

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2022.01.009

东北非重要铜金矿产资源分布及赋存形式

李福林, 向文帅, 王成刚*, 曾国平, 吴发富, 刘江涛, 王建雄, 李勇

LI Fulin, XIANG Wenshuai, WANG Chenggang*, ZENG Guoping, WU Fafu, LIU Jiangtao, WANG Jianxiong, LI Yong

中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北 武汉 430205

Wuhan Center, China Geological Survey (Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, Hubei, China

摘要:铜、金为东北非重要的矿产资源,成矿潜力巨大,其成矿过程与东非造山带努比亚地盾的演化历史密切相关。矿床类型以造山型矿床和火山块状硫化物(VMS)型矿床为主,斑岩型铜金矿床较少。其中,造山型以金矿床为主,主要赋存于韧-脆性剪切带的石英脉中,集中分布于埃及东部沙漠区、苏丹东北部、厄立特里亚西北-埃塞俄比亚北部、埃塞俄比亚西部地盾区及埃塞俄比亚南部地盾区 5 个区域;VMS 型以铜金矿床为主,主要发育于新元古代火山岩中,集中分布于埃及东部沙漠区、苏丹东北部及厄立特里亚西北-埃塞俄比亚北部 3 个区域,VMS 型矿床的氧化带具有较高的品位和较大的资源量。在总结东北非区域地质背景、构造演化和铜金矿床资源分布特征的基础上,系统地分析了东北非典型铜金矿床地质特征及赋存形式,以期为企业、事业单位在东北非开展铜、金勘查与开发等提供基础地质支撑。

关键词:造山型金矿床;VMS 型铜金矿床;资源分布;矿产勘查工程;东北非

中图分类号:P618.51;P618.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2022)01-0119-10

Li F L, Xiang W S, Wang C G, Zeng G P, Wu F F, Liu J T, Wang J X, Li Y. Distribution and occurring state of copper-gold mineral resources in Northeast Africa. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(1): 119-128

Abstract: Copper-gold deposits are the main types of mineral resources in Northeast Africa with great metallogenic potentials, and their metallogenic processes are closely related to the evolution history of Nubian Shield in the east African orogenic belt. Orogenic gold deposits and volcanogenic massive sulfides (VMS) copper-gold deposits are two main genetic types, while the porphyry copper-gold deposits are rare. Orogenic deposits, mainly gold in mineralization, are mostly related to the quartz veins in ductile-brittle shear structure, and they are distributed in 5 different regions. However, VMS deposits, mainly copper and gold in mineralization, are primarily related to the Neoproterozoic volcanic rocks, and they are distributed in 3 different regions. The oxide zone of VMS deposits exhibits copper-gold resources with relatively high tenor and large tonnage. Combined with regional geology, tectonic evolution and distribution characteristics of copper-gold resources in Northeast Africa, the geological characteristics and occurring states of copper-gold deposits are analyzed, which would provide critical clues for the copper-gold exploration or mining development in Northeast Africa for domestic mining enterprises and institutions.

Key words: orogenic gold deposit; VMS copper-gold deposit; distribution of mineral resources; mineral exploration engineering; Northeast Africa

对东北非(非洲东北部)埃及、苏丹、厄立特里亚、埃塞俄比亚 4 国 120 处主要矿床统计结果显示,矿产种类共 14 种^[1-9],其中黑色金属矿产 3 种,分别为铁矿、钛铁矿、铬铁矿;有色金属矿产 4 种,分别为

收稿日期:2021-01-15;修订日期:2021-10-29

资助项目:中国地质调查局项目《北部非洲大型铜金资源基地评价》(编号:DD20190443)和中国商务部对外援助项目《援摩洛哥十幅地球化学填图项目》(编号:[2021]28)、《援利比亚矿产资源调查技术合作项目》(编号:[2015]20)

作者简介:李福林(1987-),男,硕士,高级工程师,从事基础地质调查研究。E-mail:fulinxiangsong@163.com

*通信作者:王成刚(1988-),男,硕士,高级工程师,从事基础地质调查研究。E-mail:511540818@qq.com

铜矿、锌矿、镍矿、锡矿; 贵金属矿产 2 种, 分别为铂矿、金矿; 稀有金属矿产 1 种, 为钽矿; 非金属矿产 3 种, 分别为石墨矿、磷酸盐、钾盐矿; 能源矿产 1 种, 为煤矿(图 1)。120 处矿床中, 铜金矿床在数量上占绝对优势, 达 95 处, 占比 79% (其中铜矿 16 处、占比 13%, 金矿 79 处、占比 66%), 说明铜、金是东北非重要的矿产资源。东北非是人类最早进行采金活动的地区之一, 已知开采金的历史约有 6000 年^[9-10]。95 处铜金矿床储量和资源量数据显示, 中大型矿床有 19 处, 其中埃及 7 处, 苏丹 5 处, 厄立特里亚 3 处, 埃塞俄比亚 4 处; 8 处为铜伴生金或金伴生铜(表 1)。已有资料显示, 东北非铜金矿床按照成因类型可分为造山型金矿床和火山块状硫化物(VMS)型铜金矿床^[3, 11-12], 斑岩型铜金矿床呈零星分布。造山型金矿床是东北非分布最多、最广的矿床类型^[3], 其次为 VMS 型铜金矿床。研究资料显示, 在努比亚地盾, 至少有 50 个 VMS 型铜金矿床分布^[12]。

“走出去”战略、“中非命运共同体”战略规划和“一带一路”合作倡议为中非合作提供了强劲的动力和重要平台。能源资源开发利用既是东北非各国经济发展的重要驱动力, 也是中非合作的重要领域, 得益于丰富的矿产资源、相对稳定的政局和有利的矿业开发投资政策, 东北非已成为国内外矿业公司关注的重点, 如埃塞俄比亚、厄立特里亚等国也是中国企业“走出去”进行铜、金等矿产资源投资的热点区域。多年来, 中资企业(紫金矿业、中国地质矿业有限公司、四川路桥、上海外经等)针对东北非铜金矿床开展了地质调查、矿产勘查、矿山开发等工作, 然而在经济利益、市场竞争等因素的影响下, 企业往往聚焦局部地区、单一矿床的勘查和开发, 缺乏对东北非铜、金资源形成的区域地质背景、资源分布、赋存形式的系统总结, 限制了企业在东北非的长远布局和发展。本文基于近年在东北非开展的基础地质调查成果, 结合收集掌握的区域地质资料, 系统梳理了东北非铜金矿床的区域地质背

