

doi: 10.3969/j.issn.2095-1744.2020.10.015

国内外锂矿资源及其分布概述

张苏江, 崔立伟, 孔令湖, 姜爱玲, 李建波

(自然资源实物地质资料中心, 河北 三河 065201)

摘要: 锂作为战略性新兴产业发展的重要支撑矿种, 被世界各国视为新的经济增长点。世界锂矿资源丰富, 主要分布于北美洲、拉丁美洲、非洲、大洋洲、欧洲及亚洲。截至 2019 年底, 全球已探明的锂矿资源储量达 1 700 万 t, 中国储量占比为 5.88%, 排名世界第四。未来随着中国高端装备制造、储能与分布式电源、新能源汽车等产业的发展, 锂资源的需求会持续快速上升, 而国内锂资源供应能力较弱, 供应缺口将长期存在。通过分析国内外锂矿床类型、资源分布特征, 结合中国锂矿勘查开发的新进展, 提出需加大国内重点成锂区(带)勘探投入、统筹海外优质固液锂资源市场布局、开展盐湖提锂技术攻关与共(伴)生锂矿利用研究、加强锂资源综合利用技术和深加工技术研发等建议。

关键词: 锂; 矿产资源; 分布特征; 中国; 世界

中图分类号: F407.1; F416.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-1744(2020)10.0095-10

Summarize on the Lithium Mineral Resources and Their Distribution at Home and Abroad

ZHANG Sujang, CUI Liwei, KONG Linghu, JIANG Ailing, LI Jianbo

(Cores and Samples Centre of Natural Resources, China Geological Survey, Sanhe 065201, China)

Abstract: As an important support for the development of strategic emerging industries, lithium is regarded as a new economic growth point. The lithium resources in the world are rich, mainly distributed in North America, Latin America, Africa, Oceania, Europe and Asia. By 2019, the world's proven natural lithium reserves are 17 Mt, China's lithium reserves accounted for 5.88%, ranking fourth in the world. As high end equipment manufacturing, energy storage and distributed power, new-energy vehicles industry grows, demand for lithium will be soaring, but limited by a poor internal supply capacity. By analyzing the type of lithium deposits resources, distribution characteristics, and combined with the new progress of exploration and exploitation of lithium ore in China, it is proposed that it is necessary to increase exploration investment in key lithium forming areas (zones) in China, to overall planning of overseas high-quality solid-liquid lithium resource market layout, to study on lithium recovery technology in salt lake and utilization of co-(associated) lithium deposits, to strengthen the research and development of comprehensive utilization technology and deep processing technology of lithium resources.

Key words: lithium; general situation of mineral resources; distribution characteristics; China; the world

锂(Li)是化学元素周期表 IA 族中最早出现的固体和金属元素,也是目前世界上已知原子半径最

小、质量最轻与电离电势最大的亲石稀有碱土金属元素,在地壳中的丰度为 6.5×10^{-3} wt%, 1817 年

收稿日期: 2020-04-27

基金项目: 中国地质调查局“实物地质资料汇集与服务”科研项目资助(DD20190411)

Fund: Supported by China Geological Survey “Collection and Service of Physical Geological Data” Scientific Research Project(DD20190411)

作者简介: 张苏江(1984—), 男, 高级工程师, 主要从事矿产勘查及全国实物地质资料汇交监管与筛选采集研究。

引用格式: 张苏江, 崔立伟, 孔令湖, 等. 国内外锂矿资源及其分布概述 [J]. 有色金属工程, 2020, 10(10): 95-104.

ZHANG Sujang, CUI Liwei, KONG Linghu, et al. Summarize on the Lithium Mineral Resources and Their Distribution at Home and Abroad[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2020, 10(10): 95-104.

由瑞典化学家贝齐里乌斯的学生阿尔费特森 (Arfwedson) 在分析研究透锂长石时所发现^[1-3]。作为一种典型的、国防尖端科技研发和现代工业不可或缺的功能材料与关键原料,一种不可再生的、对民用高新技术产业发展具有重要意义的保障资源和战略物资,金属锂及其化合物因具有高储能、软质地、轻比重、大比热、低能耗与强电化学活性等多种优良性能,广泛应用于玻璃陶瓷、润滑脂、有机合成、有色冶金、临床医药、空气处理、高能电池、原子能热核聚变(反应)及航空航天等各个行业和领域,享有“工业味精”、“宇航合金”、“推动世界前进的金属”与“21 世纪最有应用潜力的金属”等美誉^[3-8]。近年来,随着全球人口倍增、资源短缺、经济疲软、环境污染与能源安全等问题日益突出,“新清洁绿色高能金属与白色石油”锂的资源保障与开发利用越来越受到日(本)欧(盟委员会)美(国)中(国)与联合国环保署等世界各国和组织高度关注与重视^[9-14]。

中国是世界上主要的锂产品生产国与消费国,2017 年折合碳酸锂当量分别占到全球的 41.9% 和 52.48%,但国内锂资源禀赋不佳开发进程缓慢且供应能力较弱,致使对外依存度高达 80%^[2,13]。伴随着前沿新能源、新材料与新药品三大新兴朝阳行业的迅速崛起,未来中国对锂的需求将持续快速增加^[15]。在此背景下,对全球锂资源的成因类型和分布进行研究论述,对于保障国内锂资源安全稳定供应、助推全国战略性新兴产业健康有序发展具有不容忽视的现实意义^[16]。本文对世界与中国主要锂矿的资源、成因类型及分布情况进行基本概述,通

过国内找锂资源潜力分析,为今后全国推进锂矿资源勘查开发与科研工作提出针对性的对策和建议^[17]。

1 世界锂矿资源概况

地壳中的锂虽然稀少,但全球可以开发利用的锂矿资源总量丰富且供应充足^[1]。据美国地质调查局 (USGS) 统计(表 1),截至 2019 年底,全球已探明锂矿储量 1 700 万 t(锂矿资源量 8 000 万 t),按目前每年 8.5 万 t 的用量测算,可以保障全球使用 200 年^[1,18]。

锂矿分布区域高度集中,就储量而言,全球近 91.09% 的储量主要分布在智利、阿根廷、美国、津巴布韦、葡萄牙、澳大利亚、中国、加拿大和巴西等 9 个国家(9 国锂矿资源储量总和为 1 548.5 万 t),其余各国储量较小^[18-19](表 1)。其中,智利锂矿储量排名世界第一,约为 860 万 t,占全球储量的 50.59%;澳大利亚位列第二,约为 280 万 t,占全球储量的 16.47%;阿根廷排名第三,约为 170 万 t,占全球储量的 10%;中国排名第四,约为 100 万 t,占全球储量的 5.88%;随后是美国、加拿大、津巴布韦、巴西与葡萄牙,其储量占比分别约为 3.71%、2.18%、1.35%、0.56% 和 0.35%。就资源量而言,全球 58.75% 的资源量集中分布于拉丁美洲的“锂三角”国家(玻利维亚、阿根廷与智利),美国、澳大利亚与中国的锂资源量分别占世界总量的 8.5%、7.875% 与 5.625%^[18-19](表 1)。比较储量与资源量两组数据,美国、中国、玻利维亚和阿根廷的锂矿开发利用潜力较大^[18-19]。

