

非洲热带草原景观区金的次生晕特征及分散模式

左立波^{1,2},汪明启²,王杰¹,徐洋²,俞初安¹,黎湘³

(1. 中国地质调查局 天津地质调查中心,天津 300170;2. 中国地质大学 地球科学与资源学院,北京 100083;3. 湖北省地质调查院,湖北 武汉 430034)

摘 要:乍得共和国 Mayo kebbi 省 Pala 地区是该国最重要的砂金矿区,多家公司先后致力于在该区域寻找岩金,然而经过大量的槽探工程施工与钻孔验证,均未发现好的矿体。为了解释地表 Au 异常的形成过程及原因,笔者在 Pala 地区针对金矿开展了地球化学勘查,对热带草原景观区 Au 的次生晕特征进行了讨论与总结,通过土壤垂直剖面测量分析了 Au 在准平原化过程中的地球化学行为,并最终解释了该区域金异常的成因。本次研究对国内企业赴非洲相同景观条件下进行金矿勘查具有指导意义。

关键词:砂金;土壤地球化学测量;异常查证;准平原化;乍得

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2013)04-0573-07

非洲大多数国家由于地质工作程度低,缺乏系统性资料,给投资非洲矿业的企业决策带来了困难。随着我国近年来“走出去”战略的实施,面对国外更加多样的景观特征,如何快速缩小找矿靶区,建立一套科学、完善、快速的评价体系将是摆在我们面前的研究课题^[1]。地球化学勘查方法技术的不断完善,使其在矿产勘查中发挥了重要作用。化探方法不仅可用于战略性普查工作,也可用于矿床或矿体定位工作,以及寻找盲矿等战术性详查工作。

研究区位于乍得南部 Mayo Kebbi 省 Pala 地区,该区是该国重要的砂金矿产区,在景观地球化学上属于热带草原景观区。1987 年联合国开发计划署 UNDP/DRGM 计划实施期间,在 Pala 地区做了大量地质勘探工作,发现了多处金矿化点,但是并未找到有价值的金矿体。1998~2001 年,韩国国际合作署及韩国地质矿产资源研究院(Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KIGAM)与乍得政府合作,在 Pala 地区针对金矿开展了约 1 000 km² 的地球化学勘查和矿床地质研究,发现了大量金异常,其中水系沉积物测量 Au 含量最高值为 114 × 10⁻⁶,然而经过大量的槽探工程及钻孔验证,并未发现有价值的金矿体^[2-3]。本次研究中,笔者通过一系列工作,重点解释了该区地表 Au 异常的形成过程。

1 研究区景观特征

研究区属于典型的热带草原景观区(又被称为

稀树草原景观),全年高温炎热,分为旱季和雨季。雨季主要集中在当年的 7~9 月,潮湿多雨,遍地生长着稠密的高草和灌木,并夹杂有稀疏的乔木;旱季时间比较长,从 10 月开始到次年 6 月,干燥少雨,土壤干裂,草丛枯黄,树木落叶,河流干涸。研究区全年气温均较高,最冷月平均气温在 16~18℃ 以上,最热月出现在旱季之后,雨季之前。

2 研究区地质背景

研究区主要出露岩性为西部的 Mayo Kebbi 花岗岩基及中部的变质岩类,区内出露的火山—沉积型变质岩代表性岩石为 Pala 绿岩带。Pala 绿岩带广泛出露在研究区中部,面积约为 875 km²,走向呈 N—S 向或 NE—SW 向。Pala 绿岩带主要由变杂砂岩、变凝灰岩、绿泥片岩、绢云母片岩、角闪岩、流纹岩、砂岩、杂砂岩及碳酸盐岩组成,碳酸盐岩主要分布在测区东北角,岩性为白云质灰岩和含铁白云岩,绿岩带中的大部分岩石均受到了低程度的变质作用。带内东部分布有杂砂岩和角砾岩(图 1)。

区内出露的侵入岩主要分为巨大的 Mayo Kebbi 花岗岩基、时代较晚的花岗岩、正长岩及超基性岩。Mayo Kebbi 花岗岩基在测区大面积出露,延伸约 70 km,大部分的岩基均由钙碱质花岗岩、花岗闪长岩、石英—角闪石闪长岩和角闪石闪长岩组成。闪长岩类主要分布在测区南部,少量出露在 Pala 绿岩带中部。由钙碱质花岗岩、黑云母碱质花岗岩及角闪石

