

非洲矿业发展概况

任军平¹⁾, 胡鹏²⁾, 王杰¹⁾, 王建雄²⁾, 张航¹⁾, 刘江涛²⁾, 刘晓阳¹⁾, 曾国平²⁾,
孙凯¹⁾, 姜军胜²⁾, 古阿雷¹⁾, 程湘²⁾, 陈军强¹⁾, 赵凯²⁾, 吴兴源¹⁾

1) 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津, 300170;

2) 中国地质调查局武汉地质调查中心, 武汉, 430205

内容提要:矿业是非洲多数国家的支柱性产业之一,在其国民经济发展中起着关键性作用。本文综合中国地质调查局天津地质调查中心(南部非洲)和中国地质调查局武汉地质调查中心(北部非洲)取得的阶段性研究成果对非洲矿业发展情况进行了简要总结。39个非洲主要国家中,最新年度矿业产值超过150亿美元的国家有7个,矿业产值占其GDP的比例超过6%的国家有24个,近10年矿业产值占其GDP的平均比例超过6%的国家有22个。非洲大陆以冈瓦纳构造域为主体,其下伏基底主要为太古宙至古元古代变质沉积岩、变质岩浆岩和岩浆岩,内部的太古宙克拉通通常被一系列新元古代造山带所包围,部分基底被泛非期岩浆岩侵入。非洲大陆构造演化主要包括古老克拉通陆核的形成阶段(>35亿年)、克拉通演化阶段(35~16.5亿年)、地台发育和陆内裂解阶段(16.5~6亿年)、地台盖层和大断裂发育阶段(6亿年以来)等四个阶段,以新元古代泛非事件为标志可以将非洲大陆进一步划分为5个Ⅱ级构造单元。非洲地区优势矿产主要包括石油、天然气、金、铁、钴、铜、铅锌、铝土矿、铀、钾盐等近30种,本文详细介绍了镍、钴、铬、铜、铁等11个矿种的矿业项目、储量和资源量以及矿床地质特征等相关信息,可为中资企业在非洲开展矿业投资等提供权威可靠的地质资料和理论认识。

关键词: 矿业产值;地质背景;优势矿产;储量和资源量;非洲

非洲大陆矿产资源丰富,全球最重要的50种矿产在非洲均有分布,其中约17种矿产占全球总储量第一位,铬、锰、钨、铌、钼族等5种矿产超过全球总储量的80%,钴、钒、钨、锆、钻石、黄金和磷酸盐等7种矿产超过全球总储量的50%,铀、钽、锆、铯、铝矾土、氟石和石墨等7种矿产超过全球总储量的30%(Qiu Ruizhao, 2020)。因此,非洲大陆吸引了嘉能可、力拓、艾芬豪等国际矿业巨头的强烈关注与布局,并逐渐成为世界大国能源资源角力的主战场。如,2019年9月美国构建的战略矿产倡议10国联盟,积极引导刚果(金)、赞比亚、纳米比亚、博茨瓦纳等4个国家加入。中国积极提出“一带一路”倡议,力求加强中国与非洲在能源资源领域的合作。

1 经济概况

非洲大陆总面积约3037万平方千米(含附近岛屿),是全球第二大陆,约占全球陆地总面积的20.40%,涉及54个国家和地区。综合2019年非洲部分国家统计局、世界银行及中国商务部发布的国别投资指南数据,非洲总人口约12.94亿,其中尼日利亚、埃塞俄比亚和埃及3国人口均超过1亿;GDP总量约为2.47万亿美元,占全球GDP总量的2.89%,其中尼日利亚、南非、埃及、阿尔及利亚、摩洛哥等5个国家的GDP超过1千亿美元,埃塞俄比亚、肯尼亚和安哥拉等3国GDP接近1千亿美元。从人均GDP看(接近或大于4000美元),排在前十位的国家分别是塞舌尔、毛里求斯、赤道几内亚、博

注:本文为商务部技术援外项目([2015]352和[2012]558)、中国地质调查局项目(DD20190439, DD20190443, DD20201148, DD20201150, DD20201152和DD20201153)及国家自然科学基金项目(42003041)资助的成果。

收稿日期:2021-02-08;改回日期:2021-02-28;网络发表日期:2021-03-03;责任编辑:黄敏。

作者简介:任军平,男,1980年生,正高级工程师,主要从事地质矿产勘查与研究;Email: rjp2333@126.com。通讯作者:胡鹏,男,1984年生,高级工程师,从事境外地质矿产勘查工作;Email: 157521303@qq.com

引用本文: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. 地质学报, 95(4): 945~961, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2021070.
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. Mining development status of Africa. Acta Geologica Sinica, 95(4): 945~961.

茨瓦纳、加蓬、利比亚、南非、纳米比亚、阿尔及利亚和斯威士兰。

据非洲相关国家统计局、世界银行及中国商务部发布的国别投资指南数据统计(图1),最新公布的39个非洲国家矿业产值中(图2),矿业产值最大的国家是阿尔及利亚,约为360亿美元,埃及紧随其后,约为245亿美元,利比亚、纳米比亚、尼日利亚、刚果(金)和南非等5个国家的矿业产值在150-200亿美元之间,刚果(布)的矿业产值约为58亿美元,其余31个国家的矿业产值小于50亿美元。

在最新年度矿业产值占其GDP比例中(图3),

超过6%的国家有24个,包括刚果(布)和利比亚(40%~50%),刚果(金)和安哥拉(30%~40%),赤道几内亚、阿尔及利亚、毛里塔尼亚和加蓬(20%~30%),赞比亚、博茨瓦纳、几内亚、莫桑比克和津巴布韦(10%~20%),苏丹、纳米比亚、厄立特里亚、埃及、南苏丹、南非、加纳、乍得、尼日尔、利比里亚和科特迪瓦等11国(6%~10%),小于6%的国家有15个。近10年来,矿业产值占其GDP的平均比例(图4)超过6%的国家有22个,包括利比亚和刚果(布)(40%~50%),安哥拉(30%~40%),赤道几内亚、毛里塔尼亚、加蓬、阿尔及利亚和刚果(金)等5国

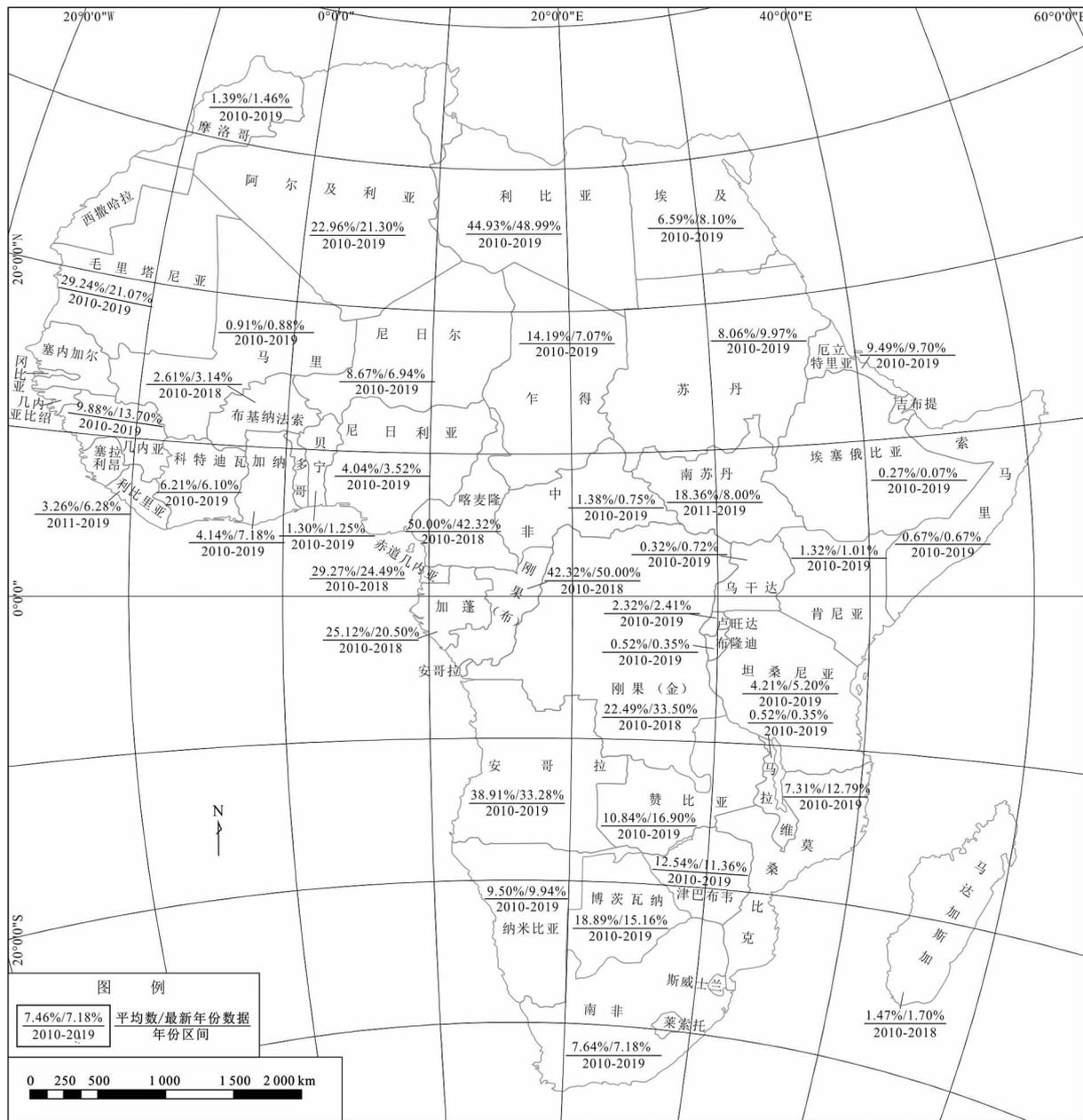


图1 2010年以来非洲主要国家矿业产值占GDP的比例

Fig. 1 The ratios of mining output value vs GDP in major African countries since 2010

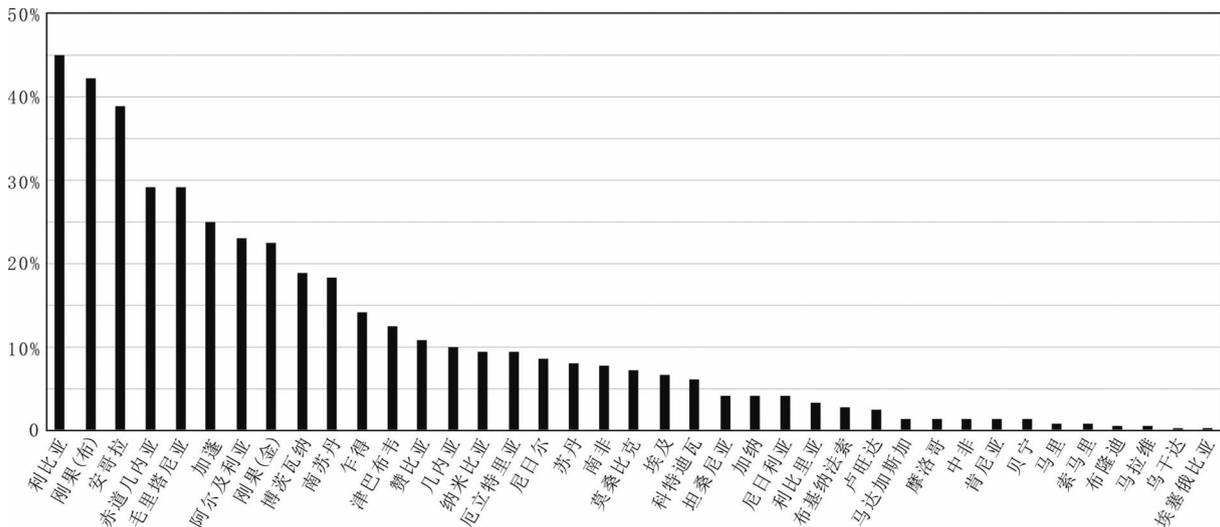


图 4 近 10 年来 39 个非洲国家矿业产值占其 GDP 的平均比例

Fig. 4 The average ratios of mining output value vs GDP of 39 African countries since 2010

