

doi: 10.12029/gc20210105

张海坤, 胡鹏, 姜军胜, 程湘, 王建雄, 刘江涛, 向鹏. 2021. 铝土矿分布特点、主要类型与勘查开发现状[J]. 中国地质, 48(1): 68–81.
Zhang Haikun, Hu Peng, Jiang Junsheng, Cheng Xiang, Wang Jianxiong, Liu Jiangtao, Xiang Peng. 2021. Distribution, genetic types and current situation of exploration and development of bauxite resources[J]. Geology in China, 48(1):68–81(in Chinese with English abstract).

铝土矿分布特点、主要类型与勘查开发现状

张海坤, 胡鹏, 姜军胜, 程湘, 王建雄, 刘江涛, 向鹏

(中国地质调查局武汉地质调查中心, 武汉 430205)

摘要: 铝土矿是金属铝的主要来源, 近年来, 随着经济社会快速发展和城镇化逐步推进, 中国铝需求量逐年走高。文章简要概括了铝土矿的分布特点、主要类型及主要资源国的铝土矿分布情况, 着重介绍了最近几年铝土矿勘查开发的新进展, 以深化对铝土矿空间分布、地质特征的认识, 把握铝土矿的勘查开发趋势。根据矿石成因, 铝土矿主要分为红土型和岩溶型两类, 前者主要分布在非洲西部、南美洲北部、印度、东南亚及澳大利亚北部和西南部, 后者主要分布在南欧、加勒比海地区、亚洲西部和中国。铝土矿勘查方面, 在铝土矿储量大国中, 几内亚、俄罗斯、澳大利亚主要以对大型成熟铝土矿山的扩边增储工作为主, 巴西、加纳、牙买加等国则主要以勘探新区为主。铝土矿开发方面, 目前全球铝土矿主要生产国为澳大利亚、几内亚和中国, 2019年三国合计铝土矿产量约占世界总产量的70%。2020年上半年, 受新冠肺炎疫情影响, 主要金属价格出现恐慌性大幅下跌。虽然近期主要金属价格有震荡反弹趋势, 但以美国、巴西、印度等为代表的世界主要经济体仍深陷疫情泥潭, 英国、法国、意大利等欧盟国家仍面临较大防控压力, 全球也存在爆发第二波疫情的可能, 在此背景下, 铝土矿勘查开发形势仍存在很大变数。

关键词: 铝土矿; 空间分布; 主要类型; 勘查开发现状

中图分类号: P618.45 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2021)01-0068-15

Distribution, genetic types and current situation of exploration and development of bauxite resources

ZHANG Haikun, HU Peng, JIANG Junsheng, CHENG Xiang,
WANG Jianxiong, LIU Jiangtao, XIANG Peng

(Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430205)

Abstract: Bauxite is the main source of metal aluminum. In recent years, with the rapid economic and social development and the gradual progress of urbanization, China's aluminum demand is increasing year by year. In order to deepen the understanding of the spatial distribution and geological characteristics of bauxite and grasp the trend of bauxite exploration and development, this paper briefly summarizes the distribution characteristics of bauxite, the main types and the distribution of bauxite in the main resource countries, and emphatically introduces the new progress of bauxite exploration and development in recent years. Based on ore

收稿日期: 2020-09-08; 改回日期: 2020-10-27

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20201153)资助。

作者简介: 张海坤, 男, 1987年生, 高级工程师, 主要从事境外地质调查研究工作; E-mail: 328543434@qq.com。

通讯作者: 胡鹏, 男, 1984年生, 高级工程师, 主要从事境外矿产资源潜力评价工作; E-mail: 157521303@qq.com。

genesis, bauxite is divided into two types, lateritic type and karst type. The former is mainly distributed in western Africa, north South America, India, Southeast Asia, northern and southwestern Australia, while the latter primarily occurs in southern Europe, Caribbean region, western Asia and China. As to the exploration of bauxite, among the main bauxite-rich countries, Guinea, Russia and Australia focus on reserve addition of large mature mines, while Brazil, Ghana and Jamaica on exploration of new prospective areas. As for bauxite development, Australia, Guinea and China are currently the world's leading producers of bauxite, which together accounted for about 70% of the world's total production in 2019. In the first half of 2020, there was a panic drop in prices of major metals due to the COVID-19 epidemic. Despite the recent rebound trend in the prices of major metals, the United States, Brazil, India and other major economies in the world are still in the grip of the epidemic; the United Kingdom, France, Italy and other European Union countries are still facing great pressure to prevent the epidemic, and there is also the possibility of a second wave of the epidemic in the world. In this context, bauxite exploration and development situation is still very variable.

Key words: bauxite; spatial distribution; main types; current situation of exploration and development

About the first author: ZHANG Haikun, male, born in 1987, senior engineer, engaged in the survey and research of foreign geology; E-mail: 328543434@qq.com.

About the corresponding author: HU Peng, male, born in 1984, senior engineer, engaged in potentiality assessment of mineral resources; E-mail: 157521303@qq.com.

Fund support: Supported by the Project of China Geological Survey (No. DD20201153).

1 引言

铝土矿是金属铝的主要来源,由含铝矿物(三水铝石、一水软铝石和/或一水硬铝石)、含铁矿物(主要为赤铁矿和针铁矿)及少量硅酸盐、钛酸盐、硫酸盐和碳酸盐组成。中国是铝生产大国,产量占全球一半以上,但储量相对不足,仅占世界总量的3.5%,2010年中国铝土矿人均占有储量约460 kg,是国外人均储量的1/11(高兰等,2014)。国家统计局数据显示,2019年中国共进口铝土矿10066.39万t,而2018年共进口铝土矿8256.97万t,同比增加21.91%,年度进口量首度破亿t水平。在这种形势下,加快“走出去”步伐,充分利用国外资源,已成为保障中国铝土矿资源安全的必然选择。本文通过广泛收集、整理国内外资料,对铝土矿的分布、成因类型和典型矿床特征等进行总结,以深化对铝土矿空间分布、地质特征的认识,把握铝土矿勘查开发趋势。

2 世界铝土矿分布

自1821年在法国南部首次发现铝土矿以来,近200年的找矿与勘查工作表明,铝土矿具有分布广泛、相对集中的特点。七大洲中,除南极洲外,均有铝土矿分布。其中,红土型铝土矿广泛分布在南、北纬 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间的热带与亚热带地区,如非洲西

部、南美洲北部、印度、东南亚及澳大利亚北部和西南部;岩溶型铝土矿主要分布在南欧、加勒比海地区、亚洲西部和中国(图1)。据美国地质调查局2020年发布的矿产品摘要,世界铝土矿总资源量为550~750亿t,其中非洲176~240亿t、大洋洲127~172亿t、南美洲和加勒比海地区115~157亿t、亚洲99~135亿t及其他地区33~45亿t,所占比例大致为非洲32%、大洋洲23%、南美洲和加勒比地区21%、亚洲18%、其他地区6%。从国别来看,世界铝土矿分布集中度较高,探明储量排名前10位的国家依次为几内亚(74亿t)、澳大利亚(62亿t)、巴西(26亿t)、越南(21亿t)、牙买加(20亿t)、印度尼西亚(10亿t)、中国(9.8亿t)、圭亚那(8.5亿t)、印度(5.9亿t)、苏里南(5.8亿t),合计约243亿t,占世界总探明储量的87%(表1)。据S&P Global数据库,资源量排名前30位的铝土矿项目中,几内亚和澳大利亚占据主导地位,且单个项目资源量规模巨大,在世界铝土矿格局中举足轻重(表2)。

3 世界铝土矿主要类型

从形成的地质过程看,铝土矿实质上是一种在近地表强风化作用下形成的残积岩,是有利气候条件和构造环境长期耦合的产物(Meyer, 2004)。根据矿物组成、化学成分和基底岩性特征,铝土矿可分为3种类型:①红土型:为残积成因,是近地表铝

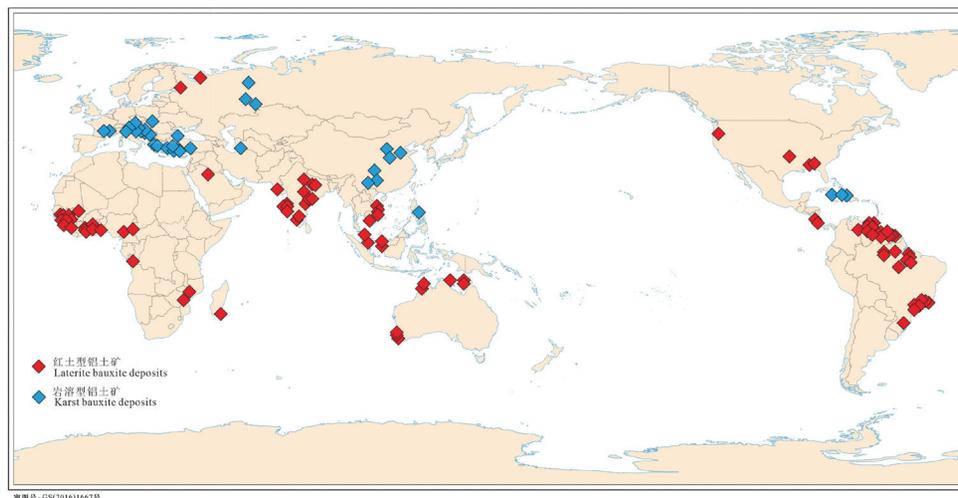


图1 世界主要铝土矿山分布示意图(修改自 Meyer, 2004)