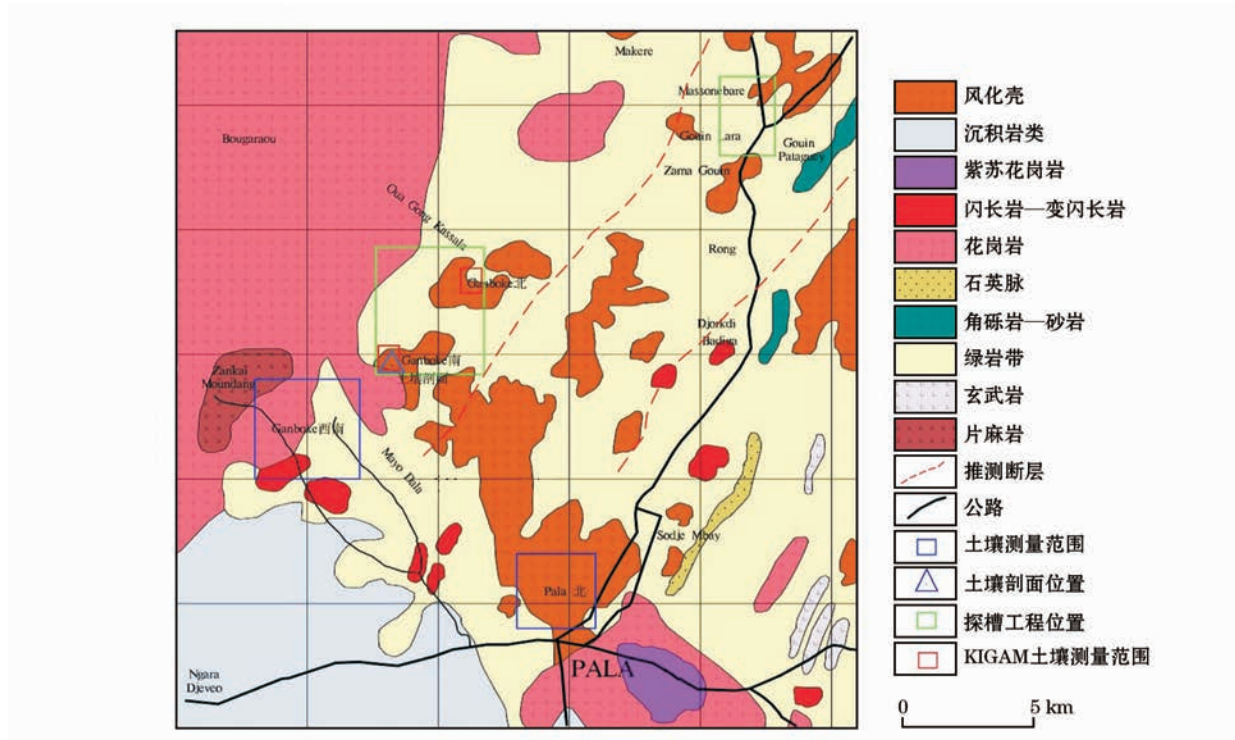


图 1 Pala 地区地质概况(据参考文献[2]修改)

一辉石花岗岩组成的造山花岗岩侵入到 Mayo Kebbi 花岗岩基及绿岩带中的变质岩中。

在测区中部发育有两条近乎平行的断层,呈 NE—SW 走向。测区金矿为石英脉型,前人进行了大量的勘查工作,目前尚未发现任何有价值的工业矿体,石英脉的走向呈 NE—SW 向,倾角为 60°~65°。

3 研究区土壤地球化学测量

3.1 工作方法

3.1.1 样品采集与加工

KIGAM 于 1999 年在 Pala 地区开展的水系沉积物测量中,发现了大量金异常,异常强度高,分带明显,面积大。金异常主要分布在 Ganboke 北、Ganboke 南、Ganboke 西南及 Pala 北,具体位置见图 1。KIGAM 于 2000 年对 Ganboke 北和 Ganboke 南两个详查区进行了土壤异常查证工作,在另外两个详查区未进行异常查证工作。本次笔者在 Ganboke 西南及 Pala 北分别进行了 16 km² 和 9 km² 的土壤地球化学测量,均按照 500 m×500 m 的网格采样,样品取自 30 cm 深的 B 层或者 B+C 层土壤,每个格子随机取 5 件样品组合为一个样品,晒干后取 -80 目送样分析。Ganboke 西南采样范围为 X:477 000~481 000 m,Y:1 042 000~1 046 000 m;Pala 北的采样范围为 X:487 000~490 000m,Y:1 036 000~

