

WHITE PAPER ON
SUSTAINABLE LITHIUM INDUSTRY
IN ACHIEVING NET ZERO

净零排放目标下
可持续锂业白皮书

2023

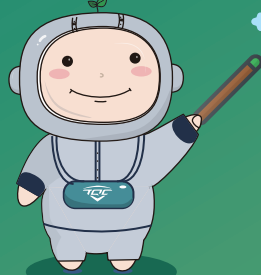


天齐锂业
TIANQI LITHIUM





开启“锂想”之旅



矿山

电卡车

电叉车

锂盐加工

盐湖

电池厂

风电

光伏

火箭

智慧电网

储能电站

润滑油

工程机械

超算中心

机器人

电脑

办公楼

海上风电

电动自行车

手机

居民区

智慧长椅

电动车

工业制造

航运

共创锂想·净零倡议

气候变化是当今时代最紧迫的问题之一，解决它需要全社会系统性的转型变革。其中，关键过程之一是生产和消费系统从基于化石能源转向风能、太阳能等可再生能源。锂在这一过程中发挥着关键的作用。

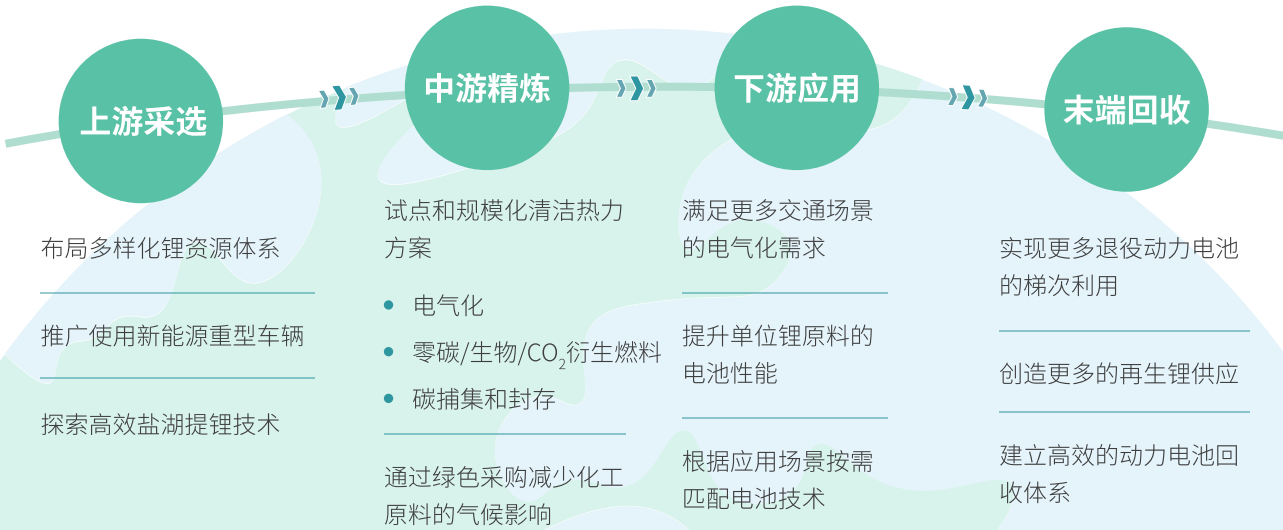
然而，净零挑战的复杂性和规模是巨大的，任何公司都无法单独实现。跨行业、价值链、政府和组织层面的合作对于释放净零潜力至关重要。这需要一个富有雄心的气候目标以促进政府和企业建立共识和凝聚力。

因此，天齐锂业在此发起“共创锂想·净零倡议”，

邀请价值链成员不晚于2050年实现企业运营的净零排放，并努力减少价值链上的其他排放。

该目标将使锂行业的脱碳进程与促进《巴黎协定》的实现保持一致。我们知道达成这一目标绝非易事，但这对我们的社会、地球和子孙后代来说非常重要。

锂行业气候关键行动一览



价值链零碳愿景

- 加速可再生电力应用，迈向100%可再生电力供电
- 加速实现二次电气化转型，提升电能能源消费占比
- 加速产业数字化升级，提升价值链资源和能源利用效率

价值链零碳机遇

- 制定气候与零碳相关标准和指引
- 加大零碳目标所需技术研发投入、创建平台共享技术

白皮书专家评语

陈立泉 中国工程院院士、国家先进电池材料产业集群名誉理事长

白皮书全面深刻地描绘了锂行业的脱碳路线图，设立雄心勃勃的净零目标。其综合性和前瞻性将有助于各利益相关方共同面对锂行业的低碳转型挑战，推动全球锂行业的公平、绿色发展。作为锂行业龙头企业，天齐锂业有机会引领行业形成全产业链标准，将中国锂业推向国际舞台。

成会明 中国科学院院士、中国科学院深圳先进技术研究院碳中和技术研究所所长

锂作为支撑能源转型的关键金属之一，在电力、交通、建筑等方面发挥着重要作用，锂行业的低碳和零碳化是各行业实现净零目标的重要部分。锂行业的净零碳路径对于脱碳技术的要求是较高的，涉及技术研发、投产成本等方面的挑战。白皮书提出了锂行业的净零碳目标，目标的设定具有包容性和可行性，可以很好地为相关企业设立自身减碳目标提供系统性路径参考。

赵天寿 中国科学院院士、南方科技大学碳中和能源研究院院长

无论是降低碳足迹，还是放大碳手印，零碳路径都会对产业发展产生影响。白皮书为锂行业提出科学的净零目标，全面地讨论了锂全生命周期（或整体价值链）的碳足迹和碳手印，兼备技术性和经济性分析，具有很高的行业参考价值。

雷宪章 德国国家工程院院士，西南石油大学碳中和首席科学家

从工业味精，到白色石油，再到支撑能源转型的“哲人石”，锂行业成为支撑能源部门净零排放目标的关键行业。报告考虑了锂行业脱碳的可行性和经济性，可行性方面根据锂行业的温室气体排放现状，详细分析了上中下游和末端的脱碳技术路径；经济性方面重点考虑了碳捕集回收、动力电池回收等方面的商业化潜力。

锂电池产业是全球性的产业，需要加强国际合作交流，以共同面对行业挑战和机遇。天齐锂业作为行业龙头企业，可以带领锂行业形成机制性全产业链标准，逐步推动中国锂业走向国际。

柴麒敏 国家气候战略中心战略规划部主任

我很高兴看到报告中描绘了锂行业的脱碳路线图——到2030年碳排放达到较低的水平，到2050年实现净零目标，这个目标无疑是有雄心的。锂行业的脱碳需要考虑政策、国际贸易、技术标准、生产基地封存技术等综合因素，白皮书对行业成员、公共部门和金融机构发出行动呼吁，希望白皮书发布后可以指导锂行业向着可持续净零目标转型发展。

陈朝阳 新能源科技有限公司 EHS 副总经理

白皮书对于推动锂行业零碳转型有十分重要的意义：在全球不确定性因素增长的今天，下游客户更关心中国锂供应链的安全性和稳定性，如何形成更稳定可靠的锂资源供给能力成为重要议题。白皮书站在锂行业前沿，为中国锂供应链的脱碳提出了“资源可及、技术可达、财务可行”的零碳转型时间线。

戴彦德 国务院特殊津贴专家兼任中国能源研究会能源经济专业委员会主任

碳中和目标下，中国的能源消结构将发生颠覆式的变化，届时非化石能源消费将占比80%以上，电力系统将会成为脱碳主力，其中锂电池是重要参与者。白皮书以清晰的逻辑框架和国际化视角，描述了锂行业在此背景下所面临的机遇和挑战，并提出了锂行业以目标为导向的行动计划，是踏实的、深远的且雄心勃勃的。这份高质量的报告为整个锂行业净零转型指出了方向，天齐锂业净零目标的提出对价值链其他成员也有很好的参考价值。

康飞宇 清华大学深圳国际研究生院副院长、世界低碳城市联盟名誉主席

从白皮书中可以看到中国企业对于碳减排的重视，尤其天齐已经在做这方面的工作。锂在电动汽车、储能、电子产品等方面对社会的贡献很大，锂行业的脱碳对于国家能源转型有重要的作用。目前中国具有全球锂行业产能优势，如何在维持中国市场份额的基础上规划零碳路径是需要考虑的。白皮书数据翔实、信息丰富，提出了锂行业全价值链的脱碳路径，为行业的绿色发展注入了新动能。

李宝华 清华大学深圳国际研究生院材料研究院副院长

中国新能源行业已经具备全球竞争优势，但也应避免孤军深入的风险。中国的锂行业目前是有产能优势的，但需要更谨慎地思考全局。相信白皮书所提供的全面视角，能够有助于将锂价值链安全和零碳路径相结合，实现锂行业的可持续发展，促进中国锂行业、新能源行业的安全发展。

黎玺 四川省节能协会绿色低碳中心总工程师

提升能源利用效率、优化产品生产工艺、加强电池回收和再利用、推动锂行业技术创新升级是锂行业可持续发展的重要方向。白皮书为锂行业的可持续发展提出了有益的思路和建议，企业可以结合白皮书识别自身气候风险和机遇，建立能源管理系统并与企业运营挂钩，赋能上下游企业。

李原 广州碳排放权交易中心副总裁

在气候变化的时代背景下，净零目标的实现是一项必要且艰巨的任务，需要多方共同努力实现锂行业的转型变革。白皮书关注锂行业气候变化议题下的风险和机遇，为各方参与合作提供了指引，鼓励行业制定零碳供应链开发认证标准、完善国际贸易市场准入、信息披露等。希望白皮书的“共创理想·净零倡议”可以吸引更多的企业、机构组织加入锂行业脱碳之路。

林晓 博萃循环 CEO, 国际标准化组织 ISO/TC333 中方代表团团长

锂是锂电池中不可或缺的关键金属，相对于其他电池金属，在全生命周期过程的碳排放较低、对锂电池性能贡献较大，在交通工具电动化、可再生能源储能等全球主要降碳场景中均作为不可或缺的关键资源和核心材料，全球锂行业的可持续发展不仅是锂行业的未来、也事关全球双碳行业发展。白皮书的内容很好的与ISO，IEA，SBTI等国际通行方法、标准进行对接，并提出了锂行业全价值链的脱碳路径。

未来建议天齐锂业等锂价值链企业参与国际锂行业净零标准的完善，共同推动全球锂行业公平、绿色的发展。

王洪涛 四川大学碳中和未来技术学院副教授

在锂电池的生产过程中，工艺技术过程、能源、化学药剂的碳足迹占比很高，白皮书对此进行了深度分析，发掘中上游工艺原料减排的可能性，提出锂矿来源低碳多样化和提锂工艺绿色灵活化的建议。这些对于锂行业生产运营的可持续发展，以及跨学科技术创新合作有重要意义。

吴孟强 电子科技大学材料与能源学院教授

白皮书创新性地提出了通过物质流和能量流对锂行业进行净零排放与节能分析，并提出了锂行业价值链不同环节的“四化”净零策略，为探索锂从“白色石油”到支撑能源转型“哲人石”的转化提出了有益参考。

张亚龙 深圳可持续发展研究院执行院长

白皮书具有国际性的视角和行业领导者的站位：对齐SDGs议题，剖析了可持续发展目标下锂行业所面临的挑战，并提供解决这些挑战的策略，很好的诠释了零碳与可持续发展的协同效应。所设定的锂行业脱碳路线图是有愿景、有感知、有方向、有可行性的，可以帮助整个行业和企业思考如何提升自身ESG表现。

赵家生 中国有色金属工业协会锂业分会会长

锂行业是有色金属工业的重要组成部分，对支撑战略性新兴产业有关键作用，在推动碳中和目标的实践中发挥着不可或缺的作用。天齐锂业作为全球领先的锂业龙头企业，在提炼企业管理创新和降碳实践的基础上编制白皮书，发挥行业引领和带动作用，提高我国锂行业的核心竞争力，推动产业节能低碳技术的不断提高和重大突破，最终实现产业绿色升级，助力我国锂行业的高质量发展和双碳目标的实现。

赵锐 西南交通大学教授，博士研究生导师

锂行业价值链的公平发展，需要厘清政策引导和市场需求导向对于锂价值链相关主体的影响。结合最新行业前沿动态，白皮书清晰地展示了净零目标下的锂行业的各利益相关方，识别低碳转型中能源替代、市场需求、机制保障方面的影响。白皮书提出了有前瞻性的净零倡议和行动呼吁，与价值链成员共同面对低碳转型中的不确定性。希望白皮书的发布，可以吸引更多的政府部门、机构、企业联合推动全球锂行业净零目标的实现。

词汇表

• IEA

国际能源署 (International Energy Agency, IEA) 是一家成立于 1974 年的独立国际组织, 总部位于法国巴黎。其主要工作包括对全球能源市场的分析和预测、为政府和私人部门提供能源政策建议、支持能源技术的研发和应用, 以及推动能源市场的改革和国际合作等。

• 巴黎协定

2015年12月联合国197个成员国在气候峰会中通过的旨在应对气候变化减缓、适应和融资的国际条约。

• 电气化

通过更换或改造设备, 实现利用电力供能满足动力、热力等能源需求, 以替代原本会消耗的化石燃料。

• 光储直柔

集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的建筑形式。

• 可再生电力

由可再生能源通过不同的技术转化成的电力。

• 可再生能源

来自自然资源中的能源, 例如太阳能、风能、潮汐能、地热能、水能、生物质能, 是取之不尽, 用之不竭的能源。

• 能源清洁转型

全球能源部门从以化石能源为基础的能源生产和消费系统 (包括石油、天然气和煤炭) 向风能、太阳能等可再生能源的转变。

• 情景

基于“如果-那么”命题对未来如何展开的描述, 通常包括初始社会经济状况以及对排放、温度或其他气候变化相关变量的关键驱动力和未来变化的描述。

• “双碳”目标

“碳达峰”和“碳中和”的简称。中国力争2030年前实现碳达峰, 2060年前实现碳中和, 也被称为“3060”目标。

• 碳捕集及封存

将工业或发电等活动产生的二氧化碳等温室气体捕获并储存起来的技术。

• 温室气体

大气中吸收和重新放出红外辐射的自然的和人为的气态成分。《京都议定书》中规定了六种温室气体, 包括二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亚氮 (N₂O)、氢氟碳化物 (HFCs)、全氟化碳 (PFCs) 和六氟化硫 (SF₆)。

• 减少排放 (GHG abatement)

是指企业采取的组织、减少或消除其温室气体排放举措。为了与"避免排放" (GHG avoidance, avoided emissions) 明确区隔, 通常将减少排放的范围理解为价值链以内。

• 避免排放 (GHG avoidance, avoided emissions)

是指“发生在产品生命周期或价值链之外, 但由于使用该产品而减少的排放”。

• 碳移除 (CO₂ removal)

是指通过人为活动将CO₂从大气中移除并永久储存, 包括开展植树造林、在建筑中使用植物材料、直接从大气中捕集并封存CO₂、利用土壤固碳、生态恢复、以及基于生物质能源的碳捕集与封存。上述活动可以是在价值链以内或以外。

- 净零碳 (Net Zero)

按照ISO-IWA 42:2022 Net zero guidelines定义,净零碳,是指特定时期和特定边界内人为造成的温室气体排放量与人为形成的碳移除量达到平衡的状态。在本报告中,净零碳的含义包含CO₂在内的主要温室气体。

- 碳中和 (Carbon Neutrality)

按照IPCC-AR6定义,是指国家、地区、组织或产品、服务、活动在其控制范围内实现人为活动排放CO₂与吸收的CO₂达到平衡。在全球尺度上,净零碳与碳中和概念完全等同,但在更小尺度上,碳中和允许企业利用控制范围以外的碳减排量或碳移除量,补偿控制范围内尽力减排但仍无法消除的碳排放,以实现企业、产品和活动层面的净排放与净吸收的平衡。在本报告中,碳中和包含CO₂和其他主要温室气体。

- 碳足迹 (Carbon footprint)

是指企业经营活动在价值链范围内产生的温室气体排放。在针对产品时,碳足迹是指归属于单位产品的价值链以内的碳足迹。“减少碳足迹”包括企业在价值链内减少排放或增加碳移除举措。

- 碳手印 (Carbon handprint)

是指企业经营活动,例如固定资产投资、技术扩散、产品推广等方式在价值链以外产生的避免排放或增加碳移除所等效的温室气体数量,也称作价值链以外减缓 (Beyond Value Chain Mitigation,BVCM)。“放大碳手印”是指加大上述能产生碳手印的企业活动及其影响,以减缓气候变化。

- 碳锁定 (Carbon “lock-in”)

是指一个经济系统(包括基础设施、技术、投资机制和行为模式等)因为巨大沉没成本风险、或路径依赖原因,被锁定在历史传统高碳经济发展模式或制度环境下,无法顺利实现低碳转型。在本报告中指特定行业在一段时间集中扩大产能、将产业资本大量集中投资于碳排放水平较高或尚未成熟的技术,造成未来运营期内减碳和资产风险无法兼顾的被动局面。



目录

01 锂行业概况	1
1.1 锂的起源与发展	2
1.2 锂在净零排放目标下的作用	4
• 1.2.1 支撑电力系统净零转型	4
• 1.2.2 支撑电动化交通体系建设	5
• 1.2.3 赋能净零建筑能源系统	6
02 锂行业在净零排放目标下的主要挑战	7
2.1 供需不平衡减缓能源转型进度	8
2.2 行业碳排放规模增长难以忽视	9
2.3 快速扩张下面临潜在资产搁浅	12
03 锂行业在净零排放目标下的关键策略	13
3.1 上游锂矿来源多样化	15
• 3.1.1 构建多样化锂资源体系	15
• 3.1.2 打造绿色锂矿采选体系	18
3.2 中游提锂工艺绿色化	21
• 3.2.1 推动现有工艺减排	21
• 3.2.2 部署灵活提锂工艺	30

3.3 下游资源利用高效化	33
• 3.3.1 材料高效利用	33
• 3.3.2 电极生产降碳	35
• 3.3.3 应用场景拓展	35
• 3.3.4 市场定位细分	36
3.4 末端电池材料再生化	39
• 3.4.1 动力电池梯次利用	40
• 3.4.2 动力电池拆解回收	41
• 3.4.3 循环经济业务形态	43

