

doi: 10.12029/gc20220909004

邢凯,朱清,邹谢华,龙涛,刘君安,温鹏飞,牛茂林,顾本杰,朱海碧,穆一帙. 2023. 新能源背景下锂资源产业链发展研究[J]. 中国地质, 50(2): 395-409.

Xing Kai, Zhu Qing, Zou Xiehua, Long Tao, Liu Jun'an, Wen Pengfei, Niu Maolin, Gu Benjie, Zhu Haibi, Mu Yiwei. 2023. Research on development of industry chain of lithium resources under the background of new energy[J]. Geology in China, 50(2): 395-409(in Chinese with English abstract).

新能源背景下锂资源产业链发展研究

邢凯^{1,2}, 朱清^{1,2}, 邹谢华^{1,2}, 龙涛³, 刘君安^{1,4}, 温鹏飞^{1,2}, 牛茂林^{1,2,5},
顾本杰^{1,2,5}, 朱海碧^{1,2,5}, 穆一帙^{1,2,6}

(1. 中国地质调查局国际矿业研究中心, 北京 100037; 2. 中国矿业报社, 北京 100037; 3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏南京 210016; 5. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北武汉 430074; 6. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要:【研究目的】近年来,全球经济产业结构和能源供给结构向绿色低碳转型,新能源产业加速发展。了解新能源背景下全球锂资源产业链发展现状和趋势,有助于为全球锂行业可持续发展提供基础性认识,为政府和企业提升锂资源产业链竞争力提供相关参考。【研究方法】本文梳理了日益增长的新能源需求对全球锂资源产业链在资源供需、冶炼加工、终端消费、回收利用等各环节的具体影响。【研究结果】通过梳理分析,新能源背景下全球锂资源终端消费,尤其是动力电池领域,持续旺盛,全球锂需求快速增长,供需错位下价格持续上升;锂资源在全球地位提升,世界各主要经济体将其列为关键矿产,出台系列政策保障本国锂资源安全供应、加强锂资源回收利用、推动产业结构转型升级;企业生产方式、企业结构、发展目标朝着低碳化、一体化、可持续方向发展。【结论】发展高效清洁能源成为世界各主要经济体解决能源和环境问题的有效途径,交通电力化和能源储存使全球对锂资源的需求持续快速增加。这些变化对上游锂矿产资源的供应格局,以及产业链中游生产加工和下游终端消费结构都产生了较大影响,但对产业链各环节传导和具体的影响方式是不均衡的。

关键词: 新能源背景; 锂资源; 全产业链; 结构转型; 矿产勘查工程

创新点: (1)研究了日益增长的新能源需求对锂资源全产业链各环节具体影响; (2)分析了新能源需求对锂行业影响的传导方式和未来发展趋势。

中图分类号: F416.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)02-0395-15

Research on development of industry chain of lithium resources under the background of new energy

XING Kai^{1,2}, ZHU Qing^{1,2}, ZOU Xiehua^{1,2}, LONG Tao³, LIU Jun'an^{1,4}, WEN Pengfei^{1,2},
NIU Maolin^{1,2,5}, GU Benjie^{1,2,5}, ZHU Haibi^{1,2,5}, MU Yiwei^{1,2,6}

(1. International Mining Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. China Mining News, Beijing 100037,

收稿日期: 2022-09-09; 改回日期: 2022-12-25

基金项目: 中国地质调查局项目联合资助(DD20211403, DD20211118, DD20211404)。

作者简介: 邢凯, 男, 1993年生, 博士, 助理研究员, 从事资源产业经济研究; E-mail: xingkai@mail.cgs.gov.cn。

通讯作者: 朱清, 男, 1983年生, 博士, 研究员, 从事资源产业经济研究; E-mail: zhuq@mail.cgs.gov.cn。

China; 3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China; 5. School of Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China; 6. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

[Objective] In recent years, the global economic industry structure and energy supply structure have transformed to green and low-carbon with the accelerated development of new energy industry. Understanding the development status and trend of the global lithium resource industry chain under the background of new energy would help us provide basic insights for the sustainable development of the global lithium industry and relevant references for the government and enterprises to improve the competitiveness of the lithium resource industry chain. **[Methods]** This paper reviews the specific impact of the increasing demand for new energy on the global lithium resource industry chain in terms of resource supply and demand, smelting and processing, end consumption, and recycling. **[Results]** Under the background of new energy, the global terminal consumption of lithium resources, especially in the field of power battery, has continued to flourish; the global demand for lithium has grown rapidly, while the price has continued to rise under the misplacement of supply and demand. With the rising importance of lithium resources in the world, major economies have listed it as a key mineral, which conducting a series of policies to ensure the safe supply of lithium resources in their own countries, strengthen the recycling of lithium resources, and promote the transformation and upgrading of industrial structure. The production mode, structure and development goal of the enterprises are developing in the direction of low-carbon, integration and sustainability. **[Conclusions]** Developing efficient and clean energy has become an effective way to solve energy and environmental problems, and transportation electrification and energy storage make the global demand for lithium resources continue to increase rapidly. These changes have obvious impact not only on the supply pattern of lithium resources in the upstream, but also on the production and processing in the midstream and consumption structure in the downstream end of the industrial chain. However, the transmission and specific impact on every link of the industrial chain are uneven.

Key words: new energy background; lithium resources; whole industry chain; structural transformation; mineral exploration engineering

Highlights: (1) The specific impact of the increasing demand for new energy on every links of the whole industrial chain of lithium resources was studied; (2) The transmission mode and future development trend of the impact of new energy demand on the lithium industry were analyzed.

About the first author: XING Kai, male, born in 1993, doctor, assistant researcher, mainly engaged in the research of resource industry economy; E-mail: xingkai@mail.cgs.gov.cn.

About the corresponding author: ZHU Qing, male, born in 1983, doctor, researcher, engaged in the research of resource industry economy; E-mail: zhuq@mail.cgs.gov.cn.

Funds support: Supported by the projects of China Geological Survey (No.DD20211403, No.DD20201118, No.DD20211404).

1 引 言

近年来,世界各国就加强绿色经济可持续发展达成共识,在这一共识下世界各主要经济体先后推出相关政策和行动以推动本国能源结构转型发展,明确力争实现《巴黎协定》所设立的环境保护目标(Wang et al., 2021a; 张雅欣等, 2021)。相关政策和行动的实施正在引导重塑全球经济产业结构,锂等新能源相关产业快速发展(樊大磊等, 2021; 强海洋等, 2021; Wang et al., 2021a, b; 汪鹏等, 2021; Tian

et al., 2022)。锂在新能源领域的独特优势使其应用规模爆发式增长,世界各主要经济体将其列为关键矿产,享有“白色石油”和“21世纪最有应用潜力的金属”等美誉。新能源背景对全球锂上游的矿产资源格局,中游冶炼加工、下游的终端应用以及回收利用等环节均产生了影响,美国、英国、日本、欧盟等主要经济体不断优化调整能源资源结构、产业经济结构、开发利用政策等来大力推动本国新能源产业发展和确保锂资源供应链安全(表1; 杨卉芃等, 2019; 国泰君安证券, 2020; 何金祥等, 2020; Wang

表1 世界主要经济体新能源产业发展相关政策

国家和地区	具体政策
中国	近年来,中国相继发布《新能源汽车产业发展规划2021—2035年》、《十四五规划与2035年远景目标》、《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》等政策规划,推动能源低碳转型和高效利用,加快新能源产业发展,提升新能源领域全产业链竞争力。
欧盟	欧盟一直以来注重能源结构转型,提倡绿色、低碳、可再生能源产业的发展,先后出台《欧盟未来三年能源政策行动计划》(2007至2009年)、《气候行动和可再生能源一揽子计划》、《能源路线图2050》、《欧洲绿色协议》等系列政策,旨在促进新能源行业发展,实现气候目标。
美国	2005年开始,美国颁布《2005国家能源政策法》、《美国能源独立及安全法》、《美国清洁能源安全法》、《美国复苏与再投资法》、《通货膨胀削减法案》等系列法规政策,在新能源产业等领域投入大量资金,为其发展新能源产业布局提供了强有力的政策保障。
英国	早在2009年,英国制定《英国低碳转换计划》等规划,提出发展电动汽车等新能源产业。2020年以来,英国政府公布《绿色工业革命十点计划》、《英国能源安全战略》等规划,进一步推动能源结构转型、新能源产业和绿色经济加速发展。
日本	一直以来,日本注重新能源的开发利用和绿色产业发展,2010年以来发布《绿色增长战略》、《2030年能源供需展望》,并定期出台《能源基本计划》等系列政策规划,旨在推动日本新能源产业和技术的高质量稳定发展。

et al., 2020; 朱清等, 2020, 2022; 官云龙和柴文帅, 2021; 银河证券, 2021)。本文通过系统梳理新能源背景对全球锂资源全产业链各环节传导方式和具体影响,有望对保障中国锂资源供应安全和锂行业可持续发展提供参考。