表 1 东北非中、大型铜金矿床
Table 1 Medium and large Cu-Au deposits in Northeast Africa

序号	国家	矿床名称	主要 矿种	矿石储量和 资源量/t	品位	金金属量	品位	铜金属量	矿床规模	
					Au/(g·t ⁻¹)	Au/oz	Cu/%	Cu/t	Au	Cu
1	埃及	Oum El-Nar	Gold	12 000 000	6.000	2 315 000	/	/	大型	/
2	埃及	Al-Hadded Mountain	Gold	2 500 000	2.200	177 000	/	/	中型	/
3	埃及	Abu Marawat	Gold	14 894 000	1.003	480 000	0.148	21 773	中型	小型
4	埃及	Karim Valley	Gold	12 000 000	5.500	2 122 000	/	/	大型	/
5	埃及	Al-Dabah	Gold	6 000 000	1.500	289 000	/	/	中型	/
6	埃及	Sukari	Gold	302 000 000	1.100	10 210 000	/	/	大型	/
7	埃及	Hodine	Gold	5 900 000	1.110	209 000	/	/	中型	/
8	苏丹	Block 14	Gold	98 400 000	1.278	4 053 000	/	/	大型	/
9	苏丹	Gebeit	Gold	928 000	15.330	457 000	/	/	中型	/
10	苏丹	Jebel Ohier	Copper	246 300 000	0.080	646 200	0.440	1 087 200	大型	大型
11	苏丹	Ariab	Gold	138 637 682	1.330	5 925 593	0.976	1 353 500	大型	大型
12	苏丹	Hofrat En Nahas	Copper	9 600 000	1.610	497 000	4.000	384 000	中型	中型
13	厄立特里亚	Zara	Gold	5 000 000	5.300	840 000	/	/	大型	/
14	厄立特里亚	Asmara	Copper	92 175 350	0.468	1 387 733	0.750	691 591	大型	大型
15	厄立特里亚	Galla Valley	Copper	10 000 000	0.790	254 000	1.300	130 000	中型	中型
16	埃塞俄比亚	Adyabo	Gold	9 150 000	2.317	681 300	0.408	37 422	大型	小型
17	埃塞俄比亚	Harvest	Gold	6 488 000	1.360	275 000	1.174	76 130	中型	小型
18	埃塞俄比亚	Tulu Kapi	Gold	20 200 000	2.652	1 720 000	/	/	大型	/
19	埃塞俄比亚	Lega Dembi	Gold	11 875 000	4.460	1 703 000	/	/	大型	/

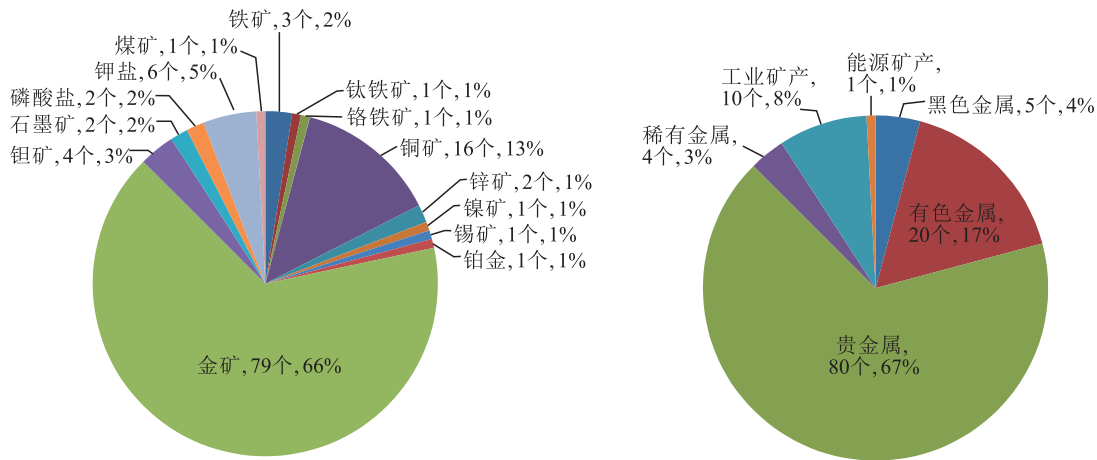


图 1 东北非矿产类别数量(个)及占比

Fig. 1 Quantity and proportion of mineral resources in Northeast Africa

景、资源分布和赋存形式,分析了铜、金富集规律,以期为国内企业、事业单位在东北非开展铜、金资源勘查与开发等提供基础地质支撑。

1 东北非成矿构造背景

东北非在漫长的地质演化史中经历了多期多阶段复杂的岩浆作用、沉积作用、变质作用和构造改造过程,尤以前寒武纪地质构造演化及中生代构造岩浆活动独具特色^[13-26],与区域成矿作用密切相关,形成了丰富的矿产资源^[1, 3-4, 8, 27-29]。依据东北非出露的岩石组合特征、变质变形程度、空间展布规律、相互之间的接触关系,以及高精度的年代学数据和已识别出的缝合带位置,将东北非划分为 3 个二级构造单元:以 Keraf-Kabus-Sekeer (弧-陆) 缝合带为界的撒哈拉变克拉通 (Nile 变克拉通)、东非造山带和西南部出露的 Oubanguides 造山带。撒哈拉变克拉通在东北非可进一步划分为埃及中生代坳陷、达尔富尔-努巴山隆起和尼罗河新生代坳陷;东非造山带可进一步分为努比亚地盾、莫桑比克活动带和欧加登新生代坳陷(图 2)^[17, 30-38]。东非造山带既是东北非最重要的构造单元,也是地球上最大的碰撞拼合带之一,长约 6000 km,记录了莫桑比克洋的形成、消失,东西冈瓦纳汇聚及新元古代年轻大陆地壳的形成过程^[36]。大部分研究者认为,870~800 Ma (海底扩张-洋盆的形成) 随着罗迪尼亚超大陆的裂解,开始出现大洋,形成莫桑比克洋;800~690 Ma (年轻地壳的形成) 随着海底扩张,

