

文章编号: 1000-4734(2003)02-0169-08

滇西上芒岗红色粘土型金矿  
常量元素地球化学饶文波<sup>1,2</sup>, 高振敏<sup>1</sup>, 罗泰义<sup>1</sup>, 杨竹森<sup>1,3</sup>,  
李红阳<sup>1,4</sup>, 陶 琰<sup>1</sup>, 谱传杰<sup>5</sup>(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002;  
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037;  
4. 河北经济技术学院 资环系, 河北 石家庄 050031; 5. 云南省黄金管理局, 云南 昆明, 650051)

**摘要:**滇西上芒岗红色粘土剖面中常量元素的垂向分布研究表明,  $K_2O$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Al_2O_3$  在剖面中的变化一致, 呈双峰曲线变化, 即在坡积带稍有富集、在残积带明显富集; 而  $SiO_2$  与铁、铝等在剖面中的变化相反。红色粘土与矿区地层和矿化蚀变岩的常量元素对比分析表明了红色粘土可能来源于地层和矿化蚀变岩。常量元素之间的相关性以及常量元素与金的相关性分析表明  $K_2O$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Al_2O_3$  在红色粘土中为共生元素; 金的富集主要受红色粘土中褐铁矿和伊利石的吸附影响。红土化参数分析说明了红色粘土剖面经历两次红土化作用, 残积带相对于其它带经受过较强的红土化作用, 但整个红色粘土剖面遭受的红土化作用不强, 红土化程度低, 仅处于粘土化阶段。

**关键词:** 常量元素; 红土化参数; 红色粘土型金矿; 滇西上芒岗

**中图分类号:** P595; P618.51 **文献标识码:** A

**作者简介:** 饶文波, 男, 1973 年生, 博士研究生, 从事地球化学研究。

滇西上芒岗金矿是 20 世纪 90 年代初发现的一种新类型金矿<sup>[1]</sup>, 是原生金矿(或矿源岩)经过(原地或迁移)不彻底的氧化作用和风化淋滤作用之后堆积形成, 因此被称为红色粘土型金矿。湖北蛇屋山金矿<sup>[2, 3]</sup>, 贵州老万厂金矿<sup>[4]</sup>也属此类。红色粘土型金矿与国外红土型金矿<sup>[5-10]</sup>在区域活动性、基岩岩性、风化剖面特征、矿物组成以及元素地球化学特征等方面有差异<sup>[11]</sup>。本文以滇西上芒岗红色粘土型金矿为对象, 详细探讨其常量元素地球化学行为, 剖析金成矿与红土化程度的密切联系, 为找矿实践提供一部分理论依据。

## 1 地质概述

上芒岗红色粘土型金矿距泸西市 37 km, 位于龙陵—瑞丽大断裂南东侧的 NE 向上芒岗次级断裂北东端(图 1)。上芒岗断裂长约 20 km, 形成

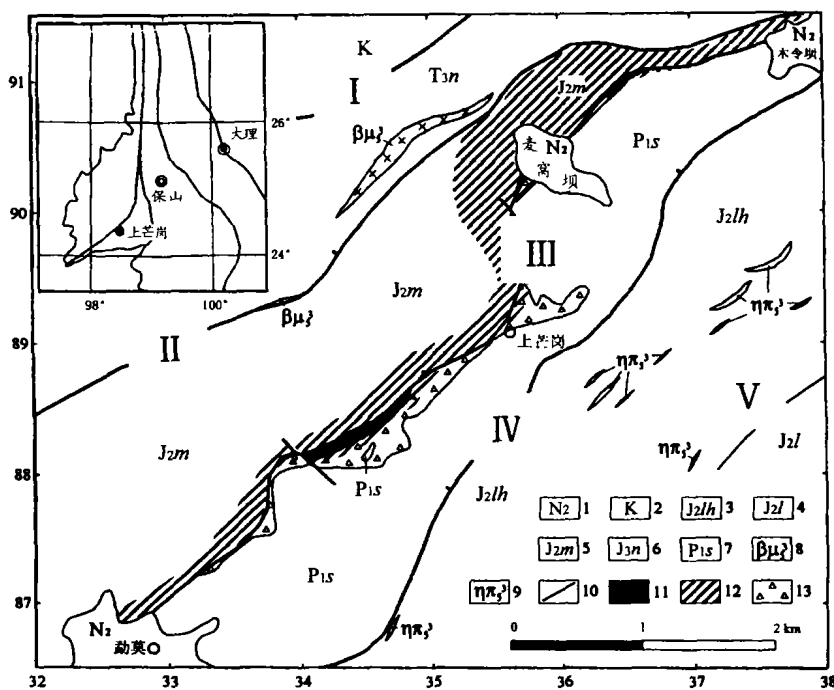
宽 100~300 m 的破碎带, 破碎带内发育硅化、粘土化、重晶石化及黄铁矿矿化, 辉锑矿化, 碳酸盐化等低温热液蚀变。蚀变岩普遍含金, 形成原生的卡林型金矿化体, 局部形成工业矿体, 是上芒岗红色粘土型金矿成矿的主要矿质来源。上芒岗断裂北西上盘为中侏罗统勐嘎组泥岩、砂岩、钙质粉砂岩夹灰岩, 南东下盘为下二叠统沙子坡组白云岩、白云质灰岩夹灰岩。上芒岗红色粘土型金矿严格受上芒岗断裂控制, 沿上芒岗断裂呈北东向展布, 全长 7 km, 分为果园、麦窝坝、广令坡和羊石山矿段。上芒岗红色粘土型金矿矿体呈水平的似板状和透镜状, 分布于上芒岗断裂附近的沙子坡组岩溶浸蚀面之上堆积的红色粘土层中。

