

文章编号: 0379-1726(2002)06-0577-10

滇西上芒岗红色粘土型金矿的元素地球化学特征 及其物质来源探讨

饶文波^{1,2}, 高振敏¹, 杨竹森^{1,3}, 罗泰义¹,
李红阳^{1,4}, 陶 琰¹, 谱传杰⁵

(1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学重点实验室, 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. 石家庄经济学院 资源环境与工程系, 河北 石家庄 050031; 5. 云南省黄金管理局, 云南 昆明 650051)

摘要: 对滇西上芒岗红色粘土型金矿的主元素、微量元素和稀土元素地球化学特征进行了详细的研究。结果表明, 主元素 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 K_2O 在红色粘土剖面中共迁移同沉淀, SiO_2 的变化却与它们相反, 这揭示了上芒岗红色粘土型金矿的红色粘土层除了残积带红土化程度高外, 总体上 SiO_2 含量高, 去硅作用不完全, 红土化程度低; 与地层、矿化蚀变岩的对比分析结果表明, 红色粘土是在勐嘎组泥岩基础上经红土化作用形成的。红色粘土的微量元素表现为 Au、Hg、As、Sb、Cu、Pb、Zn 和 Mo 等元素的共生组合, 并在红土化好的残积带明显富集; 红色粘土的大离子元素分布模式与矿化蚀变岩和勐嘎组的相似。红色粘土的稀土分布模式与矿化蚀变岩和地层的相似, 表现为轻稀土富集的右倾型平缓曲线, 稀土元素分馏明显的地方富集。以上分析揭示, 此金矿的成矿物质主要来自矿化蚀变岩, 红色粘土主要来源于勐嘎组和矿化蚀变岩。

关键词: 红色粘土型金矿; 主元素; 微量元素; 稀土元素; 物质来源; 云南省

中图分类号: P595 **文献标识码:** A

0 引言

自 20 世纪 80 年代以来, 以澳大利亚 Boddington 和巴西 Bahia 金矿为代表的红土型金矿在世界范围内相继被发现, 引起了地学界的普遍关注, 学者们对其进行了广泛的研究^[1-7]。自 20 世纪 90 年代初, 在我国南方发现了一批类似于红土型金矿的矿床, 因其红土化作用不彻底, 并有多种粘土矿物并存, 故被称为“红色粘土型金矿”, 对它的研究已有多方面的报道^[8-16], 但对其元素地球化学的研究并不多见。因此, 本文拟选择滇西地区具有代表性的上芒岗红色粘土型金矿, 对其进行元素地球化学研究, 这将有助于对该类型金矿的全面了解, 加深对成矿物质来源的研究程度, 促进该类型金矿的找矿实践。

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北东向上芒岗次级断裂内(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、重晶石化以及黄铁矿矿化、辉锑矿化和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