岛弧、弧后盆地相继形成,并向地壳增生转化,岛弧和洋壳开始向古陆拼贴,在研究区形成弧-弧-陆缝合带;750~650 Ma (东西冈瓦纳大陆的拼合期) 是东西冈瓦纳碰撞和地壳隆升增厚的活跃期,伴随造山崩塌和一系列逃逸构造的发育;640~550 Ma (地壳和岩石圈的重建期) 随着陆-陆碰撞的持续,地壳进一步增厚和隆升,并随着时间的推进向东扩展,使东西冈瓦纳汇聚成超大陆,在东、西冈瓦纳之间形成东非造山带,演绎了一个完整的泛非构造旋回^[13, 15, 21, 26, 30, 38],部分学者对演化阶段时间存在不同认识^[24, 39-40]。后造山阶段(550 Ma 至今),红海两侧新元古代构造、岩石组合等均高度相似,红海地壳以新生地壳为主,反映泛非运动后直至中生代,构造活动均不活跃,东北非和阿拉伯半岛还是一个紧密并列的整体。约 30 Ma 开始,红海两侧火山活动逐渐加剧,认为是非洲东侧第二次裂解开始的标志,最终形成红海两侧现代的裂谷-火山地质面貌,至今裂谷作用及火山喷发仍在持续^[41-42]。东北非的矿产资源主要是在这种构造演化中形成的。

2 东北非铜金矿床分布特征

东北非成矿地质条件优越,东非造山带-撒哈拉变克拉通等均有较丰富的矿产资源。东非造山带在新元古代发生的泛非构造运动,使众多古老的小型地块拼接,为成矿作用提供了有利条件,是重要的成矿期,期间形成了大量铜金矿床等。特别是东非造山带的努比亚地盾区,是东北非铜金矿床的

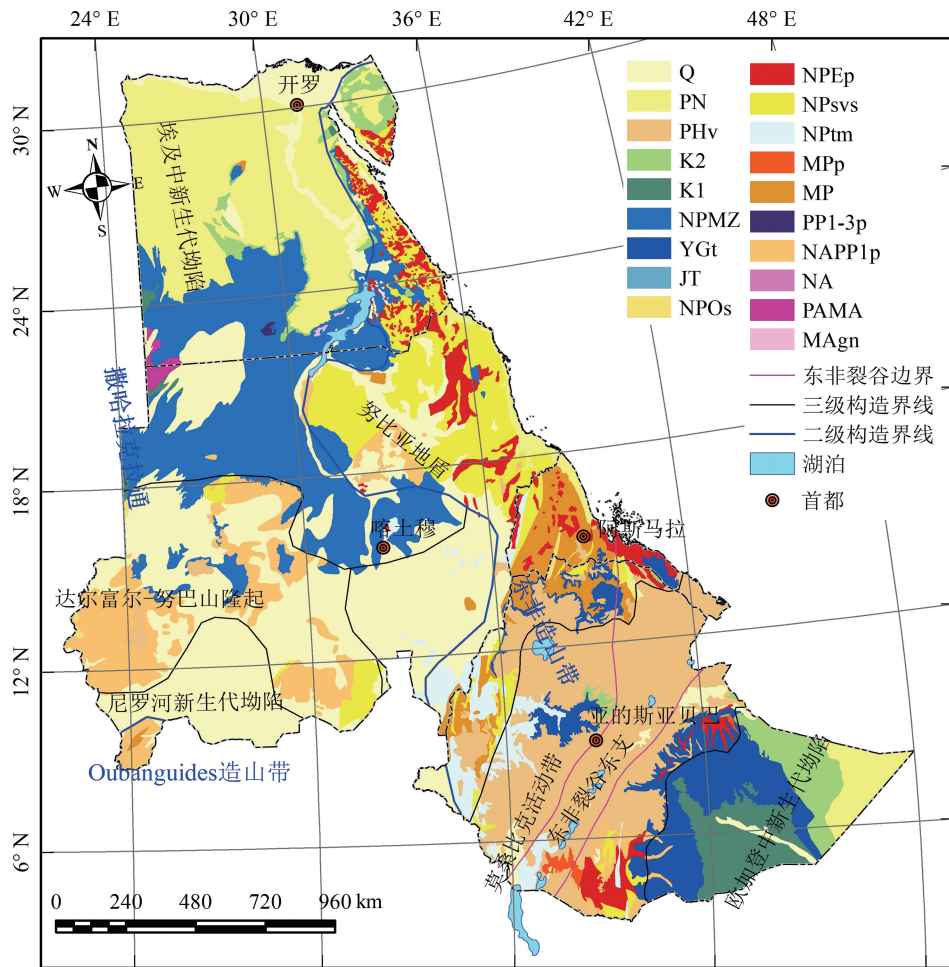


图2 东北非大地构造图(地质图据参考文献①修改,构造划分据参考文献[4,12,38]修改)

Fig. 2 Tectonic map of Northeast Africa

Q—第四纪沉积;PN—古近纪及新近纪沉积岩;PHv—显生宙火山深成岩组合;K2—晚白垩世沉积;K1—早白垩世沉积;NPMZ—新元古代—中生代火山深成岩组合和辉绿岩;YGt—古—中生代深成岩(年轻花岗岩和环状杂岩)和火山深成岩;JT—三叠纪—侏罗纪海相或陆相沉积岩(未细分,局部为二叠纪—早白垩世沉积岩);NPOs—新元古代—奥陶纪沉积岩(盆地);NPEp—新元古代—寒武纪深成岩(老花岗岩)和火山深成岩;NPsvs—中—新元古代沉积岩及火山沉积岩(活动边缘和/或蛇绿岩);NPtm—新元古代构造与变质岩(深熔和深成岩形成的新生地壳),也包括太古宙—元古宙残余地体;MPp—未分的中元古代火山深成岩和变质岩(片麻状岩石);MP—中元古代沉积岩;PP1-3p—古元古代深熔和深成岩;NAPP1p—新太古代—古元古代深成绿岩带和古元古代大岩墙;NA—新太古代火山沉积岩和与火山深成岩有关的绿岩带;PAMA—古—中元古代深成岩和变质岩;MAgn—中太古代—新太古代?深熔和变质岩(混合片麻岩)

主要聚集地,也是非洲大陆黄金资源的主要产地之一^[1-2,4,12]。东北非矿床类型主要为VMS型和造山型金多金属矿床^[4,9,12],另外见少量的斑岩型铜金矿床和砂金矿床^[8-9,11,43-44],矿产资源十分丰富。撒哈拉克拉通铜、金矿产资源也较丰富^[12],然而,由于其地理位置偏僻、交通条件差等因素,大规模开采较少。

