

国外锂矿找矿的新突破(2017~2018 年)及 对我国关键矿产勘查的启示

刘丽君^{1,2)}, 王登红¹⁾, 高娟琴^{3,1)}, 于汎^{3,1)}, 王伟²⁾

- 1) 中国地质科学院矿产资源研究所自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037;
- 2) 四川省地质矿产勘查开发局地质矿产科学研究所, 成都, 610084;
- 3) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京, 100037

内容提要:全球范围内锂矿的勘查保持活跃态势, 本文仅就 2017 年和 2018 年国外锂矿勘探的进展情况及动向做一些简单介绍, 重点概述非洲、澳洲、北美洲、欧洲等地伟晶岩型锂矿勘探的新进展, 区域上以非洲和西澳为热点, 类型上以卤水型和沉积型锂矿的相关进展最为突出。通过借鉴国外锂矿勘探项目的新进展和新趋势, 认为国内应增强安全意识, 加强勘探投入工作, 努力提高关键矿产资源的自我保障能力; 摸清国内关键矿产资源家底, 加强各类型锂矿的基础研究, 以伟晶岩型锂矿勘查为主导, 兼顾花岗岩型锂矿的调查, 查明卤水型锂矿和沉积型锂矿的赋存状态; 加速国内优势资源的转化, 建立完整产业链; 在海外投资勘查时宜加强研究, 优选项目, 通过合作等多种方式降低风险。

关键词: 锂矿; 伟晶岩型; 卤水型; 沉积型; 勘探进展

锂是最轻的金属, 具有很强的化学活动性。锂铝合金具密度低、抗腐力强、弹性模量大和耐疲劳等特点, 成为航空航天工业的重要结构材料。锂及锂化合物在冶金、轻工、石油、化工、电子、橡胶、玻璃、陶瓷及医疗等传统工业领域广泛运用, 是 21 世纪能源和轻质合金的理想材料, 被称为推动世界前进的重要资源(Zou Tianren and Li Qingchang, 2006)。在倡导可持续发展的理念下, 锂电池、新能源动力汽车等新能源领域对于锂的需求开始改变和重塑人们对锂矿的认识, 锂资源开发利用也被列入到中国“十三五”国家战略规划中(Wang Denghong et al., 2016)。近年来, 在全球大宗矿产市场相对低靡的情况下, 战略性新兴产业领域(如新能源)蓬勃发展, 越来越多的投资者希望占据这类矿产尤其是锂矿的市场份额。国内外“淘锂热”盛况, 进入“锂矿找矿年”, 期间找矿空前。纵观全球, 在 2016 年开始, 全球锂矿勘探持续活跃进展已经撰文介绍(Liu Lijun et

al., 2017)。2017 年以来, 全球锂矿的找矿热度不减, 勘探成果在几大热点区均有突破。因此, 了解国外锂矿勘探项目的进展, 把握前沿勘探动向, 不仅对于国内的投资者具有参考意义, 对我国稀有金属尤其是新类型锂矿的勘查也具有重要的借鉴意义。

1 世界锂资源新变化

2017 年和 2018 年世界范围内锂矿的勘探活动异常强烈, 全球查明的锂矿资源量显著增长, 几大主要锂生产国的储量增长明显。由于锂电池的应用领域不断拓展, 2017 年全球锂产量(不包括美国)为 69000 t, 2018 年增加 23% 至 85000 t。此前, 2017 年全球锂产量较 2016 年增长 74%, 主要原因是澳大利亚锂辉石产量增加了近三倍, 其中包括出口到中国的锂精矿超过 11000 t(USGS, 2019)。2017 年全球锂的消费量为 37700 t, 而 2018 年约为 47600 t, 增量超过 20%。全球锂产能估计为每年 91000 t。

注: 本文为国家重点研发计划重点专项“我国锂能源金属成矿规律、靶区优选与重点查证”课题(编号 2017YFC0602701); 中国地质调查局地质大调查项目“大宗急缺矿产和战略性新兴产业矿产调查”工程“松潘-甘孜成锂带锂铍多金属大型资源基地综合调查评价”项目(编号 DD20190173); 中国地质调查局中国矿产地质志项目(编号 DD20160346、DD20190379)资助成果。

收稿日期: 2019-04-28; 改回日期: 2019-05-00; 网络发表日期: 2019-06-03; 责任编辑: 周健。

作者简介: 刘丽君, 女, 1991 年生。博士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: liulijun@mails@163.com。通讯作者: 王登红, 男, 1967 年生。研究员, 博士生导师, 主要从事矿产资源研究。Email: wangdenghong@vip.sina.com。

引用本文: 刘丽君, 王登红, 高娟琴, 于汎, 王伟. 2019. 国外锂矿找矿的新突破(2017~2018 年)及对我国关键矿产勘查的启示. 地质学报, 93(6): 1479~1488, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019087.
Liu Lijun, Wang Denghong, Gao Juanqin, Yu Feng, Wang Wei. 2019. Breakthroughs of lithium exploration progress (2017~2018) and its significance to China's strategic key mineral exploration. Acta Geologica Sinica, 93(6): 1479~1488.

Industrial Minerals 公司报告称,2017 年美国电池级碳酸锂年平均价格为 15000 美元/t,与 2016 年同比增长 73.4%;2018 年美国碳酸锂年平均价格继续上涨,为 17300 美元/t。由于全球锂产量超过全球锂消耗量,中国现货碳酸锂价格从 2018 年初的 21000 美元/t 下降至第三季度的 12000 美元/t。价格的下跌,意味着锂市场开始走向饱和。

在 2013 年~2018 年间,世界主要锂矿国家查明的锂资源量从 2016 年开始呈现增长趋势(表 1)。2017 年和 2018 年世界锂矿探勘活动的持续进行促进全球锂矿资源量的不断增加,其中阿根廷和澳大利亚这两大锂矿生产国的资源量增长最显著,阿根廷的查明资源量从 2017 年的 980 万 t 增长至 2018 年的 1480 万 t,增量为 51%;澳大利亚从 2016 年的 200 万 t 增长至 2017 年的 500 万 t,再到 2018 年的 770 万 t。墨西哥得益于粘土型锂矿的勘探,其锂矿查明资源量从 2017 年的 18 万 t 大幅度增长至 2018 年的 170 万 t。此外,欧洲各国也在进行锂矿的勘探,如捷克、葡萄牙、西班牙、德国、芬兰等不断有资源量的突破,逐渐挤进世界锂矿资源大国行列,而中

表 1 2013~2018 年世界各国查明锂矿资源量统计表
(锂金属量:万 t)

Table 1 Statistics of lithium mine resources in the world from 2013 to 2018 (lithium metal: 10,000 tons)