收稿日期: 2002-04-09; 接受日期: 2002-06-30

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

作者简介: 饶文波(1973-), 男, 博士研究生, 地球化学专业。

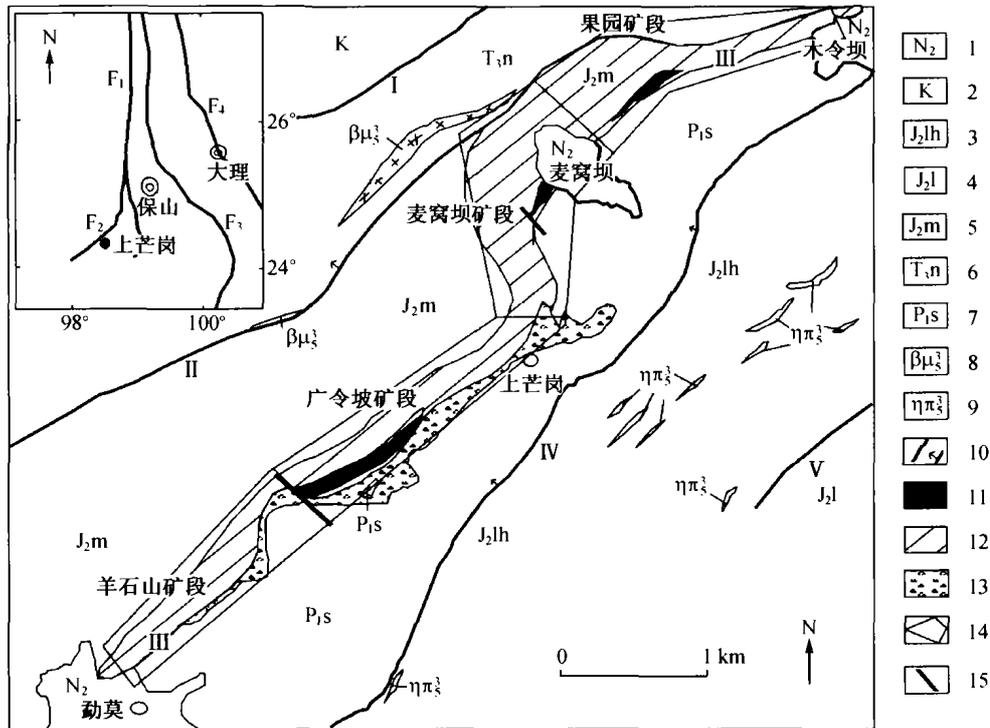


图1 上芒岗金矿床矿区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the Shangmanggang gold ore district
据核工业部云南地质调查队资料。

1. 上新统; 2. 白垩系; 3. 中侏罗统龙海组; 4. 中侏罗统柳湾组; 5. 中侏罗统勐嘎组; 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. 断裂及方向; 11. 硅化带; 12. 粘土化带; 13. 岩溶坍塌角砾岩; 14. 矿区范围; 15. 小断层。
- F₁. 怒江断裂; F₂. 龙陵-瑞丽大断裂; F₃. 澜沧江断裂; F₄. 金沙江-红河断裂。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。

园、麦窝坝、广令坡和羊石山矿段。上芒岗红色粘土型金矿体呈水平的似板状和透镜状(图2), 分布于上芒岗断裂附近的沙子坡组岩溶侵蚀面之上堆积的红色粘土层中。另外, 沿上芒岗断裂有燕山晚期的二长斑岩、辉绿岩脉和煌斑岩脉侵入。但是, 在矿区中只见羊石山矿段出露极少量的煌斑岩脉。

红色粘土属于风化残积-坡积成因的洼地堆积类型, 为不连续风化剖面, 厚度约20~30 m。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6个带^[17, 18](图3): 表土带(0.0~2.0 m)、坡积带(2.0~11.7 m)、钙华-沼泽带(11.7~13.8 m)、残积带(13.8~19.2 m)、腐泥岩带(19.2~22.2 m)和基岩带(>22.2 m)。残积带和腐泥岩带属于被剥蚀的早期风化剖面的残留部分, 是由于伴随早

期红土化作用的残积作用所致, 从成矿阶段这一角度来说, 处于成矿早期阶段——早期红土化阶段(以红土化作用和残积作用为主)。钙华-沼泽带、坡积带和表土带属于后期堆积的覆盖部分, 处于成矿晚期阶段——晚期红土化阶段, 是因为在早期红土

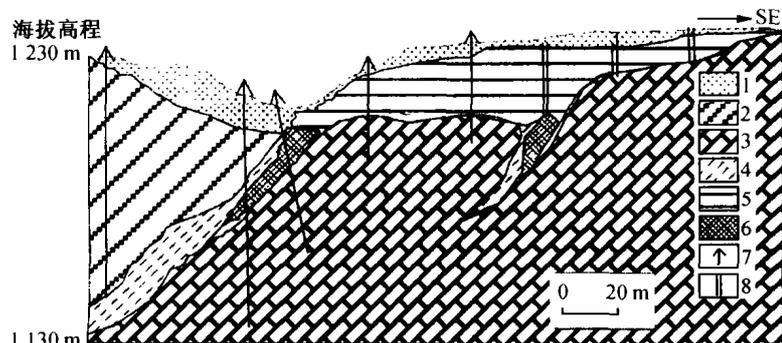


图2 上芒岗金矿床矿体剖面图

Fig. 2 Geological section map of the Shangmanggang gold deposit

1. 第四纪; 2. 中侏罗统勐嘎组泥岩; 3. 下二叠统沙子坡组白云岩; 4. 上芒岗断裂挤压破碎带; 5. 红色粘土型金矿体; 6. 卡林型金矿体; 7. 钻孔; 8. 浅井。

