

“盐湖提锂”行业研究报告

一、盐湖是国内未来锂供给最大增量来源

面对有限的富锂矿石资源储量及强劲的市场需求,开发提取储量丰富的西部盐湖卤水中的锂资源势在必行。

虽然国内盐湖普遍存在高镁锂比、卤水成分复杂、品位低等特点,但随着技术逐步成熟,镁锂比不再是制约因素。技术进步+成本快速下降使得国内盐湖已经具备了大规模产业化的基础。结合技术、成本、资金、政策几方面因素,国内盐湖提锂已站在大规模产业化的拐点之上,未来有望成为国内锂资源供给的最大来源。

1.1 全球锂资源分布不均,国内锂矿石资源有限

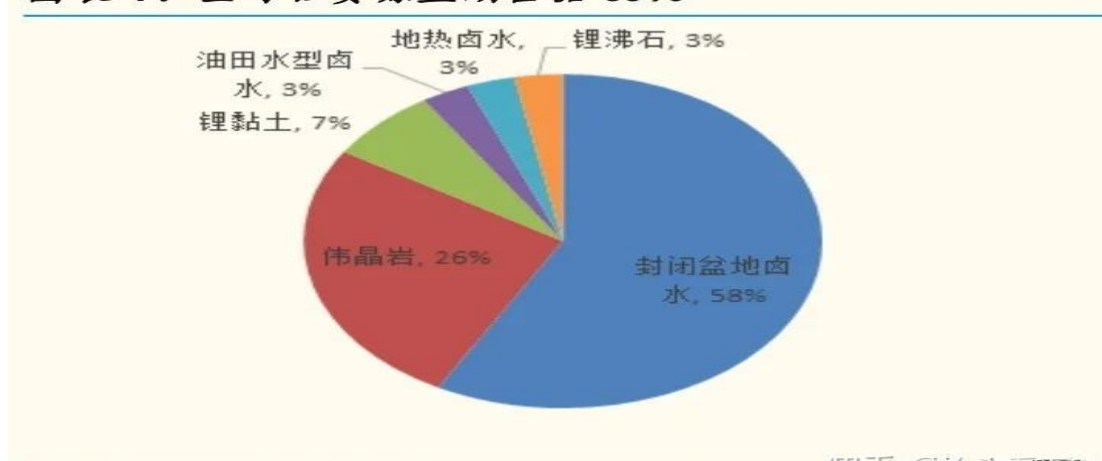
全球优质锂资源集中在澳洲锂矿和南美盐湖。

《中国锂矿资源调查报告》中锂矿类型分为卤水型和硬岩型两大类,其中卤水型锂矿分为盐湖卤水型锂矿和地下卤水型锂矿,硬岩型锂矿分为花岗伟晶岩型锂矿和花岗岩型锂矿。

全球盐湖锂资源约占 60%, 锂辉石资源约占 30%。根据美国地质调查局 USGS 数据,全球锂资源主要存在形式为盐湖卤水、矿石锂和黏土锂等,其中盐湖锂资源占据 58%, 锂精矿占据 26%。盐湖是全球最大的锂资源。

南美“锂三角”锂资源量占 60%, 中国锂资源储量占 6%。根据美国地质调查局 USGS 数据,截至 2020 年末,全球锂资源量约 8600 万吨,其中南美“锂三角”地区(智利、阿根廷和玻利维亚交界处的高海拔湖泊和盐沼)的锂资源量之和约占全球锂资源总量的近 60%,其他资源量丰富的国家还有澳大利亚、美国和中国,其中澳大利亚锂资源量为 630 万吨且大部分为硬岩型锂矿,是世界上最大的硬岩型锂矿出口国。

图表 1: 全球锂资源盐湖占据 60%



来源: USGS, 国金证券研究所

我国锂资源高度依赖进口。2020 年我国锂原料产量占全球比例仅 24%, 基础锂盐冶炼产能却高达全球的 69%, 我国掌握了全球绝大多数的锂加工产能, 但锂资源的自供能力明显不足, 2020 年原料自供率仅 32%。锂资源端由于开发条件各异, 产能不具备可复制性, 扩张周期长、资本开支大, 同时受制于部分国家政策限制, 锂资源的获取和控制难度也非常大。

因此 保障资源供给具有高度的战略意义, 围绕锂资源的争夺战也会越加激烈。

国外锂矿品位高、储量丰富, 开采成本低。全球优质锂矿资源集中在澳大利亚, 氧化锂品位高。如泰利森格林布什矿拥有 2.1% 的较高氧化锂平均品位, 锂矿储量 13310 万吨, 折碳酸锂当量 690 万吨, 加之成熟运营多年, 化学级锂精矿生产运营成本处于全球最低水平。

国内锂矿扩产进度慢, 资源储量低, 品位参差不齐, 缺乏竞争力。国内锂辉石矿主要分

布在四川和新疆，而锂云母矿主要集中在江西。四川的甲基卡是亚洲最大锂辉石矿，计划扩产 7.5 万吨锂精矿，尚未投产。李家沟项目计划最早 2021 年建成投产 18 万吨锂精矿，业隆沟 7.4 万吨锂精矿项目预计 2021 年达产。

我国锂盐生产原料仍以锂辉石为主，盐湖或是未来最大增量。国内锂精矿大部分依赖进口，四川矿山扩产进度缓慢，品位参差不齐。锂云母近年来技术突破+成本下降，是我国锂资源的重要补充，但增量仍然有限，未来国内锂资源最大的增量来自于盐湖。