04 行动呼吁	47
4.1 价值链成员	48
4.2 公共部门	51
4.3 金融机构	53

参考文献	55
《2022 年天齐锂业气候相关财务信息披露(TCFD)简报》	61
治理	62
战略和风险管理	63
指标和目标	67

01

锂行业概览

1.1 锂的起源与发展 >>

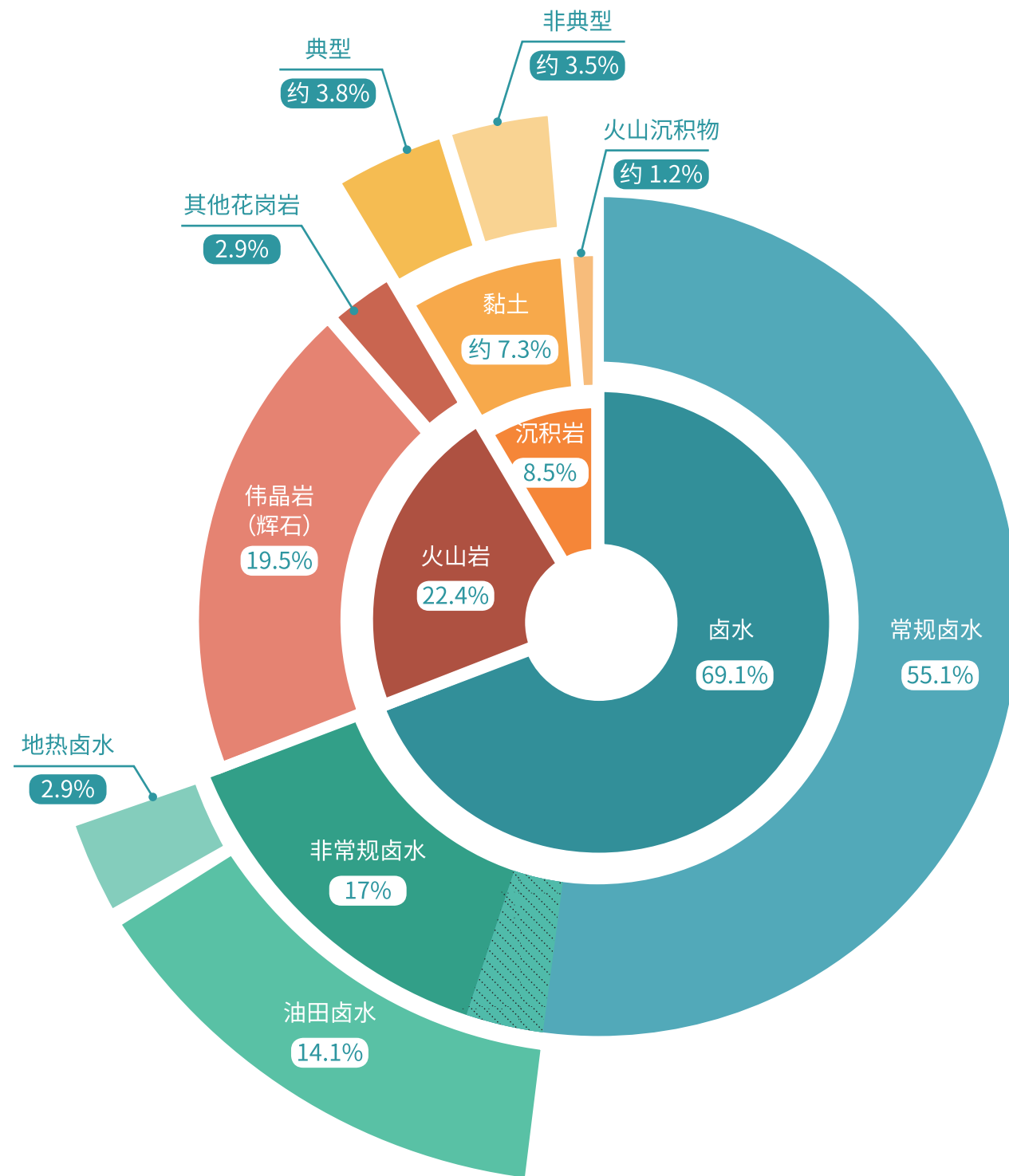
——从工业味精，到白色石油

“锂” (Lithium) 的名字来源于希腊语lithos, 意为“石头”。1817年, 瑞典化学家Johan August Arfwedson在研究锂长石矿物时首次发现了锂元素。他将这个新元素命名为“锂”, 以表示它存在于一种石头中。

锂是元素周期表中最轻、密度最低的金属元素。金属锂具有高度的反应性和活性, 因此在自然界中很少以纯金属的形式存在。它通常以矿物化合物的形式存在于岩石或卤水中。其中, 卤水约占全球锂储量的三分之二, 主要分布在智利、阿根廷和玻利维亚的“锂三角”区域 (Sterba et al., 2019)。

锂原料经过加工可制成碳酸锂、氢氧化锂、氯化锂、金属锂等材料, 早期在工业上主要被用于陶瓷、玻璃、铸造、冶金、润滑脂等领域 (Sykes et al., 2019), 以增强和调整各种材料和化学品的性能, 因此被形象地称为“工业味精”。近年来, 随着锂在电池领域的应用不断深入, 锂离子电池被更多应用于电子产品、电动汽车、储能等领域 (Reddy et al., 2020)。因为其在现代科技和能源行业中的重要性价值, 锂越来越多地被称为“白色石油”和“能源金属”。





注意：“非常规”卤水严格意义上是卤水矿藏的一部分，由于尚未有可行的开采技术，在此图中单独列出，常规卤水与非常规卤水在储量上存在部分重合。

图 1. 全球锂资源储存形态分布

1.2 锂在净零排放目标下的关键作用 >>

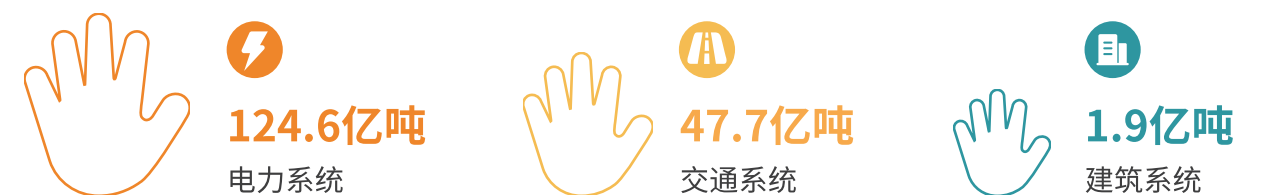
——从“白色石油”到支撑能源转型的“哲人石”

2015年12月，全世界197个国家在巴黎召开的缔约方会议第二十一届会议上通过了《巴黎协定》，旨在大幅减少全球温室气体排放，将本世纪全球气温升幅限制在2°C以内，同时寻求将气温升幅进一步限制在1.5°C以内的措施。为实现这一目标，全球温室气体排放量需要从今天的水平大幅下降，到本世纪中叶达到净零水平。

能源部门占当今温室气体排放的约四分之三 (Ritchie et al., 2020)，推动能源清洁转型将是响应《巴黎协定》实现净零排放目标的关键。动力电池和储能电池将在这一进程中发挥关键作用，这为本世纪锂行业的发展赋予了重要使命：作为支撑净零排放目标的关键行业，推动锂从“白色石油”成为助力能源清洁转型的“哲人石”。

能源清洁转型的“哲人石”，借用欧洲炼金术传说中“点石成金”所依靠的神秘元素(哲人石)，寓意锂元素作为储能材料，在能源转型中扮演着“能量包”和“调节池”的作用，让交通行业摆脱对石油燃料的依赖、也为可再生能源占比逐步提升的新型电力系统建设增加调节能力，解决可再生能源的随机性、间歇性和波动性，逐步消除自身的碳足迹，通过助力绿电消纳与应用放大碳手印。

>> 锂的主要碳手印 <<



1.2.1 支撑电力系统净零转型

建设以新能源为主体的新型电力系统是实现双碳目标的重要路径。以太阳能和风力为代表的新能源发电系统具有间歇性、波动性、随机性强等特点。在可再生电力替代火电成为主力电源的过程中，同步建设储能系统对于电力系统平稳转型非常重要。合理部署储能系统可以平滑可再

生能源出力、参与电网辅助服务、调峰调频，提升分布式可再生能源在用户侧使用能力。

目前，抽水蓄能是全球范围内应用最广泛的电网规模储能技术，份额超过90%，但电池储能正在快速增长，是新增储能规模的主要来源 (IEA, 2022d)。在IEA NZE (净零排放, Net Zero Emissions) 情景中，2021年至2030年间，电网规模电池储能容量将扩大44倍至680GW，仅在2030年就将增加近140GW (IEA, 2022d)。

锂离子电池由于在功率、能量密度、响应速度以及电池组态方式 (configuration) 等方面具有良好的性能，在电池储能中具有最大的应用潜力。其中，磷酸铁锂电池作为锂离子电池的一种类型，是电网规模储能的首选 (IEA, 2022d)。2021年，全球电网规模电池储能投资达70亿美元，其中锂离子电池占总部署的90%以上 (IEA, 2022d)。

在电力行业，锂行业通过保障以新能源为主体的新型电力系统稳定运行、助力光伏风电发展和用能电气化，预计到2050年将帮助全球能源系统碳排放较2020年减少124.6亿吨*。

*基于IEA NZE情景计算 (IEA, 2021b)。

1.2.2 支撑电动化交通体系建设

以新能源汽车为代表的电动化浪潮，是交通行业，尤其是道路运输最重要的脱碳途径。许多国家和地区已经发布了计划性的石油和柴油汽车禁令，以推动交通行业的快速脱碳。

在净零排放目标带动下，电动汽车成为近10年清洁能源领域最具活力的市场之一。2012年，全球轻型电动汽车销量仅为12万辆，到2022年，这个数字已经上升到1380万辆 (IEA, 2023)。在IEA NZE情景中，全球轻型电动汽车销量到2030年将达到5600万辆，市场份额将超过64%，到2050年，几乎所有销售的轻型汽车都将是电动汽车 (IEA, 2021b)。

锂电电极是动力电池最理想的电极材料。与其他电极材料相比，锂电电极具有更高的理论能量密度，可以在相同材料体积或重量下提供更大的放电容量和更长的续航里程。2022年，镍锰钴锂电池 (60%)、磷酸铁锂电池 (30%) 和镍钴铝锂电池 (8%) 几乎占据了所有轻型车辆动力电池市场 (IEA, 2023)。

在交通行业，锂行业通过助力车辆电动化，到2050年将助力全球乘用车、轻型商用车、重型卡车行驶碳排放较2020年减少47.7亿吨*。

*基于IEA NZE情景计算 (IEA, 2021b)。

注：轻型车辆 = 乘用车和面包车；重型卡车 = 中型和重型货运卡车

1.2.3 赋能净零建筑能源系统

根据IEA分析，为促进实现《巴黎协定》目标，所有新建建筑到2030年应实现零碳就绪 (zero-carbon-ready)，超过85%的建筑到2050年应实现净零就绪 (IEA, 2022a)。零碳就绪建筑指的是一种具备高度节能、低碳排放和环境可持续性的建筑形式，其运营需要依靠新型电力系统集成方案，而建筑储能在这之中提供了可靠保障。

具体来讲，建筑配套储能系统可以确保建筑“发电充分并网”和“充分利用可再生电力”。在“光储直柔”技术体系中，建筑储能单元在直流微网中作为“充电宝”，缓冲并储存日间光伏电力，以满足建筑夜间电力需求，实现对高比例可再生电力系统的有效调节，同时提升建筑发电与用电质量。

根据分析，如果未来中国城镇中350亿平方米的居住建筑和100亿平方米的办公建筑均采用这种配电模式，同时连接3亿辆电动汽车，可以实现40亿kW风光电的调蓄和消纳，相当于解决了我国规划的70亿kW风光电的60%的消纳问题 (中国光储直柔建筑战略发展路径研究项目组，2022)。

预计2030年后，建筑物的储能需求将成为锂离子电池的重要应用场景。基于锂电池的“光储充一体”设施不仅是“光储直柔”技术体系的重要组成部分，也是支撑交通行业脱碳的重要举措。

在建筑行业，锂行业通过为依靠可再生能源供电的建筑物提供储能设施，到2050年将助力建筑行业电力相关碳排放较2020年减少1.9亿吨*。

*基于IEA NZE情景计算 (IEA, 2021b)。

02

锂行业在净零排放目标下的主要挑战

2.1 供需不平衡减缓能源转型进度 >>

锂是影响全球能源清洁转型的关键金属之一，也是需求增幅最大的金属。在IEA NZE情景中，到2030年，全球锂需求量将从2020年的7.4万吨LCE（碳酸锂当量）上涨到365万吨LCE（IEA, 2022b）。

电动汽车需求激增是锂需求增长的首要驱动力。在IEA NZE情景中，到2030年，全球电动汽车销量将达到5600万辆，届时仅电动汽车对锂的需求量就将达到262万吨 LCE（IEA, 2021b）。

锂的供应问题正在引起行业的担忧。2021年，全球电动汽车销量的增速远超预期，尽管全球锂产量同年同比增长32%，但锂需求的增长速度要远快于供应（McKinsey, 2022）。尽管各生产国正在扩大产能以满足不断增长的需求，但锂的供需平衡可能在2025年之后被打破（如图2）。价格不合理的波动或不可靠供应可能会减缓能源转型并威胁电动汽车的销售和应用，导致市场脱节。

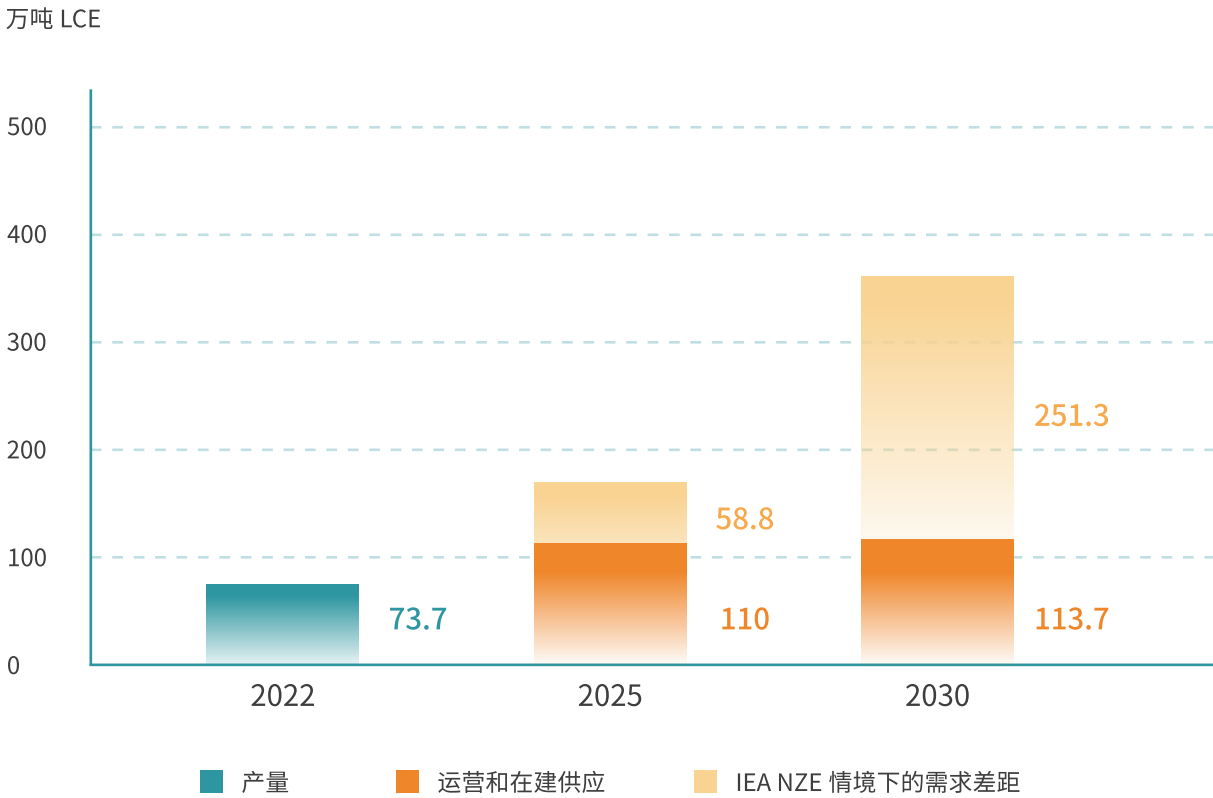


图 2. 锂的承诺产量和需求差距 (IEA, 2021b; IEA, 2021c)

2.2 行业碳排放规模增长难以忽视 >>

天然形态锂矿资源锂含量低，提取过程中能源和化学试剂消耗量高，生产单位锂产品的排放量远高于钢材、水泥等成熟工业品。若按照当前技术满足快速增长的需求，2030年锂行业的年排放量或将达到3000万吨 (IRENA, 2022)。

单位产品碳排放
tCO₂e/t

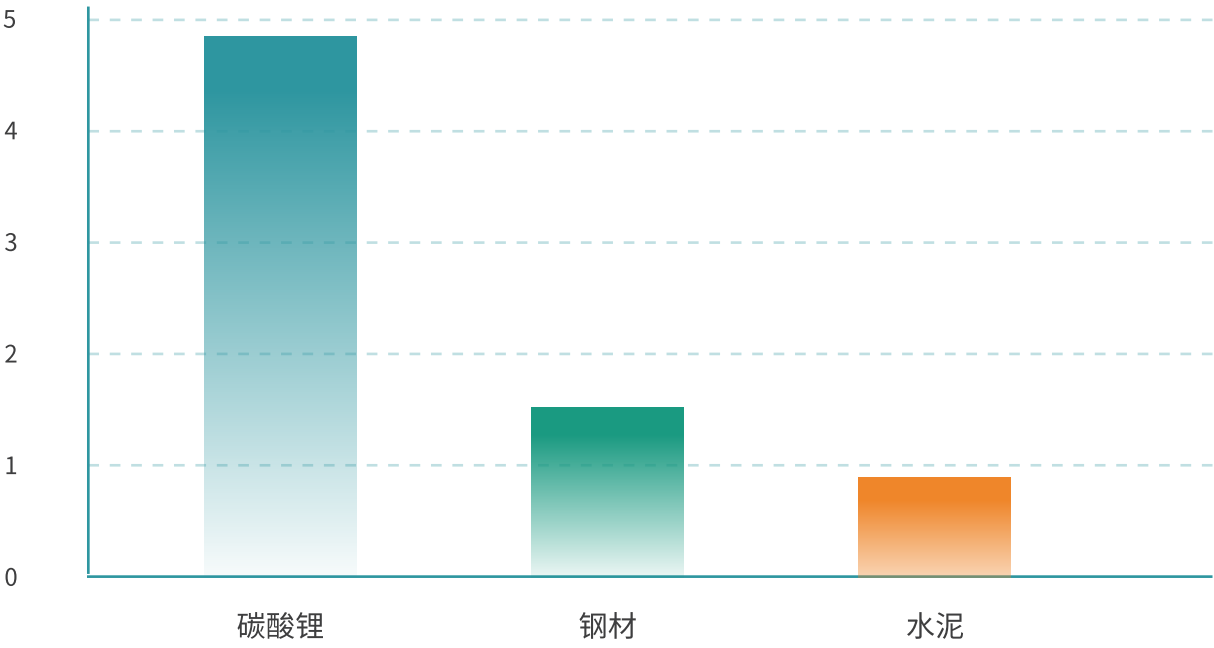


图 3. 碳酸锂、钢材和水泥生产的平均温室气体排放强度 (Fayomi et al., 2019; IEA, 2021c)

能源密集的提锂技术处于优势，或带来“碳锁定”风险。面对激增的锂需求，目前已实施和宣布的新增锂矿开采计划主要来自硬岩项目。硬岩采矿和精炼技术相对盐湖提锂更成熟，且生产周期短、原料品质更符合电池级碳酸锂和氢氧化锂加工要求。但目前硬岩提锂的碳排放强度要明显高于盐湖提锂。

