doi: 10.12029/gc20221130001

王秋舒, 李文, 陈其慎, 陈秀法, 张艳飞, 李玉洁. 2025. 非洲锂矿成矿特征与勘查开发现状[J]. 中国地质, 52(2): 482-494. Wang Qiushu, Li Wen, Chen Qishen, Chen Xiufa, Zhang Yanfei, Li Yujie. 2025. Metallogenic characteristics and exploration development status of lithium deposits in Africa[J]. Geology in China, 52(2): 482-494(in Chinese with English abstract).

非洲锂矿成矿特征与勘查开发现状

王秋舒1,李文2,陈其慎3,陈秀法1,张艳飞3,李玉洁4

 (1.中国地质调查局发展研究中心,北京100037;2.北京市地热调查研究所,北京100012;3.中国地质科学院矿产资源研究所, 北京100037;4.中国矿业联合会,北京100029)

摘要:【研究目的】在全球碳中和和绿色能源转型的大背景下,锂作为关键矿产已成为全球共识,非洲锂矿资源的 勘查开发逐渐引起了各国重视,本文分析非洲锂矿成矿特征与勘查开发潜力,为服务非洲锂产业国际合作提供参 考。【研究方法】本文通过跟踪研究非洲锂资源重大勘查发现和开发动态,综述非洲主要国家的锂资源成矿特征, 分析开发潜力,研判非洲锂产业发展前景。【研究结果】非洲已探明资源主要为 LCT 型伟晶岩矿床,分布在刚果 (金)、马里、津巴布韦、加纳和纳米比亚的富锂伟晶岩带中,具有资源量大、品位高、开发条件优越等特点,吸引了 多国矿业公司的投资。【结论】非洲锂矿勘查起步晚,开发进度缓慢,但资源禀赋良好,当前的优质资源已被各国 提前锁定,未来有望成为全球锂资源供应的新增长点。

关键 词:锂矿床;伟晶岩型;成矿特征;勘查开发;矿产勘查工程;非洲

创 新 点:(1)系统梳理了非洲锂矿成矿特征,划分了5个锂矿成矿带;(2)分析非洲锂矿勘查开发潜力,提出非洲 锂产业发展将成为下一轮锂产能扩张的新焦点。

中图分类号: P618.71 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2025)02-0482-13

Metallogenic characteristics and exploration development status of lithium deposits in Africa

WANG Qiushu¹, LI Wen², CHEN Qishen³, CHEN Xiufa¹, ZHANG Yanfei³, LI Yujie⁴

(1. Development Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. Beijing Geothermal Research Institute, Beijing 100012, China; 3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4. China Mining Association, Beijing 100029, China)

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

[Objective] Under the background of the global carbon neutral and the green energy transition, lithium has become a global consensus as a key mineral. The exploration and development of Lithium resources in Africa have put on the agenda. To provide reference for international cooperation of Lithium industry in Africa, we analyze the metallogenic characteristics and exploration and development potential of Lithium deposits in Africa. **[Methods]** The paper summarizes the metallogenic characteristics of Lithium

基金项目:中国地质调查局项目(DD20211404)资助。

作者简介: 王秋舒, 女, 1987年生, 高级工程师, 主要从事境外地质调查战略研究与全球矿业活动跟踪研究; E-mail: 285708666@qq.com。

通信作者:陈其慎,男,1979年生,研究员,主要从事矿产资源经济研究; E-mail: chenqishen@126.com。

http://geochina.cgs.gov.cn 中国地质, 2025, 52(2)

收稿日期: 2022-11-30; 改回日期: 2023-06-28

resources, and analyzes the development prospects of Lithium industry by tracking the exploration and development trends of lithium resources in Africa. **[Results]** Africa's proven resources are mainly LCT pegmatite deposits, distributed in the lithium rich pegmatite belt of Congo (DRC), Mali, Zimbabwe, Ghana and Namibia, which are characterized by large resources, high grade and favorable development conditions, so that it is attracting the investment of mining companies from Australia, China and the UK. **[Conclusions]** Africa has a late start in lithium exploration and slow development progress, but has good resource endowment. The current high–quality resources have been locked in advance, and it is expected to become a new growth point of global lithium resource supply in the future.

Key words: lithium deposit; pegmatitic type; metallogenic characteristics; exploration and development; mineral exploration engineering; Africa

Highlights: (1) The characteristics of lithium mineralization in Africa were systematically sorted out, and five lithium metallogenic belts were divided; (2) The exploration and development potential of lithium in Africa is analyzed, and the development of lithium industry in Africa will become the new focus of the future capacity expansion.

About the first author: WANG Qiushu, female, born in 1987, senior engineer, mainly engaged in strategic research of overseas geological survey and tracking research of global mining activities; E-mail: 285708666@qq.com.

About the corresponding author: CHEN Qishen, male, 1979, researcher, mainly engaged in the economic research of mineral resources; E-mail: chenqishen@126.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No.DD202114049).

1 引 言

锂被称为"21世纪绿色高能金属"和"白色石 油",在各国政府对碳中和概念的不断重视的背景 下,动力电池、储能电池领域的高速发展带动了对 上游锂资源的大量需求,锂资源的安全供应已经成 为我国实现碳中和目标,以及绿色能源产业可持续 发展的关键。

全球锂矿资源分布高度集中,主要在南美的 "锂三角"地区、美国、澳大利亚、加拿大和中国,分 别占全球探明资源量的 50%、16%、7.6%、7% 和 4.3%(表1)。近年来,全球各地掀起锂矿勘查开发 热潮,从2018-2022年全球探明锂资源量增加 39%(表1),其中德国、加拿大、美国、阿根廷的锂 资源量均增加了一倍以上。与此同时,非洲锂矿也 吸引了澳大利亚、中国和英国等各国企业的投资。 前人聚焦刚果(金)、马里、津巴布韦、纳米比亚和 加纳等非洲锂资源大国开展了锂矿地质背景和典 型矿床成矿特征等的研究(Grenholm, 2011; 施俊等, 2012; 宁福俊等, 2018; Dittrich et al., 2019; 杨远东 等, 2020; 姚德环, 2020; 刘建权等, 2021; 曾瑞垠等, 2024)。本文在前人研究的基础上,对非洲锂矿成 矿地质特征开展综述,分析非洲锂矿的资源禀赋和 勘查开发格局,并对非洲在全球锂产业链中的地位 进行展望,为非洲锂产业发展提供参考。