锂产品根据原材料的不同可以分为矿石提锂和卤水提锂两种工艺路线。矿石提锂和卤水提锂适用于不同类型的原料、采用不同的生产工艺、产出不同品级的锂盐产品，各有优势。

矿石提锂工艺相对成熟，可直接生成各种深加工锂产品，副产品少，对矿源的品质要求较低，但对制备低端工业级锂产品不具备成本优势。

盐湖卤水提锂具有成本相对较低的优势，一般直接产品为工业级碳酸锂，需要经过一定的提纯技术方可转化为深加工锂产品，提锂技术难度相对较高，技术通用性差。不同盐湖资源禀赋需要不同的提锂技术，副产品较多，一般为钾肥、硫酸钾镁肥、硼镁矿等，且盐湖开发一次性投入较大。

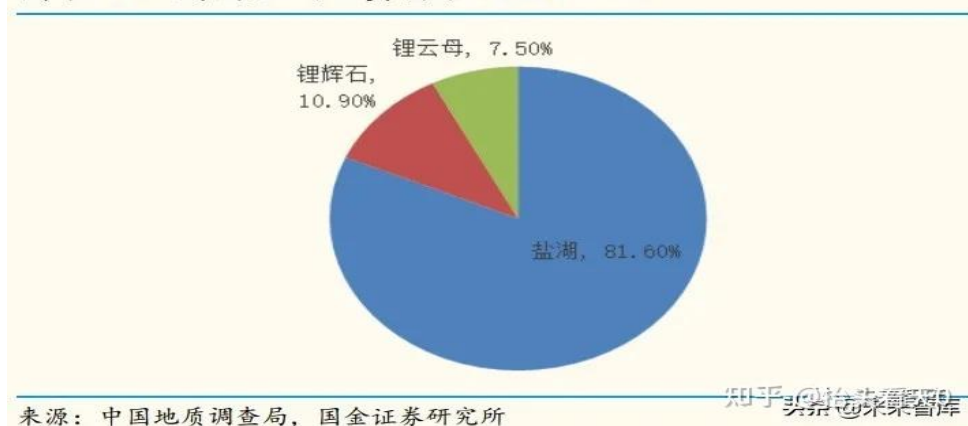
根据中国有色金属工业协会锂业分会的资料，我国生产碳酸锂与氢氧化锂的主要原料仍以锂辉石为主，矿石提锂在制备氢氧化锂方面具备一定的优势。

1.2 国内盐湖迎来大规模产业化拐点

我国盐湖锂资源储量丰富，主要分布在青海和西藏地区。根据中国地质调查局的地球资源利用报告书，我国锂资源量约 714 万吨，主要分布在青海、西藏、新疆、四川、江西、湖南等省区。锂资源分布总体相对集中，青海、西藏和四川锂资源储量占国内锂资源储量的绝大部分，其中西藏和青海为盐湖卤水型，硬岩型锂矿主要分布于四川、江西、新疆等地。

我国盐湖锂资源量占比超过 80%，其中青海地区资源量 310.04 万吨，西藏地区 222.3 万吨，湖北地区 50.61 万吨。锂辉石占比 10.9%，四川地区资源量 76 万吨。锂云母占比 7.5%，江西地区 34.2 万吨。

图表 4：我国盐湖锂资源占 80% 以上



我国盐湖特点：高镁锂比高，对比海外盐湖品味低、提锂难度大。

青海盐湖卤水大多属于硫酸镁亚型和氯化物型，青海柴达木盆地的大柴旦盐湖、东台吉乃尔盐湖、西台吉乃尔盐湖和一里坪盐湖是典型的硫酸盐型高镁锂比盐湖，察尔汗盐湖卤水属于氯化物型，其镁锂比值高达 1400 以上。

我国盐湖卤水具有高镁锂比、高镁含量、低锂含量的特征。锂和镁在周期表中呈对角线关系，物理、化学性质相近，特别是 Mg^{2+} 和 Li^+ 的半径相近，分别为 72 和 76pm。高镁锂比盐湖镁锂高效分离是世界性难题。

国内盐湖提锂近年来技术路线逐渐成熟：

盐湖提锂技术研究起步于上世纪 60 年代。1974 年以后，随着大量盐湖卤水锂资源的发现，助推了世界上一些卤水锂资源大国和锂矿开发企业的开发和投资热情。1980 年以后，美国塞浦路斯富特公司、FMC 等公司开始大举进军盐湖提锂领域，拉开了盐湖提锂产业化的序幕。

当前，吸附法、化学沉淀、离子交换、萃取法、纳滤膜法、电渗析等，都是一些常用的卤水提锂方法，盐湖卤水中镁锂质量比的大小是盐湖提锂技术路径的难点，也决定了青海各盐湖提锂企业的成本完全各不相同。近年来，随着新型锂吸附剂、萃取剂的研发，以及膜法的应用使得盐湖提锂技术有了迅猛发展，镁锂比也不再是影响盐湖提锂的决定性因素，盐湖提锂的成本也比矿石法低得多。

国内盐湖提锂的成本不断下降：

盐湖提锂成本由于技术路线差异而有所不同，海外多以盐田浓缩沉淀法为主（SQM），国内由于盐湖的禀赋较海外差，所以分离成本高于海外。

我国盐湖在开发初期，技术不成熟，导致提锂成本高至 6-8 万元/吨，超过部分矿山提锂的成本，2015 年只有小部分企业生产。2015 年后，盐湖提锂技术逐渐成熟，行业平均成本逐步降至 3.5 万元/吨。