东北非的铜金矿床主要分布在东非造山带努比亚地盾区(图3、图4),在努比亚地盾内主要集中

在埃及东部沙漠区(I),如Oum El-Nar、Al-Hadded Mountain、Abu Marawat、Karim Valley、Al-Dabah、Sukari、Hodine;苏丹东北部(II),如Block 14、Gebeit、Jebel Ohier、Ariab;厄立特里亚西北—埃塞俄比亚北部(III),如Zara、Asmara、Galla Valley、Adyabo、Harvest;埃塞俄比亚西部地盾区(IV),如Tulu Kapi;埃塞俄比亚南部地盾区(V),如Lega Dembi 5个区域^[4]。从目前已发现和开采情况看,造山型金矿床尽管分布范围较广,但以中小型为

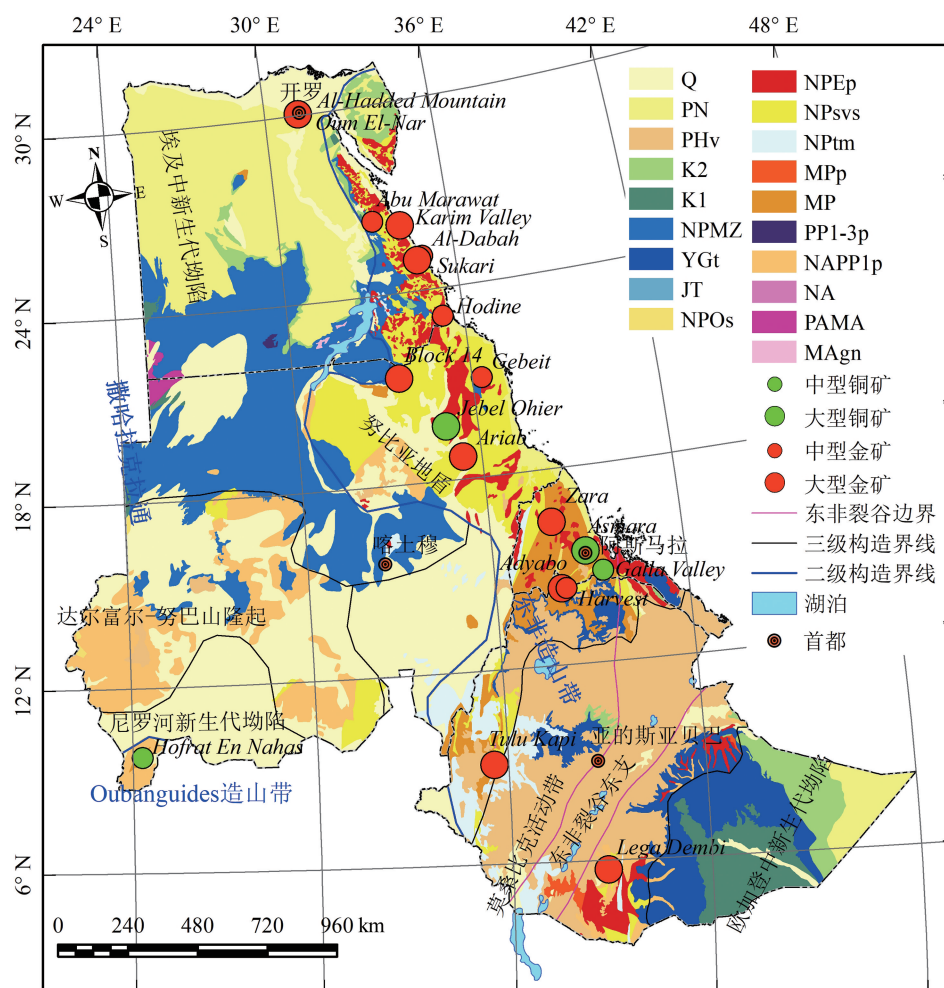


图 3 东北非大中型铜金矿床分布图(地质图据参考文献①修改,构造划分据参考文献[4, 12, 38]修改,岩石图例说明同图 2)

Fig. 3 Distribution map of large and medium copper-gold deposits in Northeast Africa

主;VMS 型铜金矿床常常成群分布,单个矿床规模大,是该区重要的矿床类型。

东非造山带努比亚地盾 11 个正在开采的或计划开采的矿山中,VMS 型铜金矿床 2 处,分别为苏丹 Ariab 矿区的 Hassai 矿床和厄立特里亚的 Bisha 矿床(金矿已开采完,现主要开采锌矿);造山型金矿床 9 处,分别为埃及的 Sukari 和 Hamash,苏丹东北部的 Qbgbih 和 Kamoeb,厄立特里亚中北部的 Koka 和中部的 Gupo,埃塞俄比亚西部的 Tulu Kapi,以及埃塞俄比亚西南部的 Lega Dembi 和 Sakaro^[4]。

3 东北非典型铜金矿床类型及赋存层位

东北非铜金矿床主要分布在东非造山带努比亚地盾区,该地盾是一个较大(面积超过 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$)的、以新元古代(850~550 Ma)岩石为主的地

壳,是由新元古代泛非构造期东、西冈瓦纳大陆拼合形成的块体;由变质火山沉积序列(包括基性-酸性岛弧火山熔岩、火山碎屑岩和沉积岩)组成,被蛇绿岩混杂岩及同构造期的侵入岩分割成多个小块体;这期间发生的一系列构造-岩浆活动、变质作用等事件为区内造山型金矿床、VMS 型铜金矿床及其他类型矿床的形成提供了有利条件^[4, 9, 12, 43]。在埃及,金主要赋存于与前寒武纪岩石有关的冲积层、蚀变超镁铁岩(滑石菱镁片岩)、条带状含铁建造和含锡、钼花岗岩中,近年前寒武纪岩石出露区已成为埃及金矿勘探的首选;苏丹、厄立特里亚和埃塞俄比亚采矿和勘探活动也主要部署在前寒武纪火山岩系分布区和花岗绿岩带出露区^[4, 12]。因此,东北非新元古代的岩石组合是铜、金的主要赋存层位。

