

全球盐湖提锂的变革：技术为资源加持，唤醒“高原上的沉默宝藏”

有色金属

评级：中性

日期：2022.07.04

分析师 孙景文

登记编码：S0950519050001

☎：021-61097715

✉：sunjingwen@wkzq.com.cn

分析师 吴霜

登记编码：S0950520070001

☎：0755-23375707

✉：wushuang@wkzq.com.cn

行业表现

2022/7/4



资料来源：Wind，聚源

相关研究

- 《锂想系列 24：澳洲锂矿资源商综述，量价、供应集中度与战略雄心》(2022/3/7)
- 《全球锂资源供需现状与展望——长沙·2022 第六届动力电池正极材料高峰论坛暨全球锂产业链发展大会》(2022/2/23)
- 《锂想系列 23：从力拓斩获 Rincon 盐湖，论锂资源焦虑与矿业巨头的绿色雄心》(2021/12/28)
- 《锂想系列 22：欧洲锂资源战略的里程碑——法国埃赫曼重启阿根廷盐湖建设》(2021/11/15)
- 《全球锂资源现状及发展前景——2021 年中国（遂宁）国际锂电产业大会》(2021/10/26)
- 《锂想系列 21：中国盐湖提锂，走向成熟》(2021/9/9)
- 《Lithium Market Dynamics in China》(2021/8/30)
- 《锂想系列 20：需求爆发倒逼产能扩张，海外锂资源巨头中报前瞻》(2021/8/1)
- 《锂想系列 19：西澳锂精矿电子竞价平台将改变游戏规则》(2021/7/29)
- 《锂想系列 18：揭开西藏优势矿产、富锂盐湖资源的面纱》(2021/7/24)

报告要点

前言：本篇报告重点从盐湖提锂技术工艺的角度出发，结合全球近 40 个代表性项目，对于盐湖锂资源供应未来的发展趋势进行了分析和展望。

产能效率—全球盐湖提锂供应放量的枷锁。盐湖类型的锂资源占全球探明锂资源总量近六成、各类卤水锂占中国锂资源潜力近八成，加上盐湖单体项目的资源体量通常较大、可支撑较高的年产规模，且生产成本低、尾渣环境压力较小，因此被寄予厚望成为 TWh 时代全球锂资源供应的基石。但回顾锂行业历程，在迎来新能源汽车的历史性发展机遇之际、尤其 2015 年以来，全球盐湖提锂的供应份额反而从近 60% 大幅降低至仅 43%，主因在于产能效率的掣肘。一方面，盐湖的资源禀赋优越，但大多均位于偏远、基础设施薄弱、艰苦的高寒高海拔地区，盐田建设的前期投入大、一湖一工艺、晒卤周期长而且“靠天吃饭”，远不如矿石提锂高效、稳定、产线易复制，因此难以灵敏响应下游需求的爆发。另一方面，锂在庞大盐田系统的收率仅约 40%、夹带流失多，导致盐湖提锂的整体收率甚至不及 30%，资源利用效率尚不理想。

技术升级迭代加速，唤醒“高原上的沉默宝藏”。盐湖提锂的核心是浓缩分离，经典工艺是蒸发沉淀，但仅能完全适用低镁锂比的盐湖卤水。基于前期积淀，伴随下游需求爆发、资本与人才涌入、更高的 ESG 标准，我们预计未来盐湖提锂技术成长曲线的斜率将更加陡峭，并呈现五个发展趋势：（1）青海作为全球盐湖提锂的技术高地，已突破高镁锂比、低锂浓度盐湖提锂，引领工艺从“自然滩晒蒸发”转向“工业化连续生产”；（2）提锂段前移、降低锂的夹带损失，极致情形是摆脱对盐田的依赖，从“老卤提锂”转向“原卤提锂”（即 DLE），过去锂是钾的副产品，未来锂作为主产品将更为普遍；（3）从粗放走向精细化，通过优化盐田工艺、部署创新提锂技术，未来盐湖提锂的整体一次收率有望从约 30% 提高至 60% 以上，这相当于再造一个资源；（4）在产品端，从依靠低成本大量生产工业级碳酸锂，转向一步生产电池级碳酸锂、氢氧化锂、氯化锂、磷酸锂等多元产品，并逐步向金属锂等深加工延伸；（5）湖区电力匮乏但太阳能丰富，拥抱新能源、配套光伏/光热成为行业标配。

吸附法在实践中脱颖而出。无论经典的盐田沉淀，还是电渗析、膜法、萃取、吸附等多元新技术，我们认为没有最佳、只有最契合盐湖特性、最符合矿区实情、最适应发展需要的解决方案，而且多工艺的集成耦合将成为趋势。整体而言，我们认为在目前阶段，吸附法最契合“低品位、低成本、绿色提锂”的技术需要，其中吸附+膜分离耦合最为成熟，核心在于定制开发高选择性、大吸附容量、长寿命的吸附剂。（1）吸附法适用于锂浓度较低的盐湖，未来应用场景将增多，全球在建盐湖提锂产能中吸附法的占比已达到 66%；（2）吸附亦可对一线盐湖带来加持，可提高收率、缩减盐田面积、降低环境足迹。（3）针对淡水消耗量大的问题，通过提高吸附性能、增添循环装置可实现优化。

技术为资源加持，共创锂想。我们认为，锂依然属于一个新兴的资源品种，也是一个较低品位的矿种；而“优质资源”之名也不仅在于靓丽的禀赋数据，还在于可高效的转化落地为价值。因此盐湖提锂技术关键、将带来超额回报。

风险提示：

- 1、若全球锂资源供给释放超预期、新能源汽车推广低预期，将导致锂产品价格中枢下滑；
- 2、若盐湖提锂技术出现重大突破，或将取代现有的工艺路径。

内容目录

技术唤醒“高原沉默的宝藏”，构筑 TWh 时代的锂资源供应基石	9
电气化势起、拉动全球需求非线性高增，要求更高效的锂资源供给放量	10
盐湖提锂：大规模、低成本，全球锂资源供应主体的理想来源	11
技术升级迭代加速，从依靠“盐田蒸发滩晒”转向“工业化连续生产”	14
多元盐湖提锂技术突破商业化，高效吸附在实践中脱颖而出	16
多元技术攻克“高镁锂比盐湖提锂”的世界难题，“吸附+膜”脱颖而出	16
盐田沉淀法：最契合自然规律的传统经典工艺，适用于理想气候下的优质低镁锂比盐湖	18
吸附法：颇具前景、产业化案例快速增加，掣肘在于淡水消耗高、吸附剂制备需消耗锂	20
膜分离：高压过滤老卤实现低价锂离子分离，掣肘在于纳滤膜的通量有限	22
电渗析：利用直流电场实现带电荷离子的定向迁移，生产稳定、低水耗、但存在适用前提	24
溶剂萃取法：存在环保争议的高效、短流程、低成本提锂技术	25
煅烧浸取法：青海最早一代产业化的高镁锂比盐湖提锂工艺，思路巧妙但工程化掣肘多	26
电化学脱嵌法：创新的直接提锂工艺、工作原理类似锂电池，正在推进产业化尝试	27
三种盐湖提锂吸附剂：铝系成熟、适用最广，钛系与锰系将形成补充	28
铝系分子筛吸附剂：最成熟、产业化程度最高的盐湖提锂吸附材料	28
锰系离子筛吸附剂：理论吸附容量大，但溶损率高的问题尚未解决	28
钛系离子筛吸附剂：正逐步推进产业化，已有中试案例	28
盐湖提锂吸附剂的技术壁垒较高，造粒后的吸附容量、循环寿命差异大	29
吸附法提锂的再次进阶，提锂段前移、从“老卤提锂”走向“原卤提锂”	30
未来中期，技术进步、工艺定型将优化盐湖提锂产能的资本投入强度	31
盐湖的高质量开发并不仅仅在于提锂技术的突破，还需厘清盐湖生态的机理	32
纵观全球产能，高效吸附已跻身新一代盐湖提锂的主力解决方案	34
阿根廷 Hombre Muerto 盐湖——Livent：全球吸附提锂工艺的先驱	36
青海已成为全球盐湖提锂的技术高地，并开始促进西藏盐湖的开发	39
青海察尔汗盐湖——盐湖股份：蓝科合资平台建成 3 万吨碳酸锂、盐湖再自建 4 万吨锂盐	41
青海察尔汗盐湖——藏格锂业：采用高效的连续吸附提锂，建成 1 万吨碳酸锂产能	43
青海东台吉乃尔盐湖——东台锂资源：禀赋上佳，电渗析法 2 万吨碳酸锂产能成熟稳定	44
青海西台吉乃尔盐湖——中信国安锂业：未来青海的主要增量之一，从煅烧到膜法迎来蜕变	45
青海西台吉乃尔盐湖——恒信融锂业：外购老卤生产，青海导入膜法的先行者	47
青海一里坪盐湖——五矿盐湖：年产 1 万吨碳酸锂高效达产，原卤吸附上线将提高产能	48
青海大柴旦盐湖——大华化工：亿纬入股，升级萃取产线、新建吸附产能积极扩能	49
青海巴仑马海盐湖——锦泰钾肥：低钾高钠的中小盐湖资源，老线萃取、新线吸附	50
西藏扎布耶——西藏矿业：全球罕见的碳酸盐型盐湖，积极扩大产能、开展钛系吸附中试	51
西藏麻米错盐湖——藏青基金：高原上富锂盐湖中的明珠	52
西藏拉果错盐湖——紫金矿业：麻米乡的另一座优质盐湖资源，拟将晒卤方案调整为吸附	54
西藏结则茶卡盐湖——国能矿业（西藏城投）：与蓝晓合作、推进 1 万吨吸附氢氧化锂产能	55
西藏捌仟错盐湖——金圆股份：率先导入电化学脱嵌法，将为行业提供参考样本	56
西藏当雄错盐湖——西藏旭升矿业：另一个稀缺碳酸盐型，锂离子浓度 330mg/L	58
西藏扎仓茶卡盐湖——西藏鹏程矿业：三个湖区，资源规模不可小视，锂离子浓度达 635mg/L	59
西藏其他盐湖：开发过程艰苦，但远景潜力巨大、前景光明	59
新疆盐湖：罗布泊规划启动年产 5000 吨碳酸锂的老卤吸附提锂	61
在南美盐湖提锂的绿地项目中，吸附已成为与沉淀法同等重要的主流方案	62
阿根廷 Rincon 盐湖——Rio Tinto：设计采用原卤吸附技术年产 5 万吨碳酸锂	62
阿根廷 Centenario-Ratones 盐湖——Eramet：引入青山实业合资，首期原卤提锂启动建设	63
阿根廷 Kachi 盐湖——Lake Resources：采用 Lilac 的离子交换直接提锂，规划 5 万吨	65
阿根廷 Sal de Los Angeles 项目——西藏珠峰：雄心壮志引入中国领先吸附+膜工艺	67

阿根廷 Sal de Oro 项目——POSCO：基于磷酸锂生产电池级氢氧化锂产品	69
阿根廷 Cauchari-Olaroz 盐湖——赣锋/LAC：采用石灰石沉淀法，一期投产在即.....	70
阿根廷 Mariana 项目——赣锋锂业：一期 2 万吨氯化锂已开工建设，充分彰显绿色理念	72
阿根廷 Tres Quebradas 盐湖：紫金矿业 100%持有，规划 2 万吨于 2023 年投产	74
阿根廷 Sal de Vida 盐湖——Allkem：一期年产 1.5 万吨碳酸锂规划 2023 年下半年投产	76
对于禀赋一流、采用沉淀法的盐湖提锂龙头，精细化、提高收率也成为共识	78
智利 Atacama 盐湖——SQM：全球最大的盐湖提锂企业，大幅扩产的同时显著降低抽卤量	79
智利 Atacama 盐湖——Albemarle：2022 年有望部署回收率优化技术，从 40%提高至 65%.....	83
阿根廷 Olaroz 盐湖——Allkem：2022 年底产能将扩大至 4.25 万吨，从粗放走向精细化	85
美国 Silver Peak 盐湖——Albemarle：美国本土目前唯一在产的盐湖提锂，镁锂比极低.....	87
非典型的卤水提锂项目：商业化探索不止步，采用直接提锂技术是必选	88
美国 Arkansas Smackover 项目——标准锂业：从溴/烃尾液直接提锂，获科氏支持	89
美国 Arkansas 提溴尾液——Albemarle：自主研发 DLE 提锂，曾运营试点工厂	90
美国加州 Salton Sea 地热卤水——BHER：伯克希尔·哈撒韦旗下的地热卤水提锂项目.....	91
德国地热卤水——Vulcan Energy：将地热能开发与卤水吸附提锂相结合，直击欧洲痛点	92
海外其他非典型提锂项目：地热卤水提锂主要集中在欧美，油气田提锂集中于加拿大与美国	94
中国的深层地下卤水：蕴藏大规模的钾、锂资源，能否回注构成商业化利用的关键前提.....	95
青海西部深层卤水：以卤水钾盐矿床为主，多企业布局探矿权作为资源储备.....	96
四川宣汉深层卤水：先行打造示范园，推进建设中试基地.....	97
盐湖提锂的专用吸附剂需求旺盛、高性能产品将获追捧	98
吸附法整体成熟，但盐湖提锂的专用吸附剂壁垒较高，中国企业后来居上	98
全球在建盐湖提锂产能中吸附工艺占比达 66%，高端吸附剂产能结构性紧张	101
中国具备代表性的盐湖提锂工艺服务商.....	103
中蓝长化：专注化工及矿业领域的一体化工程技术服务商，中国钾盐钾肥工业的功勋企业	103
蓝晓科技：专业的吸附材料+设备形成一体化解决方案提供商，兼具技术与经验的积累	104
久吾高科：立足膜材料及膜分离技术应用，延伸至盐湖提锂专用吸附剂	106
启迪清源：特种膜分离工艺为核心优势，代表案例包括蓝科锂业提锂项目.....	107
东华科技：中国勘察设计百强企业，重点参与西藏扎布耶万吨碳酸锂 EPC+O 项目	108
新能源汽车产业链投资建议：资源+整车，聚焦微笑曲线两端	109
风险提示.....	109

图表目录

图表 1：全球主要在产锂资源项目的资源及产能情况概览	9
图表 2：2007-2022YTD，锂化合物产品价格的长周期复盘（价格单位：美元/吨）	10
图表 3：自 2022 年开始，锂行业将进入供需双旺的新阶段.....	11
图表 4：锂已蜕变为一个较纯粹的“电池金属”，动力需求已占据主体.....	11
图表 5：2022 年调整后需求有望达 71 万吨 LCE、2025 年和 2030 年或进一步增长至 165 万吨 LCE 和 409 万吨 LCE.....	11
图表 6：盐湖卤水矿的形成：封闭盆地地貌、干旱-半干旱的气候条件、钾锂跟随热泉等载体汇入并长期沉积.....	12
图表 7：锂元素在自然界中的丰度较高，可支撑远期大规模的储能应用	13
图表 8：全球锂资源的成矿类型，盐湖卤水占比近六成	13
图表 9：全球典型的盐湖资源：南美“锂三角”、中国青藏高原、美国内华达和加州、西亚死海	13
图表 10：看盐湖类型锂资源，其单个资源点、单体项目的资源规模通常可观（万吨，LCE）	13
图表 11：全球探明资源量中，南美三国占据全球 56%份额.....	14
图表 12：全球碳酸锂累计产能成本曲线（假设上下游一体化）	14
图表 13：尽管全球盐湖锂资源项目数量众多，但兼具大规模和高品位的项目稀缺，中国盐湖卤水的禀赋并不占优.....	14
图表 14：2009~2030 年全球盐湖、矿石提锂产能结构的回顾及预测	15
图表 15：2009~2030 年全球盐湖、矿石提锂产量结构的回顾及预测	15

图表 16: 一个资源项目从开发到投产, 历时漫长.....	15
图表 17: 回顾历史, 整体而言锂是一个达产率远低于设计水平的矿种	15
图表 18: 全球盐湖提锂的单吨资本开支对比.....	16
图表 19: 整体而言, 盐湖的建设周期在 15-24 个月不等.....	16
图表 20: 盐湖提锂的工艺选择需要因湖制宜、因地制宜	17
图表 21: 不同老卤提锂工艺的区别主要在于镁锂分离环节	18
图表 22: 沉淀法分为多个种类, 其中碳酸盐沉淀法是主要路径	19
图表 23: SQM 在智利 Atacama 盐湖的卤水抽取、盐田循环系统.....	19
图表 24: 美国雅保在智利 Atacama 盐湖的盐田循环系统及其淡水消耗指标.....	19
图表 25: 吸附分离树脂材料发展起源于 1935 年, 目前已显著改良优化	21
图表 26: 以吸附树脂为例, 其中的孔道可以对特定物质进行选择性的吸附	21
图表 27: 吸附树脂下游应用领域繁多, 且各领域材料存在工艺壁垒	21
图表 28: 吸附、离子交换和萃取均为直接提锂工艺, 而吸附应用广	21
图表 29: 吸附材料可通过锂源形成的插层和水将锂离子吸附和洗脱	21
图表 30: 蓝科锂业采用吸附法提锂+膜分离浓缩的耦合技术	22
图表 31: 久吾高科的老卤/原卤吸附+膜分离, 生产碳酸锂/氢氧化锂.....	22
图表 32: 有机膜是未来盐湖提锂的选择趋势, 能更好的将锂离子和其他离子、杂质进行分离.....	23
图表 33: 根据孔径范围分类可分为四类, 其中超滤膜、纳滤膜和反渗透膜是盐湖提锂主要材料	23
图表 34: LITAS 技术通过将无数 MOF 纳米颗粒筛先后组成混合基质膜 MMM、模块和设备, 来实现锂离子提取的功能.....	23
图表 35: EnergyX 的专利膜材可弥补其他工艺的缺点, 但尚需实际生产检验	24
图表 36: 电渗析技术通过直流电场作用下, 将离子定向吸引至两极	24
图表 37: Conductive 具有闭环水回收系统, 并可直接提氢氧化锂.....	24
图表 38: 普遍的萃取流程在于萃取剂的选择, 萃取出锂溶液后还需进行清洗、洗脱等环节	25
图表 39: 实际生产中, 萃取法可以用于盐湖/矿石提锂全工艺流程, 也可用于尾液提锂提升收率	26
图表 40: 煅烧法工艺流程概略图.....	26
图表 41: 电化学脱嵌法提锂的工作原理	27
图表 42: 电化学提锂工艺同样能实现锂收率的提升	27
图表 43: 电化学直接提锂流程, 目前正与金圆股份尝试合作产业化	27
图表 44: 常见的三类吸附剂的参数相差较大、适用盐湖类型、产品领域也有差异.....	29
图表 45: 铝基吸附剂已经开始产业化, 钛系有望成为下一代新型吸附剂.....	29
图表 46: 锰系离子筛合成及提锂示意	30
图表 47: 钛系吸附剂还能提供高解吸液锂离子浓度	30
图表 48: 老卤提锂的工艺流程简图	31
图表 49: 原卤提锂的工艺流程示意图, 核心是提锂段前移	31
图表 50: 原卤提锂的锂综合收率大幅提升, 主要得益于无盐田沉淀段	31
图表 51: 原卤提锂单耗有明显下降, 尤其是原辅料与动力, 但耗材微增.....	31
图表 52: 在建盐湖提锂产能中, 采用新工艺的单吨资本开支整体微降	32
图表 53: 吸附段的资本开支强度已逐步下降 (亿元/万吨 LCE)	32
图表 54: 主要在建盐湖提锂项目中, 采用新工艺产能的资本开支强度处于较低分位	32
图表 55: 做优、做精盐湖提锂是一项系统性工程, 需要 know-how 积淀.....	33
图表 56: 海外领军盐湖提锂厂商颇为重视对于盐湖循环系统机理的研究.....	33
图表 57: 以智利 Atacama 盐湖为例, 盐湖的水文循环系统决定了卤水抽取、卤水品质的稳定可持续性.....	33
图表 58: 全球在产、在建的盐湖提锂产能及其工艺选择.....	34
图表 59: 1988 年 Livent 率先实现直接盐湖提锂商业化, 当前全球已有多个盐湖对直接提锂产业化应用和实验	36
图表 60: 由于采用吸附工艺, Hombre Muerto 盐湖上的 Fénix 提锂基地仅需要小规模预处理盐田.....	37
图表 61: 阿根廷 Hombre Muerto 盐湖的矿权分布, Livent 矿权覆盖了核心区域.....	38
图表 62: Livent 工艺为抽卤--预晒--吸附--再蒸发浓缩, 最后老卤生产碳酸锂和氯化锂, 提锂周期为 4~9 个月	38

图表 63: 公司已加速了扩能脚步来满足日渐增长的锂需求	38
图表 64: 公司指引 2022-2025 年销量或从 2.3 万吨 LCE 提至 5-6.3 万吨 LCE.....	38
图表 65: Livent 与 E3 Metals 合作, 后者将提供提锂工艺的优化.....	39
图表 66: 2013-2020 年 Livent 提锂的各项能源、水耗指标得到优化	39
图表 67: 青海地区与西藏地区的盐湖锂生产环境对比	39
图表 68: 与海外盐湖相比, 中国青海盐湖卤水的镁锂比普遍偏高、锂浓度较低	40
图表 69: 中国锂盐湖集中于青海和西藏, 主要包括氯化物型、硫酸镁亚型、硫酸钠亚型和少数碳酸型盐湖	40
图表 70: 青海主要盐湖资源总览, 目前在产产能集中在中部盐湖区	40
图表 71: 西藏主要盐湖资源概览.....	41
图表 72: 2022Q1 蓝科锂业碳酸锂产/销量分别为 0.7 万吨和 0.67 万吨.....	42
图表 73: 蓝科锂业采用吸附法提锂+膜分离浓缩的耦合技术	42
图表 74: 量价支撑蓝科锂业盈利增厚, 2021 年累计净利 9.1 亿元	42
图表 75: 2013~2021 年蓝科锂业的单吨碳酸锂成本变动.....	42
图表 76: 2022~2025 年盐湖股份整体的盐湖提锂产能建设路线图.....	42
图表 77: 察尔汗盐湖提锂的资本开支强度与原材料、配套等因素相关	42
图表 78: 蓝科锂业建成的吸附法提锂生产线.....	43
图表 79: 藏格锂业盐田位于青海察尔汗盐湖铁路以东	43
图表 80: 藏格锂业采用吸附法的一期 1 万吨碳酸锂产能已投产	43
图表 81: 青海锂业-东台吉乃尔提锂采用离子膜交换技术.....	45
图表 82: 青海泰丰先行为东台锂资源公司第一大股东	45
图表 83: 东台盐湖紧邻西莎线、毗邻涩北气田, 交通便利, 建成两座各 1 万吨电渗析提锂基地	45
图表 84: 西台盐湖成熟的盐田系统、硫酸钾以及碳酸锂生产车间.....	46
图表 85: 西台吉乃尔盐湖的综合开发工艺流程	46
图表 86: 中信国安自主研发的煅烧浸取法提锂	46
图表 87: 中信国安在新专利中利用高压纳滤膜提取电池级碳酸锂.....	46
图表 88: 西台吉乃尔具备丰富且多元的矿产资源, 其中氯化锂资源量约 263 万吨.....	46
图表 89: 恒信融 2 万吨碳酸锂项目的西南侧为青海中信国安, 相距仅 600 米.....	47
图表 90: 恒信融膜法产线生产的碳酸锂产品.....	47
图表 91: 恒信融旗下的年产 6000 吨磷酸锂生产线于 2019 年投产	47
图表 92: 青海一里坪盐湖提钾、提锂工厂实景	48
图表 93: 一里坪锂资源综合利用项目导览	48
图表 94: 一里坪盐湖的采卤区以及盐田系统, 原卤吸附上线后将实现产能提升	49
图表 95: 亿纬锂能战略入股大柴旦盐湖, 并投资加快产能建设步伐	50
图表 96: 柴达木经济循环新能源产业链初具规模.....	50
图表 97: 大柴旦盐湖上的盐田系统	50
图表 98: 赣锋锂业增资入股后, 成为锦泰钾肥第三大股东	51
图表 99: 海西州冷湖行委巴伦马海附近的盐田	51
图表 100: 西藏扎布耶盐湖的太阳池法提锂	52
图表 101: 扎布耶的太阳池法仅在矿区生产“锂精矿”	52
图表 102: 2021 年扎布耶“锂精矿”产量突破性的达到 9016 吨	52
图表 103: 麻米错盐湖氯化锂总资源量 250 万吨, 折合 LCE 为 218 万吨, 锂离子浓度 920mg/L	53
图表 104: 2021 年藏格通过藏青基金间接持有麻米错盐湖 24%权益	53
图表 105: 麻米错(仓木错)盐湖距离拉果错、扎布耶盐湖距离较近	53
图表 106: 2022 年 5 月紫金获得拉果错盐湖 70%股权, 主导盐湖开发	55
图表 107: 拉果错盐湖距离改则县约 56 公里, 距离中心城市较远.....	55
图表 108: 西藏国能旗下的两座盐湖曾探讨兑卤工艺	56
图表 109: 西藏国能在结则茶卡盐湖上已建设的盐田	56

图表 110: 龙木错盐湖的控制资源量 (332) 为 217 万吨氯化锂, 平均锂离子浓度 129mg/L.....	56
图表 111: 结则茶卡盐湖的控制资源量 (332) 为 231 万吨氯化锂, 平均锂离子浓度为 191mg/L.....	56
图表 112: 2021 年捌仟错盐湖在补充勘探后, 氯化锂资源量约为 18.6 万吨, 对应浓度为 1039-2154mg/L.....	57
图表 113: 2021 年 9 月金圆股份联合提锂供应商等布局捌仟错盐湖.....	57
图表 114: 捌仟错盐湖周边地势平坦开阔.....	57
图表 115: 捌仟错盐湖的电化学脱嵌装置.....	58
图表 116: 电化学脱嵌法中的淡水池富锂液池.....	58
图表 117: 电化学脱嵌装置试验和培训基地.....	58
图表 118: 已生产出的精制碳酸锂.....	58
图表 119: 旭升矿业背后控股股东为西藏融汇投资.....	59
图表 120: 盐湖周边地势平坦, 距离尼玛县城约 84 公里.....	59
图表 121: 扎仓茶卡盐湖由 3 个湖区组成.....	59
图表 122: 西藏拥有多处禀赋理想的富锂盐湖资源.....	60
图表 123: 西藏地区卤水中锂离子浓度等值线 (mg/L).....	60
图表 124: 西藏地区盐湖镁锂离子浓度比值分布.....	60
图表 125: 西藏盐湖具有锂离子浓度高的特点.....	60
图表 126: 除扎布耶外, 仍有多个禀赋优异的西藏盐湖(mg/L).....	60
图表 127: 西藏除了锂盐湖外, 也有较多的富锂地热点.....	61
图表 128: 罗布泊可年产 150 万吨硫酸钾, 是国内仅次于察尔汗的重要钾肥生产基地.....	61
图表 129: Rincon 盐湖位于阿根廷萨尔塔省与胡胡伊省的交接处.....	63
图表 130: Rincon 盐湖目前已建成的试验性工厂.....	63
图表 131: Rincon 盐湖未来商业化工厂的设计图.....	63
图表 132: Rincon 盐湖 7.7 亿美元资本开支的具体拆分.....	63
图表 133: 可研报告关于 Rincon 盐湖直接生产成本的具体拆分.....	63
图表 134: Centenario-Ratones 盐湖由 Eramet 独立持有矿权, 靠近阿根廷 Livent-Fenix 项目.....	64
图表 135: Eramet 自主研发的提锂工艺分为吸附、膜分离两大环节, 但并非选择性吸附, 分离全部在膜环节完成.....	64
图表 136: 通过提供融资, 青山将获得盐湖提锂工厂 49.9%的参股股权.....	65
图表 137: Centenario-Ratones 盐湖 22Q1 重启一期 2.4 万吨产能建设.....	65
图表 138: Kachi 项目周围还有 3Q 项目、Fenix 项目和 Sal de Vida 盐湖.....	66
图表 139: 直接离子交换工艺一是能缩短生产周期至 3 小时, 二是产品浓度和杂质远优于传统产品.....	66
图表 140: Lilac Solutions 获得了以科技与产业为代表的领先企业认可.....	66
图表 141: 公司锂盐产能规划已从 2.55 万吨扩大至 5 万吨.....	66
图表 142: Kachi 项目工艺下, 所生产的碳酸锂品质优于传统电碳.....	67
图表 143: 使用 Lilac 直接提锂工艺的生产工厂模拟布局图.....	67
图表 144: Kachi 盐湖提锂项目的矿区地貌.....	67
图表 145: Sal de Los Angeles 盐湖处锂三角中, 规划将在 501-790mg/L 处建设盐田设施.....	68
图表 146: 西藏珠峰持有 SDLA 项目 54%权益.....	68
图表 147: 西藏珠峰锂业务的核心资产为 SDLA 和 Arizaro 项目.....	68
图表 148: SDLA 盐湖已建设的盐田区域.....	69
图表 149: SDLA 盐湖的提锂工厂.....	69
图表 150: 蓝色区域为 Sal de Oro 项目, 与红色区域 Sal de Vida 临近.....	70
图表 151: Sal de Oro 项目现场的地貌.....	70
图表 152: Sal de Oro 正在矿区试验线的基础上建设商业化产能.....	70
图表 153: Olaroz 盐湖以及 Cauchari 盐湖主要由 Allkem、赣锋与 LAC 合资的 Minera Exar 所占据.....	71
图表 154: Cauchari-Olaroz 项目已具备总资源量 (M+I) 1985.3 万吨 LCE, 平均锂离子浓度达 592mg/L.....	71
图表 155: Cauchari-Olaroz 盐湖提锂的主要设施, 一期产能投产在即.....	72
图表 156: 赣锋锂业作为项目的控股股东, 持股比例 46.7%.....	72

图表 157: Cauchari-Olaroz 盐湖提锂项目的盐田系统	72
图表 158: 盐田和碳酸锂工厂的建设开支占比合计超过总投入的 58%	72
图表 159: 一期产能的运营成本评估: 试剂成本占比高达 52%	72
图表 160: Mariana 项目位于阿根廷 Salar de Llullaillaco, 不同区段的锂浓度存在差异	73
图表 161: Mariana 项目的 M+I 资源总量达到 685.4 万吨碳酸锂当量, 锂离子浓度 319mg/L	73
图表 162: 2022 年 5 月底 Mariana 项目已正式开工建设	74
图表 163: Mariana 项目的盐田以及抽卤井规划	74
图表 171: 据 2022 年 2 月更新披露, 在 500 mg/L 锂离子浓度边界品位下, Sal de Vida 具备总资源量 685 万吨 LCE	77
图表 172: 据 2022 年 2 月更新披露, 在 500 mg/L 锂离子浓度边界品位下, Sal de Vida 具备总储量 174 万吨 LCE	77
图表 173: 未来二期、三期将采用模块式添加进行扩能	78
图表 174: Sal de Vida 项目的工艺将采用更简化的提锂流程	78
图表 175: 蒸发池和碳酸锂工厂占总资本开支约 44%	78
图表 176: 一期可研评估的运营成本为 3612 美元/吨	78
图表 177: Sal de Vida 项目一期计划在 2023 年下半年投产	78
图表 178: SQM 在获取氯化锂溶液后, 通过萃取除硼、两次提纯和碳化后获得碳酸锂产品	79
图表 179: 阿根廷 Olaroz 盐湖提锂采用的工艺流程, 需在盐田中加入大量的生石灰	79
图表 180: Atacama 盐湖位于 Antofagsta 港口以东 208 公里	81
图表 181: Atacama 盐湖在 SQM 的矿权区域内拥有 1080 万吨锂金属量的资源量, 折合 LCE 为 5749 万吨	81
图表 182: In-situ 口径下, SQM 在 Atacama 盐湖采矿区域内的锂储量合计为 36 万吨, 折合 LCE 约为 195 万吨	81
图表 183: SQM 旗下 Salar del Carmen 配套锂盐厂的布局图	81
图表 184: Atacama 盐湖模型中的锂离子浓度分布 (%)	81
图表 185: SQM 旗下氯化钾 (MOP) 和硫酸钾 (SOP) 盐田的布局规划	82
图表 186: SQM 在智利 Atacama 盐湖、配套 Salar del Carmen 锂盐厂中采用的工艺流程图	82
图表 187: 2023 年碳酸锂与氢氧化锂产能规划分别为 21 万吨、4 万吨	82
图表 188: SQM 扩能后销量屡攀新高, 22Q1 锂销量达到 3.81 万吨	82
图表 189: SQM 在 Atacama 盐湖的可持续发展目标已成为行业标杆	83
图表 190: Albemarle 在其 Atacama 盐湖矿权区域内, 拥有锂资源总量合计 149.1 万金属吨, 折合 LCE 为 793.9 万吨	84
图表 191: Albemarle 在 Atacama 盐湖矿权区域内的锂资源储量达到 64.7 万金属吨, 折合 LCE 344.3 万吨	84
图表 192: 智利 Atacama 盐湖的矿权归属, ALB 与 SQM 的租赁区域划分, 以及 ALB 的盐田扩张	84
图表 193: 雅保位于 Atacama 盐沼南缘的水文地质概念模型	85
图表 194: 雅保公司未来整体的产能扩张路线图	85
图表 195: 在智利盐湖方面, Albemarle 已完成 La Negra III/IV 扩能, 未来将通过收率优化项目实现增量	85
图表 196: 2022 年 Olaroz 盐湖的 M+I 锂资源量提升至 975 万吨 LCE, 加上 Cauchari 项目合计达到 1455 万吨 LCE	86
图表 197: Allkem 已将 Olaroz 项目和临近的 Cuachari 项目整合	86
图表 198: 丰田通商为 Olaroz 盐湖的战略股东, JEMSE 持有干股	86
图表 199: Olaroz 一期的开发历程, 从 2008 年启动勘探到 2015 年投产	87
图表 200: Olaroz 的二期盐田设计, 以及位于日本长滨的氢氧化锂工厂	87
图表 201: Olaroz 项目二期总资本开支 3.65-38 亿美元	87
图表 202: 可研评估二期的碳酸锂运营成本为 3206 美元/吨	87
图表 203: Olaroz 盐湖的二期扩能规划在 2022 年下半年投产	87
图表 204: Olaroz 盐湖一期在 2021 年的产能利用率达到 74%	87
图表 205: 银峰盐湖总体属于一个锂离子浓度低、但镁锂比极佳 (1.3-1.4/1) 的盐湖资源	88
图表 208: 标准锂业涉足的两个主要项目	90
图表 209: LISTR 直接提锂工艺的简易流程图	90
图表 210: SiFT 碳酸锂结晶工厂的内部装置	90
图表 211: LANXESS 项目工厂实景图	90
图表 212: 两个项目的 PEA 展现了出色的 IRR	90

图表 213: 雅保位于阿肯色州西南部 Magnolia 的溴素提取工厂	91
图表 214: 雅保在阿肯色州 Smackover 地层拥有大面积地下卤水溴矿	91
图表 215: 雅保公司在溴业务上拥有成熟的“优质资源+化工产能”上下游垂直一体化的生产体系	91
图表 216: BHER 的地热发电厂	92
图表 217: 2021 年的 BHER 的提锂演示工厂	92
图表 218: Vulcan 将开发地热能源、并从深层地热卤水中吸附提锂、电解生产氢氧化锂, 再将尾液注入回地下	93
图表 219: 公司将分为两期合计打造年产 4 万吨的氢氧化锂产能	93
图表 220: 公司正在建设 DLE 展示工厂, 计划 22Q3 投入生产	93
图表 221: 公司地热卤水提锂工艺示意图	93
图表 222: 公司估测, 其拥有的地热卤水勘探许可权处欧洲最大, 折合 LCE 约 1585 万吨	94
图表 223: 公司将同时发展地热能开发、地热卤水提锂两块业务	94
图表 224: 公司规划 2024 年实现第一阶段 1.5 万吨氢氧化锂投产	94
图表 225: 近期 Vulcan 陆续与 5 家新能源汽车产业链优质企业签订包销协议, 前 5 年产能基本被锁定完毕	94
图表 226: CTR 地热卤水提锂及电厂概念图	95
图表 227: ATLiS 地热提锂流程示意	95
图表 228: 学术界对美国及德国的部分油气田含锂范围估计	95
图表 229: E3 Lithium 旗下 3 个油气提锂项目, Clearwater 为旗舰项目	95
图表 230: 中国深层富钾卤水资源主要分布在四川宣汉、湖北潜江、青海西部	96
图表 231: 中国主要已布局深层卤水的企业	96
图表 232: 青海柴达木盆地西部构造图	97
图表 233: 达州宣汉的深部卤水资源勘探以及中试线	98
图表 234: 四川盆地内的多个钾异常点位, 初步圈定富钾卤水重点区	98
图表 235: 中国国内领先的吸附企业处于全球第二梯队, 与国际厂商在研发积淀、生产规模和品质等方面尚有差距	99
图表 236: 采用新工艺的项目全流程往往需要经过反复实验和调试	99
图表 237: 铝系吸附剂是基于氢氧化铝和锂源合成的吸附材料	99
图表 238: 锰系离子筛结构演变	100
图表 239: 钛系离子筛多孔 Li4Ti5O12 脱锂/提取过程	100
图表 240: 全球主要新盐湖提锂工艺商技术对比, 中国工艺商仍有产业经验先发优势	100
图表 241: 除了专业提锂技术服务商, 盐湖提锂的开发还离不开专业的工程设计企业	101
图表 242: 截至 2022H1, 全球盐湖提锂规划建设产能已达到 86 万吨, 而吸附产能占比 66%	102
图表 243: 在既定假设下, 我们通过平滑测算预计 2022-2025 年当年全球锂吸附材料的需求量有望从 1.4 万方增长至 7.1 万方	103
图表 244: 中蓝长化发挥在化工工程领域优势, 在盐湖提锂项目及工艺设计中有深厚积淀	104
图表 245: 中蓝长化在钾肥领域也有丰富的履历经验	104
图表 246: 蓝晓科技在吸附提锂工艺中, 拥有国内最多的合作合同, 案例经验丰富	105
图表 247: 公司吸附分离材料可应用于多类分离提取场景且产品差异较大	106
图表 248: 截至 22Q1, 公司两位实控人合计持股 38.3%, 股权结构稳定	106
图表 249: 公司主要有 7 大业务领域, 较全面覆盖下游需求领域	106
图表 250: 膜分离应用领域主要涵盖 4 大领域, 17 个细分行业	107
图表 251: 公司大股东为上海德汇集团, 南京工业大学参股	107
图表 252: 久吾高科的核心提锂工艺涵盖膜法与吸附法	107
图表 253: 公司膜类产品为主, 吸附剂产品包括铝系和钛系吸附剂	107
图表 254: 启迪清源在核心膜技术主要布局涉及盐化工、石油化工、食品生物等四大类	108
图表 255: 公司深度参与蓝科锂业的碳酸锂投建	108
图表 256: 公司的卤水钠镁分离工艺	108
图表 257: 启迪清源利用膜法提锂已积累了一批盐湖提锂项目	108
图表 258: 东华科技在盐湖提锂领域中, 从参与设计、工程建设逐步拓展到运营领域	109

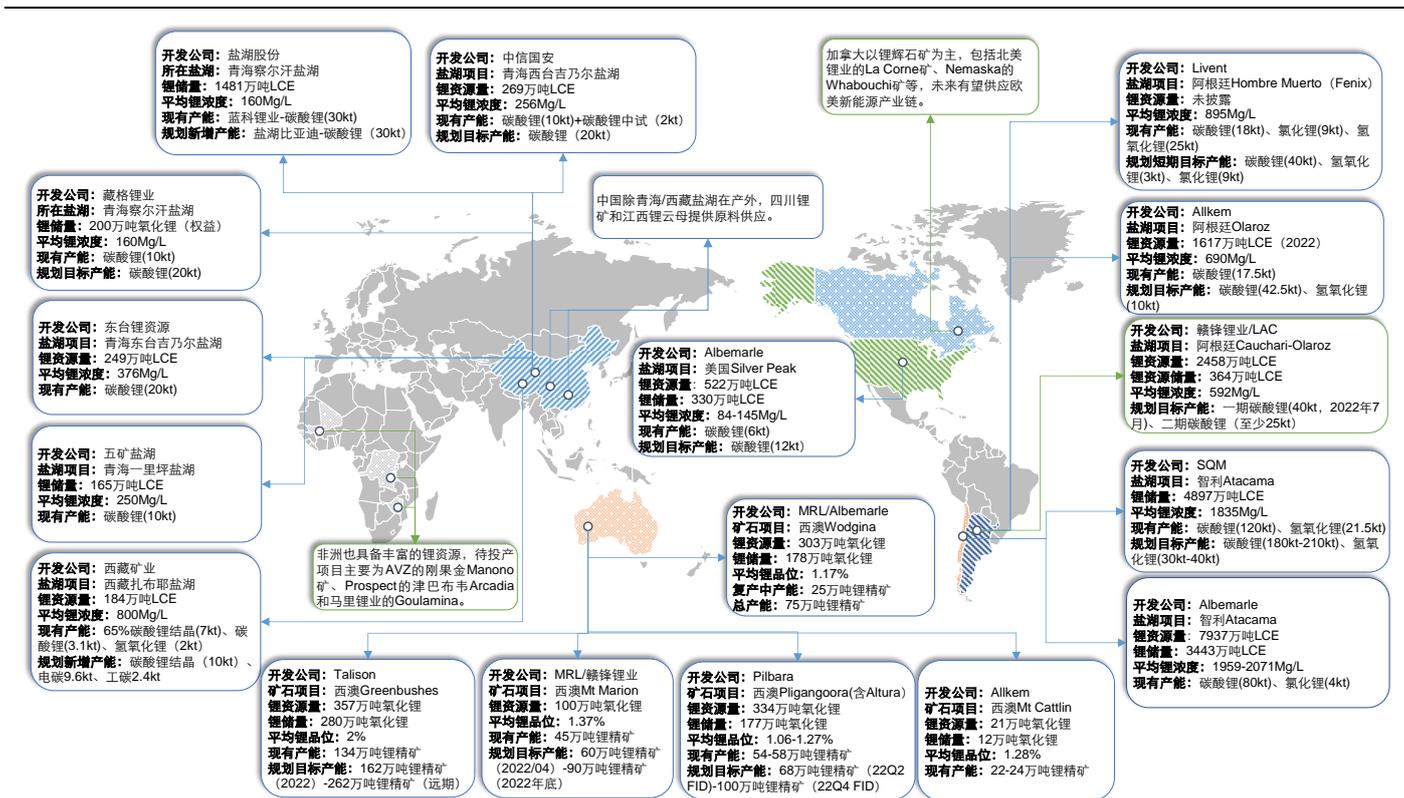
技术唤醒“高原沉默的宝藏”，构筑 TWh 时代的锂资源供应基石

盐湖类型的锂资源占据全球探明锂资源总量近六成，加上盐湖锂资源单体项目的资源体量通常较大、可支撑高产规模，同时生产成本低、且尾渣处理的环境压力相对较小，因此有望成为锂电新能源 TWh 时代全球锂资源供应的基石。

回顾锂行业的历程，全球首个盐湖提锂项目—美国内华达州银峰盐湖（Silver Peak）于 1966 年规模化开发投产，此后 1990s 年代以来，从美国到南美“锂三角”、再到中国的青藏高原，全球盐湖提锂得到长足发展，一度曾出清北美、澳洲、中国的高成本固体锂矿，形成“三湖一矿”的供应格局，锂辉石矿只剩下西澳的泰利森延续生产。但在全球迎来新能源汽车历史性的发展机遇之际、尤其 2015 年以来，全球盐湖提锂的供应份额反而从 59% 大幅降低至仅约 43%，不增反降。主要原因在于，绝大多数的盐湖项目均位于基础设施薄弱、条件艰苦的偏远高寒高海拔地区，盐田蒸发沉淀的前提建设投入大、一湖一工艺、晒卤周期长而且通常“靠天吃饭”，远不如矿石提锂一般生产高效、稳定、产线易复制（尤其可露天开采、仅采用重选 DMS 的锂辉石矿床），加上产能扩张还需扩大前端的抽卤量和钾肥产出，这导致过去的盐湖提锂产能难以灵敏跟进、匹配需求侧的爆发式增长，相比之下这恰恰是锂辉石、以及更低品位锂云母的主要优势和生存法则。在过去的产业实践中，产能建设效率、生产效率、实际采卤与预想的差距，制约了全球大部分盐湖类型锂资源的价值发挥。

以动态和发展的眼光看，我们认为下游需求的快速增长，持续大规模的资本投入和人才涌入，加上前期十年磨一剑的经验积淀，将显著提高未来 2~3 年提锂技术成长曲线的斜率，加快更加高效提锂技术的产业化和技改升级，驱动全球盐湖提锂的工艺流程从“自然滩晒蒸发”转向“工业化连续生产”。整体而言，工艺进步和技术创新将唤醒“高原上的沉默资源宝藏”，打通效率瓶颈、扩大可利用的资源丰度，从而提高盐湖提锂的供应占比，为下游终端的新能源汽车、储能应用带来大规模、低成本、高效、低碳的锂资源供应保障。

图表 1：全球主要在产锂资源项目的资源及产能情况概览



资料来源：各公司公告，青海盐湖所，五矿证券研究所

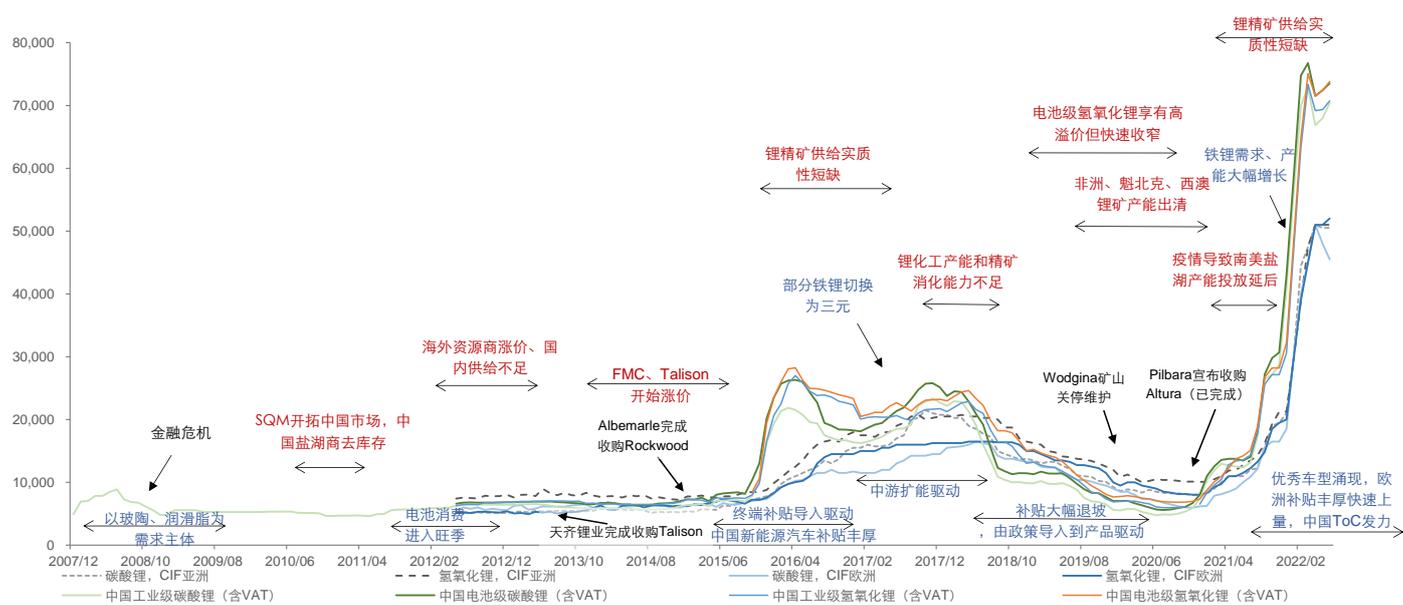
电气化势起、拉动全球需求非线性高增，要求更高效的锂资源供给放量

我们认为，全球新能源汽车的产业发展已在 2020 年下半年跨过成长曲线斜率上翘的奇异点，进入“全球市场共振、产品力与扶持政策共促、新势力与传统车企同台共舞”的发展格局。尽管疫情的阴霾未散、海外高通胀侵蚀购买力、全球供应链正在经历重构的变局、叠加美联储的连续加息，导致全球经济前景不明，但在化石能源价格高企以及产品力的助推下，新能源产业已成为“夜空中最亮的星”。而下游终端动力、储能应用的放量将为锂行业带来持续更大量级的年需求增长（从 2015 年的年增 2 万吨 LCE，到 2021 年的年增 21 万吨 LCE）。因此，全球锂资源的供给侧有必要为需求侧的非线性增长做好准备。

在需求爆发的背景下，锂资源供给在 2020 年出清后呈现较高的供给集中度，加上疫情显著拉长了海外资源国从投融资高峰、资本投入高峰、转向产能高峰的时间周期，以及全球供应链加大备货力度的“长尾效应”，导致即期的供给弹性受限、供需显著错配，拉动电池级碳酸锂价格连创历史新高，在 22Q1 一度达到 50 万元/吨，产业链中下游深受“资源焦虑”所困，而成本传导压力也导致产业链呈现一定程度的需求“反噬”。尽管 2022 年中国市场再次受到疫情的困扰，同时欧洲购买力也因为地缘和高企的通胀遭遇显著冲击，但鉴于全球电动化的趋势明朗、车企加快转型、汽车产业的刺激政策陆续推出，我们判断除非全球经济出现“硬着陆”的系统性风险，否则未来锂价的理性回归，反将刺激下游需求的非线性高增，这一过程将支撑锂价中枢在高位运行的时间较长。鉴于需求的强度以及需求的刚性，我们认为产业链未来将始终需要高效、大规模的锂资源供给，直至渗透率接近饱和、循环回收成为主力（2030 年前后）、或者革命性替代电池技术的出现。

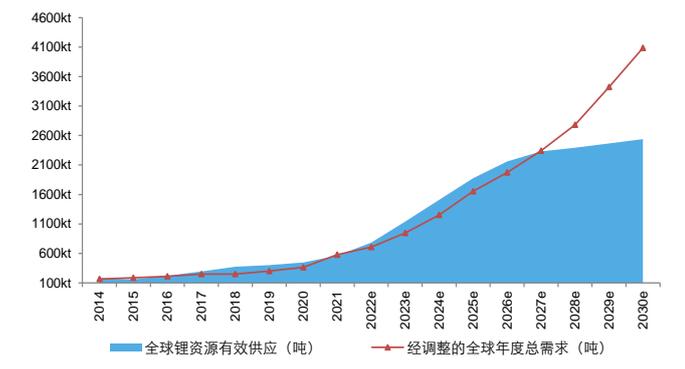
量化来看，在我们的基准情形的需求模型中：（1）不考虑产业链备货，2021 年全球锂需求总量为 49 万吨 LCE、同比增长 54%，我们预计 2022 年需求为 65 万吨、同比增长 33%，2025 年预计达到 155 万吨，2030 年将有望大幅增长至 394 万吨；（2）进一步考虑产业链备货，调整后的 2021 年全球锂需求总量为 58 万吨 LCE、同比增长 59%，我们预计 2022 年为 71 万吨、同比增长 22%，2025 年预计将达到 165 万吨，2030 年将有望大幅增长至 409 万吨 LCE，2022~2030 年 CAGR 为 25%。

图表 2：2007-2022YTD，锂化合物产品价格的长周期复盘（价格单位：美元/吨）



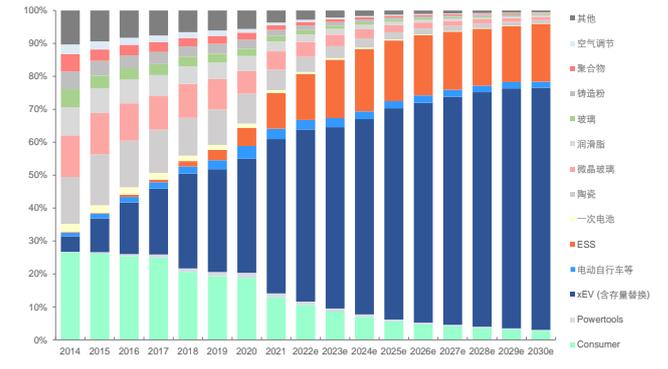
资料来源：亚洲金属网，Benchmark，五矿证券研究所

图表 3：自 2022 年开始，锂行业将进入供需双旺的新阶段



资料来源：各公司公告，五矿证券研究所预测

图表 4：锂已蜕变为一个较纯粹的“电池金属”，动力需求已占据主体



资料来源：各公司公告，五矿证券研究所预测

图表 5：2022 年调整后需求有望达 71 万吨 LCE、2025 年和 2030 年或进一步增长至 165 万吨 LCE 和 409 万吨 LCE

供应分区区域 (吨, LCE)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022e	2023e	2024e	2025e	2026e	2027e	2028e	2029e	2030e	
全球锂资源供给量	170,644	163,015	214,520	306,094	385,115	425,663	438,090	562,989	778,786	1,153,601	1,530,121	1,899,977	2,170,300	2,332,768	2,396,179	2,466,473	2,540,850	
供给量 yoy	14%	-4%	32%	43%	26%	11%	3%	29%	38%	48%	33%	24%	14%	7%	3%	3%	3%	
全球有效供给 (考虑精矿库存)	176,727	156,595	219,337	293,421	372,413	400,143	445,238	559,817	783,429	1,141,456	1,507,738	1,874,482	2,161,193	2,331,647	2,394,890	2,466,348	2,540,725	
资源供给增量	21,110	-7,630	51,505	91,574	79,022	40,548	12,427	124,899	215,797	374,815	376,520	369,856	270,323	162,469	63,411	70,294	74,377	
有效供给 yoy	20%	-11%	40%	34%	27%	7%	11%	26%	40%	46%	32%	24%	15%	8%	3%	3%	3%	
锂原料回收								9,150	25,341	39,597	56,000	69,000	86,500	108,500	142,000	202,000	278,000	371,000
回收 yoy								177%	56%	41%	23%	25%	25%	31%	42%	38%	33%	
全球锂原料供应总量 (一次+回收)	176,727	156,595	219,337	293,421	372,413	400,143	454,388	585,157	823,026	1,197,456	1,576,738	1,960,982	2,269,693	2,473,647	2,596,890	2,744,348	2,911,725	
总供给增量	30,062	-20,132	62,742	74,084	78,992	27,729	54,245	130,769	237,869	374,430	379,282	384,244	308,711	203,954	123,242	147,459	167,377	
终端需求 (吨, LCE)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022e	2023e	2024e	2025e	2026e	2027e	2028e	2029e	2030e	
Consumer	43,200	47,200	51,600	56,000	54,400	56,000	60,000	63,300	68,364	73,833	78,632	82,564	86,692	91,027	94,668	98,454	102,393	
PowerTools	476	851	1,297	1,988	2,692	3,504	4,814	5,809	7,116	8,096	8,501	8,884	9,150	9,425	9,707	9,999	10,299	
xEV (含存量替换)	7,697	18,491	31,793	44,686	75,766	90,199	110,161	229,415	347,466	498,867	718,711	1,030,381	1,317,502	1,624,289	1,993,306	2,442,528	2,942,589	
电动自行车等E2WVs	1,757	2,486	3,439	4,385	5,792	7,893	12,420	15,401	18,685	23,634	26,132	31,660	40,629	46,487	51,832	59,289	68,162	
ESS (含通信储能与风光)	350	420	1,400	1,700	4,200	9,030	17,585	52,439	83,222	141,390	201,291	257,777	333,674	390,849	460,732	540,517	666,830	
全球锂离子动力电池整体 (吨)	53,481	69,448	89,528	108,759	142,850	166,627	204,980	366,364	524,853	745,819	1,033,268	1,411,266	1,787,648	2,162,277	2,610,245	3,150,787	3,790,273	
非车载、非储能锂离子电池	45,433	50,537	56,336	62,373	62,884	67,397	77,234	84,510	94,165	105,563	113,265	123,108	136,471	147,138	156,207	167,742	180,853	
一次电池	4,100	4,300	4,600	4,600	4,400	4,300	4,100	4,209	4,285	4,362	4,441	4,521	4,602	4,685	4,769	4,855	4,942	
陶瓷	23,202	27,900	28,700	29,400	30,200	31,200	28,900	30,460	30,442	30,793	31,562	32,351	33,160	33,989	34,839	35,710	36,603	
微晶玻璃	20,681	22,500	23,000	22,700	27,100	26,700	21,900	27,207	29,445	30,152	30,875	31,616	32,375	33,152	33,948	34,762	35,597	
润滑油	13,903	13,600	14,600	14,400	14,100	14,500	14,600	14,917	14,803	14,986	15,216	15,266	15,407	15,644	15,933	16,226	16,524	
玻璃	9,000	7,000	7,000	7,400	7,400	7,700	7,000	8,060	8,391	8,559	8,730	8,905	9,083	9,265	9,450	9,639	9,832	
铸造粉	8,800	8,000	8,000	8,200	8,500	8,700	8,700	8,802	9,066	9,338	9,618	9,906	10,204	10,510	10,825	11,150	11,484	
聚合物	8,582	6,300	6,400	6,600	6,700	6,900	6,800	6,876	6,987	7,266	7,557	7,859	8,174	8,500	8,840	9,194	9,562	
空气调节	4,789	4,400	4,400	4,600	4,700	4,800	3,600	4,178	4,257	4,381	4,509	4,641	4,777	4,917	5,062	5,210	5,364	
其他	16,850	16,900	16,800	17,000	17,300	17,500	17,800	18,029	18,296	18,567	18,841	19,120	19,403	19,690	19,982	20,278	20,578	
全球传统需求	109,907	110,900	113,500	114,900	120,400	122,300	113,400	122,738	125,570	128,403	131,350	134,186	137,185	140,353	143,648	147,024	150,485	
全球年度总需求 (吨)	163,388	180,348	203,028	223,659	263,250	288,927	318,380	489,102	650,423	874,222	1,164,617	1,545,452	1,924,833	2,302,630	2,753,893	3,297,811	3,940,758	
经调整的全球年度总需求 (吨)	166,086	186,323	211,050	249,237	249,119	300,171	363,101	576,804	705,337	945,038	1,251,547	1,653,122	1,972,199	2,342,581	2,783,144	3,422,826	4,087,888	
全球总需求YoY		12%	13%	18%	0%	20%	21%	59%	22%	34%	32%	32%	19%	19%	19%	23%	19%	
需求年增量 (LCE, 吨)		20,237	24,727	38,187	-118	51,052	62,930	213,703	128,533	239,701	306,509	401,575	319,077	370,382	440,563	639,682	665,062	
供需平衡 (吨, LCE)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022e	2023e	2024e	2025e	2026e	2027e	2028e	2029e	2030e	
实际资源供需 (LCE, 吨)	10,641	-29,728	8,287	44,184	123,294	99,972	91,288	8,354	117,689	252,418	325,191	307,860	297,493	131,066	-186,254	-678,478	-1,176,163	
过剩/短缺量与需求的比例	6.4%	-16.0%	3.9%	17.7%	49.5%	33.3%	25.1%	1.4%	16.7%	26.7%	26.0%	18.6%	15.1%	5.6%	-6.7%	-19.8%	-28.8%	

资料来源：各公司公告，五矿证券研究所预测

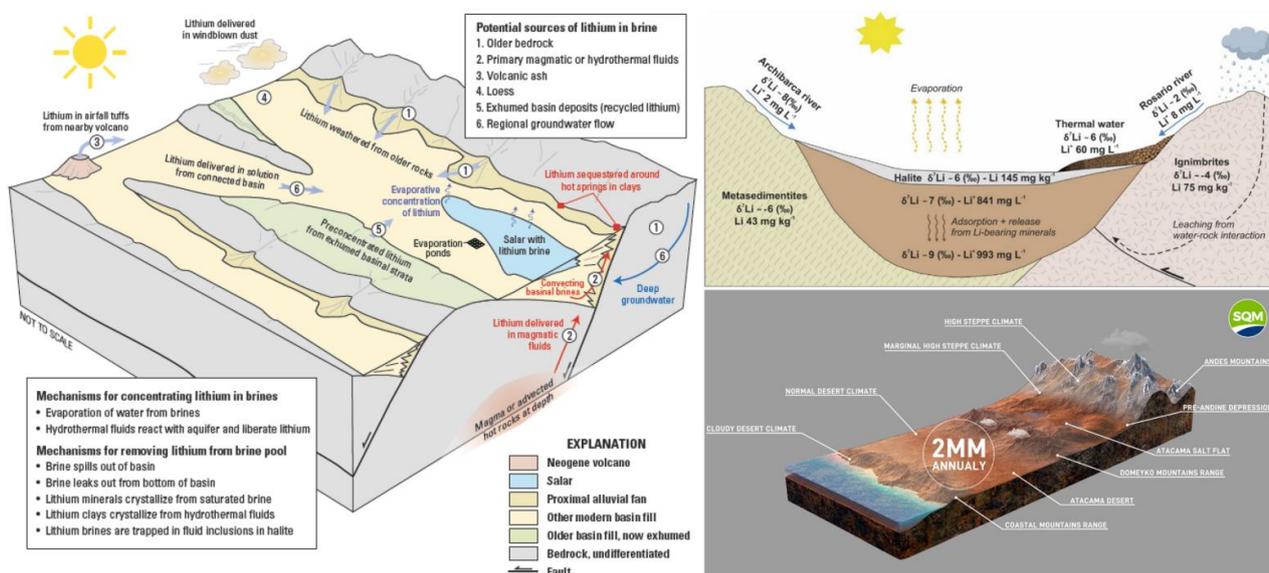
盐湖提锂：大规模、低成本，全球锂资源供应主体的理想来源

锂作为自然界中最轻、标准电极电势最低、电化学当量最大的金属元素，是天生理想的“电池金属”，因此在要求高比能的动力和储能应用场景中将具备长期的需求刚性，被誉为“未来的白色石油”。全球锂资源的供应体系分为矿石提锂、盐湖提锂两大体系。其中，盐湖卤水类型的锂资源在全球探明锂资源构成中的占比高达近六成，若纳入各类深层卤水、油气田卤水，其资源规模及找矿潜力将更加可观。加上盐湖项目的单体资源规模较大、运营成本低、工艺进步的潜力较大，因此未来有望成为全球锂资源供应理想的主体来源。