具体看来，针对不同的盐湖资源品质以及地理环境等，选择性应用相关提锂技术：

- 西藏矿业在扎布耶盐湖项目中采用太阳池析锂工艺（约 2 万元/吨成本）；
- 一里坪盐湖采用纳滤膜分离锂技术实现镁锂分离（约 3 万元/吨成本）；
- 西台吉乃尔盐湖通过采用纳滤膜与反渗透膜组合分离镁锂，提高锂离子浓度（约 6 万元/吨成本）；
- 东台吉乃尔盐湖则使用离子选择性分离膜工艺（约 6 万元/吨成本）；
- 察尔汗盐湖主要采用吸附法工艺（3-4 万元/吨成本）。

1.3 自上而下政策助力国内盐湖发展

2021 年 5 月 20 日，《建设世界级盐湖产业基地规划及行动方案》获得国内专家评审通过。该行动方案的总体思路是“1+4+12”，有望加速青海地区盐湖提锂产业发展。

“1+4+12” 方案即构建：

1 个世界级现代盐湖产业体系：完成“组建中国盐湖集团、设立盐湖产业发展基金、成立青海盐湖大学、建设盐湖国家重点实验室”。

4 个重点任务：实施钾盐稳保障促提升工程、锂产品扩规提质工程、镁系新材料创新突破、钠资源高效开发工程、硼资源提取强链、盐湖资源多元提取强链工程、循环经济升级示范工程、建设绿色轻金属合金产业基地工程、“智慧盐湖”数字化转型提升工程、科技创新能力提升“三个一”工程、重大关键技术支撑工程、全方位多层次人才培育 12 个重大工程。

二、国内两大重要盐湖基地：青海&西藏盐湖

国内盐湖从组成上分为三类：碳酸盐型盐湖、硫酸盐型盐湖和氯化物型盐湖。

碳酸盐型盐湖镁锂比最低，提锂条件最好；

氯化物型盐湖镁锂比最高，提锂难度大；

国内盐湖除了扎布耶为碳酸盐型盐湖，其他基本上以硫酸盐型盐湖和氯化物型盐湖为主。青海盐湖中，除了察尔汗盐湖是氯化物型盐湖，其他都是硫酸盐型盐湖。

2.1 青海六大盐湖——起步早、竞争力强

察尔汗盐湖：中国最大氯化物型盐湖

- 资源禀赋：察尔汗盐湖位于柴达木盆地中东部，总面积 5856 平方公里，是我国面积最大、已探明资源储量最丰富的可溶性钾镁盐矿床。地下卤水资源丰富，已探明氯化锂储量 1204 万吨，折合碳酸锂储量 717 万吨，占青海锂资源的 50%以上。察尔汗盐湖锂资源品位较低，锂浓度为 310mg/L；镁锂比高达 1437，高锂镁比导致提锂难度较大。
- 开发商&产能产量：察尔汗盐湖开发企业为蓝科锂业（盐湖股份持 51.42%股权，科达制造间接持 43.58%股权）、藏格锂业（藏格控股 100%）和比亚迪。蓝科锂业拥有 1 万吨/年工业级碳酸锂产能，2020 年产量实现 1.36 万吨，在建的 2 万吨/年电池级碳酸锂产能已于今年 4 月爬坡释放产能，目前碳酸锂日产量达 100 吨。藏格锂业拥有 1 万吨/年碳酸锂产能，2020 年产量实现 0.44 万吨，规划产能 1 万吨/年。总体来看，察尔汗盐湖目前碳酸锂产能在 4 万吨/年，远期规划碳酸锂产能共 7 万吨/年。
- 技术路线：蓝科锂业与藏格锂业均使用吸附法+膜法提锂。蓝科锂业吸附剂为公司自主生产，藏格控股使用的吸附剂由蓝晓科技提供。

图表 12：蓝科锂业碳酸锂产量高于名义产能



东台吉乃尔盐湖：量小而精的盐湖

- 资源禀赋：东台吉乃尔盐湖位于柴达木盆地中部，属于硫酸盐型盐湖，是在青海盐湖中锂资源储量最小的盐湖，折合碳酸锂储量仅为 247 万吨，但锂资源品位较高，锂浓度为 850mg/L，镁锂比为 40。
- 开发商&产能产量：东台吉乃尔盐湖唯一开发企业是青海东台吉乃尔锂资源股份有限公司（青海锂资源），于 2018 年 11 月取得采矿许可证，股东为青海泰丰先行锂能科技有限公司、西部矿业集团公司、青海联宇钾肥有限公司和青海省国资委，青海锂资源持有青海锂业 74.54%股权。青海锂资源和青海锂业分别拥有 1 万吨/年碳酸锂产能，青海锂资源规划 1 万吨/年碳酸锂产能。总体东台吉乃尔盐湖目前有 2 万吨/年碳酸锂产能。
- 技术路线：青海锂资源和青海锂业采用电渗析法提锂，该法可用于锂含量较高的卤水。

图表 14：青海锂业碳酸锂产量 (吨)