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018
美国	550	550	670	690	680	680
玻利维亚	900	900	900	900	900	900
智利	750	750	750	750	840	850
阿根廷	650	650	650	900	980	1480
中国	540	540	510	700	700	450
澳大利亚	170	170	170	200	500	770
加拿大	100	100	100	200	190	200
刚果(金沙萨)	100	100	100	100	100	100
俄罗斯	100	100	100	100	100	100
塞尔维亚	100	100	100	100	100	100
巴西	18	18	18	20	18	18
墨西哥	—	—	18	20	18	170
奥地利	—	—	13	10	5	7.5
津巴布韦	—	—	—	10	50	54
捷克	—	—	—	—	84	130
西班牙	—	—	—	—	40	40
葡萄牙	—	—	—	—	10	13
马里	—	—	—	—	20	40
德国	—	—	—	—	—	18
秘鲁	—	—	—	—	—	13
芬兰	—	—	—	—	—	4
哈萨克斯坦	—	—	—	—	—	4
纳米比亚	—	—	—	—	—	0.9
世界探明锂资源总量	3978	3978	4099	4700	5335	6142.4

注:数据来源,USGS MCS 2014~2019;—当年无记录。

国的占位越来越靠后(图 1)。

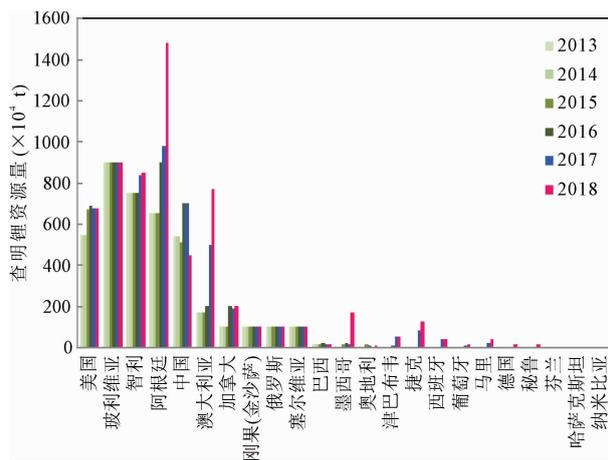


图 1 2013~2018 年各国查明锂资源量统计图

Fig. 1 Statistics of identified lithium resources by countries from 2013 to 2018

2 全球锂资源分布

随着近年来锂矿探勘项目的增加,全球范围内各类型锂矿分布较广,从世界锂矿勘探的分布范围来看,沉积型锂矿的勘探在全球范围内取得突破,但是主要集中在北美洲的西海岸;从数量上占据主导地位的还是伟晶岩型锂矿,且主要集中在非洲和西澳地区(图 2)。伟晶岩型锂矿在全球各个重要的成矿区带内也都不同程度地发育,其中最大的特点是:既可以出现在稳定地台区,也可以出现在活动性很强的造山带(Yuan Zhongxin et al., 2016; Wang Denghong et al., 2017),其中跟大型超大型伟晶岩型锂矿床有关的主要区带有:

(1)泛非地台成矿带。成矿带从乌干达的西南部开始呈北北东—南南西向经卢旺达、布隆迪、扎伊尔进入安哥拉,大致相当于该区元古宙基巴里德褶皱带—泛非地台的位置。带内主要产出含稀有金属的花岗伟晶岩,如,扎伊尔的基托洛(Kitotolo)和曼诺诺(Manono)盛产锂辉石。

(2)津巴布韦-南非成矿带。该带位于非洲最古老岩石分布的构造单元——南非-津巴布韦太古宙地盾内。津巴布韦比基塔花岗伟晶岩曾经是世界三大含锂伟晶岩矿床之一。

(3)西欧海西褶皱系成矿区。该区包括法国中部与德国西部,法国中部的中央高原有海西期含锂、铍、钽的花岗岩产出。

(4)西澳大利亚皮尔巴拉-卡尔古里成矿区。该区属西澳地台的一部分,主要产出铍钽铁矿、锂辉

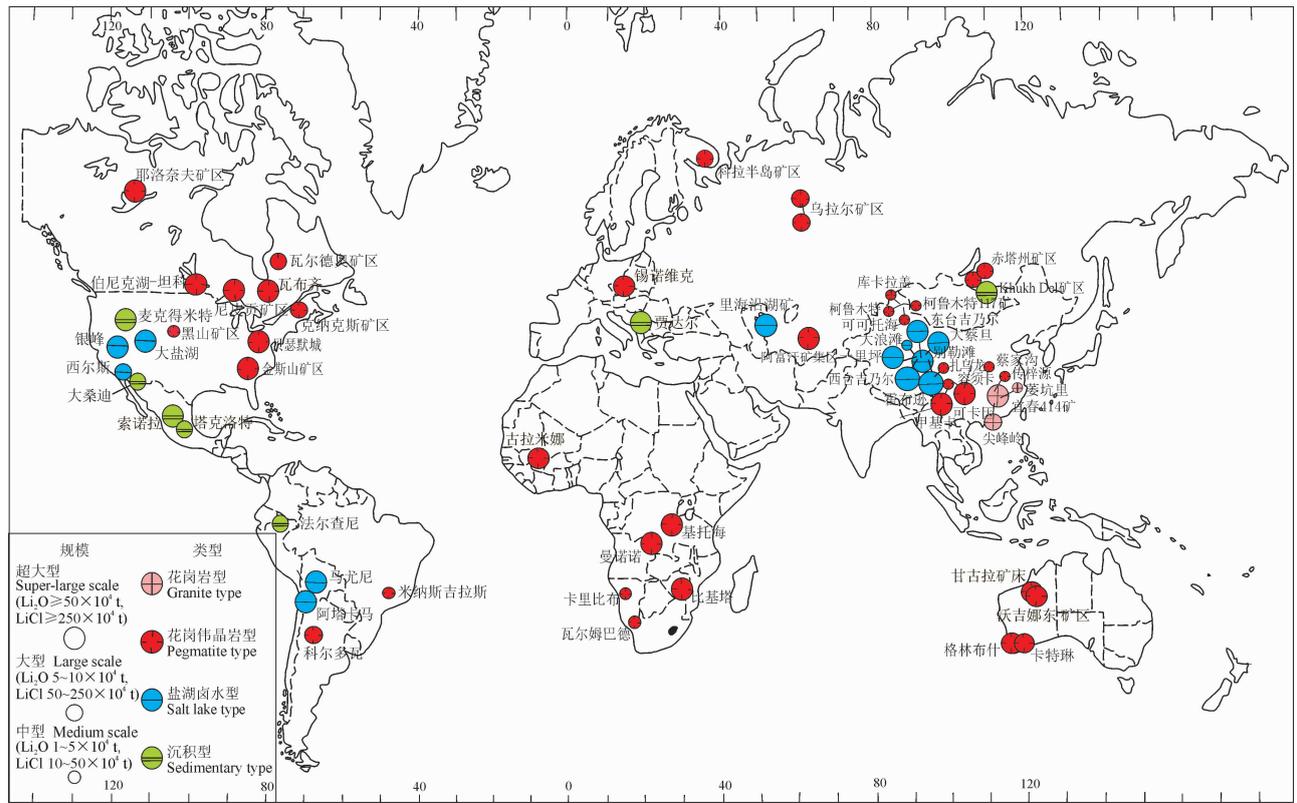


图 2 全球主要锂矿分布简图(底图据李建康等,2014 新增)