Fig.1 Distribution of main bauxite mines in the world (modified from Meyer, 2004)

硅酸盐的原位红土化作用的产物,以三水铝石为主要的含水铝氧化物,约占世界铝土矿资源总量的90%;②碳酸盐岩岩溶型:又被称为卡斯特型(Karst),主要的含铝矿物为一水软铝石和硬铝石,下伏岩石为碳酸盐岩,约占世界铝土矿资源总量的11.5%;③季赫温型(Tikhvin):是先存红土型铝土矿经风化、搬运、异地沉积的产物,覆于铝硅酸盐剥蚀面

之上,但与基岩无成因关系,约占世界铝土矿资源总量的0.5%(Komolossy, 2010;高兰等,2015)。由于季赫温型铝土矿工业意义较小,在此不做讨论。

3.1 红土型

红土型铝土矿母岩主要为酸性、中性、碱性硅酸盐岩石,往往形成于地势平整的高地,与热带、亚热带气候条件下大陆尺度的夷平面关系密切。矿床规模大、分布广、品位佳,矿石以三水铝石为主,含有少量的一水软铝石(高兰等,2014)。矿体呈层状、斗篷状,其上常被土壤或红色、黄色含铁黏土所覆盖,其下常为富含高岭石、埃洛石的黏土层及半风化基岩(图2)。此类铝土矿具有矿石质量好、高铝硅比、埋藏浅、易于开采等优点,是铝工业的优质原料(朱华平等,2015)。红土型铝土矿广泛分布在南、北纬 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间的热带与亚热带地区,如非洲西部、南美洲北部、印度、东南亚及澳大利亚北部和西南部(图1)(Ratallack, 2010;郑辉等,2017)。中国的红土型铝土矿规模相对较小,主要分布在广西贵港、海南蓬莱等地(孙莉等,2018)。

非洲西部红土型铝土矿是世界铝土矿主要来源之一,这一地区蕴藏铝土矿较为丰富的国家包括几内亚、喀麦隆、加纳等。几内亚铝土矿赋存于元古宙、古生代和中生代富铝硅酸盐岩石中,主要分布在西部古生代Bove盆地中(图3)。几内亚铝土矿的主要特点包括:①优质铝土矿主要分布在西北部的博凯和桑加雷迪地区,呈阶梯状分布,品位高

表1 世界主要铝土矿国家探明储量情况

Table 1 Reserves of main bauxite countries in the world

序号	国家	所属大洲	探明储量/亿t	占比/%
1	几内亚	非洲	74.0	26.6
2	澳大利亚	大洋洲	62.0	22.3
3	巴西	南美洲	26.0	9.3
4	越南	亚洲	21.0	7.5
5	牙买加	北美洲	20.0	7.2
6	印度尼西亚	亚洲	10.0	3.6
7	中国	亚洲	9.8	3.5
8	圭亚那	南美洲	8.5	3.1
9	印度	亚洲	5.9	2.1
10	苏里南	南美洲	5.8	2.1
11	沙特阿拉伯	亚洲	2.1	0.8
12	俄罗斯	亚洲	2.0	0.7
13	哈萨克斯坦	亚洲	1.6	0.6
14	其他国家		29.6	10.6
全球总计			278.3	100

注:资料来源于U.S. Geological Survey, 2017, Mineral Commodity Summaries (U.S. Government Publishing Office, Washington, DC.) <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>.

表2 世界主要铝土矿床
Table 2 Main bauxite deposits in the world

序号	项目名称	所在国家	所属公司	资源量/亿 t
1	Sangaredi	几内亚	力拓矿业集团; 美国铝业公司; Alumina Limited; Dadco Investments Limited; 几内亚政府	67.85
2	Santou Houda	几内亚	几内亚政府	32.00
3	Labe	几内亚	Alufer Mining Limited	25.00
4	Koumbia	几内亚	Zeta Resources Limited	21.75
5	Weipa	澳大利亚	力拓矿业集团	19.21
6	Boffa	几内亚	中国铝业有限公司	17.50
7	Toubal	几内亚	Global Resources Investment Trust Plc	10.00
8	Rondon	巴西	Votorantim S.A.	9.84
9	Boddington	澳大利亚	South32 Limited; Japan Alumina Associates (Australia) Pty. Ltd.; Sojitz Corporation	9.18
10	Minim Martap	喀麦隆	Canyon Resources Limited	8.92
11	Dabola	几内亚	Islamic Republic of Iran; 几内亚政府	7.00
12	Dian Dian	几内亚	United Company RUSAL Plc; 几内亚政府	6.85
13	GAC	几内亚	Guinea Alumina Corporation S.A.	5.27
14	Karabaitalsk	哈萨克斯坦	未知	4.88
15	MRN	巴西	Vale S.A.; Alcoa Corporation; South32 Limited; 力拓矿业集团; Votorantim S.A.; Norsk Hydro ASA	4.56
16	Ducie-Wenlock	澳大利亚	未知	4.53
17	Mitchell Plateau	澳大利亚	澳大利亚政府	4.48
18	Aurukun	澳大利亚	Glencore Plc	4.32
19	North Urals	俄罗斯	United Company RUSAL Plc	3.64
20	Gia Nghia	越南	未知	3.34
21	Friguia	几内亚	United Company RUSAL Plc	3.24
22	Panchpatmali	印度	National Aluminium Company Limited	3.10
23	Darling Range	澳大利亚	Yankuang Group Co., Ltd	3.09
24	Bakhuis	苏里南	未知	3.07
25	Bucas Grande	菲律宾	菲律宾政府或国有企业	2.42
26	Gandhamardan	印度	未知	2.30
27	Bolaven Plateau	老挝	中国有色金属国际矿业公司; Vango Mining Limited	2.26
28	Timan	俄罗斯	United Company RUSAL Plc	1.86
29	Tayan	印度尼西亚	PT Aneka Tambang Tbk	1.84
30	Az Zabirah	沙特阿拉伯	Saudi Arabian Mining Company (Ma'aden)	1.80

注:资料来源于 S&P Global 数据库。

达 65%~69%;②单个矿床规模较大,资源量一般在千万 t 至几十亿 t;③矿体主要分布在铁硅铝质风化壳的中上部,矿层单一,层位稳定;④厚度 3~9 m,可露天开采,基本无需剥离非矿土;⑤品位高,氧化铝含量为 45%~60%,二氧化硅含量 1.0%~3.5%,属于在低温下易加工提炼的三水化合型矿物(张成学等,2015)。最近, Sidibe et al. (2019) 报道了 Kindia 地区的 Balaya 铝土矿床,其铝土矿石保留有母岩的细层状构造,多孔、坚硬、棕色至红色,并发育因含

铁形成的粉红色细条带,局部发育豆状铝土矿石,主要矿物为三水铝矿、针铁矿、氧化铝,包含少量的锐钛矿、金红石、水铝石和高岭土。喀麦隆铝土矿资源量约 10 亿 t,居非洲第二位,重要的矿床有 Minim-Martap、Ngaounda 和 Fongo Tongo 等,其中 Minim-Martap 矿床由古元古界片麻岩的风化作用形成,资源量约 9 亿 t,平均品位为 45.1%, Fongo Tongo 矿床资源量约 3400 万 t,平均品位为 47%(李娜等,2018)。加纳红土型铝土矿资源量约 9.6 亿 t,