2 新能源需求提升了锂资源全球地位

近年来,世界各主要经济体推动发展本国新能源产业,日益增长的新能源需求对全球锂资源格局产生一定影响。全球对锂资源需求大幅提升,未来一段时间仍将持续快速增长。同时,需求爆发式增长叠加产能增长有限,导致全球锂资源供应短缺,锂价不断攀升。矿企加速全球锂资源布局,加大资源整合力度,全球勘探和并购投入持续增加;世界各主要经济体纷纷将锂资源列为关键矿产,出台相应措施,保障本国锂资源权益。

2.1 新能源背景下全球锂资源供需格局

2.1.1 全球锂资源分布特征和成矿类型

(1)全球锂资源主要集中分布在南美“锂三角”地区(阿根廷、玻利维亚和智利三国毗邻区域)、澳大利亚、中国和美国等。根据中国地质调查局数据(王高尚和李建星, 2021),截至2020年底,全球锂资源储量12828万t LCE(Lithium Carbonate Equivalent, 碳酸锂当量),其中排名前5的国家分别为智利41.1%、澳大利亚14.3%、阿根廷13.2%、中国6.3%、美国

4.4%(图1a);全球锂资源量(探明+控制+推测)34943万t LCE,其中排名前5的国家分别为玻利维亚32.0%、阿根廷22.7%、美国15.7%、澳大利亚5.9%、中国5.5%(图1b)。

(2)全球锂资源呈现多类型(盐湖卤水型+伟晶岩型+沉积型)的多元化特征。锂资源类型主要分为盐湖卤水型锂矿、伟晶岩型锂矿、沉积型锂矿等,其中全球卤水类锂资源最为丰富,占比超过60%。根据美国地质调查局数据,2020年全球锂资源类型中盐湖卤水锂占比最高,达64%,伟晶岩型锂矿次之,占比26%,沉积型锂矿(主要含锂黏土型和锂沸石型)相对较少,占比约为10%(USGS, 2021)。

2.1.2 全球锂资源供需结构

(1)供给端主要分布在南美“锂三角”地区、澳大利亚、中国以及少数其他国家。2021年,全球锂资源产量合计约52.3万t LCE(除美国外),前5大供给国分别为澳大利亚、智利、中国、阿根廷和巴西(图2),其中澳大利亚、智利和中国市场份额最大,分别占55%、26%和14%(USGS, 2022)。澳大利亚是目前世界上最大的锂矿出口国,智利为全球最大的锂盐出口国。从供给锂矿类型看,矿石锂仍为当前全球最主要的供给类型,2021年全球锂矿石供给约55%,盐湖供给约为33%。

(2)锂资源消费端主要集中在中国、日本和韩国(图2)。近年来,全球碳酸锂进口国主要为韩国、

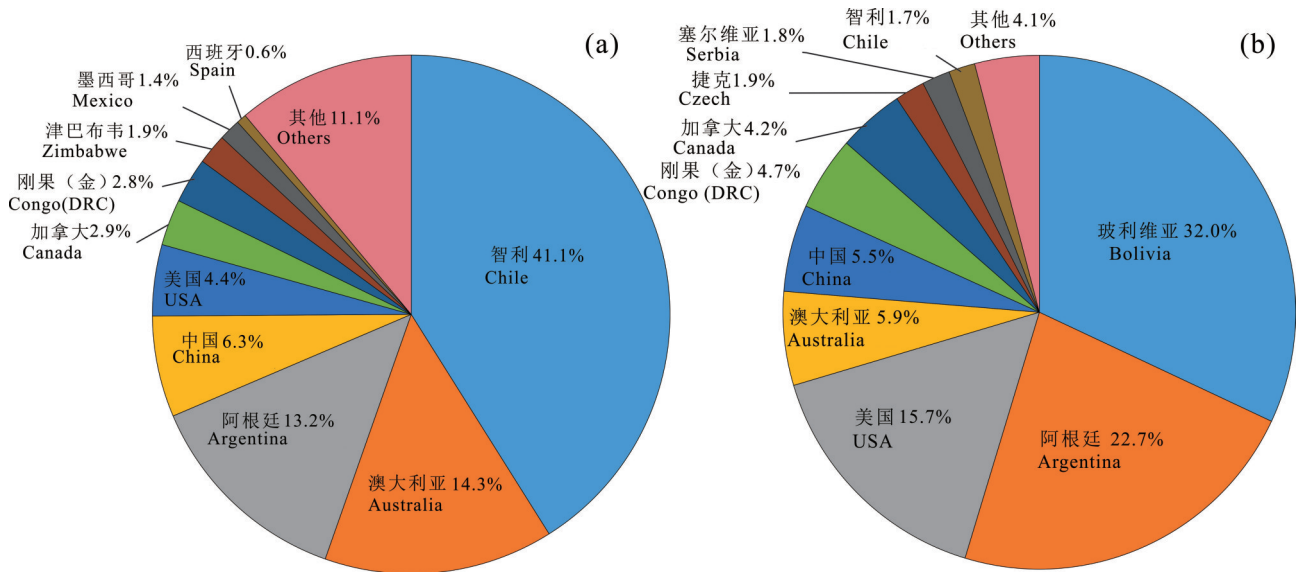


图1 2020年全球锂(碳酸锂)储量(a)和资源量(b)主要国家分布图(据王高尚和李建星,2021)

Fig.1 Distribution of global lithium (lithium carbonate) reserves (a) and resources (b) in major countries in 2020 (after Wang Gaoshang and Li Jianxing, 2021)

中国、日本、美国与俄罗斯,氢氧化锂的主要进口国为日本、韩国、比利时、中国和俄罗斯。中国、日本和韩国是碳酸锂和氢氧化锂需求最大的国家,而中国锂资源储量仅810万t LCE、日韩几乎无锂资源(图1),但2019年以来中日韩锂盐需求合计全球占比均在80%以上(马哲和李建武,2018;周园园,2019;陈甲斌和余良晖,2020;陈喜峰等,2020;张苏江等,2020;屈金芝等,2021)。

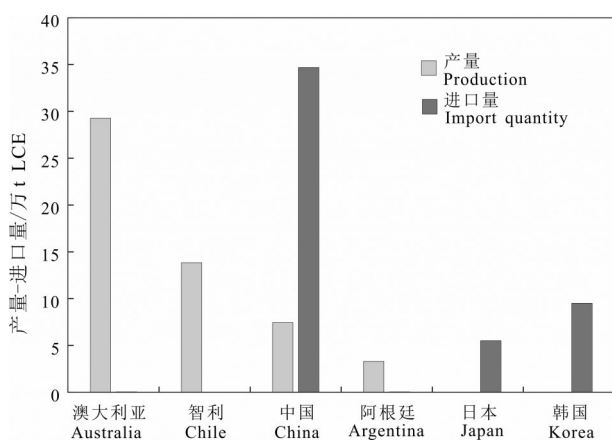


图2 2021年全球锂资源产量和进口量主要国家(据USGS,2022;United Nations Statistics Division,2022)

Fig.2 Global production and import of lithium resource for major countries in 2021 (after USGS, 2022; United Nations Statistics Division, 2022)

(3)过去十年锂资源需求增长近2.6倍,未来可能进一步增长。近年来,越来越多国家加大对新能源技术的重视程度,全球新能源市场大爆发,锂资源需求端持续保持高景气。全球锂资源消费量已经从2010年9.7万t LCE增长至2020年35.2万t LCE,涨幅达263%。2021年全球锂资源需求量进一步增长,同比增长40.6%,预计为49.5万t LCE(图3)。

随着世界各主要经济体新能源产业扶持政策和行动的不断推进,新能源行业或将加速发展,全球对锂的需求量预计会进一步增加。据相关数据预测,至2025年全球锂需求量将会是2020年的4倍,约126.4万t LCE。此外,国际能源署(IEA)预计各国为实现《巴黎协定》目标,至2040年全球锂需求将增长40倍以上。

2.2 全球锂资源开发利用情况

2.2.1 当前全球锂资源产能和供应形势

近年来,全球新能源产业蓬勃发展拉动产业链上游锂资源的旺盛需求。但供应方面,在经历了2018年2月至2019年锂价单边下跌后锂行业上游出清,多座澳洲矿山在债务和亏损压力下被迫关停,2021全年可正常生产的矿山仅剩Greenbushes、Mt Cattlin、Mt Marion、Pilbara等,且大部分锂精矿被美国雅宝、天齐锂业、赣锋锂业等国际大型锂矿企业锁定而未流入市场,所以2022年锂精矿现货市

