

# 坦桑尼亚前寒武纪成矿作用

王杰<sup>1,2</sup>, 刘晓阳<sup>1,2</sup>, 任军平<sup>1,2</sup>, 孙凯<sup>1,2</sup>, 龚鹏辉<sup>1,2</sup>, 贺福清<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 华北地质科技创新中心, 天津 300170)

**摘要:**坦桑尼亚境内出露大量新太古代、古元古代、中元古代、新元古代地质体,形成以坦桑尼亚太古代克拉通为中心,元古代活动带三面包围的前寒武纪构造格架。坦桑尼亚现有优势矿产多与前寒武纪地体的形成演化有关。其中与新太古代相关的矿产主要为绿岩相关的金矿,产于坦桑尼亚克拉通中,分布在坦桑尼亚北部维多利亚湖周边。与古元古代相关的矿产主要有造山型金矿,产于乌本迪造山带中,分布于坦桑尼亚西南部卢帕及姆潘达地区;与古元古代侵入岩相关的钒钛磁铁矿,产于乌本迪造山带中的古元古代基性侵入体中,分布于坦桑尼亚南部利甘加地区。与中元古代相关的矿产有基性超基性岩型镍(钴)矿,产于基巴拉造山带,分布于坦桑尼亚西北部与布隆迪接壤地区;有与中元古代碱性杂岩相关的稀土矿,产于乌本迪造山带的碳酸岩侵入体中,分布于坦桑尼亚姆比亚西北恩瓜拉地区。与新元古有关的主要有石墨及坦桑蓝、红宝石等,产于莫桑比克造山带中,坦桑蓝主要分布于坦桑尼亚北部阿鲁沙附近,红宝石主要分布于坦桑尼亚中部莫罗戈洛附近,石墨主要分布于中部莫罗戈洛附近和南部靠近莫桑比克地区。

**关键词:**坦桑尼亚;前寒武;金矿;镍矿;尼安康加金矿床;卡班加镍矿;新路卡金矿

**中图分类号:** P534.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2097-0188(2022)01-0101-10

非洲,特别是南部非洲,自前寒武纪以来剧烈的地质运动基本停止,保存了完好的地质记录。坦桑尼亚位于东南部非洲,已发现的矿产有金、金刚石、钒、钛、铁、镍、铅、铀、稀土、锡、钨、铬、铌、银、铂族金属及煤、油气及水泥灰岩等数十种,其中主要金属矿产及宝玉石基本都与前寒武纪地质体相关。坦桑尼亚太古代克拉通位于坦桑尼亚中北部,面积约占坦桑尼亚陆地面积的1/3。其北部的花岗绿岩分布区为南部非洲最重要的金矿产地之一。坦桑尼亚克拉通西南及南部为乌本迪造山带,最初形成于古元古代,后期又经历中新元古的多次构造活动,位于乌本迪带内的卢帕金矿区与姆潘达多金属矿区是坦桑尼亚的重要金矿区,坦桑尼亚钒钛磁铁矿也位于乌本迪带内。坦桑尼亚克拉通东南为乌萨加蓝造山带,形成于古元古代,与乌本迪构造带不同的是其未经过后期复杂的变形改造。坦桑尼亚西北为基巴拉造山带,为中元古形成,卡班加镍矿位于该构造带。坦桑尼亚东部地区大面积分布有新元古泛非运动形成的莫桑比克带,坦桑尼亚的大部分宝石(除金刚石)多产于该构造带,另外,坦桑尼亚的石墨也产于该构造带。

## 1 前寒武纪成矿地质背景

### 1.1 基本构造格架

坦桑尼亚位于非洲东南部,地质历史复杂而多样,太古宙以来经历了长期复杂的块体拼贴和造山作用,其大地构造单元主要由稳定陆块和围绕稳定陆块展布的造山带两大类组成<sup>[1]</sup>,前者主要指坦桑尼亚克拉通,后者主要由乌本迪造山带、乌萨加蓝造山带、基巴拉造山带、莫桑比克造山带等组成(图1)。

坦桑尼亚克拉通(Tanzania craton):坦桑尼亚克拉通主要分布在坦桑尼亚的中部和北部,向北延伸至肯尼亚南部及乌干达西南部。于28.50亿年之前初步形成了古陆核<sup>[2-3]</sup>,随后经历了多个增长时期(2 850~2 800 Ma、2 770~2 730 Ma、2 700~2 620 Ma),其中2 700~2 620 Ma之间为其主要的增长期,并最终趋于稳定形成现今格架。

乌本迪(Ubendian)造山带:分布于坦桑尼亚克拉通W-SW侧,最早是由坦桑尼亚克拉通与刚果克拉通及班韦乌卢地块在21亿年前碰撞初步形成<sup>[4]</sup>,而后陆续经历2.0~1.9 Ga、1 890~1 860 Ma等几期构

收稿日期:2022-03-30

资助项目:中国地质调查局项目“海上丝绸之路非洲中东部七国矿产资源潜力评价(DD20160108)”