红色粘土属于风化坡积-残积成因, 厚度约 20~30 m, 由两部分组成, 下部是被剥蚀的早期风化剖面的残留部分, 上部为后期堆积的覆盖部分。综合上芒岗金矿四个矿段红色粘土的堆积特征, 自上而下可将其划分为六个带:

(1) 表土带: 厚 1 m 左右, 由灰棕色高岭石质粘土和腐殖土组成。

收稿日期: 2002-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(49873021); 中国科学院重大项目 A(KZ-951-A1-405-02)



1.上新统 2.白垩系 3.中侏罗统龙海组 4.柳湾组 5.勐戛组 6.上三叠统南梳坝组 7.下二叠统沙子坡组  
8.辉绿岩 9.二长斑岩 10.断裂 11.硅化带 12.粘土化带 13.岩溶坍塌角砾岩  
I.纸厂断层 II.下芒岗断层 III.上芒岗断层 IV.户勒断层 V.营盘山断层  
图1 上芒岗金矿床矿区地质略图(据核工业云南地质调查队资料)

Fig. 1. Geological sketch map of the Shangmanggang gold ore district.

(2)坡积带:厚4~8 m,由棕黄色、棕色粘土质亚砂土组成,以发育灰白、白色高岭石质粘土组成的枝管状体为特征。

(3)钙华-沼泽带:厚0~4 m。在麦窝坝矿段由灰白、灰色粘土和透镜状钙华组成,含少量石英、斜长石砂粒。在广令坡矿段由灰黑色炭质亚粘土组成,含20%的石英和5%的泥岩、硅质岩、迪开石脉构成的砂粒,并有大量植物碎屑和少量硅藻、啮齿类骨骼碎片。

(4)残积带:厚2~8 m,由紫红色砂质亚粘土组成。顶部含20%~30%的赤铁矿和褐铁矿,呈网脉状、结核状,或呈黄铁矿假像,并有10%的石英砂。向下赤铁矿逐渐消失,褐铁矿减少,而石英砂增加到30%,并含10%~20%的石英砂岩、泥岩、硅化和粘土化的砂岩、泥岩及迪开石脉构成的次棱角状细砾。

(5)腐泥岩带:在断裂附近岩溶洼地里厚度约8 m,局部漏斗中可达12 m,主要由杂色含砾的粘土质亚砂土组成。砂粒约占40%,以棱角状石英为主,其次为热液蚀变硅质岩,并有少量泥岩和迪开石团块。此外还有10%的球状、水滴状、姜块

状石膏集合体,直径0.1~1 mm,被褐铁矿染成褐红色。

(6)基岩带:由沿断裂分布的热液蚀变矿化岩(局部构成小型工业矿体)及两侧的勐戛组和沙子坡组地层构成。

金矿体主要赋存在残积带中,矿石矿物主要由褐铁矿、粘土矿物和石英组成,次要矿物有锐钛矿、绿帘石、碳酸盐和少量的黄铁矿等。

## 2 样品采集和分析方法

### 2.1 样品采集

红色粘土采自广令坡矿段,采样方法为:横向选取三条依次间隔5 m的典型剖面线,每个样品按照(2~1.5)m×0.1 m×0.05 m的规格从顶部的表土带往下按顺序分别采样于坡积带、钙华-沼泽带、残积带和腐泥带。然后,把三条剖面线中相同带相对应的样品混合,并用四分法每个样取重约1 kg。另外,在广令坡和麦窝坝矿段分别采集7个蚀变岩样品;在上芒岗金矿区采集19个近矿围岩样品。

红色粘土样品在室温下通风风干,在玛瑙钵中研磨至 0.149mm,然后密封保存备用。

## 2.2 处理和分析方法

(1)粒度分离:取红色粘土样品(S111、S112、S113、S114、S115、S116),各精确称取 150 g,用湿筛法和沉降虹吸法<sup>[12]</sup>把它们分为 5 个粒级: > 900  $\mu\text{m}$ , 150 ~ 900  $\mu\text{m}$ , 76 ~ 150  $\mu\text{m}$ , 2 ~ 76  $\mu\text{m}$  和 < 2  $\mu\text{m}$ 。

(2)化学分析:红色粘土的金含量,各类岩石、红色粘土以及粘粒部分(< 2  $\mu\text{m}$ )的常量元素含量采用化学法测定。

(3)X 衍射分析:采用 D/Max-2200 型全自动 X 射线衍射仪,测角仪准确度优于 0.02°,仪器分辨率优于 60%,综合稳定度优于  $\pm 1\%$ , Cu K $\alpha$  辐