2 非洲锂矿成矿特征

截至 2022年,非洲已探明的锂矿储量为 275万t,占全球 5.1%,总资源量为1179万t,占全 球 4.9%(表 2),主要矿床类型为LCT型伟晶岩矿 床,分布在刚果(金)中元古代 Kibaran 稀有金属成 矿带、马里中元古代 Birimian 绿岩带、津巴布韦新 太古代克拉通伟晶岩带、加纳中元古代 Cape Coast 地区伟晶岩带和纳米比亚新元古代 Damara 穹隆带 (图 1)。典型矿床包括刚果(金)Manono 矿床、马 里 Goulamina 矿床、津巴布韦 Bikita 矿床、加纳 Karibib 矿床、纳米比亚 Ewoyaa 矿床(表 3)。

2.1 刚果(金)锂矿成矿特征

刚果(金)截至 2022 年探明的锂资源量为 676万t,储量为214万t,主要分布在东部Kibaran 中元古代稀有金属成矿带内(盛涛等,2021),该成矿 带呈北东—南西向沿刚果(金)Katanga省穿过布隆 迪、坦桑尼亚东北部、卢旺达,延伸至乌干达西南 部,是世界上最大的伟晶岩型稀有矿产成矿带之 一。该成矿带发生了完整的陆内裂谷演化旋回 (1400~1100 Ma),受 Ubendia 造山作用影响,在坦 桑尼亚克拉通、刚果克拉通和卡拉哈里克拉通之间 形成了伸展沉积盆地,伴随着岩石圈减薄,镁铁质 刚果(金)

中

无上学找上半时多理资源审学也惊觉(万吨) 电长horon 投班
ス1 王林王女自然住英称重为市情况(为他) 田 Kibalali 超针
Table 1 The distribution of lithium resources in major 构造主要为北东
countries (10 kt) た日山之亜河川
国家 2022年 2021年 2020年 2019年 2018年 伟晶石土要沿北
阿根廷 5041 4994 4028 3937 3008 (966±21) Ma 形
玻利维亚 3900 3900 3900 3900 3900 2016) 被认为早
美国 3882 3697 2557 2390 2302 20107 版 (八分) 定
智利 2734 2676 2325 2365 2165 2016;杨远东等,
澳大利亚 1779 1773 1715 1580 1493 伟晶岩矿床,县ス
加拿大 1872 1622 793 781 728
中国 1126 1024 1134 1134 1182 反育化冈细晶石
德国 704 704 704 597 42 石带、锂辉石带;
则果(金) 676 668 662 662 664 出的 400/ 700/
墨西哥 366 366 356 356 356 石的 40%~/0%,
其他国家 1796 1714 1599 1540 1349 母、铌钽铁矿和
总计 23876 23138 19773 19242 17189 因此喜纳长石

注: 数据来源于S&P Global Market Intelligence (截至2023年 2月)。

表 2 非洲主要锂矿资源国家储量、资源量分布 Table 2 Distribution of lithium reserves and resources in major Africa countries

		iajoi min	ica countries				
田安	储量/	资源量/	占非洲储量	占非洲资源量			
国家	万t	万t	比例/%	比例/%			
刚果 (金)	214	676	57.9	57.3			
马里	78.5	222	21.2	18.8			
津巴布韦	50.4	175	13.6	14.8			
纳米比亚	3.3	68	0.9	5.8			
加纳	23.5	38	6.4	3.2			
合计	370	1179	5.1 (占全球)	4.9(占全球)			
注 数据束循工GODCLLLIMLL4L4.11 (井石2022年							

注: 数据来源于S&P Global Market Intelligence (截至2023年 2月)。

岩浆侵入形成了双峰式岩浆岩(G1),主要岩性为斑 状黑云母花岗岩;在后期挤压过程中,受热熔融后 形成了二云花岗岩(G2),通常位于G1花岗岩外围, 其周围的沉积地层发生了韧性变形和中高温变质 作用;随后,该区经历了横向剪切作用,形成了偏碱 性花岗岩(G3);最后,在Lomamian造山作用下强 过铝质岩浆侵入早期花岗岩,在 Kibaran 带沉积岩 接触带上,形成了高钾过铝质花岗岩(G4),该成矿 带的稀有金属矿化与 G4 期花岗岩密切相关。

Manono 锂矿床是目前已发现的全球储量最 大、品位最高的硬岩锂矿床之一,锂探明储量为 214 万 t, 资源量 668 万 t, 品位 1.63%; 锡探明储量 为13万t,资源量31.44万t,品位0.076%;钽资源 量 1.741 万 t, 品位 0.004%。矿区分为 Manono 矿段 和 Kitotolo 矿段 2 个矿段, 共 6 条伟晶岩脉(表 4, 图 2), 矿脉走向长度超过 15 km, 宽 800 m, 走向 NE40°~60°, 倾向 SE, 倾角 30°~50°。矿区地层主要

以及北西向断裂, 矿区内 (977±18)~ H (Dewaele et al., ·之一(张学良等, 矿床属于 LCT 型 征,由外向内依次 石英带、石英钠长 军石带占整个伟晶 英、钠长石、白云 长石的含量较少, 韦晶岩可以作为 Manono 地区锂矿的找矿标志(曾瑞垠等, 2024)。

2.2 马里锂矿成矿特征

截至 2022 年,马里探明的锂资源量为 222 万 t,储量为79万t,主要分布在南部Bougouni地区, 勘查发现了2座大型的伟晶岩型锂矿床, Goulamina 锂矿床和 Bougouni 锂矿床(图 3), 产在马恩—莱奥 地盾的伟晶岩内。