西台吉乃尔盐湖：固液共存的硫酸盐型盐湖

- 资源禀赋：西台吉乃尔位于柴达木盆地中部，属硫酸型盐湖，固液共存，主要以液体矿为主。锂资源储量丰富，折合碳酸锂储量 268 万吨。相比东台吉乃尔浓度相对较低，锂浓度为 220mg/L，镁锂比较高达 59。
- 开发商&产能产量：西台吉乃尔盐湖开发企业为青海中信国安锂业发展有限公司和青海恒信融锂业，中信国安现拥有 1 万吨/年碳酸锂产能，规划产能 2 万吨/年，青海恒信融拥有 2 万吨/年碳酸锂产能，但只有西台吉乃尔盐湖探矿权，目前主要购买中信国安的卤水用于生产。目前西台吉乃尔盐湖共有 3 万吨/年碳酸锂产能，远期规划碳酸锂产能共 5 万吨/年。
- 技术路线：中信国安主要采用煅烧法提锂，但由于煅烧法高耗能高污染，导致实际产量较低；恒信融使用纳滤膜法提锂，相比煅烧法工艺更加简单且环保。

一里坪盐湖：富锂特色干盐湖

- 资源禀赋：一里坪盐湖位于西台吉乃尔湖西北，地处柴达木盆地中部，湖区面积 360 平方千米，属干盐湖。锂资源储量折合碳酸锂 157 万吨，锂浓度为 210mg/L，镁锂比 63.7，分离难度较高。
- 开发商&产能产量：一里坪盐湖开发企业为五矿集团控股子公司五矿盐湖，赣锋锂业通过收购伊犁鸿大获得五矿盐湖 49% 股权。五矿盐湖现拥有 1 万吨/年碳酸锂产能，远期规划碳酸锂产能共 2 万吨/年。
- 技术路线：五矿盐湖主要采用纳滤膜分离技术，2018 年与上市公司久吾高科合作，订购 10000 吨/年镁锂分离装置，后与蓝晓科技合作订购 1000 吨碳酸锂吸附剂及分离成套装置，提高对卤水的预处理能力。

大柴旦盐湖：盐类沉积和盐湖卤水并存的盐湖

- 资源禀赋：大柴旦盐湖位于柴达木盆地东北边缘的大柴旦盆地中，属盐类沉积和盐湖卤水并存的盐湖，是我国著名的硼酸盐盐湖沉积区，盐湖面积 240 平方千米，锂资源折合碳酸锂储量 161 万吨，锂浓度 160mg/L，镁锂比 133.8:1，开发难度大。
- 开发商&产能产量：大柴旦盐湖开发企业为青海柴达木兴华锂盐有限公司，控股股东为大柴旦大华化工有限公司，持股比例 51%。目前兴华锂盐拥有 1 万吨/年高纯氯化锂产能，2020 年生产氯化锂 374 吨、碳酸锂 149 吨。
- 技术路线：兴华锂盐采用串级萃取法提锂，将箱式串级萃取槽应用于工业化提锂行业，有效破解了从高镁锂比盐湖中提取高纯氯化锂的世界性难题。

巴伦马海盐湖：资源种类丰富

- 资源禀赋：巴伦马海钾盐矿位于青海省柴达木盆地北部，富含锂、钾、硼、镁等多种资源，开采权内设计可利用氯化锂给水度资源储量 163.49 万吨，设计可采氯化锂储量 130.79 万吨，折合碳酸锂当量 113.84 万吨，氯化锂品位平均值为 168.87mg/L。
- 开发商&产能产量：巴伦马海盐湖开发企业为锦泰锂业，股东锦泰钾肥拥有巴伦马海湖矿区采矿许可证（矿区面积 197.9579 平方公里）和矿产资源勘查许可证（矿区面积 274.89 平方公里）。目前锦泰锂业拥有 0.7 万吨/年碳酸锂产能，远期规划 2-3 万吨/年碳酸锂产能。
- 技术路线：锦泰锂业采用“萃取+吸附+膜”法提锂技术路线。吸附法主要由蓝晓科技负责提供吸附剂和产线运营，技术方案与藏格锂业相似。客户包括赣锋锂业等。

2.2 西藏盐湖——资源禀赋好、潜力大

扎布耶盐湖：中国镁锂比最低的碳酸盐型盐湖

- 资源禀赋：扎布耶盐湖位于日喀则地区仲巴县隆格区仁多乡境内，是富含锂、硼、钾固、液并存的特种综合性大型盐湖矿床。锂资源储量折碳酸锂储量 183 万吨，锂浓度 970mg/L，仅次于智利阿塔卡玛盐湖，镁锂比 0.01，是国内镁锂比最低的碳酸盐型盐湖，资源禀赋极佳。
- 开发商&产能产量：扎布耶盐湖目前开发企业为西藏矿业，其拥有独家开采权。西藏矿业实际控制人为国务院国资委，中国宝武及其一致行动人间接持有公司 22.3%股份。目前西藏矿业拥有 5000 吨/年锂精矿产能，但由于青藏高原自然环境恶劣、基础设施差等因素，其实际产量无法达到设计产能。
- 技术路线：由于扎布耶盐湖的卤水接近碳酸锂饱和点，易于形成碳酸锂沉积，西藏矿业采用盐梯度太阳池结晶法提锂，最终得到锂盐精矿。