射,发散狭缝与散射狭缝均为 1°,接受狭缝为 0.15 mm;扫描速度:6 ~ 8°/min;步宽 0.02°或 0.04°;工作电压 40 kV,工作电流 20 mA;2 $\theta$  扫描范围 2° ~ 70°。

## 3 红色粘土粒度和矿物特征

红色粘土粒度分级结果见表 1。> 900  $\mu\text{m}$  部分在剖面中下部最为富集,在残积带中部(S113)含量最高,在剖面上部和下部有明显的下降趋势。150 ~ 900  $\mu\text{m}$  部分,2 ~ 76  $\mu\text{m}$  部分和 76 ~ 150  $\mu\text{m}$  部分在剖面中变化相同,与 > 900  $\mu\text{m}$  部分变化相反。< 2  $\mu\text{m}$  部分在剖面中的含量变化最敏感,在残积带中含量最小,在钙华-沼泽带和腐泥岩带中,含量逐渐增加,在向坡积带和基岩带过渡时,粘土部分的含量又逐渐减少。

表 1 红色粘土粒级分布

Table 1. Distribution of different grain fractions in red clay

样号	> 900 $\mu\text{m}$	900 ~ 150 $\mu\text{m}$	150 ~ 76 $\mu\text{m}$	76 ~ 2 $\mu\text{m}$	< 2 $\mu\text{m}$	损失量	浸液 pH 值	测试温度/°C
S116	13.667	13.533	8.400	47.467	15.667	1.266	5.22	11.1
S115	14.100	19.127	9.800	39.133	17.840	0	6.17	11.3
S114	14.967	16.667	8.553	32.053	26.507	1.250	7.05	11.2
S113	61.367	8.133	5.647	17.047	7.093	0.713	6.73	11.1
S112	18.067	12.987	6.873	40.487	21.040	0.546	6.47	10.6
S111	15.933	13.100	6.073	43.940	20.213	0.741	6.54	10.5

注:用来分级的样品量为 100 g

根据显微镜、X 射线衍射观察,上芒岗红色粘土型金矿矿石主要矿物由粘土矿物、褐铁矿(针铁矿)和石英组成。用 X 射线对 < 2  $\mu\text{m}$  部分进行分

析(表 2)可知,粘土矿物主要为伊利石和高岭石,其次含有少量的蒙脱石、绿泥石,斜长石、针铁矿和石英。

表 2 粘粒部分(< 2  $\mu\text{m}$ )的矿物成分及其质量分数

Table 2. Mineral composition and contents of clay-sized fractions (< 2  $\mu\text{m}$ ) from the Guanggingpo run, Shangmanggang

样号	I	K	Q	B	M	Ab	Go	Or	Hy	Ch	An
S119	28.84	23.47	1.55		7.96		11.53	9.00		1.73	4.73
S118	34.38	16.96	18.73				13.09	10.22		1.44	5.18
S117	35.35	18.58	7.72		3.78		11.80	17.12			5.66
S116	42.80	20.17	6.94			13.32	6.95		2.69	2.93	4.20
S115	36.78	22.52	11.06			13.09	8.13			4.23	4.19
S114	36.79	25.31	12.24			11.97	5.46			3.51	4.67
S113	63.03	16.99		3.32		9.04	7.61				
S112	37.95	33.90	17.22			7.75	4.02			2.17	3.98
S111	31.25	35.33	7.49	4.75	4.79	10.15	6.21				

注:I 伊利石, K 高岭石, Q 石英, B 板钛矿, M 蒙脱石, Ab 斜长石, Go 针铁矿, Or 钾长石, Hy 三水铝石, Ch 绿泥石, An 锐钛矿;中国科学院地球化学研究所 XRD 粉晶衍射实验室测试。

与金在红色粘土剖面中的变化相比较(表 3), > 900  $\mu\text{m}$  部分在剖面中的含量变化与金的变化极为相似,因此,金的含量随着粗粒部分(> 900  $\mu\text{m}$ )含量的增加而增加,这是由于含金层位发育

了较多的铁质结核<sup>[13]</sup>,金被粗粒部分中褐铁矿结核吸附所造成的;粘粒部分中伊利石的含量变化与金呈相同趋势,高岭石的含量变化与金相反。粘粒中其它矿物与金没有明显关系。

表3 滇西上芒岗红色粘土型金矿红色粘土氧化物和金的质量分数

Table 3. Chemical composition and gold content of red clay in the Shangmanggang red-clay type gold deposit in the west of Yunnan %