固结的卡拉哈里 (Kalahari) 超群等沉积物 (Jiang Sihong et al., 2020; Berhe et al., 1987; Bosworth et al., 2006)。非洲大陆的岩浆活动发育, 尤以太古宙和新生代最为显著 (Rollinson, 2016; Bosworth et al., 2006), 包括太古宙的镁铁质岩、超镁铁质岩、花岗质和过碱性岩类, 中生代有高原玄武岩喷溢和金伯利岩侵位 (Berhe et al., 1987; Zhang Jichun et al., 2019; Xiang Penget al., 2019) 以及大陆内部及一些岛屿分布的新生代火山作用 (Barberi et al., 1972, 1977; Bosworth et al., 2006; Yao Huanzhou et al., 2018)。

总体来说, 非洲大陆构造演化大体可分为四个演化阶段 (Suwa, 1968): ① 古老克拉通陆核的形成即地壳初始形成阶段 (>35 亿年), 以古太古代的南非卡普瓦尔 (Kaapvaal) 克拉通 (Kröner et al., 2019) 为代表; ② 克拉通演化阶段 (35~16.5 亿年), 以 25 亿年的沙姆瓦 (Shamvaian) 运动和 16.5 亿年的马永贝 (Mayombe) 运动 (Bouenitela et al., 2017) 为代表; ③ 地台发育和陆内裂解阶段 (16.5~6 亿年), 以 6.5~6.2 亿年的泛非运动为代表, 使整个非洲固结为一个整体 (Ren Junping et al., 2013; Jiang Sihong et al., 2020); ④ 地台盖层和大断裂发育阶段 (6 亿年以来), 变形作用通常以宽阔的盆地形式出现, 晚古生代以来的构造运动仅影响大陆的西北缘和东、西沿海地带 (Pique et al., 1989; Xiong Liping et al., 2005)。白垩纪以来, 非洲大陆内部出现大规模断裂, 先后形成中西非裂谷和东非裂谷 (Snelling, 1965; Schettino et al., 2016; Wu Xingyuan et al., 2019)。

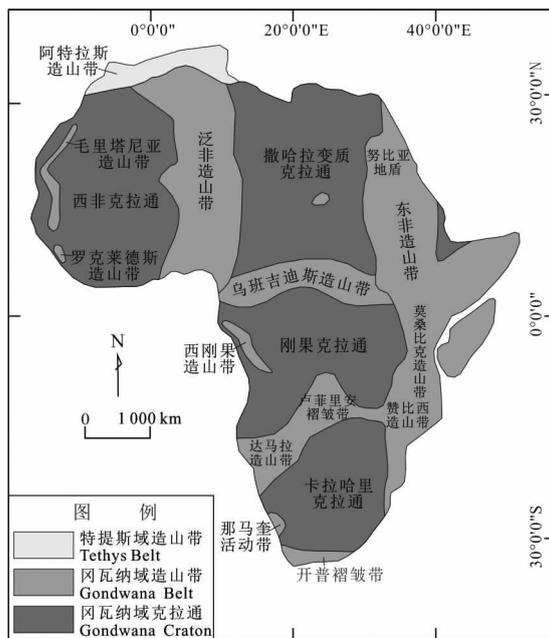


图 5 非洲大地构造图 (Haest et al., 2011; Ren Junping et al., 2017; Fagbohun et al., 2020; Jiang Sihong et al., 2020)
Fig. 5 The tectonic map of Africa (Haest et al., 2011; Ren Junping et al., 2017; Fagbohun et al., 2020; Jiang Sihong et al., 2020)

根据非洲陆壳形成及演化历史, 除大陆西北缘的阿特拉斯山脉之外的非洲大陆均属于冈瓦纳 I 级构造单元, 以新元古代泛非运动作为标志性构造运动可将非洲陆块进一步划分为 5 个 II 级构造单元: II-1 西非克拉通、II-2 撒哈拉变质克拉通、II-3 刚果克拉通、II-4 卡拉哈里克拉通和 II-5 泛非构造带 (图 5; Bouabdellah et al., 2016, Ren Junping et al., 2017; Fagbohun et al., 2020; Jiang Sihong et al., 2020)。

al., 2020)。其中,泛非构造带主要包括达马拉造山带、卢菲里安褶皱带、赞比西造山带、莫桑比克造山带、毛里塔尼亚造山带、乌班吉迪斯造山带、罗克莱德(Rokelides)造山带和西刚果造山带等。

3 矿产资源特征

非洲地区具有丰富的矿产资源,是全球矿物原材料和能源的主要供给基地,也是我国对外依存度较高的战略性矿产资源的重要来源地之一,其优势矿产主要包括石油、天然气、金、铁、钴、铜、铝、铅锌、铀、磷酸盐、钾盐等近30种(表1和图6;Wang Jie

et al., 2014; Yang Xi'an et al., 2015; Ren Junping et al., 2013, 2017; Xu Kangkang et al., 2016; Wu Xingyuan et al., 2018; Zhang Jichun et al., 2019; Xiang Penget al., 2019; Chen Jinyong et al., 2020; Sun Hongwei et al., 2021),在全球经济和社会发展中占有举足轻重的作用。经过中国地质调查局天津地质调查中心和武汉地质调查中心境外团队共同努力,梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目库,明确了非洲地区钴、铬、钨、铜、铁等16个矿种的矿业项目、储量和资源量及矿床地质特征等相关信息,本文选择重点的优势矿种介绍如下。

表1 非洲优势矿产简表

Table 1 A brief list of the preponderant minerals in Africa

序号	优势矿产	国家
1	石油	利比亚、尼日利亚、阿尔及利亚、埃及、南苏丹、赤道几内亚、安哥拉、莫桑比克、刚果(布)、索马里
2	天然气	尼日利亚、阿尔及利亚、埃及、科特迪瓦、莫桑比克、坦桑尼亚、刚果(金)、南非、索马里、肯尼亚
3	煤	尼日利亚、博茨瓦纳、赞比亚、坦桑尼亚、南非、津巴布韦、莫桑比克、索马里
4	铀	尼日尔、中非、毛里塔尼亚、纳米比亚、马拉维、南非、索马里、博茨瓦纳、坦桑尼亚、赞比亚、加蓬
5	铁	利比里亚、刚果(布)、南非、毛里塔尼亚、塞拉利昂、喀麦隆、几内亚、加蓬、阿尔及利亚、尼日利亚、莫桑比克、纳米比亚、赞比亚、博茨瓦纳、马达加斯加、坦桑尼亚
6	锰	加纳、科特迪瓦、南非、加蓬、喀麦隆、赞比亚、纳米比亚、博茨瓦纳
7	铬	苏丹、南非、津巴布韦、马达加斯加
8	钛铁矿	南非、莫桑比克、马达加斯加、肯尼亚、塞拉利昂、坦桑尼亚
9	铜	刚果(金)、赞比亚、博茨瓦纳、纳米比亚、南非、安哥拉、苏丹、津巴布韦、布基纳法索、摩洛哥、厄立特里亚、坦桑尼亚、布隆迪、刚果(布)、阿尔及利亚、埃塞俄比亚、毛里塔尼亚、莫桑比克、肯尼亚、乌干达
10	铅锌	摩洛哥、阿尔及利亚、纳米比亚、赞比亚、刚果(布)
11	铝土矿	喀麦隆、乍得、几内亚、几内亚比绍、马达加斯加、马拉维、塞拉利昂、加纳、马里、刚果(布)
12	镍	科特迪瓦、埃及、南非、博茨瓦纳、津巴布韦、坦桑尼亚、马达加斯加、埃塞俄比亚
13	钴	刚果(金)、赞比亚、马达加斯加
14	锡	刚果(金)、摩洛哥、纳米比亚、南非、津巴布韦、卢旺达
15	铂族	埃塞俄比亚、南非、津巴布韦
16	金	加纳、马里、阿尔及利亚、埃塞俄比亚、毛里塔尼亚、厄立特里亚、几内亚、南非、津巴布韦、坦桑尼亚、乌干达、肯尼亚
17	银	摩洛哥、苏丹、赞比亚、刚果(布)
18	钽铌	埃塞俄比亚、莫桑比克、刚果(金)、卢旺达、喀麦隆、乍得、几内亚、几内亚比绍、加蓬、加纳、马拉维
19	锂	刚果(金)、马里、津巴布韦、纳米比亚、加纳
20	稀土	肯尼亚、坦桑尼亚、安哥拉、布隆迪、马达加斯加、马拉维、南非、莫桑比克、纳米比亚、毛里塔尼亚
21	钻石	几内亚、塞拉利昂、利比里亚、中非、南非、纳米比亚、博茨瓦纳、坦桑尼亚、津巴布韦
22	石墨	莫桑比克、坦桑尼亚、马达加斯加
23	磷酸盐	摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯、纳米比亚、南非、刚果(金)、几内亚比绍
24	钾盐	厄立特里亚、刚果(布)、埃塞俄比亚、摩洛哥、纳米比亚、加蓬
25	岩盐	马里、尼日利亚、吉布提、埃塞俄比亚
26	石膏	毛里塔利亚、尼日利亚、索马里
27	泥炭	刚果(金)、卢旺达、布隆迪
28	硅藻土	埃塞俄比亚、马里
29	纯碱	埃塞俄比亚

3.1 铀

标普2021年1月公布的全球铀矿(U_3O_8)储量为275.00万吨,资源量为801.10万吨。其中,非洲地区铀矿的矿业项目63个,南非、纳米比亚等9个国家的铀储量为62.40万吨,资源量为152.9万吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信

息,本次初步查明尼日尔、纳米比亚、坦桑尼亚、赞比亚和毛里塔尼亚等5个国家,20个矿业项目铀矿的储量为57.60万吨,占全球总储量的20.95%;纳米比亚、尼日尔、南非、博茨瓦纳、坦桑尼亚、阿尔及利亚、中非、毛里塔尼亚、赞比亚、马拉维、马里、加蓬、几内亚、塞内加尔和喀麦隆等15个国家,41个矿业

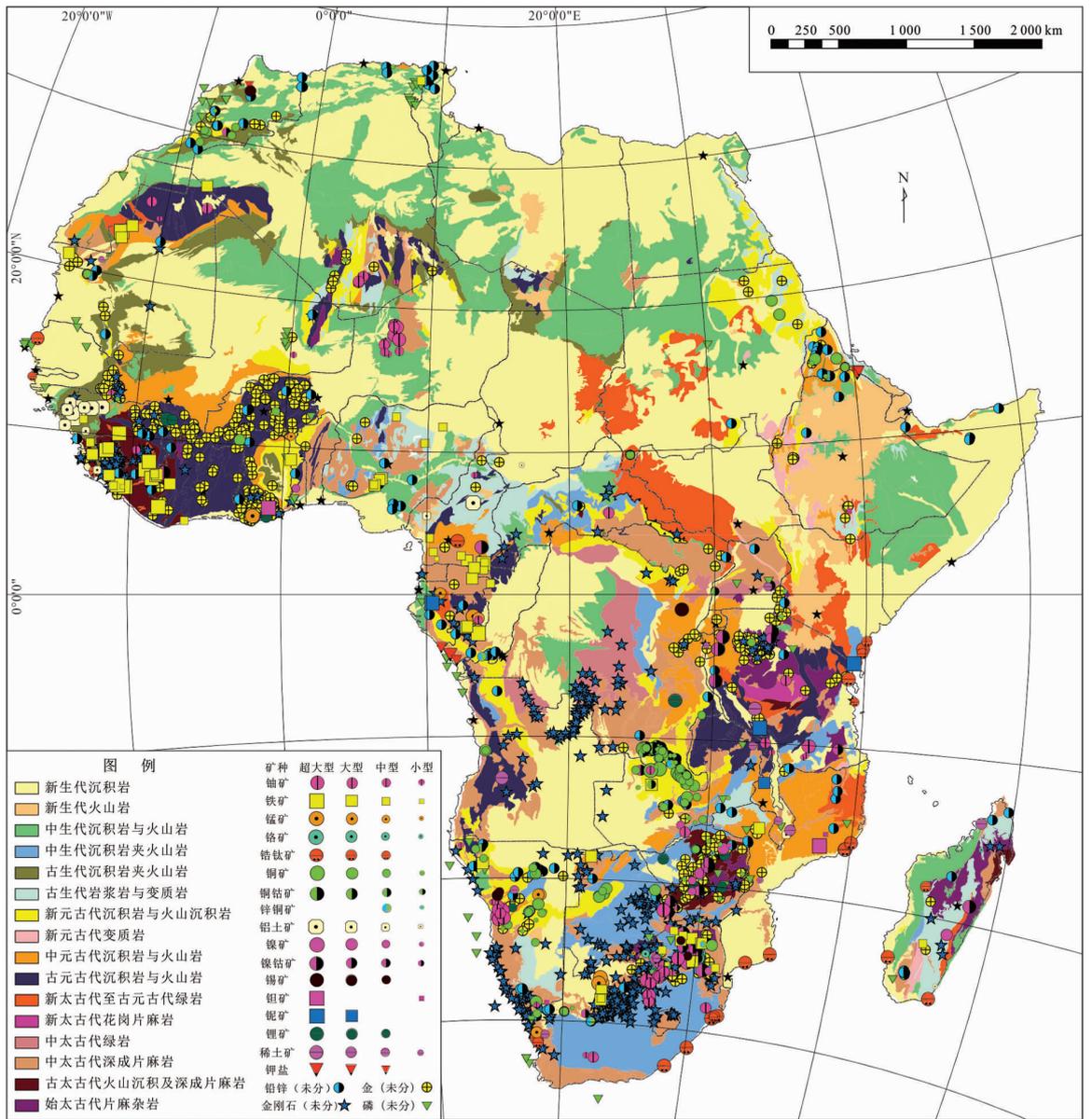


图6 非洲地质矿产图

Fig. 6 The geological and mineral map of Africa

项目铀矿的资源量为 167.25 万吨, 占全球总资源量的 20.88% (图 7)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133 号), 已掌握非洲 9 个超大型矿床、30 个大型矿床、12 个中型矿床、12 个小型矿床的相关信息。通过统计对比发现, 尼日尔铀矿储量为 31.03 万吨, 位居非洲铀矿储量首位, 纳米比亚资源量为 62.81 万吨, 位居非洲铀矿资源量首位。