作者简介:王杰(1964-),男,正高级工程师,1987年毕业于成都地质学院,主要从事矿产地质工作,E-mail:wangjie513046@163.com。

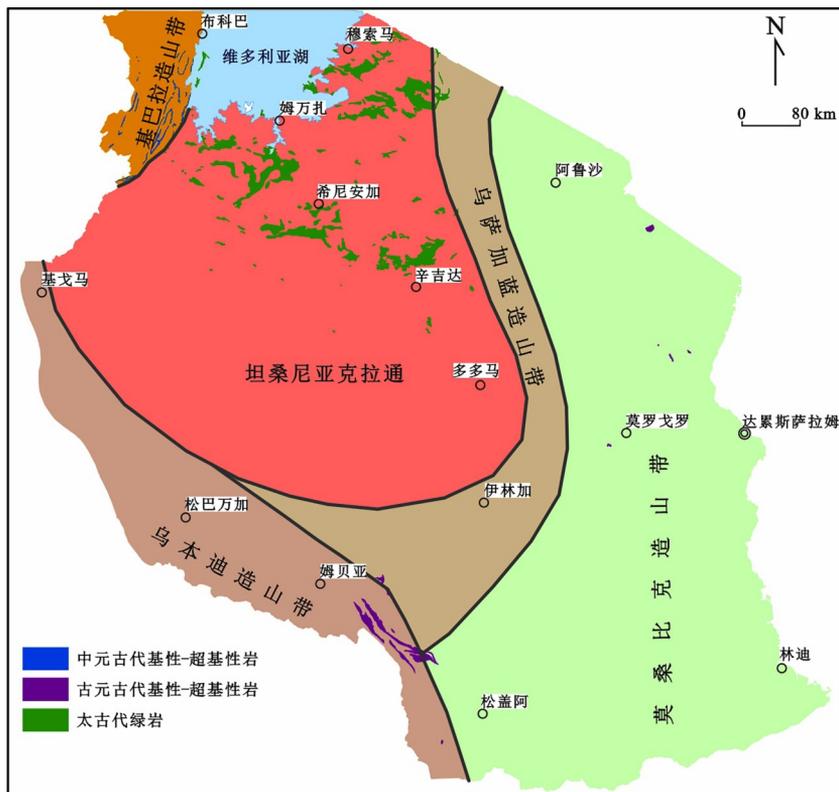


图1 坦桑尼亚大地构造简图

Fig.1 Tectonic map of Tanzania

造活动,形成了其基本格局<sup>[5-6]</sup>,中新元古代之后又经历了多次构造活动,使区内岩石地层变质变形更为复杂,但未改变其基本格架。

**乌萨加蓝(Usagaran)造山带:**分布于坦桑尼亚SE侧,与乌本迪带一样,最初形成于大约21亿年,经历了2.0~1.9 Ga的构造活动,其后又受到变形改造(约620~690 Ma)<sup>[7]</sup>。

**基巴拉(Kibara)造山带:**是10亿年前刚果(Congo craton)克拉通、卡拉哈里(Kalahari craton)克拉通、坦桑尼亚克拉通以及一些大陆块拼合成Rodinia超大陆的过程中所形成的,代表了中部非洲中元古代造山带向北延伸的最远端位置所在,也是一系列克拉通俯冲碰撞的重要见证<sup>[8]</sup>。活动带呈一个向北凸出的弓形,延伸1500 km左右,西起刚果西南部,穿过布隆迪、卢旺达和坦桑尼亚到乌干达西南部,坦桑尼亚境内主要分布于克拉通的NW侧。

**莫桑比克(Mozambique)造山带:**是一个复杂的新元古代造山带,经历了多期次造山运动,呈N-S向延伸,自非洲东北部,经非洲东部,一直延伸至莫桑比克的南部,被认为是东、西冈瓦那大陆在新元古代碰撞形成超大陆时的缝合带<sup>[9]</sup>。该造山带在坦桑尼亚境

内主要分布于其克拉通的东部。

## 1.2 前寒武纪地层

### (1) 太古宙地层

太古宙地层分布于坦桑尼亚克拉通内部,坦桑尼亚克拉通主要由太古宙花岗岩、片麻岩、混合岩及不规则散步的绿岩和片岩带组成,向北延伸至维多利亚湖的东部边界及肯尼亚西南和乌干达东南的周边地区。坦桑尼亚太古宙地体与非洲其他克拉通不同,不能划分出独立的片岩、绿岩和花岗岩地体,而是大量的花岗岩-混合岩-片岩地体所环绕的不同的片岩带。

坦桑尼亚多多马地区的Undewa Ilangali地体拥有迄今为止坦桑尼亚最古老的岩石,~3230 Ma石英闪长岩和~3600 Ma紫红色石英岩,含有~4013 Ma的碎屑锆石<sup>[8]</sup>。坦桑尼亚太古宙地层主要分为三个超群:多多马超群(Dodoma Supergroup)、尼安兹超群(Nyanzian supergroup)和卡维隆迪超群(Kavilondian supergroup)。

多多马超群呈近东西向展布于坦桑尼亚克拉通的南部,主要由花岗岩类和混合岩构成,带有狭长的、东西向麻粒岩-绿片岩相变质带,主要包括黑云角闪片麻岩、角闪岩、含赤铁石英岩等,走向SEE或NEE,倾角陡。岩石局部经历了强烈的混合岩化作用和花岗岩化作用,可见麻粒岩相岩石组合及辉石片麻岩产于低级变质的滑石绿泥片岩、绢云母片岩和含刚玉片岩中。坦桑尼亚克拉通南部麻粒岩相变质岩局部可过渡为混合岩,并被辉长质岩石侵入。变闪长岩(变玄武岩、角闪石-黑云母花岗岩类、闪长质片麻岩、混杂花岗闪长岩和镁铁质片岩)带为多多马超群中残留的古基中性侵入岩,锆石年龄 $3230 \pm 4$  Ma<sup>[9]</sup>,附近的表壳岩残留体主要岩石类型为铬云母石英岩、云母片岩、角闪片岩等。本项目组在其中的铬云母石英岩中采样进行碎屑锆石U-Pb年龄测定,在149个测点中有91个数据的谐和度大于92%,其<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb年龄界于3523~3850 Ma之间,并出现~3590 Ma与~3710 Ma两组峰值,表明这些变质表壳岩是始太古代-古太古代的沉积岩。花岗

片麻岩构成了新太古代绿岩带的基底。

尼安兹超群不整合覆盖在多多马超群上,主要包括基性和长英质火山岩、条带状铁矿石及与之伴生的低级变质沉积岩,沉积年龄约2 700 Ma<sup>[10]</sup>。绿岩带呈不规则状透镜体产于花岗岩地体中(图1),经历了强烈的褶皱作用,可见残留的陡倾向斜。尼安兹超群岩石可划分为下部和上部两部分组成,尼安兹超群上部以角闪岩相变质镁铁质火山岩为主,包括辉长岩和枕状玄武岩<sup>[11]</sup>。尼安兹超群下部以长英质火山岩和火山碎屑岩为主,夹火山碎屑岩、浊积岩和化学沉积物,如燧石、铁矿石、黑色页岩、泥岩和砂岩。

卡维隆迪超群,主要分布在坦桑尼亚的东北部,在邻区肯尼亚广泛分布,是太古宙地层序列的最上部单元,不整合覆盖在尼安兹超群之上,岩石发生褶皱,褶皱轴走向E-W向。主要由砾岩、石英岩、粗粒长石砂岩、粉砂岩、页岩、千枚岩和凝灰岩组成。少量薄层火山岩呈夹层状产出,锆石U-Pb年龄为2 667±8 Ma<sup>[10]</sup>。在结构上和组成上,卡维隆迪砾岩成熟度低-中等,以尼安兹超群中氧化的条带状铁建造砾岩为主,少量脉石英砾岩,缺少基性岩砾岩。卡维隆迪超群底部和中部的砾岩中碎屑岩型金矿可能来源于尼安兹超群或内生的含金地层。

## (2)元古宙地层

古元古界:坦桑尼亚古元古界分为乌本迪(Ubendian)群和乌萨加蓝(Usagaran)群,时代大至相同。乌本迪群主要分布于太古宙克拉通的南部和西部,出露于乌本迪造山带中,由沉积和火成成因的高级变质岩及再改造的太古宙岩石组成。主要岩石类型为黑云-石榴片麻岩及角闪-辉石或石榴-辉石片麻岩<sup>[12-13]</sup>,含少量基性、超基性侵入体、晚期花岗岩,大理岩少见。构造线方向主要为北西向,变质作用主要为石榴角闪岩相,少数达到麻粒岩相。乌萨加蓝超群分布于太古宙克拉通的东南和南部,出露在乌萨加蓝活动带中。与乌本迪超群相似,乌萨加蓝超群主要由泥质成因的麻粒岩和黑云母片麻岩组成,常见石英岩<sup>[14]</sup>。大部分地区遭受了麻粒岩相变质作用。构造线方向以南西向为主。

中元古界:主要为分布于坦桑尼亚西北部的卡拉圭-安科连群(Karagwe-Ankolean)、布科班(Bukoban)群及分布于坦桑尼亚西南尼亚萨湖附近的乌金干(Ukingan)群。卡拉圭-安科连群是基巴拉褶皱带的一部分<sup>[15]</sup>,出露于坦桑尼亚的西北部,较乌本迪超