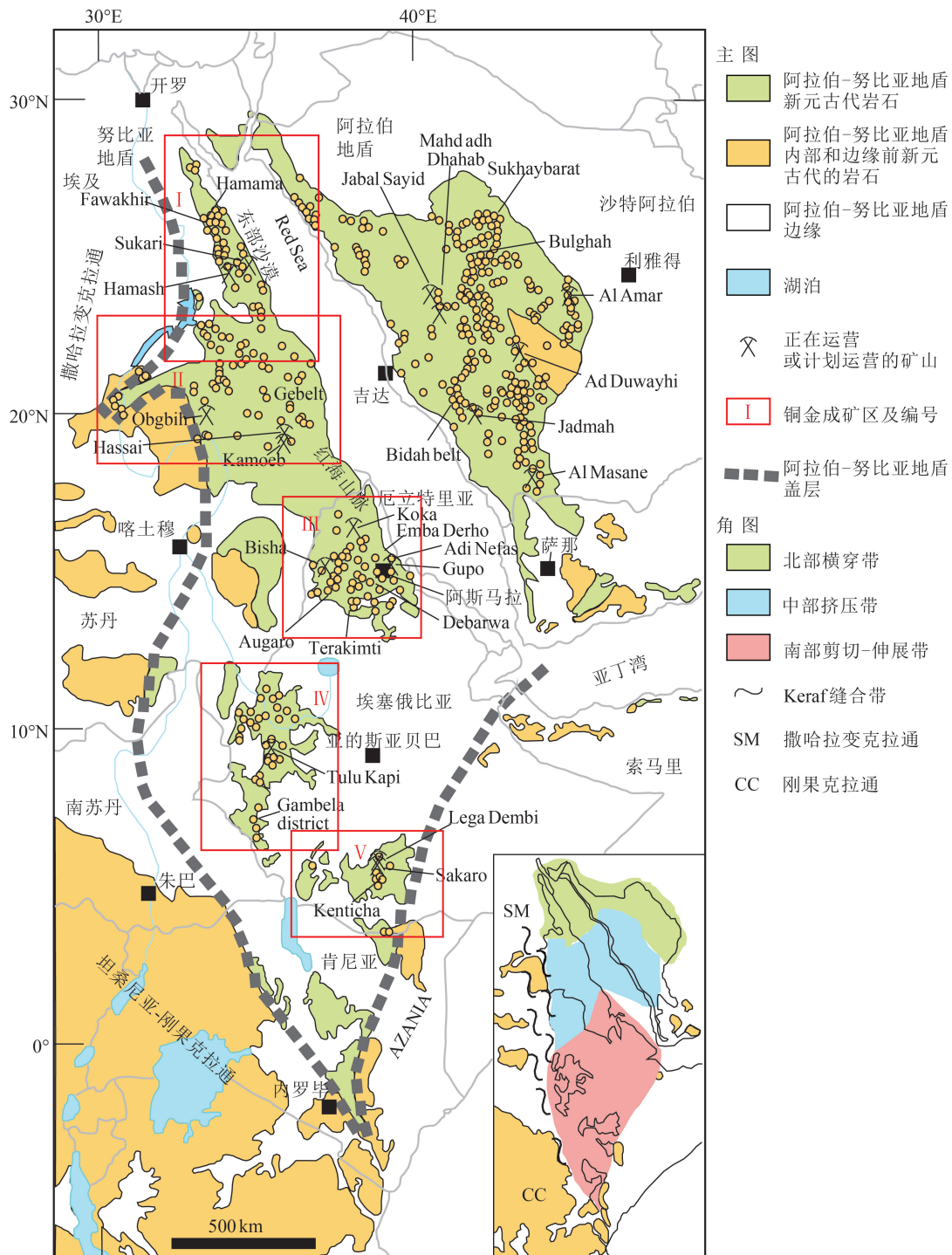


图4 阿拉伯-努比亚地盾的金矿床分布和正在开采的矿山(据参考文献[4]修改)

Fig. 4 Distribution of gold deposits or occurrences and active mines in the Arabian-Nubian Shield

3.1 东北非典型造山型金矿床地质特征

Sukari 是埃及东部沙漠区最典型的大型金矿床,由森塔明(Centamin)采矿公司与埃及政府的合资公司共同开采。露天开采始于2010年,地下开采

始于2011年,2012年生产了金8.175 t。矿区主要出露Sukari侵入岩(689 ± 3 Ma),岩石类型为I型含磁铁矿花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩、碱性花岗岩等;其围岩为火山岩熔岩、火山碎屑岩和沉

积岩组合,以及局部滑石菱镁岩化蛇纹岩透镜体。Sukari 侵入岩内发育韧-脆性剪切带,剪切带内网状和席状石英脉中金矿化明显。Sukari 金矿床沿北北东—南南西向伸展,长约 2.3 km,宽 100~600 m,向下延伸至 1200 m,矿化通道被数条 10~20 m 宽的剪切带切割。矿区上覆北北西向、陡倾的镁铁质岩石,镁铁质岩石中伴有后期小型花岗岩类侵入脉。剪切带、伴生的碳酸盐和绢云母蚀变带切割了镁铁质岩石和小型花岗岩类侵入脉。金矿化发生在硅化和黄铁矿化的网状和席状石英脉中,也发生在伴生的碳酸盐和绢云母蚀变带中。矿石矿物主要为黄铁矿、毒砂及少量闪锌矿、黄铜矿、方铅矿和金,金的品位与毒砂的含量相关^[3-4]。已有数据显示,金储量和资源量约为 317.6 t,品位为 1.10 g/t。

Tulu Kapi 是埃塞俄比亚西部一处历史悠久的造山型金矿床,靠近 Tulu Dimtu 构造带。矿区主要由前寒武纪岩石组成,代表性岩石组合为低级变火山沉积岩、各类片麻岩及变质基性-酸性侵入岩。Tulu Kapi 矿床与区内以北—北东向剪切为中心的高钠长石化、水解热液蚀变带密切相关,赋矿围岩为新元古代正长岩。石英细脉和富含硫化物石英脉作为晚期脉体切割正长岩。金虽产于石英脉中,但其很可能是钠长石化过程金再活化的产物。金主要赋存于黄铁矿中或黄铁矿与硅酸盐脉石接触部位,手标本和薄片均可见游离态明金。切割粗粒和细粒正长岩的变基性岩基和岩脉中均有金矿化现象。钠长石化蚀变是成矿的关键因素,最早的蚀变是正长岩内部的脉状黑云母-磁铁矿的蚀变,受钠长石化蚀变影响,蚀变带内正长岩中的长石全蚀变为钠长石,基性岩中的镁铁质矿物全被硫化物置换。钠长石化带和矿化带均易识别,钠长石化宽可达几米,带中发育 1~20 cm 宽的矿化石英脉。Tulu Kapi 矿化范围为 1500 m×400 m,深度大于 400 m,由含金石英-碳酸岩脉、细脉和网脉组成。上部矿脉由金、黄铁矿和少量闪锌矿、方铅矿组成,下矿脉中含大量闪锌矿、方铅矿和少量毒砂、黄铜矿及金^[4,45]。已有数据显示,金储量和资源量约为 53.5 t,品位为 2.65 g/t。