样号	SiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Total	w(Au)/10 <sup>-6</sup>
S119	63.95	0.08	6.52	17.30	0.001	0.60	0.45	0.23	2.01	0.10	7.53	98.77	0.50
S118	70.23	0.07	5.73	15.10	0.20	0.70	0.33	0.05	2.19	0.09	4.46	99.16	0.56
S117	64.19	0.01	6.70	18.47	0.001	0.50	0.32	0.23	2.27	0.16	6.32	99.17	0.93
S116	65.47	0.60	7.55	15.37	0.38	0.60	0.75	0.20	2.64	0.14	5.42	99.12	0.65
S115	63.23	2.40	7.97	14.53	0.42	0.61	0.69	0.43	2.23	0.18	7.94	98.47	0.45
S114	59.95	0.98	6.77	15.93	0.41	0.69	0.74	0.17	2.23	0.20	9.90	97.97	0.45
S113	33.45	0.95	19.09	23.73	0.41	0.73	0.80	0.058	5.48	0.10	13.9	98.70	50.00
S112	63.69	0.71	8.38	16.08	0.41	0.59	0.69	0.17	2.41	0.13	5.79	99.05	1.17
S111	63.66	0.53	9.17	15.47	0.42	0.48	0.84	0.078	1.83	0.20	6.16	98.84	1.43
蚀变岩	68.35	0.29	7.33	11.20	1.11	1.31	0.70	0.01	2.25	0.06	5.17	98.45	
白云岩	8.01	0.64	0.89	1.33	29.22	17.72	0.04	0.06	0.17	0.14	1.86	59.82	
碎屑岩	76.64	0.18	2.79	12.95	0.15	0.45	0.55	0.02	2.46	0.16	3.13	99.12	

注:蚀变岩为7件样品平均值;白云岩为近矿沙子坡组,11件样品平均值;碎屑岩为勐嘎组,8件样品平均值;分析者中国科学院地球化学研究所测试分析中心分析室李荪蓉。

#### 4 常量元素在红色粘土剖面中的垂直分布特征

从滇西上芒岗红色粘土的化学分析结果(表3)可知,  $w(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  达 80% 左右;  $w(\text{TiO}_2)$ 、 $w(\text{MnO}) < 1\%$ ; FeO 作为迁移再沉淀组分以较少的含量存在于红色粘土剖面各带中;淋滤组分中  $\text{K}_2\text{O}$  的含量最高,其次为 MgO 和 CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$  的含量最低,这与红色粘土中含有较多量的伊利石有关,是红土化作用不彻底的反映。由于区域性的地理、地质和气候条件,上芒岗红色粘土剖面形成过程中常量元素发生迁移和富集(图2)。在上芒岗红色粘土剖面中,从底部基岩到地表,  $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  的变化趋势表现为低→高→低,即在剖面中部残积带相对富集,在上下部

位出现贫乏现象;  $w(\text{SiO}_2)$  在红色粘土剖面中的变化与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  呈完全相反的趋势,即在残积带含量最低,向两侧  $w(\text{SiO}_2)$  逐渐增高;这说明,残积带相对于其它带经受过较强烈的红土化改造,发生明显的去硅富铁铝化作用。同时,在残积带中碱金属,特别是  $w(\text{K}_2\text{O})$  明显增高,可能是第二次红土化作用使钙华-沼泽带以上部分的淋滤组分碱金属由于表生风化淋滤作用发生淋滤迁移到残积带附近富集。 $w(\text{TiO}_2)$  从剖面上部往下总体表现为缓慢增高; $w(\text{MgO} + \text{CaO})$  从剖面上部到残积带总体表现为缓慢增高的趋势,而到腐泥岩带又逐渐降低; MnO 在钙华带和坡积带富集,向两侧其含量呈逐渐减少的趋势。

总之,坡积带以上  $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{FeO})$ 、 $w(\text{TiO}_2)$  低;钙华-沼泽带及与坡积带接

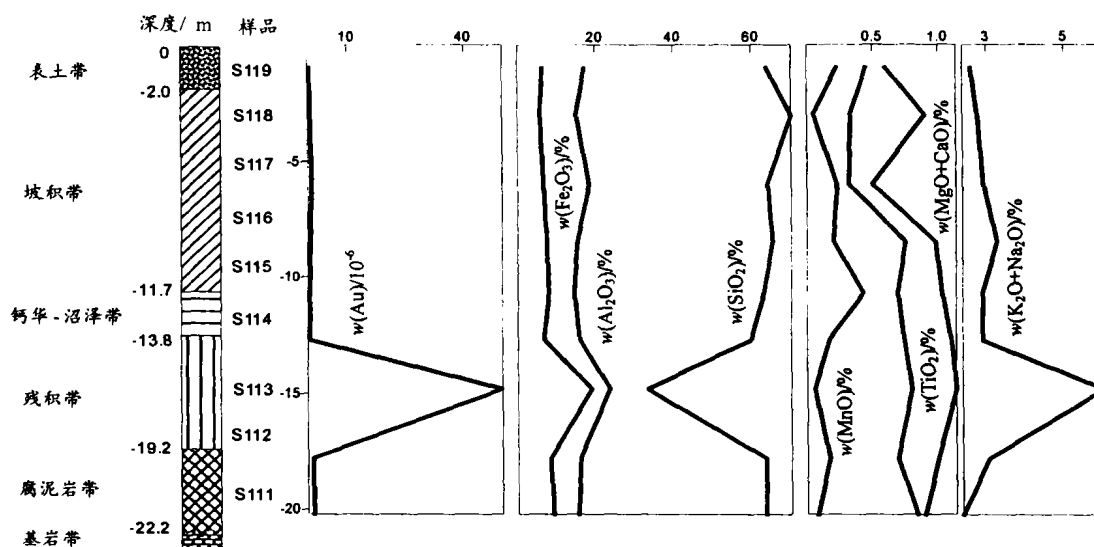


图2 常量元素含量和金含量随剖面深度的变化

Fig. 2. Variations in contents of major elements and gold with depth (m) in the profile.