非洲铀矿资源类型以侵入岩型、古砾岩型、钙结岩型为主, 其次为砂岩型、煤岩型和碳酸岩型 (Zuo Libo et al., 2017)。侵入岩型铀矿以纳米比亚的白岗岩型为代表, 该类矿床品位低, 但资源量大, 一般露天开采, 主要分布于达马拉构造带南部中央区带,

受控于白岗岩、前寒武纪地层和穹隆构造, 矿体主要产于白岗岩体(脉)及与地层接触带中 (Zhao Xigang et al., 2015; Zuo Libo et al., 2017; Ning Fujun et al., 2018)。钙结岩型铀矿主要分布于纳米比亚和索马里, 主要受控于继承性古河道, 矿体产于钙结岩中, 纳米比亚富铀的花岗岩和花岗片麻岩为钙结岩型铀矿提供了丰富的铀源 (Zuo Libo et al., 2017)。古砾岩型铀矿主要分布于南非, 铀与金伴生, 为采金的副产品, 主要产于约翰内斯堡南部的威特沃特斯兰德盆地周围 (Wang Jie et al., 2014; Ren Junping et al., 2015a), 金铀矿体主要产于太古宙角砾岩中, 受地层控制明显。砂岩型铀矿主要分布于马拉维、

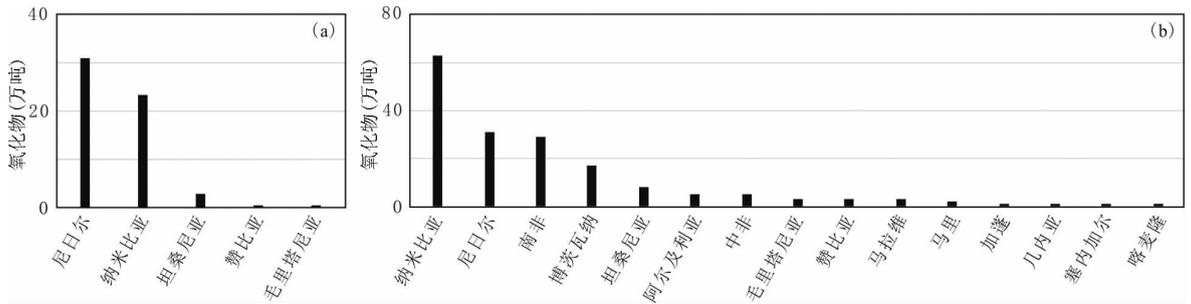


图 7 非洲铀矿储量(a)及资源量(b)分布图

Fig. 7 The distribution maps of uranium reserves (a) and resources (b) in Africa

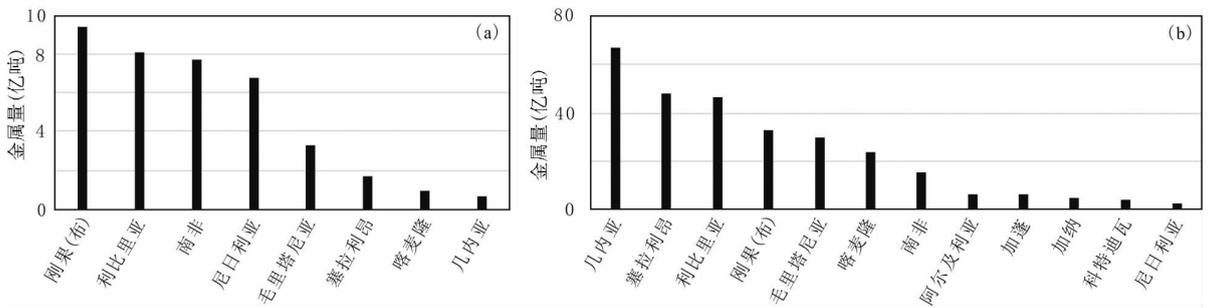


图 8 非洲铁矿储量(a)和资源量(b)分布图

Fig. 8 The distribution maps of iron ore reserves (a) and resources (b) in Africa

博茨瓦纳、尼日尔等国家(Gao Yang et al., 2014; Zuo Libo et al., 2017),铀矿物主要为沥青铀矿、铀石、吸附铀等,沥青铀矿和铀石常紧密共生,呈粒状、微脉状或浸染状(Nie Fengjun et al., 2010; Bouabdellah et al., 2016)。其中,尼日尔的砂岩型铀矿主要赋存于 Air 山西部的晚古生代和早中生代大陆沉积盆地构成的阿尔利特(Arlit)砂岩型铀矿省(Bowden et al., 1981),受地层和构造控制作用明显,矿化层为阿萨乌阿(Asaousas, K1a)组砂岩,矿化均位于 NE 与 NW 向断裂交叉处。矿化砂岩以河流相中粗粒砂岩为主,孔隙度、渗透率良好,利于流体在砂岩中流通(Xu Qiang et al., 2012)。

3.2 铁

标普 2021 年 1 月公布的全球铁(Fe)金属储量为 395.00 亿吨,资源量为 1949.80 亿吨。其中,非洲地区铁矿业项目 246 个,几内亚、利比里亚、刚果(布)、南非等 11 个国家的铁矿金属储量为 48.00 亿吨,资源量为 371.40 亿吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明利比里亚、刚果(布)、南非、尼日利亚、毛里塔尼亚、塞拉利昂、喀麦隆和几内亚等 8 个国家,22 个矿业项目铁矿金属储量为 38.50 亿吨,占全球总储量的 9.75%;几内亚、塞拉利昂、利比里亚、刚果(布)、毛里塔尼亚、喀麦隆、南非、阿尔及利亚、加蓬、加纳、科

特迪瓦和尼日利亚等 18 个国家,76 个矿业项目铁矿金属资源量为 295.20 亿吨,占全球总资源量的 15.14%(图 8)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133 号),已掌握非洲 21 个超大型矿床、36 个大型矿床、18 个中型矿床、1 个小型矿床的相关信息。通过统计对比发现,刚果(布)铁矿金属储量为 9.42 亿吨,位居非洲首位;几内亚铁矿金属资源量 66.90 亿吨,位居非洲首位。

非洲铁矿的成因类型包括 BIF 型、岩浆型、火山成因型、沉积型、接触交代-热液型及红土型等六种矿床类型(Li Houmin et al., 2012; Markwitz et al., 2016)。其中, BIF 型铁矿床主要产于太古宙表壳岩的绿岩带内,如几内亚西芒杜铁矿、塞拉利昂唐克里里铁矿及利比里亚邦矿等,矿床数量占比超过了 90%。

3.3 锰

标普 2021 年 1 月公布的全球锰(Mn)储量为 4.10 亿吨,资源量为 9.55 亿吨。其中,非洲地区锰的矿业项目 20 个,南非、加纳等 8 个国家的锰储量为 2.91 亿吨,资源量为 6.14 亿吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明南非、加蓬、加纳、科特迪瓦、多哥、喀麦隆等 6 个国家,18 个矿业项目锰的储量为 3.18 亿吨,占全球总储量的 77.56%;南非、加蓬、加纳、多哥、喀麦

隆、纳米比亚、博茨瓦纳等7个国家,20个矿业项目锰的资源量为7.17亿吨,占全球总资源量的75.08%(图9)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133号),已掌握非洲11个大型矿床、6个中型矿床、5个小型矿床的相关信息。通过统计对比发现,南非锰的储量为1.99亿吨,资源量为4.62亿吨,均位居非洲首位。

非洲是全球锰矿资源分布最多的地区,同时也是富锰矿最为集中的区域之一,成因类型可分为两种:①沉积型锰矿床在时空上与镁铁质中性火山岩和火山沉积序列相关,如南非卡拉哈里洛莫滕(Lomoteng)锰矿和加纳布特尔(Butre)锰矿等,主要富锰矿物为菱锰矿、锰白云石、褐锰矿等(Pohl et al.,2011;Liao Fengchu et al.,2013);②风化壳型锰矿床是原生锰矿床经新生代风化、堆积等作用再次富集形成,如赞比亚曼萨地区的锰矿及加纳恩苏塔(Nsuta)锰矿等,主要富锰矿物有锰钾矿、水锰矿、硬锰矿和软锰矿等(Ren Junping et al.,2016;Cheng Xiang et al.,2021)。相对全球其它地区的锰矿,非洲锰矿品位都比较高,约在30%~50%之间,且具有露天开采成本低等优势。

3.4 铬

标普2021年1月公布的全球铬矿(Cr_2O_3)储量为19643.60万吨,资源量为54505.60万吨。其中,非洲地区铬矿业项目33个,南非、津巴布韦和马达加斯加等3个国家的铬矿储量为8018.80万吨,铬矿资源量为36413.90万吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明南非16个矿业项目铬矿的储量为7048.85万吨,占全球总储量的35.88%;南非、津巴布韦和马达加斯加等3个国家,30个矿业项目铬矿的资源量为36679.85万吨,占全球总资源量的67.30%。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133号),已掌握非洲5个超大型矿床、11个大型矿床、9

个中型矿床、5个小型矿床的相关信息。通过统计对比发现,南非铬矿的储量为7048.85万吨,资源量36679.85万吨,位居非洲铬矿储量和资源量首位。

非洲铬矿主要赋存于镁铁质-超镁铁质岩中,集中于南非北部的古元古代布什维尔德镁铁质-超镁铁质杂岩体(Lv Linsu et al.,2011)和晚太古代—古元古代早期的津巴布韦大岩墙(Sun Kai et al.,2019;Wu Han,2020),形成于板内伸展环境。主要含铬矿物为铬铁矿,矿体呈层状或豆荚状产出,铬品位高,储量大,开发前景广阔。此外,苏丹的英格萨纳山地区也有类似铬铁矿矿床的分布(Zhu Yingsheng,1980)。

3.5 钛钴

标普2021年1月公布的全球钛铁矿(FeTiO_3)矿物储量为34237.30万吨,资源量为89060.20万吨;金红石(TiO_2)储量为1415.90万吨,资源量为7510.30万吨;锆石(ZrO_2)储量为3754.60万吨,资源量为13078.70万吨。其中,非洲地区钛铁矿的矿业项目24个,南非、莫桑比克等8个国家的钛铁矿储量为12826.70万吨,资源量为47978.10万吨;金红石储量为747.40万吨,资源量为2894.10万吨;锆石储量为1947.90万吨,资源量为5159.60万吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明莫桑比克、马达加斯加、肯尼亚和南非等4个国家,6个矿业项目钛铁矿储量为15244.86万吨(占全球总储量的44.53%),金红石储量为1314.42万吨(占全球总储量的92.83%),锆石储量为1622.07万吨(占全球总储量的43.20%);莫桑比克、马达加斯加、肯尼亚、南非和坦桑尼亚等5个国家,17个矿业项目钛铁矿资源量为57633.18万吨(占全球总资源量的64.71%),金红石资源量为2889.76万吨(占全球总资源量的38.48%),锆石资源量为4742.10万吨(占全球总资源量的36.26%;图10)。按照《矿产资源储量规模

