

坦桑尼亚主要成矿区带的划分及成矿特征

孙宏伟, 刘晓阳, 唐文龙, 吴兴源

(中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要: 文章综合以往有关坦桑尼亚的地质资料, 结合近年来地质矿产勘查新进展和高精度同位素年代学数据, 梳理了坦桑尼亚主要地质特征及其演化规律, 对坦桑尼亚划分出6个成矿区带, 重点论述了其中的坦桑尼亚克拉通太古宙金成矿带、乌本迪古元古代乌本迪金-铜-铁-多金属成矿带、基巴拉中元古代镍-铜-锡成矿带、莫桑比克活动带新元古代宝石成矿带及其典型矿床的地质特征。

关键词: 成矿区带; 典型矿床; 地质特征; 坦桑尼亚

中图分类号: P612 **文献标识码:** A

0 引言

坦桑尼亚为世界有色金属与贵金属勘查开发的热点地区, 矿产资源丰富且潜力巨大, 已发现的矿产主要有黄金、钻石、宝石、铁、镍、煤、天然气、铀、铜、磷酸盐、锡、钨、高岭土等, 其中黄金已探明储量 $>840\text{ t}$, 资源量 $>1\,500\text{ t}$, 金刚石资源量 $>4\,000\times10^4\text{ ct}$, 铁资源量 $>2\times10^8\text{ t}$, 镍矿石资源量 $7\,000\times10^4\text{ t}$, 煤炭资源量 $12\times10^8\text{ t}$ (已探明 $3\times10^8\text{ t}$), 天然气资源量 $134\times10^8\text{ m}^3$ 。此外, 铅锌、石墨、铂、铬、锰、水银、银、钼、钒、铝土矿、石灰石、石膏、云母等矿产也有很好的找矿前景。

本文以坦桑尼亚为主要研究对象, 通过分析坦桑尼亚以往地质资料, 结合近年来地质矿产勘查新进展和高精度同位素年代学数据, 梳理了坦桑尼亚主要地质特征及其演化规律, 划分了坦桑尼亚的成矿区带, 并对主要成矿区带及其典型矿床进行了剖析, 以期国内类似矿床的找矿提供借鉴, 也为坦桑尼亚的找矿勘查提供一些基础信息。

1 构造地质背景

坦桑尼亚位于非洲东南部, 太古宙以来经历了长期复杂的块体拼贴和造山作用。主要的大地构造单元为中央的稳定陆块(坦桑尼亚太古宙克拉通)和周围环绕的造山带(乌本迪造山带、基巴拉造山带、莫桑比克造山带等)组成(图1)。

(1)坦桑尼亚克拉通(Tanzania croton)。古陆核于2 850 Ma前形成, 后经历多个增长期(2 800~2 850 Ma, 2 730~2 770 Ma, 2 620~2 700 Ma), 其中2 620~2 700 Ma为主要增长期, 最终稳定成现今的构造格架。主要分布在坦桑尼亚中部和北部, 向北延伸至肯尼亚南部及乌干达西南部。克拉通在形成过程发生了多期构造变质变形事件, 伴随大量的火山、岩浆活动^[1-3]。

(2)乌本迪(Ubendian)活动带。分布于坦桑尼亚克拉通的西侧和南西侧, 最早由坦桑尼亚克拉通、刚果克拉通及班韦布卢地块在2 100 Ma以前碰撞初步形成, 而后陆续经历1 900~2 000 Ma, 1 860~1 890 Ma等几期构造活动, 形成其基本格局, 中新元古代之后又经历了多次构造活动, 使区内地层变

收稿日期: 2015-09-14; 改回日期: 2015-11-03; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 中国地质调查局国外风险勘查基金项目(编号: 科[2011]D3-04)和地质调查项目(编号: 1212011220910)资助。

作者简介: 孙宏伟(1986—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事地质矿产勘查与研究。通信地址: 天津市河东区大直沽八号路4号, 中国地质调查局天津地质调查中心; 邮政编码: 300170; E-mail: shwcub@163.com

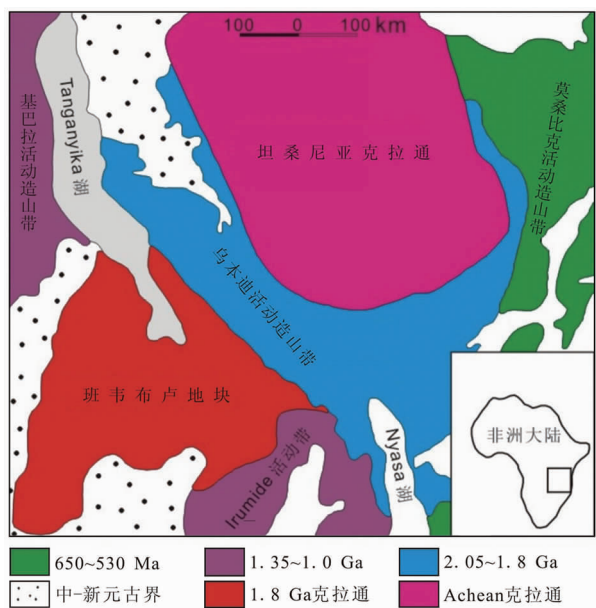


图1 坦桑尼亚大地构造简图

(据文献[4,9]修改)

Fig. 1 Geotectonic map of Tanzania

质变形,但未改变其基本格架^[4-5]。

(3)基巴拉(Kibara)活动带。是10亿年前刚果(Congo)克拉通、卡拉哈里(Kalahari)克拉通、坦桑尼亚克拉通以及一些大陆块拼合成罗迪尼亚超大陆的过程中形成的^[6],代表了中部非洲中元古代造山带向北延伸的最远端位置,也是一系列克拉通俯冲碰撞的重要见证^[7-8]。活动带呈弓形向北凸出,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^[9],坦桑尼亚境内主要分布于克拉通的北西侧。

