

坦桑尼亚尼昂华莱地区条带状铁建造型金矿床 地质特征及勘查方向研究

司建涛,赵志强*,张明礼,孟有杰,孙进,董岷证

(河南省第二地质矿产调查院有限公司)

摘要:尼昂华莱地区位于坦桑尼亚西北部,维多利亚南部苏库玛兰德绿岩带内,该地区多发育条带状铁建造型金矿床,矿体赋存于条带状铁建造内的剪切带中,表现为明显的层控型特征。通过对已发现矿床地质特征进行分析,结合磁异常特征、电法异常特征及土壤地球化学特征,对尼昂华莱地区条带状铁建造型金矿床勘查方向进行了分析,认为在目前民采活动的基础上,该区域的勘查方向首先为寻找隐伏绿岩区域,其次为整合开发,以期取得较大的突破。

关键词:坦桑尼亚;尼昂华莱;金矿床;地质特征;勘查方向

中图分类号:TD11 P618.51

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)04-0080-06

doi:10.11792/hj20240416

引言

苏库玛兰德绿岩带位于坦桑尼亚西北部,为坦桑尼亚重要的金成矿带之一,已发现多个世界级大型金矿床,如盖塔(Geita)金矿床(金资源量 246 t)。另外还发育众多金矿床(点),矿床类型主要为条带状铁建造型(如盖塔金矿床)、VMS 型(如布利杨胡鲁金矿床)和石英脉型(如朱比利夫金矿床),其金资源量占坦桑尼亚金总资源量的 80% 以上,因此吸引了众多学者对该地区的金矿床成矿地质特征和找矿方向进行研究。

针对条带状铁建造型金矿床,部分学者主要研究了该区域内大型金矿床(如盖塔金矿床)的典型特征及矿床成因(该大型金矿床形成于大型煌斑岩脉的侵入,虽然仍归类于条带状铁建造型金矿床,但与区域内其他同类型金矿床的特征明显不同)^[1-2];部分学者探讨了该类型金矿床的物化探特征及找矿标志,但多未涉及该区域内数量众多的条带状铁建造型金矿床的共性特征^[3-4]。笔者凭借在该区域的多年工作经验,系统总结了该区域内条带状铁建造型金矿床的成矿地质特征,提出了进一步勘查方向,为寻找新的条带状铁建造型金矿床提供一定借鉴。

1 区域地质特征

研究区位于苏库玛兰德绿岩带外带(见图 1),主

要出露地层为太古界尼安萨群(Nyanzian Group)绿岩,岩性主要由条带状铁建造、变火山碎屑岩组成,可见黑云母花岗岩、辉绿岩和煌斑岩等侵入岩体,以及少量的闪长岩和闪长玢岩等^[5-7]。

研究区内构造较为发育,主要表现为褶皱和断裂。其中,褶皱主要为水平褶皱、倾竖褶皱及二者的叠加态褶皱;断裂主要呈放射状分布,深部表现为脆脆性,地表表现为脆性破碎带。

2 研究区地质特征

2.1 地层

研究区内东北部多见基岩出露^[8],西南部多为残坡积物和冲积物(见图 2)。下伏地层为太古界尼安萨群条带状铁建造和变凝灰岩,局部夹燧石条带。

变凝灰岩(见图 3-a):灰绿色、浅灰黑色,变余晶屑凝灰结构,块状构造,岩石由火山碎屑物成组,主要为晶屑和火山灰,少量岩屑。蚀变矿物主要是角闪石、阳起石、碳酸盐、绿泥石和黑云母。