Fig. 2 Distribution of major lithium deposits in the world (after Li Jiankang et al., 2014)

石、锡石花岗伟晶岩及其砂矿。重要的岩脉有格林布什伟晶岩,形成于前寒武纪。

(5)加拿大地盾奴河成矿区。位于加拿大地盾西部,有锂辉石伟晶岩、绿柱石-铌钽铁矿花岗伟晶岩产出。

(6)加拿大地盾温尼伯-尼皮贡湖成矿区。产出有世界最大的花岗伟晶岩矿床之一——伯里克湖伟晶岩型矿床,以铌、钽、锂矿化特富而知名。

(7)美国阿巴拉契亚褶皱带北卡罗来纳成矿带。在阿巴拉契亚褶皱带,沿北东方向断续有花岗伟晶岩出露。其南段,即北卡罗来纳成矿带内以锡石锂辉石伟晶岩为主。

(8)南美北圭亚那地盾成矿带。成矿带位于南美北部,沿大西洋海岸呈东西向延展。伟晶岩产绿柱石、锂辉石及铌钽铁矿。

(9)中亚兴都库什成矿带。阿富汗境内的伟晶岩型锂矿,主要位于其东北部的兴都库什山脉,除了锂,该地区伟晶岩还富集钽、铌、铍、锡和铯。部分伟晶岩还开采出宝石级电气石、紫锂辉石、绿宝石等。

3 全球锂矿资源勘探进展

虽然全球范围内锂矿勘探如火如荼,伟晶岩型、

卤水型、沉积型锂矿都有新进展,但从项目数量上看仍以伟晶岩型居多,沉积型锂矿则是新动向,取得重大进展的热点区还是以非洲和西澳为主,与 2016~2017 年间的格局类似(Wang Denghong et al., 2016;Liu Lijun et al., 2017)。

3.1 伟晶岩型锂矿

3.1.1 非洲

非洲的地质工作程度低,但成矿条件好,尤其是稳定地台(地盾)区在经历了裂谷化构造演化之后,伴随碱性岩浆作用、碳酸岩浆作用、伟晶岩浆作用等特殊地质作用可形成多种多样的稀有金属矿床,如泛非地台上北卢古鲁伟晶岩田的曼诺诺和基托洛(Manono-Kitotolo)曾经盛产锂辉石,是著名的锂辉石成矿带(Yuan Zhongxin et al., 2016)。

通过传统的就矿找矿方式,在老点上求得新突破,或者在空白区通过物化探等信息的综合研究发现新点,是国内外找矿勘探取得突破的基本途径。近两年,非洲曼诺诺项目的巨大成功再次诠释了“就矿找矿”的现实意义。

曼诺诺锂项目(Manono Lithium Project)无疑是 2018 年最受矿业界关注的锂矿勘探项目之一(也被音译为马诺诺、曼努努)。该项目位于非洲刚果

(金)坦噶尼喀省首都卢本巴希以北 500km 处。虽然在刚果(金)投资矿业存在政局不稳、社会动荡、基础设施差、运输距离远等诸多不利因素,但该国伟晶岩规模之巨大,仍然吸引着全球眼光,让业界惊叹不已。该项目初步勘探查明矿脉的厚度在 300m 以上,矿石品位稳定而连续(Li_2O 品位在 1.5%±)。单就地质资源而言,曼诺诺无疑是目前世界上最大的硬岩型锂辉石矿床。曼诺诺锂项目的勘探主体是罗氏德拉(Roche Dure)矿脉,其长度约 1600m。从 2018 年 2 月开始,该项目第一阶段的 20000m 钻探就取得开门红,首个钻孔 MO18DD001(MO18)总进尺 380m,从 62m 处开始见矿,锂辉石伟晶岩的视厚度达 295.05m。该项目 8 月份公布的资源量为 2.599 亿 t 矿石;到 11 月底,AVZ 公司就完成了曼努努锂矿项目的升级,矿石资源量增加至 4.004 亿 t, Li_2O 品位达 1.66%,相当于含有 Li_2O 664 万 t。另外还有锡 30 万 t(品位 750×10^{-6}),钽 13200t(品位 33×10^{-6})。 Fe_2O_3 的平均含量仅为 0.99%,低于澳交所上市的其他硬岩型锂矿。

几乎同时,在非洲刚果民主共和国(刚果)东南的坦噶尼喀省也在开展“卡努卡锂项目”(Kanuka Lithium Project)和“基托洛锂矿项目”(Kitotolo Lithium Project)的钻探工作。卡努卡主矿区和新发现的卡洛万萨姆勘探区也发现大量平行产出的伟晶岩。该项目最初的钻孔数仅设计 50 个,包括总进尺 3000m 的 RC 钻探和随后 1000m 的金刚石钻探。初期勘探和钻探计划针对的是已知的伟晶岩脉,包括地表裸露或有矿业活动记录的矿点。基托洛锂矿项目的第一个钻孔位于第一阶段勘探计划中发现的未风化伟晶岩区。同时,此次钻探目的也是为了确认近地表锂矿化的深部延伸情况。据悉,发现的近地表矿化沿走向分布长度超过 1000m。

另外,波米恩(BGS)项目勘探取得重大收获,其中的古拉米娜锂项目资源量翻倍。2018 年 4 月更新后的数据显示古拉米娜资源量为 6500 万 t, Li_2O 的品位为 1.43%, Li_2O 总量为 93.1 万 t。其中查明资源量为 4370 万 t, Li_2O 品位为 1.48%(共含氧化锂 64.5 万 t)。

3.1.2 澳洲

澳洲伟晶岩型锂矿的勘探历史悠久,近年来更是以点带面,形成区域性找矿热,并在西澳的东皮尔巴拉地区很快形成了锂资源勘探基地。两个新锂辉石矿的开采使澳大利亚 2017 年总产量增加约 34%(USGS,2018),并全面提高了精矿产量。2018 年整