触处以  $w(\text{MnO})$  和  $w(\text{FeO})$  高为标志; 残积带中 S113 号样品中  $w(\text{SiO}_2)$  显著降低,  $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  和  $w(\text{K}_2\text{O})$  明显增加, 而 S112 样品可能是接近腐泥岩带, 其元素含量与 S113 有显著差别; 腐泥岩带以含量相对较高的  $\text{TiO}_2$  为特征。

通过红色粘土与粘粒部分的化学成分(表 4) 比较可知: 粘粒部分的  $\text{SiO}_2$  相对于红色粘土显著

降低, 这与红色粘土中有大量石英颗粒残余有关;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  明显增多, 表明其在红土化作用过程中主要以粘土矿物的形式存在;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  仅略有增加, 反映铁以细分散的褐铁矿(针铁矿)形式存在。值得注意的是, 粘粒部分中的  $\text{MnO}$  比红色粘土中的明显降低, 表明锰以氧化物薄膜形式覆盖在石英颗粒表面, 这与观察结果一致。

表 4 上芒岗红色粘土型金矿红色粘土粘粒部分的化学成分

Table 4. Chemical composition of clay particles in the red clay from the Shangmanggang red clay-type gold deposit %

样品号	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
S116	41.21	9.42	26.82	0.38	1.19	0.76	0.072	5.45	0.30	1.54
S115	43.48	8.13	27.62	0.38	1.12	0.60	0.039	5.22	0.34	1.57
S114	42.36	8.57	26.09	0.55	1.11	0.74	0.043	4.24	0.47	1.62
S112	43.34	11.72	25.83	0.48	0.96	0.87	0.061	4.79	0.22	1.68
S111	44.78	7.99	26.89	0.40	1.02	1.19	0.023	4.95	0.17	1.67

分析者: 中国科学院地球化学研究所分析测试中心李荪蓉。

## 5 常量元素迁移、富集特征

将红色粘土的化学成分与矿区出露的地层和矿化蚀变岩的平均化学成分(表 3) 比较可知: 相对于中侏罗统勐嘎组碎屑岩, 红色粘土中的  $\text{SiO}_2$  含量明显降低,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$  的含量明显增高,  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  的含量略有增高; 红色粘土形成过程中  $\text{SiO}_2$  淋失, 并产生微弱的铁化和铝化现象。与下二叠统沙子坡组白云岩相比, 红色粘土中的  $w(\text{SiO}_2)$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  和  $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  明显增加, 分别增加到 30% ~ 70%, 15% ~ 23% 和 5% ~ 20%, 这说明在形成红色粘土风化壳过程中, 作为红色粘土型金矿区的上层沙子坡组白云岩中的  $\text{Ca}$ 、 $\text{Mg}$  遭受强烈淋失, 同时表明一部分白云岩经风化形成红色粘土时具有富铝富铁等特点;  $\text{SiO}_2$  的富集可能是风化后残留所致。相对于蚀变岩, 在红土化作用过程中蚀变岩中  $\text{SiO}_2$ 、碱金属和碱土金属部分遭受淋失,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$  等含量增加, 环境由相对还原环境转变为相对氧化的环境,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  相对富集, 风化作用加强。以上描述反映了红色粘土主要是在中侏罗统勐嘎组等基础上经红土化作用发育而成。其次, 矿化蚀变岩及原生的卡林型金矿体和沙子坡组白云岩也为红色粘土的形成提供少部分物质。

## 6 元素相关性分析

### 6.1 常量元素之间的相关性

红色粘土中常量元素的相关关系见图 3,  $\text{SiO}_2$

与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  呈负相关, 反映了在红色粘土中铁化作用和铝化作用加强时, 粘土矿物被氧化而减少, 在剖面中除残积带明显富集  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 显著亏损  $\text{SiO}_2$  外, 其它带中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  的变化不明显(图 2), 这表明除残积带出现富铁富铝化现象外, 整个剖面表现出明显的粘土化。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  呈正相关,  $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  在 1.95 到 4.324 内变化, 在剖面中没有明显表现出铝化阶段和铁化阶段, 这两个阶段之间的过渡模糊。另外,  $\text{K}_2\text{O}$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  有好的相关性, 表明在红色粘土中这三者共生, 在矿物组合上表现为伊利石和褐铁矿共生。

