利解决生产难点及问题形成工艺壁垒，工艺摸索通常需 1-1.5 年时间。如制备铁酸锂，工艺 know-how 主要在于冰浴条件、搅拌速度以及加热处理等方面。经济性壁垒：不同预锂化方式的经济性差别较大，产品差异化程度较高，如正极补锂剂铁酸锂较镍酸锂经济性更好。对于企业来讲，生产出经济性更好的预锂剂将构筑较高经济性壁垒。
- 未来格局：补锂剂：两超多强，研一已量产，德方预计于 22Q4-23Q1 量产，先发企业将享受 2-3 年超额收益。负极补锂：取决于电池厂研发能力，目前如比亚迪、亿纬锂能、国轩高科等已布局大量补锂相关专利。

投资建议

- 随着硅基负极逐渐放量及高端动力/储能电池补锂需求，预锂化或将成为锂电池未来一大发展方向。随着预锂化行业在 21、22 年迅猛发展，产业商业化&规模化在即，我们建议关注已在该行业完成突破拥有先发优势的企业。重点推荐：德方纳米、深圳研一；建议关注：比亚迪、亿纬锂能、国轩高科等。

风险提示

- 新能源汽车销量不及预期；硅基负极放量不及预期；产能建设不及预期。

陈传红 分析师 SAC 执业编号：S1130522030001
chenchuanhong@gjzq.com.cn

内容目录

一、为什么要发展预锂化：高端动力电池放量在即	5
1.1 为何补锂：锂电池首次充放电活性锂损失导致 ICE 下降	5
1.2 哪些电池需要补锂：硅基负极或有高达 30%不可逆锂损耗.....	5
1.3 需要考虑的因素：程度、分解产物、时间、兼容性以及价格.....	6
二、什么是可工业化且最经济的补锂方式：正极补锂剂铁酸锂，负极需观察成本变化.....	7
2.1 制备端：正极预锂化在制备端较负极预锂化更容易	7
2.1.1 负极预锂化：化学法是实现负极预锂化工业化最有希望和现实意义的方法.....	8
2.1.2 正极预锂化：铁酸锂及镍酸锂实现工业化生产，寻找具有高过锂化容量的正极材料较难.....	10
2.1.3 各企业专利：电池厂主做负极预锂化，正极厂主做正极预锂化.....	17
2.2 经济性方面：正极添加剂补锂>负极预锂化	18
2.2.1 正极补锂经济性：铁酸锂>镍酸锂	18
2.2.2 负极补锂经济性：锂箔补锂>锂粉补锂	20
2.2.3 投资强度：年产 1 万吨铁酸锂，投资约为 10-14 亿元.....	21
三、补锂剂未来在哪：镍酸锂迈出第一步，更经济的铁酸锂为第二代，负极需观察产业链成本变化.....	21
3.1 对于市场：高端电池放量后，渗透率将快速提升.....	21
3.2 对于行业：高端动力电池放量在即，补锂剂迎来放量契机.....	22
3.3 对于公司：存在验证壁垒、经济性壁垒以及工艺壁垒.....	22
四、谁能生产出好的补锂剂：两超多强，研一已量产，德方预计于 4Q22-1Q23 量产	23
4.1 终端：新能源车开始搭载“掺硅补锂”动力电池.....	24
4.2 车厂&电池厂：特斯拉、比亚迪	24
4.2.1 特斯拉：预锂化在应用以及技术层面都有助推力.....	24
4.2.2 比亚迪：超强技术储备，补锂相关专利 20 余项	24
4.3.3 其他：国轩高科等	25
4.3 正极厂：德方纳米、深圳研一.....	25
4.3.1 德方纳米：处产能建设阶段，即将投产	25
4.3.2 深圳研一：镍酸锂、铁酸锂已成功量产.....	27
4.3.3 其他：杉杉能源等	28
五、投资建议	28
六、风险提示	28

图表目录

图表 1: 锂离子电池负极预锂化作用示意图.....	5
图表 2: 锂电池负极材料面临的问题.....	6
图表 3: 电池负极锂枝晶 SEM 图像.....	6
图表 4: 预锂化需要考虑的因素.....	7
图表 5: 补锂技术路线制备端对比.....	7
图表 6: 负极预锂化存在的问题及解决.....	8
图表 7: 金属 Li 箔直接与电极材料接触示意图.....	9
图表 8: 原位预锂化与非原位预锂化区别.....	10
图表 9: 电化学预锂化示意图.....	10
图表 10: 微波化学法制备过嵌锂正极材料.....	11
图表 11: 4 类典型的可用作牺牲锂盐的分子式及其理论比容量.....	12
图表 12: Li/Li ₂ NiO ₂ 半电池的恒电流充放电电压曲线.....	12
图表 13: 采用铁酸锂 (Li ₅ FeO ₄) 的预掺杂方法示意图.....	13
图表 14: Li/ Li ₅ FeO ₄ (铁酸锂) 半电池在 2.5-4.7V 电压范围内的首次充放电曲线.....	13
图表 15: 深圳研一镍酸锂与铁酸锂产品性能对比.....	13
图表 16: 掺杂/不掺杂铁酸锂对比.....	13
图表 17: 不同预掺杂方法对比.....	14
图表 18: 复合锂源镍酸锂纯度提高、残碱含量明显降低.....	15
图表 19: 镍酸锂/铁酸锂制备流程图.....	15
图表 20: 残碱问题的解决方式.....	16
图表 21: 在电解液中加添加剂残碱量明显降低.....	16
图表 22: 增加水洗工艺明显降低残碱量.....	16
图表 23: 包覆后的镍酸锂在高温储存中更稳定, 抑制了电池内阻偏大和胀气.....	17
图表 24: 一种直观测量补锂剂最佳添加量的方法.....	17
图表 25: 部分企业补锂相关专利布局.....	18
图表 26: 铁锂电池 (上表) 及三元 811 电池 (下表) 成本变动敏感性分析.....	19
图表 27: 铁锂电池成本拆分.....	19
图表 28: 三元 811 电池成本拆分.....	20
图表 29: 制备 1 吨铁酸锂/镍酸锂所需原料用量.....	20
图表 30: 固相法制备铁酸锂 Li ₅ FeO ₄	21
图表 31: 德方纳米补锂剂投资项目.....	21
图表 32: 补锂剂全球市场空间测算.....	22
图表 33: 2021-2025 年硅基负极需求量预测 (万吨).....	22
图表 34: 存在验证壁垒、经济性壁垒以及工艺壁垒.....	23
图表 35: 通式化合物专利定义.....	23
图表 36: 两超多强格局.....	24

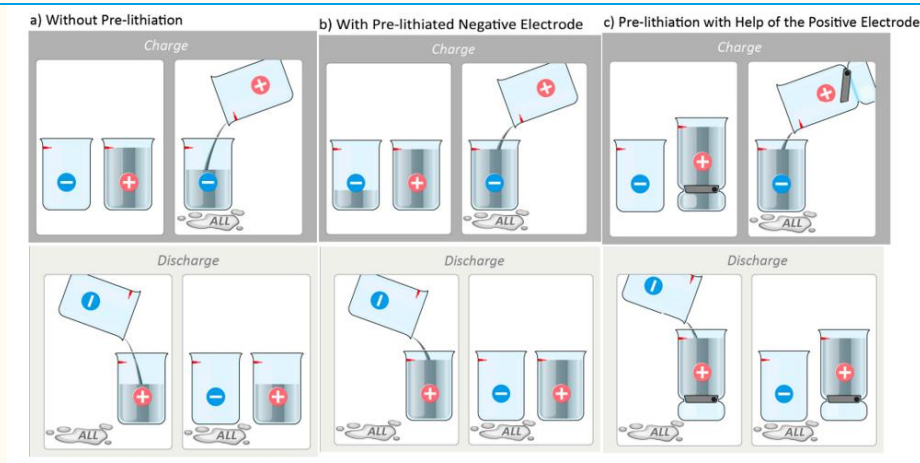
图表 37: 湿/干电极技术在预锂化方面对比.....	24
图表 38: 部分比亚迪补锂专利.....	25
图表 39: 部分厂商其补锂剂相关专利.....	25
图表 40: 补锂剂相关研发项目内容（2021）.....	26
图表 41: 研发人员学历情况（2021）.....	26
图表 42: 2022 年各公司专利申请数量（项）.....	26
图表 43: 德方纳米补锂剂投资项目.....	26
图表 44: 公司铁酸锂 SEM 图（该产品纯度 98%）.....	27
图表 45: 研发人员学历情况（2022）.....	27
图表 46: 2019-2022 公司专利申请数量情况（项）.....	27
图表 47: 公司 LNO 与 LFO 产品首次充放电曲线.....	28
图表 48: 部分厂商其补锂剂相关专利.....	28

一、为什么要发展预锂化：高端动力电池放量在即

1.1 为何补锂：锂电池首次充放电活性锂损失导致 ICE 下降

- 锂离子电池的首次充放电阶段，在负极材料的界面会形成主要成分为锂盐的固态电解质界面（Solid Electrolyte Interface，简称 SEI）。形成 SEI 膜是一个不可逆的过程，活性锂永久损失造成电首次循环的库伦效率（ICE）降低。因此，在锂离子电池工作之前，向电芯中掺入牺牲性添加剂等预锂化（也就是“补锂”）技术路线应运而生。

图表 1：锂离子电池负极预锂化作用示意图

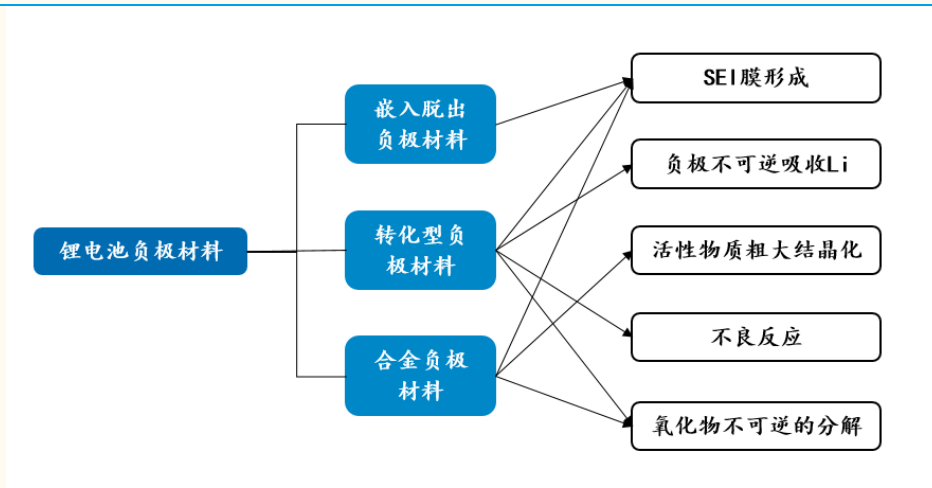


来源：《Pre-Lithiation Strategies for Rechargeable Energy Storage Technologies: Concepts, Promises and Challenges》，国金证券研究所

1.2 哪些电池需要补锂：硅基负极或有高达 30%不可逆锂损耗

- 绝大部分锂离子电池都面临 SEI 膜形成的问题，但程度不同。锂电池负极材料种类主要包括三类：嵌入脱出负极材料如商用石墨等、转化型负极材料、合金负极材料；而这三类负极材料都会面临 SEI 膜形成的问题，活性锂损失导致 ICE 下降。
- 目前商用石墨为主流负极材料，但其比容量已接近极限。根据水桶的短板效应，过去提升锂电池能量密度的研究方向主要在于正极材料，但正极材料尤其是高镍三元能量密度大幅提升后，重点转向了负极材料；目前石墨负极比容量已接近极限，比容量为石墨 10 倍的硅材料被认为是理想替代品。
- 高端动力电池尤其是以硅基作为负极的动力电池，补锂为必然。高能量密度的高镍三元正极配硅碳负极的高端动力电池放量在即，但根据化学试剂定制合成网数据，对于石墨负极：或有 7-20%的活性锂被囚禁在石墨负极表面，而对于硅基负极：或有高达 30%的活性锂呆滞硅中，因此补锂成为必然。