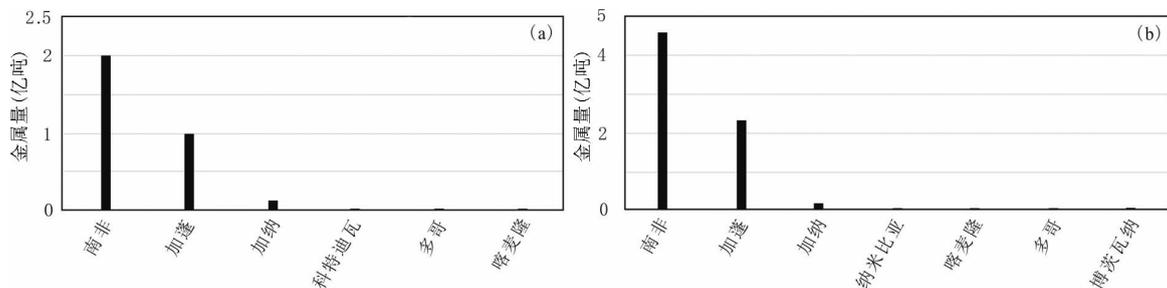


图9 非洲锰矿储量(a)资源量(b)分布图

Fig. 9 The distribution maps of manganese reserves (a) and resources (b) in Africa

划分标准》(国土资发[2000]133号),已掌握非洲20个超大型矿床、9个大型矿床、7个中型矿床、3个小型矿床的相关信息。通过统计对比发现,南非钛铁矿储量为6583.97万吨,位居非洲首位,莫桑比克钛铁矿资源量为36139.35万吨,位居非洲首位;南非金红石储量为1067.83万吨,位居非洲首位,莫桑比克金红石资源量1957.01万吨,位居非洲首位;南非锆石的储量为1098.45万吨,位居非洲首位,莫桑比克锆石的资源量4026.43万吨,位居非洲首位。

非洲锆钛重砂矿主要分布于非洲东南部,以滨海砂矿为主,由含锆钛矿物的岩体经风化剥蚀后,经水流搬运和海水冲刷富集形成冲积砂矿(Lächelt et al., 2004)。矿体主要呈面状、似层状、条带状产出,主要赋存于古近纪以来的沉积地层中,分布空间、形态、产状严格受地层控制。矿物组成以石英、钛铁矿、锆英石为主。重砂矿钛主要来源于前寒武纪火山岩变质基底,锆则主要源自花岗岩类。林波波河及赞比西河等河流腹地内的构造隆升作用加快了基底的风化剥蚀,大量重矿物被河流搬运至河口处的海洋中,经过海浪的进一步淘洗,重砂矿物沿海岸线顺海风及海涌方向分布。后续海退时,重砂矿物被滞留在沙滩,并最终形成了含重砂矿物的沙丘覆盖区(Ren Junping et al., 2021)。

3.6 铜

标普2021年1月公布的全球铜矿(Cu)储量为75568.20万吨,资源量为184508.70万吨。其中,

非洲地区铜矿业项目162个,刚果(金)、赞比亚等11个国家的铜矿储量为5229.30万吨,资源量为12983.70万吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明刚果(金)、赞比亚、南非、博茨瓦纳、厄立特里亚、摩洛哥、津巴布韦、纳米比亚、乌干达、毛里塔尼亚和坦桑尼亚等11个国家56个矿业项目铜矿的储量为5121.42万吨,占全球总储量的6.78%;刚果(金)、赞比亚、博茨瓦纳、纳米比亚、南非、安哥拉、苏丹、津巴布韦、布基纳法索和摩洛哥等20个国家,199个矿业项目铜矿资源量为18343.38万吨,占全球总资源量的9.94%(图11)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133号),已掌握非洲8个超大型矿床、41个大型矿床、71个中型矿床、76个小型矿床的相关信息。通过统计对比发现,刚果(金)铜矿的储量为2726.88万吨,资源量11059.81万吨,均位居非洲首位。

铜矿在非洲分布相对广泛,但资源量十分集中,刚果(金)、赞比亚交界的中非铜钴矿带的铜储量、资源量分别占到了整个非洲的90%以上,属于层控型Cu-Co矿(Ren Junping et al., 2013)。铜矿主要分布于新元古代罗安群矿山亚群(880~750Ma)中,以白云岩、砂岩、页岩为主,近地表主要为氧化矿,向深部逐渐变为硫化矿,以黄铜矿、斑铜矿为主(Ren Junping et al., 2013, 2017)。近期在恩古巴群地层(750~650Ma)中发现了卡莫阿-卡库拉(Kamoa-

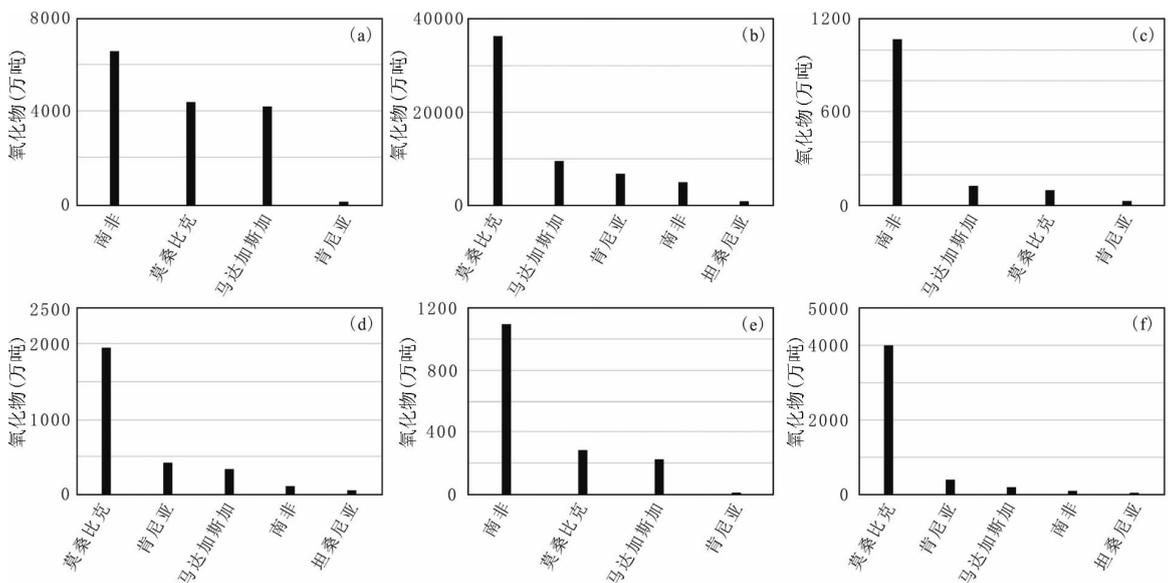


图10 非洲钛铁矿储量(a)及资源量(b)、金红石储量(c)及资源量(d)、锆石储量(e)及资源量(f)分布图

Fig. 10 The distribution maps of ilmenite reserves (a) and resources (b), rutile reserves (c) and resources (d), zircon reserves (e) and resources (f) in Africa

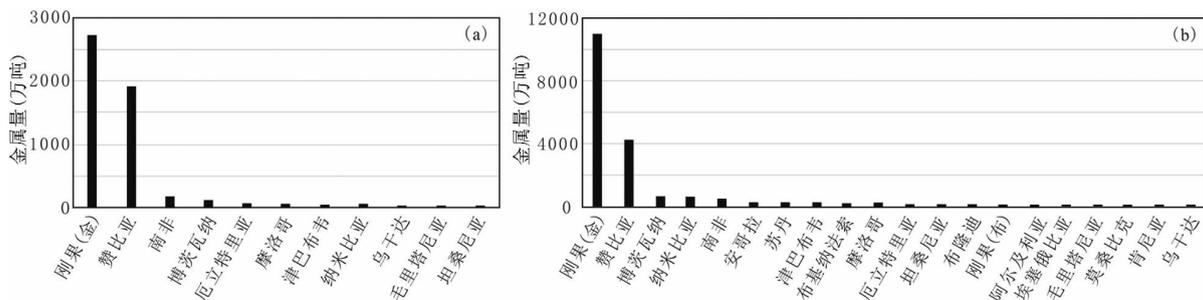


图 11 非洲铜矿的储量及资源量分布图

Fig. 11 The distribution maps of copper reserves (a) and resources (b) in Africa

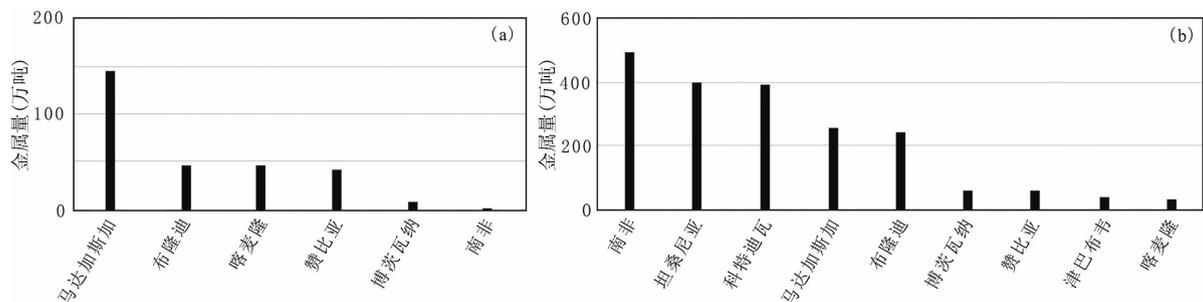


图 12 非洲镍的储量(a)及资源量(b)分布图

Fig. 12 The distribution maps of nickel reserves (a) and resources (b) in Africa

Kakula)超大型铜矿,形成于同造山期(Twite et al., 2019, 2020)。此外,非洲地区其他铜矿主要还有纳米比亚达马拉造山带的斑岩型铜矿(Liu Xiaoyang et al., 2015),南非、津巴布韦和博茨瓦纳等镁铁-超镁铁质岩中的铜镍矿等(Barnes et al., 2008; Ren Junping et al., 2015b, 2017)。

3.7 镍

标普 2021 年 1 月公布的全球镍(Ni)储量为 7289.60 万吨,资源量为 19890.50 万吨。其中,非洲地区镍的矿业项目 63 个,南非、津巴布韦等 11 个国家的镍储量为 341.80 万吨,资源量为 2665.90 万吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明马达加斯加、布隆迪、喀麦隆、赞比亚、博茨瓦纳和南非等 6 个国家,7 个矿业项目镍的储量为 287.54 万吨,占全球总储量的 3.94%;南非、坦桑尼亚、科特迪瓦、马达加斯加、布隆迪、博茨瓦纳、赞比亚、津巴布韦和喀麦隆等 9 个国家,31 个矿业项目镍的资源量为 1980.73 万吨,占全球总资源量的 9.96%(图 12)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133 号),已掌握非洲 10 个超大型矿床、9 个大型矿床、9 个中型矿床、3 个小型矿床的相关信息。通过统计对比发现,马达加斯加镍的储量为 143.96 万吨,位居非洲首位;南非镍的资源量为 494.00 万吨,位居非洲首位。

非洲镍矿项目以红土型镍矿为主,分布在马达加斯加、坦桑尼亚、科特迪瓦和喀麦隆,占非洲总储量的 99%,总资源量的 65.77%,在产的镍矿主要在南非和马达加斯加。此外,津巴布韦、博茨瓦纳、坦桑尼亚和布隆迪等 4 国镁铁质-超镁铁质岩石中也发现大量硫化物型镍矿(He Shenfei et al., 2014; Ren Junping et al., 2015b; Fu Changliang et al., 2015; Li Fei et al., 2019),随着基础设施和投资环境的改善,非洲可能成为今后镍矿开发重要方向。

