

非洲中部基巴拉造山带地质特征与资源潜力分析

何胜飞, 刘晓阳, 王 杰, 孙 凯, 任军平

(中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘 要:中元古代基巴拉造山带主要由石英岩、变质泥岩和侵入的花岗质岩石构成。基巴拉带岩浆演化代表了一个完整的陆内裂谷演化旋回:地壳拉伸接受沉积,同时岩石圈减薄、软流圈上涌、镁铁-超镁铁质岩浆侵入上地壳形成一种双峰式岩浆岩;之后受挤压造山作用,岩浆侵入背斜核部,沉积层褶皱成山;中元古晚期-新元古早期含矿热液沿构造通道上升,在早期形成的花岗岩与基底或盖层的接触带内沉淀、富集成矿。基巴拉带内Cu-Ni矿化与镁铁-超镁铁质岩体密切相关,同时PGE-Au有较大的找矿潜力;锡石花岗岩是重要的含矿花岗岩,伟晶岩中多见Sn-W-Au、Nb-Ta、Li、Be矿化;金多产于与锡石花岗岩有关的角砾岩型构造破碎带内。

关键词:基巴拉带;地质特征;资源潜力分析;Sn-W-Au;Cu-Ni

中图分类号: P56; P618.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2014)03-0161-08

中元古代基巴拉构造-热事件在非洲中-东部形成三个平行的同时期造山带:基巴拉带、伊鲁米德带和南莫桑比克带^[1-5]。其中基巴拉带(1400~1100 Ma)位于坦桑尼亚克拉通、刚果克拉通和卡拉哈里克拉通之间,总体上呈NE-SW方向沿刚果民主共和国的沙巴、往NE方向穿过布隆迪,坦桑尼亚东北部、卢旺达,最后到达乌干达西南部,主要由绿片岩相-角闪岩相的变质泥岩和石英岩组成,同时被大面积的花岗岩侵入。中元古代基巴拉带及以后地层主要矿产有Au、Sn、W、Nb、Ta、Ni、Cu、Pb、Zn、Co、Be和Li等^[6](图1、2)。

1 地质概况

基巴拉带总长约1500 km,最宽约400 km。在基巴拉带中部,古元古代的乌本迪(Ubendia)带将其分成西部盆地和东部盆地两段^[7](图1)。Klerkx等认为基巴拉沉积盆地是乌本迪带左旋的平移断裂形成的克拉通内伸展沉积盆地^[7]。而Tack等认为基巴拉带形成与红海型的陆内裂谷演化有关^[8-9]。

1.1 地层

基巴拉带不整合覆盖在太古宙或古元古代基底之上。基巴拉带西部盆地和东部盆地是同样变形、变

质的两个盆地,具有相似的岩石序列,主要有石英岩、泥岩和侵入的花岗质岩石。基巴拉东部盆地沉积厚度约11~14 km,西部盆地可能更厚^[10]。

东部盆地沉积在卢旺达和布隆迪被命名为布隆迪超群,在乌干达和坦桑尼亚被称为卡拉圭-安科连超群。布隆迪超群和卡拉圭-安科连超群均可划分为三段:下段是深色薄层状浊积层夹磨圆度较好的石英岩,少见碳酸盐岩和火山岩夹层;中段是含砂较多的红色千枚岩,偶尔夹有石英岩砾石和少量玄武岩和英安质火山岩,在布隆迪,可见厚250~1000 m,白-粉色的细粒夹少量砾石的石英岩为标志层;上段主要在复向斜地区可见,岩石组成为不成熟的磨圆度差的、含铁质石英岩的砂砾沉积物。部分地区通过粗砾岩、石英岩岩石标志着一个轻微的侵蚀不整合。石英岩常被铁锈色浸染呈红色或灰色;砾岩上覆白色细粒粉砂岩和页岩夹硅质岩,可能指示了一个盐湖环境^[11]。

在西部盆地沉积地层为基巴拉超群,主要包括寇拉山(Mt.Kiora)组和汉克森(Hakansson)组。变质程度较高的寇拉山组是在乌本迪造山运动后不久开始沉积,岩性有暗色的单一千枚岩、绿岩和碳酸盐岩。汉克森组岩性主要有深色板岩和石英岩团块。寇拉山组和汉克森组分别被泛非运动的卢菲拉(Lufi-

收稿日期:2014-05-26

资助项目:中央地质勘查基金境外矿产资源风险勘查项目:中南部非洲重要成矿带成矿规律研究与资源潜力分析

作者简介:何胜飞(1977-),男,工程师,2007年毕业于桂林工学院资源与环境工程系构造地质学专业,现从事地质矿床勘查与研究工作,E-mail:hesan496112@163.com。

