

赞比亚北部班韦乌卢地块演化及矿产资源研究现状

任军平,左立波,许康康,王杰,刘晓阳,何胜飞,刘宇,贺福清

中国地质调查局天津地质调查中心,天津,300170

内容提要:赞比亚北部班韦乌卢地块受到古元古代乌本迪构造带、新元古代基巴拉构造带、新元古代伊鲁米德构造带及泛非期卢弗里安构造带的影响,主要分布有金、锰和金刚石矿床(点)。金矿床(点)主要赋存于姆波罗科索盆地东部姆巴拉组以紫红色砾岩—砂岩为主的碎屑沉积岩中,并且有较好的矿化线索。锰矿床主要分布在曼萨周围,可分为沉积型和构造型两类。班韦乌卢地块东部边缘发育含金刚石的钾镁煌斑岩和金伯利岩,在伊索卡地区前人利用重砂方法找到金刚石,推测地块内部可能寻找到含金刚石的钾镁煌斑岩和金伯利岩。因此,作者通过研究班韦乌卢地块的演化及其矿产资源现状,认为该地区具有较好的找矿潜力,可为中资矿业企业的矿权登记及矿产开发等方面提供基础的地质资料和科学依据,符合国家实施的矿产资源勘查开发“走出去”战略和“一带一路”战略。

关键词:构造演化;金;锰;金刚石;研究现状;班韦乌卢地块;赞比亚北部

在国际铜等有色金属价格大幅下跌的背景下,对于国家实施矿产资源勘查开发“走出去”战略和“一带一路”战略既是机遇也是挑战。近年来,中国海外矿业直接投资增长迅猛,商务部发布的对外直接投资公报数据显示,2004年中国对外直接矿业投资18亿美元(含石油和天然气开采;佚名,2014)。中国矿业联合会秘书长陈先达先生2012年6月20日表示,2011年中国非洲矿业投资总额为151亿美元(含石油和天然气开采),同比增长10倍左右,非洲已经成为中国企业海外矿业投资主要目的地之一(谷永强,2012)。2013年中国企业在南部非洲的固体矿产投资达10.91亿美元,2014年达13.39亿美元(佚名,2015)。世界银行拟筹资10亿美元绘制非洲矿产地图(王新俊,2014),可见非洲是世界各国矿产资源投资的热土。16世纪初欧洲国家就开始走进非洲,目前非洲大型—超大型的矿山多被欧美等进驻非洲较早的矿业公司控制。从目前已出版的有关赞比亚基础地质图件和地学研究论文分析,德国、澳大利亚、加拿大和美国的研究者占据80%,赞比亚、坦桑尼亚和南非等国家的研究者占据20%,中国出版或发表的英文成果很少。基础地质研究工作是一个长期性的工作,中国矿业企业走进非洲多是从20世纪90年代以后才开始,收购国外

矿山的成功案例较少,作者认为这可能与中国企业对非洲基础地质资料的搜集与分析有重要的关系,我们也为盲目的国外投资付出了较为沉重的代价。

赞比亚地处非洲中部,属于内陆国家,周围与刚果(金)、坦桑尼亚、马拉维、莫桑比克、津巴布韦、博茨瓦纳、纳米比亚和安哥拉接壤,国土总面积752 614 km²,划分为9个行政省份,全国总人口1100多万,其中首都卢萨卡(Lusaka)人口为150万,官方语言为英语。赞比亚经济结构较为单一,采矿业、农业和旅游业为其经济的三大支柱,其中采矿业相对较发达,主要是铜矿和钴矿的开采和冶炼。赞比亚制造业较落后,主要依赖进口,其包括化肥、纺织、水泥、玻璃、粮食加工、制糖、轮胎、锯木、汽车装配等。赞比亚能源主要来自于电力、石油、木材和煤炭等,其中水电资源丰富,约占全国总用电量的97%。

矿产资源勘查开发要“走出去”,就需要对收集的基础地质资料进行充分的研究。我们在执行国家地质调查项目“非洲中南部重要矿床地质背景、成矿作用和找矿潜力研究”(项目编号:1212011220910)和商务部技术援外项目“援赞比亚北部省卡萨马地区区域地质与地球化学调查”期间,对赞比亚北部地区的有关资料进行了系统收集和整理,对班韦乌卢地块的地球动力学演化和矿产

注:本项目为中国地质调查局项目(编号:1212011220910)和商务部技术援外项目的成果。

收稿日期:2015-04-02;改回日期:2016-02-18;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2016.04.015

作者简介:任军平,男,1980年生。高级工程师。主要从事地质矿产勘查与研究工作。Email: rjp2333@126.com。通讯地址:天津市河东区大直沽八号路4号;电话:022-84112929。

锰和金刚石矿床(点),对于它们的研究除砾岩型金矿床(点)外,锰矿床(点)和金刚石矿床(点)可查阅的资料稀少。Searle(1972)对班韦乌卢地块中森加山(Senga Hill)地区地层进行了初步研究。Unrug(1984)对赞比亚北部中元古代姆波罗科索群地层学和沉积演化进行过研究。Andrews-Speed and Unrug(1984)对班韦乌卢地块上含金地层进行了初步研究。Andrews-Speed(1986,1989)对班韦乌卢地块中含金地层进行了较为深入研究,认为班韦乌卢地块中的基底中不含金,推测金可能与200多千米以外的坦桑尼亚克拉通中的绿岩带有关,但是未见具体分析依据。任军平等(2014)对赞比亚东北部班韦乌卢地块地质特征及潜力矿产进行了初步分析。

2 区域构造演化

2.1 班韦乌卢地块

在班韦乌卢地块东部毗邻乌本迪带地区,有关花岗岩类的各种 Rb-Sr 等时线年龄数据已经报道,其年龄区间主要为 $1869 \pm 40 \sim 1824 \pm 126$ Ma (Schandelmeier, 1983)。在班韦乌卢地块西部曼萨(Mansa)附近, Brewer et al. (1979)报道了花岗岩类和火山岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄分别是 1833 ± 18 Ma 和 1812 ± 22 Ma。在赞比亚铜带省穹窿地区, John(2001)分别报道了索卢韦齐(Solwezi)穹窿花岗岩类的锆石 TIMS U-Pb 年龄为 1874 ± 9 Ma 和卡邦波(Kabompo)穹窿花岗岩类的锆石 TIMS 年龄为 1884 ± 10 Ma。在刚果(金)卢伊纳(Luina)穹窿地区, Ngoyi et al. (1991)和 Dejonghe(1995)报道了花岗岩类锆石 U-Pb 年龄分别为 1882 ± 20 Ma 和 1880 ± 20 Ma。Kabengele et al. (1991)和 Brewer et al. (1979)都研究了约 1.85 Ga 的侵入岩—火山岩,认为沿着班韦乌卢地块的活动性聚敛型边缘存在火山弧。Lenoir et al. (1994)利用乌萨加兰(Usagaran)和乌本迪(Ubendian)带构造热事件的相似性说明存在一个长期持续性的活动陆缘沿着坦桑尼亚克拉通和刚果克拉通边缘出现,并且沿着乌本迪压扭性剪切带发育了约 1.8 Ga 侵入体—火山岩组合。曼布韦(Mambwe)片岩带地区卢切韦(Luchewe)花岗岩边部的斑状花岗岩年龄为 1824 ± 124 Ma (Schandelmeier, 1980;图2)。Brewer et al. (1979)利用全岩 Rb-Sr 等时线方法获得曼萨地区花岗岩体中的两组年龄分别为 1833 ± 18 Ma 和 1541 ± 16 Ma。在班韦乌卢地块中最年轻的岩石是卢森盖

(Lusenga)正长岩,其全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 1145 ± 20 Ma (Brewer et al., 1979),还存在 1040 ~ 700 Ma 的其它基性岩墙 (Schandelmeier, 1983; Daly, 1986)。

从目前资料来看,班韦乌卢地块中的大部分岩石年龄都在 1.9 ~ 1.8 Ga 之间。

2.2 乌本迪构造带

在乌本迪带中各种变形的片麻岩基底单元的锆石 U-Pb 年龄及锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 蒸发年龄为 $2093 \pm 1 \sim 1932 \pm 9$ Ma (Dodson et al., 1975; Lenoir et al., 1994; Ring et al., 1997),许多毗邻乌本迪带的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $1864 \pm 32 \sim 1836 \pm 86$ Ma (Schandelmeier, 1983; Kabengele et al., 1991; Lenoir et al., 1994)。马拉维北部乌本迪带中 2002 ± 0.3 Ma 和 $1995 \pm 0.4 \sim 1988 \pm 0.6$ Ma 的高级变质花岗片麻岩年龄可能代表了两个不同阶段的麻粒岩相,后期又出现了 $1969 \pm 0.4 \sim 1932 \pm 9$ Ma 的花岗岩类侵入体 (Dodson et al., 1975; 单颗粒锆石蒸发定年, Ring et al., 1997)。这些花岗岩类的地球化学数据显示其与火山弧密切相关,并且 Ring et al. (1997)认为形成于 2050 ~ 1930 Ma 的花岗岩反映了一种长期活动的安第斯型俯冲带。Ring et al. (1999)认为 1119 ~ 1087 Ma 的变质变形的 A 型花岗岩形成于乌本迪构造带中。

从目前资料来看,作者认为乌本迪带的演化可能开始于古元古代,定型于新元古代晚期。

2.3 基巴拉(Kibaran)构造带

Gérards and Ledent (1970)测得构造带中正片麻岩的锆石 U-Pb 年龄为 1940 ± 30 Ma,并且获得 Butare 地区 Mugere 杂岩体的两个锆石的微区 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分别为 2494 Ma 和 2439 Ma,其中反映早期年龄的锆石可能来源于古元古代早期的沉积地层或下覆的古元古代早期的基底,一个锆石核部的年龄为 2600 Ma,其可能来源于新太古代基底。

基巴拉带不仅包含一个碰撞造山事件,也包括北部盆地的形成,其主要发生在 1.4 ~ 1.0 Ga (Kampunzu et al., 1986; Rumvegeri, 1991; Fernandez-Alonso and Theunissen, 1998; Kokonyangi et al., 2006)时期,其中在 1375 Ma 时期发生了非造山双峰构造岩浆伸展运动,通过裂谷作用破坏了统一的陆块,进而形成了大量的基性—超基性层状侵入体(如 Kapalagulu 杂岩体)及源于地幔的岩浆岩,其部分熔融上地壳并形成了大量的 S 型花岗岩 (Klerkx et al., 1987; Tack et al., 2010)。