群和乌萨加蓝超群年轻,具有明显不同的岩石类型和组构,主要由泥质板岩、千枚岩、绢云母片岩和石英岩等组成,反映了浅水相沉积环境。岩石经历了低-中高级绿片岩相变质作用。布科班群主要分布在坦桑尼亚西北部,时代跨越中-新元古代,主要包括砂岩、硅质岩、页岩、白云质灰岩、燧石及杏仁状熔岩,岩石未变质,但经历了弱变形作用。乌金干群分布于坦桑尼亚南部尼亚萨湖北侧,为一套动力变质的千枚岩、绢云母片岩、糜棱岩、片麻岩等,呈南东-北西向展布。

新元古界:呈南北带状分布于坦桑尼亚东部莫桑比克带。由北向南分别有勒拉特马群(Lelatema group),以大理岩、石英岩、角闪石片麻岩、黑云母片麻岩、石英长石片麻岩为主,夹少量石墨片麻岩和蓝晶石片麻岩;帕罗群(Pare group),岩性为基性麻粒岩和片麻岩、大理岩,部分酸性麻粒岩和片麻岩,少量石英岩、石墨及蓝晶石片麻岩;卢卡瓦古勒群(Lukwangule group),以石英岩、含石墨麻粒岩、角闪石麻粒岩为主,夹石墨麻粒岩,带状辉石麻粒岩夹方解石大理岩;马桐波岩群(Matombo group),以大理岩、含石墨片麻岩、块状和条带状白云石大理岩为主,少量石英麻粒岩和黑云母片麻岩;马塞斯群(Masasi group),主要为大理岩、结晶灰岩、石英岩及副片麻岩。

## 1.3 前寒武纪岩浆作用

中太古代前期主要表现为大规模酸性岩浆侵入,并伴随中基性-超基性的火山喷发,形成规模巨大的花岗岩岩基和一些零散分布的铁镁质基性、超基性岩;中太古代后期到新太古代早期,主要表现为间歇式酸性火山喷发-深源镁铁质基性火山喷发,形成坦桑北部大面积的(尼安兹超群和卡维隆迪超群)花岗质火山沉积变质岩和尼安兹群深源镁铁质超基性、基性火山岩、变质玄武岩(图1);新太古代晚期表现为大面积的花岗岩侵入和太古代末期的花岗岩、花岗闪长岩的侵入为特征。从野外观察,太古代末期的花岗岩和花岗闪长岩也侵入到前期形成的岩体中,并多呈线状和环形分布,地貌上构成独特的自然景观;太古代末期多多马克拉通(古陆核)就已形成当今的格局。

元古代的岩浆活动较太古代大为减弱。在古元古代早期以基性-超基性的斜长岩(钒钛磁铁矿)、角闪岩、辉长岩、闪长岩、榴辉岩和铁镁质超基性岩为主,并伴正长岩和花岗岩的侵入,但规模都较小。古

元古代中期为间歇期,没有岩浆活动。古元古代晚期又有一次酸性岩浆侵入;中元古代只有晚期的小规模岩浆活动,如南部的闪长岩和西北部的基性-超基性岩(镍矿)及花岗岩(高温矿产)、中部的超基性小岩体。

## 2 坦桑尼亚前寒武纪主要矿床类型及分布

坦桑尼亚与前寒武纪相关的矿产资源丰富<sup>[5]</sup>,主要矿床类型有:绿岩型金矿、剪切带型金矿;基性-超基性侵入岩型镍铜矿、基性侵入岩型钒钛磁铁矿;沉积变质型石墨矿<sup>[6]</sup>;BIF型铁矿;碱性岩-碳酸岩型稀土矿等。其中金矿在坦桑尼亚矿业中占有重要地位,其产值约占全国矿业产值的90%,其次为镍、铬、钴、铜、钻石、宝玉石、石墨等。

矿产与所处的成矿环境及其分布具有一定的规律性,成群分布特征十分明显<sup>[7]</sup>。金矿主要分布在维多利亚湖东面和南面地区的绿岩带中,以及坦桑尼亚南部卢帕和西南部姆潘达地区(图2),位于维多利亚湖南岸地区的金矿带是坦桑尼亚最大的金矿产区。已发现金矿床主要赋存于太古代绿岩带、元古代乌本迪岩系和新生代岩层中;含金刚石的金伯利岩筒主要分布在坦桑中部的辛阳加省及南部马拉维湖一带(图3);镍-铜-钴-铂族矿与超基性岩体有关,坦桑尼亚西北部元古代的卡拉圭-安科连超群的超基性岩系中蕴藏钴、铜、锡、钨、铬和铂族金属,卡盖拉地区有富镍红土矿,镍矿远景区位于维多利亚湖西南卡邦加地区(图4);铁分布于坦桑尼亚南部中元古代乌本迪超群岩石中(图4);与碳酸岩有关的稀土矿产主要分布在坦桑尼亚西部姆潘达附近地区<sup>[18-19]</sup>(图1);坦桑蓝主要分布在坦桑北部乞力马扎罗山脚下