1 039 000 m。
3.1.2 样品分析
样品送中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所实验室,分析 Au、As 和 Sb 三项,其中 Au 采用无火焰原子吸收光谱分析,检出限为 0.2×10⁻⁹; As 和 Sb 均采用氢化物—原子荧光光谱分析,检出限分别为 0.2×10⁻⁶和 0.1×10⁻⁶。

3.2 次生地球化学异常

3.2.1 指示元素及异常下限的确定

李惠^[4]指出在金矿化探工作中,对找金有指示意义的元素有 30 多种。Au 是本次研究工作的成矿元素,另外选择 As、Sb 作为 Au 的指示元素。

地球化学元素分布规律可以用来揭示元素的矿化富集和空间变化规律^[5]。在土壤地球化学测量中,异常下限的确定非常重要,其方法主要有传统统计、稳健估计、85% 累计频率和多重分形^[6]。笔者采用传统方法、85% 累计频率法及多重分形法分别统计了异常下限值,并综合这 3 种统计数据,给出了本次成图所采用的异常下限值(表 1)。

由表 1 可以看出,由于采集组合样,Ganboke 西南详查区 Au 含量最大值仅为 66.12×10⁻⁹,明显小于 KIGAM 于 2000 年在 Ganboke 北、Ganboke 南进行的土壤测量结果(最大值为 4 653×10⁻⁹),且详查区 As、Sb 含量比较低。与 Ganboke 西南结果类似,由于采集组合样,Pala 北详查区土壤中 Au 含量

表 1 Ganboke 西南及 Pala 北土壤测量元素含量特征

指标	Ganboke 西南			Pala 北		
	Au	As	Sb	Au	As	Sb
最小值	0.42	0.15	0.06	0.15	0.15	0.09
最大值	66.12	4.31	0.50	25.63	1.83	0.31
平均值	3.21	1.24	0.14	3.68	0.82	0.18
中位数	1.65	1.04	0.13	2.19	0.74	0.18
标准方差	8.27	0.84	0.07	4.87	0.42	0.04
变异系数	2.58	0.68	0.50	1.32	0.51	0.22
T_1	2.786	2.539	0.228	3.812	1.649	0.243
T_2	3.247	2.229	0.200	6.561	1.141	0.212
T_3	2.26	2.05	0.19	2.62	1.05	0.21
T	3.00	2.00	0.18	3.00	0.80	1.80

注: Au 的含量单位为 10^{-9} , As、Sb 的含量单位为 10^{-6} ; T_1 、 T_2 、 T_3 、 T 分别为传统方法、85% 累计频率法、多重分形法计算的异常下限值及本次采用的异常下限值。

相对较低,最大值仅为 25.63×10^{-9} , As、Sb 的含量同样较低。

从变异系数看,Ganboke 西南详查区仅 Au 大于 1,具有矿化特征,As、Sb 变异系数小,说明它们在土壤中分布比较均匀。Pala 北详查区同样仅 Au 大于 1,具有明显的矿化特征。

3.2.2 次生地球化学异常特征

根据表 1 中各元素的异常下限,绘制 Au、As、Sb 异常分布图(图 2),各元素异常特征如下。

在 Ganboke 西南详查区,Au 异常主要分布在北部,异常形态呈圆形,主要分布在测区的西北角,浓集中心明显,证明本区的确存在金矿化,水系沉积物异常与金矿化有关。As 和 Sb 异常弱,呈不规则面