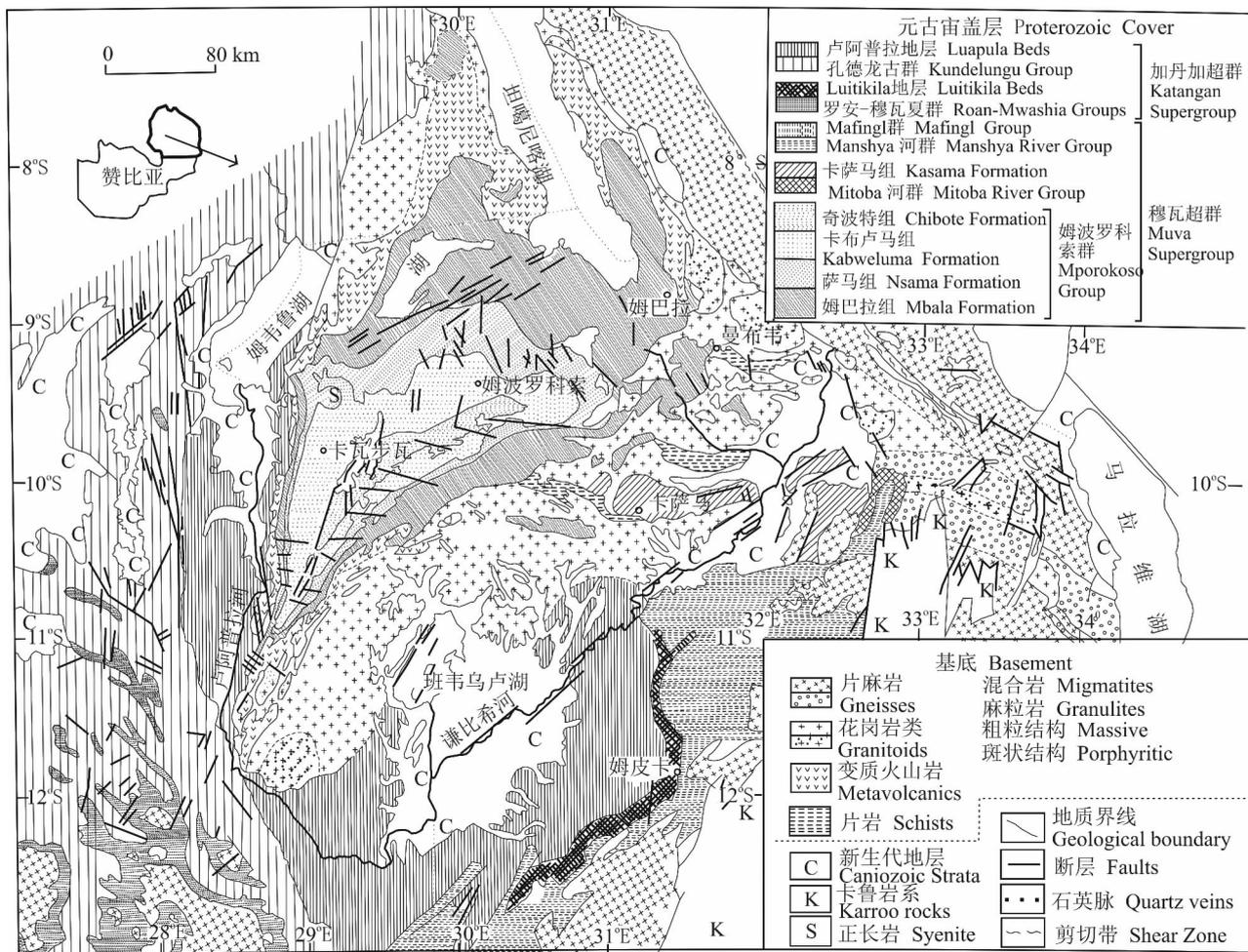


图2 班韦乌卢地块地质图(据 Thieme,1970;Schandelmeier,1980;Unrug,1984)

Fig. 2 Geological map of the Bangweulu Block

Johnson et al. (2006)在构造带南部发现大量与陆缘弧相关的年龄为 1.09 ~ 1.04 Ga 的岩浆岩侵入古元古代基底中。1079 ± 14 Ma 的正片麻岩反映了中元古代碰撞事件的存在(锆石 SHRIMP U-Pb 方法, Kokonyangi et al., 2006)。1000 Ma 时期的挤压造山事件影响范围较大,可能涉及到伊鲁米德带(De Waele et al., 2009),并且可能与罗迪尼亚(Rodinia)超大陆的合并有关(Tack et al., 2010)。

Maier et al. (2007)利用锆石 SHRIMP U-Pb 方法测得卡邦加(Kabanga)北部基性—超基性岩体的年龄为 1403 ± 14 Ma。Tack et al. (2010)运用锆石 SHRIMP U-Pb 测年方法测得带中大量的 S 型花岗岩年龄约为 1376 ± 5 Ma, Bukirasazi 花岗岩的侵位年龄约为 1205 ± 19 Ma 以及刚果(金)伊托姆伯维(Itombwe)地区卡斯卡(Kasika)花岗岩年龄为 986 ± 10 Ma。Cahen et al. (1984)和 Pohl (1994)都认为

新元古代“锡型花岗岩”及 970 Ma 相关的成矿作用时期都是基巴拉带活动的证据。Tack et al. (2010)认为卢旺达 Kilimbi—Muzimu 的 S 型花岗岩中锆石的低 Th/U 增生边缘年龄为 966 ± 11 Ma (锆石 SHRIMP U-Pb 测年)也反映了“锡型花岗岩”侵位事件的存在。

从目前资料来看,作者认为基巴拉构造带的演化时间为 1403 ± 14 ~ 970 Ma。

2.4 伊鲁米德(Irumide)构造带

伊鲁米德构造带包括变形的基底单元和变质沉积层序两部分,强烈变质作用可使岩石变质至角闪岩相,但是也较好的保存了古元古代火山岩层序,其整体被中元古代晚期的伊鲁米德造山带(1.02 Ga)时期裸露面积较大的高钾花岗岩类侵入。近年来,在公开出版的地质报告及附件中许多锆石 U-Pb 年龄证实伊鲁米德带包含古元古代(2.05 ~ 1.93 Ga)

基底(Rainaud et al., 2005; De Waele, 2005), 基底被 1.66 ~ 1.55 Ga 时期的 Lukamfwa 岩浆侵入, 并且 1.02 Ga 的伊鲁米德事件是最终的强烈变形期(De Waele et al., 2003; De Waele, 2005)。伊鲁米德事件形成 1.05 ~ 1.00 Ga 时期大量的高钾花岗岩并且伴有少量 0.95 Ga 的构造后期碱性岩体(De Waele, 2005)。在伊鲁米德带中的浅海相石英砂岩和泥质岩变形地层在西南部被命名为卡诺纳(Kanona)群, 在东北部被命名为 Manshya 河群(De Waele and Mapani, 2002)。

从目前资料来看, 作者认为伊鲁米德构造带的演化时间为 1.05 ~ 0.95 Ga。

2.5 卢弗里安构造带

卢弗里安(Lufilian Arc)构造带也称加丹加带或中非铜钴成矿带或卢弗里安铜钴成矿带, 其名称最早是被 Garlick 提出(Mendelsohn, 1961), 是泛非构造运动的结果, 区域内的岩石单元主要包括前寒武纪的基底、加丹加超群及卡拉哈里(Kalahari)组。

Armstrong et al. (1999) 通过混合岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定恩昌加矿床附近基底穹隆中花岗岩的侵入年龄为 877 ± 10 Ma。Cailteux et al. (2007) 研究发现恩昌加等矿区的侵入体(765 ~ 735 Ma) 侵位于迪佩特(Dipeta)亚群中。

Armstrong et al. (1999) 的定年数据对加丹加盖层沉积年代的界定起了很大作用, 接近罗安群底部的长石砂岩的碎屑锆石年龄有两个分布(880 Ma 和 1800 ~ 2000 Ma)。Key et al. (2001) 利用锆石 SHRIMP U-Pb 方法测得罗安群中安山质玄武岩年龄约为 765 Ma, 孔德龙古(Kundelungu)组中的斑状玄武岩年龄为 735 Ma。

对赞比亚境内的孔科拉(Konkola)矿床内含铜矿物黄铜矿的 Re-Os 同位素年龄研究表明, 矿床的成矿年龄为 816 ± 62 Ma (Selley et al., 2005)。Rainaud et al. (2005) 对于罗安群中锆石 U-Pb 年龄数据研究表明罗安群沉积于 880 ~ 735 Ma, 这也可能是同生沉积层状铜钴矿的形成年龄。

在赞比亚坎萨希(Kansanshi)地区, Torrealday et al. (2000) 利用 K-Ar、Rb-Sr 和 U-Pb 等多种测年方法确定了变质作用高峰期大约发生在 700 Ma。根据坎萨希铜矿床中近平行的三期脉体, 使用 Re-Os 法对采自每组脉体中的辉钼矿进行年龄测定, 获得两个特征年龄: 512.4 ± 1.2 Ma 和 502.4 ± 1.2 Ma。对采自最后形成的脉体中独居石进行的离子探针 U-Pb 年龄分析, 测得 U-Pb 年龄为 511 ± 11 Ma。在刚

果(金)南部变质后的基普希(Kipushi)角砾岩筒中方铅矿 Pb-Pb 年龄为 456 ± 18 Ma, 以及在赞比亚铜矿带北缘切穿姆索希(Musoshi)铜矿床的同构造和构造期之后的脉体中金红石的 U-Pb 年龄为 513 ~ 496 Ma。

从目前资料来看, 作者认为卢弗里安构造带主要包括两个活动阶段: 第一个阶段是 765 ~ 735 Ma 的构造带内沉积岩的形成时期, 第二个阶段是 510 ~ 500 Ma 的多阶段构造叠加时期即泛非运动时期(任军平等, 2013)。

3 岩石地层单元

班韦乌卢地块主要由基底和沉积盖层两部分组成。

3.1 基底

基底主要包括片岩带、安山质一流纹质变质火山岩、花岗岩类岩基和其它侵入体。

3.1.1 片岩带

片岩带主要有三个, 平行分布于班韦乌卢地块东部(图2), 走向北西—南东向或近东西向, 片岩带之间被出露的 50 ~ 60 km 宽的花岗岩体隔开。最北部的曼布韦片岩带向东消失于花岗岩体中, 西南部两个较大的片岩带间断的分布在花岗岩类岩石中, 出露面积 $10 \text{ km} \times 75 \text{ km} \sim 100 \text{ km}$, 其它大量片岩带作为捕虏体零星的分布于姆巴拉东部的花岗岩体及鲁尼(Luni)花岗岩体中(Schandelmeier, 1980)。

片岩带主要为一套含云母或绿泥石的石英长石质片岩组合, 局部为源于酸性火山岩或半粘土质—砂屑沉积物, 夹少量石英岩和变质长石砂岩(Schandelmeier, 1980), 片岩带附近局部可见白云母—黑云母花岗变晶岩。斜黝帘石—阳起石—钠长石—石英组合说明片岩带变质程度可达绿片岩相, 后构造时期的堇青石(Deans, 1938)和花岗变晶岩中零星出现的石榴子石也证明了这一点, 其被后期的花岗岩体包围(图2)。