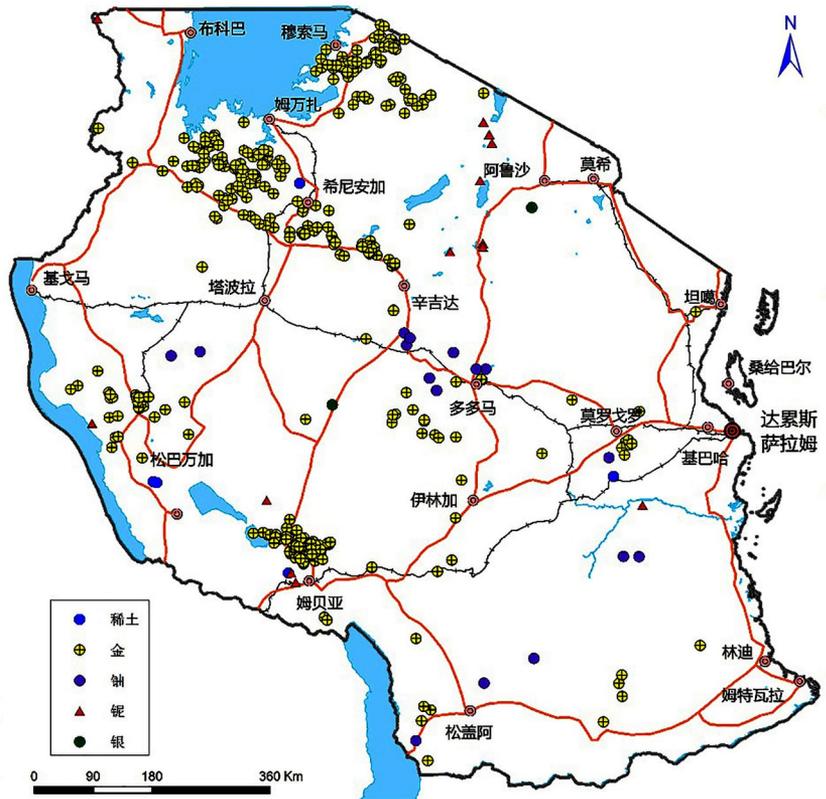


图2 坦桑尼亚金、银、铀、铌、稀土矿产分布图

Fig.2 Distribution map of Au,Ag,U,Nb,RE minerals in Tanzania

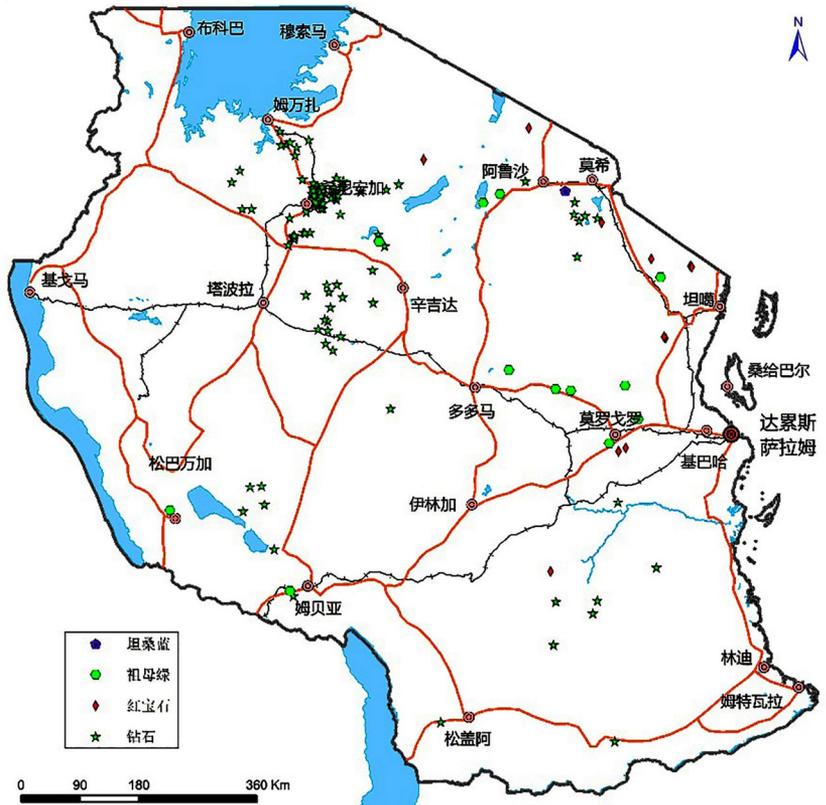


图3 坦桑尼亚坦桑蓝、祖母绿、红宝石、钻石矿产分布图

Fig.3 Distribution map of tanzanite, emerald, ruby, diamond minerals in Tanzania

的阿鲁沙市附近地区,其它有色宝石主要分布在莫罗戈罗附近<sup>[20-21]</sup>。

### 3 金的成矿作用

坦桑尼亚的金矿主要分布于三个矿集区,位于北部地区的维多利亚湖周边的太古代绿岩型金矿、及位于乌本迪带内坦桑尼亚西南姆贝亚北部的卢帕矿集区(也称为卢帕金矿田)和坦桑尼亚西部的姆潘达矿集区(姆潘达金矿田)。主要有4种类型:①剪切带石英脉型金矿床(布鲁杨胡鲁金矿、新路卡金矿),该类型矿床主要赋存于变质火山岩和火山沉积岩中;②与剪切带有关的BIF型金矿床(盖塔金矿床),该类型的金矿床可以归为层控型金矿床;③与剪切带有关的岩浆岩作用的金矿床(布兹瓦吉金矿);④与剪切带有关的碎屑沉积岩(砂岩、粉砂岩)型金矿床(如尼延泽嘎金矿)。可以看出坦桑尼亚太古代绿岩带中的金矿床都与剪切带有关,各种岩石类型中都有可能成矿<sup>[22-24]</sup>。

#### 3.1 太古代绿岩型金矿

##### 3.1.1 概况

新太古代绿岩型金矿主要分布于坦桑尼亚北部维多利亚湖附近的新太古代绿岩内(图5),目前已发现数十个金矿床。与金矿有关的地层主要为尼安兹(Nyanzian)群,其次为卡维隆迪(Kavirondian)群<sup>[25]</sup>。

尼安兹群由镁铁质和长英质火山岩、BIF和相关的低级变质沉积物(绿岩带组合)组成。绿岩带以不连续不规则形状透镜体的形式呈弧形带状分布于花岗岩出露区,褶皱作用强烈。其下部以镁铁质火山岩为主<sup>[26]</sup>,主要为拉斑玄武岩质火山岩(块状熔岩、枕状熔岩、凝灰岩);中部为长英质火山岩(安山岩、流纹岩)及火山凝灰岩,含少量泥质沉积

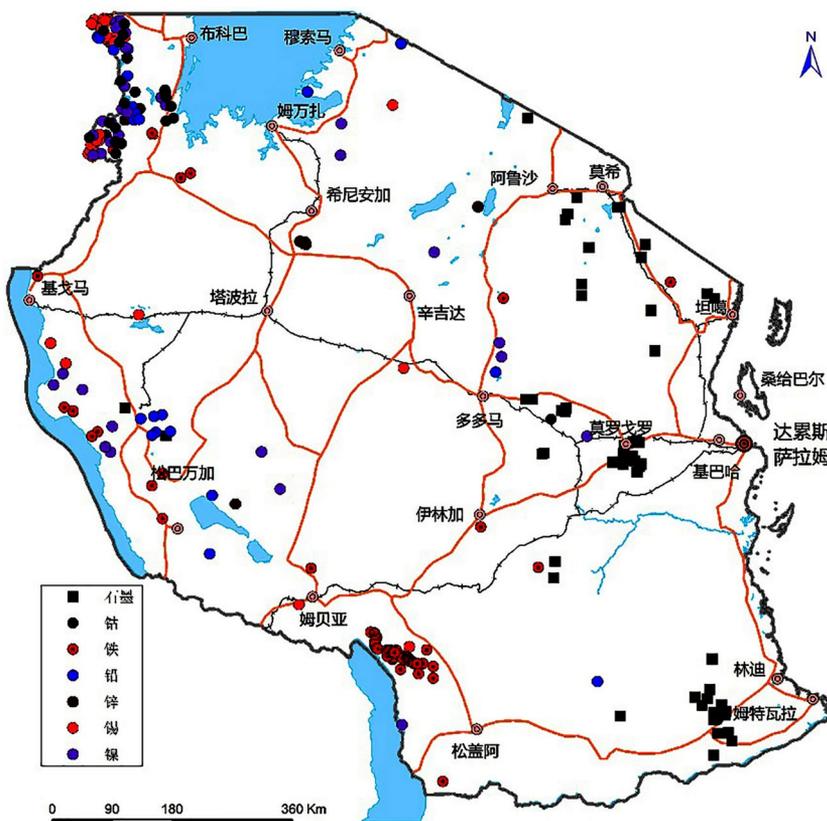


图4 坦桑尼亚镍、钴、铁、锡、铅、锌、石墨矿产分布图  
Fig.4 Distribution map of Ni, Co, Fe, Sn, Pb, Zn, graphite minerals in Tanzania