图表 2：锂电池负极材料面临的问题



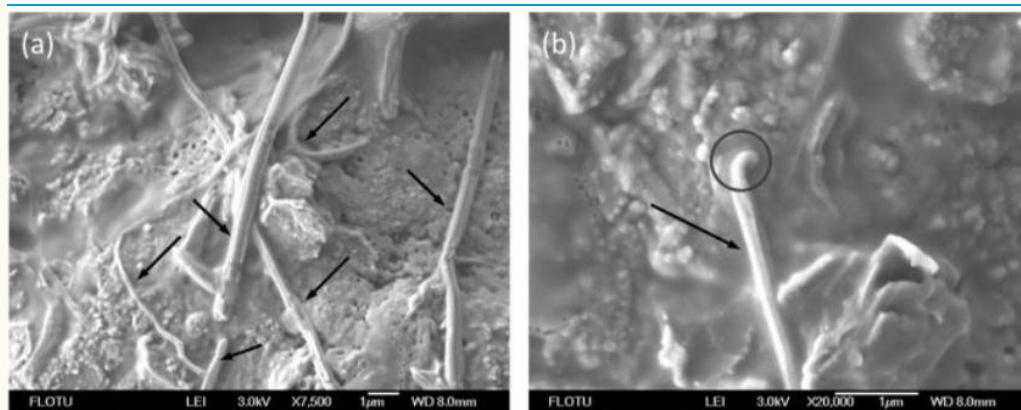
来源：《Review on comprehending and enhancing the initial Coulombic efficiency of anode materials in lithium-ion/sodium-ion batteries》，国金证券研究所

1.3 需要考虑的因素：程度、分解产物、时间、兼容性以及价格

■ 为了保证补锂安全性以及经济性等，预锂化主要需要考虑以下五方面因素：

- **预锂化程度：**不充分的锂化不能充分提高 ICE，而过度锂化会造成 Li 枝晶，即会在负极表面结晶形成树枝状金属锂，“锂枝晶”生长到一定程度便会刺破隔膜，造成锂电池内部短路，影响安全，因此预锂化程度需与正极材料匹配。

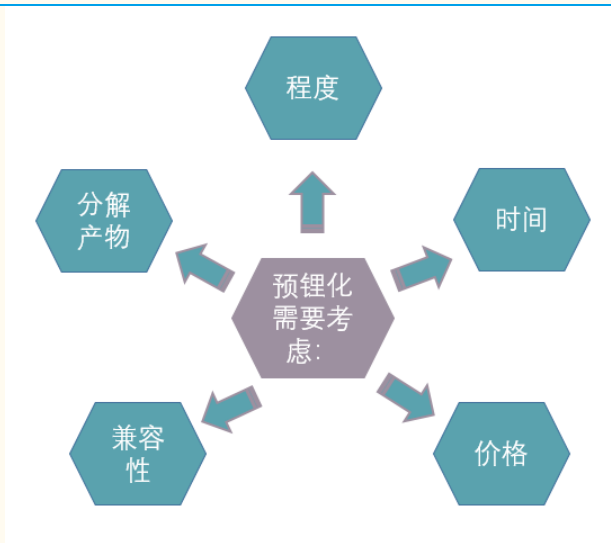
图表 3：电池负极锂枝晶 SEM 图像



来源：《Lithium-ion battery fast charging: A review》，国金证券研究所

- **预锂化试剂的分解产物：**是否存在除了 Li 以外其他非活性残留物质。例如，若在脱锂时添加剂没有完全分解，则在正极材料中就可能会有非活性残留物（质量相同时，容量等性能取决于活性物质占比），增加了正极重量，影响电池的比能量密度。
- **预锂化时间：**时间太长会增加生产成本。
- **预锂化工艺与现有电池生产工艺的兼容性：**生产变动成本。与现有电池制备工艺兼容，若与正极材料、粘结剂以及生产环境等相兼容，则会大幅降低成产变动成本。
- **锂化试剂的价格：**原材料成本，例如稳定性金属锂粉末（SLMP）价格高。

图表 4：预锂化需要考虑的因素



来源：国金证券研究所

二、什么是可工业化且最经济的补锂方式：正极补锂剂铁酸锂，负极需观察成本变化

2.1 制备端：正极预锂化在制备端较负极预锂化更容易

- **预补锂技术主要分为两种：正极预锂化和负极预锂化。**负极预锂化即在负极中引入活性锂，用于补偿其因 SEI 生长引起的容量损失；主要有化学法、电化学法等预锂化技术路线。**正极预锂化**是在正极预先加入活性锂可以向负极释放锂离子，补充首次充放电过程中的不可逆容量，主要有添加剂、过度锂化正极材料等方法。
- **生产工艺的差别：正极制备较负极更易**
 - **负极预锂化：**与 Li 直接接触与现有的电池产线不兼容且改造成本较高；**添加剂**部分活性锂化试剂能够在潮湿环境下使用，与现有生产工艺高度兼容；**电化学法**负极预锂化后需要频繁电池拆卸、重新组装，工业化生产较难。
 - **正极预锂化：****添加剂**操作简便、成本较低且可以直接在正极浆料的匀浆过程中添加，无需额外工艺改进；**过嵌锂正极材料**需要额外的生产步骤来制备。

图表 5：补锂技术路线制备端对比

分类	方法		原理	优势	劣势	生产工艺
负极预锂化	电化学法		将 Li 和负极材料组对成半电池，通过小电流充放电实现对负极材料的嵌锂	锂化程度可控	1. 电池需要再组装 2. 电解液溶剂的挥发 3. Li 箔高反应活性	繁琐的电池拆卸、重新组装
	化学法	锂箔	金属 Li 与负极材料直接接触，发生化学反应，对其进行还原和补锂	简单	1. 锂化不易控制 2. 电池组装前需要移除锂箔 3. 预锂化所需锂量很少，要求锂箔很薄（几微米），与负极材料结合易破	与现有的电池产线不兼容
		稳态锂粉	金属 Li 与负极材料直接接触，发生化学反应，对其进行还原和补锂	Li 粉无需取出	1. 密度太轻，电极中分散不佳 2. 粉末状，潮湿环境易燃烧甚至爆炸，安全性较差	与现有的电池产线不兼容
		添加剂	添加锂化的负极活性材料	无非活性成分（不会增	与极性溶剂不兼容	部分活性锂化试剂能够在潮湿环境下使

			加电池重量)		用, 与现有生产工艺兼容
正极预锂化	添加剂	在正极的工作电位区间不可逆脱锂	与电池生产兼容	化学稳定性差	可以直接在正极浆料的匀浆过程中添加, 电池厂工艺改进较少
	过嵌锂正极材料	过嵌锂的正极材料首周在低电势区间不可逆脱锂, 随后在标准电势区间循环	无非活性成分	并非所有过度锂化的正极材料都适用	制备过嵌锂正极材料增加生产步骤

来源: 锂电派, 国金证券研究所

2.1.1 负极预锂化: 化学法是实现负极预锂化工业化最有希望和现实意义的方法

- 就目前负极预锂化存在的问题及业内各企业解决办法, 化学法或是实现负极预锂化工业化最有希望和现实意义的方法。

图表 6: 负极预锂化存在的问题及解决

方法	问题	解决
金属锂箔	缺乏锂化速率与锂化程度的控制	亿纬锂能专利 CN113707954A (2021) 通过在负极极片表面构建一层带有缺陷的固态电解质层, 既不影响锂离子迁移又可降低反应速率
	死锂甚至可能形成枝晶问题	比亚迪专利 CN112993251A (2021) 提供包括金属锂颗粒和导电材料的补锂材料, 可以透过导电材料实现锂金属颗粒与负极材料的电子传导, 增加电子传导的通道
	金属锂在空气中高活性	-
金属锂粉	需要在干燥条件下使用	比亚迪专利 CN114122368A (2020) 通过核壳结构: 有机物的包覆有效的阻止锂在极片的制备过程中与空气的反应
	死锂甚至可能形成枝晶问题	比亚迪专利 CN112993251A (2021) 提供包括金属锂颗粒和导电材料的补锂材料, 可以透过导电材料实现锂金属颗粒与负极材料的电子传导, 增加电子传导的通道
电化学预锂化	难精确补充	比亚迪专利 CN216054872U 提出一种仪器设备组合联用的方法对补锂过程进行管控
	繁琐的电池拆卸、重新组装	非原位锂化

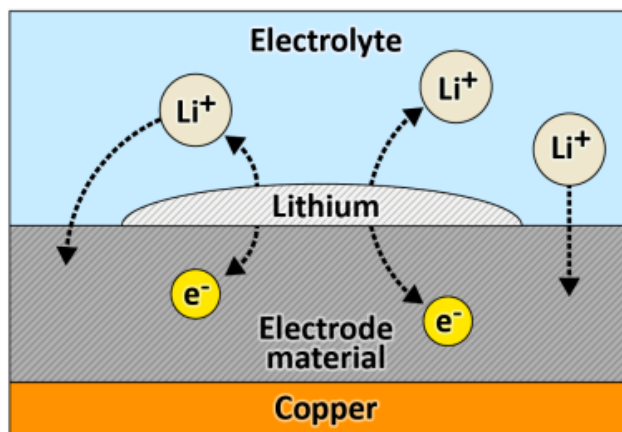
来源: 各公司专利说明书, 国金证券研究所

- 方法一: 化学预锂化, 包括与金属 Li 直接接触及添加剂法。
- 1. 与金属 Li 直接接触: 主要包括金属锂箔、锂粉补锂。
 - 1) 锂箔: 在电解液存在的情况下将金属 Li 箔与电极材料直接接触, 由于金属 Li 和电极材料之间存在电势差, 电子会流向电极材料, 电解液中 Li^+ 会进入电极材料得到电子。该方法虽然简便快捷, 但是缺乏对锂化速率和锂化程度的控制, 并且受限于电解液的挥发和金属 Li 在空气中的高活性。
 - 解决: 锂化速率及程度不易控制的问题。亿纬锂能专利 CN113707954A (2021) 通过在负极极片表面构建一层带有缺陷的固态电解质层 (包括锂磷氧氢 LiPON 电解质层、聚合物电解质层或氮化锂 Li_3N 电解质层中的至少一种), 即极片表面的电解质层不完整, 带有大量的孔隙, 既不影响锂离子迁移又可降低反应速率, 并且该固态电解质层还可以在在一定程度上起到保护预锂化负极极片的作用。
 - 2) 锂粉: 稳定化金属锂粉末 (SLMP, 表面包覆 2-5% 的碳酸锂 Li_2CO_3) 表面钝化膜的存在使之稳定方便, 但其需要在干燥空气条件下使用, 且成本也较高。
 - 解决: 需在干燥空气中使用的问题。比亚迪专利 CN114122368A (2020) 提出一种具有核壳结构的复合材料, 所述复合材料包括金属锂颗粒和包裹金属锂颗粒的有机物 (有机酯、酸酐或醚类), 1. 该有机物在 80°C 以下为固态, 且当补锂材料应用于锂电池时, 其能溶解于电解液; 2. 有机物的包覆有效阻止了锂在极片制备过程中与空气的反应,

因此降低了对工艺水平和环境条件的要求，成本降低，安全隐患也减少。

- **与 Li 直接接触的其他问题（死锂）：**将补锂材料压按或涂覆于负极材料表面，当锂金属与负极如石墨不接触或最接近负极材料的补锂层消耗掉以后，容易形成死锂大幅降低补锂效率，还有可能形成枝晶，造成安全隐患。
- **解决：补锂效率低、枝晶问题。**比亚迪专利 CN112993251A（2021）提供一种补锂材料，该补锂材料包括金属锂颗粒和导电材料（碳材料，选自碳纳米管、碳纤维和石墨烯中的至少一种），1.其可以透过导电材料实现锂金属颗粒与负极材料的电子传导，增加电子传导的通道，2.同时有助于 Li^+ 的传输，实现 Li^+ 的快速嵌入，使补锂效率显著提升，从而有效抑制死锂的形成，避免形成枝晶刺穿隔膜而造成安全隐患。
- 如下图，锂箔与负极材料在电解液存在情况下直接接触，由于金属 Li 和负极材料之间存在电势差，电子流向负极材料，为平衡电荷，电解液中 Li^+ 会进入到电极得电子，从而预嵌锂；