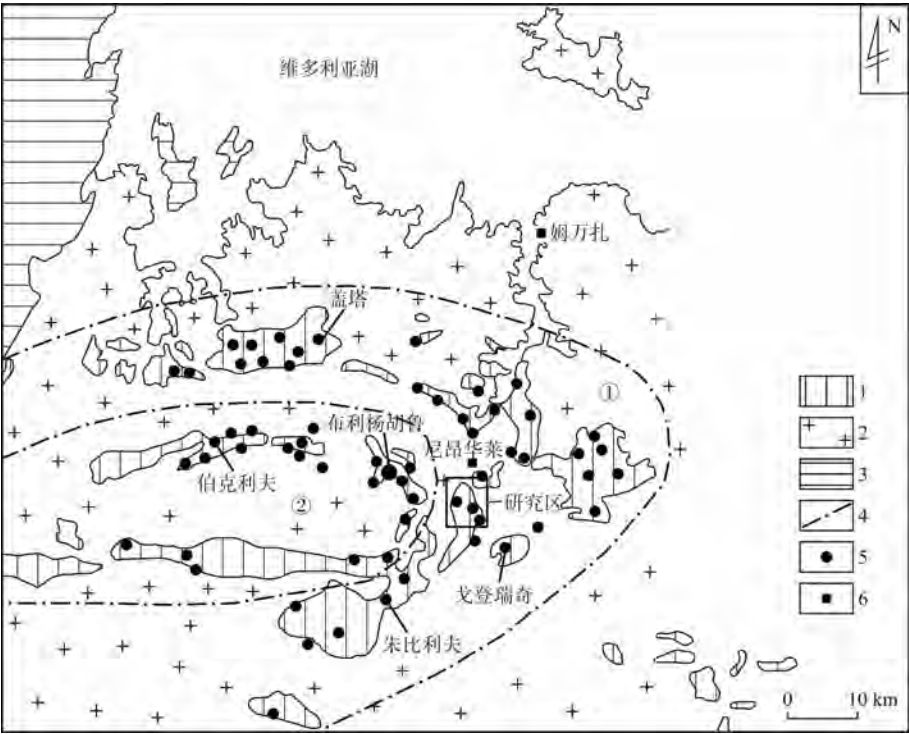
条带状磁铁矿石岩(见图 3-b):深灰色、灰黑色,粒状变晶结构,条带状构造。主要成分为石英和磁铁矿,含少量透闪石、碳酸盐。石英有 2 种形式:一是主体部分,呈微粒状,粒径 0.01~0.05 mm,其集合体与磁铁矿相间呈条带状分布;另一部分呈脉状,展布方向与纹层一致,局部斜交,脉内矿物成分主要是石英,含少量碳酸盐和磁黄铁矿等金属矿物,石英结

收稿日期:2023-10-30;修回日期:2024-02-01

基金项目:河南省财政地质勘查项目(豫国土资发[2018]22号)

作者简介:司建涛(1981—),男,正高级工程师,从事非洲固体矿产资源勘查和区域资源潜力评价工作;E-mail:sijiantao@163.com

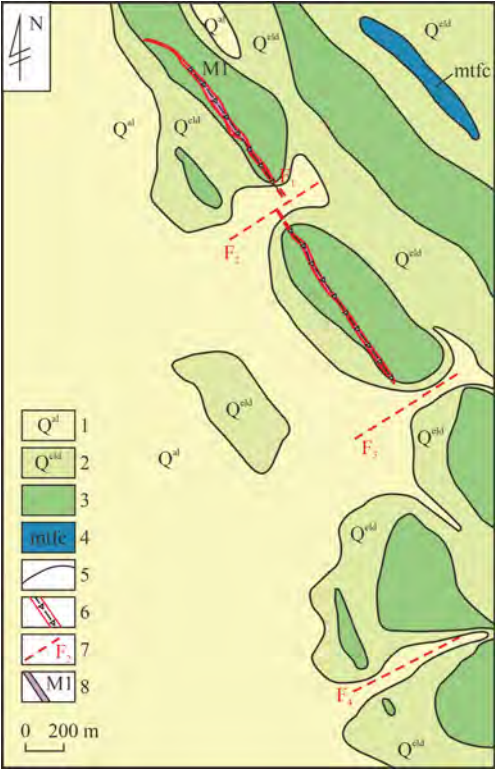
*通信作者:赵志强(1976—),男,正高级工程师,从事固体矿产勘查工作;E-mail:275333266@qq.com