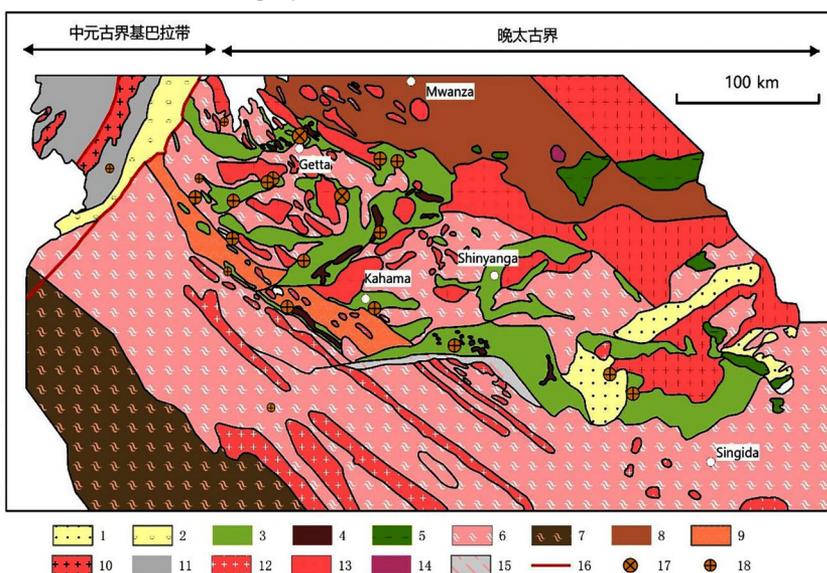


图5 坦桑尼亚维多利亚湖南部地区地质矿产简图(据J.M. Kabetea,2012.修改)  
Fig.5 Sketch map of geological and mineral resources in the southern part of Lake Victoria, Tanzania

1. 沉积盖层; 2. 中元古沉积岩; 3. 新太古绿岩; 4. 新太古条带状铁矿层; 5. 新太古片麻岩、混合岩、镁铁质片岩; 6. 新太古花岗岩片麻岩、混合岩; 7. 新太古片麻岩、麻粒岩; 8. 新太古麻粒岩、混合岩; 9. 新太古片麻状混合岩; 10. 中元古花岗岩; 11. 中元古火山岩; 12. 新太古后构造期花岗岩; 13. 新太古同构造期花岗岩; 14. 新太古镁铁质杂岩; 15. 剪切带; 16. 断层; 17. 超大型金矿床; 18. 大型金矿

物的夹层;上部为BIF和碎屑岩互层,包括条带状铁建造、长英质凝灰岩、石墨片岩、石英岩,其次是页岩和片岩,局部可见流纹质火山岩<sup>[27]</sup>。

卡维隆迪群不整合地覆盖在尼安兹群之上,由砾岩、石英岩、砂岩、长石砂岩、粉砂岩、页岩和千枚岩以及凝灰岩组成。在某些地方,基底砾岩和夹层砾岩携带着碎屑金,这些碎屑金很可能来自于尼安兹群岩石。

### 3.1.2 典型矿床

包含盖塔山(Geita Hill)金矿的绿岩带习惯上被称为盖塔绿岩带,该绿岩带内至少有十余个独立的金矿床,其中位于西南1.5 km处的尼安康加(Nyankanga)金矿床规模大、品位高,可作为坦桑尼亚新太古代绿岩型金矿的典型代表。

地层:尼安康加金矿床产出于富含磁铁矿的沉积岩中,沉积岩由砂岩-粉砂岩组成,局部夹有层状燧石和含砾砂岩层。沉积岩层被闪长岩、长石和石英斑岩侵入,并已变质为较低的绿片岩相。包含至少三代不同的磁铁矿层。原生沉积磁铁矿以页岩或绿泥岩层内的细层状体形式出现,其中夹有燧石或细粒粉砂岩。原磁铁矿条带通常沿走向是连续的,但局部出现层理一致的透镜体。第二代磁铁矿是热液成因,在剪切带附近和沿剪切带形成磁铁矿富集区。因为许多剪切带与层理近于平行,这一代磁铁矿可能类似于沉积磁铁矿,但可以通过低角度的局部横切层理和分叉来区分。第三代磁铁矿是沿横切脉和裂缝存在的重新流动的沉积或热液磁铁矿。含铁岩层可细分为三个地层单元。最下部的单元厚约3 m,由富含石墨的磁性页岩或粉砂岩和层状燧石的夹层组成。中间单元由层状较差的磁铁矿和燧石夹层组成。该单元通常为深灰色,燧石层通常为半透明的浅灰色。上部单元由粉砂质、绿泥质碎屑沉积层与燧石层互层组成。磁铁矿沿着燧石层与碎屑层接触面出现,这个单元通常是深绿色的。其上为厚度数十米碎屑岩,主要岩性为细粒绿泥石-长石石英-长石砂岩,局部有砾岩。局部可能有含燧石和泥岩的地层碎片。在较厚的地层中发现了粗粒砂岩透镜体。

侵入岩:尼安康加金矿床矿体围岩为闪长岩,包括富含斜长石的闪长岩和富含角闪石的闪长岩。不同成分的闪长岩是岩浆分化的结果,为深成侵入岩。闪长岩又被一系列长英质岩脉侵入<sup>[28]</sup>。

构造:尼安康加剪切带,主体呈北东东-南西西走

向,倾向北西,倾向较缓。矿区内其他规模较小的剪切带和断层基本与尼安康加剪切带走向一致。

围岩蚀变:可分出三个蚀变带:远矿蚀变区、过渡蚀变区和近矿蚀变区。远矿蚀变区以绿泥石-绿帘石-方解石、阳起石-黄铁矿、磁黄铁矿组合为特征,在闪长岩中最为发育。在闪长岩中,绿泥石取代原生黑云母和角闪石,而绿帘石取代镁铁质矿物和斜长石。方解石以浸染和方解石-黄铁矿或方解石-绿泥石、绿帘石-黄铁矿脉的形式出现。在铁矿层中,该蚀变带不太明显,但可以通过页岩中的绿泥石、磁铁矿带附近的阳起石和罕见的方解石-绿泥石-黄铁矿-火成岩细脉来识别。过渡蚀变区以黑云母-绿泥石-方解石,黄铁矿组合为特征。远矿蚀变区和过渡蚀变区之间的区别在于黑云母的出现和方解石丰度的增加。黑云母细脉和相关的薄黑云母晕出现在整个区域。在闪长岩中,过渡带的进一步特征是黑云母的出现,它取代了原生角闪石。方解石、石英-黑云母-绿泥石-黄铁矿脉遍布该区域。近矿蚀变区,主要矿物组合为石英-方解石-白云石/铁白云石-赤铁矿-黄铁矿-黑云母。在闪长岩中,镁铁质矿物的黑云母置换很常见,并且与细粒浸染状磁铁矿有关。由于硅化、方解石化和/或硫化作用,该区域内蚀变强度的增加局部导致原生火成岩结构完全重叠。这种普遍的蚀变伴随着矿脉密度和热液角砾岩的增加。赤铁矿呈中等强度,但在硅化蚀变最强的地方不存在。赤铁矿蚀变很可能是前磁铁矿氧化-蚀变的结果,其中磁铁矿已被(含金)黄铁矿取代,硅化蚀变可能与黄铁矿替换富铁镁铁质硅酸盐和释放硅质的局部蚀变现象有关。碳酸盐矿物主要由白云石和铁白云石组成,方解石含量较少。在铁矿层中,黄铁矿大量替换磁铁矿,从而破坏了原始沉积结构。热液角砾岩是该蚀变带的常见特征。热液角砾岩最常见于侵入岩和沉积岩之间的接触处。