Lega Dembi 是埃塞俄比亚南部地盾区研究程度较高的金矿床,也是在产的大型造山型金矿床。该矿床位于 Megado 绿岩带东缘的强烈剪切岩石中,金矿化沿韧性、脆韧性和脆性剪切带分布在石

英透镜体、石英脉和大量石英细脉、网脉及由硅化、硫化围岩胶结的石英角砾岩中^[4,46]。岩石组合由上、中、下 3 部分组成,下部岩石序列最老为高级变质的片麻岩和混合岩及少量石英长石片麻岩和片岩;中部为一套泥砂质变沉积岩和少量大理岩及片岩;上部为低级变质的岛弧火山岩和蛇绿岩组合。含矿围岩主要为石英长石云母片岩、石英长石片麻岩和块状片状变辉长岩^[46]。金矿化富集区域 1000 m×100 m,区内石英脉发育,单条石英脉宽几厘米至 3 m,走向和倾向延伸达数百米,尽管在剪切带和蚀变带金也富集,但是品位较低,石英脉中品位最高 3~4 g/t,其中金主要呈自然金产出。矿石矿物主要有硫化物(磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、黄铁矿、毒砂等)、碲化物(碲铅矿、碲银矿、碲金银矿)、硫酸盐及少量方黄铜矿、黝铜矿和四方硫铁矿;脉石矿物主要有石英、碳酸盐矿物和硅酸盐矿物。2015 年数据显示露天矿金储量约 66 t,平均品位 3.7 g/t,地下金矿的储量约 11 t,平均品位 3.6 g/t,每年产金约 3.5 t^[4,46],已有数据显示金储量和资源量约为 53.0 t,品位为 4.46 g/t。

3.2 东北非典型 VMS 铜金矿床地质特征

Ariab VMS 铜金矿床位于苏丹的东北部,尼罗河以东 120 km,苏丹港西南偏西 170 km。矿区规模 40 km(东西向)×20 km(南北向),矿区外围的南部和东部也有明显的矿化。已开采的 22 个露天氧化金矿床中大多数含块状硫化物,其中大部分为 VMS 型矿床,上部为氧化带金资源,下部富集大量的铜、金(锌和银)资源。考古学证据表明,该地区在古埃及、古罗马、伊斯兰教统治时期就有铜金开采记录,大规模的金开采始于 1991 年。Ariab 矿区位于 Nakasib 构造带内,其下部为拉斑-钙碱性过渡的火山岩和硅质碎屑岩地层,被同-后构造期基性-长英质侵入岩切穿^[12];岩石组合大致分为 5 个单元:①玄武岩单元,被闪长岩和辉长岩侵入;②厚层安山岩和英安质熔岩与火山碎屑岩;③酸性和富钠流纹岩和流纹质英安岩、凝灰岩;④中性-基性熔岩,含有块状硫化物和金,是主要的赋矿围岩,厚度变化大(10~100 m),且不连续,覆盖在③之上;⑤厚层火山碎屑岩和硅质碎屑岩,不整合覆盖于④之上。Ariab 含矿火山岩分布于北东东—南西西向展布的复背斜的核部,倾向北西;区内构造发育,北东向和北西向 2 组断裂切穿了所有岩层^[47]。已有数据显

示, Ariab VMS 铜金矿床拥有铜储量和资源量为 1 353 500 t, 品位 0.976%, 金储量和资源量约为 184.3 t, 品位 1.33 g/t。

Hadal Awatib 是位于 Ariab 矿区北部的一个 VMS 型矿床, 其内部块状硫化物矿体呈连续堆积, 从东向西沿走向延伸超过 3.1 km, 航空探测数据显示向西还有延伸; 寄主岩石为: ①下部为块状硅化绢云母化流纹岩或流纹质角砾岩; ②绿泥石化玄武岩—安山岩、凝灰岩和集块岩; ③上部为长英质凝灰岩、中性至长英质火山碎屑岩和细粒硅质碎屑岩。Hadal Awatib 矿床沿西北西—东南东向和北北东—南南西向发生褶皱, 含矿块状硫化物带倾向北, 倾角 $65^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 由 3 个水平层状带组成, 氧化金产于 80~120 m, 表生铜产于 100~130 m, 原生块状硫化物为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和少量的方铅矿, 砷铜矿、碲银矿、辉钴矿和银金矿极少; 表生硫化物包括黄铁矿、黄铜矿、铜辉石和辉铜矿^[4, 12]。

Asmara 矿区位于 Asmara—Nakfa 左旋走滑变形带内, 带内岩石发生强烈变形。岩石以陡倾层状火山岩及沉积岩为主, 是主要的赋矿层位。主要岩石类型为变火山岩、变沉积岩和变花岗岩类岩石。变火山岩包括火山岩至火山碎屑岩系列, 局部为枕状无斑隐晶质或含长石玄武岩到石英斑岩、安山玢岩和流纹岩, 变安山岩为主要岩性, 局部出现枕状熔岩。在 Asmara 北部靠近 Amba Derho 见有大量蚀变的细粒火山碎屑岩和火山角砾岩。变沉积岩主要有千枚岩和板岩及碳酸盐岩透镜体、砾岩、杂砂岩和浊积岩。变质花岗岩类岩石主要分布在 Asmara 矿区的东西部^[48]。变火山岩和变沉积岩呈南北向展布, 区域主体构造方向为一系列北北东向、北西西向的断裂带和北北东向的紧闭褶皱, VMS 矿体与火山岩地层一同发生褶皱变形, 且受后期断裂构造影响, 在浅部常被脆性断裂错断, 这类断裂在所有地层中几乎都有发育。主要矿床有 Debarwa、Emba Derho、Adi Nefas 等。Emba Derho 矿床位于厄立特里亚首都 Asmara 西北约 12 km 的 Emba Derho 村, 是 Asmara 成矿带发现的最大的铜—锌—金火山块状硫化物(VMS)型矿床。铜—锌—金矿的赋存层位为 Asmara 绿岩带内的新元古代变质火山岩, 该绿岩带属努比亚地盾 Asmara—Nakfa 构造带, 总长度大于 200 km, 宽 5~2 km。Emba Derho 矿床在地表氧化带主要表现为铁帽露头, 铁帽露头出露区域为