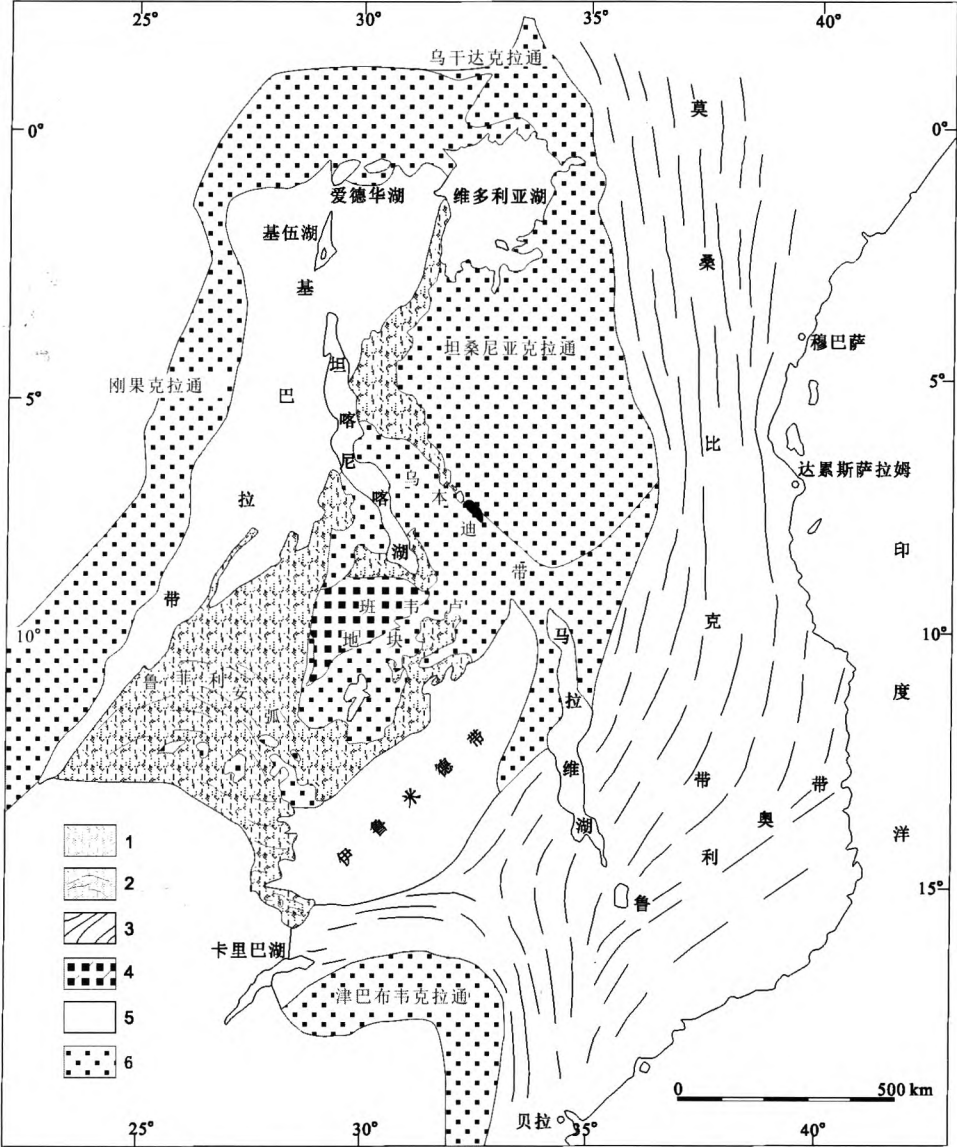


图1 非洲中部基巴拉带区域构造图(据W.Pohl, 1994, 修改)

Fig. 1 Structural setting of the Kibara mobile belt in central Africa(after W.Pohl, 1994, redraw)

1. 泛非期平地; 2. 泛非期褶皱; 3. 莫桑比克活动带; 4. 基巴拉期地台; 5. 基巴拉期褶皱带; 6. 克拉通>1800 Ma

ra)组和卢布迪(Lubudi)组不整合覆盖。

后基巴拉磨拉石沉积发生在基巴拉造山带及其稳定地带前沿地区的东部和西部。刚果克拉通前沿西部的姆布衣马依(Mbuyi Mayi)超群基底碎屑状层序马拉嘎拉西亚(Malagarasia)超群以及坦桑尼亚克拉通布科班(Bukoban)超群基底碎屑状层序,都是基巴拉造山带前陆区的磨拉石砾岩层。基巴拉内部的磨砾层位于南北走向的艾通韦(Itombwe)复向斜^[1]。

1.2 构造

基巴拉带在中元古宙时期主要经历了四期构造作用。Klerkx等^[2]认为:

(1)第一期(D1):水平方向变形的第一阶段(D1)发生在深部,受乌本迪带左旋平移断裂的影响,基巴拉带内形成一个克拉通内伸展沉积盆地,接受刚果克拉通、坦桑尼亚克拉通、卡拉哈里克拉通沉积,同时地壳减薄,下地壳受地幔岩浆热作用开始熔融,岩浆上升,侵入上地壳。在受花岗岩侵入的背斜和基底附近,地层强烈变质。在基巴拉西段,受强烈的花岗岩侵入作用,沉积盖层产生顺层片理,薄层状逆冲推覆体和滑塌构造。在东部的布隆迪和卢旺达的地层仅轻微变质,主要是变形引起的基底糜棱岩化。D1阶段生成大量的花岗片麻岩穹窿。