矿体:矿体一般呈向北西缓倾的脉状、板状、透镜状。靠近尼安康加剪切带,一般下盘矿化较好,矿体厚度数米至十数米。

矿化:矿化优先位于条带状铁矿-闪长岩接触带附近,高品位带在条带状铁矿层内。在闪长岩中,矿化程度通常较低,一般为浸染状矿化。可以区分几种不同的矿化类型。高品位矿体通常与浸染状铁矿矿化和断层角砾岩及石英脉有关。浸染型矿化类型以硅化、铁硫化物为特征,带有石英-磁铁矿-黄铁

矿-赤铁矿蚀变。与断层有关的石英脉和角砾岩矿化类型在尼安康加剪切带下盘形成了不同的区域,以含黄铁矿的石英碳酸盐胶结角砾岩和矿脉为主。中等品位矿带通常与薄矿脉叠加的与层理平行小剪切带有关,并与矿物组合石英-磁铁矿-黄铁矿-赤铁矿有关。低品位矿带通常以脉状为主,主要发育在尼安康加剪切带的下盘,矿物组合主要为石英-碳酸盐-黄铁矿-绿泥石-黑云母组合。

### 3.2 古元古代矿

#### 3.2.1 概况

古元古代金矿主要分布于坦桑尼亚克拉通西南部乌本迪造山带的卢帕(Lupu)地区,以卢帕矿集区最为典型,该区是一个由若干条边界断层围成的三角形区域,该地区金矿最早发现于1922年,也是坦桑尼亚最早开采金矿的地区。在面积约为3 000 km<sup>2</sup>的区域内分布着数十个矿床(点),但规模一般都较小<sup>[29]</sup>,矿区内岩石都经历了热液蚀变及绿片岩相变质作用,新太古代变形花岗岩(约2.75 Ga)被大量未变形的古元古代花岗岩类(1.92~1.96 Ga)及辉长质-闪长质侵入体所侵入。上世纪80—90年代的勘查发现了一处较大规模的金矿床,即新路卡金矿(New Luika Gold Mine)。

姆潘达矿集区呈北西-南东向延伸的带状展布,该矿化带长约90 km、宽度最宽可达到40 km。矿区内出露的地层主要可以分为2组,即Katuma群(岩系)和Ikulu群(岩系)。矿化蚀变带明显受区内构造以及岩性界面的控制。主要有两种类型的矿化,第一种是以金为主(伴生Pb、Cu)的矿床,第二种则是富集铅铜(伴生低品位金)的矿床。其中,以金为主的矿床位于Ikulu群(石英-云母片岩)和Katuma群(变质火成岩)的岩性分界面上。在80 km<sup>2</sup>的范围内发育了将近50条矿脉,且金矿化与北西-南东、北北西-南南东方向延伸的剪切带有关。

#### 3.2.2 典型矿床

新路卡金矿产于一条北东东走向的韧性剪切带及其附近<sup>[30]</sup>。有6个矿体(Bauhinia Creek、Ilunga、Luika、Elizabeth Hill、Shamba和Black Tree Hills)。该矿床在2013—2020年间产金约64.8万盎司,2021年预计产金约8万盎司。

太古宙变形花岗岩构成了剪切带的上盘,而下盘以古元古代辉长质-闪长质侵入岩/岩脉占主导地位。在靠近剪切带边界的位置,上、下盘均呈条带状

(矿物组成为石英、方解石、绿泥石、黄铁矿),并发生强烈绿泥石化(或绿帘石化),其中发育破劈理的面理延伸方向与剪切带边界近于平行。热液蚀变常常与糜棱岩化(矿物组成为绿泥石、白云母、方解石、绿帘石、石英、黄铁矿)有关,叠加长石的绢云母化以及太古宙花岗岩的硅化,还有后期的赤铁矿-磁铁矿化。剪切带断裂面中局部充填有变形成板状的(有时厚达10 m)含金石英脉,它们通常具有复杂的形成历史,在矿体处还可以观察到太古宙糜棱岩化的花岗岩残片被卷入充填于断层面中的含金石英脉中。

吴兴源等<sup>[29]</sup>总结了前人研究成果,认为将卢帕金矿田内的金矿床视作造山型金矿可能是一个相对合理的解释。成矿时代区间分布范围较大(1.87~1.95 Ga),并且约1.95 Ga的成矿时代在所有矿区均有出现,它很可能代表了主成矿期。其成矿物质为幔源性质。

## 4 岩浆型镍矿的成矿作用

### 4.1 概况

分布于坦桑尼亚西北部的卡拉圭-安科连(Karagwe-Ankolean)群为中元古基巴拉造山带的一部分。卡拉圭-安科连群通常被认为形成于1 330 Ma前。在约1 330至1 275 Ma被基巴拉造山运动变质改造,经历了低至中等变质作用,并形成了北北东走向的构造趋势。主要岩石组合为石英岩、千枚岩和石墨片岩,局部发育含红柱石的云母片岩。泥质岩石通常含有丰富的铁硫化物,呈不规则透镜体和层状。

卡拉圭-安科连群中被大量镁铁质岩石顺层侵入,形成了北北东-南南西系列硫化镍矿床(点)。

薄镁铁质侵入体多数呈薄层状岩,厚度从几厘米到几十米不等,岩性主要为辉绿岩到辉长岩。其中一些岩床分为黑云母基底(黑云母到橄榄石辉石岩)和更多长英质上部(浅色辉绿岩到花岗斑状石英辉绿岩)。这些岩床中的大多数蚀变为透闪石-阳起石的绿片岩相变质组合,但它们通常保留其原始火成岩结构。

也有不连续的镁铁质-超镁铁质侵入体,通常被分成几个离散的相邻岩体,坦桑尼亚卡班加的岩体为其中之一。这些超镁铁质岩体的走向与基巴拉带的总体走向一至,但在局部也有穿越沉积层的。侵入体中以橄榄石-斜方辉石堆积岩为主,边缘带和上

部带包括苏长岩、辉长岩和辉长岩。内部堆积结构通常保存比较完好。有研究者获得了镁铁质-超镁铁质侵入体的单一锆石U-Pb年龄为 $1\,275\pm 11$  Ma。

#### 4.2 典型矿床

产于坦桑尼亚西北部基巴拉带的卡班加镍矿,是1976年坦桑尼亚地质调查局在联合国开发计划署多国团队在坦桑尼亚西北部的卡格拉地区进行区域地质调查时发现。自1991年以来,卡班加和卡格拉地区其他地方的勘探一直由商业勘探公司持续进行。

矿区内有两个相距约2 km的镁铁质岩体,被称为北部岩体和主岩体。北部岩体是该地区出露面积最小、最简单的岩体。两个独立的超镁铁质岩体倾向西、倾角大,位于一标志地层单元十字石-红柱石-石榴石片岩的上方。侵入体呈豆荚状,长宽约200至400 m,有些厚达100至150 m。超镁铁质岩体具有明显的分异,西侧以橄榄石堆积岩为主,东侧以辉长岩为主。硫化物矿化主要出现在侵入体的底(西部)边缘。

主岩体长度超过1.5 km。南端在地表被剥蚀,在北部可延深到850 m以下。该侵入体为向西倾斜的板状岩体,在垂直方向上厚约300~400 m,在东西方向上宽达600 m。该岩体的下倾西部边界形成了一个广泛弯曲的凸起边缘,与相邻的沉积层一致。主侵入体的东部边界为另一个未矿化橄榄岩。变质沉积岩中的热变质带,由重结晶、石英、黑云母(局部含矽线石)组成,宽约10~20 m。侵入体由两个主要韵律单元组成,每个韵律单元中都有从西部富含橄榄石的堆积岩到东部更多辉长岩的渐变。大部分经济硫化物矿化集中在侵入体的底部(西部)边缘,说明卡班加侵入体和相关矿化在主褶皱之前就位。