表 1 2020 年世界主要国家已探明锂矿储量与资源量概况^[18]

Country	Chile	Australia	Argentina	China	U. S. A	Canada	Zimbabwe	Brazil	Portugal	Namibia	Other countries	World total
Reserves(Li)	860	280	170	100	63	37	23	9.5	6	—	110	1 700
Percentage of the world/%	50.59	16.47	10	5.88	3.71	2.18	1.35	0.56	0.35	—	6.47	100.0
Country	Bolivia	Argentina	Argentina	U. S. A	Australia	China	Congo(Kinshasa)	Germany	Canada	Mexico	Czech Republic	Serbia
Resources(Li)	2 100	1 700	900	680	630	450	300	250	170	170	130	100
Country	Mali	Russia	Zimbabwe	Brazil	Spain	Portugal	Peru	Austria	Finland	Kazak Stan	Namibia	
Resources(Li)	100	100	54	40	30	25	13	5	5	5	0.9	
Country	Other countries											World total
Resources(Li)	42.1											8 000

Data source: USGS, Mineral Commodity Summaries, 2020.

Note: “—” means no data; the world total is an integer.

自然界中的锂常以固体矿物资源和液体矿床资源两种形式产出,其一是以金属氧化物形式伴生于花岗岩伟晶岩型、花岗岩型、云英岩型与沉积型等硬岩型固体矿石中,其二是以离子形式赋存于盐湖、地下卤水及油气田水等卤水型液体矿产中^[4,20]。全球已知多以磷酸盐、硅酸盐形式产出的锂矿物和含锂矿物有 150 余种,而 $w(\text{Li}_2\text{O}) > 2\%$ 的只有 30 多种,其

中最主要的固体矿石锂资源有锂辉石、锂云母、透锂长石、锂蒙脱石、贾达尔石和磷铝锂石等,而液体卤水锂资源则多赋存于盐湖卤水、地下卤水、海水、地热水、油气田水与井卤中^[9,20-23]。固体矿石锂资源主要分布于澳大利亚、加拿大、芬兰、中国、津巴布韦、美国、巴西、南非和刚果(金)等国,液体卤水锂资源则主要蕴藏于玻利维亚、智利、加拿大、阿根廷、中

国及美国等国。多数国家只产一种锂矿,且多为中小型矿床,只有中国、加拿大等少数国家固体矿石锂与液体卤水锂都有产出,且大中型矿床较多^[24]。

2 世界锂矿主要矿床类型

锂矿床成因类型主要有以下3种^[9,23,25]:1)产出大陆增生边缘和构造穹顶区的伟晶岩脉中且常与大型花岗岩侵入体共生并出现在其边缘的硬岩型锂矿床,如澳大利亚 Greenbushes、津巴布韦 Bikita 与中国甲基卡及宜春等锂矿;2)常赋存于新生代黏土岩和湖相沉积物中的沉积型锂矿床,如塞尔维亚 Jadar 与墨西哥 La Ventana 锂矿;3)多产出于山间盆地、板块转换断裂带后盆地、板块大陆边缘火山弧后盆地等新生代地质活动较活跃构造区域的卤水型锂矿床,如玻利维亚 Uyuni、智利 Atacama、阿根廷 Hombre Muerto 与中国一里坪等富锂盐湖和美国索尔顿海、新西兰怀特基及冰岛 Reykanes Field 等锂矿。

3 世界锂矿资源分布特征

据统计^[9,22-23,25-27],全球锂矿资源主要分布在北美洲、拉丁美洲、非洲、大洋洲、欧洲及亚洲等6个大洲,已发现的大中型锂矿床集中分布于加拿大、美国、玻利维亚、智利、阿根廷、中国与澳大利亚等国。

北美洲锂矿集中区:1)加拿大魁北克省魁北克(Quebec)及其北部杰姆斯湾伟晶岩型锂矿,锂资源量分别约为47 Mt(含锂平均0.23%,相当于0.11 Mt)与22.2 Mt(含锂平均0.58%,相当于0.13 Mt);2)加拿大魁北克省托巴赤(Whabouchi)伟晶岩型锂矿,矿床总资源量为4 911.8万t,含锂74.48万t,品位为1.516%;3)美国北卡罗来纳州克利夫兰金斯山(King Mountain)伟晶岩型锂矿,以锂辉石含量20%估计,矿石 Li_2O 含量约1.5%,整个北卡罗来纳伟晶岩带 Li_2O 储量约1 Mt;4)美国内华达州金斯谷(Kings Valley)沉积型锂矿,矿床总资源量为2.344 82亿t,含锂155.939 1万t;矿床总储量为2 713.5万t,含锂23.1万t,锂矿品位为0.85%;5)美国内华达州银峰(Silver Peak)盐湖型锂矿,盐湖 Li_2O 储量约为11.5万t。

拉丁美洲锂矿集中区:1)玻利维亚波托西省乌尤尼(Uyuni)盐湖型锂矿,盐湖卤水面积10 582 km^2 ,盐层平均深度121 m,探明锂储量为550万t, Li_2O 资源量约为1 800万t,卤水锂浓度为 $(80\sim 1\ 150)\times 10^{-6}$;2)智利安托法加斯塔省阿塔卡

玛(Atacama)盐湖型锂矿,盐湖卤水面积2 229 km^2 ,盐层深度360~400 m, Li_2O 资源量约为530万t,卤水锂浓度为 $(1\ 000\sim 4\ 000)\times 10^{-6}$;3)智利安托法加斯塔省力拓奥(Litio)盐湖型锂矿,盐湖资源量为3.2亿 m^3 ,含锂50.2万t,锂矿品位为0.157%;4)智利安托法加斯塔省Nx-Uno盐湖型锂矿,盐湖推测资源量为140万t;5)阿根廷萨尔塔省翁布雷穆埃尔托(Hombre Muerto)盐湖型锂矿,盐湖卤水面积565 km^2 ,估计含锂卤水8 000亿t, Li_2O 资源量约为85万t,卤水锂浓度为 $(220\sim 1\ 000)\times 10^{-6}$;6)阿根廷Jujuy省高查理—奥拉罗斯(Cauchari-Olaroz)盐湖型锂矿,盐湖总资源量为45.75亿 m^3 ,含锂274.024万t,锂矿品位为0.06%;其中储量为77.1亿 m^3 ,含锂51.712万t,锂矿品位为0.067%;7)阿根廷卡塔马卡省维达(Vida)盐湖型锂矿,盐湖 Li_2O 资源量为157.3万t, Li_2O 储量为21.4万t。