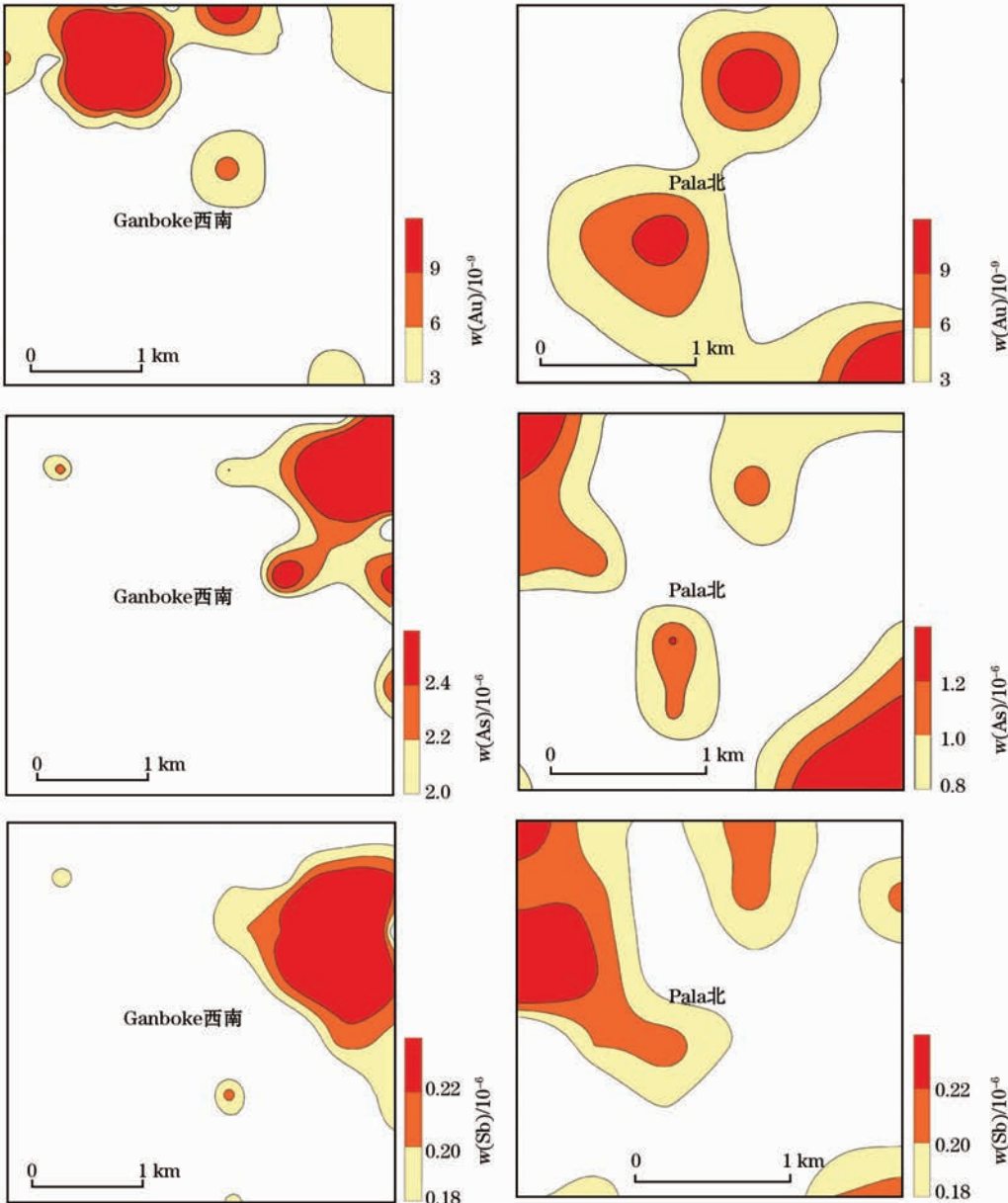


图 2 Ganboke 西南及 Pala 北 Au、As、Sb 地球化学异常

状分布在测区东部,二者空间位置吻合好。奇怪的是,As、Sb 异常与 Au 异常位置不对应。

在 Pala 北详查区出现 3 个明显的 Au 异常,且具有明显的浓度分带,这同样证明该区水系沉积物 Au 异常是由金矿化引起。与 Ganboke 西南详查区不同,本区 Au 异常浓集中心部位出现了不同强度的 As 和 Sb 异常。另外,在没有 Au 异常出现的测区西北角,As、Sb 也出现了明显的异常,说明由于表生活动的影响,As、Sb 与 Au 的关系变得比较复杂。

从 Ganboke 西南和 Pala 北的土壤异常查证结果可以看出,本区水系沉积物 Au 异常系由金矿化引起,但由于强烈的表生风化作用,As、Sb 等伴生元素发生了表生分散,使其与 Au 的关系变得复杂。上述结果也同样证明,在工作程度低的非洲热带草原景观区,网格法土壤测量可以快速、经济地查证水系沉积物异常。

3.3 槽探工程验证

在 Ganboke 北、Ganboke 南土壤 Au 异常浓集中心部位,地表出现大范围连续石英漂砾覆盖,一般厚度在 30~100 cm,面积大于 1 万 km²,含 Au 较高,许多样品 Au 大于 1×10⁻⁶^[2-3],而另外两个详查区地表石英漂砾明显较少。为了查明土壤异常的找矿意义,对研究区内 Ganboke 北、Ganboke 南 Au 异常区及 Massonebare 石英漂砾覆盖区进行地表探槽工程