(4)莫桑比克(Mozambique)活动带。是一个复杂的新元古代造山带,经历了多期次造山运动^[10-11]。最早由赫尔姆斯^[12]定义,呈NS向延伸,自非洲东北部延伸至莫桑比克的南部,被认为是东、西冈瓦纳大陆在新元古代碰撞形成超大陆时的缝合带^[10-11,13-16]。该带分布于坦桑尼亚克拉通的东部。

泛非运动(550~900 Ma)后,坦桑尼亚经历了近300 Ma相对平静的时期,直至晚石炭纪—早二叠纪冈瓦纳大陆发生裂解,整个东非处于伸展机制下,沿坦桑尼亚东-东南部海岸形成沉积盆地,沉积了古生界—新近系陆相和海相沉积物^[10-11,13]。

2 成矿区带的划分

成矿区带是具有构造地质演化史、经历过成矿作用、造就成矿物质大量堆积,区内矿产资源丰富、存在潜力、具备找矿远景的地质单元^[17-18]。同时代的成矿地质单元一般与地质构造单元重合,而多旋回地质构造区和成矿区带的划分具有一定的人为性^[19-20]。笔者依据地质构造单元、矿床类型,结合地质构造旋回与矿床分布的关系,将坦桑尼亚划分为6个成矿区带(图2)。

(1)坦桑尼亚克拉通太古宙金成矿带。位于坦桑尼亚中部的中-新太古代坦桑尼亚地盾中,主要岩石地层单元为尼安兹超群(Nyanzian Super group)、卡维隆迪超群(Kavilondian Super group)和多多马超群(Dodoma Super group),主要为一系列变质的火成岩和表壳岩组成的片岩带,并被一系列花岗岩分割。矿产资源主要集中分布于坦桑尼亚地盾的西北部、维多利亚湖区周边。主要矿产为金矿,少量铁、铜、宝石和建筑石材。绿岩型与剪切带石英脉型金矿为最主要的矿床类型。

(2)乌本迪古元古代金-铜-铁多金属成矿带。位于坦桑尼亚西南及东南部的古元古代乌本迪活动带,呈弧形展布于太古宙地盾外围,主要岩石地层单位为乌本迪超群(Ubendian Super group)和乌萨嘎仁超群(Usagaran Super group),主要由长英质组分和麻粒岩组成的高级变质岩。主要矿产为金、铜、铁,少量锰、宝石等,矿床类型以绿岩型、剪切带石英脉金型矿和与基性-超基性岩有关的铁铜矿床为主。

(3)基巴拉中元古代镍-铜-锡成矿带。位于坦桑尼亚西北部的中元古代基巴拉活动带,向南经布隆迪延伸至刚果(金)境内。主要岩石地层单位为基巴拉超群(又称卡拉戈维—安科瑞安超群, Karagwe-Ankolean Super group),主要岩性为泥质板岩、千枚岩、绢云母片岩和石英岩等。主要矿产为镍、铜、锡、铅、锌等,主要矿床类型为与镁质超基性侵入岩有关的铜镍硫化物矿床、与花岗岩有关的锡-钨-铌-钽矿床等。

(4)布科班新元古代铜-钴成矿带。位于坦桑尼亚西北部,主要岩石地层单位为布科班超群(Bukoba Super group),成矿时代为新元古代—古生代,岩性主要为砂岩、硅质岩、页岩、白云质灰岩、燧石及杏仁状熔岩,岩石未变质,但具弱变形。仅有

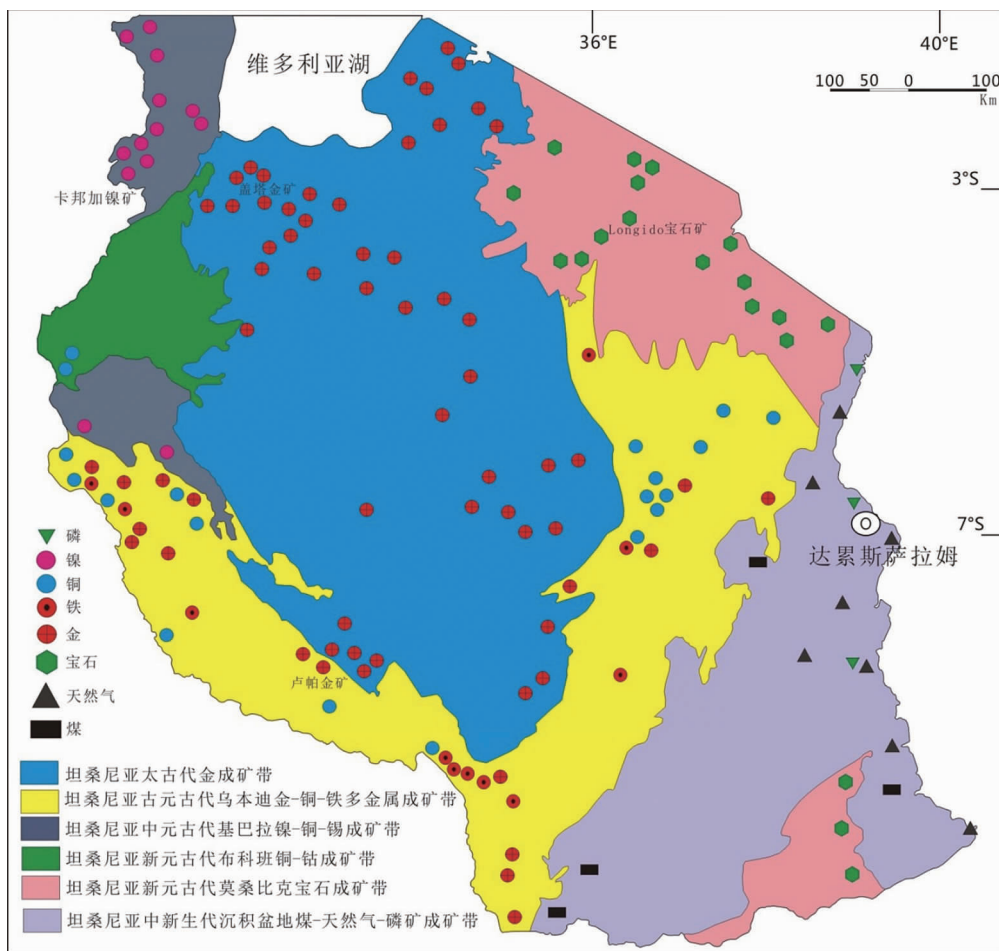


图 2 坦桑尼亚成矿区带及典型矿床分布图

(据文献[4,9]修改)