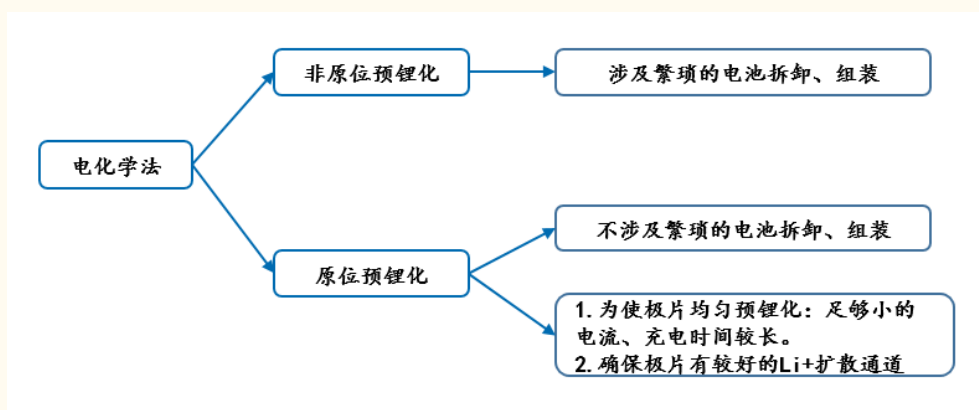
图表 7：金属 Li 箔直接与电极材料接触示意图



来源：《Pre-Lithiation Strategies for Rechargeable Energy Storage Technologies: Concepts, Promises and Challenges》，国金证券研究所

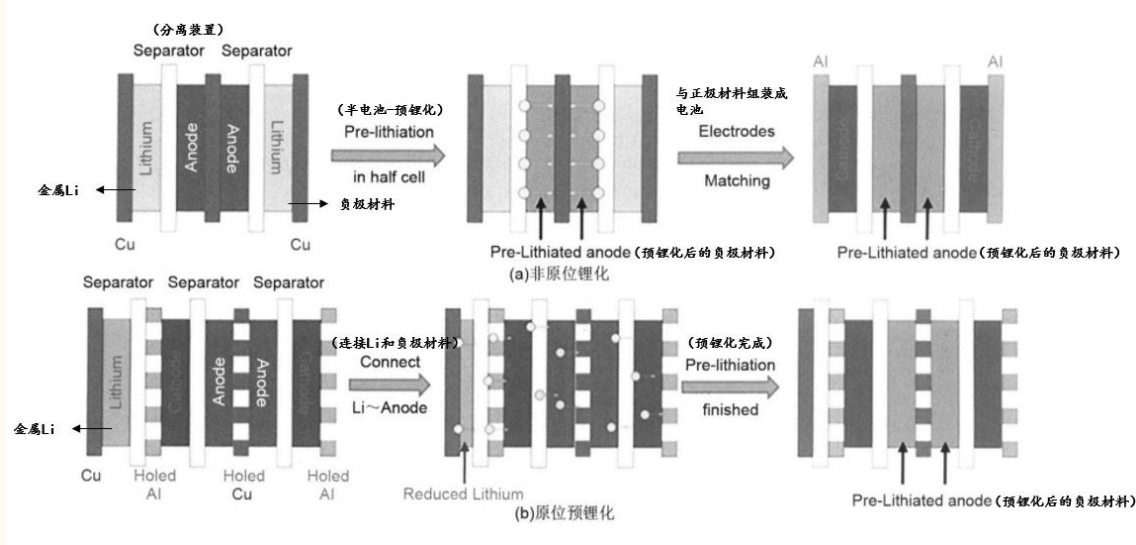
- **2.添加剂：**选用合适的化学试剂并优化反应条件能够实现对负极材料的直接高效预锂化，如合金材料 Li_{22}Z_5 （ $\text{Z}=\text{Si}$ 、 Ge 、 Sn ，etc），但反应活性较高，制备和添加都需要在氩气保护的氛围下进行，且与极性溶剂不兼容。
- **方法二：电化学预锂化，包括原位预锂化与非原位预锂化。**
- **负极材料与 Li 片组装半电池。**锂化程度可控，但存在 1.首次充放电反应复杂，涉及电解液复杂的化学变化，很难做到精确的补充；2.预锂化负极在空气中不稳定，化学反应活性高，需要在惰性气体条件下进行后续电池制造；3.繁琐的电池拆卸、重新组装等问题。
- **解决：难精确补充问题。**比亚迪专利 CN216054872U（2021），通过提出一种仪器设备组合联用的方法，基于在线监测系统、气相色谱仪、气相色谱/质谱联用仪等仪器，在电化学补锂过程中监测及实时调控补锂过程中的电解液成分的系统，从而实现对电化学补锂过程进行管控。
- 如下图：**a 为非原位锂化：**将负极极片与金属锂组装成半电池，经过充放电循环后使负极达到设定的预锂化水平，然后与正极极片组装成电池；**b 为原位锂化：**为简化拆解、重新组装电池的过程，该方法在电池组装过程中添加金属锂作为第三极，将负极与金属 Li 作为对电极进行放电，实现对负极原位补锂；但该工艺对电极结构设计要求较高，且要实现所有极片均匀预锂化需要使用足够小的电流经过较长时间完成，同时还要确保打孔的正极与负极极片具有较好的锂离子扩散通道。

图表 8：原位预锂化与非原位预锂化区别



来源：国金证券研究所

图表 9：电化学预锂化示意图



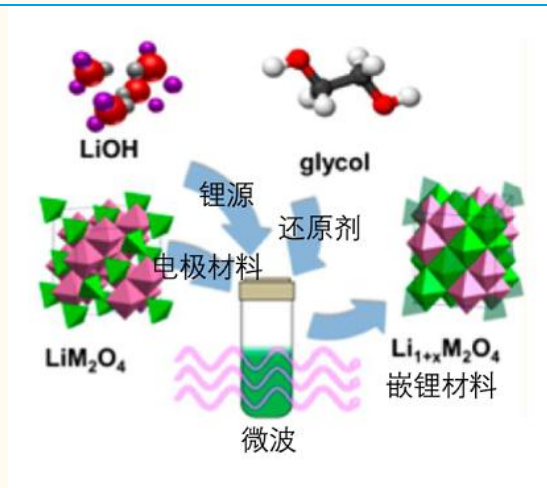
来源：《锂离子电池补锂技术》，国金证券研究所

注：该方法通过引入金属锂与负极组成对电极，控制电化学充放电深度即可完成负极极片预锂化

2.1.2 正极预锂化：铁酸锂及镍酸锂实现工业化生产，寻找具有高过锂化容量的正极材料较难

- **方法一：过嵌锂的正极材料：**具有化学或电化学活性，并可以在第一次循环中进一步释放多余的锂，以转化或嵌入负极的形式补偿负极的活性锂损失。
- **优势：**过锂化正极材料在去锂化后，正极不会有非活性残留物，不会影响电池的比能量密度；
- **缺点：**并非所有过度锂化的正极材料都适用，并且寻找具有高过锂化容量的正极材料较难。

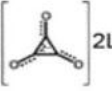
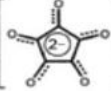
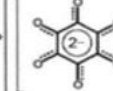
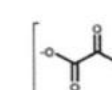
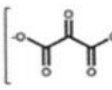
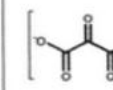
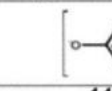
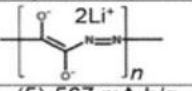
图表 10：微波化学法制备过嵌锂正极材料



来源：锂电派，国金证券研究所

- **方法二：添加剂（正极补锂材料）。**正极添加剂补锂是在正极合浆过程中添加少量高容量材料，在充电过程中， Li^+ 从高容量材料中脱出补充容量损失。
 - **优势：**添加剂可以直接在正极浆料的匀浆过程中添加，因此只需较少工艺改进，更适合现在的锂离子电池制造工艺；
 - **缺点：**如果在脱锂时添加剂没有完全分解，在正极材料中可能会有非活性残留物。
- **完美的正极补锂材料需要满足 4 点基本要求：**
 - 1)脱锂电位低于正极材料电压上限，嵌锂电位低于正极材料电压下限，即需要添加剂在电池工作电压内不可逆脱锂。
 - 2)补锂材料应具有高的比容量和体积能量密度以保证高效的预锂化。
 - 3)补锂材料应与现在通用的制作工艺和电池体系兼容，即需要补锂材料及其分解产物在传统电解液中是稳定的，不会引起锂离子电池的性能恶化。
 - 4)补锂材料具有良好的环境稳定性，即在空气或较干燥的环境下需保持稳定。
- **铁酸锂（ Li_5FeO_4 ）及镍酸锂（ Li_2NiO_2 ）满足完美正极补锂材料 4 点要求，但对于预锂化需考虑的 5 方面因素的预锂化程度及其分解产物方面仍存在些许问题。**添加剂主要分为三类：二元含锂化合物、三元含锂化合物以及牺牲性锂盐。
 - **二元含锂化合物：**如氮化锂（ Li_3N ）、硫化锂（ Li_2S ）等，理论比容量高，少量添加就可实现补锂效果，但是化学性质不稳定，硫化锂、氮化锂等还具有毒性，此外，脱锂产生的副产物如 N_2 、 O_2 等气体需要排出，否则会影响电池容量等性能。
 - **三元含锂化合物：**如镍酸锂（ Li_2NiO_2 ）、铁酸锂（ Li_5FeO_4 ）等，除铁酸锂（ Li_5FeO_4 ）（理论容量 870mAh/g）外，通常其容量低于二元含锂化合物，满足完美正极补锂材料 4 点要求。
 - **牺牲性锂盐：**虽氧化分解无残留，但预锂化过程会生成气体 N_2 、 CO_2 等，需要在气体完全释放后对电池进行密封，不利于工业生产。

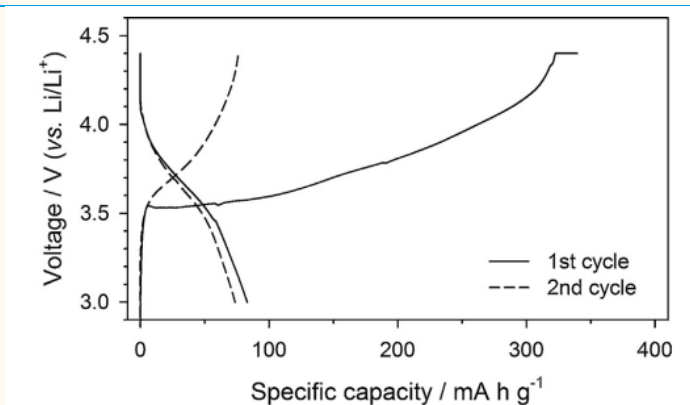
图表 11: 4 类典型的可用作牺牲锂盐的分子式及其理论比容量

(a) Family ↓	Representatives ↓ (代表物质)			
Azides (叠氮化物)	$[N \equiv N - N] Li^+$			
	(1) Specific capacity: 567 mA·h/g			
Oxocarbons (碳氧化合物)				
	570 mA·h/g	(2) 440 mA·h/g	360 mA·h/g	305 mA·h/g
Dicarboxylic acids (二羧酸)				
	(6) 545 mA·h/g	(3) 430 mA·h/g	(4) 351.8 mA·h/g	
Hydrazides (酰肼)				
	441 mA·h/g	(5) 567 mA·h/g		

来源:《锂离子电池补锂技术》, 国金证券研究所

- 镍酸锂 (Li_2NiO_2): 1.首次循环中, 电压范围 3.5-4.4V, 充放电容量分别为 340mAh/g、83mAh/g (库伦效率 CE=24%), 意味着 LNO 中有 76%不可逆的 Li^+ 可用于预锂化; 2.第二次循环充放电容量分别为 76mAh/g、74mAh/g (库伦效率 CE=97%), 在一定程度上允许可逆地嵌锂和脱锂, 因此, LNO 不仅可以作为简单的预锂剂, 还可以作为额外的活性材料。
- 但是镍酸锂在空气中不稳定, 会发生快速分解反应。

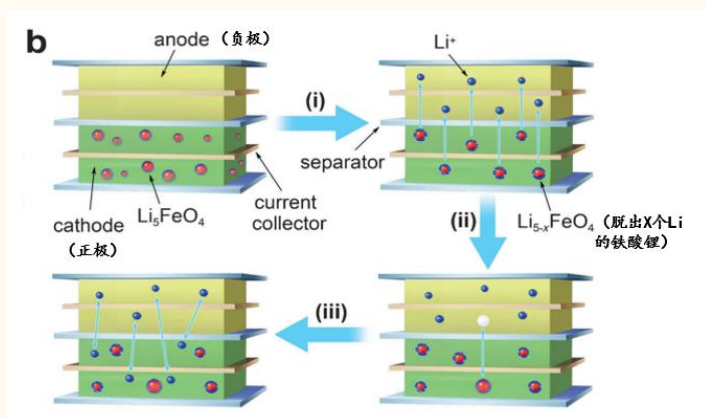
图表 12: Li/Li_2NiO_2 半电池的恒电流充放电电压曲线



来源:《 Li_2NiO_2 as a sacrificing positive additive for lithium-ion batteries》, 国金证券研究所