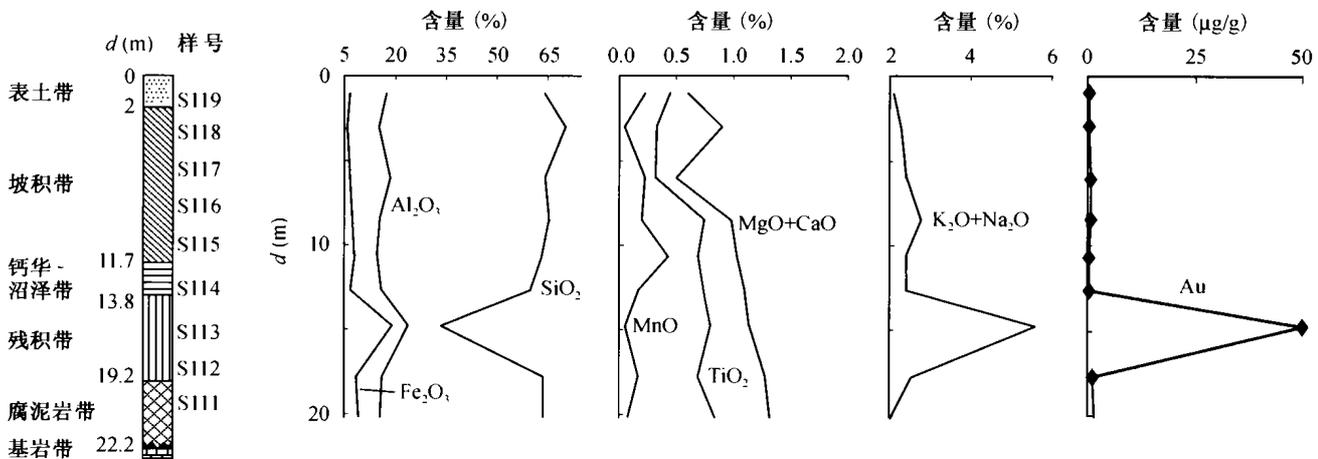


图 3 主元素 (%) 及 Au (µg/g) 含量在剖面中的变化 (%)

Fig. 3 Changes of major element (%) and Au (µg/g) contents with depth (m) in the profile

化阶段后, 风化壳被剥蚀, 在地形低洼处堆积了钙华和坡积物, 并伴有晚期红土化作用所致。金矿物主要赋存在残积带中, 矿石矿物主要由褐铁矿、粘土矿物(伊利石和高岭石)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

本次研究在滇西上芒岗红色粘土型金矿区采集了不同类型的岩石矿石样品。红色粘土产自广令坡矿段, 采样方法为剖面刻槽取样: 横向上选取 3 条依次间隔 5 m 的典型剖面线, 每个样品按照长 × 宽 × 高为 (2.0 ~ 1.5) m × 0.1 m × 0.05 m 的规格从顶部的表土带往下按顺序连续取样于坡积带、钙华-沼泽带、残积带和腐泥岩带。然后把 3 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; 在矿区外围西山、菲红等地和矿区羊石山矿段采集 3 个岩浆岩样品。

红色粘土样品在室温下风干, 在玛瑙研钵中研磨至 0.149 mm, 然后密封保存。

2.2 分析方法

2.2.1 化学分析

用化学法测定各类岩石、红色粘土的主元素和金含量, 结果列于表 1 和表 2 中。

2.2.2 等离子质谱仪分析

称取缩分好的样品 50.0 mg, 置于矿床室自制的 Teflon 封密溶样装置中, 加入 1 mL HF 和 1 mL HNO₃, 加盖密封于 190 °C 的烘箱中加热 12 h。然后取出冷却, 于低温电热板上蒸干, 反复两次。最后,

表 1 上芒岗矿区红色粘土、地层、蚀变矿化岩和岩浆岩中的金含量 (µg/g)

Table 1 Au content (µg/g) of red clays, strata and altered and mineralized rocks, magmatic rocks in the Shangmanggang mining district