个西澳的伟晶岩型锂矿勘探及项目建设开展得如火如荼,主要分布于西澳、昆士兰州和北领地。

(1)皮尔甘谷拉(Pilgangoora)锂-钽矿:位于西澳大利亚北部皮尔巴拉地区,资源量达到 2.13 亿 t,巩固了其全球锂资源的优势地位。与 2017 年 1 月 25 日宣布的资源量相比,2018 年 5 月更新后的矿产资源占总资源量的 36%,总计 2.13 亿 t 矿石量,其中 Li_2O 品位 1.32%, Ta_2O_5 品位 116×10^{-6} ,即含有 Li_2O 约 281 万 t, Ta_2O_5 约 2.47 万 t。已完成超过 150km 的 RC 和金刚石钻探。皮尔甘谷拉矿床明确拥有足够大的资源量以支持未来几十年世界级的、可扩展的、低成本的采矿作业。其生产的第一批精粉产品,经第三方实验室化验确认最终规格为氧化锂含量 6.256%,氧化铁含量 0.724%,产品质量优异。皮尔巴拉矿业公司从第一个钻孔开始,历时 4 年,于 2018 年 10 月开始正式在西澳北部黑德兰港装船出口,包括向中国出口锂精矿。至此,皮尔巴拉矿业也华丽转身,成为世界级的锂原材料供应商。另外还有别的矿业公司也在皮尔甘谷拉持续探矿,在 20km 长的锂矿化带范围内设立了众多的伟晶岩探矿项目,如玛丽娜、特巴特巴(Tabba Tabba)和莫丽拉(Moolyella)。其中,沙亚娜矿业公司(Sayona Mining Limited, ASX: SYA)的玛丽娜项目,计划通过 20 个 RC 钻孔 2500m 的钻探,查明长约 1400m 的伟晶岩脉的矿化情况。此前该地区地表岩屑样的化验结果显示 Li_2O 品位达到 4.6%。

(2)王坳(King Col)锂矿:位于皮尔甘谷拉和伍德杰娜(Wodgina)富锂辉石矿山的附近。2018 年 3 月,德格瑞矿业有限公司(De Grey Mining Limited)公布此前的 RC 钻探加快推进,根据详尽的岩石学研究、钻孔和化验数据确定王坳(King Col)土壤样采集区存在锂辉石,并扩大了锂异常的范围。其中,钻孔 KRC012 在 13m 处见矿 17m, Li_2O 品位 2.55%。锂辉石是最主要的锂矿物,但也存在透锂长石、锂云母和其他含锂矿物。此外,钻孔样品化验结果显示,KRC011 在 25m 处见矿 1m, Cs_2O 品位达 8.63%。土壤化探的结果大大拓展了异常区域并确定了第二条异常带,即:王坳主区域从 2 km 延伸到了 4.8 km,同时确定东南部存在新的 3km 长的异常区。勘查工作还在进行。

(3)凯萨琳谷锂矿项目(Kathleen Valley Lithium Project):位于西澳珀斯东北方向 680km 处。2018 年 5~7 月,共完成 38 个 RC 钻,9 个金刚石钻,RC 钻总进尺 5132m,金刚石钻总进尺

1610.1m。钻探结果证明了其作为硬岩锂矿的巨大潜力,高品位矿化继续延伸,矿体尚未封闭。用于选矿试验的 9 个金刚石钻孔的初步测试结果显示, KVDD0002 在 59.3m 见矿 16.7m, Li_2O 品位 1.6%, 其中 63m 见矿 3m, Li_2O 品位 2.2%; 68m 处见矿 6m, Li_2O 品位 2.3%。凯萨琳谷角和曼山矿山的初始资源量达 2120 万 t, Li_2O 品位为 1.4%, Ta_2O_5 品位 170×10^{-6} , Li_2O 边界品位取 0.5%。其中 75% 的资源为推断级。大部分矿化均近地表,属新鲜矿石,基岩是含锂辉石的伟晶岩。

(4) 芭蒂娜锂矿项目 (Buldanina Lithium Project): 位于西澳大利亚州南部的诺斯曼 (Norseman) 东北 30km 处, 距离珀斯以东约 600km。交通运输等基础设施较完备, 包括为矿产出口服务的铁路线全长达 200km, 一直延伸至埃斯佩兰斯港。该项目 2017 年被朗泰资源公司 (Liontown Resources Limited ASX: LTR) 收购, 共完成 99 个钻孔, 总进尺 11557.5m。钻探结果将矿化范围向东南方向延长了至少 200m, 证明矿化长度超 850m。此次钻探最好的见矿结果包括在安娜勘探区 (Anna Prospect) 见矿 39m, Li_2O 品位 1.6%。矿化走向延长至 850m, 最长可达 1300m。其中有 200m 长的矿化范围已经确定, 另有 500m 长的矿化带中可以肉眼看到锂辉石。

(5) 格兰茨锂矿床 (Grants Lithium Deposits): 位于西澳北领地达尔文附近, 属于伟晶岩型锂辉石矿床, 是科尔勘探 (CXO) 公司全资持有的芬尼斯锂矿项目 (Finniss Lithium Project) 的关键部分。据 2018 年 7 月公布的信息, 该矿床在钻探过程中发现了非常宽的高品位矿体。新一轮钻探在原有矿化基础上, 将矿体在走向上的长度延伸了 73m, 新探明矿体的 Li_2O 平均品位超过 1.5%, 见矿宽度最高达 22m, 氧化锂品位超过 2%。芬尼斯锂矿项目预计年产量为 100 万 t, 勘探工作还在继续往深部进行, 以扩大资源量。此外, 格兰茨锂矿床 (Grants Lithium Deposits) 的第二轮 RC/金刚石钻探进展良好。同时公司也开始了桑德拉斯勘探区 (Sandra's prospect) 的 RC 钻探工作。另外, 选矿工作也在 2018 年 8 月取得新进展, 相比 2017 年有实质性提高, 使用简单的重力分选就可以生产出 5.5% 的锂精矿, 回收率可以提升至 79%。

(6) 博得山 (Bald Hill) 锂-钽矿项目: 位于西澳东部金田 (Eastern Goldfields), 是 2016 年以来澳洲第一座开始生产锂辉石的矿山。目前, 以 0.5% 的

Li_2O 作为边界品位, 资源量共计达 1890 万 t, Li_2O 品位为 1.18%, Ta_2O_5 品位为 149×10^{-6} ; 以 0.3% 为边界品位, 博得山探明锂-钽矿品位 1.0% 以上的矿石资源量达 2650 万 t。推断的锂资源 1440 万 t, Li_2O 品位 1.02%。比 2017 年 10 月 1 日的资源量增加了 55%。该矿山于 2018 年 8 月初正式实现了商业生产。