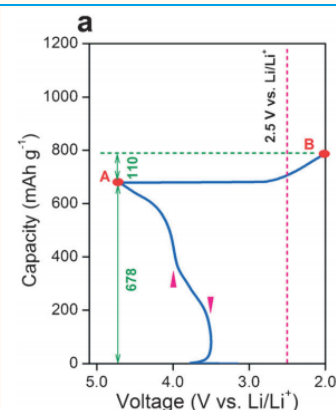
- 铁酸锂 (Li_5FeO_4): 1.首次循环中, 电压范围 2.5-4.7V, 充放电容量分别为 678mAh/g、110 mAh/g (库伦效率 CE=16%), 意味着 LFO 中有 84%的不可逆的 Li^+ 可用于预锂化, 对应 4 个 Li^+ 脱嵌, 提取 Li^+ 后引起了结构变形导致不可逆, 没有明显的副反应; 2.由于在 Li^+ 预掺杂的过程中, 只有一次充电到 4.7V 高电压, 此后都在低于 3.9V 的电压下工作, 脱锂后铁酸锂的结构为 $LiFeO_2$ 不会再参与电化学反应, 因此, 对于铁酸锂在循环过程中释放的 O_2 较少, 因而导致的安全问题不会很严重。

图表 13: 采用铁酸锂 (Li_5FeO_4) 的预掺杂方法示意图



来源:《Scalable Integration of Li_5FeO_4 towards Robust, High-Performance Lithium-Ion Hybrid Capacitors》, 国金证券研究所

图表 14: $\text{Li}/\text{Li}_5\text{FeO}_4$ (铁酸锂) 半电池在 2.5-4.7V 电压范围内的首次充放电曲线



来源:《Scalable Integration of Li_5FeO_4 towards Robust, High-Performance Lithium-Ion Hybrid Capacitors》, 国金证券研究所

- **铁酸锂 V.S 镍酸锂:** 根据深圳研一镍酸锂及铁酸锂产品参数对比, 其铁酸锂纯度、首充容量、补锂容量以及能量密度更高, 但同时残碱量较镍酸锂也更高。

图表 15: 深圳研一镍酸锂与铁酸锂产品性能对比

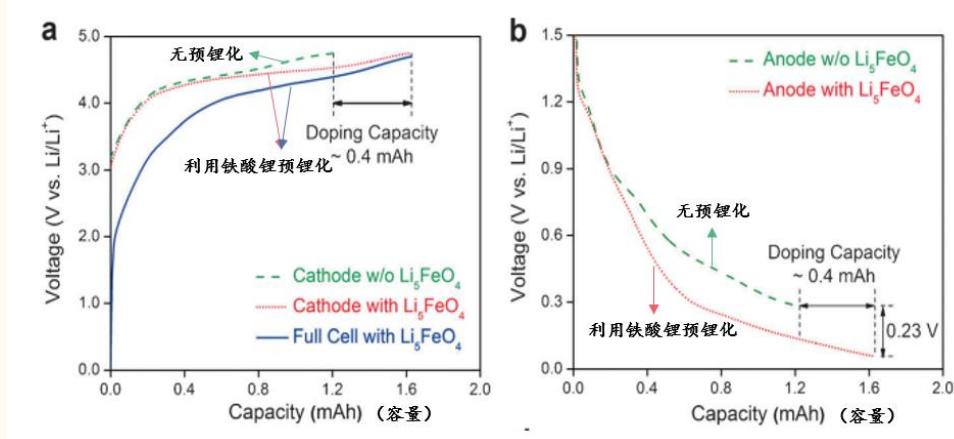
项目	镍酸锂 (LNO)	铁酸锂 (LFO)
化学式	Li_2NiO_2	Li_5FeO_4
纯度 (%)	≥ 94.0	≥ 98.0
总残碱 (%)	$\leq 4.0\%$	$\leq 6.0\%$
首充容量 (mAh/g)	≥ 420	≥ 670
补锂容量 (不可逆容量, mAh/g)	≥ 270	≥ 650
能量密度提升 (添加量 3%)	2-3%	6-8%

来源: 公司官网, 国金证券研究所

注: 首充容量为扣式电池评价, 2.8-4.4V, 0.05C CCCV

- **预锂化 V.S 无预锂化 (利用铁酸锂预锂化):** 根据下图, 可以看出掺杂 LFO 可显著提高充放电效率以及能量密度, Park 等人运用 LFO 补锂剂对其设计的电池进行补锂, 电池容量增加约为 33.33%, 但在实际工业化生产中容量提高小于该值。

图表 16: 掺杂/不掺杂铁酸锂对比

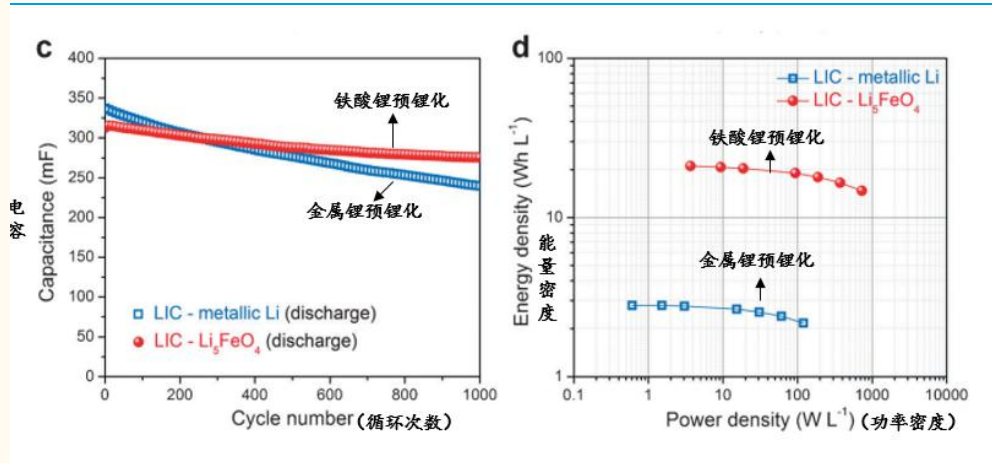


来源:《Scalable Integration of Li_5FeO_4 towards Robust, High-Performance Lithium-Ion Hybrid Capacitors》, 国

金证券研究所

- **负极金属锂 V.S 正极铁酸锂：**负极预锂化与正极预锂化的对比，根据下图 c，可以看出利用铁酸锂预锂化比利用金属锂预锂化的电池在循环 200 次后的循环稳定性以及容量更优；根据下图 d，利用铁酸锂预锂化后的电池能量密度更高。

图表 17：不同预掺杂方法对比



来源：《Scalable Integration of Li₅FeO₄ towards Robust, High-Performance Lithium-Ion Hybrid Capacitors》，国金证券研究所

- **铁酸锂及镍酸锂的工业化之路难点之一：制备（如残碱问题）和使用**
- **镍酸锂：**从小试阶段到中试阶段再到工业化生产较难，成本也相应提高，主要在于：
 - **1）制备方面：**烧结类似三元材料，需要控制气氛（严格控制材料与空气的接触），否则会导致残碱率较高、粒径较大以及比表面积较小等问题，不利于锂离子在材料中的脱出和嵌入；
 - **2）高富锂材料，使用条件较苛刻：**其腐蚀性、吸水性很强，材料颗粒之间具有较强的团聚效应，且极易氧化，因此在使用过程中必须严格控制水分含量，一旦吸水会生成大量的残碱，损耗设备。
- **解决：复合锂盐产生协同作用提高纯度，降低残碱量。**如深圳研一生产镍酸锂的相关专利（CN113571781A，2021），其运用符合比例要求的复合锂盐烧结后作为锂源产生协同作用，比使用单一锂源纯度高、残碱量低，最终得到镍酸锂纯度>95%，残碱总量<3%。
 - **复合锂源：**烧结过程中，当温度>450℃时，氢氧化锂（LiOH）会熔解成液体带动锂源扩散，增加氧化锂（Li₂O）与镍源之间的接触，使反应更加充分，而微量的碳酸锂（Li₂CO₃）有利于氢氧化锂（LiOH）以及氧化锂（Li₂O）在烧结过程中协同扩散。
 - **若单纯以氧化锂（Li₂O）作为锂源：**其熔点高达 1567℃，在整个烧结过程中均为固相状态，所提供的锂只能通过固相扩散反应，动力学上反应较慢且反应程度有限；
 - **若单纯以氢氧化锂（LiOH）作为锂源：**会在烧结过程释放大量水分，导致镍酸锂结块严重难加工，降低纯度及增加残碱含量；
 - **工艺壁垒：**复合锂盐并非简单混合而是经烧结制成（固相法），简单混合各原料（Li₂O、LiOH、Li₂CO₃）之间仍为分离的物质，在烧结过程不能起到良好的协同作用，LiOH 溶解后流动带来的锂源扩散面有限，Li₂O 所提供的锂源仍为固相扩散状态。

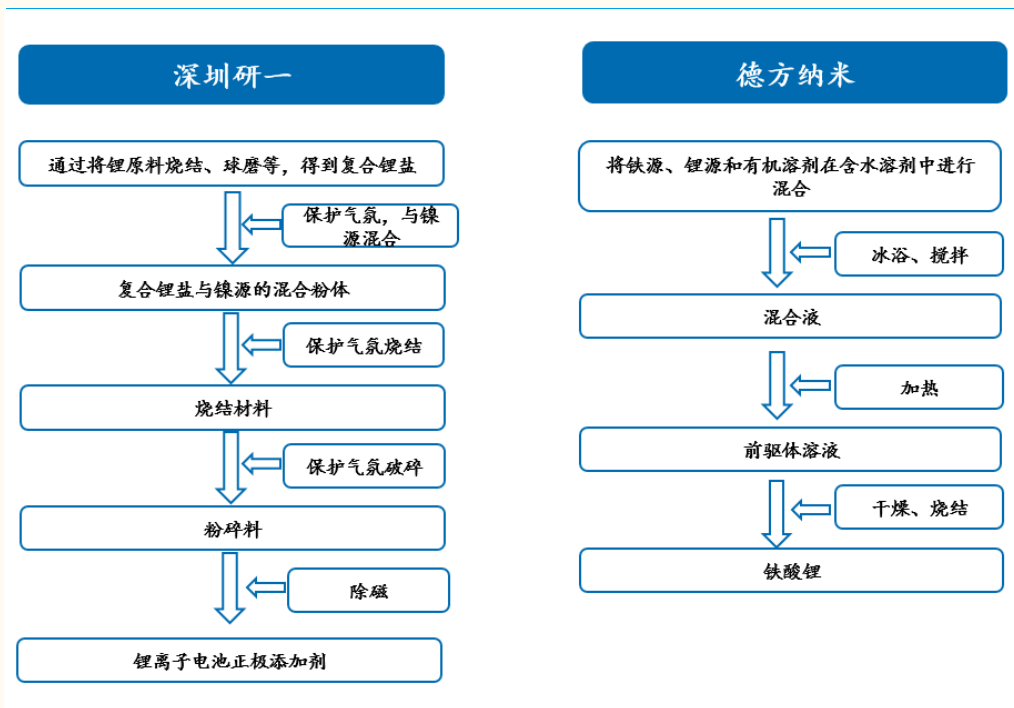
图表 18: 复合锂源镍酸锂纯度提高、残碱含量明显降低

实施例/对比例	LN0 含量 (%)	残碱总量 (%)	充电克容量 (mAh/g)	放电克容量 (mAh/g)	不可逆容量 (mAh/g)	首次效率 (%)
实施例 1 (复合锂源)	97.5	1.055	430	105	325	24.4
对比例 1 (锂源为纯度 99.9% 电池级氧化锂)	85.6	9.019	350	130	220	37.1
对比例 2 (锂源为纯度 99.9% 电池级氢氧化锂)	62.3	12.846	290	120	170	41.4