1—太古界绿岩带 2—太古界花岗岩 3—元古界地层 4—绿岩带内外带分界线
5—金矿床(点) 6—城镇 ①—外带 ②—内带

图 1 苏库马兰德绿岩带地质简图

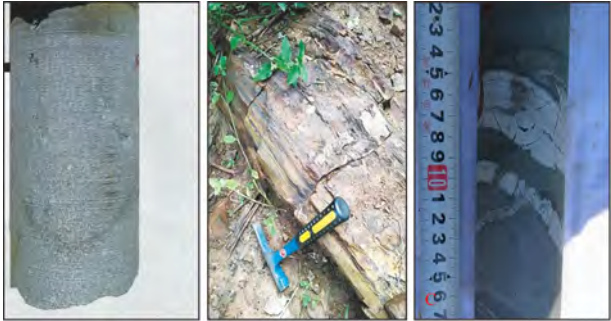
Fig. 1 Geological sketch of Sukumaland greenstone belt



1—第四系冲洪积物 2—第四系残坡积物 3—绿岩
4—变凝灰岩 5—地质界线 6—构造破碎带
7—推测断裂及编号 8—金矿脉及编号

图 2 研究区地质图

Fig. 2 Geological map of study area



a) 变凝灰岩 b) 条带状磁铁石英岩 c) 夹燧石条带变凝灰岩

图 3 研究区出露主要岩性

Fig. 3 Main lithology of outcrop in study area

晶颗粒较大,粒径最大可达 1.4 mm。透闪石呈针状、纤维状,粒径一般小于 0.1 mm。碳酸盐主要分布在石英脉内,呈他形粒状。

夹燧石条带变凝灰岩(见图 3 - c):变凝灰岩呈灰绿色、浅灰黑色,变余晶屑凝灰结构,块状构造。燧石条带呈灰黑色,夹层出现在变凝灰岩中,并向此岩层上部逐渐增多,与条带状磁铁石英岩呈渐变过渡接触关系。而磁铁矿条带主要存在于条带状磁铁石英岩层中,其含量随着向下部变凝灰岩的过渡而逐渐减少。

第四系残坡积物:棕褐色,主要成分为砂质黏土和砾石,砾石主要为磁铁石英岩碎块。

第四系冲洪积物:灰黑色,主要为砂质黑土,为季节性径流作用产物。

2.2 构造

研究区构造较简单,以北西向构造(如 F_1 断裂)和北东向构造(如 F_2 断裂、 F_3 断裂、 F_4 断裂)为主。

F_1 断裂:主要控矿构造,位于研究区中北部,呈北西向延伸,长约 3 km,宽 3 ~ 45 m,倾向北东,倾角 $50^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。发育于绿岩带内部,条带状磁铁矿石岩和变质凝灰岩接触带附近,与绿岩带走向一致。在剪切带内部,岩石较破碎,近地表硅化、褐铁矿化较强。

F_2 断裂、 F_3 断裂、 F_4 断裂:地面高精度磁法测量成果推测断裂,呈北西向展布,垂直于绿岩带走向分布,彼此近平行排列。受构造影响,区域上形成明显凹陷的负地形,地表被第四系覆盖较厚,地表无构造痕迹,构造长度和宽度不详。

2.3 岩浆岩

岩浆岩主要为闪长玢岩和闪长岩,多呈脉状沿剪切带裂隙侵入,地表无出露,宽度大致 1.0 ~ 1.5 m。

闪长玢岩:斑状结构,块状构造。斑晶成分主要是斜长石和角闪石。斜长石呈自形板状,粒径 0.3 ~ 7.0 mm,角闪石呈自形柱状,粒径 0.3 ~ 2.4 mm,褐色。基质具微晶结构,矿物成分主要是斜长石和黑云母,含少量钾长石,钾长石主要分布在矿物缝隙中。

闪长岩:细晶结构,块状构造。矿物成分主要是斜长石、角闪石和黑云母,含少量钾长石和石英。斜长石呈自形板状,粒径 0.05 ~ 1.0 mm,发育聚片双晶,被阳起石、黑云母等矿物交代。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