(7) 尤安尼锂云母项目 (Youanmi Lepidolite Project): 属于少见的以锂云母为主的勘探项目, 位于西澳默奇森区 (Murchison District), 在珀斯东北大约 570km 处。尤安尼区域有一个含锂云母伟晶岩的成矿带, 勘探区 (E57/983) 走向长达 4 km。早期填图和岩屑采样工作确认该区有锂云母伟晶岩矿化的线索。岩屑化验结果显示, 锂云母含量范围在 5% 到 35%, 相当于 0.25% 至 1.7% 的 Li_2O 。在勘探区 (E57/983) 北半部的三个靶区, 钻探确认了多个锂云母伟晶岩。在 1 号靶区 (首个勘探靶体), 在超过 250m 的走向范围内, 伟晶岩厚度 4~5m; 在 2 号靶区, 有 9m 的伟晶岩见矿, 锂云母含量约 20%。该钻探项目共计包含 38 个 RC 钻孔, 总进尺 936m。最好的矿化结果是见有 5m 的锂矿化, Li_2O 品位为 1.30%。

(8) 多夏普岩脉群 (Dorchap Dyke Swarm) 锂矿: 在澳大利亚维多利亚东部, 达特矿业公司 (Dart Mining, ASX:DTM) 对广泛分布的多夏普岩脉群 (Dorchap Dyke Swarm) 进行了战略性勘探, 以锂为主, 兼顾锡和钽。该岩脉群由成千上万条不同规模的岩脉组成, 从格伦威尔斯 (Glen Wills) 延伸到艾斯克戴尔北部 (North of Eskdale)。其中的许多岩脉可能具有锂矿化, 个别样品的 Li_2O 含量为 0.20%、0.88%、1.04%、2.37%。

3.1.3 北美洲

3.1.3.1 加拿大

加拿大是一个对伟晶岩型稀有金属具有悠久研究历史、研究程度较高的国家, 而且矿业资本市场一直很活跃, 近年来锂矿勘探也有很好的进展。前两年进展较大, 更多的关注点在加拿大魁北克省的瓦布齐 (Whabouchi) 锂矿床和奥捷 (Authier) 锂矿床, 但这两年勘探重点转移到了魁北克的塔斯尼姆锂项目和安大略的西摩湖。

塔斯尼姆锂项目 (Tansim Lithium Project) 位于加拿大魁北克奥捷锂矿项目西南 82km 处。包括 65 个约 12000 公顷的探矿权, 具有锂、钽和铍的找矿前景。正在勘探 2 处伟晶岩靶区: ① 维奥达莱尔

(Viau Dallaire)伟晶岩脉。长 300m,向北倾斜 40° ,厚度达 12~20m。根据 3 处槽探揭露,有 10.3m 的 Li_2O 见矿品位达 1.40%,11.15m 的 Li_2O 见矿品位达 0.84%,18.95m 的 Li_2O 见矿品位达 0.94% (其中有 7.3m 的 Li_2O 见矿品位达 1.77%),14 个选择性取样化验结果显示 Li_2O 的含量范围为 0.96%至 2.47%。② 维奥(Viau)伟晶岩靶区。根据填图结果,伟晶岩长达 200m,宽约 30m。两个不相邻的槽探样品显示氧化锂品位至高为 2.77%和 1.37%,4 个选择性取样化验结果显示 Li_2O 的含量范围为 0.22%~4.5%。高品位锂含量的出现都与钠长石-锂辉石伟晶岩和粗晶锂辉石晶体(长达 30cm)有关。铁含量平均为 0.63%。

加拿大安大略省西摩湖锂矿(Seymour Lake Lithium Project)项目的金刚石钻探进展顺利,前 7 个钻孔均发现了锂辉石矿化,资源量还有增加的潜力。另外,位于魁北克省詹姆斯湾(James Bay)的锂项目也取得了勘探进展,在坎斯特(Cancet)发现了矿化极好的锂辉石伟晶岩,化验结果显示含 Li_2O 分别 1.33%和 1.32%;而且,有勘探潜力的伟晶岩走向已经被延长至 6km,勘探区范围扩大了 60%,总面积超过 2 万公顷。

3.1.3.2 美国

美国北卡罗来纳州的卡罗来纳锡-锂辉石带(Carolina Tin-Spodumene Belt)是世界级伟晶岩型锂成矿带,2018 年以来持续发现高品位矿化。2018 年 8 月,皮埃蒙特锂业公司(Piedmont Lithium Limited, ASX:PLL)完成第三阶段钻探,共 124 个钻孔,总进尺 21360m。公司在 2018 年 6 月 14 日公布的矿石资源量为 1620 万 t, Li_2O 品位为 1.12%。新完成的钻孔大部分位于原资源量边界之外,意味着其资源量将进一步扩大。卡罗来纳锡-锂辉石成矿带也发现新的勘探靶区,初步的取样和填图发现两处裸露的大面积的含锂辉石伟晶岩,捡块样化验见高品位的锂矿化, Li_2O 含量达 3.47%、2.82%、2.10%和 1.99%。

3.1.4 欧洲

(1)德国齐诺韦茨锂-锡项目(Zinnwald):该项目位于一个兴建中的锂电和能源产品市场附近,距离德国东南部德累斯顿约 35km,毗邻捷克边界。在技术层面,2018 年 9 月欧洲金属(EMH)更新了重大进展,在德国最近完成了实验室规模级的焙烧和水浸试验,通过模拟确认了从齐诺韦茨矿石生产氢氧化锂的经济可行性,即从焙烧和水浸出步骤中

直接沉淀出电池级氢氧化锂,氢氧化锂浸出回收率达 94~95%。

(2)瑞典:2017 年 3 月前,瑞典完成了极少量但具有历史性意义的锂矿探索工作。主要研究项目为 Bergby Lithium 项目,Leading Edge Materials 公司设计了 25 个钻孔,包括浅钻和深钻。浅钻用于查明冰盖土壤的覆盖情况,深钻将评估锂矿化伟晶岩的分布范围。该公司从三个露头区域采集了 15 件样品, Li_2O 平均品位为 1.71% (0.01%~4.65%), Ta_2O_5 平均含量为 133×10^{-6} ($16 \times 10^{-6} \sim 803 \times 10^{-6}$)。由此可见该区具有锂、钽找矿的前景。

(3)葡萄牙:葡萄牙 Alvarrões 矿区面积约 64 公顷,出露有大量的含锂伟晶岩。位于葡萄牙东北部伊比利亚中部地区的 Seixo Amarelo-Gonçalo (SAG)稀有金属伟晶岩区,主要锂矿物为锂云母。已知的 SAG 伟晶岩脉平均厚度达 3.5m。造岩矿物为石英、长石和白云母,含有不同数量的 Li、Be、Nb、Ta 和 Sn 的矿物,具细晶-伟晶结构。