非洲锂矿集中区:1)津巴布韦维多利亚堡比基塔(Bikita)伟晶岩型锂矿,矿床划分为比基塔与埃尔海依特两个矿段,其中比基塔矿段锂矿石储量6 Mt, Li_2O 平均含量2.9%,以开采锂云母为主;埃尔海依特矿段则重点开采透锂长石,锂矿石储量2.6 Mt, Li_2O 平均含量4.13%;2)津巴布韦卡马蒂维(Kamativi)伟晶岩型锂矿,估计资源量为100 Mt,平均含锂0.28%,相当0.28 Mt锂;3)刚果(金)加丹加省马诺诺—基托托洛(Manono Kitotolo)伟晶岩型锂矿,矿床推测 Li_2O 资源量为114.5万t,其中Manono包含 Li_2O 资源量83.5万t,Kitotolo包含 Li_2O 资源量31万t。

大洋洲锂矿集中区:1)澳大利亚耶尔岗省格林布什(Greenbushes)伟晶岩型锂矿,矿床的资源量锂矿石7.1 Mt, Li_2O 品位4.06%;钽矿石4.7 Mt,Ta品位0.06%;铌矿石10.8 Mt,Nb品位0.42%;锡矿石4.7 Mt,Sn品位0.24%;高岭土矿石2.3 Mt,高岭土品位30%;2)澳大利亚耶尔岗省芒特麦里翁伟晶岩型锂矿,矿床中锂辉石晶体 Li_2O 含量为7.5%;锂辉石储量为1 Mt, Li_2O 平均含量1.7%;3)澳大利亚帕冈谷瑞(Pilgangoora)伟晶岩型锂矿,锂资源量98.3万t。

欧洲锂矿集中区:1)塞尔维亚贝尔格莱德雅达(Jadar)沉积型锂矿,矿床总资源量为1.253亿t,含锂225.5万t,锂矿品位为1.8%;2)捷克波西米亚高原锡诺维克(Cinovec)伟晶岩型锂矿,锂资源量119.4万t;3)奥地利沃尔夫斯贝格(Wolfsberg)伟晶岩型锂矿,锂资源量26.4万t。

亚洲锂矿集中区:1)中国青海察尔汗盐湖型锂矿,盐湖包括5个特大型矿床(湖盐、镁盐、硼、锂、铷)与3个大型矿床(钾盐、溴、碘),探明盐类总储量444.42亿t, LiCl 储量800万t;2)中国江西宜春伟晶岩型锂矿,矿床矿石总量1.5亿t, Li₂O 资源量51.04万t;3)中国西藏扎布耶盐湖型锂矿, Li₂CO₃ 资源储量183万t;4)阿富汗乌鲁兹甘省塔格豪罗(Taghawlor)伟晶岩型锂矿,矿床 Li₂O 资源量146.4万t, 锂矿品位0.08%~2.8%。

4 中国锂矿资源概况

中国锂矿资源较为丰富且类型多样,既有锂辉石和锂云母等固体矿石锂矿床,也有盐湖与地下卤水等液体卤水锂矿床^[21]。根据《全国矿产资源储量通报》(2016)统计^[2,28-29],2015年中国固体矿石锂矿区共计59个,查明锂矿(Li₂O)资源储量312.56万t;液体卤水锂矿区共计14个,查明锂矿(LiCl)资源储量2363.39万t,具体情况见表2。

表2 2015年中国固体矿石锂矿与液体卤水锂矿资源储量情况^[2,28-29]

Table 2 Reserves of solid ore lithium and liquid brine lithium resources in China in 2015 ^[2,28-29]												/10 kt
Reserves of solid ore lithium resources (Li ₂ O)	Provinces	Whole country	Shanxi	Fujian	Jiangxi	Hunan	Sichuan	Xinjiang	Hubei	Guizhou	Henan	Inner Mongolia
	Number of mining areas	59	1	1	9	3	17	14	1	3	9	1
	Reserves	36.62	—	—	35.12	0.01	1.42	0.07	—	—	—	—
	Resources	233.24	0.05	0.45	5.76	35.53	153.11	11.76	0.46	16.26	5.72	4.41
Lithium resource reserve of liquid brine (LiCl)	Provinces	Whole country	Hubei	Sichuan	Xinjiang	Qinghai	Tibet					
	Number of mining areas	14	1	1	1	9	2					
	Reserves	371.64	—	—	—	371.64	—					
	Resources	774.60	309.08	2.33	1.1	461.73	0.36					
Identify resource reserves		2363.39	309.08	2.33	1.1	1538.25	0.43+512.2*					

Data source: national mineral resources reserve notice(2016)

Note: "—" means no data; "512.2*" means the record is not registered

根据《中国矿产资源报告》(2016—2019)数据(图1)^[30-33],截至2018年底,全国共查明锂矿(氧化物)资源储量1092.0万t,较2015年的970.84万t增长了121.16万t,增幅达11.10%。

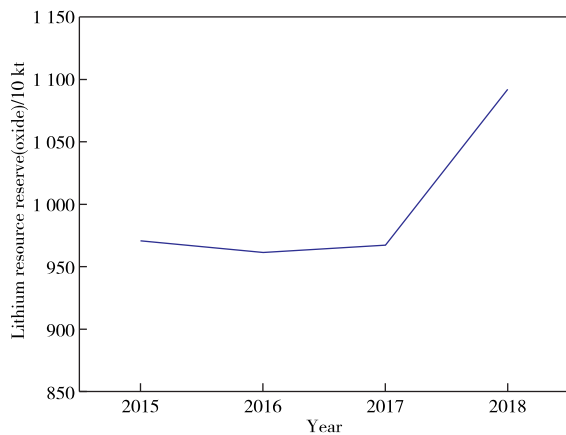


图1 2015—2018年中国锂矿查明资源储量(锂化合物)

Fig. 1 Proved reserves(lithium compounds) of lithium ore in China from 2015 to 2018

中国锂矿资源的主要特点^[2,23,28,34]:1)全国锂矿资源储量丰富,约60.5%的固体矿石锂与86.8%的液体卤水锂集中分布于川西、新北及青藏高原等海拔较高、自然条件较恶劣且生态环境较脆弱的西部地区;2)中国锂矿床均为多组分综合性矿床,富锂矿物中,铌钽铷铯等有重要应用领域;盐湖卤水里,除钾镁钠为主要组分外,尚有锂硼铷铯溴等有益伴生元素;