来源: CN113571781A, 国金证券研究所

- **铁酸锂:** 工艺壁垒较高, 工艺摸索时间较长, 主要在于:
 - **1. 制备方面:** 1) **残碱问题:** 烧结过程中会加入过量的碳酸锂或氢氧化锂, 且烧结温度较低 ($<700^{\circ}\text{C}$), 过量的锂源无法再烧结使完全消耗 2) **容易得到多种晶型混合材料导致铁酸锂纯度低:** 如 $\text{Li}_5\text{Fe}_5\text{O}_8$ 、 LiFeO_2 、 Li_5FeO_4 ; 3) **粒径不合适很难真正保证锂离子电池的电化学性能:** 粒径太大, 大颗粒堆积中无小颗粒填充, 空隙率较大, 材料的振实密度较低, 进而导致能量密度较低, 还可能在全电池卷绕或叠片过程中正极片对隔膜刺穿, 形成安全隐患; 粒径太小 (纳米级), 其表面能高, 粒径易团聚, 混料不均匀, 表面易发生副反应, 因此粒径大小要合适, 杉杉能源专利 CN 112028126A 制备的粒径在 $0.8\text{--}2.6\ \mu\text{m}$ 之间, 粒径分布更均匀, 结晶质量更好, 纯度更高;
 - **2. 高富锂材料, 使用条件较苛刻:** 同镍酸锂一样, 在使用过程中必须严格控制水分含量。
 - **解决:** 德方纳米专利 CN112117433A (2020) 采用液相法, 将铁源、锂源和有机酸在含水溶剂中混合得到粒径较小的氢氧化铁胶体, 其拥有独到的生产工艺, 如冰浴、搅拌及加热气氛等, 仅需一次烧结即可得到纯度较高 ($\geq 98\%$) 的铁酸锂。

图表 19: 镍酸锂/铁酸锂制备流程图



来源: 各公司专利说明书, 国金证券研究所

- 铁酸锂以及镍酸锂在制备过程中都存在的残碱问题，对于电池生产而言，残碱在高电压下分解会产生气体导致电池胀气影响安全。
- 正极材料表面的碱性化合物主要来源于两个方面：1.生产过程中，会有少量 Li 剩余，高温下以氧化锂 (Li_2O) 形式存在，温度降低后氧化锂 (Li_2O) 会吸附空气中的二氧化碳 (CO_2) 生成碳酸锂 (Li_2CO_3) 和氢氧化锂 (LiOH) 等 2.材料表面的活性氧离子会和空气中的二氧化碳 (CO_2) 和水反应生成碳酸根 (CO_3^{2-})，同时 Li^+ 迁移到材料表面生成碳酸锂 (Li_2CO_3)。
- 残碱影响电池安全性能。补锂剂表面碱性物质主要成分为碳酸锂 (Li_2CO_3)，此外还有硫酸锂 (LiSO_4)、氢氧化锂 (LiOH)，在高电压下分解会产生 CO_2 气体导致电池胀气，带来安全隐患。
- 解决：通过梳理专利，各企业对于残碱问题主要通过运用复合锂盐产生协同效应、在电解液加添加剂、增加水洗工艺以及包覆等手段来解决。

图表 20：残碱问题的解决方式

解决方式	原理
复合锂源	复合锂盐产生协同作用降低残碱量
电解液中添加添加剂	添加弱酸或弱酸酐可以中和残碱
水洗	增加水洗工艺以及调控水洗工艺参数降低残碱量
表面包覆	一方面防止电解液中氟化氢 (HF) 侵蚀保护镍酸锂，另一方面会同残余锂反应，降低残碱量

来源：国金证券研究所

- 1.在电解液中添加添加剂。如远景动力 (CN113745459A, 2021) 通过在制备正极浆料的过程中添加弱酸或/和弱酸酐来中和补锂材料中的残碱，通过实施例 1-2 与对比例 1-2 对比可以看出，加入弱酸和弱酸酐后更有利于碱度中和，降低浆料粘度，且明显降低残碱量。

图表 21：在电解液中添加添加剂残碱量明显降低

实施例/对比例	浆料粘度 ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	残碱量 (ppm)
实施例 1 (草酸+乙酸酐)	2150	1240
实施例 2 (弱酸酐五氧化二磷 P_2O_5)	2540	1654
对比例 1 (不加添加剂，其他与实施例 1 相同)	4300	8435
对比例 2 (不加添加剂五氧化二磷 P_2O_5 ，其他与实施例 2 相同)	6340	10453

来源：CN113745459A，国金证券研究所

- 2.增加水洗工艺。如远景动力 (CN113937254A, 2021) 通过增加水洗工艺显著降低了正极补锂添加剂材料的残碱值，并且通过调控水洗工艺参数，进一步降低残碱值。

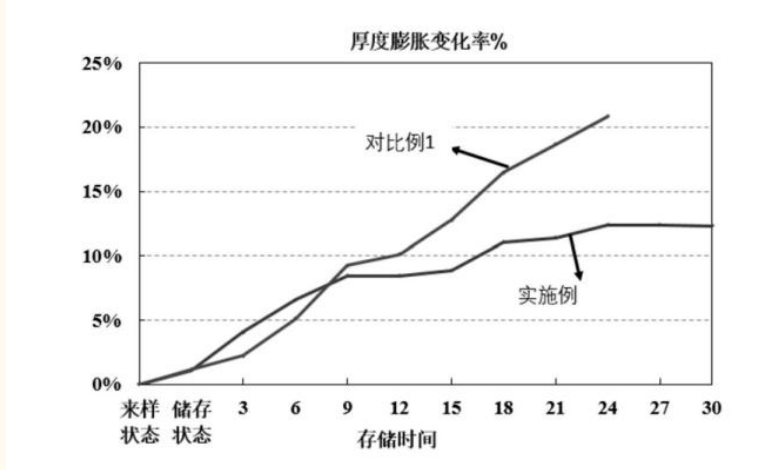
图表 22：增加水洗工艺明显降低残碱量

实施例/对比例	残碱值 (wt%)	比表面积 (m^2/g)	粒径 D50 (μm)	振实密度 (g/cm^3)	真密度 (g/cm^3)
实施例 1 (水洗)	0.492	0.221	13.2	2.13	3.677
对比例 1 (无水洗工艺)	2.867	0.2683	15.4	2.13	3.771
对比例 2 (无水洗工艺，但加草酸)	2.867	0.2683	15.4	2.13	3.771

来源：CN113937254A，国金证券研究所

- **3.表面包覆。**如珠海冠宇（CN113178567A，2021）采用二氧化锆对镍酸锂进行表面包覆，一方面二氧化锆作为非活性材料，具有多孔结构，抑制电解液中氟化氢（HF）的侵蚀保护镍酸锂，同时可以允许锂离子自由脱嵌；另一方面，会同镍酸锂表面的残余锂反应，降低材料的残碱值，有效抑制电池产气问题。

图表 23：包覆后的镍酸锂在高温储存中更稳定，抑制了电池内阻偏大和胀气



来源：CN113178567A，国金证券研究所

注：实施例的补锂剂包覆了二氧化锆的镍酸锂，对比例补锂剂为无包覆的镍酸锂

- **铁酸锂及镍酸锂的工业化之路难点之二：选择合适添加量达到正负极效率匹配。**正极补锂可以很好解决负极补锂存在的问题，但是过多的预锂化量需要负极过量比加大，会导致负极面密度过大影响电池的倍率性能，正极能量密度偏低，因此为了达到正负极效率的匹配且最大化电池能量密度，需要选择合适的补锂剂含量。
- **解决：远景动力专利 CN113903906A（2021）提供了一种直观测量补锂剂最佳添加量的方法。**该发明综合考虑了电芯能量密度、补锂效率与均浆工艺可行性，通过监测负极活性物质 XRD 不同衍射峰的半峰宽以及负极膜片电阻来确定最佳补锂含量。

图表 24：一种直观测量补锂剂最佳添加量的方法

方式	实施	测试标准	通过实施例对比得到的最优添加量
监测负极活性物质不同衍射峰的半峰宽	调整添加剂含量，控制衍射峰位置及半峰宽	常温 0.33C 充电到 4.2V 后进行恒压充电到 0.05C 截止，静置 10 分钟后 0.33C 恒流放电到 2.5V，此过程重复 2-3 次后记录其充放电容量；常温 50% 4C，放电 30s 测试得到 DCR（直流阻抗）。	第一衍射峰的位置控制在 20~34°，半峰宽为 0.4~5°，将第二衍射峰的位置控制在 26~30°，半峰宽为 0.3~3.1°，将第三衍射峰的位置控制在 46~50°，半峰宽为 1.2~4.4°，将第四衍射峰的位置控制在 54~58°，半峰宽为 0.7~4.8°，补锂剂的添加量最合适，若超出上述范围，补锂效果明显降低。
监测负极膜片电阻	调整添加剂含量，控制体积电阻率及界面电阻		负极极片膜片的体积电阻率控制在 $7 \sim 7.6 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ ，界面电阻控制在 $1.6 \sim 2.0 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 补锂剂添加量最合适，若超出此范围，补锂效果变差，且电池性能变差。

来源：CN113903906A，国金证券研究所

2.1.3 各企业专利：电池厂主做负极预锂化，正极厂主做正极预锂化

- **目前各企业补锂相关专利布局主要围绕正极添加剂、负极添加剂以及与金属 Li 接触等技术路线。**德方纳米提供一种低杂质铁酸锂制备方法，步骤简单易行，适合工业化生产。深圳研一专利覆盖正极/负极预锂化方法，其制备镍酸锂纯度 > 95%，制备方法简单，容易控制，成本低，环保，有利于

工业化生产。国轩高科补锂专利主要涉及与金属 Li 接触的负极预锂化方法，也涉及一种氧化锂 Li_2O 正极添加剂的预锂化方法。

图表 25：部分企业补锂相关专利布局

申请企业	申请日	发明名称	补锂路线	发明内容
德方纳米	2020.9.1	铁酸锂的制备方法	正极预锂化	该发明提供一种铁酸锂的制备方法，旨在解决现有铁酸锂的制备方法中存在的产物杂质含量高的技术问题，制备方法步骤简单易行，适合工业化生产。
深圳研一	2019.12.30	负极补锂添加剂及其制备方法	负极预锂化	该发明负极补锂添加剂是由碳包覆的正硅酸锂和纳米硅混合相制备而成，具有较高的首次库伦效率，制备方法工艺简单、成本较低、可大规模工业生产。
	2019.12.30	锂离子电池用水性补锂粘结剂以及正极片的制备方法	正极预锂化	该发明提供一种可解决充放电过程中消耗锂，且能耗低，污染少的锂离子电池用水性补锂粘结剂以及正极片的制备方法
	2020.6.3	高纯度正极补锂添加剂及其制备方法和锂离子电池	正极预锂化	该发明的高纯度正极补锂添加剂，含 $x\text{Li}_2\text{O} \cdot y\text{NiO} \cdot z\text{M}_a\text{O}_b$ 质量份数在 95% 以上，其中，x 不小于 0，y 不小于 0， $0 < z \leq 20$ ， $2 \leq 2x/(y+z \times a) < 3.2$ ，b 不小于 0，x、y、z 为摩尔数，所述 M 为 Al、Co、Ti 或 Mn。该高纯度正极补锂添加剂添加在锂离子电池正极材料里，表现出高的首次效率和较好的循环稳定性，提升锂离子电池性能，添加高纯度正极补锂添加剂少，降低锂离子电池成本，制备方法简单，容易控制，适宜于工业化生产。
	2020.7.29	锂离子电池补锂添加剂前驱体材料及其制备方法	正极预锂化	该发明的锂离子电池补锂添加剂前驱体材料(前驱体材料)，为双金属氢氧化物，其分子式为 $\text{Ni}_x\text{Cu}_{(1-x)}(\text{OH})_2$ ，其中， $0 < x < 1$ ，该发明提高补锂添加剂镍铜酸锂材料的转化率，环保。
	2020.7.29	锂离子电池正极补锂添加剂及其制备方法和锂离子电池	正极预锂化	该发明的锂离子电池正极补锂添加剂， Li_2NiO_2 纯度 > 95%，残碱总量 < 3%，首次充电克容量为 420~465mAh/g，不可逆容量为 260~340mAh/g，制备方法简单，容易控制，成本低，环保，有利于工业化生产。
国轩高科	2018.6.27	一种负电极片补锂的方法	负极预锂化	该发明提供一种负电极片补锂的方法，克服现有技术不足，降低补锂工艺方法的难度，简化操作，并提高锂箔的厚度精度。
	2018.7.16	一种锂离子电池负极补锂电极及其制备方法	负极预锂化	该发明通过在预锂电极上涂覆有机薄膜层防止预锂层被氧化，提升锂离子电池的首次效率、循环稳定性和加工性能，同时降低生产环境对补锂电极的影响
	2019.5.28	一种极片补锂装置及其补锂方法	负极预锂化	该发明提供一种极片补锂装置及其补锂方法，在真空外进行补充锂，安全性好，不仅提高了生产效率，其补锂均匀性也得到了保证。
	2020.10.20	一种锂离子电池正极补锂添加剂及其制备方法与应用	正极预锂化	该发明制备例如一种基于转化反应的 $\text{rGO}@\text{Co}/\text{Li}_2\text{O}$ 纳米复合物， $\text{Li}_2\text{O}/\text{Co}$ 作为纳米颗粒可以附着在石墨烯表面，提高导电性，同时改纳米复合物具有较高的理论容量，补锂性能优异，可以补充首次充放电过程中因 SEI 膜形成而造成的不可逆 Li^+ 的损失。
特斯拉 (Maxwell)	2017	预掺杂阳极及用于制造其的方法和设备	负极预锂化	通过将金属锂粉或包括锂粉的混合物涂在负极表面、电化学预锂化方式补锂。
	2018	预锂化储能装置	负极预锂化	利用干法工艺制备电极，并通过与金属锂粉直接接触方式补锂。
	2020	用于预锂化能量存储装置的组合物和方法	正极预锂化	利用 Li_2O 、 Li_2O_2 、 Li_2S 、 Li_3N 、 Li_3N 、 LiF 、 Li_5FeO_4 、 Li_2NiO_2 、 Li_6CO_4 和 Li_2MoO_3 或其组合预锂化材料进行补锂，干法制备电极可以提供独特的方法来将预锂化材料结合到电极膜中而不暴露于溶剂。