Schandelmeier (1980) 利用 Rb-Sr 等时线方法测得曼布韦花岗闪长岩边界的曼布韦片岩带全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 1869 ± 40 Ma。

3.1.2 安山质一流纹质变质火山岩

安山质一流纹质变质火山岩露头主要分布于班韦乌卢地块中心的姆波罗科索盆地外围(图2), 其在盆地的北部和西部连续出露, 但是在盆地南部的花岗岩体出露区变窄, 其走向在航磁图上反映明显(Saviaro, 1979)。

变质火山岩主要为火山碎屑岩,包括集块岩、角砾岩和细粒凝灰岩,夹有凝灰熔岩。火山碎屑地层包含了小的浅成侵入体、层状斑状安山岩、层状英安岩和流纹岩。英安质和流纹质—英安质凝灰岩主要分布于盆地南部,也有少量安山岩,然而流纹质凝灰岩、流纹岩和凝灰熔岩主要分布于北部和东部,同时有少量落灰凝灰岩(ash-fall tuffs)和水成凝灰岩(water-laid tuffs)。变质火山岩具有高钾钙碱性化学特征(Unrug, 1984), Brewer et al. (1979)利用曼萨地区的变质火山岩测得全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 1816 ± 22 Ma。

坦噶尼喀湖岸边的火山岩见有微弱的褶皱,但是向西变形和重结晶程度增加,其被花岗岩体包围,这可能与卢翁戈(Luongo)褶皱带的变形有关。在火山岩与花岗岩体接触带附近出现了反应绿片岩相的斑状变晶绿帘石—阳起石—钠长石—石英集合体,其可能是长期构造活动的结果。

3.1.3 花岗岩体

花岗岩体是班韦乌卢地块中主要的基底部分,出露面积大,约占整个地块面积的 50%。曼萨地区的花岗岩体与变质火山岩化学特征、年龄和初始的锶同位素比值相近说明它们具有相近的物质来源(Brewer et al., 1979)。

花岗岩体的年龄在前文 2.1 班韦乌卢地块部分讨论较多,这里不再详述。

3.1.4 其它侵入体

其它侵入体主要分布于班韦乌卢地块东北部,包括沿片岩带分布的含少量角闪石的辉长岩、闪长岩和英云闪长岩,以及沿乌本迪带分布的大量花岗岩体(全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 1838 ± 86 Ma; Schandelmeier, 1980)。后乌本迪时期最著名岩体是板条状的 10~20 km 宽的凯特花岗岩,其将班韦乌卢地块中的花岗岩体和变质火山岩与乌本迪带中的混合岩和片麻岩分离超过 200 km。

3.2 沉积盖层

班韦乌卢地块中的沉积盖层从下至上依次为穆瓦超群中的姆波罗科索群和卡萨马(Kasama)群,加丹加超群中的 Luitikila 地层和卢阿普拉地层以及新生代的河流相和湖泊沉积物。

3.2.1 穆瓦超群

(1) 姆波罗科索群

姆波罗科索群分布于班韦乌卢地块中的姆波罗科索盆地中(图 3), Page(1962)认为该套地层没有源于乌本迪带的磨拉石成分。Unrug(1984)对赞比

亚北部姆波罗科索群地层进行了较为系统的研究,整套陆相沉积地层厚度 > 5 km,从下至上可分为 4 个组(图 3):姆巴拉组主要为冲积扇和辫状河流相沉积,成熟度低,主要包括紫红色石英质砾岩及砂岩,局部夹石英砂岩,厚度 > 2 km;萨马(Nsama)组主要为湖泊环境中的凝灰岩和火山碎屑沉积;卡布卢马(Kabweluma)组主要为河流相石英砂岩和少量泥岩;奇波特(Chibote)组主要为源于湖泊环境的硅质泥岩。沉积岩的交错层理和沉积相的变化显示碎屑物质来源于盆地的南部(Andersen and Unrug, 1984;图 3)。

(2) 卡萨马群

卡萨马群出露于班韦乌卢地块中卡萨马附近及其以东地区,主要为一套河流相和河漫滩相沉积,沉积岩包括成熟度高的石英砂岩、赤铁矿化砂岩和红色泥岩,少量石英砾岩。卡萨马群的东南部出露同期分布于伊鲁米德带中的 Mitoba 河群。卡萨马群的厚度 80~300 m,向东厚度逐渐增厚进入伊鲁米德带,同期沉积的 Mitoba 河群厚约 3500 m。沉积岩的交错层理说明古水体流向由班韦乌卢地块向东南部的班韦乌卢地块边部流动,进而进入伊鲁米德带,因此碎屑物质来源于班韦乌卢地块地区(图 3)。

3.2.2 加丹加超群

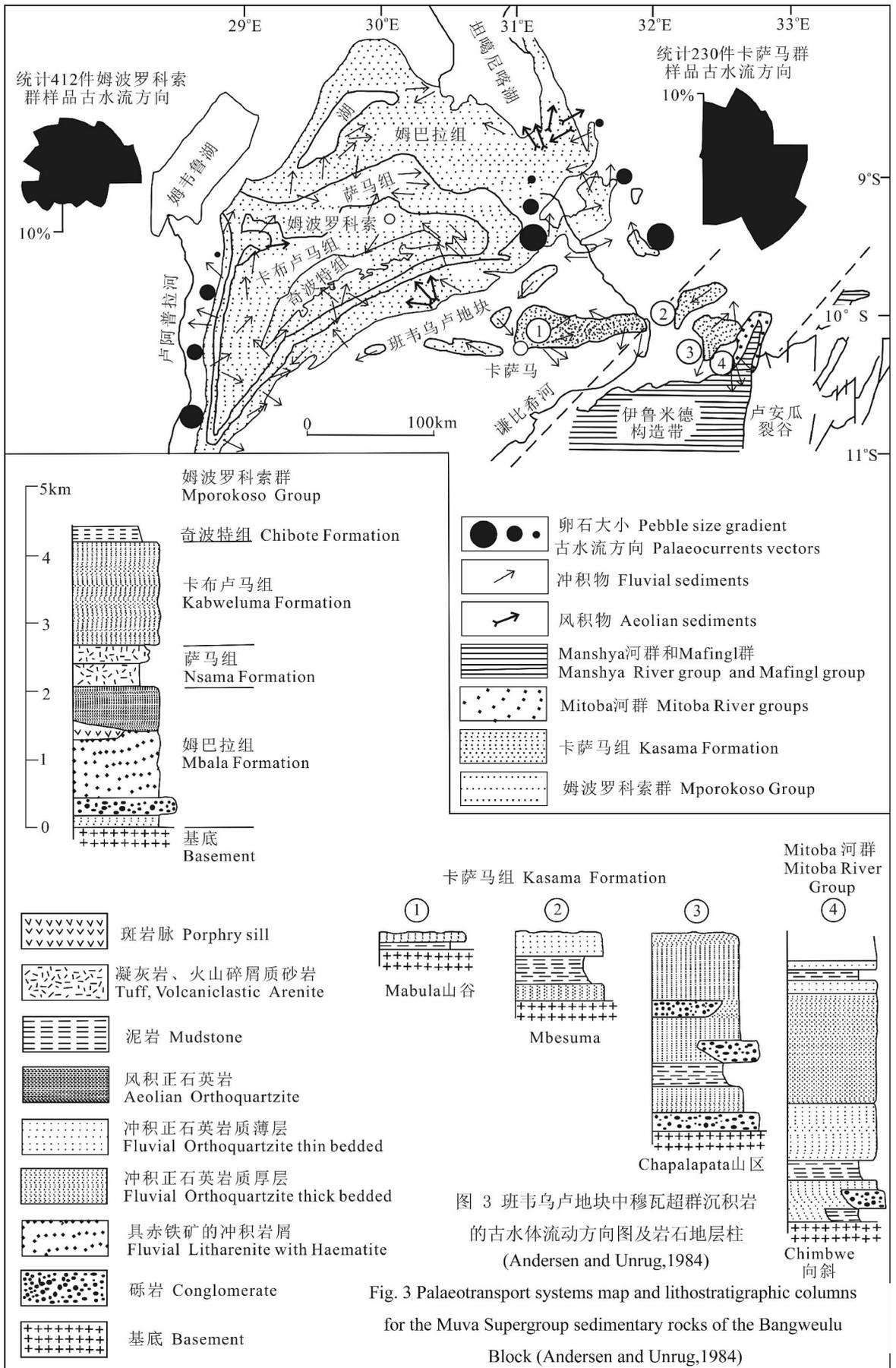
加丹加超群沉积岩不整合上覆于班韦乌卢地块,主要分布于班韦乌卢地块南部和西部边界地区,主要包括 Luitikila 地层和卢阿普拉地层(图 2)。

Luitikila 地层主要为一套粗粒扇积砾岩、河流相石英砾岩和湖泊相沉积岩。Cahen(1970)认为该套地层有伊鲁米德构造带中的磨拉石成分加入。地层出露一般较平坦(Marten, 1968),但是在伊鲁米德带附近地层产状陡倾(Andersen et al., 1981)。

Guernsey(1951)将沿着班韦乌卢地块南部和西部边缘卢阿普拉河谷地区的加丹加超群岩石定义为卢阿普拉地层,主要包括少量冰碛岩、冰川河流相砾岩、砂岩、钙质粉砂岩、页岩和灰岩等,其可能与早—中孔德龙古群有关(Vavrdova and Utting, 1972)。从北部的粗粒碎屑至南部的较细粒碎屑和钙质粉砂岩的岩相变化暗示碎屑物质来源于北部地区。Vavrdova and Utting(1972)对来源于卢阿普拉地层的微体化石进行了研究,认为沉积是在元古宙—寒武纪时期,而不是 Cahen(1982)和 Bonhomme and Bertrand Sarfati(1982)认为的整个元古宙。

4 构造演化

班韦乌卢地块的演化与区域构造演化密切相



关, Andersen and Unrug (1984) 认为其演化主要分为 Eburnian 阶段、后乌本迪沉积阶段、基巴拉阶段和泛非阶段(图 4)。

4.1 Eburnian 阶段

班韦乌卢地块中以花岗岩类岩体为主的基底年龄主要为 1850 ± 35 Ma, 因此 Clifford (1970) 将这个时期定义为 Eburnian 构造热事件。

从目前资料可以看出, 夹于基底中的片岩带和变质火山岩比地块中花岗岩类基底形成要早。岩石学、地球化学和地质年代学资料显示这些古元古代的花岗岩类和变质火山岩存在着时间和空间关系。片岩带、混合岩以及伊鲁米德带边缘的片麻岩都可能是早期地块的组成部分。