每吨碳酸锂当量产量温室气体排放
tCO₂e/t

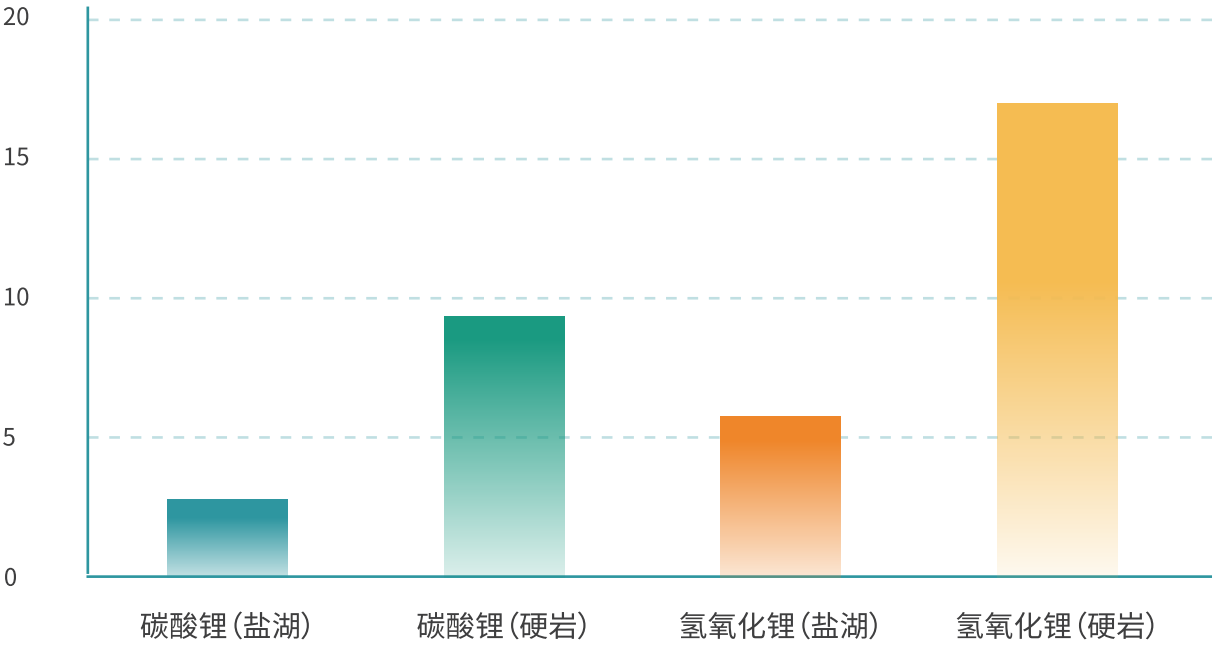


图 4. 按资源类型和加工路线划分的锂温室气体排放强度 (IEA, 2021c)

碳锁定：指一个经济系统（包括基础设施、技术、投资机制和行为模式等）因为巨大沉没成本风险、或路径依赖原因，被锁定在历史传统高碳经济发展模式或制度环境下，无法顺利实现低碳转型。在本报告中指特定行业在一段时间集中扩大产能、将产业资本大量集中投资于碳排放水平较高或尚未成熟的技术，造成未来运营期内减碳和资产风险无法兼顾的被动局面。



市场和监管机构对锂电池的“碳足迹”约束逐渐浮现。随着新能源汽车制造商设定排放目标，政府将净零目标纳入法律要求，以及监管机构出台电池相关法规，动力电池生产和锂及其他原料的隐含碳排放正受到更多的关注。

新能源汽车制造商

许多车企已经提出价值链净零排放目标，例如宝马 (BMW Group, 2021) 和大众 (Volkswagen, 2021)。锂电极材料的排放是电动汽车制造过程碳足迹的重要部分。实现汽车行业价值链净零排放势必需要锂行业的行动。

主要市场法律法规

以欧盟为例，其气候法明确了欧洲经济到2050年实现碳中和的目标。同时，欧洲议会2023年6月通过的电池法规对动力电池的可持续性提出了更加严格的要求，包括产品碳足迹和回收成分（参见表1）。这也将为其他国家的监管举措提供借鉴。

表 1. 更新后的欧盟电池法规对产品碳足迹和回收成分的要求（European Parliament, 2023）

碳足迹	2025 年 1 月 1 日起，动力电池必须附有碳足迹声明 2026 年 7 月 1 日起，动力电池必须附有碳足迹等级标签 2028 年 1 月 1 日起，动力电池必须满足最大碳足迹阈值（尚未公布）
回收成分	2028 年 7 月 1 日起，动力电池必须附有表明回收成分含量的文件 2031 年 7 月 1 日起，动力电池必须包含最低 6% 的回收锂 2036 年 7 月 1 日起，动力电池必须包含最低 12% 的回收锂

2.3 快速扩张下面临潜在资产搁浅 >>

气候变化是造成资源型产业资产搁浅的主要风险之一。目前，锂行业生产技术尚未做好净零准备，因此需要在提升供应能力与降低碳排放之间寻求平衡。在保障能源清洁转型需求的前提下，通过考虑多样矿产资源、灵活布局提锂工艺，避免在短时间内因利用现有工艺密集扩产造成资产被高碳技术锁定。

盐湖提锂技术的发展将影响行业开发选择。当前，盐湖提锂受限于生产周期长、品质不稳定的问题，在与硬岩项目的规模化竞争中处于劣势。然而，盐湖锂资源储量大，开采过程碳排放低。因此，在新兴盐湖提锂技术成熟后，盐湖提锂在规模、成本和碳排放水平上均可能占据优势，或对尚未收回投资的硬岩以及配套精炼项目造成冲击。

低碳精炼技术的发展将影响中游资产价值。基于硫酸焙烧法的硬岩提锂工艺的能源结构、能源效率和碳排放水平仍有明显的改进空间。考虑清洁高效热力技术的快速发展，可能对投资规模大的精炼产能估值产生显著影响。



03

锂行业在净零排放目标下的关键策略

就能源清洁转型而言，锂是地球上最重要的关键矿物之一。为实现锂从“白色石油”到支撑能源转型的“哲人石”的转化，锂行业需要采取有效行动以应对其面临的挑战。本节分析了锂行业价值链不同环节应对挑战的关键策略，并提出了支持锂行业迈向净零排放的“四化手段”。



图 5. 锂行业价值链图解

3.1 上游锂矿来源多样化 >>

3.1.1 构建多样化锂资源体系

目前，已实施和计划实施的锂资源开采主要来自硬岩项目，主要是因为矿石提锂的生产周期明显短于盐湖提锂，且产能提升速度更快（IRENA, 2022）。然而，卤水资源约占全球锂储量的三分之二（Sterba et al., 2019），为了满足激增的锂需求，锂行业必须努力提高盐湖提锂的市场份额，以建立多元化的锂资源体系。

盐湖提锂的工艺差异化大、成熟度低是制约盐湖提锂发展的重要因素。不同地区的盐湖成分不同，资源禀赋差异很大。南美地区盐湖以碳酸盐为主，镁元素含量较低，锂资源质量高，可通过蒸发沉淀得到锂卤水或提取为粗碳酸锂作为初级原料（Xu et al., 2021）。中国除西藏地区外的盐湖以硫酸盐为主，镁元素含量高，提锂难度大，许多提锂工艺尚处于探索阶段，已投产项目规模有限或成本较高，或质量难以达到电池级产品要求（Xu et al., 2021）。

其他锂资源，包括非常规矿石（包括云母、黏土等）、非常规卤水和二次锂资源（来自开采加工过程含锂废渣（简称“含锂废渣”）、锂电池回收物等）近期也获得了行业越来越多的关注，不少新型提锂技术已经具有示范项目，但受限于工艺成熟度低、产品品质低、生产产量低、成本高等因素，仍缺乏规模化应用。

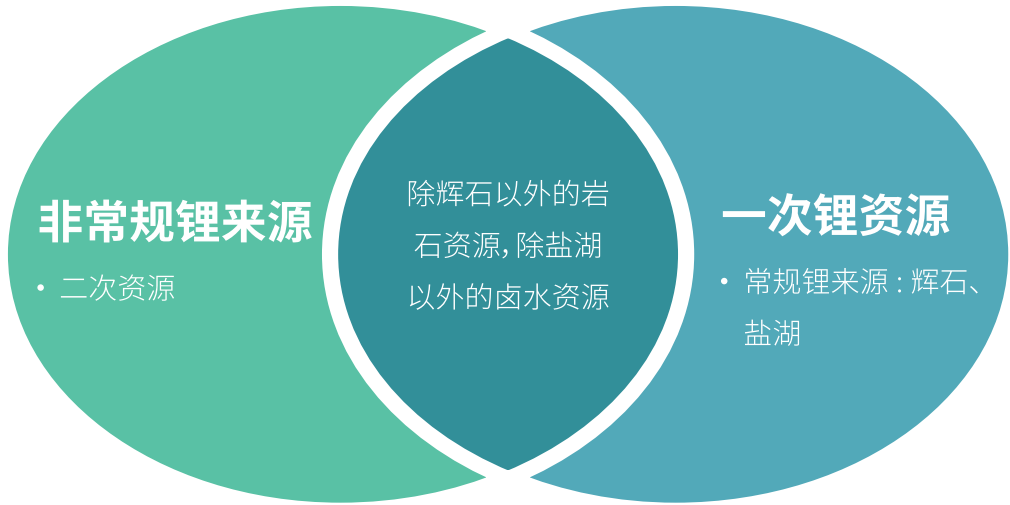


图 6. 锂来源分类

持续创新采选技术是打造多元化锂资源体系的关键。具备矿石或盐湖提锂工艺的企业应以优化工艺组合，降低开采加工成本、减少碳排放为发力方向，并将其他非常规锂资源作为满足净零排放目标下锂需求的重要补充。技术突破将释放盐湖提锂、非常规锂矿提锂的生产力，推动产业格局的演化，其中时效、成本、能耗等将是主要影响因素。表2归纳了常见的常规一次资源、非常规一次资源和二次锂资源的开发技术及其优劣势。

表 2. 多元锂资源开发技术 (Gao et al., 2023; 何飞等, 2022; 徐璐, 2021; 张秀峰, 2020)

锂资源类型		工艺	产品	工艺路径	优势	劣势
常规一次资源	辉石选矿	浮选法	锂精矿	主要由正浮选和反浮选两种方法。将磨细的矿石加入强碱介质，搅拌、多次擦洗并脱泥，添加阴离子捕收剂直接选出锂精矿（正浮选）；或在碱性介质中添加锂抑制剂，加入阳离子捕收剂反选出其他矿物，留下锂精矿（反浮选）。	研究较多、技术成熟、适用范围广，可用来去除硫化物、石英、云母、长石等。	比重选法投资成本高。
		热裂解法	锂精矿	利用一些脉石矿物与锂辉石矿物性质不同，通过加热、冷却等措施，对矿物进行选择性的破坏，从而选别锂辉石。	回收率较高。	因焙烧需要很高的温度，能源消耗量大；对其他有用金属组分不能综合回收。
	盐湖粗提	沉淀析出	碳酸锂	卤水蒸发浓缩后，加入石灰去除镁离子后，加入碳酸钠使碳酸锂沉淀析出。	应用早、工艺成熟，可靠性高。	仅适合低镁盐湖，生产周期长。
		煅烧浸取	碳酸锂	对硫酸盐型卤水经过浸出除镁后焙烧、经纯碱、石灰石乳二次除镁后蒸干获得碳酸锂。	锂回收率高、工艺简单，也适合尾渣提锂。	用水量大、设备易腐蚀。

锂资源类型		工艺	产品	工艺路径	优势	劣势
非常规一次资源	卤水提锂	沉淀法	浓卤水/碳酸锂	从地下抽取沉积卤水至地面晾晒后浓缩沉淀,与盐湖提锂工艺类似。	可与油井开采、地热开采耦合,锂浓度高。	环境风险高,生产效率低。
	锂云母提锂	复盐焙烧法(硫酸盐焙烧法)	碳酸锂	将焙烧锂矿与过量的硫酸钾(或硫酸钙或两者的混合物)混合,将矿石中的锂转化为硫酸锂,再用稀硫酸浸出,锂液提纯沉淀后得到碳酸锂。	浸出率比较高,工艺简单,设备腐蚀小。	物料流量大,反应温度高,能耗比较高。
	黏土提锂	焙烧/酸浸	碳酸锂	Lithium Americas公司的Thacker Pass 项目:锂黏土用硫酸浸出后,蒸发结晶后,利用碳酸钠沉淀获得碳酸锂; Cypress公司的Clayton Valley 项目:用硫酸浸出锂溶液,溶液纯化浓缩获得碳酸锂。	兼具矿石速度和盐湖提锂成本优势,锂收集率较高,可联产其他盐类产品。	品位较差,锂回收率低,目前处于研究阶段。
		阳离子置换浸出	碳酸锂	特斯拉 2021 年专利:黏土水溶液浸渍提锂工艺,用饱和氯化钠与黏土球磨,工艺控制可避其他杂质溶出,溶出黏土中锂离子; Sonara公司项目:黏土与碳酸钙、硫酸钠、硫酸钾混合后研磨、焙烧,粉磨后用水浸出碳酸锂。	避免了高温焙烧,避免了使用硫酸浸出,能耗低、环境友好。	工艺控制困难,杂质较多。

锂资源类型		工艺	产品	工艺路径
二次资源	行业副产卤水	沉淀法	碳酸锂	与地下卤水提锂工艺相同。例如,油田卤水、海水淡化副产卤水。
	行业副产锂渣	焙烧/酸浸	碳酸锂	与黏土提锂工艺类似,通常作为稀土或氟化物开采过程联产碳酸锂。
	正极材料回收物	焙烧/酸浸	碳酸锂	国内已经有企业实现以磷酸铁锂废料为原料,通过火法焙烧、盐酸浸出、转型除杂、碱化除杂、纯碱沉锂制备电池级碳酸锂。

3.1.2 打造绿色锂矿采选体系

3.1.2.1 矿区能源资源效率

提升矿石提锂工艺能效

锂辉石采选、卤水粗提等工艺都需要使用空压机、风机、水泵和旋转设施等高功率用电设备。矿石碎磨作业的能源消耗通常占矿物加工过程的40%-80%（张成强,2003）。通过磨机设备更新、添加助磨剂、推广应用选矿自动化、优化和缩短选矿工艺流程等措施,可以降低碎磨作业的能耗（张成强, 2003）。

提升盐湖提锂蒸发效率

传统的卤水浓缩过程依靠太阳能在蒸发池中完成,但生产效率低、周期长。通过在蒸发池上方安装创新型的光热平板装置,将阳光转化为被水强烈吸收的中段红外线辐射,可以将蒸发效率提高100%以上,以减少蒸发时间和生产周期（Menon et al., 2020）。

探索含锂废渣综合利用

以锂辉石为例,其分选后产生的废渣可以代替黏土作立窑煅烧料、水泥掺合料、陶瓷釉面砖生产原料,以及代替部分水泥配制混凝土等(He et al., 2018; Lemougna et al., 2019; Tan et al., 2018)。上游企业可进一步探索含锂废渣的再生利用,实现锂资源利用高效化。其中,利用含锂废渣活性成分部分替代水泥熟料,与CO₂制备混凝土预制建材,在实现含锂废渣综合利用的同时,也提供了一个新的化学封存 CO₂ 解决方案。

3.1.2.2 矿区绿色电力

最大程度利用矿区可再生能源,实现100%绿电采锂是实现净零采选的关键。全球锂矿资源丰富地区,无论矿区还是盐湖,大多具有良好的光照条件和露天场地,通常需要在矿区开发过程中同步建设微电网,以满足作业电力需求。

以中国西藏、青海等地盐湖资源为例,当地光资源都属于一类或二类地区,具备良好光伏电站建设条件。通过部署光伏和储能单元,可实现利用矿区光伏电力满足采矿设施电力需求。对于锂辉石矿区,可配套推进光伏电站建设和生态修复工程。若矿区微网与大电网衔接,可以将矿区内无法消纳的光伏发电通过电网送出,实现矿区发电收益。对于不具备建站条件的矿区,也可以通过购买可再生电力实现100%绿电。

3.1.2.3 矿区低碳运输模式

锂辉石开采过程需要矿卡持续作业,通常会消耗大量柴油并产生温室气体排放。氢燃料电池矿卡替代矿用车辆,并采用矿区微网和/或光伏设施在矿区内制备绿氢以驱动矿卡,可实现场内净零并具有经济性。目前,氢燃料电池百吨矿卡已有应用案例,如英美资源集团在南非发布的集可再生电力、氢气生产加注为一体的氢电混合矿用重卡原型车,多个燃料电池模块可提供高达800kW 的动力(Anglo American, 2022)。

聚焦天齐

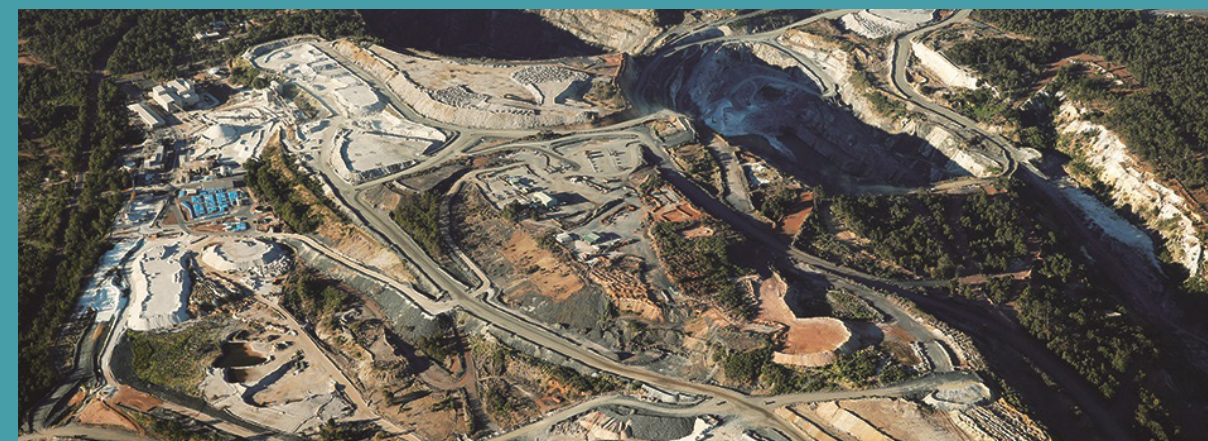
布局多样化的锂资源

目前,来自澳大利亚的锂辉石是天齐主要的原料来源,成熟的硫酸法工艺允许公司持续为市场提供可靠的产品。公司也意识到盐湖作为全球最大的锂储量来源,在锂需求快速增长下势必将发挥更为重要的作用,同时盐湖提锂也是面向净零排放目标的潜在锂矿来源。

为了确保盐湖资源的可用性,公司通过收购、投资等方式在国内外积极布局盐湖资源。2014年8月,公司收购了日喀则扎布耶20%的股份,日喀则扎布耶拥有扎布耶盐湖的勘探权,该湖位于中国西藏自治区,预计拥有约179万吨LCE锂资源。2018年12月,公司完成对智利矿业化工公司23.77%的股权收购。智利矿化是全球领先的锂产品供应商,拥有二十多年盐湖提锂的经验,其位于阿塔卡马沙漠的锂盐湖含锂浓度高、储量大。

推动上游锂矿采选设立零碳目标

天齐锂业的锂精矿供应商,泰利森锂业,制定了积极的温室气体排放目标,包括到2030年实现碳强度达峰,到2050年或更早实现范围1和范围2的净零排放。为此,泰利森将使用优质柴油,提高燃油效率,将低排放车辆纳入辅助设备和轻型车队,并在2023年实现50%可再生能源的购电协议。



3.2 中游提锂工艺绿色化 >>

3.2.1 推动现有工艺减排

硫酸焙烧法是当前主流的矿石提锂方法, 由于锂提取率高、工艺简单, 在行业内应用广泛。其他方法包括碱压法、硫酸盐焙烧法和氯化焙烧法, 目前均缺乏经济性或可操作性 (张秀峰, 2020)。因此, 本小节主要围绕硫酸焙烧法讨论了脱碳策略, 这些策略对于其他与硫酸焙烧法相似的锂盐制备方法也有借鉴意义。