700 m×220 m, 位于褶皱轴面倾向北西、呈两翼陡倾的紧密褶皱内。硫化物矿化主要赋存于富含硫化物蚀变、绢云母蚀变、绿泥石蚀变和石英蚀变的长英质变质火山岩中。矿化体由 5~40 m 厚的多个叠置和褶皱的块状硫化物组成^②。根据工程控制的矿化带总体走向为北西向, 向北东陡倾, 局部形成了几个次级垂直矿体。在矿区东部, 矿体走向从东西向偏转为东—北东走向, 倾向北、北北东。从地表至深部, 划分为 4 个矿化带: ①浅部氧化带, 主要为贱金属经淋滤作用而形成的金矿化带; ②次生富集带, 位于氧化带下部, 不太发育; ③原生硫化物铜富集带, 以黄铜矿矿石为主; ④原生硫化物锌富集带, 位于最下部, 大量闪锌矿出现^②。矿床的原生矿石有 2 种类型, 分别是黄铁矿型铜矿石和黄铁矿型锌矿石。这 2 种矿石均以块状构造为主, 局部可见浸染状构造、角砾状构造、碎裂构造等。矿石结构为粒状结构、交代结构、填隙结构及压碎结构等。矿石矿物均以各种硫化物矿物为主, 仅含有少量脉石矿物。其中, 硫化物矿石矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等; 脉石矿物主要为石英, 偶见少量黑云母^{[12]②}。已有数据显示, Asmara VMS 铜金矿床拥有铜储量和资源量 691 591 t, 品位 0.75%, 金储量和资源量约为 43.2 t, 金品位 0.468 g/t。

4 结 论

(1) 铜、金是东北非的优势矿产资源, 主要为造山型金矿床和火山块状硫化物(VMS)型铜金矿床, 斑岩型铜金矿床较少, 其形成与泛非期东非造山带的构造演化密切相关。

(2) 东北非铜金矿床主要分布于东非造山带努比亚地盾中, 具有成带分布、成群集中的特征。造山型金矿床主要集中分布在埃及东部沙漠区、苏丹东北部、厄立特里亚西北—埃塞俄比亚北部、埃塞俄比亚西部地盾区及埃塞俄比亚南部地盾区 5 个区域; VMS 型铜金矿床主要集中分布在埃及东部沙漠区、苏丹东北部及厄立特里亚西北—埃塞俄比亚北部 3 个区域。

(3) 东北非造山型金矿床受控于绿岩带和深成岩体内的韧脆型剪切带, 主要表现为含金石英脉, 赋存于雁列式张剪性裂隙中。VMS 型铜金矿床与新元古代绿岩带内变质火山岩关系密切。两者在

空间上紧密共生,但形成时代和成因类型并无特定联系。

参考文献

- [1] Zoheir B, Emam A, Pitcairn I K, et al. Trace elements and isotope data of the Um Garayat gold deposit, Wadi Allaqi district, Egypt [J]. Mineralium Deposita, 2019, 54(1): 101–116.
- [2] Zoheir B, Feigenson M, Zi J W, et al. Ediacaran (~ 600 Ma) orogenic gold in Egypt: age of the Atalla gold mineralization and its geological significance[J]. International Geology Review, 2019, 61(7): 779–794.
- [3] Zoheir B A, Johnson P R, Goldfarb R J, et al. Orogenic gold in the Egyptian Eastern Desert: Widespread gold mineralization in the late stages of Neoproterozoic orogeny [J]. Gondwana Research, 2019, 75(11): 184–217.
- [4] Johnson P R, Zoheir B A, Ghebreab W, et al. Gold – bearing volcanogenic massive sulfides and orogenic – gold deposits in the Nubian Shield[J]. South African Journal of Geology, 2017, 120(1): 63–76.
- [5] 蒋文程, 张有军, 谭宁, 等. 厄立特里亚阿斯马拉 (Asmara) 铜金多金属成矿带研究进展[J]. 矿产勘查, 2017, 8(4): 700–707.
- [6] 成曦晖, 徐九华, 王建雄, 等. 厄立特里亚阿斯马拉 VMS 矿床 S、Pb 同位素对成矿物质来源的约束[J]. 中国有色金属学报, 2017, 27(4): 795–810.
- [7] Giday M, Konka B. Hydrothermal gold mineralization and structural controls near May Hibey, Northwestern Tigray, Northern Ethiopia[J]. Momona Ethiopian Journal of Science, 2017, 9(2): 162–181.
- [8] Bierlein F P, McKeag S, Reynolds N, et al. The Jebel Ohier deposit—a newly discovered porphyry copper–gold system in the Neoproterozoic Arabian–Nubian Shield, Red Sea Hills, NE Sudan [J]. Mineralium Deposita, 2016, 51(6): 713–724.
- [9] Klemm R, Klemm D. Gold and gold mining in Ancient Egypt and Nubia[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2013: 1–649.
- [10] Klemm D, Klemm R, Murr A. Gold of the Pharaohs – 6000 years of gold mining in Egypt and Nubia [J]. Journal of African Earth Sciences, 2001, 33(3): 643–659.
- [11] Botros N S. A new classification of the gold deposits of Egypt[J]. Ore Geology Reviews, 2004, 25(1/2): 1–37.
- [12] Bouabdellah M, Slack J F. Mineral Deposits of North Africa [M]. Switzerland: Springer International Publishing AG, 2016: 1–594.
- [13] Vail J R. Pan-African crustal accretion in north-east Africa[J]. Journal of African Earth Sciences, 1983, 1(3/4): 285–294.
- [14] Kröner A. Ophiolites and the evolution of tectonic boundaries in the late Proterozoic Arabian–Nubian shield of northeast Africa and Arabia[J]. Precambrian Research, 1985, 27(1): 277–300.
- [15] Vail J R. Pan-African (Late Precambrian) tectonic terrains and the reconstruction of the Arabian–Nubian Shield [J]. Geology, 1985, 13(12): 839.
- [16] Dixon T H, Golombek M P. Late Precambrian crustal accretion rates in northeast Africa and Arabia[J]. Geology, 1988, 16(11): 991–994.
- [17] Muhongo S. Neoproterozoic collision tectonics in the Mozambique Belt of East Africa: evidence from the Uluguru mountains, Tanzania[J]. Journal of African Earth Sciences, 1994, 19(3): 153–168.
- [18] Zimmer M, Kröner A, Jochum K P, et al. The Gabal Gerf complex: A precambrian N–MORB ophiolite in the Nubian Shield, NE Africa[J]. Chemical Geology, 1995, 123(1): 29–51.
- [19] Thurmond A K, Stern R J, Abdelsalam M G, et al. The Nubian Swell[J]. Journal of African Earth Sciences, 2004, 39(3/5): 401–407.
- [20] Guiraud R, Bosworth W, Thierry J, et al. Phanerozoic geological evolution of Northern and Central Africa: An overview[J]. Journal of African Earth Sciences, 2005, 43(1/3): 83–143.
- [21] Avigad D, Gvirtzman Z. Late Neoproterozoic rise and fall of the northern Arabian – Nubian shield: The role of lithospheric mantle delamination and subsequent thermal subsidence[J]. Tectonophysics, 2009, 477(3/4): 217–228.
- [22] Be’Eri – Shlevin Y, Katzir Y, Valley J W. Crustal evolution and recycling in a juvenile continent: Oxygen isotope ratio of zircon in the northern Arabian Nubian Shield[J]. Lithos, 2009, 107(3/4): 169–184.
- [23] Beccaluva L, Bianchini G, Wilson M. Volcanism and evolution of the African lithosphere[M]. Boulder: The Geological Society of America, 2011: 1–331.
- [24] Johnson P R, Andresen A, Collins A S, et al. Late Cryogenian – Ediacaran history of the Arabian – Nubian Shield: A review of depositional, plutonic, structural, and tectonic events in the closing stages of the northern East African Orogen [J]. Journal of African Earth Sciences, 2011, 61(3): 167–232.
- [25] Lissan N H, Bakheit A K. Geochemistry and Geotectonic Setting of Neoproterozoic Granitoids from Artoli Area, Berber Province, Northern Sudan[J]. Journal of Applied Sciences, 2011, 11(5): 752–767.
- [26] Andersson U B, Ghebreab W, Teklay M. Crustal evolution and metamorphism in east – central Eritrea, south – east Arabian – Nubian Shield[J]. Journal of African Earth Sciences, 2006, 44(1): 45–65.
- [27] Zoheir B A. Controls on lode gold mineralization, Romite deposit, South Eastern Desert, Egypt[J]. Geoscience Frontiers, 2012, 3(5): 571–585.
- [28] Zoheir B A, Creaser R A, Lehmann B. Re–Os geochronology of gold mineralization in the Fawakhir area, Eastern Desert, Egypt [J]. International Geology Review: Precambrian crustal growth and tectonics, 2015, 57(11/12): 1418–1432.
- [29] Küster D. Granitoid-hosted Ta mineralization in the Arabian–Nubian Shield: Ore deposit types, tectono – metallogenetic setting and petrogenetic framework[J]. Ore Geology Reviews, 2009, 35(1): 68–86.
- [30] Stern R J. ARC Assembly and Continental Collision in the Neoproterozoic East African Orogen: Implications for the Consolidation of Gondwanaland [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1994, 22(1): 319–351.
- [31] Stern R J, Kröner A, Bender R, et al. Precambrian basement around Wadi Halfa, Sudan: a new perspective on the evolution of the East Saharan Craton[J]. Geologische Rundschau, 1994, 83(3): 564–577.
- [32] Abdelsalam M G, Stern R J. Sutures and shear zones in the Arabian–Nubian Shield[J]. Journal of African Earth Sciences, 1996, 23(3): 289–310.
- [33] Shackleton R M. The final collision zone between East and West