3)固体矿石锂矿床主要含锂矿物有锂辉石、锂云母、透锂长石、磷锂辉石与铁锂云母等,矿床规模以大中型为主,为全国锂矿重点开采对象;液体卤水锂矿床主要赋存于上更新统至全新统地层中,可进一步细分为硫酸盐型、碳酸盐型和卤化物型3种类型;目前开发的盐湖卤水有硫酸盐型和碳酸盐型,其中硫酸盐型卤水主要含K⁺、Na⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻等离子;碳酸盐型卤水富含CO₃²⁻、HCO₃⁻、CS⁺、Rb⁺等离子,总体以镁锂比值低和含以碳酸锂与含锂白云石为主的固相锂矿物为特征;4)与国外相比,中国储量最丰富的液体卤水锂基本上没有得到工业规模利用,其原因在于青海柴达木盆地盐湖卤水Mg/Li比值大,提锂工艺尚未完全成熟,藏北盐湖品位高,具低成本开采潜力,但受地理位置与外部环境制约难以形成大规模工业化集约化生产局面;5)中国已开发利用的高品位锂矿较少,低品位锂矿较多,锂矿山Li₂O平均品位为0.8%~1.4%,而国外锂矿山Li₂O平均品位为1.465%~3.55%。

5 中国锂矿主要矿床类型

按成矿地质条件、成矿作用与成因等地质因素,可将中国已知的具有工业价值的锂矿资源矿床类型划分为内生硬岩型与外生卤水型两个大类6个亚类(表3)^[2,28,35-38]。其中,固体矿石锂矿床以花岗伟晶岩型为主,花岗岩型次之;液体卤水锂矿床则大多为盐湖卤水型。

表 3 中国锂矿床主要类型^[2,28,35-38]Table 3 Main types of lithium deposits in China^[2,28,35-38]

Major ore deposits	Sub types	Main ore-forming zones	Typical ore deposits
Hard rock lithium (endogenous)	Granitic pegmatite type	Altay, East Tianshan, West Kunlun, Songpan-Ganzi, Qinling lithium metallogenic belt	Koktohai Altai, Columut Fuyun, Jingerquan Dahongliutan, Dongtianshan West Kunlun, Xinjiang; Methyl card Kangding, Lijiagou Jinchuan, Dangba Malkang, Zhawulong Shiqu, Rongxuka Daofu, Sichuan; Nanyang Mountain, Caijiagou, Guanpo, Lushi, Henan; Fenghuangzhai Shangnan, Angouliang Taibai, Shanxi
	Granite type	Lithium metallogenic belt in South China	Yichun 414, Yashan, Jiangxi; Jianfengling Linwu, Hunan; Limu Gongxian, Guangxi
	Greisen type	—	Xiangyuan Zhengchong Daoxian, Hunan
	Carbonate clay type ①	—	Central Yunnan
Brine lithium (exogenous)	Salt lake brine type	Qaidam lithium metallogenic belt	Chaerhan, Dachaidan, Xitaijiner, Dongtaijiner, Dalangtan, Yiliping, Nanyishan, Lechiwudan, Xijinulan Salt Lake, Qaidam Basin, Qinghai
		Lithium metallogenic belt in northern Tibet	Zabuye, Dangxiangcuo, Banguocuo, Jiezechaka, Laguocuo, Cangmu (Mami) Cuo, Longmu Cuo, Eyaco Salt Lake, North Tibet
	Underground brine type	Lithium metallogenic belt in Sichuan Basin and Qianjiang depression	Zigong, Huangjingkou, Sichuan; Qianjiang, Hubei

Note: ① Carbonate clay type lithium deposit (Xiaoshiqiao and Guanyinshan exploration targets in Central Yunnan) is a new type of sedimentary lithium deposit proposed by WEN Hanjie, researcher of Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences in May 2019. After scientific research and demonstration exploration, the Li_2O level in the demonstration area is 0.10%~1.02%, and the Li_2O (334) resource is about 34×10^4 t.

6 中国锂矿资源分布特征

中国锂矿资源丰富、分布集中且成因类型多样,为全国优势“三稀”金属矿种之一^[17,39]。据统计,目前已在全国 10 余省(区)发现 153 处锂矿床/矿(化)点,包括超大型 3 处,大型 10 处,中小型 28 处及矿点(矿化点)112 处^[29,36]。固体矿石锂矿主要分布在内蒙古、河南、山西、江西、四川、福建、新疆、贵州、云南、陕西、广西、广东、湖北及湖南等 14 个省(区),液体卤水锂矿集中分布于新疆、青海、西藏、四川、内蒙古与湖北等 6 个省(区)^[2,22,29,36]。其中,内蒙古、新疆、四川与湖北等 4 个省(区)既有固体矿石锂矿产出,也有液体卤水锂矿产出^[2,22,29,36]。

6.1 中国锂资源分布特点

全国锂矿资源分布具有三个基本特点^[2,22,24,36,40]:1) 矿石种类齐全,以液体卤水锂矿为主,也有固体矿石锂矿。2) 矿产地分布广泛,但储量相对集中于几个主要省(区)。据《全国矿产资源储量通报》(2016 年)统计^[2,28-29],2015 年中国锂矿查明资源储量约为 2 675.95 万 t(包括固体矿石锂矿查明资源储量 312.56 万 t,占总查明资源储量的 11.68%;液体卤水锂矿查明资源储量 2 363.39 万 t,占总储量的 88.32%)。其中,固体矿石锂矿查明资源储量主要分布在江西、湖南、四川、新疆、贵州、河南与内蒙古,7 个省(区)固体矿石锂矿查明资源储量之和为 310.69 万 t,约占全国总查明资源储量的 99.40%(四川固体矿石锂矿查明资源储量排全

国第一,占中国固体矿石锂矿查明资源储量的 60.55%,其西部地区为享誉全球的世界级锂辉石资源基地,分布有康定甲基卡、金川李家沟、马尔康党坝等著名大型、超大型锂矿床)。液体卤水锂矿集中分布于青海与西藏,两个省(区)液体卤水锂矿总查明资源储量之和为 2 050.88 万 t,约占全国液体卤水锂矿总查明资源储量的 86.78%;其次为湖北占 13.08%,四川占 0.99%,新疆占 0.05%。3) 结合锂矿床分布特征、成矿地质作用与大地构造发展阶段,李建康等^[22,36]认为中国锂矿主要分布于下述 5 个成锂区带:青藏高原(柴达木+藏北)卤水型锂矿带,代表性矿床有青海柴达木盆地察尔汗、一里坪、大柴旦、西台吉乃尔、东台吉乃尔、南翼山与西藏藏北扎布耶、当雄错、麻米错、班戈错、结则茶卡等富锂盐湖;新疆阿尔泰硬岩型锂矿带,典型矿床有福海库卡拉盖、富蕴可可托海与柯鲁木特等锂矿床;川西硬岩型锂矿带,包括康定甲基卡、金川—马尔康可尔因、石渠扎乌龙与道孚容须卡等重要锂矿床;华南锂矿带,典型矿床有江西宜春 414、湖南湘源正冲与临武尖峰岭及福建南平西坑等锂矿床。