Fig. 2 Map showing main metallogenic belts and typical ore deposits in Tanzania

少量铜、钴矿点出露,成因有砂页岩型的观点。

(5)莫桑比克活动带新元古代宝石成矿带。位于坦桑尼亚东北部,主要岩石地层单位为莫桑比克超群,岩性为高级变质铁镁质和长英质麻粒岩、片麻岩、石英岩等。该成矿带位于“东非宝石带”上,盛产红宝石、蓝宝石,宝石矿多为岩浆-热液-变质型。其他矿种仅见矿点出露,有石英脉型金矿点、与超基性基性有关的铜镍硫化物矿化点,未形成有规模矿床。

(6)坦桑尼亚中新世沉积盆地煤-天然气-磷矿成矿区。位于坦桑尼亚东南部沿海的沉积盆地中,主要成矿时代为二叠系-侏罗纪,主要岩石地层单位为卡鲁岩系,岩性主要为海陆交互相的沉积岩,煤、天然气储量丰富,另有少量的砂金矿床。

3 重要成矿区带及典型矿床特征

3.1 坦桑尼亚克拉通太古宙金成矿带

主要位于坦桑尼亚中部和北部古老的坦桑尼亚太古宙克拉通中,克拉通形成于2 620~2 850 Ma,被多个元古宙造山带包围,是保存非洲大陆早期陆壳演化历史最完整的地区之一^[1-3,9]。该克拉通主要由多多马超群、尼安兹超群和卡维隆多超群3个岩石地层单位组成^[21-22]。多多马超群形成克拉通的基底,出露于克拉通的南部,岩性以高级变质的TTG片麻岩、混合岩、花岗岩、花岗闪长岩等^[23],也有少量低级变质的绿泥石绢云母片岩等^[1]。尼安兹超群和卡维隆多超群主要位于克拉通的中北部地区,共同组成坦桑尼亚太古宙绿岩带^[24]。尼安兹超

群主要出露于维多利亚湖南部及东部地区^[24-27],主体为火山岩相,自下而上岩性变化明显,底部原岩为镁铁质火山岩系,中部为含碳和铁硫化物的沉积岩、凝灰岩、条带状铁建造(BIF)和燧石岩,最上部为长英质火山岩。卡维隆多超群不整合覆盖于尼安兹超群之上,为太古宇的最顶层,其成岩年龄为2 450~2 740 Ma^[1],岩石未变质,主要为砾岩、砂岩和粉砂岩,见有少量凝灰岩,属于较典型的磨拉石建造^[28-29]。坦桑尼亚克拉通发生过多期构造变质-变形事件,伴有大量的火山及岩浆侵入,形成了大量的绿岩带型金矿床,盖塔(Geita)绿岩型金矿即为典型代表^[1-3]。

盖塔金矿在维多利亚湖南部的姆万扎和卡哈马之间,距姆万扎约100 km;大地构造单元位于坦桑尼亚太古代克拉通苏库马兰德(Sukumaland)绿岩带中。区内出露大量尼安兹超群的变铁镁质火山-沉积岩和碎屑岩,并见有大量花岗岩和不同时代、不同岩性的岩墙侵入^[30]。盖塔金矿的主矿体产于条带状铁建造中,具层控特征,其他矿体则呈板状、块状或浸染状产于长英质凝灰岩与条带状铁建造的接触带上。矿化类型为黄铁矿化、含金黄铁矿化和极少量的磁黄铁矿化^[31-33]。矿石矿物以富铁硫化物为主,主要有自然金、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿等^[32],矿石品位 $w(\text{Au}) = 3.0 \times 10^{-6}$,金储量202 t,资源量387 t。条带状铁建造的铅同位素年龄为2 696~2 721 Ma,而金矿成矿年龄应晚于2 644 Ma^[32-33]。盖塔矿床的成矿模式存在较大争议,Tyler^[34]认为矿床的成因与花岗岩的侵入作用相关,花岗岩是成矿热液的补给源和金的来源,同时发生的区域变质作用也对成矿热液的形成和运移产生了一定影响;Naylor^[35]对盖塔矿床及其周围花岗岩体进行了填图,发现盖塔矿区地表未见花岗岩出露,距盖塔矿床最近的花岗岩体也有4~6 km的距离,但盖塔矿床地表发育大量的浅成岩体,鉴于此, Van Straaten^[36]提出了后生成因模式,包括少量的后期再活化作用,认为成矿流体来源于浅成侵入体或变质流体,随着年龄数据的不断出现,后生成因模式逐步得到认可^[31-33]。上升流体穿过可能为金源的镁铁质火山岩,流体和围岩相互作用形成 Eh 值较低、富硫的含金流体,金在这种流体中以二硫化物络合物的形式被搬运,在镁铁质及上覆的长英质火山岩的膨胀带内(如断裂、裂隙、剪切带),黄铁矿和金从上升的流体中沉淀、成矿^[32]。