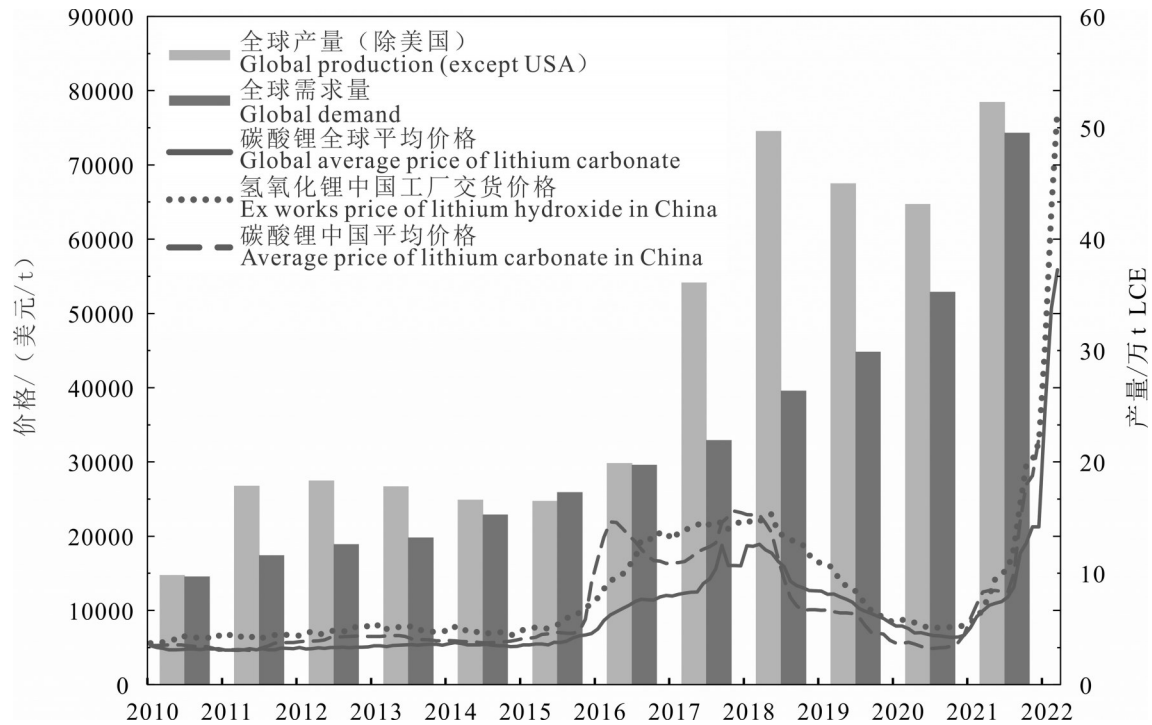


图3 2010—2021年全球锂资源产量、需求量及价格图

(数据来源:USGS,2010—2022;五矿证券,2021;S&P Global Market Intelligence,2022)

Fig. 3 Statistical diagram of global lithium resource production, demand and price from 2010 to 2021 (after USGS, 2010—2022; Minmetals Securities, 2021; S&P Global Market Intelligence, 2022)

场供应源紧张,现货占全部名义产能比重仍然较低(图3)。而南美盐湖在疫情、当地政策、盈利下滑、企业资本开支减少的多重影响下新建项目、扩展产能进度较慢,全球锂资源供应放缓。当前,锂精矿供应及冶炼产能不足的矛盾显现,锂盐供给出现缺口,锂价从2020年6月触底反弹后持续攀升,2022年3月以来全球碳酸锂平均价格5.5万美元/t,国内碳酸锂、氢氧化锂价格一度突破50万元/t,创历史新高(图3)。

2.2.2 锂矿勘查投入和并购情况

(1) 矿企对锂矿勘查投入持续增加(图4)。自2015年以来,得益于全球新能源产业蓬勃发展,全球锂矿勘查投入逐年增加,除2020年受全球疫情影响勘探投入有所降低(夏鹏等,2020),其余年份同比均在10%以上,其中2016年和2017年同比大于100%。全球锂矿勘查投入从2015年的36.2百万美元增长至2021年的248.8百万美元,涨幅达587.3%(S&P Global Market Intelligence,2022)。

(2) 大型锂矿企业加大资源整合力度,锂资源收购成为投资热点。近年来,全球锂矿企业进一步加快兼并、重组步伐,锂矿并购投入持续增加(图5,

S&P Global Market Intelligence,2022)。2020年锂矿并购市场受全球疫情影响有所下滑(夏鹏等,2020);2021年以来,锂资源并购呈量价齐升爆发式增长。2021年并购数达188宗,同比增长30.9%,并购金额达53.6亿美元,同比增长1758.3%。近年来,全球大型并购事件包括2021年澳大利亚奥罗科布(Orocobre)锂业完成对银河资源(Galaxy Resources)收购,新组建的公司成为全球第五大锂矿商;中国天齐锂业自2010年以来相继收购澳大利亚泰利森锂业(Talison Lithium Ltd.)和智利化学矿业公司(Sociedad Quimicay Minera de Chile S. A. SQM)部分股权,对世界级优质锂资源影响力增强。

(3) 传统大型矿企加速布局锂等新兴关键矿产。随着全球能源供给结构加快调整,越来越多的矿企开始加大对锂等新能源矿产的布局力度(夏鹏等,2022),如2021年以来,全球大宗商品巨头力拓公司(Rio Tinto Group)先后收购塞尔维亚Jadar硼酸锂项目和阿根廷Rincon锂项目。力拓公司的投资方向转变是单一矿商或化工制造商首次投资巨额资金进入锂行业,标志着传统大型矿业企业在新

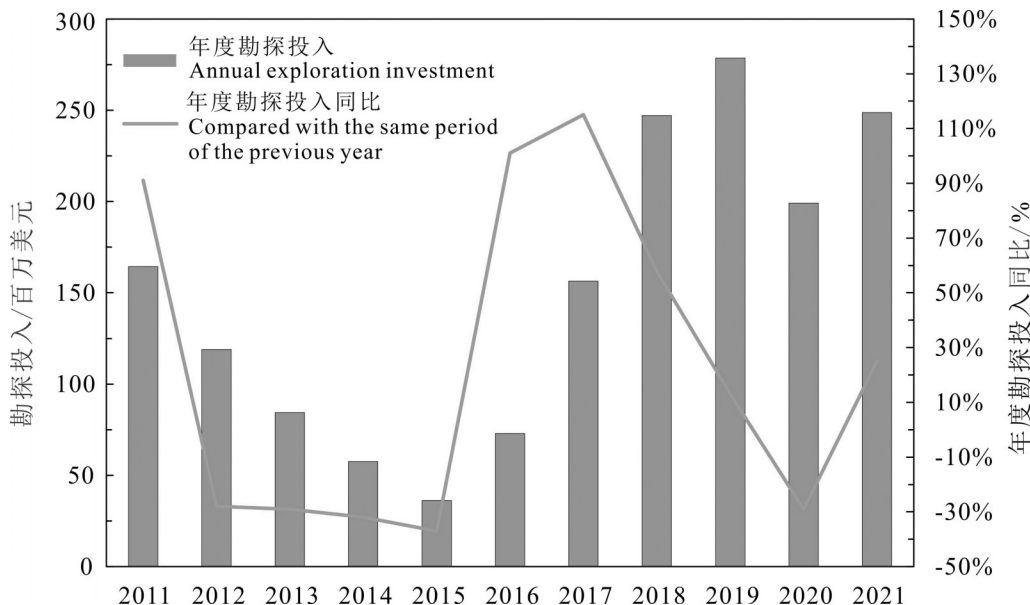


图4 2010—2021年全球锂资源勘探投入
(据 S&P Global Market Intelligence, 2022)

Fig.4 The exploration investment of global lithium resource from 2010 to 2021
(after S&P Global Market Intelligence, 2022)

能源产业发展驱动下的转型。此外,2021年10月,中国紫金矿业以9.6亿加元(约合49.6亿元人民币)收购加拿大新锂公司;2022年4月,紫金矿业拟以76.82亿元收购西藏拉果错锂盐湖70%股权。

2.2.3 锂资源开发利用发展趋势

当前锂资源开发呈现多区域(澳洲+南美+中国+非洲)、多类型(盐湖卤水+锂辉石+锂云母+锂黏土)的多元化特征。除澳大利亚和“锂三角”地区外,近年来中国、非洲、墨西哥等地锂资源也表现出较好的禀赋和供应潜力,各大型锂业公司纷纷布局。先前中国受制于技术和政策等因素,丰富的盐湖和锂云母资源未被开发,伴随着政策倾斜及提锂技术进步,中国锂资源开发或处加速期,青海、西藏盐湖以及江西锂云母或将成为全球锂资源重要供给极。同时,近年来非洲和墨西哥也成为锂矿投资热点地区,非洲已有明确规划的锂精矿产能约30万t LCE,墨西哥Sonora锂黏土矿资源量达992万t LCE,这些区域未来将成为全球锂供应重要组成部分。

2.3 世界各主要经济体对锂资源开发利用政策情况

2.3.1 主要经济体对锂等关键矿产政策情况

21世纪以来,世界各主要经济体意识到锂在新兴产业的重要性,先后将其列为关键矿产(王登红, 2019)。早在2009年,日本发布的《稀有金属保障战

略》中将锂已作为优先考虑的关键矿产。中国在2016年正式实施《全国矿产资源规划(2016—2020)》,明确将锂等金属矿产列为关键矿产。随后,美国在2018年《关键矿产清单》,欧盟在2020年《关键原材料清单》中都将锂作为关键矿产,越来越多国家重视本国锂资源安全保障。此外,2020年联合国环境保护署《未来持续技术用关键金属及其循环回收潜力》的调研报告中,将锂归类为“绿色稀有金属”。