(2)第二阶段(D2): D2变形性质是受挤压,但并

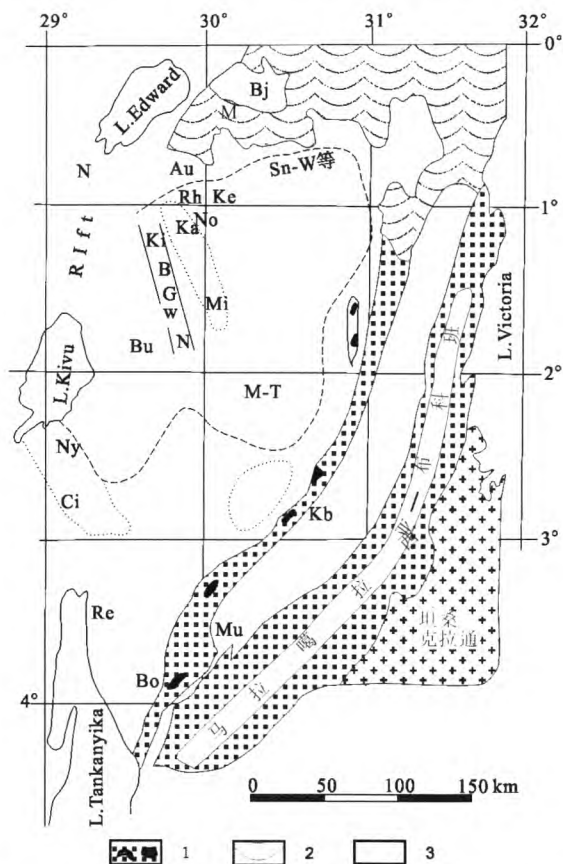


图2 基巴拉带东北部地质矿产示意图(据W.Pohl, 1994)

Fig. 2 Sketch map of the geology and metalliferous zones of the northeastern Kibara belt

(After, W.Pohl, 1994, redraw).

乌干达: Bj. Buhweju plateau; Ka. Kamena Fe; Ki. Kirwa W; Ke. Karengi; G4. granite; M. Mashonga Au; No. Nyamulilo W; Rh. Ruhiza W. 卢旺达: B. Bugarama W; Bu. Buranga pegmatite; Mi. Miyove Au; G. Gifurwe W; N. Nyamulilo (Shy-orongi) W; Ny. Nyungwe Au; R. Rutongo Sn; M-T. Musha-Ntunga Sn. 布隆迪: Ci. Cibitoke/Mabayi Au; Bo. Buho-ro Ti, V; Mu. Musongati Ni; Re. Karonge REE. 坦桑尼亚: Kb. Kabanga Ni-Cu-Co. /W/; 钨成矿带; 圆点虚线: 金矿区; 1. 基性超基性岩带和航次异常; 2. 布干达-托罗; 3. 基巴拉带变质沉积岩、花岗岩和基底穹窿

没有强烈改造D1期变形构造。第二阶段变形事件影响了整个基巴拉带,形成走向NE-SW的开阔的、直立褶皱。这可能暗示D2变形的挤压作用较弱,持续时间较短。

(3)第三阶段:应为D2阶段晚期(D2'),剪褶皱作用和岩石碎裂作用叠加在以前的构造上,产生垂直NE-SW和NW-SE向的剪切带。上地幔岩浆沿深大断裂上升过程中混入部分地壳物质,岩浆熔融体物理化学条件发生变化,岩浆分异结晶形成层状的

穆松盖蒂-卡邦加(Musongati-Kabanga)基性-超基性侵入体。

(4)由于基巴拉带位于持续的地壳不稳定区,因此也经历了后期诸如泛非运动、新生代裂谷作用等构造事件的影响,但是对基巴拉带构造影响较轻^[7]。

1.3 岩浆岩

1.3.1 花岗岩

从刚果(金)的沙巴省(Shaba)和基伍省(Kivu)到布隆迪和卢旺达的基巴拉地带,普遍存在花岗质岩石和花岗岩侵入体^[1]。

Klerkx等^[6]将基巴拉带布隆迪境内中元古宙花岗岩分为4期,将基巴拉带内出现的年龄在1000~900 Ma的花岗岩归为早新元古宙岩浆作用产物。第一期(GR1):由似斑状黑云母花岗岩形成的均质岩基侵入布隆迪超群中下段(1325~1350 Ma),属D1构造期,变形最高可达糜棱岩化。第二期(GR2):白云母-黑云母花岗岩侵入伸展的布隆迪超群中上段沉积(1260~1290 Ma),属D1变形期;可见大量的围岩捕虏体。第三期(GR3):主要岩性为含白云母-黑云母花岗岩,侵入D2构造期形成的背斜核部,表明其应属同造山运动花岗岩(~1185 Ma)。第四期(GR4):主要为与D2'剪切带有关的碱性花岗岩(~1100 Ma)^[7-8,12]。第五期(GR5):在基巴拉造山带后的泛非运动时期,地幔岩浆上升、上地壳部分熔融,形成含锡石花岗岩(1000~900 Ma)^[13]。