4.1.1 前 Eburnian 阶段

Ray (1974) 认为伊鲁米德带北部的片麻岩带与马拉维北部的 Jembia River 麻粒岩和米苏库 (Misuku) 片麻岩属于同一个带。Andersen and Unrug (1984) 认为 Jembia River 麻粒岩可能是前 Eburnian 阶段的残留体或太古宙基底, Haslam et al. (1980) 在马拉维中部也发现了麻粒岩。Schandelmeier (1980) 认为班韦乌卢地块基底中的高 Sr 同位素比率、曼布韦花岗闪长岩和卢切韦花岗岩的化学组成都反映了早期硅铝质地壳或深熔作用活动。

4.1.2 早 Eburnian 阶段

片岩带主要由石英长石质岩石组成, 在乌本迪带中以坦桑尼亚境内的 Ufipa 片麻岩 (Sutton et al., 1954) 和马拉维境内的米苏库片麻岩 (Ray, 1974) 为主。乌本迪带中的片麻岩过渡进入花岗岩类 (如鲁尼花岗岩) 岩体中, 其变质程度发生变化形成高级混合岩化带 (Quennel et al., 1956)。

在此基础上 Andersen and Unrug (1984) 把班韦乌卢地块中的片岩带与乌本迪带中的片岩带和混合岩岩石综合考虑, 但是不包括坦桑尼亚克拉通的多多马 (Dodoman) 超群, Nyanzan 群和 Kavirondan 群中绿片岩和条带铁建造 (Quennel et al., 1956)。

4.1.3 晚 Eburnian 阶段

Andersen and Unrug (1984) 认为在晚 Eburnian 阶段乌本迪构造带的活动扮演了重要的角色。晚 Eburnian 阶段是以乌本迪带中后构造时期的花岗岩和班韦乌卢地块西北部的酸性火山岩岩浆弧及相关的花岗岩类为代表, 并且在班韦乌卢地块外围形成火山碎屑带, 发生时间约 1830 Ma。东北部不同走向的岩体及变质火山岩弱变形说明该阶段主要发生

于地块东部地区。火山岩和深成岩体形成时间、空间分布及地球化学特征显示它们具有同源性。根据现在的构造单元, 推测 Eburnian 时期可能有一个俯冲带位于班韦乌卢地块的西北部, 并且形成大量的安山质岩石 (图 4a)。

4.2 后乌本迪沉积阶段

姆波罗科索盆地的演化与岩浆弧的演化具有密切的关系, 盆地中大量的凝灰岩和来自姆巴拉组和萨马组的沉积物以及流纹质成分 (Guernsey, 1951) 说明当时酸性火山岩和沉积岩共存。姆波罗科索盆地轴部方向与岩浆弧的长轴方向一致说明盆地演化是岩浆弧演化的后续, 并且聚集后期的沉积物及大量火山碎屑。

Page (1962) 认为姆波罗科索群沉积岩的物源区来源于盆地南部地区, 而不是源于乌本迪构造带。Andersen and Unrug (1984) 认为在早 Eburnian 阶段班韦乌卢地块南部成为盆地的物源区, 这可能与坦桑尼亚克拉通南部边缘的增生有关 (图 4a)。

4.3 基巴拉阶段

4.3.1 前伊鲁米德沉积阶段

基巴拉造山运动开始于垂直运动, 发生于 Eburnian 构造运动结束时期, 在它的影响下班韦乌卢地块的东南部产生沉降带, 并且伴随它的西北部抬升, 这时沉积盆地和源区位置发生了反转, 并且开始剥蚀姆波罗科索群沉积物以形成薄层的成熟度高的卡萨马群沉积岩。由班韦乌卢地块向南部的伊鲁米德构造带方向卡萨马群厚度逐步增大并且在构造带的边缘发育大量正断层 (图 3)。

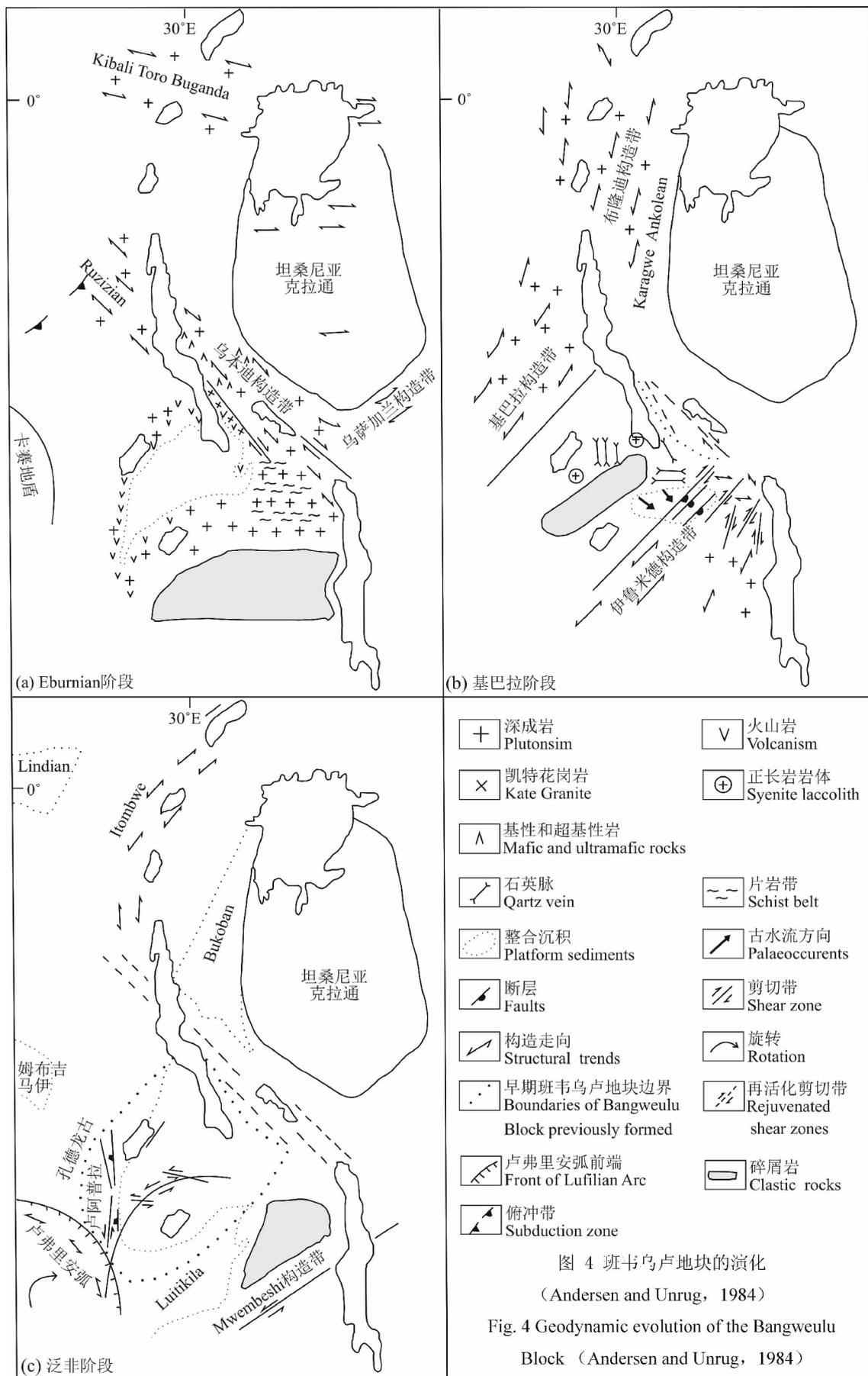
在伊鲁米德构造带中, 首先沉积了厚度较大的 Mitoba 河群河流相沉积岩, 其次沉积了 Manganga 河组和 Manshya 河群浅海相沉积岩 (Daly and Unrug, 1982)。

4.3.2 基巴拉变形和岩浆作用阶段

沿着班韦乌卢地块西部边缘的基巴拉构造带可能与基底中的断层和剪切带的演化有关 (图 4b), 并且在班韦乌卢地块西部出现两个同期形成的正长岩岩体以及在乌本迪构造带中也出现两个同期形成的花岗岩体 (图 2)。

卢森盖和恩坎巴湾 (Nkamba Bay) 正长岩是含钾角闪石黑云母正长岩, 其沿着基底和姆波罗科索群的不整合面侵入形成岩盖式侵入岩体。Brewer et al. (1979) 利用全岩 Rb-Sr 等时线方法测得卢森盖正长岩年龄为 1134 ± 8 Ma。

1108 ± 43 Ma 的 Lwakwa 和姆文加 (Mwenga) 花



岗岩侵入马拉维北部的乌本迪构造带中的片麻岩内有助于解释基巴拉阶段的变质作用(Ray, 1974),也说明该阶段乌本迪带有再活化现象。

该阶段在班韦乌卢地块中的断层和剪切带常发生角砾岩化作用和胶结作用,在地表形成较大的石英山脊。

4.3.3 后基巴拉沉积阶段

后基巴拉沉积阶段指的是 Luitikila 地层下部地层沉积时期,主要分布于地块南部边缘,可能形成于基巴拉构造旋回的稳定抬升时期,推测与孔德龙古地层同期 (Andersen and Unrug, 1984), Clemmey (1976) 认为该套地层形成时间可能与赞比亚铜带地区罗安 (Roan) 群中的 Midola 碎屑沉积层同期。Luitikila 地层北部和西北部的粗粒沉积的古水流方向说明是来源于伊鲁米德构造带 (Marten, 1968; 图 4C)。

4.4 泛非阶段

4.4.1 前泛非沉积阶段

Clemmey (1976) 认为泛非阶段包括 1050 Ma 左右的底部沉积岩,也包括赞比亚铜带中的罗安群基特韦 (Kitwe) 组及含矿地层。铜带附近的岩相古地理说明侵蚀没有发生在班韦乌卢地块上,但是古水流方向说明物质来源于班韦乌卢地块的西南部和东南部地区 (Van Eden and Binda, 1972)。

孔德龙古群的底部为一套冰碛岩沉积,随着海平面的升高,促使侵蚀区域沿着地块西部及南部边缘延伸至伊鲁米德盆地南部的大面积区域。尽管粗碎屑物质是下孔德龙古组的主体,局部冰川河流相沉积岩沉积于地块边缘,后期分布于稳定地块上的页岩和钙质粉砂岩上覆于冰川沉积岩。

从前期的构造活动看,稳定的班韦乌卢地块西部及西南部的卢弗里安弧前陆地区即刚果(金)孔德龙古高原区域沉积了 10000 m 厚的地层 (Lepersonne, 1974),这说明该时期构造影响的范围大,时间长(图 4c)。

4.4.2 泛非变形阶段

泛非变形阶段主要促使了班韦乌卢地块西南部卢弗里安弧形成,Unrug (1983) 认为该弧形构造是班韦乌卢地块西南角旋绕运动的结果,其导致了地块内部和沿着地块边界的变形。