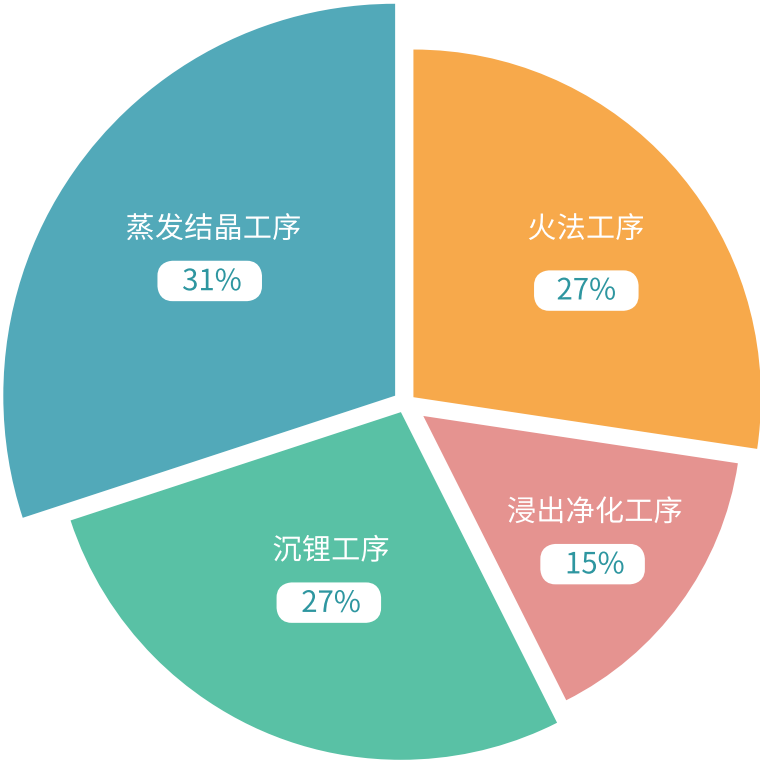


图 7. 硫酸焙烧法生产碳酸锂过程的电力消耗分布 (杜国山, 2020)

3.2.1.1 能源效率

提升电驱动设备能效

在硫酸焙烧法中, 电力的使用相对分散, 其中火法工序主要用电设备为尾气风机、熟料磨机、回转窑等; 浸出净化工序设备多为储槽、搅拌槽以及输送泵等; 沉锂工序设备包括沉锂槽、离心机以及搅拌槽等; 蒸发结晶工序主要设备为蒸汽压缩机、循环泵等 (杜国山, 2020)。在这些设备中采用变频电机或软启动装置可以节约20%-30%的电力 (杜国山, 2020)。同时, 采用自动化的新型工艺设备还可以进一步提升生产过程的能源利用效率。

提升热力系统能效

硫酸焙烧法提锂工艺与新型干法水泥工艺具有一定相似性, 在提升窑头窑尾余热利用水平、优化燃料与热风系统综合效率等方面, 或可借鉴新型干法水泥的设计思路。

多级旋风预热系统

多级旋风预热系统通过利用烟气中的热能来预热进入燃烧器的原料, 从而减少需要外部能源加热的量。新型干法水泥中的多级旋风预热器和多通道燃烧器在原理上也适用于硫酸焙烧法的回转窑, 其已在国内实现了创新应用, 展现出良好的节能效果。

窑炉富氧燃烧技术

在富氧燃烧条件下, 燃料与氧气的反应更充分, 燃烧过程更完全。相比于常规空气燃烧, 富氧燃烧可以消除或减少燃烧过程中的不完全燃烧产物, 提高燃料的利用率。目前, 富氧燃烧在水泥窑中已有应用案例, 并实现生产综合能耗下降6% (张仲明, 2021)。



3.2.1.2 可再生电力

根据IEA预测，中国电力系统度电碳排放量将在2020年后平均每年下降3%以上，年均减排2.6亿吨(IEA, 2021a)。同时，中游精炼过程的电力占比通过部分用能电气化预计将从目前的20%提升至40%甚至更高。中游企业可以通过以下两种模式提升可再生电力比例，实现精炼过程电力脱碳：

直接采购或代理采购可再生电力。通过异地投资风电或光伏电站、直购或代购可再生电力等方式，快速提升可再生电力在企业电能消费中的占比；

现场屋顶或空地部署分布式光伏。在新建生产基地时，综合考虑在生产基地场内或周边邻近区域建设光伏电站的可行性。同时，根据绿氢需求量，规划变电站和接入系统规模，为绿电制氢单元预留变电站容量。

3.2.1.3 清洁热力

推动中低温热力需求“电气化”

工业加热技术需要在满足**温度**(热源提供的温度需要满足工业制造过程的温度需求)、**热通量**(热力必须具有高热通量，以维持合理的生产速度)、**可靠性**(生产设施的运行是持续的，热源必须满足全天和全年可用)和**经济性**的基础上，适配生命周期排放更低的加热技术(ICEF, 2019)。

与依靠化石燃料的热力系统相比，电加热具有精准温控、快速开关和更少维护的优势(ICEF, 2019)。根据IEA预测，中国工业部门在2020-2060年间通过“再电气化”实现的碳减排量将占同期总减排量的45%，大部分中低温热力需求都将通过电锅炉、热泵和工业余热满足(IEA, 2021a)。工信部、发改委和生态环境部印发的《工业领域碳达峰实施方案》也提出将推动工业用能电气化，重点对工业生产过程1000℃以下中低温热源进行电气化改造。

目前，硫酸焙烧法生产过程的热力来源主要是天然气和蒸汽，其中天然气主要作为回转窑的加热能源，蒸汽主要作为净化工序和沉锂工序的升温能源(杜国山, 2020)。根据工业加热要求，表3分析了硫酸焙烧法不同加热工序电气化的可行性。

表 3. 硫酸焙烧法不同工艺环节的电气化可行性

工艺环节	工艺过程	电气化可行性
转型焙烧	对锂辉石在1000-1100℃下进行焙烧，使其从天然状态下的α型转化为可以通过浸出过程从矿石中提取锂的β型。	高温热力需求，难以被电加热技术替代，适合提高零碳燃料比例，例如氢气、氨气、生物质合成燃料等。
酸化焙烧	在250℃左右的温度下对β-锂辉石和硫酸的混合物进行焙烧，使锂以硫酸锂的形式从混合物中提取出来。	中低温热力需求，适合电加热技术，在电力具有成本优势的地区可采用。
化学处理	硫酸锂溶液富集蒸发、沉锂母液蒸发结晶以及沉锂等工序。	饱和蒸汽需求，可利用高温窑炉余热提供，也可在电力具有成本优势的地区使用电加热技术。

酸化焙烧和化学处理需要中低温热源，具有在较短时间内实现电加热的可能性：

酸化焙烧

适用于间接电阻加热方式(是常见的外加热回转窑适用技术)，加热器置于旋转的高温合金外壳外，使热量传递给内部的工艺物料。其中加热元件采用石墨、碳化硅或镍铬合金制成的电阻。

化学处理

硫酸锂溶液富集蒸发、沉锂母液蒸发结晶以及沉锂工序多采用蒸汽作为热源，可以通过MVR蒸发器替代多效蒸发器提高能效。此外，也可以利用高温热泵技术从200℃以下的烟气中进一步回收热能，生产饱和蒸汽。若热泵由可再生电力驱动，则可以实现净零蒸汽供应。

探索生物质天然气工艺并提升其占比

生物质天然气是甲烷含量95%以上,具备与管网天然气相同性质的高质量沼气。根据IEA预测,中国沼气和生物甲烷供给量到2030年预计将在2020年的基础上翻上一番,到2060年增加两倍以上 (IEA, 2021a)。其中,注入燃气管网的供给占比将从2020年的几乎为零,到2030和2060年分别增长到3%和15% (IEA, 2021a)。

探索使用生物质天然气作为燃料,可考虑以下两种模式:

- **外购生物质天然气**——如果燃气运营商具有生物质天然气供应能力,可优先采购;
- **现场制备生物质天然气**——配备电解水制氢单元的园区若周边有秸秆、厨余垃圾等生物质资源,可在园区规划部署小型化撬装式沼气发生器和加氢甲烷化单元,现场制备生物质天然气。

采用掺氢天然气并提升蓝氢绿氢占比

使用掺氢天然气是降低转型焙烧过程碳排放的有效举措。氢气相比天然气具有火焰速率快、稀燃能力强的特点。在天然气中掺入适当比例氢气,可以提升热效率、减少碳排放,且大多数燃烧器经过工艺参数调整均可适应(任若轩等, 2021)。根据IEA预测,到2060年,混入窑炉燃料的绿氢配比将达到热能总需求的约5% (IEA, 2021a)。

在转型焙烧工艺中采 用掺氢天然气,可考虑以下两种模式:

- **外购掺氢天然气**——若工厂所在园区有合适的供应商,可优先采购掺氢天然气;
- **外购天然气现场掺氢**——购入常规天然气,进场后按照安全范围掺入氢气,优先采用蓝氢或绿氢作为氢源。

- **灰氢**:通过化石燃料重整制氢,制氢过程的CO₂排放显著
- **蓝氢**:工业副产氢或配备CCUS设备的灰氢,制氢过程CO₂排放较低
- **绿氢**:利用可再生电力电解水制氢

因此,在新建硫酸焙烧法提锂工厂时,需要综合考虑短期蓝氢和长期绿氢的可得性:

短期应重视邻近区域工业副产氢资源

工业副产氢掺混天然气具有经济可行性。工业副产氢的成本主要取决于富氢混合气的价格,单位热值工业副产氢的成本通常低于天然气门站价格。若按照天然气掺氢情景,工业副产氢可按照等热值天然气计价,约折合7元/千克,是成本最低的氢气来源,价格只有绿氢的三分之一 (IEA, 2022e)。

长期应考虑园区或厂区绿氢生产能力

随着电解水制氢工艺发展、可再生能源规模的不断上升,绿氢的生产成本可能会在未来下降到具有竞争力的水平。根据IEA预测,可再生能源生产氢气的平均成本将最早在2050年下降到约9元/千克至12元/千克,与蓝氢的成本持平 (IEA, 2021a)。

火法精炼提锂与氯碱化工耦合的循环经济模式

2020年工业副产氢气占中国氢气供应的约五分之一,达到710万吨,主要来源包括石油精炼、钢铁制造和化工生产。其中,中国烧碱年产量相对稳定在3000万-3500万吨,每年可副产氢气75万-87.5万吨 (IEA, 2022e)。

烧碱是硫酸焙烧法提锂过程的重要化学药剂,且氯碱化工园区通常具有较强的绿电采购与议价能力。新建提锂产能时,可与邻近氯碱化工园区形成产业链耦合,以提升绿电采购的可行性,同时降低工业副产氢气的采购成本和外购化学药剂的隐含排放,以及探索锂渣与电石渣资源综合利用。除氯碱园区PVC电解过程副产氢可用于碳中性天然气制备外,附近园区电解水制氢副产氧气也可以用于硫酸焙烧法提锂过程的回转窑富氧燃烧。

3.2.1.4 碳捕集利用

富氧燃烧在实现窑炉节能的同时，也能提升烟气中的CO₂浓度，降低CO₂回收成本。根据国内水泥窑验证效果，在富氧燃烧条件下，尾气CO₂浓度可从20%提升至80% (张仲明,2021)。

针对碳酸盐分解产生的CO₂，欧洲的LEILAC (Low Emissions Intensity Lime And Cement) 技术提供了良好的解决方案——在旋风预热器之前增加密闭预分解炉，通过引入回转窑高温烟气，加热分解生料中的石灰石，并回收产生的高纯度CO₂。该项目已经在海德堡水泥德国工厂开展二期示范，预计将于2023年内投入运营 (Heidelberg Materials, 2022)。

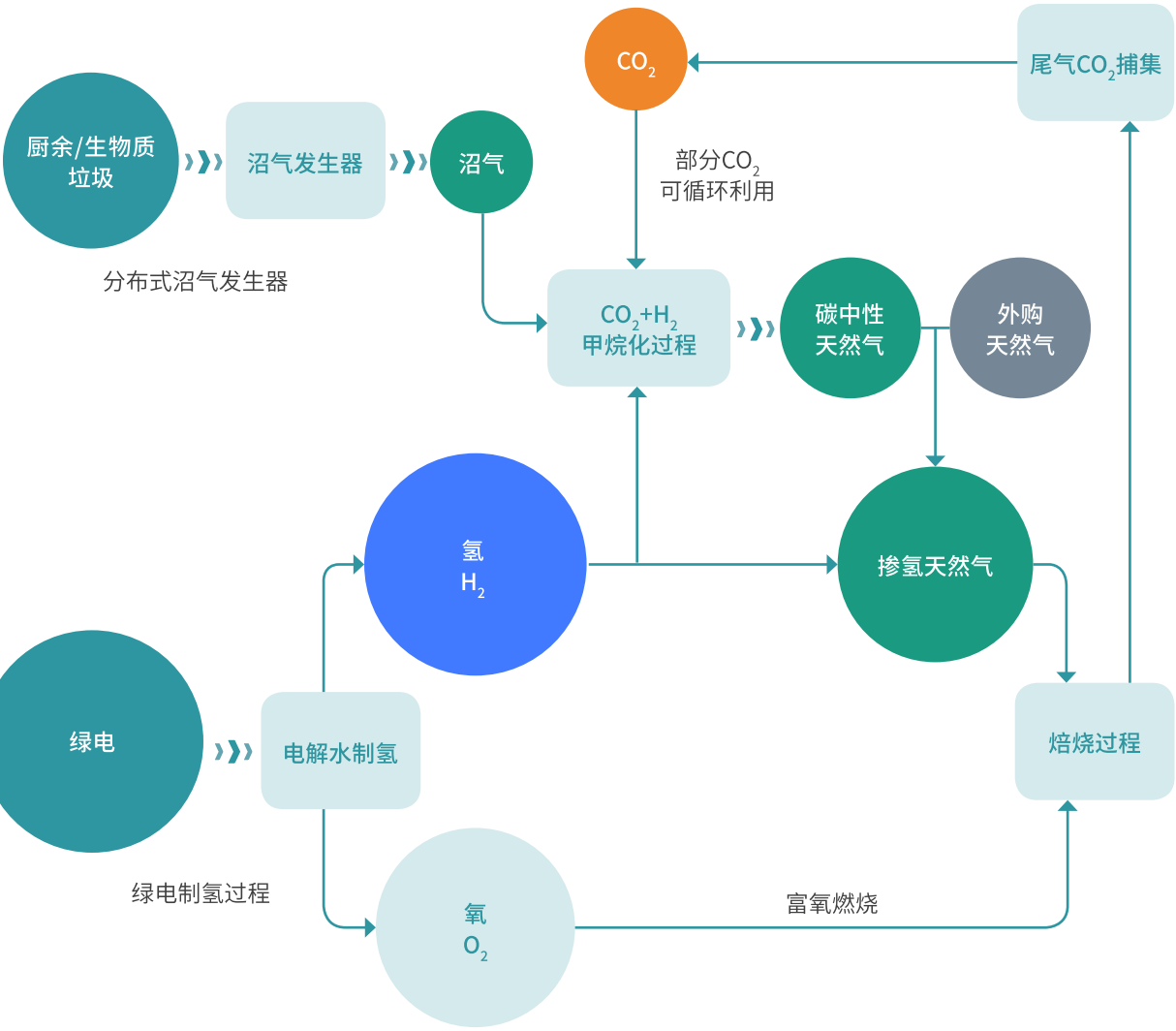


图 8. 基于以天然气为燃料的转型焙烧过程实现净零排放的模式图解

捕集后与绿氢合成碳中性天然气

从焙烧窑捕集的CO₂可以与氢气在高温下通过萨巴捷反应 (Sabatier Reaction) 合成天然气，作为燃气系统的补充燃料重新投入焙烧窑。若与生物质天然气单元组合，可构建一个净零排放的CO₂循环系统。焙烧过程本质上将由可再生能源供能，不产生碳排放。

捕集后作为建材原材料

中国具备CO₂制备建材的潜力，且已启动一些CO₂制备建筑材料的示范项目（胡翔，2021），估计到2050年中国制备建筑材料的CO₂利用量将达到0.85亿-1.15 亿吨/年 (IEA, 2022e)。

利用CO₂与矿渣水泥熟化生产建材正在成为一种极具经济吸引力的固碳措施。目前，中国浙江大学 (蔡博峰等，2021)、美国 SolidiaTech公司 (Sahu & Meininger, 2020)、加拿大Carbon-Cure Technologies公司 (Sandeep, 2021) 等组织均在开发CO₂矿化混凝土技术。该技术通过使CO₂与混凝土中的氢氧化钙进行反应，将CO₂永久地储存在混凝土中，还能够加强混凝土的抗压强度和耐久性 (Monkman et al., 2016)。

探索利用锂精炼工艺副产品——含锂废渣 (完成矿渣提锂后的残渣) 作为活性材料，与CO₂矿化技术耦合，生产负碳矿渣混凝土建材，有助于促进锂精炼过程的净零化和循环化。

3.2.1.5 绿色化学药剂

外购化学药剂的隐含碳排放是锂化工产品重要的上游排放。各种提锂工艺均需要使用大量化学药剂，如纯碱、烧碱、硫酸等。在净零排放目标下，中上游企业可将气候因素纳入他们的采购流程，优先选择来自低碳工艺过程的化学药剂，以推动其隐含排放的下降。

纯碱

当前，市场上的纯碱主要包括三种制备方法。表4总结了不同纯碱制备工艺的脱碳难度。

表 4. 制备纯碱的低碳工艺分析（边志富, 2013;董文林, 2007; 张可为, 2019; 周光耀, 2006）

制碱法	低碳工艺路径	脱碳难度	市场份额
氨碱法	- 工艺过程的盐水精制和重碱煅烧阶段需要中低温加热, 使用电加热系统可以满足加热需求, 同时采用可再生电力可以实现生产过程脱碳; - 对于重碱蒸汽煅烧阶段含有CO₂的炉气可以回收进入石灰石煅烧阶段, 用作辅料或是加入高温热力解决方案中实现碳捕集-天然气煅烧, 实现生产过程近净零排放。	较高	较高
联碱法	- 相比氨碱法, 联碱法的钠和氯的利用率更高且单位综合能耗更低, 并且利用合成氨副产的CO₂作原料, 不需消耗石灰石及焦炭; - 对于采用“一次加盐、二次吸氨、一次碳化”工艺流程的联碱, 同样可配套CO₂捕集和天然气煅烧工艺, 实现CO₂循环利用, 同时让制碱过程实现近净零排放。	一般	较高
天然碱法	- 国内外以天然碱为原料生产重质纯碱大多采用一水碱工艺, 过程包括蒸发浓缩、离心分离、煅烧脱水, 通过采购可再生电力基本可以实现生产过程净零排放; - 天然碱法等其他纯碱生产方法在我国纯碱工业中所占比重很小。	较低	较低

烧碱

隔膜烧碱蒸发工艺是我国最常用的烧碱生产方法, 使用该方法生产的烧碱量约占总产量的50%。电解、蒸发和固碱是主要的耗能工序, 约占能耗90%以上（程强, 2018）。若以电锅炉技术提供蒸汽, 电能将是烧碱生产的主要能源利用形式, 通过利用可再生电力可以显著降低生产过程的间接排放。此外, 电解过程还将副产氢气和氧气, 若利用氢气作为燃料供热或通过燃料电池供电, 可以进一步提升可再生能源占比, 实现生产过程净零排放。

硫酸

硫铁矿生产硫酸过程通常会产生大量显热(净产能, 而非耗能)。通过利用反应过程热量供蒸汽或发电, 可以大幅降低硫酸生产的外购电力需求, 同时采购可再生电力可以实现硫酸生产过程净零排放。

3.2.2 部署灵活提锂工艺

锂行业的中游环节产能集中度较高。全球只有少数公司能够生产高质量、高纯度的锂化学品, 特别是氢氧化锂——五家公司占全球产能的四分之三 (IEA, 2021c)。高集中度的特点决定了中游企业的提锂灵活性对于上游锂资源多样化的重要作用。