研究区内 M1 矿体走向为 140° ,延伸长度约 2 km,宽 3 ~ 40 m,总体倾向约 50° ,倾角一般 $50^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。M1 矿体赋存于 F_1 断裂中,金矿化程度不均一,最高金品位 35.20 g/t,最低金品位 0.05 g/t。矿体蚀变矿化强烈,主要蚀变有硅化、绢云母化、高岭土化、蒙脱石化、透闪石化、阳起石化、绿泥石化,并伴生褐铁矿化、毒砂化、黄铁矿化、磁黄铁矿化等。其中,硅化、毒砂化与金矿化关系最为密切。矿化蚀变带中金属矿化明显,近地表以褐铁矿化为主,深部以毒砂化为主,并伴随金矿化。

矿体围岩主要为条带状铁建造,矿体顶板为条带状铁建造,底板多为夹燧石条带的变质凝灰岩和变凝灰岩。矿体主要赋存于条带状磁铁矿石岩层与变凝灰岩之间的剪切破碎带中,并位于条带状铁建造一侧。

3.2 矿石特征

矿石结构主要有自形一半自形粒状结构、他形粒状结构、碎裂结构和鳞片变晶结构等;矿石构造主要有块状构造、条带状构造、浸染状构造、网脉状构造等;原生矿石主要矿物为自然金、毒砂、磁黄铁矿和磁铁矿等;脉石矿物为石英、绿泥石、碳酸盐矿物和长石等;共生组合以自然金 + 毒砂 + 石英为主。

氧化矿石主要矿物为自然金、褐铁矿等;脉石矿物主要有石英、高岭石等;共生组合以自然金 + 石英 + 褐铁矿为主,裸露和半裸露的自然金多为分布在黄铁矿、毒砂颗粒间的粒间金(见图 4)和分布在黄铁矿、石英脉裂隙间的裂隙金。

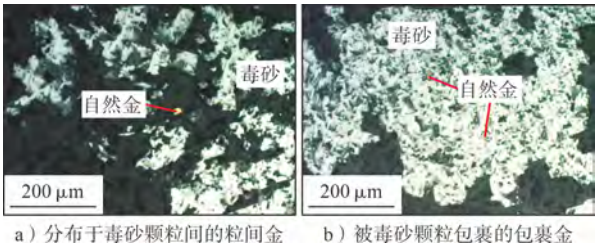
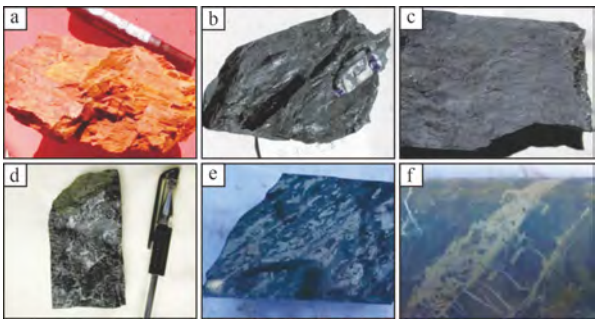


图 4 研究区金赋存形式

Fig. 4 Gold occurrence patterns in study area

3.3 围岩蚀变

研究区内蚀变作用主要沿构造发育,主要蚀变有硅化、褐铁矿化(见图 5 - a)、绿泥石化、黑云母化(见图 5 - b)、透闪石化、阳起石化(见图 5 - c),并伴生毒砂化(见图 5 - d)、黄铁矿化(见图 5 - e)和磁黄铁矿化(见图 5 - f)等。其中,硅化和毒砂化与金矿化关系最为密切。



a—硅化、褐铁矿化 b—绿泥石化、黑云母化
c—透闪石化、阳起石化 d—毒砂化 e—黄铁矿化 f—磁黄铁矿化

图 5 围岩蚀变类型

Fig. 5 Types of wall rock alteration

矿化蚀变带中金属矿化明显,近地表以褐铁矿化为主,深部以毒砂化为主,并伴随金矿化。集中分布于剪切带附近条带状磁铁矿石岩层中的硅化、毒砂化、黄铁矿化与金矿化关系密切,毒砂化富集程度与金矿化程度成正比,越接近蚀变带中心位置,毒砂含量越多,矿石中金含量越高。