红色粘土		蚀变矿化岩和原生矿石		地 层		岩 浆 岩			
深度 d (m)	剖面分带	样号	Au	岩 性	Au	岩 性	Au		
0.0 ~ 2.0	表土带	S119	0.50	卡林型金矿石	9.80	勐嘎组泥岩	0.13	菲红橄榄岩	0.036 7
2.0 ~ 11.7	坡积带	S118	0.56	硅化黄铁矿化泥岩	2.34	沙子坡组白云岩	0.05	西山基性岩脉	0.034 7
2.0 ~ 11.7	坡积带	S117	0.93	硅化蚀变岩	2.12	角砾化白云岩	0.04	羊石山煌斑岩	0.033 6
2.0 ~ 11.7	坡积带	S116	0.65	高岭土化黄铁矿化蚀变岩	0.10	灰质白云岩	0.06		
2.0 ~ 11.7	坡积带	S115	0.45			泥质白云岩	0.10		
11.7 ~ 13.8	钙华-沼泽带	S114	0.45			粗晶白云岩	0.01		
13.8 ~ 19.2	残积带	S113	50.00						
13.8 ~ 19.2	残积带	S112	1.17						
19.2 ~ 22.2	腐泥岩带	S111	1.43						

表 2 滇西上芒岗红色粘土型金矿红色粘土的化学成分 (%)

Table 2 Chemical compositions (%) of red clays in the Shangmanggang red-clay type gold deposit in West Yunnan Province

样号	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	总量
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
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
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
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
S115	63.23	2.40	7.97	14.53	0.42	0.61	0.69	0.43	2.23	0.18	7.94	100.63
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
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
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
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
蚀变岩 ⁽¹⁾	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 ⁽²⁾	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 ⁽³⁾	76.64	0.18	2.79	12.95	0.15	0.45	0.55	0.02	2.46	0.16	3.13	99.48

注:由中国科学院地球化学研究所测试分析中心分析室李荪蓉分析。(1) 蚀变岩为 7 件样品平均值;(2) 白云岩为近矿沙子坡组 11 件样品平均值;(3) 碎屑岩为勐嘎组 8 件样品平均值。

用 2 mL HNO₃, 5 mL H₂O 提取于 50 mL 塑料瓶中,以 Rh 作内标,用等离子质谱仪(ICP-MS)完成微量元素和稀土的含量测定,分析精度为 ±10%。

3 金在红色粘土剖面及各类岩石中的分布

金在红色粘土剖面中的变化趋势表现为低→高→低(图 2)。钙华-沼泽带以上部分中金含量都在 1.00 μg/g 以下,残积带以下部分中金含量都在 1.00 μg/g 以上,其中残积带中金的含量最高;除高岭土化黄铁矿化蚀变岩中金含量为 0.10 μg/g 以外,其余蚀变矿化岩和原生矿石中金的含量大于 2.00 μg/g;地层中金的含量明显低于蚀变矿化岩和原生矿石,最高的仅为 0.13 μg/g;相对于三者,岩浆岩中的金含量更低(表 1)。

4 主元素地球化学特征

4.1 红色粘土剖面中主元素垂向分布特征

红色粘土剖面中 Fe₂O₃、Al₂O₃ 和 K₂O + Na₂O 的含量变化从底部到顶部表现为低→高→低,即在剖面中部残积带它们富集,在上下两端降低;SiO₂ 的含量变化与 Fe₂O₃、Al₂O₃、K₂O + Na₂O 的完全相反;TiO₂、MgO + CaO 的含量从剖面低部往上总体表现为降低;MnO 的含量在钙华-沼泽带和坡积带富集,向两侧逐渐减少(图 3 和表 2)。

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 1 和图 3)。主元素 Al₂O₃、Fe₂O₃ 和 K₂O 在红色粘土剖面中的变化与金一致,说明金与 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 和 K₂O 有好的相关性,揭示了金与红色粘土中褐铁矿和伊利石的密切关系;SiO₂ 的变化趋势表现为高→低→高。SiO₂ 在残积带明显降低,这暗示残积带在红色粘土剖面中是一条特殊的带,这个带相对于其他带去硅作用较完全,红土化作用强。