Gerard等将卢旺达境内基巴拉带花岗岩划分为4期^[14]:G1期花岗岩为似斑状黑云母花岗岩(1366±32 Ma),具有变化较大的初始⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值^[6,12];G2期花岗岩为二云花岗岩(1289±31 Ma);G3期花岗岩为偏碱性的花岗岩(1094±50 Ma);G4期花岗岩为锡石花岗岩(976±10 Ma)^[14],初始⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值0.7721^[10],主要矿物有石英、微斜长石、钠长石、白云母和黑云母和少量的磷灰石、锆石、电气石。锡石花岗岩顶部被富含Sn、W、Nb、Ta矿物的伟晶岩和石英脉侵入。

Tack等^[15]认为基巴拉带东北部有三期花岗岩,其中,双峰式火成岩成岩年龄约1375 Ma,A型花岗岩约1205 Ma,锡石花岗岩约986 Ma。

Cahen等^[16]将刚果Katanga的花岗岩分成A、B、C、D、E四期,A、B、C、D四期为同造山期花岗岩,E为后造山期花岗岩(表1)。

1.3.2 基性-超基性侵入岩

穆松盖蒂-卡邦加的基性-超基性岩体总体上呈

北东向出露于布隆迪-卢旺达-坦桑尼亚西北部-乌干达西南,总长约350 km,最宽约40 km。主要为层状侵入体,岩性多为镁铁-超镁铁质的橄榄岩、辉长橄榄岩、辉长苏长岩和苏长岩。Tack等分别在穆松盖蒂侵入体获得的单颗粒锆石U-Pb年龄为 1275 ± 11 Ma^[9]和角闪苏长岩SHRIMP法获得的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 1374 ± 14 Ma^[15]。

1.4 变质作用

在基巴拉带,特别是在复向斜地区,区域变质作用一般为绿片岩相。区域变质作用主要有两个阶段,其与D1、D2两期变形和同造山花岗岩侵入相关。在大的花岗岩岩基和基底附近侵入岩和地层接触带上可见接触变质作用,主要变质相有角闪岩相和混合岩化^[1,8]。

表1 基巴拉带东北部侵入岩就位年龄对比表(据Tack等,2010)

Table 1 Comparison of the three emplacement ages for intrusive rocks in the northeastern Kibaran belt (after Tack. et al.,2010)

	基巴拉带东北部	布隆迪		卢旺达	加丹加
	Tack等(2010) 就位年龄 (SHRIMP和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)	Tack等(1994;1990)	Klerkx等(1987;1984)	Cahen等(1984)	
				Gerards和Ledent(1970)	Cahen等(1967) ^[16]
900Ma	锡石花岗岩				
1000	986 锡矿化 褶皱带		"Gr5"	G4	976 $\pm$ 10 E 后造山期
1100			1124 $\pm$ 32 Gr4D2'剪切作用	G3 1094 $\pm$ 50	
1200	1205 A型花岗岩 地壳	1137 $\pm$ 39 A型花岗岩	1185 $\pm$ 59 Gr3 D2 挤压造山		同造山期 D C B 1291
1300	1275 $\pm$ 11基性-超基性岩 伸展	1249 $\pm$ 8 A型花岗岩	1280-1260Gr2 D1地壳伸展	G2 1289 $\pm$ 31	
1400Ma	1375 双峰式岩浆作用	1325 1330 $\pm$ 30 Gr1		G1 1338;1362;1370 1366 $\pm$ 32	{ 1329 $\pm$ 55 A 1331 $\pm$ 50 1310 $\pm$ 25 1370 $\pm$ 25

2 矿产资源

基巴拉带矿产众多,主要有Au、Sn、W、Nb、Ta、Ni、Cu、Be和Li等(图2)。

2.1 与花岗岩有关的矿产

基巴拉带北部位于众所周知的钨锡成矿省,钨锡成矿与晚基巴拉花岗岩相关^[17-18]。基巴拉带的石英脉型金矿物质来源可能是太古宙绿岩带和基巴拉带变质沉积岩^[13,19]。

2.1.1 石英脉中的锡、钨

锡、钨矿主要位于基巴拉带北部的布隆迪、卢旺达,矿体主要为含锡-钨石英脉。锡石和钨矿石的重要矿床大部分通常由许多单脉和网状细脉形成,成矿明显受背斜或穹隆控制,可能是G4花岗岩侵入背斜并在构造部位沉淀、富集成矿。矿体围岩为基巴拉带变质沉积岩,在花岗岩内极少发现锡石矿体。矿化的石英脉和伟晶岩清楚地分离开来,然而,在部分地区可见矿化石英脉横切伟晶岩。在卢旺达的穆夏,矿化石英脉向上贯入一个石英-白云母-高岭石区域,并沉淀、富集成矿^[20]。大多数的

锡、钨矿床明显是分开的,但也有相当数量的石英脉同时富集锡石和黑钨矿^[21],少量锡石亦在钨铁矿矿床被发现^[22]。区域上,锡石、黑钨矿的围岩主要为石英岩和变质泥岩。但在该地区卢旺达的路通沟(rutongo)锡矿区可见石英岩优先矿化,在路通沟的锡隆基(Shyorongi)钨矿化的围岩是砂屑岩和碳质片岩。主要的锡-钨矿有卢旺达的Nyakabingo,Gifurwe and Bugarama矿^[23]和乌干达的Nyamulilo、Ruhizha矿^[24](图2)。