3.8 钴

标普 2021 年 1 月公布的全球钴(Co)储量为 521.60 万吨,资源量为 1525.70 万吨。其中,非洲地区钴的矿业项目 48 个,刚果(金)、赞比亚等 11 个国家的钴储量为 287.40 万吨,钴资源量为 804.00 万吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明刚果(金)、赞比亚、马达加斯加、喀麦隆、南非和摩洛哥等 6 个国家,19 个矿业项目钴的储量为 311.86 万吨,占全球总储量的 59.79%;刚果(金)、赞比亚、科特迪瓦、坦桑尼亚、布隆迪、纳米比亚、马达加斯加、喀麦隆、南非、乌干达、博茨瓦纳和摩洛哥等 12 个国家,56 个矿业项目钴的资源量为 998.09 万吨,占全球总资源量的 65.42%(图 13)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133 号),已掌握非洲 13 个超

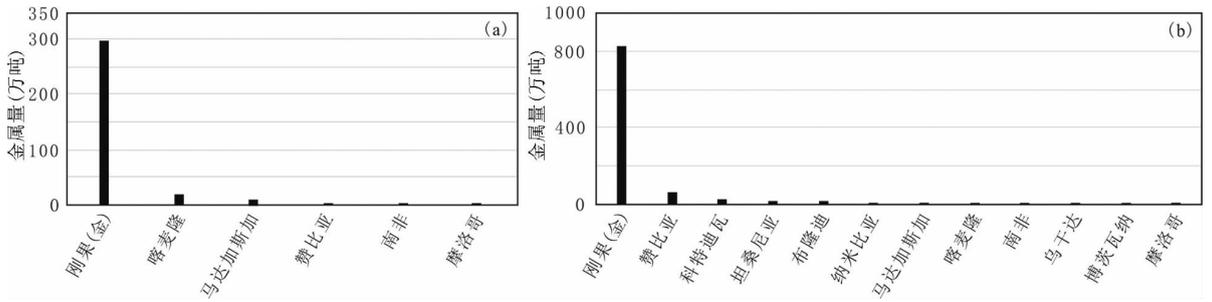


图 13 非洲钴的储量(a)及资源量(b)分布图

Fig. 13 The distribution maps of cobalt reserves (a) and resources (b) in Africa

大型矿床、27 个大型矿床、14 个中型矿床、2 个小型矿床的相关信息。通过统计对比发现,刚果(金)钴的储量为 297.11 万吨,资源量 825.78,均位居非洲首位。

钴矿一般作为铜矿或镍矿的伴生矿产,在非洲主要为层控型 Cu-Co 矿 (Ren Junping et al., 2013)、红土型 Ni-Co 矿 (Huang Guoping et al., 2014; Zhao Yuandong et al., 2018) 和岩浆型 Ni-Cu (-Co-PGE) 矿 (Ren Junping et al., 2015b)。此外,还有少量铁氧化物型 (IOCG 型) Cu-Au (-Ag-U-REE-Co-Ni) 矿、脉状热液交代型多金属富 Co 矿和火山块状硫化物型 Cu-(Zn-Co-Ag-Au) 矿 (Ren Junping et al., 2017; Tang Wenlong et al., 2018)。其中,层控型 Cu-Co 矿为非洲最主要的钴矿类型,集中于刚果(金)和赞比亚两国交界地区的中非铜钴成矿带中。中非铜钴带是非洲、乃至全球最主要的钴产地,集中了非洲钴矿总储量的 90% 以上,总资源量的 89%。随着新能源材料需求的提升,中非铜钴成矿带不断有找矿新突破,已成为全球战略性矿产的争夺点之一。

3.9 锂

标普 2021 年 1 月公布的全球锂矿 (Li) 储量为 9014.80 万吨,资源量为 10410.50 万吨。其中,非洲地区锂矿业项目 39 个,刚果(金)、马里、津巴布韦、纳米比亚和加纳等 5 国的锂矿储量为 274.30 万吨,资源量 774.50 万吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明刚果(金)、马里、津巴布韦和纳米比亚等 4 个国家,4 个矿业项目锂矿的储量为 455.38 万吨,占全球总储量的 5.05%;刚果(金)、马里、津巴布韦、纳米比亚和加纳等 5 个国家 12 个矿业项目锂矿资源量为 739.70 万吨,占全球总资源量的 7.11% (图 14)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133 号),已掌握非洲 11 个大型矿床、1 个中

型矿床的相关信息。通过统计对比发现,刚果(金)锂矿的储量为 326.70 万吨,资源量为 481.52 万吨,均位居非洲首位。

锂矿在非洲相对较少,资源量较为集中,目前已发现的锂矿中 78% 的储量和 88% 的资源量分布在刚果(金)和马里两国,并且以刚果(金)为主。非洲的锂矿几乎均为与花岗伟晶岩有关的硬岩型锂矿,往往形成于裂谷构造演化之后,碱性岩浆、碳酸岩浆和伟晶岩等综合作用的产物,矿石矿物以锂辉石为主。目前非洲已发现的锂矿床均与稳定地台(地盾)区相关 (Wang Denghong et al., 2017),主要分布在泛非褶皱带和津巴布韦—南非两大成矿带。其中,泛非褶皱带成矿带呈 NNE-SSW 向自乌干达西南部经卢旺达、布隆迪、刚果(金)进入安哥拉,主要产出含稀有金属的花岗伟晶岩,如刚果(金)的扎伊尔北卢古鲁伟晶岩田;津巴布韦—南非成矿带位于南非—津巴布韦太古宙地盾内,如津巴布韦比基塔伟晶岩田曾是著名的锂辉石产地 (Liu Lijun et al., 2019)。近年来马里南部地区也是一个找锂矿的新热点地区,野外地质调查已经证实该地区存在含锂辉石的粗粒伟晶岩 (Liu Lijun et al., 2017)。

3.10 稀土

中国对全球稀土拥有绝对的控制力和话语权,标普未公布全球稀土储量和资源量的相关数据。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明肯尼亚、莫桑比克、南非、坦桑尼亚和纳米比亚等 5 个国家,7 个矿业项目稀土氧化物的储量为 330.46 万吨;肯尼亚、坦桑尼亚、安哥拉、布隆迪、马达加斯加、马拉维、南非、莫桑比克、纳米比亚和毛里塔尼亚等 10 个国家,13 个矿业项目稀土氧化物的资源量为 997.38 万吨 (图 15)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133 号),已掌握非洲 3 个超大型矿床、5 个大型矿床、3 个中型矿床、3 个小型矿床的相关信息。通过统计

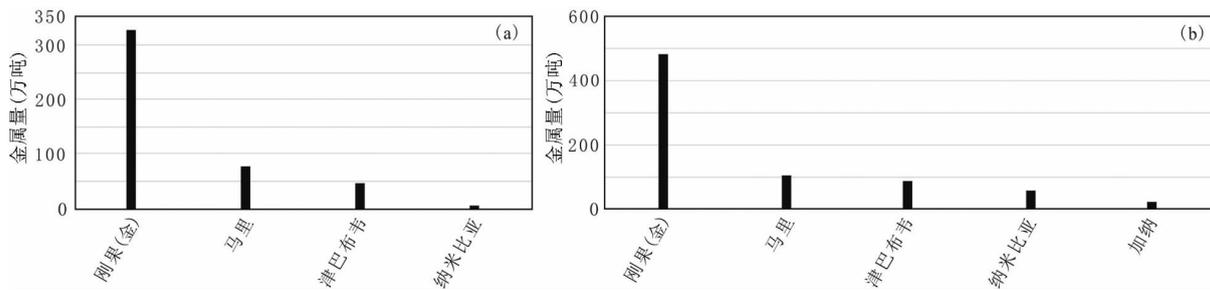


图 14 非洲锂矿储量(a)资源量(b)分布图

Fig. 14 The distribution maps of lithium reserves (a) and resources (b) in Africa

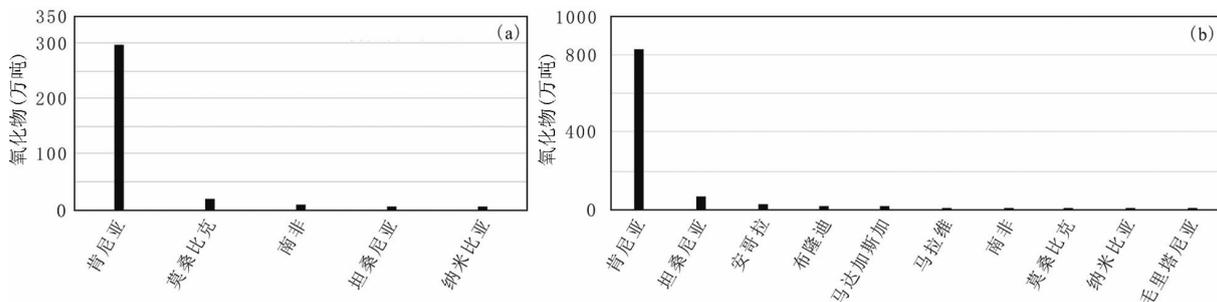


图 15 非洲稀土的储量(a)及资源量(b)分布图

Fig. 15 The distribution maps of rare earth elements reserves (a) and resources (b) in Africa

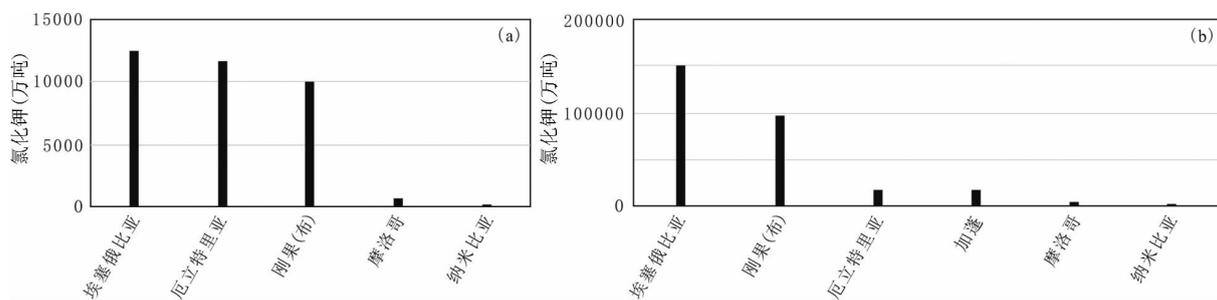


图 16 非洲钾盐储量(a)资源量(b)分布图

Fig. 16 The distribution maps of sylvite reserves (a) and resources (b) in Africa

对比发现,肯尼亚的稀土氧化物储量为 297.11 万吨,资源量 825.78 万吨,均位居非洲首位。

非洲稀土矿主要产于火成碳酸岩中,成矿时代集中于中元古代晚期到早古生代,稀土元素赋存于氟碳铈矿、独居石、磷钇矿等矿物中(Lehmann et al., 1994; Bodeving et al., 2017; Broom-Fendley et al., 2017; Witt et al., 2019; Zhou Jikuangye, 2020; Buyse et al., 2020; Al-Ali et al., 2020)。由于目前非洲地区的稀土矿多处于勘查阶段,有明确的稀土矿规模的数据相对较少。从现有资料来看,非洲稀土矿元素种类较齐全,镨、钆和重稀土元素品位高于美国和澳大利亚的稀土矿。近年来,美国、加拿大、澳大利亚、英国和日本等国家不断加大对非洲稀土矿项目的投入,导致非洲稀土勘探开发速度较快。

3.11 钾盐

标普 2021 年 1 月公布的全球钾盐(KCl)储量为 30.00 亿吨,资源量为 209.10 亿吨。其中,非洲地区钾盐矿业项目 25 个,刚果(布)等 6 国的钾盐储量为 2.80 亿吨,资源量为 22.20 亿吨。经梳理非洲上市公司年报及已掌握的矿业项目等信息,本次初步查明埃塞俄比亚、厄立特里亚、刚果(布)、摩洛哥和纳米比亚等 5 个国家,7 个矿业项目钾盐储量为 3.49 亿吨,占全球总储量的 11.63%;埃塞俄比亚、刚果(布)、厄立特里亚、加蓬、摩洛哥和纳米比亚等 6 个国家,8 个矿业项目钾盐资源量为 28.72 亿吨,占全球总资源量的 13.74%(图 16)。按照《矿产资源储量规模划分标准》(国土资发[2000]133 号),已掌握非洲 8 个大型矿床的相关信息。通过统计对比