Drysdall et al. (1972) 认为卢翁戈褶皱带也形成于该阶段。Andersen and Unrug (1984) 认为在基底中形成一个西北向弧形左旋剪切带(图 4c),从而加剧了姆波罗科索盆地中紧闭褶皱的形成,在班韦乌

卢地块东南部形成明显的陡倾逆冲断层,同时在班韦乌卢地块和孔德龙古高原之间的卢阿普拉河西部形成构造边界(SSE 走向的左旋走滑断裂带)。

班韦乌卢地块东北部的千糜岩、乌本迪构造带中的片麻岩和基巴拉构造带中的侵入岩和变质岩年龄都是泛非阶段再活化的证据(Ray, 1974; Uyeda et al., 1975)。

5 矿产特征

赞比亚矿产资源丰富,主要金属矿产有铜、钴、金、铅、锌、镍、锡、锰和铁,宝石矿产包括钻石、海蓝宝石、祖母绿和紫水晶等,能源矿产包括铀、煤、石油和天然气,班韦乌卢地块中主要分布金、锰和金刚石矿床(点)(图 5)。

5.1 金矿床(点)

在赞比亚北部班韦乌卢地块姆波罗科索盆地东部姆巴拉组中前人对含金砾岩进行过探讨 (Guernsey, 1952; Reeve, 1963; Searle, 1972; Gloppen and Steel, 1981; Andrews-Speed, 1986, 1989; Ng'ambi O et al., 1994)。现今当人们提及含金砾岩,就会想到南非的太古宙砾岩型金(铀)矿床,一百年来其黄金总产量居世界各种类型金矿之首,世界其它地区著名的砾岩型金矿床如加纳的塔库瓦 (Tarkwa) 金矿床和巴西的雅科比纳 (Jacobina) 金矿床 (陈毓川等, 1995)。中国不仅有大量关于砾岩型金矿床的跟踪报道 (王杰等, 2014), 也开展了有关华北克拉通含金砾岩的大量研究工作 (万渝生等, 2010; 相振群等, 2014)。

Andrews-Speed and Unrug (1984) 对班韦乌卢地块中含金地层进行了研究。Searle (1972) 对班韦乌卢地块中森加山地区含金地层进行野外描述性的初步研究。Andrews-Speed (1989) 对姆波罗科索盆地中地层层序、构造背景及金铀成矿潜力进行了初步分析,特别是在地层研究过程中将前人研究的剖面 (Smith, 1972; Miall, 1978; Cotter, 1978; Lowe, 1982; Gloppen and Steel, 1981) 简单地拼接,测得砾岩中金的品位最大值为 1.3×10^{-6} , 并且认为班韦乌卢地块中的老基底岩石没有金矿化,推测金可能与 200 多千米以外的坦桑尼亚克拉通中的绿岩带有关,但是未见具体分析依据,其他人员对该地区的研究工作主要集中在局部地区对出露地层描述及区域构造演化等方面,而对整个姆巴拉组地层剖面未开展系统性研究工作,对地层物源区的分析基本未见报道。

目前对于姆波罗科索群(包括姆巴拉组)的形

成时代主要有两种观点:中元古代(Andersen and Unrug, 1984; Andrews-Speed, 1989)和古元古代(Bert De Waele et al., 2006)。本人认为如果研究区的姆巴拉组形成时代划定在中元古代,则来自于坦桑尼亚克拉通中的绿岩带的物质很难穿越盆地北部古元古代的乌本迪造山带,其物源区很可能只限定在乌本迪造山带以南的地区;如果将研究区的姆巴拉组形成时代划定在古元古代,其物源区才有可能与乌本迪造山带北部的坦桑尼亚克拉通中的绿岩带有关。

笔者等在执行“援赞比亚北部省卡萨马地区区域地质与地球化学调查(2012~2015)”项目期间,通过完成 6080 km² 的 1:10 万区域地质与地球化

学调查工作,查明姆巴拉组主要以紫红—紫灰色含砾石英砂岩、石英砾岩以及杂砾岩,肉红色含砾石英粗砂岩与肉红色石英细砾岩互层及灰白色含砾石英中砂岩等碎屑沉积物为主,厚度 >2763.77 m。通过地球化学分析金的品位最大值为 86.5×10^{-9} ,圈出有潜力的化探异常 4 处。对于赞比亚地质调查局总工 A. P. Dokowe 先生等关注的姆巴拉组是否存在寻找类似于南非砾岩型金(铀)矿床的潜力,这还需要进一步工作。

2014 年 7 月,笔者等考察了森加山地区(位于项目工作区北部 20 km 处)一处民采砂金矿点,在河沟中见人工的采坑(图 6a)及简单的淘洗工具(图 6b),当地人用原始的淘洗方法,3 人平均每月提取

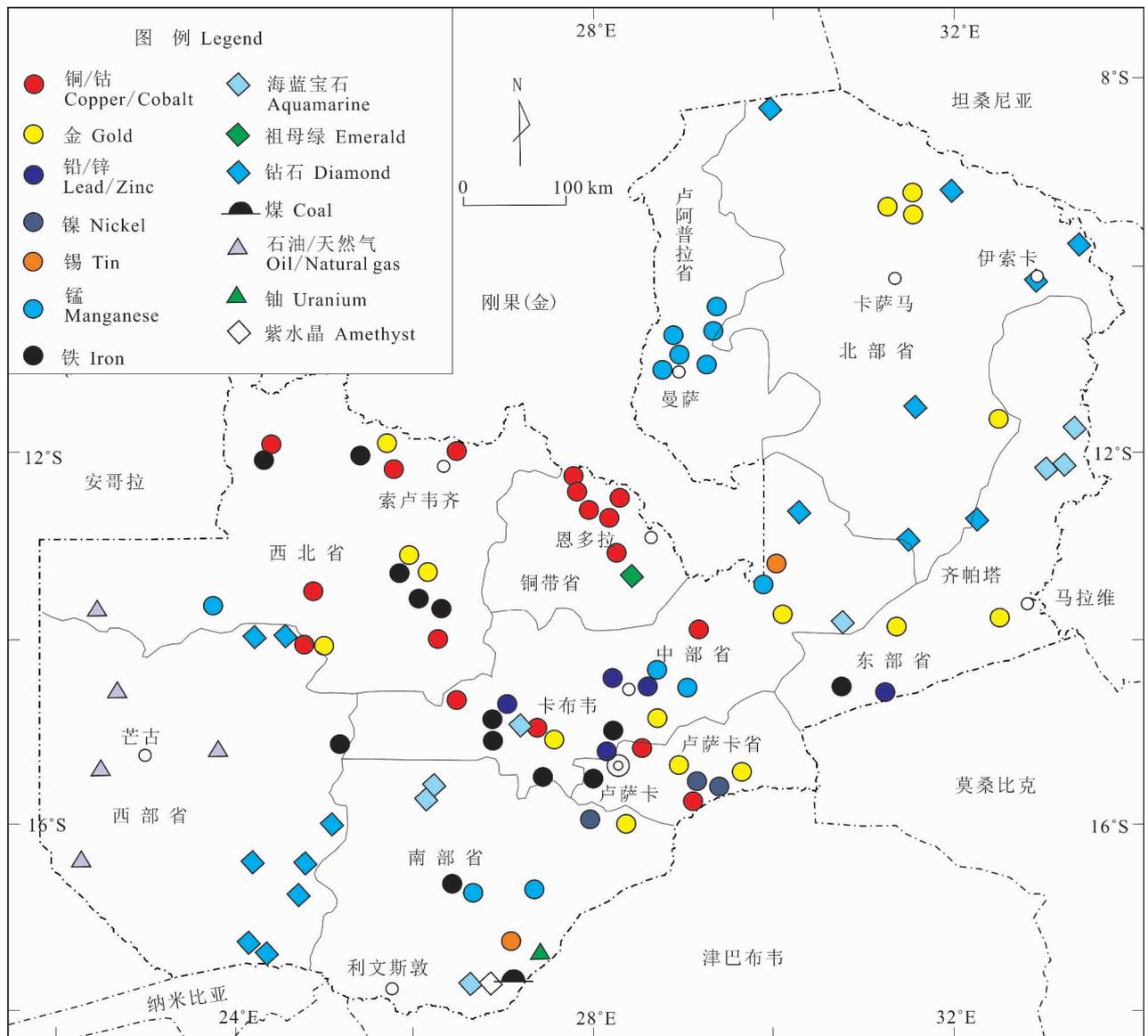


图 5 赞比亚主要矿产分布略图(据 Ng'ambi O et al., 1994 修改)

Fig. 5 Sketch map of the deposits in Zambia(Revised from Ng'ambi O et al., 1994)



图6 赞比亚森加山砂金矿点

Fig. 6 Placer occurrence in Senga Hill, Zambia

砂金 30 ~ 35 g, 目估品位大于 3×10^{-6} 。追溯至上游约 150 m 处出露紫红色砾岩及砂岩(图 6c、d), 局部见条带状赤铁矿(图 6e)和石英砾岩(图 6f)。

从目前资料来看, 班韦乌卢地块中的砾岩型金矿床(点), 虽然开采规模小, 但成矿条件较好, 有较大的找矿潜力(任军平等, 2014)。

5.2 锰矿床

锰矿床主要分布在曼萨周围, 可分为构造型和

化学沉积型两类, 其中以构造型为主, 构造型锰矿体主要受北北东向和北西西向区域性的断裂系统控制, 矿体近垂直产出, 呈透镜状, 宽 0.5 ~ 3.5 m, 长可达 1 km。化学沉积型主要为火山活动时期来源于含锰热液的沉积成矿, 如姆波罗科索群地层中存在的热液沉积锰矿床。已知两类锰矿床有 Mashimba、Mwanasasa、Bahati、Kabasa、Kabula、Lumanwa、Lushiba、Chisamba 和 Bunda。曼萨地区在 1953 年 ~