(4)奥地利:沃尔夫斯堡锂矿项目(Wolfsberg Lithium Project)的地表钻探也在不断刷新记录。2018 年第一季度在 2 号区完成 5 个钻孔,见到了多层伟晶岩,伟晶岩矿化的厚度和品位与 1 号区类似。其中, P15-3 号钻孔见矿 7.05m, Li_2O 最高为 1.9%; P15-7 号钻孔见矿 3.36m, Li_2O 最高为 1.36%; P15-8 号钻孔见矿 1.75m, Li_2O 最高为 1.63%; Z2-5b 号钻孔见矿 2.16m, Li_2O 最高为 2.49%。

3.2 卤水型锂矿

常见的锂矿资源赋存于伟晶岩和盐湖卤水中,但这几年全球的锂矿勘探除了定位于传统类型外,还在不断寻找新类型。如,卤水型锂矿从地表转向地下,从盐湖转向温泉和油田。

3.2.1 盐湖型

卤水锂矿最为活跃的勘探活动集中于南美洲的“锂三角”,即阿根廷、智利和玻利维亚。

阿根廷的考查理锂矿项目(Cauchari Lithium Brine Project),作为阿根廷目前正在勘探活动的卤水锂矿项目,在 2018 年 8 月的物探工作中发现了高品位卤水锂矿地层。邻区钻探结果显示,锂含量最高达 600mg/L,流速达 470mg/L。雷克资源公司预期高品位含锂卤水将延伸至公司的矿权中,并且根据地震波数据解释结果,含卤水的沉积物预计延伸至 300~400 m 的深度。

阿根廷的林康锂矿项目(Rincon Lithium

Project),位于萨尔塔省(Salta Province, Argentina)的“锂三角”。据近期 8 个钻孔的评价结果,林康锂项目卤水层含有电池级碳酸锂(LCE)约 20.8 万 t。锂加权平均浓度在 324~369mg/L 之间,最高品位达 369mg/L。

作为北美唯一在产的卤水锂矿区——美国的克莱顿山谷卤水锂矿,也在开展找矿工作。2018 年 4 月,芦苇湖股份有限公司(Reedy Lagoon Corporation Limited, ASX:RLC)在该区开始“南大黑烟”(Big Smoky South)卤水锂矿项目的钻探,并且进一步针对地表以下 600m 至超过 850m 深度的高导电区域进行卤水资源评价。

在美国内华达州,锂矿勘探区位于福特坎迪(Fort Cady project)附近,设有盐井北部和南部两个勘探项目。2018 年 4 月 18 日得到的地表样品化验结果显示,锂品位高达 810×10^{-6} ,而硼含量超过 1%(超过 5.2%的硼酸当量)。历史上,从盐井南部项目所在的地表盐中曾生产过硼酸盐。另外,内华达州的鱼湖谷项目从 2016 年开始早期勘探,截止 2018 年 7 月,该区完成 200 个浅钻,Li 含量高达 300×10^{-6} ;在表面的 playa 沉积物中采样,Li 含量超过 1000×10^{-6} (地调舆情,2018 年第 24 期)。

3.2.2 温泉型

目前以勘探温泉型锂矿项目为主的是英国康沃尔的地下温泉卤水锂矿项目,而康沃尔地区是世界著名的锡产区。自 Cornish Lithium 矿业公司成立以来,一方面从 2017 年开始投资勘探,重点致力于在康沃尔花岗岩内部和周围自然形成的地下温泉中探索锂的找矿前景,以探索英国锂工业的潜力;另一方面是创建一个新型高科技环保型采矿业,成为英国和欧洲锂工业的重要参与者。一旦商业开发取得成功,英国期望在未来对于锂的需求不再依赖进口。这对于英国来说具有重大战略意义。

伦敦国王学院的米勒教授于 1864 年首次在温泉中发现锂,他指出在温泉中出现“如此大量的锂”可能具有商业意义。150 年前的锂几乎没有用,也没有商业提取方法。但这仍然引起人们的极大兴趣,并在几个矿山中进行取样和监测,直到 1998 年 South Crofty 锡矿关闭为止。后来技术人员在重新开采 South Crofty 锡矿的同时,利用技术手段也掌握了矿井中锡、铜、锌、锂的埋藏深度,而且测定了地下温泉卤水中的锂含量,认为具有相当的潜力。Cornish Lithium 矿业公司勘探的主要目标就是英国康沃尔地下温泉卤水中的锂,并认为来自附近沉

积盆地的高浓度卤水与康沃尔花岗岩发生水岩反应,使得温泉卤水含有高含量的锂(达 120×10^{-6})。勘查区还涉及康沃尔郡 Camborne、Redruth 和 St Day 的大片地区,这些都可能是地下温泉卤水的潜在区域。

3.2.3 油田卤水型

2017 年 2 月,MGX Minerals 已经收购美国犹他州 Paradox 盆地的里斯本谷石油锂矿项目。该油田是 1960 年由 Pure 石油公司首次发现的,位于犹他州莫阿布东南约 40 英里处,圣胡安县 Paradox 盆地西南边缘的盐背斜带。MGX 董事长 Marc Bruner 表示在 Paradox 盆地的收购是战略性的举措,使得 MGX 作为美国油田型卤水锂矿的主要参与者。这个项目包括 888 个砂矿,涉及的锂卤水矿权涵盖了里斯本谷油气田大部分的地区,历史上报道的锂盐含量高达 730×10^{-6} 。MGX 和工程合作伙伴 PurLucid Treatment Solutions 已经从油砂废水中提取锂。MGX 公司的技术结合了 PurLucid 的专利水净化技术,可去除溶解和乳化油、胶体和重金属等微粒和溶解物质。该公司在其下 Sturgeon Lake 的油井生产废水中提取出了碳酸锂。

3.3 沉积型锂矿

目前已发现的沉积型锂矿床主要分布在北美洲,少数分布在南美洲和欧洲,我国尚没有独立开发利用的沉积型锂矿,多数与铝土矿、煤伴生,尚未得到利用,矿石主要以凝灰岩和黏土矿为主。我国尚没有独立开发利用的沉积型锂矿,多数与铝土矿、煤伴生,尚未得到利用。伴生沉积型锂矿中锂的赋存状态直接关系到锂的提取,从伴生沉积型锂矿中提取锂,耗能高、投入高、产出低(Wang Tao et al., 2014)。传统锂矿中该类型占比小,但是自塞尔维亚贾达尔盆地以中新统湖相沉积岩中的凝灰岩为找矿标志(Zhao Yuanyi et al., 2015)发现超大型锂硼矿床以来,全球锂矿的勘探为之耳目一新,甚至茅塞顿开,大量沉积型锂矿项目得以开展,占比越来越大。