3.2 乌本迪古元古代金-铜-铁多金属成矿带

乌本迪成矿带处于坦桑尼亚西南及东南部的乌本迪活动造山带,呈 NW 向带状展布,是坦桑尼亚克拉通、刚果克拉通以及班韦卢地块直接碰撞的产物。活动带在1 860~2 100 Ma 经历了构造变质变形^[4-5],元古宇底部为高级变质的乌本迪超群,主要为麻粒岩、混合岩、角闪岩、黑云母片麻岩、石英岩、榴辉岩、大理岩等,其中以黑云母麻粒岩、花岗岩体、磁铁石英岩、云母片岩为主要岩性。中元古界基巴拉超群(又称卡拉戈维-安科瑞安超群)的泥质板岩、千枚岩、绢云母片岩、石英岩以及新元古界布科巴超群的砂岩、硅质岩、页岩、燧石等不整合于乌本迪超群之上^[37-39]。受造山活动影响,乌本迪活动带内分布有大量的造山型金矿和贱金属矿,卢帕(Lupa)金矿即为造山型金矿的典型代表。

卢帕金矿区位于坦桑尼亚西南部姆贝亚省及伊林加省,占据一个西起 Rukwa,东至 Usangu,北到 Mkondo 的三角形区域,面积3 000 km²,内部也可划分为多个次级成矿区^[40-41]。金矿区位于乌本迪活动带的东南缘,是地球早期俯冲造山成金期的典型例证^[42]。

金矿区主要受 NW 向复背斜的控制,区内发育多个低级次褶皱,剪切作用也十分发育,并影响了几乎所有岩石单元。区内主要地层单元为:底部古元古界乌本迪超群,由沉积和火成成因的高级变质岩(麻粒岩相)组成;中元古界基巴拉超群(卡拉戈维-安科瑞安超群)的泥质板岩、千枚岩、绢云母片岩等浅变质岩以及零星分布于矿区北西部的新元古界布科巴超群砂岩、硅质岩、页岩等呈不整合接触^[4-5];片理化的太古宙花岗岩(2 720~2 760 Ma)被古元古代花岗岩及闪长岩-辉长岩(1 880~1 960 Ma)切割,而古元古代岩浆活动对金矿形成具有重要意义^[42]。

矿区内存在多个金矿体,但单一矿体储量较小,品位较高, $w(\text{Au})$ 最高达 15×10^{-6} ,找矿潜力巨大^[43]。区内主要有石英脉型、磁铁石英岩型、砂矿型3种金矿化类型。其中,与剪切带(糜棱岩化)伴生的石英脉型最为普遍^[44-45]。含金石英脉主要产于不同期次剪切交汇部位的破劈理中,矿石矿物为自然金、黄铜矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等,呈浸染状、脉状、细脉浸染状、团块状产出。脉石矿物为石英、绿泥石、电气石、绢云母、碳酸盐等^[46-48]。区内热液蚀变十分发育,尤其是矿脉周围,具有多期次特征,主要蚀变类型有黄铁矿化、绢云母化、硅化等,其中硅化、黄铁矿化具有找矿指示意义^[49]。

Re-Os 同位素年龄数据显示,卢帕金矿区在 1 880~1 950 Ma 期间发生 3 期(1 880 Ma, 1 940 Ma, 1 950 Ma)与成矿密切相关的热液蚀变事件,尤其是 1 880 Ma 的热液蚀变作用形成大量硫化物,对该区金矿的富集、成矿起到了重要作用,恰与乌本迪造山旋回榴辉岩相变质事件相吻合,说明金矿的形成与造山活动密切相关,属典型的造山型金矿^[50-51]。

3.3 基巴拉中元古代镍-铜-锡成矿带

基巴拉成矿带位于中部非洲中元古代造山带向北端的基巴拉活动造山带,是 1 000 Ma 时刚果克拉通、卡拉哈里克拉通、坦桑尼亚克拉通以及一些小陆块拼合成罗迪尼亚(Rodinia)超大陆的重要见证^[7-8]。成矿带内地层主要由基巴拉超群组成,分为东、西两部分:东带主要由绿片岩相-超绿片岩相的变泥质岩和变碎屑岩组成,主要岩性为石英岩、页岩等,变质-变形相对较弱,仅见少量的镁铁质侵入体,年龄约 1 375 Ma^[6];西带位居基巴拉活动带的核部,岩石多绿片岩相-角闪岩相变质,主要岩性为变泥质岩和变碎屑岩,碎屑锆石的年龄为 1 380~1 420 Ma^[6],地层中见有多期岩浆侵入体贯入^[52];大量 S 型花岗岩和同时代(1 375 Ma)的铁镁质侵入岩基,少量 A 型花岗岩侵入体(约 1 250 Ma),晚期 S 型含锡花岗岩侵入体。这些基性-超基性岩体和花岗岩体与成矿关系密切,卡邦加(Kabanga)铜镍硫化物矿床就是其典型代表。

卡邦加铜镍硫化物矿床位于坦桑尼亚西北部卡格拉(Kagera)区鲁伦格(Rulenge)镇西南 30 km 处,镍矿资源量 $2\ 100 \times 10^4$ t,品位 $w(\text{Ni}) = 1.66\%$ ^[53],矿床处于基巴拉活动带的东部边缘,矿区广泛出露基巴拉超群变沉积岩、基性-超基性岩体以及花岗岩体^[54]。基性-超基性岩体侵入于石英岩、云母片岩和泥岩中。

卡邦加铜镍硫化物矿床的矿体类型主要有 3 种^[55]:接触变质带内的块状硫化物矿体、与侵入体中心区域层状硅酸盐相关的浸染状和脉状矿体、发育于变质泥岩中的脉状矿体。矿石多为块状、浸染状构造,中粗粒结构。矿石矿物主要为磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、镍黄铁矿和磁铁矿,砷黄铁矿和红砷黄铁矿含量较少,矿石矿物组合为磁黄铁矿-磁铁矿-黄铜矿-黄铁矿^[56]。矿区内蛇纹石化、绿泥石化十分发育。