马恩—莱奥地盾是西非铁、铝和金等矿产资源 的重要产地,马里西南部主要为莱奥域,主要岩性 为花岗岩岩基、火山弧岩石系列和变质沉积岩,整 体红土化较为严重,出露的地层为 Birimian 超群, 岩性为弱变质火山-沉积序列,在 Eburnean 造山期 (2.27~2.05 Ga)被大量花岗岩和伟晶岩侵入。该地 区的赋矿伟晶岩与花岗岩被证实为同源(Wilde et al., 2021),因此伟晶岩未呈现分带性,但后期该地区 发生了北西—南东向的韧性剪切作用以及持续的 碰撞环境,致使赋矿伟晶岩发生了一定程度的拉伸 和在热液作用下的钠长石化。

Goulamina 锂矿床是已发现的全球第三大伟 晶岩型锂矿床,锂探明储量为78.5万t,资源量 198.1万t,品位1.38%,其由5个平行锂辉石伟晶岩 岩脉(Main、West、West I、Sangar I、Sangar II)和一 个网状伟晶岩岩脉群(Danaya)组成(表 5),这些岩 脉侵入高钾过铝质 Goulamina 花岗岩,该岩体 在 Eburnean 造山运动的峰值期(约 2.1 Ga)侵入马 恩---莱奥地盾, 岩体南北长逾 20 km, 东西宽约 8 km(Wilde et al., 2021)。矿区内单个伟晶岩脉厚 度 10~80 m, 沿北西—南东向延伸超过 1~1.5 km。 该矿床的伟晶岩体是单相均质岩体,并无分带结



图 1 非洲锂矿床分布图

1—比里姆成矿带; 2—开普考斯特伟晶岩带; 3—基巴兰成矿带; 4—马拉穹隆伟晶岩带; 5—津巴布韦克拉通伟晶岩带 Fig.1 Distribution of lithium deposits in Africa

1-Birimian metallogenic belt; 2-Cape Coast pegmatite belt; 3-Kibaran metallogenic belt; 4-Damara dome pegmatite belt; 5-Zimbabwe Craton pegmatite belt

构,90%为锂辉石伟晶岩,由钠长石、微斜长石、石 英、白云母和锂辉石组成,见少量的绿柱石、锡石和 钽铌矿物,锂辉石分布均匀,其含量可占岩体总量 的25%(Otto and LeGras, 2018)。

2.3 津巴布韦锂矿成矿特征

截至 2022 年,津巴布韦探明的锂资源量为 129 万 t,储量为 46 万 t,主要分布在津巴布韦克 拉通的伟晶岩带中,在已发现的 12 个伟晶岩带中 (图 4),只有 Bikita、Kamativi、Arcadia 和 Zulu 的伟 晶岩对锂、钽、锡、铌和铯的开采具有重要意义。

Masvingo 绿岩带内主要出露由上布拉瓦约群 (Bulawayan)和下布拉瓦约群组成(Dodson et al., 2001;刘建权等,2021),上布拉瓦约群主要岩性为 绿泥岩、蛇纹岩、角闪石片岩和变质沉积岩,下布拉 瓦约群主要岩性为石英云母片岩、变质泥岩和长英 岩(图 5a)。在2700 Ma, Limpopo 活动带沿西北向 逆冲于津巴布韦克拉通,形成了背斜构造(图 4),随 后在2670 Ma Masvingo 绿岩带内形成了 NW-SE

Table 3 Metallogenic characteristics of typical lithium deposits in Africa							
矿床名称	赋矿地层	地层岩性	赋矿围岩	控矿主要构造	成矿时代	赋矿伟晶岩产状	文献来源
Manono	Kibaran超群	绿片岩相—角闪 岩相的变质泥岩 和石英岩	后造山期G4 (最晚期) Lukushi 高钾过铝质 花岗岩	Kibaran 造山运动	(977±18)~ (966±21) Ma	2个矿段,总长15 km, 宽800 m,走向NE 40°~ 60°,倾向SE,倾角30°~ 50°	Dewaele et al., 2016; 张学良等, 2016; 杨远东等, 2020; 曾瑞垠等, 2024
Goulamina	太古代 基底地层 (上覆盖红土 风化层)	变质岩、杂砾岩 和变砾岩	Goulamina 过铝质花岗岩	Eburnean 造山运动	2.1 Ga	5个矿段,总长1~1.5 km,厚10~80 m	Otto and LeGras, 2018; Wilde et al., 2021
Bikita	上Bulawayo群	绿泥岩、蛇纹 岩、角闪石片岩 和变质沉积岩	Chilimanzi 花岗岩	Limpopo 造山运动	2670 Ma	长1700 m, 宽20~70 m, 厚约30~40 m, NNE走向,倾向为30°~ 45°E	Gwavava and Ranganai, 2009; Melcher et al., 2015; Dittrich et al., 2019
Karibib	Karibib组	云母片岩和碳酸 盐岩	Damara 期花岗岩	Damara 造山运动	468~514 Ma	2个矿段,总长25 km, 宽2~6 km,厚9~25 m, 倾向NW,倾角20°~60°	Jung et al., 2002; Ashworth, 2014
Ewoyaa	Bitimian岩系	千枚岩、拉斑玄 武岩和安山质凝 灰岩	Cape Coast 富碱质 I 型 花岗岩	Eburnean 造山作用	2.2 Ga	走向NE,倾向SE,倾 角70°~90°	Mensah, 1998; Grenholm, 2011

表3 非洲典型锂矿床成矿特征

表 4 Manono 矿区伟晶岩脉特征 Table 4 Characteristics of pegmatite dikes in Manono area

伟晶岩	长度/m	厚度/m	一般倾角,SE
Roche Dure	2700	220	40°
Kyoni	400	20	26°
Mpete	1000	60	26°
Tampete	1700	60	26°
Carriere	5400	230	20°~40°
Malata	1300	20	10°~15°