发现,埃塞俄比亚钾盐的储量为1.25亿吨,资源量为15.08亿吨,均位居非洲首位。

钾盐在非洲分布相对广泛,其主要集中于三个成矿区:①加蓬-刚果盆地钾盐成矿区,该地区的钾盐(KCl)储量和资源量分别为10.00亿吨和9.70亿吨,矿石类型以光卤石为主,钾石盐较少,成钾时代为白垩纪,大部分钾盐资源分布于刚果(布);②埃塞俄比亚-厄立特里亚边界达纳基尔洼地钾盐成矿区,该地区是非洲钾盐资源最丰富的地区,其储量和资源量分别约占整个非洲的60%和70%,该钾盐洼地的形成与东非大裂谷演化具有密切联系,其矿石类型包括钾石盐型和光卤石型,成钾时代为第四纪,其中厄立特里亚的克鲁里矿区主要以钾石盐型矿石为主,初步估算钾盐资源量达2.90亿吨;③摩洛哥赫米塞特盆地钾盐成矿区,位于非洲西北部,成钾时代为三叠纪,初步估算其拥有光卤石岩达2.5亿吨和钾石盐6000万吨(Cao Ye et al., 2015)。

4 主要认识

(1)非洲54个国家和地区的GDP总量约为2.47万亿美元,占全球GDP总量的2.89%。其中,尼日利亚、南非、埃及、阿尔及利亚、摩洛哥等5个国家的GDP超过1千亿美元。39个非洲主要国家中,最新年度矿业产值超过150亿美元的国家有7个,其中最高的国家是阿尔及利亚,约为360亿美元;矿业产值占其GDP比例超过6%的国家有24个,其中刚果(布)占比最高(50.00%);近10年矿业产值占其GDP的平均比例超过6%的国家有22个,其中利比亚占比最高(44.93%)。

(2)非洲大陆横跨特提斯和冈瓦纳两大构造域,主要位于冈瓦纳I级构造单元内,下伏基底主要为太古宙至古元古代的变质沉积岩、变质岩浆岩和岩浆岩,内部的太古宙克拉通(花岗—绿岩带)常被一系列新元古代造山带所包围,部分基底还被泛非期岩浆岩侵入。非洲大陆构造演化主要包括四个阶段:古老克拉通陆核的形成阶段(>35亿年)、克拉通演化阶段(35~16.5亿年)、地台发育和陆内裂解阶段(16.5~6亿年)、地台盖层和大断裂发育阶段(6亿年以来),以新元古代泛非运动作为标志性构造运动可将非洲陆块进一步划分为西非克拉通、撒哈拉变质克拉通、刚果克拉通、卡拉哈里克拉通和泛非构造带5个II级构造单元。

(3)非洲地区具有丰富的矿产资源,是全球矿物原材料和能源的主要供给基地,也是我国对外依存

度较高的战略性矿产资源的重要来源地之一,优势矿产主要包括石油、天然气、金、铁、钴、铜、铝、铅锌、铀、磷酸盐、钾盐等近30种,已基本掌握其中的16个矿种的矿业项目数量、储量和资源量等相关信息,可为中资矿业企业的矿权登记及矿产开发等方面提供基础的地质资料和科学依据,符合国家实施的“一带一路”倡议和《中非合作论坛——北京行动计划(2019~2021年)》。

References

- Abati J, Aghzer A M, Gerdes A, Ennih N. 2012. Insights on the crustal evolution of the West African Craton from Hf isotopes in detrital zircons from the Anti-Atlas belt. *Precambrian Research*, 212-213(213):263~274.
- Al-Ali S, Wall F, Fitzpatrick R, Broom-Fendley S, Rollinson G, Brady A E, Pickles J R, Williams A, Dawes W. 2020. Key process mineralogy parameters for rare earth fluorocarbonate-bearing carbonatite deposits: The example of Songwe Hill, Malawi. *Minerals Engineering*, 159. DOI: <http://377.rm.cglhub.com/10.1016/j.mineng.2020.106617>
- Andersen L S, Unrug R. 1984. Geodynamic evolution of the Bangweulu Block, northern Zambia. *Precambrian Research*, 25:187~212.
- Barberi F, Tazieff H, Varet J. 1972. Volcanism in the afar Depression: its tectonic and magmatic significance. *Tectonophysics*, 15:19~29.
- Barberi F, Varet J. 1977. Volcanism of Afar: small-scale plate tectonics implications. *Bulletin of the Geological Society of America*, 88:1251~1266.
- Barnes S J, Chinyepi G, Maier W D. 2008. The composition of magmatic Ni-Cu-(PGE) sulfide deposits in the Tati and Selebi-Phikwe belts of eastern Botswana. *Mineralium Deposita*, 43(1):37~60.
- Barth M G, Rudnick R L, Carlson R W, Horn I, McDonough W F. 2002. R-Os and U-Pb geochronological constraints on the eclogite-tonalite connection in the Archaean Man Shield, West Africa. *Precambrian Research*, 118:267~283.
- Berhe S M, Desta B, Nicoletti M, Teferra M. 1987. Geology, Geochronology and geodynamic implications of the Cenozoic magmatic province in W and SE Ethiopia. *Journal Geological Society London*, 144:213~226.
- Bodeving Sarah, Williams-Jones A E, Swinden S. 2017. Carbonate-silicate melt immiscibility, REE mineralising fluids, and the evolution of the Lofdal Intrusive Suite, Namibia. *Lithos*, 268~271:383~398.
- Bosworth W, Huchon P, McClay K. 2006. The Red Sea and Gulf of Aden Basins. *Journal of African Earth Sciences*, 43(1-3):334~378.
- Bouabdellah M, Slack J F. 2016. *Mineral Deposits of North Africa*. Springer, Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31733-5>
- Bouenitela V, Balleve M, Boudzoumou F. 2017. Garnet texture and chemical zoning: a clue for the history of the Mayombe (Congo-Brazzaville). *Goldschmidt Conference 2017, Paris, France*.
- Bowden P, Bennett J N, Kinnaird J A, Whitley J E, Abaa S I. 1981. Uranium in the Niger-Nigeria Younger Granite Province. *Mineralogical Magazine*, 44(336):379~389.
- Broom-Fendley S, Brady A E, Horstwood M S A, Woolley A, Mtegha J, Wall F, Dawes W, Gunn G. 2017. Broom-Fendley Geology, geochemistry and geochronology of the Songwe Hill carbonatite, Malawi. *Journal of African Earth Sciences*, 134:10~23.
- Buyse F, Dewaele S, Decrée S, Mees F. 2020. Mineralogical and geochemical study of the rare earth element mineralization at Gakara (Burundi). *Ore Geology Reviews*, 124. DOI: <https://>

- doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103659.
- Cao Ye, Zheng houyi, Yao meijuan, Zhang xin, Sun xiaohong, Tang yao. 2015. Discussion on the division of metallogenic belts of the global potash resources. *Mineral Exploration*, 6(6): 775~780 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jinyong, Fan Honghai, Wang Shengyun, Gu Dazhao, Zhang Chuang, Chen Donghuan. 2020. The sulfide characteristics and S-Pb isotopic composition of leucogranite-type uranium deposit in the Gaudeamus area, central Damarabelt, Namibia. *Acta Geologica Sinica*, 94(2): 587~598 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Xiang, Hu Peng, Zhang Haikun, Jiang Junsheng. 2021. The main types, distribution and current development of manganese ore deposits. *Geology in China*, 48(1): 102~119 (in Chinese with English abstract).
- Fagbohun B J, Omitogun A A, Bamisaiye O A, Ayoola F J. 2020. Gold potential of the Pan African Trans-Sahara belt and prospect for further Exploration. *Ore Geology Reviews*, 116: 103260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103260>
- Fu Changliang, Yang Qinghua, Jiang Qigang, Wang Mengfei, Jiang Xiao. 2015. Application of remote sensing technique to geological survey abroad: A case study of Great Dyke, Zimbabwe. *Remote Sensing for Land and Resources*, 27(4): 85~92 (in Chinese with English abstract).
- Gao Yang, Fan Honghai, Gu Dazhao, Chen Donghuan. 2014. Status analysis on uranium resources in Africa. *World Nuclear Geoscience*, 2014, 31(4): 561~565 (in Chinese with English abstract).
- Haest M, Muchez P. 2011. Stratiform and vein-type deposit in the pan-african orogen in central and southern africa; evidence for multiphase mineralization. *Geological Belgica*, 14(1/2): 23~44.
- He Shengfei, Sun Kai, Wang Jie, Ren Junping, Liu Xiaoyang. 2014. New Progress on the Kabanga Cu-Ni Sulphide Deposits Research, Northwestern Tanzania. *Geological Survey and Research*, 37(1): 6~12 (in Chinese with English abstract).
- Huang Guoping, Hu Qingle, Chen Dongming, Li Liang, Zhang Zhong, Zhu Anan, Xu Haibo. 2014. General Situation of Geology and Mineral Resources in Madagascar. *Resources Environment and Engineering*, 28(5): 626~632 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Sihong, Zhang Lili, Liu Yifei, Li Gaofeng, Ji Genyuan. 2020. Distribution Characteristics of Gold Deposits in Africa and Exploration Suggestions. *Gold Science and Technology*, 28(4): 465~478 (in Chinese with English abstract).
- Kouamelan A N, Delor C, Peucat J J. 1997. Geochronological evidence for reworking of Archaean terrains during the early Proterozoic (2.1 Ga) in the western Côte d'Ivoire (Man Rise-West African Craton). *Precambrian Research*, 86: 177~199.
- Kröner A, Hoffmann J E, Wong J M, Geng H Y, Schneider K P, Xie H Q, Yang J H, and Noah Nhleko. 2019. Archaean Crystalline Rocks of the Eastern Kaapvaal Craton//Kröner A, Hofmann A. *The Archaean Geology of the Kaapvaal Craton, Southern Africa*. Berlin, Springer; 1~32.
- Lächelt S, Winterbach D J, van Heerden J A. 2004. Geology and Mineral Resources of Mozambique. National Directorate of Geology, Mozambique; 235~258.
- Lehmann B, Nakai S, Höhndorf A, Brinckmann J, Dulski P, Hein U, Masuda A. 1994. REE mineralization at Gakara, Burundi; Evidence for anomalous upper mantle in the western Rift Valley. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(2): 985~992.
- Li Fei, Pei Yunjing, Li Langtian, Zhu Yonggang, Wu Jibing, Su Jinshan. 2019. Geological Characteristics and Examples of Typical Deposits of Copper, Copper-nickel Deposits in Northeast Botswana. *Resources Environment and Engineering*, 33(3): 330~336 (in Chinese with English abstract).
- Li Houmin, Wang Denghong, Li Lixing, Chen Jing, Yang Xiuqing, Liu Mingjun. 2012. Metallogeny of iron deposits and resource potential of major iron minerogenetic units in China. *Geology in China*, 39(3): 559~580 (in Chinese with English abstract).
- Liao Fengchu, Zhou Youxi. 2013. Geological characteristics and prospecting direction of Lomoteng manganese deposit in South Africa. *Land and Resources Herald*, 10: 64~66 (in Chinese).
- 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).
- 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 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoyang, Gong Penghui, Liu Yu, Wu Xingyuan, Wang Jie, Ren Junping, He Fuqing, He Shengfei. Geological characteristics of porphyry copper deposits in southwestern Namibia. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2015, 30(zl): 104~111 (in Chinese with English abstract).
- Lv Linsu, Wang Yunfeng, Li Hongbo, Zhou Zhenhua, Zhang Zuoheng, Xie Guiqing. 2011. Discussion on the metallogenesis of Bushveld magmatic Cu-Ni-PGE sulphide deposit in South Africa. *Mineral Deposits*, 30(6): 1129~1148 (in Chinese with English abstract).
- Markwitz V, Hein K A A, Miller M. 2016. Compilation of West African mineral deposits; Spatial distribution and mineral endowment. *Precambrian Research*, 274: 61~81.
- Nie Fengjun, Lin Shuangxing, Yan Zhaobin, Rao Minghui, Yang Yongji, Zhang Chengyong, Yan Yongjie. 2010. Hydrothermal Mineralization of Uranium in Sandstone, Teguida, Niger. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(6): 819~831 (in Chinese with English abstract).
- Ning Fujun, Wang Jie, Ren Junping, Liu Xiaoyang, Zuo Libo, Gu Alei, Sun Hongwei, He Shengfei, He Fuqing. 2018. A preliminary study on the geodynamic evolution and mineralization in Damara Belt, Namibia. *Geological Survey and Research*, 41(2): 113~120 (in Chinese with English abstract).
- Pique A, Michard A. 1989. The Paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa. *American Journal of Science*, 289(3): 286~330.
- Pohl W L. 2011. *Economic Geology of Metals// Economic Geology Principles and Practice: Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons-Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral Deposits*. Wiley-Blackwell.
- Qiu Ruizhao. 2020. Discussion on the metallogenic belts divided in African continent. *Geology in China*, 47(6): 1937~1940 (in Chinese).
- Ren Junping, Wang Jie, Zuo Libo, Gu Alei, Sun Hongwei, Xu Kangkang, Chipilauka Mukofu, Alphet Phaskani Dokowe, Ezekiah Chikambwe, Chishimba Canisius, Daniel Malunga. 2019a. Zircon U-Pb geochronology, Lu-Hf isotopic compositions and geochemical characteristics of the quartz diorites from western Kasama in northern Zambia. *Acta Geologica Sinica*, 93(11): 2832~2846 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Wang Jie, Gu Alei, Zuo Libo, Sun Hongwei, Xu Kangkang, Wu Xingyuan, Dokowe A P, Chikambwe E. 2019b. Zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopic composition of syenogranite, northeastern Zambia. *Geological Survey and Research*, 42(3): 161~165 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Wang Jie, Sun Hongwei, Feng Lin, Zuo Libo, Gu Alei, He Fuqing, Mukofu C, Dokowe A P, Chikambwe E, Canisius C, Malunga D. 2019c. Depositional environment of the Kasama Group, northeastern Zambia; Evidence from detrital zircon U-Pb-Hf isotopic compositions. *Geology in China*, 46(3): 575~586 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Wang Jie, Gu Alei, Zuo Libo, Sun Hongwei, Dai Chaoheng, Xu Kangkang, Tang Wenlong, Peng Lina, Wang Feicui, Xing Shi, Liu Zijiang. 2021. Development status of