6.2 中国重要锂矿床在全国 16 个成矿省中的分布

朱裕生等^[41]将中国划分为 16 个成矿省,其中固体矿石锂矿床主要分布在阿尔泰—准噶尔、昆仑、松潘—甘孜、下扬子、上扬子与华南成矿省;液体卤水锂矿床集中分布于雅鲁藏布江和昆仑成矿省。中国主要锂矿资源分布见表 4。

表 4 中国主要锂矿资源分布简表^[41]Table 4 Distribution of main lithium resources in China^[41]

No.	Lithium type	Origin of lithium ore	Deposit type	Deposit scale	Distribution of major metallogenic provinces
1	Solid lithium ore	Fuyun koktokai lithium beryllium niobium tantalum ore, Xinjiang	Granitic pegmatite type	large	Altay-Junggar metallogenic province
2		Pishan dahongliutan lithium beryllium ore, Xinjiang	Granitic pegmatite type	large	Kunlun metallogenic province
3		Kangding methylkalithium, beryllium, niobium and tantalum ore, Sichuan	Granitic pegmatite type	super large	Songpan-Ganzi metallogenic province
4		Jinchuan-Malcolm coryne lithium ore, Sichuan	Granitic pegmatite type	large	Songpan-Ganzi metallogenic province
5		Yichun 414 lithium niobium tantalum ore, Jiangxi	Granite type	super large	Lower Yangtze metallogenic province
6		Daoxian xiangyuan zhengchong lithium rubidium ore, Hunan	Greisen type	large	South China metallogenic province
7		Lithium ore in central Yunnan	Carbonate clay type	large	Upper Yangtze metallogenic province
8	Liquid brine	Zhongba zabuye salt lake lithium ore, Tibet	Salt lake brine type	super large	Yarlungzangbo river metallogenic province
9	lithium ore	Qaidam west tajiner salt lake lithium ore, Qinghai	Salt lake brine type	large	Kunlun metallogenic province

6.3 新发现的锂资源

2011 年以来,随着稀有、稀土和分散金属矿产资源战略调查研究工作的开展以及中国地质勘探能力的不断提高,相继发现了一批新的锂矿资源,为提高国家战略性新兴产业锂资源保障能力奠定了坚实的基础^[22-23,28,40,42-45]。其中,新疆西昆仑大红柳滩一带先后发现 507、俘虏沟南 1-2 号、509 道班西、喀拉卡与 505、阿克塔斯等大中型锂铍矿床 7 处及俘虏沟南、阿克沙依、阿克塔斯南等锂矿点多处,已探获 Li_2O 资源量 200 万 t 以上, Li_2O 品位 0.8%~3.9%,平均品位 1.5%;其外围分布有苦水湖和青草湖等锂硼钾盐湖矿多处, Li_2O 资源量达 400 万 t, LiCl 平均品位为 687 mg/L。青海柴达木西部南翼山地区深层富锂钾硼卤水资源调查,初步估算 LiCl 资源量 1 200 万 t。截至 2017 年底,川西锂矿共查明 Li_2O 资源量 452.4 万 t,其中甘孜甲基卡矿田 Li_2O 资源量 281.6 万 t(中国乃至世界规模最大的伟晶岩型锂矿聚集区),阿坝金川—马尔康可尔因矿田 Li_2O 资源量 164 万 t。此外,山西平朔宁武煤田 4、9 与 11 采煤层中锂的资源储量分别达到 10 万 t、55.84 万 t 和 38.26 万 t(超大型伴生锂矿);内蒙古鄂尔多斯准格尔煤田 6 号主采煤层中 Li_2O 达 515.7 万 t(超大型伴生锂矿);湖南连云山(幕府山稀有金属矿集区南缘)白沙窝地区通过钻探探获资源量估算(334)分别为 BeO 1.616 万 t, Rb_2O 2.91 万 t, Li_2O 1.128 万 t, $(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_5$ 0.345 万 t;江西九岭地区(狮子岭、尖山岭—云峰坛、黄岗上一圳口里、余家里等)含磷锂铝石浅色花岗岩型(具低品位大吨位特点)稀有金属矿,矿床估算 Li_2O 远景资源量可达 38.26 万 t;江西宁都河源探获大型锂辉石矿 1 处,新增 Li_2O 资源量 6 万 t;江西谷寨(武夷山稀有金属成矿带南段)通过钻探探获资源量(334)分别为 Li_2O 5 188 t, Nb_2O_5 328 t, Ta_2O_5 262 t;云南黑妈(西南三江成矿带)发现以锂云母为工业矿物的伟晶岩型锂矿脉, Li_2O 最高含量达 1.73%,平均达 0.95%。

7 世界锂矿资源与中国锂矿资源的对比

7.1 矿床类型的一致性与差异性

世界锂矿床主要分为硬岩型、沉积型与卤水型等 3 种成因类型^[9,23,25],其中前两者均属固体矿石锂矿床;而中国锂矿床成因类型^[2,28,35-38]则以卤水型为主,硬岩型次之。

7.2 中国锂储量在全球的地位

据美国地质调查局(USGS)资料^[18],截至 2019 年底,全球已探明锂矿资源储量达 1 700 万 t,其中中国锂矿资源储量约 100 万 t(约占世界总储量的 5.88%),仅次于智利、澳大利亚与阿根廷(各约占世界总储量的 50.59%、16.47%与 10%),位居世界第四位。截至 2015 年底^[2,28-29],全国共查明固体矿石锂资源储量 312.56 万 t,主要分布在江西、湖南、四川、新疆、贵州、河南与内蒙古等省(区);查明液体卤水锂资源储量 2 363.39 万 t,集中分布于青海、西藏、湖北、四川和新疆等省(区)。

7.3 中国主要锂产品的生产量、净进出口量与消费量

锂产品是指金属锂和碳酸锂、氢氧化锂及氯化锂等锂的化合物,其中碳酸锂是锂资源开采加工形成的最直接锂产品^[46-47]。碳酸锂的生产、消费与需求是整个锂产业链发展的基础和上游锂资源开发情况的具体体现^[47]。通过对国内碳酸锂生产量、消费量和碳酸锂、氢氧化锂与氯化锂进出口量进行比较,可分析出全国主要锂产品的供需情况^[47]。

中国是世界主要的锂产品生产国与锂资源消费国,但本土锂资源禀赋不佳且供应能力较弱,对外依存度较高^[13]。根据中国有色金属工业协会锂业分会统计(表 5)^[28,46-47],2007 年以来,中国锂产品产量增长较为迅速,年均增速达 12.8%^[28]。2007—2017 年全国累计锂产品产量为 57.35 万 t(折合碳酸锂当量 LCE,下同),其中 2017 年全国锂产品产量达 9.6 万 t,约占当年世界总产量 22.9 万 t 的