3.2.2.1 盐湖卤水直接提锂技术

中国锂储量主要位于西部地区盐湖, 其相比南美盐湖具有高镁锂比。由于镁锂性质相近, 高镁锂比使得中国采用南美浓缩沉淀法提锂时, 分离难度大、锂损失率高、开发成本高（Song et al., 2017）。为此, 一些中国企业正在努力通过技术创新弥补资源禀赋差的劣势, 以降低对海外锂资源的依赖度 (Grant, 2020)。

直接提锂技术 (DLE) 为生产锂提供了新的可能。DLE目前处于试点阶段, 其是指使用过滤器、薄膜、陶瓷珠或其他设备从卤水中直接提取锂, 可显著减少提锂时长和化学药剂消耗 (Vera et al., 2023)。此外, DLE 还可用于在抽取后的地下卤水中提锂, 以及在不适合建立蒸发池的卤水矿区应用, 例如加拿大锂开发和技术公司Volt Lithium开发的卤水直接提锂技术, 可以去除卤水中杂质与污染物, 净化后的卤水可通过其IES技术直接提锂并浓缩为氢氧化锂溶液。2023年已经实现了针对油田卤水的技术验证。

3.2.2.2 盐湖粗碳酸锂异地精炼

目前, 盐湖提锂相比矿石提锂的产品杂质含量较高, 质量不稳定或难以得到保障。为满足电动汽车需求增长带来的高品质锂盐需求, 主要盐湖提锂地区需要进一步发展和优化粗制碳酸锂提纯工艺。

行业还可探索将浓缩卤水或从卤水中提取的粗碳酸锂运输至生产工艺更为成熟的地区作后续处理, 类似于硬岩提锂流程中澳大利亚将锂精矿出口给中国锂盐加工企业, 以依靠各自的产业优势, 以提高盐湖提锂产品品质。

聚焦天齐

提升生产能源效率

天齐锂业将提高生产中的能源效率作为温室气体减排战略的重要组成部分。公司已经实施了许多能源效率项目，从LED照明系统到余热利用，再到多级旋风预热系统在转型焙烧阶段的创新式应用，我们持续探索降低单位产品能耗的办法。

公司于 2022 年开展的能效项目			
在射洪生产基地	在重庆生产基地		
将高耗能电器设备（如变压器、电机等）替换为低能耗设备	采用新型结晶法生产无水氯化锂	通过尾气风机加装变频器、电解槽大型化改造等手段	更换现有电解硅整流器
每年减少电力消耗超 7000MWh	降低金属锂电解生产能耗 5% 以上	减少电力消耗约 15%	提升电力有效利用率 5%-8%

推进可再生电力的使用

向可再生电力过渡将作为天齐锂业短期降低温室气体排放的措施。射洪生产基地通过与供电公司签订供应协议，已于 2021 年全面实现可再生电力（水电）的使用。同时，江苏张家港生产基地已完成6000平方米光伏电板的安装工作，预计可实现年发电量1200-1500MWh。天齐锂业将继续推动通过现场可再生能源发电、绿色电力采购、绿色电力证书等方式来增加我们可再生电力的使用比例。

与供应商搭建新型合作

天齐锂业超过一半的碳足迹存在于原料中，这些排放很大一部分来自于碳酸钠、氢氧化钠、浓硫酸等无机化学品。我们到2050年实现净零排放目标的核心之一，是通过战略采购与我们的供应商合作以减少他们的碳足迹。

针对上游中对范围3排放产生重大影响的关键原材料，我们将制定减排路线图，并逐步融入到供应商管理流程中，优先考虑与积极践行气候行动的供应商建立合作关系，并联动供应商协同减排，包括设立减排目标与达成策略。



3.3 下游资源利用高效化 >>

3.3.1 材料高效利用

动力电池主材包括正极、负极、隔膜和电解质，其技术是推动动力电池性能提升的核心驱动力。随着行业正在努力减少对钴、镍等高价金属的依赖，提高单位锂原料的电池性能，并将其纳入锂离子电池评估的关键参数（通常包括能量、功率、成本、寿命、安全性）同样重要，这将有效推动全球锂资源的高效利用。

3.3.1.1 正极材料:降低单位容量的锂含量

锂离子电池的正极材料是含锂的金属氧化物或磷化物。它们是电池电化学反应所需的活性锂离子的来源，对于动力电池的性能有很大影响。

以三元锂电池和磷酸铁锂电池为例，理论上其单位容量的锂用量可以降至50g/kWh，但目前实际产品的锂用量在80-140g/kWh，是理论最小值的两倍甚至更高，仍存在一定的下降空间（Slowik et al., 2020）。

根据国际清洁交通委员会预测，未来20年，三元锂电池和磷酸铁锂电池的每千瓦时锂含量将出现显著下降，与目前水平相比，届时单位容量电池可减少超过40%的锂需求。能量密度的提高将是这一变化的主要驱动力（Slowik et al., 2020）。

表 5. 2020 年和 2040 年电动汽车电池正极锂含量 (g/kWh) (Slowik et al., 2020)

	NCM-111	NCM-532	NCM-622	NCM-811	NCA	磷酸铁锂
2020	140	130	120	110	110	80
2040	80	70	70	70	60	50

3.3.1.2 负极材料:提升性能同时避免锂损耗

锂离子电池在首次充放电时会形成一个固体电解质界面膜（SEI 膜）。该膜由电解液和电极负极表面的反应产生，对锂离子电池的导电性、稳定性和寿命有着重要的影响。然而，SEI膜的形成会导致部分锂离子不再参与充放电。行业将首次锂化过程中释放的锂与最初消耗的锂的比例称为初始库仑效率（ICE）。

通常采用预锂化技术，即在电池材料中加入高锂含量物质，对电极材料进行补锂，可以一定程度上抵消容量损失。目前，市场上已经有许多补锂的方法，根据补锂位置可以分为负极补锂和正极补锂两类：

负极补锂

包括金属锂物理混合锂化，如在负极中添加金属锂粉或在极片表面辊压金属锂箔；化学锂化，使用丁基锂等锂化剂对负极进行化学预嵌锂；自放电锂化，负极与金属锂在电解液中接触完成自放电锂化；电化学预锂化，在电池中引入金属锂作为第三极，负极与金属锂第三极组成对电极充放电完成预锂化。

正极补锂

根据化合物的种类不同，可以分为以Li₂O, Li₂O₂, Li₂S为代表的二元含锂化合物，以Li₆CoO₄, Li₅FeO₄为代表的三元含锂化合物，以及以Li₂DHBN, Li₂C₂O₄为代表的有机含锂化合物。

另一方面，石墨类电极作为当前应用最广泛的负极材料，经过多年发展，比容量(>350 mAh/g)已经接近其理论比容量（372 mAh/g）（Zhang et al., 2021）。行业正在寻求利用比容量更高的硅基负极（3579 mAh/g）（Ma et al.,2022）替代石墨负极。然而，在现有技术下，硅基负极的ICE通常为50%-85%，远低于石墨负极的80%-95%，是阻碍硅基负极应用的主要障碍之一（Li et al., 2020）。

为此，越来越多的研究开始将提高硅基负极的ICE作为实验方向，尝试从结构调节、预锂化、界面设计、黏合剂设计、电解质添加剂等方面进行优化，并在一些情况下将硅基负极的ICE提升至超过90%，但目前仍仅限于实验室层面（Sun et al., 2022）。

3.3.1.3 电解质:新型高性能锂盐

电解质锂盐为锂离子电池提供离子并承担离子传输的作用。目前,六氟磷酸锂(LiPF₆)是商业化应用最为广泛的溶质锂盐,但LiPF₆存在热稳定性较差、易水解等问题,并容易造成电池容量快速衰减并带来安全隐患。预计未来将被具有更高导电性、热稳定性和化学稳定性的电解质替代,如双氟磺酰亚胺锂(LiFSI),具有极低的副反应概率,同时还能抑制膨胀效果,是最具发展前景的电解质之一。

3.3.2 电极生产降碳

从综合能耗看,磷酸铁锂和三元锂正极材料的先进值可达 565 kgce/t 和 685 kgce/t,对比过往工艺能效(800-1600 kgce/t)具有明显提升(湖南省市场监督管理局, 2019)。通过持续提升电能占比和可再生电力比例可以实现生产排放大幅降低。

电极生产企业还应关注消除电极生产过程中产生的过程排放。以磷酸铁锂电极为例,制备方法可分为固相合成法和液相合成法。固相合成法-碳热还原法以其工艺简单、技术成熟等优势,是目前 90% 以上的企业采用的制备方法,此外还有部分企业采用自热蒸发液相合成法(头豹, 2019)。这两种方法均需要对碳酸锂进行烧结处理,并造成碳酸锂分解产生二氧化碳排放。消除这部分排放将需要应用碳捕集技术。

3.3.3 应用场景拓展

电池容量是决定电动汽车续航里程的最关键因素。电池构型的优化和创新是短期内提升电池容量最有效的举措。电动汽车续航里程的增长可以使电动汽车满足更多交通电气化的场景需求,进而放大锂离子电池的碳手印潜力。

- CTP技术,也叫无模组技术,正逐渐成为当前电池构型的主流应用。该技术可分为两种技术路线:一是彻底取消模组的方案,以比亚迪刀片电池为代表;二是小模组整合为大模组的方案,以宁德时代为代表。CTP技术通过提升电池包的内部空间利用率和减轻包装重量,提高了电池容量和能量密度(武浩 & 张鹏, 2022)。

- CTC (Cell to Chassis) 技术作为新兴技术,正在获得更多的关注。CTC可理解为CTP的进一步延伸,其是指将电池、底盘和下车身进行集成设计,即将电芯直接放置在车辆底盘上,从而实现更高程度集成化,以及电池容量和能源密度的提高(武浩 & 张鹏, 2022)。

3.3.4 市场定位细分

在动力电池领域,不同电池技术具有各自的优势和劣势。除了主流的磷酸铁锂电池和三元锂电池,以固态锂电池和钠离子电池为代表的新兴电池技术同样显示出一定的应用潜力。图9对比了上述四种电池技术的特性。

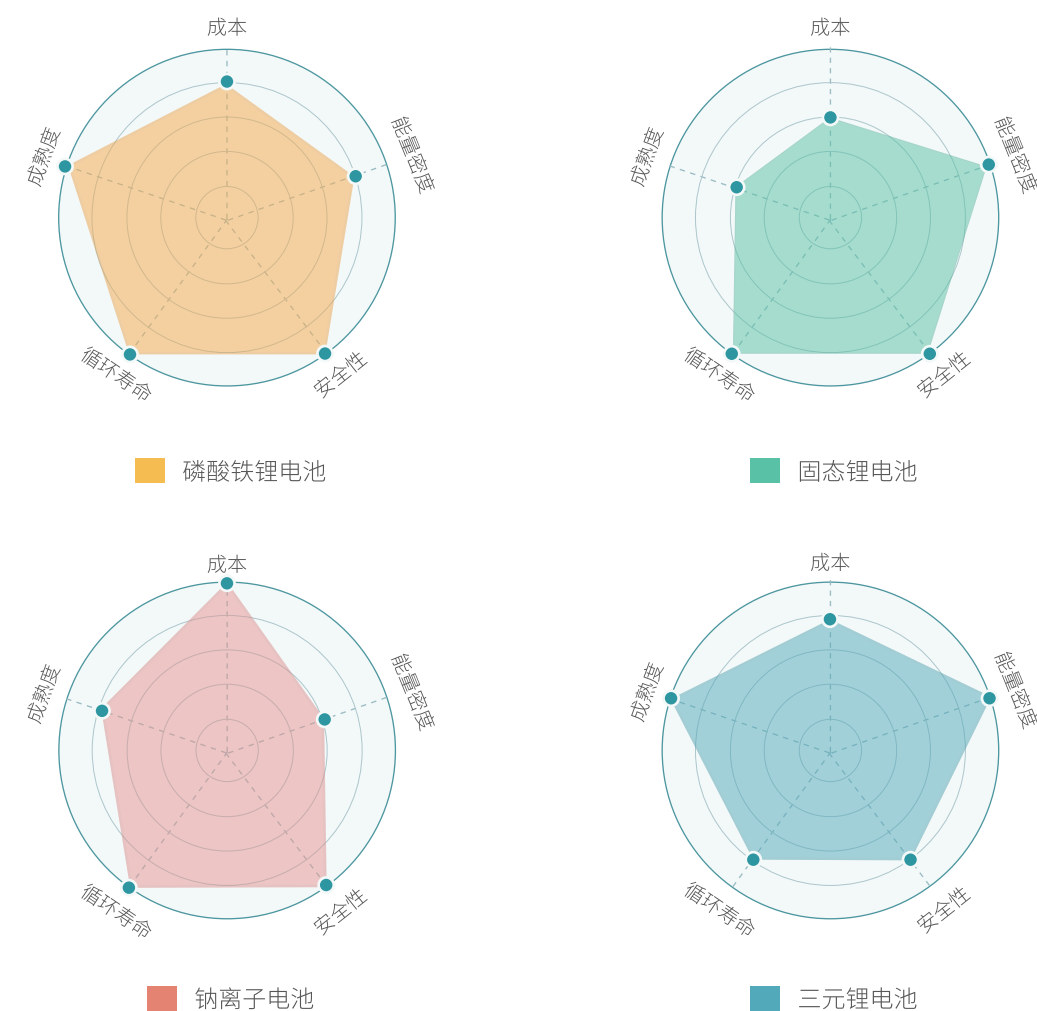


图 9. 不同类型动力电池的特性比较

电动汽车与储能行业需要根据场景需求匹配合适的电池技术。通过市场定位细分化,可以充分发挥各类型电池的优势,规避市场错配带来的资产搁浅风险,同时缓解供需不匹配的担忧。例如大众汽车近期宣布计划将高能量密度电池,如高镍电池 (NCA95, NMCA和NMC9.5.5) 用于高级车辆, 以及将磷酸铁锂电池用于入门级车辆 (S&P Global, 2021)。表6归纳了动力电池和储能电池潜在适用的电池技术。



表 6. 动力电池和储能电池领域中不同电池技术 (含替代技术) 的适用性

	细分场景	短期适用的电池技术	长期适用的电池技术
动力电池	入门级乘用车	磷酸铁锂电池	磷酸铁锂电池
	中高端乘用车	磷酸铁锂电池、三元锂电池	磷酸铁锂电池、三元锂电池
	性能型乘用车	-	-
	小型商用车	磷酸铁锂电池	磷酸铁锂电池
	中型及重型商用车	-	燃料电池
储能电池	短时储能	磷酸铁锂电池	磷酸铁锂电池
	长时储能	-	液流电池、钠离子电池

聚焦天齐

天齐锂业开发了硫化锂新型合成工艺和低温干燥技术,相比于传统工艺,该技术不使用有机溶剂,不产生有机废液,安全环保风险更低。硫化锂产品为公司应对下一代以硫系材料为基础的固态电池技术发展和提升产品多元化及附加值奠定了基础。

3.4 末端电池材料再生化 >>

按照电动汽车寿命，不久将迎来动力电池退役浪潮。据估算，到2030年，全球退役锂离子电池供应每年可能超过200GWh，这一数量将超过公用事业规模对锂离子电池储能的需求总和（McKinsey, 2019）。

当动力电池达到其使用寿命后，可以通过梯次利用或拆解回收进行处理，市场前景可观。根据预测，动力电池回收市场规模将从2021年的55亿元增长至2025年的588亿元和2030年的2997亿元，其中，锂的价值占市场规模总额超过60%（德勤, 2022）。再生锂资源将是对原生锂资源的重要补充。

考虑动力电池的成分和循环寿命，目前磷酸铁锂电池更适合梯次利用，三元锂电池更适合直接回收：

- 三元锂电池中除了锂，还含有镍、钴等高价金属，直接回收更具有经济性；
- 磷酸铁锂电池具有较高的循环寿命，退役后仍有较高的电池容量，更适合梯次利用。同时，梯次利用可以分摊磷酸铁锂电池的回收成本，提高其回收的经济性。

3.4.1 动力电池梯次利用

梯次利用是提高锂资源利用率和降低电池回收成本的有效手段。动力电池在结束首次服务时通常还具有70%-80%的原始容量（McKinsey, 2019），但实现规模化的梯次利用目前仍存在许多挑战，包括：

- 政策：动力电池的梯次利用存在安全性问题，相关管理体系仍处于探索期；
- 标准：电池一致性和溯源管理体系尚未建立，增加了电池修复翻新的难度；
- 成本：复杂的监管要求导致梯次利用成本增加，致使退役电池成本优势被削弱；
- 性能：退役电池的性能和质量缺乏保证，导致下游企业对梯次利用的接受度不高。

因此，行业亟需努力提升动力电池退役后梯次利用的可行性，相关行动包括：

- 在汽车设计阶段考虑生命周期末期的动力电池梯次利用；
- 与政策制定者合作制定动力电池梯次利用产品认证标准；
- 建立动力电池全供应链的数字化透明管理体系；
- 建立合作性的动力电池拆解回收和梯次利用计划。



3.4.2 动力电池拆解回收

拆解回收是解决退役电池处置的最终方式，也是缓解锂资源供需矛盾的重要路径。动力电池的拆解回收可分为回收预处理、物理拆解回收、原材料提取精炼三个阶段，其可为动力电池生产提供各类原材料。