- 锂元素在地壳中的丰度并不低，但全球兼具大规模、高品位、易开采的优质锂资源项目依然稀缺，且全球分布不均。据 USGS 统计，2021 年全球锂资源总量 8556 万吨金属量、折合 1.19 亿吨 LCE，探明总储量 2243 万吨金属量、折合 4.71 亿吨 LCE，足以支撑远期大规模的动力以及高端储能应用。其中，中国的锂资源总量紧随南美锂三角、澳洲、美国，全球占比 6%、位列第六，但中国高品位的锂矿资源较为匮乏。

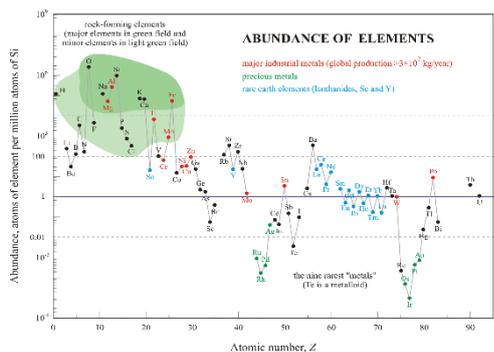
- 锂资源的成矿形式较为多样，其中三类占据主导：封闭盆地的盐湖卤水锂矿、伟晶岩型的硬岩锂矿（锂辉石、透锂长石、锂云母等）、沉积岩型的粘土锂矿，分别占据全球锂资源总量的 58%、26%、7%，其余类型包括地下油气田卤水、地热卤水锂等。该比例跟随全球勘探的进程将动态变化，但仍可展现地壳中锂资源分布的基本特征。截至目前，得到商业开采的主要是硬岩与盐湖锂矿，未来 3~5 年，全球部分的高品位粘土锂矿有望加入供给阵营，而针对深层卤水、地热卤水钾锂资源的综合利用也正在开展试验。
- 聚焦盐湖，其主要形成于高海拔地区干旱、半干旱气候的封闭盆地，地下热泉或河流将锂资源长期汇聚带入。全球有四大代表性的盐湖成矿区（美国西部盐湖区、南美盐湖区、西亚死海、中国盐湖区），资源禀赋各有特点。根据 2019 年自然资源部统计，中国的卤水锂资源潜力为 9250 万吨氯化锂、查明率仅为 19%，占中国整体锂资源潜力的比重高达 78.8%，主要分布在青海（盐湖）、西藏（盐湖），四川达州和湖北潜江（地下油田卤水）等地，新疆虽也有罗布泊等重要的钾肥生产基地，但原卤的平均锂含量较低。
- 其中，青海盐湖属于高镁锂比、低锂离子浓度（甚至超高镁锂比）的盐湖卤水，锂主要作为钾、硼的副产品；由于早期已建成大规模的钾肥产能，因此具备盐田、基础设施、能源成本、物流运输方面的配套优势；在高镁锂比卤水提锂的技术难题实现突破后，青海盐湖的提锂产能目前正处于快速增长期。相比之下，西藏盐湖项目的锂离子浓度普遍更高，且拥有地表卤水（青海为晶间卤水），矿区的淡水资源也更加充裕，但由于电力系统薄弱、高海拔条件艰苦（装置也需要额外的磨合）、以及严苛的环保要求，目前阶段尚未得到全面开发，主要是在树立个别的“示范工程”。而位于青海、四川、湖北的深层卤水和油田卤水目前均处于勘探、试验阶段，资源潜力大，但打钻的成本、抽卤的持续性、尾卤能否回注、综合利用的可行性是制约此类资源商业化开采的掣肘。

图表 6：盐湖卤水矿的形成：封闭盆地地貌、干旱-半干旱的气候条件、钾锂跟随热泉等载体汇入并长期沉积



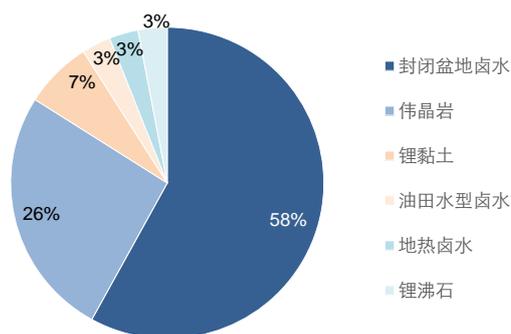
资料来源：U.S. Geological Survey, Chemical Geology, SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 7：锂元素在自然界中的丰度较高，可支撑远期大规模的储能应用



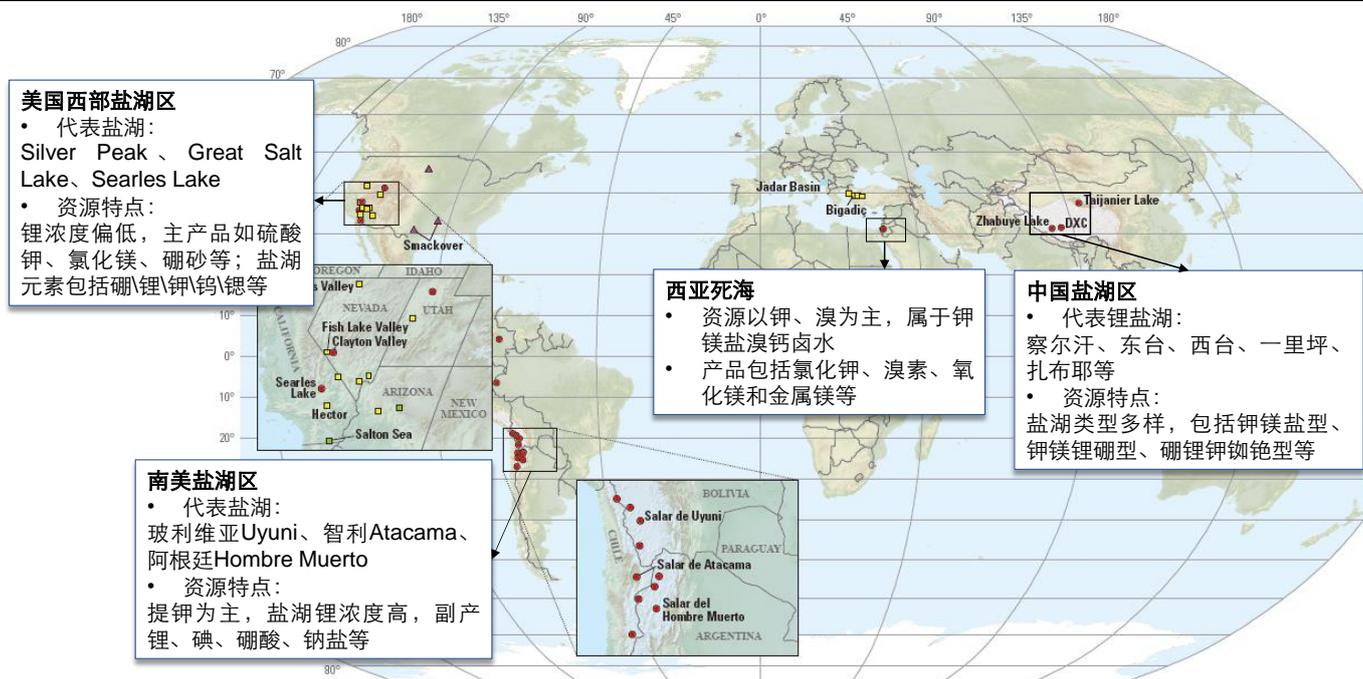
资料来源：USGS，五矿证券研究所

图表 8：全球锂资源的成矿类型，盐湖卤水占比近六成



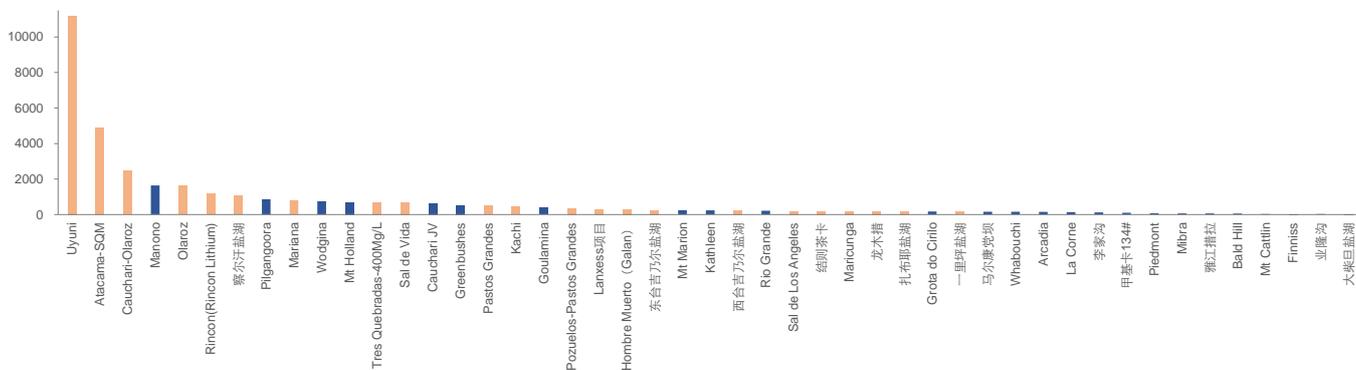
资料来源：USGS 2012，五矿证券研究所

图表 9：全球典型的盐湖资源：南美“锂三角”、中国青藏高原、美国内华达和加州、西亚死海



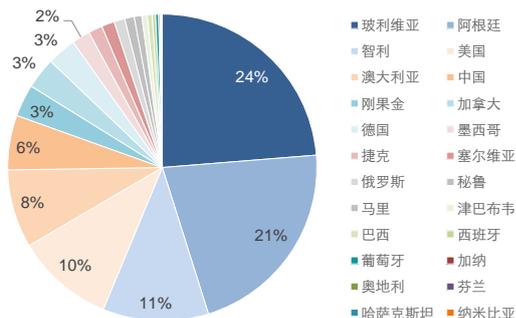
资料来源：USGS，《对建设世界级盐湖产业基地的思考》，五矿证券研究所

图表 10：看盐湖类型锂资源，其单个资源点、单体项目的资源规模通常可观（万吨，LCE）



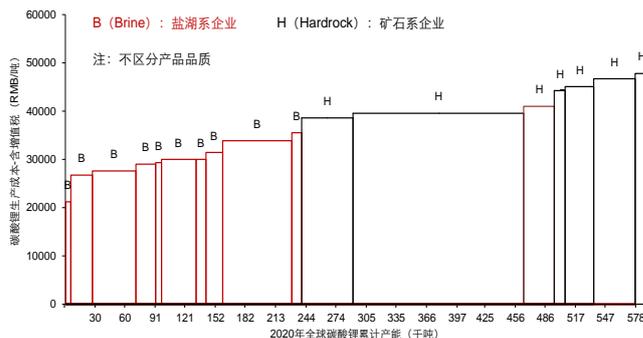
资料来源：各公司公告，五矿证券研究所（注：锂盐湖已标黄，锂矿石已标蓝）

图表 11：全球探明资源量中，南美三国占据全球 56% 份额



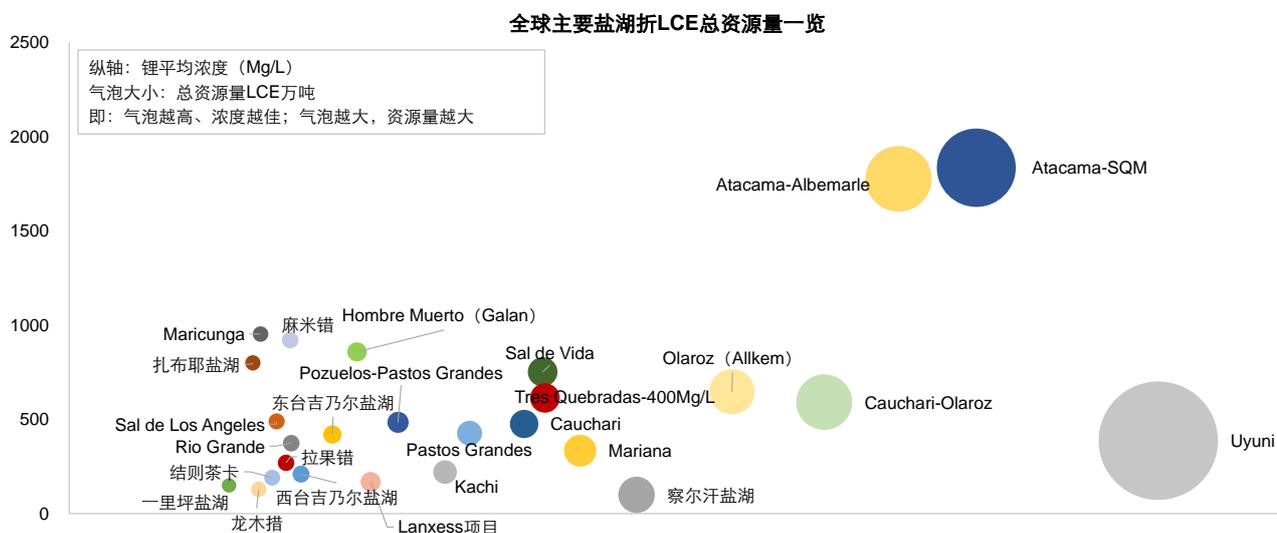
资料来源：USGS 2022，五矿证券研究所

图表 12：全球碳酸锂累计产能成本曲线（假设上下游一体化）



资料来源：各公司公告，五矿证券研究所

图表 13：尽管全球盐湖锂资源项目数量众多，但兼具大规模和高品位的项目稀缺，中国盐湖卤水的禀赋并不占优



资料来源：各公司公告，青海盐湖所，五矿证券研究所

技术升级迭代加速，从依靠“盐田蒸发滩晒”转向“工业化连续生产”

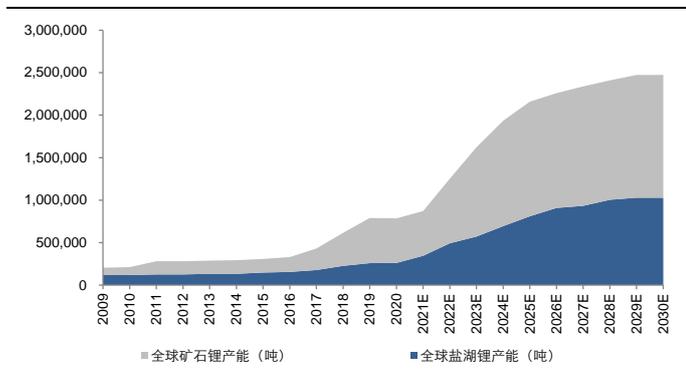
盐湖提锂的工艺化繁为简，可分为提锂（浓缩、分离）和沉锂，其中核心技术在于提锂，沉锂较为标准化。尽管盐湖开发被寄予厚望，但时至今日，近 60% 的锂资源供应被矿石提锂所占据，主因盐湖提锂的产能释放存在多方面的掣肘：（1）盐湖主要形成于高海拔干旱/半干旱地区的封闭盆地，基础设施薄弱、作业条件艰苦，同时生态脆弱、环保要求苛刻；（2）全球的主力富锂盐湖多采用沉淀法工艺（除 Livent 的 Hombre Muerto 采用吸附），需要建设大规模的盐田，导致初期的 Capex 高昂、建设周期长，且蒸发沉淀法仅适用于高锂离子浓度、低镁锂比的优质盐湖卤水，否则效率将大打折扣；（3）根据盐田沉淀法的工艺流程，需先除钠、提钾、再提锂，导致碳酸锂的产能扩张还需取决于前端钾肥的生产规模，而盐田蒸发的生产稳定性也与雨雪、山洪等自然因素密切相关；（4）盐湖卤水的化学组分因湖而异，因此产线难以简单复制、常需一湖一工艺，产能磨合周期较长；（5）与资源静态存在的固体锂矿不同，盐湖卤水是动态的，因此盐湖开发需要对盐湖水文进行细致研究、科学规划，否则易出现抽卤不及预期、采卤区浓度快速下降等问题；（6）全球优秀的、经验丰富的技术团队稀缺。

但我们关注到，伴随锂行业下游需求的爆发，盐湖提锂技术在近 3~5 年以来正在加速变革、加快升级迭代，总体趋势是从依靠“盐田蒸发”转向“工业化连续生产”，未来可能在如下六

个方面改变锂行业的生态：

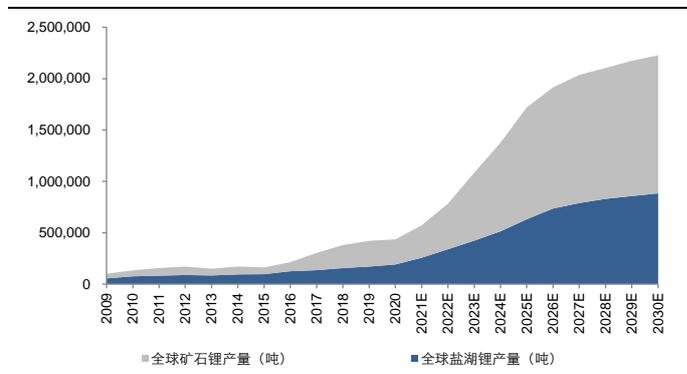
- 提锂周期更短、生产更加高效：充分利用矿区的高蒸发率（充裕的太阳能和风能）在盐田系统中进行逐级摊晒，实现锂的富集和部分除杂，是盐湖提锂低成本的原因，但也带来扩产的晒卤周期长、庞大盐田系统中的锂的夹带流失量大、采卤区和盐田易受季节性雨雪及山洪影响等弊端。未来的提锂技术将在浓缩分离环节新增装置，利用工业化连续生产来提高效率、实现更低品位的卤水提锂，通过提锂环节前移来避免或降低夹带损失，并通过提锂材料和装置的技术创新、降低产能的 Capex 强度。
- 锂从副产品到主产品：除了少数个例，目前在产的盐湖提锂主要是提完钾之后的副产品，但在未来南美盐湖以及中国西藏盐湖的开发设计上，锂作为主产品将更加普遍。
- 从粗放式到精细化：主要体现在提升从盐田至车间整体回收率，厘清钾锂在各环节损失的原因并提出解决方案、增加对于沉锂母液的回收利用，以及对于后端的锂盐产品品质进行优化（目前盐湖系碳酸锂存在钠、镁、氯、硼杂质偏高，一致性较差等问题）。
- 从单一产品到多元化和更高附加值：过去的思路更多是追求低成本的大批量生产工业级碳酸锂作为基础锂盐，再进一步提纯除杂、加工为各类锂化合物产品；未来的设计思路不仅仅是转向直接生产电池级的碳酸锂，而是一步生产碳酸锂、氯化锂、氢氧化锂、磷酸锂等多种产品，并在后端延伸配套打造金属锂等深加工生产线。
- 追求更低的环境足迹：盐湖提锂的工艺因湖而异、因地制宜，但无论何种工艺，减少环境足迹、降低能耗及碳排放、降低淡水消耗及卤水抽取量，将成为关键的考量因素。
- 与新能源相结合：盐湖矿区大多面临工业用电、蒸汽等公用配套的掣肘，但太阳能丰富，采用光伏发电与光热发电（供汽）等清洁能源耦合互补的能源供应形式更加普遍。

图表 14：2009~2030 年全球盐湖、矿石提锂产能结构的回顾及预测



资料来源：各公司公告，五矿证券研究所预测

图表 15：2009~2030 年全球盐湖、矿石提锂产量结构的回顾及预测



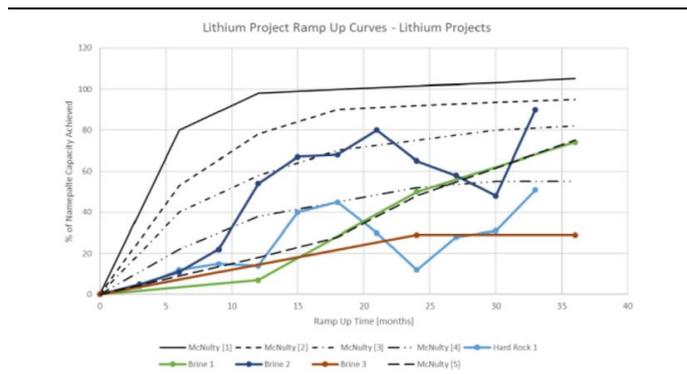
资料来源：各公司公告，五矿证券研究所预测

图表 16：一个资源项目从开发到投产，历时漫长



资料来源：Albermarle 公司公告，五矿证券研究所

图表 17：回顾历史，整体而言锂是一个达产率远低于设计水平的矿种



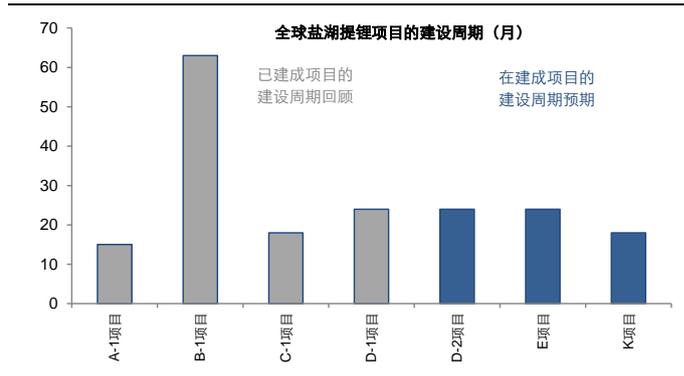
资料来源：Wave International 公司公告，五矿证券研究所

图表 18: 全球盐湖提锂的单吨资本开支对比



资料来源: 各公司公告, 五矿证券研究所

图表 19: 整体而言, 盐湖的建设周期在 15-24 个月不等



资料来源: 各公司公告, 五矿证券研究所

多元盐湖提锂技术突破商业化, 高效吸附在实践中脱颖而出

在富锂盐湖聚集的南美“锂三角”地区, 盐湖资源由于卤水禀赋优越 (高锂离子浓度、低镁锂比), 因此非常适合盐田蒸发沉淀实现浓缩分离。尽管 Livent (原 FMC Lithium) 旗下阿根廷 Hombre Muerto 是全球首个采用新技术 (吸附) 的盐湖提锂项目, 于 1998 年实现商业化投产, 但其投产和达产历程并非一帆风顺, 后续的智利 Atacama 盐湖扩产, 以及阿根廷 Olaroz、Cauchari-Olaroz、3Q、Sal de Vida 等大多数绿地项目仍选择采用传统的蒸发沉淀工艺。

而在中国青海, 由于属于“高镁锂比”、甚至“高镁锂比低锂离子浓度”的盐湖卤水, 单纯依靠盐田沉淀无法适用, 因此不得不在晒卤、除钠、提钾、最后富集至一定的锂离子浓度后, 再采用创新的技术和装置进行浓缩分离。经数十年磨一剑的经验积淀 (沉没成本高昂的“工业化试验”), 煅烧、吸附、电渗析、萃取、梯度膜法工艺均得到了产业化, 经过持续技改, 其中一部分取得了良好效果。可以说, 恰因缺乏南美盐湖的资源禀赋, 青海盐湖提锂的技术水平反而实现了全球领先。上述各工艺路线均有利弊, 但综合考虑对于卤水锂离子浓度的宽容度、收率、能耗、环保、以及经济性, “吸附+膜分离耦合”成为产业界的优选, 高效、长循环的吸附剂构成其中的核心壁垒。

从“老卤提锂”到“原卤提锂”, 更进一步。上述在青海实现的多元的盐湖提锂技术突破依然是基于蒸发沉淀后的“老卤提锂”, 解决了镁锂分离的难题, 但仍离不开庞大的盐田系统以及长周期的晒卤过程。伴随吸附剂性能的进一步突破, 2021 年下半年至 2022 年以来, 在青海锂离子浓度相对较高的盐湖, “原卤提锂”开始走向产业化, 商业化产能已开启建设, 未来有望真正实现高效、精细化、低环境足迹的提锂生产。

多元技术攻克“高镁锂比盐湖提锂”的世界难题, “吸附+膜”脱颖而出

盐湖提锂的工艺设计需要因湖而异、因地制宜。但在大的工艺体系上, 分为盐田沉淀法, 以及包括电渗析法、纳滤膜法、萃取法、吸附法等在内的多元新技术路径, 所解决的核心问题是“镁锂分离”, 二者在元素周期表中呈特殊对角线关系, 性质相近因此分离的难度大。基于青海经验, 我们倾向于认为吸附+膜分离的耦合工艺更具前景, 主因其符合“提锂环节前移”、“发展低品位、低成本、绿色盐湖提锂技术”两大产业趋势, 已得到充分验证、且未来从吸附材料到吸附装置的优化改进空间依然较大。

同时, 由于各工艺路线均存在各自的利弊, 因此在实践中通常集成、组合应用、并非“单打独斗”。例如蓝科锂业采用吸附与膜分离的耦合方才得到突破, 梯度膜法则是不同膜的组合, 未来吸附+电渗析、吸附+萃取均存在集成应用的可能性。同时, 为了提高回收率、将锂“吃干榨尽”, 针对主工艺产线的沉锂母液, 可能采用不同的工艺进行锂的回收 (没必要回到源头

再走一次)，例如藏格在沉锂母液回收上采用萃取法、恒信融则采用了磷酸锂路径。此外，在中国西藏、阿根廷基础设施薄弱的绿地项目上，部分务实的资源商倾向于在二期产能中采用经典的蒸发沉淀等成熟工艺，待配套条件逐步完备、团队更加齐整后，再在二期扩产中评估采用机械化程度更高、技术要求更高的新工艺，渐进实施工艺升级。

此外值得重视的是，在盐湖提锂中的新兴技术和工艺，例如吸附法、萃取法和膜分离，事实上在工业金属和稀土的提取、医药、化工、食品、环保等领域皆有成熟应用，但在盐湖提锂领域则需要根据特定的卤水组分、以及盐湖矿区更为苛刻的生态环保要求，开展定制化的研发和磨合调试，并不能直接移花接木。总体而言，锂行业技术进步的空间广阔，伴随更多经验丰富、资本雄厚的全球跨界者的进入，将有望提高盐湖提锂技术成长曲线的斜率。

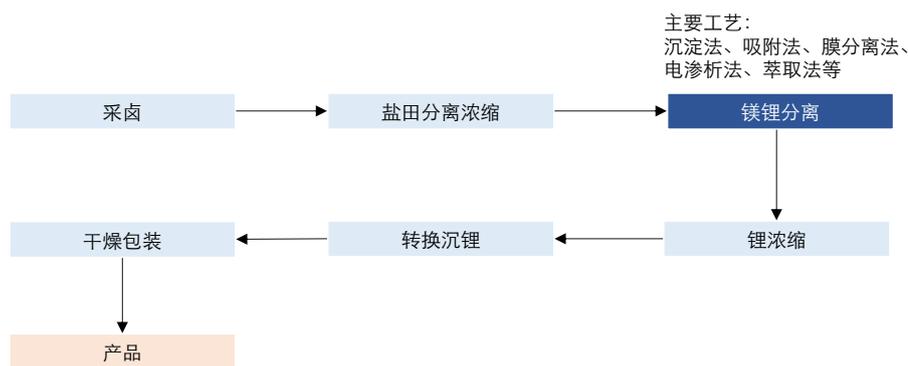
图表 20：盐湖提锂的工艺选择需要因湖制宜、因地制宜

工艺路径	商业化盐湖	工艺优势	工艺劣势
盐田沉淀法	Atacama(SQM、ALB), Silver Peak, Cauchari Olaroz、Olaroz、西藏扎布耶	充分利用太阳能、盐湖的高蒸发率，方便生产钾等副产品	需要建设并维护大规模的盐田，初始投资额较大；只适合用低镁锂比盐湖；回收率较低
吸附法	Hombre Muerto (Livent)、SDLA (西藏珠峰) 青海察尔汗 (蓝科锂业、藏格锂业)、青海大柴旦、青海一里坪 (五矿盐湖)	较少的依赖盐田晒卤，未来或退役大型的盐池 成本低，效率高	淡水消耗大，综合利用钾肥需要额外投资 无机吸附剂的流动性差，循环性差，溶损严重
电渗析 (ED)	青海东台吉乃尔 (东台锂资源)	电渗析法分离镁锂的效率较高	膜易出现堵塞或损坏，且膜成本较高
膜法	青海一里坪 (五矿盐湖)、青海西台吉乃尔 (中信国安)、青海西台吉乃尔除硼老卤 (恒信融)、扎布耶新二期 (西藏矿业)	绿色环保	膜污染/膜堵塞，膜的回收率较低
煅烧法	青海西台吉乃尔 (中信国安)	技术成熟，镁、锂、硼、盐酸综合利用	能耗较高，水氯镁石难以完全分解，氯化氢气体对设备腐蚀性较大
萃取法	青海大柴旦盐湖	分离效率高，回收率较高，可在常温常压下进行	萃取剂价格较昂贵；萃取过程在高酸性条件下进行，可能导致设备腐蚀，有机溶剂的环保压力大
电化学脱嵌法	西藏捌仟错，中南锂业专利	过程清洁、收率高、可原卤提锂、生产低且对卤水适应性强	盐湖卤水矿化度高、黏度大，会导致实际提锂速率较低
离子精馏法	暂无，中国科学技术大学研发，膜法延伸，已申请专利，实验室阶段	分离效率提升、对盐湖类型适应性强、对不同元素精细筛分	未明确

资料来源：各公司公告，《Ion-“distillation” for isolating lithium from lake brine》，五矿证券研究所整理

(若同一项目出现在不同工艺中，说明是耦合工艺或不同产线的不同工艺)

图表 21：不同老卤提锂工艺的区别主要在于镁锂分离环节



资料来源：《盐湖提锂新进展》，五矿证券研究所

盐田沉淀法：最契合自然规律的传统经典工艺，适用于理想气候下的优质低镁锂比盐湖

盐田沉淀法是研究最早、最为成熟、在实战中广泛采用的经典盐湖提锂工艺。在本质上，沉淀法因为充分利用了盐湖矿区天然的丰富太阳能（高蒸发率）进行逐级除杂和富集—分离浓缩，科学地遵循了钠、钾、镁、锂等在自然条件下的析出顺序，因此沉淀法可以实现低廉的碳酸锂生产成本，同时消耗的淡水量少、整体能耗相对较低、低碳环保。作为典型范例：（1）SQM 在智利 Atacama 盐湖利用蒸发沉淀，在将原卤 0.2% 的锂含量富集 30 倍至 6% 的锂含量的过程中（12~18 个月），95.8% 的能源消耗皆为太阳能；（2）美国雅保同样在智利 Atacama 盐湖，矿区生产中太阳能占比约 78%，且在锂的蒸发沉淀中不消耗淡水，仅在钾肥的生产和设备的清洗中消耗淡水（24L/s）。

但沉淀法要求原卤的禀赋理想，镁锂比低（必要条件）、锂浓度较高，且矿区气候极度干燥为佳、罕有降雨降雪，还需具备建设大规模盐田的条件，否则难以蒸发浓缩得到理想浓度的老卤，老卤品质不稳定则将影响后端的碳酸锂生产效率、品质以及成本。正因如此，采用沉淀法的成功案例主要是南美“锂三角”的一二线优质盐湖，但其生产也不免受到雨雪、山洪等自然因素的影响，并且扩产周期较长。虽然沉淀法的流程相对简单，但不宜低估在实践中 know how，如何保障抽卤的持续性、如何降低盐田中锂的损失、如何实现卤水浓度的稳定等，都是困扰产业的实际问题。此外，正因为沉淀法要求建设大规模的盐田，因此盐湖卤水中的钾含量越高越好，氯化钾或硫酸钾产品可以大幅摊销成本、提升经济性。

此外，根据加入的试剂不同，沉淀法可分为碳酸盐沉淀法、铝酸盐沉淀法、硼镁与硼锂共沉淀法等，其中成熟商业化的主要是碳酸盐沉淀法，关键试剂是石灰（氢氧化钙）和纯碱（碳酸钠），前者能将镁离子分离，而后者能让锂离子以碳酸锂形式沉淀出来。

具体流程上：（1）在智利 Atacama 盐湖，SQM 和 ALB 首先将约含锂 2000ppm 的原卤，通过蒸发浓缩约 30 倍至含锂 5~6% 的老卤，再将其陆路运输至后端位于安托法加斯塔港口附近的配套锂盐厂，进行萃取脱硼、除镁、除钙，将盐析剂或沉淀剂加入形成碳酸锂浆料、最后干燥从而获得碳酸锂产品，SQM 与 ALB 的生产流程类似，但在后端的工艺上存在差异。

（2）在阿根廷等硫酸根偏高的盐湖，例如 Orocobre 旗下的 Olaroz 盐湖以及赣锋锂业控股的 Cauchari-Olaroz 盐湖，则不仅通过盐田蒸发，还直接在盐田中加入大量的生石灰以降低硫酸根和镁，再将富集后的老卤管道输送至矿区的工厂进行萃取除硼、最后沉锂。

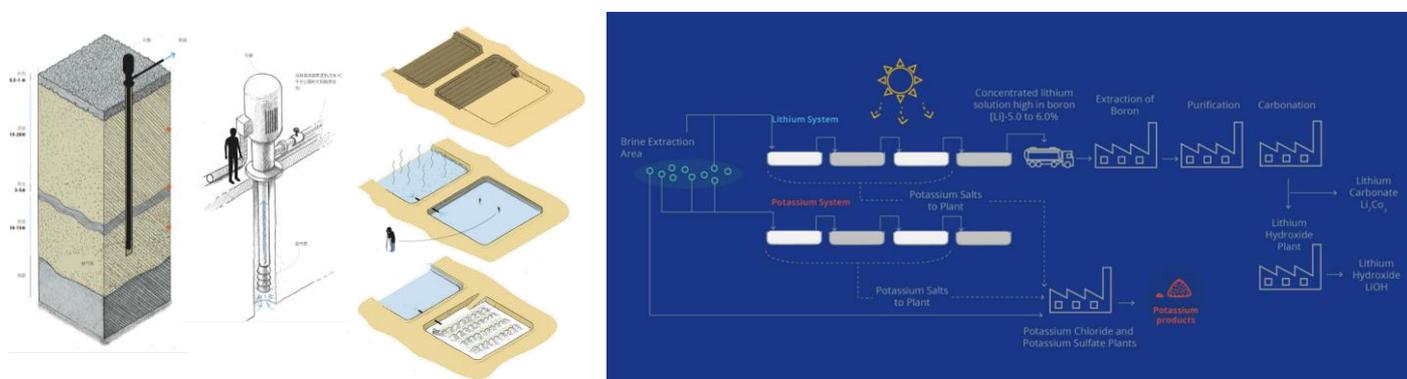
整体而言，盐田沉淀法的原理简单、工艺相对成熟、直接生产成本低，但锂的整体一次回收率整体较低（从盐田到锂盐厂），低不及 30%、高不及 50%。未来针对收率优化、促进精细化开采尚有较大的改进空间。

图表 22: 沉淀法分为多个种类, 其中碳酸盐沉淀法为主要路径

沉淀工艺名	代表性沉淀剂	应用现状	优势	劣势	代表性应用
碳酸盐沉淀法	碳酸钠和氢氧化钙	工业化应用	易操作, 能耗低, 工艺成熟, 成本低	仅适用低镁锂比的优质盐湖, 锂一次回收率低 (<40%)	智利 Atacama、美国 Silver Peak 等主流盐湖
铝酸盐沉淀法	铝酸钠 氯酸钙	未工业化应用	锂收率高、镁分离率高、产品纯度较好	淡水和碳酸钠消耗大、能耗高、工序多且周期长	暂无
硼锂共沉淀法	氢氧化钠和纯碱	-	适用于高镁锂比盐湖, 操作简单且分离效率高	尚在研究	暂无
硼镁共沉淀法	-	可工业化应用	工艺流程短, 成本低, 锂回收率高		2002 年中信国安提出专利
太阳池沉淀法	-	工业化应用	工艺简单、成本低, 针对高浓度碳酸盐型盐湖设计	要求极低镁锂比、生产靠天吃饭、淡水消耗偏高	西藏扎布耶盐湖一期

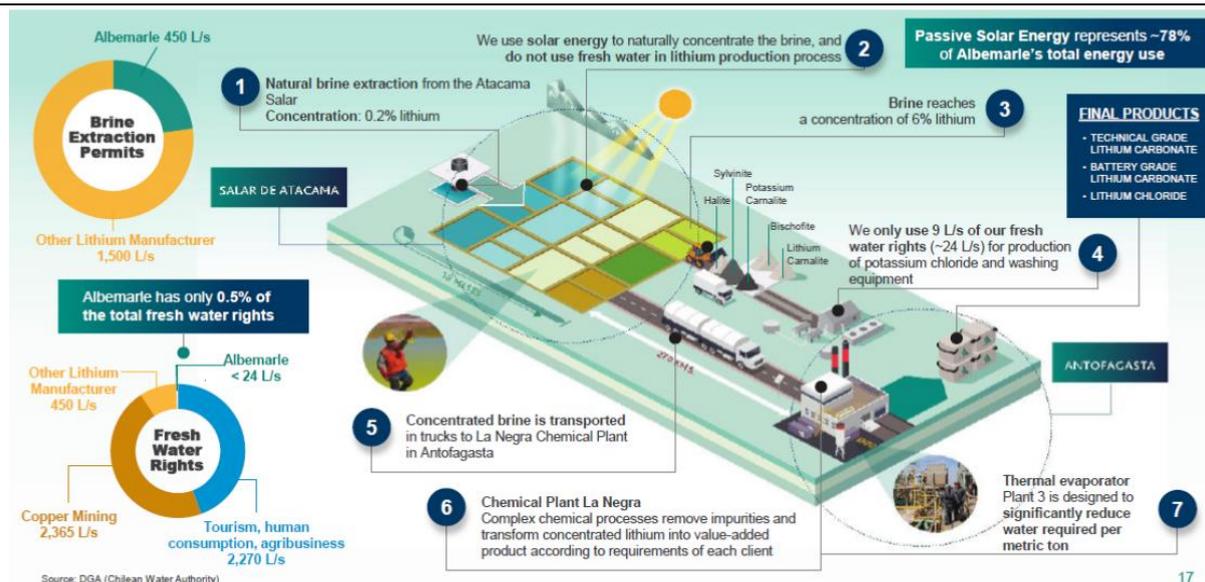
资料来源: 《TBP 萃取体系从盐湖卤水中分离提取锂的机制及关键因素研究》, 《吸附法从盐湖卤水中提锂工艺研究》等, 五矿证券研究所整理

图表 23: SQM 在智利 Atacama 盐湖的卤水抽取、盐田循环系统



资料来源: SQM 公司公告, sqmeninformatism, 五矿证券研究所

图表 24: 美国雅保在智利 Atacama 盐湖的盐田循环系统及其淡水消耗指标



资料来源: Albemarle 公司公告, 五矿证券研究所

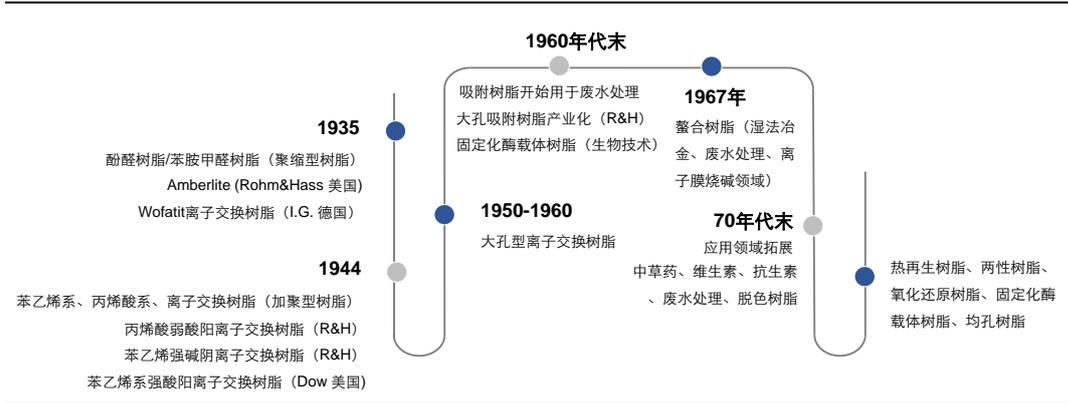
吸附法：颇具前景、产业化案例快速增加，掣肘在于淡水消耗高、吸附剂制备需消耗锂

吸附法在水处理、医药、食品、湿法冶金等领域已存在成熟应用，但在盐湖提锂尚属蓝海。历经长期的工业化试验，吸附法成为盐湖提锂中应用较为广泛、最具前景的工艺之一，产业化项目案例快速增加。在吸附法的发展过程中，Livent（FMC Lithium）在阿根廷 Hombre Muerto 盐湖的 Fenix 设施，以及盐湖股份控股的蓝科锂业，是两个不得不提的标志性项目。而在中国，吸附技术也经历了从引入俄罗斯一代和二代技术、到自研开发的转变。

我们认为：（1）吸附法尤其适用于原卤中锂离子浓度较低的盐湖，鉴于需求爆发，全球对于次优盐湖资源的开发被提上日程，因此吸附具有较大的推广潜力；（2）对于优质盐湖，吸附法同样可以形成加持，一方面可以提高收率，另一方面可以大幅缩减盐田面积，顺应全球愈发严苛的环保、ESG 要求。（3）吸附的最大掣肘在于脱附过程中的淡水消耗量大，但通过开发吸附容量更大的吸附剂、增添水循环装置，可以形成解决方案；此外吸附剂在制备过程中需消耗一定的氢氧化锂或氯化锂形成插层结构，将增加成本。（4）吸附法的核心，在于针对特定的盐湖卤水类型和组分，研发吸附容量大、分离性能强、长循环寿命的吸附剂以及实现连续吸附的装置，解决循环性差、溶损严重、选择性弱等弊端。（5）在产业实践中，吸附法尤其需要重视脱附液的回注设计，若考虑不周容易导致采卤区的原卤浓度被显著稀释。

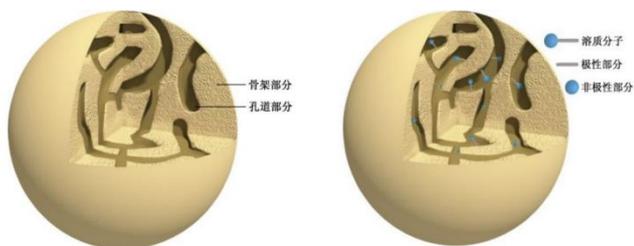
- 吸附法原理在于可通过对被交换物质的离子交换和吸附，达到物质的分离、提纯、浓缩、富集等功能，因此可以适用于诸多固体-液体分离工艺，潜在应用领域广泛，1960 年代末即被用于废水处理，之后拓展到工业水处理、食品及饮用水等传统领域，以及湿法冶金、生物医药、环保、电子、核能等新兴领域。但因为应用领域跨度极大，树脂材料的选用、生产和技术具体到细分领域又有较大的差别，加上不同客户的应用条件不同，在新兴领域通常需定制化的研发特种吸附树脂，这铸就了吸附技术企业的核心竞争力。
- 盐湖提锂中的吸附树脂、锂吸附剂的壁垒较高。目前已实现商业化、适用卤水类型最广（氯化物型、硫酸镁亚型等）的吸附剂主要是铝系分子筛吸附剂，而下一代的锰系离子筛吸附剂、钛系离子筛吸附剂也有望在特定的盐湖卤水中实现商业化。其中铝系分子筛吸附剂作为当前唯一产业化且成熟的吸附材料，应用最早源自俄罗斯原子能公司和美国陶氏树脂公司，前者技术通过卖给佛山照明、成为了蓝科锂业提锂工艺的基础；而后者则与 Livent（原 FMC Lithium）交易，经过改良后应用在其阿根廷盐湖提锂中。在吸附剂的开发上，蓝晓科技、久吾高科等专业的技术服务商在产业化案例中已形成了丰富的实战经验，具有先发优势，此外例如蓝科锂业等业主方也拥有娴熟的自有技术，但专业技术服务商的技术迭代、优化升级速度更快。
- 我们认为，吸附法提锂的核心优势在于：（1）大幅降低了原卤的边际入选品位，目前已可处理锂离子浓度低至 50ppm 的卤水；（2）提高了回收率，缩短了锂产品的生产周期，生产效率更高；（3）由于收率提高，在资源禀赋、抽卤强度不变的情形下产能可以明显提高；（4）尽管吸附剂存在溶损，但并未带入新的化学元素或有机物，因此较为绿色环保；（5）成本依然具备吸引力，但这并非其相对其他提锂路径的主要优势。吸附法的主要劣势在于淡水消耗量大，而盐湖矿区要么淡水稀缺、要么用水额度严格受限，但以发展的眼光看，未来可以在产线后端增添 MVR 等装置来进行淡水的循环使用。
- 向前看，我们认为在全球次优盐湖锂资源开发中（锂含量更低、盐田蒸发周期更长），高效的吸附技术将得到更加普遍的应用。即便对于全球一线的高锂离子浓度的盐湖卤水，虽然吸附的应用并不迫切，但依然可实现回收率的提高。着眼更远期，吸附技术的发展将力求适用于持续更低浓度的原料，极限目标或将是海水提锂的商业化。

图表 25: 吸附分离树脂材料发展起源于 1935 年, 目前已显著改良优化



资料来源: 蓝晓科技公司公告, 五矿证券研究所

图表 26: 以吸附树脂为例, 其中的孔道可以对特定物质进行选择性吸附



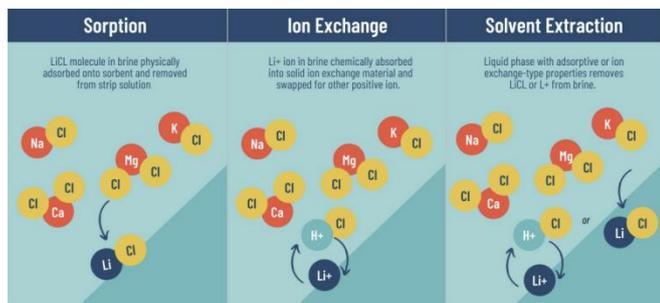
资料来源: 蓝晓科技公司公告, 五矿证券研究所

图表 27: 吸附树脂下游应用领域繁多, 且各领域材料存在工艺壁垒



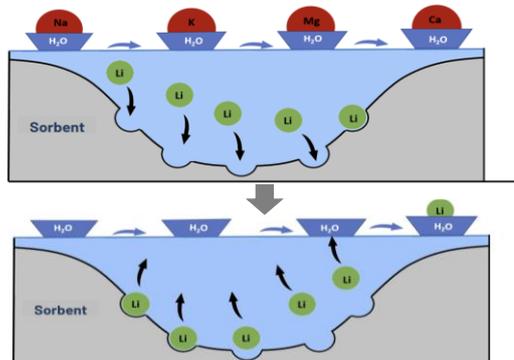
资料来源: 蓝晓科技公司官网, 五矿证券研究所

图表 28: 吸附、离子交换和萃取均为直接提锂工艺, 而吸附应用广



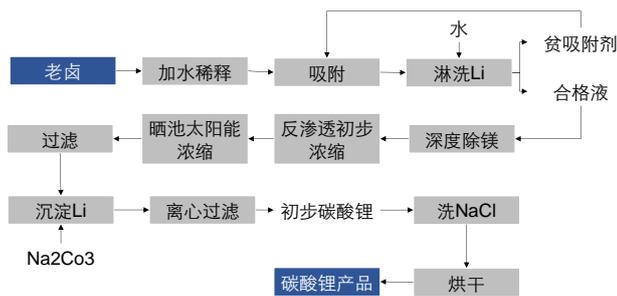
资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 29: 吸附材料可通过锂离子形成的插层和水将锂离子吸附和洗脱



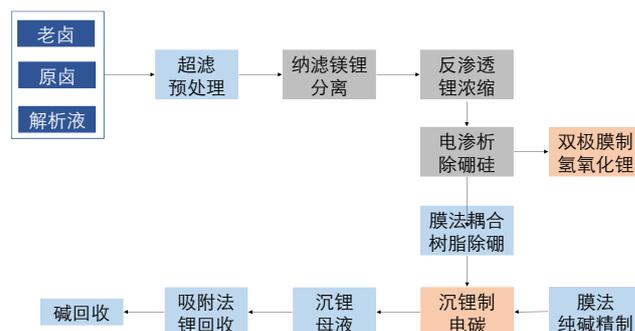
资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 30：蓝科锂业采用吸附法提锂+膜分离浓缩的耦合技术



资料来源：盐湖股份公司公告，五矿证券研究所

图表 31：久吾高科的老卤/原卤吸附+膜分离，生产碳酸锂/氢氧化锂



资料来源：久吾高科公开资料，五矿证券研究所

膜分离：高压过滤老卤实现低价锂离子分离，掣肘在于纳滤膜的通量有限

膜分离法是当下产业化应用最积极的工艺之一。膜分离法的本质在于通过压力，利用膜的选择性分离功能将料液不同成分进行分离，核心是膜材料选择。通常，膜分离提锂需要多种膜材料进行梯度耦合，以实现提取低价锂离子，分离二价和多价离子（分离镁离子、硫酸根、锂离子等），而且具备环保和资本开支相对较低的优势。过去，膜分离主要应用于工业废水处理、食品等领域，目前在盐湖提锂的商业化案例包括恒信融、五矿一里坪盐湖。但电耗高、膜损耗、膜污染、稳定性、以及高低价离子截留率优化等问题仍需优化。其中，我们认为膜法提锂最大的掣肘在于纳滤膜的通量有限，尤其在高镁锂比盐湖，盐田富集后的老卤需要经过大幅稀释，才可进入膜系统，从而导致工艺体系庞大、投资强度过大、淡水消耗量庞大。在膜材料领域、尤其在高压运行环境下的膜材料上，海外供应商依然具备领先优势，但伴随团队与技术的引进和消化，国内企业正在快速迭代升级、国产化替代进度正在加快。

- 盐湖提锂的膜材选择落脚于有机膜。膜材料通过微孔结构的孔径大小决定截留物质范围，因此膜材料分离精度和分离效率的关键在于孔径分布和孔隙率。在实际应用中，膜分离法往往会基于不同膜的特点将其应用在不同工序环节。盐湖的膜材料根据孔径范围主要分为：（1）超滤膜（UF）：大多被应用在已经完成吸附解析的合格液中，通过过滤悬浮物粒等来降低后续纳滤膜的污染和损耗可能性；（2）纳滤膜（NF）：可以实现一二价离子的分离（如镁离子和锂离子的分离），且纳滤膜是荷电膜，能对不同物质选择性提纯，但用于老卤提锂的纳滤膜因通量小，老卤通过前需稀释，导致浓缩意义降低；（3）反渗透膜（RO）：可以在盐湖提锂环节中用于工艺后端进行锂溶液的浓缩。
- 中国的有机膜处于逐步实现进口替代阶段，膜材损耗仍需优化。现阶段下，中国的超滤膜经过自主创新已基本与国外水平相当，但纳滤与反渗透膜仍大部分依靠国外进口，前者的攻关点在于提高渗透量、抗污染、耐氧化和降低成本，而后者除了成本优化外还包括产水量、降低能耗和运营稳定等方面。此外在实际应用中，膜材料还普遍存在消耗较快的情况，如何降低损耗率、提升膜材强度或是抗污染性仍是研发方向。
- 膜法的商业化案例包括五矿一里坪的梯度耦合膜分离，以及恒信融的正渗透膜及全膜法工艺，另外青海中信国安也正采用膜法工艺推进扩能（中信国安已申请膜法专利，结合三级纳滤膜装置+反渗透膜+MVR 蒸发得到碳酸锂）。在阿根廷，Orocobre 与 Energy X 开展合作，后者拥有专利技术 LITAS 纳米膜材料。中科院盐湖所拥有采用纳滤膜对盐湖卤水进行镁锂分离的基础专利，并且将该专利的使用权授权给久吾高科。

图表 32: 有机膜是未来盐湖提锂的选择趋势, 能更好的将锂离子和其他离子、杂质进行分离

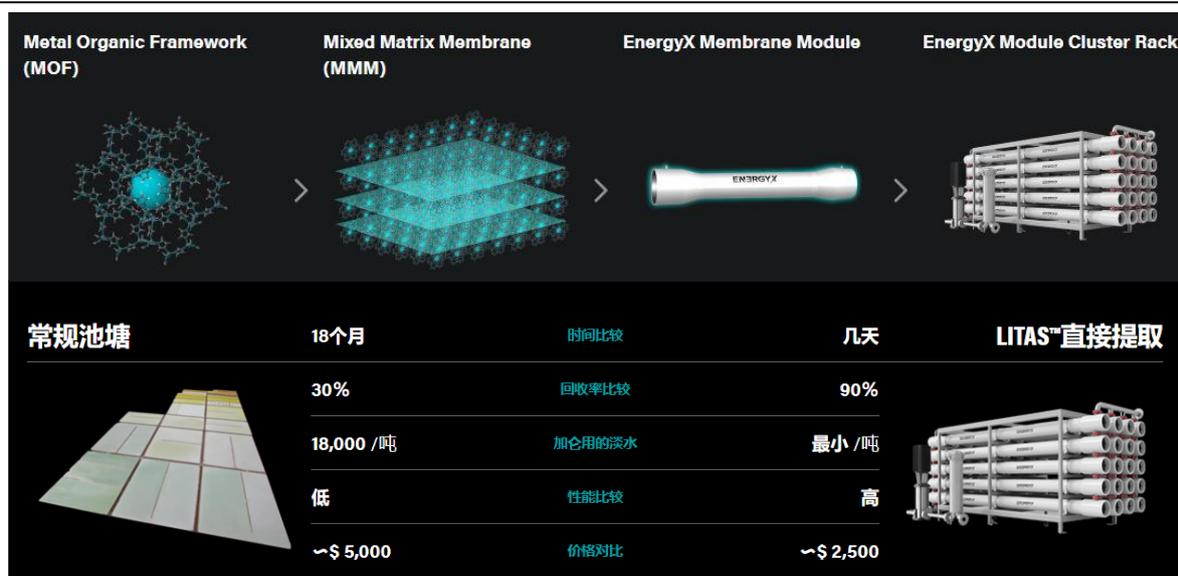
	陶瓷膜	有机膜
过滤精度	一般处于超微滤级别, 少量可达到纳滤级别	孔径细、可达到纳滤和反渗透级别, 过滤精度高
适用环境温度	5-300℃	20-45℃
适用环境 pH 值	耐强酸、强碱、pH 值可超 0-14	2-11
使用寿命	较长	较短
作用	固液分离、澄清、纯化	脱盐、分盐、浓缩、纯化、可有效去除水中微粒、胶体、细菌、热源及高分子有机物质
填充精度	较低	较高
稳定性	较高	较低
抗氧化性	较高	较低
生产成本	较高	较低
销售价格	较高	较低

资料来源: 久吾高科公司公告, 五矿证券研究所

图表 33: 根据孔径范围分类可分为四类, 其中超滤膜、纳滤膜和反渗透膜是盐湖提锂主要材料

	孔径范围	过滤效果及应用领域
微滤膜	>0.1μm	截留 0.1 微米以上颗粒, 能对悬浮固体、细菌、大分子量胶体等物质进行分离, 可作为一般料液的澄清、保安过滤以及空气除菌等。主要应用于污水、废水处理以及工业特种分离领域。
超滤膜	0.01-0.1μm	截留分子量在 1000-300000, 能对细菌、胶体、悬浮固体及大分子有机物等进行分离, 广泛应用于干料液的澄清、大分子有机物的分离纯化、污水、废水处理及回用、给水精华、海水淡化预处理等领域
纳滤膜	0.001-0.01μm	截留分子量在 150-1000 的范围内, 能对小分子有机物、二价离子等与水、无机盐进行分离, 可实现水的软化、小分子有机物的浓缩等目的
反渗透膜	<0.001μm	可截留几乎所有的离子、分子量 100 以上的有机物, 对氯化钠的截留率在 98%以上, 出水为去离子水, 能够去除可溶性的金属盐、有机物、细菌、胶体粒子、热原物质。主要应用于纯净水、软化水、无离子水、海水淡化和产品浓缩等方面。

资料来源: 久吾高科公司公告, 五矿证券研究所

图表 34: LITAS 技术通过将无数 MOF 纳米颗粒筛先后组成混合基质膜 MMM、模块和设备, 来实现锂离子提取的功能


资料来源: Energy X 官网, 五矿证券研究所

图表 35: EnergyX 的专利膜材可弥补其他工艺的缺点, 但尚需实际生产检验

	Energy X 膜专利	离子吸附技术	离子交换技术	传统纳滤技术	反渗透技术	正向渗透技术
分离锂和钠	√	√	√			
分离锂和镁	√	√	√	√		
高盐度运行	√	√				√
持续运行	√			√	√	√
平台可调整性	√	√	√			
环境友好	√			√	√	√
低能耗	√					√
非再生	√			√	√	
无须淡水	√			√	√	√

资料来源: Energy X 官网, 五矿证券研究所

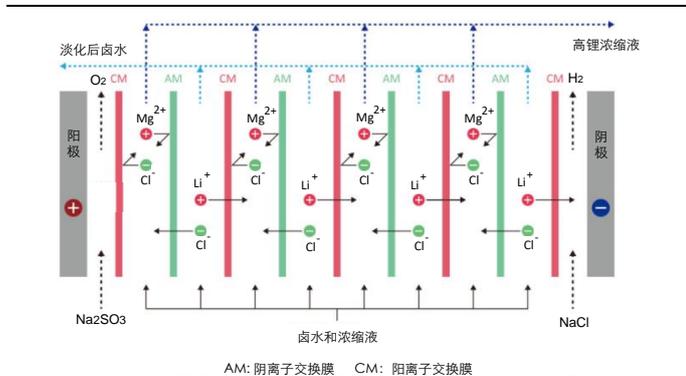
电渗析: 利用直流电场实现带电荷离子的定向迁移, 生产稳定、低水耗、但存在适用前提

电渗析法也属于膜分离的一种, 离子交换膜 (IEMS) 是核心耗材, 其分离原理主要是在外加直流电场作用下, 让卤水进入电渗析器的淡化室, 通过一价离子选择性实现带电荷离子定向向电极迁移, 离子富集则形成浓缩室、得到浓缩的富锂卤水浓缩液, 而镁、硼酸根、硫酸根则滞留在淡化室, 基本脱除硫酸根、硼酸根和镁离子等杂质, 锂回收率较高可在 80% 以上, 得到纯度 99.6% 的碳酸锂产品, 加上近年来对工艺持续改进、电耗问题已逐步被优化。据电渗析专利, 该工艺可将初始卤水中锂离子浓度 0.02-20g/L、镁锂比 300: 1~1:1 通过电渗析过程形成富锂浓缩液, 锂离子浓度可达到 200g/L、镁锂比降低至 10~0.1, 适合高镁锂比的盐湖卤水, 镁离子、硼离子、硫酸根的脱除率在 95%~99% 以上。

但作为膜分离技术的分支, 电渗析同样面临膜堵塞、耗材膜成本较高等困扰。当下研究攻关主要集中在操作环境参数、交换膜材质等方向, 从而衍生出选择性电渗析法、双极膜电渗析法、液膜电渗析法等工艺。

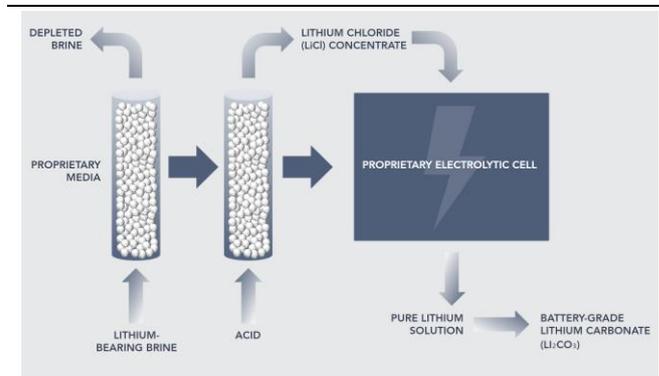
当前商业化应用电渗析工艺的主要是青海的东台吉乃尔盐湖, 已充分证明电渗析工艺的生产稳定性佳、生产成本低、淡水消耗量小、且碳酸锂的产品品质理想, 但需注意, 东台盐湖卤水的锂离子浓度在青海盐湖中相对较高, 这是适用该工艺的关键前提, 且其整体回收率并不理想。在海外, Prairie Lithium 与 LiEP Energy (更名为 Conductive) 合作, 利用其专利尝试直接提取碳酸锂, 技术特色为低能耗与高锂离子选择性。