对于卡邦加铜镍硫化物矿床的成矿时代,目前多集中在与成矿相关的岩体形成时代的研究上。在

卡邦加南部,与卡邦加岩体类似的布隆迪穆松盖蒂(Musongati)岩体获得的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $(1\ 275 \pm 11)$ Ma,在 Gitega-Makebuko-Bukirasazi 地区的 A 型花岗岩测得的锆石 U-Pb 年龄为 $1\ 249 \pm 8$ Ma^[57],据此认为卡邦加镍硫化物矿床的成矿年龄介于基巴拉带固结成岩晚期(1 330 Ma)与基巴拉后造山带活动时期(1 088 Ma)之间,但铜镍矿床的成矿年龄还有待进一步研究。

目前的研究^[54,56,58]认为,卡邦加铜镍硫化物矿床是高镁质玄武质地幔岩浆侵入上地壳基巴拉超群形成的贯入式岩浆融离型矿床。高镁的玄武质岩浆($w(\text{MgO}) = 12\% \sim 15\%$)沿岩浆通道上涌,并上侵至辉长岩岩墙中,在岩浆上涌过程中混入了上地壳基巴拉超群中的硫,导致侵入体中的硫呈过饱和状态,在岩浆通道中引起不混溶硫化物结晶分离,形成了卡邦加镍硫化物矿床。

3.4 莫桑比克活动带新元古代宝石成矿带

成矿带处于莫桑比克活动造山带中,造山带内变质岩浆岩的侵位时间为 800~2 900 Ma^[59-65],而最主要的高级变质发生于新元古代晚期(620~650 Ma),其次是 550 Ma 左右^[66],这与冈瓦纳超大陆拼合以及莫桑比克洋关闭过程中变质变形期集中于 3 个时段(730~760 Ma, 610~660 Ma, 530~570 Ma)的后 2 个时段吻合^[10],造山带被认为是莫桑比克洋关闭和东、西冈瓦纳大陆碰撞形成超大陆时的缝合带^[10-11]。莫桑比克活动带在坦桑尼亚境内长约 1 000 km,带内出露地层主要为前寒武纪高级变质岩石组合,包括麻粒岩、片麻岩、变质斜长岩、超基性岩,是冈瓦纳大陆汇聚时碰撞挤压的产物^[67-68],而大理岩、石英岩、片岩、变泥质岩等大陆架型沉积岩石组合的出现,表明伴随着莫桑比克洋的关闭,新元古代变质变形作用之前存在古老的大陆边缘^[69]。

东、西冈瓦纳大陆的碰撞以及莫桑比克洋关闭引起了大量变质变形事件,主要有 3 个时段:① 730~760 Ma,以挤压作用为主,使岩石由角闪岩相变为麻粒岩相^[70];② 610~660 Ma,以剪切应力为主,产生了 NS 向和 NNW 向的剪切带,并伴有角闪岩相变质以及混合岩化;③ 530~570 Ma,以剪切应力为主,使得早期构造再活化并形成 NW 向剪切带^[71]。多期次的变质变形事件不仅使区内变质岩发育,而且形成了大量与变质岩伴生的矿产资源,宝石资源尤其丰富,在坦桑尼亚、肯尼亚以及马达加斯加境内分布有大量宝石矿床,因此被称为“东非宝石带”^[72-74]。位于坦桑尼亚境内的 Longido 宝石矿区

盛产红宝石、蓝宝石,为该成矿带的典型代表。

Longido 宝石矿区位于莫桑比克活动带的中部,泛非运动对矿区内构造、地层影响广泛,强烈的构造活动使原有地层、构造单元发生强烈的变化,形成大量叠瓦状构造及 NNE 向断裂。多期变质变形事件的存在使得区内不同方向的片理化、剪切带十分发育。

矿区主要分为 2 个岩石地层单位:①底部的古元古界正片麻岩,原岩年龄约为 2 447 Ma^[75],是莫桑比克活动带的基底岩石单元,受泛非运动影响发生了变质和变形,同时在片麻岩中发现大量新太古代^[62,76]和古元古代的 TTG(英云闪长质、奥长花岗质、花岗质)岩石组合^[77];②火山沉积岩,覆盖在土地壳底部的基性-超基性岩体之上,以泥质、碎屑质成分为主,受构造变形事件影响,早期富铝泥质岩石发生变质,出现石榴石+蓝晶石+黑云母的矿物组合,晚期变质岩则退化为黑云母-白云母糜棱岩化片麻岩^[66,69,78]。

宝石矿产主要赋存于高级变质岩区的蛇纹石化超基性小岩体及其围岩中,围岩有以泥、砂质为主要成分的石英长石片麻岩、高铝矿物组成的黑云母蓝晶石石榴石片麻岩、石英岩以及大理石条带等,角闪石片麻岩和角闪岩也有少量分布^[62,77],受构造运动影响,矿体形状不规则,含矿岩体内片理带、剪切带发育。宝石矿床的成因主要为岩浆-热液-变质型、岩浆-沉积型以及较低级变质型^[79-82]。Longido 宝石矿属于岩浆-热液-变质型,锆石 U-Pb 年龄显示其成矿时代为新元古代(686 Ma)^[75],与莫桑比克活动带内的新元古代构造事件相吻合^[75,83]。

4 结语

按照地质构造单元、矿床类型以及地质构造旋回形成的矿床空间分布状况,将坦桑尼亚划分为 6 个成矿区带:坦桑尼亚太古代金成矿带、坦桑尼亚古元古代乌本迪金-铜-铁多金属成矿带、坦桑尼亚中元古代基巴拉镍-铜-锡成矿带、坦桑尼亚新元古代布科班铜-钴成矿带、坦桑尼亚新元古代莫桑比克宝石成矿带、坦桑尼亚新生代沉积盆地煤-天然气-磷成矿带。通过对坦桑尼亚成矿区带的划分以及剖析主要成矿区带及其典型矿床,以期今后的坦桑尼亚找矿勘查提供基础地质信息。

参考文献:

- [1] Gabert G. Lithostratigraphic and tectonic setting of gold mineralization in the Archean cratons of Tanzania and Uganda[J]. Precambrian Res, 1990, 46: 59-69.
- [2] Pinna P, Cocherie A, Thieblemont D, et al. The Kisii Group of western Kenya: an end-Archaean (2.53 Ga) late orogenic volcano sedimentary sequence[J]. Afr. Earth Sci, 2000, 30: 79-97.
- [3] Sanislava R J, Wormald P H, Dirks G M, 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.
- [4] Lenoir J L, Liegeas J P, Klerkx J. The Paleoproterozoic Ubendian shears Belt in Tanzania: geochronology and structure[J]. Afr. Earth Sci, 1994, 19: 169-184.
- [5] Boniface N, Schenk V, Appel P. Paleoproterozoic eclogites of MORB-type chemistry and three Proterozoic orogenic cycles in the Ubendian belt (Tanzania): evidence from monazite and zircon geochronology and geochemistry[J]. Precambrian Res, 2012: 192-195.
- [6] Fernandez-Alonso M, Cutten H, De Waele B, et al. The Mesoproterozoic Karagwe-Ankole Belt (formerly the NE Kibara-Belt): the result of prolonged extensional intracratonic basin development punctuated by two short-lived far field compressional events[J]. Precambrian. Res., 2012, 216: 63-86.
- [7] Klerkx J, Liégeois J P, Lavreau J, et al. Crustal evolution of the northern Kibara Belt, eastern and central Africa[M]. American Geophysical Union and the Geological Society of America, 1987: 217-233.
- [8] Kampunzu A B. Assembly and break-up of Rodinia-no link with Gondwana assembly[J]. Gondwana Res, 2001, 4: 647-650.
- [9] Cahen L, Snelling N J, Delhal J, et al. The Geochronology and Evolution of Africa[M]. Oxford University Press, 1984: 512.
- [10] Stern R J. Arc assembly and continental collision in the Neoproterozoic East African Orogen: implications for the consolidation of Gondwanaland[J]. Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, 1994, 22: 319-354.
- [11] Jacobs J, Fanning C M, Henjes-Kunst F, et al. Continuation of the Mozambique belt into East Antarctica: Grenville age metamorphism and polyphase Pan-African high grade events in central Dronning Maud Land[J]. Journal of Geology, 1998, 106: 385-406.
- [12] Holmes A. The sequence of pre-Cambrian orogenic belts in south and central Africa. In: Sandford, K. S., Blondel, F [M]. 18th International Geological Congress, London Part XXIV, 1951: 254-269.
- [13] Shackleton R M. The final collision zone between East and West Gondwana: where is it? [J]. Journal of African Earth Sciences, 1996, 23: 271-287.
- [14] Collins A S, Windley B F. The tectonic evolution of central

- and northern Madagascar and its place in the final assembly of Gondwana[J]. *Journal of Geology*, 2002, 110: 325–339.
- [15] Collins A S, Pisarevsky S A. Amalgamating eastern Gondwana: the evolution of the Circum-Indian Orogens[J]. *Earth-Science Reviews*, 2005, 71: 229–270.
- [16] Pant N C, Kundu A, DSouza M J D, et al. Petrology of the Neoproterozoic granulites from Central Dronning Maud Land, East Antarctica—Implications for southward extension of East African Orogen (EAO)[J]. *Precambrian Res.*, 2012, 227: 389–408.
- [17] 翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [18] 朱裕生, 肖克炎, 马玉波, 等. 中国成矿区带划分的历史与现状[J]. *地质学刊*, 2013, 37(3): 349–357.
- [19] 陈毓川, 朱裕生, 肖克炎, 等. 中国成矿区(带)的划分[J]. *矿床地质*, 2006, 25: 1–6.
- [20] 裴荣富, 梅燕雄, 毛景文, 等. 中国中生代成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- [21] Quennell A M, McKinlay A C M, Aitken W G. Summary of the geology of Tanganyika: Part I. Introduction and stratigraphy[R]. *Geol. Surv. Tanganyika*, 1956, 1: 1–264.
- [22] Clifford T N. The structural framework of Africa[M]// Clifford T N, Gass I. *African Magmatism and Tectonics*. Oliver and Boyd Edinburgh, 1970: 1–26.
- [23] Wade F B, Oates F. An explanation of the degree sheet No. 52, Dodoma[R]. *Geol. Surv. Tanganyika*, 1938, 17: 1–60.
- [24] Barth H. Provisional geological map of Lake Victoria Gold Fields Tanzania 1: 500 000 (with explanatory notes)[R]. 1990.
- [25] Naylor W I. Geology of the Geita district, quarter degreesheet 20 and 32[R]. *Rec. Geol. Surv. Tanganyika*, 1961, 9: 13–18.
- [26] Eichler J. Origin of the Precambrian banded iron formations[M]// Wolf K H. *Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits*. Amsterdam, 1976: 157–201.
- [27] Borg G, Krogh T. Isotopic age date of single zircons from the Archaean Sukumaland Greenstone Belt, Tanzania[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1999, 29: 301–312.
- [28] Harpum J R. Summary of the geology of Tanganyika part V: structure and geotectonics of the Precambrian[R]. *Geol. Surv. Tanganyika, Mem*, 1956.
- [29] Manya S. Geochemistry and petrogenesis of volcanic rocks of the Neoproterozoic Sukumaland greenstone belt, northwestern-Tanzania[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2004, 40: 269–279.
- [30] Rammlmair D H, Hndorf A, Borg G, et al. Nouvelles Données Isotopiques des Granites et des Gabbros de la Région “Greenstone”—Granitique du Sukumaland, N. W. Tanzanie [C]// *Proceedings of the 15th Colloquium of African Geology, Nancy Abstract Volume*, 1990: 43.
- [31] Kuehn S, Ogola J, Sango P. Regional setting and nature of gold mineralization in Tanzania and southwest Kenya[J]. *Precambrian Res.*, 1990, 46: 71–82.
- [32] Borg G, Lyatuu D R, Rammlmair D. Genetic aspects of the Geita and Jubilee reef, Archean BIF-hosted gold deposits[J]. Tanzania. *Geol. Rundsch.*, 1990, 79: 355–371.
- [33] Walraven F, Pape J G, Borg. Implications of Pb-isotopic compositions at the Geita gold deposit, Sukumaland Greenstone Belt, Tanzania[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1994, 18(2): 111–121.
- [34] Tyler W H. The south-west Mwanza Gold field[J]. *Tanganyika*, 1937, 56: 137–145.
- [35] Kilembe, Naylor W I. The geology of Geita District: Quarter degree sheets 20 and 32 (9 NW and SW)[J]. *Tanganyika*, 1961, 9: 13–18.
- [36] Van Straaten H R. Gold mineralization in Tanzania—A review[J]. *The Geology Geochemistry and Genesis of Gold Deposits*, 1984, 11: 673–685.
- [37] Smirnov V, Pentelkov V, Tolochko V, et al. Geology and Minerals of the Central Part of the Western Rift[M]. *Geological Survey of Tanzania, USSR Report on Geological Mapping*, 1973: 333.
- [38] Daly M C. Crustal shear zones in central Africa: a kinematic approach to Proterozoic Tectonic[J]. *Episodes*, 1988, 11: 5–11.
- [39] Boniface N, Schenk V, Appel P. Mesoproterozoic high-grade metamorphic pelitic rocks of the northwestern Ubendian Belt: implication for the extension of the Kibaran intracontinental basins to Tanzania[J]. *Precambrian Res.*, 2014, 249: 215–228.
- [40] Marobhe I. Interpretation of aerogeophysical anomalies of southwestern Tanzania[J]. *Geological Survey of Finland Bulletin*, 1989, 72: 350.
- [41] Kilembe E A, Rosendahl B R. Structure and stratigraphy of the Rukwarift[J]. *Tectonophysics*, 1992, 209: 143–158.
- [42] Lawley C J M, Imber J, Selby D. Structural controls on orogenic Au mineralization during transpression: Lupa goldfield, southwestern Tanzania[J]. *Economic Geology*, 2013, 108: 1615–1640.
- [43] Kilembe E A, Rosendahl B R. Structure and stratigraphy of the Rukwa rift[J]. *Tectonophysics*, 1992, 209: 143–158.
- [44] Groves D I. The crustal continuum model for late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn block, Western Australia [J]. *Mineralium Deposita*, 1993, 28: 366–374.
- [45] Weinberg R F, Hodkiewicz P F, Groves D I. What controls gold distribution in Archean terranes[J]. *Geology*, 2004, 32: 545–548.
- [46] Sibson R H. Earthquake faulting as a structural process[J]. *Journal of Structural Geology*, 1989, 11: 1–14.
- [47] Micklethwaite S, Cox S F. Fault-segment rupture, after shock-zone fluid flow and mineralization[J]. *Geology*, 2004, 32: 813–816.
- [48] Micklethwaite S, Sheldon H A, Baker T. Active fault and shear processes and their implications for mineral deposit for-