41.9%^[28,46-47]。国内锂矿主要依赖进口^[28]。2017 年锂矿供应结构为^[28,46-47]:进口澳大利亚锂辉石矿 8.92 万 t,占比 57%;进口拉丁美洲高浓卤水锂矿 3.56 万 t,占比 23%;国内川西甘孜甲基卡和阿坝马

尔康等锂辉石矿 0.2 万 t,占比 1%;国内赣西宜春等锂云母矿 0.75 万 t,占比 5%;其余 14%为国内藏仲巴扎布耶及青海察尔汗、西台吉乃尔与东台吉乃尔等盐湖卤水,供应量约为 2.2 万 t。

表 5 2007—2017 年中国主要锂产品的生产量、消费量与净进出口量概况^[28,46-47]

Table 5 Production, consumption and net import and export of main lithium products in China in 2007—2017^[28,46-47]

	/10 kt										
Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Equivalent production of lithium carbonate	2.34	2.38	3.16	4.11	4.08	4.91	5.74	6.19	6.14	8.70	9.60
Equivalent to lithium carbonate consumption	2.28	2.81	2.03	3.58	3.68	5.50	6.30	6.58	7.87	9.33	12.47
Net import of lithium carbonate	0.07	0.18	0.04	0.37	0.29	1.06	1.24	1.11	0.95	2.04	2.92
Net export of lithium hydroxide	0.378 5	0.279 6	0.192 4	0.241 7	0.435 5	0.314 5	0.398 6	0.572 4	0.924 8	0.983 4	—
Net import of lithium chloride	—	—	0.183 9	0.399 6	0.23	0.24	0.215 2	0.568 6	0.339	—	—

Data source: lithium branch of China Nonferrous Metals Industry Association(2018); United Nations Comtrade Database(2018)

Note: “—” means no data

国际进出口贸易中,碳酸锂、氢氧化锂与氯化锂的进出口情况能够反映出国内锂的生产和需求情况^[46-47]。根据联合国 UN Comtrade 数据库统计(表 5)^[28,46-47],2007 年以来中国碳酸锂净进口量总体呈上升态势,2007—2017 年全国碳酸锂总净进口量为 10.27 万 t,其中 2017 年净进口量达 2.92 万 t,进口量中的 63.70%来自智利,29.80%来自阿根廷;氢氧化锂除满足国内需求外,大量出口国外,2007—2016 年全国氢氧化锂净出口量整体呈波动增长趋势,2016 年出口氢氧化锂 0.983 4 万 t,较 2007 年的 0.378 5 万 t 增长了 0.604 9 万 t,增幅达 61.51%;而作为金属锂的主要生产原料,国内氯化锂产量极少,大量依靠进口,2009—2015 年全国累计净进口量达 2.176 3 万 t。

2007 年以来,随着高端装备制造、核电与战略性新兴产业的快速发展及 2012 年国务院《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020 年)》的发布实施,国内锂产品需求呈现爆发式增长(表 5)^[28,46-47]。2007—2017 年全国累计锂产品消费量为 62.43 万 t,11 年里年均增长率为 19%^[28,46-47]。其中 2017 年中国锂产品消费量为 12.47 万 t,约占当年世界总消费量 23.76 万 t 的 52.48%;与 2007 年的 2.28 万 t 的消费量相比,增长了 10.19 万 t,增幅达 81.72%^[39]。2017 年全国锂产品消费中,电池领域用锂居第一,占比高达 67%;玻璃陶瓷、医药、润滑脂与催化剂分别排第二、三、四与五名,分别占 7%、6%、6%与 3%,五者合计约占锂总消费的 86%^[39]。对比中国 2007—2017 年锂产品生产与消费情况可以看出(表 6)^[28,39,46-47],国内锂产品生产量低于消费量,但二者均保持着一个快速增长的态势,随着时间推移,锂产品生产与消费的数量差距将不断扩大。中国锂资源储量丰富,但技术含量较高的电池级碳

酸锂、高纯碳酸锂、无水氯化锂和高纯金属锂仍需大量进口,反映出全国锂资源开发利用效率较低、资源保障形势严峻的问题^[28,39,46-48]。

8 结论与建议

8.1 主要结论

随着前沿新能源、新材料与新药品三大新兴朝阳行业的迅速崛起,“新清洁绿色高能金属与白色石油”锂的资源保障与开发利用越来越受到世界各国高度关注与重视,其战略价值与地位日益凸显。近年来,在资源、经济与市场多因素推动下,全球范围内开展了锂矿资源的勘查热潮与研究,使得主要工业国家的锂资源储量和产量较往年有大幅增加。

与国外相比,中国锂矿资源丰富且潜力巨大,但国内锂产业却面临着硬岩锂开采难度大、高镁锂比盐湖提锂分离技术尚未完全成熟、科技含量高性能先进的深加工锂产品需大量从海外进口等现实问题。资源依存对外严重、开发利用技术落后成为制约中国高端装备制造、储能与分布式电源、新材料及新能源汽车等战略性新兴产业发展的瓶颈。

8.2 建议

加大青藏高原碳酸盐型与低镁硫酸盐型富锂盐湖的地质勘探投入力度,加强阿尔泰—天山—昆仑山、松潘—甘孜、东秦岭和华南等重点成锂带的普查与勘探,寻找大型接替矿区实现找锂重大突破,提高国内锂资源供应能力。

依托“一带一路”与“金砖国家”战略,鼓励、支持和引导国内条件成熟的大型锂矿企业积极布局海外优质固液锂资源市场,寻求与建立境外安全稳定且多元化的锂矿资源保障体系。

坚持科技创新,加大高 Mg/Li 值盐湖卤水提锂技术攻关力度,开展铝土矿、煤与重稀土等共(伴)生

矿床中锂的综合勘查、评价和利用,率先实现动力锂离子电池、受控核聚变发电、高端新材料和终端应用等锂资源综合利用与深加工技术的研发突破。

参考文献:

- [1] 杨卉芃,柳林,丁国峰. 全球锂矿资源现状及发展趋势[J]. 矿产保护与利用,2019,39(5):26-40.
YANG Huipeng, LIU Lin, DING Guofeng. Present situation and development trend of lithium resources in the world[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2019,39(5):26-40.
- [2] 崔晓林. 中国锂矿资源需求预测及供需分析[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017.
CUI Xiaolin. Demand projection of lithium resource and its demand & supply analysis in China[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing),2017.
- [3] 范军. 我国锂矿资源开发及产业发展策略研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2016.
FAN Jun. Research on exploitation and industry development strategy of lithium mineral resources in China[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing),2016.
- [4] 后立胜,李效广,金若时,等. 中国盐湖卤水锂资源禀赋分析与策略建议[J]. 资源与产业,2016,18(5):55-61.
HOU Lisheng, LI Xiaoguang, JIN Ruoshi, et al. China's saline lithium resources and suggestion[J]. Resources & Industries,2016,18(5):55-61.
- [5] 吴巧生,成金华,周娜,等. “三稀”矿产资源领域的大国博弈与我国应对之策[N/OL]. 中国矿业报,2020-04-17(A4) [2020-04-20]. http://www.zgkyb.com/llts/20200417_62050.htm.
WU Qiaosheng, CHENG Jinhua, ZHOU Na, et al. The game between big countries in the field of “three rare” mineral resources and our countermeasures[N/OL]. China Mining News, 2020-04-17(A4) [2020-04-20]. http://www.zgkyb.com/llts/20200417_62050.htm.
- [6] 唐尧. 世界锂生产消费格局及资源安全保障分析[J]. 世界有色金属,2015(8):21-25.
TANG Yao. The world's lithium production and consumption patterns and resource security analysis[J]. World Nonferrous Metals,2015(8):21-25.
- [7] 邢佳韵,彭浩,张艳飞,等. 世界锂资源供需形势展望[J]. 资源科学,2017,37(5):988-997.
XING Jiayun, PENG Hao, ZHANG Yanfei, et al. Global lithium demand and supply[J]. Resources Science,2017,37(5):988-997.
- [8] 伍倩,刘喜方,郑绵平,等. 我国盐湖锂资源开发现状、存在问题及对策[J]. 现代化工,2017,37(5):1-5.
WU Qian, LIU Xifang, ZHENG Mianping, et al. Present situation, existing problems and countermeasures of development of salt lake lithium resources in China[J]. Modern Chemical Industry, 2017,37(5):1-5.
- [9] 刘皓阳. 基于系统动力学的中国锂资源需求趋势分析[D]. 北京:中国地质大学(北京),2018.
LIU Haoyang. Analysis of demand trend of lithium resources in China bases on system dynamics[D]. Beijing:China University of Geosciences(Beijing),2018.
- [10] 付小方,张光明,郝雪峰,等. 中国锂资源亟待上升到国家战略层面统筹发展[J]. 中国战略新兴产业,2018(8):30-32.
FU Xiaofang, ZHANG Guangming, HAO Xuefeng, et al. Lithium resources in China need to rise to national strategic level for overall development[J]. China Strategic Emerging Industry,2018(8):30-32.
- [11] 王学评,柴新夏,崔文娟. 全球锂资源开发利用的现状与思考[J]. 中国矿业,2014,23(6):10-13.
WANG Xueping, CHAI Xinxia, CUI Wenjuan. Exploitation and utilization of global lithium resources: trend and our responses[J]. China Mining Magazine, 2014,23(6):10-13.
- [12] 杜轶伦,胡永达,雷晓力,等. 对战略性新兴产业所需矿产的界定及几点思考[J]. 中国矿业,2015,24(6):22-28.
DU Yilun, HU Yongda, LEI Xiaoli, et al. Definition and advice for the strategic mineral resources of strategic emerging industries[J]. China Mining Magazine,2015,24(6):22-28.
- [13] 马哲,李建武. 中国锂资源供应体系研究:现状、问题与建议[J]. 中国矿业,2018,27(10):1-7.
MA Zhe, LI Jianwu. Analysis of China's lithium resources supply system: status, issues and suggestions[J]. China Mining Magazine,2018,27(10):1-7.
- [14] 《中国地质》编辑部. 美国内政部确定钨、稀土、锂等35种关键矿产清单[J]. 中国地质,2018,45(5):1086.
Geology in China Editorial Office. US Department of the Interior determines a complete list of 35 kinds of key mineral resources such as tungsten, rare earth and lithium[J]. Geology in China,2018,45(5):1086.
- [15] 彭建忠. 国内碳酸锂生产工艺和效益分析[J]. 盐科学与化工,2019,48(10):18-21.
PENG Jianzhong. Analysis of the domestic production technology and economic benefit of lithium carbonate[J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2019,48(10):18-21.
- [16] 赵志鹏. 盐湖化工锂资源的开发技术与利用[J]. 产业与科技论坛,2018,17(16):57-58.
ZHAO Zhipeng. Development technology and utilization of

- chemical lithium resources in salt lake[J]. Industrial & Science Tribune, 2018, 17(16): 57-58.
- [17] 张明超, 李景朝, 李鹏远, 等. 国内外铅锌矿资源及分布概述[J]. 中国矿业, 2016, 25(增刊1): 41-45, 103.
ZHANG Mingchao, LI Jingchao, LI Pengyuan, et al. Summarize on the lead and zinc ore resources of the world and China[J]. China Mining Magazine, 2016, 25(S1): 41-45, 103.
- [18] U. S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries [EB/OL]. [2020-01-31]. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>
- [19] 王秋舒, 元春华, 许虹. 全球锂矿资源分布与潜力分析[J]. 中国矿业, 2015, 24(2): 10-17.
WANG Qiushu, YUAN Chunhua, XU Hong. Analysis of the global lithium resource distribution and potential[J]. China Mining Magazine, 2015, 24(2): 10-17.
- [20] 谭秀民, 张永兴, 张利珍, 等. 能源金属锂资源开发利用现状及发展建议[J]. 矿产保护与利用, 2017(5): 87-92.
TAN Xiumin, ZHANG Yongxing, ZHANG Lizhen, et al. Utilization status of lithium resources and development suggestions[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2017(5): 87-92.
- [21] 宋彭生, 项仁杰. 盐湖锂资源开发利用及对中国锂产业发展的建议[J]. 矿床地质, 2014, 33(5): 977-992.
SONG Pengsheng, XIANG Renjie. Development and utilization of lithium resources in salt lakes and suggestions for the development of lithium industry in China[J]. Mineral Deposits, 2014, 33(5): 977-992.
- [22] 王瑞江, 王登红, 李建康, 等. 稀有稀土稀散矿产资源及其开发利用[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
WANG Ruijiang, WANG Denghong, LI Jiankang, et al. Rare and rare earth scattered mineral resources and their development and utilization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.
- [23] 王秋舒, 元春华, 许虹, 等. 锂矿全球资源分布与潜力分析[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
WANG Qiushu, YUAN Chunhua, XU Hong, et al. Analysis of the global lithium resource distribution and potentiality [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.
- [24] 李超, 王登红, 赵鸿, 等. 中国石墨矿床成矿规律概要[J]. 矿床地质, 2015, 34(6): 1223-1236.
LI Chao, WANG Denghong, ZHAO Hong, et al. Minerogenetic regularity of graphite deposits in China[J]. Mineral Deposits, 2015, 34(6): 1223-1236.
- [25] 吴西顺, 黄文斌, 杜晓慧, 等. 世界锂矿床成矿类型及模式研究[J]. 矿床地质, 2014, 33(增刊1): 1197-1198.
WU Xishun, HUANG Wenbin, DU Xiaohui, et al. Study on metallogenic types and models of lithium deposits in the world [J]. Mineral Deposits, 2014, 33(S1): 1197-1198.
- [26] 袁忠信, 何哈哈, 刘丽君, 等. 国外稀有稀土矿床[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
YUAN Zhongxin, HE Hanhan, LIU Lijun, et al. Rare earth deposits in abroad [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [27] 乜贞, 卜令忠, 郑绵平. 中国盐湖锂资源的产业化现状——以西台吉乃尔盐湖和扎布耶盐湖为例[J]. 地球学报, 2010, 31(1): 95-101.
NIE Zhen, BU Lingzhong, ZHENG Mianping. Lithium resources industrialization of salt lakes in China: A case study of the Xitaijinaier salt lake and the Zabuye salt lake[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2010, 31(1): 95-101.
- [28] 国土资源部中国地质调查局. 中国地质调查百项成果[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, China Geological Survey. 100 achievements of geological survey in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.
- [29] 吴荣庆. 新能源材料锂: 资源储量与供需形势分析[J]. 国土资源情报, 2017(1): 4-9.
WU Rongqing. Lithium, new energy material: analysis of resource reserves and supply-demand situation [J]. Land and Resources Information, 2017(1): 4-9.
- [30] 中华人民共和国国土资源部. 中国矿产资源报告[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. China mineral resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.
- [31] 中华人民共和国国土资源部. 中国矿产资源报告[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. China mineral resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- [32] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. China mineral resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2018.
- [33] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告[M]. 北京: 地质出版社, 2019.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. China mineral resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2019.
- [34] 矿业俱乐部. 全球锂矿资源分布与中国锂资源现状对比分析[N/OL]. 中国矿业网, 2016-10-09[2020-04-20].