4.2 主元素迁移、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 2)做比较,可以发现如下特征:相对于碎屑岩,红色粘土中的 SiO₂ 含量明显降低,Al₂O₃、Fe₂O₃ 和 MnO 含量增高,CaO、MgO、Na₂O 和 K₂O 含量略有增高;与白云岩相比,红色粘土中的 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 明显增加;与蚀变岩相比,红色粘土中的碱土金属含量减少,SiO₂ 和碱金属变化不明显;Al₂O₃、Fe₂O₃ 和 MnO 等含量增加。上述特征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了少部分物质。

4.3 红色粘土的红土化

上芒岗红色粘土型金矿的红土化参数(表 3)表现为:红土化系数在红色粘土剖面中部(残积带)达 1.6,在其他带均大于 5,说明在整个红色粘土剖面

中红土化程度低，仅残积带表现明显的脱硅作用。淋溶系数在红色粘土剖面中从上到下呈高→低→高的变化趋势，反映整个红色粘土剖面经历了两次红土化作用。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值除在残积带较小外，在其他带均大于 5，说明红色粘土总体上脱硅富铝程度不大，仅残积带具有较强的脱硅富铝能力。 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 比值介于 2.0~4.3 之间，在红色粘土剖面中变化不大，表明铁铝没有明显的分离。 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值在钙华-沼泽带和钙华-沼泽带与坡积带接触处高，为 0.161 和 0.338；在坡积带中部(S117)和残积带中部(S113)低，为 0.007 和 0.055。在整个红色粘土剖面中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值的变化的说明了残积带和坡积带相对于其他带处于较氧化的环境，揭示了残积带和坡积带中的红土化作用比其他带强，红色粘土剖面遭受过两期红土化作用。

总之，除残积带 SiO_2 含量低 (33%)，去硅作用较完全，红土化程度高外，红色粘土剖面总体上 SiO_2

含量高，去硅作用不强，铁铝富集不明显，红土化程度低。

5 微量元素地球化学特征

5.1 微量元素在红色粘土剖面中的垂向分布特征

在红土化过程中由于红色粘土风化壳质量亏损或体积缩小，其微量元素的绝对含量不能准确反映其活动规律，因此常用 Ti、Zr、Th 和 Al 等稳定元素对其他元素含量加以校正^[19,20]。Ti 在风化过程中属于不活动性元素，能够有效地滞留于风化形成的次生氧化物中^[19,21,22]，而且风化剖面中 Ti 的含量往往相对较高，属于主元素，相比之下它的样品间差异比 Zr、Th 小。所以本文选用 Ti 作为校正因子来衡量其他元素的活动性(图 4)。

Au、Hg、Sb、Mo、Pb、Cu、Zn 和 As 等 8 个元素在红色粘土剖面中表现出相似的变化特征(图 4)，它们与 Ti 的比值在残积带最高，在剖面的其他带低且变化不明显。这些特征表明，在上芒岗红色粘土型金矿形成过程中，成矿元素 Au 发生活化、迁移并在残积带附近富集，共生的元素有 Hg、Sb、As 和 Mo 等，这是表生条件下低温成矿的元素组合的标志。

5.2 大离子亲石元素特征

图 5 为红色粘土、地层和矿化蚀变岩的大离子亲石元素地壳丰度标准化曲线图。红色粘土的大离子亲石元素分布模式曲线与矿化蚀变岩的和中侏罗统勐嘎组泥岩的虽然有部分差异，但曲线的总体形态是一致的，表现为富 Cs 和 U、贫 Ba 和 Sr 的模式，与下二叠统沙子坡组白云岩的差别大。

表 3 化学成分特征参数值

Table 3 Selected parameters of chemical compositions

样号	淋溶系数	红土化系数	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$
S119	28.0	5.07	6.28	4.16	0.014
S118	25.5	6.37	7.91	4.13	0.012
S117	27.3	5.77	5.91	4.32	0.007
S116	22.5	5.51	7.24	3.19	0.088
S115	21.3	5.55	7.40	2.86	0.338
S114	19.4	5.03	6.40	3.69	0.161
S113	6.52	1.58	2.40	1.95	0.055
S112	25.1	5.05	6.73	3.01	0.094
S111	21.3	5.08	7.00	2.65	0.064

注：淋溶系数 = $\text{SiO}_2 / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO})$ (摩尔比)；
红土化系数 = $\text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (摩尔比)。