2.3.2 主要经济体对锂等新能源产业政策情况

锂资源产业链发展作为新能源产业的重要一环,世界各主要经济体提出了系列措施和政策来推动锂资源产业链加快转型升级和结构调整。欧盟委员会(European Commission)2017年成立了欧洲电池联盟(European Battery Alliance),2020年发布《欧盟战略技术和部门的关键原材料前瞻性研究》等报告,推动锂电池等关键技术领域的供应链发展。澳大利亚自2018年以来发布《未来电池产业战略》等多份报告,在2019年成立了“未来电池产业合作研究中心”(Federal-CRC),系列举措旨在利用澳大利亚的矿产禀赋提高澳洲在锂资源产业链中可持续性和竞争力。2020以来,中国发布《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》、《锂离子电池行

业规范条件(2021年本)》等规划,美国发布《2020年电池和关键矿物回收法案》、《国家锂电池蓝图2021—2030》等政策法规,澳大利亚、日本、韩国等国也相继出台各项政策措施在国家层面上优化锂产业发展布局,建立安全、有韧性、可持续性发展的锂产业链。

2.3.3 重要锂资源国政策变化

重要锂资源国提高锂矿资源外资开发门槛,加强本国锂产业控制。

(1)澳大利亚降低外商投资审查金额门槛至零元,扩大了政府自由裁量权和审查权。澳大利亚作为全球最大的锂矿石供应国,2020年政府将《1975年外国并购和收购法(联邦)》规定的审查金额门槛降至0澳元并公布了新修订的《外商投资法》。通过提高投资壁垒和加大对外商投资审查力度等方式进一步加强了本国对锂资源及产业链的控制。当前澳大利亚针对中国关键矿产投资的安全审查尤其严格,如2020年澳大利亚以“违反发展关键矿产的国家利益”为由,否决了中国宜宾天宜锂业公司对澳大利亚锂矿勘探公司 AVZ Minerals 的初次投资。

(2)南美“锂三角”地区各国提高对锂矿开采的

门槛。南美“锂三角”地区作为全球最大的锂盐供应地,各主要国家先后通过提高各项费用,限制外资持股比例,提高本国矿业权益,提高资源开发环境要求等多项制度提高锂矿开发门槛。例如,智利对锂矿生产设立了高额权益金制度,并采取配额管理。智利新任总统 Gabriel Boric 支持锂矿国有化,主张成立国有锂矿企业,增加采矿业特许权使用费、反对矿产资源私有化来提高本国锂资源控制权。玻利维亚锂资源开发目前由玻利维亚国有锂矿公司(Yacimientos de Litio Bolivianos)统筹、监管,允许外资以技术入股的方式参与锂资源开发,但股权比例最高为49%,且外资企业在玻经营需满足4个条件,即缴纳税收、按照4:6的比例同玻方分享利润、保护环境且不介入本国内部事务。近年来,阿根廷对外资申请锂矿权、锂矿项目股权比例等管理也更加严格,如锂资源大省胡胡伊省要求省属矿业公司在锂矿项目中一般占有8.5%的股权,萨尔塔省取消了原来可以直接申请锂矿矿业权的优惠政策,采取向社会公开招投标的方式管理锂矿业权。据路透社报道,随着主张锂矿国营的智利新总统 Gabriel Boric 当选,玻利维亚、阿根廷和智利3国有望就之前因意见不一而停滞推进的锂联盟问题达

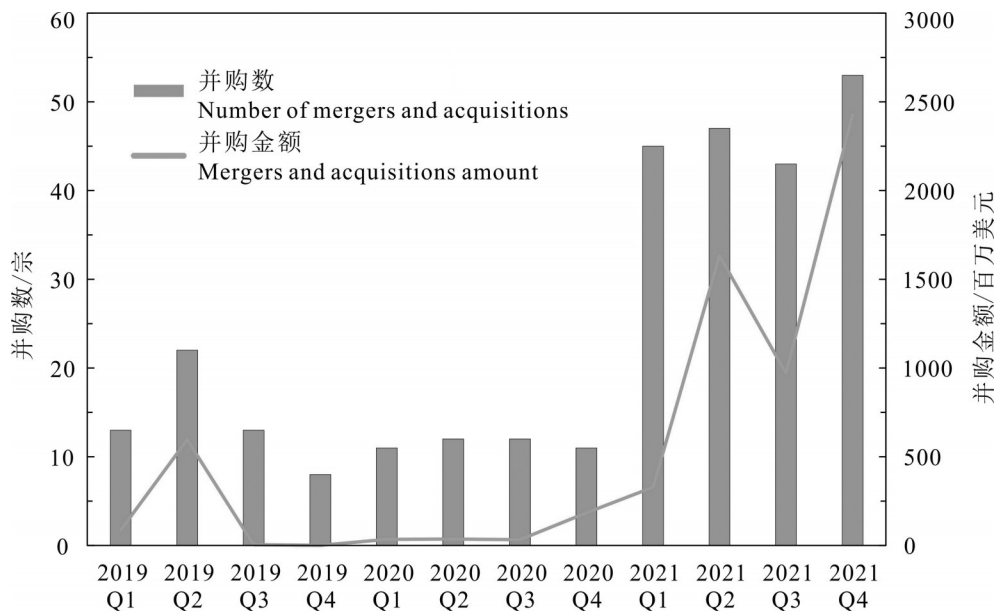


图5 2019—2021年全球锂资源项目并购情况(Q1—Q4为四个季度)

(据 S&P Global Market Intelligence, 2022)

Fig 5 Mergers and acquisitions of global lithium resource projects from 2019 to 2021 (Q1—Q4 are four quarters)

(after S&P Global Market Intelligence, 2022)

成一致,加速组建锂“欧佩克”。

3 新能源背景下锂冶炼加工企业生产方式和企业结构变化

新能源背景下,锂资源产业链中游冶炼加工企业将通过优化工艺流程、调整产业结构、应用节能降碳技术手段提升国际市场竞争力。一方面,提锂方式朝节能、降碳、环保方向转变;另一方面,冶炼加工企业产业结构升级,朝低碳化、一体化、可持续性方向发展。

3.1 提锂方式变化

近年来,新能源背景对初级锂产品生产行业产生较大影响,传统提锂方式发生变革,对具体的提锂方式影响有所差别(刘东帆等,2018;朱加乾等,2018;胡赞,2019;苏慧等,2019;丁涛等,2020)。

(1)矿石提锂朝着节能减排、降低水资源利用等方向改进。矿石提锂废渣中杂质较云母提锂更少,但其能耗(天然气和煤气)、尾气排放、废水排放等方面仍对环境造成一定影响,当前技术主攻方向为进一步减少能源消耗和废物排放。

(2)盐湖提锂技术受益于政策支持,蓬勃发展。盐湖提锂相对环保,如吸附剂法,吸附以后的卤水排放到盐田中,因为没有增加有机物,也没有增加其他杂质,所以从环保角度来看对盐田及周边影响很小。盐湖提锂技术在近3~5年来加速变革、加快升级迭代,形成了电化学脱嵌法、新型萃取法、离子筛吸附法、耦合膜法等一系列新技术,总体趋势从依靠“盐田蒸发”转向“工业化连续生产”(卫丽娜等,2021;葛涛等,2021;徐文华等,2021;卮贞等,2022)。盐湖提锂突破或将成为未来锂资源供给主要增长极。2020年,澳大利亚产出锂矿23.1万t LCE,占全球总产量的51%(图2),而全球近60%锂资源以盐湖卤水形式存在(USGS,2022),大量盐湖锂产能未被释放,盐湖提锂技术的突破有望改变全球锂资源供应格局。

(3)云母提锂与新能源背景下技术发展趋势兼容性较差,有待技术突破。云母中含有氟,需要加固氟工艺,否则氟的释放会污染环境;云母提锂主要用硫酸法,废渣中含有钠、钾、钙等。废渣依靠水泥行业消化,但消化成本较高,影响消化能力提升,剩下的矿渣仍然需要处理。

3.2 锂矿企业结构变化

国际锂矿企业制定可持续发展方案。粗放式的开采与冶炼时代已成为历史,无论盐湖提锂还是矿石提锂都在转向精细化,在过去单纯追求经济效益的基础上,更注重环境、社会和公司治理(ESG)等方面要求,未来锂的提取和加工需要更加符合全球发展新能源产业的“绿色初心”,同时减碳环保承诺还将逐步影响工艺的设计理念(五矿证券,2020)。如2020年10月大型锂矿企业智利化学矿业公司(Sociedad Quimica y Minera de Chile S.A. SQM)发布可持续发展方案,其中节能减碳、ESG、绿色环保技术研发等为其重要组成部分。SQM公司发布的可持续发展方案将对南美盐湖提锂乃至全球锂行业带来较大的影响。

企业结构向上下游蔓延,尝试产业链一体化整合。新能源背景下全球锂资源需求持续增长,锂正在完成从小金属到大金属的转变。企业为提高利润、国家为提升锂这一关键矿产资源供给安全,均在产业进行产业结构升级,打造一体化自身供应链闭环(东兴证券,2022)。当前,锂资源开发企业、冶炼加工企业、电池生产企业等业务均向上下游延伸,实施纵向一体化发展策略。一方面,为保障锂资源安全稳定供应,冶炼加工和下游企业布局上游锂矿资源,另一方面为掌握核心技术和占据市场份额,矿山自建加工产能或与下游企业合作建厂。