5 土壤地球化学特征

研究区土壤地球化学参数特征见表 1。

表 1 研究区土壤地球化学参数特征

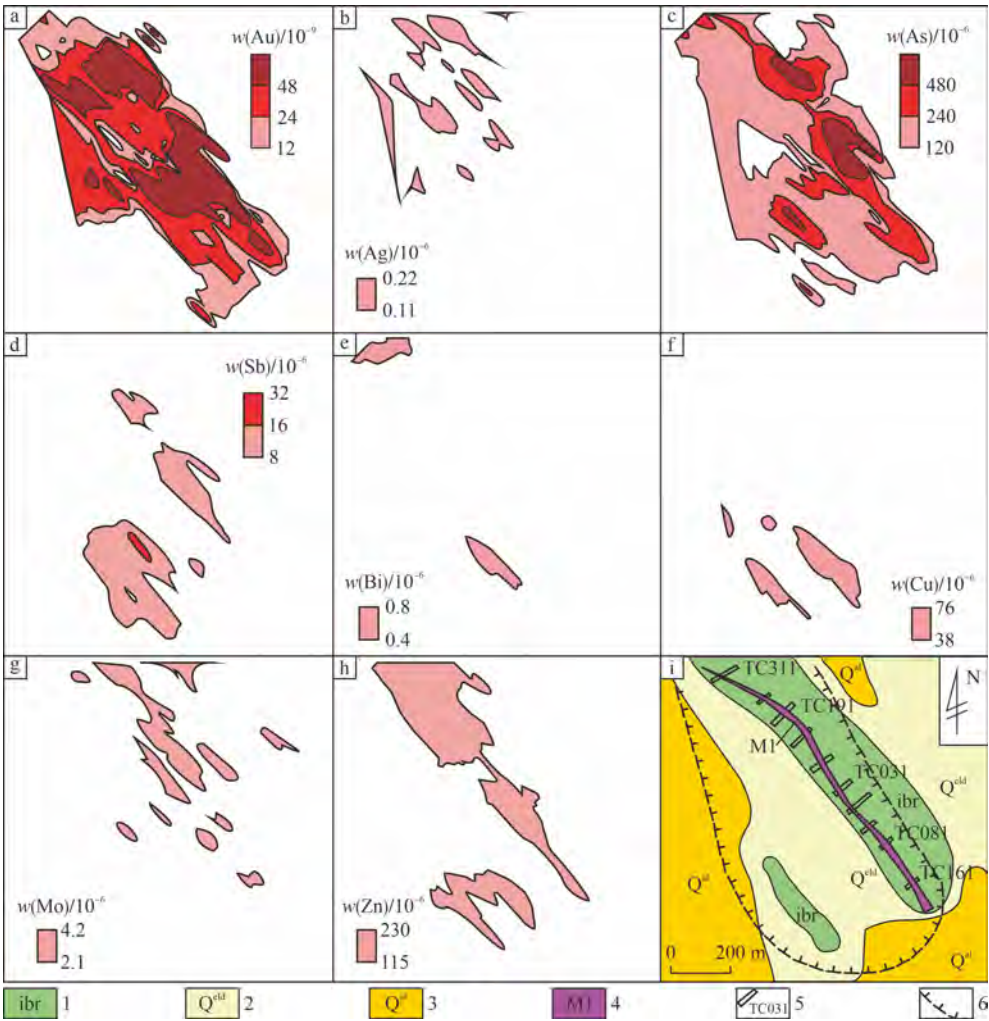
Table 1 Characteristics of soil geochemical parameters in study area

参数	Cu	Pb	Zn	Mo	Ag	W	As	Sb	Bi	Au ¹⁾
平均值/ 10^{-6}	23.28	20.60	57.89	1.57	0.07	1.85	43.56	3.25	0.26	2.18
标准偏差/ 10^{-6}	5.88	5.09	23.59	0.30	0.02	0.14	24.30	2.27	0.06	0.97
变异系数	0.25	0.25	0.41	0.19	0.21	0.08	0.56	0.70	0.23	0.45
克拉克值/ 10^{-6}	55.00	12.50	70.00	1.50	0.07	1.50	1.80	0.20	0.17	4.00
富集系数	0.42	1.65	0.83	1.05	1.06	1.23	24.20	16.25	1.53	0.55