2.1.2 伟晶岩中的铌-钽矿(锂、铍、铀/钍)

Varlamoff观察到不同类型伟晶岩和相关的石英脉有着明显的分带性,它们的分布与小的花岗岩穹顶有关^[25]。伟晶岩矿化类型多为是LCT(锂-铌-钽)型^[26]。许多伟晶岩强烈泥化,可能是表生改造作用形成的,未泥化的伟晶岩体也接近完全高岭石化的,可能是热液蚀变形成的。泥化有利于低品位矿体的开采,锡石和铌钽铁矿浸染状分布在岩石中,高品位富矿通常接近或接触石英脉。

2.1.3 含金硅质岩、角砾岩和石英脉

含金石英脉位于基巴拉变质沉积岩中,而早期

现的断裂作用、沉降、岩浆作用、变质作用和变形作用集中发生在中非东部,位于刚果、坦桑尼亚和卡拉哈里克拉通之间的岩层。在这一地区,中元古宙基巴拉造山运动爆发,发生位置位于东北-西南走向的克拉通内的活动地带,即基巴拉、伊鲁米德以及莫桑比克南部地带。从1.45 Ga至950 Ma,基巴拉地带的断裂作用、沉降作用、岩浆作用、变质作用和变形作用发生在非洲的中部和南部地区,非洲北部和非洲东部地区未见相关地层^[1]。基巴拉盆地基底年龄约 1982 ± 6 Ma (MSWD= 0.82, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)^[15]。

Klerkx等^[7]认为基巴拉带盆地东部的沉降作用发生在1.4 Ga年之后不久,基巴拉沉积盆地是Uben-dian带左旋的平移断裂形成的克拉通内伸展沉积盆地。Tack等^[9]认为基巴拉带的形成与红海型的陆内裂谷演化有关。基巴拉东部盆地沉积岩有砾岩、砂岩、泥岩、碳酸盐岩、浊积岩、硅质叠层石,指示了一个河流、河流三角洲、滨浅海、大陆架、深海相的海进过程。布隆迪超群下段底部的河流相砾石和递变层理发育、下段泥岩中波痕和滑塌特征发育以及硅质叠层石等证据暗示着碎屑岩快速涌入一个快速沉降槽沉积的过程。布隆迪超群上段中的长石砂岩和砾岩的出现暗示着基巴拉带沉积物来源地区经历了一个地壳抬升的过程^[1]。

基巴拉带下部底砾岩是区域上重要的砂金赋矿层位,但是砂金矿规模一般较小,可供大规模开采的具有经济意义的砂金矿极少^[13]。

Klerkx等^[7]通过对布隆迪境内花岗岩的研究,认为基巴拉带在D1阶段伸展过程中,岩石圈减薄、软流圈上涌、镁铁质岩浆侵入上地壳,形成GR1、GR2期均质的花岗质片麻岩、黑云二长花岗岩斑岩,具一般低的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,这也证明了岩浆侵入上地壳,地壳受热熔融,生成S型花岗岩。Rb / Sr数据显示GR1-GR2花岗岩的冷却年龄在1330~1250 Ma^[9]。D2阶段,构造应力由水平伸展转化为水平挤压,基巴拉带沉积层受较弱的挤压作用,发生褶皱作用形成NE-SW走向的开阔、直立的背斜(可能挤压持续时间较短),岩浆岩侵入背斜核部,形成GR3期似斑状过铝质二云片麻岩^[27]。GR3花岗岩是典型的造山花岗岩,它们侵入时间约为1280 Ma^[42]或 1289 ± 31 Ma^[43]。D3(D2')构造应力由水平挤压转化为横向剪切,在横向剪切构造作用上地幔岩浆沿深大断裂上升过程中混入部分地壳物质后形成的GR4期花岗岩 $1124 \pm$

32 Ma^[44]。

基巴拉带西部盆地加丹加高原的G1和G2花岗岩共存,表现为位于花岗岩体的中央部位的G1期斑状二长花岗岩完全片麻岩化,G1花岗岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值变化较大,暗示了其花岗岩的物质来源比较多源。G2期花岗岩则通常位于G1花岗岩体外围。G2花岗岩周围的沉积岩地层发生韧性变形、变质程度变高至角闪岩相(出现红柱石和十字石)、变质温压条件表现为中高温-中压。G2花岗岩具有较低的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,表明其原生岩浆在上升、就位过程当中混入了地壳物质^[44]。

G4花岗岩是区域上重要的含矿花岗岩,主要为淡色偏碱性强过铝质锡石花岗岩(976 ± 10 Ma),平均铈同位素初始比0.7721^[10,14]。G4花岗岩石为等粒的“细晶”或伟晶岩,常碎裂和局部剪切,侵入老的花岗岩与基巴拉沉积岩接触带;或在基巴拉沉积岩与变质基底之间;甚至在乌干达境内变质基底中发现了G4花岗岩^[27,45]。G4花岗岩可能是由于Lomamian造山带作用引起的地壳增厚和早期花岗岩熔融、冷却结晶形成。锡石花岗岩可能是含矿热液在挥发组分 CO_2 - CH_4 - N_2 的作用下,在老的花岗岩和基巴拉沉积岩接触带上沉淀、富集成矿。