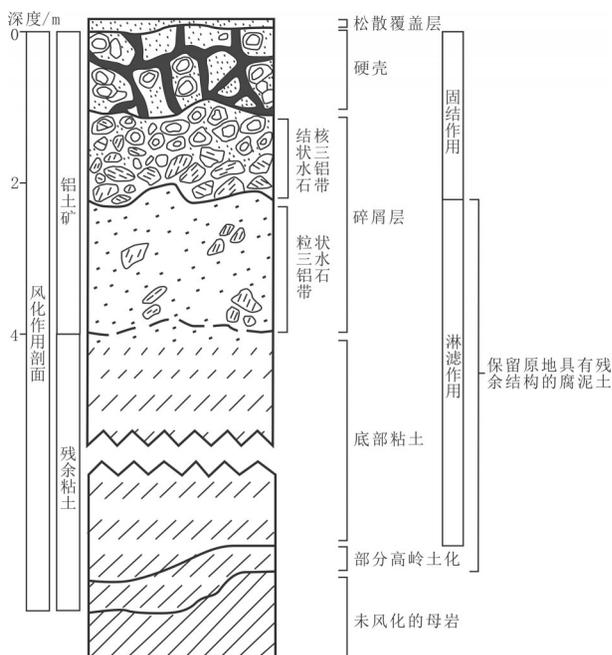


图2 典型红土型铝土矿剖面

Fig.2 Typical profile of laterite bauxite deposit

铝土矿床(点)近 20 处,主要产于地表厚约几米至五十余米的风化残积物(硅铝铁风化壳)中,原岩为古元古代含火山质碎屑沉积物,代表性矿床包括阿瓦索、尼纳欣、基比,资源潜力均超过 1 亿 t(秦术凯等, 2012;詹华明等,2012)。

南美洲北部红土型铝土矿主要分布于巴西、圭亚那、苏里南和委内瑞拉,成矿时代为晚白垩世—新近纪,且以古近纪为主,成矿母岩类型多样,包括显生宙硅质碎屑沉积岩和前寒武纪火山岩、变质岩等(姚仲友等,2017;Dewany et al.,2019)。巴西红土型铝土矿探明储量约 26 亿 t,其中 95%位于巴西北部,5%位于东南部和南部,著名的超大型铝土矿床包括朗多(Rondon)和戈米纳斯(Paragominas)。1999 年,在巴西中西部 Barro Alto 地区新发现一处大型红土型铝土矿床,资源量约 1.6 亿 t,成矿母岩为新元古代斜长岩(Oliveira et al.,2011)。苏里南铝土矿探明储量为 5.8 亿 t,世界占比约 2.1%。根据母岩性质、空间分布和开发历史等,可分为滨海平原区铝土矿和高原区铝土矿。前者位于沿海低地,成矿母岩为长石砂岩、粉砂岩,自 19 世纪早期开采至今;后者位于内陆地区,成矿母岩为元古宙变质结晶基底,目前尚未开发。这两类红土型铝土矿均发育于圭亚那地盾北缘一系列晚白垩世至第四

纪区域性夷平面和沉积盖层中,其中以古近纪层位铝土矿最为丰富(Dewany et al.,2017)。另外,委内瑞拉也拥有丰富的铝土矿资源,据估计,其资源量可达 21.5 亿 t,主要分布在玻利瓦尔州和亚马逊州。目前唯一在产的铝土矿山是 Los Pijiguaos,其探明+控制储量达 5.7 亿 t,自 1987 年投入生产以来,共开采原矿 300 万 t,由委内瑞拉国有 C.V.G. BAUXILUM Operadore de Bauxita 公司运营,年产量近 500 万 t(Meyer et al.,2002)。

印度红土型铝土矿探明储量约 5.9 亿 t,世界占比约 2.1%,成矿母岩主要为太古宙长石片麻岩和麻粒岩、晚白垩世—早古近纪玄武岩等。总体上看,印度铝土矿以层状或似层状三水铝土矿为主,集中于印度中南部造山带、德干高原及其边缘,少量分布在印度北部的喜马拉雅褶皱带以及西南海岸平原区(成功等,2015)。印度矿业局 2015 年矿产资源年报显示,该国铝土矿总资源量约 39 亿 t,其中 65%位于矿权空白区,35%位于矿权区。铝土矿在印度各个州均有发现,但主要集中在 7 个州,分别为 Odisha 州(19.95 亿 t)、Andhra Pradesh 州(6.15 亿 t)、Gujarat 州(3.51 亿 t)、Jharkhand 州(2.39 亿 t)、Maharashtra 州(1.85 亿 t)、Chhattisgarh 州(1.74 亿 t)和 Madhya Pradesh 州(1.73 亿 t),合计占印度铝土矿总资源量的 95%。

东南亚红土型铝土矿主要分布在越南(21 亿 t)和印尼(10 亿 t),分别占世界铝土矿总探明储量的 7.5%和 3.6%。越南铝土矿 96%集中在中央高地玄武岩之上,与老挝南部和柬埔寨东部 Bolaven 高原的一些大型铝土矿床相连。这一地区气候炎热潮湿、地势平缓,且有火山活动提供大量的成矿物质,为铝土矿的形成创造了有利条件。中央高地铝土矿分布较广,占地约 2 万 km²,大部分矿体长 1~15 m,深不到 3 m。上覆物质一般为软土,许多矿床直接暴露地表,易于开采。越南铝土矿开发可追溯至法国殖民时期,但直到 2007 年才推出国家层面的铝土矿开采规划。该规划部署开发中央高地的 25 处铝土矿床,其中大部分位于 Dak Nong 省(13 处,总资源量 34 亿 t)和 Lam Dong 省(5 处,总资源量 9.7 亿 t),并在 2015 年将氧化铝产能提高至 600~850 万 t,2025 年进一步提高至 1300~1800 万 t。但由于越南国内对大规模开发铝土矿引起的环境污染、森林退

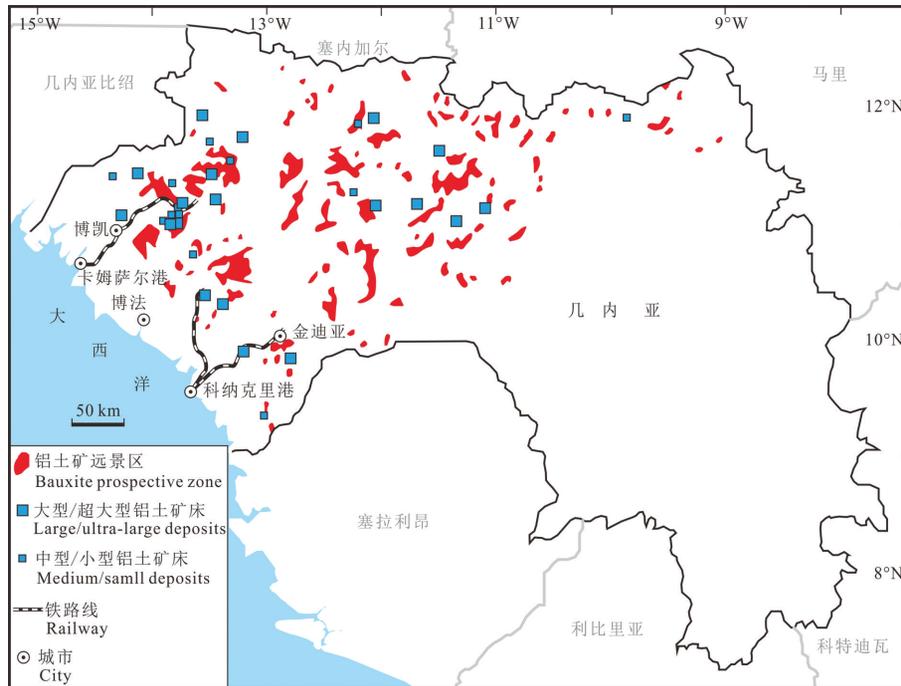


图3 几内亚铝土矿分布图

Fig.3 Distribution of bauxite deposits in Guinea

化等问题的担忧,这一规划实施起来阻力重重,进展并不顺利。据美国地质调查局2020年发布的统计数据,越南2019年度氧化铝产量为130万t,与原定目标相差甚远。印尼铝土矿有85%分布在加里曼丹岛西部,15%分布在廖内群岛和苏拉威西岛,成矿母岩类型多样,包括古生代至晚三叠世长英质火山岩、花岗岩、片麻岩和长石砂岩等,矿床形成于第四纪,与地壳持续抬升、稳定和长期风化作用直接相关。加里曼丹岛西部铝土矿沿海岸呈带状分布,全长300 km,宽50~60 km,总面积达200 km²。塔杨矿床是加里曼丹岛西部典型的超大型铝土矿床,单个矿体储量12.5~2200万t,顶部埋深0~2 m,底部埋深2.5~7.0 m,典型剖面可分为6层,从上至下依次为土壤层(覆盖层)、铝土矿层、上部结核带、下部含铝土矿带、腐泥土层、母岩。

澳大利亚铝土矿资源主要集中在3个地区:昆士兰北部、西澳达令山脉及西澳北部(图4)。昆士兰北部的铝土矿区主要在卡奔塔利亚湾(Gulf of Carpentaria)附近的韦帕(Weipa)地区和戈夫(Gove)地区,西澳达令山脉(Darling Ranges)在珀斯南面,昆士兰北部和西澳达令山脉这两个地区是世界上最大的已探明可开发的铝土矿矿藏地。西澳