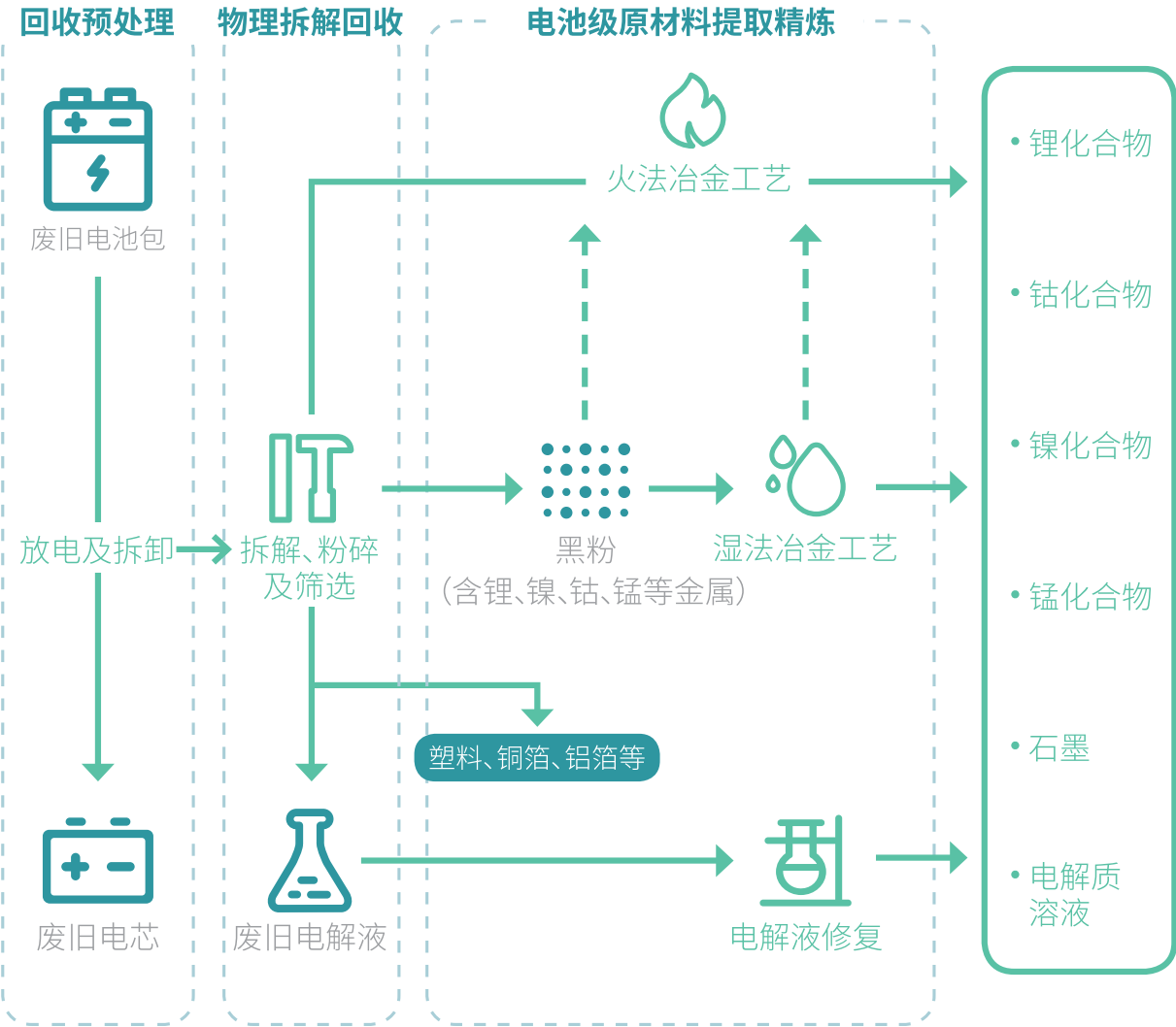


图 10. 动力电池材料回收的典型过程（德勤, 2022）

目前，市场上主要存在三种动力电池回收工艺——火法回收、湿法回收和直接回收。表7比较了不同工艺的优势和劣势。

表 7. 动力电池回收工艺比较（IEA, 2021c, 德勤, 2022; 华泰证券, 2022; 中信证券, 2022）

方法		过程	优势	劣势
湿法冶金	无机酸溶出	使用盐酸、硝酸+过氧化氢、硫酸+乙醇或磷酸+过氧化氢实现锂、钴金属分别溶出。其中，利用磷酸+过氧化氢溶出可以直接分离磷酸铁锂与三元锂的正极金属原料	成本低、浸出率高，部分工艺（例如磷酸+过氧化氢）适应多种锂电池混合回收后分别回收LFP和NCM正极原料	会产生有毒废气以及酸性废水、对设备要求较高
	有机酸溶出	除较多使用甲酸外，也有尝试使用草酸、柠檬酸溶出的探索，可以实现较高的锂回收率	步骤少，操作简便，正极材料回收较高	药剂消耗量大、浸出不完全、浸出速度慢、有机酸成本较高
	超临界流体溶出	通过超临界CO ₂ 或超临界水浸渍后，或再用硫酸和过氧化氢溶出，经电沉积分别获得锂和钴	浸出率较高	设备压力和温度要求高，能耗大
火法冶金	真空热解	在无氧条件下，石墨可以与正极直接生成碳酸锂	流程短，可直接获得碳酸锂材料；可回收多种金属，工艺相对简单	设备投资大、能耗成本高
	硫酸焙烧（火法）	通过固体废弃物协同处理，通过负极材料与正极材料混合后焙烧，得到钴、石墨和碳酸锂		
	硫酸焙烧（微波法）	正极材料硫酸混合后，酸化焙烧，硫酸盐与正极材料反应后分别得到锂氧化物、钴氧化物，通过可溶性差别分离后，再利用碳酸盐沉淀锂。选择性溶出，再沉淀，形成碳酸锂。再回收利用硫酸。		
直接回收	——	从失效材料的成分和结构入手，在不需破坏材料固有结构的基础上，针对性地解决材料的失效问题，实现结构再生，从而恢复材料的电化学活性。	不会将阴极分解成元素，而是保留材料晶体结构并再生阴极材料，适合含有较少高价值金属的电极。	不灵活，必须根据每种阴极化学物质量身定制，回收的阴极只能投入相同电池类型的生产。

回收生产的原材料具有更低的碳足迹，提高锂及其他材料的再生比例可以加速行业脱碳进程。Chen等人对NCM811电池的研究指出，利用来自不同工艺的再生材料生产的电池，与利用原生材料生产的电池相比均具有更低的碳排放，其中湿法工艺（33.4%）和直接回收工艺（51.8%）带来的节省最为显著。

为了进一步降低再生动力电池的碳排放，两个主要优化方向包括：

- 提升再生工艺能效，降低再生过程碳排放**

对于火法工艺，可参考适用于锂盐中游精炼的减排措施。对于湿法工艺和直接回收工艺，由于电力是主要的能源消耗类型，转向可再生能源可以快速减少过程的温室气体排放。
- 扩大资源回收范围，摊薄再生材料碳足迹**

在电池拆解和原料分选阶段，提高材料的分离和后续回收效果，如采用多级分选、高级氧化、电化学剥离、去除涂膜等工艺。同时，增加电池中正极材料之外其他成分的回收，如电解质和隔膜，以提升再生材料的数量和价值，摊薄再生材料的碳足迹。

3.4.3 循环经济业务形态

建立规范化、流程化的动力电池回收体系，保障稳定的电池供应，是推动动力电池循环经济发展的关键。同时，健全的动力电池回收体系还可以最大程度地避免回收市场因“小散乱污”问题带来安全、环保隐患，以及市场竞争“劣币驱逐良币”的现象。

由生产者责任延伸制度推动形成的产业联盟模式，是最传统的动力电池回收模式。该模式是以行业上下游成员组成的联盟作为退役电池回收主体，形成锂电池回收再生产业闭环。产业联盟模式回收渠道广，技术专业性强，通过产业链上下游协同合作可以减少市场恶性竞争，有效降低全流程成本，提升整体运行效率。风险共担问题在该模式中较为显著，各成员通过产业联盟互相捆绑，企业需要承担电池回收链条上其他成员可能带来的风险。

同时，行业价值链上的一些成员近年来基于其传统业务优势进行拓展，直接参与到退役动力电池回收的流程中，使市场上出现了不同形态的动力电池回收模式：

- 整车厂商电池回收模式**

构建“电池生产—整车生产—电池回收—筛选评估—再生利用”的产业链闭环，可以形成规模优势。
- 电池厂商电池回收模式**

电池生产企业作为电池回收主体，构建“电池生产→使用→梯次利用→回收与资源再生”生态闭环，利用渠道优势打造电池材料的闭环回收与废旧电池梯次利用的商业模式。
- 独立厂商电池回收模式**

围绕区域新能源汽车价值链布局回收网络，完成从电池回收电极材料销售闭环。独立电池回收厂商与客户确定供应和承购后，确立回收工厂布局，以形成稳定的回收和销售渠道。

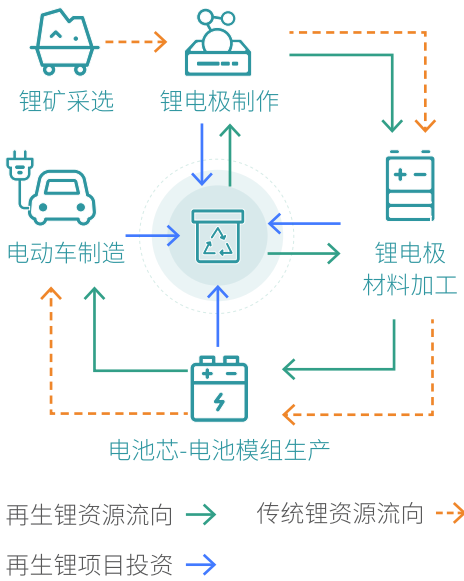
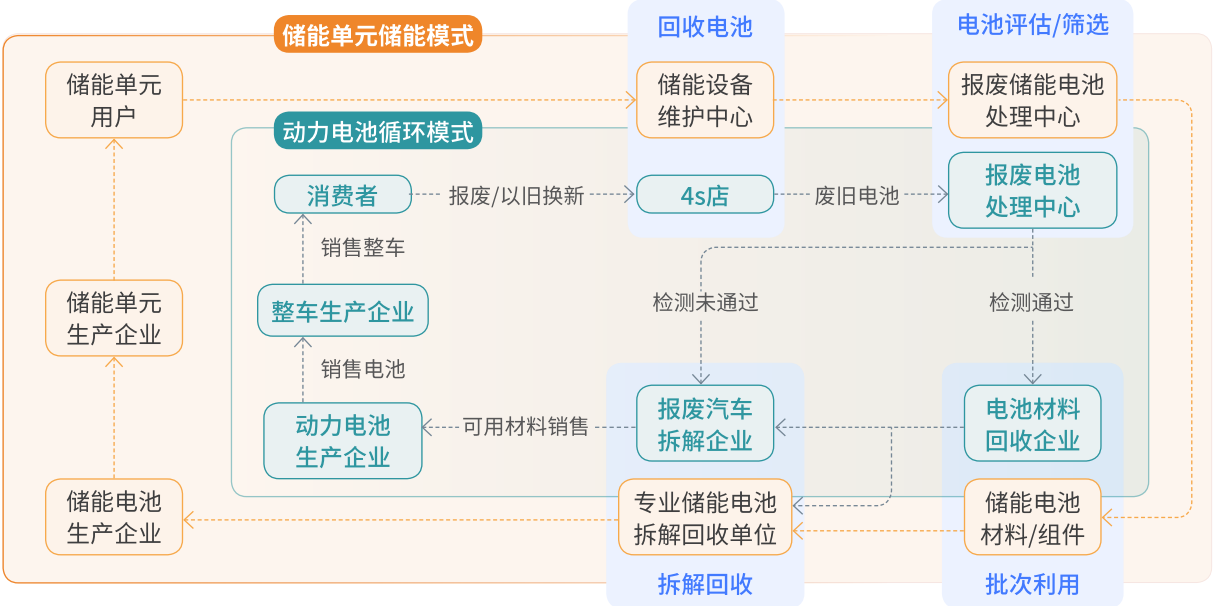


图 11. 动力电池回收和再利用业务形态



聚焦天齐

退役动力电池回收研究

天齐锂业关注退役动力电池的回收研究,并与第三方合作成立了专注于资源再生利用技术研发、退役动力电池回收和梯次利用的公司。天齐将和价值链成员开展广泛的合作,以确保退役动力电池的绿色处置,这将有助于减少全球对原生锂资源的依赖以及锂矿提取的气候影响,将持续支持再生锂盐市场的发展,并将探索把再生锂盐纳入产品组合的潜在机会。



矿产资源综合利用技术研究

天齐锂业积极布局矿产资源综合利用技术研究,并于2021年基本具备开展锂渣资源化综合回收利用功能的实验室搭建。2022年,公司通过对两个锂盐厂的锂渣开展了资源化综合回收利用研究,成功研发产线建设工艺包,其相较于传统工艺包,具有所需药剂种类少、产量大、工艺布局合理、节能降耗等特点。

天齐锂业通过打造锂渣高值化综合利用产线,实现锂渣的资源化、减量化、无害化处理,同时为下游产业带来低碳、清洁的产品原料。目前,公司锂渣再利用产品包括:

- 硅铝微粉:降低玻璃陶瓷用矿石原料的开采量及降低玻璃陶瓷生产的能耗,天齐锂业目前已完成中试(60t/干基)工艺包输出及专利布局工作;
- 钽铌精矿:在电子领域、生物医学工程、特种合金领域、硬质合金工业、化工领域、超导工业以及精密陶瓷玻璃制作领域等有广泛应用,当前80%的钽铌精矿依赖进口,铌可用于优质钢材,钽可用于军工生产,目前20万吨锂渣可回收5吨钽铌,2022年底完成小试,预计2023年完成中试;
- 高纯石膏:高纯石膏可广泛应用于建筑、工艺品、雕塑、工业模具、医疗等领域,锂渣在完成前序处理回收后,天齐锂业对剩余锂渣进行处理加工为石膏;
- 沸石加工:锂渣中含有硅酸盐成分,通过加工形成多孔材料。

04

行动呼吁

根据联合国环境规划署 (UNEP) 发布的排放差距报告, 尽管在2020年新冠疫情的影响下全球温室气体排放量出现了前所未有的下降, 但全球在2021年的温室气体排放量 (52.8GtCO₂e, 不包括 LULUCF) 继续上升, 并超过了2019年的水平, 创下历史新高。

从希腊、西伯利亚、土耳其和美国等地的热浪和火灾, 到中国、德国和其他地方的洪水, 全球范围内环境灾害的影响正在加剧, 气候行动的紧迫性前所未有的高。正如联合国秘书长António Guterres所言: “除非立即、迅速和大规模地减少温室气体排放, 否则无法将升温限制在1.5°C以内, 这将给人类和我们赖以生存的地球带来灾难性后果。”

为了跟上实现1.5°C目标的步伐, 锂行业必须实现可持续增长, 以支持能源清洁转型, 并实现行业净零排放。本节介绍了不同部门可以采取的推动这一进程的潜在行动。

4.1 价值链成员 >>

——寻找可持续的增长办法

能源清洁转型在给锂行业带来巨大发展机遇的同时, 也带来了严峻的脱碳压力。实现锂行业的可持续增长需要价值链成员的广泛投资和合作。其中, 许多行动都将给行业成员带来积极的财务和战略利益。

能源效率和可再生电力



提升能源效率和可再生电力是锂行业短期内快速降低温室气体排放, 实现阶段性减排目标的必要方法。

提升能源效率作为最有效的减排途径之一, 可以为企业带来明显的成本节省。另一方面, 随着太阳能和风能的成本竞争力加强, 以及电力市场改革和市场上对可再生能源项目的更多投资支持, 企业转向可再生电力的障碍越来越小。下游客户承诺从更高效的制造商处购买原材料, 可以进一步推动制造商的商业决策。

研发创新



锂行业的可持续增长依赖于关键技术的创新和突破。

例如,直接提锂技术可以支持高镁锂盐湖提锂的规模化生产、氢燃料及生物基合成燃料可以支持目前基于天然气的热力脱碳。这些技术有些是行业内需要攻克的,有些则需要与其他行业共同协作。企业可以设定专门用于投资关键技术的资金预算,通过自主研发、外部开发、合作开发、投资等形式,突破这些技术壁垒。企业在减少排放的同时,还可以提高资源效率并在可持续产品和服务中开发新收入流的机会,帮助公司降低成本并提高盈利能力。

行业及政府间合作



行业中具有影响力的企业可以号召价值链成员和其他利益相关方组建联盟,建立战略伙伴关系和共同目标,携手制定行业的脱碳方法和标准,并共享脱碳经验和进展。

政府可以通过举办会议、提供认可和提供财政支持等方式鼓励此类活动。同时,通过与政策制定者沟通交流,就可能影响行业的政策决策,同时对即将出台的政策变化或提案做好准备,可以实现气候政策综合效果的最大化。

产品标签



行业可以开发针对动力电池的产品认证标签体系,通过对动力电池的生命周期排放和回收成分设定限制,以为符合特定标准的产品提供标签。

通过获得符合认证标准的产品标签,制造商可以证明其产品具有更高的可持续性,增加客户对其产品的信任和忠诚度。另外,采用产品认证和标签体系也有助于制造商符合各种国家和地区的法规和标准,并有助于其打开新市场。

提升行业数据质量



由于数据不足,许多出版物在关于锂行业的能源消耗和温室气体排放方面仍在使用企业早期数据。

这可能导致外部对行业排放现状的错误认知,从而影响对行业不同生产程序的气候影响以及不同脱碳途径的减排潜力的判断。锂盐生产企业可以定期测算和披露其产品的生命周期环境影响,改进现有数据情况。

公众教育



公众对气候变化的认知可以影响他们的日常行为。

通过宣传锂在助力能源清洁转型方面的关键作用,并提出潜在的脱碳解决方案,可以推动公众为行业的可持续增长提供支持。另一方面,通过宣传电动汽车的生命周期环境影响优势,可以消除一些消费者对电动汽车的潜在担忧,提高电动汽车的市场接受度。

强化气候信息披露



企业通过披露气候信息,可以帮助投资者了解企业对潜在气候风险的评估,以及为增强业务韧性做出的准备。

这可以增强投资者的信心,尤其是那些长期投资者,这对于正处于扩张阶段具有大量资金需求的锂行业非常重要。当前,由气候相关财务信息披露工作组(TCFD)发布的建议是全球应用最广泛的气候信息披露标准,其为确保气候披露的一致性和可比性提供了明确指引(参见天齐锂业TCFD报告)。

4.2 公共部门 >>

——强化政策框架和机制

尽管监管行动已经开始引导行业朝着可持续方向发展，但行业需要更多的监督管理来引导商业决策，并提供激励措施来推动系统性变革。通过多样化的政策工具，将环境和经济动机结合，可以实现环境效益和成本效益的最优化。

税收优惠



税收优惠可以在刺激清洁技术部署方面发挥重要作用。

例如，在过去的十年里，中国的新能源汽车推广应用财政补贴政策极大推动了新能源汽车技术的研发、生产和普及。类似地，政府可以为使用低碳热力生产锂产品的企业提供税收抵免或减税，或者为投资使用低碳热力技术的企业提供税收抵免。

命令与控制



命令与控制型政策工具明确定义了企业必须满足的特定要求。

在技术层面，可以在特定日期后禁止锂盐加工行业使用特定的化石燃料来产生热量，或要求使用特定的低碳工业热技术。在绩效层面，可以为锂盐加工行业设定强制性能耗限额标准或强制性排放限额标准。在框架层面，政府可以设置退役动力电池处置资质要求，提高行业准入门槛。

环境信息披露



要求动力电池和汽车制造商报告排放或其他气候相关信息。

可以提高行政部门的信息水平，以支持这些企业未来被更合理地纳入其他监管体系，例如行业标准或排放权交易。同时，报告还可以提高公众对不同产品环境影响的认知程度，以支持他们的购买决策。

政府采购



利用政府采购政策工具，可以为新产品的制造商提供一个确定的市场，并弥补企业进行低碳技术创新的正外部性。

城市交通系统作为新能源汽车的主要购买者之一，在过去的十几年里，极大推动了新能源汽车的规模化应用。在行业快速发展下，通过设定与气候绩效相关的采购要求，例如百公里耗电量、动力电池碳足迹、单位容量锂含量等，可以引导行业行为的重大变化，推动行业技术创新和发展。

政府研发支持



近年来，中国对清洁技术研发的投资呈现井喷式增长，对于许多清洁技术的发展起到了至关重要的作用。

在众多工业部门中，热力生产是主要的排放来源之一。开发清洁热力技术是消除工业排放的有效途径，包括氢燃料、氨燃料、生物质及生物基合成燃料、地热能、核能、电气化等都具有支持热力脱碳的巨大潜力。然而，这些技术目前都面临着不同程度的技术和/或经济限制，政府研发支持可以帮助弥合这些差距。

基础设施建设



向清洁工业热力的过渡将需要新的基础设施，例如输电线路或氢气管道。

政府可以发挥核心作用，通过许可、融资和其他措施促进或直接参与此类基础设施的开发。

4.3 金融机构 >>

——优先考虑创新的投融资机会

金融机构可以为锂行业的低碳转型和可持续发展提供资金支持。为了充分发挥资本的作用，推进净零排放愿景的实现，需要构建多样化的转型金融产品，以确保更多的金融支持能够投入到支持锂行业可持续发展的关键领域。

金融产品构建：

贷款类产品

通过绿色/可持续发展贷款为符合环保条件的项目提供资金支持和利率优惠，可以支持锂行业开展节能减排行动和优化产业能源结构。银行可以通过建立产业绿色评估体系，在发放绿色贷款前对项目的环境收益进行全面评估，避免将绿色贷款发放给潜在的不合规企业。同时，政府可以通过财政补贴的方式激励银行开展绿色信贷业务，以提高其积极性。