- Gondwana: where is it? [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1996, 23 (3): 271–287.
- [34] Meert J G, Rob V D V. The assembly of Gondwana 800–550 Ma [J]. *Journal of Geodynamics*, 1997, 23(3/4): 223–235.
- [35] Abdelsalam M G, Liégeois J, Stern R J. The Saharan Metacraton [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2002, 34(3): 119–136.
- [36] Stern R J. Crustal evolution in the East African Orogen: a neodymium isotopic perspective [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2002, 34(3): 109–117.
- [37] Johnson P R, Woldehaimanot B. Development of the Arabian – Nubian Shield: perspectives on accretion and deformation in the northern East African Orogen and the assembly of Gondwana [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 2003, 206(1): 289–325.
- [38] Fritz H, Abdelsalam M, Ali K A, et al. Orogen styles in the East African Orogen: A review of the Neoproterozoic to Cambrian tectonic evolution [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2013, 86 (10): 65–106.
- [39] Stern R J, Johnson P. Continental lithosphere of the Arabian Plate: A geologic, petrologic, and geophysical synthesis [J]. *Earth – Science Reviews*, 2010, 101(1/2): 29–67.
- [40] Stern R J, Avigad D, Miller N R, et al. Evidence for the Snowball Earth hypothesis in the Arabian–Nubian Shield and the East African Orogen [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2006, 44(1): 1–20.
- [41] Bosworth W, Huchon P, McClay K. The Red Sea and Gulf of Aden Basins [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2005, 43(1/3): 334–378.
- [42] Stern R J, Johnson P R. Constraining the opening of the Red Sea: Evidence from the Neoproterozoic margins and Cenozoic magmatism for a volcanic rifted margin [C] // Rasul N M A, Stewart I C F. *Geological Setting, Palaeoenvironment and Archaeology of the Red Sea*. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2019: 53–79.
- [43] Tadesse S. Geology and gold mineralization in the Pan–African rocks of the Adola area, southern Ethiopia [J]. *Gondwana Research*, 1999, 2 (3): 439–447.
- [44] Botros N S. Metallogeny of gold in relation to the evolution of the Nubian Shield in Egypt [J]. *Ore Geology Reviews*, 2002, 19(3): 137–164.
- [45] Allen A, Tadesse G. Geological setting and tectonic subdivision of the Neoproterozoic orogenic belt of Tuludimtu, western Ethiopia [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2003, 36(4): 329–343.
- [46] Tadesse S. Genesis of the shear zone–related gold vein mineralization of the Lega Dembi gold deposit, Adola gold field, Southern Ethiopia [J]. *Gondwana Research*, 2004, 7(2): 481–488.
- [47] 雷义均, 王建雄, 姚华舟, 等. 东北非努比亚地盾金矿成矿地质特征与找矿标志 [J]. *华南地质与矿产*, 2019, 35(1): 90–98.
- [48] Ghebreab W, Greiling R O, Solomon S. Structural setting of Neoproterozoic mineralization, Asmara district, Eritrea [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2009, 55(5): 219–235.
- ① Geological society of Africa. 1 : 10 000 000 Geology and Major Ore Deposits of Africa. 2004.
- ② Gribble P, Webster A. Emba Derho Project, Eritrea – Mineral Resource Estimate. Sunridge Gold Corporation, 2008.