淋滤组分( $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ )、残留组分( $\text{TiO}_2$ ) 和  $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}_2$  在红色粘土剖面中不表现好的相关性(图 3), 但  $\text{CaO}$  与  $\text{TiO}_2$  的相关系数为 0.8794, 可能在表生风化过程中白云岩的一部分残留, 在相同的条件下基岩发生破碎分解, 含  $\text{TiO}_2$  的基岩的一部分残留下来, 因而在红土化作用过程中  $\text{CaO}$  和  $\text{TiO}_2$  同时残留, 其含量呈明显的正相关性; 如果  $\text{CaO}$  和  $\text{TiO}_2$  残留的量多, 表明在红色粘土剖面的这个部位处于相对还原的环境, 在这个环境中  $\text{FeO}$  的含量相对其它部位高;  $\text{FeO}$  与  $\text{CaO}$ 、 $\text{TiO}_2$  相关系数为 0.6151, 呈正相关性。在红色粘土剖面中  $\text{SiO}_2$  有两种来源: 石英和硅酸盐矿物(粘土矿物)。在显微镜下观察得知石英表面覆盖  $\text{Mn}$  的氧化物薄膜, 而  $\text{SiO}_2$  与  $\text{MnO}$  相关系数为 0.2832, 相关性较差, 这可能是由于红色粘土中的硅酸盐矿物干扰所致。

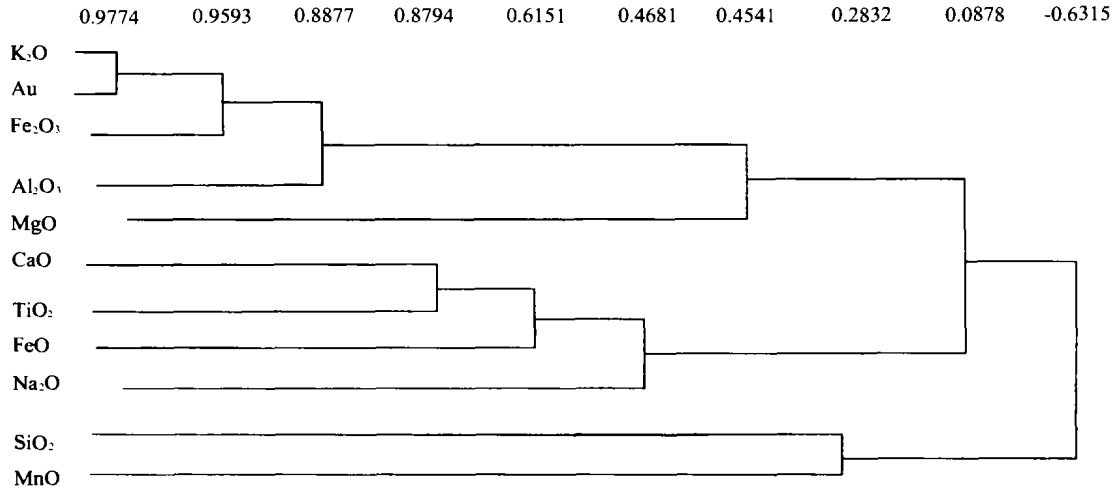


图3 红色粘土中常量元素R型聚类分析图

Fig. 3. R-mode cluster analysis of major elements in red clay.

TiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 相关系数低,  $r = 0.0878$ , 说明了红色粘土并非都是原地的, 因为 TiO<sub>2</sub> 总是跟 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在一起的, TiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量的正相关性一般认为是原地风化的标志<sup>[14]</sup>, 除非风化产物经过搬运。

### 6.2 常量元素与金的相关特征

金在红色粘土剖面中的含量变化趋势表现为低→高→低, 在残积带最为富集(表3和图2)。常量元素 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在红色粘土剖面中的变化与 Au 一致, 而 SiO<sub>2</sub> 的变化趋势表现为高→低→高, 即在残积带表现明显的异常现象, 暗示残积带在红色粘土剖面中是一条特殊的带, 这个带相对于其它带去硅作用较完全, 红土化作用强。从 R 型聚类分析图(图3)看出, 金与 K<sub>2</sub>O 的相关系数为 0.9774, 表明了金富集的多少可能与红色粘土中含有较多量伊利石有关; 另外, Au 与 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的相关系数各为 0.9593 和 0.8877, 说明金与 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 有好的相关性, 而且金与铁的氧化物关系更密切, 揭示了金的含量变化与红色粘土中褐铁矿的多少有关。以上结果表明了金与钾、铁、铝在红色粘土中为一组共生元素。金与其它元素的相关性差。

### 7 红土化作用

红土化作用程度主要表现在红色粘土的红土化系数、淋溶系数、 $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  和  $n(\text{Fe}^{2+})/n(\text{Fe}^{3+})$  参数上(表5)。

表5 红色粘土的化学成分特征参数值

Table 5. Characteristic parameters for the chemical composition of red clay

样品号	淋溶系数	红土化系数	$n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$	$n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	$n(\text{Fe}^{2+})/n(\text{Fe}^{3+})$
S119	28.039	5.067	6.284	4.162	0.014
S118	25.467	6.367	7.907	4.134	0.012
S117	27.258	5.769	5.908	4.324	0.007
S116	22.491	5.514	7.241	3.193	0.088
S115	21.343	5.553	7.398	2.859	0.338
S114	19.394	5.034	6.398	3.691	0.161
S113	6.522	1.584	2.396	1.950	0.055
S112	25.142	5.054	6.733	3.010	0.094
S111	21.319	5.077	6.996	2.646	0.064