图表 36: 电渗析技术通过直流电场作用下, 将离子定向吸引至两极



资料来源: Rebon-tech, 泰丰先行锂能, 五矿证券研究所

图表 37: Conductive 具有闭环水回收系统, 并可直接提氢氧化锂



资料来源: Conductive 公司官网, 五矿证券研究所

溶剂萃取法：存在环保争议的高效、短流程、低成本提锂技术

溶剂萃取法被广泛应用于石油化工、湿法冶金、制药和核燃料提取等行业，在盐湖提锂领域也是一种高效的浓缩分离工艺，但也是一种存在环保争议的工艺路径。未来伴随新萃取体系的研发、环保处理的规范化，产业对于萃取法提锂的认识也将更加充分。在商业化案例上，萃取法在青海的大柴旦盐湖得到了验证以及持续地技改升级。

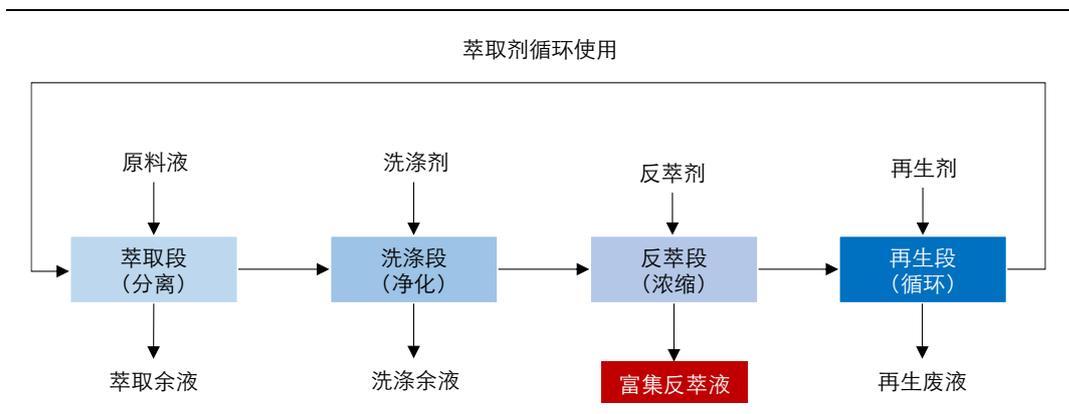
在原理上，萃取法采用对锂具有高选择性的有机溶剂萃取剂，将锂从老卤中萃取入有机相中，之后再对有机相进行洗脱，因此研发合适的萃取剂（高效、环保、安全、价格适中）和萃取装置（例如箱式萃取槽）是工艺的关键。

根据我们的跟踪，目前主要的锂萃取体系包括：中性磷酸酯类和酰胺类萃取体系（锂镁分离）、双酮-中性磷氧协萃体系（锂碱金属分离）、冠醚类萃取体系（锂同位素分离、锂碱金属分离）、离子液体萃取体系（溶剂、协萃剂、共萃剂等）。萃取剂往往非单独使用，而是与协萃剂和溶剂搭配形成混合萃取体系。截至目前，中性磷类萃取剂是研究最多且更适用高镁锂比盐湖的试剂，其中磷酸三丁酯（TBP）体系的萃取效果更得到认可，成为当前主要应用的萃取剂，但也存在水溶性较大、强酸碱条件下易降解以及连续运行寿命短的情况。

整体而言，我们认为，萃取提锂工艺具有流程短（因此资本投入较低、运营成本低）、镁锂分离效率高、时间短、锂回收率高（理想达到90%以上）等优势，可生产高品质的氯化锂，在同等条件下的资本投入明显低于吸附法。但核心掣肘在于，尽管最新萃取体系的排放已可降低至ppm级别（通过增加处理装置）、远低于内地的排放标准，但依然将给盐湖生态新增原本并不存在的有机物，并且将参与盐湖的循环。未来若采用吸附预浓缩、后端集成萃取，不参与盐湖循环，或是解决方案之一。同时，在连续处理大体量溶液的情形下，萃取的经济性将面临挑战，对于卤水的锂离子浓度有一定要求。此外，在产业实践中，曾经历产线难以长时间运行、萃取剂消耗较大、设备易腐蚀（需要加酸来抑制FeCl₃的水解反应）等挑战。

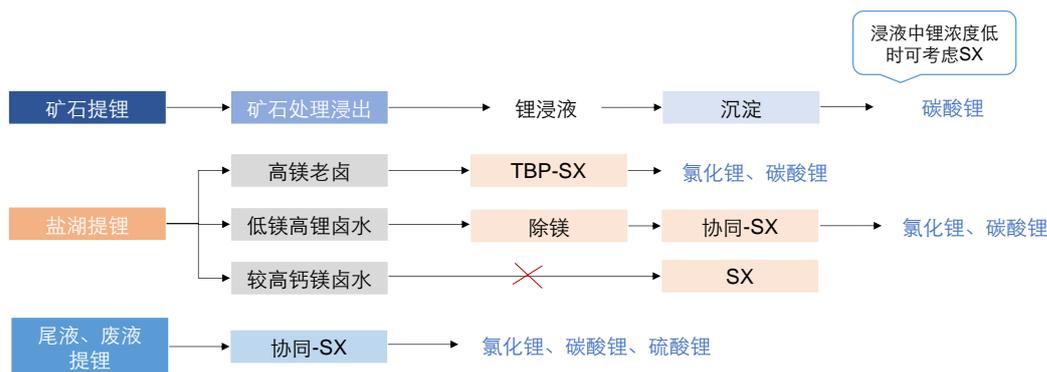
总体而言，目前的萃取体系已较过去实现了明显优化，未来膜萃取技术、离心萃取技术、新的有机磷类萃取体系或成为主要的研究方向，技术进步。作为萃取法提锂的领军研究机构，目前青海盐湖所已设计与合成121个不同结构的新型酰胺类与磷酸酯类有机化合物，具有镁锂选择性高、水溶性小、化学稳定等特性，并将装置升级为萃取塔，可应用于不同类型的卤水提锂、沉锂母液回收、电池回收。

图表 38：普遍的萃取流程在于萃取剂的选择，萃取出锂溶液后还需进行清洗、洗脱等环节



资料来源：《锂资源绿色高效利用与高纯锂盐制备的科学基础及产业示范》，五矿证券研究所

图表 39：实际生产中，萃取法可以用于盐湖/矿石提锂全工艺流程，也可用于尾液提锂提升收率



资料来源：《萃取体系开发及在锂提取纯化中的应用》，五矿证券研究所

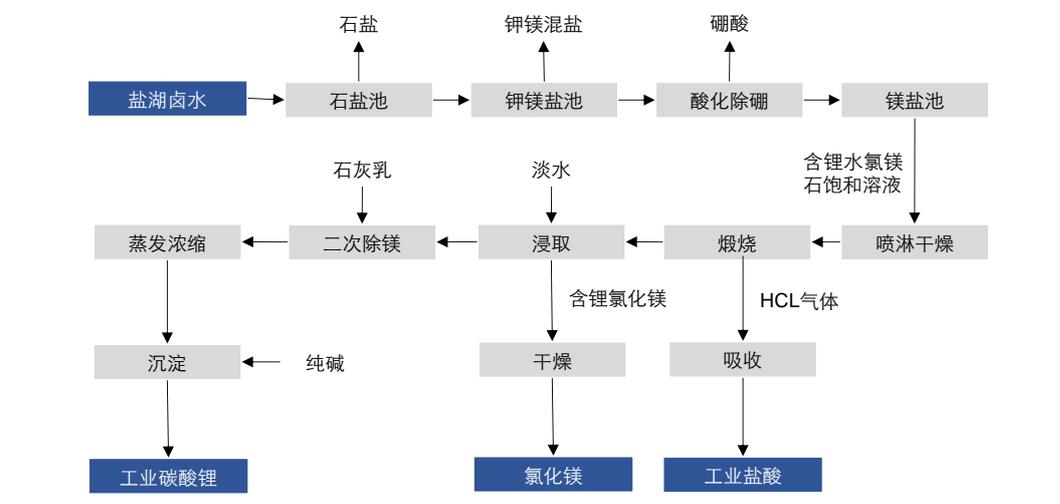
煅烧浸取法：青海最早一代产业化的高镁锂比盐湖提锂工艺，思路巧妙但工程化掣肘多

煅烧浸取法是青海最早一批得到工业化应用的高镁锂比盐湖提锂工艺，于 2005 年由青海中信国安针对西台盐湖卤水的特性自主研发，正如其名，其工艺流程在一定程度上与矿石法类似。首先通过将脱硼的卤水蒸发得到水氯镁石和氯化锂的固体混盐，再进行高温煅烧（450-900℃）、水浸分解氧化镁、纯碱沉淀分离获得碳酸锂。

煅烧法克服了镁锂分离的难题，原理巧妙之处在于将溶于水的镁、锂氯化物中的镁焙烧转化为不溶于水的化合物，从而实现镁锂分离，并在产线实现了锂、硼、镁产品的同时生产，此外煅烧法生产碳酸锂产品的品质一致性较为理想，近年来已达到国标电池级。

但煅烧法在工程化实操中面临的挑战较大。鉴于卤水中的高镁锂比，因此焙烧环节的天然气消耗量大、且难以回避锂在流程中的夹带，并将产生大量的盐酸。同时还存在流程较为复杂、水耗偏大、煅烧所需大量稀盐酸易腐蚀设备、以及 $MgCl \cdot 6H_2O$ 分解不完全等弊端，此前的尾气排放问题经过技改已达标。围绕煅烧浸取法的不足，相继有改进措施提出，例如在高温煅烧前，即在脱硼老卤中加入沉淀剂，使镁锂以氢氧化物等多种形式沉淀，之后再煅烧即可避免产生氯化氢气体。鉴于新一代盐湖提锂技术的成熟，可大幅提高锂的回收率、节能降耗，因此煅烧法将淡出舞台，目前青海西台吉乃尔盐湖的膜法生产线也已启动建设。

图表 40：煅烧法工艺流程概略图



资料来源：《盐湖卤水锂资源及其开发进展》，五矿证券研究所

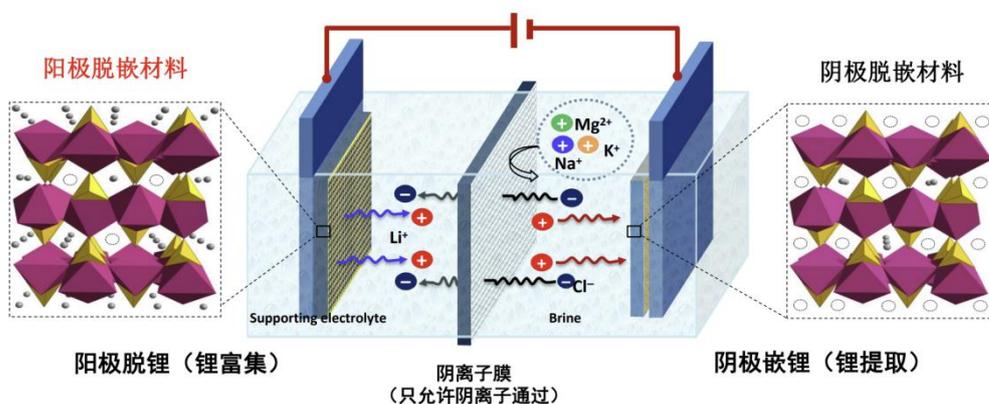
电化学脱嵌法：创新的直接提锂工艺、工作原理类似锂电池，正在推进产业化尝试

应用于盐湖提锂的电化学脱嵌技术由中南大学赵中伟教授团队持有专利技术，并将中南锂业（上海郸华科技与中南大学合作）作为专利技术的平台公司。

电化学脱嵌技术基于锂电池工作原理，以富锂态的锂电材料为阳极，以欠锂态的锂电材料为阴极，在通电后实现阳极脱锂入阳极液、阴极嵌锂、交换阳极液和卤水位置后，调整电压，继续脱锂和嵌锂过程，多次反复后阳极液中锂离子浓度将持续提升。根据公司公开资料，这一技术一是能将整体回收率提升 30%-50%；二是对原料适应性较强，可直接处理原卤、老卤及任意阶段的卤水；三是提锂装置模块化、可组建不同规模的生产线等。

我们认为，电化学脱嵌的思路巧妙、工艺原理可行，但尚需进行产业化验证，未来尤其有望在低矿化度的卤水提锂上打开应用突破口。在发展进程方面，于 2017 年在湖南长沙已建有工业化中试基地，并在青海格尔木建有工业化试验场所。2022 年正式在捌干错盐湖推进千吨级锂盐产线产业化项目。

图表 41：电化学脱嵌法提锂的工作原理



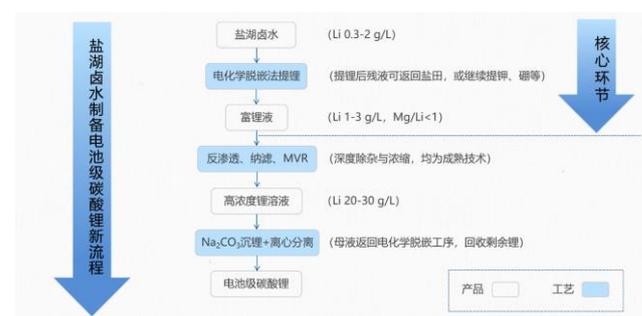
资料来源：中南锂业公开材料，五矿证券研究所

图表 42：电化学提锂工艺同样能实现锂收率的提升



资料来源：中南锂业公开资料，五矿证券研究所

图表 43：电化学直接提锂流程，目前正与金圆股份尝试合作产业化



资料来源：中南锂业公开资料，五矿证券研究所

三种盐湖提锂吸附剂：铝系成熟、适用最广，钛系与锰系将形成补充

开发选择性强、吸附容量大、长循环、适用特定盐湖卤水类型的吸附剂是盐湖吸附提锂的核心，其中有三大主流类型：铝系的分子筛吸附剂，以及属于离子筛吸附剂的钛系、锰系吸附剂，目前实际得到商业化的是铝系吸附剂。其中，铝系吸附剂主要是氢氧化铝+氢氧化锂或是三氯化铝/氢氧化钠+氯化锂等的结晶，锰/钛系离子筛则是将无机化合物和锂离子生成的复合氧化物，在不改变晶体结构的情况下将锂离子抽除，从而形成有规则空隙结构的多孔前驱体、在多种离子共存的情况下对锂离子有记忆性。

在适用性上，铝系吸附剂适用于分布广泛的氯化物型盐湖、以及硫酸镁亚型盐湖，仅需用淡水解析、吸附解析时间较短。但在氢氧根丰富的碱性盐湖，铝系吸附剂无法直接使用（除非先在装置中调整和改变卤水的 pH 值和组分），需采用钛系、锰系等离子筛吸附剂，但其对于设备材质的要求较高、需要酸来解析、且单周期吸附解析时间长。在吸附容量方面，锰系吸附剂具备核心优势，但目前商业化的掣肘在于尚未能解决易溶损的问题。

铝系分子筛吸附剂：最成熟、产业化程度最高的盐湖提锂吸附材料

铝系吸附剂自上世纪 70 年代展开研究，美国陶氏率先成功将其制备，经过多代改良，已是目前较为成熟、且唯一得到产业化应用的吸附剂，在实际应用中，Livent (FMC Lithium)、蓝科锂业、藏格锂业先后实现了产业化。

铝系吸附剂理论的粉体吸附容量约 20mg/g，造粒后的饱和吸附容量约 5~10mg/g 不等，在实践中的动态吸附容量约 2~5g/l（根据卤水组分不同、吸附剂的性能不同，该数据差异较大，未来改进空间也较大），适用于 pH 值在 5-7 的氯化物或硫酸镁亚型盐湖，而在南美“锂三角”、中国青海，此类盐湖卤水的分布最为广泛。但若盐湖内硫酸根和氯根的比值过高则容易导致洗脱率下降、吸附容量越来越低。

铝系吸附剂的制备主要是将氢氧化铝与氢氧化锂或者氯化锂等锂源融合，形成插层化合物，具有锂离子的记忆效应，且吸附-解吸的过程具有可逆性，水洗即可实现吸附剂再生。有较好的锂选择性、吸附结构稳定、制备成本低、吸附速率快且无须使用酸碱试剂，但需要消耗大量的淡水进行洗脱。

锰系离子筛吸附剂：理论吸附容量大，但溶损率高的问题尚未解决

锰系离子筛研究始于 20 世纪 70 年代，通过锂源和锰源合成，可应用于碱性盐湖，但不能用于强碱性盐湖，理论粉体吸附容量可达 50-60mg/g，目前部分产品造粒后的吸附容量约 4mg/g。得益于锰系氧化物的独特尖晶石结构和三维网络通道能对锂具有良好的选择性和吸附性，具有化学性质稳定、吸附容量高、且成本较低的特点。但核心问题在于，使用中锰的损失会让结构坍塌（锰溶损）进而导致容量锐减，其次洗脱剂需要采用盐酸或者硫酸钠作为洗脱剂，废液需要进行环保处理。目前中国部分的提锂技术公司已可研发生产锰系吸附剂，但尚未出现规模化的产业应用，材料改性更多集中于实验室层面，我们认为未来锰系吸附剂在西藏盐湖的开发上具备较大的应用前景。

钛系离子筛吸附剂：正逐步推进产业化，已有中试案例

钛系离子筛研究始于 1988 年，是为了攻克锰系溶损率高而制备的新型离子筛，将锂源与二氧化钛等钛源混合，适用强碱型盐湖，目前其吸附容量与铝系相似，造粒后容量约 3~5mg/g。钛系离子筛对锂选择性较强且极少吸附阳离子，在洗脱后溶损率较低，锂洗脱率高、性质稳定、安全绿色且吸附容量大，但这类吸附剂也需要酸洗脱，且多为粉末状，技术尚未完全成熟，需要攻克渗透率差、吸附周期长，造粒后出现容量减小等挑战。在应用上，钛系吸附剂当前已进入现场试验阶段，如久吾高科在西藏扎布耶盐湖的 100 吨氢氧化锂中试产线。

盐湖提锂吸附剂的技术壁垒较高，造粒后的吸附容量、循环寿命差异大

吸附剂的核心壁垒在于提高吸附容量与造粒工艺（基础原理是想方设法扩大卤水与吸附剂的接触表面积，降低密度，从而提高吸附性能），并攻克溶损和难循环的问题，这将直接影响盐湖提锂项目的资本开支强度、以及运营成本。当前产业界主要通过造粒、发泡、成膜和掺杂等方式对离子筛改性，但同样存在研究难点，如造粒时的添加剂会导致离子通道堵塞，降低吸附量和吸附速率；造粒可以将粉末状制成机械性能较好的块状，但如何提升循环效率是主要研究方向；成膜则由于出现团聚现象导致成膜不均、成本高，甚至可能存在易污染等问题。掺杂是被认为能从根本解决问题的方式之一，如增大锂离子配比或是加入钴、镍、铁、铝等离子来提高锰的平均价态，形成元素协同作用，但仍需进一步研究配比等。

随着技术与资本持续投入，中国企业对锂吸附剂的研发和实战已积累一定优势，但耗水量仍需优化、工业化核心设备投资较大且稳定性不足的情况仍然存在。未来，对于不同吸附剂的比较除了因湖而异、需要定制化的确定工艺方案外，对于吸附剂的机械强度、吸附容量、循环寿命等都是重点的考察方面。

图表 44：常见的三类吸附剂的参数相差较大、适用盐湖类型、产品领域也有差异

分类	动态吸附容量 (g/l)	吸附介质及条件	解析介质及条件	吸附解析周期 (h)	树脂寿命 (年)
铝基吸附剂	2-5	常温、pH 5.5-8	水, 10-40℃	4-6	正常使用 8-10
锰基吸附剂	3-8	常温、pH 7-8.5	0.5-1%稀酸, 常温	1-3	由溶损率决定
钛基吸附剂	3-10	常温、pH 7-13	0.5-2%%稀酸, 15-40℃	4-6	由溶损率决定

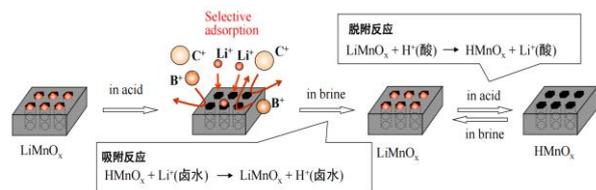
资料来源：五矿证券研究所整理

图表 45：铝基吸附剂已经开始产业化，钛系有望成为下一代新型吸附剂

吸附剂分类	代表产品	优点	缺点	
有机离子吸附剂	人工合成树脂	-	选择性效果差、工艺成本高（利用率低）、应用前景小	
无机离子吸附剂	铈酸盐型吸附剂	对锂有记忆性，仅需改变解析液酸度即可回收锂	铈具有一定毒性	
	层状吸附剂	磷酸盐 砷酸盐（砷酸钪）	--	有毒，不适合大规模生产
	铝基吸附剂	氢氧化铝基	已产业化，锂沉淀率高、污染小	淡水消耗大、实际容量低于理论且通用性低
		铝盐吸附剂	吸附性好、寿命长、污染小	成本相对较高、容量相对小
	离子筛型吸附剂	锰系离子筛	锂离子理论吸附容量高，化学结构稳定、锂选择性好、环保	均存在多次循环后吸附颗粒成粉末状、流动性和渗透性较差、溶损率高
		钛系离子筛	化学稳定性好、机械强度大、吸附容量多，有望后续取代锰系	(1) 锰系：多次使用后吸附容量锐减（锰溶损高），尚在研究优化 (2) 钛系：成本偏高，已有小试--中试
有机&无机复合材料	掺杂型离子筛 (如掺杂铁离子、双阳离子、阴阳离子等)	溶损率降低、提高稳定性、循环优异	需要综合考虑各离子化学特性，制备困难，尚在研究	
		选择性高、吸附容量大	研究较少，合成难度高	

资料来源：《锂离子筛符合材料的制备及性能研究》，《卤水提锂吸附剂应用研究进展》，《盐湖提锂工艺高镁锂比盐湖锂盐吸附剂研发进展》等，五矿证券研究所整理

图表 46：锰系离子筛合成及提锂示意



资料来源：《高效分离技术在锂资源分离提取中的应用》，五矿证券研究所

图表 47：钛系吸附剂还能提供高解吸液锂离子浓度



资料来源：港烽新材公开资料，五矿证券研究所

吸附法提锂的再次进阶，提锂段前移、从“老卤提锂”走向“原卤提锂”

由于盐田段（采卤输卤、盐田逐级滩晒）的锂回收率实际仅约 40%，是夹带损失最大的环节，因此设法将提锂环节前移，成为当前产业的焦点，其中最极致的工艺设计、也是目前重点攻关的技术，就是从“老卤提锂”转向“原卤提锂”，实现真正意义上的 DLE（Direct Lithium Extraction）。其中，吸附法由于符合“低品位、低成本、绿色提锂技术”的产业趋势，在原卤提锂中将扮演核心角色，而解析液的进一步处理则可与梯度膜法、电渗析、萃取法进行集成，但目前产业化的依然是吸附+膜的耦合，与老卤提锂相似但工艺流程的细节不同。

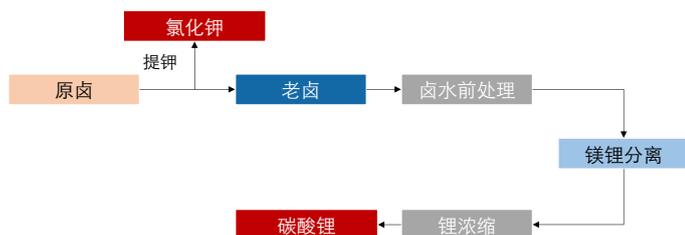
相比于以“镁锂分离”为核心的老卤提锂，原卤提锂的吸附需要一步完成锂与钠、钾、镁、硼等元素的选择性分离，利用吸附取代盐田的脱钠、脱钾功能，减轻纳滤装置的镁锂分离负荷，同时要求不影响最后提锂尾液的提钾。目前，原卤提锂的商业化产能已在青海一里坪盐湖、大柴旦盐湖上启动建设，若在工业化连续生产中得到充分验证，未来将为锂行业带来划时代的突破意义，改变锂供应的产业格局。

我们认为，原卤提锂的重要意义在于：（1）实现提锂段的前移，流程上无须先提钾再提锂，锂可作为主产品，而提锂的尾液仍可根据需要进行钾肥和硼酸的提取；（2）由于无须盐田沉淀，因此避免了锂在盐田中的夹带损失，综合收率可从目前的不足 30%大幅提升至 50%~60%（理想情形可超 70%），这等同于再造一个资源，同样的资源禀赋、同样的抽卤强度，可支撑更大规模、甚至倍增的锂盐产能；（3）抽取的原卤仅需进行预处理，提锂周期可显著缩短至以周度、甚至日度来衡量，在青海的盐湖项目上，生产周期可从 2-3 年缩短至 2 个月以内；（4）对于盐田面积的要求大幅降低，显著降低环境足迹、助力 ESG，此外我们需要认识到，受制于地形和自然生态，未来并不是每个盐湖都适合、都可以建设盐田；（5）伴随工艺进步，未来水耗/电耗/试剂消耗等均有 20%-60% 的下降空间。

实现原卤提锂的难点无疑在于高效的吸附剂，在同等情形下原卤提锂意味着吸附装置需要处理的卤水量将显著大增，技术难点将从镁锂分离转向钠锂分离。目前部分领军吸附材料生产商已可实现老卤吸附和原卤吸附的通用性，可按需进行切换。产业目前对于原卤提锂的争议主要在于，认为通过改进盐田系统、精益生产，回收率优化的空间依然较大，或可在盐田中滩晒除钠之后便进行提锂、最后提钾，同样可实现“提锂环节前移”，但不必前移至原卤、导致浓缩分离装置的卤水处理量过大。我们认为，站在实际生产的角度，这无疑都是务实的建议，但对于促进锂行业的发展而言，原卤提锂的技术革命意义更大。

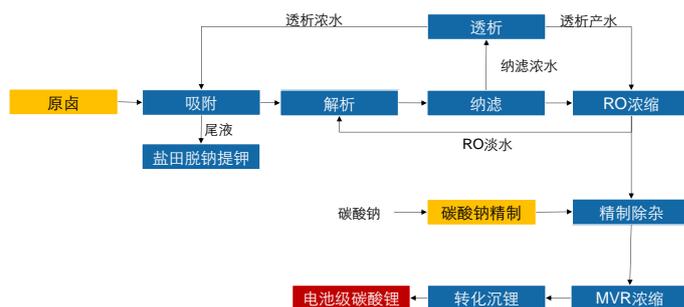
与此同时，除了在前端开展的原卤吸附，在后端尝试配套采用双极膜、电解工艺直接生产氢氧化锂产品也成为中国、海外锂行业重点技术攻关的环节。虽然这并非全新的思路，但在近年来得到了前所未有的重视、技术发展明显提速。未来若得到商业化，盐湖提锂无论在生产效率、还是在产品附加值等方面，均将迎来质变。

图表 48：老卤提锂的工艺流程简图



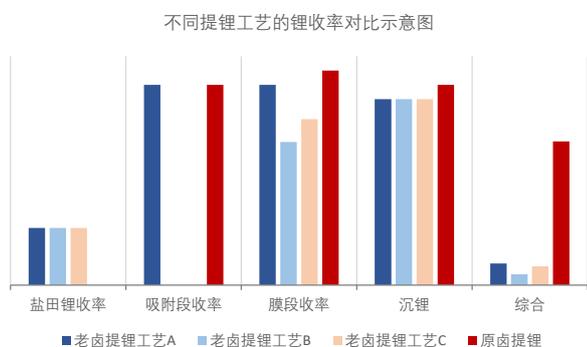
资料来源：久吾高科公开资料，五矿证券研究所整理

图表 49：原卤提锂的工艺流程示意图，核心是提锂段前移



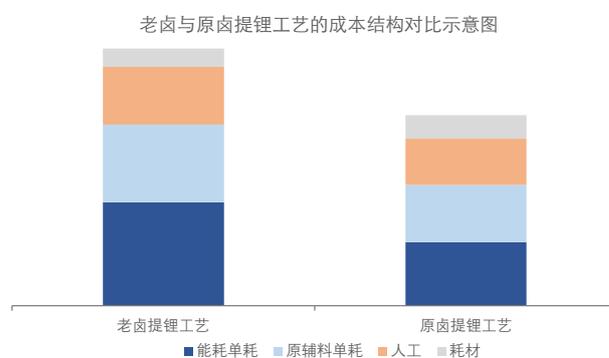
资料来源：《盐湖提锂新进展》，五矿证券研究所

图表 50：原卤提锂的锂综合收率大幅提升，主要得益于无盐田沉淀段



资料来源：《盐湖提锂新进展》，五矿证券研究所

图表 51：原卤提锂单耗有明显下降，尤其是原辅料与动力，但耗材微增



资料来源：《盐湖提锂新进展》，五矿证券研究所

未来中期，技术进步、工艺定型将优化盐湖提锂产能的资本投入强度

根据我们对于全球在建盐湖提锂项目的跟踪统计，整体而言，采用吸附法等新工艺的资本投入强度均值要小幅低于沉淀法：采用非沉淀法的提锂工艺的吨 LCE 资本投入强度均值为 19096 美元/吨、人民币 12.8 亿元/万吨（区间 8955~37727 美元/吨 LCE、人民币 6.0~25.2 亿元/万吨），而沉淀法为 20549 美元/吨、人民币 13.7 亿元/万吨（区间位于 6443~41210 美元/吨、人民币 4.3~27.6 亿元/万吨）。当然，这与部分吸附产能是嫁接在成熟已建成的盐田系统上、而非完全绿地的项目存在一定关系。

吸附法跟自身相比，经过 2017 年以来的发展，我们关注到资本开支强度也正在逐步降低。以某头部吸附材料龙头为例，其设备供应合同总额已从 2018 年的 5.8 亿元/万吨 LCE 降低至 2.3~2.6 亿元/万吨 LCE（从 8640 美元/吨下降至 3408~3886 美元/吨），EPC 合同从 15.6 亿元/万吨 LCE 下降至 4.9 亿元/万吨 LCE（从 23310 美元/吨降至 7324 美元/吨）。我们认为除了成熟扩能所需资本投入较低的因素，其中也反应出了吸附法的技术进步和更加娴熟。

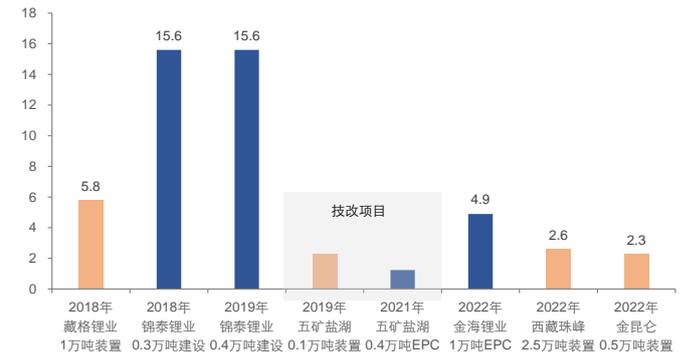
向前看，在同等的条件和口径下，我们预计伴随吸附剂等提锂材料的浓缩分离性能以及循环寿命的大幅提升、系统装置的优化升级、原材料价格的回落、工艺流程的逐步成熟以及管理的精细化，盐湖提锂产能的资本投入强度将进一步趋于降低。但需注意：（1）新建绿地项目的资本投入规模无疑将大幅高于成熟扩能，这与配套条件和协同效应相关；（2）在中国西藏自治区等高寒高海拔（>4000 米）、配套基础设施薄弱地区的投入规模通常将大幅高于相对低海拔的地区（~3000 米），项目风险也将更高；（3）与资源禀赋相关，处理低浓度卤水资源的资本投入，显然将高于处理高品位资源的资本投入。

图表 52：在建盐湖提锂产能中，采用新工艺的单体资本开支整体微降



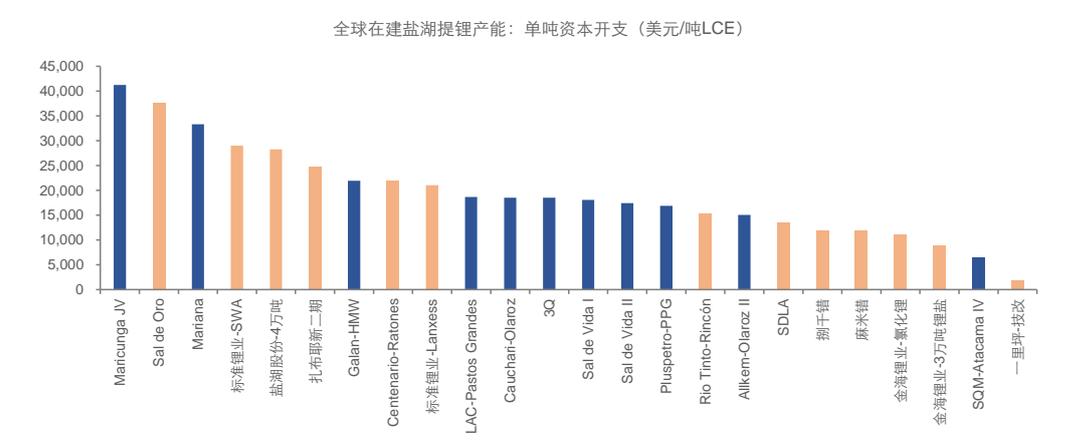
资料来源：各公司公告，五矿证券研究所（注：橙色为地热吸附提锂）

图表 53：吸附段的资本开支强度已逐步下降 (亿元/万吨 LCE)



资料来源：蓝晓科技公司公告，五矿证券研究所

图表 54：主要在建盐湖提锂项目中，采用新工艺产能的资本开支强度处于较低分位



资料来源：各公司公告，五矿证券研究所（橙色为提锂新工艺项目）

盐湖的高质量开发并不仅仅在于提锂技术的突破，还需厘清盐湖生态的机理

在当前躁动的锂行业中，我们提醒产业和资本市场投资者，盐湖锂资源的高质量、可持续开发并不仅仅在于提锂技术的突破，还需要厘清盐湖生态、盐湖循环的机理。其背后的核心在于，盐湖资源是动态流动的（无论晶间卤水、深层卤水还是地表卤水）、而非固体锂矿一般静态存在，因此盐湖的可采储量（给水度储量）、卤水产品位皆存在波动性。同时盐湖矿区的生态极为脆弱、修复困难，在工艺选择上需要慎重。整体而言，我们认为盐湖提锂的开发壁垒、复杂程度远高于固体锂矿，至少需要地质、化工/湿法冶金、环境工程 know-how 的集成。例如，盐湖循环的水文模型、卤水抽取与淡水水位的关系、抽卤井和观测点的布局、吸附后脱附液的回注位置、防洪设计等，均需要综合研究。

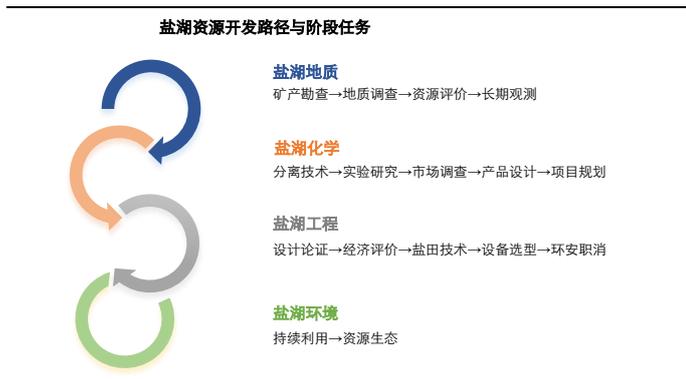
此外我们认为，并没有完美的盐湖提锂工艺路线，只有最契合盐湖卤水的组分、最适应矿区的配套条件（能源、淡水、道路、地形、海拔、蒸发率、气候条件等）、最符合资源商和下游市场需求的工艺路线。同时，技术进步也并非一蹴而就，小试-中试-产业化之间存在云泥之别，需将工艺设想结合工业化连续生产的实践，技术进步的路径通常也是经过时间和经验教训的积淀后呈现螺旋式的发展。伴随量变向质变的积聚，则可能最终产生颠覆。

- 经典的盐田蒸发沉淀，并非已成为“过去式”，凭借最顺应自然规律的工艺流程（结合了盐湖矿区特点、各类盐在自然条件中的析出顺序）、低的运营风险、低生产成本、低水耗、绿色低碳，未来依然将是部分南美一二线盐湖资源开发的稳妥选择，但无法解决盐田的

环境足迹问题、无法摆脱晒卤周期长、且受制于自然气候，鱼和熊掌难以兼得。

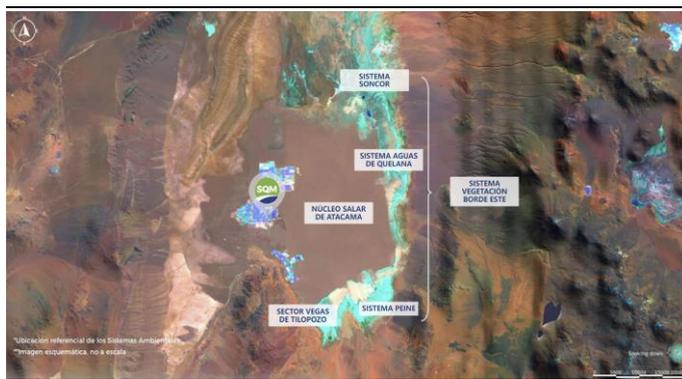
- 吸附+膜法工艺，可实现从较低锂含量的盐湖卤水中高效提锂。但首先面临淡水消耗量大的问题，1吨碳酸锂需消耗350~470吨的淡水；其次，机械化生产缩短了生产周期，但前提要求矿区具备充足的电力、蒸汽配套，而在中国西藏以及南美的普纳高原上，工业用电、天然气管道、蒸汽以及辅料供应皆为稀缺资源。为了解决淡水问题，则需要增加实现淡水循环的蒸发装置投入；为了解决能源的配套，则需要是在矿区配套建设光伏发电、光热储能，这些解决方案均将导致盐湖提锂项目整体资本开支的大幅增加。
- 在行业低迷期，资源商普遍风险厌恶、因此倾向于选择成熟的工艺路线，而在行业的高景气周期，资源商为了抓住行情机遇、缩短生产周期、尽快投产，倾向于选择吸附等创新工艺。因此，没有绝对的优劣之分，工艺选择取决于客观条件和主观需求。

图表 55：做优、做精盐湖提锂是一项系统性工程，需要 know-how 积淀



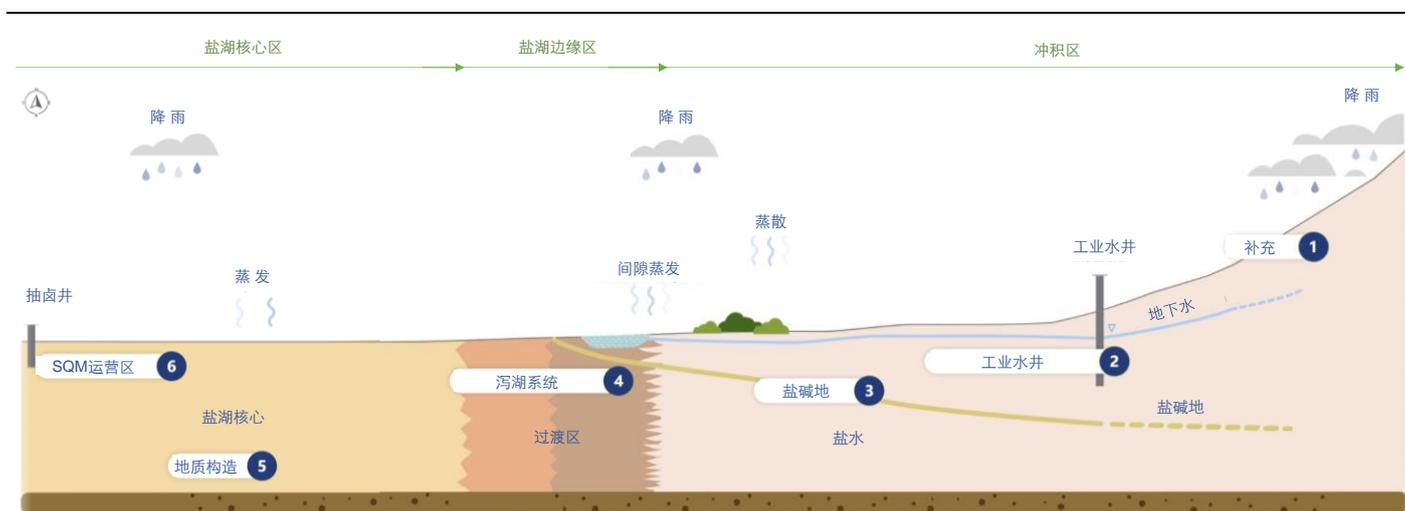
资料来源：《盐湖锂资源可持续开发与金属锂生产的科学问题》，五矿证券研究所

图表 56：海外领军盐湖提锂厂商颇为重视对于盐湖循环系统机理的研究



资料来源：SQM 公司公告，五矿证券研究所

图表 57：以智利 Atacama 盐湖为例，盐湖的水文循环系统决定了卤水抽取、卤水品质的稳定可持续性



资料来源：SQM 公司公告，五矿证券研究所

纵观全球产能，高效吸附已跻身新一代盐湖提锂的主力解决方案

基于全球盐湖提锂的产业化实例，我们认为高效吸附提锂已紧随盐田沉淀法，成为全球盐湖提锂的主力解决方案之一，而且近年来的产业化项目数量在快速增加。从资源禀赋、经济性、ESG、矿权分布、基础设施五个维度看：

- 从资源禀赋的角度：对于全球次优品位（锂离子浓度较低、化学组分复杂）的盐湖卤水，或者位于次优地区的盐湖项目（受地形条件限制无法建设盐田、或者降雨量较大），吸附提锂是优选的解决方案；即便对于高锂离子浓度的盐湖项目，虽然没有硬性的使用必要，但吸附依然可以帮助其在有限的抽卤强度下、在有限的盐田面积内，大幅提高回收率和有效产能，因此也在技改升级的考虑选项之中。
- 从经济性的角度：绝大部分绿地盐湖项目的开发资源商均希望抓住锂行业历史性的价格高位，尽快投产、将项目收益最大化，对于 2021~2022 年通过高溢价收购的新进入者而言这一点尤其重要，若采用盐田蒸发则逃不开漫长的晒卤周期，因此高效吸附、尤其原卤吸附成为理想的解决方案。
- 从 ESG 的角度：以吸附法为代表的直接提锂工艺可大幅缩小盐田面积，甚至无须建设盐田（若不生产钾肥），因此环境足迹更低，可尽可能的保持盐湖自然生态的原貌，此外在生产中受自然因素（雨雪、山洪）的干扰也较小。
- 从矿权分布的角度：在南美“锂三角”，不乏在同一个盐滩上存在错综复杂多家公司的多家矿权的情形，将其兼并整合并不容易，若各自开发、全部建设盐田又并不现实，我们认为采用原卤吸附提锂将是解决方案之一。
- 从基础设施的角度：吸附法等“工业化连续生产”要求矿区具备更加完备的电力、天然气保障，因此部分资源商选择在二期产能中采用蒸发沉淀等成熟工艺，待初期投产、陆续补齐基础设施后，再在二期产能或者技改优化中进阶采用吸附法等新工艺。

图表 58：全球在产、在建的盐湖提锂产能及其工艺选择

锂盐湖名称	所在国/地区	投产时间	运营商	2021 年盐湖提锂产能情况	状态	工艺路线
传统沉淀法为主						
Atacama 盐湖	智利	1993	SQM	碳酸锂 12 万吨（目标 21 万吨） 氢氧化锂 2.15 万吨（目标 4 万吨）	在产中	碳酸盐沉淀法，曾引入吸附法等新工艺进行技改
Atacama 盐湖	智利	1984	Albemarle	碳酸锂 8.5 万吨	在产中	碳酸盐沉淀法，正推进新工艺进行技改、提升回收率
Olaroz 盐湖	阿根廷	2015	Allkem	碳酸锂 1.75 万吨 规划碳酸锂新增 1.5 万吨 规划氢氧化锂 1 万吨	在产中	碳酸盐沉淀法，但会加入生石灰来减少硫酸根
Silver Peak 盐湖	美国	1966 年 开采	Albemarle	碳酸锂 6000 吨 规划碳酸锂新增 6000 吨	在产中	沉淀法
Cauchari-Olaroz 盐湖	阿根廷	-	赣锋锂业/LAC	规划一期碳酸锂 4 万吨 规划二期碳酸锂至少 2 万吨	在建中	碳酸盐沉淀法，但会加入生石灰来减少硫酸根
Mariana 盐湖	阿根廷	-	赣锋锂业	规划一期氯化锂 2 万吨	在建中	沉淀法
Tres Quebradas 盐湖	阿根廷	-	紫金矿业	规划一期碳酸锂 2 万吨 远期规划碳酸锂扩大至 4-6 万吨	在建中	沉淀法 二期工艺路线或变化
Sal de Vida 盐湖	阿根廷	-	Allkem	一期规划碳酸锂 1.5 万吨 二期规划碳酸锂 3 万吨	在建中	改良沉淀法

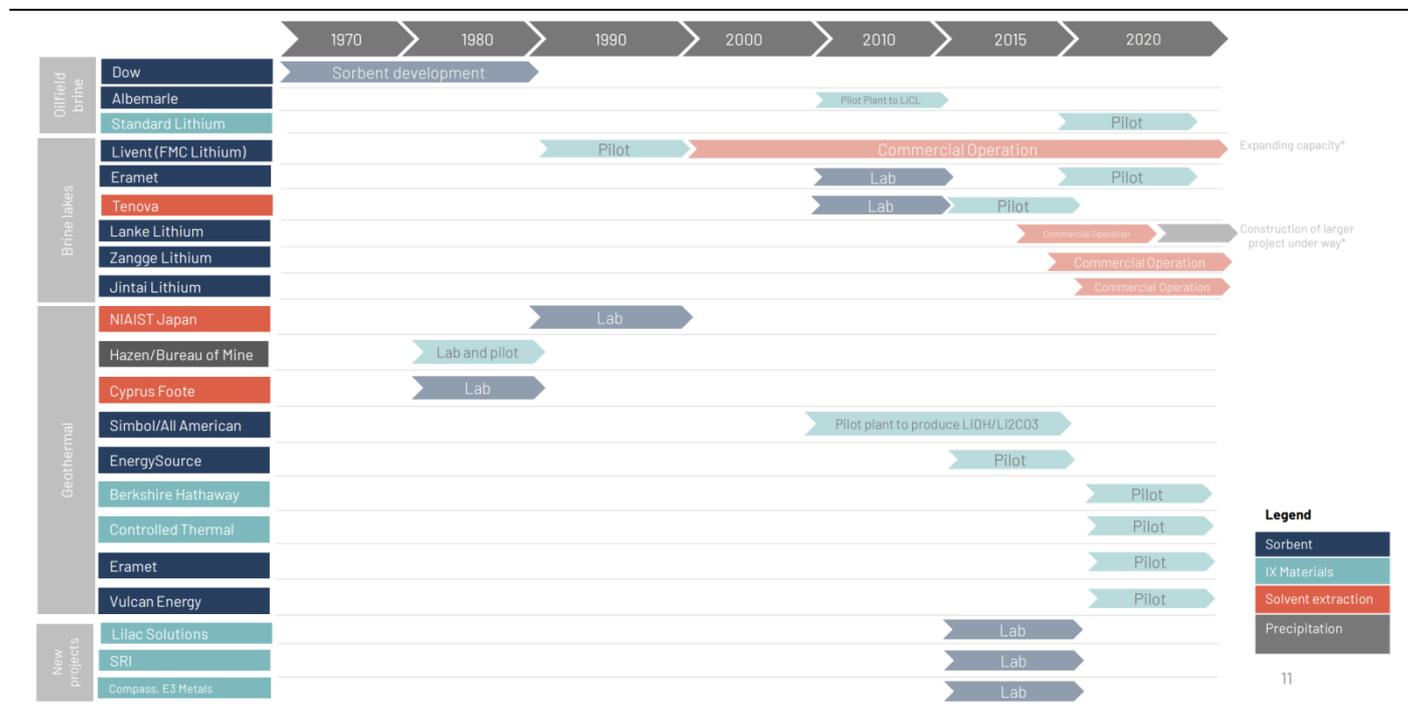
新兴提锂工艺为主

Hombre Muerto 盐湖	阿根廷	1998	Livent	碳酸锂 2 万吨（目标 10 万吨） 氯化锂 0.9 万吨 氢氧化锂 2.5 万吨（目标 4.5 万吨）	在产中	铝系吸附剂，引入 E3 Metals 等推进直接提锂技改
察尔汗盐湖	中国青海	2017	盐湖股份	蓝科锂业-碳酸锂 3 万吨 规划盐湖比亚迪-碳酸锂 3 万吨 规划盐湖股份-碳酸锂 2 万吨+氯化锂 2 万吨	在产中	采用吸附法+膜浓缩工艺
察尔汗盐湖	中国青海	2019	藏格锂业	碳酸锂 1 万吨	在产中	采用吸附法+膜浓缩工艺
东台吉乃尔盐湖	中国青海	2006	东台锂资源	碳酸锂 2 万吨（目标 3 万吨）	在产中	电渗析
西台吉乃尔盐湖	中国青海	2007	青海中信国安	碳酸锂 1 万吨 规划采用膜法新建碳酸锂 2.5 万吨	在产中	老线煅烧法 膜法中试 2000 吨已试料成功
外购西台老卤	中国青海	2018	恒信融锂业	碳酸锂 2 万吨	在产中	纳滤反渗透膜法
一里坪盐湖	中国青海	2019	五矿盐湖	碳酸锂 1.4 万吨	在产中	采用“梯度耦合膜分离技术”和“多级锂离子浓缩高镁锂比卤水提取技术”结合
巴伦马海盐湖	中国青海	2017	锦泰锂业	碳酸锂 7000 吨	在产中	采用萃取+吸附法提锂
扎布耶盐湖	中国西藏	2006 太阳池 投产	西藏矿业	65%碳酸锂结晶体 7000 吨 （目标 1 万吨） 规划碳酸锂 1.2 万吨	在产中	结晶体为太阳池沉淀法，碳酸锂采用膜法 正推进吸附耦合膜法生产氢氧化锂中试，其中吸附剂为钛系离子筛
SDLA 盐湖	阿根廷	2019	西藏珠峰	碳酸锂 2500 吨 规划碳酸锂 5 万吨+2500 吨	在产中， 扩能在建中	采用吸附耦合膜法工艺
Rincon 盐湖	阿根廷	-	Rio Tinto	规划碳酸锂 5 万吨	在建中	原卤吸附提锂+膜分离
Centenario-Ratones 盐湖	阿根廷	-	Eramet、 青山实业	规划碳酸锂 2.4 万吨	在建中	吸附+膜分离工艺
Kachi 盐湖	阿根廷	-	Lake Resource	规划碳酸锂当量 5 万吨	在建中	与 Lilac 合作，采用新型离子交换提锂（吸附）
Sal de Oro 盐湖	阿根廷	-	POSCO	规划氢氧化锂 2.5 万吨 远期规划氢氧化锂 5 万吨-10 万吨	在建中	采用 PosLX 直接提锂工艺，自主研发，初级产品磷酸锂
捌仟错盐湖	中国西藏	-	金圆股份	规划一期碳酸锂 2000 吨， 二期碳酸锂扩大至 0.8-1 万吨	在建中	电化学脱嵌法
拉果错盐湖	中国西藏	-	紫金矿业	规划碳酸锂 2 万吨，远期 5 万吨	推进中	采用吸附法+膜法
大柴旦盐湖	中国青海	-	金海锂业	规划碳酸锂/氢氧化锂 3 万吨， 其中一期 1 万吨	推进中	吸附法提锂
大柴旦盐湖	中国青海	-	金海锂业	规划氯化锂 1000 吨	推进中	吸附+膜法
大柴旦盐湖	中国青海	-	金昆仑	规划碳酸锂 5000 吨	推进中	吸附+膜法
结则茶卡盐湖	中国西藏	-	国能矿业	规划氢氧化锂 1 万吨	推进中	与蓝晓签订吸附法提锂合约
麻米错盐湖	中国西藏	-	藏青基金	规划碳酸锂 5 万吨	推进中	采用吸附法+膜法
当雄错盐湖	中国西藏	-	西藏旭升矿业	-	推进中	-
扎仓茶卡盐湖	中国西藏	-	西藏鹏程矿业	-	推进中	-
罗布泊盐湖	中国新疆	-	国投罗钾	规划碳酸锂 5000 吨	推进中	吸附+膜法

项目名称	国家	技术/公司	规划产能	当前状态	工艺/备注
Lanxess 溴田提锂与 SWA 油气田提锂	美国	Standard Lithium	Lanxess 项目规划碳酸锂 2.09 万吨 SWA 项目规划氢氧化锂 3 万吨	推进中	采用自主研发工艺 LiSTR+SiFT (陶瓷吸附+高压反渗透+结晶工艺)
Magnolia 溴田提锂	美国	Albemarle	-	暂停	2011 年曾开发溴田直接提锂技术并运营过试点工厂
Clearwater 等 3 个油气田提锂	加拿大	E3 Lithium	Clearwater 项目规划 2 万吨氢氧化锂	推进中	采用自主研发工艺实现吸附直接提锂
莱茵河上游地热卤水提锂	德国	Vulcan Energy	合计规划氢氧化锂 4 万吨, 其中一期规划 1.5 万吨	演示工厂建设中	采用吸附直接提锂法
Salton Sea 地热提锂	美国	BHER	-	演示工厂建设中	离子交换工艺
宣汉深层卤水	中国四川	-	无商业化案例, 有恒成锂钾中试基地和汉威锂钾中试基地, 赣锋和当地政府亦有合作, 可采用吸附法	-	-
海西深层卤水	中国青海	-	无商业化案例, 赣锋锂业、藏格矿业、恒信融、中农集团、金藏膜等企业均有探矿权布局	-	-

资料来源: 各公司公告, 五矿证券研究所整理

图表 59: 1988 年 Livent 率先实现直接盐湖提锂商业化, 当前全球已有多个盐湖对直接提锂产业化应用和实验



资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

阿根廷 Hombre Muerto 盐湖——Livent: 全球吸附提锂工艺的先驱

Livent (前身 FMC Lithium) 位于阿根廷 Hombre Muerto 盐湖的 Fénix 提锂设施是全球最早采用吸附提锂工艺的产业化案例。Livent 在 1986 年就 Hombre Muerto 盐湖开发与阿根廷政府签署协议, 1998 年具备较高技术含量的选择性吸附提锂装置实现商业化生产, 为公司在后端的全球氢氧化锂、金属锂、丁基锂生产基地提供了低成本、高品质的基础锂盐供应。

尽管 Hombre Muerto 盐湖完全可以采用传统的沉淀法提锂, 但 Livent 作为一家以领先技术为豪的老牌锂深加工生产商, 当时出于创新精神以及对于提锂效率的重视, 决定成为吸附提锂的先行者。后续公司从美国陶氏处购买了铝系吸附材料的专利, 并通过自研更新开发出了选择性净化吸附法。该工艺可以让提锂生产具有更短的生产周期、更低杂质的产品以及更小

的盐田面积，提升了快速扩能的效率，并降低了初始资本投入。尽管在投产后经历了漫长、曲折的磨合期，但依然不妨碍其成为了创新提锂技术的践行者，并成为了全球少有的、能利用盐湖碳酸锂苛化生产高品质单水氢氧化锂的厂商。截至 2021 年底，Livent 已具备碳酸锂 2 万吨，2023 年碳酸锂规划扩大至 4 万吨、2025 年实现 7 万吨，2030 年远期规划目标实现碳酸锂 10 万吨。同时，公司也正与包括 E3 Metals 等第三方工艺提供商或自行研发来进一步技改优化，实现收率、能耗的再优化等。

- Hombre Muerto 盐湖湖区面积约 600 平方公里，公司通过子公司 MdA 持有的矿权面积约 327 平方公里。截至 2021 年，公司暂无制作正式资源量评估报告的规划，但根据相关资料，该盐湖区域内锂离子浓度 700-800mg/L，可采深度 40-70 米不等，矿产储量约 120 万吨碳酸锂当量，镁锂比仅为 1.37:1。
- 2021 年 Livent 已在阿根廷盐湖具备 2 万吨碳酸锂（Fénix 工厂）和氯化锂 0.9 万吨（Güemes 工厂）。根据 2022Q1 扩能规划，公司大幅上调扩能规模，碳酸锂总产能规划达到 10 万吨：2023Q1 投建 1 万吨，并在 2023Q4 再投建 1 万吨，之后在 2025 年新增 3 万吨，2030 年底再新增 3 万吨（采用传统沉淀工艺，充分利用现有盐田）。
- 在 Hombre Muerto 盐湖采用自主开发的选择性净化吸附法（专利工艺），需要先将 600ppm 的卤水利用提取井抽取，并在小型盐田中蒸发浓缩至一定浓度，再进入吸附车间进行提锂。该工艺至少具备两方面的优势：（1）大幅提升生产效率，可让碳酸锂的生产周期缩短至 4-9 个月，相比之下，SQM 与 Albemarle 在智利 Atacama 盐湖采用传统的碳酸盐沉淀法，晒卤周期长达 12-18 个月；（2）采用先晒卤、后吸附，大幅降低了所需要的盐田面积，并且锂回收率较高（可达 80%，传统仅为 30%-50%）。但该工艺的主要弊端在于淡水消耗量大，同时需要额外耗能，二者在当地均较为稀缺。此外，与固体锂矿不同，盐湖资源在地表下是流动、相通的水体，若在提锂过程带入较多的淡水，将淋洗和脱附后的尾液回注盐湖后，容易造成卤水锂离子浓度被短期稀释的困扰。与后来大多数的盐湖提锂项目相似，Hombre Muerto 投产后经历了痛苦的、漫长的磨合周期，FMC 一度需要大规模外购氯化锂等原料来支撑后端的深加工生产。
- 近年来，基于 ESG 因素，Livent 对其选择性吸附工艺进行了持续优化。一方面降低了提锂的淡水消耗量，另一方面，计划在未来采用直接提锂（不再需要晒卤）、逐步退役大型的预蒸发池，仅保留较小面积的盐池用于存放吸附后的含锂老卤，从而进一步提升效率、降低盐田的维护成本。此外，Livent 还与从事直接提锂（离子交换）、油井卤水提锂开发的 E3 Metals 公司进行合作，后者的技术特点在于前端可一步同时实现富集和除杂，并在后端采用电解生产氢氧化锂。

图表 60：由于采用吸附工艺，Hombre Muerto 盐湖上的 Fénix 提锂基地仅需要小规模的处理盐田



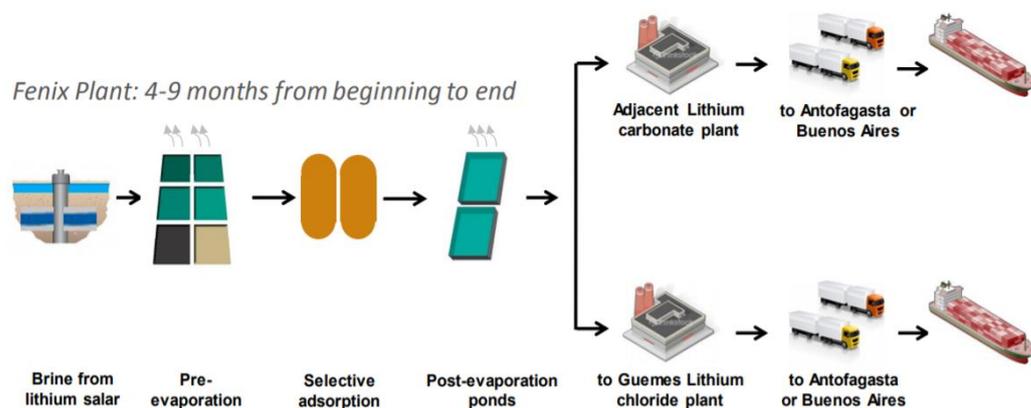
资料来源：Livent 公司公告，五矿证券研究所

图表 61：阿根廷 Hombre Muerto 盐湖的矿权分布，Livent 矿权覆盖了核心区域



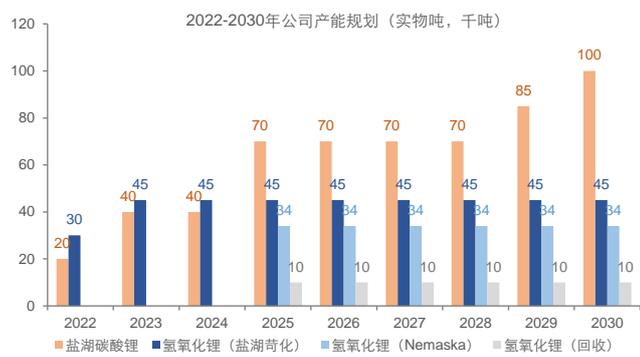
资料来源：Galan 公司公告, 2Mp, FMC 公司公告, 五矿证券研究所

图表 62：Livent 工艺为抽卤--预晒--吸附--再蒸发浓缩，最后老卤生产碳酸锂和氯化锂，提锂周期为 4~9 个月



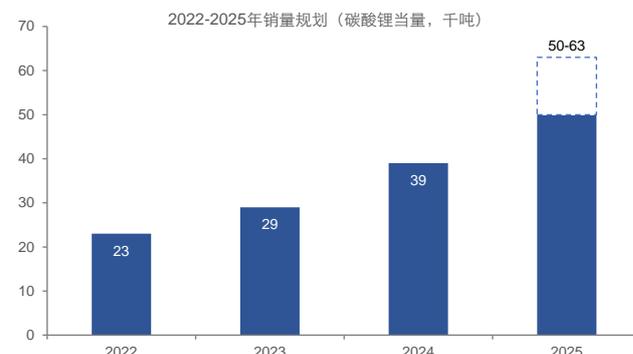
资料来源：FMC 公司公告, 五矿证券研究所

图表 63：公司已加速了扩能脚步来满足日渐增长的锂需求



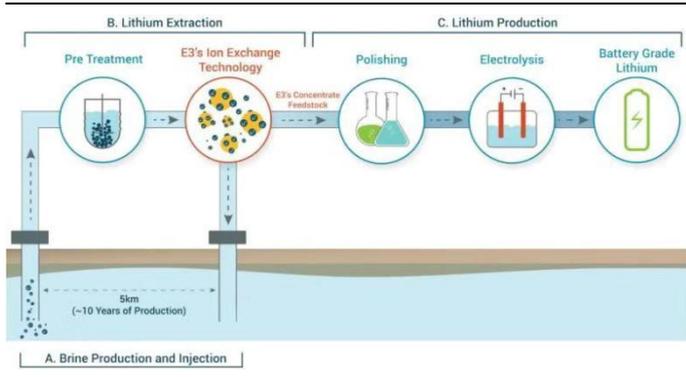
资料来源：Livent 公司公告, 五矿证券研究所

图表 64：公司指引 2022-2025 年销量或从 2.3 万吨 LCE 提至 5-6.3 万吨



资料来源：Livent 公司公告, 五矿证券研究所

图表 65: Livent 与 E3 Metals 合作, 后者将提供提锂工艺的优化



资料来源: E3 Metals 公司公告, 五矿证券研究所

图表 66: 2013-2020 年 Livent 提锂的各项能源、水耗指标得到优化



资料来源: Livent 公司公告, 五矿证券研究所

青海已成为全球盐湖提锂的技术高地, 并开始促进西藏盐湖的开发

中国的锂资源量位居全球第六, 卤水类型的锂资源占中国锂资源潜力近八成, 但青海的盐湖卤水属于高镁锂比低锂离子浓度类型, 资源禀赋远不及南美的一二线盐湖, 西藏盐湖虽不乏禀赋优越者, 但均处于生态脆弱的高原高寒地区, 而且西藏作为亚洲水塔和一片净土, 因此也难以简单复制南美盐湖经典的沉淀法提锂。经过数十年磨一剑的工业化试验, 尤其伴随中国新能源车需求的爆发式增长、持续的大规模资本投入、以及专业提锂技术服务商的进入, 青海因禀赋并不占优反而成为全球盐湖提锂的技术高地, 多元提锂技术的开发以及产业化应用已全球领先, 同时技术开始外溢至西藏, 正在加速西藏盐湖资源的开发。