卡班加硫化物矿化分为四种主要岩性类型:块状、半块状、网脉状和浸染状硫化物。块状硫化物矿化包含超过80%的硫化物和氧化物矿物,通常为粗粒至极粗粒(5至50 mm)。半块状硫化物由40%至80%的硫化物和氧化物矿物组成,主要脉石矿物与围岩岩性有关。网脉状硫化物矿化总是在堆积岩-超镁铁质岩石中发现,由10%~40%的硫化物组成,通常位于橄榄石和辉石堆积岩颗粒的间隙中。浸染状硫化物(<10%硫化物)包括橄榄石辉石堆积岩中的细粒间隙硫化物聚集体,以及辉长岩和变质沉积岩中的条纹、气泡和细脉。

主要的硫化物矿物是磁黄铁矿,有单斜和斜方

两种晶型。单斜类在块状硫化物透镜体边缘和变形或断裂带中更常见。含钴镍黄铁矿是主要的含镍和钴的矿物,多呈中粗粒状。黄铜矿是主要的富铜矿物,黄铁矿主要存在于裂缝内或其附近。含铬磁铁矿、钛铁矿和铬铁矿是普遍存在的与硫化物有关的氧化物相,但通常不超过岩石中硫化物氧化物成分的5%。与矿化有关的其他常见的矿物有砷镍矿、辉砷钴矿、辉砷镍矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和石墨。稀有的副矿物还有红锑镍矿、斜硫铅铋镍矿、银金矿和天然铋矿等。

块状硫化物矿化(80%~100%硫化物)中的镍含量在2.4%~2.8%之间。黄铜矿均匀分布在较纯的磁黄铁矿基质中。黄铜矿粒度较细,含量较少。块状硫化物中的脉石矿物有石英、黑云母、角闪石和石榴石,类似于相邻变质沉积岩和辉长岩岩床主岩的矿物组合。

超镁铁质岩体内靠近块状硫化物矿脉的主要为网状内部矿化,位于超镁铁质岩体的西缘。镍品位约为0.7%~1.1%。在与块状硫化物接触面的附近,可能会发现块状硫化物的细脉和分支。再向岩体内部(向东),变为浸染状硫化物矿化。

D.M.EVANS等总结了卡班加矿床的成因,认为在沉积岩形成后,玄武岩性质岩浆的侵入岩浆作用开始。形成了区域性分布的辉长岩至辉长岩苏长岩岩基底。其中一些岩床在凝固前结晶分异形成堆晶结构,下部富含辉石(含少量橄榄石)、上部则含有更多的长石。甚至在薄至2 m的岩床中也发生了这样的分异作用。这些镁铁质岩床具有石英拉斑玄武岩成分。其后沉积岩中侵入了更大的层状镁铁质-超镁铁质杂岩体。这些侵入体具有高镁玄武岩成分,来源为大陆岩石圈地幔。这些岩体的内部分层大致与沉积层理一致,侵入体侵位时期可能在主褶皱变形之前。在侵位期间或之前,岩浆选择性地从泥质岩石中吸收硫元素,可能还有其他元素,导致岩浆的硫饱和,并形成不混溶的硫化物液体。卡班加镁铁质-超镁铁质侵入体主要由橄榄石-辉石和硫化物组成,呈线性侵入体,侧壁不协调,但基底和上边缘基本一致。卡班加岩浆硫化物液体的初始形成是由沉积物同化作用导致的热幔源岩浆早期饱和引起的,岩浆在相对较小的管道中上升至空间更大的地层的流动过程导致硫化物溶液浓缩到超镁铁质岩体最下部堆积岩单元内及其附近的高品位块状硫化物矿体中。

## 5 结论

坦桑尼亚前寒武纪地质体分布范围广,与前寒武纪相关的矿产种类丰富,其中金矿、镍矿、钒钛磁铁矿、晶质石墨等矿产优势明显,新发现的稀土等矿产显示了较大的资源潜力。这些矿产除金矿外基本没有开发利用,具有巨大的勘探开发前景。金矿是坦桑尼亚目前最具优势的矿产,主要为与剪切带密切相关的绿岩型金矿,矿床集中分布于坦桑尼亚克拉通北部维多利亚湖周边,形成了超大型、大型金矿密集分布的矿集区;位于西南部乌本迪造山带中的卢帕矿集区和姆潘达矿集区是坦桑尼亚最早采金地区,被认为是造山带型金矿,近年来因发现了大型金矿重新引起了矿业界的关注。镍矿主要分布于坦桑尼亚西北部与布隆迪交界地区,为与中元古代镁铁质-超镁铁质侵入岩相关的岩浆分异型矿床,卡班加是目前发现的最大矿床,规模达到了超大型,目前尚未开发利用。坦桑尼亚南部分布着与古-中元古代基性-超基性岩相关的岩浆分异型钒钛磁铁矿。中东部和中南部则分布了一系列与新元古莫桑比克造山带相关的沉积变质型石墨矿床。与中元古碳酸岩侵入体相关的稀土矿是近年来新发现的矿产。