图表 22：西藏矿业锂精矿产量（吨）



来源：公司公告，国金证券研究所

龙木错盐湖和结则茶卡盐湖：后续有待开发

- 资源禀赋：龙木错盐湖和结则茶卡盐湖均位于西藏阿里地区日土县东汝乡。其中龙木错盐湖为氯化物型盐湖，卤水面积 100.9 平方千米，锂资源折合碳酸锂储量 187 万吨，锂浓度 120mg/L，镁锂比 74。结则茶卡盐湖卤水面积 113.1 平方千米，属碳酸盐型盐湖，锂资源折合碳酸锂储量 200 万吨，锂浓度 200mg/L，镁锂比 1.15。
- 开发商&产能产量：拥有龙木错盐湖和结则茶卡盐湖开采权企业为西藏城市发展投资股份有限公司，结则茶卡盐湖采矿许可证已于 2021 年 4 月续期 10 年，龙木错盐湖采矿许可证于 2021 年 6 月到期，续期工作尚在办理中。目前两湖暂未进行开采。
- 技术路线：根据西藏城投公告，公司正在推进龙木错盐湖铝系粉体吸附法和结则茶卡盐湖预浓缩卤水萃取提锂法的中试工作。

三、国内盐湖提锂技术百花齐放

由于卤水中锂与多种元素共存，现有提锂工艺均为“先钾后锂”，减少杂质离子的干扰，在去钠、去钾的老卤中有效进行镁锂分离，继而生产出锂盐产品。前端的盐田技术和后端的碳酸锂的沉淀技术相差不大，差异化是中间的镁锂分离技术。

3.1 低镁锂比盐湖提锂以沉淀法和太阳池法为主

不同盐湖的禀赋对应不同的提锂技术路线，海外盐湖镁锂比较低，摊晒条件优越并且矿区周边电力及运输等配套设备齐全，因此多以盐田浓缩沉淀法为主，包括 Atacama、Olaroz 等盐湖均采用该技术。我国西藏扎布耶盐湖镁锂比仅为 0.01，根据自然环境条件，主要采用盐梯度太阳池提锂技术。

沉淀法：海外低镁锂比盐湖

- 原理：沉淀法是指通过化学反应将目标离子转化为难溶物以沉淀的形式从溶液中分离出来。常见方法是将卤水自然蒸发使锂含量浓缩至一定浓度，然后经酸化或萃取除硼、除钙镁离子，最后加入纯碱使锂以 Li_2CO_3 的形式沉淀出来。根据沉淀离子的不同沉淀方式大概可分为两类：伴生离子（镁离子、钙离子、硼和硫酸根等）沉淀提锂工艺和锂目标离子铝盐沉淀提锂工艺。前者是利用共沉淀法除去其他金属离子，后者是仅沉淀 Li^+ ，其中以碳酸盐沉淀法和铝盐沉淀法为主。
- 优劣势：沉淀法是卤水提锂工业中使用较早、工艺较为成熟的方法。其中碳酸盐沉淀法是现阶段较为成熟的工艺，已经应用于工业生产。但是其弊端也日益突出，如工艺流程长导致工艺步骤繁琐、溶剂耗损量较多导致成本突增、供不应求等问题都急需改进。

盐梯度太阳池法：西藏扎布耶盐湖

- 原理：以扎布耶盐湖为代表的碳酸型盐湖由于卤水已接近或达到碳酸锂的饱和点，易于形成不同形式的天然碳酸锂的沉积，拥有扎布耶盐湖的独家开采权的西藏矿业使用盐梯度太阳池法来进行盐湖提锂。先以扎布耶卤水为原料，利用自然界太阳能及冷源在预晒池、晒池中进行冷凝、蒸发，析出各种副产品，并提高卤水中 Li^+ 浓度，所得富锂卤水在结晶池吸收太阳能使卤水增温后，逐渐使 Li_2CO_3 结晶析出，结晶产物经干燥、包装即得到 50%-70% 纯度的锂精矿。
- 优劣势：优势是能够充分利用高原地区丰富的太阳能资源，能耗比较低，生产周期较一般盐田浓缩沉淀法较短，且无需大规模建设盐田，生产成本比较低。不足是建设成本比较高，不能一次生产电池级碳酸锂。

3.2 高镁锂比盐湖提锂六大技术路线

国内盐湖除了西藏扎布耶盐湖外，镁锂普遍比较高，卤水中镁和锂在元素周期表中为对角线，化学性质非常相似，导致镁锂分离非常困难。

国内高镁锂比盐湖提锂技术主要有：吸附法、萃取法、膜法（纳滤膜、电渗析）、煅烧浸取法、电化学法和新发展的反应/分离耦合法。

吸附法：青海察尔汗盐湖

- 原理：离子交换吸附法提锂工艺因为锂吸附剂对锂元素有较高的吸附性将锂离子吸附，然后再加入高纯水将锂离子洗脱，将盐湖卤水中的镁锂比从 500:1 降到 5:1，甚至更低。该方法的关键在于发展性能优异的吸附剂，从最初的有机吸附剂到无机离子交换剂，吸附法已实现从稀溶液中提锂。

现阶段吸附剂主要分锰系、钛系离子筛和铝系吸附剂，铝系吸附剂是目前我国青海盐湖唯一大规模工业化应用的吸附剂。

锰系离子筛：通过将锂离子引入锰化合物中，热处理形成尖晶石结构，再利用酸处理用质子置换 Li^+ ，在不改变晶体结构的情况下，形成锰系锂离子筛。

钛系离子筛：锂钛氧化物(LTOs)离子筛对锂具有较高的选择性，该吸附剂可在其晶体结构无重大变化的条件下，实现锂离子的插层和脱出，而盐水中存在的其他离子如 Na^+ 、 K^+ 和 Ca^{2+} ，由于半径较大，不被吸附，钛系离子筛的离子选择性顺序为：