债券类产品

绿色/可持续发展债券是支持环境项目的另一种融资方式。金融机构可以采取与绿色贷款类似的评价方法，识别合格的绿色资产。此外，近年来出现的可持续发展挂钩债券，不要求企业将筹集到的资金用于环境项目。相反，它要求企业实现一些承诺的可持续发展目标，从而确保债券的回报与环境效益挂钩，对于价值链脱碳关键的环节提供了潜在的资金来源，例如盐湖提锂、动力电池回收。

投资类产品

通过在投资组合配置阶段考虑环境因素，投资者可以为符合环保标准的企业提供资金支持。为确保投资对象在环境方面表现卓越，投资者可以制定针对性的气候相关指标，例如锂盐生产企业的单位产品能耗和温室气体排放，并参考外部ESG评级体系，例如MSCI, S&P CSA和CDP。将这些指标纳入投资的筛选或整合策略，可以帮助投资者发掘潜在的气候领导者。

保险类产品

为了降低锂行业开展气候行动时可能遇到的不确定性，可以通过提供创新的绿色保险来使这些项目更容易获得批准或吸引投融资，并为保险公司创造新的商业机会。例如，保险公司可以为可再生能源项目提供保险，确保项目所有者每年至少实现一定程度的成本节省。保险公司还可以为能源效率和清洁热力技术替代项目提供保险，以保证项目所有者每年至少实现一定程度的能源节省和降低潜在的工程延误风险。

影响力披露：

透明度和可信度对于绿色金融的可持续发展至关重要。为此，金融机构应当与获得绿色金融支持的企业建立高效的沟通渠道，以定期了解项目进展和绩效，并每年披露其发行的绿色金融产品对环境的影响力。这一举措不仅能够帮助金融机构内部评估产品的有效性和缺陷，而且有助于提高公众对绿色金融产品的认知和认可度。



参考文献

[1] Anglo American. (2022) . Anglo American Unveils a Prototype of the World’ s Largest Hydrogen-powered Mine Haul Truck - a Vital Step Towards Reducing Carbon Emissions over Time. <https://www.angloamerican.com/media/press-releases/2022/06-05-2022>

[2] BMW Group. (2021) . Into a Circular Future. <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2021/iaamobility2021.html>

[3] Chen, Q., Lai, X., Gu, H., Tang, X., Gao, F., Han, X., & Zheng, Y. (2022) . Investigating Carbon Footprint and Carbon Reduction Potential Using a Cradle-to-cradle LCA Approach on Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles in China. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133342>

[4] European Parliament.(2023). P9_TA(2023)0237 Batteries and waste batterieshttps://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0237_EN.pdf

[5] Fayomi, G. U., Mini, S. E., Fayomi, O. S. I., & Ayoola, A. A. (2019) . Perspectives on Environmental CO₂ Emission and Energy Factor in Cement Industry. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/331/1/012035>

[6] Gao, T. M., Fan, N., Chen, W., & Dai, T. (2023) . Lithium Extraction from Hard Rock Lithium Ores (Spodumene, Lepidolite, Zinnwaldite, Petalite) : Technology, Resources, Environment and Cost. <https://doi.org/10.31035/cg2022088>

[7] Grant, A. (2020) . From Catamarca to Qinghai: The Commercial Scale Direct Lithium Extraction Operations. <https://www.jadecove.com/research/fromcatamarcatoqinghai>

[8] Haidelberg Materials. (2022) . Green Light for LEILAC 2 Carbon Capture Project at HeidelbergCement’ s Plant in Hanover, Germany. <https://www.heidelbergmaterials.com/en/pi-23-03-2022>

[9] He, Z. H., Du, S. G., & Chen, D. (2018) . Microstructure of Ultra High Performance Concrete Containing Lithium Slag. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.03.063>

[10] ICEF. (2019) . Industrial Heat Decarbonization Roadmap. https://www.icef.go.jp/pdf/summary/roadmap/icef2019_roadmap.pdf

[11] IEA. (2021a) . An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China. <https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-carbon-neutrality-in-china>

[12] IEA. (2021b) . Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

[13] IEA. (2021c) . The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

[14] IEA. (2022a) , Building. <https://www.iea.org/reports/buildings>

[15] IEA. (2022b) . Critical Minerals Policy Tracker. <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-policy-tracker>

[16] IEA. (2022c) . Global Supply Chains of EV Batteries. <https://www.iea.org/reports/global-supply-chains-of-ev-batteries>

[17] IEA. (2022d) . Grid-Scale Storage. <https://www.iea.org/reports/grid-scale-storage>

[18] IEA. (2022e) . Opportunities for Coupling CCUS Hydrogen Production in China. <https://www.iea.org/reports/opportunities-for-hydrogen-production-with-ccus-in-china>

[19] IEA. (2023) . Global EV Outlook 2023. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>

[20] IRENA. (2022) . Critical Minerals for the Energy Transition: Lithium. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Technical-Papers/IRENA_Critical_Materials_Lithium_2022.pdf

[21] Lemouгна, P. N., Yliniemi, J., Ismailov, A., Levanen, E., Tanskanen, P., Kinnunen, P., Roning, J. & Illikainen, M. (2019) . Recycling Lithium Mine Tailings in the Production of Low Temperature (700–900°C) Ceramics: Effect of Ladle Slag and Sodium Compounds on the Processing and Final Properties. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.078>

[22] Li, T., Li, S., Li, W., Yan, R., Zhang, M., Wang, Y., Fan, Y., Zhang, Y., Xia, L., Zhao, Z., & Liu, S. (2022) . The Road to Net Zero: Decarbonization in China’ s Cement Industry. <https://rmi.org/insight/net-zero-decarbonization-in-chinas-cement-industry/>

[23] Li, X., Sun, X., Hu, X., Fan, F., Cai, S., Zheng, C., & Stucky, G. D. (2020) . Review on Comprehending and Enhancing the Initial Coulombic Efficiency of Anode Materials in Lithium-ion/Sodium-ion Batteries. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105143>

[24] Ma, Y., Guo, P., Liu, M., Cheng, P., Zhang, T., Liu, J., Liu, D. & He, D. (2022) . To Achieve Controlled Specific Capacities of Silicon-based Anodes for High-Performance Lithium-ion Batteries. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.164189>

[25] McKinsey. (2019) . Second-life EV Batteries: The Newest Value Pool in Energy Storage. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage>

[26] McKinsey. (2022) . Lithium Mining: How New Production Technologies could Fuel the Global EV Revolution. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/lithium-mining-how-new-production-technologies-could-fuel-the-global-ev-revolution>

[27] Menon, A. K., Haechler, I., Kaur, S., Lubner, S., & Prasher, R. S. (2020) . Enhanced Solar Evaporation Using a Photo-thermal Umbrella for Wastewater Management. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0445-5>

[28] Monkman, S., MacDonald, M., Hooton, R. D., & Sandberg, P. (2016) . Properties and Durability of Concrete Produced Using CO₂ as an Accelerating Admixture. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.10.007>

[29] Reddy, M. V., Mauger, A., Julien, C. M., Paoletta, A., & Zaghib, K. (2020) . Brief history of early lithium-battery development. <https://doi.org/10.3390/ma13081884>

[30] Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020) . CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#annual-greenhouse-gas-emissions-by-sector>

[31] Slowik, P., Lutsey, N., & Hsu, C. (2020) . How Technology, Recycling, and Policy can Mitigate Supply Risks to the Long-term Transition to Zero-emission Vehicles. <https://theicct.org/publication/how-technology-recycling-and-policy-can-mitigate-supply-risks-to-the-long-term-transition-to-zero-emission-vehicles>

[32] S&P Global. (2021) . Volkswagen’ s Plan on LFP Use Shifts Hydroxide Dominance Narrative in EV Sector. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/metals/031721-volkswagens-plan-on-lfp-use-shifts-hydroxide-dominance-narrative-in-ev-sector>

[33] Song, J. F., Nghiem, L. D., Li, X. M., & He, T. (2017) . Lithium Extraction from Chinese Salt-lake Brines: Opportunities, Challenges, and Future Outlook. <https://doi.org/10.1039/C7EW00020K>

[34] Sterba, J., Krzemień, A., Fernández, P. R., García-Miranda, C. E., & Valverde, G. F. (2019) . Lithium Mining: Accelerating the Transition to Sustainable Energy. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.05.002>

[35] Sahu, S., & Meininger, R. C. (2020) . Sustainability and Durability of Solidia Cement Concrete. <https://www.concrete.org/publications/getarticle.aspx?m=icap&pubid=51728105>

[36] Sandeep, B. G. (2021) . Reduction of Greenhouse Gas Emission by Carbon Trapping Concrete Using Carboncure Technology. <https://doi.org/10.48422/IMIST.PRSM/ajeas-v7i3.28111>

[37] Sun, L., Liu, Y., Wu, J., Shao, R., Jiang, R., Tie, Z., & Jin, Z. (2022) . A Review on Recent Advances for Boosting Initial Coulombic Efficiency of Silicon Anodic Lithium Ion Batteries. <https://doi.org/10.1002/smll.202102894>

[38] Sykes, J., Schodde, R., & Davis, S. (2019) . A Global Overview of the Geology and Economics of Lithium Production. <https://minexconsulting.com/wp-content/uploads/2019/12/Lithium-Presentation-July-2019.pdf>

[39] Tan, H., Zhang, X., He, X., Guo, Y., Deng, X., Su, Y., Yang, J. & Wang, Y. (2018) . Utilization of Lithium Slag by Wet-grinding Process to Improve the Early Strength of Sulphoaluminate Cement Paste. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.027>

[40] UNEP. (2022) . Emissions Gap Report 2022. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>

[41] Vera, M. L., Torres, W. R., Galli, C. I., Chagnes, A., & Flexer, V. (2023) . Environmental Impact of Direct Lithium Extraction from Brines. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00387-5>

[42] Volkswagen. (2021) . Way to Zero: Volkswagen Presents Roadmap for Climate-neutral Mobility. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/way-to-zero-volkswagen-presents-roadmap-for-climate-neutral-mobility-7081>

[43] Xu, S., Song, J., Bi, Q., Chen, Q., Zhang, W. M., Qian, Z., Zhang, L., Xu, S., Tang, N., & He, T. (2021) . Extraction of Lithium from Chinese Salt-lake Brines by Membranes: Design and Practice. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119441>

[44] Zhang, H., Yang, Y., Ren, D., Wang, L., & He, X. (2021) . Graphite as Anode Materials: Fundamental Mechanism, Recent Progress and Advances. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.12.027>

[45] 边志富. (2013) . 天然碱的加工及利用途径探讨. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDHIS2&filename=NMSH201321028&uniplatform=NZKPT&v=gWT851JMOaVaQ_ypYM-m4DAoCmtyZ9ZDG7D3vMuJsiilJr0VVy8xs-UsVsrtF_yA

[46] 蔡博峰, 李琦, 张贤等. (2021) . 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2021) . <http://www.caep.org.cn/sy/dqhj/gh/202107/W020210726513427451694.pdf>

[47] 程强 & 张军. (2018) . 烧碱蒸发工艺现状与节能改造的建议思考. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2018&filename=ZJTY201808101&uniplatform=NZKPT&v=vA7L_uTI5TI4foh7ZweLvRBSrg148rB9N7PMTwn2RtNTT8U-NJ5NL9IDgDY-93yJ

[48] 德勤. (2022) . 中国锂电行业发展德勤观察 3.0. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/strategy/deloitte_cn_lithium_pov_cn_20221114.pdf

[49] 董文林. (2007). 联碱生产实现零排放的可行性探索. <https://doi.org/10.16554/j.cnki.issn1005-8370.2007.01.001>

[50] 杜国山, 唐建文, & 姜鹏飞. (2020). 锂辉石制备碳酸锂工艺节能分析. <https://doi.org/10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2020.03.001>

[51] 何飞, 高利坤, 饶兵, 沈海榕, 彭科波, 高广言, & 张明. (2022). 从锂云母中提锂及综合利用的研究进展. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1251.TD.20220920.0832.002.html>

[52] 胡翔. (2021). 世界首条用 CO₂ 制备混凝土砖生产线在华新水泥成功运行. <http://ce.hnu.edu.cn/info/1146/9063.htm>

[53] 华泰证券. (2022). 电池回收:行业逐步规范,长期利好. <https://www.vzkoo.com/document/20220428cdf-56d89156a35fa11f96559.html>

[54] 清华大学建筑节能研究中心. (2022). 中国光储直柔建筑战略发展路径研究. <https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-lccp-20220701/1-%E5%85%89%E5%82%A8%E7%9B%B4%E6%9F%94%E7%BB%BC%E5%90%88%E6%8A%A5%E5%91%8A.pdf>

[55] 任若轩, 游双娇, 朱新宇, 岳小文, & 姜振超. (2021). 天然气掺氢输送技术发展现状及前景. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=3uoqIhG8C44YLTIOAiTRKiBYIV5Vjs7iy_Rpms2pqwbFRRUtoUImHYajwsrBiFh8Px-zm2bBFAResQdfNcCto8n1r4vLMWnmA&uniplatform=NZKPT

[56] 头豹. (2019). 2019 年中国磷酸铁锂正极材料行业概览. <http://qccdata.qichacha.com/ReportData/PDF/dabf9ac8c07c437732f17d8917809e2b.pdf>

[57] 武浩, & 张鹏. (2022). 动力电池结构创新百家争鸣. http://pg.jrj.com.cn/acc/Res/CN_RES/INDUS/2022/8/17/a4b857a2-9d36-45d5-916a-db7a71375302.pdf

[58] 徐璐, 惠博, 龚大兴, 赖杨, & 田恩源. (2021). 从黏土型锂矿中高效浸出锂的研究. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2021&filename=METE202109006&uniplatform=NZKPT&v=REI0_oVkzVnO0ejWpfRLQcfHwzagAGvY1F3bR9irHL-Cn1nrJuvVr-k2_yeRzfw

[59] 杨勇, 张义华, 蔡律律, 魏孟军, & 李定波. (2021). 富氧燃烧的工业应用进展分析. <https://doi.org/10.16643/j.cnki.14-1360/td.2021.07.075>

[60] 张成强, 张锦柱, & 冯春晖. (2003). 选矿企业降低能耗的措施及其理论依据. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=3uoqIhG8C44YLTIOAiTRKgchrJ08w1e7ZCYsl4RS_3gXPiQUtmb4TNKsjCZW5sXnbzhc9b-fquDvUxuVc_1m55Oer3N3DT4IO&uniplatform=NZKPT

[61] 张可为, & 赵玉萍. (2019). 氨碱法生产工艺和优化. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2019&filename=NMSH201904021&uniplatform=NZKPT&v=4iC6AYAVaTzyAm_lToU-87ja0TH14IQfx36CxIV9cNt6uqXRV62ILL8O-5bFaq4xX

[62] 张秀峰, 谭秀民, 刘维燥, 王威, & 张利珍. (2020). 矿石提锂技术现状与研究进展. <https://doi.org/10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.05.003>.

[63] 张仲明, 何胜平, & 魏虎杰. (2019). 高海拔地区水泥窑富氧燃烧技术研究与实践. <https://doi.org/10.13739/j.cnki.cn11-1899/tq.2019.07.011>

[64] 中信证券. (2022). 锂电池回收:加速构建产业链循环一体化. <https://www.hangyan.co/reports/2800082071437968549>

[65] 周光耀. (2006). 联合制碱法技术进展. <https://doi.org/10.16554/j.cnki.issn1005-8370.2006.01.001>

天齐行动

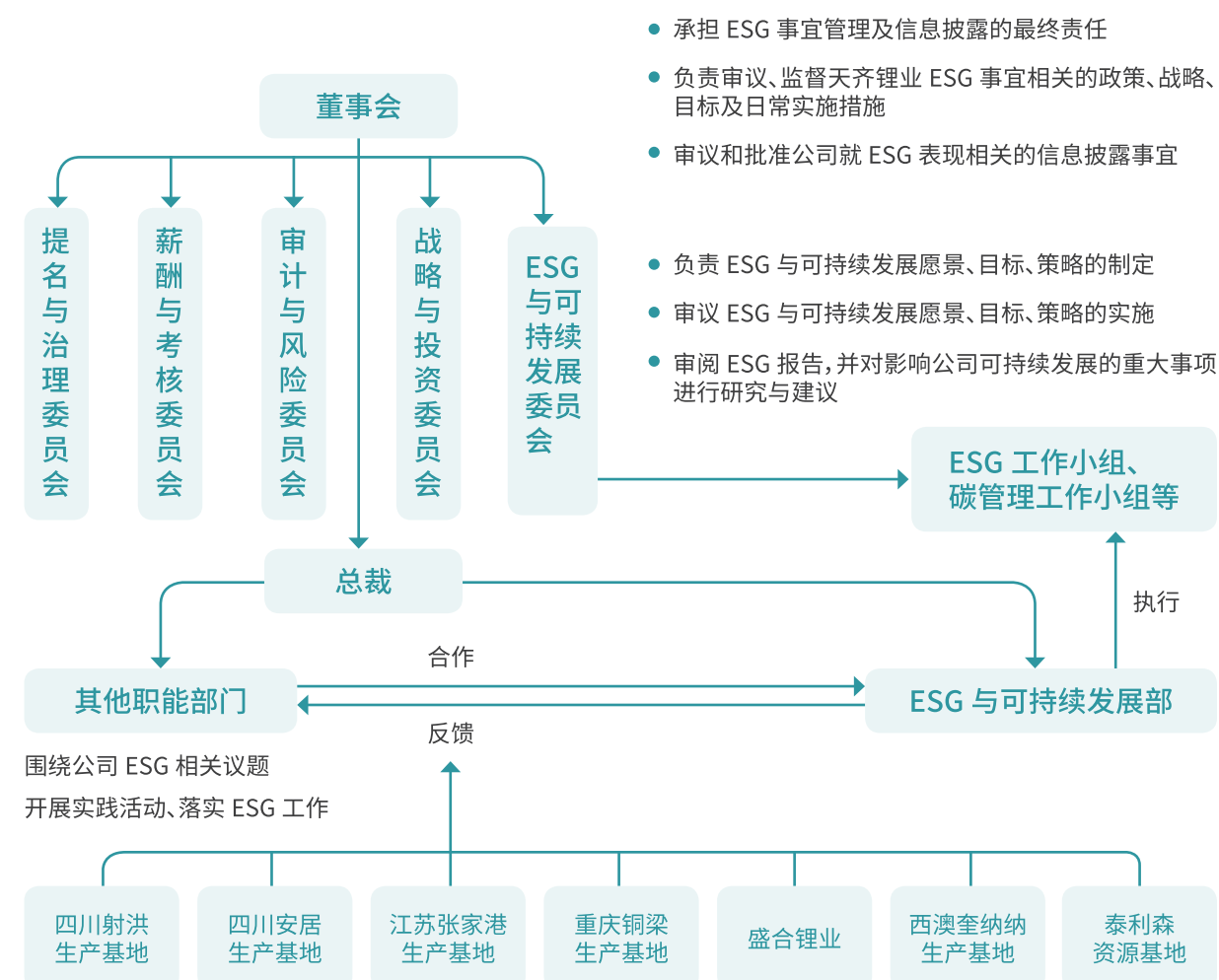
2022 年天齐锂业气候相关财务信息披露 (TCFD) 简报

治理 >>

天齐锂业建立了健全的气候治理架构,以推动公司低碳战略的设计和实施。公司将气候相关事宜交由ESG与可持续发展委员会,委员会下设指定小组专门负责管理气候相关事宜。董事会通过 ESG 与可持续发展委员会对气候相关议题进行监管。