注:资料据AVZ Minerals公司2022年2月勘查报告修编。

向的 Gono 断层(姚德环, 2020), 在伸展环境下 Chilimanzi 花岗岩侵入, 伟晶岩熔体沿该断层上涌, 后结晶成矿(图 5b)。

Bikita 锂矿床锂资源量为 60.8 万 t, 品位 1.13%, 位于津巴布韦 Masvingo 省东约 60 km, 伟晶岩脉 长 1700 m, 宽 20~70 m, 厚约 30~40 m, 北北东走向, 倾向为 30°~45°E(图 5c), 主要分布在 Masvingo 绿岩带内。伟晶岩中的富锂矿物是与附近的 Chilimanzi 花岗侵入体相互作用, 经交代变质而形 成(Gwavava and Ranganai, 2009; Melcher et al., 2015)。Gono 断层将 Bikita 矿区分为上盘 Bikita 伟 晶岩和下盘 Riverton 伟晶岩, 分别由数十个独立的 伟晶岩脉组成。其中 Riverton 伟晶岩主要富集铍 和锡, 西部发现有少量的锂矿。Bikita 伟晶岩带北 部主要为绿柱石伟晶岩, 锂矿主要富集在南部的 AI Hayat 和 Bikita 伟晶岩中(图 5c), 主要为 LCT 型伟 晶岩, 岩体有明显的分带性, 边界带主要由长石和 白云母组成,中间带主要有其次是由锂辉石、铯榴 石和少量的透锂长石组成,核心带主要由透锂长 石、锂辉石和铯榴石矿物组合,以及石英、锂云母和 长石矿物组合组成(Dittrich et al., 2019)。

2.4 纳米比亚锂矿成矿特征

截至 2022 年,纳米比亚探明的锂资源量为 55 万 t,储量为 3 万 t,主要分布在纳米比亚中部新 元古代 Damara 穹隆带的 Karibib 伟晶岩带中,主要 包括 Karibib 矿床和 Uis 矿床。

Damara 穹隆带记录了新元古代裂谷作用,以及 刚果克拉通和卡拉哈里克拉通之间的增生事件, Damara 穹隆的变形发生在 500~530 Ma(施俊等, 2012; 宁福俊等, 2018),根据构造演化该穹隆带可 分为3个构造单元: (1)北部区为变质程度较低的褶 皱前陆盆地; (2)中心区为被动大陆边缘的弧后地 区,钙质、泥质沉积物和少量的火山岩覆盖在基底 岩石上; (3)南部区为构造缝合带,主要岩性为泥质 沉积物(Martin et al., 1986)。Damara 穹隆发现 200多处侵入体,主要为构造后期花岗岩和伟晶岩, 大部分沿构造线成北东向走向。

Damara 穹隆带内主要分布 5 个大型伟晶岩带 (图 6),其中南部地区的 Karibib 伟晶岩带中发现了 大量的锂富集(Černý and Ercit, 2005; Ashworth, 2014)。Karibib 矿床锂探明储量为 4 万 t,资源量



图 2 Manono 矿区地质简图(据 AVZ Minerals 公司 2019 年 2 月勘查报告修改) Fig.2 Geological map of Manono area (modified from AVZ Minerals Survey Report Feb. 2019)



图 3 Goulamina 和 Bougouni 锂矿床地质背景简图(据 Wilde et al., 2021 修改) Fig.3 Geological setting map of the Goulamina and Bougouni pegmatite fields (modified from Wilde et al., 2021)

6万 t, 品位 0.43%; 钽探明储量 481 t, 资源量 659 t, 品位 0.005%。该伟晶岩带赋存于 Karibib 组的黑云 母片岩和碳酸盐岩、Chuos 组石英岩、Abbabis 组基 底片麻岩和 Damara 期花岗岩中, 主要包括 Rubicon 伟晶岩和 Helikon 伟晶岩, 形成时代在 468~514 Ma(Jung et al., 2002; Melcher et al., 2015), 岩体呈典 型的 LCT 伟晶岩的分带特征, 最外侧为钠长石、条 纹长石、石英、白云母组合, 向内为过渡为粗粒长

http://geochina.cgs.gov.cn 中国地质, 2025, 52(2)