碳税政策将进一步提高冶炼端成本,促进企业结构转型。2022年3月,欧盟通过“碳关税”(碳边境调节机制,CBAM)政策,该法案主要针对能源和高耗能企业,“过渡期”从2023年开始,2026年全面实施。环保组织Sandbag和E3G的研究表明碳边境调节机制(CBAM)对欧盟贸易进口国的影响将会非常小,而商品出口大国将会受到影响。该政策全面实施将会进一步提高冶炼端成本,但能够促进全球锂资源产业和产品结构优化,重塑产品出口低碳竞争力。

4 新能源背景下锂资源终端消费情况

新能源需求推动锂资源消费端持续旺盛,对消费结构产生影响。当前,锂电池已超过传统领域成为锂资源最主要应用领域,其中新能源汽车动力电池是最主要推动力。世界各国通过多项优惠和补贴政策来激励新能源汽车产业发展,推动本国交通

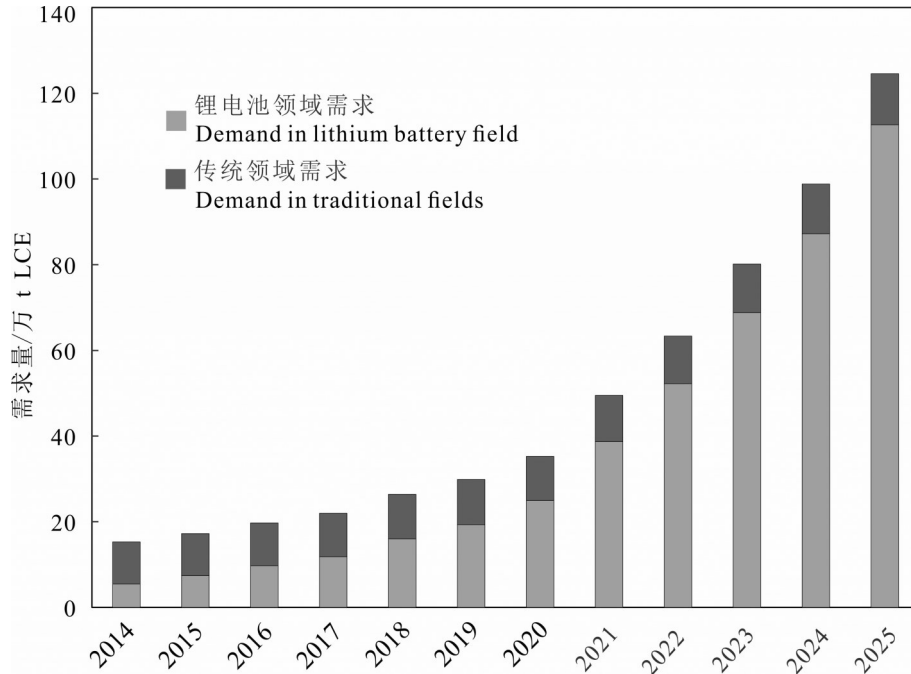


图6 2014—2025年全球传统领域和电池领域锂需求(2022—2025为预测数据)
(据五矿证券,2021)

Fig.6 Global lithium demand in traditional fields and battery field from 2014 to 2025 (Data in 2021–2025 is predictive)
(after Minmetals Securities, 2021)

电力化转型。同时,全球能源结构加速转型,电池和储能领域将成为锂资源消费端核心驱动力。

4.1 锂资源消费领域变化

电池领域消费锂资源快速增加。锂资源主要应用领域分为两类,包括玻璃、陶瓷、冶金、医药等传统领域和锂电池领域。近年来,新能源产业发展推动锂产业消费结构转变,电池领域锂资源需求快速增长(五矿证券,2021),由2014年的5.5万t LCE增长至2020年的25.0万t LCE,涨幅达354.5%,占总体需求从35.8%增长至71%,且这一比例预计将继续增加,2025年预计可达90%(图6)。消费类电池、动力电池和储能电池等是锂电池消费结构中最主要的类型,得益于新能源汽车产业发展的良好态势,动力电池占比最大,2020年全球达37.6%(图7)。

动力电池领域受全球新能源汽车市场快速发展带动,成为拉动全球锂离子电池市场高速增长的主要因素。近年来,世界各国政府均加大对新能源技术的政策支持,新能源汽车市场进入快速发展通道。根据EV Sales数据,2021年全球新能源汽车销量675万辆,同比增加108%,且纯电动汽车占比进一步提高至71%,全球渗透率达8.3%(国泰君安证

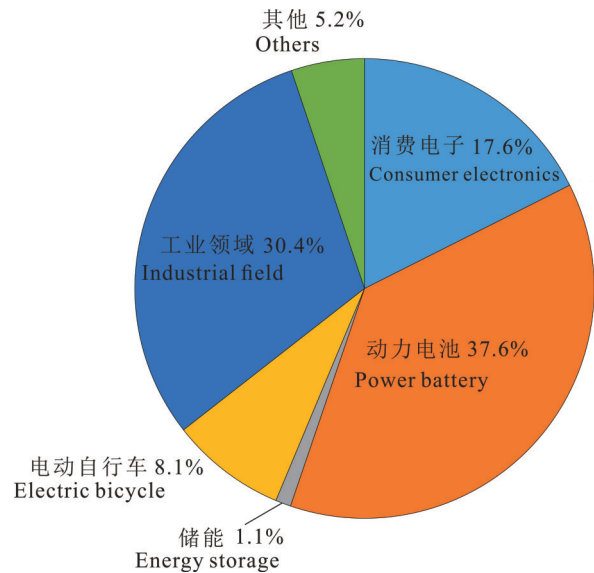


图7 2020年全球锂电池产品消费结构
(据东兴证券,2022)

Fig.7 Global consumption structure of lithium battery products in 2020
(after Dongxing Securities, 2022)

券,2022)。根据SNE Research数据,动力锂电池作为电动汽车的核心部件之一,在全球新能源汽车高

速发展的情况下,2021年装机量将增长102.2%,至296.8 GWh。

各主要经济体积极通过优惠政策激励新能源汽车产业发展。新能源汽车是实现节能减排、能源低碳转型、经济绿色发展的有效路径,近年来,各主要经济体出台系列政策扶持新能源汽车产业的发展。美国《清洁能源革命和环境计划》、《基础设施计划》等计划都对未来新能源汽车渗透率和销售比率提出了新要求。欧盟多国均有对新能源汽车的扶持政策,包括多项鼓励类政策,如购车税收优惠、补贴政策、路权激励、充电激励等,其中补贴政策和税收优惠政策在各国最为普遍。此外,荷兰出台了2030年起只允许零排放汽车(BEV)注册的禁止类政策来推动新能源汽车产业发展。

4.2 中国锂资源消费领域情况

中国新能源汽车销量占全球近一半,并将持续增长。由于新能源补贴政策刺激,2015年后中国新能源汽车产量进入高速成长阶段。根据EV Sales数据,2021年中国新能源汽车销量领衔全球,同比增长157.5%达到352.1万辆,占据全球新能源汽车市场50%份额。当前新能源汽车已经从补贴驱动时代逐步迈向市场化驱动时代,新能源汽车和锂电池需求量持续增长。据中国汽车工业协会数据显示,2022年中国新能源汽车销量持续爆发式增长,达688.7万辆,同比增长93.4%,连续8年保持全球第一。

中国锂资源消费量大幅度增长,碳排放压力日益增加。中国有色金属工业协会钴业分会数据表明,2021年中国锂行业碳排放约228万t,锂盐碳排放量增速与锂盐产量基本保持一致,按照当前中国锂盐产量2025年前保持年均23%的增速,预计2025年碳排放量约为480万t;2030年前锂行业碳排放量跟随锂产量增长,但增速低于产量增长速度。

中国实施多项政策支持新能源汽车推广应用。为加速中国新能源汽车相关产业发展,中国自2009年以来提出多项新能源汽车补贴措施,2015年开始中国新能源汽车进入高速成长阶段。近年来,中国对新能源汽车的补贴政策呈现补贴额度收紧、补贴门槛逐渐提高的趋势,同时中国推动落实新能源汽车免限购、免限行、路权激励等支持政策,旨在促进企业优胜劣汰、提升产业市场竞争力、促进行业长期健康发展。

4.3 未来发展趋势

新能源需求下动力电池领域锂资源消费量持续增加,行业扩产已成大势所趋。未来伴随越来越多的新车型投放市场,电动车销量或将持续增长,同时在碳资产(碳市场中交易产生的资产)扩张的推动下,企业运输车辆电动化率也将不断提升,锂需求增长或不断超预期。预计到2025年,全球新能源车产量将超过1800万辆,锂需求达到122万t LCE(其中动力电池需求95万t,占比78%)(陈琦,2021)。

新能源需求下的碳资产扩张推动全球能源结构向清洁能源加速转型(Tian et al., 2022),储能领域有望成为继新能源车之后锂需求增长的主要驱动力。企业为实现降低碳排放和扩张碳资产目标,将助推以新能源为主体的新型电力系统建设,为储能大规模的市场化发展奠定了基础,而电化学储能电池未来将主要以磷酸铁锂为主,因此储能的快速发展将带动碳酸锂需求大幅增长。预计到2025年储能电池领域锂需求将达到7万t LCE,2030年达到62万t LCE,年复合增速约67%(信达证券,2021)。储能领域有望成为继新能源汽车之后推动锂需求增长的主要驱动力,带动锂行业进入新一轮周期。