ESG与可持续发展委员会的主要职责包括制定和审议与气候变化相关的公司愿景、目标及策略,并就提升公司应对气候变化的表现所需采取的行动向董事会给予建议。ESG 与可持续发展委员会还负责审视与气候变化相关的外部趋势以及风险和机遇,确保最大程度地减小气候风险对公司的负面影响,并为公司抓住与气候相关的商业机会提供支持。

ESG 与可持续发展治理结构



战略和风险管理 >>

天齐锂业的气候风险管理由我们的ESG与可持续发展委员会负责,并被整合至公司的整体风险管理体系。我们持续将气候风险管理的发现纳入公司战略规划,以帮助我们增强在不同潜在世界情景中的气候韧性。总的来说,我们的气候风险识别流程包括:

- 自上而下风险评估:参考TCFD建议、气候出版物和同业披露,考虑各类型气候相关风险对战略和业务的影响
- 自下而上情景分析:评估企业在国际常用的不同气候情景下的战略韧性
- 重要性评估:与利益相关者进行接触,评估他们的关注程度,并对潜在的业务影响进行评级

天齐锂业风险管理体系



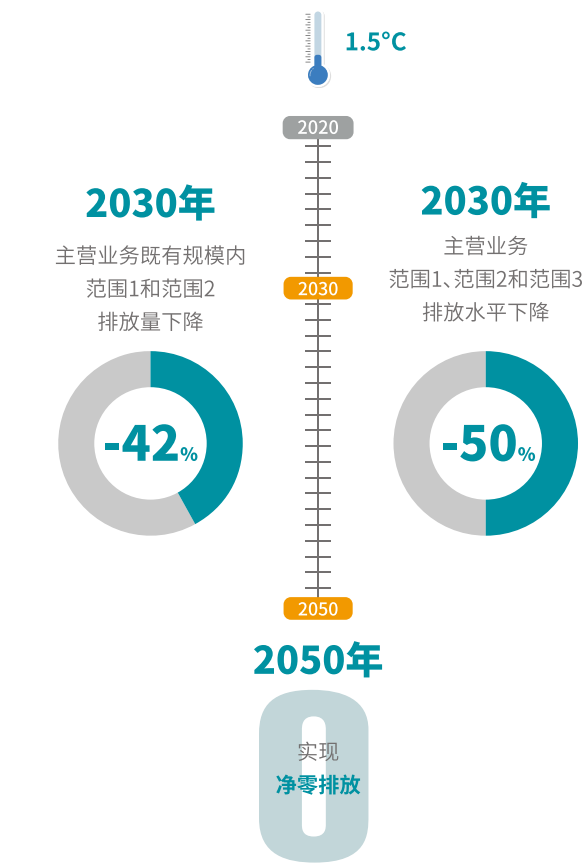
以下展示了我们 2022 年气候风险和机遇评估的结果:

风险					
类型	类别	风险描述	可能性	潜在财务影响	应对举措
转型风险	市场不明确	取决于原材料价格和汽车制造商的敏感程度,不同动力电池类型未来的市场规模存在不确定性。高镍三元锂电池主要以氢氧化锂为原料,磷酸铁锂电池和低镍三元锂电池主要以碳酸锂为原料。动力电池市场的变化将影响不同类型锂盐的需求。如果天齐锂业的产能扩张计划与下游市场的需求增长不一致,可能导致因产品需求降低造成的收入减少。	中	高	· 持续监测和预测市场需求 · 布局不同产品的生产基地 · 采用灵活化生产线
	消费者行为改变	越来越多的汽车制造商开始关注整个价值链的温室气体排放,并提出了净零排放目标。考虑到锂离子电池是电动汽车制造阶段最显著的温室气体排放源之一,汽车制造商的减排需求可能导致动力电池和锂正极材料制造商未来将温室气体排放纳入他们的采购要求。无法满足这些要求可能导致客户转向具有更好环境表现的其他供应商的产品。	高	高	· 对主要产品进行碳足迹测算,并与客户分享测算结果 · 设定产品碳强度目标和对应的实施方案
	原材料成本增加	锂辉石是生产锂盐的重要原料。自2020年底以来,全球对锂盐的强劲需求造成的供不应求导致锂辉石和锂盐价格持续攀升。锂精矿是天齐锂业主要的锂来源,供应压力造成的锂辉石及其辅料价格上涨将导致采购成本的增加。	高	高	· 投资上游矿产资源

类型	类别	风险描述	可能性	潜在财务影响	应对举措
转型风险	碳定价机制	2013年以来,中国相继启动了七个地区碳市场。2021年,全国碳市场正式启动,目前仅纳入发电行业。天齐锂业位于重庆铜梁的生产基地是最有可能被纳入碳市场的设施。根据重庆市生态环境局最新规定,2018至2020年任一年度温室气体排放达到1.3万吨二氧化碳当量及以上的工业企业应被纳入2021年重点排放单位,进行配额管理。	中	中	· 设置能效专用预算,在不同生产基地广泛开展能效项目,并将项目进展与基地绩效挂钩
	向低排放技术转型	热力排放是锂盐生产阶段温室气体排放的主要来源,也是锂盐生产企业中长期减排的工作重点。目前,天然气是锂盐生产中最常用的能源。向净零排放转型势必需要转向更加环境友好的热力来源,例如电力和氢能。然而,对于许多化工企业,包括天齐锂业,诸如回转窑等设备通常是工厂的核心组件,并可以维持几十年。回转窑的后续改造在很多时候也是不可行的或者昂贵的。这意味着在不考虑未来的减排需求下,盲目新建工厂可能带来显著的碳资产锁定,进而影响企业减排目标的实现或迫使资产提前退役。	中	高	· 使用影子价格将温室气体排放成本纳入部分投资回报测算
	来自利益相关方的顾虑或负面反馈增加	随着投资者对于气候变化相关问题的兴趣增加,对气候变化相关问题缺乏行动或信息披露不足可能导致投资机构撤回投资。	中	低	· 定期通过可持续发展报告和其他媒介传播公司可持续发展绩效
	极端天气事件的严重程度和频率上升	气候变化可能导致海平面上升、降水变化、淡水水位变化、极端天气事件增加和资源短缺。长期干旱可能导致天齐锂业运营过程用水短缺。极端天气事件(风)和海平面上升影响天齐锂业的海洋运输环节。	中	低	· 制定极端天气事件应急处理方案

机遇					
类型	类别	机遇描述	可能性	影响程度	应对措施
资源效率	能源效率	锂盐精炼过程是能源密集的,主要的能源消耗包括各类电驱动设备的电力以及焙烧和化学处理过程的天然气。能源效率项目作为减排最唾手可得的果实,在减少温室气体排放的同时,通常还可以为企业带来显著的能源成本节省。	高	中	· 设置能效专用预算,在不同生产基地广泛开展能效项目,并将项目进展与基地绩效挂钩
	回收利用	锂盐生产过程会产生大量锂渣,主要由含锂的无机化合物、有机溶剂、电解质和其他杂质组成。由于锂渣中含有大量有价值的锂资源,综合回收利用锂渣可以有效地节约资源并减少环境污染,并带来经济效益。	高	中	· 开展锂渣资源化综合回收利用研究
产品和服务	低排放产品和服务的开发和/或扩展	交通运输绿色转型是实现全球净零目标的关键,新能源汽车浪潮成为交通行业重要的脱碳路径。多国发布了零排放汽车指令,例如欧盟和加拿大先后宣布将在2035年之前禁止销售新的二氧化碳排放汽车。锂是动力电池中的关键正极材料,中游锂盐加工企业将会迎来产品需求的快速增长。	高	高	· 在现有生产设施中扩大产能 · 在中国和澳大利亚新建生产设施
市场	进入新市场	新能源汽车不久将会大规模退役,当动力电池达到其使用寿命后,可以通过电池回收和材料再利用两种方式实现循环利用,两者市场潜力巨大。中游锂盐加工企业可以参与锂电池回收再生市场,对回收的末端电池内的正极材料进行提纯精炼。	高	中	· 与第三方合作成立了专注于资源再生利用技术研发和退役动力电池回收及梯次利用的公司

指标和目标 >>



天齐锂业致力于在气候绩效方面保持透明。在过去的几年里，我们一直与可信赖的第三方机构合作，以了解我们的温室气体排放情况以及减少这些排放的重要机会。

面向全球2050年净零排放愿景，作为全球领先的以锂为核心的新能源材料企业，我们认为我们拥有促进这一进程的规模和影响力，也秉承践行气候行动的责任和担当。因此，我们在此作出承诺将努力减少我们的气候影响：

天齐锂业将持续降低主营业务既有规模内范围1和2排放，到2030年相比基准年排放量下降42%以上；其间，主营业务新增规模将优先应用低碳技术，并积极推动核心供应商设立相当或更高减排目标、降低主营业务外购原料及服务、上游运输等过程排放量，争取到2030年实现主营业务范围1、范围2和范围3排放水平相比基准年下降50%，并在2050年前实现净零排放**。

* 基准年：2021 年

* 主营业务：硬岩型锂矿资源的开发、锂精矿加工销售以及锂化工产品的生产销售

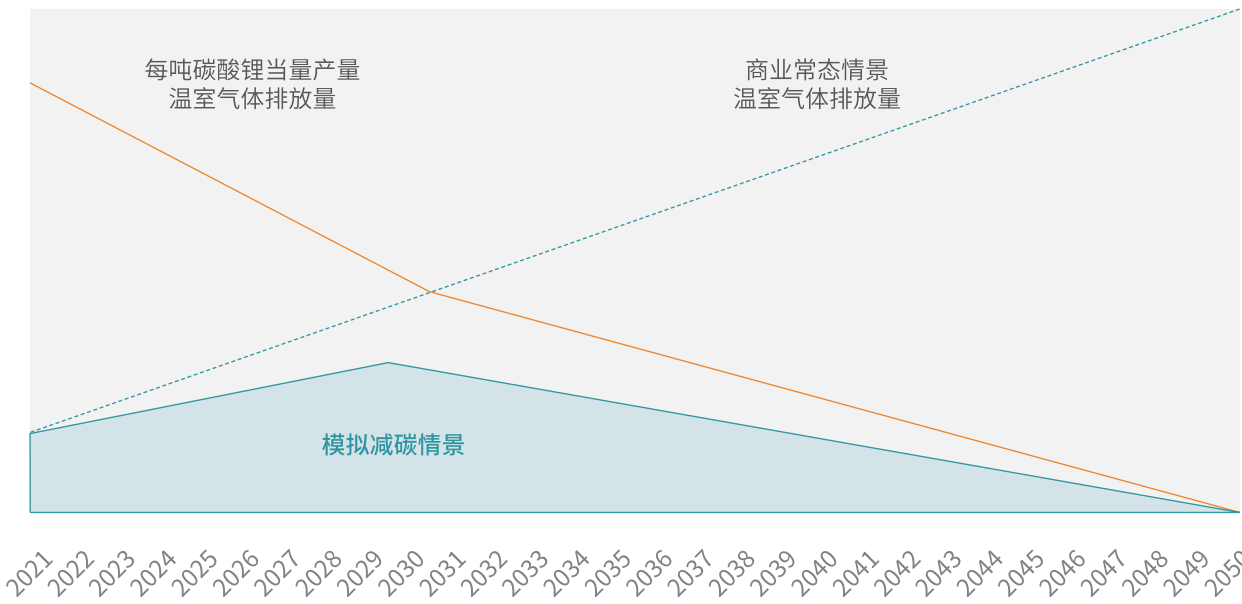
* 既有业务规模：指基准年已经达产的公司业务经营活动范围。

* 新增业务规模：指基准年后达产的公司业务经营活动范围。

* 排放量：即遵循 GHG Protocol、ISO 14064 等规范完成的企业温室气体核算结果（绝对值）。

* 排放水平：即经营活动单位产出（经济指标或物理指标，例如单位产品碳酸锂当量 tLCE）的排放量（强度值）。

** 净零排放：即遵循 ISO Net zero guidelines (IWA 42:2022) 中对净零排放的定义以及要求，目标年份剩余排放应满足 1.5°C 目标所需的减排程度。



为实现2050年的净零目标，天齐锂业将会分阶段开展以下行动：

现在到2030年间

天齐锂业将会以绿电采购和消纳策略为主，以提升能源效率和可再生电力占比，具体行动包括：投资厂区分布式光伏、优先采购可再生电力和绿电化学品等。

2030年到2050年间

天齐锂业将会以研发和资产更新策略为主，探索开发绿电蓄热蒸汽系统、碳中性天然气系统和高效CO₂循环利用系统，具体行动包括：提升电气化水平和可持续燃料占比、使用碳捕集及封存技术等。

净零策略

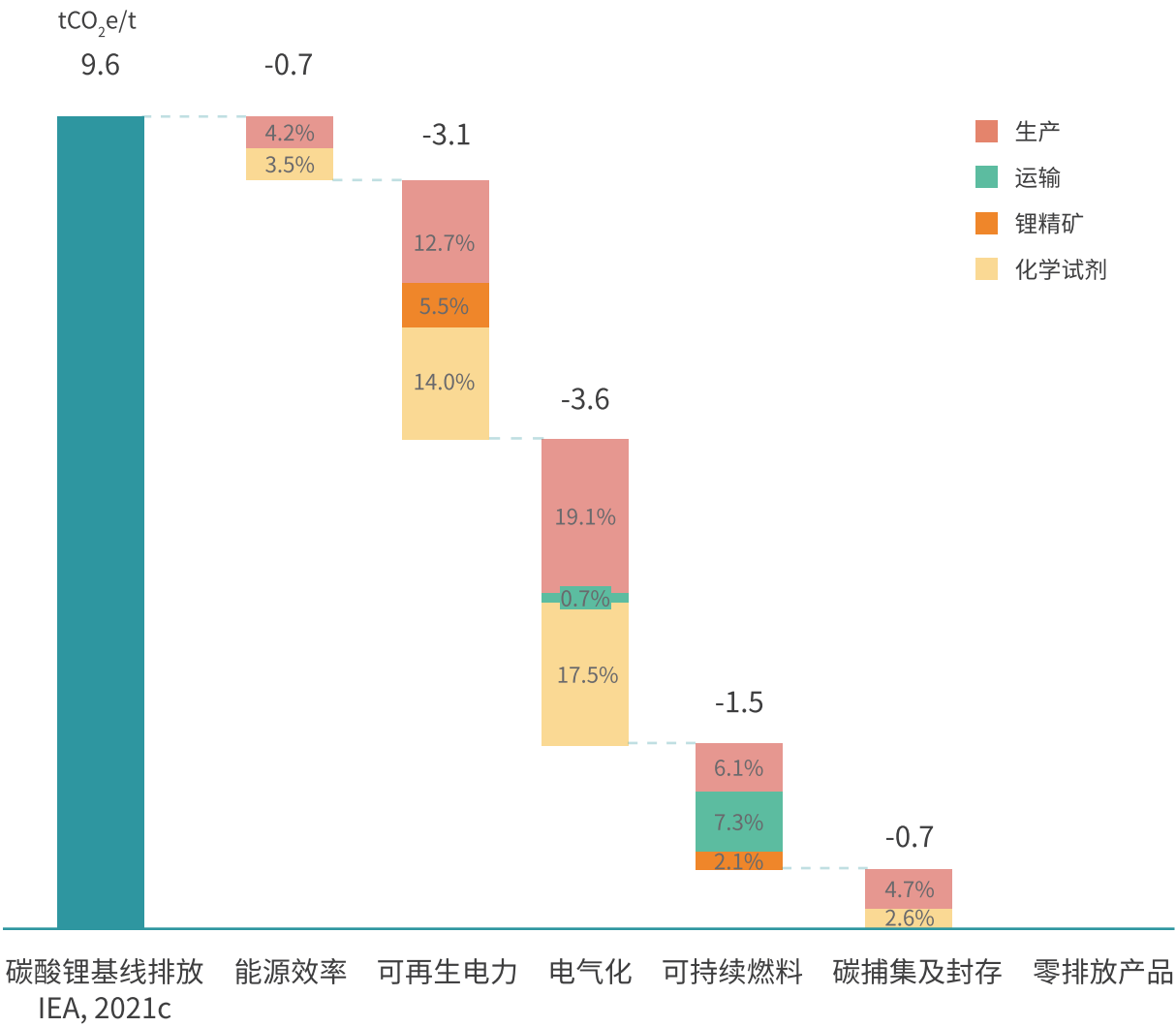
绿电采购和消纳

研发和资产更新

具体行动

投资厂区分布式光伏、
优先采购可再生电力和
绿电化学品等

提升电气化水平和可
持续燃料占比、使用
碳捕集及封存技术等



在我们致力于到2050年实现净零排放以及达成我们的中期目标的同时,我们也知道存在一定程度的外部不确定性,可能会影响我们的时间表和计划。这些不确定性包括关键技术的发展、区域政策和要求、其他行业的脱碳进程等。我们将对我们的目标实现进展保持透明,并及时更新因潜在不确定性导致的任何变化。



特别鸣谢与编委组名单

《净零排放目标下可持续锂业白皮书》（简称《白皮书》）梳理了锂的发展历程，分析当前锂行业所面临的主要机遇和挑战，从全产业链的角度为其提出应对策略，为锂行业的净零转型和可持续发展提供指引。同时，白皮书对相关行业成员发出行动呼吁和倡议，以期共同实现2050年锂行业净零目标。

编写单位与团队 >>

（按首字母顺序排序）

主编单位：

北京商道纵横管理咨询有限公司
天齐锂业股份有限公司

参编单位：

中国节能皓信环境顾问集团有限公司
成都亿科环境科技有限公司
零碳与可持续发展创新中心
深圳可持续发展研究院

编写团队：

曹原 商道纵横合伙人 零碳倡议项目首席顾问
李雨馨 商道纵横助理咨询顾问
张华轩 商道纵横助理咨询顾问
天齐锂业 ESG 与可持续发展部

感谢以下专家对《白皮书》提供宝贵意见和建议 >>

（按首字母顺序排序）

- 柴麒敏 国家气候战略中心战略规划部主任
- 陈立泉 中国工程院院士、中国科学院物理研究所研究员
- 戴彦德 国家发展和改革委员会能源研究所原所长、研究员
- 雷宪章 德国国家工程院院士，西南石油大学碳中和首席科学家
- 赵天寿 中国科学院院士、南方科技大学碳中和能源研究院院长
- 陈朝阳 新能源科技有限公司 EHS 副总经理
- 成会明 中国科学院院士、发展中国家科学院院士
- 邓立 天府新能源研究院 市场经营及拓展负责人
- 康飞宇 清华大学深圳研究生院院长
- 黎玺 四川省节能协会绿色低碳中心总工程师
- 李宝华 清华大学深圳国际研究生院材料研究院副院长
- 李原 广州碳排放权交易中心副总裁
- 林晓 博萃循环 CEO, 国际标准化组织 ISO/TC333 中方代表团长
- 刘彦龙 中国化学与物理电源行业协会秘书长
- 孙景文 原五矿证券有限公司研究所副所长
- 王洪涛 四川大学建筑与环境学院副教授
- 王莹莹 博萃循环中国业务负责人
- 吴昌华 气候组织 (The Climate Group) 大中华区总裁, 里夫金办公室中国主任
- 吴孟强 电子科技大学材料与能源学院教授
- 吴艳华 中国有色金属工业协会锂业分会秘书长
- 姚士心 中创新航安全环境负责人
- 张亚龙 深圳可持续发展研究院执行院长
- 张哲旭 深圳市清新电源研究院副院长
- 赵家生 原中国有色金属工业协会锂业分会会长
- 赵锐 西南交大教授，博士研究生导师
- 曾钰涵 亿科环境高级咨询师