揭露,并对其中 16 条探槽及部分钻孔样进行了采样分析,共采集刻槽样及拣块样 75 件,通过原子吸收测试 Au 含量。探槽位置及拣块样空间位置见图 1。

分析结果显示,样品中 Au 含量最高值为 37.83×10⁻⁶,大于 1×10⁻⁶ 的样品仅有 7 件,低于 1×10⁻⁶ 的样品有 68 件,说明本区的确存在原生金矿化,似乎具有进一步工作的可能。但从探槽观测,覆盖层下基岩多为片岩、蚀变闪长岩,金矿化不明显,仅 Ganboke 南发现了一条品位较高的工业矿体,尽管品位高达 37.83×10⁻⁶,但是矿体较窄,含金石英脉长 50 m,厚约 15 cm,向下很快尖灭。其他地段发现的金矿化体(含金石英脉)宽度均不超过 5 cm,且不稳定,随后的钻孔验证在深部未发现有价值的工业矿体。最终,该矿权区找矿前景被否定,勘探工作不得不停止。

4 Au 的分布特征

为什么矿权区水系沉积物测量样品中 Au 含量极高,10 件样品中 Au 含量都大于 1×10⁻⁶,最高值大于 100×10⁻⁶,地表土壤和砾石层中 Au 含量也较高,大部分样品 Au 含量同样大于 1×10⁻⁶,但岩石中原生金矿化却不明显?如此弱的原生金矿化如何形成如此高强度的次生地球化学异常?为了解释地球化学异常成因,选择典型剖面系统采样,研究 Au

表 2 Ganboke 南土壤剖面特征

样品号	坐标/m	深度/cm	特征
GL1-1	X:482245,Y:1046523	0~30	浅黄色—灰黑色土层,土壤颗粒较细
GL1-2		30~60	砖红色砂砾土,含较多砾石土层
GL1-3		60~100	半风化片岩
GL2-1	X:482232,Y:1046541	0~20	灰黑色砾石层,主要为石英碎块
GL2-2		20~50	砖红色砂砾土,颗粒较表层细
GL2-3		60~120	灰色—浅红色半风化层,砾石较少
GL2-4		>120	基岩,中间穿插石英细脉
GL3-1	X:482228,Y:1046545	0~20	灰黑色砂砾土,多石英砾石
GL3-2		30~60	砖红色砾石夹砂土,多白色石英颗粒,粒径 2~5 cm
GL3-3		60~120	灰绿色—浅黄色半风化片岩,较松散
GL3-4		>120	基岩,见少量石英细脉穿插其中
GL4-1	X:482224,Y:1046552	0~25	浅黄色含石英颗粒砂砾土
GL4-2		25~60	砖红色含砂砾土,石英颗粒较大,粒径 3~6 cm
GL4-3		60~100	半风化土状绿泥片岩
GL4-4		>100	基岩,含较多石英细脉
GL5-1	X:482226,Y:1046549	0~20	灰黑色含少量腐殖质土壤
GL5-2		20~40	红色含砾石土层,砾石主要为石英碎块
GL5-3		40~60	浅黄色半风化片岩
GL5-4		>60	基岩,含较多石英细脉
GL6-1	X:482211,Y:1046563	0~15	灰色含腐殖质土层
GL6-2		15~30	砖红色砂砾土
GL6-3		30~60	半风化绿泥片岩
GL6-4		>60	基岩,含石英细脉较多

注:表中样品号第二位数字表示样品属性,其中 1 为表层土壤,2 为深层土壤,3 为半风化基岩,4 为基岩。表 4 同。

的变化规律。

4.1 Au 的垂向变化

在 Ganboke 南含 Au 破碎带上方,利用探槽布置了 6 条垂直土壤剖面,研究 Au 在土壤剖面中的分布特征,土壤剖面位置见图 1。土壤剖面从地表到基岩共分为 4 层:表层为含石英砾石、腐殖质土层,中间为含砂砾红土层,底部为风化一半风化绿泥石片岩,在可能的条件下采集基岩样品。各土壤剖面特征如表 2 所示。

通过分析土壤剖面 Au 含量(表 3),作出元素分布剖面图(图 3)。可以看出,尽管不同层位土壤剖面厚度不等,但剖面 30 cm 以上样品 Au 含量均较高,一般大于 1×10^{-6} ;由地表土壤→半风化基岩→基岩,土壤中 Au 含量明显降低;基岩中 Au 含量低,只有出现石英细脉时 Au 含量才有所增高。

表 3 Ganboke 南土壤剖面 Au 含量垂向变化 10^{-6}						
剖面	GL1	GL2	GL3	GL4	GL5	GL6
表层	6.94	1.62	2.04	2.12	0.80	3.32
红土层	3.01	0.60	3.88	0.97	1.12	0.44
半风化基岩	0.03	0.15	0.03	0.34	0.06	0.24
基岩		0.03	0.03	0.03	0.26	0.03