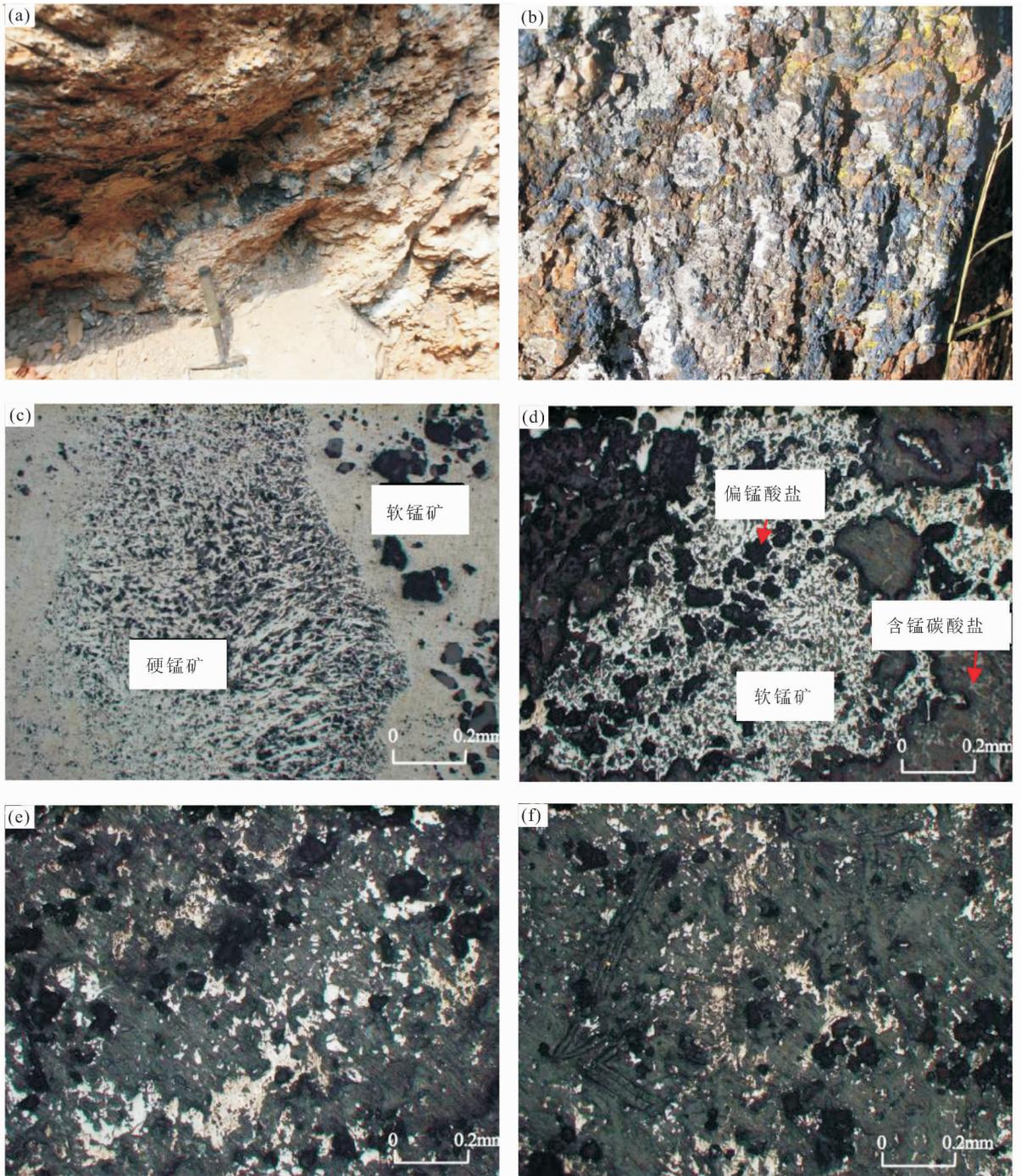


图 7 赞比亚曼萨地区锰矿石特征(连长云等,2011)

Fig. 7 The characteristics of Manganese ore in Mansa,Zambia(Lian Changyun et al. ,2011#)

1961 年间共开采(主要是 Bahati 矿床和 Mashimba 矿床)69 300 t 的锰矿,当时的锰平均品位是 50%。

连长云等(2011)对曼萨地区的锰矿床进行了野外考察,矿体产于残坡积物、花岗岩体的裂隙(图 7a)以及长英质火山岩石中,地表矿化体上部多处可见鲕状豆粒状铁锰矿结核或铁帽,也有砂岩本身

具有锰矿化的特征(图 7b)。经镜下鉴定,主要的矿物为软锰矿,呈乳白色自形柱状、针状及束状集合体,粒径 0.01 ~ 1.1 mm,非均质体,致密块状分布,含量约 75%。经过对采集的样品进行化学分析,矿体含锰为 30% ~ 50%,其中灰褐色安山岩锰的含量高达 68.5%,局部矿石软锰矿含量达 75%。主要的

矿石矿物为软锰矿(含量为55%;图7c、d),硬锰矿(含量为15%;图7c)及含锰碳酸盐(含量为15%;图7d),其它矿石矿物(含量为15%)如偏锰酸盐(图7d)、针状或葡萄状硬锰矿以及黑锰矿等。脉石矿物主要为重晶石、石英和氟石。矿石结构主要为它形结构如含锰碳酸盐矿物呈不规则角砾被其它锰矿物胶结构成它形胶结结构(图7e)。矿石构造以浸染状构造(图7f)、针状构造、角砾状构造和脉状构造为主。

根据目前资料分析,曼萨地区的原生锰矿床可能形成于约1.6 Ga以前的元古代火山活动时期,属于热液沉积成因。矿床后期遭受了风化剥蚀,锰又进行了重新富集,为后期曼萨地区断裂控制的脉型矿床提供了金属的供给。利用地面高精度磁测对于圈定锰矿体具有十分重要的意义。

5.3 金刚石

路风香等(1998)认为有经济价值的金伯利岩型和钾镁煌斑岩型金刚石矿床类型不一定是在固态的环境生长,古老地幔孕育着多次熔融作用,在稳定的克拉通区,熔融的岩浆往往不能顺利地侵入于地壳或喷出到地表,多形成夭折的岩浆保存于岩石圈地幔,在地幔内部会出现脉动式的熔流体的流动,它们促使超微粒碳聚集而使金刚石长大,后期被金伯利岩型和钾镁煌斑岩捕获快速上侵形成岩管。

金刚石母岩为钾镁煌斑岩类和金伯利岩,金伯利岩一般可更好地赋存金刚石。自20世纪50年代中期,戴比尔斯(De Beers)公司就在赞比亚从事钻石勘探工作,圈定了许多钾镁煌斑岩和金伯利岩筒如班韦乌卢地块南侧卢安瓜(Luangwa)裂谷西南部和东侧的坦噶尼喀-姆韦鲁(Mweru)地区及伊索卡(Isoka)地区,利用重砂方法在伊索卡地区发现金刚石,其最终报告由Watts, Griffis and McOuat公司编写完成。澳大利亚必和必拓公司(Broken Hill Proprietary Billiton Ltd.)一直在赞比亚进行金刚石勘查,而且已经有了较大的发现(佚名,2012)。赞比亚地质勘探局宣称,其下属的MLN矿业公司经过为期10年的勘探,在赞比亚北方省和东方省的卢安瓜河东岸姆富韦镇以南的卡庞巴地区探明了一个储量极为丰富的巨型钻石矿,矿区范围50 km × 50 km,共有14个矿脉,预计可以采出50亿美元的钻石(柴世宽等,2002)。

戴比尔斯公司对位于伊索卡附近的伊索卡金刚石矿点(南纬:10°00′~10°50′;东经:32°10′~32°30′)进行了工作(Watts, Griffis and McOuat Limited,

1991),该区域主要出露地层是变质沉积岩及覆盖于基底花岗岩之上的卡鲁(Karoo)岩系,除金伯利岩侵入外,还有辉绿岩岩脉等分布。上世纪30年代,Loangwa 特许(Concessions)有限公司在该地区做过填图工作,1965年De Beers公司做过水系取样调查,并在1969年重新做过更加详细的工作。金伯利岩指示矿物在该区域都有发现,1970~1973年完成700多探井,15000点的磁法测量,188孔的近2000 m的钻探工作。经过工作发现15处金伯利岩,从超过1400m³的金伯利岩、表层土和砾石中找到101颗钻石,总重量0.4849克拉(1克拉=200 mg)。在伊索卡西约3 km的Swarm地区还发现有一个孤立的岩筒,在166.5m³的样品中发现约0.034克拉金刚石48颗。

从目前资料看,作者认为伊索卡地区形成的金伯利岩型和钾镁煌斑岩岩筒可能是在东部卡鲁裂谷的形成过程中引起含金刚石的岩浆上涌形成。

6 结论

班韦乌卢地块中存在许多工作空白区,仅有交通、住宿等条件较好的地区前人开展过研究工作,因此了解班韦乌卢地块的演化及其矿产资源研究现状,可为中资矿业企业的矿权登记及矿产开发等方面提供基础的地质资料和科学依据,符合国家实施的矿产资源勘查开发走“出去”战略和“一带一路”战略。

致谢:野外考察森加山地区民采砂金矿点得到赞比亚地质调查局总工A. P. Dokowe先生、E. M. Chikambwe高级地质师和Chishimba Canisius地质师的帮助,本文中部分资料由重庆市地质矿产勘查开发局川东南地质大队尹冬高级工程师提供,在此一并感谢!

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 陈毓川,沈保丰,蔡文彦,朱明玉,其和日格. 1995. 南非矿山考察简况. 国外前寒武纪地质, 2:1~18.
- 谷永强. 2012. 中国企业对非洲矿业投资增长迅猛[OL]. [2012-06-20] <http://companies.caixin.com/2012-06-20/100402685.html>
- 连长云,包展浩,张文秦,郝国杰,陈斌,辛后田,程银行. 2011. 援助赞比亚地质矿产和航空物探调查——前期考察工作报告. 北京:中国地质调查局援助赞比亚地质矿产和航空物探前期考察组(考察报告,未公开出版).
- 路风香,郑建平,陈美华. 1998. 有关金刚石形成条件的讨论. 地学前