北部的铝土矿区主要分布在米切尔高地(Mitchell Plateau)和布干维尔角(Cape Bougainville)。

3.2 岩溶型

岩溶型铝土矿产出在碳酸盐岩中,受喀斯特地貌控制,这种地貌特征既为成矿物质迁移提供了有利的水力条件,同时又避免铝土矿沉淀后遭受地表剥蚀。这类铝土矿空间分布与碳酸盐具有密切关系,但其母岩可以有多种类型,如泥岩、板岩、古老的镁铁质基底等(图5)。矿石以一水硬铝石型为主,其次为一水软铝石型,具有高铝、高硅、中低铝硅比等特征,品质较红土型铝土矿差(高兰等,2014)。该类型高品位铝土矿多位于风化层下部,矿体呈透镜状或层状,向底部、边缘和上部逐渐过渡为低品位铝土矿或含铝土矿的黏土(Yang et al., 2019)。岩溶型铝土矿主要分布在南欧、加勒比海地区、亚洲、中国西南部和中部等(高兰等,2014)。

南欧尤其是地中海国家如葡萄牙、西班牙、法国、匈牙利、克罗地亚、波黑和希腊等广泛发育岩溶型铝土矿,构成了著名的地中海铝土矿带(Hatipoglu, 2011),其中以希腊储量最为丰富。这一地区的岩溶型铝土矿形成于中生代至早新生代,与欧洲和亚得里亚海中生代碳酸盐大陆架有关,是

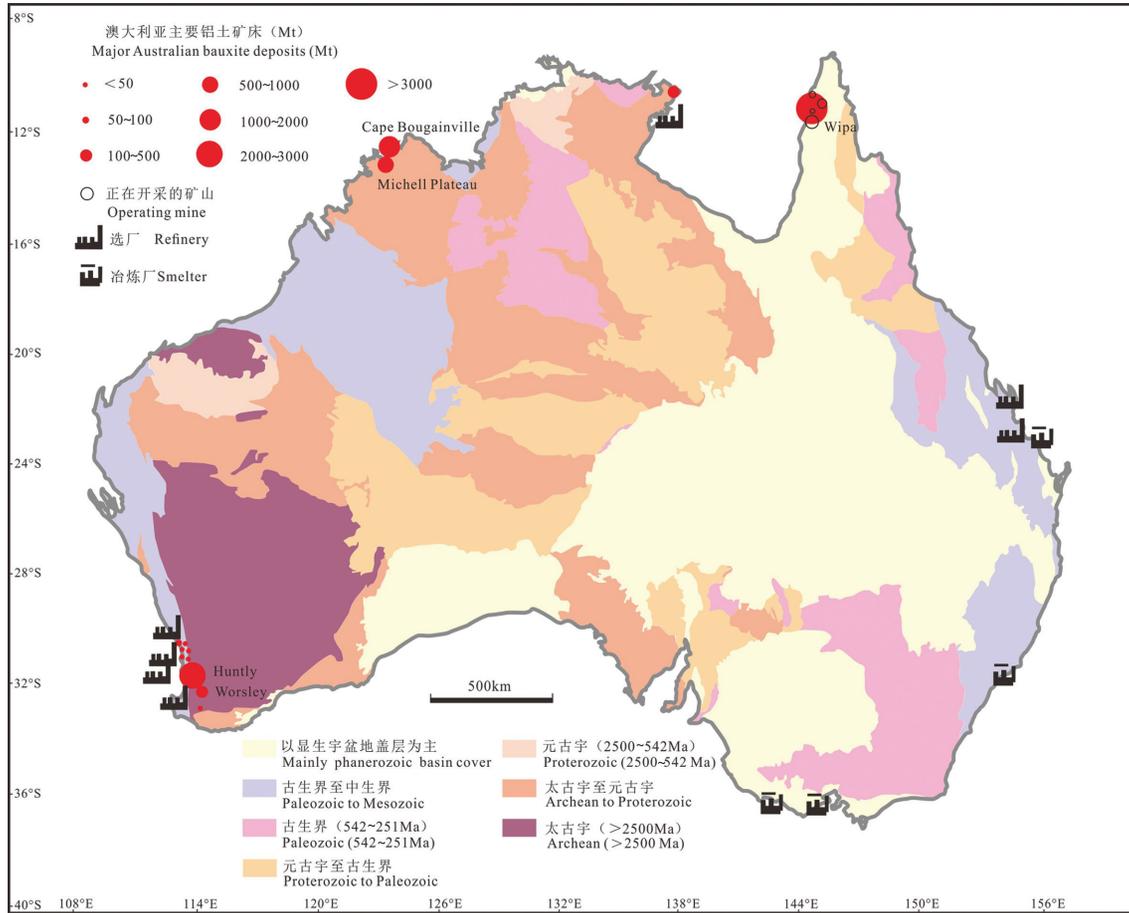


图4 澳大利亚铝土矿床分布图

资料来源: 澳大利亚政府公共部门 Geoscience Australia 网站 (<http://www.australianminesatlas.gov.au/mapping/downloads.html#minmapsau>)

Fig.4 Distribution of e bauxite deposits in Australia

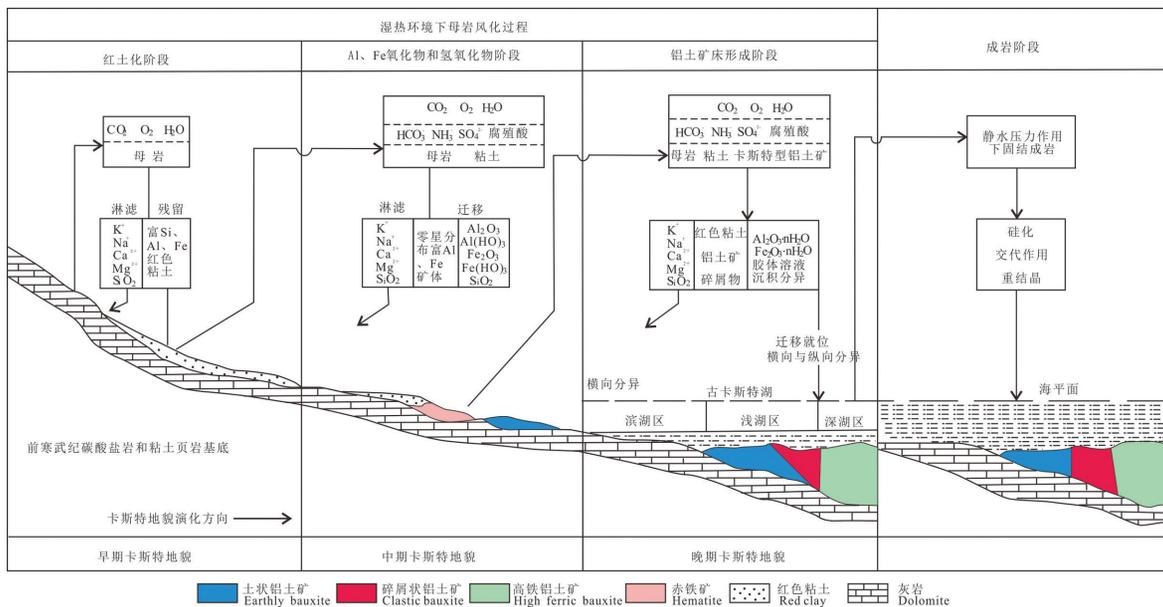


图5 岩溶型铝土矿成矿模式 (据 Li et al., 2020)

Fig.5 Metallogenic model of Karst-type bauxite deposit (after Li et al., 2020)

局部性或区域性不整合的标志(Deady et al., 2014; Mongelli et al., 2015)。希腊拥有铝土矿资源量约3亿t,具有开发价值的铝土矿床主要位于Parnassos-Ghiona构造带,重要的矿床包括Delphi-Distomon、Parnassos和Greek Helicon等,其中以Delphi-Distomon储量最大,约为1100万t(图6a)。铝土矿赋存于碳酸盐岩中,从上至下共有上、中、下3个含矿层位(图6b)。含矿层之间为晚侏罗世至中白垩世浅水灰岩。3个含矿层中,下铝土矿层的经济价值最大,矿体呈连续层状,延伸较长,厚1~10 m。矿石以粗粒结构为主,豆状或鲕状构造,深红色至红棕色(Laskou et al., 2007)。意大利铝土矿形成于白垩纪,主要位于意大利中部、南部及撒丁岛(Sardinia),赋存于南欧中生代碳酸盐台地,最大厚度5~25 m,矿石呈鲕状或块状,矿物组合为:一水软铝石+赤铁矿+高岭石±针铁矿±锆石±金红石±独居石±磷铀矿±磷灰石±钛铁矿±钛磁铁矿±三水铝石±石英±黄铁矿(Mongelli et al., 2017)。意大利南部铝土矿由于规模较小且较为分散,已不具有开发价值。位于意大利西南部Sardinia地区的Olmedo矿山是唯一在采的铝土矿,但产能较小(Boni et al., 2014)。