- mation and discovery[J]. *Journal of Structural Geology*, 2010, 32:151–165.
- [49] Lawley C J M, Selby D, Condon D, et al. Palaeoproterozoic orogenic gold style mineralization at the Southwestern Archaean Tanzanian cratonic margin, Lupa Goldfield, SW Tanzania: Implications from U-Pb titanite geochronology[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26:1141–1158.
- [50] Groves D I, Goldfarb R J, Robert F, et al. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance[J]. *Economic Geology*, 2003, 98:1–29.
- [51] Lawley C J M, Selby D, Condon D J, et al. Lithogeochemistry, geochronology and geodynamic setting of the Lupa terrane, Tanzania: Implications for the extent of the Archaean Tanzanian craton[J]. *Precambrian Research*, 2013, 231:174–193.
- [52] Tack L, Wingate M T D, De Waele B, et al. The 1375 Ma ‘Kibara event’ in Central Africa: prominent emplacement of bimodal magmatism under extensional regime[J]. *Precamb. Res.*, 2010, 180:63–84.
- [53] Gosse R. The Kabanga Ni-(Co-Cu) Sulphide deposit, Western Tanzania[J]. *IGCP*, 1992, 4:73–76.
- [54] Evans D M, Boadi I, Byemelwa L, et al. Kabangamatic Ni sulfide deposits, Tanzania: morphology and geochemistry of associated intrusions[J]. *Afr. Earth Sci.*, 2000, 30:651–674.
- [55] Athanas S. Macheyekei. Application of lithogeochemistry to exploration for Ni-Cu sulfide deposits in the Kabanga area, NW Tanzania[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2011, 61:62–81.
- [56] Evans D M, Byemelwa L, Gilligan J. Variability of magmatic sulphide compositions at the Kabanga nickel prospect, Tanzania[J]. *Afr. Earth Sci.*, 1999, 29:329–351.
- [57] Tack L, Deblond A, de Paepe P, et al. Intraplate magmatic lines revealing major lithospheric discontinuities: evidence from Eastern Africa [M]. *Universite Libre de Bruxelles, Brussels & Royal Museum for Central Africa, Tervuren, Belgium*, 1996:219–226.
- [58] Maier W D, Barnes S J, Sarkar A, et al. The Kabanga Ni sulfide deposit, Tanzania: Geology, petrography, silicate rock geochemistry and sulfur and oxygen isotopes[J]. *Miner Deposita*, 2010, 45:419–441.
- [59] Spooner C M, Hepworth J V, Fairbairn H W. Whole rock Rb-Sr isotope investigation of some East African granulites [J]. *Geological Magazine*, 1970, 107:511–521.
- [60] Maboko M A H, Nakamura E. Nd and Sr isotopic mapping of the Archaean-Proterozoic boundary in southeastern Tanzania using granites as probes for crustal growth[J]. *Precamb. Res.*, 1996, 75:105–115.
- [61] Maboko M A H. Nd and Sr isotopic investigation of the Archaean-Proterozoic boundary in north-eastern Tanzania: further constraints on the nature of Pan-African tectonism in the Mozambique Belt[J]. *Precamb. Res.*, 2000, 102:87–98.
- [62] Muhongo S, Kröner A, Nemchin A A. Single zircon evaporation and SHRIM Pages for granulite-facies rocks in the Mozambique Belt of Tanzania[J]. *Journal of Geology*, 2001, 109:171–189.
- [63] De Waele B, Kampunzu A B, Mapani B S E, et al. The Mesoproterozoic Irumide belt of Zambia[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2006, 46:36–70.
- [64] Sommer H, Kröner A, Hauzenberger C, et al. Isothermal decompression history in the “Western Granulite” terrain, central Tanzania: Evidence from reaction textures in metapelites and trapped fluids[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2008, 51:123–144.
- [65] Thomas R J, Roberts N M W, Jacobs J, et al. Horstwood, M. S. A., Mruma, A. Structural and geochronological constraints on the evolution of the eastern margin of the Tanzania Craton in the Mpwapwa area, central Tanzania[J]. *Precambrian Research*, 2013, 224: 671–689.
- [66] Sommer H, Kröner A, Hauzenberger C, et al. Metamorphic petrology and zircon geochronology of high-grade rocks from the central Mozambique Belt of Tanzania: crustal recycling of Archaean and Palaeoproterozoic material during the Pan-African orogeny[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2003, 21:915–934.
- [67] Frisch W, Pohl W. Petrochemistry of some mafic and ultramafic rocks from the Mozambique Belt, SE Kenya[J]. *Mitteilungen der Oesterreichischen Geologischen Gesellschaft*, 1985, 78:97–114.
- [68] Muhongo S, Lenoir J L. Pan-African granulite-facies metamorphism in the Mozambique Belt of Tanzania: U-Pb zircon geochronology[J]. *Journal of the Geological Society of London*, 1994, 151:343–347.
- [69] Sommer H, Kroner A, Muhongo S, et al. SHRIMP zircon ages for post-Usagarangranitoid and rhyolitic rocks from the Palaeoproterozoic terrain of southwestern Tanzania[J]. *South African Journal of Geology*, 2005, 108:247–256.
- [70] Shackleton R. Tectonics of the lower crust: a view from the Usambara Mountains, NE Tanzania[J]. *Journal of Structural Geology*, 1993, 15:663–671.
- [71] Key R M, Charsley T J, Hackman B D, et al. Superimposed upper Proterozoic collision-controlled orogenies in the Mozambique orogenic belt of Kenya[J]. *Precamb. Res.*, 1989, 44:197–225.
- [72] Knorring O, Condill E. Mineralized pegmatites in Africa[J]. *Geol.*, 1987, 22:253–270.
- [73] Keller P C. *Gemstones of East Africa*[M]. *Geoscience Press, USA Tucson*, 1992.
- [74] Malisa E, Muhongo S. Tectonic setting of gemstone mineralization in the Proterozoic metamorphic terrane of the Mozambique belt in Tanzania[J]. *Precamb. Res.*, 1990, 46:167–76.
- [75] Le Goff E, Deschamps Y, Guerrot C, et al. New geochronological data by single zircon Pb-Pb evaporation method in