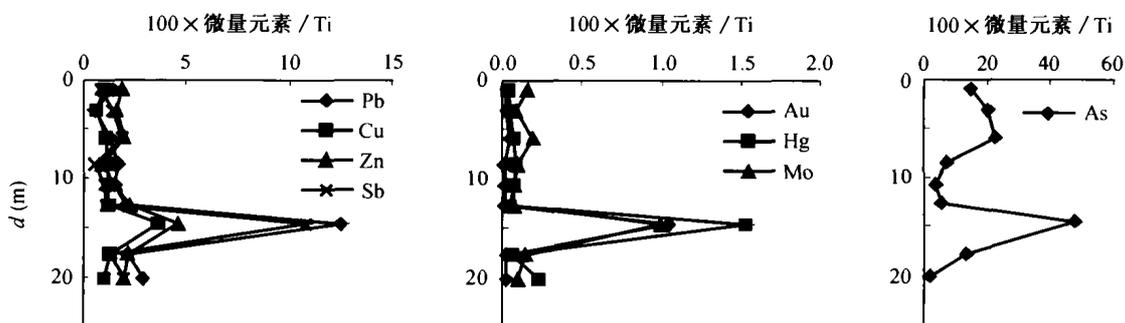


图 4 微量元素/Ti 比值在红色粘土剖面中的变化特征

Fig. 4 Changes of trace elements/Ti in the red clay profile

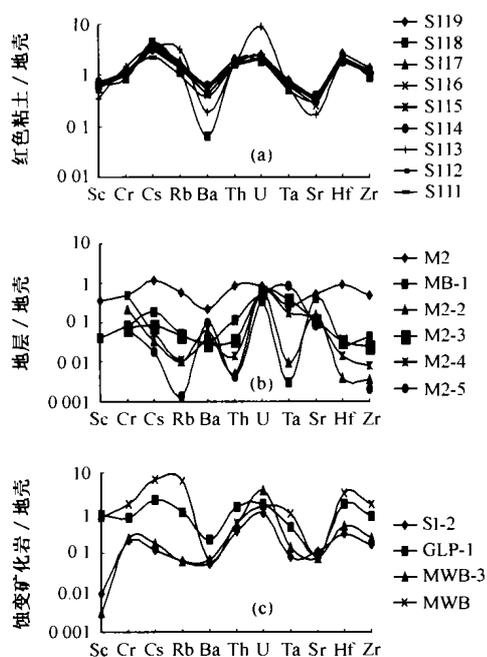


图 5 红色粘土(a)、地层(b)和蚀变矿化岩(c)地壳丰度¹²³标准化微量元素图解

Fig. 5 Diagrams of crust abundance-normalized trace elements for red clays (a), strata (b) and altered and mineralized rocks (c)

6 稀土元素地球化学特征

6.1 稀土元素含量及分布特征

各类型岩石和矿石的稀土元素含量见表 4。红色粘土各样品的 REE 球粒陨石^[24] 标准化分布模式很相似(图 6a)。红色粘土的稀土元素总量为 189 ~ 272 μg/g, LREE/HREE 比值为 6.86 ~ 11.1, (Ce/Yb)_v 比值为 5.68 ~ 7.89, 轻稀土曲线相对较陡, 重稀土曲线平缓, δEu 为 0.553 ~ 0.681, Eu 负异常明显, δCe 为 0.823 ~ 1.04, Ce 异常微弱(图 7)。说明在红土化过程中稀土元素发生分馏, 风化残余物质富集轻稀土, 亏损重稀土^[25], 轻稀土分馏明显, 重稀土分馏不明显, Eu 相对亏损, Ce 相对稳定。

与地层、蚀变岩及岩浆岩相比较(图 6), 红色粘土的稀土元素分布模式与蚀变岩的相似, 与中侏罗统勐嘎组的相似, 与下二叠统沙子坡组白云岩的一部分相似, 表现为一条轻稀土富集的右倾曲线, 与矿区和矿区外围出露的岩浆岩的不一样; 红色粘土的

表 4 上芒岗红色粘土型金矿红色粘土、蚀变矿化岩、地层和岩浆岩的稀土含量(μg/g)及特征参数

Table 4 Contents and charateristical parameters of REE in red clays, altered and mineralized rocks, strata and magmatic rocks of the Shangmanggang red-clay-type gold deposit