488					中	玉	地	质				2025	5年
	开发进展	全球最大的硬岩锂矿,2020年4月AVZ矿业公司完成 了锂矿开发的可行性研究,预计矿山寿命20年	全球可供低成本开采的优质锂矿,2016年 Firefinch Ltd.公司获得探矿权,预计建设投资2亿美 元,矿山寿命23年	全球第15大锂矿山,2016年11月西非最大锂矿商 Kodal Minerals公司收购了该项目90%股权	己有100多年的话跃开采历史,50多年来,Bikita Minerals的业务一直以锂矿物的开采和提取为中心	2016年中旬澳大利亚矿业公司Prospect Resources Limited收购了该项目70%(计划增持至87%)的股 中,自然下中部浓缩於下去曲456%。66	∞、□至当干型页磁金U1 / 2別/中的先用的处、 年提供4万t品位6%的锂辉石精矿和11.2万t品位4%的 透锂长石。与Sibelco签订了7年的承销协议,每年提供10万t品位4%的透锂长石	津巴布韦最大的未开发硬岩锂矿床, Premier African公司在2016年9月至2017年2月期间成功进行 初次钻探,已探明的矿脉面积仅占已知地表裸露矿脉 的35%,勘探目标为1.2~1.6化t	2018年由Chimata Gold (CAT Strategic Metals公司的 前身) 开展了锂矿勘查工作,并发布了NI 43-101技 术报告,设计可采年限为11年	2017年5月, IronRidge Resources 获得了地区的无条件勘探协议, 2021年1月初步经济评估结果显示项目待现值 (NPV)为34.48亿美元,内部收益率 (IRR)为125%	2019年, Lepidico收购了Desert Lion Energy 公司, 进 而拥有Karibib项目80%的股权, 当前己获得采矿许可证	有100的锡矿开采历史, Montero矿业与勘探公司于 2018年收购该项目尾矿开采权, 2019年在尾矿中发现 了锂矿	
rea	牧 一 一 一	2022年 Q4 2023年 Q1	待定	待定	己投产		2022年	待定	待定	待	2023年	待定	
mina aı	所阶处段	申请 采矿权	洋	申请 采矿权	生产		预生产	勘查	洋香	可研	详査	尾矿选 矿试验	
寺征 Goula	设计年 产能 万t	70 4.6	43.6	5	8	8.6	11.8	8 3.25	16.35	4.3	4900	10	
も晶岩脉 e dikes in	山南	饆	锂 精矿	锂辉石 精矿	透锂长石 精矿	锂辉石 精矿	透锂长石 精矿	锂辉石 精矿 透锂长石 精矿	锂 精矿	锂 精矿	氢氧化锂	锂辉石 精矿	
a 矿区俳 egmatite	■ 動炎时 大査現间	2019年	2019年	2019年			2018年	2018年	2019年	2021年	2019年	2019年	
ulamin ics of n	品位/ %	1.615	1.45	1.11	1.4		1.11	1.06	0.58	1.31	0.43	0.52	
E 5 Go cteristi	资源量/ 万t	668	157	23.65	11.2		80.8	21.3	15.5	18.9	11.24	45.03	
表 Table 5 Chara	基础设施	计划出资2.85亿美元恢复 Piana Mwanga水电站和翻 修通往Lubumbashi的公 路,预计2022年Q4完工	已获得马里政府用水许可,允许从附近萨林谷可,允许从附近萨林谷(Selingue)大坝抽水	拥有便利的公路、铁路 设施	在产矿山,基础设施完备	矿产品可沿公路跨境运	输至280 km外莫桑比克 的贝拉港以供出口	矿产品可沿铁路运往南 非德班港	拥有水电和道路等基础 设施,45 km外与铁路相 连,通到莫桑比克的贝 拉港	己经接入当地的高压输 电系统,与最近的塔科 拉迪深水港通过沥青公 路连接,运输距离约110 km	向西南经过公路210 km可到达沃尔维斯深水 港	在产矿山, 基础设施完 备	战至2021年6月)
	地理位置	位于南部第二大城 市卢本巴希北约 500 km处	位于南部锡加索省 布古尼市西南50 km处	位于南部锡加索省 布古尼市西南15 km处	位于马斯温戈省的 比基塔市	日子はない	位丁 目即中拉	位于第二大城市布 拉 瓦 约 以 东 8 0 km处	位于西北部北马塔 贝 莱 兰 省 万 盖 (Hwange) 市55 km处	位于西部海岸Cape Coast地区	位于中部埃龙犬省,距离首都温得和克西北180 km	位于海滨城市斯瓦 科普蒙德东北约 165 km	汤发布的技术报告(截
	运营商	AVZ Minerals	Firefinch	Kodal Minerals	Bikita Minerals	4	Prospect Resources	Premier African	CAT Strategic Metals	IronRidge Resources	Lepidico	Montero	广业资本市力
	运 初 一 称	马诺诺	贡米赵娜	布古尼	比基塔	1 1	下周囲	祖鲁	书 带 生	伊瓦亚	卡 出 布	尤伊斯	资料据矿
	围	剛果 (金)	重				日	布韦		加纳	後 米	亚羽	注:

http://geochina.cgs.gov.cn 中国地质, 2025, 52(2)



图 4 津巴布韦克拉通的 LCT 伟晶岩分布(据 Dittrich et al., 2019 修改) Fig.4 LCT pegmatites distribution of the Zimbabwe Craton (modified from Dittrich et al., 2019) 1-Bikita; 2-Masvingo; 3-Mutoko; 4-Arcadia; 5-Karoi; 6-Kamativi; 7-Que; 8-Zulu; 9-Bulawayo; 10-Mweza; 11-W of Mutare; 12-Hwedza

石—锂云母组合, 再向内为锂云母—透锂长石赋矿 段,核部主要为石英。Rubicon 伟晶岩呈一个突出 的山脊状,倾向北西,倾角 20°~65°,地表露头长约 10 km,宽约 4 km,厚 1~3 m; Helikon 伟晶岩向北距 离 Rubicon 伟晶岩 7 km 处,可细分为 7 个矿段,地 表露头长约 15 km,宽 2~6 km,厚 9~25 m(Ashworth, 2014)。主要含锂矿物为锂云母、透锂长石,伴生矿 物为金、锡、绿柱石、钽铁矿、铀矿等。

2.5 加纳锂矿成矿特征

截至 2022 年,加纳探明的锂资源量为 19万 t, 主要分布在加纳西南部 Cape Coast 地区的伟晶岩 中,沿着大西洋海岸线从 Cape Coast 经 Saltpond 到 Mankwadzi最后到 Winneba,延伸上百千米,已发现具 有经济价值的富锂伟晶岩包括 Ewoyaa、Abonko 和 Kaanpakrom 矿床。

Cape Coast 地区的伟晶岩主要产于 Bitimian 岩 系,主要岩性为千枚岩、拉斑玄武岩和安山质凝灰 岩(Grenholm, 2011),形成于 Eburnean 造山作用 (约 2.0 Ga)的减弱期,与 Cape Coast 花岗质杂岩(岩 性为过铝质富碱性二云母花岗闪长岩)密切相关, 产于花岗岩体岩基中。成矿伟晶岩多以粗粒岩脉 形式产出,宽度可达数米,走向北东,倾向南东,倾 角 70°~90°,成矿岩体也表现为伟晶岩型锂矿床的 典型分带特征,最外侧的边缘带由细粒长石、石英 和白云母组成,向内一层的外墙带中以上矿物表现 为更粗粒,还常见白云母和绿柱石,再向内的中间 带出现了锂云母和白云母,内核带由不含矿的块 状长石、电气石自形晶和石英晶体组成(Mensah, 1998)。

3 非洲锂资源勘查开发潜力

3.1 非洲锂矿勘查进展

近年来,新能源产业蓬勃发展,从 2016年起全 球进入"锂矿找矿热",截至 2022年勘查投入增加 了 3.2 倍。非洲的锂矿勘查热度较全球滞后 1年, 2017年勘查投入较上一年激增 10 倍,2018年较 2017年激增 3 倍,随后三年略有降低,2022年勘 查投资额激增至 4440万美元,占全球比例 9.5% (图 7)。勘查投入主要集中在刚果(金)、纳米比 亚、加纳、马里和津巴布韦这 5 个国家,全部由小型 勘查公司完成,在 2017年以前以草根勘查阶段为 主,2018—2022年70%以上的勘查投入集中到了 详查阶段,2022年矿山勘查比例由历年来的个位占 比明显上升至 23%。随着勘查投入的增加,非洲新