注:w(Au)/ 10^{-9} 。

由表 1 可知:研究区内 As、Sb 呈弱分异分布, Au、Ag、Cu、Pb、Zn 呈不均匀分布。在各元素的富集与贫乏特征方面, As、Sb 为极强富集, Pb、Bi、W 为强富集, Ag、Mo、Zn 为正常分布, Au、Cu 为贫乏富集。

研究区 Au 异常规模大,强度高,其最高值 620.00×10^{-9} ,且多数高值点成片出现,形成明显的异常浓集中心。Au 异常与 As 异常套合较好,二者均大致呈北西向展布,形成一条较为明显的异常带(见图 8),延伸长度超过 2.5 km。



1—绿岩 2—第四系残坡积物 3—第四系冲洪积物 4—金矿脉 5—探槽及编号 6—综合异常

图 8 1 - 甲 Au Ag Cu Zn As Sb Mo Bi 综合异常剖析图

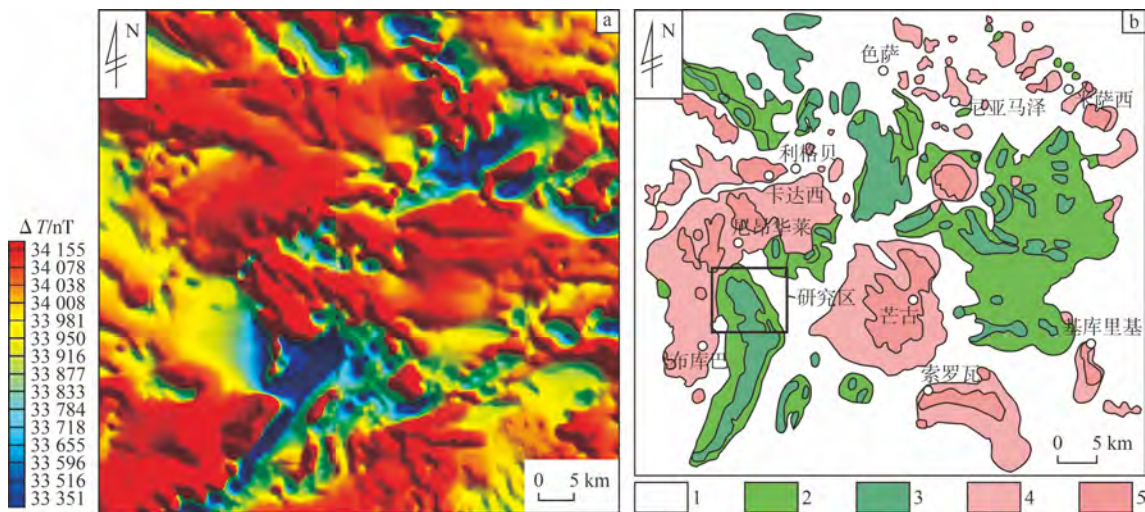
Fig.8 Comprehensive anomaly profile of 1 - A Au Ag Cu Zn As Sb Mo Bi

6 勘查方向研究

尼昂华莱地区金矿床(点)众多,成矿地质条件较为优越。资料显示,该地区还未发现大型金矿床,一方面是由于重视程度不够,另一方面是当地民采活动众多,整合开发存在诸多困难,但在选择勘查方向上存在一定有利条件。

1)开展新的选区评价工作。民采区域主要集中在基岩出露区。目前,快速整合开发地表金品位较高地区存在一定的困难,但可以在一些绿岩隐伏区(见图 9)开展选区评价工作^[15],利用物化探工作快速确定可供进一步勘查的区域^[16-17]。