$\text{Li}^+ \gg \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ 。LTOs 如 Li_2TiO_3 和 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 可通过锂盐处理商业二氧化钛来合成，在洗脱锂时表现出更好的稳定性。

铝系吸附剂：一般化学式为 $\text{LiCl} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，是将 LiCl 插入 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 中形成锂铝复合物金属氢氧化物(LiAl-LDH)而产生的一种有序空位型层状结构。

位于察尔汗盐湖的蓝科锂业公司采用吸附+膜法（纳滤+反渗透）+化学沉锂技术路线，开发新型吸附剂合成方法，引入价格低廉的其他材料，通过对制备工艺的优化，制造成本降

低约 50%。

- 优劣势：优势是吸附技术可用于低浓度的卤水提锂；不会用到大量的酸性试剂，生产效率高，无环境污染，工艺成熟可靠。不足是铝系吸附剂吸附容量非常小，理论可达 7mg/g，实际 2mg/g，需要投入建设大量的吸附装置吸附塔；会用到大量的淡水，建设和折旧成本高。

萃取法：大柴旦盐湖

- 原理：采用相似相溶原理，将卤水和特定有机溶剂混合，在物理或化学反应作用下萃取所需组分，再反萃取。常用于盐湖卤水提锂的醇、酮类萃取剂主要有丙醇、丁醇、苯甲酰三氟丙酮（HBTA）、甲基异丁基酮（MIBK）、环己酮等，其分子结构中都含有羟基或羰基等 Li^+ 配位基团。
- 优劣势：液-液萃取技术具有工艺简单、操作条件易于控制、成本较低、萃取效率和选择性高的优点，被认为是青海盐湖卤水提锂技术中在离子选择性及锂收率上最为突出的一种方法，但是有机萃取剂的环境问题以及对萃取设备的较高要求，在一定程度上制约了该技术的产业化应用。

膜法：一种具有较高分离效率的新兴技术。膜过程已实现规模化连续运行以及自动化控制，在盐湖卤水锂资源提取领域具有广阔的应用前景。根据驱动力不同，膜法提锂技术主要分为纳滤法（压力驱动）与离子选择性电渗析法（电位驱动）。

纳滤膜法：西台吉乃尔盐湖、一里坪盐湖

- 原理：使用纳滤膜截留二价及以上的金属阳离子，一价的 Li^+ 和 Na^+ 可以通过，就可以将提钾老卤中的 Li^+ 和 Mg^{2+} 分离。纳滤膜法适用于镁锂比低于 30 的盐湖卤水，在镁锂比大于或等于 30 的盐湖中需要将纳滤膜法与吸附法或电渗析技术相结合。
- 优劣势：优势是利用物理原理，所用试剂较少，对整个环境友好。不足是膜通量比较低；膜最前端的一些重金属或者一些容易沉淀的二价离子的浓度需要降到很低，以免产生沉淀对膜进行堵塞，对膜的处理会有很大的影响；膜分离的步骤还需要很多稀释过程，整个过程比较复杂。

电渗析法：东台吉乃尔盐湖

- 原理：使用交替放置的阳离子和阴离子交换膜，阳离子在电场作用下通过阳离子交换膜，而阴离子通过阴离子交换膜迁移到电极上，单价阳离子通过单价选择性阳离子交换膜迁移到浓缩室，而二价阳离子被阻挡，留在脱盐室，从而达到镁锂分离的目的。相比于传统电渗析，双极膜电渗析和膜电容去离子系统在工艺和功能上有了较大改进，因此受到了关注。近年来，许多膜材料相继被开发并用于盐湖卤水锂的分离与提取，具有高选择性、低能耗和良好循环性能的膜材料是膜过程工业应用的关键。
- 优劣势：优势是用电来驱动膜进行镁锂分离，整个能耗比较低；化学试剂的流量相对较低，所以成本也比较低，环境相对友好。不足是膜依赖进口，国产膜寿命和效果差一些；膜通量比较低，通过的锂离子溶液浓度比较低，所以整个过程中还需要稀释和浓缩重复进行，比较复杂。

煅烧浸取法：西台吉乃尔盐湖

- 原理：利用含锂氧化镁中的氧化镁和碳酸锂镁不溶于水，用水浸取氧化镁可以达到锂镁分离的目的。将盐田老卤经过酸化制取硼酸后浓缩得到四水氯化镁，经过喷雾干燥后得脱水得到二水氯化镁，进入回转窑在 700-900°C 高温下煅烧脱水得到无水含锂氧化镁等混合物，此时加入高纯水可浸取锂，再除去钙、镁等杂质离子。煅烧浸取法盐湖提锂工艺整体收率为 90% 左右，浸取工艺后进行固液分离得到粗制氧化镁，再进一步精制后可

以得到氧化镁副产品。

- 优劣势：煅烧浸取法提锂工艺从化学原理上是可行的，也是最早实现产业化的技术路线之一，但该工艺因技术路线原因对设备要求较高，普通的设备材质不能满足其要求，导致投资成本过高。且煅烧工艺需消耗较大的热量，能源消耗大，产生有毒有害尾气，污染环境严重。