表 4 Ganboke 南不同粒级土壤和基岩样品中 Au 的含量											10 ⁻⁶
样号	含量	样号	含量	样号	含量	样号	含量	样号	含量	样号	含量
GL1-1-A	2.56	GL2-1-A	<0.03	GL3-1-A	0.4	GL4-1-A	0.68	GL5-1-A	0.29	GL6-1-A	8.46
GL1-1-B	6.94	GL2-1-B	1.62	GL3-1-B	2.04	GL4-1-B	2.12	GL5-1-B	0.8	GL6-1-B	3.32
GL1-1-C	3.03	GL2-1-C	0.35	GL3-1-C	0.7	GL4-1-C	1.13	GL5-1-C	1.04	GL6-1-C	1.52
GL1-2-A	0.04	GL2-2-A	0.57	GL3-2-A	1.73	GL4-2-A	0.42	GL5-2-A	0.42	GL6-2-A	0.28
GL1-2-B	3.01	GL2-2-B	0.6	GL3-2-B	3.88	GL4-2-B	0.97	GL5-2-B	1.12	GL6-2-B	0.44
GL1-2-C	0.33	GL2-2-C	0.37	GL3-2-C	0.99	GL4-2-C	0.55	GL5-2-C	0.99	GL6-2-C	0.93
GL1-3	<0.03	GL2-3	0.16	GL3-3	0.03	GL4-3	0.34	GL5-3	0.06	GL6-3	0.24
		GL2-4	<0.03	GL3-4	<0.03			GL5-4	0.26	GL6-4	0.09

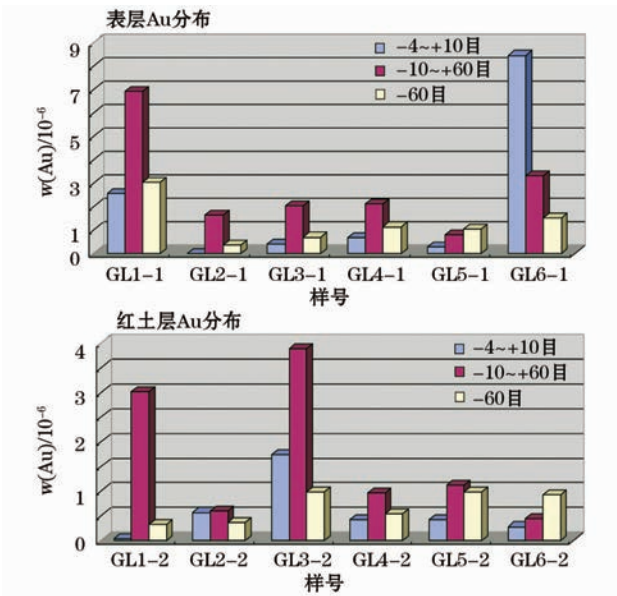


图 4 Ganboke 南土壤剖面不同粒级样品 Au 的垂向分布

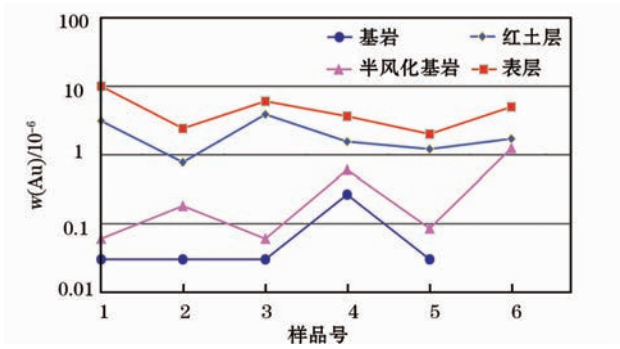


图 3 Ganboke 南土壤垂直剖面金分布特征

4.2 不同粒级土壤 Au 的分布

为了解土壤中 Au 的富集粒级,对土壤剖面样品进行粒级分析,按 $-4 \sim +10$ 目、 $-10 \sim +60$ 目和 -60 目粒级筛分为 3 组样品。不同粒级土壤和基岩样品中 Au 的分析结果见表 4,其中 A 代表 $-4 \sim +10$ 目、B 代表 $-10 \sim +60$ 目、C 代表 -60 目,半风化基岩及基岩样品无法筛分粒级。并对表层、红土层 3 组粒级样品中的 Au 含量进行对比(图 4)。