- 我们认为, 青海盐湖提锂已完成从 0 到 1 的发展阶段, 各主力盐湖的工艺路线均基本定型, 仅存在一定的优化空间, 产能建设已进入从 1 到 N 的扩张期。同时, 青海的盐湖提锂已从边际供应走向主流, 例如蓝科锂业等已经在国内的碳酸锂市场上具备较强的定价权。同时, 在“加快建设世界级盐湖产业基地”的重大指示下, 青海省大力发展盐湖产业的政策思路和顶层设计也更加清晰明确。在技术趋势上, “原卤吸附”开始获得更多的认同, 2023 年在一里坪、大柴旦、西台盐湖上有望得到商业化验证。
- 基于青海的盐湖提锂技术发展已形成外溢效应, 正在加快西藏盐湖的开发进度。西藏拥有多个锂离子浓度、镁锂比理想的盐湖, 淡水补给充足, 且多存在地表卤水, 储量置信度更高, 此外西藏还拥有数量众多的矿化度更低的盐湖。西藏盐湖开发困难重重的主要原因在于基础设施薄弱、尤其缺乏工业用电, 而且矿区海拔普遍在 4400 米以上, 条件艰苦、环保苛刻。整体而言, 我们认为西藏盐湖的全面大开发尚不可期, 但在导入全新盐湖提锂技术以及“光伏+光储”清洁能源的加持下, 扎布耶等标杆项目的建设进展值得期待, 麻米错、拉果错、当雄错、结则茶卡等优质盐湖的开发也有望取得积极进展。

图表 67: 青海地区与西藏地区的盐湖锂生产环境对比

核心对比指标	青海省盐湖	西藏自治区盐湖
日照时间	青海冷湖地区年日照时数冠绝中国	西藏平均年日照时数较青、蒙、陇等逊色
海拔与气温	青海平均海拔 3500 米, 海拔每升高 1000 米气温降低 6°C	西藏平均海拔 4000 米, 西藏平均气温较青海低 3°C
卤水类型	晶间卤水: 由于日照时间长、气温高, 青海盐湖作业需挖掘人工盐田引水	天然卤水: 由于日照时间短、海拔高, 西藏盐湖一般水量充沛, 可直接作业
资源特征	一般锂含量较低、镁锂比较高、多为晶间卤水	一般锂含量较高、镁锂比较低、多存在地表卤水
基础设施	多是钾肥生产基地, 基础设施情况良好	一般基础设施薄弱
工艺	由于镁锂比较高, 工艺一般较为复杂	一般采取太阳池结晶法, 较为直接、简单

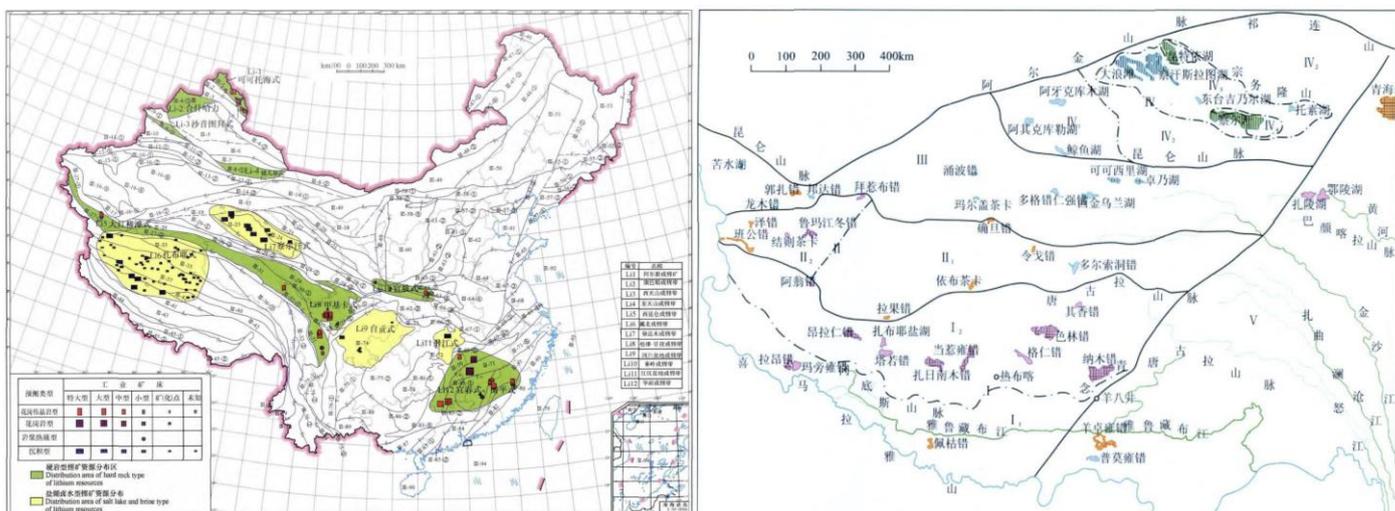
资料来源: 锦泰锂业公开资料, 五矿证券研究所

图表 68: 与海外盐湖相比, 中国青海盐湖卤水的镁锂比普遍偏高、锂浓度较低

典型盐湖	地区	化学组成%								Mg/Li	盐湖类型
		Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	B ³⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		
Atacama	智利	1.6	1.79	1	0.16	0.07	0.024	15.7	1.9	6.4	氯化物型
Uyuni	玻利维亚	8.86	1.39	1.62	0.04	0.258	-	17.19	3.23	40.5	硫酸盐型
Hombre Muerto	阿根廷	9.789	1.37	0.085	0.062	0.035	0.053	15.8	0.853	1.37	氯化物、硫酸盐型
察尔汗盐湖	中国青海	5.95	1.09	2.39	0.001	0.006	0.085	16.8	0.53	2390	氯化物型
东台盐湖	中国青海	8.04	0.93	1.42	0.042	0.056	-	16.25	1.57	33.81	硫酸盐型
西台盐湖	中国青海	8.43	0.7	1.31	0.021	0.032	0.016	15.29	2.94	62.38	硫酸盐型
一里坪盐湖	中国青海	6.63	0.82	1.45	0.015	0.016	0.06	16.07	0.54	96.67	硫酸盐型
大柴旦盐湖	中国青海	5.49	0.74	3	0.024	0.29	0.02	15.42	3.22	125	硫酸盐型
扎布耶盐湖	中国西藏	9.81	2.05	0.002	0.013	0.2	-	11.78	4.67	0.015	碳酸盐型

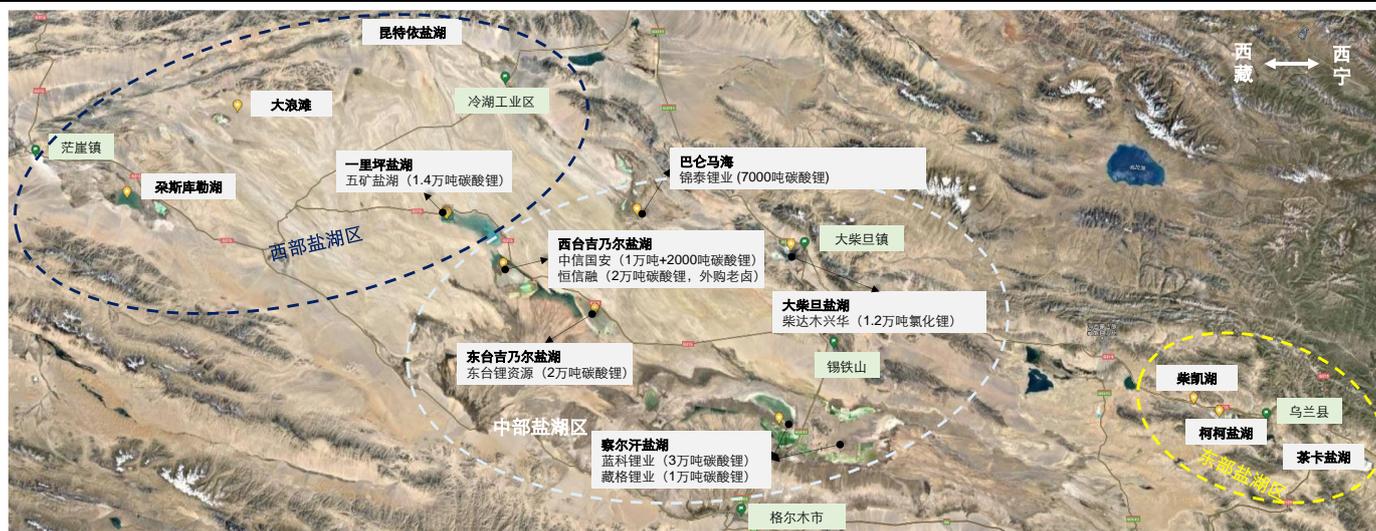
资料来源: 锂业分会会议资料整理, 无机盐协会会议资料整理, 五矿证券研究所

图表 69: 中国锂盐湖集中于青海和西藏, 主要包括氯化物型、硫酸镁亚型、硫酸钠亚型和少数碳酸型盐湖



资料来源: 《青藏高原盐湖化学及其矿物组合特征》, 《中国锂矿成矿规律概要》, 五矿证券研究所

图表 70: 青海主要盐湖资源总览, 目前在产能集中在中部盐湖区



资料来源: Google Maps, 各公司公告, 《建设世界级盐湖产业基地》, 五矿证券研究所

图表 71：西藏主要盐湖资源概览



资料来源：Google Maps，各公司公告，中国地质科学院矿产资源研究所，五矿证券研究所

青海察尔汗盐湖——盐湖股份：蓝科合资平台建成 3 万吨碳酸锂、盐湖再自建 4 万吨锂盐

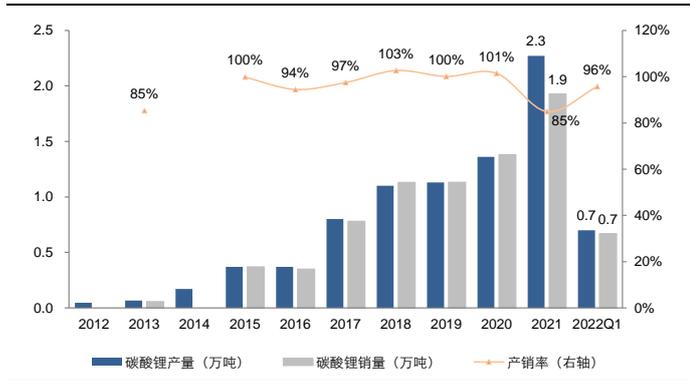
盐湖股份深耕青海察尔汗盐湖的资源综合开发，利用提取完钾肥后的老卤尾液进行提锂，历经 12 年的耕耘，已成为国内最大的盐湖锂资源生产商、是青海盐湖提锂的骨干企业。目前公司旗下在产的锂业平台是 51.42%控股的蓝科锂业，采用吸附+膜分离浓缩的耦合技术，蓝科锂业已具备合计年产 3 万吨的碳酸锂产能，其中老线 1 万吨、新线 2 万吨；在蓝科合资平台之外，2022 年 5 月末盐湖股份披露将新建 4 万吨的基础锂盐项目（包括 2 万吨碳酸锂、2 万吨氯化锂）；加上尚在中试阶段的盐湖比亚迪合资公司的 3 万吨碳酸锂项目（盐湖股份 49.5%控股），未来全部建成后，我们预计在 2025 年前后盐湖股份控股的锂化合物总产能有望扩大至 10 万吨/年。

- 察尔汗盐湖总面积 5856 平方公里，是中国最大的可溶钾镁盐矿床、也是全球最大的盐湖之一，整体拥有氯化钾储量 5.4 亿吨、氯化锂储量 1204.2 万吨、氯化镁储量 40 多亿吨，盐湖股份的采矿权集中在察尔汗盐湖铁路以西，总共拥有察尔汗盐湖约 3700 平方公里的采矿权，覆盖核心区段。按氯化钾年产 500 万吨，每年可产生老卤量约 2 亿立方米，其中含锂折氯化锂达到 20~30 万吨，具备建设大规模提锂产能的资源保障。
- 蓝科锂业是青海盐湖提锂的领军企业，通过十余年的耕耘和打磨，吸附提锂+膜分离浓缩的耦合技术已突破从“超高镁锂比、低锂含量”卤水提锂的难题（实现镁锂比从 500:1 到 4:1 的关键分离）。回顾发展历程：（1）2007 年盐湖股份与核工业北京冶金研究所合资成立蓝科锂业，尝试采用吸附法提锂，但工艺关键环节—吸附剂制造成本和破碎率过高，导致进展不顺；（2）2010 年青海佛照锂和青海威力通过技术入股、老股受让和现金增资，向蓝科锂业引入俄罗斯的吸附剂技术，实现提锂关键技术的初步突破；（3）此后，蓝科锂业仍然经历了近 8 年的优化升级，经过填平补齐工程，2018 年首次实现年产 1 万吨碳酸锂装置满产、并启动年产 2 万吨/年电池级碳酸锂的扩能建设，2021 年中期实现 2 万吨项目日产百吨。（4）吸附+膜已充分印证其工艺成熟度和生产稳定性，2019 年、2020 年、2021 年和 2022Q1 碳酸锂产量分别达到 1.13 万吨、1.36 万吨、2.27 万吨和 0.7 万吨，销量分别达 1.13 万吨、1.38 万吨、1.92 万吨和 0.67 万吨。我们判断，通过回收率优化等途径，蓝科锂业的产能具备小幅优化提高的空间。
- 2016 年盐湖股份与比亚迪签署合作框架协议，成立合资公司盐湖比亚迪（盐湖股份控

股 49.5%，在盐湖股份体内并表)，规划 3 万吨电池级碳酸锂项目。前期因市场变化、盐湖股份司法重整和技术使用等原因，项目进展相对缓慢，目前正处于中试阶段。

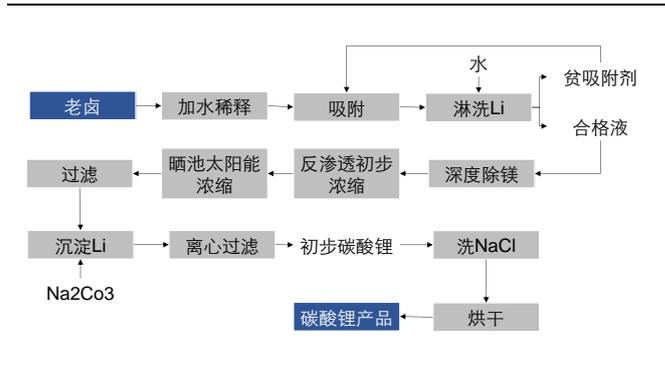
- 2022 年 5 月底，据盐湖股份公告，计划投资 70.82 亿元建设 4 万吨/年的基础锂盐一体化项目，其中包括 2 万吨电池级碳酸锂和 2 万吨氯化锂。我们认为，该项目的投建一方面是充分发挥察尔汗盐湖丰厚的资源优势，贯彻“稳定钾、扩大锂”的发展战略，另一方面也将为后续延伸锂产品的价值链打下基础，尤其本次建设的 2 万吨氯化锂，未来既可以直接外销，也可以作为氢氧化锂、金属锂等深加工产品的基础原料。

图表 72：2022Q1 蓝科锂业碳酸锂产/销量分别为 0.7 万吨和 0.67 万吨



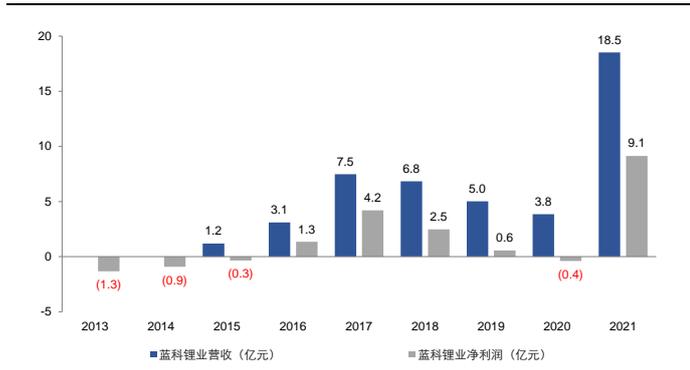
资料来源：盐湖股份公司公告，五矿证券研究所

图表 73：蓝科锂业采用吸附法提锂+膜分离浓缩的耦合技术



资料来源：盐湖股份公司公告，五矿证券研究所

图表 74：量价支撑蓝科锂业盈利增厚，2021 年累计净利 9.1 亿元



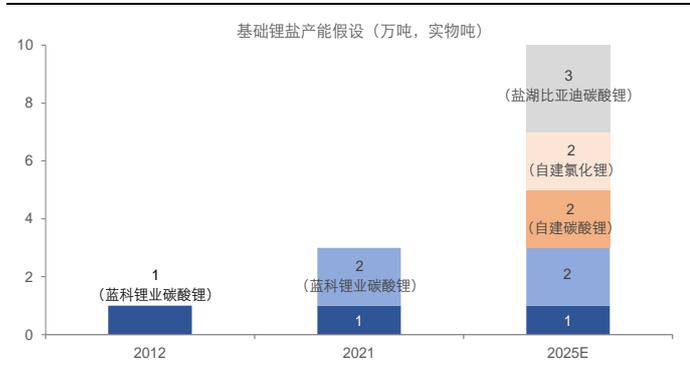
资料来源：盐湖股份公司公告，五矿证券研究所

图表 75：2013~2021 年蓝科锂业的单吨碳酸锂成本变动



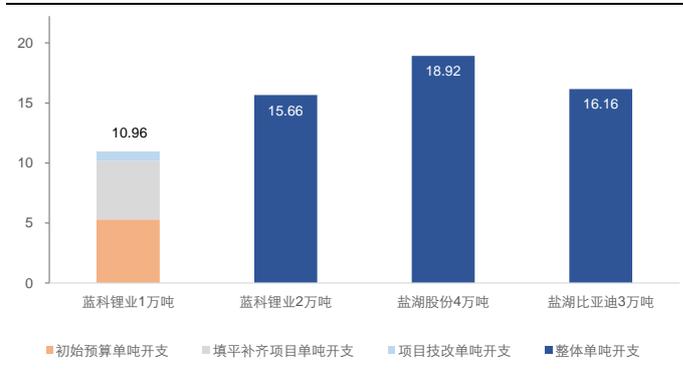
资料来源：盐湖股份公司公告，五矿证券研究所测算

图表 76：2022~2025 年盐湖股份整体的盐湖提锂产能建设路线图



资料来源：盐湖股份公司公告，五矿证券研究所

图表 77：察尔汗盐湖提锂的资本开支强度与原材料、配套等因素相关



资料来源：盐湖股份公司公告，五矿证券研究所

图表 78: 蓝科锂业建成的吸附法提锂生产线



资料来源: 中蓝长华公司网站, 五矿证券研究所

青海察尔汗盐湖——藏格锂业: 采用高效的连续吸附提锂, 建成 1 万吨碳酸锂产能

藏格矿业成立于 2002 年, 2007 年实现对于察尔汗铁路以东 13 家钾肥企业及青海昆仑矿业的整合、开启钾肥资源开发的历程。公司拥有青海察尔汗盐湖铁路以东矿区的钾盐采矿权证, 采矿权面积 724.35 平方公里 (有效期至 2029 年 12 月), 占察尔汗大盐湖总面积的近 2/5, 氯化钾评估利用储量约 6700 万吨, 氯化锂资源储量约 200 万吨。此外, 公司持有柴达木盆地以西的大浪滩矿区探矿权, 面积 492.56 平方公里, 可作为未来的资源储备, 此外还通过藏青基金间接参股西藏的麻米错盐湖。

藏格矿业旗下藏格锂业于 2017 年成立, 2018 年陆续与蓝晓科技、启迪清源等专业的锂业服务商合作, 采用“精滤-连续吸附除杂 (铝系吸附剂)-钠滤除杂-反渗透浓缩-离子交换除杂-MVP 浓缩工艺”, 成功实现超高镁锂比、低锂离子浓度卤水中的镁锂分离, 获得锂含量 $\geq 30\text{g/L}$ 的高纯氯化锂溶液 (据公司披露上述环节回收率在 80% 以上) 生产碳酸锂, 提锂后的尾卤回注察尔汗, 形成循环, 此外产线还新增萃取对于沉锂母液进行回收, 提高收率。由于察尔汗大盐湖的锂离子浓度自西向东递减, 相较毗邻的盐湖股份, 公司提钾尾卤中的锂离子浓度更低 (仅约 50ppm), 因此需要更高效的吸附剂以及吸附装置, 反而倒逼、促进了其提锂技术的发展, 目前藏格团队在吸附的应用实践上已处于行业领先水平, 吸附段收率可达 75-80%。

公司规划 2 万吨碳酸锂中的一期年产 1 万吨产能 (10 条产线) 已于 2018 年底投产, 2021 年实际产销分别为 7553 吨、10960 吨, 产能利用率约 76%, 22Q1 的产销量分别为 1755 吨和 2153 吨, 2022 全年计划达到 1 万吨的碳酸锂产量目标、并力争实现 1.1-1.2 万吨。鉴于客观的资源禀赋, 我们预计公司未来在察尔汗盐湖上的产能将维持稳定。

图表 79: 藏格锂业盐田位于青海察尔汗盐湖铁路以东



资料来源: 中国地质调查局, 五矿证券研究所

图表 80: 藏格锂业采用吸附法的一期 1 万吨碳酸锂产能已投产



资料来源: 藏格控股公司官网, 五矿证券研究所

青海东台吉乃尔盐湖——东台锂资源：禀赋上佳，电渗析法 2 万吨碳酸锂产能成熟稳定

东台吉乃尔盐湖位于青海柴达木盆地西部，属于硫酸镁亚型盐湖，海拔 2683 米，是一座特大型硼矿、超大型锂矿以及中型规模钾矿，其卤水组分对于提锂较为理想，在青海属于优质、较高品位的盐湖卤水。东台吉乃尔盐湖矿区面积达 314.2 平方公里，据储量核实报告，剔除 2018/7/31~2021/11/30 期间生产动用量后，保有资源储量为：卤水量 66748.87 万方，氯化锂孔隙度储量 202.28 万吨（折合 176.19 万吨 LCE），氯化锂浓度 3030.48mg/L（折合锂离子浓度约 494mg/L）。

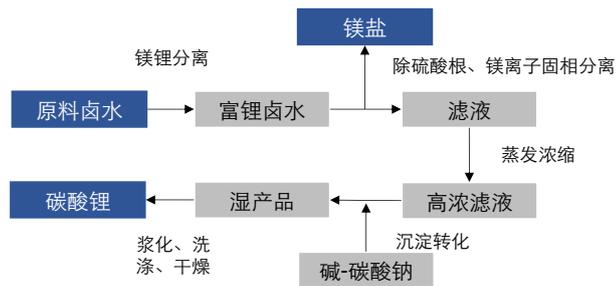
东台锂资源采用电渗析工艺提锂，工业娴熟稳定，碳酸锂产品品质达到“盐湖电池级”标准。相比青海其他技术路线，电渗析的优势在于淡水消耗量较低，但对于卤水的锂离子浓度有一定要求。前期东台盐湖未能满产，主要受制于权证原因（探矿权需转为采矿权），导致采卤受限，在 2018 年采矿权落地后，采卤区又遭遇降雨、洪水的稀释，一度需依靠老卤库存维持生产，目前东台的采卤已恢复、并正在扩大卤水渠道系统。

东台盐湖初期的产业化开发由青海锂业主导，之后并入新成立的东台锂资源公司。截止 2021 年，东台锂资源公司及其控股子公司青海锂业（股权 74.5%）合计具备碳酸锂名义年产能 2 万吨、实际产能 1.6 万吨，2021 年实现碳酸锂产量 10225 吨，2022 年产量计划 1.2 万吨。着眼未来规划：（1）2022-2023 年新增 1 万吨碳酸锂及建设 3 万吨硼酸产线，预计投资约 11 亿元；（2）据东台吉乃尔盐湖锂硼钾矿的开发利用方案，30 万吨硫酸钾生产线预计投资约 3 亿元，后期将视资金情况再行考虑建设。我们认为，东台盐湖的工艺娴熟，但在经历了长期的开采后，未来前端的卤水充裕度将决定其实际产能。

回顾东台盐湖的开发历程：

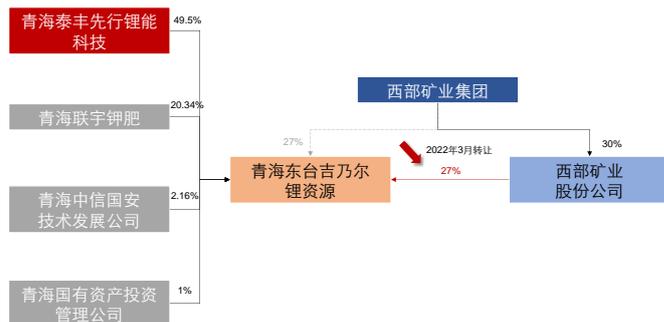
- 青海锂业时期：1998 年由盐湖所与新西兰太平洋锂业合资成立，2005 年西部矿业获得太平洋锂业的股权转让、并通过增资成为第一大股东（持股 93.59%），之后历经多次增资和股权转让，最终 2006 年西矿集团成为第一大股东（持股 75.54%）。青海锂业通过青海盐湖所研发的电渗析技术授权，2006 年实现工业化生产，建设年产 3000 吨碳酸锂、25000 吨硫酸钾和 2500 吨硼酸产能，建成盐湖资源综合利用国家级产业化示范工程。2009 年收到“东台吉乃尔盐湖锂、钾、硼矿产资源开发利用项目二期 1.7 万吨碳酸锂”的环评批复，2013 年收到安全验收备案通知，2015 年二期一步年产 7000 吨碳酸锂转固。
- 青海锂业与东台锂资源并存：2013-2016 年，由青海省国资委、青海省经委牵头，联合西矿集团、青海泰丰先行、北大先行、中信国安等组建“东台吉乃尔锂资源公司”（2015 年正式成立），对东台吉乃尔盐湖锂资源进行统一规划、开采、管理，并将青海锂业持有的探矿权转至其中。此外，东台锂资源与青海锂业签订加工协议，提供卤水和加工费，由青海锂业加工碳酸锂，至 2015 年底青海锂业拥有实际年产能 1 万吨碳酸锂。
- 东台锂资源主导：基于在青海锂业已磨合成熟的电渗析技术路线，2017 年东台锂资源公司年产 1 万吨碳酸锂项目开工建设（二期二步，2019 年投产），随后 2018 年通过股权收购取得青海锂业 74.54% 股权、正式并入东台锂资源，围绕东台盐湖整体形成了 2 万吨的碳酸锂产能，同年东台盐湖的探矿权也正式转为采矿权，矿权问题得到完全平息。
- 经过一系列协调和股权变更，当前东台吉乃尔锂资源公司的第一大股东为青海泰丰先行、持股 49.5%，而西部矿业参股 27%、位列第二，其余股东分别为青海联宇钾肥（20.34%）、青海中信国安技术发展（2.16%）、青海国有资产投资管理公司（1%）。

图表 81：青海锂业-东台吉乃尔提锂采用离子膜交换技术



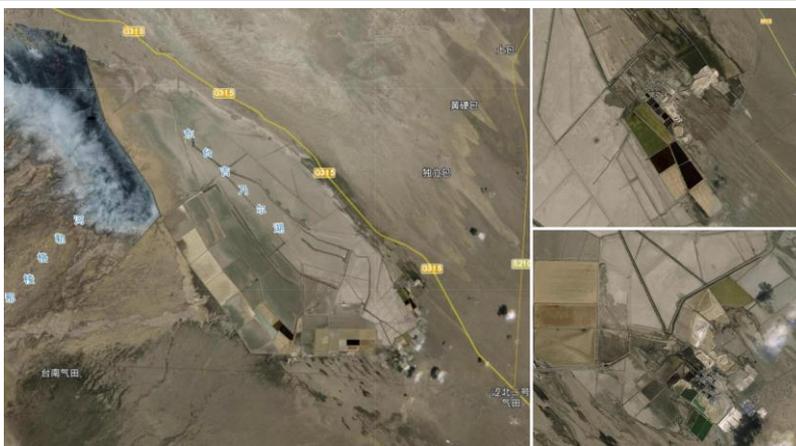
资料来源：青海盐湖所，五矿证券研究所

图表 82：青海泰丰先行为东台锂资源公司第一大股东



资料来源：西部矿业公司公告，五矿证券研究所

图表 83：东台盐湖紧邻西莎线、毗邻涩北气田，交通便利，建成两座各 1 万吨电渗析提锂基地



资料来源：中国地质调查局，五矿证券研究所

青海西台吉乃尔盐湖——中信国安锂业：未来青海的主要增量之一，从煅烧到膜法迎来蜕变

西台吉乃尔盐湖位于柴达木盆地中部，毗邻东台吉乃尔盐湖，总面积约 570 平方公里，海拔约 2681 米。青海国安（中信国安锂业母公司）拥有西台吉乃尔盐湖主体的采矿权，面积约 493 平方公里，矿区内地形开阔、平坦，周边道路交通与天然气等基建完备，同时也具备配套的采输卤及盐田系统。根据 2017 年的资源量评估，西台盐湖拥有资源储量（固体保有+液体孔隙度）：氯化钠 49 亿吨、氯化镁 1.53 亿吨、氯化钾 4199 万吨、氯化锂 263 万吨（229 万吨 LCE），其中锂离子浓度约 210mg/L，镁锂比约 62:1，在 2020 年储量核减后，保有的液体矿氯化锂孔隙度资源量为 235 万吨（205 万吨 LCE）。

中信国安早在 2007 年通过自主研发的煅烧法技术实现了从高镁锂比盐湖进行锂资源的提取，也是青海最早一批实现锂资源商业化开发的生产商。煅烧法是一个具有争议、利弊兼具的路径，在早期的商业化尝试和技改过程中消耗了大量的 Capex，但近年来通过持续优化，环保排放已达标、产品品质显著提升，中信国安锂业已成为目前青海盐湖中唯一可生产“国标级”电池级碳酸锂的生产商。

2003 年中信集团与青海政府签署了《关于合作开发青海柴达木资源的框架协议》并成立了青海中信国安科技公司，并在 2017 年成立了青海中信国安锂业。2005 年建成国内首条年产 30 万吨硫酸钾镁肥生产线后，又在 2007 年投产 1 万吨碳酸锂产线。时至今日，中信国安锂业目前具备年产 40 万吨硫酸钾的能力，后端建成年产 1 万吨碳酸锂的煅烧法产能，有效产能虽然有限（约 5000 吨/年），但成功进入至当升科技、盟固利等主流正极材料企业的供应链。2022 年，青海国安已公示新综合利用项目，计划新增 2.5 万吨碳酸锂、30 万吨硫酸钾、7.5 万吨氯化钾和 2 万吨硼酸，新产线将采用“纳滤膜反渗透+MVR 蒸发浓缩沉锂工艺”。在 2021

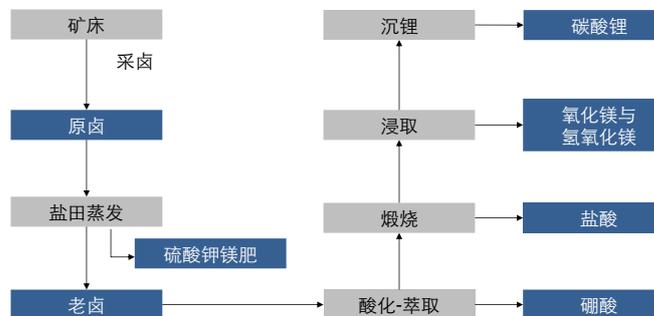
年12月中旬2000吨的中试碳酸锂产线已试料成功，目前商业化产线正在加快建设。我们认为，基于西台盐湖的卤水充裕度、完备的抽卤和盐田循环体系，西台有望成为2023~2024年青海盐湖提锂的主体增量之一，且未来通过新增原卤吸附工段、与原煅烧产能的后端车间相衔接，未来有望形成约3万吨/年的电池级碳酸锂生产规模。

图表 84：西台盐湖成熟的盐田系统、硫酸钾以及碳酸锂生产车间



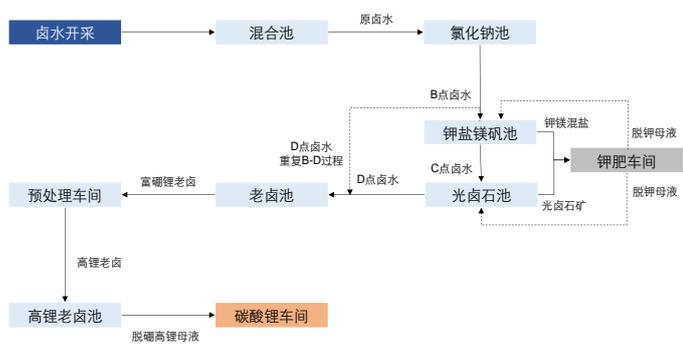
资料来源：中国地质调查局，五矿证券研究所

图表 85：西台吉乃尔盐湖的综合开发工艺流程



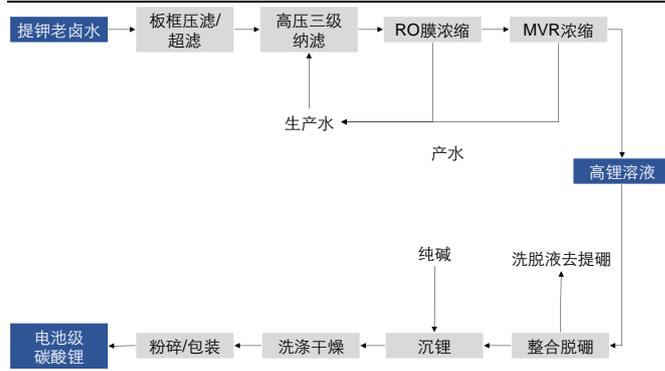
资料来源：《西台吉乃尔盐湖开发工艺及工业化现状（2012）》，五矿证券研究所

图表 86：中信国安自主研发的煅烧浸取法提锂



资料来源：中葡股份公司公告，五矿证券研究所

图表 87：中信国安在新专利中利用高压纳滤膜提取电池级碳酸锂



资料来源：国家专利网，五矿证券研究所

图表 88：西台吉乃尔具备丰富且多元的矿产资源，其中氯化锂资源量约 263 万吨

资源类型	资源类型	资源量（万吨）
固体矿保有资源量	NaCl	466,806.89
	KCl	2,125.97
	MgCl ₂	2,325.32
	LiCl	262.83
液体矿孔隙度资源量	KCl	2,073.10
	B ₂ O ₃	154.58
	MgCl ₂	12,933.99
	NaCl	22,884.43
总资源量		
NaCl（亿吨）	48.97	
KCl（万吨）	4199.07	
MgCl ₂ （亿吨）	1.53	
LiCl（万吨）	262.83	
B ₂ O ₃ （万吨）	154.58	

资料来源：中葡股份公司公告，五矿证券研究所

青海西台吉乃尔盐湖——恒信融锂业：外购老卤生产，青海导入膜法的先行者

青海恒信融锂业科技于 2014 年成立，在青海首次商业化引进在水处理领域拥有广泛应用的膜工艺，低污染、高回收率提取碳酸锂，每年可综合利用卤水 100 万方，2015 年在西台园区年产 2 万吨膜法碳酸锂项目开始建设，配套公辅工程，占地 380 亩，总投资 66476.68 万元，2017 年 10 月底投料试车成功，2018 年验收通过，在青海成功开辟了技术新路径。

恒信融锂业主要依靠外购中信国安的脱硼卤水，采用纳滤反渗透膜法提锂、即利用专用的锂镁分离膜得到大于 550ppm 的低镁卤水，之后陆续通过浓缩、沉锂、干燥形成碳酸锂成品，副产氢氧化镁。目前公司正推进二期向“吸附+膜法”的组合工艺升级，有望进行深层原卤提锂。2019 年公司利用产线的沉锂母液进一步补充了年产 6000 吨的磷酸锂产能，2020 年总产量接近 4000 吨，2019 年与韩国 ECOPRO、中能旺达国际贸易公司签订长期战略合作协议。2021 年 12 月富临精工已完成以 3.3 亿元实施对恒信融 9% 股权的收购，后续有望通过增资等方式将股权提升至 31.7496%。

制约恒信融锂业产量的核心瓶颈在于上游资源，围绕资源储备，公司 2019 年获得面积 394.26 平方公里的西台吉乃尔盐湖东北深层卤水钾矿的探矿权，并积极进行采矿权申请准备。但抽取深层卤水需深度打井、并进行增压，还需确保抽卤的持续性，开采所需资本投入较大，未来的经济性开采有待观察和验证。

图表 89：恒信融 2 万吨碳酸锂项目的西南侧为青海中信国安，相距仅 600 米



资料来源：《恒信融锂业 2 万吨碳酸锂产能验收报告》，五矿证券研究所

图表 90：恒信融膜法产线生产的碳酸锂产品



资料来源：恒信融公司网站，五矿证券研究所

图表 91：恒信融旗下的年产 6000 吨磷酸锂生产线于 2019 年投产



资料来源：恒信融公司网站，五矿证券研究所

青海一里坪盐湖——五矿盐湖：年产1万吨碳酸锂高效达产，原卤吸附上线将提高产能

一里坪盐湖坐落在青海西台盐湖的西侧，形成与东台盐湖、西台盐湖同源，也是海西最后一块整装开发的大型盐滩。一里坪盐湖目前由五矿集团51%控股，采用“膜法梯度耦合”提锂技术（主体纳滤膜、反渗透工艺与恒信融类似，但具备电渗析除硼），2019年1万吨碳酸锂产能已经投产。整体而言，一里坪盐湖的锂离子浓度、储量低于东台、西台盐湖，同时卤水中的镁锂比较高（97:1），但我们认为依然属于一个稀缺的优质资产，主因其资源数据详实，团队先后积极论证和采用了膜法、老卤吸附、原卤吸附等各项先进的技术和系统装置，技术经验丰富。但在客观上，一里坪的实际产能将受到前端的抽卤状况、原卤充裕度的影响。

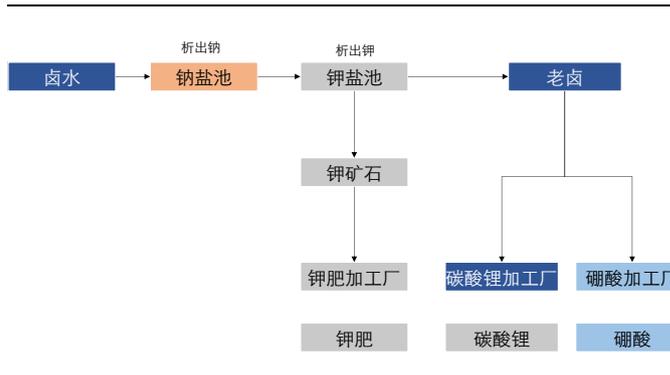
- 一里坪盐湖位于青海省海西州柴达木盆地中的西部区域，为硫酸镁亚型盐湖，卤水富含钾、锂、硼、镁等元素，铷含量高，平均锂离子浓度约150mg/L。一里坪盐湖总孔隙度资源量约98480万方卤水，含氯化锂189.7万吨、氯化钾1865.87万吨，总给水度资源储量46920万方卤水，含氯化锂92.074万吨、氯化钾900.36万吨。截至2020年4月，盐湖历年已使用消耗的资源量为氯化锂2.379万吨、氯化钾84.9万吨，库存资源量及盐田在线量情况为氯化锂6.982万吨、氯化钾71.36万吨。
- 五矿盐湖是一里坪盐湖上唯一的资源商，具备30万吨氯化钾和1.4万吨碳酸锂产能。
 - (1) 五矿盐湖是中国五矿集团旗下的三级子公司，成立于2009年，五矿有色金属控股有限公司持股51%；
 - (2) 五矿盐湖持有一里坪盐湖项目采矿许可证，矿区面积约423平方公里；
 - (3) 公司2011年对盐湖开始采样分析，2013年获取采矿权，2018年投资约34亿元，启动建设年产30万吨氯化钾、1万吨碳酸锂、1万吨硼酸和20万吨纯碱产能，继钾肥投产后，2019年碳酸锂产能正式投产。
 - (4) 在1万吨碳酸锂项目上，久吾高科作为技术及膜法总包商，设计并提供镁锂分离成套装置；后续五矿盐湖与蓝晓科技签订了卤水预处理车间吸附成套装置采购合同、4000吨/年碳酸锂单套吸附装置合同，在梯度膜分离的前端增加了吸附装置，并可实现老卤吸附提锂和原卤吸附提锂的切换，总产能提升至1.3~1.4万吨碳酸锂（进一步的产能优化需考虑后端沉锂装置的配套）。
- 梯度膜分离耦合：一里坪盐湖采用的膜法工艺是将中科院盐湖所的“梯度耦合膜分离技术”和德国弗莱贝格工业大学“多级锂离子浓缩高镁锂比卤水提锂技术”相结合。通过分段结晶滩晒得到老卤，在提钾后，将氯化镁卤水进行多级蒸发结晶和脱镁后再进一步浓缩、分离、沉淀、蒸发、等步骤得到碳酸锂成品。
- 原卤吸附：2021年5月五矿盐湖的“盐湖原卤高效提锂技术研究项目”通过科技成果评价，核心亮点在于，一改“先经过盐田摊晒析出钠、钾得到老卤，再进入车间进行镁锂分离并浓缩提锂”的经典流程，转变为“提锂前置”，实现钠、镁、钾与锂的同时分离及浓缩脱硼提锂，从而可大幅减少锂在盐田系统中的损失、显著提高锂的一次收率，理想情形可从原来约35%提升至70%，同时可将晒卤-提锂生产周期从2年缩短至约20天，此外应用连续离交设备提高了装置效率和自动化水平。

图表 92：青海一里坪盐湖提钾、提锂工厂实景



资料来源：五矿盐湖公众号，五矿证券研究所

图表 93：一里坪锂资源综合利用项目导览



资料来源：《五矿盐湖一里坪盐湖开发情况及展望》，五矿证券研究所

图表 94：一里坪盐湖的采卤区以及盐田系统，原卤吸附上线后将实现产能提升



资料来源：中国地质调查局，五矿证券研究所

青海大柴旦盐湖——大华化工：亿纬入股，升级萃取产线、新建吸附产能积极扩能

青海大柴旦盐湖坐落于柴达木盆地的北部区域，是一个典型的青藏高原硫酸盐型盐湖，矿床面积约 240 平方公里。大柴旦大华化工持有大柴旦盐湖 89.75059 平方公里的采矿权，截至 2020 年底，保有液体矿控制及推断资源量为氯化钾 324.21 万吨、氧化硼 51.41 万吨、氯化锂 29.392 万吨、氯化钠 4989.97 万吨、硫酸镁 889.757 万吨、氯化镁 1841.149 万吨、溴 1.177 万吨，保有固体矿控制及推断资源量为硫酸钠 12594.05 万吨、氯化钠 56149.55 万吨。

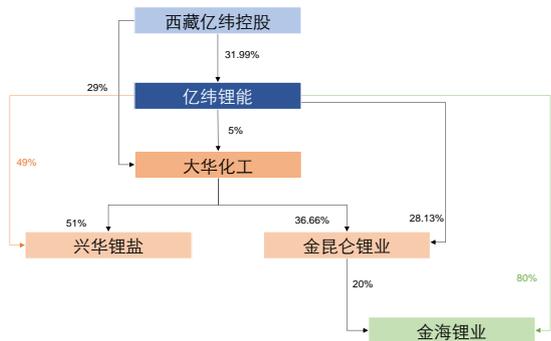
在亿纬入股前，大华化工下属的兴华锂盐（持股 51%）是依托大柴旦盐湖进行提锂的主要企业，2016 年由大华化工、柴达木建设投资有限公司合资成立，建成产能为萃取法年产氯化锂 1 万吨、氢氧化锂 2000 吨、碳酸锂 3000 吨和硼酸 2.5 万吨。整体来看，在上游，大华化工通过多个平台拥有钾肥、镁肥、氯化锂产能，在下游，大华控股的金昆仑锂业在格尔木市建设了年产 1000 吨的金属锂产能（未来规划年产能 3000 吨），围绕大柴旦盐湖构建了一套盐湖资源循环的产业链。

2021 年 7 月，亿纬锂能收购大华化工 5% 股权，同时其控股股东——西藏亿纬控股收购大华化工 29% 股权，成为大华的第二大股东，本次交易中核心资产大柴旦湖（A 区）硼钾矿采矿权评估价值约 28.46 亿元。此外，亿纬锂能通过竞拍和受让合计获得兴华锂盐 49% 股权，并收购大华化工下属的金昆仑锂业 28.125% 股权，还与金昆仑在青海成立新合资公司——金海锂业，由亿纬控股 80%、金昆仑参股 20%。在引入亿纬作为战略股东后，围绕大柴旦盐湖的产能建设显著加速。在解决资金问题后，未来大柴旦的锂盐产量主要取决于资源禀赋。

- 2022 年 1 月，金海锂业与久吾高科签订 1000 吨氯化锂 EPC 合同，含税总价 6500 万元，将在青海海西州的循环经济试验区大柴旦工业园内采用“吸附+膜法”原卤提取氯化锂工艺，并保障该项目达产达标。
- 2022 年 1 月，亿纬锂能公告，依托金海锂业规划分期投资 18 亿元建设年产 3 万吨的碳酸锂/氢氧化锂项目，其中一期项目将建设年产 1 万吨碳酸锂/氢氧化锂，项目的 EPC 采购花落蓝晓科技，总价 4.9 亿元。蓝晓科技将利用吸附法在 1 年内建设产出合格的碳酸锂产品，规划 2022 年 10 月底达产达标。
- 2022 年 3 月，金昆仑锂业与三达膜签订 5000 吨电池级碳酸锂 EPC 总承包合同，合同总价 2.1 亿元，其中吸附段设备由蓝晓科技提供，合同金额为 1.14 亿元。
- 此外，兴华锂盐与中科院过程所开展合作，利用新型萃取体系（多组分协同溶剂萃取-水

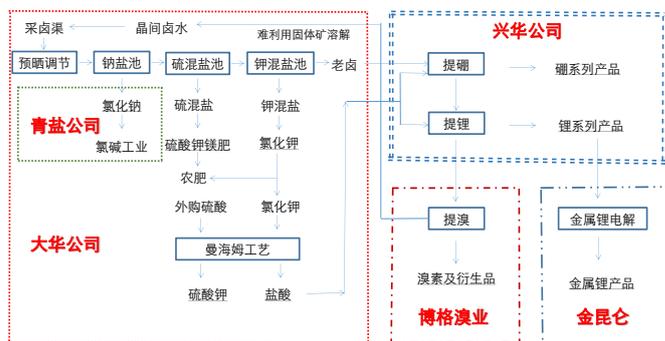
反萃)对在产的萃取老产线(高酸反萃)进行了技改升级,优化了萃取分离效率、设备腐蚀、环保等问题。

图表 95: 亿纬锂能战略入股大柴旦盐湖, 并投资加快产能建设步伐



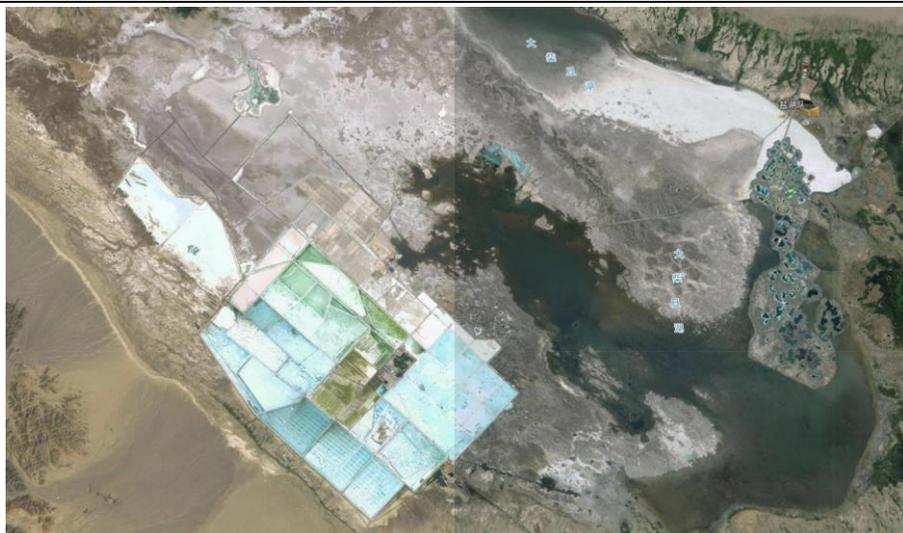
资料来源: 天眼查, 亿纬锂能公司公告, 五矿证券研究所

图表 96: 柴达木经济循环新能源产业链初具规模



资料来源: 金昆仑公开研究材料, 五矿证券研究所

图表 97: 大柴旦盐湖上的盐田系统



资料来源: 中国地质调查局, 五矿证券研究所

青海巴仑马海盐湖——锦泰钾肥: 低钾高钠的中小盐湖资源, 老线萃取、新线吸附

巴仑马海盐湖位于青海省冷湖镇, 坐落在柴达木盆地的北部边缘, 属于高钾低钠盐湖。成立于 2004 年的锦泰钾肥是巴仑马海矿区的主要生产商, 已开采钾肥多年, 拥有马海卤水钾矿采矿面积约 197.96 平方公里, 以及探矿权面积 174 平方公里。锦泰钾肥通过子公司锦泰锂业 (2016 年成立) 进行提锂, 规划 1 万吨碳酸锂产能, 于 2017 年中旬获得环评批复。

锦泰锂业的老线为萃取工艺, 新线转向吸附: (1) 一期年产 3000 吨碳酸锂, 采用萃取法, 由锦泰钾肥自建, 2016 年 6 月开工、2017 年 7 月投产, 通过盐田蒸发剔除钠盐、钾盐、光卤石和部分镁, 浓缩形成老卤, 再进行离心萃取进一步剔除硫酸根等杂质。(2) 二期年产 7000 吨与蓝晓科技签约, 换用吸附+膜浓缩组合工艺, 并辅以除硼、母液回收等提高品质增加效率的精控单元, 为锦泰提供完整的产线建设和运营服务。二期的 7000 吨又细分为 3000 吨、4000 吨两套生产线实施, 其中 3000 吨已建成投产, 4000 吨建设运营协议已在 2021 年 9 月启动。2020 年公司针对应用工艺、系统集成等多环节对产线进行了优化, 在后续建设过程中新增了包含除硼、母液回收在内的诸多新型技术单元, 并对吸附材料进行了改良。

锦泰钾肥在增资后的主要股东为青海富康矿业 (26.43%)、李世文 (22.97%)、深圳兆新能源 (9.88%)、青海良辰 (赣锋锂业全资子公司, 15.48%)、北京万邦达 (10.98%) 和蓝晓科

技 (4.39%)。其中, 赣锋锂业不仅参股, 还获取了锦泰锂业生产的全部锂产品以及拟直接对外销售的卤水原料体量 70% (折算碳酸锂当量不低于 5000 吨/年) 的货权。

图表 98: 赣锋锂业增资入股后, 成为锦泰钾肥第三大股东



资料来源: 赣锋锂业公司公告, 五矿证券研究所

图表 99: 海西州冷湖行委巴伦马海附近的盐田



资料来源: 中国地质调查局, 五矿证券研究所

西藏扎布耶——西藏矿业: 全球罕见的碳酸盐型盐湖, 积极扩大产能、开展钛系吸附中试

扎布耶盐湖位于青藏高原腹地的日喀则仲巴县西北端, 海拔 4422 米, 由北部的地表卤水湖和南部的半干盐湖组成, 湖区总面积达 247 平方公里。作为一座全球罕见的碳酸型盐湖, 不仅锂离子浓度高、镁锂比极低, 还富含硼、钾、铷等多种资源。西藏矿业持有扎布耶盐湖的独家开采权, 截至 2021 年控制 50.72% 股权, 盐湖的参股股东还包括天齐锂业、比亚迪等, 目前中国宝武钢铁集团已成为西藏矿业的实控人, 持股比例 22.27%。扎布耶一期建成 7000 吨“锂精矿”产能、将技改升级至 1 万吨, 建设中的“新二期”项目采用膜法工艺, 将新增 1.2 万吨碳酸锂产能, 至 2025 年西藏矿业有望形成 3~5 万吨的锂盐总产能。

- 根据 2021 年 11 月底的公告更新数据, 扎布耶的碳酸锂保有资源储量为 178.8 万吨, 可信储量为 57.2 万吨, 锂离子浓度在 420~1610mg/L 之间 (部分文献采用 800mg/L 的平均口径), 北部地表卤水和南部晶间卤水的锂离子浓度均较高, 且镁锂比低至 0.015。此外, 扎布耶的共生矿种还包括氯化钾和氧化硼, 氯化钾的保有资源储量为 1592.6 万吨、可信储量为 563.8 万吨; 而氧化硼的累计查明资源储量为 962.9 万吨。
- 一期太阳池法: 扎布耶作为锂离子浓度高、镁锂比极低的碳酸盐型盐湖, 可通过较简易的流程产出粗碳酸锂, 但卤水组分也导致其锂含量不容易进一步富集, 在蒸发各阶段容易分散析出。基于卤水特性, 经过自 1980 年代初开始的长期摸索, 扎布耶一期采用了太阳池结晶工艺, 一般在冬季收好锂盐后进行灌卤, 然后经过三个季度的蒸晒后, 再到次年冬季收盐, 且没有淡旺季之分。太阳池法巧妙的利用“碳酸锂在水中的溶解度随着温度的升高而降低”进行提锂, 在矿区生产品位约 65% 的碳酸锂晶体 (公司称之为“锂精矿”, 实际品位在 50~70% 间波动), 之后将“锂精矿”运输至后端的甘肃白银扎布耶锂盐厂, 经调浆等流程后形成精矿料浆, 最后利用苛化-碳化法进行提纯生产碳酸锂和氢氧化锂产品。扎布耶一期产能于 2006 年完成产业化验收, 但此前一直面临气候、盐田渗漏等问题的困扰, 但在宝武集团入主后, 整体管理和经营得到显著改善, 一期产能已从 5000 吨优化提升至 7000 吨/年 (2021 年实际产量 9016 吨), 未来将通过动态兑卤、铺膜等方式进行技改, 至 2023 年将进一步提升至 10000 吨/年 (折合 5000~7000 吨 LCE)。此外, 公司于 2022 年 5 月披露计划挂牌转让白银扎布耶锂盐厂的股权, 未来将直接销售“锂精矿”。
- 新二期项目: 2021 年 8 月西藏矿业公告将投资约 20 亿元实施“扎布耶盐湖绿色综合开发利用万吨电池级碳酸锂项目” (新二期项目, 原二期项目是扩建太阳池法), 基于青海盐湖的技术经验, 将采用盐田蒸发+膜分离+结晶蒸发提锂的技术路线, 设计年产 1.2 万

吨碳酸锂（电池级 9600 吨+工业级 2400 吨）、氯化钾 15.6 万吨、铷铯混盐 200 吨产能，计划 2021 年 9 月底开工、力争 2023 年 7 月底建成、9 月底投产。

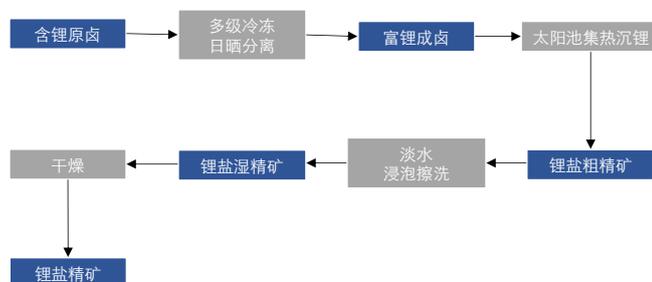
- 原卤吸附+双极膜生产氢氧化锂：2021 年 11 月，西藏矿业与久吾高科签订 100 吨氢氧化锂中试合同，提锂工艺由久吾高科自主研发，规划 2022 年 7 月 30 日完成中试技术方案确定与实施，2022 年 11 月 30 日完成中试研究开发内容，2022 年底项目结题，之后将根据中试效果决策是否推进万吨级氢氧化锂项目的建设。我们认为，原卤吸附+双极膜工艺相比膜法工艺更加巧妙、Capex 更低，但工艺成熟度有待矿区的验证。

图表 100：西藏扎布耶盐湖的太阳池法提锂



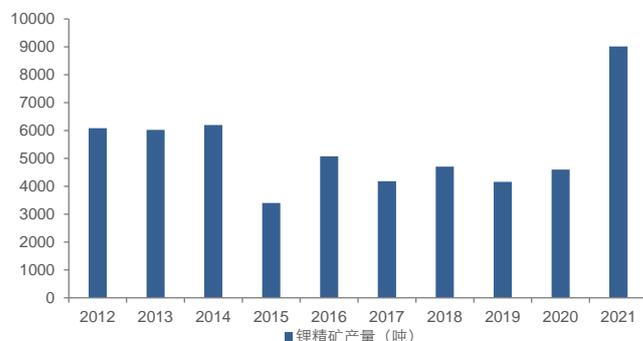
资料来源：《扎布耶盐湖的开发》，五矿证券研究所

图表 101：扎布耶的太阳池法仅在矿区生产“锂精矿”



资料来源：《扎布耶盐湖的开发》，五矿证券研究所

图表 102：2021 年扎布耶“锂精矿”产量突破性的达到 9016 吨



资料来源：西藏矿业公司公告，五矿证券研究所

西藏麻米错盐湖——藏青基金：高原上富锂盐湖中的明珠

麻米错盐湖位于西藏阿里地区改则县西南处，处于藏北高原区，湖面面积 110.4 平方公里，湖面海拔 4343 米，属于硫酸镁亚型盐湖，蕴藏大规模的锂、硼资源。盐湖采矿权（电子采矿权证）由西藏阿里麻米措矿业持有，矿权面积覆盖 115.36 平方公里，麻米措矿业由藏青基金控股、藏格矿业穿透参股。当前盐湖开发主要交由藏格矿业推进，计划采用吸附+膜法耦合工艺，设计年产 5 万吨碳酸锂，目标于 2022 年下半年启动建设、规划 2023 年下半年建成试生产，我们预计其开工时间将在很大程度取决于立项和纸质采矿权证的获取进展。

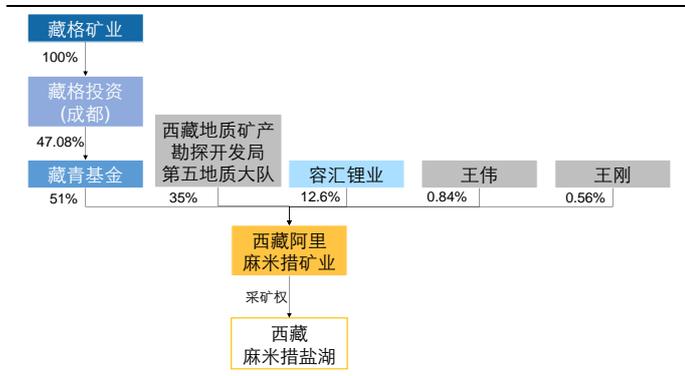
- 麻米错盐湖于 1993 年由西藏地质矿产局第五地质大队首先进行地质普查，2011 年完成详查报告。探获氯化锂资源量（液体卤水矿+潜卤水矿）250 万吨，折合碳酸锂当量 218 万吨，镁锂比仅为 3.97:1。盐湖中液体卤水矿占比 98%，对应氯化锂浓度 5644mg/L，折合锂离子浓度 920mg/L，此外还含有丰富的氧化硼、氯化钾、铷铯等资源。