电化学法：尚未规模化生产

- 原理：利用锂离子电池中的 Li 插层/脱层原理，工作电极作为锂捕获材料先从盐水中捕获 Li^+ ，再将其释放到溶液中回收。在电化学作用下可避免脱锂过程用酸洗脱材料，从而减少了材料溶损，增强了循环性能，是一种低能耗、高效率的提锂技术。在电化学方法中，要求锂捕获材料具有优良的选择性、高的锂容量和长期稳定性。
- 优劣势：使用电化学方法提取锂的过程简单、连续性好，回收过程不用添加其他化学试剂，几乎不引入杂质，产品的纯度和回收率高。但电极上的化学反应需避免副反应，对电解液组成要求较高，系统需要进一步优化，目前尚未规模化生产。

反应/分离耦合技术：新技术探索方向

- 原理：依据层状复合金属氢氧化物 (LDHs) 的晶格选择性与离子识别科学原理，在镁锂分离、提取锂的同时联产镁基功能材料，例如：MgAl-LDHs。MgAl-LDHs 层板由 MgO_6 和 AlO_6 八面体交替排列组成，当镁离子和锂离子在溶液里同时存在时， Mg^{2+} 会形成稳定的金属-氧八面体结构即 MgO_6 ，而 Li^+ 不能形成八面体结构，即不能进入 LDHs 的层板，使得 MgAl-LDHs 对 Mg^{2+} 具有晶格选择性。因此，卤水中的 Mg^{2+} 与外加 Al^{3+} 在碱作用下反应，形成 MgAl-LDHs 固体，镁离子选择性进入固相形成 MgAl-LDHs，而锂离子仍保留在液相，实现镁锂高效分离。
- 优劣势：能够同时实现化学反应和物理分离，其主要特点是：在反应过程中分离出具有抑制作用的产物，可提高总收率和处理能力；在反应过程中消除不良物质，从而保持较高的反应速率；反应过程中产生的热量促进分离过程，从而降低能耗；简化后续分离过程，从而降低生产成本。反应/分离耦合技术打通了从盐湖卤水锂资源提取到锂盐富集整个技术链条，通过锂回收和吸附反应中晶相的改变实现了循环过程，反应条件温和，是盐湖锂资源提取利用新工艺的有益探索。

该技术已在青海察尔汗盐湖提锂项目中完成中试，为后续我国青海其他盐湖及西藏盐湖提锂提供了新的技术方向。

四、国内盐湖现阶段面临的问题

4.1 前期投资额大、产能爬坡时间长

盐湖提锂产线多位于偏远地区，产线的初期土建及公辅设施投入高，对企业的投产积极性造成明显压制。早期盐湖提锂产线由于技术路线和资源禀赋差异，投资水平差异较大，平均单吨投资额超过 8 万元/吨，盐湖股份产线甚至超过 15 万元/吨。

具体来看，国内盐湖项目进展与产能爬坡时间长，保守估计产能释放最少要 2-3 年的周期，投资额与取决于技术路径和盐湖的自动化程度。以青海盐湖为例，根据公告：

2007 年起盐湖股份开始投资建设 1 万吨工业级碳酸锂项目”；

2009 年蓝科锂业合计投资达 5.05 亿元，但吸附剂制造成本和破碎率过高导致项目暂停；

2010 年，蓝科锂业引入俄罗斯的吸附剂技术，实现卤水提锂技术的突破，项目重启；

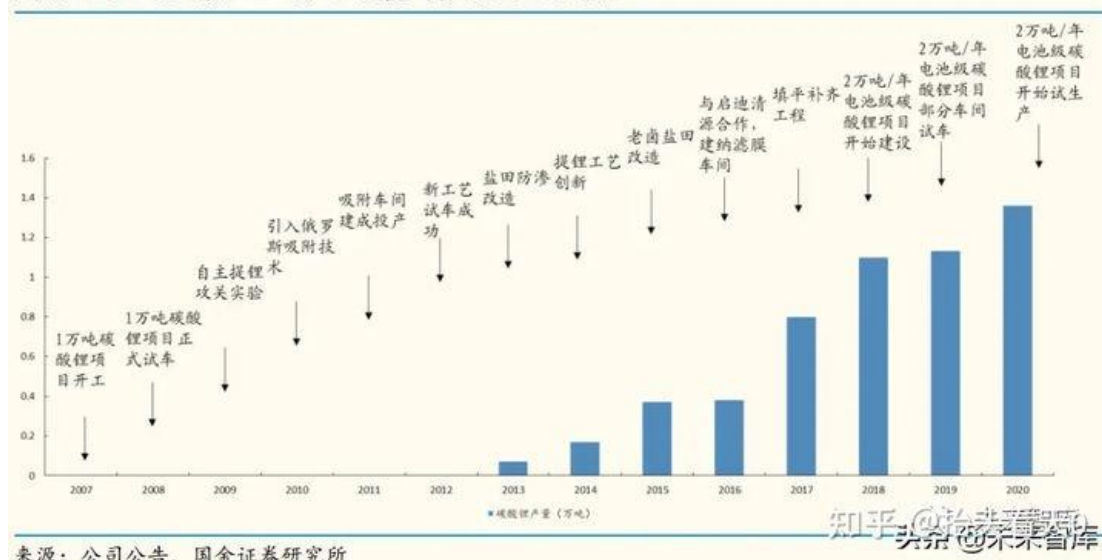
2016 年 3 月，公司与启迪清源公司合作建设膜法镁锂分离一期项目并在 10 月全部投入试运行；