加勒比海地区已发现岩溶型铝土矿的国家包括牙买加、海地、多米尼加、哥斯达黎加和古巴,其中牙买加铝土矿储量最为丰富,占世界总储量的

7.2%,在全球铝土矿供需格局中占有重要地位,其他国家的铝土矿工业意义不大。牙买加大型铝土矿床主要位于中部特里洛尼、圣安娜、曼彻斯特和圣伊丽莎白等地区,为丘陵和石灰岩高原区(图7),其中特里洛尼地区的大部分铝土矿在自然保护区内,禁止开采(Young et al., 2019)。牙买加铝土矿成矿时代为白垩纪,矿物成分以一水硬铝石为主,其次为一水软铝石,二者之比为3:1,伴生有高岭土、赤铁矿、针铁矿等矿物(姚仲友等, 2017)。根据风化程度可分为位于中南部、风化程度较浅、富赤铁矿的红色铝土矿和位于中北部、风化程度较深、富针铁矿的黄色铝土矿。前者易通过拜耳法提纯,但储量相对较小,经长年开采逐渐枯竭,目前,开采富针铁矿的铝土矿正成为趋势(Henry et al., 2018; Young et al., 2019)。值得注意的是,这种类型的铝土矿含铬、锰、锌矿物含量相对较高,增加了选冶成本。

亚洲西部发育岩溶型铝土矿主要分布在伊朗,其铝土矿与地中海铝土矿带具有相似性,目前共发现34处矿床,根据成矿时代可分为5期,分别为二叠纪(11处)、二叠—三叠纪(8处)、三叠纪(2处)、三叠—侏罗纪(7处)、白垩纪(8处)(图8)。空间上,分布于4个构造带,分别为伊朗西北构造带、厄尔布尔士构造带、扎格罗斯构造带、中央构造带,其中,二叠纪、二叠—三叠纪铝土矿床主要位于西北构造

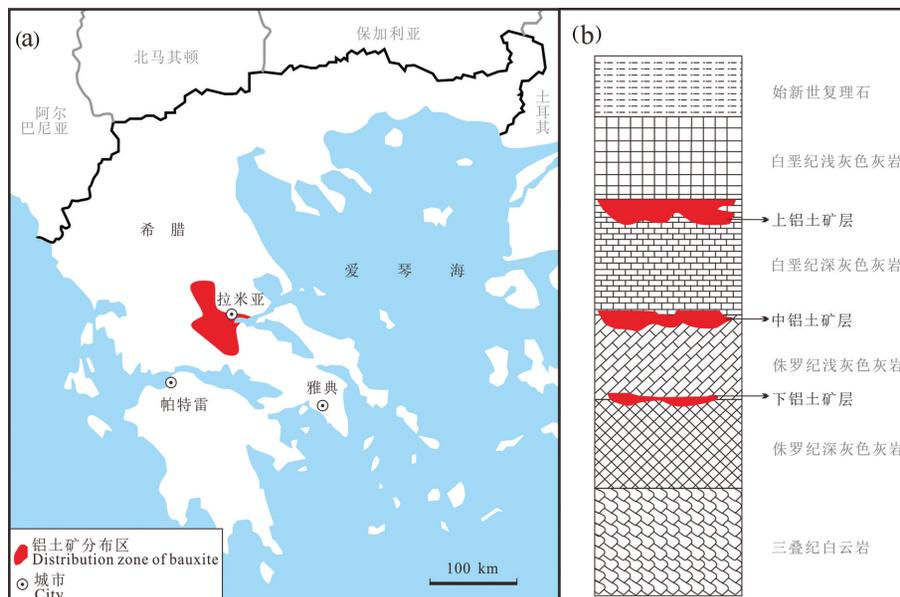


图6 希腊铝土矿分布区及典型含铝土矿层剖面(据Abedini et al., 2020)

Fig.6 Distribution of bauxite deposits(a) in Greece and typical profile of bauxite-bearing strata (b) (after Abedini et al., 2020)

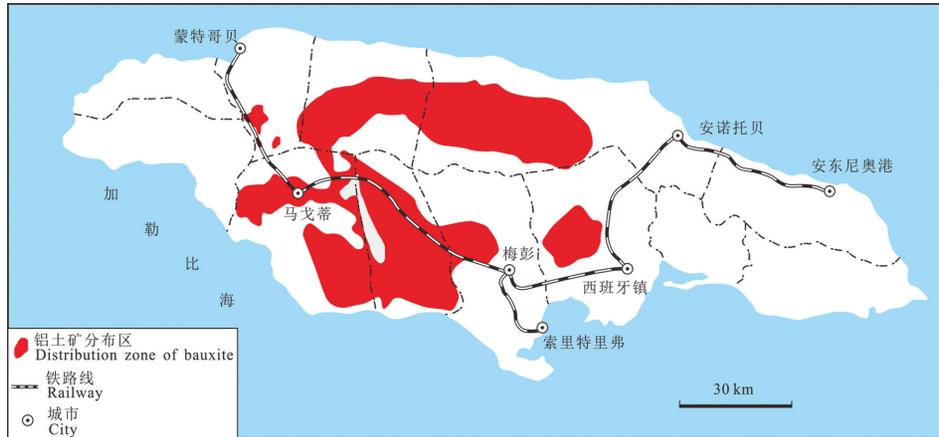


图7 牙买加铝土矿分布图(据 Young et al., 2019)

Fig.7 Distribution of bauxite deposits in Jamaica (after Young et al., 2019)

带,三叠纪铝土矿床位于中央构造带,三叠纪—侏罗纪铝土矿床在4个构造带均有分布,白垩纪铝土矿床主要位于扎格罗斯构造带(Ahmadnejad et al., 2017; Khosravi et al., 2017; Abedini et al., 2018, 2019)。伊朗西北部已发现多个高品位、可开采的岩溶型铝土矿床,如位于Azarbaijan省南部的Darzi-Vali矿床(Khosravi et al., 2017)。该矿床位于伊朗—喜马拉雅岩溶型铝土矿带,矿体赋存于碳酸盐岩中,呈不连续的层状、透镜状,厚度2~17 m,总长度超过1 km,储量约20万 t,平均品位40% Al_2O_3 (Khosravi et al., 2012)。Abedini et al. (2020)最近报道了伊朗西北部的Amir-Abad铝土矿床,矿体呈层状、透镜状产于白云质灰岩与砂岩、页岩的

接触带,共发育8个含矿层,厚度3~22 m,总长度约2.5 km。另外,在土耳其南部Konya至Antalya港之间的Seydis-ehir-Akseki铝土矿省分布有大量的岩溶型铝土矿床,总面积约1800 km^2 ,探明储量约1000万 t,平均组成为 Al_2O_3 57%、 Fe_2O_3 12%、 SiO_2 7%、 TiO_2 3%(Karadag et al., 2009)。这一地区的铝土矿开采始于1970年,由西迪斯—艾蒂克铝业有限公司(Seydis-ehir Etibank Aluminum Ltd.)主导,截至2009年共开采铝土矿石达700万 t,是土耳其最重要的铝土矿山之一(Karadag et al., 2009)。

中国的铝土矿资源90%以上为岩溶型,根据时空分布特征可分为4种:①贵州中部早石炭世铝土矿,赋存在下石炭统底部大塘组含矿岩系中,下伏

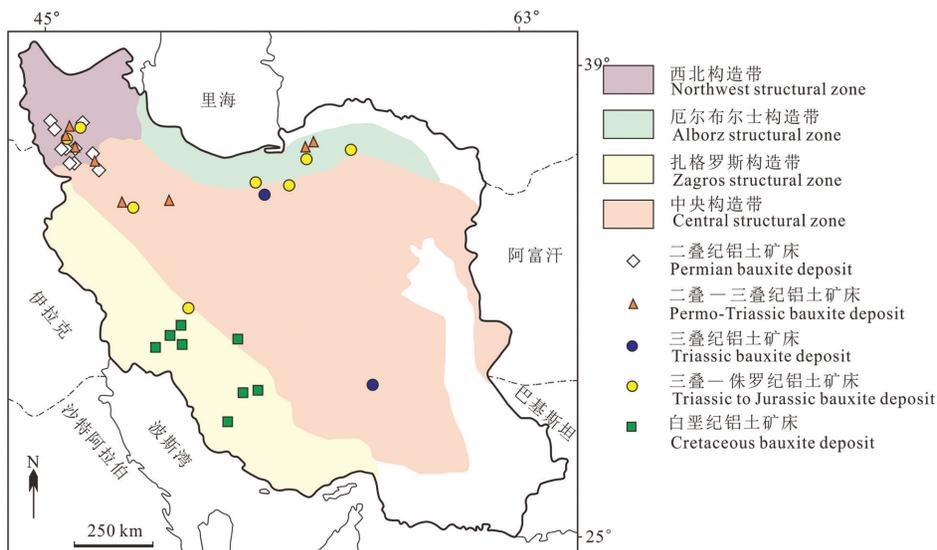


图8 伊朗铝土矿分布图(据 Abedini et al., 2020)