- <http://www.chinamining.org.cn/index.php?a=show&c=index&catid=6&id=17812&m=content>. Mining club. Comparative analysis on the distribution of lithium resources in the world and the present situation of lithium resources in China[N/OL]. China Mining Network, 2016-10-09 [2020-04-20]. <http://www.chinamining.org.cn/index.php?a=show&c=index&catid=6&id=17812&m=content>.
- [35] 李康, 王建平. 中国锂资源开发利用现状及对策建议[J]. 资源与产业, 2016, 18(1): 82-86.
- LI Kang, WANG Jianping. China's lithium resource development actuality and approaches[J]. Resources & Industries, 2016, 18(1): 82-86.
- [36] 李建康, 刘喜方, 王登红. 中国锂矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2269-2283.
- LI Jiankang, LIU Xifang, WANG Denghong. The metallogenetic regularity of lithium deposit in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(12): 2269-2283.
- [37] 温汉捷, 罗重光, 杜胜江, 等. 碳酸盐黏土型锂资源的发现及意义[J]. 科学通报, 2020, 65(1): 53-59.
- WEN Hanjie, LUO Chongguang, DU Shengjiang, et al. Carbonate-hosted clay-type lithium deposit and its prospecting significance[J]. Chinese Science Bulletin, 2020, 65(1): 53-59.
- [38] 钟海仁, 孙艳, 杨岳清, 等. 铝土矿(岩)型锂资源及其开发利用潜力[J]. 矿床地质, 2019, 38(4): 898-916.
- ZHONG Hairan, SUN Yan, YANG Yueqing, et al. Bauxite(aluminum)-type lithium resources and analysis of its development and utilization potential[J]. Mineral Deposits, 2019, 38(4): 898-916.
- [39] 周园园. 中国锂资源供需形势及对外依存度分析[J]. 资源与产业, 2019, 21(3): 46-50.
- ZHOU Yuanyuan. Supply-demand situation and external dependence of China's lithium resource[J]. Resources & Industries, 2019, 21(3): 46-50.
- [40] 张苏江, 张立伟, 张彦文, 等. 国内外稀土矿产资源及其分布概述[J]. 无机盐工业, 2020, 52(1): 9-16.
- ZHANG Sujiang, ZHANG Liwei, ZHANG Yanwen, et al. Summarize on rare earth mineral resources and their distribution at home and abroad[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2020, 52(1): 9-16.
- [41] 朱裕生, 肖克炎, 宋国耀, 等. 中国主要成矿区(带)成矿地质特征及矿床成矿谱系[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- ZHU Yusheng, XIAO Keyan, SONG Guoyao, et al. Geological feature and metallogenic pedigree of ore deposits in the major metallogenic regions (belts) in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [42] 毛景文, 袁顺达, 谢桂青, 等. 21 世纪以来中国关键金属矿产找矿勘查与研究新进展[J]. 矿床地质, 2019, 38(5): 935-969.
- MAO Jingwen, YUAN Shunda, XIE Guiqing, et al. New advances on metallogenic studies and exploration on critical minerals of China in 21st century [J]. Mineral Deposits, 2019, 38(5): 935-969.
- [43] 乔东海, 赵元艺, 汪傲, 等. “一带一路”地区能源金属矿床分布规律及开发工艺[J]. 地质通报, 2017, 36(1): 66-79.
- QIAO Donghai, ZHAO Yuanyi, WANG Ao, et al. A study of the distribution regularity and development process of the energy metal deposits in “One Belt, One Road” region [J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(1): 66-79.
- [44] 王登红, 郑绵平, 王成辉, 等. 大宗急缺矿产和战略性新兴产业矿产调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 2019, 6(6): 1-11.
- WANG Denghong, ZHENG Mianping, WANG Chenghui, et al. Progresses and main achievements on bulk lacking minerals and strategic emerging industry minerals survey project [J]. Geological Survey of China, 2019, 6(6): 1-11.
- [45] 王成辉. 华南三稀矿产调查为战略性新兴产业发展提供资源保障[N/OL]. 中国钨业新闻网, 2019-11-20 [2020-04-20]. <http://www.ctia.com.cn/news/49832.html>
- WANG Chenghui. The survey of three rare minerals in South China provides resource guarantee for the development of strategic emerging industries[N/OL]. China Tungsten News, 2019-11-20 [2020-04-20]. <http://www.ctia.com.cn/news/49832.html>
- [46] 张泽南. 中国锂矿资源需求预测及锂产品市场分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- ZHANG Zenan. Demand prediction of lithium resource and lithium product analysis in China [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2019.
- [47] 周思凡, 郑佳, 赵蕴华, 等. 产业链视角下我国锂产业发展现状与建议[J]. 资源与产业, 2017, 19(6): 22-29.
- ZHOU Sifan, ZHENG Jia, ZHAO Yunhua, et al. Situation and proposals of China's lithium industry development viewing from perspective of industrial chain[J]. Resources & Industries, 2017, 19(6): 22-29.
- [48] 刘丽君, 王登红, 刘喜方, 等. 国内外锂矿主要类型、分布特点及勘查开发现状[J]. 中国地质, 2017, 44(2): 22-29.
- LIU Lijun, WANG Denghong, LIU Xifang, et al. The main types, distribution features and present situation of exploration and development for domestic and foreign lithium mine [J]. Geology in China, 2017, 44(2): 22-29.