来源：各公司专利说明书，国金证券研究所

2.2 经济性方面：正极添加剂补锂>负极预锂化

2.2.1 正极补锂经济性：铁酸锂>镍酸锂

- **以铁酸锂/镍酸锂为例：**假设锂源为碳酸锂 (Li_2CO_3)，铁源为九水硝酸铁 ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)，镍源为氧化亚镍 (NiO) 的情况下，根据我们计算，
 - 理论上，生产 1 吨铁酸锂 (Li_5FeO_4) 需要约 2.61 吨九水硝酸铁 ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 以及 1.19 吨碳酸锂 (Li_2CO_3)；
 - 理论上，生产 1 吨镍酸锂 (Li_2NiO_2) 需要约 0.71 吨碳酸锂 (Li_2CO_3) 以及 0.71 吨氧化亚镍 (NiO)。
- **正极补锂剂：铁酸锂比镍酸锂经济性更好。**预锂化与锂价高度相关，未来伴随锂价格下降，降本空间较大。根据我们计算，
 - 假设镍酸锂价格为 50-70 万元/吨时，在正极材料中添加镍酸锂 3-4%，NCM811 电池能量密度提升 2% 左右，成本增加约为 2.43-4.54%；
 - 假设铁酸锂价格为 70-100 万元/吨时，铁酸锂添加 1-2%，LFP 电池能量密度提升 5-6%，成本增加约为 2.32-6.62%。

图表 26：铁锂电池（上表）及三元 811 电池（下表）成本变动敏感性分析

铁酸锂添加量\铁酸锂价格 (万元/吨)	1%	2%	3%	4%	5%
70	2.32%	4.64%	6.96%	9.27%	11.59%
80	2.65%	5.30%	7.95%	10.60%	13.25%
90	2.98%	5.96%	8.94%	11.92%	14.91%
100	3.31%	6.62%	9.94%	13.25%	16.56%
镍酸锂添加量\镍酸锂价格 (万元/吨)	1%	2%	3%	4%	5%
50	0.81%	1.62%	2.43%	3.24%	4.05%
60	0.97%	1.94%	2.92%	3.89%	4.86%
70	1.13%	2.27%	3.40%	4.54%	5.67%

来源：国金证券研究所

注：原材料成本采用 22 年 6 月价格

图表 27：铁锂电池成本拆分

成本拆分	消耗量	单位/GWh	成本	单位/GWh
正极材料-LFP	0.250	万吨	3.550	亿元
铁酸锂（添加 1%）	0.003	万吨	0.175	亿元
铁酸锂（添加 2%）	0.005	万吨	0.350	亿元
铁酸锂（添加 3%）	0.008	万吨	0.525	亿元
铁酸锂（添加 4%）	0.010	万吨	0.700	亿元
铁酸锂（添加 5%）	0.013	万吨	0.875	亿元
负极材料-人造石墨	0.095	万吨	0.494	亿元
电解液-三元电解液	0.112	万吨	0.616	亿元
隔膜-9+2um 湿法涂覆	0.130	亿平	0.137	亿元
铜箔-6um	0.067	万吨	0.784	亿元
壳体及其他结构件	0.061	亿套	0.490	亿元
其他材料	/	/	0.201	亿元
人工成本	/	/	0.280	亿元
制造成本	/	/	0.486	亿元
模组成本	/	/	0.510	亿元
模组总成本（添加量 0%）	/	/	7.547	亿元
模组总成本（添加量 1%）	/	/	7.722	亿元

模组总成本（添加量 2%）	/	/	7.897	亿元
模组总成本（添加量 3%）	/	/	8.072	亿元
模组总成本（添加量 4%）	/	/	8.247	亿元
模组总成本（添加量 5%）	/	/	8.422	亿元

来源：国金证券研究所

注：铁酸锂价格假设为 70 万元/吨

图表 28：三元 811 电池成本拆分

成本拆分	消耗量	单位/GWh	成本	单位/GWh
正极材料-811	0.175	万吨	6.563	亿元
镍酸锂（添加量 1%）	0.002	万吨	0.088	亿元
镍酸锂（添加量 2%）	0.004	万吨	0.175	亿元
镍酸锂（添加量 3%）	0.005	万吨	0.263	亿元
镍酸锂（添加量 4%）	0.007	万吨	0.350	亿元
镍酸锂（添加量 5%）	0.009	万吨	0.438	亿元
负极材料-人造石墨	0.076	万吨	0.593	亿元
电解液-三元电解液	0.095	万吨	0.618	亿元
隔膜-9+2um 湿法涂覆	0.130	亿平	0.282	亿元
铜箔-6um	0.061	万吨	0.897	亿元
壳体及其他结构件	0.057	亿套	0.432	亿元
其他材料	/	/	0.190	亿元
人工成本	/	/	0.280	亿元
制造成本	/	/	0.451	亿元
模组成本	/	/	0.500	亿元
模组总成本（添加量 0%）	/	/	10.805	亿元
模组总成本（添加量 1%）	/	/	10.892	亿元
模组总成本（添加量 2%）	/	/	10.980	亿元
模组总成本（添加量 3%）	/	/	11.067	亿元
模组总成本（添加量 4%）	/	/	11.155	亿元
模组总成本（添加量 5%）	/	/	11.242	亿元

来源：国金证券研究所

注：镍酸锂价格假设为 50 万元/吨

图表 29：制备 1 吨铁酸锂/镍酸锂所需原料用量

	分子式	摩尔质量 g/mol	摩尔量 mol	理论用量 g
原料	锂源（碳酸锂）	Li_2CO_3	74	0.0161
	铁源（九水硝酸铁）	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	404	0.0065
产物	铁酸锂	Li_5FeO_4	155	0.0065
	分子式	摩尔质量 g/mol	摩尔量 mol	理论用量 g
原料	锂源（碳酸锂）	Li_2CO_3	74	0.0096
	镍源（氧化亚镍）	NiO	74.69	0.0096
产物	镍酸锂	Li_2NiO_2	104.69	0.0096

来源：国金证券研究所

2.2.2 负极补锂经济性：锂箔补锂>锂粉补锂

- 负极预锂化与现有的电池产线不兼容，生产变动成本较高。根据各公司生产设备专利，负极锂箔或锂粉补锂需要特定补锂设备，如宁德时代专利

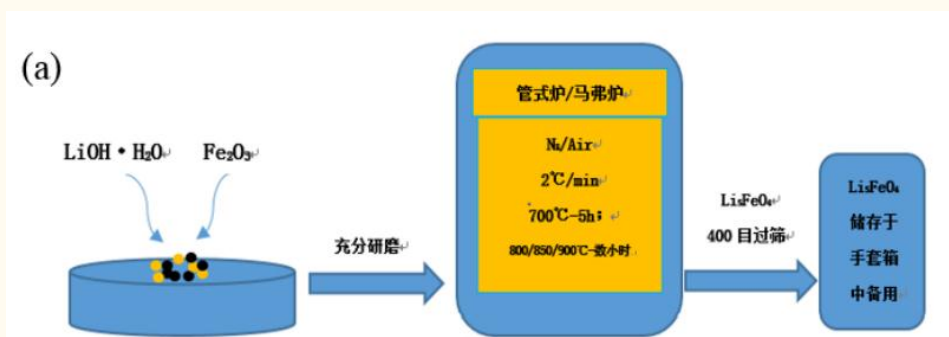
CN214428674U (2021) 申请一种补锂设备，用于将锂膜覆合于极片，其制造比正极添加剂更复杂、制造成本要比正极高，通过产业链分析，通常情况下，负极预锂化设备成本将增加 10-15% 左右。

- 此外，金属锂的价格较高，尤其是稳定性金属锂粉 (SLMP) 价格昂贵，基本在 2000-3000 美元/千克，因此，锂粉补锂成本高于锂箔补锂。

2.2.3 投资强度：年产 1 万吨铁酸锂，投资约为 10-14 亿元

- **固相法易制备，但杂质较高。**高温固相法通过将两前驱体（氢氧化锂 LiOH 或氧化锂 Li_2O 、氧化铁 Fe_2O_3 ）按照一定摩尔比进行固相混合、研磨、烧结即可得到 Li_5FeO_4 ，但该方法要求 Fe_2O_3 的粒径足够小，存在需要多次烧结、烧结反应不充分以及产物杂质含量较高等问题。
- **液相法较制备略复杂，但杂质较少。**液相法将铁源、锂源和有机酸在溶剂中混合后加热得到前驱体溶液，再进行干燥、烧结可得到纯度较高的铁酸锂，其中，锂源可采用工业级碳酸锂降低成本。

图表 30：固相法制备铁酸锂 Li_5FeO_4



来源：《锂离子电池补锂添加剂 Li_5FeO_4 和 Li_2CuO_2 的制备及电化学性能研究》，国金证券研究所

- **液相法投资强度：**德方纳米液相法制备补锂剂，年产 1 万吨铁酸锂，根据德方纳米投资项目公告，生产所需投资约为 10-14 亿元。

图表 31：德方纳米补锂剂投资项目

公告日期	项目名称	项目投资规模
2021. 9. 29	年产 2.5 万吨补锂剂项目	35 亿元
2022. 1. 20	年产 2 万吨补锂剂项目	20 亿元

来源：公司公告，国金证券研究所

三、补锂剂未来在哪：镍酸锂迈出第一步，更经济的铁酸锂为第二代，负极需观察产业链成本变化

3.1 对于市场：高端电池放量后，渗透率将快速提升

- **预锂化市场空间：**高端动力电池对补锂的需求，将推动补锂剂的渗透率快速提升，我们预计，2023 年渗透率将达 12%，正极补锂剂需求有望达 4.04 万吨。