增资源量也大幅上升,尤其是 2017—2019 年,共发现资源量 827 万 t,占非洲锂矿总资源量的 73%。

3.2 非洲锂矿开发动态

截至 2022 年,非洲已进入开发状态的项目主要 包括刚果(金)Manono 锂锡矿,马里贡拉 Goulamina 锂矿和 Bougouni 锂矿,津巴布韦 Arcadia 锂矿、 Zulu 锂钽矿和 Kamativi 锂锡矿和 Bikita 锂锡矿,加 纳 Ewoyaa 锂矿,以及纳米比亚 Uis 锂矿和 Karibib 锂云母矿(表 5)。

4 讨 论

4.1 锂作为关键矿产的长期价值已成为共识

全球碳中和背景之下,新能源产业的蓬勃发展 催生了全球对锂需求的不断增长。2021年6月,美 国先进电池联盟(FCAB)发布了"国家锂电蓝图 2021—2030",提出与合作伙伴/同盟国建立上游原 材料供应体系。2020年12月,欧洲电池联盟发布 了欧洲电池战略行动计划,拟在欧洲建立一个具有 竞争力的动力电池产业链。从2018年起,日本陆 续出台了"面向2030年能源环境创新战略"等战略 计划,提出了能源保障、环境、经济效益和安全并举 的方针。2021年3月,澳大利亚政府发布"资源、 技术和关键矿物加工路线图"十年计划,谋求从资 源到加工的产业链延伸,计划到2030年在国内形 成50万t的锂盐加工产能。中国2020年11月发 布《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》,明 确到新能源汽车渗透率要从2020年的5%提高到 2025年的25%。

4.2 全球锂矿资源供应格局基本形成

全球 97% 的锂盐产量集中在澳大利亚、智利、 中国和阿根廷 4 个国家。2020 年,澳大利亚固体矿 山产量为 17.7 万 t,智利卤水矿山产量为 11.2 万 t,



图 6 Damara 穹隆伟晶岩带分布图(据 Ashworth, 2014 修改) 1—北部锡带; 2—中心锡带; 3—南部锡带; 4—Karibib 伟晶岩带; 5—Rossing 伟晶岩带 Fig.6 Distribution map of pegmatite belts in the Damara dome (modified from Ashworth, 2014) 1-Northern tin belt; 2-Central tin belt; 3-Southern tin belt; 4-Karibib pegmatite belt; 5-Rossing pegmatite belt





中国矿山总产量为 4.2 万 t, 阿根廷卤水矿山产量 为 3.2 万 t, 分别占全球总产量的 46.9%、29.6%、11.1% 和 8.4%。

集中度较高。南美锂盐的全部产能来自于4家公司和4座在产矿山,美国Albemarle集团、智利 SQM公司合作开发的智利Atacama盐湖,美国 Livent公司开发的阿根廷的Hombre Muerto盐湖和

南美盐湖锂矿产能集中在四家龙头企业,行业

中

澳大利亚 Orocobre 公司(2021年12月与加拿大 Galaxy 公司合并为 Allkem 公司)开发的 Cauchari-Olaroz 盐湖。上述锂盐产能 65.3% 被长期包销协 议锁定,其中,天齐锂业虽是 SQM 第二大股东,持 股 25.86%,但并未拿到 Atacama 项目锂盐的包销 权,赣锋锂业拥有 Cauchari-Olaroz 项目在建的 4万t锂盐产能 76% 的包销权,其余长协包销产能 归属于日本和韩国的锂电公司。

澳大利亚固体锂矿产能均被长协锁定,且短期 产能增量有限。目前澳大利亚在产共4座矿山,其产 能基本被长协锁定,Greenbushes由天齐锂业、雅保 各包销 50%,Marion主要由赣锋锂业包销,Pilbara-Pilgangoora与赣锋、天宜、容汇等签订承购协议, 超额包销现有产能,Cattlin由雅化集团、盛新锂能 分别承购现有产能的 55% 和 27%。整体来看,澳大 利亚已基本完成上下游一体化整合,未来现货零单 供给有限。

中国锂资源供给占全球比例较低,但开发积极 性正在提升。预计未来5年我国锂资源需求增长 率高达 16%, 当前我国锂盐对外依存度为 75%(周 园园, 2019; 姜贞贞等, 2021)。为保障我国锂产业 链安全发展,政府大力支持境内锂矿资源开发和技 术研发。我国在盐湖提锂和云母提锂等技术上纷 纷取得突破(赵展一等, 2021)。中国固体锂矿资源 主要集中于四川省,2017年以来四川锂矿在建设开 发方面存在的一些历史遗留问题得到突破,基础设 施逐渐完备,同时当地政府予以大力支持,区域内 优质锂矿资源的开发利用正在提速,目前有甲基 卡、李家沟、业隆沟3座在产矿山。中国盐湖锂资 源分布在青海、西藏盐湖区,恒信融、兴华锂盐、五 矿盐湖、藏格控股等企业纷纷入局开始在建设碳酸 锂项目,但均未达产。此外,江西宜春的锂云母矿 山也随着近 2~3 年的云母提锂工艺的突破,开始建 设电池级碳酸锂产能,涉及到的企业包括永兴材 料、江特电机、南氏锂电以及飞宇新能源等,其中永 兴材料的第一条生产线已经建成投产。

短期内非洲锂矿资源开发不会冲击全球供需格局。非洲锂矿资源禀赋良好,但由于前期勘探不足以及缺乏融资,项目建设进度缓慢,当前在产的锂矿项目仅有 Bikita 锂矿,且锂矿产能建设周期一般为 3~5 年,短期内不会对全球锂资源供需格局产

生冲击。

质

4.3 非洲将成为未来锂产能扩张的新增长点

非洲锂矿资源具有较好的成矿条件和开发潜力(任军平等,2021),在当前全球锂矿资源供应的垄断格局和需求前景越来越广阔的背景下,非洲的锂矿资源开发已经进入了大众视野。