北美地区沉积型锂矿的勘探项目最多,主要集中在克莱顿(Clayton Valley)、大桑迪(Big Sandy)、布罗克里克(Burro Creek)、塔克帕斯(Thacker Pass)、索诺拉(Sonora)等地区(Yu Feng et al., 2019)。其中发展较快的是美国大桑迪锂项目(Big Sandy Lithium Project)。该项目位于美国亚利桑那州,为霍克斯通矿业有限公司(Hawkstone Mining Limited, ASX:HWK)所有。地表土壤化探结果显示,大桑迪一带存在数公里长的“绿泥”地层,

属于湖相沉积,现已出露地表,成为风化带。通过2017年的勘探,231个槽探样品的Li平均品位为 786×10^{-6} ,变化范围 $19 \times 10^{-6} \sim 2930 \times 10^{-6}$ 。美国锂业确定大桑迪项目资源量至少达30万t金属锂。

南美洲向来以盐湖型锂矿资源为优势矿产,且具有传统盐湖型“锂三角”区位优势,占据世界锂产量的主导地位,但近年来也取得了新类型锂矿的突破。其中,位于秘鲁南部普诺的法尔查尼(Falchani)锂矿就属于沉积型锂矿床,位于安第斯山脉,海拔4500m左右。锂元素主要富集在火山凝灰岩中,凝灰岩的上下层为火山角砾岩,火山角砾岩中也有较高含量的锂。该矿床从发现到首次探明资源量,历时9个月。含锂层位于地表以下约200m处,为高品位富锂凝灰岩,早期推定资源量为34.82Mt,品位为0.73%,相当于0.63Mt Li_2CO_3 当量;推测 Li_2O 资源量为70Mt,品位为0.59%,相当于1.76Mt Li_2CO_3 当量。选冶试验表明,可以用硫酸浸出电池级碳酸锂。这一新发现将使秘鲁跻身于世界锂生产的重要国家行列。

4 对于中国的启示

虽然从2011年起,中国地质调查局就率先设立了“全国三稀金属战略研究”、“我国三稀矿产调查研究”、“大宗急缺矿产和战略性新兴产业矿产调查”等项目和工程,引领了全国性三稀矿产调查研究的新高潮,在国际上也是走在前列的。但是,随之而来的整个地质勘查行业却正好处于“下滑”阶段,针对稀土、稀有和稀散金属的勘查项目日渐稀少,与国外对同类矿产的勘查热潮形成鲜明的反差。就锂矿而言,无论是伟晶岩型、盐湖卤水型、温泉卤水型、油田卤水型还是沉积型,国外勘探不断突破,个别企业在4年内就将矿石转化为精矿产品,迅速形成产业链,并向中国出口,占有中国市场份额。反观国内,一方面需求旺盛,成为世界第一大锂市场和第一大锂矿资源进口国;另一方面则是勘查工作举步维艰。

(1)树立关键矿产资源关乎国家安全的自我保障意识:中国是世界上最大的发展中国家,也是全球最大的市场,人口众多,且购买力日益增强。战略性新兴产业的发展,为中国实现伟大复兴的中国梦提供了新的契机。战略性新兴产业是引导未来经济社会发展的重要力量;发展战略性新兴产业已成为世界主要国家抢占新一轮经济和科技发展制高点的重大战略,而三稀矿产是与新兴产业发展密切相关的

战略性新兴产业;我国的三稀矿产资源以及由此而延伸出来的战略性关键矿产,绝大部分需要进口。遗憾的是,我国还没有形成“矿产资源的自我保障关乎国家安全”的共识,“开矿不如买矿”的声音不绝于耳。这是导致社会资金不愿意投入矿产资源勘查的重要原因。但是一旦国际形势发生变化,形成矿产壁垒,国内矿产资源才是关系国家安全最大的坚实保障。所以政策制定者应重视国内战略性矿产的资源勘查,制定相应保障措施,支持关键矿产资源的调查研究和勘探。连英国这样的老牌资本主义国家也重新开采锡矿并且想实现锂的自我保障,中国还有什么理由等待观望呢?

(2)摸清国内锂矿资源家底,加强勘查及基础研究工作:据美国地调局统计,我国到2018年的查明锂资源量仅占世界总量的7.33%(USGS,2019)。我国有必要提高认识,尽快摸清资源家底,为新兴产业的发展提供资源保障:一方面要梳理已有的家底资源,去掉不可利用和已消耗的资源量;另一方面要借鉴国外锂矿在这几年勘探工作中取得的新突破,尤其是要评价伟晶岩和盐湖之外新类型锂矿的资源潜力,扩展找矿途径,实现增储。国内的锂矿勘探进展自2011年以来主要在川西地区,新疆、华南等传统锂矿优势地区也有一定的进展,但与国外无法相比;勘查类型以伟晶岩型为主,盐湖型锂矿还停滞在提取技术上;新类型锂矿的典型研究鲜为人知,也鲜有找矿突破。另外,国内伟晶岩型锂矿的勘查重点都集中在锂辉石,应当同时重视并兼顾锂云母、透锂长石、磷铝锂石等锂的重要工业矿物。建议多类并举,多方兼顾,继续加强伟晶岩型稀有金属矿产的勘查,创新卤水型锂矿的提取技术或者提出颠覆性的技术路线,突破新类型锂矿的勘查禁区。从勘查方向角度来看,应当有层次性进行锂矿勘探,从开发利用的效率角度,应当以伟晶岩型锂矿为首要勘查对象,在川西、新疆等优势地区以“就矿找矿”的原则进行勘查,扩大资源储量。同时借鉴国际上已经开展的卤水型锂矿包括温泉卤水、油田卤水,以及沉积型锂矿的勘探经验,在国内全面开展此类非传统型锂矿的基础调查,查明锂的赋存状态,评估其可开发利用性能,为锂矿的资源保障提供可能。

(3)加速国内优势资源的转化,建立完整产业链:虽然中国锂矿资源较为丰富,但是加工技术相对落后,高端及高纯的电池级碳酸锂仍然依赖进口。尽管川西地区频传捷报,甲基卡、可尔因、金川等地探明有百万吨级的锂资源,但不同于国外企业的运

作模式,国内这些地区的优势资源都没有在短时间内转化成产业优势,既没有充分地开发利用、形成产业基地,甚至可能“开采之日即为亏本之时”,进而被国际市场彻底挤垮。因此,占据上游资源的企业,一方面要有针对性为下游提供产品,尽快进入市场;另一方面也要参与完整产业链的建设,保障新兴产业的可持续发展,以免一旦国外停止供货而导致整个新兴产业崩盘。

(4)选择海外优势项目进行市场投资合作:全球锂矿开发行业形成了明显的寡头垄断格局。智利化学矿业公司(SQM)、美国雅保、FMC公司、泰利森矿业、皮尔巴拉等少数企业锂矿产量占世界产量的80%以上。锂供应市场的进入壁垒越来越高。国内企业走出去,在海外单打独斗困难重重,最快捷有效的方法是在海外选择具有资源优势的、勘查阶段相对靠后的成熟项目,通过投资、并购等手段进行合作,占据上游优势资源,提高中国企业在锂矿等关键性矿产的国际话语权,以缓解国内锂矿资源的压力。

总体上,国内锂矿的勘探还是滞后于国际水平。在锂“作为21世纪的能源金属将深刻影响新能源格局”的大趋势下,锂矿的勘查将持续一段时间。国内应借鉴国外的成功经验,及时加大对优势矿种的找矿投入,加强对伟晶岩型、卤水型、沉积型锂矿的研究,加快国内大型锂矿资源基地的建设,为新兴产业的发展提供资源保障。

致谢:感谢三稀项目成立以来,王瑞江院长等领导对项目的支持和关心!感谢审稿专家和编辑老师对文章提出了宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心感谢!