G1、G2花岗岩均为同造山期花岗岩,二者侵入基巴拉带地层中下段。G3、G4为后造山碱性花岗岩^[7,10]。

Pohl^[9]综合分析了基巴拉带以前的地质研究资料,认为基巴拉带东北部经历了东西向的拉伸-挤压-拉伸-挤压的应力变化,形成了不同时期的基性-超基性岩和花岗岩。其中G1-G4花岗岩分别对应了GR1-GR5花岗岩,G1相当于GR1和GR2。

Tack等^[15]对基巴拉带东北部的布隆迪、卢旺达、坦桑尼亚西北等地出露的S型花岗岩、A型花岗岩、锡石花岗岩和镁铁-超镁铁质岩体进行了锆石U-Pb同位素和Hf同位素测年研究,结果显示基巴拉东北部S型花岗岩和基性超基性岩体年龄主要集中在1375 Ma左右,A型花岗岩年龄为 1205 ± 19 Ma以及G4花岗岩年龄 986 ± 10 Ma;认为该地区的岩浆活动可能只有三期,分别代表了裂谷-造山期、后造山期和Sn矿化期。

在基巴拉带内花岗质片麻岩穹窿中发现与洋壳关系密切的角闪岩^[46];穆松盖蒂基性-超基性岩与其相关联的花岗岩具有相似的、较低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.7027 ± 0.0011)^[8],同时区域上并未发现有蛇绿岩、

造山安山岩、闪长岩,亦未发现洋壳物质和俯冲带类型的岩石,说明其岩浆演化与基巴拉裂谷或地壳增厚相关,代表了一个完整的陆内裂谷演化旋回^[6-9,27]: D1阶段,岩石圈伸展减薄最终形成11~14 km厚的沉积地层;同时在D1阶段伸展过程中,岩石圈减薄、软流圈上涌和镁铁质岩浆侵入上地壳,引起上地壳部分熔融,导致早期阶段造山运动中一个双峰式岩浆岩的形成(G1)。D2阶段挤压过程中,早先花岗岩地壳受热大量熔融形成新的G2花岗岩,G2花岗岩多位于G1花岗岩外侧。G3阶段受横向剪切作用,形成偏碱性的花岗岩。罗马米安(Lomamian)造山作用下强过铝质含锡石岩浆侵入早期花岗岩与基巴拉带沉积岩接触带上,形成的锡石花岗岩(G4)可见Sn、W矿化,同时含金热液沿远离锡石花岗岩的构造上升并沉淀、富集形成富角砾岩的破碎带型金矿。

4 结论

(1)基巴拉带岩浆演化与基巴拉地壳增厚相关,代表了一个完整的陆内裂谷演化旋回,经历了地壳伸展沉积→挤压造山→岩浆侵入→含矿热液上升、沉淀、富集成矿的演化过程。

(2)区内主要有两个主要成矿期:与基性-超基性有关的铜镍钴-铂族元素(金)成矿期和与G4(GR5)锡石花岗岩有关的锡钨-金-铌钽成矿期。

致谢: 本文旨在将非洲中部基巴拉带地质演变历史及优势矿种介绍给国内对该地区地质或者矿产资源感兴趣的个人及单位。由于作者水平问题,可能有所偏颇,敬请指正。最后,感谢中国地质科学院地质研究所王涛副研究员对本文的撰写提供的帮助。

参考文献:

- [1] Sunday W Petters. Regional Geology of Africa[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1991, 220-253.
- [2] Daly M C. The intracratonic Irumide Belt of Zambia and its bearing on collision orogeny during the Proterozoic of Africa[J]. Geol. Soc. Spec. Publ. 1986, 19: 321-328.
- [3] Costa M, Ferrara G, Sacchi R, et al. Rb/Sr dating of the Upper Proterozoic basement of ambesia, Mozambique[J]. Geol. Rundschau. 1992, 81: 487-500.
- [4] Sacchi R, Marques J, Costa M, et al. Kibaran events in the southernmost Mozambique Belt[J]. Recambrian Res. 1984, 25: 141-159.
- [5] Jourde G, Vialette Y. La chaine du Lurio (Nord Mozambique). RGM-Orleans. 1980, 75pp.
- [6] Klerkx J, Lavreau J, Liégeois J P, et al. Granitoides kibarais precoces et tectoaique tan-gentielle au Burundi: magnatisme bimodal lid a une distension crustale [A]. In: African Geology[C]. Tervuren: Elsevier, 1984, 29-46.
- [7] Klerkx J, Liégeois J P, Lavreau J, Crustal evolution of the northern Kibaran belt, eastern and central Africa. In: A. Kroner (Editor), Proterozoic Lithospheric Evolution[A]. In: Proterozoic Lithospheric Evolution[C]. Washington D C: American Geophysical Union, 1987, 17: 217-233.
- [8] Tack L, De Paepe P, Liégeois J P, et al. Late Kibaran magmatism in Burundi[J]. Afr. Earth Sci. 1990, 10: 733-738.
- [9] Tack L, Liégeois J P, Deblond A, et al. Kibaran A-type granitoids and mafic rocks generated by two mantle sources in a late orogenic setting (Burundi)[J]. Precambrian Research. 1994, 68: 323-56.
- [10] Cahen L, Snelling N J, Delhal J, et al. The geochronology and evolution of Afric[M]. Oxford: Oxford University Press, 1984, 512pp.
- [11] Baudet D. Etude Palynologique dans le Protérozoïque supérieur du Burundi[J]. IGCP 255, Newsletter/Bulletin. 1988, 1: 1-5.
- [12] Fernandez-Alonso M, Lavreau J, Klerkx J. Geochemistry and geochronology of the Kibaran granites in Burundi, Central Africa: Implications for the Kibaran orogeny[J]. Chemical Geology. 1986, 57: 217-234.
- [13] Pohl W, Gunther M A. The origin of Kibaran (late Mid-Proterozoic) tin, tungsten and gold quartz vein deposits in Central Africa: a fluid inclusion study[J]. Mineralium Deposita. 1991, 26: 51-59.
- [14] Gerards J, Ledent D L. Grands traits de la géologie du Rwanda, différents types de roches granitiques et premières données sur les ages de ces roches[J]. Annales de la Société Géologique de Belgique. 1970, 93: 477-489.
- [15] Tack L, Wingate M T D, B De, Waeled J, et al. The 1375Ma "Kibaran event" in Central Africa: Prominent emplacement of bimodal magmatism under extensional regime[J]. Precambrian Research. 2010, 180: 64-84.
- [16] Cahen L, Snelling N J. The geochronology of Equatorial Africa[M]., Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1967, 195pp.
- [17] Radulescu J. Mineralization in the Karagwe-Ankolean System of East Africa/ Burundi[A]. In: The Development Potential of Precambrian Mineral Deposits[C]. Developm: UN Dep. Tech. Coop, 1982, 217-225.
- [18] Tissot F, Swager C, Berg R, et al. Mineralization in the Karagwe-Ankolean System of North-West Tanzania

- [A]. In: The Development Potential of Precambrian Mineral Deposits[C]. Developm: UN Dep. Techn. Coop, 1982, 205-215.
- [19] Pohl W. Metallogeny of the northeastern Kibaran belt, Central Africa-Recent perspectives[J]. *Geol. J.* 1994, 22:103-119.
- [20] Varlamoff N. Transitions entre les filons de quartz et les pegmatites stannifères de la région de Musha--N'tunga (Rwanda) [J]. *Ann. Soc. Geol. Beige.* 1987, 92:193-213.
- [21] Bowden P, Karche J P. Mid plate A-type magmatism in the Niger-Nigeria anorogenic province: age variations and implications[A]. In: African Geology[C]. Ter-vuren: Elsevier, 1984, 167-177.
- [22] Pohl W. Géologie de la mine de Bugarama et de ses environs (Rwanda, Afrique) [J]. *Bull. Serv. Geol.* 1975, 8:13-42.
- [23] Frisch W. Die Wolfram-Lagerstätte Gifurwe (Rwanda) und die Genese der zentralafrikanischen Rhenit-Lagerstätten. *Jahrb[J]. Geol. B.A. Wien.* 1975, 118: 119-191.
- [24] Pargeter R C. The Ruhiza ferberite deposit, Kigezi [M]. Uganda: Rec. Geol. Surv, 1956, 27-46.
- [25] Varlamoff N. Classification des gisements d'étain, Acad[J]. *R. Sci. Outre-Mer.* 1975, 19(5):1-63.
- [26] Cerny P. Fertile granites of Precambrian rare-element pegmatite fields: is geochemistry controlled by tectonic setting or source lithologies[J]. *Precambrian Res.* 1991, 51:429-468.
- [27] Pohl W. Metallogeny of the northeastern Kibaran belt, central Africa- recent perspectives[J]. *Ore Geology Reviews.* 1994, 9:105-130.
- [28] Franceschi G. Primary gold mineralization in SW Rwanda[J]. *IGCP 255; Newsletter/Bulletin.* 1990, 3: 19-25.
- [29] Brinckmann J, Lehmann B, Timm F. Proterozoic gold mineralization in NW Burundi[J]. *Ore Geol. Rev.* 1994, 9(2): 85-103.
- [31] Deblond A, Tack L. Main characteristics and review of mineral resources of the Kabanga-Musongati mafic-ultramafic alignment in Burundi [J]. *Journal of African Earth Sciences.* 1999, 29(2):313-328.
- [32] Gosse R. The Kabanga Ni-(Co-Cu) Sulphide deposit, Western Tanzania[J]. *IGCP no.255 Newsletter/Bulletin.* 1992, 4:73-76.
- [33] Danielson V. Sutton Resources Ltd press release[J]. *Northern Miner.* 1996, 82(10):1-15.
- [34] Danielson V. Sutton Resources Ltd press release[J]. *Northern Miner.* 1997, 83(22):11.
- [35] Cawthorn R G, Davies G, Clubley-Armstrong A, et al. Sills associated with the Bushveld Complex, South Africa: an estimate of the parental magma composition [J]. *Lithos.* 1981, 14:1-16.
- [36] Chai G, Naldrett A J. The Jinchuan Ultramafic intrusion: cumulate of a high-Mg basaltic magma[J]. *Journal Petrology.* 1992, 33:277-303.
- [37] Lightfoot P C, Keays R, Moore M, et al. The geochemistry of the main mass, sublayer, offsets and inclusions of the Sudbury Igneous Complex, Ontario[A]. Ontario Geological Survey Mineral Deposits Study Series[C]. Toronto: Ontario Geological Survey, 1997, 504-516.
- [38] Peredery W V. Relationship of ultramafic amphibolites to metavolcanic rocks and serpentinites in the Thompson belt, Manitoba[J]. *Canadian Mineralogist.* 1979, 17:187-200.
- [39] Ziserman A, Zigirabili J, Petricec V, et al. Données sur la métallogénie du Rwanda. Enseignements tirés de la carte des gisements minéraux[J]. *Chron. R.* 1983, 471: 31-40.
- [40] Niyondezo S. Les ressources minérales du Kibarien au Burundi. UNESCO Geol. Developm. Newsl. 1984, 3:37-41.
- [41] Barnes J W. The mineral resources of Uganda[J]. *Bull. Uganda Geol. Surv.* 1961, 4: 1-89.
- [42] Rumvegeri B T, Katabarwa J B. Géochimie des granitoïdes kibariens du Kivu (Est-Zaïre) et du Rwanda: implications géodynamiques[J]. *C.R. Acad. Sci.* 1990, 311 (2): 959-963.
- [43] Caut S, Pohl W. Lead isotope composition of sulfide minerals from Kibaran mineralisations in Rwanda [J]. *IGCP 255; Newsletter/Bulletin.* 1988, 1:11-13.
- [44] Cahen L, Snelling N J. The geochronology of Equatorial Africa[M]. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1966, 195.
- [45] Pohl W, Hadoto D P M. Granite-related Kibaran gold mineralization at Mashonga, Bushenyi District (SW-Uganda) [J]. *IGCP 255; Newsletter/Bulletin.* 1990, 3:61-67.
- [46] Jung D, Meyer F M. Les métabasites du Rwanda[J]. *IGCP 255; Newsletter/Bulletin.* 1990, 3:37-50