- Ilmenite-Zircon Placer and Investment Environment Analyses in Mozambique. *Geology and Resources*, 30 (1): 45 ~ 52 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Wang Jie, Liu Xiaoyang, He Fuqing, He Shengfei, Zuo Libo, Xu Kangkang, Gong Penghui, Sun Kai, Liu Yu. 2017. Research Status and Prospecting Potential of Copper Polymetallic Deposits in Central-South Africa. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 47 (4): 1083 ~ 1103 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Wang Jie, Liu Xiaoyang, He Shengfei, He Fuqing, Xu Kangkang. 2013. Research Progresses on the Cu-Co Deposits of Lufilian Area in the Mid-Southern Africa. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 32 (5): 135 ~ 145 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Xu Kangkang, Xiang Zhenqun, Zuo Libo, Wang Jie, Liu Xiaoyang, He Shengfei, Liu Yu, He Fuqing. 2015. Geological characteristics, metallogenic model and prospecting criteria of the South Deep gold deposit in Witwatersrand Basin, South Africa. *Geological Bulletin of China*, 34 (6): 1217 ~ 1226 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Xu Kangkang, Liu Xiaoyang, Wang Jie, Zuo Libo, Sun Kai, He Shengfei, He Fuqing. 2015b. Progresses of research on the Selebi-Phikwe Cu-Ni sulphide deposit in Botswana. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 30 (z1): 129 ~ 136 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Zuo Libo, Xu Kangkang, Wang Jie, Liu Xiaoyang, He Shengfei, Liu Yu, He Fuqing. 2016. Geodynamic Evolution and Mineral Resources Present Research in Bangweulu Block, Northern Zambia. *Geological Review*, 62 (4): 979 ~ 996 (in Chinese with English abstract).
- Rollinson H. 2016. Archaean crustal evolution in West Africa: A new synthesis of the Archaean geology in Sierra Leone, Liberia, Guinea and Ivory Coast. *Precambrian Research*, 281: 1 ~ 12.
- Schettino A, Macchiavelli C, Pierantoni P P, Zanoni D, Rasul N. 2016. Recent kinematics of the tectonic plates surrounding the Red Sea and Gulf of Aden. *Geophysical Journal International*, 207: 457 ~ 480.
- Schofield D I, Horstwood M S A, Pitfield P E J, Gillespie M, Darbyshire F, O'Connor E A, Abdouloye T B. 2012. U-Pb dating and Sm-Nd isotopic analysis of granitic rocks from the Tiris Complex: New constraints on key events in the evolution of the Reguibat Shield, Mauritania. *Precambrian Research*, 204-205: 1 ~ 11.
- Snelling N J. 1965. Age Determinations on Three African Carbonatites. *Nature*, 205(4970): 491 ~ 491.
- Sun Kai, Zhao Zhidan, Ke Shan, He Shengfei, Zhou Su, Ren Junping, Wu Xingyuan, Gu Alei. 2019. Geochemistry and Geological Significance of the Stratiform Chromite in the Great Dyke of Zimbabwe. *Geology and Exploration*, 55 (1): 103 ~ 114 (in Chinese with English abstract).
- Sun Hongwei, Wang Jie, Ren Junping, Zuo Libo, Gu Alei. 2019. Sedimentary Stratigraphic Characteristics of The Mporokoso Basin in The North-eastern Zambia. *Geological Review*, 65 (1): 232 ~ 245 (in Chinese with English abstract).
- Sun Hongwei, Wang Jie, Ren Junping, Tang Wenlong, Gu Alei, Zuo Libo, He Fuqing. 2021. Geological characteristics analysis of granite type and pegmatite type tantalum deposits in southern Africa. *Geological Review*, 67 (1): 265 ~ 277 (in Chinese with English abstract).
- Suwa K. 1968. Precambrian of African Continents. DOI: 10.11619/africa1964.1968.25
- Tang Wenlong, Sun Hongwei, Liu Xiaoyang, Wang Jie, Zuo Libo, Wu Xingyuan. 2018. Metallogeny and Resource Potential of Nickel Deposits in Mid-Southern Africa. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 48 (1): 53 ~ 69 (in Chinese with English abstract).
- Thiéblemont D, Delor C, Cocherie A, Lafon J M, Goujou J C, Baldéd A, Bah M, Sané H, Fanning C M. 2001. A 3.5 Ga granite-gneiss basement in Guinea; further evidence for early archaean accretion within the West African Craton. *Precambrian Research*, 108: 179 ~ 194.
- Twite F, Broughton D, Nex P, Kinnaird J, Gilchrist G, Edwards D. 2019. Lithostratigraphic and structural controls on sulphide mineralisation at the Kamao copper deposit, Democratic Republic of Congo. *Journal of African Earth Sciences*, 151: 212 ~ 224.
- Twite F, Nex Paul, Kinnaird Judith. 2020. Strain fringes and strain shadows at Kamao (DRC), implications for copper mineralisation. *Ore Geology Reviews*, 122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103536>.
- Vail J R. 1983. Pan-African crustal accretion in north-east Africa. *Journal African Earth Sciences*, 1: 285 ~ 294.
- 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 Jie, Ren Junping, He Shengfei, Xu Kangkang, Liu Xiaoyang, Zuo Libo, Sun Kai, Gong Penghui, He Fuqing. 2014. Review of Studies on the Gold Deposit-accumulated Area in South Africa. *Geological Review*, 60 (5): 997 ~ 1008 (in Chinese with English abstract).
- Witt W K, Hammond D P, Hughes M. 2019. Geology of the Ngualla carbonatite complex, Tanzania, and origin of the Weathered Bastnaesite Zone REE ore. *Ore Geology Reviews*, 105: 28 ~ 54.
- Wu Xingyuan, Liu Xiaoyang, Ren Junping, He Shengfei, Sun Kai, Sun Hongwei. 2019. Recent progress of the geochemical and petrogenesis research of the Panda Hill Carbonatite, Tanzania. *Geological Survey and Research*, 2019, 42 (2): 86 ~ 95 (in Chinese with English abstract).
- Wu Xingyuan, Liu Xiaoyang, Wang Jie, Tang Wenlong, He Shengfei, Gong Penghui, Sun Hongwei, Xu Kangkang. 2018. Research Progresses of the Evolution and Gold Mineralization of the Ubendian Belt in Tanzania, with the Comparison of Similarities or Differences of the Orogenic Gold Deposits between China and Tanzania. *Geological Review*, 64 (1): 165 ~ 182 (in Chinese with English abstract).
- Wu Han. 2020. Discussion on geological characteristics and genesis of chromite deposits on both limb of the southern Great Dyke in Zimbabwe. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 35 (3): 363 ~ 372 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Peng, Wang Jianxiong. 2019. Lateritic bauxite in West Africa—a new guarantee base of aluminum resources for China. *Geology and Mineral Resources of South China*, 35 (1): 125 ~ 127 (in Chinese).
- Xiong Liping, Wang Jun, Yin Jinyin, Zhang Haiqing, Zhang Faqing. 2005. Tectonic evolution and its control on hydrocarbon accumulation in West Africa. *Oil and Gas Geology*, 26 (5): 641 ~ 646 (in Chinese with English abstract).
- Xu Qiang, Qin Mingkuan, Fan Honghai, Gu Dazhao, Wang Shengyun. 2012. Preliminary discussion on ore-controlling factors of Azelik sandstone type uranium deposits in Niger. *World Nuclear Geoscience*, 29 (3): 149 ~ 155 (in Chinese with English abstract).
- Xu Kangkang, Wang Jie, Ren Junping, Zuo Libo, Liu Xiaoyang, He Shengfei, Gong Penghui, Sun Kai, Liu Yu, He Fuqing. 2016. Metallogenic Geological Setting, Types and Characters of the Diamond Deposits in Central and Southern Africa. *Geological Review*, 62 (2): 362 ~ 374 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xi'an. 2015. Magma mixing and gold mineralization—taking the Maevatanana gold deposit (Madagascar) as an example. *Acta Geologica Sinica*, 89 (8): 1437 ~ 1447 (in Chinese with English abstract).
- Yao Huazhou, Chen Kaixu, Wang Jianxiong, Yang Zhenqiang, Wei Yanguang, Li Yanhua, Xu Jingyin, Sun Weiguo. 2018. The geochemical criteria of mantle plume origin for Cenozoic