- 2021年10月，藏格矿业通过认购藏青基金47.08%股份间接切入麻米错盐湖资源，藏青基金通过投资14.7亿元获得盐湖矿权方、麻米措矿业51%的股权。在盐湖开发中，藏格将负责盐湖的开发建设、技术开发及生产运营，若之后盐湖项目建成投产，藏格有望进一步提高股权比例。
- 麻米错计划采用“吸附+膜法+新型萃取装置”实现规模化盐湖提锂，根据项目公示，规划工程总投资40亿元投建5万吨碳酸锂和副产品1.7万吨硼。在藏青基金入股前，麻米错盐湖的工艺开发主要由其参股股东—容汇锂业推动，容汇在2017年参股后已陆续完成了直接吸附提锂的工艺成果鉴定以及百吨级的氯化锂中试。

图表 103: 麻米错盐湖氯化锂总资源量 250 万吨，折合 LCE 为 218 万吨，锂离子浓度 920mg/L

采矿权证		
许可证号	C5400002020045210149743	
采矿权人	西藏阿里麻米措矿业开发有限公司	
矿山名称	西藏阿里麻米措矿业开发有限公司西藏阿里改则县麻米错盐湖矿区锂硼矿	
项目类型	新立	
开采主矿种	锂矿	
开采方式	露天开采	
设计生产规模	36.45 (万吨/年)	
矿区面积	115.36 (平方公里)	
有效期	2020-04-30 至 2030-04-30	
发证机关	西藏自治区	
资源数据		
	平均含量 (mg/L)	资源量 (万吨)
B ₂ O ₃	1565.71	82.1
KCl	13684.4	602.69
LiCl	5683.04 (锂离子浓度 926.34mg/L)	250.11(折合 LCE 为 217.85 万吨)
Rb ₂ O	38.37	1.69
Cs ₂ O	19.67	0.87

资料来源：容汇锂业公司公告，藏格矿业公司公告，五矿证券研究所

图表 104: 2021 年藏格通过藏青基金间接持有麻米错盐湖 24%权益


资料来源：藏格矿业公司公告，五矿证券研究所

图表 105: 麻米错(仓木错)盐湖距离拉果错、扎布耶盐湖距离较近

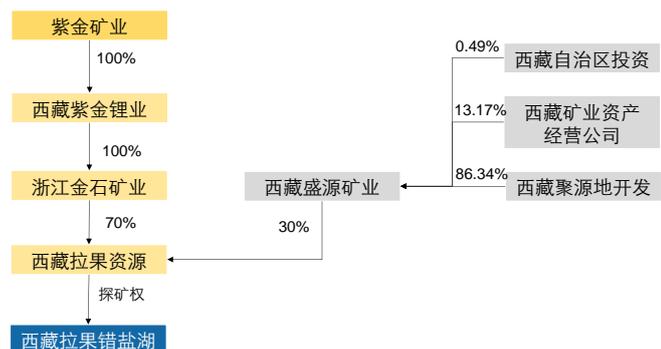

资料来源：谷歌地图，五矿证券研究所

西藏拉果错盐湖——紫金矿业：麻米乡的另一座优质盐湖资源，拟将晒卤方案调整为吸附

拉果错盐湖位于西藏阿里地区改则县南约 60 公里的麻米乡境内，地处藏北高原西部，海拔约 4467-4800 米，湖区面积 95.6712 平方公里，具有丰富的锂、钾、镁、钠等资源，目前拥有电子采矿证。此前，盐湖开发主要由盾安环境旗下的金石矿业推进，2022 年 5 月紫金矿业作价 48.97 亿元将金石矿业收入囊中、获得项目 70% 权益并主导开发，将积极推进纸质采矿权证的获取，一期规划碳酸锂产能 2 万吨、二期规划扩大至年产 5 万吨。

- 拉果错盐湖杂质较低且根据 2012 年藏国土资储备备案资料，盐湖保有资源量折碳酸锂 214 万吨（由于是湖水含锂，其资源量即可视为储量），平均锂离子浓度 270mg/L；镁锂比 3.32:1，伴生氧化硼 382 万吨、平均含量 2.57g/L，氯化钾 744 万吨、平均含量 5.13g/L，以及氯化钠、氯化镁、氧化铷、氧化铯，其中碳酸锂、氧化硼、氧化铷、氧化铯均达到大型规模。
- 在基础设施配套上：（1）110 千伏国家电网线路已到达改则县，从改则县到麻米乡的 35 千伏电网已接通，工业用电可从改则县引至矿区，直线距离约 33 公里，但阿里地区电力总功率小，不能满足矿区开发用电需求，鉴于矿区的地形条件较好、光照充足，可建设光伏发电及储能系统；（2）湖区南侧有美藏布、雄布卡河两大全年性河流，北侧地形平缓开阔，为产能建设与生产提供了充裕的淡水与空地，适用于吸附剂的锂离子洗脱，有助于成本优化；（3）盐湖西距麻米乡约 38 公里，从改则县向东行 920 公里与青藏公路和青藏铁路相接，由相接处南行 390 公里可达拉萨，北行 790 公里可达青海格尔木市，交通尚便利、但路途较远。
- 原开发方案：拉果错的证载生产规模为年产 1 万吨碳酸锂，2016 年设计的原开发利用方案为，在拉果错盐湖现场采用水泵抽取卤水，在盐湖东岸建设盐田，卤水经管道运输至盐田滩晒后获得富锂老卤，经汽车运输至青海格尔木，在格尔木藏青工业园生产碳酸锂和钾肥产品，碳酸锂生产规模 1 万吨/年。
- 紫金矿业的规划：据公司披露，为了更加环保和提高经济性，紫金矿业正在评估采用“吸附+膜分离”的耦合工艺，从而拟将初期规划产能倍增至 2 万吨碳酸锂，在盐湖抽卤后经吸附锂离子后直接返回湖区，含锂的洗脱液经浓缩、除钙/镁/硼后，直接在矿区的配套设施生产碳酸锂产品，未来二期规划进一步将碳酸锂产能扩大至 5 万吨/年。
- 对比两套工艺路线，我们认为：（1）原设计的晒卤方案类似智利的 Atacama 盐湖，其技术难度最小、且无须过多的能源配套，但核心问题在于：其一、与青海不同，在西藏建设盐田并不被鼓励，因其将改变生态原貌；第二，青藏高原的蒸发率和降雪量与智利的 Atacama 沙漠不同；其三，锂离子浓度与 Atacama 差距较大，需要晒卤的周期更长；其四，从西藏盐湖矿区至青海格尔木的运输路途过远，老卤运输的经济性需要慎重考量。（2）若调整为已在青海成熟应用的吸附方案，无疑环境影响小（仅需要预处理的晒池），同时运输方面的经济性将明显提升，但需要克服的挑战在于：其一，在长期生产中，吸附、脱附、回注的流程需要考虑到原卤浓度的降低，其二，需综合考虑在矿区的工业用电配套，投建光伏+光储是一个解决方案，其三，由于需要在高海拔的矿区作业，将对企业的管理提出高要求，但在这方面紫金已在玉龙铜矿、谢通门雄村铜金矿上证明了自己。

图表 106：2022 年 5 月紫金获得拉果错盐湖 70%股权，主导盐湖开发



资料来源：紫金矿业公司公告，天眼查，五矿证券研究所

图表 107：拉果错盐湖距离改则县约 56 公里，距离中心城市较远



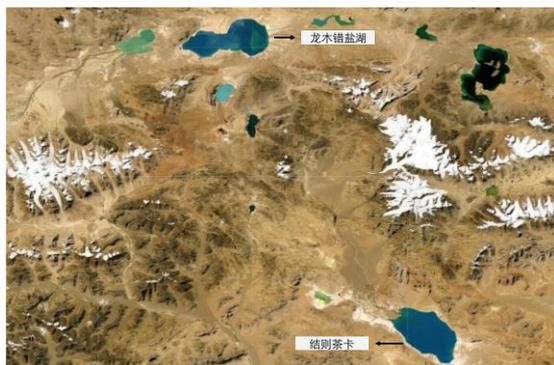
资料来源：中国地质调查局，五矿证券研究所

西藏结则茶卡盐湖——国能矿业（西藏城投）：与蓝晓合作、推进 1 万吨吸附氢氧化锂产能

结则茶卡盐湖位于西藏阿里地区，采矿权归属于西藏国能矿业，西藏城投对其持股 41%，蕴藏着丰富的锂、钾和硼等资源。结则茶卡盐湖与同属国能矿业旗下的龙木错盐湖相距约 100 多公里，两座盐湖的氯化锂资源量合计 448 万吨，折合 LCE 为 390 万吨，锂离子浓度约 129-191mg/L。国能矿业已就结则茶卡盐湖的开发与蓝晓科技签订了 1 万吨氢氧化锂委托加工合同，由蓝晓科技负责整线建设及运营，并与亿纬锂能为合作方，一期 1 万吨规划 2023 年底完成建设，之后视情况推进二期、三期产能，每期各 2 万吨氢氧化锂。

- 结则茶卡盐湖位于西藏阿里地区日土县的东汝乡，海拔 4600 米，是一个优质的碳酸型盐湖，地表卤水面积 99.6 平方公里。根据储量核实报告，结则茶卡的 332 控制资源量：氯化锂约 231 万吨，平均锂离子浓度 191mg/L，规模较大且禀赋优异；氧化硼 161 万吨，平均硼浓度 821mg/L；氯化钾 980 万吨，平均钾浓度 4984mg/L。
- 龙木错盐湖位于西藏阿里地区日土县东北方向，海拔 5100 米，属于氯化物型盐湖，地表卤水面积 100.91 平方公里，地表卤水体积约 27.34 亿立方米。根据公告，龙木错盐湖的地表卤水的矿物组分以硼为主，共生矿物包括锂、钠和钾。其中 332 控制资源量中：氯化锂约 217 万吨，对应平均锂离子浓度为 129mg/L；氧化硼为 170 万吨，对应硼浓度为 620mg/L；氯化钾为 1859 万吨，对应钾浓度为 6802mg/L。
- 结则茶卡与龙木措自 2010 年开始前期开发，就工艺方法进行了多轮的研究和探讨，还曾考虑过兑卤方案。在本轮锂行业的景气周期，结则茶卡盐湖的开发迎来新的节点，2022 年 1 月国能矿业与蓝晓科技就结则茶卡盐湖签订 1 万吨氢氧化锂委托加工合同，蓝晓又进一步与亿纬锂能签订战略合作，共同参与结则茶卡盐湖锂资源的开发利用。其中，（1）国能矿业负责提供卤水资源及公共配套，各类政府立项/报建/环评/安评等相关手续的办理，并向蓝晓支付委托加工费及收入分成；（2）蓝晓科技将在当地设立项目公司、承担运营主体责任，并促使项目各方以具有竞争优势的价格向亿纬锂能及指定方能长期优先供应合格的锂盐。项目一期 1 万吨计划 2022 年 10 月前有达标品产出并销售、同年底总产量 1000 吨，并在 2023 年底完成整线建设，考核合格后 15 年内总产量不低于 15 万吨，否则期限延续至目标完成。后续视情况再投建分别二期、三期，均为年产 2 万吨氢氧化锂。此外，公司还在推动结则茶卡盐湖预浓缩卤水萃取提锂工艺及龙木错铝系粉体吸附工艺的工艺流程的中试工作，并继续深化原卤萃取、锰系吸附工艺的研究。

图表 108: 西藏国能旗下的两座盐湖曾探讨兑卤工艺



资料来源: GoogleMaps, 五矿证券研究所

图表 109: 西藏国能在结则茶卡盐湖上已建设的盐田



资料来源: 中国地质调查局, 五矿证券研究所

图表 110: 龙木错盐湖的控制资源量 (332) 为 217 万吨氯化锂, 平均锂离子浓度 129mg/L

龙木错盐湖矿业权证书		
矿山名称	日土县松西区龙木错盐湖矿区	
采矿权人	西藏阿里圣拓矿业有限责任公司 (已更名为西藏国能矿业发展有限公司)	
采矿矿种	硼矿、及其伴生矿	
生产规模	1 万吨/年	
矿区面积	100.938 平方公里	
矿物	平均品位	控制内蕴资源量 (332)
B ₂ O ₃	620.23 mg/L	169.55 万吨
LiCl	793.6 mg/L (锂离子浓度为 129.4mg/L)	216.95 万吨 (折合 LCE 为 188.97 万吨)
KCl	6802.16 mg/L	1859.43 万吨

资料来源: 西藏城投公司公告, 五矿证券研究所

图表 111: 结则茶卡盐湖的控制资源量 (332) 为 231 万吨氯化锂, 平均锂离子浓度为 191mg/L

结则茶卡盐湖矿业权证书		
矿山名称	日土县多玛结则茶卡盐湖矿区	
采矿权人	西藏阿里圣拓矿业有限责任公司 (已更名为西藏国能矿业发展有限公司)	
采矿矿种	硼矿、及其伴生矿	
生产规模	1 万吨/年	
矿区面积	99.5555 平方公里	
矿物	平均品位	控制内蕴资源量 (332)
B ₂ O ₃	820.95 mg/L	161.40 万吨
LiCl	1173.38 mg/L (锂离子浓度为 191.3 mg/L)	230.69 万吨 (折合 LCE 为 200.93 万吨)
KCl	4984.44 mg/L	979.94 万吨

资料来源: 西藏城投公司公告, 五矿证券研究所

西藏捌仟错盐湖——金圆股份: 率先导入电化学脱嵌法, 将为行业提供参考样本

金圆股份前身系吉林省轻工业进出口公司, 1994 年上市、2022 年正式确定战略将以锂资源作为核心、固危废资源处理和稀贵金属综合回收利用并重, 并计划择机逐步退出原建材水泥主业。西藏捌仟错盐湖是公司目前主要发力的项目, 导入的电化学脱嵌法巧妙应用了类似锂电池的工作原理进行提锂, 为藏区低矿化度的盐湖提锂提供了新思路。该工艺产业化尝试的

意义较大，实际进度则尚待验证和观察。目前项目已建成 2000 吨碳酸锂当量的现场扩大试验装置、正在进行调试，规划于 2022 年底进一步完成 8000 吨装置的建成投产。

- 2021 年 9 月以来，公司披露拟通过子公司金圆新能源、陆续收购西藏阿里辰宇矿业 51% 股权（尚在洽谈中）、阿里锂源矿业 51% 股权（已完成）和西藏和锂锂业 51% 股权（锂加工产能，尚在洽谈中），若上述交易全部完成、将获得吉布茶卡盐湖和捌仟错盐湖的采矿权。此外，2022 年 6 月公司披露拟收购阿里锂源矿业剩余的 49% 股权，从而将获得锂源矿业 100% 的股权。阿里锂源矿业除了捌仟错盐湖，还持有改则县查波错盐湖采矿权，但此矿区在西藏羌塘自然保护区实验区，正申请调出保护区。
- 捌仟错盐湖位于西藏革吉县文布当桑乡，湖面海拔 4956 米，盐湖卤水面积 15.24 平方公里，采矿权登记面积为 24.5484 平方公里（开采矿种硼、锂、钾），采矿权已转移至革吉锂业名下。根据 2021 年《资源储量核实报告》，西藏自治区革吉县捌仟错盐湖矿区硼锂钾矿保有资源储量（以丰水期地表卤水保有资源量、浅藏卤水孔隙度及固体硼矿保有资源量统计）硼（ B_2O_3 ）15.1 万吨、锂（LiCl）18.6 万吨、钾（KCl）41.5 万吨。
- 在并购完成前，阿里锂源矿业已与江苏中南锂业合资成立西藏锂能，确定推进“电化学脱嵌法”在捌仟错盐湖进行提锂。并购后，金圆股份计划投资 8 亿元推进万吨级锂盐产线：（1）计划一期建成 2000 吨碳酸锂当量现场扩大试验装置，2022 年 7 月初已完成装置安装和调试、并生产出合格富锂液和精制碳酸锂成品；（2）二期在一期装置基础上规划建设两个年产 4000 吨、共 8000 吨碳酸锂的生产装置，2022 年 6 月底已开工，计划 9 月中旬完成土建工程和配套设施建设，分模组安装调试装置后，规划于 12 月底投产。此外，2022 年 3 月子公司革吉锂业与锂尚科技签署《项目扩大试验合作协议》，锂尚科技将提供一期电化学脱嵌富锂液产线设备和技术服务。

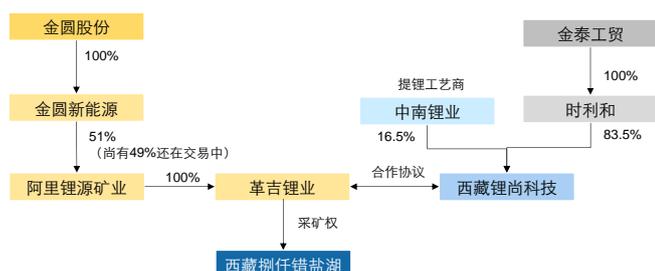
图表 112：2021 年捌仟错盐湖在补充勘探后，氯化锂资源量约为 18.6 万吨，对应浓度为 1039-2154mg/L

捌仟错盐湖矿业权证书		
采矿权人	西藏阿里锂源矿业开发有限公司	
采矿矿种	硼锂钾矿	
矿区面积	24.55 平方公里	
2021 年储量核实报告		
	平均品位	
B_2O_3	1005.14-1367.94 mg/L	15.1 万吨
	1038.53-2153.86 mg/L	18.6 万吨
LiCl	(锂离子浓度为 169-351 mg/L)	(折合 LCE 为 16.2 万吨)
KCl	0.23-0.45%	41.5 万吨

资料来源：金圆股份公司公告，五矿证券研究所测算

注释：品位区间由丰水期地表卤水保有资源量和浅藏卤水孔隙度及固体硼矿保有资源统计确定

图表 113：2021 年 9 月金圆股份联合提锂供应商等布局捌仟错盐湖



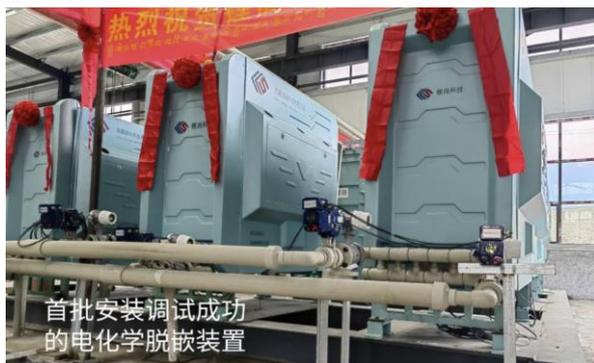
资料来源：金圆股份公司公告，天眼查，五矿证券研究所

图表 114：捌仟错盐湖周边地势平坦开阔



资料来源：中国地质调查局，五矿证券研究所

图表 115: 捌仟错盐湖的电化学脱嵌装置



资料来源: 金圆股份公众号, 五矿证券研究所

图表 116: 电化学脱嵌法中的淡水池富锂液池



资料来源: 金圆股份公众号, 五矿证券研究所

图表 117: 电化学脱嵌装置试验和培训基地



资料来源: 金圆股份公众号, 五矿证券研究所

图表 118: 已生产出的精制碳酸锂



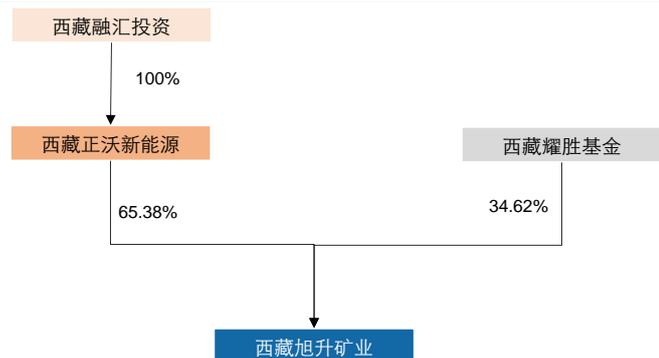
资料来源: 金圆股份公众号, 五矿证券研究所

西藏当雄错盐湖——西藏旭升矿业: 另一个稀缺碳酸盐型, 锂离子浓度 330mg/L

当雄错盐湖, 又名当穹错, 位于西藏那曲地区尼玛县, 地处青藏高原西南部, 湖面海拔 4475 米, 湖区面积约为 318 平方公里, 地表卤水面积 55.53 平方公里, 属于中度碳酸型盐湖, 湖区卤水中钠、钾、锂、硼、溴等矿产含量丰富。根据 2010 年当雄错盐湖的《表面卤水锂矿资源储量核查报告》显示, 主矿产氯化锂约 85.88 万吨 (折合 LCE 为 74.8 万吨), 达到大型锂矿工业规模, 根据文献记载, 锂离子浓度达到 330mg/L、钾离子浓度约 8000mg/L。此外, 共生矿种硼、溴、铷、硫酸钠达到大规模, 氯化钾、碱等为中型规模。

成立于 2003 年的西藏旭升矿业持有当雄错盐湖的采矿权证 (电子采矿证), 控股股东为西藏正沃新能源 (西藏融汇投资全资子公司), 持股 65.38%, 持有矿权面积约 88.99 平方公里。根据《当雄错锂钾硼综合开发项目(一期工程)》环评披露, 2017 年旭升矿业曾投资 4.86 亿元实施开采, 对应年产规模为碳酸锂 2.675 万吨, 并配套生产硼砂 10 万吨、氯化钾 24 万吨和纯碱 17 万吨, 目前项目正在引进战略投资者, 之后有望逐步启动开发工作。

图表 119: 旭升矿业背后控股股东为西藏融汇投资



资料来源: 天眼查, 五矿证券研究所

图表 120: 盐湖周边地势平坦, 距离尼玛县城约 84 公里



资料来源: 中国地质调查局, 五矿证券研究所

西藏扎仓茶卡盐湖——西藏鹏程矿业: 三个湖区, 资源规模不可小视, 锂离子浓度达 635mg/L

扎仓茶卡盐湖位于西藏阿里地区革吉县, 处于藏北高原之中, 海拔约 4300-4400 米。盐湖总体呈近东西向展布, 东西长约 33km, 南北宽约 10-15km, 由三个湖区组成。扎仓茶卡盐湖最早在 1960 年前后被发现, 湖内富含硼、锂、钾、铷、铯等元素, 属于硫酸镁亚型盐湖, 最早开发以硼矿为主, 始于 20 世纪 80 年代。

扎仓茶卡盐湖的采矿权(硼矿、及其伴生矿)为西藏鹏程矿业持有, 氯化锂地表资源量在 6.8-8.4 万吨之间(折合 LCE 为 5.9-7.3 万吨), 对应氯化锂浓度约为 2944-3393mg/L(折合锂离子浓度 480-553mg/L); 而地下卤水的氯化锂资源量超过 330 万吨(折合 LCE 为 287 万吨), 达到特大型锂矿床规模, 对应氯化锂浓度约 3898mg/L(锂离子浓度 635mg/L)。

图表 121: 扎仓茶卡盐湖由 3 个湖区组成



资料来源: 中国地质调查局, 五矿证券研究所

西藏其他盐湖: 开发过程艰苦, 但远景潜力巨大、前景光明

根据西藏自治区的地质勘查规划, 西藏北部盐湖盐类沉积矿床, 以固液并存的盐湖矿床分布广泛、数量众多, 在考虑到对于藏北自然保护区的规避后, 工作重点主要围绕在两个区域:

- (1) 班公错—怒江断裂带及其次一级断裂附近: 该带发育有规模巨大的地热异常区, 湖盆众多, 成矿条件良好, 目前已经评价较好的盐湖有扎仓茶卡、麻米错、拉果错, 具有较高找矿前景。
- (2) 冈底斯—念青唐古拉板片以北地段: 该带目前评价的具有代表性的盐湖有扎布耶茶卡、当雄错等, 成矿背景良好, 工作程度较高。

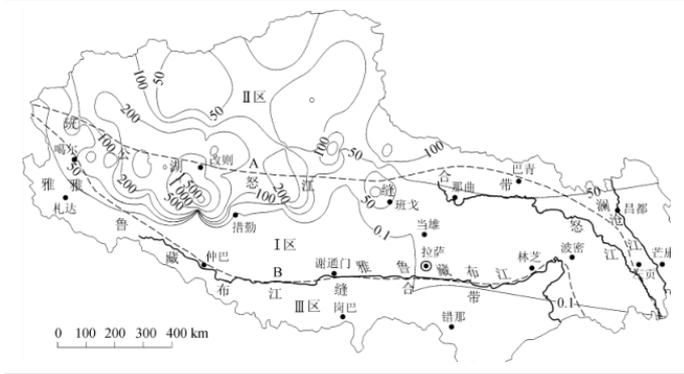
展望未来，我们认为基于青海盐湖提锂的经验积淀、技术创新及技术外溢，加上道路和电力基础设施的逐步完善（工业用电短缺在短期内难以彻底解决，但可建设光伏、光热），西藏盐湖的资源潜力有望得到持续的挖掘。尤其盐湖提锂技术突破，如膜法、原卤吸附等，有望在不大规模建设盐田、不带入化学试剂的前提下，为绿色开发带来更多可行性。虽然在西藏开展盐湖提锂的过程无疑艰苦、挑战巨大，但前景光明，对于中国锂资源保供的战略意义深远。

图表 122：西藏拥有多处禀赋理想的富锂盐湖资源

盐湖名	面积 (km ²)	开发情况	所属公司
扎布耶	247	投产	西藏矿业
龙木错	101	开发中	西藏城投
结则茶卡	100	开发中	西藏城投
麻米错	115	开发中	藏青基金、西藏地勘局第五地质大队等
拉果错	96	开发中	紫金矿业、西藏盛源矿业
捌仟错	25	开发中	金圆股份
吉布茶卡	13	采矿权	辰宇矿业
当雄错	89	采矿权	西藏旭升矿业
扎仓茶卡	128	采矿权	西藏鹏程矿业
鄂雅错	58	探矿权	西藏地勘局第五地质大队
聂耳错	53	采矿权	西藏矿业
查波错	32	采矿权	锂源矿业
班嘎错	162	采矿权	天铁股份

资料来源：中国地质科学院矿产资源研究所，各公司公告，五矿证券研究所

图表 123：西藏地区卤水中锂离子浓度等值线 (mg/L)



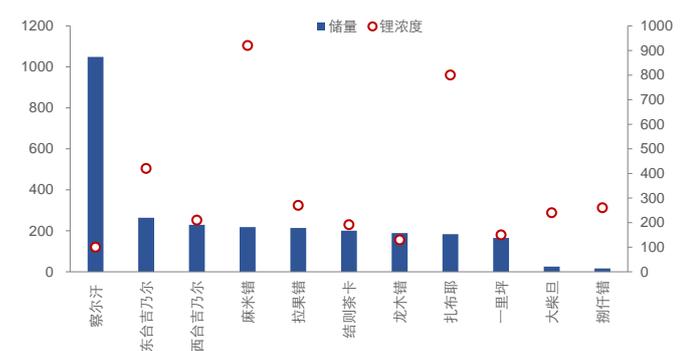
资料来源：《西藏地区盐湖锂的地球化学分布规律》，五矿证券研究所

图表 124：西藏地区盐湖镁锂离子浓度比值分布



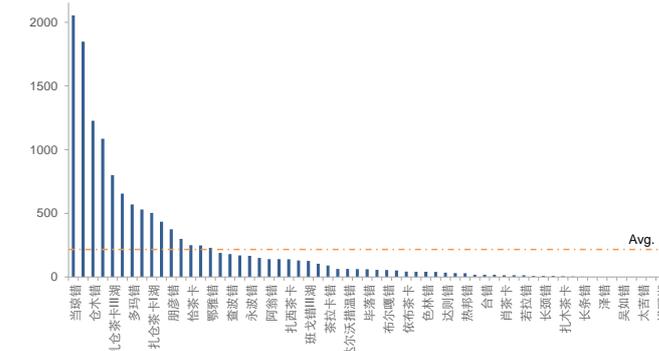
资料来源：《西藏地区盐湖锂的地球化学分布规律》，五矿证券研究所

图表 125：西藏盐湖具有锂离子浓度高的特点



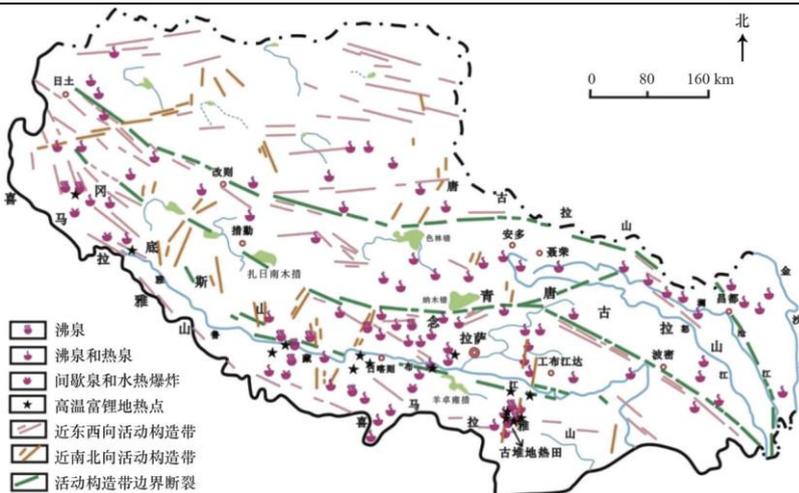
资料来源：各公司公告，五矿证券研究所

图表 126：除扎布耶外，仍有多个禀赋优异的西藏盐湖(mg/L)



资料来源：《西藏地区盐湖锂的地球化学分布规律》，五矿证券研究所

图表 127: 西藏除了锂盐湖外, 也有较多的富锂地热点



资料来源: 《青藏高原南部地热型锂资源》, 五矿证券研究所

新疆盐湖: 罗布泊规划启动年产 5000 吨碳酸锂的老卤吸附提锂

锂资源是新疆的优势矿产之一, 矿石锂与盐湖锂兼具, 但其矿石锂资源的潜力更大。新疆的盐湖资源主要是位于巴音郭楞蒙古自治州若羌县(塔里木盆地东部)的罗布泊干盐湖, 以及位于西昆仑-喀喇昆仑成矿带的苦水湖、红山湖、黄草湖硼锂矿等。

其中, 罗布泊干盐湖是世界级的超大型钾盐矿床, 并共生钠、镁以及伴生锂、硼等元素, 面积达到 10350 平方公里, 海拔高度 780 米。2006 年, 国投新疆罗布泊钾盐公司开始建设硫酸钾产能, 目前国投罗钾已成为全球最大的单体硫酸钾生产商, 具备 150 万吨/年的硫酸钾产能, 与青海察尔汗盐湖一同形成了中国两大钾肥生产基地的格局。2022 年 6 月下旬, 国投罗钾规划启动锂资源综合利用的工程建设, 拟利用提钾后的老卤、基于“铝系吸附剂+膜法”工艺提锂、规划年产 5000 吨碳酸锂, 建设内容包括老卤输送、盐田摊晒、吸附、膜处理和蒸发、沉锂、干燥及附属设施, 若审批和建设进度如期推进、计划于 2023 年底竣工。

图表 128: 罗布泊可年产 150 万吨硫酸钾, 是国内仅次于察尔汗的重要钾肥生产基地



资料来源: 中国地质调查局, 五矿证券研究所

在南美盐湖提锂的绿地项目中，吸附已成为与沉淀法同等重要的主流方案

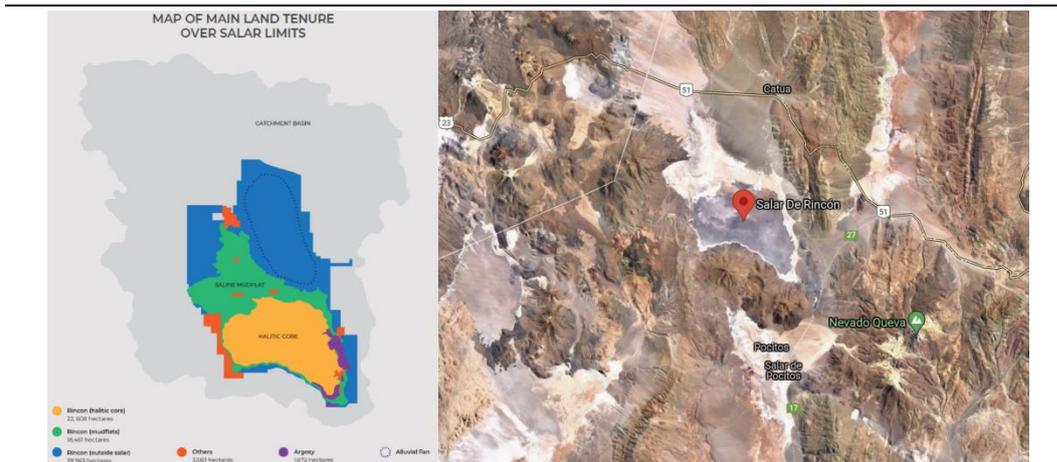
据我们观察，在南美“锂三角”区域绿地盐湖项目的开发中，尤其在对于阿根廷新兴盐湖的开发中（该国目前有 27 个项目处于勘探、建设和生产阶段，其中 2 个在产），目前吸附法已成为与沉淀法同等重要的工艺路线。主要原因在于，部分盐湖的资源禀赋、卤水组分和地理条件不完全适合建设大面积的盐田，或者资源商在经过工艺的比较和评估后，认定采用吸附法的生产效率和经济性将更佳。我们认为，若将中国盐湖开发的经验和技术的复制在南美，将大幅加快项目的建设、调试和达产进程，而由海外资源商或海外初创型提锂技术公司开发的工艺，则尚待实践的检验，其达产过程将难以一蹴而就。此外，部分阿根廷盐湖虽然在初期产能中采用了传统的盐田沉淀工艺，但未来配套设施成熟、时机成熟后，不排除将在二期的扩能中采用吸附等创新工艺，从而大幅提高生产效率。

阿根廷 Rincon 盐湖——Rio Tinto：设计采用原卤吸附技术年产 5 万吨碳酸锂

Rincon Mining 旗下矿权覆盖了阿根廷 Rincon 盐湖绝大部分的区域，自 1998 年开始，围绕 Rincon 盐湖的提锂工艺开发已持续超过 20 年，是一个颇具历史的阿根廷大型盐湖卤水项目。2021 年底全球矿业巨头 Rio Tinto 披露以 8.25 亿美元收购私募股权投资集团 Sentient Equity Partners 旗下的 Rincon Mining，切入阿根廷盐湖锂资源的开发。根据 Rincon Mining 的规划，设计采用原卤吸附+膜分离的耦合工艺年产 5 万吨碳酸锂，已在矿区建成了试验工厂。我们认为，综合考虑 Rincon 盐湖的卤水组分，鉴于其锂离子浓度平庸、镁锂比偏高，因此并不适合采用盐田沉淀工艺，较为契合采用吸附法提锂。

- Rincon 盐湖位于阿根廷萨尔塔省，海拔 3765 米，Rincon Mining 总计控制 830 平方公里的矿权，覆盖 94% 的盐滩面积，周边少部分非核心矿权归属 Argosy 等公司所有。根据 2021 年 7 月更新的资源与储量报告，Rincon Mining 矿权拥有：（1）总储量 198.46 万吨 LCE，平均锂离子浓度 359mg/L。（2）探明+控制资源量 580.24 万吨 LCE，平均锂离子浓度 367mg/L，另含推断资源量 596.55 万吨 LCE，平均锂离子浓度 390mg/L。（3）据部分区段样本，镁锂比 9.4~10.8。我们认为，Rincon 的锂离子浓度在南美“锂三角”位于二、三线，镁锂比高于南美主力盐湖，但在全球范围仍较为理想，此外 Rincon 也是阿根廷所剩寥寥、矿权完整的大型盐湖项目，因此具备一定的稀缺性。
- Rincon 盐湖的基础设施条件理想、淡水供应充裕。（1）道路：国家高速公路将项目与萨尔塔首府相连，此外距离 30 公里处还有铁路线，通往智利港口安托法加斯塔、阿根廷首都布宜诺斯艾利斯，便于物资补给和产品运输。（2）淡水：据地质勘查，冲积扇地表下的淡水可支撑 10 万吨以上的年产能，且公司已获得近乎独家的淡水使用权。（3）能源：项目距离跨安第斯山脉的高压电网仅 1 公里，公司还与盐湖周边一座大型光伏电站签署了意向协同。（4）萨尔塔的矿业政策总体友好，项目也与北部胡胡伊省的 Olaroz、Cauchari-Olaroz 等在产、在建盐湖相距不远，未来有望形成群聚效应。
- 相对智利、阿根廷的主力在产盐湖，Rincon 盐湖卤水的锂离子浓度平庸、镁含量较高，但周围淡水充沛，因此吸附成为了优选方案。Sentient 联合澳大利亚政府科研机构 ANSTO Minerals 开发出了一套从原卤中直接吸附提锂的专利（具体为原卤吸附+膜分离的耦合），理论上可在 24 小时的周期内生产电池级碳酸锂（传统盐田蒸发在智利需要 12~18 个月），宣称 1 吨碳酸锂产品在吸附环节的耗水量约为 109 立方米，并在矿区建成了试验工厂。该吸附工艺年产 2.5 万吨已通过环评，但公司紧盯市场行情、在近期更新的概括研究将设计产能翻倍至年产 5 万吨碳酸锂，预计需要资本投入 7.7 亿美元，评估运营成本为 2968 美元/吨。未来力拓在完成收购交割后，需针对年产 5 万吨的方案进行可行性研究，并申请新的环评许可。

图表 129: Rincon 盐湖位于阿根廷萨尔塔省与胡胡伊省的交接处



资料来源: Rincon Mining 公司公告, Google Maps, 五矿证券研究所

图表 130: Rincon 盐湖目前已建成的试验性工厂



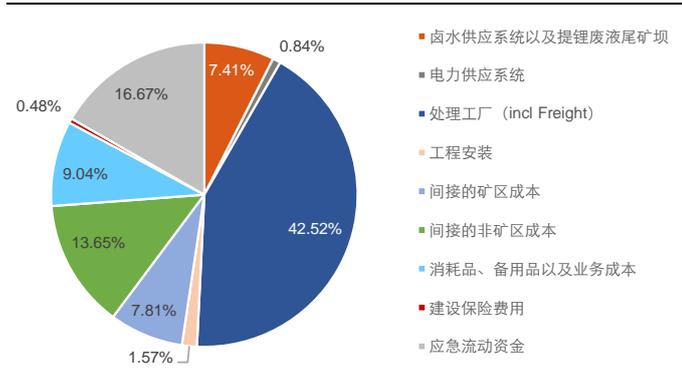
资料来源: Rincon Mining 公司公告, 五矿证券研究所

图表 131: Rincon 盐湖未来商业化工厂的设计图



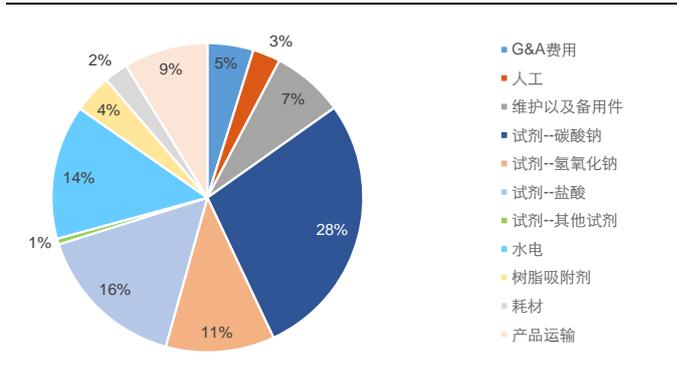
资料来源: Rincon Mining 公司公告, 五矿证券研究所

图表 132: Rincon 盐湖 7.7 亿美元资本开支的具体拆分



资料来源: Rincon Mining 公司公告, 五矿证券研究所

图表 133: 可研报告关于 Rincon 盐湖直接生产成本的具体拆分



资料来源: Rincon Mining 公司公告, 五矿证券研究所

阿根廷 Centenario-Ratones 盐湖——Eramet: 引入青山实业合资, 首期原卤提锂启动建设

法国 Eramet 通过子公司 Eramine Sudamérica 全资控股位于阿根廷萨尔塔省的 Centenario-Ratones 盐湖, 由北部 Centenario 盐湖与南部 Ratones 盐湖组成, 矿权覆盖整个盐滩, 且为永久性矿权, 总面积约 500 平方公里, 海拔 3800 米, 目前探明储量 110 万吨碳酸锂当量、资源量近 1000 万吨碳酸锂当量, 平均锂离子浓度近 400mg/L。整体而言, 我们认为 Centenario-Ratones 的资源规模较为理想, 但论锂离子浓度仅属于二线水准, 其与 Rincon 盐湖一道, 属于阿根廷仅剩不多的、矿权完整的大型盐湖锂资源项目, 未来可整装开发, 不存在需协调和整合矿权的问题, 因此具备较高稀缺性, 但基建条件将构成挑战。

Eramet 早在 2019 年底便筹划启动该盐湖项目的产能建设，但遭遇全球疫情，受财务状况所困，被迫于 2020 年 4 月将项目封存。2021 年底，青山将提供 3.75 亿美元融资，获取提锂工厂 49.9% 股权，Eramet 方面前期已投入 1.85 亿美元，仅需追加 2500 万美元，将保留控股权（50.1%）和运营权，未来将按照股权比例包销，而双方前期在印尼红土镍矿上的成功合作也为本次再度携手打下了扎实基础。

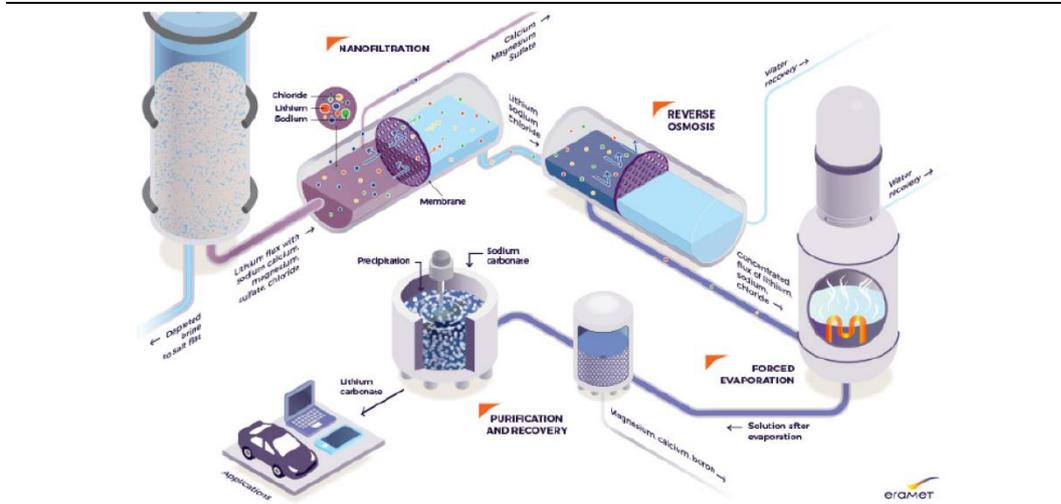
在青山入股后，Centenario-Ratones 盐湖于 22Q1 已重启一期 2.4 万吨电池级碳酸锂的产能建设，计划 2024 上半年试车、2025 下半年达产。首期产能将采用由 Eramet 参与开发的“吸附+膜分离”技术，从原卤中直接提锂，预算投资约 5 亿欧元，未来该盐湖的资源储量足以支撑 Eramet 和青山各自建设多期的产能。根据可研和试验性工厂参数，该技术有望实现高达 90% 的回收率（传统盐田工艺仅 40~50%），提锂周期仅需要 1 周（南美盐田晒卤需 18 个月），评估碳酸锂现金成本仅 3500 美元/吨。我们认为，该工艺与 Livent 及中国青海部分盐湖的设计有相似之处，但区别在于其吸附并非“选择性吸附”，而是将阳离子均匀吸附浓缩，在后端膜工段才进行分离，鉴于纳滤膜处理浓度的限制、分离小分子（镁锂、钠锂）的效率以及膜本身的损耗，该工艺流程在大规模连续生产中的效率、实际资本开支强度、产能磨合周期有待验证。

图表 134: Centenario-Ratones 盐湖由 Eramet 独立持有矿权，靠近阿根廷 Livent-Fenix 项目



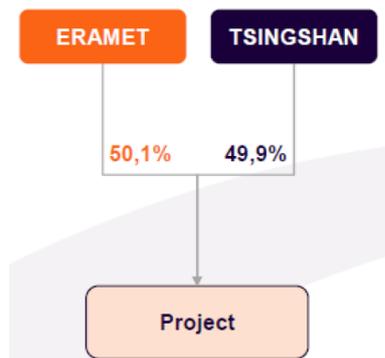
资料来源: Eramet Group, GoogleMaps, 五矿证券研究所

图表 135: Eramet 自主研发的提锂工艺分为吸附、膜分离两大环节，但并非选择性吸附，分离全部在膜环节完成



资料来源: Eramet Group, 五矿证券研究所

图表 136: 通过提供融资, 青山将获得盐湖提锂工厂 49.9%的参股股权



资料来源: Eramet Group, 五矿证券研究所

图表 137: Centenario-Ratonos 盐湖 22Q1 重启一期 2.4 万吨产能建设



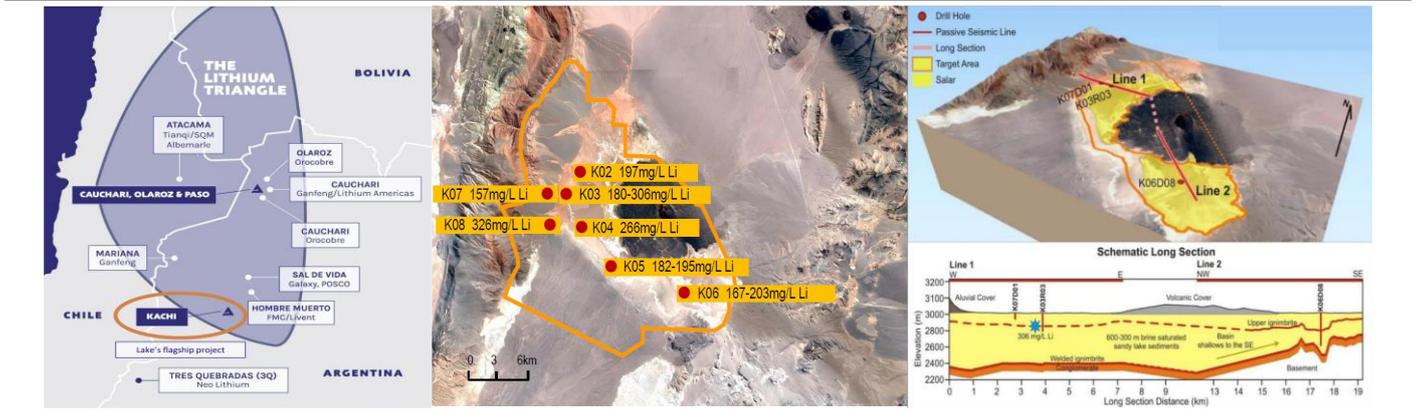
资料来源: Eramet Group, 五矿证券研究所

阿根廷 Kachi 盐湖——Lake Resources: 采用 Lilac 的离子交换直接提锂, 规划 5 万吨

Lake Resources 通过兼并 LithNRG 控制阿根廷卡塔马卡省 Kachi 盐湖项目 100%的所有权。在正在制作的 DFS 中, 规划一期年产 5 万吨碳酸锂。在开发利用上, 公司引入了美国的提锂技术企业 Lilac Solutions 作为技术合作伙伴, 将采用 Lilac 专利的离子交换技术进行直接提锂, 而作为对价, Lilac 将获得 Kachi 盐湖项目至多 25%股权。在产品包销方面, Kachi 的规划产能已被阪和兴业和福特汽车锁定完毕。

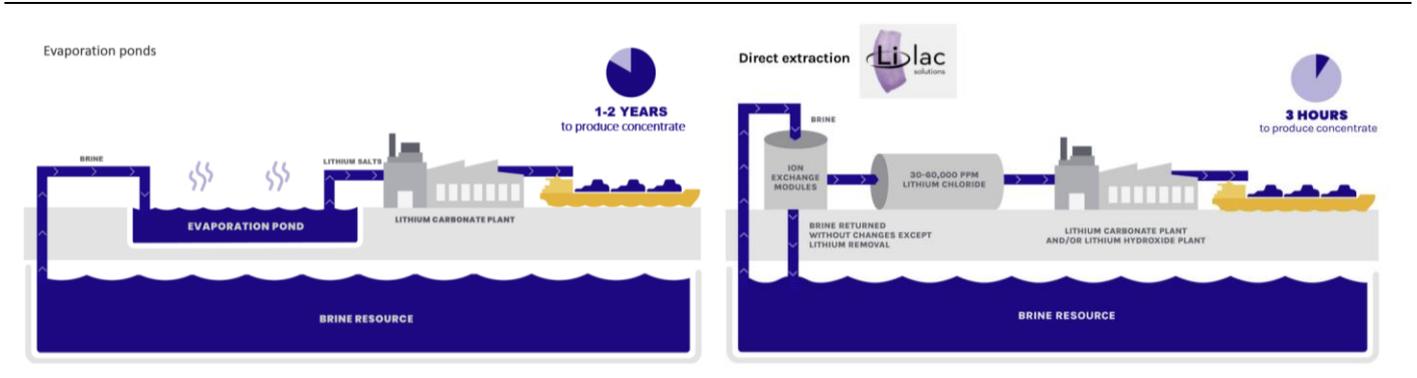
- Kachi 盐湖项目位于阿根廷的卡塔马卡省, 距离 Livent 旗下的 Fenix 提锂设施约 100 公里, 矿权面积约 705 平方公里。根据 2018 年的初次资源量评估, 项目具备控制+推断等级锂资源总量 440 万吨 LCE、氯化钾资源总量 3070 万吨, 平均锂离子浓度 221mg/L、平均钾浓度 4380mg/L, 镁锂比约 4.7:1。其中, 控制资源量为 100.5 万吨 LCE, 平均锂离子浓度 289mg/L, 推断资源量为 339.4 万吨 LCE, 平均锂离子浓度 209mg/L。鉴于项目的矿权面积较大, 未来通过投入勘探、扩大锂资源量的空间较大, 不排除将达到 800~1700 万吨 LCE。
- 根据 2022 年 1 月启动的 DFS, Kachi 项目的设计年产规划从 2.55 万吨大幅提升至 5 万吨 LCE。Kachi 将采用 Lilac Solutions 专利的新型离子交换技术, 高效、快速、环境友好的从盐湖卤水中提锂, 试验回收率可达 80~90%, 并可生产电池级的碳酸锂产品。2021 年 9 月 Lake 与 Lilac 签署协议, Lilac 将提供提锂技术、工程团队, 负责建设矿区试验性工厂, 作为对价可至多获得 Lake 所持 Kachi 盐湖 25%的股权 (完成技术测试即获得初始 10%, 之后陆续完成项目示范工厂测试和产品检验则获得 5%和 10%), 并将负责商业化开发中约 5000 万美元的融资。而 Lilac Solutions 作为一家新兴的美国提锂技术企业, 已吸引包括比尔盖茨领导的突破性能源基金、麻省理工学院 The Engine 支持基金、Chris Sacca 的 Lowercarbon Capital、宝马、住友和 SK Materials 等的投资。
- 截至 2022Q1, 由 Lilac Solutions 设计和建造的模块化示范工厂已从美国加利福尼亚州运送至项目地, 将运行 3-4 个月生产氯化锂溶液 (约 2.5 吨 LCE), 并在之后转化为高纯度电池级碳酸锂用来产品认证。此前公司已在美国加州加利福尼亚实验工厂开始碳酸锂中试工程 (Hatch 设计), 并生产了高浓度氯化锂溶液、进行了碳酸锂产品测试, 生产出纯度为 99.97%的碳酸锂。
- 截至 4 月初, Kachi 项目一期 5 万吨产能已被日本商社一阪和兴业以及美国福特汽车的包销协议锁定完毕, 二者每年将各包销 2.5 万吨碳酸锂产品。加上英国、加拿大出口信贷机构意向提供的债务融资 (覆盖 Kachi 项目 70%的资本开支), 并支撑了 Lake 的 TARGET 100 Program, 即在 2030 年前形成年产 10 万吨的高纯度锂化合物的生产规模。在一期 5 万吨的项目进度上, 规划 22Q3 完成 DFS 和环评, 22Q4 启动建设。

图表 138: Kachi 项目周围还有 3Q 项目、Fenix 项目和 Sal de Vida 盐湖



资料来源: Lake Resources 公司公告, 五矿证券研究所

图表 139: 直接离子交换工艺一是能缩短生产周期至 3 小时, 二是产品浓度和杂质远优于传统产品



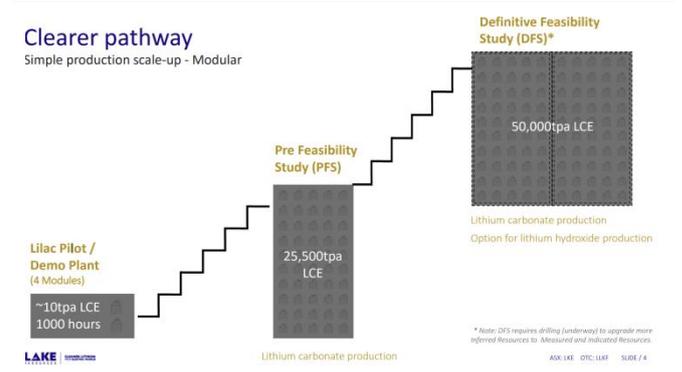
资料来源: Lake Resources 公司公告, 五矿证券研究所

图表 140: Lilac Solutions 获得了以科技与产业为代表的领先企业认可



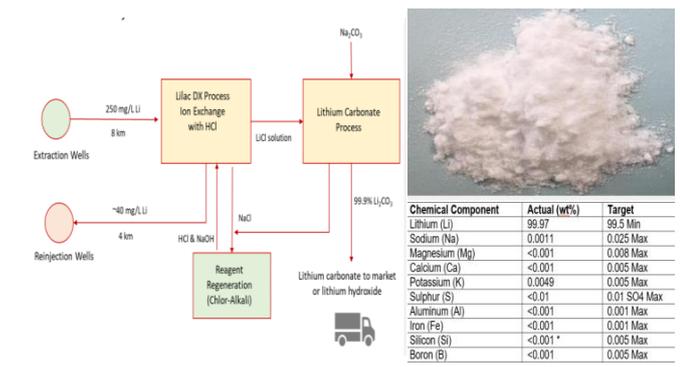
资料来源: Lake Resources 公司公告, 五矿证券研究所

图表 141: 公司锂盐产能规划已从 2.55 万吨扩大至 5 万吨



资料来源: Lake Resources 公司公告, 五矿证券研究所

图表 142: Kachi 项目工艺下, 所生产的碳酸锂品质优于传统电碳



资料来源: Lake Resources 公司公告, 五矿证券研究所

图表 143: 使用 Lilac 直接提锂工艺的生产工厂模拟布局图



资料来源: Lake Resources 公司公告, 五矿证券研究所

图表 144: Kachi 盐湖提锂项目的矿区地貌



资料来源: Lake Resources 公司公告, 五矿证券研究所

阿根廷 Sal de Los Angeles 项目——西藏珠峰: 雄心壮志引入中国领先吸附+膜工艺

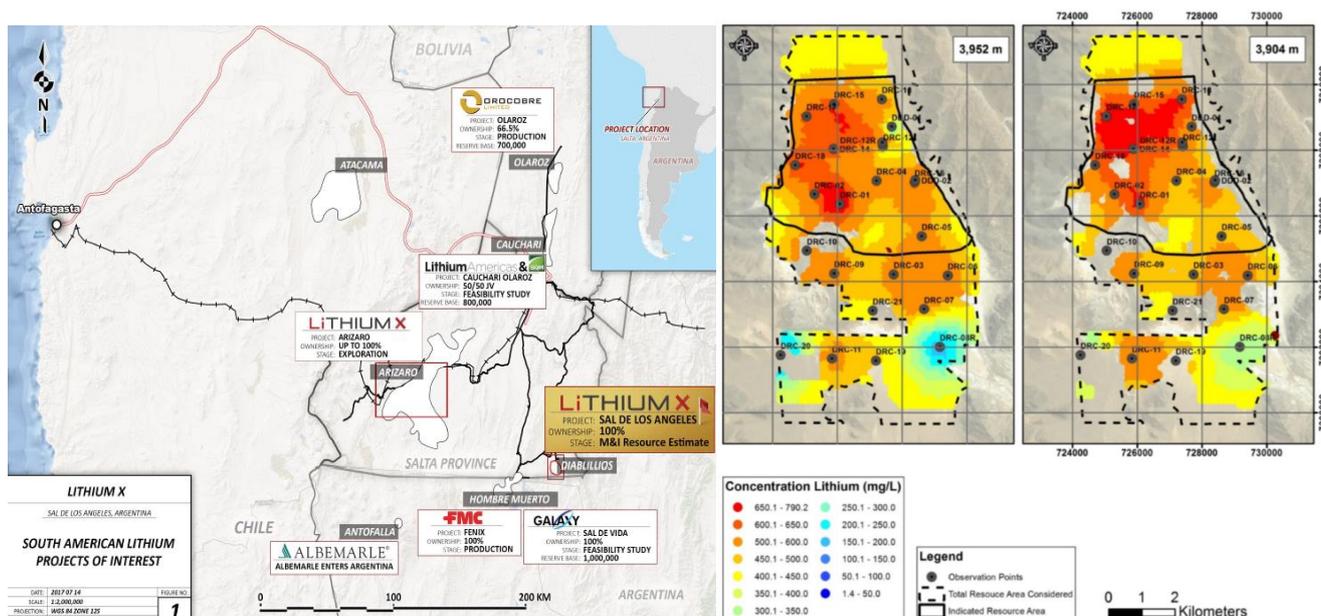
Sal de Los Angeles (SDLA) 项目位于阿根廷萨尔塔省的普纳高原地区, 距离智利港口安托法加斯塔港口 700 公里, 靠近 Hombre Muerto 盐湖。SDLA 项目占据 Salar de Diablillos 盐湖 95% 以上的面积, 由西藏珠峰的阿根廷子公司 PLASA (锂钾公司) 控股, 总面积 116.51 平方公里, 平均海拔 4050 米, 拥有锂、钾和硼等多元素。此前该项目主要由加拿大 Lithium X 开发, 2017 年被西藏珠峰旗下参股公司并购, 在 2019 年 2500 吨的中试线已投入生产, 2021 年陆续与久吾高科、中南锂业、长沙有色、青海盐湖所等分别就推进吸附耦合膜法中试研究和电化学脱嵌法提锂中试等项目签订了合作协议, 并在 2022 年与蓝晓科技、启迪清源、中电建国际等合作推进年产 5 万吨碳酸锂当量产能建设。

- 在资源量上, 西藏珠峰已更新 NI43-101 报告。根据 2018 年 8 月公告, SDLA 项目具备资源总量 38.5 万吨锂金属量, 折合 205 万吨 LCE, 全矿床平均锂离子浓度 490mg/L, 其中探明+控制资源量 30.75 万吨锂金属, 折合 164 万吨 LCE, 平均锂离子浓度 479mg/L, 钾资源量 420.5 万吨, 折合氯化钾 803.2 万吨, 镁锂比在 3.7 以下。
- Sal de Los Angeles 项目历经几次转手, 2016 年 Lithium X 从 Aberdeen 公司手中获得 Potasio y Litio de Argentina SA (PLASA) 80% 股权, 获取 SDLA 项目。2017 年 12 月, Lithium X 进一步被西藏珠峰 (香港) 参股的 Nextview New Energy Lion HongKong 作价 2.65 亿美元完全收购, 其中西藏珠峰对西藏珠峰 (香港) 的持股比例已提升至 54%, 实现对于项目的控股, 2022 年 4 月正计划提升西藏珠峰 (香港) 的持股比例至 87.5%。
- SDLA 项目中, 建设主体 PLAS 与 SESA (Salta Exploraciones S.A.) 采用联合运营的

方式 (50/50) 推进了 UT 项目 2500 吨中试的建设, 采用了太阳池蒸发提锂工艺, 并已计划将其扩建至 5000 吨碳酸锂产能。盛新锂能在 2021 年 9 月从华友手中获得 SESA 公司 100% 股权、承接了 UT 项目相应的运营权。

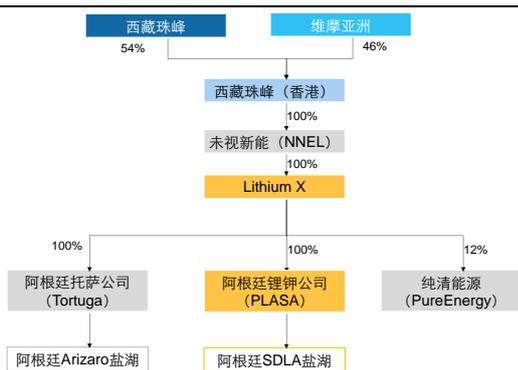
- 公司正积极推进原卤提锂来建设年产 5 万吨 LCE 产能, 采取吸附+膜法 (反渗透+电渗析) +MVR+沉锂的提锂工艺, 总投资约 45.5 亿元, 已在 2021 年底开工建设, 计划 2022 年底前竣工并投入运行, 2023 年达产。同时, 公司已在 2022 年 2 月与蓝晓科技、启迪清源和中电建国际等分别就吸附段、膜分离及提锂项目设备运营 (BOT 协议) 和矿建设计施工 (EPC) 签订供货合同和框架协议。