- north-eastern Tanzania; regional implications for the Tanzanian Mozambique belt and gemstones mineralization[J]. 33rd IGC Oslo, 2008, 6: 6 - 14.
- [76] Maboko M A H. Neodymium isotopic constraints on the protoliths ages of rocks involved in Pan-African tectonism in the Mozambique Belt of Tanzania[J]. Geol. Soc. London, 1995, 152: 911 - 916.
- [77] Cutten H N C, Johnson S P. Tectonic evolution of the Mozambique Belt, Eastern Africa[J]. 21st Colloquium of African Geology. Maputo, Mozambique, 2006: 33 - 34.
- [78] Johnson S P, Cutten H N C, Muhongo S, et al. Neoproterozoic magmatism and metamorphism of the western granulites in the central domain of the Mozambique Belt, Tanzania; U-Pb SHRIMP geochronology and *P-T* estimates[J]. Tectonophysics, 2003, 375: 125 - 145.
- [79] Garnier V, Giuliani G, Ohnenstetter D, et al. Les gisements de corindon; classification et genèse. Regn[J]. Miner. 2004, 55: 7 - 35.
- [80] Garnier V, Giuliani G, Ohnenstetter D, et al. Marble hosted ruby deposits from central and South-East Asia; towards a new genetic model[J]. Ore. Geol. Rev., 2008, 34: 169 - 191.
- [81] Giuliani G, Ohnenstetter D, Garnier V, et al. The geology and genesis of gem corundum deposits[M]. Geology of gem deposits. Mineralogical Association of Canada, Short course Series, 37. Yellowknife, Canada, 2007: 23 - 78.
- [82] Simonet C, Fritsch E, Lasnier B. A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration[J]. Ore. Geol. Rev. 2008, 34: 127 - 133.
- [83] Hauzenberger C A, Sommer H, Fritz H, et al. SHRIMP U-Pb zircon and Sm-Nd garnet ages from the granulite-facies basement of SE Kenya; evidence for Neoproterozoic polycyclic assembly of the Mozambique Belt[J]. Geol. Soc. London. 2007, 164: 189 - 201.

Division and characteristics of the main metallogenic belts in Tanzania

SUN Hongwei, LIU Xiaoyang, TANG Wenlong, WU Xingyuan

(Tianjin center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: The previous geological data, the geological and mineral exploration, high-precision isotopic chronology data of Tanzania in recent years are combed and the main geological characteristics and evolution of Tanzania summarized in this paper. Six mineralization belts are preliminary divided and discussion is mainly made on the Tanzanian Archean Au metallogenic belt, Paleoproterozoic Ubendian Au-Cu-Fe metallogenic belt, Middle proterozoic Kibara Ni-Cu-Sn metallogenic belt, Neoproterozoic Gem metallogenic belt.

Key Words: metallogenic belt; typical ore deposit; geological feature; Tanzania