图表 32：补锂剂全球市场空间测算

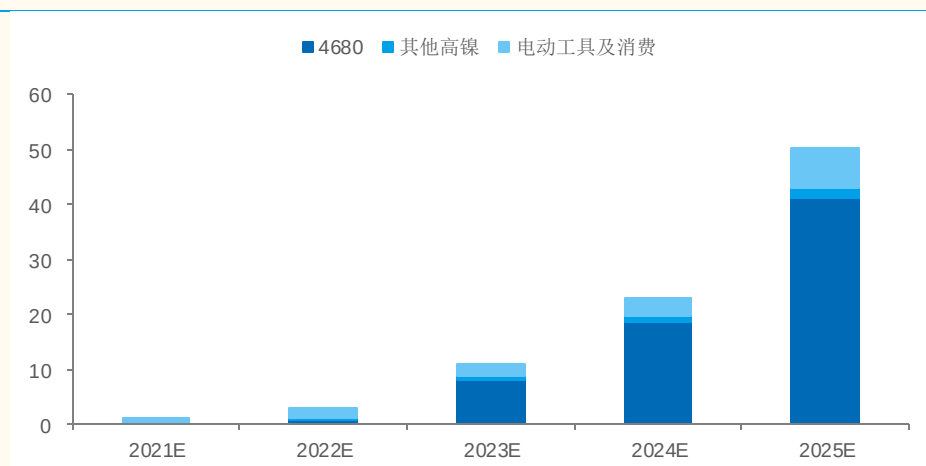
补锂剂需求测算			单位	2021E	2022E	2023E
动力	三元电池	全球出货量	GWh	191	201	419
	磷酸铁锂电池	全球出货量	GWh	103	292	372
	动力电池	渗透率	%	4%	5%	12%
	需补锂的动力电池需求		GWh	11.31	26.07	94.86
储能	三元电池	全球出货量	GWh	14.2	22.8	36.4
	磷酸铁锂电池	全球出货量	GWh	30.8	72.3	170.0
	储能电池	渗透率	%	3%	5%	15%
	需补锂的动力电池需求		GWh	0.43	1.14	5.46
补锂剂需求	正极需求		万吨	65.66	121.77	201.96
	补锂剂在正极添加量		%	2%	2%	2%
	补锂剂需求		万吨	1.31	2.44	4.04

来源：国金证券研究所测算

3.2 对于行业：高端动力电池放量在即，补锂剂迎来放量契机

- **高端动力电池放量在即，补锂剂迎来放量契机。** 高端动力电池尤其是高镍三元配硅碳负极即将放量，我们预测到 2025 年硅基负极需求量有望将超 50 万吨。

图表 33：2021-2025 年硅基负极需求量预测（万吨）



来源：国金证券研究所

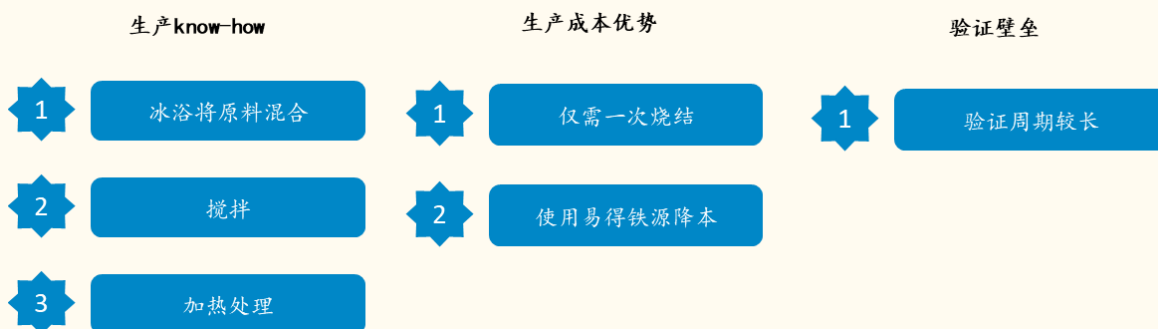
3.3 对于公司：存在验证壁垒、经济性壁垒以及工艺壁垒

- **未来展望：具有工艺 know-how 壁垒及经济性壁垒的头部企业至少领先还未量产企业 2-3 年。**
- **验证壁垒：验证周期较长，进入壁垒较高。** 根据产业链通常情况，预锂化验证周期短则半年长则 1-1.5 年，先通过测试且量产的企业抢占市场，巩固其拥有的生产专利先发优势，客户转换成本高，从而拥有较强护城河。
- **经济性壁垒：产品差异化程度较高，经济性差别较大。** 不同预锂化方式的经济性差别较大，产品差异化程度较高，如正极补锂剂铁酸锂较镍酸锂经济性更好。对于企业来讲，生产出经济性更好的预锂剂将构筑较高经济性壁垒。如德方纳米生产铁酸锂，仅需一次烧结即可得到纯度较高的铁酸锂，有效降低了生产成本；且铁源为九水硝酸铁 ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)、六水氯化铁 ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、硫酸铁 ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) 中的任意一种，成本较低，也有利于降低铁酸锂的生产成本。
- **工艺壁垒：存在工艺 know-how 壁垒。** 各企业通过其专利解决生产难点及问题形成工艺壁垒，根据产业链调研，工艺摸索需 1-1.5 年时间。如制备

铁酸锂，工艺 know-how 主要在于冰浴条件、搅拌速度以及加热处理三方面：

- 1.在-15℃-5℃的冰浴条件下将铁源、锂源和有机酸混合，可以降低氢氧化铁胶体的生成速度，从而使所得氢氧化铁胶体的粒径更小，活性更高；
- 2.搅拌速度为 180rpm-1800rpm 的条件下进行，可使各反应物充分接触并反应，生成粒径较小、活性高的氢氧化铁胶体；
- 3.在压强为 0-30MPa、温度为 90℃-200℃、时间为 10h-30h 的条件下加热处理并搅拌，加热使混合液中的锂盐附着在氢氧化铁胶体表面形成前驱体溶液，搅拌可以使混合液中的锂盐和氢氧化铁胶体充分接触。

图表 34：存在验证壁垒、经济性壁垒以及工艺壁垒



来源：国金证券研究所

- **专利壁垒：补锂剂无通式化合物专利壁垒。**通式化合物专利一般是指药品专利，该类型专利一旦获得授权则是对化学物质或药物活性分子（API）的绝对保护，通常难以规避。

图表 35：通式化合物专利定义

所谓“通式化合物”，也称为基础化合物，该类化合物的专利仅指化合物核心结构的专利，往往我们将这类化合物专利也称为核心专利，核心专利不包括以**酸根、碱基、金属元素、结晶**形式等结构改变实施保护的化合物专利。当我们在化合物设计与筛选的过程中，通过寻找先导化合物并对其进行结构修饰，合成得到有活性或者有工业实用性的一系列化合物，并经研究确定出若干个所需的候选化合物后，我们即可对含药效官能团的该类化合物进行“大通式”化合物的专利布局，或者是进行更窄范围的、更加牢固定义的、更加有活性的化合物专利保护；甚至是对具体的化合物进行专利保护。化合物核心专利的特点是技术含量高、其权利要求保护的范围宽、对真正目标化合物的隐蔽性强。通式化合物专利一旦获得授权，则是对化学物质或药物活性分子(API)的绝对保护，旁人难以规避，针对API的权利要求一般也很难被专利无效掉。

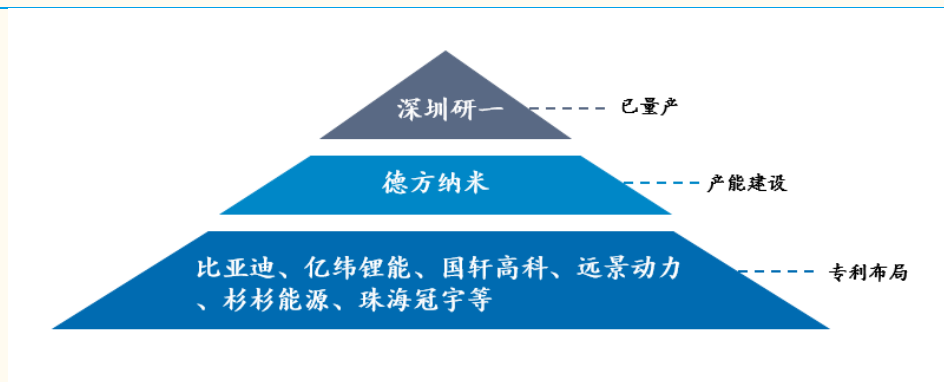
来源：北京同辉，国金证券研究所

四、谁能生产出好的补锂剂：两超多强，研一已量产，德方预计于 4Q22-1Q23 量产

4.1 终端：新能源车开始搭载“掺硅补锂”动力电池

- **新能源车开始搭载“掺硅补锂”动力电池。**特斯拉采用硅基负极的 4680 电池已经量产，其首款搭载 4680 电池的 Model Y 也即将交付；电池厂如宁德时代以及比亚迪等在加速研发，根据专利，电池厂补锂技术路线主要集中在负极预锂化，其高能量密度以及高循环的高端动力电池都会添加补锂剂，而正极厂如德方纳米、深圳研一等补锂技术路线主要集中在正极预锂化；目前呈两超多强局面，深圳研一已实现量产，德方纳米处于产能建设阶段，其他厂商如比亚迪、亿纬锂能、国轩高科、远景动力、杉杉能源以及珠海冠宇等已布局大量补锂相关专利。

图表 36：两超多强格局



来源：国金证券研究所

4.2 车厂&电池厂：特斯拉、比亚迪

4.2.1 特斯拉：预锂化在应用以及技术层面都有助推力

- **应用层面：硅基负极+预锂化。**特斯拉采用硅基负极的 4680 电池已经量产，其首款搭载 4680 电池的 Model Y 也即将交付。
- **技术层面：干电极+预锂化。**特斯拉收购 Maxwell 两年后出售，但保留其干电极技术，该技术不仅利于负极预锂化也利于正极预锂化。
 - **负极预锂化：**由于采用金属锂粉预锂化方式需要在干燥空气条件下进行，湿法工艺制备电极需干燥后补锂，增加了成本且安全性也较差，而干电极技术使之安全性提升，其专利 CN110537269A (2018)，用干法工艺制备电极，并通过与金属锂直接接触补锂，且也可采用普通的锂块等金属锂源，成本较于稳定性金属锂粉也大幅降低。
 - **正极预锂化：**湿法工艺制备电极，正极添加剂可能与溶剂如 PVDF 和 N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)反应，产生影响电池性能的副产物，而干法制备电极可以将正极添加剂结合到电极中而不暴露于溶剂，其专利 CN113574697A (2020) 利用干法制备电极并进行正极预锂化。

图表 37：湿/干电极技术在预锂化方面对比

干法制备电极		湿法制备电极
负极预锂化：金属锂粉	安全性高	金属锂遇水会燃烧需干燥后补锂，增加了成本且安全性较差
正极预锂化：添加剂	正极添加剂可能与溶剂如 PVDF 和 N 甲基 2 吡咯烷酮 (NMP) 反应，产生副产物	可以提供独特的方法来将正极添加剂结合到电极膜中而不暴露于溶剂

来源：国金证券研究所

4.2.2 比亚迪：超强技术储备，补锂相关专利 20 余项

- **超强技术储备，补锂相关专利 20 余项。**公司补锂相关专利 20 余项，最早可追溯到 2004 年，根据申请时间，2020 年至今共申请 16 项补锂相关专利，主要为负极预锂化，包括

- 发明一种补锂材料避免形成死锂而造成枝晶现象。
- 通过核壳结构解决金属锂粉末活性高难应用的问题。
- 通过仪器设备组合联用对补锂池中电解液成分精准调控实现对电化学补锂过程进行管控解决无法精准补充锂的问题。
- 通过提供一种补锂集流体解决现有的在负极上磁控溅射形成的薄膜致密不利于电解液浸润和锂离子的扩散且补偿能力低的问题。

图表 38：部分比亚迪补锂专利

申请时间	专利名称	解决的问题
2019.12.16	一种补锂材料及其制备方法、负极和锂离子电池	提供一种补锂材料避免形成死锂而造成枝晶现象
2020.7.31	一种补锂集流体、补锂集流体的制备方法、负极及锂离子电池	解决现有的在负极上磁控溅射形成的薄膜致密不利于电解液浸润和锂离子的扩散，且补偿能力低的问题
2020.8.28	补锂材料及其制作方法、负极极片、电池	通过核壳结构解决金属锂粉末活性高难应用的问题
2021.7.19	监测及实时调控补锂过程中的电解液成分的系统及负极片和电池	通过仪器设备组合联用对补锂池中电解液成分精准调控实现对电化学补锂过程进行管控，解决无法精准补充锂的问题

来源：公司专利说明书，国金证券研究所

4.3.3 其他：国轩高科等

- 国轩高科、亿纬锂能以及远景动力等厂商已布局大量补锂相关专利，主要涉及负极预锂化技术路线。

图表 39：部分厂商其补锂剂相关专利

厂商	申请时间	专利名称
国轩高科	2020.10.20	一种锂离子电池正极补锂添加剂及其制备方法与应用
	2020.10.20	补锂装置及补锂方法
	2018.7.16	一种锂离子电池负极补锂电极及其制备方法
	2018.6.27	一种负极极片补锂的方法
亿纬锂能	2021.12.20	一种改性正极补锂材料及其制备方法与应用
	2021.9.17	一种补锂正极浆料及其制备方法和应用
	2021.7.15	一种正极补锂材料及其制备方法与应用
	2018.8.27	基于负极预补锂的锂离子电池制备方法
远景动力	2021.11.16	电池正极补锂添加剂、正极片、其制备方法及锂离子电池
	2021.11.16	正极补锂添加剂、正极极片、其制备方法及锂离子电池
	2021.11.16	锂离子电池正极补锂添加剂、正极片、其制备方法和用途
	2021.9.27	确定正极补锂剂添加含量的方法和应用