- 缘,5(3):125~131.
- 任军平,王杰,刘晓阳,何胜飞,贺福清,许康康. 2013. 非洲中南部卢弗里安弧 Cu—Co 矿床研究进展. 地质科技情报,32(5):142~152.
- 任军平,许康康,王杰,左立波,刘晓阳,刘宇,贺福清,何胜飞. 2014. 赞比亚东北部班韦乌卢地块地质特征及潜力矿产分析. 矿床地质,33(增刊):1125~1126.
- 王杰,任军平,何胜飞,许康康,刘晓阳,左立波,孙凯,龚鹏辉,贺福清. 2014. 南非主要金矿集区研究现状及存在问题. 地质论评,60(5):997~1008.
- 王新俊. 2014. 世界银行拟筹资10亿美元绘制非洲矿产地图[OL]. [2014-03-24] <http://gb.cri.cn/42071/2014/03/24/6071s4476292.htm>
- 万渝生,苗培森,刘敦一,杨崇辉,王伟,王惠初,王泽九,董春艳,杜利林,周红英. 2010. 华北克拉通高凡群、滹沱群和东焦群的形成时代和物质来源:碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年代学制约. 科学通报,55:572~578.
- 相振群,陆松年,刘欢,田辉,王惠初,李怀坤,王世进,张阔,任云伟,施建荣. 2014. 华北克拉通与南部非洲卡拉哈里克拉通前寒武纪构造演化及成矿作用对比研究(未公开出版).
- 柴世宽,熊思浩. 2002. 赞比亚东部发现巨型钻石矿——规模超过世界第一大矿[OL]. [2002-10-22] http://news.xinhuanet.com/newscenter/2002-10/22/content_603754.htm
- 佚名. 2014. 中企海外矿业投资还在蹒跚学步[OL]. [2014-07-08] http://www.mlr.gov.cn/xwdt/kyxw/201407/t20140708_1323055.htm
- 佚名. 2015. [2014中国经济可持续发展报告]2014年中国企业境外固体矿产投资报告[OL]. [2015-02-09] <http://www.ceweekly.cn/2015/0209/103895.shtml>
- 佚名. 2012. 赞比亚矿业投资指南[OL]. [2012-04-17] <http://app.chinamining.com.cn/focus/GoAbroad/2012-04-17/1334650626d58367.html>
- Abraham D. 1959. The stratigraphical and structural relationships of the Kundelungu system, Plateau series and basement rocks of the mid-Luapula Valley, northern Rhodesia. Univ. Leeds Thesis (Unpubl.): 92.
- Andersen L S and Unrug R. 1984. Geodynamic evolution of the Bangweulu Block, northern Zambia. Precambrian Res., 25: 187~212.
- Andersen L S, Fabian J, Kasolo P C, Misra G B and Vibetti N J. 1981. Agricultural lime potential of calcareous rocks in northern and Luapula Provinces, Zambia. Univ. Zambia (Unpubl. Rep.): 76.
- Andrews-Speed C P and Unrug R. 1984. Gold in the sedimentary cover of the Bangweulu Block, northern Zambia. In: R. P. Foster (Editor), Gold'82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits, Balkema, Rotterdam: 221~237.
- Andrews-Speed C P. 1986. Gold-bearing fluvial and associated tidalmarine sediments of Proterozoic age in the Mporokoso Basin, northern Zambia. Sediment Geol., 48:193~222.
- Andrews-Speed C P. 1989. The Mid-Proterozoic Mporokoso basin, northern Zambia; sequence stratigraphy, tectonic setting and potential for gold and uranium mineralisation. Precambrian Res., 44: 1~17.
- Armstrong R A, Robb L J, Masters S, Kruger F J, Mumba PACC. 1999. New U-Pb age constraints on the Katangan sequence, Central African Copperbelt. Journal of African Earth Sciences, 28(4A): 6~7.
- Bert De Waele, Jean-Paul Liégeois, Alexander A. Nemchin and Francis Tembo. 2006. Isotopic and geochemical evidence of proterozoic episodic crustal reworking within the irumide belt of south—central Africa, the southern metacratonic boundary of an Archaean Bangweulu Craton. Precambrian Research, 148:225~256.
- Bonhomme M G and Bertrand Sarfati J. 1982. Correlation of Proterozoic sediments of western and central Africa and South America based upon radiochronological and palaeontological data. Precambrian Res., 18:171~194.
- Brewer M S, Haslam H W, Darbyshire D P F and Davis AE. 1979. Rb-Sr age determination in the Bangweulu Block, Luapula Province, Zambia. Rep. Inst. Geol. Sci., 79/5:11.
- Cahen L and Snelling N J. 1966. The geochronology of Equatorial Africa. North-Holland Publ. Co., Amsterdam:195.
- Cahen L, Snelling N J, Delhal J and Vail J. 1984. The Geochronology and Evolution of Africa. Clarendon Press, Oxford.
- Cahen L. 1970. Igneous activity and mineralisation episodes in the evolution of the Kibaride and Katangide orogenic belts of central Africa. In T. C. Clifford and I. G. Gass (Editors), African Magmatism and Tectonics. Oliver and Boyd, Edinburgh:97~117.
- Cahen L. 1982. Geochronological correlation of the Late Precambrian sequences on and around the stable zones of Equatorial Africa. Precambrian Res., 18:73~86.
- Cailteux J L H, Kampunzu A B and Lerouge C. 2007. The Neoproterozoic Mwashya—Kansuki sedimentary rock succession in the central African Copperbelt, its Cu—Co mineralisation, and regional correlations. Gondwana Research., 11:414~431.
- Chen Yuchuan, Shen Baofeng, Cai Wenyan, Zhu Mingyu, Qihe Rige. 1995#. South Africa mine investigation. Overseas Precambrian Geology, 2:1~18.
- Clemmey H. 1976. Aspects of stratigraphy, sedimentology and ore genesis on the Zambian copperbelt with special reference to Rokana Mines. Res. Inst. Afr. Geol. Univ. Leeds, 20th Ann. Rep:20~21.
- Clifford T N. 1970. The structural framework of Africa. In: T N Clifford and I G Gass (Editors), African Magmatism and Tectonics, Oliver and Boyd, Edinburgh:1~26.
- Cotter E. 1978. The evolution of fluvial style, with special reference to the central Appalachian Paleozoic. In: A D Miall (Editor), Fluvial Sedimentology. Mem. Can. Soc. Pet. Geol., 5: 361~383.
- Daly M C and Unrug R. 1982. The Muva Supergroup, northern Zambia. Trans. Geol. Soc. S. Af., 85:155~165.
- Daly M C. 1986. The tectonic and thermal evolution of the Irumide belt, Zambia. Ph D Thesis. University of Leeds, Leeds:326.
- De Waele B and Mapani B. 2002. Geology and correlation of the central Irumide belt. J. Afr. Earth Sci., 35(3):385~397.
- De Waele B, Fitzsimons I C W, Wingate M T D, Tembo F, Mapani B and Belousova E A. 2009. The geochronological framework of the Irumide Belt; a prolonged crustal history along the Margin of the Bangweulu Craton. American Journal of Sciences, 309: 132~187.
- De Waele B, Wingate M T D, Mapani B and Fitzsimons I C W. 2003. Untying the Kibaran knot; a reassessment of Mesoproterozoic correlations in southern Africa based on SHRIMP U-Pb data from the Irumide belt. Geology, 31(6): 509~512.
- De Waele B. 2005. The Proterozoic geological history of the Irumide belt, Zambia. Ph D Thesis. Curtin University of Technology, Perth:468.
- Deans T. 1938. Igneous rocks from the Abercorn and Kasama Districts, northern Rhodesia. Geol. Mag., 75: 547~548.
- Dejonghe L. 1995. The copper deposit of Kisenda (SE Shaba, Zaire): A siala-bound mineralization hosted in siliciclastic formations of the

- Roan(Upper Proterozoic). Roy. Mus. central Africa (Belg). Ann. Sc. Geol. ,101:87 ~ 94.
- Dodson M H, Cavanagh B J, Thatcher E C and Aftalion M. 1975. Age limits for the Ubendian metamorphic episode in northern Malawi. Geol. Mag. ,112:403 ~ 410.
- Drysdall A R, Johnson R L, Moore T A and Thieme J G. 1972. Outline of the geology of Zambia. Geol. Mijnbouw,51:265 ~ 276.
- Fernandez-Alonso M and Theunissen K. 1998. Airborne geophysics and geochemistry provide new insights in the intracontinental evolution of the Mesoproterozoic Kibaran belt (Central Africa). Geological Magazine,135: 203 ~ 216.
- Gérards J and Ledent D. 1970. Grands traits de la géologie du Rwanda, différents types de roches granitiques et premières données sur l'âge de ces roches. Annales Société Géologique Belgique,93:477 ~ 489.
- Gloppen T G and Steel R J. 1981. The deposits, internal structure and geometry in six alluvial fan—fan delta bodies (Devonian—Norway)—a study in the significance of bedding sequence in conglomerates. In: Ethridge F G and Flores R M. Eds. Recent and Ancient Nonmarine Depositional Environments: Models for Exploration. Spec. Publ. Soc. Econ. Palaeont. Mineral. ,31: 49 ~ 69.
- Guernsey T D. 1951. A summary of the provisional geological features of northern Rhodesia. Colon. Geol. Miner. Resour. ,1:121 ~ 151.
- Guernsey T D. 1952. A Prospector's Guide to Mineral Occurrences in Northern Rhodesia. British South Africa Company, Salisbury:87.
- Haslam H W, Brewer M S, Davis A E and Darbyshire D P F. 1980. Anetexis and high grade metamorphic in the Champira Dome, Malawi: petrological and Rb-Sr studies. Min. Mag. ,43:701 ~ 714.
- Hunter D R. 1981. Precambrian of the Southern hemisphere. Amsterdam: Elsevier, 1 ~ 882.
- John T. 2001. Subduction and continental collision in the Lufilian Arc—Zambezi belt orogen: a petrological, geochemical, and geochronological study of eclogites and whiteschists (Zambia). Ph D Thesis. University of Kiel Kiel; 1 ~ 78.
- Johnson S, De Waele B and Liyungu K. 2006. U-Pb sensitive high-resolution ion microprobe (SHRIMP) zircon geochronology of granitoid rocks in eastern Zambia: Terrane subdivision of the Mesoproterozoic Southern Irumide Belt. Tectonics,25.
- Kabengele M, Lubala R T and Cabanis B. 1991. Caractérisation pétrologiques et géochimique du Magmatisme ubendien du secteur de Pepa—Lubumba, sur le plateau des Marungu (Nord-Est du Shaba, Zaire). Signification géodynamique dans l'évolution de la chaîne ubendienne. J. Afr. Earth Sci. ,13 (2):243 ~ 265.
- Kampunzu A B, Rumvegeri B T, Kapenda D, Lubala R T and Caron J P H. 1986. Les Kibarides d'Afrique centrale et orientale: une chaîne de collision. UNESCO, Geology for Development Newsletter,5:125 ~ 137.
- Key R M, Liyungu A K, Njamu F M, Somwe V, Banda J, Mosley P N, Armstrong R A. 2001. The western arm of the Lufilian Arc in NW Zambia and its potential for copper mineralization. African Earth Sciences,33:503 ~ 528.
- Klerkx J, Liégeois J P and Lavreau J. 1987. Crustal evolution of the northern Kibaran belt, eastern and central Africa. In: Kröner A. ed. Proterozoic Lithospheric Evolution. In: Proterozoic Lithospheric Evolution. Washington D C; American Geophysical Union, 17: 217 ~ 233.
- Kokonyangi J, Kampunzu A B, Armstrong R, Yoshida M, Okudaira T, Arima M and Ngulube D A. 2006. The Mesoproterozoic Kibaride belt (Katanga, SE D. R. Congo). Journal of African Earth Sciences, 46:1 ~ 35.
- Kröner A. 1977. The Precambrian geotectonic evolution of Africa: plate accretion versus plate destruction. Precambrian Res. ,4:163 ~ 213.
- Lenoir J L, Liégeois J-P, Theunissen K and Klerkx J. 1994. The Palaeoproterozoic Ubendian shear belt in Tanzania: geochronology and structure. J. Afr. Earth Sci. ,19 (3):169 ~ 184.
- Lepersonne J. 1974. Notice explicative de la carte géologique du Zaïre au 1/2 000 000. Dir. Geol. Dept. Min. ,Rep. Zaïre:67.
- Lowe D R. 1982. Sediment gravity flows; II. Depositional models with reference to the deposits of high-density turbidity currents. J. Sediment. Petrol. ,52:279 ~ 297.
- Lu Fengxiang, Zheng Jianping and Chen Meihua. 1998. Discussion on formation condition of Diamonds. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing),5(3):125 ~ 131.
- Maier W D, Peltonen P and Livesey T. 2007. The ages of the Kabanga north and Kapalagulu intrusions, western Tanzania: a reconnaissance study. Econ. Geol. ,102(1):147 ~ 154.
- Marten B E. 1968. The geology of the Chalabesa Mission area: explanation of degree sheet 1131, NW quarter. Geol. Surv. Rep. Zambia,23:26.
- Mendelsohn F. 1961. The Geology of the Northern Rhodesia Copper belt. Mac Donald, London:523.
- Miall A D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: Miall A D. Ed. Fluvial Sedimentology. Mem. Can. Soc. Pet. Geol. ,5: 597 ~ 604.
- Ng'ambi O, Legg C A, Bwalya J J, Chikambwe E M, Mabesere T H, Njobvu K, Mwalla F M and Mulangu S H. Geological and mineral occurrence Map (1 : 2 000 000). 1994. Geological Survey Department in Zambia.
- Ngoyi K, Liégeois J-P, Demaiffe D and Dumont P. 1991. Age tardi-ubendien (Protérozoïque inférieur) des domes granitiques de l'arc cuprifère zaïro-zambien. C. R. Acad. Sci. ,313 (II):83 ~ 89.
- Page B G N. 1962. The stratigraphical and structural relationships of the Abercorn sandstones, the Plateau Series and Basement rocks of the Kawimbe area, Abercorn district, Northern Rhodesia. Res. Inst. Afr. Geol. Univ. Leeds, 6th Ann. Rep. :29.
- Pohl W. 1994. Metallogeny of the northeastern Kibaran belt, central Africa—recent perspectives. Ore Geology Reviews,9:105 ~ 130.
- Quennel A M, Mc Kinley A C M and Aitken W G. 1956. Summary of the geology of Tanganyika Pt. I Introduction and stratigraphy. Mem. Geol. Surv. Tanganyika,1:264.
- Rainaud C, Master S, Armstrong R A and Robb L J. 2005. Geochronology and nature of the Palaeoproterozoic basement in the Central African Copperbelt (Zambia and the Democratic Republic of Congo), with regional implications. J. Afr. Earth Sci. ,42:1 ~ 31.
- Rainaud C, Master S, Armstrong R A, Phillips D, Robb L J. 2005. Monazite dating and ⁴⁰Ar-³⁹Ar thermochronology of metamorphic events in the Central African Copperbelt during the Pan-African Lufilian Orogeny. Journal of African Earth Sciences,42:183 ~ 199.
- Ray G D. 1974. The structural and metamorphic geology of northern Malawi. J. Geol. Soc. London,130:427 ~ 440.
- Reeve W H. 1963. The geology and mineral reserves of Northern Rhodesia. Bull. Geol. Surv. N. Rhodesia,3:213.
- Ren Junping, Wang Jie, Liu Xiaoyang, HE Shengfei, HE Fuqing and XU Kungkung. 2013. Research Progresses on the Cu-Co Deposits of Lufilian Area in the Mid-Southern Africa. Geological Science and Technology Information,32(5):142 ~ 152.