图表 145: Sal de Los Angeles 盐湖处理锂三角中, 规划将在 501-790mg/L 处建设盐田设施



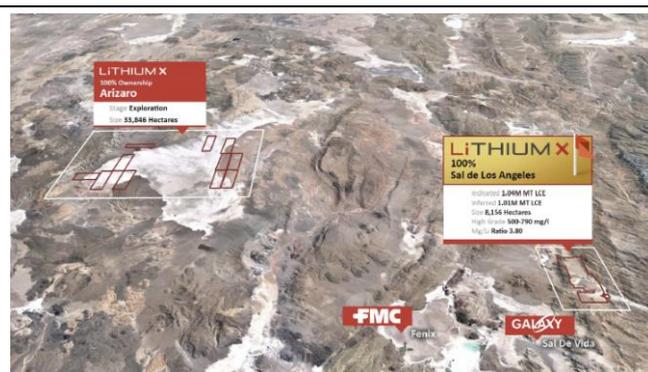
资料来源: Lithium X 公司公告, 五矿证券研究所

图表 146: 西藏珠峰持有 SDLA 项目 54% 权益



资料来源: 西藏珠峰公司公告, 五矿证券研究所

图表 147: 西藏珠峰锂业务的核心资产为 SDLA 和 Arizaro 项目



资料来源: Lithium X 公司公告, 五矿证券研究所

图表 148: SDLA 盐湖已建设的盐田区域



资料来源: 西藏珠峰公众号, 五矿证券研究所

图表 149: SDLA 盐湖的提锂工厂



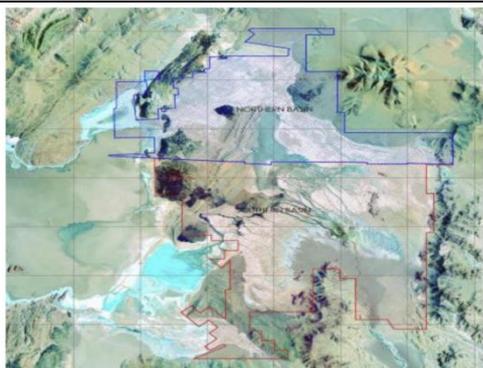
资料来源: 西藏珠峰公众号, 五矿证券研究所

阿根廷 Sal de Oro 项目——POSCO: 基于磷酸锂生产电池级氢氧化锂产品

韩国 POSCO 旗下的 Sal de Oro 项目位于阿根廷卡塔马卡省与萨尔塔省交界处 Hombre Muerto 盐湖的东北部。该项目原属于 Sal de Vida 项目的北部区域, 2018 年 POSCO 从银河资源(银河资源已与 Orocobre 合并为 Allkem) 手中以 2.8 亿美元收购。为推进盐湖锂资源的开发利用, POSCO 于 2018 年正式成立 POSCO Argentina, 后续进一步实施了勘探, 并于 22Q1 正式启动项目建设, 计划在 2024 上半年投产 2.5 万吨氢氧化锂。

- 在扩大勘探后, Sal de Oro 项目的锂资源储量约 1350 万吨 LCE, 较 2018 年收购之初的 220 万吨 LCE 大幅增长, 锂离子浓度约 920mg/L、且镁等杂质的含量较低。2019 年 2 月, POSCO 通过进一步收购整合, 已将矿权面积增加至 228 平方公里。
- POSCO 在项目上采用自主研发的直接提锂技术, 规划在盐湖矿区配套的锂加工厂中先提取磷酸锂, 之后再运至 Güemes 通用工业园工厂生产氢氧化锂和碳酸锂产品。2022 年 3 月底, 位于阿根廷的 2.5 万吨氢氧化锂生产线正式开工, 计划 2024 年上半年竣工, 总资本开支约为 8.3 亿美元 (0.95 万亿韩元), 庞大的资源量支撑 LOM 超过 50 年。产线的运营和融资将由子公司 POSCO Argentina 全权负责, POSCO 集团还计划从 2024 年底开始将产能提高到 5 万吨, 至 2028 年产能将逐步增加到 10 万吨。
- POSCO 于 2010 年自主开发直接提锂技术 (PosLX, Posco Lithium eXtraction), 是一种新型磷酸盐沉淀-膜电解技术, 可以先盐田蒸发浓缩、用氢氧化钠除镁钙、加入磷酸钠来沉淀析出低溶性磷酸锂、加入过量磷酸形成磷酸锂溶液, 再利用电解法生产氢氧化锂。该工艺优势在于生产中的进料物可以多元选择且所需浓度远低于碳酸盐沉淀法, 同时生产中可实现磷酸的回收、晒池面积也可以大幅缩小、提锂效率进一步提升, 但化学试剂成本较高。早在 2011 年 POSCO 便已在韩国开始试验性生产, 并在 2017 年实现了 2500 吨规模的运营, 在 Sal de Oro 项目上则是首次得到商业化生产的机会。
- 我们认为, 采用上述磷酸锂的直接提锂路径有望大幅提高回收率, 同时显著缩短生产周期, 且未来不一定用于生产氢氧化锂或碳酸锂产品, 可直接用于下游的磷酸铁锂材料。但项目的实际运营效果、环保情况依然有待观察和验证。

图表 150: 蓝色区域为 Sal de Oro 项目, 与红色区域 Sal de Vida 临近



资料来源: 银河资源公司公告, 五矿证券研究所

图表 151: Sal de Oro 项目现场的地貌



资料来源: POSCO 公司公告, 五矿证券研究所

图表 152: Sal de Oro 正在矿区试验线的基础上建设商业化产能



资料来源: POSCO 公司公开资料, 五矿证券研究所

阿根廷 Cauchari-Olaroz 盐湖——赣锋/LAC: 采用石灰石沉淀法, 一期投产在即

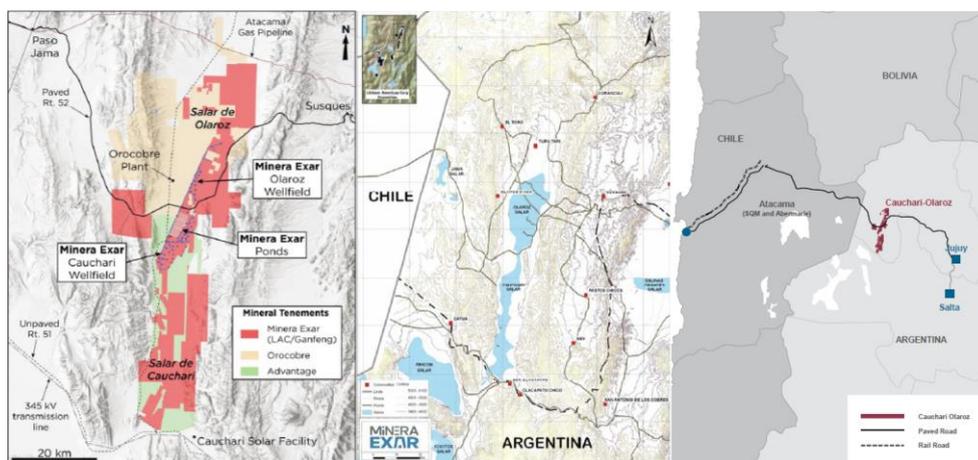
Cauchari-Olaroz 盐湖锂资源项目位于阿根廷胡胡伊省 Olaroz 盐湖的东南部以及 Cauchari 盐湖之上, 海拔高度 3940 米, 毗邻 Allkem 旗下在产的 Olaroz 盐湖提锂设施, Cauchari-Olaroz 也是 2022 年内唯一有望投产的绿地盐湖项目 (其余皆为棕地扩能)。加拿大美洲锂业 (LAC) 自 2009 年启动了项目的勘探, 2016 年 LAC 与 SQM 成立 50/50 的合资公司、共同推进项目的设计和开发, 后续赣锋锂业受让 SQM 的股权, 并逐级提高在该项目的股权比例、于 2020 年获得控股权, LAC 保留参股权。Cauchari-Olaroz 项目一期采用盐田沉淀法, 原设计年产 2.5 万吨电池级碳酸锂, 后续调整扩大至年产 4 万吨, 有望于 2022 年下半年投产, 二期规划至少新增 2 万吨, 也有望于 2022 年下半年启动建设。

- 根据 2019 年 5 月份的资源量和储量评估报告: Cauchari-Olaroz 项目具备锂资源总量 (M+I+1) 461.7 万吨锂金属量, 折合碳酸锂当量 2457.6 万吨, 其中, 探明+控制资源量 (M+I) 合计 372.97 万吨锂金属量, 折碳酸锂当量 1985.3 万吨, 平均锂离子浓度 592mg/L; 项目拥有锂资源总储量 (P+P) 68.29 万吨锂金属量, 折合碳酸锂当量 363.5 万吨。
- 在开发历程上, Cauchari-Olaroz 原为 LAC 的全资控股项目, 在 2016 年 SQM 通过注资、并与 LAC 成立 50/50 的合资公司 Minera Exar, 获得项目 50% 股权, 共同推进项目的设计和开发; 后续由于 SQM 在智利 Atacama 盐湖上与智利 Corfo 达成了协议, 成功续签并扩大了提锂配额、不再需要分散风险, 因此同意向赣锋锂业出售其在 Cauchari-Olaroz 项目上的股权, 在交易完成后赣锋锂业获得 Cauchari-Olaroz 项目 37.5% 股权、

LAC 方面将股权比例提升至 62.5%；后续赣锋锂业通过陆续提高股权比例、参股 LAC 并为其提供低息债务融资，成功锁定项目 51% 的控股权，LAC 保留剩余 49% 的参股权；在阿根廷胡胡伊省级投资平台 JEMSE 选择行权参股 8.5% 后，赣锋锂业作为第一大股东、控股 46.7%，LAC 参股 44.8%。Cauchari-Olaroz 项目于 2017 年正式启动建设，但因行业的周期性波动以及新冠疫情的影响，投产时间延期至 2022 年下半年。

- 工艺上, Cauchari-Olaroz 项目最初盐田以及工艺由 SQM 设计, 与毗邻的 Olaroz 类似, 也采用盐田沉淀法提锂, 并在盐田中加入大量生石灰, 降低硫酸根和镁。经过上调后, 一期 4 万吨电池级碳酸锂产能的资本开支为 7.41 亿美元, 可研评估的碳酸锂现金成本为 3579 美元/吨, 赣锋拥有一期产能 75.5% 包销权。同时, 项目二期正积极推进可研工作, 规划至少 2 万吨碳酸锂产能, 并积极评估各工艺路线, 有望在 2022 年内启动建设。

图表 153: Olaroz 盐湖以及 Cauchari 盐湖主要由 Allkem、赣锋与 LAC 合资的 Minera Exar 所占据



资料来源: Lithium Americas 公司公告, 五矿证券研究所

图表 154: Cauchari-Olaroz 项目已具备总资源量 (M+I) 1985.3 万吨 LCE, 平均锂离子浓度达 592mg/L

2019 年 5 月资源储量评估	平均锂离子浓度	锂金属量	碳酸锂当量 LCE
	mg/L	千吨	千吨
探明资源量 (Measured)	591	667.80	3555
控制资源量 (Indicated)	592	3061.90	16298
小计 (M+I)	592	3729.70	19853
推断资源量 (Inferred)	592	887.30	4723
总资源量 (M+I+I)		4617	24576
证明储量 (0-5 年)	616	96.65	514.45
概略储量 (6-40 年)	606	586.27	3120.59
总储量		682.92	3635.020

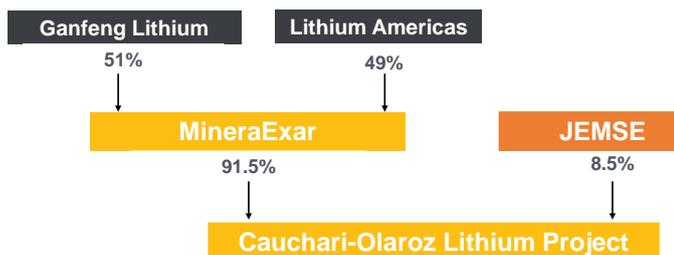
资料来源: Lithium Americas 公司公告, 五矿证券研究所

图表 155: Cauchari-Olaroz 盐湖提锂的主要设施，一期产能投产在即



资料来源: Lithium Americas 公司公告, 五矿证券研究所

图表 156: 赣锋锂业作为项目的控股股东, 持股比例 46.7%



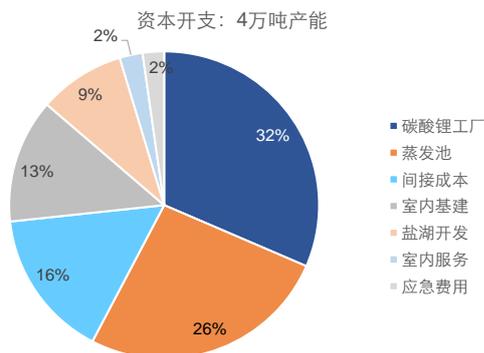
资料来源: Lithium Americas 公司公告, 五矿证券研究所

图表 157: Cauchari-Olaroz 盐湖提锂项目的盐田系统



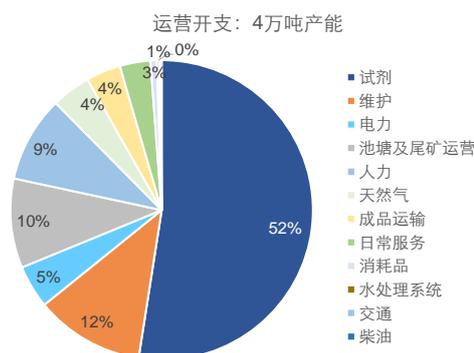
资料来源: Lithium Americas 公司公告, 五矿证券研究所

图表 158: 盐田和碳酸锂工厂的建设开支占比合计超过总投入的 58%



资料来源: Lithium Americas 公司公告, 五矿证券研究所

图表 159: 一期产能的运营成本评估: 试剂成本占比高达 52%



资料来源: Lithium Americas 公司公告, 五矿证券研究所

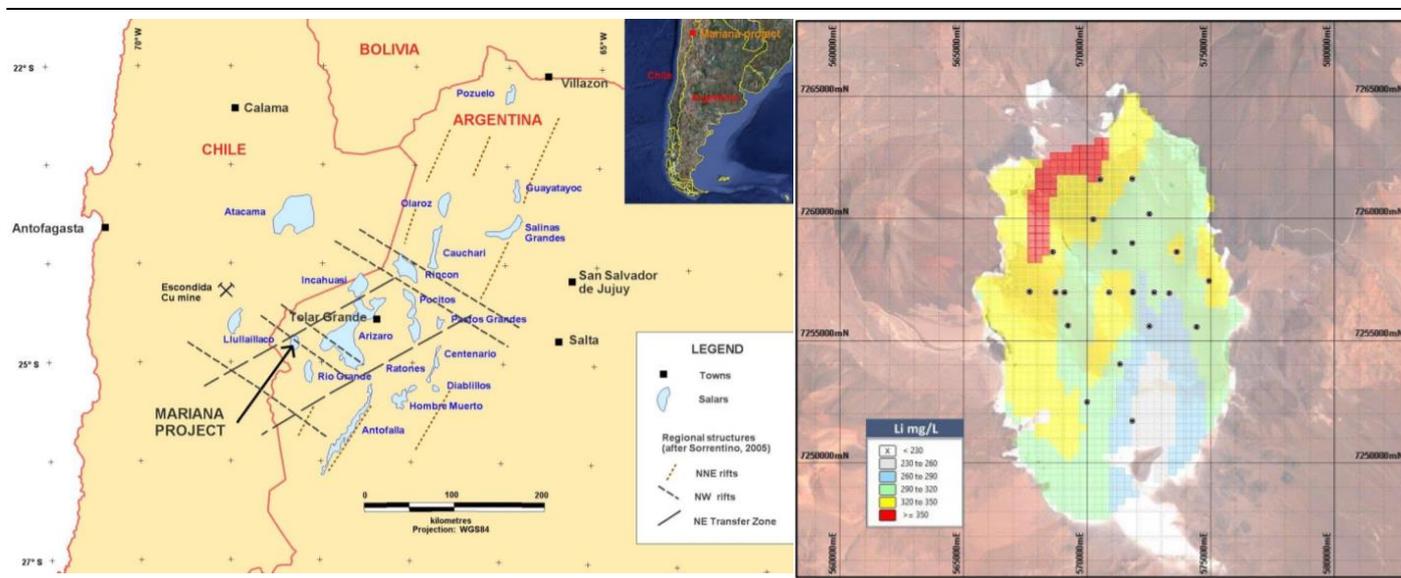
阿根廷 Mariana 项目——赣锋锂业: 一期 2 万吨氯化锂已开工建设, 充分彰显绿色理念

Mariana 项目位于阿根廷萨尔塔省西部的 Salar de Llullaillaco 盐湖, 矿权完整覆盖整个盐湖, 由 Lito Minera Argentina SA(LMA) 平台 100% 持有, 赣锋锂业子公司 MLC(Mariana Lithium) 间接控制项目 100% 股权。Mariana 已在 2019 年完成可行性研究, 2021 年 7 月进一步更新、并扩大了资源规模。目前矿区的 2 万吨氯化锂产能已正式开工建设, 将为赣锋锂业在中国的

金属锂产能提供低成本的上游原料保障。该项目在设计理念上充分考虑可持续发展，专门为火烈鸟留出自然生态保护区、定期对项目周边进行环境监测、淡水循环利用、同时在盐湖矿区的生产活动 100%采用绿色能源（建设 120MW 的光伏发电站，并配套锂电池储能）。

- Mariana 项目共覆盖 324.36 平方公里的面积，据 2021 年 7 月更新资源更新报告，锂资源总量 (M+I) 为 128.7 万吨锂金属量，折合约 685.4 万吨碳酸锂当量，平均锂离子浓度 319mg/L。其中，探明资源量达到 83.3 万吨锂金属量，折合约 443.6 万吨碳酸锂当量，平均锂离子浓度 315mg/L，控制资源量 45.4 万吨锂金属量，折合约 241.8 万吨碳酸锂当量，平均锂离子浓度 326mg/L，此外项目还具备推断等级资源量约 23.8 万金属吨，折合约 126.7 万吨碳酸锂当量，平均锂离子浓度 334mg/L。
- Mariana 项目规划一期年产 2 万吨氯化锂，计划投资约 5.8 亿美元，在 Llullaillaco 盐湖上采用沉淀法蒸发晒卤后、将老卤运至阿根廷 Güemes 工业园区进一步加工生产氯化锂（Livent 在该园区生产氯化锂，另外 POSCO 也计划未来在该园区生产氢氧化锂）。目前产能建设已获得环评批复，并在 2022 年 5 月底开启建设。

图表 160: Mariana 项目位于阿根廷 Salar de Llullaillaco，不同区段的锂浓度存在差异



资料来源：国际锂业公司公告，五矿证券研究所

图表 161: Mariana 项目的 M+I 资源总量达到 685.4 万吨碳酸锂当量，锂离子浓度 319mg/L

2021 年 7 月	平均锂离子浓度	平均钾离子浓度	总量		
	(mg/L)	(mg/L)	Li (千吨)	Li ₂ CO ₃ (千吨)	LiCl (千吨)
探明资源量 (Measured)	315	9,598	833	4,436	5,089
控制资源量 (Indicated)	326	10,044	454	2,418	2,774
小计 (M+I)	319	9,752	1,287	6,854	7,863
推断资源量 (Inferred)	334	10,121	238	1,267	1,454

资料来源：赣锋锂业公司公告，五矿证券研究所

图表 162：2022 年 5 月底 Mariana 项目已正式开工建设



资料来源：赣锋锂业公众号，五矿证券研究所

图表 163：Mariana 项目的盐田以及抽卤井规划



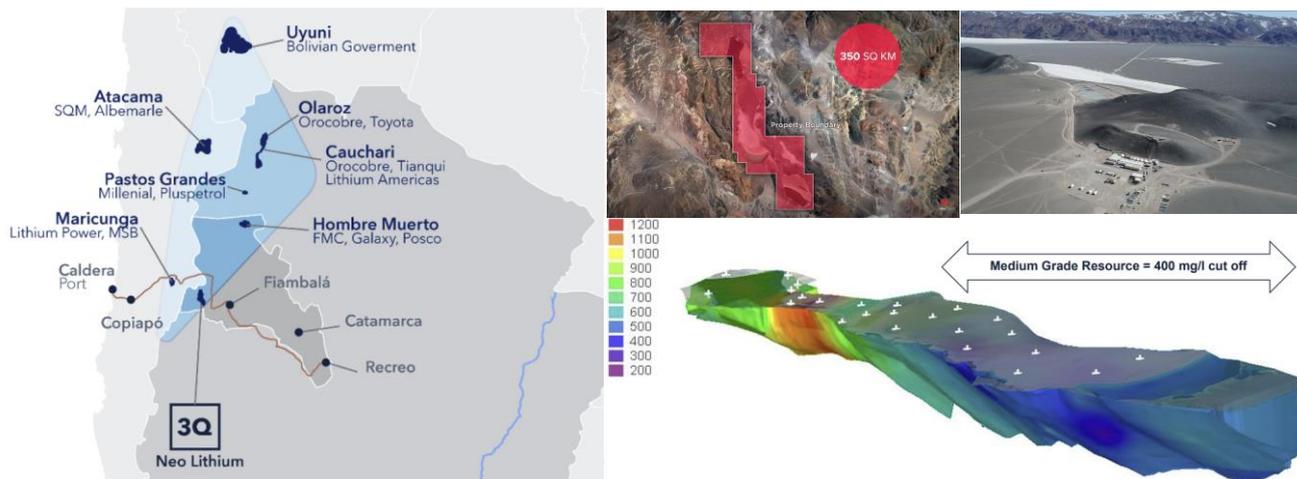
资料来源：国际锂业公司公告，五矿证券研究所

阿根廷 Tres Quebradas 盐湖：紫金矿业 100%持有，规划 2 万吨于 2023 年投产

Tres Quebradas (3Q) 项目位于阿根廷卡塔马卡省的西南部，地处普纳高原“锂三角”南端，海拔 4100 米，距智利边境仅 25 公里，是全球锂离子浓度最高的盐湖资源绿地项目。紫金矿业于 2022 年 1 月完成对 Tres Quebradas 项目 100% 股权并购，该项目的矿权面积超过 350 平方公里（且采矿权年限被授予 99 年）。项目一期采用沉淀法年产 2 万吨电池级碳酸锂，已于 2022 年 3 月正式开工建设，规划 2023 年底建成投产。此外，紫金矿业将继续推进二期可研，计划将产能扩大至 4-6 万吨，同时为了提升回收率等，后续公司或基于其拿手的湿法冶金工艺对 2 期采用新工艺。

- Tres Quebradas 项目资源量大、品位较高、杂质低，开发条件好。根据公司 2021 年 11 月的 FS 披露：（1）在 400mg/L 锂离子浓度边界品位下，项目拥有的碳酸锂当量总资源量约 763 万吨，其中探明资源量、控制资源量合计达 100.9 万金属吨 (M+I)，折 LCE 为 536.9 万吨，平均锂离子浓度 637mg/L；推断等级资源量约 42.5 万金属吨，折合 LCE 为 226.1 万吨，平均锂离子浓度 561mg/L。（2）项目拥有总储量 (P+P) 31.3 万金属吨，折合 LCE 为 167.2 万吨，占探明+控制资源量的 31%，平均锂离子浓度约 786mg/L。（3）项目杂质少，Mg/Li 范围约为 1.77-4.12，而 SO₄/Li 比例则在 0.48-0.53 左右。
- 一期 2 万吨碳酸锂的总资本投资约 3.71 亿美元，可研评估碳酸锂生产成本 2953 美元/吨。得益于禀赋优异，因此采用传统的沉淀法即可提取碳酸锂，即主要在盐湖项目处先通过盐池蒸发，获得浓缩后的卤水（锂含量为 3.3%）；之后再运至 Fiambala 工厂，通过萃取除硼，烧碱除钙、纯碱抛光残钙，最终加入纯碱加入沉淀干燥得到碳酸锂产品。
- 二期扩能的可行性研究已同步展开，争取于 2023 年开工，届时碳酸锂年产能有望扩大至 4-6 万吨。此外经紫金矿业评估论证，项目仍存在进一步优化生产流程布局的可能性，公司将充分利用自身在湿法冶金中的优势，发挥协同效应、推进技改来提高锂回收率和产量。

图表 164: Tres Quebradas 盐湖位于卡塔马卡省、靠近智利边境，卤水中的锂浓度较高



资料来源: Neolithium 公司公告, 五矿证券研究所

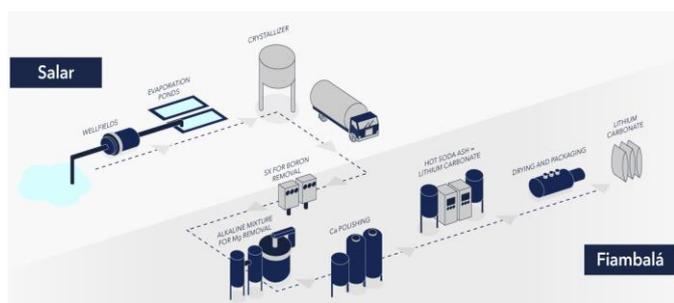
图表 165: 3Q 盐湖在 400mg/L 锂离子浓度的边界品位下, 碳酸锂资源量 (M+I) 高达 537.1 万吨

资源等级	平均浓度		总量		平均浓度		总量
	Li (mg/L)	Li (千吨)	Li ₂ CO ₃ (千吨)	K (mg/L)	K (千吨)	KCL (千吨)	
探明资源量 (Measured)	792	356	1,897	7,382	3,322	6,346	
控制资源量 (Indicated)	576	652	3,472	5,616	6,360	12,147	
小计 (M+I)	637	1,009	5,369	6,119	9,682	18,492	
推断资源量 (Inferred)	561	425	2,261	5,475	3,218	7,911	
资源总量 (M+I+I)		1,434	7,630		12,900	26,403	

生产年份	卤水体积 Mm3	平均锂离子浓度 mg/L	锂金属 (吨)		LCE (吨)		资源回收率 %
			证实储量	概略储量	证实储量	概略储量	
1	4.7	655	1,689	1,377	8,993	7,331	0.3
2	9.6	747	3,977	3,181	21,171	16,931	0.7
3-10	65.6	942	38,549	22,111	205,187	117,694	6.0
11-20	82.0	922	48,853	24,850	260,034	132,273	7.3
21-30	82.0	775	41,647	21,171	221,677	108,873	6.2
31-40	82.0	708	37,415	205,187	199,150	103,979	5.6
41-50	82.0	626	31,570	20,454	168,040	99,507	5.0
20 年生产	161.9	912	93,068	51,520	495,384	274,229	14.3
50 年生产	408	786	203,700	110,200	1,084,300	587,600	31

资料来源: Neolithium 公司公告, 五矿证券研究所

图表 166: 项目一期采用沉淀法提锂, 二期为提升收率或引入新工艺



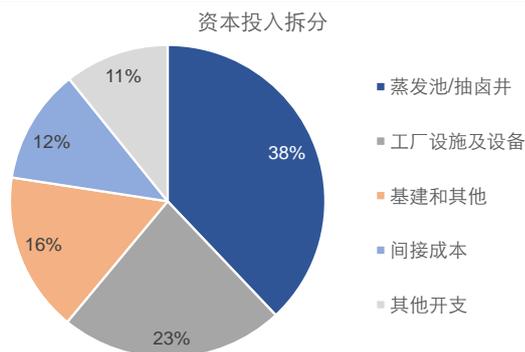
资料来源: Neolithium 公司公告, 五矿证券研究所

图表 167: 3Q 项目的湖区实景



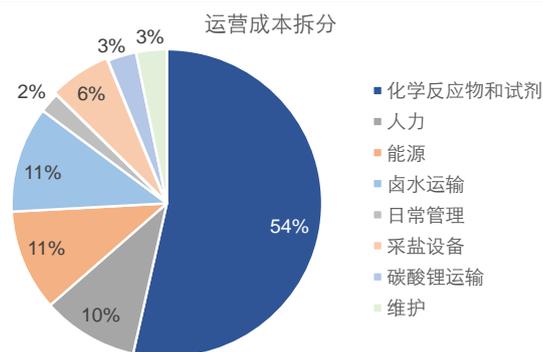
资料来源: Neolithium 公司公告, 五矿证券研究所

图表 168: 蒸发井/池建设占总资本开支 38%



资料来源: Neolithium 公司公告, 五矿证券研究所

图表 169: 化学试剂占比达到 54%, 单吨成本为 2953 美元/吨 LCE



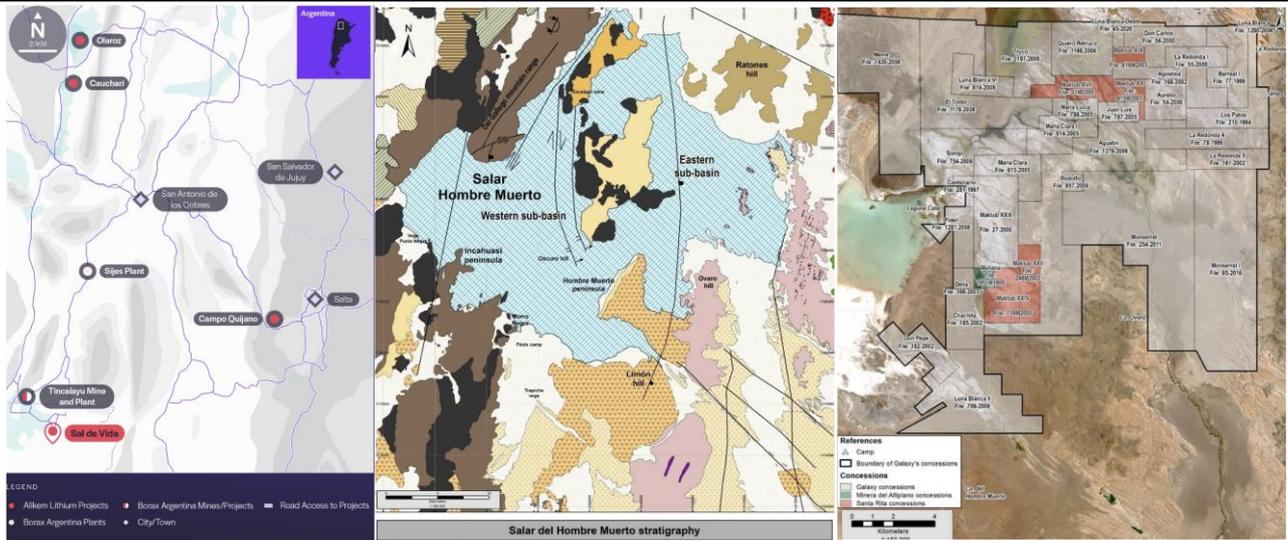
资料来源: Neolithium 公司公告, 五矿证券研究所

阿根廷 Sal de Vida 盐湖——Allkem: 一期年产 1.5 万吨碳酸锂规划 2023 下半年投产

Sal de Vida 盐湖项目位于阿根廷卡塔马卡省的 Hombre Muerto 盐湖的东南部, 位于 Livent 在产 Fenix 基地以东、POSCO 的 Sal de Oro 在建项目以南, 由 Allkem (整合银河资源, 更早为银河资源收购的 Lithium One) 控制 100% 权益。该项目的资源体量、卤水禀赋较为优异。经过历史上多轮的资源量评估、工艺论证、现场试验线的建设, 项目最终采用分阶段开发的策略, 一期年产 1.5 万吨电池级碳酸锂已开始动工, 计划 2023 下半年投产, 未来二期将新增 3 万吨, 建成后的总年产能将达到 4.5 万吨碳酸锂。

- 根据 2022 年 2 月的更新披露: 阿根廷 Sal de Vida 项目拥有锂资源总量 (M+I+I) 合计 129 万吨锂金属量, 折合约 685.1 万吨碳酸锂当量, 平均锂离子浓度 752mg/L。项目总储量 (P+P) 为 32.7 万吨锂金属量, 折合约 174 万吨碳酸锂当量。此外, 盐湖项目的 Mg、Ca、B 杂质含量低, 能以较为简单的工艺获得电池级碳酸锂。
- 项目所建设的蒸发池面积约 13 平方公里 (1300 公顷), 工艺流程将以沉淀法为主, 先后通过缓冲池 (Buffer ponds)、软化、离子交换和结晶工艺实现碳酸锂产品产出: (1) 通过石灰将卤水进一步浓缩、进料; (2) 用烧碱溶液加热, 使 Ca、Mg 沉淀析出; (3) 利用离子交换设备来降低 Ca 和 Mg; (4) 加入纯碱, 在高温下生成碳酸锂。
- 根据计划, Sal de Vida 项目将利用分阶段和模块化实现协同效应、降低资本开支。项目总规划 4.5 万吨电池级碳酸锂产线, 资本开支约 7.94 亿美元, 理论运营成本约 3279 美元/吨。其中: (1) 第一阶段年产 1.5 万吨电池级碳酸锂产能计划投入总资本开支 2.71 亿美元、可研评估运营成本 3612 美元/吨, 计划电池级产品占比达到 80%, 计划在 2023 年下半年产出首批产品。(2) 新第二阶段为此前计划的阶段 II+III 的合并扩大版本, 合计规划 3 万吨碳酸锂产能, 已完成预可行性研究, 总资本开支约为 5.23 亿美元, 预可研评估的运营成本为 3113 美元/吨。

图表 170: Sal de Vida 项目位于 Salar del Hombre Muerto, 紧邻 Livent 和 POSCO 的矿权区域



资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 171: 据 2022 年 2 月更新披露, 在 500 mg/L 锂离子浓度边界品位下, Sal de Vida 具备总资源量 685 万吨 LCE

	锂金属量 百万吨	碳酸锂当量 百万吨
探明资源量 (Measured)	0.47	2.487
控制资源量 (Indicated)	0.7	3.743
探明资源量+控制资源量 (M+I)	1.17	6.23
推断资源量 (Inferred)	0.12	0.621
总资源量 (M+I+I)	1.29	6.851

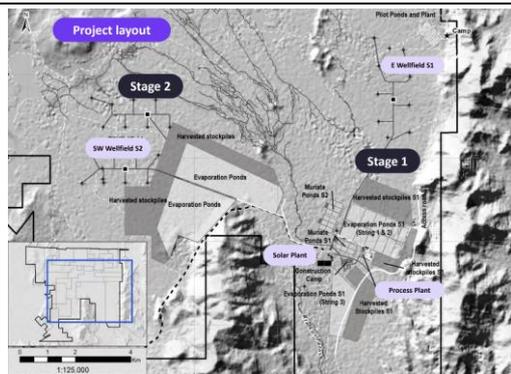
资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 172: 据 2022 年 2 月更新披露, 在 500 mg/L 锂离子浓度边界品位下, Sal de Vida 具备总储量 174 万吨 LCE

	区域	锂金属量 吨	碳酸锂当量 吨
证明储量 (1-6 年)	东部	16908	90000
证明储量 (3-8 年)	西南部	33817	180000
总证明储量 (1-8 年)		50725	270000
概略储量 (7-40 年)	东部	95828	510074
概略储量 (9-40 年)	西南部	180365	960045
总概略储量 (7-40 年)		276193	1470118
总储量 (40 年)		326919	1740119

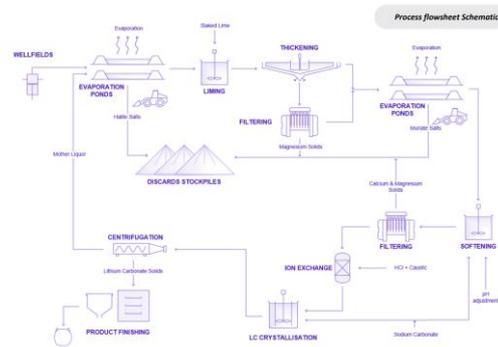
资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 173: 未来二期、三期将采用模块式添加进行扩能



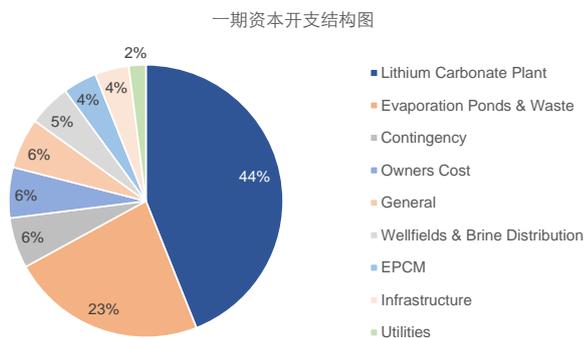
资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 174: Sal de Vida 项目的工艺将采用更简化的提锂流程



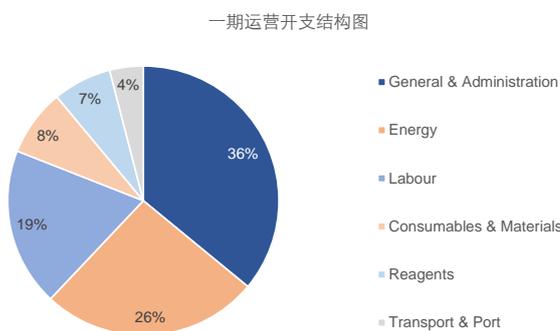
资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 175: 蒸发池和碳酸锂工厂占总资本开支约 44%



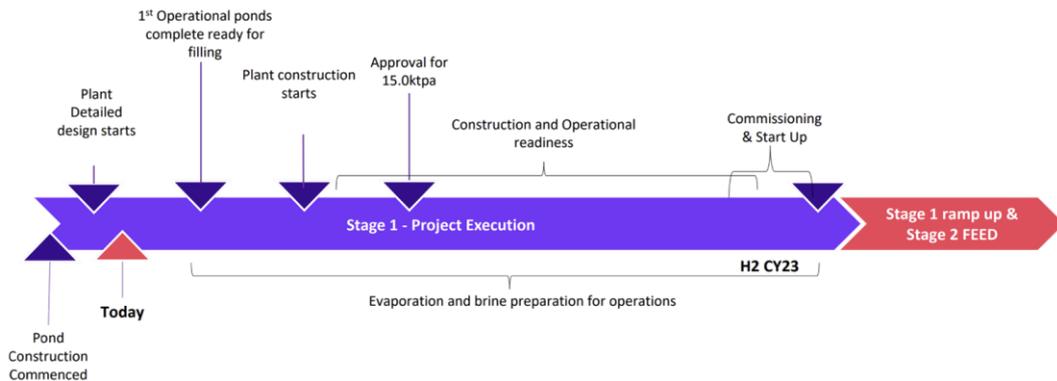
资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 176: 一期可研评估的运营成本为 3612 美元/吨



资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 177: Sal de Vida 项目一期计划在 2023 下半年投产



资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

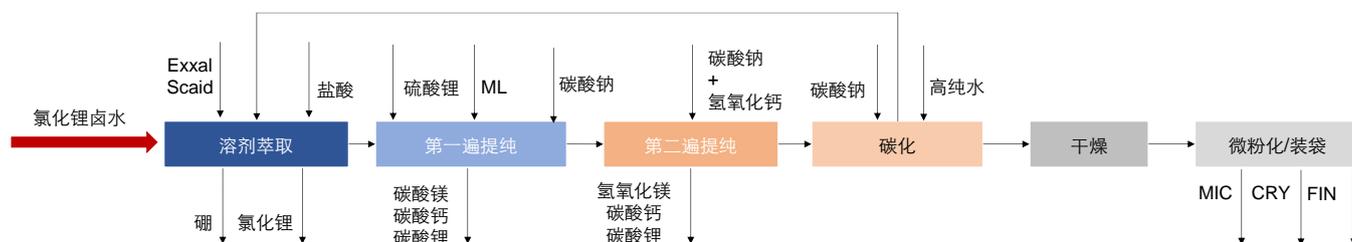
对于禀赋一流、采用沉淀法的盐湖提锂龙头，精细化、提高收率也成为共识

盐田沉淀法是锂行业内商业化案例最多、最传统的盐湖提锂工艺，尤其在资源禀赋、自然条件优异的南美一线盐湖项目上大多采用此路线。目前主流沉淀法分成两类，一类是以 SQM 以及雅保在智利 Atacama 盐湖为代表的盐田蒸发沉淀法，另一类是以 Allkem 的 Olaroz（在产）、赣锋/LAC 的 Cauchari-Olaroz（在建、即将投产）为代表的沉淀法，除了依靠蒸发晒晒，还在盐田中加入大量生石灰，以降低硫酸根和镁离子。

过去的沉淀法属于一种成熟但相对粗放式的工艺，不仅锂的整体收率较低，同时后端的碳酸

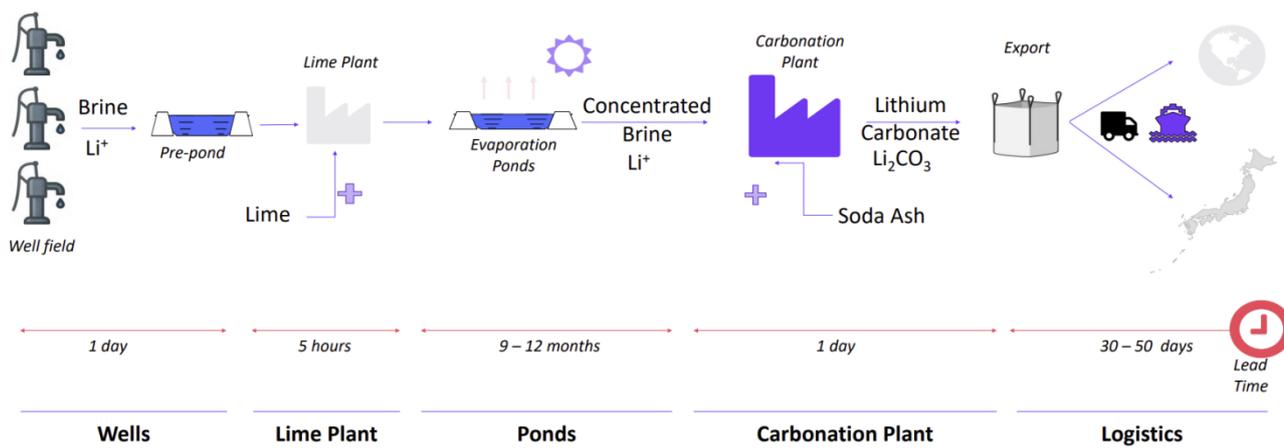
锂产品也以工业级为主。但伴随全球矿产行业环保标准的提高、欧美新能源汽车终端下游对于 ESG 愈发严格的要求、以及需求侧的爆发式增长对于锂资源供给效率的需求，我们关注到传统粗放式的盐田沉淀法正在走向精细化，对于锂在盐田系统中的损失研究的更加深入，大部分产能均在追求精益生产实施技改，从而在不扩大卤水抽取、不扩大淡水消耗，甚至在大幅减少卤水抽取、减少淡水消耗的前提下，实施提锂产能的大幅增长，优化产品品质。

图表 178: SQM 在获取氯化锂溶液后，通过萃取除硼、两次提纯和碳化后获得碳酸锂产品



资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 179: 阿根廷 Olaroz 盐湖提锂采用的工艺流程, 需在盐田中加入大量的生石灰



资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

智利 Atacama 盐湖——SQM: 全球最大的盐湖提锂企业，大幅扩产的同时显著降低抽卤量

智利 Atacama 盐湖位于南美锂三角区的智利北部安托法加斯塔地区，盐湖长约 100 公里、宽约 80 公里、海拔约 2300 米（十分理想），是全球锂离子浓度最高、已探明资源量最大的盐湖，玻利维亚的乌尤尼盐湖在未来锂资源量的潜力上大概率将超过智利 Atacama，但其锂离子浓度和卤水组分远不如 Atacama 理想。

目前在 Atacama 盐湖开展钾、锂资源开发的主要是智利 SQM（智利化工矿业公司）、美国雅保（Albemarle Corporation）两家企业，根据智利 1983 年的新矿业法（锂是不可被授予矿权的战略金属），二者均不具备盐湖主要区段的采矿权，均需从矿权所有人——智利国有机构 Corfo 手中获得租约以及提锂额度进行生产。SQM 自 1993 年即与 Corfo 签订租约，开采权面积覆盖 819.2 平方公里（81920 公顷），近一次续签的租约至 2030 年到期，SQM 拥有锂金属配额为 34.95 万吨锂金属量，折合碳酸锂当量 186 万吨，未来租约到期后需重新谈判。

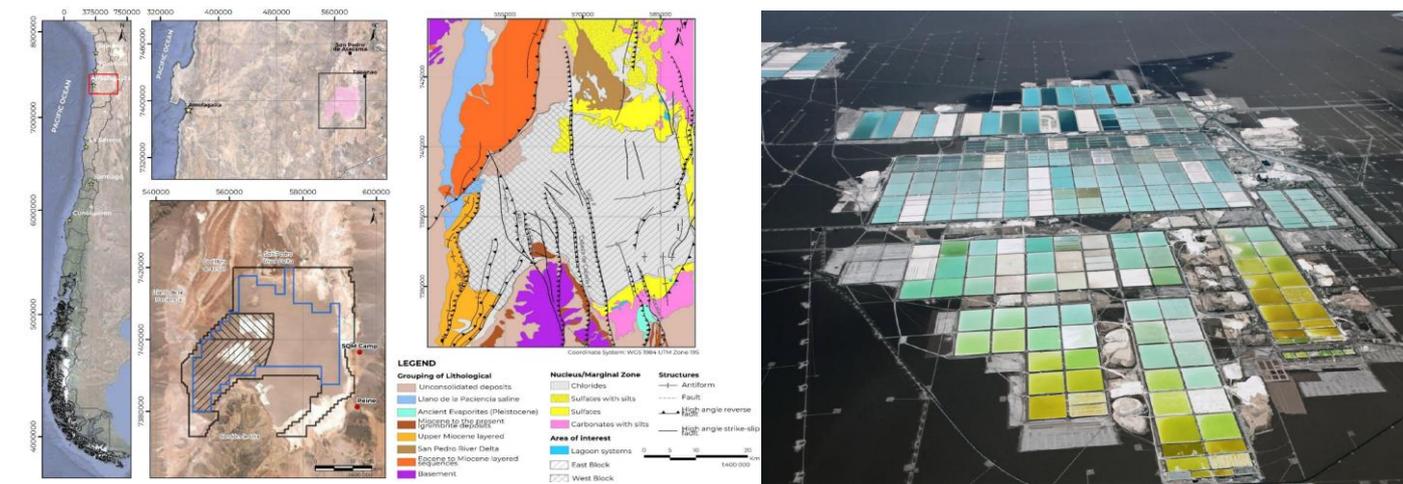
凭借 Atacama 得天独厚的资源优势，以及成熟的盐田系统、相对完备基础设施保障，SQM 成为全球最大的盐湖提锂生产商、占全球锂资源供给份额约 18%，未来领军地位也难以撼动：

- 探明资源量最大、锂离子浓度最高：根据 2021 年年报数据披露，Atacama 盐湖的探明锂资源量全球最大，达到 1080 万吨锂金属量，折合 5749 万吨碳酸锂当量，其中探明+控制等级合计 820 万吨金属量，折合 4365 万吨碳酸锂当量，锂离子浓度高达 1835mg/L（全球最高），镁锂比仅为 6.5:1。
- SQM 在 Atacama 盐湖矿区主要由 4 个部分组成，包括矿源与水供应系统、蒸发池、硫酸钾区域（SOP）以及氯化钾区域（MOP）。其中，2021 年已建有 379 口平均深度在 39.5 米的抽卤井、360 个合计 25.55 平方公里（2555 公顷）的蒸发池（10.33 平方公里用于蒸发提取氯化钠、9.86 平方公里用于蒸发提取氯化钾、硫酸钾和氯化钠、5.36 平方公里用于提取光卤石、氯化锂及菱镁矿），同时配有 9 个加工厂等。而在 Carmen 生产区，主要设施包括氯化锂等储存区、碳酸锂工厂（硼 SX、净化、碳化环节）、氢氧化锂工厂等。
- 成本最低：凭借资源禀赋，SQM 生产的碳酸锂成本处全球低分位，根据 2021 年技术报告评估（在全球通胀的大背景下），包括原料消耗和人工在内的生产运营成本约 3000 美元/吨，而历史上曾一度低于 2000 美元/吨。但需注意，SQM 包括雅保均需向智利 Corfo 支付从价计征的租约费用（钾、锂产品），根据售价采用进阶费率、最高一档达到 40%，此外每年还需向当地区域发展（盐湖年收入的 1.7%）、盐湖周边社区（每年 1000-1500 万美元）、研发（每年 1100-1900 万美元）进行投入，因此 SQM 的全成本被大幅抬高、并随价格宽幅波动。
- 建成年产规模最大：自 1994~1999 年投资 3 亿美元完成 Atacama 盐湖的初期产能建设以来（氯化钾、硫酸钾、碳酸锂、硼酸），至 2021 年 SQM 已形成碳酸锂产能 12 万吨/年、氢氧化锂产能 2.15 万吨/年，计划在 2022 年将碳酸锂产能扩大到 18 万吨/年、2023 年进一步达到 21 万吨/年，氢氧化锂也将在 2022 年扩大至 3 万吨/年、2023 年达到 4 万吨/年。但同时，公司销售锂、钾产品时，需要遵守租约执行进阶累计税率，最高可达 40%（与 Albemarle 一致）；以及承诺每年进行固定数额投资在研发、社区、当地经济等领域，这都无形中提升了公司的生产成本和固定投资。

在工艺流程上，SQM 采用经典的盐田沉淀法，在 Atacama 盐湖周围的蒸发池中通过太阳能蒸发，逐级沉淀出岩盐、钾石盐、光卤石，最后得到 5.6~6.2%的富锂老卤（晒卤周期约 12 个月），再将此老卤通过卡车运输至安托法加斯塔港口附近的 Salar del Carmen 进一步处理，萃取除硼、除杂、沉锂得到碳酸锂。其中的关键点在于，SQM 过去构建盐田的思路是以钾为主产品、锂为副产品，因此建成了两处大规模的盐田分别生产氯化钾、硫酸钾，过去提锂产能不足（需求未起来）主要是将含锂的老卤直接出售或者回注矿区，因此在目前锂的产能扩张中，SQM 无须再新建盐田、无须扩大抽卤量、也无须扩大钾肥的生产规模（甚至在减少），便可快速、Capex 可控、相对灵活的提高盐湖矿区的锂资源产能。

为了满足更高的 ESG 标准，降低抽卤、盐湖资源开发对于生态环境和周边社区的影响，SQM 的可持续发展方案中计划减少陆地淡水消耗、减少碳排放、减少盐湖抽卤。其中，（1）计划在 2019 年的基础上即刻减少 30%的陆地淡水用量，至 2030 年削减 50%的用量；（2）至 2040 年实现全部产品线的碳中和，锂、钾和碘在 2030 年提前实现；（3）通过提升收率和生产效率，在 2020 年 11 月份开始主动将卤水抽取量即刻降低 20%，直至 2030 年达到减少 50%抽取量的水平。

图表 180: Atacama 盐湖位于 Antofagsta 港口以东 208 公里



资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 181: Atacama 盐湖在 SQM 的矿权区域内拥有 1080 万吨锂金属的资源量, 折合 LCE 为 5749 万吨

资源等级 (2021 年技术报告)	平均锂离子浓度	总量	平均钾浓度	总量
	(wt.%)	锂金属 (百万吨)	(wt.%)	钾金属 (百万吨)
探明资源量 (Measured)	0.20	5.4	1.8	49.8
控制资源量 (Indicated)	0.16	2.8	1.7	30.0
小计 (M+I)	0.18	8.2	1.77	79.8
推断资源量 (Inferred)	0.13	2.6	1.77	34.9
资源总量 (M+I+I)	0.17	10.8	1.77	114.7

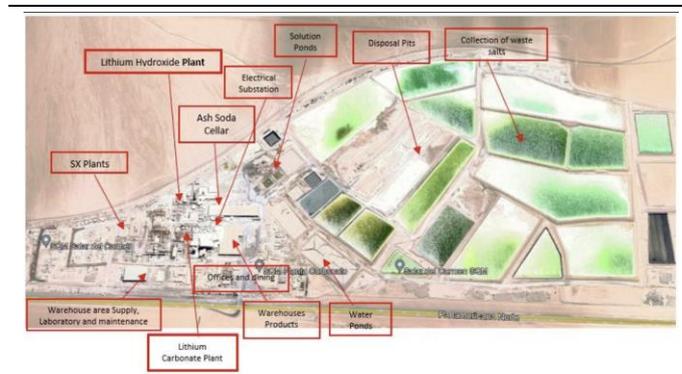
资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 182: In-situ 口径下, SQM 在 Atacama 盐湖采矿区域内的锂储量合计为 36 万吨, 折合 LCE 约为 195 万吨

分类 (2021 年技术报告)	平均提锂离子浓度	锂金属储量	折合碳酸锂当量
	(wt.%)	(百万吨)	(百万吨)
证实储量 (Proven)	0.2	0.22	1.20
概略储量 (Probable)	0.2	0.14	0.75
储量合计	0.2	0.36	1.95

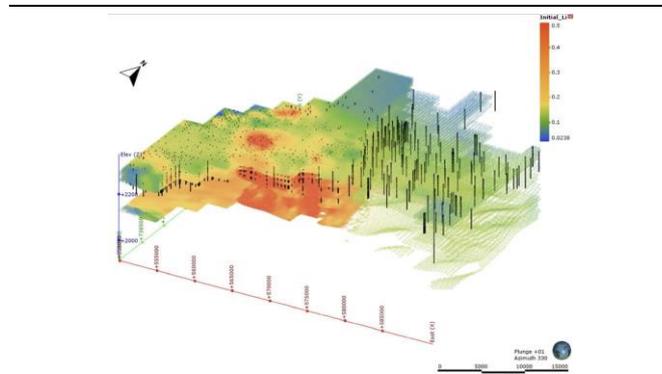
资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所 (2021 年披露储量估算基于地下和可排水互连孔隙体积中的现场盐水浓度)

图表 183: SQM 旗下 Salar del Carmen 配套锂盐厂的布局图



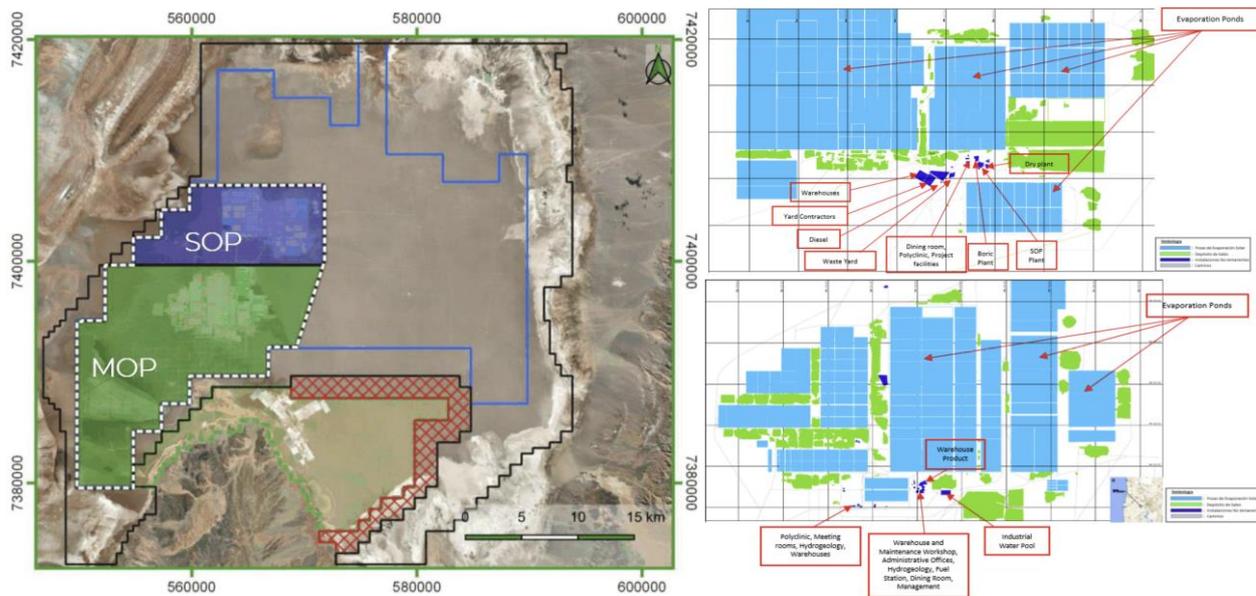
资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 184: Atacama 盐湖模型中的锂离子浓度分布 (%)



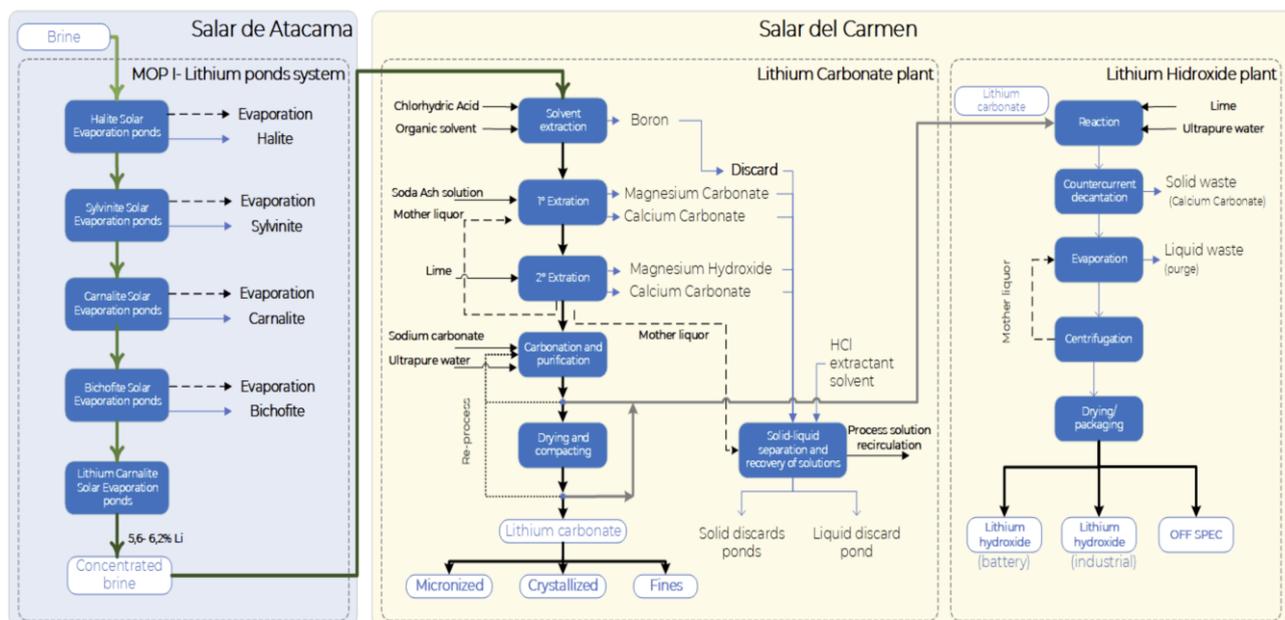
资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 185: SQM 旗下氯化钾 (MOP) 和硫酸钾 (SOP) 盐田的布局规划



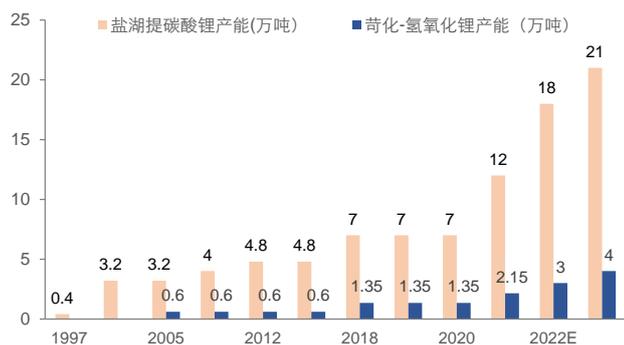
资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 186: SQM 在智利 Atacama 盐湖、配套 Salar del Carmen 锂盐厂中采用的工艺流程图



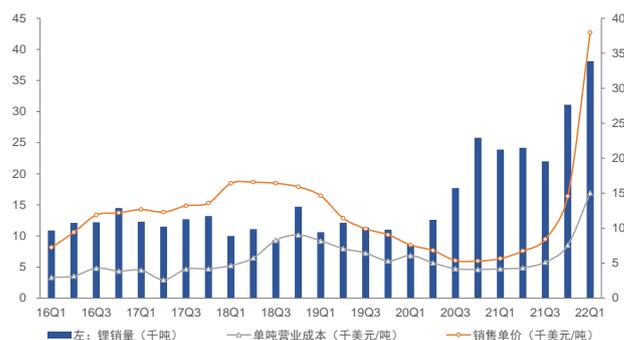
资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 187: 2023 年碳酸锂与氢氧化锂产能规划分别为 21 万吨、4 万吨