References

- Li Jiankang, Liu Xifang, Wang Denghong. 2014. The metallogenetic regularity of lithium deposit in China. *Acta Geologica Sinica*, 8(12): 2208~2215 (in Chinese with English Abstract).
- Liu Lijun, Wang Denghong, Liu Xifang, Li Jiankang, Dai Hongzhang, Yan Weidong. 2017. The main types, distribution features and present situation of exploration and development for domestic and foreign lithium mine. *Geology in China*, 44(2): 263~278 (in Chinese with English abstract).
- U. S. Geological Survey. 2014. Mineral Commodity Summaries.
- U. S. Geological Survey. 2015. Mineral Commodity Summaries.
- U. S. Geological Survey. 2016. Mineral Commodity Summaries.
- U. S. Geological Survey. 2017. Mineral Commodity Summaries.
- U. S. Geological Survey. 2018. Mineral Commodity Summaries.
- U. S. Geological Survey. 2019. Mineral Commodity Summaries.
- Wang Denghong, Liu Lijun, Liu Xinxing, Zhao Zhi, He Hanhan. 2016. Main types and research trends of energy metallic resources in China. *Journal of Guilin University of Technology*, 36(1): 21~28 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Liu Lijun, Dai Hongzhang, Liu Shanbao, Hou Jianglong, Wu Xishun. 2017. Discussion on particularity and prospecting direction of large and super-large spodumene deposits. Editorial Committee of Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 42(12): 1~15 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Zhao Xiaodong, Li Junmin, Lü Tao. 2014. Distribution characteristics of lithium in Yinkuangyakou bauxite deposit, Chongqing. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 29(4): 541~545.
- Yu Feng, Wang Denghong, Yu Yang, Liu Zhu, Gao Juanqin, Zhong Jiaai, Qin Yan. 2019. Distribution and present status of exploration and development for domestic and foreign sedimentary-type lithium deposits. *Rock and Mineral Analysis*, DOI: 10. 15898/j. cnki. 11~2131/td. 201901180013 (in Chinese with English Abstract).
- Yuan Zhongxin, He Hanhan, Liu Lijun, Wang Denghong, Zhao Zhi. 2016. Foreign Rare Metal and Rare Earth Deposits. Beijing: China Science Press, 1~170 (in Chinese).
- Zhao Yuanyi, Fu Jiajun, Li Yun. 2015. Super large lithium and boron deposit in Jadar basin, Serbia. *Geological Review*, 61(1): 34~44 (in Chinese with English Abstract).
- Zou Tianren, Li Qichang. 2006. Rare Metal and Rare Earth Deposits in Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

参 考 文 献

- 李建康,刘喜方,王登红. 2014. 中国锂矿成矿规律概要. *地质学报*, 8(12): 2208~2215.
- 刘丽君,王登红,刘喜方,李建康,代鸿章,闫卫东. 2017. 国内外锂矿主要类型、分布特点及勘查开发现状. *中国地质*, 44(2): 263~278.
- 王登红,刘丽君,刘新星,赵芝,何哈哈. 2016. 我国能源金属矿产的主要类型及发展趋势探讨. *桂林理工大学学报*, 36(1): 21~28.
- 王登红,刘丽君,代鸿章,刘善宝,侯江龙,吴西顺. 2017. 试论国内外大型超大型锂辉石矿床的特殊性与找矿方向. *地球科学*, 42(12): 1~15.
- 王涛,赵晓东,李军敏,吕涛. 2014. 重庆银矿垭口铝土矿锂的分布特征. *地质找矿论丛*, 29(4): 541~545.
- 吴荣庆. 2017. 新能源材料锂:资源储量与供需形势分析. *国土资源情报*, (1): 4~9.
- 于泓,王登红,于扬,刘铸,高娟琴,仲佳爱,秦燕. 2019. 国内外主要沉积型锂矿分布及勘查开发现状. *岩矿测试*, DOI: 10. 15898/j. cnki. 11~2131/td. 201901180013.
- 袁忠信,何哈哈,刘丽君,王登红,赵芝. 2016. 国外稀有稀土矿床. 北京:中国科学出版社,1~170.
- 赵元艺,符家骏,李运. 2015. 塞尔维亚贾达尔盆地超大型锂硼矿床. *地质评论*, 61(1): 34~44.
- 邹天人,李庆昌. 2006. 中国新疆稀有及稀土金属矿床. 北京:地质出版社.

Breakthroughs of lithium exploration progress (2017~2018) and its significance to China's strategic key mineral exploration

LIU Lijun^{1,2)}, WANG Denghong^{*1)}, GAO Juanqin^{3,1)}, YU Feng^{3,1)}, WANG Wei²⁾

1) MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resource, CAGS, Beijing, 100037;

2) Institute of Geology and Mineral Resources, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu, 610084;

3) School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083

* Corresponding author: wangdenghong@vip.sina.com

Abstract

The exploration of lithium mines around the world has remained active. This article will provide some brief introductions on the progress and trends of lithium exploration in foreign countries in 2017 and 2018. It focuses on the new progress in the exploration of pegmatite-type lithium deposits in Africa, Australia, North America, Europe, etc. The region is dominated by Africa and Western Australia, and the related progress of brine type and new type of lithium mine is the most prominent. By drawing on the new progress and new trends of foreign lithium exploration projects, it is believed that the country should enhance safety awareness, strengthen investment in exploration work, and strive to improve the self-protection ability of key mineral resources. Find out the key domestic mineral resources, strengthen basic research work. Taking the exploration of pegmatite-type lithium ore as the leading factor, taking into account the investigation of granite-type lithium ore, and identifying the occurrence state of brine-type lithium ore and sedimentary lithium ore. Accelerate the transformation of domestic superior resources and establish a complete industrial chain. In overseas investment exploration, it is advisable to strengthen research, optimize projects, and reduce risks through various means such as cooperation.

Key words: lithium; pegmatite; brine; sedimentary; exploration progress