从表 4 中可以看出,Au 主要富集在表层含石英颗粒砂砾土和中间红土层中,其中高于 1×10^{-6} 的

样品有 12 件,而 Au 在基岩绿泥石片岩中的含量很低,全部小于 0.5×10^{-6} 。

从图 4 可以看出,表层土壤不同粒级样品中 Au 含量变化大,但多数在 $-10 \sim +60$ 目粒级样品中出现了显著富集,粗粒级部分 Au 含量低;在深层土壤中,Au 规律性更明显,在 $-10 \sim +60$ 目粒级样品中出现了 Au 显著富集,粗粒级样品 Au 含量低;说明本区 Au 主要分布在 $-10 \sim +60$ 目样品中,部分粗石英样品中 Au 含量高,但不稳定,说明只有少量石英脉含金。

通过土壤剖面 Au 分布特征研究,认为本区地表土壤和水系沉积物中特殊 Au 异常是由金矿化体在非洲热带草原特殊景观条件下,经过次生改造、表生分散富集形成的。

4.3 Au 表生分散模式

根据研究区水系沉积物、土壤、岩石中 Au 的分

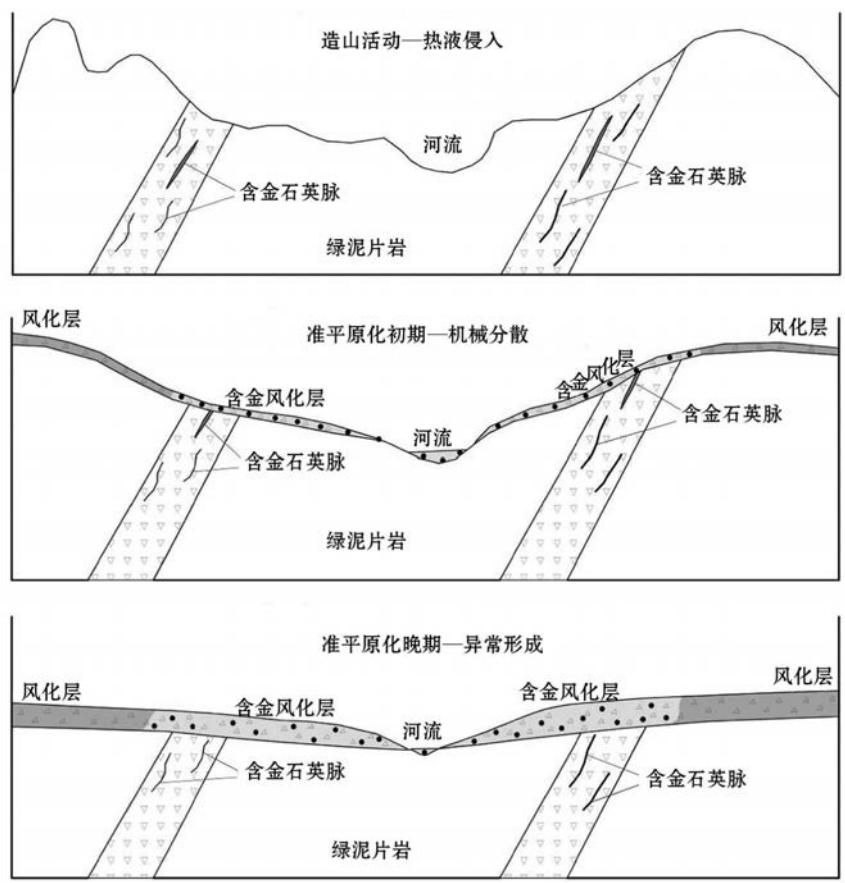


图5 Pala 准平原化过程中 Au 的分散模式

布规律、金矿化地质特征、区域地质演化历史,结合气候、地形地貌等景观条件,提出本区表生 Au 异常分散模式(图5)。

研究区基底是前寒武系结晶岩系,由于长期被剥蚀,在古生代之初就已呈现准平原状态。古生代以来,本区没有经受过造山运动,但造陆运动使它不止一次地隆起和沉降。早古生代、中生代和新生代期间,这里都有过广泛的海侵,并在不同地区形成不同厚度的沉积岩系。

虽然缺乏数据支持,但从本区 Au 产出地层看,主要为前寒武系。本区金矿化可能发生在泛非运动阶段或稍后,此后金矿脉主要遭受剥蚀作用,在准平原化过程中 Au 遭受表生分散,并形成各种介质的地球化学异常。

准平原化是一个漫长的地质过程。在准平原化过程中,岩石受到物理风化和化学风化作用,岩石中的元素存在一个向四周迁移扩散的过程。初步将 Au 异常形成过程划分为3个阶段:

(1)发生在前寒武纪的泛非造山运动,使地表出现了高低起伏,形成了高山—丘陵—河流地貌。区内基岩主要为绿岩带及少量花岗岩类。泛非运动

期,构造岩浆活动强烈,热液活动频繁,含金热液在有利的成矿构造部位富集成矿。

(2)在准平原化过程早期,金矿脉随山脉慢慢被剥蚀,形成一定厚度的土壤,主要金矿体消失,Au分散到土壤中,受扩散和重力作用向矿体周围分散形成土壤分散晕。同时,土壤 Au 的次生分散晕被水带入水系(河流),形成水系沉积物异常或砂金矿。

(3)在漫长的准平原化过程的晚期,随着地表的慢慢夷平,主要金矿体大部分被剥蚀掉,只剩少量含 Au 石英细脉继续遭受剥蚀,但由于此时该区地势平缓,部分破碎的石英颗粒及 Au 粒得以被留在原地,在矿化体周围形成具有一定厚度、范围较大的含 Au 砾石层,另一部分被水带入河流,在河床中形成砂金矿。

5 结论

(1)通过在 Ganboke 西南及 Pala 北进行的土壤地球化学测量,不仅查证了前人所完成的水系沉积物异常,而且发现了原生金矿化,证明土壤测量方法能够在该景观区异常详查中发挥作用。

(2)通过研究土壤垂直剖面中 Au 的分布,查明了原生金矿化体上方土壤含 Au 砾石层中的 Au 含量特征,结果表明,在非洲热带草原景观条件下,Au 异常系由风化残余富集形成。土壤样品的粒级分析结果表明,Au 主要富集在含 Au 石英砂砾土中,并且在 - 10 ~ + 60 目粒级样品中明显富集。

(3)根据研究区水系沉积物、土壤、岩石中 Au 的分布规律、原生金矿化体的地质特征、区域地质演化历史,结合气候、地形地貌等景观条件,提出本区表生 Au 的分散模式,该模式很好地解释了为什么在极高强度的水系沉积物 Au 异常、土壤异常和大范围含 Au 砾石层出现的情况下,却无法找到规模较大金矿体的原因。

(4)在国家鼓励矿产勘查“走出去”战略指导下,越来越多的企业和个人到国外投资矿业,为了减少风险,一定要结合当地实际进行一定的研究工作,

绝不可照搬国内经验,被表面现象所迷惑,盲目冒险。

参考文献:

[1] 贾润幸,方维萱. 热带雨林景观区土壤测量的应用效果[J]. 物探与化探,2011, 35(4):443-447.

[2] KIGAM. The Geological Exploration For Mineral Resources In Mayo Kebbi Area, Chad[J]. Final Report Phase I, 1999.

[3] KIGAM. The Geological Exploration For Mineral Resources In Mayo Kebbi Area, Chad[J]. Final Report Phase II, 2000.

[4] 李惠. 金矿化探的最佳指示元素组合[J]. 地质与勘探,1989(6):22.

[5] 成秋明. 多维分形理论与地球化学元素分布规律[J]. 中国地质大学学报:地球科学,2000,25(3):311-318.

[6] 戴慧敏,宫传,鲍庆中,等. 区域化探数据处理中几种异常下限确定方法的对比——以内蒙古查巴奇地区水系沉积物为例[J]. 物探与化探,2010,34(6):782-786.

CHARACTERISTICS OF SECONDARY HALOS AND DISPERSION PATTERNS OF AU IN AFRICAN TROPICAL GRASSLAND LANDSCAPE

ZUO Li-bo^{1,2}, WANG Ming-qi², WANG Jie¹, XU Yang², YU Reng-an¹, LI Xiang³

(1. Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Hubei Institute of Geological Survey, Wuhan 430034, China)

Abstract: The Pala area is the most important mining area for alluvial gold in Mayo Kebbi Region, Chad. Many companies tried to find rock gold in this area; nevertheless, they all failed to find any good ore bodies in spite of lots of trenching and drilling work. To illustrate the formation process and origin of gold anomalies, the authors conducted geochemical exploration of gold mines in Pala with the purpose of summing up the characteristics of secondary halos of Au in African tropical grassland landscape. Vertical soil profile measurement was also made to analyze the geochemical behavior of Au during pediplanation so as to explain the origin of gold anomalies. The results obtained by the authors are of directive significance for gold exploration work of China’s companies in Africa under the same landscape condition.

Key words: alluvial gold; soil geochemical survey; anomaly inspection; , pediplanation; Chad

作者简介: 左立波(1983-),男,助理工程师,勘查地球化学专业硕士研究生。