2)选择有利时机开展整合开发工作,当地民采活动比较分散,且具有一定的周期性,即刚开始发现



1—冲洪积物 2—残坡积物 3—绿岩 4—花岗岩 5—闪长岩

图9 尼昂华莱地区航磁异常图(a)及地质简图(b)

Fig.9 Aeromagnetic anomalies (a) and geological sketch (b) of Nyang'wale area

时大规模聚集,但随着品位下降和开采深度加深,会进入民采低谷期,因此择期进入该区开展整合工作,在延伸方向和深部区域开展勘查工作,获得找矿突破的潜力较大。

7 结 论

1)尼昂华莱地区绿岩带尤其是条带状铁建造呈北西向条带状展布,其金矿化与条带状铁建造关系密切。可根据条带状铁建造本身的强磁性特征,采取地面高精度磁测来圈定磁性矿物富集带,来间接寻找金成矿带。

2)条带状铁建造所含的磁性矿物(磁铁矿、磁黄铁矿)及底板岩石中的多金属硫化物(黄铁矿化、方铅矿化等),均能引起明显的激电异常,从而采用大功率激电测量了解条带状铁建造的空间分布特征,为工程验证提供依据。

3)Au 异常为该区寻找金矿化主要标志,通过对 Au 异常浓集中心及其附近进行工程查证,可直接验证金矿化是否存在。

4)尼昂华莱地区成矿条件优越,但目前还未发现大型金矿床(>20 t),因此具有较大的找矿潜力,综合整合地物化资料和成矿地质特征,开展新的选区评价工作,以期取得新的找矿突破。

[参考文献]

[1] BORG G, KROGH T. The Geita Gold Deposit in NW Tanzania—Geology, ore petrology, geochemistry and timing of events[J]. Geologisches Jahrbuch (Reihe D), 1994, 100: 545–595.

[2] 龚鹏辉, 刘晓阳, 王杰, 等. 坦桑尼亚盖塔 (Geita) 绿岩带型金矿床地质特征[J]. 地质找矿论丛, 2015, 30 (增刊 1): 93–97.

[3] 李水平, 袁杨森, 司建涛, 等. 坦桑尼亚姆瓦莫拉金矿综合找矿模式[J]. 中国地质, 2016, 43 (4): 1 409–1 419.

[4] 李水平, 袁杨森, 程华, 等. 坦桑尼亚西嘎山一带铁建造型金矿

床航磁异常特征及找矿意义[J]. 地球物理学进展, 2018, 33 (3): 1 051–1 058.

[5] 孙宏伟, 刘晓阳, 唐文龙, 等. 坦桑尼亚主要成矿区带的划分及成矿特征[J]. 地质找矿论丛, 2015, 30 (增刊 1): 18–26.

[6] 姜高珍, 李以科, 王安建, 等. 坦桑尼亚苏库玛兰德绿岩带金矿地质特征及找矿思路[J]. 地质与勘探, 2015, 51 (6): 1 193–1 200.

[7] 王建光, 彭俊, 袁杨森, 等. 坦桑尼亚西北部苏库马绿岩带含金石英脉成矿特征[J]. 世界地质, 2016, 35 (4): 982–992.

[8] 赵志强, 袁杨森, 孟有杰, 等. 坦桑尼亚尼昂华莱 (Nyang'wale) 地区 PL10957 (原 PL9110) 矿权区金矿普查[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院, 2020.

[9] 白德胜, 司建涛, 孟有杰, 等. 坦桑尼亚西嘎山地区金矿床地质特征及找矿方向[J]. 世界地质, 2016, 35 (4): 993–1 000.

[10] 彭俊, 司建涛, 梁永安, 等. 坦桑尼亚马拉省尼亚斯罗利金矿地质、物化探特征及找矿方向[J]. 黄金, 2017, 38 (6): 18–23, 28.

[11] 李水平, 杨东朝, 朱鲁, 等. 磁力测量在隐伏含铁建造型金矿床及外围矿权区中的应用[J]. 黄金, 2013, 34 (6): 25–29.