样号	样品岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE
S119	红色粘土	49.6	102	11.3	41.2	7.62	1.57	6.94	1.09	6.46	1.28	3.87	0.562	3.81	0.582	239
S118	红色粘土	39.6	76.7	9.17	34.1	6.59	1.44	6.13	0.970	5.77	1.18	3.44	0.508	3.49	0.513	190
S117	红色粘土	47.8	98.5	10.9	39.6	7.70	1.62	7.31	1.09	6.69	1.37	3.98	0.608	4.06	0.583	232
S116	红色粘土	42.3	90.6	9.71	35.2	7.13	1.42	6.14	0.950	5.62	1.13	3.32	0.510	3.39	0.520	208
S115	红色粘土	44.2	94.3	9.88	36.1	6.89	1.19	5.56	0.850	5.42	1.00	3.06	0.470	3.09	0.490	212
S114	红色粘土	58.0	100	14.0	52.2	11.2	2.49	11.0	1.66	9.52	1.77	5.01	0.740	4.44	0.650	273
S113	红色粘土	46.3	83.8	9.46	32.6	4.69	0.880	3.96	0.620	4.02	0.780	2.79	0.420	2.92	0.450	194
S112	红色粘土	42.2	88.9	9.49	34.4	6.55	1.30	5.91	0.890	5.38	1.06	3.42	0.530	3.12	0.460	204
S111	红色粘土	42.9	88.6	9.55	35.0	6.78	1.28	5.26	0.880	5.11	0.980	3.14	0.440	3.10	0.470	203
SI-2	硅化蚀变岩	8.51	19.0	2.28	8.61	1.36	0.284	1.81	0.369	2.53	0.525	1.54	0.220	1.15	0.166	48.3
GLP-1	硅化黄铁矿化泥岩	31.2	69.6	7.99	33.6	6.72	0.993	5.92	0.883	5.33	1.11	3.25	0.447	3.00	0.414	170
MWB-3	硅化蚀变岩	9.36	19.0	2.07	7.23	0.976	0.168	0.68	0.141	1.05	0.247	0.713	0.123	0.833	0.110	42.7
MWB	高岭土化黄铁矿化蚀变岩	3.45	8.49	1.18	5.07	0.96	0.232	1.38	0.430	3.41	0.887	2.67	0.467	3.42	0.452	32.5
M2	勐嘎组泥岩	18.8	40.0	4.79	19.5	4.48	0.958	4.68	0.686	4.07	0.800	2.29	0.332	2.21	0.303	104
MB-1	沙子坡组白云岩	4.01	8.31	0.985	3.91	0.573	0.116	0.755	0.106	0.697	0.142	0.389	0.051	0.312	0.023	20.4
M2-2	角砾化白云岩	0.151	0.446	0.058	0.489	0.323	0.090	0.325	0.046	0.272	0.045	0.108	0.019	0.098	0.012	2.48
M2-3	灰质白云岩	1.01	2.21	0.264	0.977	0.190	0.049	0.232	0.033	0.175	0.044	0.104	0.016	0.074	0.014	5.40
M2-4	泥质白云岩	0.529	1.09	0.125	0.528	0.162	0.037	0.147	0.018	0.120	0.021	0.054	0.010	0.049	0.006	2.89
M2-5	粗晶白云岩	0.184	0.322	0.042	0.199	0.044	0.020	0.049	0.010	0.067	0.012	0.028	0.004	0.022	0.004	1.01
FH-1	橄榄岩	0.507	0.183	0.053	0.167	0.013	0.005	0.015	0.002	0.007	0.000	1.005	0.001	0.009	0.002	0.972
XS-7	(超)基性岩脉	0.143	0.244	0.029	0.107	0.013	0.005	0.019	0.003	0.014	0.003	0.009	0.002	0.008	0.002	0.600
YSS-2	云斜煌斑岩脉	60.8	121	12.9	49.0	8.36	2.52	6.76	0.940	5.18	0.884	2.501	0.322	2.43	0.289	273