5 新能源背景下锂资源回收利用情况

新能源背景和欧盟碳关税等贸易制度下,加强动力电池循环利用体系建设,对于保障国家锂资源安全具有重要意义(Sun et al., 2017;王琢璞,2018;苗雪丰,2019;朱清等,2019;王翘楚等,2020;Liu et al., 2021;黄莉等,2021)。当前,锂资源回收利用体系仍不完备,全球回收利用规模较小,但逐年扩大,潜力巨大。严苛的碳排放政策叠加成本压力不断推动锂资源回收发展。中国作为全球最大的锂资源消费国,锂资源回收利用仍存在缺乏标准规范、政策引导不足、技术不达标等问题。

5.1 锂资源回收潜力和规模

当前锂资源回收比例较低,但市场规模正快速扩大。国际能源署(IEA)数据显示,截至2021年,全球范围内金属锂回收率仅不到1%,而三元锂电池中钴、镍这两种重要电池金属回收率分别达到35%、60%。2014年之前,锂离子电池主要应用于手机、笔记本电脑等消费类电子产品,由于其体积小、

结构和组分简单,锂资源回收量非常小。2014年后,新能源汽车产销量大幅上升,受此需求拉动,动力锂电池在2016年已成为锂离子电池中消费占比最高的产品,2020年占比已达37.6%(图7),预期其占比还将持续保持高速提升的趋势(Duan et al., 2022)。因技术路线和使用场景的不同,在动力电池5~8年寿命限制下,2013—2015年批次的动力电池已经达到报废标准,并在2019年释放出一波体量,随后每年将会有更多电池报废,从而给锂电回收市场带来源源不断的增量。中国作为全球最大的锂资源消费国,动力锂离子电池回收市场刚起步,根据工信部《汽车产业中长期发展规划》数据统计,2020年中国铁锂电池与三元锂电池回收量分别为16.38 GWh、8.89 GWh,预计到2025年将增长到37.66 GWh、93.01 GWh。根据当前铁锂电池与三元锂电池平均能量密度估算,2020年中国铁锂电池、三元锂电池回收重量达到10.92万t(1 GWh电池重量约为6667 t)、4.00万t(1 GWh电池重量约为4500 t),而2025年预测将分别增长到25.11万t、41.85万t。

锂资源价格持续攀升为锂回收利用创造了成本空间,回收利用将成为锂资源供应重要组成部分。当前新能源汽车对动力锂离子电池的需求继续上升,动力锂电池厂商的行业聚集度继续提升,三元锂离子电池的占比不断加大,且在当前锂价飙升,成本压力向全产业链传导的背景下,锂离子电池回收具有显著的经济效益和资源再生意义,回收规模预计将继续加大。根据全球新能源汽车销售预测分析,预计2025年全球累计退役动力电池约281万t(327 GWh),2025年通过回收全球动力电池可再生的锂资源量约占当年需求量的28%;2030年全球累计退役动力电池可达2029万t(2123 GWh),2030年通过回收全球动力电池可再生的锂资源量约占当年需求量的107%。

5.2 锂资源回收利用政策

欧盟新能源汽车严苛的碳排放政策向上游传导,促进了锂资源回收循环利用。近年来,欧盟的碳排放要求越来越严格,如2022年1月起实施的欧盟新电池法规,首先要求碳足迹信息披露,接着分级管理,最后设定了强制性限值。汽车企业应法规要求,纷纷公布了降碳计划,如宝马宣布2030年计

划降低碳排放40%(以2019年为基准),大众提出2030年将推出最后一款燃油车,全面朝电动车迈进,争取实现零碳排。终端企业对动力电池提出格外严格的要求向上传导至原材料端。此外,欧盟出台的措施新增了再生原料比例要求,2030年锂的再生物料的使用比例必须大于4%,到2035年锂的强制性回收要求提高到10%。这些碳排放规定都极大促进了全球锂资源的循环再生利用。此外,中国实施的加工者责任制要求动力锂电池厂商应建立有效率且环境友好的回收体系,使得锂电回收具有必要性和强制性。

锂资源开采也会产生碳排放,新能源背景推动全球对“零碳锂能”需求增长。锂资源在开采利用过程中也会产生一定量碳排放,如硬岩型锂矿每生产1 t锂会释放15 t二氧化碳,而盐湖锂提取依赖大量的水资源。因此,新能源需求背景下全球对环境足迹较低的锂需求正在增长,锂资源回收利用成为重要实现途径。清洁交通非政府组织“运输与环境”(Transport & Environment)的清洁车辆经理亚历克斯·凯恩斯(Alex Keynes)表示,比起开采更多的锂,使用已经循环使用的锂电池和电子产品更加可取。

5.3 中国锂资源回收利用现状

中国作为全球第一大锂资源消费国,新能源汽车数量占全球近50%,当前中国锂资源回收仍存在工业化部门不成熟、回收技术体系不完善、技术和成本限制等问题。

(1)当前对锂资源梯次利用的重视程度不足,缺乏具体规范和鼓励措施。目前动力电池回收利用相关的法规政策中普遍规定应遵循先梯次利用后再生利用的原则。但目前各项政策中除了提出这一原则外,没有规定适用于梯级利用或再生利用的具体标准,导致企业缺乏实施依据和执行要求。据了解,目前动力电池回收利用市场中采用湿法冶炼回收金属的再生利用企业大量存在,而梯次利用企业却为数不多。造成这一现象的主要原因是随着新能源汽车的高速发展,上游的动力电池原料价格增长迅速,尤其是正极材料中所需的锂钴镍金属,所以在市场利益的驱动下,湿法冶炼回收金属的企业越来越多,而且该技术实施难度较低。现有政策中缺乏对梯次利用企业有针对性的鼓励政策。

(2)回收过程缺乏对关键环节的控制,对其他

环境效益高的技术支持不足。目前已发布的国家相关政策中,除了在《电动汽车动力电池回收利用技术政策》中具体规定了“湿法冶炼中镍、钴、锰的综合回收率应不低于98%”,其他政策中大多提出的是宏观要求,缺乏对回收过程中关键环节和主要因子的具体控制要求。同时也缺乏对除湿法回收技术以外其他回收利用技术的标准及规范,没有对其他技术的政策支持,一些环境效益高的技术目前已在海外应用较为成熟,而由于初始投资成本过高在国内鲜少应用。

(3)磷酸铁锂电池回收利用技术研发应用的关注程度不够,没有足够重视三元锂电池生产过程的环境影响。目前应用最广泛的动力电池为三元锂电池和磷酸铁锂电池,二者的再生利用技术有所差异。三元锂电池由于正极材料中有价金属含量高,存在较多回收利用企业,但磷酸铁锂电池正极材料中除了锂以外的其他金属市场价格不高,导致回收利用企业较少,而且相关政策对磷酸铁锂电池回收利用技术研发应用的支持和关注程度不足。

6 对策建议

为更好地满足新能源需求,推进全球锂行业可持续发展,本文提出几点建议:

(1)探索建立合理的锂资源生产消费的责任分担机制和碳排放权配置机制。新能源背景下,世界各主要经济体都愈加重视碳排放问题,全球碳排放问题不仅是生产者的责任,也是全体社会成员的共同责任。全球锂资源生产消费过程中,不仅要从生产领域探索形成碳减排、碳增汇、碳封存等制度机制和行动方案,也应强化从消费侧探索责任分担机制和碳排放权配置机制。

(2)世界各国应加强制定锂资源开采、选冶、消费、回收利用的全产业链发展方案。当前,新能源产业已进入到多层次、多类型、多元化发展阶段,市场对全产业链各环节都提出了新的要求,需进一步提高锂资源产业链的竞争力,上游加强锂矿山绿色开发和建设,中游打破技术垄断,共享环保型锂辉石湿法提取和非常规锂云母提取等绿色低碳提锂技术,下游加大动力电池、储能等低碳领域规划布局,同时加大对锂资源回收利用的政策和资金支持,建立多元、协调、安全、绿色、开放的锂资源利用体系。

(3)加强锂资源开发技术创新,实现锂资源高效零碳利用。当前的提锂技术一方面对环境造成一定的代价,仍在产生碳排放和水污染,另一方面效率较低,无法满足当前持续增长的需求。新能源产业发展不断推进对锂资源开发利用提出了更高的技术要求,如低碳排放的地热技术提锂,盐湖提锂等技术的突破,或将改变锂资源供需格局。

7 结 论

总体来看,快速增长的新能源需求对全球锂资源生产、冶炼、消费、回收均产生重要影响,但是对产业链各环节传导和具体的影响方式是不均衡的。

(1)新能源产业快速发展推动了锂资源需求不断扩大,加强了市场对锂资源生产和消费的预期,多国对锂全产业链加大了政策引导来保障本国资源安全、加快能源结构转型、提高企业国际竞争力。

(2)矿业企业不断优化生产方式和结构,更注重可持续发展和产品低碳竞争力。同时增加对锂矿的勘探和并购投入,加大资源整合力度。

(3)新能源背景下,碳关税和相关政策进一步提高了成本负担空间,并从冶炼端向上下游传导,各国更注重加强锂资源循环利用体系建设,未来将对锂产业低碳发展产生全方面影响。

References

- Chen Jiabin, Yu Lianghui. 2020. Comparative Analysis of Mineral Resources Situation between China, the United States and Europe[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Chen Qi. 2021. Capital securities corporation limited: Global sales of new energy vehicles will reach 18 million in 2025[J]. Automobile & Parts, 19: 43 (in Chinese).
- Chen Xifeng, Chen Yuming, Zhao Hongjun. 2020. Development situation and countermeasures of lithium resource industry in South America "lithium-triangle area" [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 37(5): 13-21 (in Chinese with English abstract).
- China Galaxy Securities Corporation Limited. 2021. The Nonferrous Metal Industry Shows New Opportunities for Growth under the Dual Carbon Cycle of "Carbon Peak, Carbon Neutral"[R]. China Galaxy Securities Research Institute Research Report (in Chinese).
- Cinda Securities Corporation Limited. 2021. Special Report on Lithium Industry: Carbon Asset Expansion Promotes the Super Cycle of Demand[R]. Cinda Securities Research Institute Research Report (in Chinese).