非洲优质的锂矿资源已被提前锁定,未来产能 客观。当前非洲已探明锂资源量 61% 由澳大利亚 矿业公司所有,其次是刚果(金)政府通过控制 Manono项目 25% 的股权占有非洲探明锂资源量 的 16%,而中国企业通过参股和长协包销等方式参 与非洲锂资源开发,拥有 12% 的探明资源,英国拥 有 9%。同时,已有明确规划的非洲锂精矿产能超 过 200 万 t,折合碳酸锂当量超过 30 万 t,未来将成 为全球锂供应的重要组成部分。

非洲锂矿资源开发环境友好,具有一定的竞争 优势。从全球主要绿地锂矿项目的资源量和品位 对比可以看出(图 8), Manono、Goulamina 和 Arcadia 三座锂矿的资源量和品位有显著优势,尤其是 Manono项目是目前全球已发现的储量最大的锂 矿,除部分云母矿(Karibib)和尾矿(Uis)资源量和品 位较低外,非洲锂矿整体的资源量和品位不逊色于 全球其他地区。从全球锂矿开发的现金成本而言, 非洲的现金成本是六大洲中最低的(表 6)。

5 结 论

(1)非洲锂矿主要分布在克拉通内的断裂带或 地块间的活动带,成矿条件良好,已探明的刚果(金) Manono 锂矿、马里 Goulamina 锂矿和津巴布韦 Arcadia 锂矿等项目均为世界级的锂矿资源,整体储 量规模较大,品位较高,且地理位置有利于大规模 开发。

(2)非洲锂矿勘查起步晚,资源储量情况尚未完 全探明,具有良好的找矿前景。开发进展缓慢,但 优质资源已经被澳大利亚、中国和英国等国家通过 矿权收购、长协报销等方式提前锁定。因大部分项 目尚未投产,仍有较大的投资空间。

(3)各国政府均强调锂资源的安全保障,美国政 府明确指出大力完善上游锂资源加工,欧美聚焦锂 电池产业本土化,日本和韩国大力发展动力电池技 术,澳大利亚政府强调供应链向下游延伸,中国在





表 6 全球锂矿开发现金成本对比情况 Table 6 Cash cost comparison of global lithium mine

development					
区域	现金成本(\$/tLCE)				
北美洲	6798				
大洋洲	5467				
亚洲	4009				
南美洲	3917				
欧洲	2294				
目上沙州	1475				

注: 数据来源于S&P Global Market Intelligence(截至2023年 2月)。

"双碳"目标的驱动下也积极开发国内锂资源。

(4)全球锂矿资源供应格局基本形成,南美盐湖 锂矿产能集中在四家龙头企业,澳大利亚固体锂矿 产能也已被长协瓜分,未来对外流通的锂资源(尤其 是锂精矿)占比将逐渐降低,资源端将成为新能源 等锂产业链的一大供应瓶颈,上游资源将成为产业 链中议价能力最强的环节之一。

(5)非洲锂矿凭借资源优势和较好开发条件对 国际锂产业的吸引力不断增强,将成为下一轮锂产 能扩张的新焦点。例如,津巴布韦已经形成明显 的锂矿产业集聚,加纳开采黄金的悠久历史为锂矿 的开发奠定基础,未来可能是继刚果(金)和马里之 后的增长点,也可作为布局非洲锂矿投资的重点 方向。

References

- Ashworth L. 2014. Mineralised Pegmatites of the Damara Belt, Namibia: Fluid Inclusion and Geochemical Characteristics with Implications for Post Collisional Mineralization[D]. Johannesburg: University of the Witwatersrand, 1–299.
- Černý P, Ercit T S. 2005. The classification of granitic pegmatites revisited[J]. The Canadian Mineralogist, 43(6): 2005–2026.
- Dewaele S, Hulsbosch N, Cryns Y, Boyce A, Burgess R, Muchez P. 2016. Geological setting and timing of the world–class Sn Nb–Ta and Li mineralization of Manono–Kitotolo (Katanga, Democratic Republic of Congo)[J]. Ore Geology Reviews, 72: 373–390.
- Dittrich T, Seifert T, Schulz B, Hagemann S, Gerdes A, Pfänder J. 2019. Archean Rare–Metal Pegmatites in Zimbabwe and Western Australia Geology and Metallogeny of Pollucite Mineralisations[M]. Springer Briefs in World Mineral Deposits, 23–30.
- Dodson M H, Williams I S, Kramers J D. 2001. The Mushan dike granite; further evidence for 3.4 Ga magmatism in the Zimbabwe Craton[J]. Geological Magazine, 138: 31–38.
- Grenholm M. 2011. Petrology of Birimian Granitoids in Southern Ghana: Petrography and Petrogenesis[D]. Lund: Lund University, 41.
- Gwavava O, Ranganai R T. 2009. The geology and structure of the Masvingo greenstone belt and adjacent granite plutons from geophysical data, Zimbabwe Craton[J]. South African Journal of Geology, 112: 277–290.
- Jiang Zhenzhen, Liu Gaoling, Zhuo Maquxi, Li Mingli. 2021. Lithium industry status and countermeasures in Xizang salt lake under current lithium resource supply and demand in China[J]. Salt Lake Research, 29(3): 104–110 (in Chinese with English abstract).
- Jung S, Hoernes S, Mezger K. 2002. Synorogenic melting of mafic lower crust: Constraints from geochronology, petrology and Sr, Nd,

Pb and O isotope geochemistry of quartz diorites (Damara orogen, Namibia)[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143: 551–566.