Fig.8 Distribution of bauxite deposits in Iran (after Abedini et al., 2020)

岩层为寒武—奥陶系或志留系碳酸盐岩或砂页岩,矿石具有低铁低硫特征,矿床多为大中型;②山西、河南、山东、河北、辽宁等省份广泛分布的晚石炭世铝土矿,赋存于上石炭统本溪组中下部的含矿岩系中,空间分布上与奥陶系或寒武系碳酸盐岩古侵蚀面具有密切关系,多为大中型矿床;③四川、贵州、云南、湖南、湖北等省份的中二叠世铝土矿,赋存于二叠系梁山组含铝岩系中下部,与石炭系或寒武系碳酸盐岩侵蚀面具有密切关系,具有高铁或高硫特征,多为中小型矿床;④广西、云南境内晚二叠世铝土矿,赋存于上二叠统吴家坪组或宣威组含矿岩系中下部,下伏岩层为下二叠统或石炭系灰岩、砂页岩以及上二叠统玄武岩等,多为小型矿床(高兰等,2014; Yang et al., 2019)。据 Li et al. (2020) 估计,中国铝土矿总资源量约 32 亿 t, 未发现资源量 100 亿 t, 其中绝大部分为岩溶型, 在已开发的铝土矿床有 33 处中, 其中河南 6 处, 山西 4 处, 贵州 8 处, 广西 1 处。

4 世界铝土矿勘探开发现状

4.1 勘探现状

4.1.1 亚洲

印度尼西亚铝土矿以红土型为主, 查明铝土矿储量为 10 亿 t, 主要分布在加里曼丹岛西部地区、邦加岛、勿里洞岛和廖内省等地区。西加里曼丹铝土矿成矿带是东南亚地区铝土矿最主要的产地之一, 矿床规模大, 矿石质量好, Al_2O_3 含量在 45% ~ 55%。邦加岛铝土矿 Al_2O_3 含量在 38.6% ~ 43%, 资源禀赋较好, 勘查开发程度较低。越南已探获丰富的铝土矿资源, 仅次于几内亚和澳大利亚, 但开发程度明显滞后, 近年投入勘探工作较少。由于其铝土矿资源量大, 且毗邻中国, 海运、陆运均比较便利, 中资企业曾试图进入越南开发铝土矿, 但由于政治因素推进并不顺利, 截至目前尚未报道有成功案例。柬埔寨铝土矿勘查近年来也获得突破, 柬埔寨铝业发展有限公司 2018 年底在柬埔寨东部地区完成铝土矿勘探工作, 探明铝土矿储量约 3 亿 t。

4.1.2 非洲

几内亚铝土矿勘探程度较高, 矿权多已被几内亚政府及外国公司控制。由于铝土矿出露地表、易探易采, 且多成片连续分布, 单个铝土矿规模大, 建成后可持续多年稳定生产, 因此几内亚近年来的

勘探投入与其丰富的铝土矿资源相比较为薄弱。据报道, 2017 年 3 月长沙有色院承接了中铝集团在几内亚 Boffa 铝土矿的资源核实工作。

加纳是传统金矿开采大国, 近年开始加大对铝土矿的勘查开发力度, 目前 3 个主要矿区的铝土矿储量达 9 亿 t。其中, Awaso 矿区 6000 万 t、Nyinahin 7 亿 t 和 Kyebi 矿区 1.6 亿 t。2019 年 12 月, 该国曾在全球范围招募开发合作公司, 有 40 多家跨国公司表达合作意愿, 最终有 14 家集团公司入围第二阶段, 目前结果尚未公布。加纳与几内亚相邻, 但相比几内亚跨国矿企云集, 加纳在国际铝土矿市场还是新秀, 竞争相对较小。

马达加斯加近年的铝土矿勘查工作也有重大突破, 2015 年该国完成东南部一个矿区的勘探工作, 已探明铝土矿储量约 1.5 亿 t, 据亚洲金属网 2020 年 6 月消息, 该矿区所属埃萨马矿产公司 (Esama Minerals) 正在寻找合作伙伴开发铝土矿及进行港口、公路等基础设施建设。

4.1.3 美洲

美洲地区已发现铝土矿床 34 处, 主要分布在巴西 (14 处)、圭亚那 (5 处)、牙买加 (5 处) 和苏里南 (5 处)。Amargosa (纬度: $-17^{\circ}1'40.76''$; 经度: $-39^{\circ}31'6.85''$) 是近年力拓集团在巴西投入勘探工作较多的铝土矿床, 2014 年开展的一系列钻探和填图工作增加了一批远景区, 力拓集团 2019 年发布的年报显示, 该矿床目前处于高级勘探阶段。另外, 巴西的朗多 (Rondon) 超大型铝土矿床已完成勘查工作, 经近年来的勘查验证, 其铝土矿资源量达 9.8 亿 t, 2014 年上半年, 该铝土矿矿山已完成可行性研究, 原计划于 2019 年开采矿石, 年产能 900 万 t, 但截至目前尚无投产消息。

4.1.4 欧洲

欧洲已发现铝土矿床 25 处, 主要分布在俄罗斯、希腊和匈牙利, 排名前四位的矿床依次为 North Urals (俄罗斯, 资源量 3.6 亿 t)、Timan (俄罗斯, 资源量 1.9 亿 t)、Bakonyi (匈牙利, 资源量 2300 万 t)、Delphi-Distomon (希腊, 资源量 1100 万 t)。希腊、法国等欧洲发达国家发现和开发利用铝土矿较早, 国内勘探开发程度较高, 矿山多已枯竭, 加之对环境保护的重视, 这些国家已基本停止铝土矿勘查工作。俄罗斯已探获铝土矿超过 4 亿 t, 其中只有一半

左右可采。2019年,该国最大的两座铝土矿山 North Urals 和 Timan 产量分别为 240 万 t 和 320 万 t, 近些年,通过边采边探,储量均有所增加。

4.1.5 大洋洲

大洋洲已发现 49 处铝土矿床,其中 46 处位于澳大利亚,3 处位于所罗门群岛。澳大利亚 49 处铝土矿床中,70% 位于昆士兰和西澳,其中 6 处在产,其余多处于草根勘探阶段。澳大利亚目前的勘探工作多围绕大型在产矿山的增储展开,如力拓集团掌握的澳大利亚最大铝土矿山 Weipa 2019 年储量增加了 1 亿 t。2019 年 6 月,Pacific Bauxite 向西澳矿业部申请的勘探许可证获批,为扩大矿区面积和进一步控制资源量,该公司计划对澳大利亚第二大在产铝土矿山 Darling Range 进行系统野外勘探工作。处于草根勘探阶段的矿床勘查工作长期停滞,矿权多被州政府收回。所罗门群岛总体勘查程度较低,已发现的 3 处铝土矿床近几年勘探活动比较活跃,其中 Vaghena (储量为 2970 万 t) 在产,并在 2019 年向中国出口约 118 万 t 铝土矿。Temotu 和 South West New Georgia 铝土矿床已完成靶区圈定工作,这 2 处矿床探矿权均由中国香港 Aurum Pacific 集团和澳大利亚 Pacific Bauxite 公司所有,双方各占股 50%,据报道 2018 年西北有色地质矿业集团有限公司承接了 South West New Georgia 矿床的勘查工作。

4.2 开发现状

近几年,全球铝土矿产量呈现出稳定的增长趋势(图 9a)。2019 年全球铝土矿产量 3.7 亿 t, 相比

2018 年的 3.27 亿 t, 增长 13.15%。全球铝土矿主要生产国为澳大利亚、几内亚和中国(图 9b)。2019 年澳大利亚铝土矿产量约 1 亿 t, 占全球铝土矿产量比重的 27%, 其中 80% 来自 Weipa (3540 万 t)、Darling Range (3470 万 t) 和 Gove (1220 万 t) 3 座矿山。其次是几内亚, 铝土矿产量 8200 万 t, 占比 22.2%。与资源量相比, 几内亚铝土矿开发程度较低, 整体开发不到 10%。从近年国际铝土矿进出口情况看, 世界主要铝土矿生产国中, 印尼、澳大利亚、几内亚、印度的铝土矿流向中国, 巴西、牙买加的铝土矿流向北美, 几内亚流向欧洲。据美国地质调查局数据, 2020 年第一季度, 美国大幅增加了来自非洲地区的铝土矿, 在总进口量中牙买加占 72%、塞拉利昂占 15%、几内亚占 13%。