2018 年 6 月公司开始推进建设 5 万吨电池级碳酸锂项目”；

蓝科锂业建设 2 万吨/年电池级碳酸锂项目，投资额 31.3 亿元，单吨投资额 15.7 万元；盐湖比亚迪建设 3 万吨/年电池级碳酸锂项目，投资额 48.5 亿元，单吨投资额 16.2 万元。

2021 年 4 月，蓝科锂业新增的 2 万吨/年电池级碳酸锂项目开始试车生产。

图表 29：蓝科锂业项目进展与产能爬坡过程



来源：公司公告，国金证券研究所

根据公告：藏格控股于 2017 年进军新能源领域，规划 2 万吨碳酸锂项目，投资额 11 亿元，单吨投资额 5.5 万元，并于 2017 年 9 月确定在察尔汗盐湖先期建设年产 1 万吨碳酸锂的一期工程；

2018 年 12 月 1 万吨电池级碳酸锂项目顺利试车投产；

2019、2020 年公司分别生产电池级碳酸锂 1828 吨和 4430 吨，2020 年销售 2013 吨；

2021 年第一季度公司碳酸锂销量约 3200 吨，2021 年的经营目标是生产、销售电池级碳酸锂 1 万吨，即项目实现满产满销。

2015 年 7 月，恒信融锂业开始建设年产 2 万吨碳酸锂项目，项目总投资为 6.6 亿元。

2017 年 10 月，该项目投料试车成功并于 2017 年 11 月正式投产；

2019 年 5 月，公司宣布年产 6000 吨的磷酸锂车间投产试车成功。

4.2 盐湖提锂技术仍有改进和发展空间

基于目前我国青海盐湖提锂技术进展及产业化发展状况，针对青海地区高镁锂比盐湖锂资源的开发利用，尚需解决如下问题：

- ✧ 盐湖锂资源开发利用的总收率偏低；
- ✧ 提锂后资源的综合利用程度低；
- ✧ 镁锂分离技术有待优化提高，开发高纯的氯化锂、氢氧化锂、金属产品，延长锂产品产业链，实现锂资源高值化、多元化利用；
- ✧ 盐湖高效提锂技术的工程化和产业化研究待加强。

由于地理环境、气候条件以及光照条件等因素影响，西藏地区盐湖卤水蒸发速度低、老卤产出周期长，因此青海地区盐湖提锂技术未必适用于西藏盐湖锂资源的开发。针对西藏地区盐湖锂资源开发，应结合西藏地区的环保要求，发展低能耗、无污染、绿色环保的提锂技术。因此吸附法和膜分离技术在西藏盐湖提锂中具有突出的应用前景。

我国盐湖主要位于青藏高原生态环境脆弱区，未来的盐湖提锂技术应充分利用当地的太阳能、风能、冷能和地热等天然资源优势，发展高效盐田工艺，减少外来化学试剂添加。在

开发锂资源的同时，促进盐湖资源的综合利用，积极开发提锂后高镁或高钠卤水及沉锂母液等高盐废水综合治理及锂资源再利用技术，促进盐湖提锂技术向高效、集约、绿色环保的方向发展。

未来技术发展走向：多种盐湖提锂技术的耦合

依据各分离技术的优势和特点，耦合利用不同提锂技术是未来青海地区盐湖提锂的一个重要发展方向，比如膜法与吸附法等其他技术组合，可进一步提升镁锂分离效果和锂浓度，高镁锂比盐湖卤水可利用反应/分离耦合技术进行镁锂分离，之后再利用普通电渗析及双极膜电渗析直接加工锂盐产品，而无须传统的蒸发浓缩和化学法沉锂技术，有利于提升锂资源利用率、降低能耗。

五、盐湖提锂产业链梳理

按盐湖提锂六大主流技术路线梳理盐湖提锂产业链中的资源型公司和辅材设备型公司

吸附法提锂企业：

蓝科锂业（盐湖股份控股、科达制造参股）；

藏格锂业（藏格控股）；

比亚迪（仍在中试）和锦泰锂业；

吸附装置与吸附剂：蓝科锂业使用自研吸附剂

藏格锂业于 2018 年 3 月与蓝晓科技签订年产 1 万吨碳酸锂的盐湖卤水提锂装置合同；

蓝晓科技深耕吸附法提锂，提供吸附分离系统装置和吸附剂，目前已在国内外开展完成多个盐湖提锂项目；

容汇锂业拥有吸附专利技术；

设备供应商：

启迪清源提供氯化锂分离浓缩装置，目前 10 套装置已投入运行；

碳酸锂工程设计供应商：

东华科技为藏格锂业提供 2 万吨/年碳酸锂项目建设工程设计；

纳滤膜法提锂企业：

恒信融锂业（奥特佳参股）和五矿盐湖（赣锋锂业参股）；

镁锂分离装置：

久吾高科与五矿盐湖在 2018 年 4 月签订了 1 万吨碳酸锂项目，久吾高科提供镁锂分离成套装置。

目前拥有膜技术和专利的企业：

南方汇通、三达膜、上海凯鑫、创元科技、博天环境、联创股份和津膜科技。

电渗析法提锂企业：青海锂业（青海锂资源参股）。

萃取法提锂企业：兴华锂盐（亿纬锂能参股）。新化股份拥有萃取技术专利。

太阳池法提锂企业：西藏矿业。天齐锂业与比亚迪参股扎布耶盐湖。