- Ding Tao, Zheng Mianping, Zhang Xuefei, Wu Qian, Zhang Xiangyu. 2020. Development of lithium extraction technology and industrialization in brines of salt lake[J]. *Science & Technology Review*, 38(15): 16–23 (in Chinese with English abstract).
- Dongxing Securities Corporation Limited. 2022. Prospects for the Lithium Industry in 2022: Continuation of Resource Premium and Profound Transformation of Industrial Chain[R]. Dongxing Securities Research Institute Research Report (in Chinese).
- Duan Xiaowei, Zhu Wenkun, Ruan Zhongkui, Xie Min, Chen Juan, Ren Xiaohan. 2022. Recycling of lithium batteries—A review[J]. *Energies*, 15(1611): 1611.
- Fan Dalei, Li Fubing, Wang Zongli, Miao Qi, Bai Yu, Liu Qingyun. 2021. Development status and prospects of China's energy minerals under the target of carbon peak and carbon neutral[J]. *China Mining Magazine*, 30(6): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Ge Tao, Xu Liang, Meng Jinwei, Song Yi, Wang Jiabao, Zhao Zhuo. 2021. Research progress of lithium extraction technology from salt lake brine[J]. *Nonferrous Metals Engineering*, 11(2): 55–62 (in Chinese with English abstract).
- Guan Yunlong, Chai Wenshuai. 2021. The development trend of lithium market under the global carbon neutral[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 39(7): 92–96 (in Chinese with English abstract).
- Guotai Junan Securities Corporation Limited. 2020. Looking at the Supply and Demand Pattern of the Lithium Industry from the Global Supply Chain[R]. Guotai Jun'an Securities Research Institute Research Report (in Chinese).
- Guotai Junan Securities Corporation Limited. 2022. Review of the Global New Energy Vehicle Market in 2021[R]. Guotai Jun'an Securities Research Institute Research Report (in Chinese).
- He Jinxiang, Cui Rongguo, Liu Wei, Guo Juan. 2020. Development of world lithium mining industry and prospect[J]. *Land and Resources Information*, 4(10): 21–26 (in Chinese with English abstract).
- Hu Zan. 2019. Analysis of typical lithium extraction from mines and its economic benefit[J]. *Journal of Salt Science and Chemical Industry*, 49(3): 5–8 (in Chinese with English abstract).
- Huang Li, Li Fangqin, Dai Tao, Wang Peng. 2021. Recycling potential assessment of lithium metal—based on existing recycling technology and process[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 41(5): 31–37 (in Chinese with English abstract).
- Liu Dongfan, Sun Shuying, Yu Jianguo. 2018. Research and development on technique of lithium recovery from salt lake brine[J]. *CIESC Journal*, 69(1): 141–155 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wenqiu, Liu Wei, Li Xinxin, Liu Yeye, Ogunmoroti Abiodun Emmanuel, Li Muyang, Bi Mengyan, Cui Zhaojie. 2021. Dynamic material flow analysis of critical metals for lithium—ion battery system in China from 2000–2018[J]. *Resources Conservation & Recycling*, 164.
- Ma Zhe, Li Jianwu. 2018. Analysis of China's lithium resources supply system: Status, issues and suggestions[J]. *China Mining Magazine*, 27(10): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Miao Xuefeng. 2019. Study on the Recycling Mode of Automotive Power Batteries in China[D]. Beijing: North China Electric Power University, Beijing (in Chinese).
- Minmetals Securities Corporation Limited. 2020. SQM (SQM. US) Releases Sustainable Development Plans, and Lithium Demand Enters the Expansion Cycle Agains[R]. Minmetals Securities Research Institute Research Report (in Chinese).
- Minmetals Securities Corporation Limited. 2021. Current Situation and Development Prospects of Global Lithium Resources[R]. Minmetals Securities Research Institute Research Report (in Chinese).
- Nie Zhen, Wu Qian, Ding Tao, Bu Lingzhong, Wang Yunsheng, Yu Jiangjiang, Hou Xianhua. 2022. Research progress on industrialization technology of lithium extraction from salt lake brine in China[J]. *Inorganic Chemical Industry*, 54(10): 1–12 (in Chinese with English abstract).
- Qiang Haiyang, Gao Bing, Guo Dongyan, Wang Xinyi. 2021. Options for sustainable development of mining industry under the background of carbon neutrality[J]. *Natural Resource Economics of China*, 34(4): 4–11 (in Chinese with English abstract).
- Qu Jinzhi, Zhang Yansong, Zhang Yan, Fan Xiaolei. 2021. Safety evaluation of lithium resources supply in China under the new situation[J]. *China Mining Magazine*, 30(12): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- S&P Global Market Intelligence. 2022. S&P Global Market Intelligence[EB/OL]. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/>.
- Su Hui, Zhu Zhaowu, Wang Lina, Qi Tao. 2019. Research progress in extraction and recovery of lithium from hard—rock ores[J]. *CIESC Journal*, 70(1): 10–23 (in Chinese with English abstract).
- Sun Xin, Hao Han, Zhao Fuquan, Liu Zongwei. 2017. Tracing global lithium flow: A trade—linked material flow analysis[J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 124: 50–61.
- Tian Qianning, Yao Shuqing, Shao Mingjuan, Zhang Wei, Wang Haihua. 2022. Origin, discovery, exploration and development status and prospect of global natural hydrogen under the background of “carbon neutrality” [J]. *China Geology*, 5(4): 722–733.
- United Nations Statistics Division. 2022. UN Comtrade Database[BD/OL]. <https://comtrade.un.org/data>.
- USGS. 2011–2022. Mineral Commodity Summaries [EB/OL]. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2010–2022.pdf>.
- Wang Denghong, Dai Hongzhang, Liu Shanbao, Wang Chenghui, Yu Yang, Dai Jingjing, Liu Lijun, Yang Yueqing, Ma Shengchao. 2020. Research and exploration progress on lithium deposits in China[J]. *China Geology*, 3(1): 137–152.