据中国海关数据, 2019 年我国进口铝土矿 10066.39 万 t, 2018 年 8256.97 万 t, 同比增加 21.91%, 年度进口量首度破亿 t 水平。分国别看, 几内亚、澳大利亚、印尼 3 国依旧维持 2018 年的三足鼎立局面, 占总进口量的 94% 以上。2019 年中国共进口来自几内亚的矿石 4444.53 万 t, 同比增长 16.49%; 澳洲矿石 2019 年共进口 3604.13 万 t, 同比稳增 21.08%; 印尼矿石继 2018 年解禁出口以来, 占比明显抬升, 2019 年共计进口印尼铝土矿 1441.12 万 t, 同比大增 91.16%。除此三国外, 2019 年中国进口自其他国家的矿石占总进口量的 6%, 来自于马来、巴西、所罗门、黑山、牙买加、印度、土耳其、加纳、越南及塞拉利昂等。

受疫情影响, 2020 年上半年, 主要金属价格出

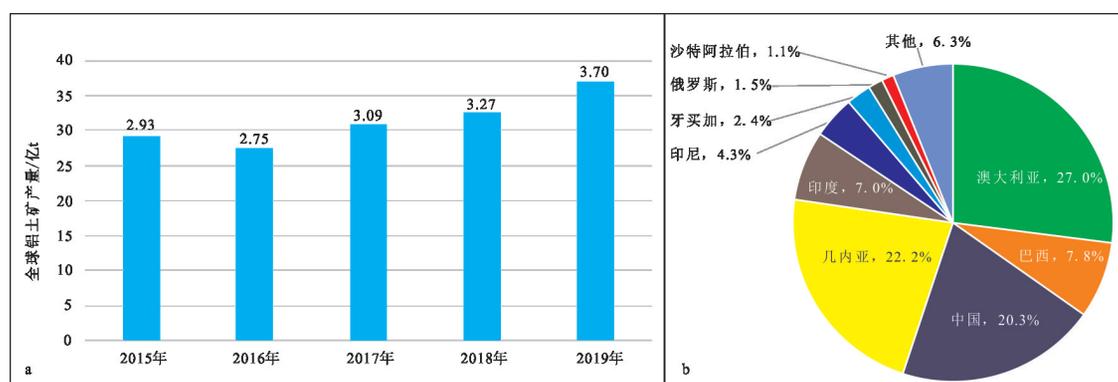


图 9 全球铝土矿产量情况(资料来源:U.S. Geological Survey)

a—2015—2019 年铝土矿产量;b—2019 年主要生产国铝土矿产量

Fig. 9 Global bauxite production

a—global bauxite production from 2012 to 2019; b—bauxite production of main bauxite countries in the world

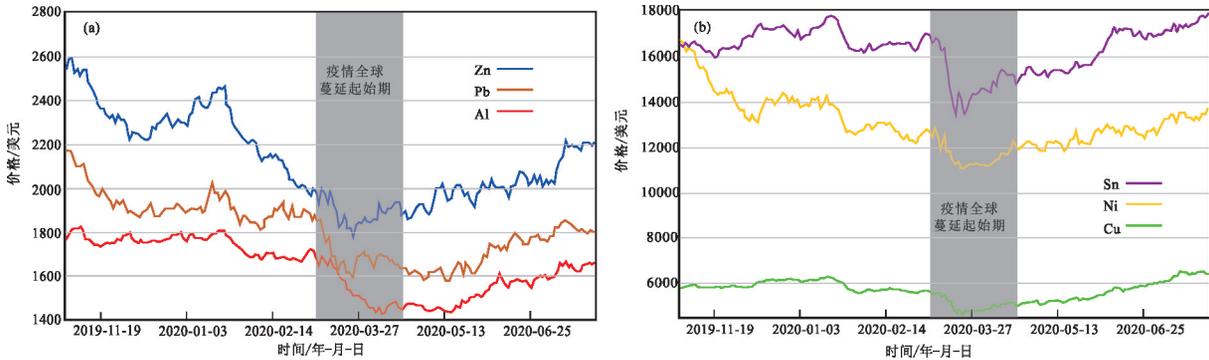


图10 2019年11月1日至2020年7月27日主要金属价格-时间变化曲线(数据来源于伦敦金属交易所)

Fig.10 Price curve of major metals over time from November 1, 2019 to July 27, 2020 (data from London Metal Exchange)

现恐慌性大幅下跌。据伦敦金属交易所数据,相比2019年底,下跌潮中最大跌幅排序依次为铜(-25%)、铝(-23%)、锌(-20%)、镍(-19%)、锡(-15%)、铅(-13%)(图10)。虽然疫情尚未直接影响铝土矿开采,但由于世界普遍性的停工停产,下游库存积压,加之市场对未来矿业形势心理预期走弱等因素叠加,铝价大幅下跌,并传导至上游,部分企业决定削减铝土矿产量或暂时停产。据报道,欧亚资源(Eurasian Resources Group)2020年4月表示受到氧化铝和铝价暴跌的影响,将对旗下位于哈萨克斯坦的一座铝土矿山进行为期3个月的关停,其铝土矿石主要出口至俄罗斯和中国。目前,世界主要铝土矿生产国中,几内亚有多个矿山由于受到疫情影响开工率不足,澳大利亚、印度尼西亚、加纳铝土矿生产尚未受影响;巴西和印度疫情持续蔓延,正在成为全球新的疫情中心,后期有可能导致铝土矿开采减产停产。虽然近期主要金属价格有震荡反弹趋势,但以美国、巴西、印度等为代表的世界主要经济体仍深陷疫情泥潭,英国、法国、意大利等欧盟国家仍面临较大防控压力,全球也存在爆发第二波疫情的可能,在此背景下,未来矿业形势仍存在很大变数。

5 结论

(1)铝土矿在全球具有分布广泛、集中度高的特点,主要分布在几内亚、澳大利亚、巴西等国。世界铝土矿主要分为红土型和岩溶型两类,前者主要分布在非洲西部、南美洲北部、印度、东南亚及澳大利亚北部和西南部,后者主要分布在南欧、加勒比海地区、亚洲西部和中国。

(2)铝土矿勘探方面,在铝土矿储量大国中,俄罗斯和澳大利亚主要以对大型成熟铝土矿山的扩边增储工作为主,巴西、加纳、牙买加等国则主要以勘探新区为主,并探获多处储量达亿t级的铝土矿远景区。铝土矿开发方面,2019年全球铝土矿产量3.7亿t,相比2018年的3.27亿t,增长13.15%。全球铝土矿主要供给国为澳大利亚、几内亚以及中国,2019年澳大利亚铝土矿产量约1亿t,占全球铝土矿产量比重的27%。

(3)受疫情影响,2020年上半年,主要金属价格出现恐慌性大幅下跌。虽然近期主要金属价格有震荡反弹趋势,但以美国、巴西、印度等为代表的世界主要经济体仍深陷疫情泥潭,英国、法国、意大利等欧盟国家仍面临较大防控压力,全球也存在爆发第二波疫情的可能,在此背景下,铝土矿勘查开发形势仍存在很大变数。

致谢:审稿专家和编辑老师对文章提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢。

References

- Abedini A, Calagari A A, Rezaei Azizi M. 2018. The tetrad-effect in rare earth elements distribution patterns of titanium-rich bauxites: Evidence from the Kanigorgeh deposit, NW Iran[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 186: 129-142.
- Abedini A, Khosravi M. 2020. Geochemical constraints on the Triassic-Jurassic Amir-Abad karst-type bauxite deposit, NW Iran[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 211: 1-15.
- Abedini A, Khosravi M, Calagari A A. 2019. Geochemical characteristics of the Arbanos karst-type bauxite deposit, NW Iran: Implications for parental affinity and factors controlling the distribution of elements[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 200: 249-265.