注: 淋溶系数 =  $n(\text{SiO}_2)/n(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO})$ , 红土化指数 =  $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 。

红土化系数: 是红土化程度的量度, 其值越小, 表明去硅作用强烈, 红土化程度越高。在红色粘土剖面中红土化指数在剖面中部(残积带)达 1.5 左右, 而在其它部分高, 均大于 5, 说明在整个红色粘土剖面中红土化程度低, 只有在残积带表现出明显的脱硅作用, 红土化程度较高。

淋溶系数: 是被淋失元素淋滤程度的度量。在红色粘土剖面中从上到下淋溶系数呈有高→低的趋势变化, 这一特征反映了整个红色粘土剖面遭受了两次红土化作用。在第一次红土化作用过程中残积带中的易溶组分(碱金属和碱土金属)遭受淋失, 富集于腐泥岩带附近; 在第二次红土化作用过程中已堆积于残积带以上部分中的易溶组分(碱金属和碱土金属)被淋滤, 在残积带附近相对富集。

$n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ : 硅铝

比值反映红色粘土的脱硅富铝程度,铝铁比反映铁与铝的分离程度。 $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 比值除在残积带较小外,其它部分均在 5.908 以上,说明红色粘土总体上脱硅富铝程度不高,仅残积带具有较强的脱硅富铝能力。 $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 比值介于 1.950~4.324,在红色粘土剖面中变化不大,表明铁与铝没有明显的分离,但在残积带铁相对富集。

$n(\text{Fe}^{2+})/n(\text{Fe}^{3+})$ : 也称之为氧化系数,是风化壳氧化程度的量度。 $n(\text{Fe}^{2+})/n(\text{Fe}^{3+})$ 在钙华带和坡积带接触处最大,为 0.338,往上到表土带,往下到残积带逐渐降低,氧化作用向表土带和残积带逐渐增强;从残积带到腐泥岩带、基岩带, $n(\text{Fe}^{2+})/n(\text{Fe}^{3+})$ 比值升高,还原作用加强(表 5)。 $n(\text{Fe}^{2+})/n(\text{Fe}^{3+})$ 在整个剖面中的变化表明钙华-沼泽带和钙华带与坡积带接触处在滇西上芒岗红色粘土型金矿的红色粘土剖面中是一个特殊带,这个带处在一个相对还原环境中;揭示了红色粘土剖面上部氧化程度较高,处于潜水面以上的开放环境,坡积带下部和钙华-沼泽带氧化程度低,曾处于还原性水体中或古潜水面附近,第一次红土化形成的残积带以下部分在第二次红土化过程中曾处于古潜水面之下。

综合上述特征分析及金在红色粘土剖面中的分布可知:红土化程度的高低与金在剖面中的富集有密切关系。上芒岗红色粘土剖面中金在残积带明显富集,红土化作用在此带相对于其它带强

烈,去硅作用明显,粘粒部分在红色粘土中的占有率为 7%左右,低于其它带,而粗粒部分高(表 1)。这可能由于第一次红土化作用使基岩在表层水的循环下发生化学风化,导致 K、Na、Ca、Mg 等可溶性组分大量淋失,而 Al、Fe、Mn、Ti 等得以残留富集;金部分被残留,部分以络合物的形式发生迁移在适当部位沉淀。该矿床红色粘土之下为碳酸盐岩基岩,且原生矿化岩中有大量碳酸盐物质,使得风化流体中不可能呈现强酸性,这已被红色粘土样品去离子水浸泡液的 pH 值介于 5.22~7.05(表 1)所证实,所以金主要以硫代硫酸盐络合物的形式活化迁移<sup>[15-18]</sup>。当金络合物迁移至地下潜水面附近时,被硫化物和碳酸盐风化释放的  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  还原形成  $\text{Au}^0$ ,同时  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  被氧化成高价氧化物和氢氧化物。由于铁锰氧化物和氢氧化物对金具有强吸附性<sup>[19-21]</sup>,使还原的金被其吸附而再沉淀,导致金在含有大量褐铁矿的残积带富集。第二次红土化作用发生在坡积阶段之后,与第一次红土化作用相似,使整个红色粘土层发生化学成分的变化,并使金在上部发生活化向下迁移,富集在残积带。除残积带外,红色粘土剖面总体上红土化作用不彻底,去硅作用不完全,粘粒部分的化学成分中  $\text{SiO}_2$  仍占很大的比重,粘粒部分中  $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3) > 2$ <sup>[22]</sup>(表 4),且多种粘土矿物并存。因此,红土化作用仍停留在红色粘土阶段。