- volcanism, Eastern African Rift System (EARS). *Geology and Mineral Resources of South China*, 34(1): 10~21 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jichun, Yan Yongxiang, Wang Jianxiong, Mao Xiaodong. 2019. Geological Background and Important Metallogenic Divisions of Mineral Resources in Western Africa. *Geology and Mineral Resources of South China*, 35(1): 76~89 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xigang, Zhu Xiyang, Yang Yongji, Zheng Shizhong, Fu Jiasheng. 2015. Metallogenetic Regulation of Alaskite-type Uranium Deposit and Its Prospecting Method for Damala Orogenic Belt in Namibia. *Uranium Geology*, 31(4): 445~452 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuandong, Wu Datian, Zhao Jun, Xu Fengming, Wang Kuiliang, Zhou Yongheng. 2018. Characteristics of geological and major mineral resources of the Tsaratanana greenstone belts in Madagascar island. *China Mining Magazine*, 27(5): 88~93 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jikuangye. 2020. Rare earth elements resources and projects in Africa. *Rare Earth Information*, 4: 17~19 (in Chinese).
- Zhu Shengying. 1980. Geological characteristics and ore controlling factors of ultrabasic rocks and chromite deposits in Ingessana Hills, Sudan. *Northwestern Geology*, 4: 59~66 (in Chinese).
- Zuo Libo, Ren Junping, Wang Jie, Gu Alei, Sun Hongwei, Xu Kangkang, Dokowe A P, Chikambwe E. 2020. Geochemical characteristics, Zircon U-Pb ages and Lu-Hf isotopic composition of granites in Bangweulu Block, Zambia. *Geological Survey and Research*, 43(1): 30~41 (in Chinese with English abstract).
- Zuo Libo, Ren Junping, Wang Jie, Qiu Jingwei, Liu Xiaoyang, He Fuqing, Sun Kai, Xu Kangkang, Gong Fenghui. 2017. *Geological Science and Technology Information*, 36(1): 128~139 (in Chinese with English abstract).
- ### 参 考 文 献
- 曹焯, 郑厚义, 要梅娟, 张新, 孙小虹, 唐尧. 2015. 全球钾盐资源成矿区带划分初步研究. *矿产勘查*, 6(6): 775~780.
- 陈金勇, 范洪海, 王生云, 顾大钊, 张闯, 陈东欢. 2020. 纳米比亚欢乐谷地区白岗岩型铀矿中硫化物特征及 S-Pb 同位素示踪. *地质学报*, 94(2): 587~598.
- 程湘, 胡鹏, 张海坤, 姜军胜. 2021. 锰矿主要类型、分布特点及开发现状. *中国地质*, 48(1): 102~119.
- 付长亮, 杨清华, 姜琦刚, 王梦飞, 蒋校. 2015. 遥感技术在境外地质调查中的应用——以津巴布韦大岩墙为例. *国土资源遥感*, 27(4): 85~92.
- 高阳, 范洪海, 顾大钊, 陈东欢. 2014. 非洲铀资源现状分析. *全球核地质科学*, 2014, 31(4): 561~565.
- 何胜飞, 孙凯, 王杰, 任军平, 刘晓阳. 2014. 坦桑尼亚西北部卡邦加铜镍硫化物矿床研究进展. *地质调查与研究*, 37(1): 6~12.
- 黄国平, 胡清乐, 陈冬明, 李亮, 张众, 祝安安, 徐海波. 2014. 马达加斯加地质矿产概况. *资源环境与工程*, 28(5): 626~632.
- 江思宏, 张莉莉, 刘翼飞, 李高峰, 季根源. 2020. 非洲大陆金矿分布特征与勘查建议. *黄金科学技术*, 28(4): 465~478.
- 李飞, 裴云婧, 李朗田, 朱永刚, 吴继兵, 苏锦善. 2019. 博茨瓦纳东北部铜矿、铜镍矿成矿地质特征及典型矿床实例. *资源环境与工程*, 33(3): 330~336.
- 李厚民, 王登红, 李立兴, 陈靖, 杨秀清, 刘明军. 2012. 中国铁矿成矿规律及重点矿集区资源潜力分析. *中国地质*, 39(3): 559~580.
- 廖凤初, 周有希. 2013. 南非 Lomoteng 锰矿矿床地质特征及找矿方向探讨. *国土资源导刊*, 10: 64~66.
- 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.
- 刘丽君, 王登红, 高娟琴, 于泓, 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.
- 刘晓阳, 龚鹏辉, 刘宇, 吴兴源, 王杰, 任军平, 贺福清, 何胜飞. 2015. 纳米比亚西南部斑岩型铜矿地质特征. *地质找矿论丛*, 30(增刊): 104~111.
- 吕林素, 汪云峰, 李宏博, 周振华, 张作衡, 谢桂青. 2011. 南非布什维尔德岩型 Cu-Ni-PGE 硫化物矿床成因探讨. *矿床地质*, 30(6): 1129~1148.
- 聂逢君, 林双幸, 严兆彬, 饶明辉, 杨永纪, 张成勇, 严永杰. 2010. 尼日尔特吉达地区砂岩中铀的热流体成矿作用. *地球学报*, 31(6): 819~831.
- 宁福俊, 王杰, 任军平, 刘晓阳, 左立波, 古阿雷, 孙宏伟, 何胜飞, 贺福清. 2018. 纳米比亚达马拉构造带演化和成矿研究综述. *地质调查与研究*, 41(2): 113~120.
- 邱瑞照. 2020. 非洲大陆成矿区带划分. *中国地质*, 47(6): 1937~1940.
- 任军平, 王杰, 古阿雷, 左立波, 孙宏伟, 戴朝成, 许康康, 唐文龙, 彭丽娜, 汪翡翠, 邢仕, 刘子江. 2021. 莫桑比克钛钴砂矿资源开发现状及投资环境分析. *地质与资源*, 30(1): 45~52.
- 任军平, 王杰, 刘晓阳, 何胜飞, 贺福清, 许康康. 2013. 非洲中南部卢弗里安地区 Cu-Co 矿床研究进展. *地质科技情报*, 32(5): 135~145.
- 任军平, 王杰, 刘晓阳, 贺福清, 何胜飞, 左立波, 许康康, 龚鹏辉, 孙凯, 刘宇. 2017. 非洲中南部铜多金属矿床研究现状及找矿潜力分析. *吉林大学学报(地球科学版)*, 47(4): 1083~1103.
- 任军平, 王杰, 左立波, 古阿雷, 孙宏伟, 许康康, Mukofu C, Dokowe A P, Chikambwe E, Canisius C, Malunga D. 2019a. 赞比亚北部省卡萨马西部石英闪长岩锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素及地球化学特征. *地质学报*, 93(11): 2832~2846.
- 任军平, 王杰, 古阿雷, 左立波, 孙宏伟, 许康康, 吴兴源, Dokowe A P, Chikambwe E. 2019b. 赞比亚东北部正长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄和 Lu-Hf 同位素特征. *地质调查与研究*, 42(3): 161~165.
- 任军平, 王杰, 孙宏伟, 冯琳, 左立波, 古阿雷, 贺福清, Mukofu C, Dokowe A P, Chikambwe E, Canisius C, Malunga D. 2019c. 赞比亚东北部卡萨马群形成环境: 碎屑锆石 U-Pb 年龄与 Hf 同位素的限定. *中国地质*, 46(3): 575~586.
- 任军平, 许康康, 相振群, 左立波, 王杰, 刘晓阳, 何胜飞, 刘宇, 贺福清. 2015a. 南非维特沃特斯兰德盆地绍斯迪普金矿床地质特征、成矿模式和找矿模型. *地质通报*, 34(6): 1217~1226.
- 任军平, 许康康, 刘晓阳, 王杰, 左立波, 孙凯, 何胜飞, 贺福清. 2015b. 博茨瓦纳赛莱比皮奎铜镍硫化物矿床研究进展. *地质找矿论丛*, 30(增刊): 129~136.
- 任军平, 左立波, 许康康, 王杰, 刘晓阳, 何胜飞, 刘宇, 贺福清. 2016. 赞比亚北部班韦乌卢地块演化及矿产资源研究现状. *地质论评*, 62(4): 979~996.
- 孙凯, 赵志丹, 柯珊, 何胜飞, 周肃, 任军平, 吴兴源, 古阿雷. 2019. 津巴布韦大岩墙层状铬铁矿地球化学特征及地质意义. *地质与勘探*, 55(1): 103~114.
- 孙宏伟, 王杰, 任军平, 左立波, 古阿雷. 2019. 赞比亚东北部姆波洛科索盆地沉积地层特征. *地质论评*, 65(1): 232~245.
- 孙宏伟, 王杰, 任军平, 唐文龙, 古阿雷, 左立波, 贺福清. 2021. 南部非洲花岗岩型与伟晶岩型钽矿床地质特征. *地质论评*, 67(1): 265~277.
- 唐文龙, 孙宏伟, 刘晓阳, 王杰, 左立波, 吴兴源. 2018. 中南部非洲镍矿成矿规律及资源潜力分析. *吉林大学学报(地球科学版)*, 48(1): 53~69.
- 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.
- 王杰, 任军平, 何胜飞, 许康康, 刘晓阳, 左立波, 孙凯, 龚鹏辉, 贺福清. 2014. 南非主要金矿集区研究现状及存在问题. *地质论评*, 60(5): 997~1008.
- 吴兴源, 刘晓阳, 任军平, 何胜飞, 孙凯, 孙宏伟. 2019. 坦桑尼亚 Panda 山碳酸岩地球化学特征及岩石成因研究进展. *地质调查与研究*, 42(2): 86~95.
- 吴兴源, 刘晓阳, 王杰, 唐文龙, 何胜飞, 龚鹏辉, 孙宏伟, 许康康. 2018. 坦桑尼亚乌本迪造山带的演化、金成矿作用研究进展及中国-坦

桑尼亚造山型金矿床的异同.地质论评,64(1):165~182.

武晗.2020.津巴布韦大岩墙南段两翼铬铁矿床特征及成因探讨.地质找矿论丛,35(3):363~372.

向鹏,王建雄.2019.西非红土型铝土矿——我国铝矿资源保障新基.地华南地质与矿产,35(1):125~127.

熊利平,王骏,殷进根,张海清,张发强.2005.西非构造演化及其对油气成藏的控制作用.石油与天然气地质,26(5):641~646.

许强,秦明宽,范洪海,顾大钊,王生云.2012.尼日尔阿泽里克砂岩型铀矿控矿因素初探.全球核地质科学,29(3):149~155.

许康康,王杰,任军平,左立波,刘晓阳,何胜飞,龚鹏辉,孙凯,刘宇,贺福清.2016.中南部非洲金刚石矿床的成矿地质背景、成矿类型及矿床特征.地质论评,62(2):362~374.

杨喜安.2015.岩浆混合成矿作用——以马达加斯加 Maevatanana 金矿床为例.地质学报,89(8):1437~1447.

姚华舟,陈开旭,王建雄,杨振强,韦延光,李闰华,徐景银,孙为国.2018.东非裂谷系统(EARS)地幔柱成因的新生代火山作用地球化学标志.华南地质与矿产,34(1):10~21.

张继纯,严永祥,王建雄,毛晓冬.2019.西非矿产资源的地质背景及

重要成矿分区.华南地质与矿产,35(1):76~89.

赵希刚,朱西养,杨永记,郑仕忠,傅俭生.2015.纳米比亚达马拉造山带白岗岩型铀矿成矿规律及找矿思路.铀矿地质,31(4):445~452.

赵院冬,吴大天,赵君,许逢明,王奎良,周永恒.2018.马达加斯加 Tsaratanana 绿岩带地质组成和主要矿产特征.中国矿业,27(5):88~93.

洲际矿业.2020.非洲稀土资源及稀土项目概况.稀土信息,4:17~19.

朱生英.1980.苏丹英格萨纳山超基性岩与铬铁矿床地质特征及控矿因素的分析.西北地质,4:59~66.

左立波,任军平,王杰,古阿雷,孙宏伟,许康康, Dokowe A P, Chikambwe E.2020.赞比亚班韦乌卢地块花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及 Lu-Hf 同位素组成.地质调查与研究,43(1):30~41.

左立波,任军平,王杰,邱京卫,刘晓阳,贺福清,孙凯,许康康,龚鹏辉.2017.非洲中南部铀矿床研究现状及资源潜力分析.地质科技情报,36(1):128~139.

Mining development status of Africa

REN Junping¹⁾, HU Peng^{*2)}, WANG Jie¹⁾, WANG Jianxiong²⁾, ZHANG Hang¹⁾,
LIU Jiangtao²⁾, LIU Xiaoyang¹⁾, ZENG Guoping²⁾, SUN Kai¹⁾, JIANG Junsheng²⁾,
GU Alei¹⁾, CHENG Xiang²⁾, CHEN Junqiang¹⁾, ZHAO Kai²⁾, WU Xingyuan¹⁾

1) Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin, 300170; 2) Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan, 430205

* Corresponding author: 157521303@qq.com

Abstract

Mining is one of the pillar industries in many African countries and plays a key role in their national economic development. Based on the research results of Tianjin Center of China Geological Survey (Southern Africa) and Wuhan Center of China Geological Survey (Northern Africa), this paper briefly summarizes the mining development status of Africa. Mining output values of seven countries of thirty-nine major African countries have more than 15 billion USD in the latest year, and the ratios of mining output value vs GDP of twenty-four countries have more than 6%. The average ratios of mining output value vs GDP of twenty-two countries have more than 6% since 2010. The African continent is dominated by Gondwana tectonic domain. The basement rocks are mainly composed of Archean to Paleoproterozoic metamorphic sedimentary, metamorphic magmatic and magmatic rocks. The inside Archean Craton is usually surrounded by a series of Neoproterozoic orogenic belts, and some parts of the basement are intruded by Pan-African magmatic rocks. The tectonic evolution of African continent mainly includes the formation stage of ancient craton core (>3.5 billion years), craton evolution stage (3.5~1.65 billion years), platform development and internal break stage (1.65~0.6 billion years), platform cover and large fracture development stage (since 0.6 billion years). According to the Neoproterozoic Pan-African orogenic event, the African continent can be further divided into five II grade tectonic units. The preponderant minerals in Africa mainly include oil, natural gas, gold, iron, cobalt, copper, lead-zinc, bauxite, uranium, sylvine and so on. This paper detailly introduces the mining projects, mineral reserves and resources and deposit characteristics of eleven minerals such as nickel, cobalt, chromium, copper and iron, which can provide authoritative and reliable geological data and theoretical knowledge for Chinese enterprises to carry out mining investment in Africa.

Key words: mining output value; geological background; preponderant mineral; mineral reserves and resources; Africa