- Ahmadnejad F, Zamanian H, Taghipour B, Zarasvandi A, Buccione R, Ellahi S S. 2017. Mineralogical and geochemical evolution of the Bidgol bauxite deposit, Zagros Mountain Belt, Iran: Implications for ore genesis, rare earth elements fractionation and parental affinity[J]. *Ore Geology Reviews*, 86:755–783.
- Boni M, Rollinson G, Mondillo N, Balassone G, Santoro L. 2013. Quantitative mineralogical characterization of karst bauxite deposits in the southern Apennines, Italy[J]. *Economic Geology*, 108: 813–833.
- Cheng Gong, Dai Zhixiu, Jiang Sihong, Li Shanglin, Luo Yanjun. 2015. The major bauxite concentration areas and their geological characteristics in India[J]. *Light Metal*, 3: 7–12 (in Chinese with English abstract).
- Deady É, Mouchos E, Goodenough K, Williamson B, Wall F. 2014. Rare earth elements in karst–bauxites: A novel untapped European resource?[C]//1st European Rare Earth Resources Conference, Milos, Greece.
- Gao Lan, Wang Denghong, Xiong Xiaoyun, Qi Shuaijun, Yi Chengwei, Jia Shaohui. 2015. Minerogenetic characteristics and resource potential analysis of bauxite in China[J]. *Geology in China*, 42(4): 853–863 (in Chinese with English abstract).
- Gao Lan, Wang Denghong, Xiong Xiaoyun, Yi Chengwei. 2014. Summary on Aluminum Ore Deposits Minerogenetic Regulation in China[J]. *Acta Geological Sinica*, 88(12): 2284–2295 (in Chinese with English abstract).
- Giovanni Mongelli, Maria Boni, Giacomo Oggiano, Paola Mameli, Rosa Sinisi, Roberto Buccione, Nicola Mondillo. 2017. Critical metals distribution in Tethyan karst bauxite: The cretaceous Italian ores[J]. *Ore Geology Reviews*, 86:526–536.
- Hatipoglu M. 2011. Al (Fe,Ti,Si)– mobility and secondary mineralization implications: A case study of the karst unconformity diasporite– type bauxite horizons in Milas (Mugla), Turkey[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 60: 175–195.
- Henry K E, Coley M D, Greenaway A M. 2018. The dissolution of phosphorus from Jamaican bauxites under low temperature Bayer conditions[J]. *Hydrometallurgy*, 179: 132–140.
- Karadag M M, Kupeli S, Aryk F, Ayhan A, Zedef V, Doyen A. 2009. Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas–bauxite deposit (Seydis–ehir/Konya–Southern Turkey)[J]. *Geochemistry*, 69: 143–159.
- Khosravi M, Abedini A, Alipour S. 2012. Geochemistry of rare earth elements of Darzi– Vali bauxite deposit, east of Bukan, West–Azarbaijan Province, NW of Iran[J]. *Applied Geochemistry*, 11: 1–15.
- Khosravi M, Abedini A, Alipour S, Mongelli G. 2017. The Darzi–Vali bauxite deposit, West–Azarbaijan Province, Iran: Critical metals distribution and parental affinities[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 129: 960–972.
- Komolossy G. 2010. Review on global bauxites: Resources, origin and types [C]// The 18th International Academic Conference on Bauxite, Alumina and Aluminum Industry, Zhengzhou.
- Laskou M, Economou– Eliopoulos M. 2007. The role of microorganisms on the mineralogical and geochemical characteristics of the Parnassos– Ghiona bauxite deposits, Greece[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 93: 67–77.
- Li Na, Gao Hong, He Xuezhou, Wang Yanggang. 2018. Mineral resources potential and exploration prospect in the Republic of Cameroon[J]. *China Mining Magazine*, 27(8): 51–79 (in Chinese with English abstract).
- Meyer F M. 2004. Availability of Bauxite Reserves[J]. *Natural Resources Research*, 13(3): 161–172.
- Meyer F M, Happel U, Hausberg J, Wiechowski A. 2002. The geometry and anatomy of the Los Pijiguas bauxite deposit, Venezuela[J]. *Ore Geology Reviews*, 20 (1/2): 27–54.
- Mongelli G, Buccione R, Sinisi R. 2015. Genesis of autochthonous and allochthonous Apulian karst bauxites (Southern Italy): Climate constraints[J]. *Sedimentary Geology*, 325:168–176.
- Monsels D A, Van Bergen M J. 2017. Bauxite formation on Proterozoic bedrock of Suriname[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 180: 71–90.
- Monsels D A, Van Bergen M J. 2019. Bauxite formation on Tertiary sediments in the coastal plain of Suriname[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 89: 275–298.
- Oliveira F, Varajão A, Varajão C, Boulangé B, Gomes N. 2011. Bauxitisation of anorthosites from Central Brazil[J]. *Geoderma*, 167–168: 319–327.
- Qin Shukai, Ge Zhichao, Shen Huanhua, Bai Jinchun. 2012. Preliminary study on the geological features and Ore– forming regularity of laterite type bauxite in Awaso, Ghana[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 32: 247–250 (in Chinese).
- Ratallack G J. 2010. Lateritization and Bauxitization Events [J]. *Economic Geology*, 105: 655–667.
- Sidibe M, Yalcin M G. 2019. Petrography, mineralogy, geochemistry and genesis of the Balaya bauxite deposits in Kindia region, Maritime Guinea, West Africa[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 149: 348–366.
- Sun Li, Xiao Keyan, Lou Debo. 2018. Mineral prospectivity of bauxite resources in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 25(3): 82–94 (in Chinese with English abstract).
- Sun Li, Zhang Shuai, Zhang Shihong, Liu Jiannan, Xiao Keyan. 2020. Geologic characteristics and potential of bauxite in China[J]. *Ore Geology Reviews*, 120: 1–9.
- U.S. Geological Survey. 2017. Mineral Commodity Summaries[R].
- Yang Shujuan, Wang Qingfei, Deng Jun, Wang Yizhe, Kang Wei, Liu

- Xuefei, Li Zhongming. 2019. Genesis of karst bauxite-bearing sequences in Baofeng, Henan (China), and the distribution of critical metals[J]. *Ore Geology Reviews*, 115: 1–14.
- Yao Zhongyou, Chen Xifeng, Chen Yuming, Li Hanwu, Zhao Yuhao, Shen Mangting. 2017. Geological features and resources potential of bauxite in Latin America [J]. *Geological Bulletin of China*, 36 (12): 2107–2115 (in Chinese with English abstract).
- Young N J, Coley M D, Greenaway A M. 2019. Mineralogical investigations of Jamaican hematite-rich and goethite-rich bauxites using XRD and solid state ^{27}Al and ^{31}P MAS NMR spectroscopy[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 200: 54–76.
- Zhan Huaming, Zhang Baohua, Chi Qikun, Jiang Shengguo, Zhan Jian. 2012. Discussion on the geological features and genesis of Nyinahin bauxite deposit of Ghana[J]. *Mineral Deposits*, 31: 1205–1206.
- Zhang Chengxue, Wang Guoku, Zhang Zexia, Zhang Huang. 2015. Study on the metallogenetic process of lateritic bauxite in Guinea Rep[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 37(1): 11–19 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Hui, Ge Zhichao, Qin Shukai, Huang Kui, Bai Jinchun, Liang Qingling. 2017. Geochemical characteristics and metallogeny of the Awaso lateritic bauxite deposit, Ghana[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 32(2): 334–339 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Huaping, Shi Meifeng, Wang Hong, Lin Fangcheng. 2015. Geological characteristics and ore-forming model of lateritic bauxite deposits in Indo-China Peninsula, SE Asia[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (S1): 1096–1097 (in Chinese).

附中文参考文献

- 成功,戴之秀,江思宏,李尚林,罗彦军. 2015. 印度共和国铝土矿主要矿集区及其地质特征[J]. *轻金属*, 3:7–12.
- 高兰,王登红,熊晓云,齐帅军,易承伟,夹少辉. 2015. 中国铝土矿资源特征及潜力分析[J]. *中国地质*, 42(4): 853–863.
- 高兰,王登红,熊晓云,易承伟. 2014. 中国铝矿成矿规律概要[J]. *地质学报*, 88(12): 2284–2295.
- 李娜,高爱红,何学洲,王杨刚. 2018. 喀麦隆共和国矿产资源潜力与矿业开发前景[J]. *中国矿业*, 27(8): 51–79.
- 秦术凯,葛志超,申欢华,白进春. 2012. 加纳阿瓦索红土型铝土矿地质特征及成矿规律初探[J]. *四川地质学报*, 32: 247–250.
- 孙莉,肖克炎,娄德波. 2018. 中国铝土矿资源潜力预测评价[J]. *地学前缘*, 25(3): 82–94.
- 姚仲友,陈喜峰,陈玉明,李汉武,赵宇浩,沈莽庭. 2017. 拉丁美洲铝土矿地质特征及资源潜力[J]. *地质通报*, 36(12): 2107–2115.
- 詹华明,张宝华,迟其坤,江胜国,詹健. 2012. 加纳尼纳欣(Nyinahin)铝土矿矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. *矿床地质*, 31: 1205–1206.
- 张成学,王国库,张泽夏,张璜. 2015. 几内亚共和国红土型铝土矿床成矿探讨[J]. *化工矿产地质*, 37(1): 11–19.
- 郑辉,葛志超,秦术凯,黄奎,白进春,梁清玲. 2017. 加纳阿瓦索红土型铝土矿床地球化学特征及成矿作用研究[J]. *地质找矿论丛*, 32(4): 334–339.
- 朱华平,施美凤,王宏,林方成. 2015. 东南亚中南半岛地区红土型铝土矿地质特征及成矿模式[J]. *矿物学报*, (S1): 1096–1097.