Impact of Continued Heavy Rainfall on Loess Land Slide Hazard Areas: A Case Study on Yan'an

WANG Tao, ZHAO Xue-li, QI Pu-rong

(Shaanxi Nuclear Industry Engineering Investigation Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: On July 2013, Yan'an district has happened a heavy continuous rainfall which was maximum intensity, longest duration and shortest interval since 1945 meteorological records. In this process, a lot of landslide geological hazards occurred in the gully slope region. Through the field investigation and geological investigation of the great and typical landslide geological hazards, landslide genesis and influencing factors were analyzed. The results show that if the angle of slope is more than 28° , the slope shape is the ladder-type or compound-type, and the slope is composed with quaternary alluvial loess plateau, the landslide geological hazard happens with a higher probability. And simultaneously when rainfall is greater than 100 mm and soil soak depths is greater than 55 cm, there would be a higher probability of the debris flow on slope. Therefore, the new project in loess area (Yan'an) should be avoided the slope which have a steep gradient, a slope deformation complex and relatively thickness alluvial loess plateau. During rainfall time, precipitation should be strict monitored, and evacuate people who are in geologic disaster occurrence district in time.

Key words: landslide; Quaternary; alluvial loess plateau; stability coefficient; uncompaction saturated loess; mud-flow

Geological Characters and Resources Potential in the Kibaran Belt, Central Africa

HE Sheng-fei, LIU Xiao-yang, WANG Jie, SUN Kai, REN Jun-ping

(Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: The Mesoproterozoic Kibaran belt is composed of three distinct stratigraphic units, they are quartzites, metapelitic rocks and intrusive granitic rocks. Complete cycle of intra-continent rift magmatic evolution can be found in Kibaran, we propose the following. First of all, the crustal extension to receive deposits, at the same time, the lithospheric thinning and the asthenosphere upwelling, result in mafic-ultramafic magma invaded into upper crust and formed the bimodal magmatic rocks. After this, the collision orogeny make the sediments folded and formed mountain, and then, magma invaded in the core of anticline. Then the hydrothermal ore-bearing liquids rose following the channel which formed at the tectonic event before, and deposited in the contact zone between the granite and basement or come from Mesoproterozoic to early Neoproterozoic. The mafic-ultramafic rocks in the Kibaran belt is very famous in Cu-Ni mineralization, and also have great potential of PGE-Au mineralization. Cassiterite-granite is a very important kind of ore-bearing granites, and the pegmatites are well known for their Sn-W-Au, Nb-Ta, Li, Be mineralization. Gold usually can be found in tectonic breccia type of fracture zones, and it is very close to cassiterite granite in genetic.

Key words: Kibaran belt; geological character; resources potential; Sn-W-Au; Cu-Ni