#### 参考文献:

- [1] 饶文波,高振敏,等.云南滇西上芒岗红色粘土型金矿地质特征[J].地质地球化学,2000,28(4):12~17.
- [2] 李松生.湖北蛇屋山红土型金矿地质特征和成因[J].地质与勘探,1993,1:12~15.
- [3] 虞人育.湖北蛇屋山金矿区风化型金矿床地质特征及成因浅析[J].矿床地质,1994,13(1):28~37.
- [4] 陈履安.晴隆老万场红土型金矿常量元素地球化学特征及红土化作用[J].贵州地质,1999,16(4):307~314.
- [5] Davy R. And El-ansary M. Geochemical patterns in the laterite profile at the boddington gold deposit, western Australia[J]. *J. Geochem. Explor.* 1986,26: 119~144.
- [6] Da Costa M L. Gold distribution in lateritic profiles in South American, Africa and Australia: Application to geochemical exploration in tropical regions[J]. *J. Geochem. Explor.* 1993, 37(1-3):143~163.
- [7] Davies T C, et al. Geochemistry and mineralogy of laterites in the Sula Mountains greenstone belt, Lake Sonfon gold district, Sierra Leone[J]. *J. Geochem. Explor.* 1989,32:7~98.
- [8] Wei Sheng-zang and Fyfe W S. A three-stage genetic model for the Igarape Bahia Lateritic Gold Deposit[J]. *Economic Geology*, 1993,88:1768~1779.
- [9] Porto C G and Hale M. Gold redistribution in the stone line lateritic profile of the Posse deposit, central Brail[J]. *Econ. Geol.*, 1995,90:308~321.
- [10] Da Costa M L, et al. Application of multi-element geochemistry in the Au-phosphate-bearing lateritic crusts for identification of their parent rocks [J]. *J Geochem. Explor*, 1996,57:257~272.
- [11] 饶文波,高振敏,杨竹森,等.中国红色粘土型金矿成矿特征[J].地质地球化学,2001,29(2):1~7.

- [12] 赵杏媛, 张有瑜. 粘土矿物与粘土矿物分析[M]. 北京: 海洋出版社, 1990.
- [13] 李志群. 云南红土型金矿地质特征及成矿条件研究[J]. 矿产与地质, 1998, 12(3): 160 ~ 166.
- [14] 李文达, 王文斌, 程忠富, 等. 华南红土化作用地球化学及红土型金矿形成的可能性[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 5 ~ 6.
- [15] Mann A W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from western Australia[J]. *Economic Geology*, 1984, 79: 38 ~ 49.
- [16] Miller A D and Fisher E I. Dissolution of gold during oxidation by  $MnO_2$ [J]. *Geochem. Int.*, 1973, 10(3): 656 ~ 663.
- [17] Plyusium A M, Pogrelnyak YU F and Mironov A. G., et al. The behavior of gold in the oxidation of gold-bearing sulfides[J]. *Geochem. Int.*, 1981, 18(3): 116 ~ 123.
- [18] Webster J G. The solubility of gold and silver in the system Au-Ag-S- $O_2$ - $H_2O$  at 25°C and 1 atm[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1986, 50: 1837 ~ 1845.
- [19] Machesky M L, Andrade W O and Rose A W. Adsorption of gold(III)-chloride and gold(I)-thiosulfate anions by goethite[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1991, 55: 769 ~ 776.
- [20] Schoonen M A A, Fisher N S and Wentz M. Gold sorption onto pyrite and goethite: A radiotracer study[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1992, 56: 1801 ~ 1814.
- [21] 冉勇, 傅家谟, Gilkes R J, 等. 氧化锰对金(I)和金(III)络合物的吸附[J]. 中国科学(D), 1998, 28(6): 523 ~ 531.
- [22] 符必昌, 黄英, 方丽萍. 红土化作用及红土的工程地质分类[J]. 云南地质, 1997, 16(2): 197 ~ 206.

## MAJOR ELEMENT GEOCHEMISTRY OF SHANGMANGGANG RED CLAY-TYPE GOLD DEPOSIT IN THE WEST OF YUNNAN

RAO Wen-bo<sup>1,2</sup>, GAO Zhen-min<sup>1</sup>, YANG Zhu-sen<sup>1,3</sup>,  
LUO Tai-yi<sup>1</sup>, LI Hong-yang<sup>1,4</sup>, TAO Yan<sup>1</sup>, PU Chuan-jie<sup>5</sup>

(1. The State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. The Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Geological Academy of Sciences, Beijing 100037, China;

4. Department of Resources and Environment, Economy and Technology College of Hebei, Shijiazhuang 050031, China;

5. Gold Administration Bureau of Yunnan Province, Kunming 650051, China)

**Abstract:** we analyzed the distribution of major elements in the red-clay profile. The results indicated  $K_2O$  varied in consistency with  $Fe_2O_3$  and  $Al_2O_3$  in red clay. Their contents are slightly high in the slopewash zone and distinctly high in the eluvial zone.  $SiO_2$  varied in opposition to  $Fe_2O_3$  and  $Al_2O_3$ . Differences in contents between major elements of red clay and those of strata and mineralized and altered rocks indicated the strata and mineralized and altered rocks were the sources of red clay. Correlations among major elements and between major elements and gold indicated  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$  and  $Al_2O_3$  were coexisting oxides in red clay. The enrichment of Au mostly resulted with adsorption of illite and limonite in red clay. Lateritization parameters for the Shangmanggang red clay-type gold deposit indicated that the red-clay profile has experienced two phases of lateritization.

**Key words:** major element; lateritization parameter; lateritic gold deposit; red clay-type gold deposit; Shangmanggang in the west of Yunnan