[12] 孟有杰, 袁杨森, 李水平, 等. 综合物化探方法在坦桑尼亚卡尹泽金矿权区勘查中的应用[J]. 矿产勘查, 2020, 11 (2): 328–334.

[13] 邵江波, 袁杨森, 王滑冰, 等. 综合物探方法在坦桑尼亚西嘎山地区金矿勘查中的应用[J]. 地球物理学进展, 2021, 36 (2): 644–653.

[14] 唐文龙, 孙宏伟, 刘晓阳, 等. 中南部非洲镍矿成矿规律及资源潜力分析[J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2018, 48 (1): 53–69.

[15] 司建涛, 杜晓冉, 白德胜, 等. 坦桑尼亚太古界卡维隆多群杂砾岩型金矿化特征及其发现意义[J]. 黄金, 2023, 44 (9): 117–122.

[16] 白大明, 付国立, 聂凤军, 等. 内蒙古东南部砂卡岩型金属矿床的综合找矿模式[J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2011, 41 (6): 1 968–1 976.

[17] 黄国成, 董学发, 吴小勇, 等. 浙江省临安学川地区综合找矿预测模型[J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2013, 43 (4): 1 276–1 282.

[5] 杨根祥. 矿山酸性废水的污染与治理技术研究[J]. 西部探矿工程,2000,12(6):51-52.

[6] 杨与靖. 西藏甲玛铜矿酸性水成因及防治对策[C]//中国地质学会. 中国地质学会 2015 学术年会论文摘要汇编(下册). 北京:中国大地出版社,2015:685-686.

[7] 赵闯. 含重金属酸性废水处理及回用工艺设计[J]. 有色金属加工,2015,44(4):59-62.

[8] 赵麒,王海洋,李锡童,等. 酸性矿山废水去除重金属试验研究[J]. 黄金,2023,44(8):105-107.

Experimental study on comprehensive treatment of acid mine drainage in a mine

Lan Xinhui¹, Bian Yan'ai², Fu Yong³, Ma Jinqiang³, Ye Jinjuan¹, Cheng Weifeng¹

(1. Changchun Gold Research Institute Co., Ltd.;
2. Liaoning Xindu Gold Co., Ltd.; 3. Xizang Huatailong Mining Development Co., Ltd.)

Abstract: In response to the environmental pollution risks posed by acid mine drainage surrounding a non-ferrous metal mine, experimental study was conducted on the removal of iron, copper recovery by sulfurization and neutralization treatment. The results indicate that after the process of mixed iron removal and copper recovery – neutralization treatment, the pollutants in the acid mine drainage met the requirements of Grade I of the GB 8979 – 1996 "Comprehensive Wastewater Discharge Standard". The produced neutralization residue exhibit leach toxicity levels that meet the general industrial solid waste requirements. The copper grade in the copper residue can reach over 35 % , and the comprehensive copper recovery rate can reach 93.9 % .

Keywords: acid mine drainage; comprehensive treatment; copper; iron; recovery rate

+++++
(上接第 85 页)

Geological characteristics and prospecting direction study
of banded iron formation-type gold deposits in the Nyang’wale area, Tanzania

Si Jiantao, Zhao Zhiqiang, Zhang Mingli, Meng Youjie, Sun Jin, Dong Xianzheng
(Henan No. 2 Institute of Geology and Mineral Resources Survey Co., Ltd.)

Abstract: Nyang’wale area is located in the northwestern part of Tanzania, within the Sukumaland greenstone belt to the south of Victoria. The area hosts multiple banded iron formation-type gold deposits, with ore bodies occurring in shear zones within the banded iron formation, exhibiting distinct stratigraphic control characteristics. Through the analysis of the geological characteristics of the discovered deposits, combined with magnetic anomaly features, electrical anomaly features, and soil geochemical characteristics, the prospecting direction of the banded iron formation-type gold deposits in Nyang’wale area was analyzed. It is suggested that, based on the current mining activities, the primary prospecting direction in this area should focus on the search for concealed greenstone areas, followed by integrated development, in order to achieve significant breakthroughs.

Keywords: Tanzania; Nyang’wale; gold deposit; geological characteristics; prospecting direction