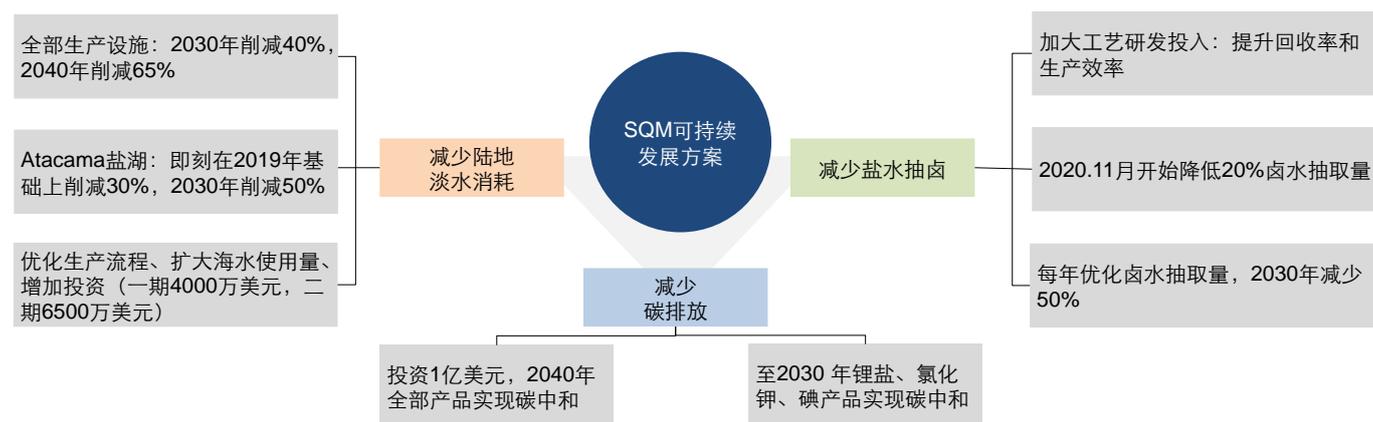
资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 188: SQM 扩能后销量屡攀新高, 22Q1 锂销量达到 3.81 万吨



资料来源: SQM 公司公告, 五矿证券研究所

图表 189: SQM 在 Atacama 盐湖的可持续发展目标已成为行业标杆



资料来源：SQM 公司公告，五矿证券研究所

智利 Atacama 盐湖——Albemarle: 2022 年有望部署回收率优化技术, 从 40%提高至 65%

在智利 Atacama 从事盐湖资源开采的另一资源商为美国的 Albemarle Corporation (雅保公司), 是全球最大的锂及其衍生物生产商。雅保及其前身(从 Foote、Cyprus Foote、Chemetall、Rockwood 最后到雅保)在智利 Atacama 盐湖的开发历程悠久, 在 1960 年代发现卤水资源、1975 年初与智利政府签署富锂老卤开发的长期协议并获得首期 20 万吨锂金属量的开采配额、1981 年启动盐田建设并于次年启动 La Negra 锂盐厂的建设。2015 年雅保并购 Rockwood 正式切入锂行业, 并于 2016 年底与智利 Corfo 重新签订盐湖租约, 目前围绕 Atacama 已建成约 8.5 万吨/年的碳酸锂产能。

- 根据雅保在 2016 年底与智利 Corfo 重新达成的协议, Atacama 盐湖的租约期限延长至 2043 年, 矿权面积约 167 平方公里 (16700 公顷), 提锂配额在原来 20 万吨锂金属当量剩余数量的基础上, 额外新增 262,132 吨, 从而将雅保手中总额度提升至 340,170 吨锂金属量 (截至 2021 年 8 月底数据), 折合超过 181 万吨碳酸锂当量, 配额使用的到期时间为 2044 年 1 月 1 日。
- 与同在 Atacama 经营的 SQM 相比, 雅保的租约面积更小, 但锂离子浓度同样优良, Atacama 盐湖盆地的最低、最高、平均锂离子浓度分别达到 900mg/L、7000mg/L、1400 mg/L。据雅保 2021 年报披露, 矿区内拥有锂资源总量 (探明+控制+推断) 为 149.1 万锂金属量, 其中探明+控制资源为 136 万吨锂金属量, 对应平均锂离子浓度 1959mg/L; 矿区拥有锂资源储量 (证实+概略) 为 64.7 万吨锂金属量, 对应锂离子浓度高达 2071mg/L。
- 在生产流程上, 雅保与 SQM 类似但在除杂环节又略有不同。在抽取含锂约 0.2% 的原卤后, 利用太阳能在盐田中蒸发浓缩, 在 5 套的盐田系统中摊晒 18 个月后 (SQM 仅需 12 个月), 将富集至约 6% 的老卤运输至位于安托法加斯塔港口附近的 La Negra 工厂进行碳酸锂的生产。与 SQM 差异最大之处在于, 雅保的盐田系统最初便以锂作为主产品、钾肥仅作为锂业务的副产品, 因此雅保的盐田面积较小。但其每一次的产能扩张均需要投建新的盐田蒸发系统、并蒸发晒卤, 加上出货产品严格要求以电池级为标准, 因此其产能爬坡与产品认证周期较慢。
- 雅保在 Atacama 盐湖的生产成本与 SQM 类似, 仅约 3000 美元/吨 (CIF 亚洲), 卤水抽取规模保持在约 442 L/s。我们认为, 考虑到 Atacama 盆地的生态循环和淡水水位, 未来雅保和 SQM 再去扩大卤水抽取强度的难度较大, 唯有通过提高收率来提升产量。

- 为了追求更高的 ESG 标准、同时在当前的抽卤强度下扩大锂资源产出，雅保已开发出一项提高回收率的卤水提锂新技术，公司在 2021 年的盐田收率仅约 40%，计划在 2025 年大幅提高至 65%，若该技术全面部署上线（根据公司规划，2022 年有望启动），雅保在 Atacama 盐湖上的生产规模将显著提升。虽然也需要重新与 Corfo 协商沟通、扩大额度和年均生产量，但其难度比扩大抽卤量将更容易审批通过，同时也将实现公司、智利政府、当地社区的多赢。

图表 190：Albemarle 在其 Atacama 盐湖矿权区域内，拥有锂资源总量合计 149.1 万金属吨，折合 LCE 为 793.9 万吨

资源等级	平均锂离子浓度		锂金属资源量
	(mg/L)		(千吨)
探明资源量 (Measured)	2211		717
控制资源量 (Indicated)	1747		642
小计 (M+I)	1959		1360
推断资源量 (Inferred)	1593		131

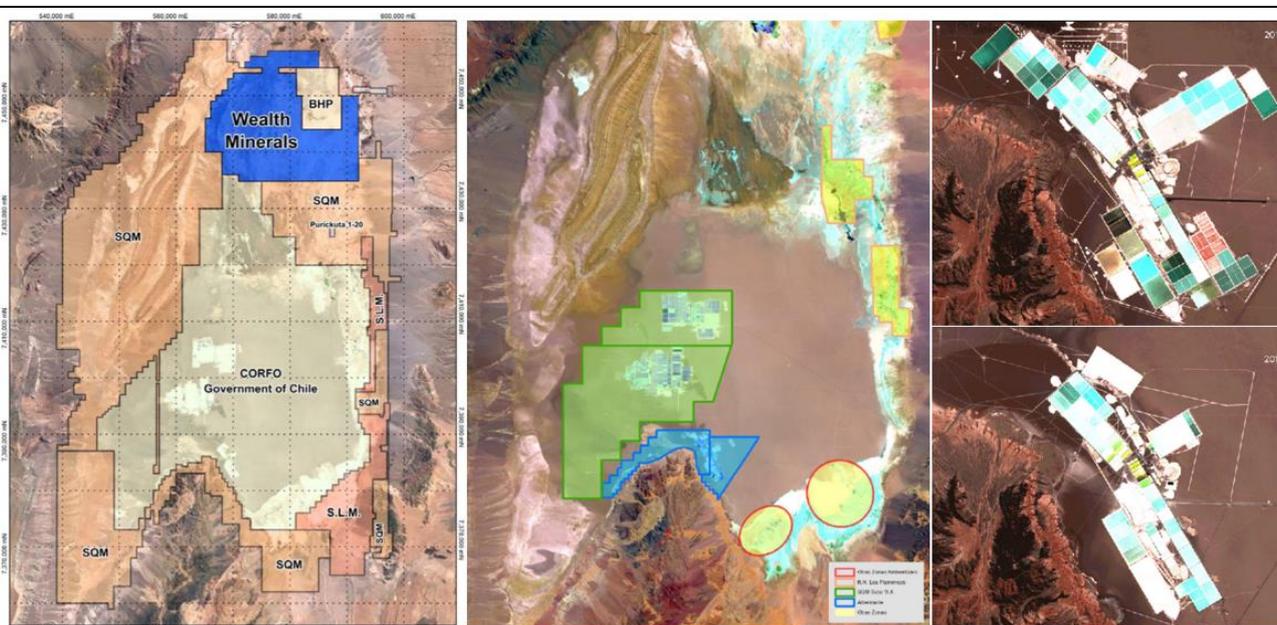
资料来源：Albemarle 公司公告，五矿证券研究所

图表 191：Albemarle 在 Atacama 盐湖矿权区域内的锂资源储量达到 64.7 万金属吨，折合 LCE 344.3 万吨

分类	平均锂离子浓度		锂金属储量
	(mg/L)		(千吨)
证实储量 (Proven)	2190		323
概略储量 (Probable)	1927		324
储量合计	2071		647

资料来源：Albemarle 公司公告，五矿证券研究所

图表 192：智利 Atacama 盐湖的矿权归属，ALB 与 SQM 的租赁区域划分，以及 ALB 的盐田扩张



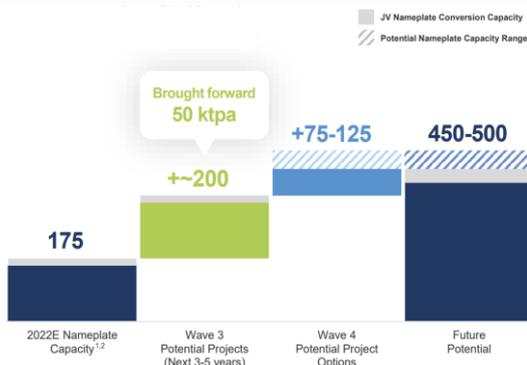
资料来源：ENGINEERING AND TECHNOLOGY，各公司公告，五矿证券研究所

图表 193: 雅保位于 Atacama 盐沼南缘的水文地质概念模型



资料来源: Albemarle 公司公告, 五矿证券研究所

图表 194: 雅保公司未来整体的产能扩张路线图



资料来源: Albemarle 公司公告, 五矿证券研究所预测

图表 195: 在智利盐湖方面, Albemarle 已完成 La Negra III/IV 扩能, 未来将通过收率优化项目实现增量



资料来源: Albemarle 公司公告, 五矿证券研究所

阿根廷 Olaroz 盐湖——Allkem: 2022 年底产能将扩大至 4.25 万吨, 从粗放走向精细化

Olaroz 盐湖位于阿根廷胡胡伊省, 距离智利边境不远, 物流运输相对便利, 其资源体量位于全球前列。Allkem 的前身 Orocobre 在 2008 年即对 Olaroz 盐湖进行勘探, 2010 年引入日本丰田通商 (TTC), 加上阿根廷胡胡伊省投资平台 JEMSE 的干股股权, 三方分别持有项目运营平台 66.5%、25% 和 8.5% 股权。Olaroz 项目于 2012 年 11 月启动建设、2015 年初投产、4 月份发出首批商业化生产的碳酸锂产品, 当时是 20 多年来第一座新投产盐湖提锂设施。此外, 该项目还是日资企业在南美锂资源的重要布局, 日资股东、日系银团为项目的一期、二期建设提供了低息的贷款支持, 日本国资的 JOGMEC 提供了担保, 碳酸锂产品由丰田通商独家代理销售。Olaroz 一期建成产能为碳酸锂 1.75 万吨/年, 2022 下半年二期投产后, 碳酸锂总产能将扩大至 4.25 万吨/年。

- 根据 2022 年 Allkem 披露, Olaroz 项目通过扩大资源勘探, 已成为全球最大的锂资源项目之一, 拥有探明+控制锂资源量 183.1 万金属吨, 折合 975 万吨碳酸锂当量。此外, 通过在 20Q2 兼并整合 Advantage Lithium, 还获取了南部 Cauchari 盐湖的部分矿权 (但主体矿权为赣锋与美洲锂业合资的 Minera Exar 所有), 该区段的探明+控制资源也高达 480 万吨碳酸锂当量。在合并口径上, Allkem 总计控制资源总量 (探明+控制+推断) 2247 万吨碳酸锂当量, 其中探明+控制资源 1455 万吨碳酸锂当量。

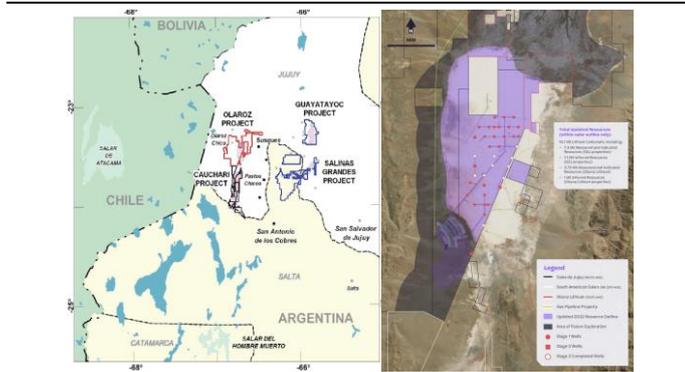
- Olaroz 盐湖提锂在 2015 年建成一期 1.75 万吨的电池级碳酸锂产能，目前在建二期 2.5 万吨的工业级碳酸锂产能（2022 下半年投产），并在日本长滨建设 1 万吨的氢氧化锂产能（已建成，22Q3 调试投产），其中长滨工厂每年将采用阿根廷盐湖二期 9500 吨的工业级碳酸锂作为原料来苛化生产氢氧化锂。此外，公司计划推进预可研工作，在 2025 年后启动 Olaroz+Cauchari 三期产能（规划再增 2.5-5 万吨碳酸锂产能）、以及 Olaroz 盐湖收率优化项目建设。
- 在工艺流程上，基于传统的蒸发沉淀法，根据卤水组分特点，公司还在盐田中加入生石灰以降低硫酸根和镁离子，后续的除硼、除杂、沉锂环节皆为传统工艺。Olaroz 盐湖的最大淡水消耗小于 20L/s，低于行业标准，并未设置尾卤储存设施，生产过程中的卤水尾液重新注入循环系统，晒池中沉淀的盐类每三年收集清除一次。
- Olaroz 在 2015 年投产以来并非一帆风顺，曾经因盐田系统中的卤水浓度波动、产品品质较低（仅能生产“粗碳级”的碳酸锂）而饱受质疑，经过全面评估、盐田系统优化、作业流程规范化、管理层变更后，目前生产已得到稳定（进入车间的老卤浓度稳定在 7000-7500ppm 范围内），一期产量实现设计水平的~75%，碳酸锂磁性颗粒下降 93%，电池级碳酸锂的产量占比在 22Q1 为 35%，未来有望提升至 50%。但我们关注到，Olaroz 一期产量的提升得益于将二期建成的盐田提前投入使用，因此未来二期建成后，该项目整体的产能利用率依然有待验证。
- 在下游客户方面，Allkem 前身 Orocobre 已与丰田汽车与松下合资的电池公司 PPES 签署了长期供应协议，至 2025 年每年供应至多 3 万吨碳酸锂当量的锂盐产品。我们认为，未来 Olaroz 将成为日系锂电企业实现锂资源保供的重要战略支点。

图表 196：2022 年 Olaroz 盐湖的 M+I 锂资源量提升至 975 万吨 LCE，加上 Cauchari 项目合计达到 1455 万吨 LCE

资源分类	Olaroz 项目——Allkem SDJ JV			Olaroz 项目——Olaroz Lithium 项目 (Allkem 100%)			Cauchari 项目 (Allkem 100%)
	锂离子浓度 mg/L	锂金属 万吨	折合 LCE 万吨	锂离子浓度 mg/L	锂金属 万吨	折合 LCE 万吨	折合 LCE 万吨
探明资源量	646	86.4	460	673	10.0	53	185
控制资源量	560-667	81.8	436	631-830	4.9	26	295
探明+控制资源量合计	650	168.2	896	687	14.9	79	480
推断资源量	654	103.0	547	718	18.0	95	150
Olaroz 项目合计	M+I: 183.1 万金属吨, 折合 LCE 975 万吨; M+I: 304.1 万金属吨, 折合 LCE 1617 万吨						-
Olaroz+Cuachari 项目合计	M+I: 折合 LCE 1455 万吨 ; M+I: 折合 LCE 2247 万吨						

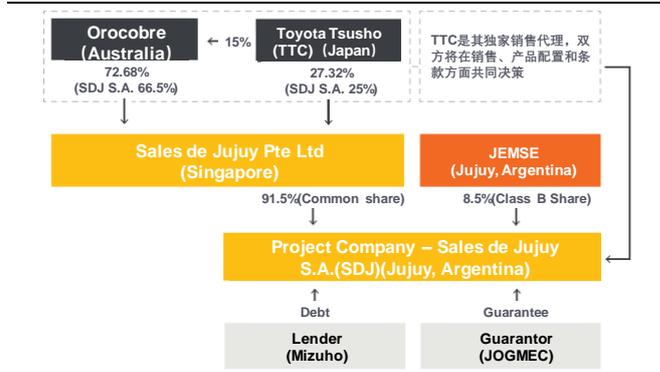
资料来源：Allkem 公司公告，五矿证券研究所

图表 197：Allkem 已将 Olaroz 项目和临近的 Cuachari 项目整合



资料来源：Allkem 公司公告，五矿证券研究所

图表 198：丰田通商为 Olaroz 盐湖的战略股东，JEMSE 持有干股



资料来源：Allkem 公司公告，五矿证券研究所

图表 199: Olaroz 一期的开发历程, 从 2008 年启动勘探到 2015 年投产



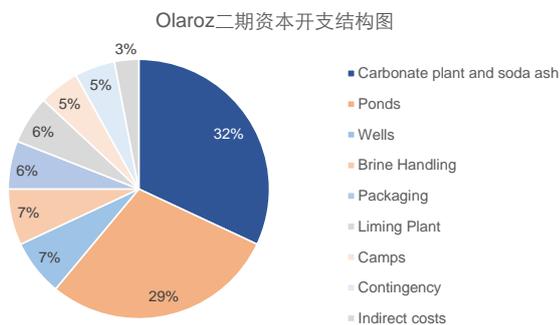
资料来源: Orocobre 公司公告, 五矿证券研究所

图表 200: Olaroz 的二期盐田设计, 以及位于日本长滨的氢氧化锂工厂



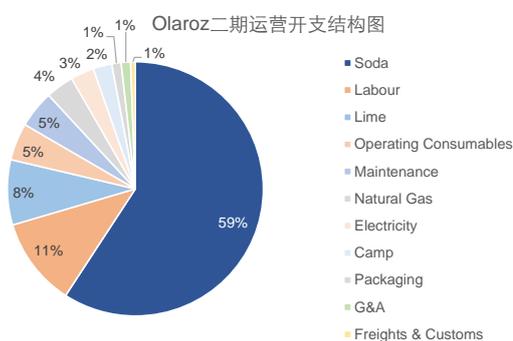
资料来源: Orocobre 公司公告, 五矿证券研究所

图表 201: Olaroz 项目二期总资本开支 3.65-38 亿美元



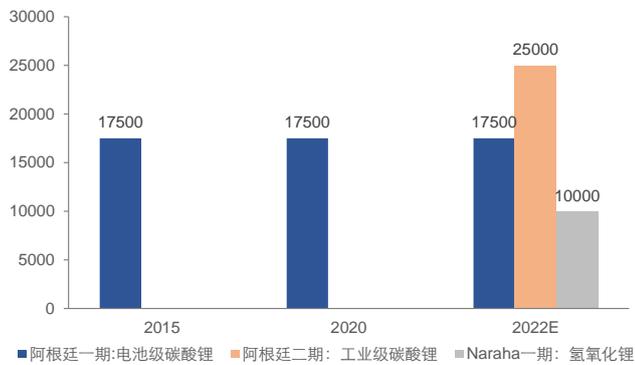
资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 202: 可研评估二期的碳酸锂运营成本为 3206 美元/吨



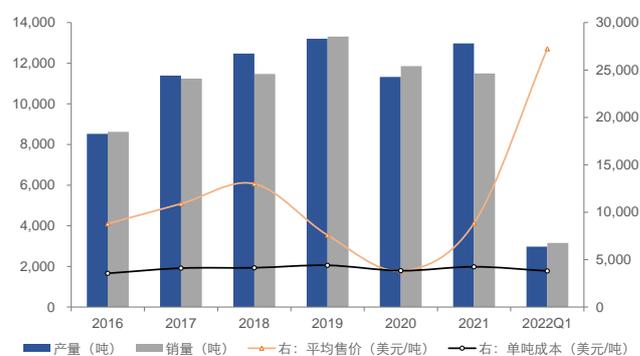
资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 203: Olaroz 盐湖的二期扩能规划在 2022 年下半年投产



资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

图表 204: Olaroz 盐湖一期在 2021 年的产能利用率达到 74%



资料来源: Allkem 公司公告, 五矿证券研究所

美国 Silver Peak 盐湖——Albemarle: 美国本土目前唯一在产的盐湖提锂, 镁锂比极低

银峰盐湖 (Silver Peak) 位于美国内华达州的 Clayton Valley。该地区曾经是美国历史上著名的银矿、金矿产区, 故形成了以“银峰”命名的矿业小镇。银峰盐湖的资源开发历程最早可追溯至 1860 年左右, 后由 Foote Minerals 公司在 1966 年正式启动开采, 是全球最早将锂作为主产品的盐湖项目, 具备里程碑意义, 后续 Foote 被 Chemetal (凯密特) 整合、而 Chemetal 又为 Rockwood Holdings 整合、最后被 Albemarle (美国雅保公司) 整体兼并, 后续雅保又将 Chemetal 作为表面处理业务的独立子公司出售给了巴斯夫。在资源禀赋方面, 虽然银峰盐湖的锂浓度并不理想, 但镁锂比极低, 仅 1.3/1.4:1, 因此适用于蒸发沉淀法进行浓缩分离。时至今日, 银峰盐湖依然是雅保在美国本土唯一在产的锂资源基地, 具备约 6000 吨的碳酸锂年生产能力, 并正在加快推进在 2025 年前扩能至 1.2 万吨的产能倍增计划。

- 雅保公司在银峰盐湖的采矿权覆盖 1.35 万英亩的区域（超过 1.05 万英亩由公司持有，其余向美国政府租赁），矿权周边的非核心区域也有数家初创资源商从事盐湖以及沉积岩型锂资源的勘探。根据 2021 年年报披露，银峰盐湖拥有：（1）资源总量 98 万吨锂金属量，其中控制+探明资源量合计 35 万吨锂金属量，对应锂离子浓度 145mg/L，推断资源量为 63 万吨锂金属量，对应锂离子浓度 121mg/L。（2）探明总储量合计约 62 万吨锂金属量，锂离子浓度 83mg/L。
- 在生产中，银峰盐湖的卤水在盐田系统中（面积超过 16 平方公里）需要花费约 2 年时间蒸发富集至 5000ppm 的含锂离子浓度，并初步除杂，再运输至盐田附近的配套锂盐厂生产碳酸锂产品。虽然经历了长期的开采，银峰的资源禀赋按照当前的生产强度依然可以支撑约 20 年的开采寿命，可为雅保补充供应一定规模的工业级锂盐产品。
- 银峰盐湖目前具备 6000 吨/年的碳酸锂产能，并配套具备一定的工业级氢氧化锂产能，2021 年 1 月雅保披露将投入 3000-5000 万美元使其碳酸锂产能在 2025 年倍增至 1.2 万吨/年。值得注意的是，银峰盐湖距离特斯拉的 Gigafactory1 仅约半小时的车程。

图表 205：银峰盐湖总体属于一个锂离子浓度低、但镁锂比极佳（1.3-1.4/1）的盐湖资源

资源等级	探明资源量 (Measured)	控制资源量 (Indicated)	小计 (M+I)	推断资源量 (Inferred)	资源量合计	证实储量 (Proven)	概略储量 (Probable)	储量合计
锂离子浓度 (mg/L)	152	143	145	121	-	88	83	84
锂资源量 (千吨)	10	25	35	63	98	13	49	62

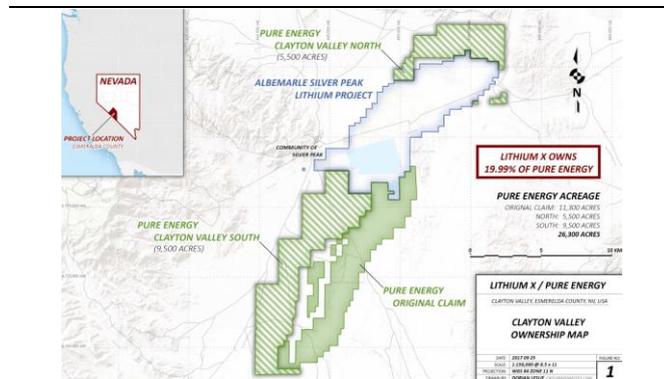
资料来源：Albemarle 公司公告，五矿证券研究所

图表 206：内华达州银峰盐湖的盐田系统，配套锂盐厂位于银峰小镇



资料来源：USGS, 五矿证券研究所

图表 207：雅保矿权覆盖银峰盐湖的核心区域，周边另有数个勘探项目



资料来源：USGS, 五矿证券研究所

非典型的卤水提锂项目：商业化探索不止步，采用直接提锂技术是必选

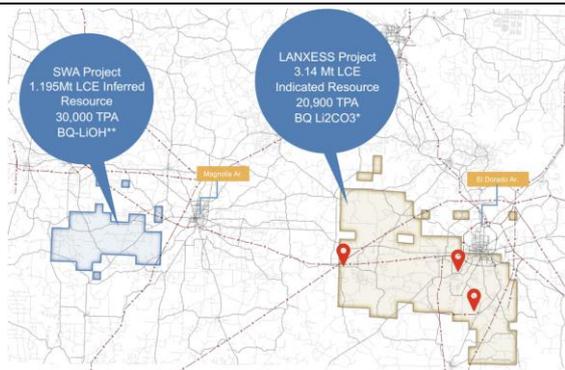
除了典型的盐湖卤水，在油田水、海相深部卤水、地热卤水中也蕴藏丰富的钾锂资源。由于此类项目难以建设盐田进行蒸发浓缩，因此必须采用原卤吸附等创新的提锂技术。不过鉴于深层卤水打井的经济性问题、卤水抽取的持续性难以预测、提取油气与提锂相互“打架”、部分项目不允许卤水回注、综合利用的可行性等问题，目前尚未得到商业化。由于此类项目多主打绿色、可持续的锂资源开发，因此成功吸引了通用、大众、雷诺、斯特兰蒂斯、LGES、优美科等下游的头部企业签署承销协议，但我们认为主要属于“风头”。整体而言，我们判断在目前成熟在产的深层卤水溴矿、地热电站的基础上，嫁接新增吸附法直接提锂的装置，是更可行的商业化路径，成败的核心在于两点：尾卤能否回注、与现有生产运营能否兼容。

美国 Arkansas Smackover 项目——标准锂业：从溴/烃尾液直接提锂，获科氏支持

标准锂业 (Standard Lithium) 卤水提锂旗舰项目为美国 Arkansas Smackover 项目，由位于阿肯色州的 Lanxess 项目和 SWA (South-West Arkansas) 项目组成，均位于 Smackover 地层上。与其他卤水提锂项目不同，公司采用的是卤水原料是液体溴矿或油气田的副产品。截至 22Q1，标准锂业立足 Lanxess 项目一方面已与 Lanxess AG 正式签署协议、全力推进 Feed 研究，规划 2022Q4 形成 DFS，同时通过定向发行获得科氏工业集团旗下 Koch Strategic Platforms 的 1 亿美元投资，并约定承购未来的锂产品、开展进一步合作。

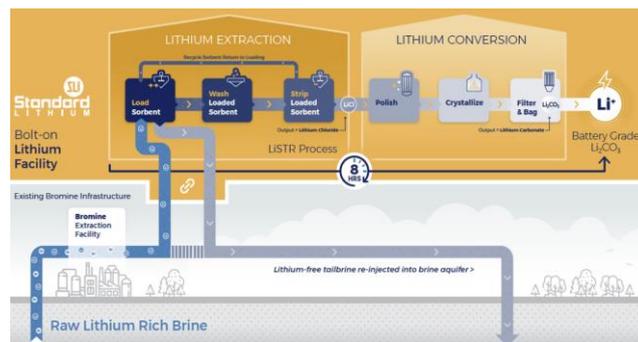
- Lanxess 项目和 SWA 项目均处于美国阿肯色州卤水最丰富的 Smackover 地区，该区域为美国油田和溴工业的核心，Smackover 地层具有全球最优异的溴含量（比海水高 30 倍），因此 Albemarle、Lanxess AG 等均在此设有提溴工厂。但在油田、溴的生产中，含锂的废卤之前是被注回地层，并未得到利用。因此，Standard Lithium 分别与全球专业化学品公司 Lanxess 以及 Tetra Technologies 达成协议，计划利用二者生产过程中的废卤进行提锂。
- 根据两大项目的 PEA：(1) Lanxess 项目是 Standard Lithium 的旗舰项目，主要原料为提溴之后的副产品卤水。项目占地约 15 万英亩，推断总资源量 59 万吨锂金属量，折合 314 万吨碳酸锂当量，平均锂离子浓度 168mg/L。(2) SWA 项目位于 Lanxess 项目以西 40 公里处，该卤水区域主要用于生产石油和天然气，提锂原料为提取烃的副产品。根据公司披露，推断锂资源量 22.5 万吨金属量，折合 119 万吨碳酸锂当量，平均锂离子浓度 255mg/L。
- Lanxess 项目与 SWA 项目分别在 2019 年与 2021 年披露 PEA：(1) Lanxess 项目计划与 Lanxess 公司旗下三个在运营的溴加工厂合作，分阶段生产电池级碳酸锂，达产后年产能 2.09 万吨，对应总资本开支达 4.4 亿美元，可研评估碳酸锂运营成本约 4319 美元/吨；(2) SWA 项目计划在 20 年项目寿命期内，年产 3 万吨的电池级氢氧化锂，主要考虑在项目南部提取卤水，将尾液注入回北部，总资本投入约 8.7 亿美元，可研评估氢氧化锂的运营成本约 2599 美元/吨。
- 两个项目均采用 Standard Lithium 自主研发的“LiSTR+SiFT”直接提锂技术。(1) LiSTR 直接锂提取工艺专为 Smackover 资源开发，LiSTR 的吸附材料是基于钛酸盐结构的固体陶瓷材料，能够在 70°C 的温度下选择性的从卤水尾矿或非盐水（未浓缩的）中获得高纯度氯化锂溶液。通过该方式，提锂时间被缩减至数小时且环境友好。(2) 此外公司还具备另一专利工艺“SiFT”，作为氯化结晶成碳酸锂环节的关键，在全自动碳酸锂结晶工厂中，配合 HPRO 渗透辅助高压装置先进一步浓缩氯化锂溶液（锂离子浓度 7000mg/L），滞后再洗涤两次获得纯度高于 99.83% 的电池级碳酸锂。此外，公司还成功将 SiFT 工艺应用于工业级加工成电池级产品的过程中。
- 截至 2022Q1，标准锂业已与 Lanxess AG 达成协议，并成立全资公司负责 Lanxess 项目所有开发，推进前端工程设计 (FEED)，在此期间拥有项目 100% 权益，计划 2022Q4 完成 DFS 报告，在完成 DFS 后，Lanxess AG 可以选择收购项目不少于 30%、至多 49% 的股权。此前，标准锂业也通过定向发行获得了美国工业巨头——科氏工业集团下属投资平台 Koch Strategic Platforms 的 1 亿美元投资，用以合作推进项目开发及直接提锂工艺的产业化，同时 Koch 也签署了意向书将承购项目未来生产的锂产品，并帮助项目采购关键原料及试剂。

图表 208: 标准锂业涉足的两个主要项目



资料来源: Standard Lithium 公司公告, 五矿证券研究所

图表 209: LISTR 直接提锂工艺的简易流程图



资料来源: Standard Lithium 公司官网,五矿证券研究所

图表 210: SiFT 碳酸锂结晶工厂的内部装置



资料来源: Standard Lithium 公司公告, 五矿证券研究所

图表 211: LANXESS 项目工厂实景图



资料来源: Standard Lithium 公司公告,五矿证券研究所

图表 212: 两个项目的 PEA 展现了出色的 IRR

PEA 要点	Lanxess 项目	SWA 项目
设计产能 (吨)	碳酸锂: 20900 吨	氢氧化锂: 30000 吨
项目寿命	25 年	20 年
总资本开支 (百万美元)	437	870
年运营成本 (百万美元)	90	78
单吨运营成本 (美元/吨)	4319	2599
假设锂销售均价 (美元/吨)	13550	14500
税前 NPV@8% (百万美元)	1304	2830
税后 NPV@8% (百万美元)	989	1965
税前 IRR@8%		41.80%
税后 IRR@8%		36%

资料来源: Standard Lithium 公司公告, 五矿证券研究所

美国 Arkansas 提溴尾液——Albemarle: 自主研发 DLE 提锂, 曾运营试点工厂

雅保作为全球第二大的溴特种化学品生产商, 依托约旦死海和美国阿肯色--全球两大品位最佳的溴资源地从事资源提取, 构建了从资源、基础产品、再到特种化学品--成熟的垂直一体化供应链。旗下两大溴矿资源的卤水浓度全球顶尖, 生产成本全球最低, 其中在阿肯色州南部租赁的卤水矿权配套 Magnolia 工厂产出了公司约 45%的溴产品, 并且按照目前的开采强度还可连续生产数十年。

早在 2011 年 Albemarle 就曾开发出直接提锂工艺，能够从 Magnolia 溴工厂的提溴后的卤水提取碳酸锂，并计划通过该技术建设运营试点工厂，但考虑到提取的锂的质量问题以及当时运营成本和资本压力较大，因此并未继续推进。

图表 213: 雅保位于阿肯色州西南部 Magnolia 的溴素提取工厂



资料来源: Google Maps, 五矿证券研究所

图表 214: 雅保在阿肯色州 Smackover 地层拥有大面积地下卤水溴矿



资料来源: Albemarle 公司公告, 五矿证券研究所

图表 215: 雅保公司在溴业务上拥有成熟的“优质资源+化工产能”上下游垂直一体化的生产体系



资料来源: Albemarle 公司公告, 五矿证券研究所

美国加州 Salton Sea 地热卤水——BHER: 伯克希尔·哈撒韦旗下的地热卤水提锂项目

Berkshire Hathaway Energy Renewables (BHER) 由 Berkshire Hathaway 控股，在位于美国加州的最南部的 Salton Sea (索尔顿海) 布局地热提锂项目。Salton Sea 为加州最大的湖泊，面积达到 343 平方英里，由于处在岩浆活动连接板块边界，因此地热能源丰富，是全球最大的地热资源之一，湖区周边有 11 座运营中的地热发电站，其中 10 座为 BHER 所有。

2019 年 BHER 开始推动 Salton Sea 地热提锂项目，2020 年 5 月该项目已获得加州能源委员会 (CEC) 的批准。截至 2021 年底，公司采用专有的离子交换工艺以实现从流动的卤水中过滤出锂，已在周边的 Imperial Country 运营两座示范工厂来生产碳酸锂或氢氧化锂，第一座工厂计划先从卤水中提锂、在 2022 年 4 月运行，第二座计划转化为锂盐产品，若项目商业化验证成功，则计划 2024 年最早开始推进商业化运作。

图表 216: BHER 的地热发电厂



资料来源: CNBC, 五矿证券研究所

图表 217: 2021 年的 BHER 的提锂演示工厂



资料来源: BHE 公开资料, 五矿证券研究所

德国地热卤水——Vulcan Energy: 将地热能开发与卤水吸附提锂相结合, 直击欧洲痛点

澳大利亚和德国法兰克福两地上市的初创企业 Vulcan Energy Resources 聚焦于德国上莱茵河谷的深层地热卤水项目 (Upper Rhine Valley), 设想和规划将“运营地热资源、以解决德国的能源危机”与“从地热卤水中进行商业化提锂”相结合。在地热资源上, 德国目前共有 37 座运营中的地热电站, 尤其上莱茵河谷的地热能丰富, 公司计划组建一支技术团队推进地热能的发展; 在锂业务上, 公司设计采用原卤吸附技术从深层地热卤水中直接提锂, 并将尾液回注地下, 规划年产 4 万吨的氢氧化锂, 项目当前正推进 DFS (2022 年下半年完成), 规划 2024 年分阶段投产。

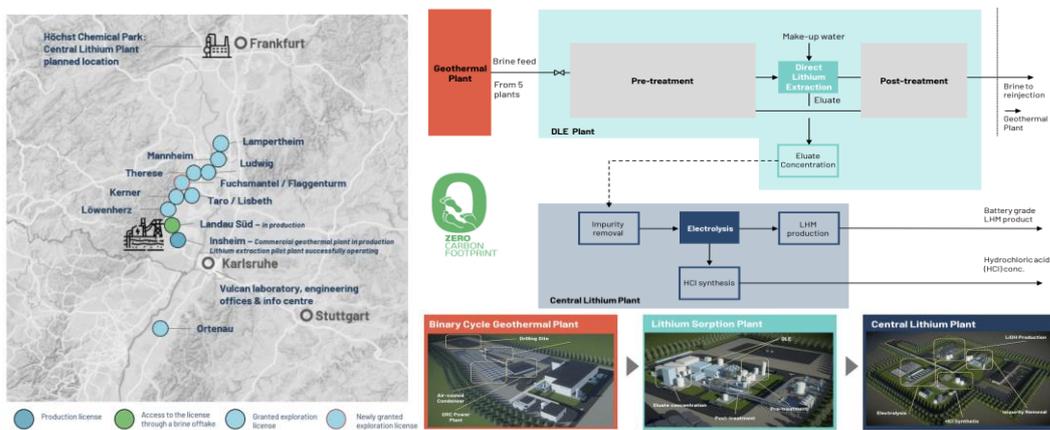
由于主打“欧洲本土的清洁可再生能源、绿色零碳提锂、以及欧洲本土的锂资源开发”等标签, 正是欧洲新能源汽车产业链焦虑的痛点, 因此理念前卫的 Vulcan Energy 获得了多家锂电材料、电池以及欧洲车企巨头的关注, 其中车企 Stellantis 已成为公司的第二大股东 (持股 8%), 同时也与优美科、LGES、大众、Stellantis、雷诺签订了包销协议, 锁定了投产前 5 年的全部产能。我们认为, 公司的业务设想无疑对于全球锂行业具备参考意义, 但地热能开发、原卤提锂 (包括后端的锂化合物生产) 均为高度专业化且资本投入沉重的领域, 兼顾实施在实践中存在难度。

- Vulcan Energy 全资控股 9 个地热卤水探矿许可证, 锂资源总量约 1585 万吨碳酸锂当量, 分布在德国、意大利、法国等地, 此外公司还与位于上莱茵河谷的地热电站 geox GmbH 签订了一份为期 20 年的卤水承购协议, 从其卤水中提锂后、返回电站重新注入地下。Vulcan 计划在 2022 年下半年完成第一阶段的 DFS, 并在 2022 年底和 2023 年分别在第一阶段区域和第二阶段进行钻探。
- 作为产业化的基础, Vulcan Energy 正在德国建设吸附直接提锂的展示工厂, 从 5000-6000 L/h 的地热卤水中, 生产 15-20kg/h 的浓缩氯化锂溶液, 截至 2022 年 4 月, 已完成设计工作, 并采购了 80% 的所需设备, 计划 22Q3 开始生产, 生产规模相对于未来首期的商业化产能将达到 1:200 的比例。此前, 公司已在一座运行中的地热电站上建设了试验工厂 (Pilot Plant 1), 在 2021 年 4 月启动运营, 并测试了来自杜邦等多家公司的吸附剂, 锂离子浓度稳定且杂质含量低, 回收率平均 94-95%, 高于 2021 年预可研的设计水平。此外, 公司还在法兰克福附近的化工园区建设一座氢氧化锂的展示工厂 (LiLy), 未来将接收从直接提锂展示工厂生产的氯化锂溶液, 与 Nobian 公司合作开发将氯化锂电解生产电池级氢氧化锂的技术。
- 公司规划年产 4 万吨氢氧化锂, 将分两阶段推进。第一阶段规划年产 1.5 万吨氢氧化锂, 计划 2024 年投产, 2025 年开始第二阶段扩能, 新增 2.5 万吨。在第一阶段规划中, 公司已在 2021 年 12 月收购了德国一家可再生能源电厂 Natürlich Insheim 为项目提供绿

色电力支持，后续还将继续推进电厂收购来实现无化石能源使用的目标。

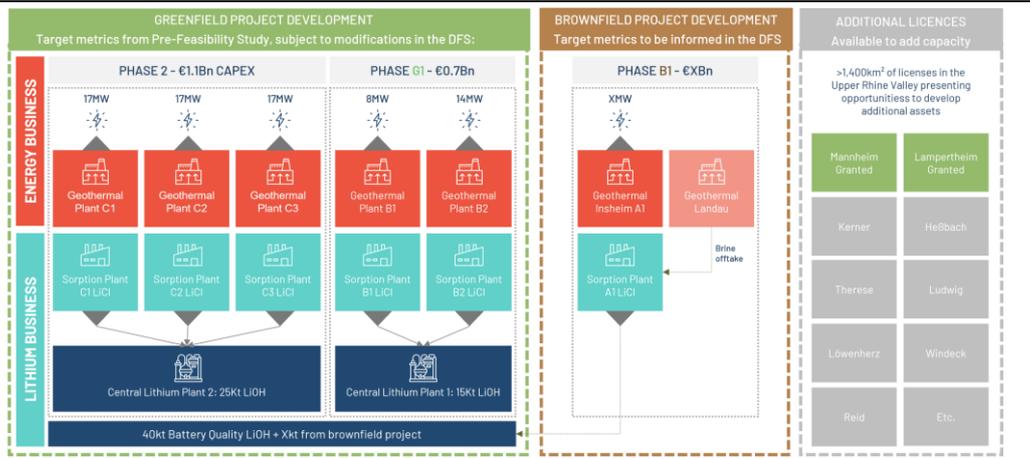
- 截至 2022Q1，Vulcan Energy 已与优美科、LGES、大众、Stellantis、雷诺汽车签订了为期 5-6 年的氢氧化锂产品供应协议，几乎已锁完投产前 5 年的全部产能，公司计划在 2025-2026 年开始商业化供货。

图表 218: Vulcan 将开发地热能源、并从深层地热卤水中吸附提锂、电解生产氢氧化锂，再将尾液注入回地下



资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 219: 公司将分为两期合计打造年产 4 万吨的氢氧化锂产能



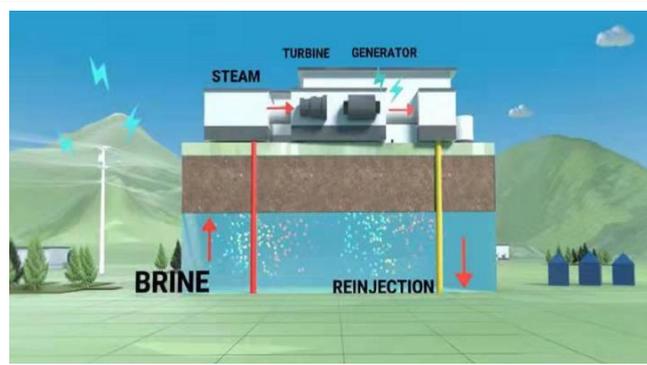
资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 220: 公司正在建设 DLE 展示工厂，计划 22Q3 投入生产



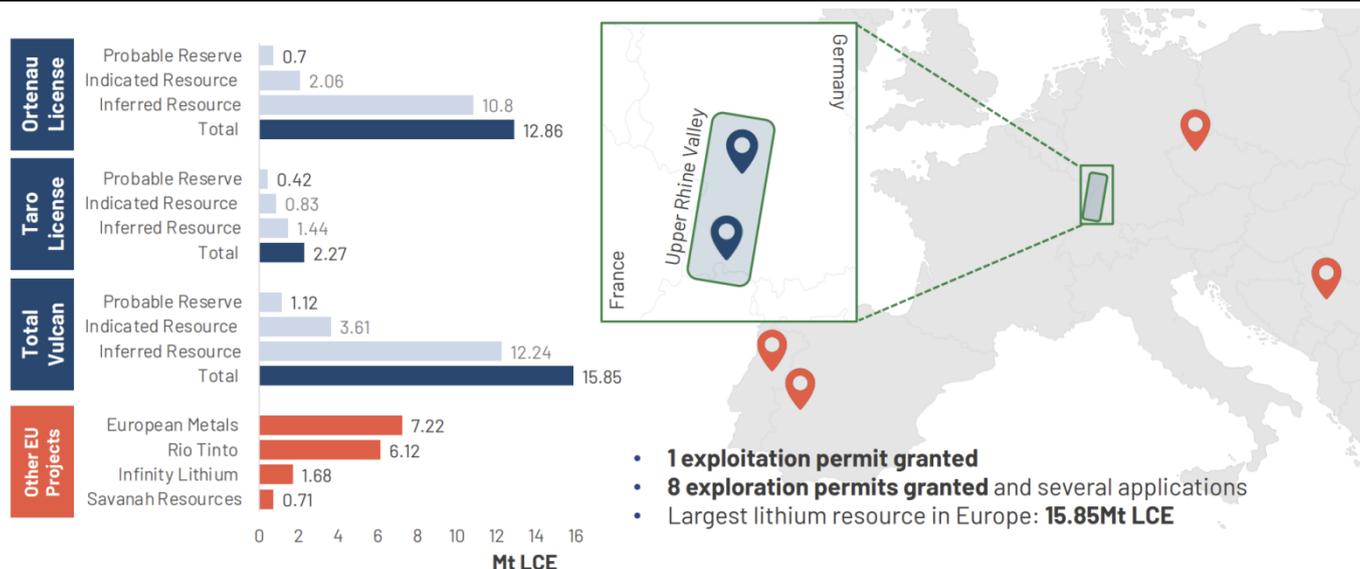
资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 221: 公司地热卤水提锂工艺示意图



资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 222: 公司估测, 其拥有的地热卤水勘探许可权处欧洲最大, 折合 LCE 约 1585 万吨



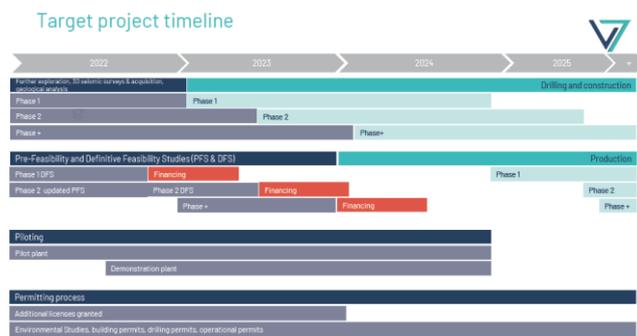
资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 223: 公司将同时发展地热能开发、地热卤水提锂两块业务



资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 224: 公司规划 2024 年实现第一阶段 1.5 万吨氢氧化锂投产



资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

图表 225: 近期 Vulcan 陆续与 5 家新能源汽车产业链优质企业签订包销协议, 前 5 年产能基本被锁定完毕

采购方	所属环节	合同类型	开始年份	周期 (年)	合约期供应量
优美科	正极	约束性氢氧化锂供应协议	2025	5	2.8-4.2 万吨
雷诺	整车		2026	6	2.6-3.2 万吨
Stellantis	整车		2026	5	8.1-9.9 万吨
大众	整车		2026	5	3.4-4.2 万吨
LGES	电池		2025	5	4.1-5 万吨

资料来源: Vulcan Energy 公司公告, 五矿证券研究所

海外其他非典型提锂项目: 地热卤水提锂主要集中在欧美, 油气田提锂集中于加拿大与美国

目前地热卤水提锂取得积极进展的项目主要集中于欧洲上莱茵河谷与美国 Salton Sea。围绕美国加州的 Salton Sea, 除了伯克希尔·哈撒韦旗下控股项目, 还有: (1) Controlled Thermal Resources (CTR) 的 Hell's Kitchen Lithium and Power 项目, 规划分阶段在 2024 年提供 49.9MW 清洁电力、2025-2026 年提供 250MW, 而在锂产品方面希望 2024 年可交付 2 万吨 LCE, 并已与通用汽车达成战略合作为其供应锂产品。(2) Energy Source Minerals 的 ATLiS 项目于 2016 年开始推进, 利用其特有的提锂技术 ILiAD 提锂, 原料来自 2012 年以来一直运行的 John L. Featherstone 电厂产生的地热卤水, 该项目在 2021 年底已获得环评

等许可，规划 2024 年交付首批锂产品。此外，根据 Vulcan 统计，相关地热提锂项目还包括 TerraLithium(All American Lithium 与 Oxy Low Carbon Ventures 合作项目)、肯尼亚 Djibouti-Symbol (曾拒绝 Tesla 收购，但在 2015 年破产)、NIAIST Japan、Hazen/Bureau of Mine 等项目，但大多处于实验室或试点工厂阶段。

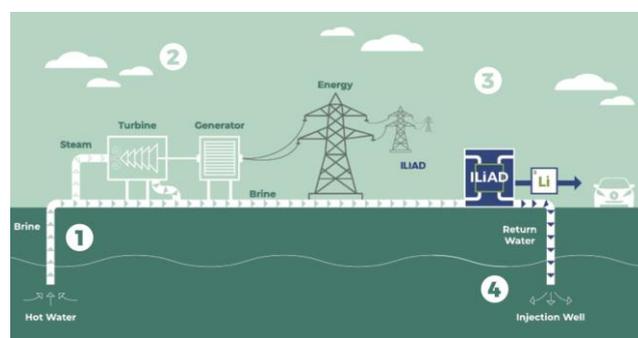
而目前海外的油气田提锂项目主要集中于美国 Smackover 地层（标准锂业、美国雅保等）与加拿大 Alberta 省 Leduc 地层（E3 Lithium、Summit Nanotech 等），此外如德国、美国 North Dakota 州与 Texas 州、加拿大 Saskatchewan 省等也有油气田提锂的开发潜力。其中，E3 Lithium 在加拿大 Alberta 省布局有 7 个油气田提锂的子项目，其中 Clearwater（旗舰项目）、North Rocky Resource Area（NRRRA）和 Exshaw West Resource Area（EWRA）均在 2017-2020 年发布了 PEA，3 个项目合计 700 万吨 LCE 推断资源量，平均锂离子浓度约 53-75Mg/L。在 2022 年 6 月，E3 Lithium 已与加拿大最大的原油生产商 Imperial 达成合作，进一步推进 Clearwater 项目开发，规划总投资 7.1 亿美元建设 2 万吨氢氧化锂产能，规划 2025 年底前后实现生产，理论生产成本为 3656 美元/吨。

图表 226：CTR 地热卤水提锂及电厂概念图



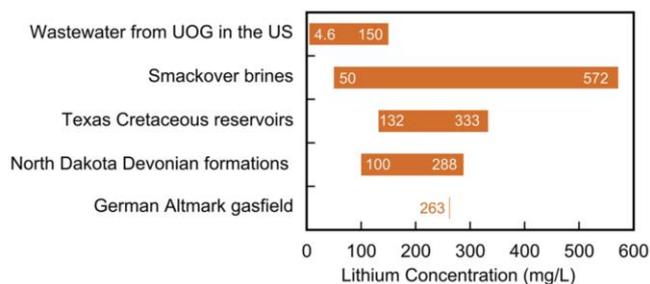
资料来源：cthermal 公司公告，五矿证券研究所

图表 227：ATLiS 地热提锂流程示意



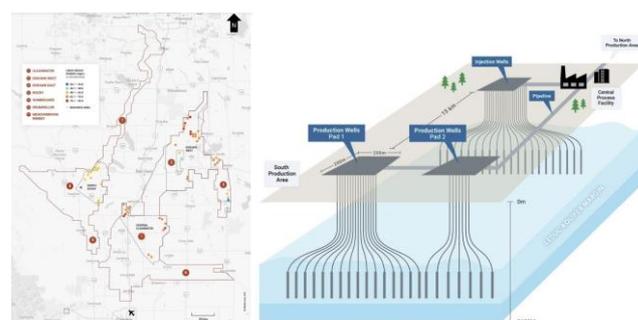
资料来源：EnergySource Minerals 官网，五矿证券研究所

图表 228：学术界对美国及德国的部分油气田含锂范围估计



资料来源：《Lithium Recovery from Oil and Gas Produced Water》，五矿证券研究所

图表 229：E3 Lithium 旗下 3 个油气提锂项目，Clearwater 为旗舰项目



资料来源：E3 Lithium 公司公告，五矿证券研究所

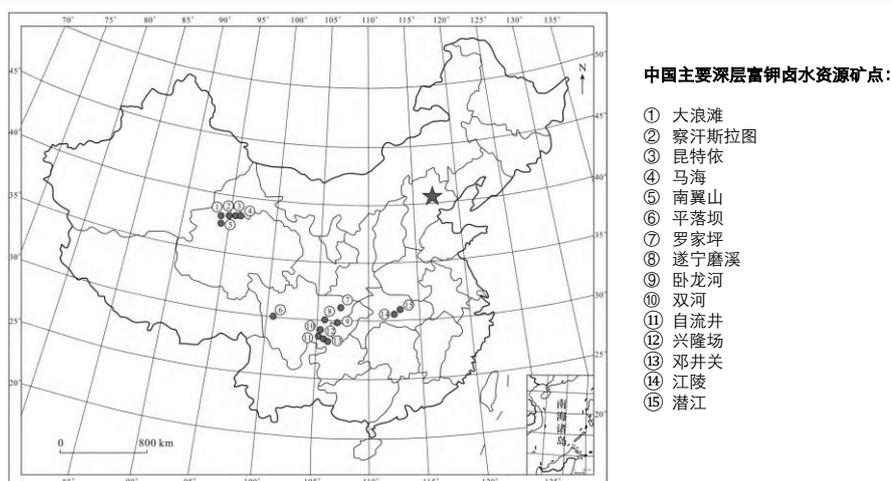
中国的深层地下卤水：蕴藏大规模的钾、锂资源，能否回注构成商业化利用的关键前提

深层地下卤水与盐湖浅层卤水相区分，多指矿化度大于 50g/L、位于含盐沉积盆地深层储卤层的地下卤水，按更严谨的划分，可分为“油田水型、海相深部卤水型、地热型”三类。深层地下卤水多处于深埋藏、高封闭和高压状态，由于不参与现代水循环，因此不可恢复补充。在中国，其主要分布区域包括四川盆地、柴达木盆地西部、江汉盆地等，发现主要源自油气探井，截至目前的勘探发现度较低、研究尚不充分。

深层卤水所蕴藏的钠、钾、钙、硼、锂、溴资源规模庞大，未来找矿的潜力巨大。通过中试

案例，生产流程也逐步清晰。但我们认为，现阶段的核心掣肘在于“与提油提气能否兼容、尾卤能否回注、打井是否具备经济性且能否持续采出卤水”，构成了商业化的关键前提。若不能回注，鉴于尾卤、固废存放的环保问题，需要设计全组分的综合利用方案，不仅产线过于复杂、投资规模庞大，问题还在于万吨级的锂盐产能将带出数百万吨级的氯化钠，即便投建双碱厂也将面临市场容量有限的问题。若可以回注，则是一个更直接的经济性测算，深部打钻井采的费用高昂，需要构建针对深层卤水的详细水文模型，方才能确保长期抽卤的可持续性，其开发难度无疑将远高于盐湖类型的卤水资源。

图表 230：中国深层富钾卤水资源主要分布在四川宣汉、湖北潜江、青海西部



资料来源：《深层富钾卤水类型、勘查技术方法及工业指标建议》，五矿证券研究所

图表 231：中国主要已布局深层卤水的企业

公司	深层卤水资源名	详细信息
赣锋锂业	青海茫崖行委凤凰台深层卤水锂矿探矿权	2019 年获得，勘探面积 2016.14 平方公里，有效期至 2023/4/22
	与四川宣汉政府签有招商引资协议	高纯锂盐和退役电池综合回收利用项目
藏格矿业	青海茫崖小梁山-大风山地区深层卤水钾盐矿东段详查探矿权	2021 年获得，面积 516.59 平方公里
恒信融	青海西台吉乃尔湖东北深层卤水探矿权	矿区面积 394.26 平方公里，探转采推进中
海西粤陕达膜	青海东台吉乃尔湖西段深层卤水钾矿探矿权	2019 年初获得，矿区面积 307 平方公里，母公司为金藏膜
茫崖兴元 (中农集团)	青海海西茫崖深层卤水探矿权	收购中，与茫崖泰坦通源、茫崖康泰钾肥签署《资产转让合同》收购 1548.69 平方公里深层卤水探矿权及相关地面资产
恒成能源	四川达州宣汉钾盐探矿权	建有恒成钾锂中试基地，现有探权矿面积为 35.13km ²
汉威新能源	-	为正威国际集团与四川巴人新能源公司的合资公司，建有汉威钾锂中试基地

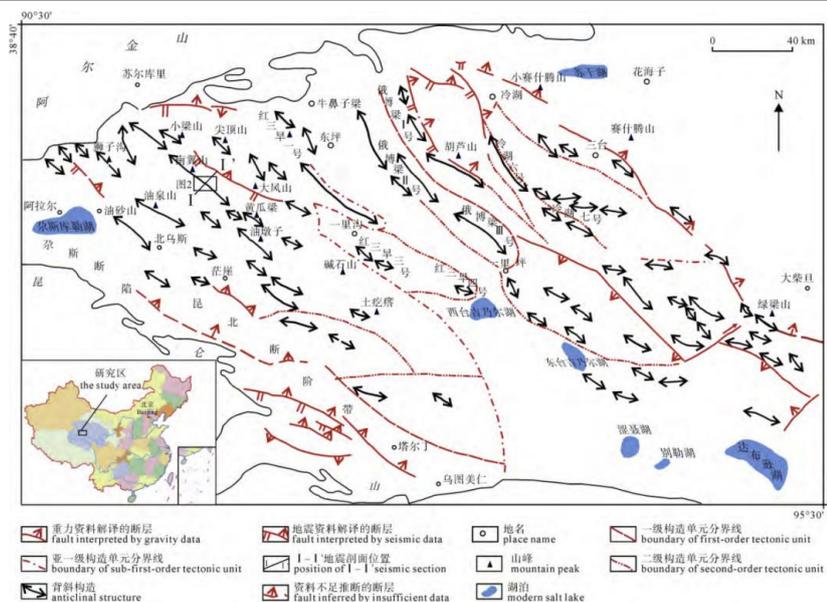
资料来源：各公司公告，五矿证券研究所

青海西部深层卤水：以卤水钾盐矿床为主，多企业布局探矿权作为资源储备

位于柴达木盆地西部的深层卤水资源以富含钾、硼、锂、溴为特征，与西部浅层卤水盐湖在成因上具有相似性，主要集中在柴达木盆地西部山前断陷凹地、向斜凹地以及南翼山、狮子沟背斜构造区等，以卤水钾盐矿床为主，少部分为油田水矿。

当前包括赣锋锂业、藏格矿业、中农集团等均对青海西北部深层卤水资源进行布局，此类矿权大多靠近茫崖市附近，目前处于储备或勘探阶段，未来长期有望成为青海中部盐湖区（在产的主力盐湖）的资源接续。

图表 232：青海柴达木盆地西部构造图



资料来源：《柴达木西部南翼山构造富钾深层卤水矿的控制因素及水化学特征》，五矿证券研究所

四川宣汉深层卤水：先行打造示范园，推进建设中试基地

位于四川盆地东侧的达州宣汉深层卤水蕴含丰富的钾锂资源。宣汉县在 2017 年发现了富锂钾卤水和杂卤石，是全国第一个海相富锂钾资源矿，预测 1116 平方公里内的富锂钾卤水约为 20.9 亿立方米，含氯化锂 240 万吨、氯化钾 5600 万吨、溴素 289 万吨、硼酸 1216 万吨、氯化钠 5.4 亿吨、碘 7 万吨，锂离子浓度最高 427mg/L、钾离子浓度 30.12g/L，镁锂比仅 4-6:1。该地区在 2008 年探明天然气储量达到 500-550 立方千米，是中国规模最大、丰度最高的特大型整装海相气田，有宣汉普光气田、普光天然气净化厂等。

在钾锂资源开发方面，建成恒成锂钾中试基地和汉威锂钾中试基地等，通过井采抽卤提取锂、钾和钠等初级产品。截至 2021 年，宣汉县已编制完成园区规划和产业规划，目标建成全国首个深部卤水锂钾综合开发示范园和千亿产业园，围绕锂资源重点发展以年产 5 万吨电池级碳酸锂、年产 10 万吨磷酸铁锂正极材料、年产 1 万辆新能源汽车制造为基础的锂电新能源产业及配套项目。