来源：国家专利局，国金证券研究所

注：列举非该公司全部补锂相关专利

4.3 正极厂：德方纳米、深圳研一

4.3.1 德方纳米：处产能建设阶段，即将投产

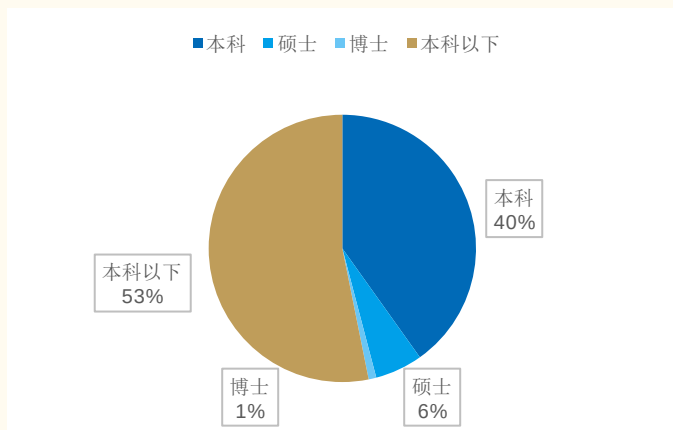
- 技术储备丰富，研发实力雄厚。2021 年，公司研发投入 1.64 亿元，同比增长 217.76%，截至 1Q22，德方纳米已在国内申请并获得了 69 项专利授权，其中与补锂剂相关专利 1 项，公司仍在推进补锂剂相关研究，根据公司公告，目前主要研发项目包括正极补锂添加剂的关键制备技术研究，拟开发出的补锂添加剂性能指标达市场领先水平。

图表 40：补锂剂相关研发项目内容（2021）

项目名称	项目目的	项目进展	拟达到的目标	预计对公司未来发展的影响
正极补锂添加剂的关键制备技术研究	本项目旨在开发出一种具有高不可逆容量的牺牲型正极添加剂，保证正极活性主材充足的克容量发挥，提升电池能量密度。	中试阶段	开发出的补锂添加剂性能指标达市场领先水平，应用于电池后可有效提高电池能量密度和循环寿命。	增加公司产品类型，填补市场空白。

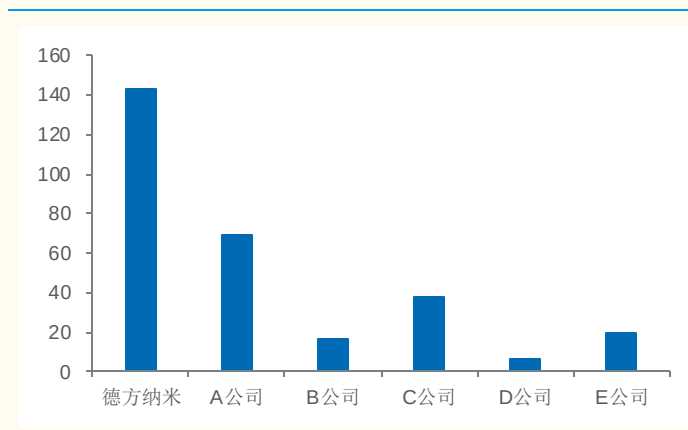
来源：公司公告，国金证券研究所

图表 41：研发人员学历情况（2021）



来源：公司公告，国金证券研究所

图表 42：2022 年各公司专利申请数量（项）



来源：Wind，国金证券研究所

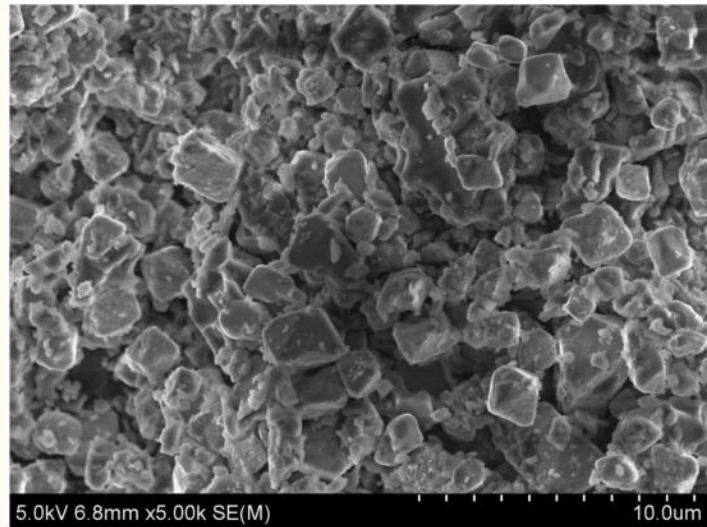
- **补锂剂**：处于产能建设阶段，部分产能预计将于 4Q22-1Q23 投产。公司不断加码补锂剂产业链，截至目前，公司补锂剂规划产能共 4.5 万吨。根据公司 22 年 4 月 12 日投资者调研纪要，预计公司部分补锂剂产能将于 4Q22-1Q23 量产。根据公司专利，该补锂添加剂或为正极补锂剂铁酸锂。

图表 43：德方纳米补锂剂投资项目

公告日期	项目名称	项目建设周期
2021.9.29	年产 2.5 万吨补锂剂项目	建设周期 24 个月
2022.1.20	年产 2 万吨补锂剂项目	项目一期及二期预计建设周期为 14 个月（一期 0.5 万吨，二期 1.5 万吨）

来源：公司公告，国金证券研究所

图表 44：公司铁酸锂 SEM 图（该产品纯度 98%）

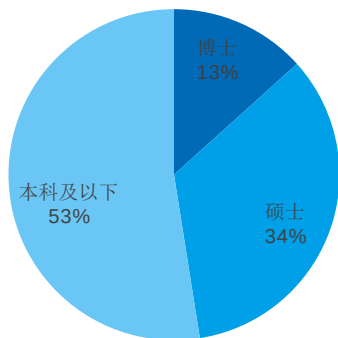


来源：CN112117433A，国金证券研究所

4.3.2 深圳研一：镍酸锂、铁酸锂已成功量产

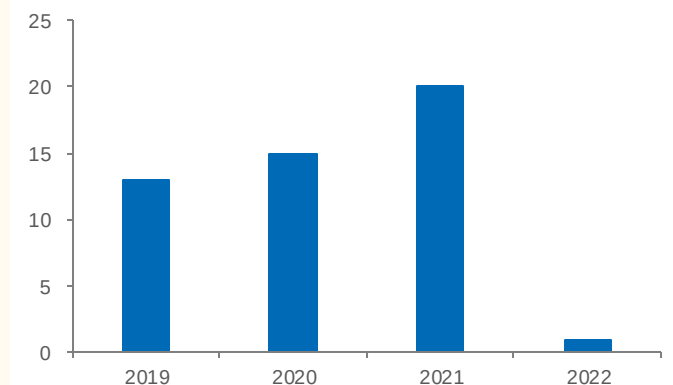
- **以创新为核心，注重研发。**研一以创新为核心，研发人员占比保持在 60-70%，岳敏先生创建的“未来研究院”中博士以及硕士占比超 47%。公司打造了全新的产学研合作模式，致力于实现企业与高校及科研院所的“优势互补、资源互补、利益共享”，实现长期绑定，让研发团队更加稳定。
- **专利覆盖正极及负极预锂化。**深圳研一成立于 2019 年 1 月，目前已申请专利数量共 49 项，其中补锂剂相关共 5 项，覆盖负极添加剂预锂化以及正极添加剂预锂化方法。

图表 45：研发人员学历情况（2022）



来源：公司官网，国金证券研究所

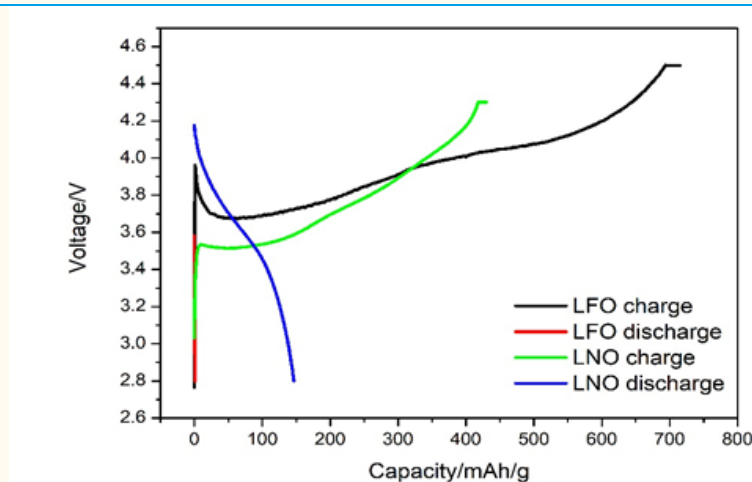
图表 46：2019-2022 公司专利申请数量情况（项）



来源：Wind，国金证券研究所

- **镍酸锂、铁酸锂成功量产，在动力电池体系实现补锂全覆盖。**2021 年初量产镍酸锂且已获国际头部客户品质认证，在高镍电池体系中广泛应用；2021 年底量产更高容量的铁酸锂，搭配磷酸铁锂体系补锂，可大幅提升能量密度，根据公司披露，该项目已具备年产 1800 吨产能，二期扩产已进入产线设计，预计 2022 年 7 月投产，将新增产能 7000 吨/年。

图表 47：公司 LNO 与 LFO 产品首次充放电曲线



来源：公司官网，国金证券研究所

4.3.3 其他：杉杉能源等

- 杉杉能源以及珠海冠宇等厂商目前已布局大量补锂相关专利，主要涉及正极预锂化技术路线。

图表 48：部分厂商其补锂剂相关专利

厂商	申请时间	专利名称
珠海冠宇	2021.8.16	一种补锂材料、负极片和电池
	2021.3.29	一种正极补锂材料和包括该材料的锂离子电池
	2021.3.29	一种双层包覆的正极补锂材料和包括该材料的锂离子电池
	2020.9.28	一种补锂剂及其应用
	2020.8.11	一种补锂添加剂及其制备方法和应用
	2019.8.17	一种锂离子电池负极极片补锂装置及补锂方法
杉杉能源	2019.9.12	一种锂离子正极材料补锂添加剂及其制备方法
	2019.6.3	一种小粒径补锂添加剂 Li_5FeO_4 的制备方法和应用

来源：国家专利局，国金证券研究所

注：列举非该公司全部补锂相关专利

五、投资建议

- 随着硅基负极逐渐放量及高端动力/储能电池补锂需求，预锂化或将成为锂电池未来一大发展方向。随着预锂化行业在 21、22 年迅猛发展，产业商业化&规模化在即，我们建议关注已在该行业完成突破拥有先发优势的企业。重点推荐：德方纳米、深圳研一；建议关注：比亚迪、亿纬锂能、国轩高科等。

六、风险提示

- **新能源汽车销量不及预期：**由于 2022 年年初以来新能源上游重要原材料碳酸锂最高价已到 50 万/吨，新能源汽车需求有可能会呈现一定波动。
- **硅基负极放量不及预期：**特斯拉 4680 电池采用硅基负极，带动行业负极材料由石墨向硅基负极的转变，若 4680 进展不及预期，也将影响到硅基负极放量不及预期。
- **产能建设不及预期：**德方纳米的产能建设项目存在产能建设不及预期风险。

特别声明:

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

本报告中的信息、意见等均仅供参考，不作为或被视为出售及购买证券或其他投资标的邀请或要约。客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级（含C3级）的投资者使用；非国金证券C3级以上（含C3级）的投资者擅自使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

此报告仅限于中国大陆使用。

上海

电话：021-60753903

传真：021-61038200

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路1088号

紫竹国际大厦7楼

北京

电话：010-66216979

传真：010-66216793

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100053

地址：中国北京西城区长椿街3号4层

深圳

电话：0755-83831378

传真：0755-83830558

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：中国深圳市福田区中心四路1-1号

嘉里建设广场T3-2402