- Ren Junping, Xu Kangkang, Wang Jie, Zuo Libo, Liu Xiaoyang, Liu Yu, He Fuqing, He Shengfei. 2014#. Analysis of geological characteristics and mineral potential in Bangweulu Block, Northeast Zambia. *Mineral Deposits*, 33(Supp.) : 1125 ~ 1126.
- Ring U, Kröner A and Toulkeredis T. 1997. Palaeoproterozoic granulite-facies metamorphism and granitoid intrusions in the Ubendian—Usagaran Orogen of northern Malawi, east—central Africa. *Precambrian Res.* ,85:27 ~ 51.
- Ring U, Kröner A, Layer P, Buchwaldt R and Toulkeredis T. 1999. Deformed A-type granites in northern Malawi, east—central Africa; pre- or syntectonic?. *J. Geol. Soc. Lond.* ,156:695 ~ 714.
- Rumvegeri B T. 1991. Tectonic significance of Kibaran structures in Central and eastern Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 13: 267 ~ 276.
- Saviaro K. 1979. Preliminary analysis of airborne Magnetic surveys in Zambia. In: McEwen G. Ed. *The Proceedings of a Seminar on Geophysics and the Exploration of the Kalahari*. *Bull. Geol. Surv. Botswana*, 22:159 ~ 183.
- Schandelmeier H. 1980. Regionale gliederung des Prakambriums und aspekte der krustentwicklung um Mambwe/nordost – Zambia. Ph. D. Thesis. Technical University of Berlin, Berlin; 1 ~ 134.
- Schandelmeier H. 1983. The geochronology of post-Ubendian granitoids and dolerites from the Mambwe area, northern province, Zambia. *Rep. Inst. Geol. Sci.* ,83 (1):40 ~ 46.
- Searle D L. 1972. The stratigraphy of the Plateau Series of the Senga Hill area. *Rec. Geol. Surv. Zambia*, 12:55 ~ 62.
- Selley D, Broughton D and Scott R. 2005. A new look at the geology of the Zambia Copperbelt. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Society of Economic Geology; 965 ~ 1000.
- Smith N D. 1972. Some sedimentological aspects of planar cross-stratification in a sandy braided river. *J Sediment. Petrol.* ,42:624 ~ 634.
- Sutton J, Watson J and James T C. 1954. A study of the metamorphic rocks of Karema and Kungwe Bay, western Tanganyika. *Bull. Geol. Surv. Tanganyika*, 22:70.
- Tack L, Wignate M T D, De Waele B, Meert J, Belousova E, Griffin B, Tahan A and Fernandez-Alonso M. 2010. The 1375 Ma Kibaran event in central Africa: prominent emplacement of bimodal Magmatism under extensional regime. *Pre-cambrian Res.* ,180:63 ~ 84.
- Thieme J G. 1970. The geology of the Mansa area: explanation of degree sheet 1128, parts of NW quarter and NE quarter. *Rep. Geol. Surv. Zambia*, 26:37.
- Torrealday H L, Hitzman M W, Stein H J, Markley R J, Armstrong R A and Broughton D. 2000. Re-Os and U-Pb dating of the vein-hosted mineralization at the Kansanshi copper deposit, northern Zambia. *Economic Geology*, 95:1165 ~ 1170.
- Unrug E. 1983. The Lufilian Arc: a microplate in the Pan-African collision zone of the Congo and the Kalahari cratons. *Precambrian Res.* ,21: 181 ~ 196.
- Unrug R. 1984. The Mid-Proterozoic Mporokoso Group of northern Zambia: stratigraphy, sedimentation and regional position. *Precambrian Res.* ,24:99 ~ 121.
- Uyeda Y, Matsuzawa I and Suwa K. 1975. Potassium-argon age determinations on the Tanzanian igneous and metamorphic rocks. 1st Prelim. Rep. Aft. Studies, Nagoya Univ. ,Japan; 76 ~ 80.
- Van Eden J G and Binda P L. 1972. Scope of stratigraphic and sedimentologic analysis of the Katangan sequence, Zambia. *Geol. Mijnbouw*, 51:321 ~ 328.
- Vavrdova M and Utting J. 1972. Lower Palaeozoic microfossils from the Luapula Beds of the Mansa area. *Rec. Geol. Surv. Zambia*, 12:81 ~ 89.
- Wan Yusheng, Miao Peisheng, Liu Dunyi, Yang Chonghui, Wang Wei, Wang Huichu, Wang Zejiu, Dong Chunyan, Du Lilin and Zhou Hongying. 2010. Formation ages and source regions of the Palaeoproterozoic Gaofan, Hutuo and Dongjiao groups in the Wutai and Dongjiao areas of the North China Craton from SHRIMP U – Pb dating of detrital zircons: Resolution of debates over their stratigraphic relationships. *Chinese Science Bulletin*, 55:572 ~ 578.
- Wang Jie, Ren Junping, He Shenfei, Xu Kangkang, Liu Xiaoyang, Zuo Libo, Sun Kai, Gong Penghui and He Fuqing. 2014. Review of Studies on the Gold Deposit – accumulated Area in South Africa. *Geological Review*, 60(5):997 ~ 1008.
- Watts, Griffis and McOuat Limited, 1991, Assessment of mineral exploration opportunities in Zambia (unpub. Report). Watts, Griffis and Mc Ouat, Toronto, Canada; 566.

Geodynamic Evolution and Mineral Resources Present Research in Bangweulu Block, Northern Zambia

REN Junping, ZUO Libo, XU Kangkang, WANG Jie, LIU Xiaoyang, HE Shengfei, LIU Yu, HE Fuqing

Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin, 300170

Abstract: Bangweulu Block of northern Zambia is affected by Paleoproterozoic Ubendian tectonic zone, Neoproterozoic Kibaran tectonic zone, Neoproterozoic Irumide tectonic zone and the Pan African Lufilian tectonic zone and there have gold, Manganese and diamond deposits (occurrence). Gold deposits(occurrences) mainly exist in Mbala Formation which include purple-red conglomerate—sandstone clastic sedimentary rocks in eastern Mporokoso Basin and we find good gold mineralization clues. Manganese deposits are mainly distributed around Mansa which include sedimentary type and tectonic type. Bearing diamond lamproites and Kimberley are distributed in Bangweulu Block edge and predecessor found diamond using Heavy mineral method in Isoka area, therefore we think bearing diamond lamproites and Kimberley will be found inside Bangweulu Block. The authors study

geodynamic evolution and mineral resources present research in Bangweulu Block and think the area has a good prospecting potential. We can provide geological data and scientific basis for the expansion of Chinese mining enterprises and mineral exploitation right registration which are fit for mineral resources exploration and exploitation of “go global” strategy and “One Belt and One Road” strategy of national implementation.

Keywords: geodynamic evolution; gold; manganese; diamond; present research; Bangweulu Block; northern Zambia

Acknowledgements: This study was financially supported by Chinese Geological Survey (No. 1212011220910) and Sino—Zambian Co-operation in Geological and Geochemical survey on the scale of 1:100,000 in Kasama, Northern Province of Zambia. We would like to express our thanks to A. P. Dokowe, E. M. Chikambwe and Chishimba Canisius from Geological Survey Department of Zambia for gold occurrence field investigation in Senga Hill. We are also indebted to Yin Dong from Southeast Sichuan Geological Group, Chongqing Bureau of Geology and Minerals Exploration for some data.

First author: REN Junping, male, born in 1980, Senior Engineer, mainly engaged in geological survey and research. Address: No. 4, Eighth Rd, Dazhigu, Tianjin, 300170. Email: rjp2333@126.com. TEL: 0086 – 022 – 84112929.

Manuscript received on: 2015-04-02; Accepted on: 2016-02-18; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2016.04.015