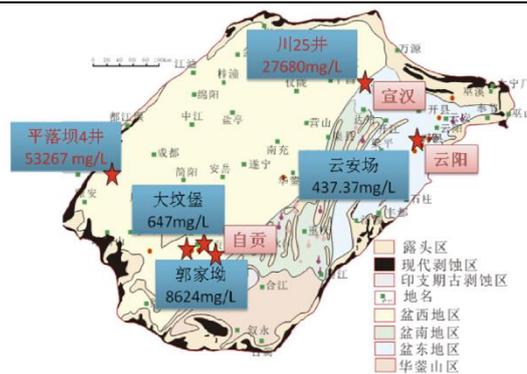
- 达州市恒成能源集团在 2003 年取得达州市宣汉钾盐探矿权，至今已累计完成投资 3 亿多元，建有恒成钾锂中试基地。现有探权矿面积 35.13 平方公里，位于宣汉锂钾资源富集的核心区域，预测资源量为：氯化锂 12 万吨，氯化钾 280 万吨，溴 15 万吨，新型杂卤石钾盐矿硫酸钾 1 亿吨。公司 2008 年自主研究组建了“达州天然气能源化工产业区盐卤和天然气伴生资源技术研发中心”，并与中国地质科学院、天津科技大学、成都理工大学、中盐工程技术研究院等开展合作。规划推进《钾锂资源采输卤项目》《3 万吨氯化钾/年及卤水综合利用项目》等项目，其中钾锂资源采输卤项目位于恒成 3 井井场，2020 年建成，年采卤 100 万立方米；而氯化钾项目则计划投资 3 亿元，年产氯化钾 3 万吨、碳酸锂 1000 吨、氯化钠 19 吨、碘素 23 吨、溴素 1000 吨以及硼酸 4900 吨。
- 汉威锂钾中试基地由汉威新能源实施建设，为正威国际集团与宣汉国有企业四川巴人新能源公司的合资公司，其中正威国际拟投资 550 亿元建设锂钾资源综合利用产业园、金属新材料产业园、新能源材料产业园、智能锂园、新能源应用制造产业园等项目。
- 2021 年 9 月，赣锋锂业与宣汉政府签署招商引资协议，规划投资建设高纯锂盐项目和退役电池综合回收利用项目。

图表 233：达州宣汉的深部卤水资源勘探以及中试线



资料来源：四川地矿，四川经济网，五矿证券研究所

图表 234：四川盆地内的多个钾异常点位，初步圈定富钾卤水重点区



资料来源：《四川盆地三叠系深层富钾卤水赋存区带预测》，五矿证券研究所

盐湖提锂的专用吸附剂需求旺盛、高性能产品将获追捧

在高效吸附提锂成为全球盐湖提锂主力解决方案之一的背景下，叠加全球锂行业对于更高选择性、更大吸附容量、更长循环寿命、更低装置投入的孜孜追求，我们预计未来盐湖提锂的专用分子筛/离子筛吸附剂将需求旺盛，具备高技术壁垒的吸附材料和系统装置将供应趋紧。

吸附法整体成熟，但盐湖提锂的专用吸附剂壁垒较高，中国企业后来居上

吸附工艺整体成熟，其发展历程可追溯至 1935 年，在 1960 年代便被用于水处理，目前在环保、医药、食品、湿法冶金等诸多领域皆有成熟应用。在整体的吸附材料领域中，海外头部企业具备产能与技术优势。第一梯队主要为全球大型吸附树脂材料厂商，包括美国陶氏化学、德国朗盛等，其优势在于产品线完整、核心技术领先、研发能力强大、公司历史悠久，因此占据了全球高端吸附产品市场份额；第二梯队为国内领先的吸附商，例如蓝晓科技等；第三梯队为分布在中国、印度等国家的区域性中小企业。吸附树脂的海外产能占比约 53%（美国陶氏化学、德国朗盛、英国漂莱特、日本三菱化学、住友化学等跨国企业的全球产能占比约 46%）、中国产能约占全球 47%。

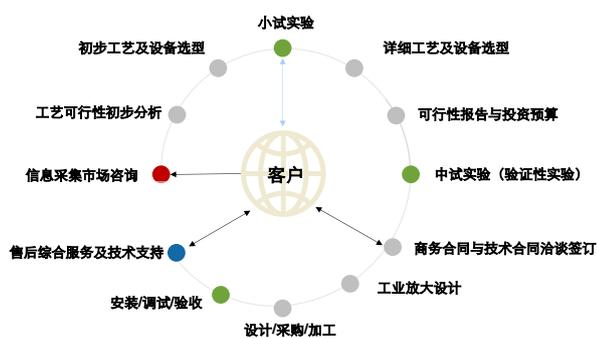
但在盐湖提锂行业，吸附法尚属于蓝海，仍在快速迭代升级。在盐湖提锂的专用吸附剂领域，我们认为中国企业已后来居上，处于全球领先水平，本质原因在于吸附提锂的市场在中国（青海高镁锂比、低锂含量的盐湖卤水需要该技术），因此存在更多的试验以及产业化项目的历练机会，并在“比学赶帮超”中持续的迭代升级。向前看，未来青海盐湖提锂的产能建设、西藏盐湖资源的开发、以及中资企业在南美“锂三角”区域的投资热潮，将为盐湖提锂专用吸附树脂的发展、专业提锂技术服务商的成长带来历史性机遇。

图表 235: 中国国内领先的吸附企业处于全球第二梯队, 与国际厂商在研发积淀、生产规模和品质等方面尚有差距

格局	类型	代表企业	简介	市场布局	竞争特点
第一梯队	国际厂商	美国陶氏化学	品种最齐全, 在集成电路用超纯水、核电领域有较强竞争力	全球布局	研发实力雄厚、工艺先进, 生产规模较大, 具有国际品牌, 在高端工业水处理、大规模集成电路及核工业的超纯水、生物医药等领域有较高的市场占有率, 树脂价格远高于国产树脂价格
		德国朗盛	品种丰富, 专注于高端领域, 在螯合树脂和均匀粒度技术方面具有优势		
		英国漂莱特	主要用于电力、电子、化工、水处理、冶金、医药、食品加工、催化等行业		
		日本三菱化学	品种较多, 在大孔吸附树脂、酶载体和螯合树脂领域有较大优势		
第二梯队	国内优势厂商	蓝晓科技	国内领军企业, 湿法冶金、制药、食品加工、环保和化工等新兴应用领域实现产业化	以自有品牌对外销售, 以国内为主, 不断开拓境外市场	研发实力较强, 工艺成熟、生产规模较大、产品种类齐全, 具有较强的供货能力, 竞争优势明显, 为行业领先企业
		争光股份	国内产品种类最丰富、新兴领域产业化应用跨度最大生产商之一, 在工业水处理具有较高的市场份额, 已在食品及饮用水、核工业、电子、生物医药、环保、湿法冶金等领域实现了产业化发展		
		江苏苏青	国内最大的离子交换树脂生产厂商之一, 产品以离子交换树脂为主, 也生产吸附树脂、螯合树脂等其他种类的特种树脂		
		淄博东大	国内最大的离子交换树脂制造商之一, 主要市场在水处理领域		
第三梯队	区域中小型企业	企业数量较多, 主要分布在中国及印度	主要为第二梯队配套生产, 部分也以自有品牌对外销售	规模较小、种类较单一, 主要集中在工业水处理领域	

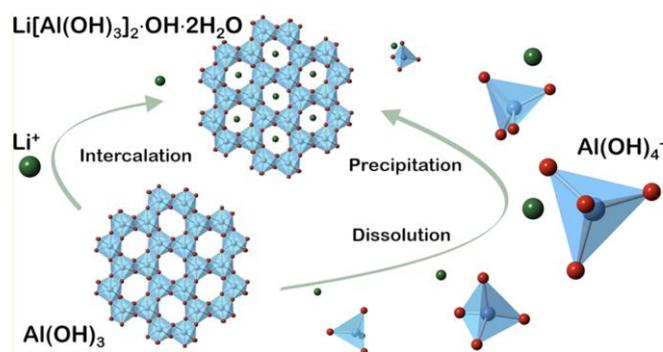
资料来源: 争光股份公司公告, 五矿证券研究所

图表 236: 采用新工艺的项目全流程往往需要经过反复实验和调试



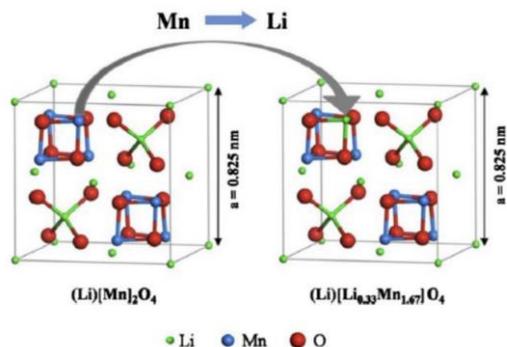
资料来源: 久吾高科公司公告, 五矿证券研究所

图表 237: 铝系吸附剂是基于氢氧化铝和锂源合成的吸附材料



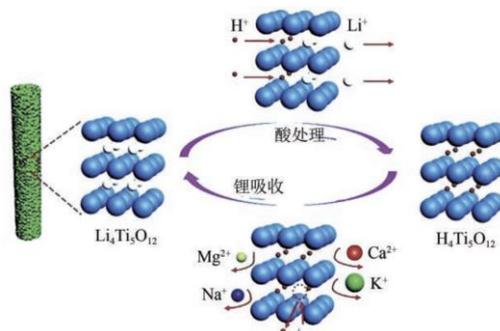
资料来源: 《浓氢氧化锂中三水铝石转化为 LiAl-LDH 途径》, 五矿证券研究所

图表 238: 锰系离子筛结构演变



资料来源:《锰系锂离子吸附剂的掺杂改性及吸附性能研究》,五矿证券研究所

图表 239: 钛系离子筛多孔 Li₄Ti₅O₁₂ 脱锂/提取过程



资料来源:《钛系锂离子筛用于盐湖提锂的研究进展》,五矿证券研究所

图表 240: 全球主要新盐湖提锂工艺商技术对比, 中国工艺商仍有产业经验先发优势

提锂工艺商	技术类型	收率/周期	应用项目	核心技术	技术优势
久吾高科	膜法+吸附	~85%	五矿盐湖、西藏矿业、玻利维亚 Uyuni、金海锂业等	1.膜法镁锂分离及锂浓缩技术 2.原卤提锂吸附剂技术 3.双极膜制氢氧化锂技术	1.吸附剂吸附容量高、溶损率低 2.锂回收率高 3.药剂消耗低、三废排放少
启迪控股	膜法	~96%	盐湖股份、藏格锂业、锦泰锂业、西藏珠峰、青海中信国安等	超高镁锂比盐湖卤水吸附-膜分离耦合提锂技术	1.耗水量降低60% 2.氯化钠消耗量降低95% 3.成本由5万元/吨降至2.5万元/吨
SUNRESIN	吸附+膜法	~90%	五矿盐湖、藏格锂业、锦泰锂业、国能矿业、金海锂业、PNN等	1.高镁锂比盐湖中高效锂吸附剂制备技术 2.提锂连续离子交换装置技术	1.吸附剂吸附提锂能力强,可实现贫矿卤水提锂 2.具备良好的深度除杂能力 3.可实现24小时不间断生产
VONTRON 时代沃顿	膜法	-	未公开	1.高性能反渗透膜材料规模化制备技术 2.对二价离子脱除具有高选择性的复合纳滤膜制备技术	1.高性能分离膜材料配方及制备工艺 2.低能耗长寿命膜组器卷制工艺
贤丰控股集团	吸附	~95%	惠州新能源、中农贤丰	1.从含锂卤水中提取锂的锂离子富集材料制备技术 2.反应塔改进及卤水提锂并制取工业化碳酸锂技术	1.制造成本低、溶损率低 2.母液利用率高 3.无三废排放
Suntar	膜法	-	金昆仑锂业等	盐湖膜法提锂	1.吸附剂吸附容量高、溶损率低 2.锂回收率高 3.药剂消耗低、三废排放少
POSCO	DLE	~80% ~24小时	POSCO Lithium	无需自然蒸发即直接提锂技术	1.纯度高达99.9% 2.提锂不受场地及气候限制 3.无三害排放
ENERGYX	膜法	~90% few days	-	专有组合技术组合,包括锂选择性、电渗析膜	1.可选择性地分离出单价离子且保持其稳定性 2.回收率高,周期短,成本低
conductive	电渗析	~95% few hours	草原锂业	1.多组分精矿流生产碳酸锂技术 2.闭环水回收系统技术	1.消耗电量少于行业标准 2.可在室温下运行
IBC	吸附	-	-	分子识别技术	1.占地面积小 2.处理时间短 3.环保无污染
E3 LITHIUM	吸附	~90% few minutes	EWRA项目 +North Rocky项目 +Clearwater-Leduc项目(油气田相关项目)、Livent合作	高锂选择性吸附剂	1.占地面积小 2.淡水消耗少 3.处理时间短
eramET	吸附	~90%	Centenario-Ratones盐湖	活性固体提取和浓缩锂技术	1.锂回收率高 2.淡水消耗少
Standard LITHIUM	吸附	~90% few hours	Lanxess项目与SWA项目	具有晶格的固体陶瓷吸附材料技术	1.处理时间短 2.锂回收率高
Li-lac	离子交换	~80% few hours	Kachi盐湖	新型离子交换珠和模块技术	1.锂回收率高 2.淡水消耗少
西安蓝深新材料科技有限公司	吸附	70%以上 20天	五矿盐湖(千吨级产线)	与五矿盐湖合作研发原卤提锂技术	1.提锂前置,一步分离钾、钠和镁等 2.生产周期缩短 3.动力消耗和节能减排优化 4.锂回收率高
空源	吸附+膜法	-	青海冷湖大盐滩、金圆股份、大柴旦等	固相离子束缚技术(SPIB)+膜分离	1.吸附容量大 2.解析吸附效率高 3.选择性且解析周期短 4.锂回收率高

资料来源:各公司官网,各公司公告,五矿证券研究所整理

图表 241: 除了专业提锂技术服务商, 盐湖提锂的开发还离不开专业的工程设计企业

主要工程设计商	参与锂相关项目	公司介绍
 <p>东华工程科技股份有限公司 中国化学 EAST CHINA ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD.</p>	<p>藏格锂业、玻利维亚、西藏矿业扎布耶等</p>	<p>是较早介入盐湖提锂行业的大型综合甲级设计院。位于安徽合肥, 隶属于国资委直属的中国化学工程集团。1963年成立, 2007年在深交所上市, 拥有多领域顶级资质。专业从事石油化工、新材料、新能源、生态环保、基础设施、生物医药等多领域工程建设, 提供从研发到运营等全过程服务。</p>
 <p>中化 BLUESTAR 中国中化工程科技有限公司</p>	<p>蓝科锂业、四川雅化、宜春银锂等。</p>	<p>始建于1978年, 前身为化学工业部长沙化学矿山设计研究院, 是集科研、设计、勘察、监理、咨询、工程总承包为一体的综合性工程技术服务型企业, 现隶属于中国中化控股。公司在钾、磷、锂、环保、精细化工等领域掌握了一批关键核心技术</p>
 <p>长沙有色冶金设计研究院有限公司 CHINALCO CINFCO Engineering Co., Ltd.</p>	<p>青海东台吉乃尔盐湖二期工程、西藏捌仟错盐湖</p>	<p>1953年正式成立, 隶属于中铝集团, 当前已成为有色金属行业全产业链和项目全生命周期的技术和服务提供商, 拥有采矿、选矿、地质、冶炼、化工、机械、建筑、结构、环保、电气、给排水、热能、燃气、总图、技术经济等近40个技术专业。</p>
 <p>MCC ENFI 中国恩菲</p>	<p>新疆锂盐厂、五矿盐湖、宜春钽铌矿、四川甲基卡锂矿、西藏扎布耶、江西多个锂云母项目等、山东瑞福锂云母、湖南百杰瑞新材料等。</p>	<p>成立于1953年, 原为中国有色工程设计研究总院, 当前五矿集团为实控人。现拥有地质、采矿、选矿、冶炼等工艺及相关公辅配套共计40多个专业的设计力量。在锂资源领域中, 公司较早参与国内锂资源领域, 已全面布局锂云母提锂、锂辉石提锂、盐湖卤水提锂三种工艺的研发探索, 构建了锂研发、工程化体系, 其中在矿物提锂领域获得14项专利, 多次获得省部级以上奖项。</p>
 <p>SUNRESIN</p>	<p>五矿盐湖、藏格锂业、锦泰锂业、国能矿业、金海锂业、PNN等</p>	<p>2001年在西安高新区成立, 公司提供以特种吸附分离材料为核心的配套系统装置和整体解决方案。年产吸附材料5万方, 提供系统装置100余套。</p>
 <p>久吾高科 JIUWU HI-TECH</p>	<p>五矿盐湖、西藏矿业、玻利维亚Uyuni、金海锂业等</p>	<p>1997年成立, 2017年创业板上市, 2013年涉足盐湖提锂领域。是一家以各类膜产品为核心、提供膜集成技术整体解决方案提供商, 为下游客户提供膜耗材及膜系统装置, 近年来也涉足吸附提锂项目。</p>
 <p>陕西省膜分离技术研究院 SHAANKI MEMBRANE SEPARATION TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE</p>	<p>青海冷湖大盐滩、金圆股份、大柴旦等</p>	<p>成立于2017年, 以膜、吸附材料为中心, 向项目方提供由陕西省膜分离技术研究院完全控股和孵化, 申报国家发明专利20余项。公司自主研发的固相离子束缚技术 (SPIB) 实现锂富集, 配合膜分离技术实现镁锂的深度分离。</p>

资料来源: 各公司公告, 各公司官网, 五矿证券研究所整理

全球在建盐湖提锂产能中吸附工艺占比达 66%, 高端吸附剂产能结构性紧张

据我们统计, 2022 年全球在产盐湖提锂产能约 49.2 万吨, 其中采用吸附工艺的产能约 9 万吨, 占比仅约 18%; 截至 2022 上半年, 全球盐湖提锂的规划建设产能已累计达到 86 万吨, 其中采用吸附工艺的产能高达 57.1 万吨, 已占据全球在建盐湖提锂产能的 66%。这一数据充分印证吸附法已成为全球新一代盐湖提锂的主力解决方案。

根据我们的模型: (1) 按照盐湖提锂产能倒推, 全球盐湖提锂产能的当年专用吸附剂需求量有望从 2022 年的 1.4 万方大幅增长至 2025 年的 7.1 万方, CAGR 达到 71%; (2) 累计来看, 2022-2025 年全球盐湖提锂的吸附法产能增量达到 47.7 万吨, 对应专用吸附剂需求累计增量达到 16.5 万方。主要基于下述核心假设:

- 我们预计全球锂需求总量从 2015 年 18 万吨 LCE 增长至 2022 年的 65 万吨 LCE、2025 年增长至 155 万吨 LCE。
- 假设第一类盐湖 (锂离子浓度 800mg/L 及以上) 采用沉淀法、未来或采用吸附技改, 1 万吨碳酸锂需要 800 方吸附材料; 第二类盐湖 (锂离子浓度 250-799mg/L) 逐步使用吸附法、1 万吨碳酸锂需要 1700 方吸附材料; 第三类盐湖 (锂离子浓度 250mg/L 以下) 采用吸附法后 1 万吨碳酸锂需要 2500 方吸附材料。需要注意的是, 吸附材料在密度、性能上存在差异, 因此单位用量的差异较大, 我们在测算中采用均值假设。此外, 未来伴随吸附性能的持续提升, 单位用量存在进一步下降的空间。

- 假设全球吸附提锂占锂供应比例在 2015 年约为 19%，2023 年、2024 年和 2025 年分别达到 27%、44%和 56%。
- 假设损耗率因工艺进步到来使用寿命延长，2015 年约为 16%，2022 年、2025 年分别下降至 11%和 9%。

目前全球盐湖提锂的专用吸附剂及其系统装置仍处于发展和迭代阶段。虽然研发和生产企业数量较多，但长期深耕并已有建树、掌握自有专利组合、具备专业化和规模化优势、拥有持续研发以及大规模生产能力的盐湖提锂专用吸附剂供应商屈指可数。同时，由于产品性能高度差异化、直接决定产线的生产效能、涉及高额的资本投入，试错和重置成本高昂，因此资源商在真正商业化产能的建设阶段，选择技术服务商的标准也将更加慎重和严苛。在此背景下，我们预计高端的盐湖提锂专用吸附材料、及其系统装置将出现结构性的供应紧张，领军的提锂技术服务商将有望进入“凭借专业化和规模化—得到更多的产业化项目机会—更多的技术和经验积淀、产品更快迭代升级”的正向发展循环。

图表 242：截至 2022H1，全球盐湖提锂规划建设产能已达到 86 万吨，而吸附产能占比 66%

项目	已公告的盐湖提锂规划产能	折 LCE 产能	是否为吸附产能	吸附 LCE 产能
SQM-智利 Atacama	碳酸锂增加 3 万吨至 21 万吨	3.0	否	-
Livent-阿根廷 Fenix	碳酸锂增加 8 万吨至 10 万吨	8.0	主要是，3 万吨为沉淀法	5.0
Allkem-阿根廷 Olaroz	碳酸锂新增 1.5 万吨	1.5	否	-
阿根廷 Cauchari-Olaroz	一期规划碳酸锂 4 万吨，二期规划碳酸锂≥2 万吨	6.0	否	-
阿根廷 Mariana	氯化锂规划 2 万吨	1.7	否	-
阿根廷 Sal de Vida	一期规划碳酸锂 1.5 万吨，二期规划碳酸锂 3 万吨	4.5	否	4.5
阿根廷 3Q Project	一期规划碳酸锂 2 万吨，远期规划至 4-6 万吨	5.0	否	-
阿根廷 SDLA	新增碳酸锂 5.25 万吨至 5.5 万吨	5.3	是	5.3
POSCO-阿根廷 Sal de Oro	一期规划氢氧化锂 2.5 万吨	2.2	否	-
Rio Tinto-阿根廷 Rincon	碳酸锂规划 5 万吨	5.0	是	5.0
阿根廷 Centenario-Ratones	碳酸锂规划 2.4 万吨	2.4	是	2.4
阿根廷 Kachi	碳酸锂当量规划 5 万吨	5.0	是	5.0
ALB-美国 Silver Peak	碳酸锂增加 0.6 万吨至 1.2 万吨	0.6	否	-
美国 Lanxess+Trtra 项目	碳酸锂规划 2.09 万吨和氢氧化锂规划 3 万吨	4.7	是	4.7
德国 Vulcan Energy	氢氧化锂规划 4 万吨	3.5	是	3.5
海外规划建设产能合计		58.4	海外吸附规划产能合计	35.4
青海盐湖股份-察尔汗	碳酸锂新增 3+2 万吨至 8 万吨；氯化锂规划 2 万吨	6.7	是	6.7
青海东台吉乃尔	碳酸锂增加 1 万吨至 3 万吨	1.0	否	-
青海西台吉乃尔	碳酸锂增加 2.5 万吨至 3.5 万吨	2.5	否	-
青海金海锂业-大柴旦	碳酸锂/氢氧化锂规划 3 万吨；氯化锂规划 1000 吨	3.1	是	3.1
青海金昆仑-大柴旦	碳酸锂规划 0.5 万吨	0.5	是	0.5
西藏扎布耶	65%碳酸锂结晶体增加 0.3 万吨至 1 万吨 碳酸锂规划 1.2 万吨	1.4	否	-
西藏结则茶卡	氢氧化锂规划 1 万吨	0.9	是	0.9
西藏麻米错	碳酸锂规划 5 万吨	5.0	是	5.0
西藏拉果错	碳酸锂规划 2 万吨，远期碳酸锂规划 5 万吨	5.0	是	5.0
西藏捌仟错	碳酸锂规划 0.2 万吨，远期规划扩大至 1 万吨	1.0	否	-
新疆罗布泊	碳酸锂规划 0.5 万吨	0.5	是	0.5
中国规划建设产能合计		27.6	中国吸附规划产能合计	21.7
规划建设产能合计		86.0	吸附规划产能合计	57.1

资料来源：各公司公告，五矿证券研究所

图表 243: 在既定假设下, 我们通过平滑测算预计 2022-2025 年当年全球锂吸附材料的需求量有望从 1.4 万方增长至 7.1 万方

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
全球盐湖锂产能 (万吨 LCE)	15	15	18	23	26	26	34	49	60	79	104
海外盐湖锂产能 (万吨 LCE)	11	12	13	16	16	16	22	37	42	53	70
中国盐湖锂产能 (万吨 LCE)	3	4	4	7	9	10	12	12	18	26	35
产能可支撑全球动力电池量 (Gwh)	23	36	50	91	118	145	270	438	585	830	1169
吸附占全球盐湖提锂比例假设	19%	23%	21%	18%	25%	26%	25%	22%	27%	44%	56%
海外吸附占海外盐湖提锂比例假设	16%	20%	18%	16%	17%	17%	13%	12%	15%	33%	47%
中国吸附占中国盐湖提锂比例假设	30%	32%	32%	22%	37%	40%	49%	52%	56%	65%	74%
第一类盐湖占比假设	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	7%	10%	13%	14%
第二类盐湖占比假设	2%	3%	3%	5%	5%	7%	13%	13%	14%	16%	19%
第三类盐湖占比假设	93%	92%	92%	90%	90%	88%	82%	80%	76%	71%	67%
吸附剂消耗量假设 (方/吨 LCE)	2399	2391	2391	2375	2375	2359	2311	2277	2218	2151	2110
吸附法盐湖提锂增量产能 (万吨 LCE)	0.1	0.7	0.2	0.4	2.3	0.4	2.0	2.2	5.3	18.1	24.3
损耗率假设	16%	15%	15%	14%	14%	13%	13%	11%	11%	10%	9%
吸附剂需求量: 存量替换+新增需求 (万方)	0.5	0.7	0.6	0.7	1.4	0.9	1.3	1.4	2.5	5.6	7.1
yoy		39%	-19%	15%	101%	-34%	46%	8%	78%	122%	27%

资料来源: 各公司公告, 五矿证券研究所预测

 注: 1、假设未来吸附材料迭代升级, 密度或将降低, 吸附容量提升, 单位采用“方”
 2、吸附剂订单一般为多年期订单, 不会当年即期释放

中国具备代表性的盐湖提锂工艺服务商

围绕盐湖提锂的产能建设, 主要的技术服务环节包括: 工艺包设计、提锂材料开发 (吸附剂、膜、萃取剂等)、专用装置的供应、工程设计/建设/运营等。其中, 我们认为关键工艺包的设计、提锂材料的开发无疑最具含金量, 提供“材料+装置”的综合解决方案可进一步夯实壁垒、提高竞争优势。除了商业化的提锂技术服务商, 科研院所也在资源勘探、工艺研发、技术升级迭代上持续发挥了关键作用, 是驱动盐湖资源商业化开采的基石骨干力量。

中蓝长化: 专注化工及矿业领域的一体化工程技术服务商, 中国钾盐钾肥工业的功勋企业

中蓝长化工程科技有限公司隶属于中国中化控股, 是一家集科研、设计、勘察、监理、咨询、工程总承包为一体的综合性工程技术服务型企业。公司始建于 1978 年, 前身为化学工业部长沙化学矿山设计研究院, 发展至今已涉足包括化学、矿业、尾矿、环境及建筑工程等, 并在钾、磷、锂、环保、精细化工等领域掌握了一批关键核心技术, 2020 年被授予“中国钾盐钾肥工业功勋企业”称号。其中在盐湖提锂领域, 公司深度参与蓝科锂业一察尔汗盐湖以及青海中信国安一西台吉乃尔盐湖的提锂工程建设, 并以西藏锂盐湖 (扎仓茶卡、结则查卡、查波错等) 为基础推进工艺开发研究, 在工艺设计领域积淀深厚。

图表 244: 中蓝长化发挥在化工工程领域优势, 在盐湖提锂项目及工艺设计中有深厚积淀

项目名	项目说明
蓝科锂业 1 万 t/a 碳酸锂装置及填平补齐总承包项目	于 2017 年建成投产并实现达产稳定运行
蓝科锂业 2 万吨项目	总承包项目, 于 2018 年 2 月开工建设, 目前已建成投产
宜春银锂二期 25000t/a 锂盐工程管理总承包项目	采用锂云母和锂辉石为原料制备碳酸锂和氢氧化锂, 为国内首条利用锂云母制备锂盐的规模化生产线
四川雅化 2 万 t/a 电池级碳酸锂项目	利用固体锂辉石提锂制备氢氧化锂和碳酸锂
中信国安西台盐湖 1 万 t/a 碳酸锂项目	为国内首套万吨级采用煅烧法从盐湖老卤中提锂的工业装置, 获化工行业优秀工程设计一等奖
西藏扎仓茶卡盐湖卤水综合利用工艺开发研究	2007 年进行实验室小试研究, 至 2010 年 7 月圆满完成现场中间试验, 提出了适合西藏当地的工艺路线, 已通过专家技术评审, 被评定国内领先
西藏结则茶卡盐湖资源综合利用工艺开发中间试验	针对结则茶卡盐湖碳酸根含量高, 锂富集难的技术难题, 开发出化学预处理及盐田摊晒富集锂混盐的化学工艺, 并集成核心技术首次在西藏实施了碳酸锂的浮选中间试验
西藏查波错资源开发联合新工艺试验研究	结合西藏查波错湖区现场高寒、高海拔条件, 先后完成了盐田卤水蒸发试验、卤水比蒸发试验、老卤兑硝蒸发试验、钾混盐浮选试验、硫酸锂浮选试验和硫酸锂精制试验, 开发出了老卤兑硝除镁及淡水析硼新工艺以实现富集锂, 结晶析出硫酸锂盐的目的。
宜春银锂新能源利用锂云母制备碳酸锂的锂云母处理工艺试验 (扩大试验)	6000 吨/年碳酸锂 EPCM 项目, 提供详实可靠的设计指标和工艺参数

资料来源: 中蓝长化公司官网, 五矿证券研究所

图表 245: 中蓝长化在钾肥领域也有丰富的履历经验

项目名	项目说明
新疆罗布泊钾肥项目	总硫酸钾生产能力超过 150 万 t/a, 是世界上最大的硫酸钾生产基地
青海盐湖集团钾肥项目	包括钾肥公司 100 万 t/a 氯化钾项目(采输卤、盐田)、三元公司 10 万 t/a 热熔精制氯化钾项目、元通公司 40 万 t/a 氯化钾项目、钾肥公司 500 万 t/a 氯化钾挖潜扩能项目等, 为亚洲最大的钾肥生产企业。工艺包括反浮选冷结晶、冷分解结晶正浮选、热分解真空结晶等
刚果共和国蒙哥 120 万 t/a 氯化钾项目	总投资 87 亿, 采用钻井水溶法开采光卤石矿、热分解真空结晶加工工艺
老挝开元甘蒙氯化钾项目	首期 50 万 t/a 于 2014 年建成投产并达产, 采矿规模 250 万 t/a 光卤石, 竖井开拓、连采机切割采矿、中段胶带运输、高浓度尾盐充填、冷分解结晶正浮选工艺; 二期 150 万 t/a 项目设计已完成
中水电老挝万象 12 万 t/a 精制氯化钾项目	是世界上第二套钻井水溶选择性开采光卤石矿、热分解真空结晶工艺生产高品质氯化钾的项目
玻利维亚乌尤尼 35 万 t/a 氯化钾项目	建设地海拔 3660 米, 于 2017 年建成投产
其他项目包括: 四川鸿丰富钾卤水钾矿肥工程、格尔木藏格 40 万 t/a 氯化钾项目、冷湖滨地 48 万 t/a 硫酸钾工程、中航马海 15 万 t/a 钾镁肥造粒项目、中信国安 30 万 t/a 硫酸钾配套改造工程等	

资料来源: 中蓝长化公司官网, 五矿证券研究所

蓝晓科技: 专业的吸附材料+设备形成一体化解决方案提供商, 兼具技术与经验的积累

蓝晓科技是国内吸附分离材料领域的头部企业, 具备自主知识产权的吸附法盐湖提锂技术, 专业提供盐湖提锂特种吸附分离材料、以及吸附分离材料为核心的配套系统装置和整体解决方案, 尤其铝系分子筛吸附剂行业领先。截止 2022 年 6 月, 公司建成及在建工业化吸附单元与整线 9 条、约合锂盐产能 7.3 万吨, 客观展现出公司在锂行业内的认可度。

追溯历史, 公司由高月静女士于 2001 年在西安高新区创立并在 2015 年创业板上市。创始人曾从事新加坡国立大学改性功能高分子材料研究等, 有丰富的产研经历, 同时另一实控人寇晓康先生也曾是西安电力树脂厂总工程师, 技术背景深厚。历经二十年发展, 蓝晓已成长为国家重点高新技术企业、国家级专精特新“小巨人”企业。公司专攻吸附分离材料及其配套系统装置, 品系丰富、下游应用领域跨度大, 而且具备新应用领域的开拓能力, 已在多个领域实现进口替代。目前公司建成以西安、鹤壁、渭南和比利时等基地为主的多功能、互补产

业园区，包括材料生产基地、设备生产区、危废资源化回收园区等，具备吸附分离材料总产能5万吨。在盐湖提锂的市场开拓上，基于自有专利技术，公司以中国青海为主，目前伴随锂行业的发展已延伸至中国西藏、以及阿根廷等海外市场。

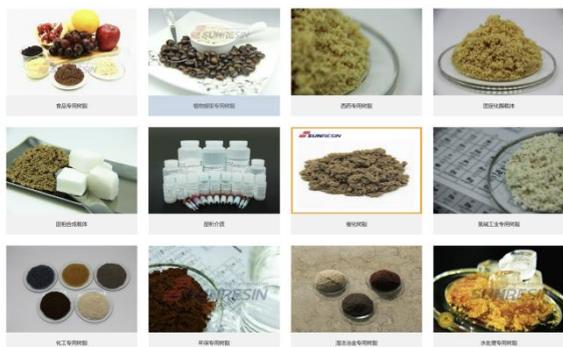
- 公司吸附分离材料包括30多个系列100多个品种，广泛应用于食品、医药、植物提取、环保、湿法冶金、水处理、离子膜烧碱等多领域。截至2021年底，公司已具备吸附分离材料产能5万吨，其中高陵新材料产业园2019年建成，具备特种品系产能2.5万吨/年；而蒲城材料园项目于2019年开始运行，具备大应用品系树脂产能1.5万吨/年；此外还包括高陵系统工程园的装置生产、鹤壁蓝赛负责资源化回收，以及比利时Puritech的多路阀设备匹配等。公司整体已形成各产业园区产能互通，多基地互补的布局。
- 公司在湿法冶金吸附树脂领域的先发优势、专业化和规模化优势明显，具有10多项专利，并重点开展原卤提锂的工艺研究。利用具有自主知识产权的“吸附+膜”工艺，已陆续完成藏格锂业10000吨碳酸锂吸附工段、锦泰锂业一期3000吨整线建设、五矿盐湖1000吨改造项目。目前公司正在推进的产业化项目包括国能矿业结则茶卡一期万吨项目、金海锂业10000吨整线建设、金昆仑锂业5000吨碳酸锂吸附装置提供、锦泰二期4000吨整线建设、五矿盐湖4000吨改扩建项目等，并在中国（青海、西藏为主）以及海外（北美、欧洲、南美）开展了不同规模的试验项目，客户包括SQM（智利）、Annsion（美国）、Vulcan（欧洲）等。而海外的吸附树脂领军企业，杜邦、朗盛、漂莱特供应的湿法冶金专用吸附材料尚未有在盐湖提锂领域规模化应用的案例。

图表 246：蓝晓科技在吸附提锂工艺中，拥有国内最多的合作合同，案例经验丰富

时间	合作公司	盐湖	产品	年产能	备注
2018年1月	陕西省膜分离技术研究院	青海冷湖	高纯碳酸锂	100吨	
2018年3月	藏格锂业	察尔汗盐湖	碳酸锂	1万吨	签订年产1万吨碳酸锂的盐湖卤水提锂装置设备购销合同，合同金额为5.78亿元
2018年6月	锦泰锂业	巴伦马海	碳酸锂	3000吨	生产线建造总投资为4.68亿元
2019年2月	锦泰锂业	巴伦马海	碳酸锂	4000吨	帮助建设产线，合同金额6.24亿元，投产后锦泰锂业向公司支付运营管理费和分成
2019年9月	五矿盐湖	青海一里坪	碳酸锂	1000吨	卤水预处理车间吸附成套装置采购合同，合同金额2281万元
2021年9月	锦泰钾肥	巴伦马海	-	-	对锦泰钾肥20,000万元债权认购锦泰钾肥增资后4.3908%的股权
2021年10月	五矿盐湖	青海一里坪	碳酸锂	4000吨	一期项目改扩建的单套吸附装置EPC合同，4970万元
2022年1月	国能矿业	西藏结则茶卡盐湖	氢氧化锂	1万吨	委托加工模式，2022年底需有1000吨产量，2023年底需完成建设
2022年1月	金海锂业（亿纬锂能）	青海大柴旦盐湖	碳酸锂	1万吨	中标EPC采购项目，合同金额4.9亿元
2022年2月	西藏珠峰	阿根廷SDLA盐湖	碳酸锂	2.5万吨	为盐湖项目卤水提锂吸附阶段设备供货，合同金额6.5亿元
2022年3月	三达膜、金昆仑锂业	青海大柴旦盐湖	碳酸锂	5000吨	为金昆仑锂业5000吨/年电池级碳酸锂项目提供吸附段工艺、设备、安装及技术服务等，合同金额1.14亿元
2022年4月	国际矿产资源勘探公司PNN	阿根廷Salta盐湖	碳酸锂	-	双方建立合作关系来开发盐湖的电碳项目
2022年5月	盛新锂能	阿根廷多个盐湖	碳酸锂	-	SDLA盐湖以及其他参股盐湖开发合作

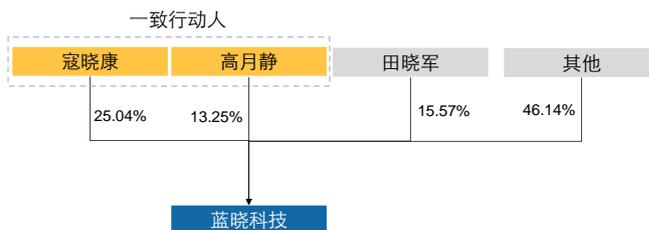
资料来源：蓝晓科技公司公告，五矿证券研究所整理

图表 247：公司吸附分离材料可应用于多类分离提取场景且产品差异较大



资料来源：蓝晓科技公司官网，五矿证券研究所

图表 248：截至 22Q1，公司两位实控人合计持股 38.3%，股权结构稳定



资料来源：蓝晓科技公司公告，五矿证券研究所

图表 249：公司主要有 7 大业务领域，较全面覆盖下游需求领域

生物医药

典型应用：西药专用树脂、固定化酶载体、中药专用树脂、固相合成载体、层析介质

- 西药专用树脂——用于西药原料药和中间体的提纯分离，头高尾低树脂用于头孢类抗生素、维生素A、维生素E、性激素类药物的精制生产。
- 固定化酶载体——应用？ACM酶法工艺产业化，实现新型技术革新，用于淀粉工业中葡萄糖异构酶、糖化酶、淀粉酶、淀粉工业中糖化酶等的提纯。
- 树脂吸附——提纯分离药物中有价成分，并对杂质和杂质进行吸附，可随客户要求定制产品并开发专用纯化树脂，实现高收率、提高生产效率并降低杂质含量。
- 固相合成载体——用于多肽的合成，拥有丰富的产品体系以及严格规范的生产管理与质量管理体系，产品品质稳定可靠。
- 层析介质——用于色谱、离子交换、凝胶过滤、柱层析等分离、提纯、富集等分离纯化。

食品

典型应用：浓缩果汁质量控制、蜂蜜脱抗、糖的制备及精制

- 应用于浓缩果汁、果酱、淀粉糖（糖）、木糖（糖）、右旋糖、低聚糖等食品级提纯精制。
- 蜂蜜脱抗——减少蜂蜜中的主要有害物质。
- 淀粉糖精制提纯及精制。

环保

典型应用：有机废水、重金属废水水处理及资源化、大气VOC控制及资源化

- 酚类、醇类、有机酸、胺类、酯类等废水以及重金属废水出现的废水处理广泛的工业应用。
- 致力于水污染控制及资源化的研究，立足于污染物与废水的分离净化技术，达到提纯、回收和综合利用废水有机组分的目的，产生了良好的经济效益和社会效益。
- 典型客户：浙江新和成、中化化工、山东石化、美国PAC等。

金属

典型应用：氧化铝生产拜耳母液中镍提取、粉煤灰中制氧化铝关键纯化技术

- 氧化铝生产过程中拜耳母液中存在镍杂质——根据镍含量，提供定制化工艺解决方案，实现镍的回收与分离。
- 粉煤灰中镍回收关键技术——酸浸、除铁、除硅，以及后续镍浸出液中的镍的回收，具备产业化价值。
- 工业废水的提纯、脱色、除味、除磷等分离纯化。
- 新材料、新材料应用及新材料的推广销售，有多项国家专利。

化工

典型应用：离子膜烧碱二次盐水精制、化工催化、双氧水纯化等领域

- 离子膜烧碱二次盐水精制。
- 双氧水纯化——美国大型化工巨头的双氧水生产的双氧水纯化精制。
- 化工催化——MTBE、TAME、甲乙酮等，主要产品品质与性能优异。
- 多晶硅——脱氯及反氯化。

水处理

典型应用：硬水软化、饮用水安全控制、纯水制备；超纯水制备；凝结水处理等

- 硬水软化、纯水制备。
- 饮用水（除铁、除锰、除砷、除氟）。
- 超纯水制备。
- 凝结水缸处理。

系统工程和技术服务

食品、医药、金属分离等领域一体化解决方案

- 系统集成——结合材料、应用工艺和自控技术，为客户提供一体化分离单元装置，拥有自主知识产权的领域系统集成技术。
- 定制化分离技术——针对客户需求，形成定制化系统，为客户提供一体化解决方案。

资料来源：蓝晓科技公司官网，五矿证券研究所

久吾高科：立足膜材料及膜分离技术应用，延伸至盐湖提锂专用吸附剂

久吾高科是国内陶瓷膜领域的头部企业，主攻以陶瓷膜为主的膜材料及膜分离技术研发应用，并向工业过程分离与特种水处理领域提供膜集成方案。公司于 1997 年由徐南平院士与南京工业大学研究所在江苏组建成立，2017 年在创业板上市，第一大股东为上海德汇集团。

公司陶瓷膜具备 3.8 万平/年产能，2020 年开始正新建有机膜产线，预计可形成每年 3 万支中空纤维膜元件、2 万支纳滤膜元件、5 万支反渗透膜元件、300 套膜装置的产能，建成后有望降低公司成本、实现生产自主化。

在盐湖提锂领域，公司基于在膜材料、膜组件领域的优势，进一步向高效吸附材料领域延伸，产品包括钠锂、镁锂分离铝系吸附剂及钛系吸附剂。2013 年公司通过膜法提锂实现切入，完成五矿一里坪盐湖的 1 万吨/年全膜法提锂（提供镁锂分离成套装置），参与了玻利维亚盐湖

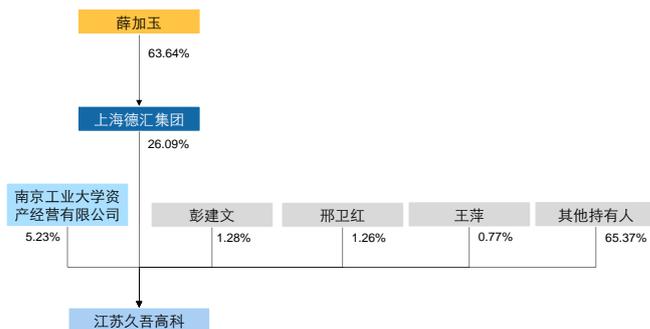
1.5 万吨/年提锂项目（提供膜分离成套设备），并与盐湖股份子公司青海盐湖镁业、中石化（某深层卤水提锂项目）等合作。2021 年以来，公司进一步与西藏矿业旗下日喀则扎布耶锂业高科（建设 100 吨/年原卤提氢氧化锂中试线）、亿纬锂能控股子公司金海锂业（1000 吨氯化锂项目总承包）、西藏珠峰（阿根廷盐湖原卤提锂中试产线）签署了盐湖提锂的业务合同。此外，公司在 2022 年 5 月还与矿业巨头——紫金矿业签署了战略合作协议、携手构建盐湖锂资源开发相关体系，久吾将为紫金拟收购、已收购的锂盐湖资源项目提供锂吸附材料开发、提锂工艺开发等技术支持，并为紫金的锂资源深加工项目提供技术咨询、钠吸附材料开发、金属锂电解和双极膜电解技术开发等技术支持。

图表 250：膜分离应用领域主要涵盖 4 大领域，17 个细分行业



资料来源：久吾高科公司官网，五矿证券研究所

图表 251：公司大股东为上海德汇集团，南京工业大学参股



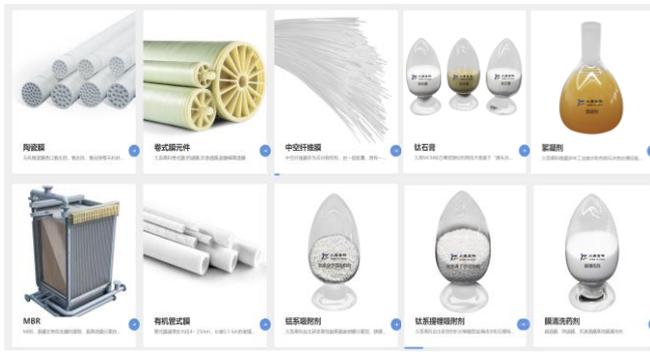
资料来源：久吾高科 2021 年报和 2022Q1 季报，天眼查，五矿证券研究所

图表 252：久吾高科的核心提锂工艺涵盖膜法与吸附法



资料来源：久吾高科公开资料，五矿证券研究所

图表 253：公司膜类产品为主，吸附剂产品包括铝系和钛系吸附剂



资料来源：久吾高科公司公告，五矿证券研究所

启迪清源：特种膜分离工艺为核心优势，代表案例包括蓝科锂业提锂项目

启迪清源（北京）是教育部直属的启迪控股旗下企业，成立于 2000 年，前身是 1994 年成立的清华科技园发展中心。业务聚焦膜分离技术，以清华大学新材料学院、环境学院、化工学院等为技术依托，专注在盐湖提锂、海水淡化、物料分离浓缩、市政工程、工业水处理等领域的应用开发。公司下设启迪清源（上海）、安徽启迪清源、青海启迪清源等公司，在安徽芜湖建设了包括微滤、超滤、纳滤膜等膜产品的生产基地。

公司团队深耕青海，在 2016 年以来先后参与了蓝科锂业 1+2 万吨碳酸锂产线的膜法镁锂分离+浓缩项目等、藏格锂业 1 万吨碳酸锂的氯化锂分离浓缩装置提供、青海中信国安锂业 2000 吨碳酸锂膜法中试项目，2022 年 3 月，启迪清源（上海）联合宋都锂科与西藏珠峰签订了阿根廷 SDLA 盐湖 5 万吨碳酸锂项目的整线 BOT 合作协议，为项目提供提锂设备、运营及技术服务。此外，参与项目青海盐湖启迪新材料 500 吨氢氧化锂项目、西藏扎仓茶卡万吨碳酸锂可行性研究及锦泰锂业碳酸锂项目等。

图表 254：启迪清源在核心膜技术主要布局涉及盐化工、石油化工、食品生物等四大类



资料来源：启迪清源公司官网，五矿证券研究所

图表 255：公司深度参与蓝科锂业的碳酸锂投建

膜法盐湖卤水镁锂分离车间

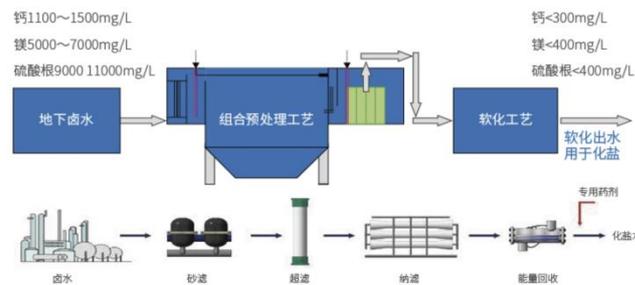
处理量：24,000 m³/d
 投资规模：一期、二期共计2亿元，三期预计8亿元
 模式：BOT（投资、建设、运营、移交）
 建设期：6个月
 运营期：10年以上
 特点：研发、工艺包、设计、工程总承包EPC、土建施工、设备安装、调试、运营与维护

启迪清源 TUS MEMBRAN

现场照片：密实移动床、一次盐水过滤器、盐化工行业最大的纳滤膜系统

资料来源：启迪清源公司官网，五矿证券研究所

图表 256：公司的卤水钠镁分离工艺



资料来源：启迪清源公司官网，五矿证券研究所

图表 257：启迪清源利用膜法提锂已积累了一批盐湖提锂项目

时间	合作公司	盐湖	产品	年产能	备注
2016年					分离浓缩环节
2017年	蓝科锂业	青海察尔汗盐湖	碳酸锂	1万吨	填平补齐项目
2018年				2万吨	已在2021年4月投产
2017年	启迪新材料	青海	氢氧化锂	500吨	
2018年	藏格锂业	青海察尔汗盐湖	碳酸锂	1万吨	2万吨项目的一部分，负责氯化锂分离浓缩
2018年	-	西藏扎仓茶卡	碳酸锂	1万吨	可行性研究
2018年	锦泰锂业	青海巴伦马海	碳酸锂	3000吨	
2018年	启迪新材料	-	金属锂	2020吨	
2019年	锦泰锂业	青海巴伦马海	碳酸锂	7000吨	1万吨碳酸锂的一部分
2021年	青海中信国安	青海西台吉乃尔盐湖	碳酸锂	2000吨	膜法中试项目
2021年	格尔木比亚迪	青海察尔汗盐湖	碳酸锂	600吨	中试项目膜法分离浓缩精制段
2022年	西藏珠峰	阿根廷 SDLA 盐湖	碳酸锂	5万吨	与宋都锂业联合承接的 BOT 合同

资料来源：各公司公告，锂业分会，启迪清源公众号，五矿证券研究所整理

东华科技：中国勘察设计百强企业，重点参与西藏扎布耶万吨碳酸锂 EPC+O 项目

东华工程科技股份有限公司成立于 1963 年，是隶属于中国化学工程集团、专注多领域工程建设以及全过程服务的工程勘察设计企业，服务领域涵盖化工、石化、新材料、新能源、生态环保、基础设施、生物医药等。2018 年至今，公司陆续参与藏格锂业、玻利维亚以及扎布耶盐湖等的碳酸锂项目的工程设计、建设项目，拥有“连续生产电池级碳酸锂的系统及方法”、“碳酸锂反应器”专利技术。公司当前在发展战略中明确坚守新材料、新能源、新环保的发展方

向，不断优化盐湖提锂技术，延长产业链，做大“锂”市场。我们预计，在成功拿下西藏扎布耶盐湖 1.2 万吨碳酸锂的 EPC+O 合同后，公司凭借央企身份，至少在工程设计和项目建设环节、未来将在西藏盐湖开发的项目订单上占据优势。

图表 258：东华科技在盐湖提锂领域中，从参与设计、工程建设逐步拓展到运营领域

时间	合作公司	盐湖	主要产品	备注
2018 年	藏格锂业	青海察尔汗盐湖	碳酸锂：2 万吨	承担碳酸锂项目以及相关配套部分的初步设计、施工图设计工作，设计费用 3000 万元。
2019 年	-	玻利维亚的盐湖	碳酸锂：1.5 万吨	2019 年设立玻利维亚分公司，提供工程技术服务。
2021 年	扎布耶锂业	西藏扎布耶盐湖	电池级碳酸锂：9600 吨 工业级碳酸锂：2400 吨 氯化钾：15.6 万吨	投标报价 28.7 亿元（不含税），合同为 EPC 工程总承包（交钥匙工程）+运营 3 年考核验收。

资料来源：东华科技公司公告，五矿证券研究所

新能源汽车产业链投资建议：资源+整车，聚焦微笑曲线两端

在大方向上，我们认为全球新能源汽车产业的发展已经跨过增长斜率上翘的拐点，从前期的“补贴导入”进入“优秀产品力与积极扶持政策”共促的局面。但在 2022 上半年、尤其 4~6 月份，新能源汽车的短期产业逻辑发生明显反转；22Q2 由于上海等中国主要城市先后遭遇疫情困扰、加上欧洲市场因购买力受侵蚀而增长疲软、以及高企的原材料价格，导致产业终端陷入短暂的迷茫；但伴随汽车供应链的恢复、国内汽车消费刺激政策的出炉、镍钴等大宗商品价格的明显回落以及部分锂电材料的产能释放，叠加高油价的“助攻”，同时各大车企的优质新车型也将陆续上市，我们预计 2022 下半年的中国新能源汽车市场有望再迎高增，并成为今年全球市场的主要驱动力（1-5 月的全球占比便已高达 59%）。

着眼即期的盈利基本面，我们认为上游的锂资源环节（需求刚性，且新能源需求占主体）依然具备吸引力，全年将迎来充分的盈利释放，2022 年动态估值依然处于较低水平。向前看，我们认为暴利的锂价将在 2023 年加速全球资源和回收的放量、以及更加多元供应格局的形成，但拥有高品位、大规模、低成本的“硬资源”，并且自有资源可支撑产量成长性的锂资源商，依然将存在清晰的价值中枢。相比资源，“卖铲子”的提锂技术是一个细分领域，可持续关注资源开发进度、订单落地和技术进步。

向前看，新能源汽车产业链“微笑曲线”的另一端更加值得重视。我们认为下游终端——汽车行业正在经历“乱世”（供应链、成本高通胀）与“变局”（电动化、智能化）的洗礼，有利于格局重塑。关键金属及主要材料的成本压力、芯片短缺、补贴退坡等因素，导致整车企业的成本压力在 2022 年集中凸显，作为应对，新能源汽车已陆续提价、甚至已多轮提价，但提价亦需底气，对于产品力、车型策略、品牌、交付能力、供应链效率（快鱼吃慢鱼）提出了更高要求，这终将促成分化。基于五点逻辑：（1）销量规模大幅上台阶（2）品牌崛起、开启高端化（3）核心零部件供应自主可控、垂直一体化整合模式在行业转型期将带来效率和执行力的优势（4）动力电池加快外供，从封闭走向开放和市场化，赋予垂直整合模式新活力、并将提高竞争力（5）整车是未来重要的智能化终端，行业格局正在重塑、新的盈利模式尚在演变（因此销量规模和产品力是关键，对短期盈利则可更加宽容），我们建议关注比亚迪。

风险提示

- 1、若全球锂资源供给释放超预期、新能源汽车推广低预期，将导致锂产品价格中枢下滑；
- 2、若盐湖提锂技术出现重大突破，或将取代现有的工艺路径。

分析师声明

作者在中国证券业协会登记为证券投资咨询(分析师),以勤勉的职业态度,独立、客观地出具本报告。作者保证:(i)本报告所采用的数据均来自正规渠道;(ii)本报告分析逻辑基于作者的职业理解,并清晰准确地反映了作者的研究观点;(iii)本报告结论不受任何第三方的授意或影响;(iv)不存在任何利益冲突;(v)英文版翻译若与中文版有所歧义,以中文版报告为准;特此声明。

投资评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级(另有说明的除外)。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现,也即以报告发布日后的6到12个月内的公司股价(或行业指数)相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中:A股市场以沪深300指数为基准;香港市场以恒生指数为基准;美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在20%及以上;
		增持	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于5%~20%之间;
		持有	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于-10%~5%之间;
		卖出	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在-10%及以下;
		无评级	预期对于个股未来6个月市场表现与基准指数相比无明确观点。
	行业评级	看好	预期行业整体回报高于基准指数整体水平10%以上;
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%~10%之间;
		看淡	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

一般声明

五矿证券有限公司(以下简称“本公司”)具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告即视其为客户,本报告仅在相关法律许可的情况下发放,并仅为提供信息而发放,概不构成任何广告。本报告的版权仅为本公司所有,未经本公司书面许可,任何机构和个人不得以任何形式对本研究报告的任何部分以任何方式制作任何形式的翻版、复制或再次分发给任何其他人。如引用须联络五矿证券研究所获得许可后,再注明出处为五矿证券研究所,且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。在刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的同时,也应注明本报告的发布人和发布日期及提示使用证券研究报告的风险。若未经授权刊载或者转发本报告的,本公司将保留向其追究法律责任的权利。若本公司以外的其他机构(以下简称“该机构”)发送本报告,则由该机构独自为此发送行为负责。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断,本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入或将产生波动;在不同时期,本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告;本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时,本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改,投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料,本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证,也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正,但文中的观点、结论和建议仅供参考,不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。在任何情况下,报告中的信息或意见不构成对任何人的投资建议,投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下,本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利,不与投资者分享投资收益,也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本公司及作者在自身所知范围内,与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

五矿证券版权所有。保留一切权利。

特别声明

在法律许可的情况下,五矿证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易,也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此,投资者应当考虑到五矿证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突,投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

本报告中,五矿盐湖与五矿证券同受中国五矿集团有限公司实际控制。

联系我们

上海	深圳	北京
地址:上海市浦东新区东方路69号裕景国际商务广场A座2208室 邮编:200120	地址:深圳市南山区滨海大道3165号五矿金融大厦23层 邮编:518035	地址:北京市海淀区首体南路9号4楼603室 邮编:100037

Analyst Certification

The research analyst is primarily responsible for the content of this report, in whole or in part. The analyst has the Securities Investment Advisory Certification granted by the Securities Association of China. Besides, the analyst independently and objectively issues this report holding a diligent attitude. We hereby declare that (1) all the data used herein is gathered from legitimate sources; (2) the research is based on analyst's professional understanding, and accurately reflects his/her views; (3) the analyst has not been placed under any undue influence or intervention from a third party in compiling this report; (4) there is no conflict of interest; (5) in case of ambiguity due to the translation of the report, the original version in Chinese shall prevail.

Investment Rating Definitions

The rating criteria of investment recommendations		Ratings	Definitions
The ratings contained herein are classified into company ratings and sector ratings (unless otherwise stated). The rating criteria is the relative market performance between 6 and 12 months after the report's date of issue, i.e. based on the range of rise and fall of the company's stock price (or industry index) compared to the benchmark index. Specifically, the CSI 300 Index is the benchmark index of the A-share market. The Hang Seng Index is the benchmark index of the HK market. The NASDAQ Composite Index or the S&P 500 Index is the benchmark index of the U.S. market.	Company Ratings	BUY	Stock return is expected to outperform the benchmark index by more than 20%;
		ACCUMULATE	Stock relative performance is expected to range between 5% and 20%;
		HOLD	Stock relative performance is expected to range between -10% and 5%;
		SELL	Stock return is expected to underperform the benchmark index by more than 10%;
		NOT RATED	No clear view of the stock relative performance over the next 6 months.
	Sector Ratings	POSITIVE	Overall sector return is expected to outperform the benchmark index by more than 10%;
		NEUTRAL	Overall sector expected relative performance ranges between -10% and 10%;
		CAUTIOUS	Overall sector return is expected to underperform the benchmark index by more than 10%.

General Disclaimer

Minmetals Securities Co., Ltd. (or "the company") is licensed to carry on securities investment advisory business by the China Securities Regulatory Commission. The Company will not deem any person as its client notwithstanding his/her receipt of this report. The report is issued only under permit of relevant laws and regulations, solely for the purpose of providing information. The report should not be used or considered as an offer or the solicitation of an offer to sell, buy or subscribe for securities or other financial instruments. The information presented in the report is under the copyright of the company. Without the written permission of the company, none of the institutions or individuals shall duplicate, copy, or redistribute any part of this report, in any form, to any other institutions or individuals. The party who quotes the report should contact the company directly to request permission, specify the source as Equity Research Department of Minmetals Securities, and should not make any change to the information in a manner contrary to the original intention. The party who re-publishes or forwards the research report or part of the report shall indicate the issuer, the date of issue, and the risk of using the report. Otherwise, the company will reserve its right to taking legal action. If any other institution (or "this institution") redistributes this report, this institution will be solely responsible for its redistribution. The information, opinions, and inferences herein only reflect the judgment of the company on the date of issue. Prices, values as well as the returns of securities or the underlying assets herein may fluctuate. At different periods, the company may issue reports with inconsistent information, opinions, and inferences, and does not guarantee the information contained herein is kept up to date. Meanwhile, the information contained herein is subject to change without any prior notice. Investors should pay attention to the updates or modifications. The analyst wrote the report based on principles of independence, objectivity, fairness, and prudence. Information contained herein was obtained from publicly available sources. However, the company makes no warranty of accuracy or completeness of information, and does not guarantee the information and recommendations contained do not change. The company strives to be objective and fair in the report's content. However, opinions, conclusions, and recommendations herein are only for reference, and do not contain any certain judgments about the changes in the stock price or the market. Under no circumstance shall the information contained or opinions expressed herein form investment recommendations to anyone. The company or analysts have no responsibility for any investment decision based on this report. Neither the company, nor its employees, or affiliates shall guarantee any certain return, share any profits with investors, and be liable to any investors for any losses caused by use of the content herein. The company and its analysts, to the extent of their awareness, have no conflict of interest which is required to be disclosed, or taken restrictive or silent measures by the laws with the stock evaluated or recommended in this report.

Minmetals Securities Co. Ltd. 2019. All rights reserved.

Special Disclaimer

Permitted by laws, Minmetals Securities Co., Ltd. may hold and trade the securities of companies mentioned herein, and may provide or seek to provide investment banking, financial consulting, financial products, and other financial services for these companies. Therefore, investors should be aware that Minmetals Securities Co., Ltd. or other related parties may have potential conflicts of interest which may affect the objectivity of the report. Investors should not make investment decisions solely based on this report.

In this report, Minmetals Salt Lake Co., Ltd. and Minmetals Securities Co., Ltd. are both actually controlled by China Minmetals Corporation.

Contact us

Shanghai

Address: Room 2208, 22F, Block A, Eton Place, No.69 Dongfang Road, Pudong New District, Shanghai
 Postcode: 200120

Shenzhen

Address: 23F, Minmetals Financial Center, 3165 Binhai Avenue, Nanshan District, Shenzhen
 Postcode: 518035

Beijing

Address: Room 603, 4F, No.9 Shoutinan Road, Haidian District, Beijing
 Postcode: 100037