- Liu Jianquan, Wang Jikun, Yin Guoqing, Xu Rulei, Li Songbin, Bao Jiurong. 2021. Geological characteristics and prospecting criteria of the Kativitin lithium polymetallic deposit in Zimbabwe[J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 44(2): 65–67 (in Chinese with English abstract).
- Martin H, Eder F W, Wang Yuesheng. 1986. Intercontinental folding belt: A study of the Wallissian Belt in Europe and the Damara belt in Namibia, Africa[J]. Basic Geology Translation, (4): 99 (in Chinese with English abstract).
- Melcher F, Graupner T, G\u00e4bler H E, Sitnikova M, Henjes-Kunst F, Oberth\u00fcr T, Axel Gerdes A, Dewaele S. 2015. Tantalum-(niobium-tin) mineralization in African pegmatites and rare metal granites: Constraints from Ta-Nb oxide mineralogy, geochemistry and U-Pb geochronology[J]. Ore Geology Reviews, 64: 667-719.
- Mensah Emmanuel. 1998. Characteristics of fluid inclusions in rare-metal granite pegmatites in the Birimian of southwest Ghana[J]. World Geology, 17(3): 32–35 (in Chinese with English abstract).
- Ning Fujun, Wang Jie, Ren Junping. 2018. Geological characteristics and prospecting potential of the damara tectonic belt, Namibia[J]. Geological Survey and Research, 41(2): 113–120 (in Chinese with English abstract).
- Otto A, LeGras M. 2018. Mineralogical Characterisation of the Goulamina Lithium Deposit[R]. CSIRO Mineral Resources Report, 49.
- Ren Junping, Hu Peng, Wang Jie, Wang Jianxiong, Zhang Hang, Liu Jiangtao, Liu Xiaoyang, Zeng Guoping, Sun Kai, Jiang Junsheng, Gu Alei, Cheng Xiang, Chen Junqiang, Zhao Kai, Wu Xingyuan. 2021. Overview of mining development in Africa[J]. Acta Geologica Sinica, 95(4): 945–961 (in Chinese with English abstract).
- Sheng Tao, Chen Dewen, Ma Linxiao, Lu Tianjiao, Zeng Xu, Zhan Yong, Zheng Changyou. 2021. Geological characteristics and genesis of Kibari gold deposit in northeastern Congo[J]. Mineral Exploration, 12(1): 11–18 (in Chinese with English abstract).
- Shi Jun, Zhou Jian, Lü Guohai, Zhang Jie. 2012. Tectonic characteristics and several important deposit types in northwestern Namibia[J]. China Nonferrous Metals, (S1): 350–355 (in Chinese with English abstract).
- Wilde A, Otto A, McCracken S. 2021. Geology of the Goulamina spodumene pegmatite field, Mali[J]. Ore Geology Reviews, 134: 104–162.
- Yang Yuandong, Li Jiye, Zhu Yongping, Liu Junyuan. 2020. Geological characteristics of a pegmatite-type niobium-tantalite deposit in eastern Manono, DRC[J]. Mineral Exploration, 11(7): 1428-1435 (in Chinese with English abstract).
- Yao Dehuan. 2020. Geological characteristics and genesis analysis of gold deposits in Bulawayobbi greenstone belt, Zimbabwe[J]. World Nonferrous Metals, (2): 83, 85 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Ruiyin, Zhu Xinyou, Wang Rong, Li Qingzhe, Zhan Yong, Zhang Xiong, Sun Ning, Li Liang, Tan Kangyu, Huang Jianye. 2024.

Geology and mineralization characteristics of Manono–Kitotolo pegmatite containing lithium cesium and tantalum in the Democratic Republic of Congo[J]. Geology in China, 51(2): 443–456 (in Chinese with English abstract).

- Zhang Xueliang, Yao Jinqi, Deng Guian, Xu Wenyan, Huang Xueqiang, Li Mingjun. 2016. Geological characteristics and main mineral resources in the Democratic Republic of Congo[J]. Mineral Resources and Geology, 30(4): 555–560 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhanyi, Zhong Yongheng, Liu Jia, Li Xiaoyan, Yong Meijing. 2021. Research on patent layout and development strategy of global lithium industry[J]. Inorganic Salt Industry, 54(7): 10–17 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yuanyuan. 2019. Analysis on supply and demand situation and external dependence of Lithium resources in China[J]. Resources and Industry, 21(3): 46–50 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

质

- 姜贞贞, 刘高令, 卓玛曲西, 李明礼. 2021. 我国锂资源供需现状下西藏盐湖锂产业现状及对策建议[J]. 盐湖研究, 29(3): 104-110.
- 刘建权, 王纪昆, 尹国庆, 徐如磊, 李松彬, 包久荣. 2021. 津巴布韦卡 马蒂维锡锂多金属矿地质特征与找矿标志[J]. 新疆有色金属, 44(2): 65-67.
- Martin H, Eder F W, 王月升. 1986.《大陆之间的褶皱带》——对欧洲 华力西带和非洲纳米比亚达马拉带的研究[J]. 基础地质译丛, (4): 99.
- Mensah Emmanuel. 1998. 加纳西南部毕雷绵岩系中含稀有金属矿化的花岗质伟晶岩及其流体包裹体特征[J]. 世界地质, 17(3): 32-35.
- 宁福俊, 王杰, 任军平. 2018. 纳米比亚达马拉构造带演化和成矿研 究综述[J]. 地质调查与研究, 41(2): 113-120.
- 任军平,胡鹏,王杰,王建雄,张航,刘江涛,刘晓阳,曾国平,孙凯,姜 军胜,古阿雷,程湘,陈军强,赵凯,吴兴源. 2021. 非洲矿业发展 概况[J]. 地质学报, 95(4): 945-961.
- 盛涛,陈德稳,马林霄,卢天骄,曾旭,詹勇,郑长友. 2021. 刚果 (金)东北部基巴里金矿地质特征及成因[J]. 矿产勘查, 12(1): 11-18.
- 施俊,周建,吕国海,张杰. 2012. 纳米比亚西北部构造特征与重要的 几个矿床类型[J]. 中国有色金属, (S1): 350-355.
- 杨远东,李继业,祝永平,刘钧元. 2020. 刚果 (金) 马诺诺 (Manono) 东部某伟晶岩型铌钽矿地质特征 [J]. 矿产勘查, 11(7): 1428-1435.
- 姚德环. 2020. 津巴布韦布拉瓦约布比绿岩带金矿地质特征及成因分析[J]. 世界有色金属, (2): 83, 85.
- 张学良,姚锦其,邓贵安,徐文彦,黄学强,李明君. 2016. 刚果 (金) 地 质特征与主要矿产资源概况[J]. 矿产与地质, 30(4): 555-560.
- 赵展一, 钟永恒, 刘佳, 李晓妍, 勇美菁. 2021, 全球锂产业专利布局 及发展对策研究[J]. 无机盐工业, 54(7): 10-17.
- 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.