### 参考文献:

- [1] KABETE J M, GROVES D I, MCNAUGHTON N J, et al. A new tectonic and temporal framework for the Tanzanian Shield: implications for gold metallogeny and undiscovered endowment[J]. *Ore Geology Reviews*, 2012, 48: 88-124.
- [2] BORE G, SHACKLETON R M. The Tanzanian and NE Zaire Cratons[M]. Oxford University Press, 1997, 608-619.
- [3] ROBERT J THOMASA, CHRISTOPHER SPENCER, ALPHONCE M BUSHID, et al. Geochronology of the central Tanzania Craton and its southern and eastern orogenic margins [J]. *Precambrian Research*, 2016, 277, 47-67.
- [4] NELSON BONIFACE, PETER APPEL. Neoproterozoic reworking of the Ubendian Belt crust: Implication for an orogenic cycle between the Tanzania Craton and Bangweulu Block during the assembly of Gondwana[J]. *Precambrian Research*, 2018, 305, 358-385.
- [5] 许康康, 刘晓阳, 孙凯, 等. 坦桑尼亚乌本迪带内花岗岩类的 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *地质调查与研究*, 2020, 43(1):55-62.
- [6] GANBAT A, TSUJIMORI T, BONIFACE N, et al. Crustal evolution of the paleoproterozoic ubendian belt (SW Tanzania) western margin. A Central African Shield amalgamation tale[J]. *Gondwana Research*, 2021, 91, 286-306.
- [7] H SOMMER, A KRÖNER. Igneous petrology, zircon geochronology and geochemistry of multiply emplaced granitoid bodies from the Palaeoproterozoic Usagaran domain in central Tanzania[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2019, 150, 626-656.
- [8] J M KABETE, N J MCNAUGHTON, D I GROVES, et al. Reconnaissance SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Tanzania Craton: Evidence for Neoproterozoic greenstone belts in the Central Tanzania Region and the Southern East African Orogen [J]. *Precambrian Research*, 2012b, 216-219, 232-266.
- [9] BORG G, KROGH T. Isotopic age data of single zircons from the Archaean Sukumaland Greenstone Belt, Tanzania[J]. *Journal of African Earth Sciences*. 1999, 29(2):301-312.
- [10] MANYA S, MABOKO M A H. Dating basaltic volcanism in the Neoproterozoic Sukumaland Greenstone Belt of the Tanzania Craton using the Sm-Nd method: implications for the geological evolution of the Tanzania Craton[J]. *Precambrian Research*, 2003, 121(1-2):35-45.
- [11] MATTHEW R VAN RYTA, IOAN V SANISLAV, PAUL H G M DIRKS, et al. Alteration paragenesis and the timing of mineralised quartz veins at the world-class Geita Hill gold deposit, Geita Greenstone Belt, Tanzania[J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 91, 765-779.
- [12] 吴兴源, 刘晓阳, 任军平, 等. 坦桑尼亚 Panda 山碳酸岩地球化学特征及岩石成因研究进展[J]. *地质调查与研究*, 2019, 42(2):86-95.
- [13] KAI SUN, ZHI DAN ZHAO, LIN LIN ZHANG, et al. Geochronology, petrography and Sr-Nd-Hf isotopes of Mbalizi carbonatite, southwestern Tanzania[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2021, 184, 1-12.
- [14] HOLGER SOMMER, ALFRED KRÖNER, CHRISTOPH HAUZENBERGE, et al. Reworking of Archaean and Palaeoproterozoic crust in the Mozambique belt of central Tanzania as documented by SHRIMP zircon geochronology [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2005, (43) : 447-463.
- [15] 何胜飞, 刘晓阳, 王杰, 等. 非洲中部基巴拉造山带地质特征与资源潜力分析[J]. *地质调查与研究*, 2014, 37(3), 161-168.
- [16] 杜菊民, 景永波, 陈诚, 等. 坦桑尼亚纳钦圭阿石墨矿三维矿体建模及资源量估算对比[J]. *现代矿业*, 2021, 629(9):31-67.
- [17] 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), 18-26.
- [18] 曾瑞垠, 黄建业, 田犁平, 等. 坦桑尼亚 Mpanda 地区 Sangu 碳酸岩地质及地球化学特征[J]. *矿产勘查*, 2021, 12(1):116-123.
- [19] W K WITT, D P HAMMOND, M HUGHES. Geology of the Ngualla carbonatite complex, Tanzania, and origin of the Weathered Bastnaesite Zone REE ore[J]. *Ore Geology Reviews*, 2019, (105):28-54.

- [20] E MALISA, S MUHONGO. Tectonic Setting of Gemstone Mineralization in the Proterozoic Metamorphic Terrane of the Mozambique Belt in Tanzania [J]. *Precambrian Research*, 1990, (46):167–176.
- [21] WALTER A BALMER, CHRISTOPH A HAUZENBERGER, HARALD FRITZ, et al. Marble-hosted ruby deposits of the Morogoro Region, Tanzania [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2017, 134, 626–643.
- [22] 郭景会, 白德胜, 张超, 等. 坦桑尼亚克拉通太古宙绿岩带造山型金矿床地质特征及成因 [J]. *世界地质*, 2021, 40 (4):816–829.
- [23] 崔小军, 王建光, 彭俊, 等. 坦桑尼亚维多利亚湖东部绿岩带金矿床地质特征及成因浅析 [J]. *地质与勘探*, 2014, 50(4):789–794.
- [24] 任军平, 王杰, 刘晓阳, 等. 坦桑尼亚 Nzega 绿岩带 Golden Pride 金矿床研究进展 [J]. *地质调查与研究*, 2013, 36 (1):47–53.
- [25] 梁成, 马晓霄, 陈德稳, 等. 坦桑尼亚罗瓦金矿地质特征及找矿远景 [J]. *矿产勘查*, 2021, 12(1):2–10.
- [26] MANYA S, MABOKO M A H. Geochemistry of the Neoproterozoic mafic volcanic rocks of the Geita area, NW Tanzania: implications for stratigraphical relationships in the Sukumaland greenstone belt [J]. *J. Afr. Earth Sci.* 2008, 52, 152–160.
- [27] IOAN V SANISLAV, SERGIO L KOLLING, MATHEW BRAYSHAW, et al. The geology of the giant Nyankanga gold deposit, Geita Greenstone Belt, Tanzania [J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, (69):1–15.
- [28] SANISLAV I V, WORMALD R J, DIRKS P H, et al. Zircon U–Pb ages and Lu–Hf isotope systematics from late-tectonic granites, Geita greenstone belt: implications for crustal growth of the Tanzania craton [J]. *Precambrian Res.* 2014, 242, 187–204.
- [29] 吴兴源, 刘晓阳, 王杰, 等. 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的异同 [J]. *地质论评*, 2018, 64(1):165–182.
- [30] STEPHAN C DUNN, BJORN P VON DER HEYDENB. Proterozoic–Paleozoic orogenic gold mineralization along the southwestern margin of the Tanzania Craton: A review [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2022, (185):1–13.

## Precambrian mineralization in Tanzania

WANG Jie<sup>1,2</sup>, LIU Xiao-yang<sup>1,2</sup>, REN Jun-ping<sup>1,2</sup>, SUN Kai<sup>1,2</sup>, GONG Peng-hui<sup>1,2</sup>, HE Fu-qing<sup>1,2</sup>

(1. *Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;*

2. *North China Center of Geoscience Innovation, Tianjin 300170, China*)

**Abstract:** A large number of Precambrian geological rocks are exposed in Tanzania, with the age spectra ranging from Neoproterozoic, Paleoproterozoic, Mesoproterozoic and Neoproterozoic. The Tanzania Craton forms the central part of Tanzania, it is surrounded by three Proterozoic mobile belts on three sides, including the Paleoproterozoic Ubendian Belt in the southwest and south, the Paleoproterozoic Usagaran Belt in the east and southeast, the Mesoproterozoic Kibaran Belt in the northeast and the Neoproterozoic Mozambique belt lies to the east of the Usagaran Belt. Gold is mainly related to both Neoproterozoic and Paleoproterozoic rocks, of which the former occurs in the Tanzania Craton and is distributed around Lake Victoria in northern Tanzania, the latter occurs in the Ubendian Belt and is distributed in the Lupa and Mpanda areas of southern Tanzania; vanadium-titanium magnetite mineralization occurs in the Paleoproterozoic basic intrusions of the Ubendian Belt distributed in the Liganga area of southern Tanzania. Nickel (cobalt) is related to Mesoproterozoic rocks, occurs in the Kibaran Belt and is distributed in the northwest border area; rare earth deposits occur in the carbonatite intrusions of the Ubendian Belt, distributed in the Ngualla area of southwest Mbeya, northwest Tanzania. Neoproterozoic minerals include graphite, tanzanite, ruby, etc., which are produced in the Mozambique Belt. Tanzanite is mainly distributed near Arusha in northern Tanzania, ruby is mainly distributed near Morogoro in central Tanzania. distributed mainly nearby Morogoro in the middle and near Mozambique in the south.

**Key words:** Tanzania; precambrian; gold deposit; nickel deposit; Nyankanga gold deposit; Kabanga nickel deposit; New Luika gold deposit;