- Wang Denghong. 2019. Study on critical mineral resources: significance of research, determination of types, attributes of resources, progress of prospecting, problems of utilization, and direction of exploitation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(6): 1189–1209 (in Chinese with English abstract).
- Wang Gaoshang, Li Jianxing. 2021. Assessment Report for Lithium, Cobalt, Nickel, Tin, and Potash Reserves in the World[R]. Beijing: Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, China Geological Survey (in Chinese).
- Wang Peng, Wang Qiaochu, Han Ruru, Tang Linbin, Liu Yu, Cai Wenjia, Chen Weiqiang. 2021. Nexus between low-carbon energy and critical metals: Literature review and implications[J]. *Resources Science*, 43(4): 669–681 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qiaochu, Sun Xin, Hao Han, Chen Wei, Chen Weiqiang, Zheng Mianping. 2020. Urban mining of lithium: Prospects, challenges and policy recommendations[J]. *Science & Technology Review*, 38(15): 6–15 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yao, Guo Chihui, Chen Xijie, Jia Liqiong, Guo Xiaona, Chen Ruishan, Zhang Maosheng, Chen Zeyu, Wang Haodong. 2021a. Carbon peak and carbon neutrality in China: Goals, implementation path and prospects[J]. *China Geology*, 4: 720–746.
- Wang Yao, Guo Chihui, Zhuang Shurong, Chen Xijie, Jia Liqiong, Chen Zeyu, Xia Zilong, Wu Zhen. 2021b. Major contribution to carbon neutrality by China's geosciences and geological technologies[J]. *China Geology*, 4: 329–352.
- Wang Zhuopu. 2018. Recycling Potential and Life Cycle Assessment of Power Batteries for New Energy Vehicles[D]. Beijing: Tsinghua University (in Chinese).
- Wei Lina, Kang Jin, Li Hu, Li Enze, Cheng Huaigang, Cheng Fangqin. 2021. Research progress of lithium extractants and extraction systems from salt lakes[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 53(5): 21–25 (in Chinese with English abstract).
- Xia Peng, Ren Shoumai, Zhou Xiehua. 2022. Global Mining Development Report[M]. Beijing: Geological Publishing House, (in Chinese).
- Xia Peng, Zhu Qing, Yao Lei. 2020. Development Trend and Prospect of Global Mining Market[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Xu Wenhua, Liu Dongfu, He Lihua, Liu Xuheng, Zhao Hongwei. 2021. Kinetic study on electrochemical intercalation/deintercalation method for lithium extraction from brine[J]. *Journal of Chemical Industry and Engineering*, 72(6): 3105–3115 (in Chinese with English abstract).
- Yang Huipeng, Liu Lin, Ding Guofeng. 2019. Present situation and development trend of lithium resources in the world[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 39(5): 26–40 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Bo, Qi Fanyu, Gao Xuezheng, Li Xiaolei, Shang Yuntao, Kong Zhaoyu, Jia Liqiong, Meng Jie, Guo Hui, Fang Fukang, Liu Yanbin, Jiang Xiao, Chai Hui, Liu Zi, Ye Xiantao, Wang Guodong. 2022. Geological characteristics, metallogenic regularity, and research progress of lithium deposits in China[J]. *China Geology*, 5: 734–767.
- Zhang Sujiang, Zhang Yanwen, Zhang Liwei, Jiang Ailing, Liu Guiyun. 2020. Present situation and sustainable development strategy of China's lithium resources[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 52(7): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yaxin, Luo Huilin, Wang Can. 2021. Progress and trends of global carbon neutrality pledges[J]. *Climate Change Research*, 17(1): 88–97 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yuanyuan. 2019. Supply-demand situation and external dependence of China's lithium resource[J]. *Resources & Industries*, 21(3): 46–50 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jiaqian, Xu Baojin, Song Xuewen, Cheo Bo. 2018. Process of extracting lithium technology[J]. *Metal Mine*, 8: 62–69 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Qing, Ding Xiaotong, Xia Peng, Zhou Zhu, Wu Hao. 2020. Analysis of carbon reduction of large international mining enterprises under the background of climate change[J]. *Natural Resource Economics of China*, 33(11): 59–64 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Qing, Hao Min, Wang Wanjuan, Chen Weiqiang. 2019. Thinking on the safety of mineral resources based on material Flow[J]. *Natural Resource Economics of China*, 32(9): 14–20 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Qing, Niu Maolin, Zou Xiehua. 2022. Research on carbon reduction strategies of mining companies based on industry variations[J]. *Natural Resource Economics of China*, 1–10 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈甲斌, 余良晖. 2020. 中美欧矿产资源形势对比分析[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈琦. 2021. 首创证券: 2025年全球新能源车销量将达1800万辆[J]. *汽车与配件*, 19: 43.
- 陈喜峰, 陈玉明, 赵宏军. 2020. 南美“锂三角”锂资源产业发展现状与对策建议[J]. *国土资源科技管理*, 37(5): 13–21.
- 丁涛, 郑绵平, 张雪飞, 伍倩, 张翔禹. 2020. 盐湖卤水提锂技术及产业化发展[J]. *科技导报*, 38(15): 16–23.
- 东兴证券. 2022. 锂行业2022年展望: 资源溢价延续, 产业链深刻变革[R]. 东兴证券研究所研报.
- 樊大磊, 李富兵, 王宗礼, 苗琦, 白羽, 刘青云. 2021. 碳达峰、碳中和目标下中国能源矿产发展现状及前景展望[J]. *中国矿业*, 30(6): 1–8.
- 葛涛, 徐亮, 孟金伟, 宋羿, 王家保, 赵卓. 2021. 盐湖卤水提锂工艺技术研究进展[J]. *有色金属工程*, 11(2): 55–62.
- 官云龙, 柴文帅. 2021. 全球碳中和背景下的锂市场发展态势[J]. 中

- 国资源综合利用, 39(7): 92-96.
- 国泰君安证券. 2020. 从全球供应链看锂行业供需格局[R]. 国泰君安证券研究所研报.
- 国泰君安证券. 2022. 2021年全球新能源汽车市场回顾[R]. 国泰君安证券研究所研报.
- 何金祥, 崔荣国, 刘伟, 郭娟. 2020. 世界锂矿业发展与展望[J]. 国土资源情报, 4(10): 21-26.
- 胡赞. 2019. 典型矿石提锂工艺介绍及经济效益分析[J]. 盐科学与化工, 49(3): 5-8.
- 黄莉, 李芳琴, 代涛, 汪鹏. 2021. 锂金属回收潜力研究—基于现有回收技术与工艺[J]. 矿产保护与利用, 41(5): 31-37.
- 刘东帆, 孙淑英, 于建国. 2018. 盐湖卤水提锂技术研究与发展[J]. 化工学报, 69(1): 141-155.
- 马哲, 李建武. 2018. 中国锂资源供应体系研究: 现状、问题与建议[J]. 中国矿业, 27(10): 1-7.
- 苗雪丰. 2019. 我国车用动力电池循环利用模式研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京).
- 卞贞, 伍倩, 丁涛, 卜令忠, 王云生, 余疆江, 侯献华. 2022. 中国盐湖卤水提锂产业化技术研究进展[J]. 无机盐工业, 54(10): 1-12.
- 强海洋, 高兵, 郭冬艳, 王心一. 2021. 碳中和背景下矿业可持续发展路径选择[J]. 中国国土资源经济, 34(4): 4-11.
- 屈金芝, 张艳松, 张艳, 范晓蕾. 2021. 新形势下中国锂矿资源供应安全评价[J]. 中国矿业, 30(12): 1-7.
- 苏慧, 朱兆武, 王丽娜, 齐涛. 2019. 矿石资源中锂的提取与回收研究进展[J]. 化工学报, 70(1): 10-23.
- 汪鹏, 王翹楚, 韩茹茹, 汤林彬, 刘昱, 蔡闻佳, 陈伟强. 2021. 全球关键金属—低碳能源关联研究综述及其启示[J]. 资源科学, 43(4): 669-681.
- 王登红. 2019. 关键矿物的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进展、存在问题及主攻方向[J]. 地质学报, 93(6): 1189-1209.
- 王高尚, 李建星. 2021. 全球锂、钴、镍、锡、钾盐矿产资源储量评估报告(2021)[R]. 北京: 中国地质调查局全球矿产资源战略研究中心.
- 王翹楚, 孙鑫, 郝瀚, 陈玮, 陈伟强, 郑绵平. 2020. 锂的城市矿产利用: 前景、挑战及政策建议[J]. 科技导报, 38(15): 6-15.
- 王琢璞. 2018. 新能源汽车动力电池回收利用潜力及生命周期评价[D]. 北京: 清华大学.
- 卫丽娜, 康锦, 李虎, 李恩泽, 成怀刚, 程芳琴. 2021. 盐湖提锂萃取剂及萃取体系研究进展[J]. 无机盐工业, 53(5): 21-25.
- 五矿证券. 2020. SQM(SQM.US)发布可持续发展方案, 锂需求重新进入扩张周期[R]. 五矿证券研究所研报.
- 五矿证券. 2021. 全球锂资源现状及发展前景[R]. 五矿证券研究所研报.
- 夏鹏, 任收麦, 邹谢华. 2022. 全球矿业发展报告2020-2021[M]. 北京: 地质出版社.
- 夏鹏, 朱清, 姚磊. 2020. 全球矿业市场发展态势与展望[M]. 北京: 地质出版社.
- 信达证券. 2021. 锂行业专题报告: 碳资产扩张推动需求超级周期[R]. 信达证券研究所研报.
- 徐文华, 刘冬福, 何利华, 刘旭恒, 赵中伟. 2021. 电化学脱嵌法盐湖提锂电极反应动力学研究[J]. 化工学报, 72(6): 3105-3115.
- 杨卉芄, 柳林, 丁国峰. 2019. 全球锂矿资源现状及发展趋势[J]. 矿产保护与利用, 39(5): 26-40.
- 银河证券. 2021. 碳达峰、碳中和“双碳”周期下, 有色金属行业显现成长新机[R]. 银河证券研究所研报.
- 张苏江, 张彦文, 张立伟, 姜爱玲, 刘桂云. 2020. 中国锂矿资源现状及其可持续发展策略[J]. 无机盐工业, 52(7): 1-7.
- 张雅欣, 罗荟霖, 王灿. 2021. 碳中和行动的国际趋势分析[J]. 气候变化研究进展, 17(1): 88-97.
- 周园园. 2019. 中国锂资源供需形势及对外依存度分析[J]. 资源与产业, 21(3): 46-50.
- 朱加乾, 徐宝金, 宋学文, 陈波. 2018. 提锂技术进展[J]. 金属矿山, 8: 62-69.
- 朱清, 丁晓彤, 夏鹏, 周铸, 吴昊. 2020. 气候变化背景下国际大型矿业企业减碳分析[J]. 中国国土资源经济, 33(11): 59-64.
- 朱清, 郝敏, 王婉君, 陈伟强. 2019. 基于物质流的矿产资源安全思考[J]. 中国国土资源经济, 32(9): 14-20.
- 朱清, 牛茂林, 邹谢华. 2022. 基于行业差异的矿业企业减碳策略研究[J]. 中国国土资源经济, 1-10.