注: 由中国科学院地球化学研究所等离子质谱仪分析室分析。

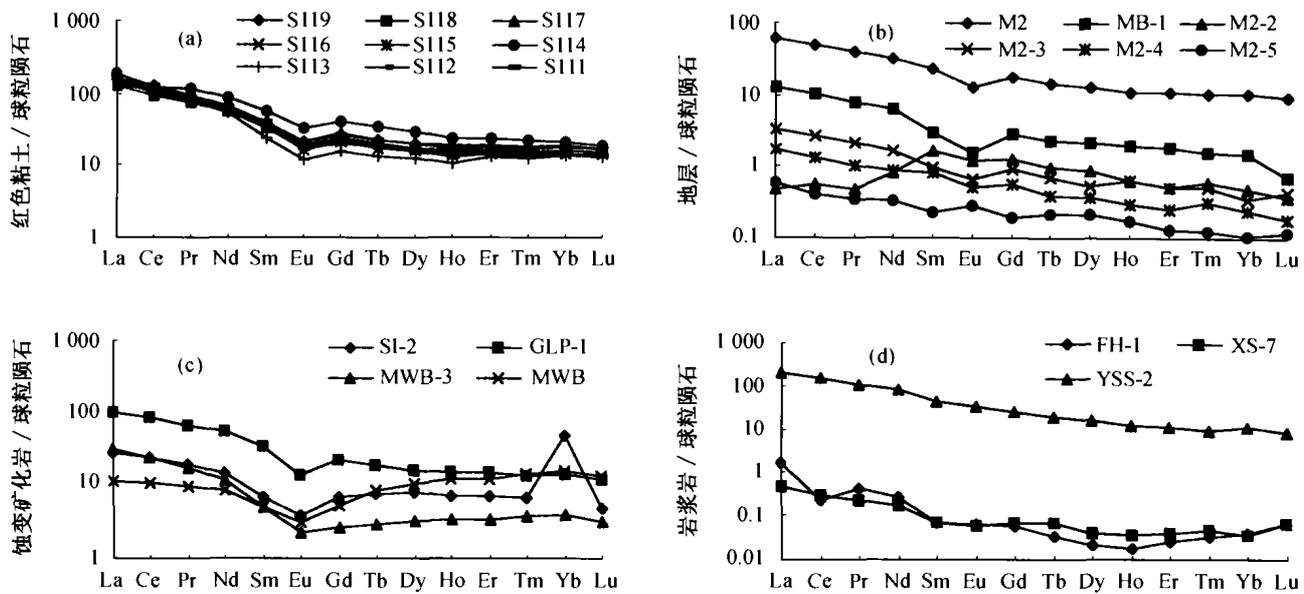


图 6 上芒岗红色粘土型金矿各岩类稀土元素球粒陨石^[24]标准化图解

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of red clays (a), strata (b), altered and mineralized rocks (c) and magmatic rocks (d) in the Shangmanggang red-clay-type gold deposit

a. 红色粘土; b. 地层; c. 蚀变矿化岩; d. 岩浆岩。

特征参数与地层、蚀变岩的具有相似性, 表现在 LREE/HREE 比值大于 1, $(Ce/Yb)_N$ 比值大于 1, δEu 小于 1, δCe 约为 1; 也存在一定的差异性, 即红色粘土的 ΣREE 明显高于地层和蚀变岩的 (表 4), 可能是因为表生风化淋滤的结果。

6.2 特征参数讨论

在红色粘土剖面中轻重稀土分异强烈的地方, 金的含量较高, 这与在相对氧化的环境下发生红土化作用及其程度有关 (图 7)。另外, LREE/HREE 比值、 $(Ce/Nb)_N$ 比值、 Y/Ho 比值和 Fe_2O_3 含量的变化

趋势在剖面中大体一致, 这表明氧化铁与稀土元素的活动有密切的关系。 Sm/Nd 值除在残积带稍有变化外, 没有明显波动, 说明 Sm 和 Nd 仅在残积带稍有活动, Nd 的活动性比 Sm 强; Y 和 Ho 在剖面中有一定的活动性, 反映了重稀土元素之间也存在差异 (图 7a 和图 7b)。

Ce 异常的出现, 反映了岩石形成的氧化还原环境特征。 Ce 常具有两种价态 Ce^{3+} 和 Ce^{4+} , 在红色粘土剖面顶部, Ce^{3+} 易氧化成 Ce^{4+} (呈 CeO_2 的形式) 而保存于残坡积层中, 从而造成其下部全风化层内 Ce 的贫化。可是从图 7 显示来看, 情况并非这样。整个

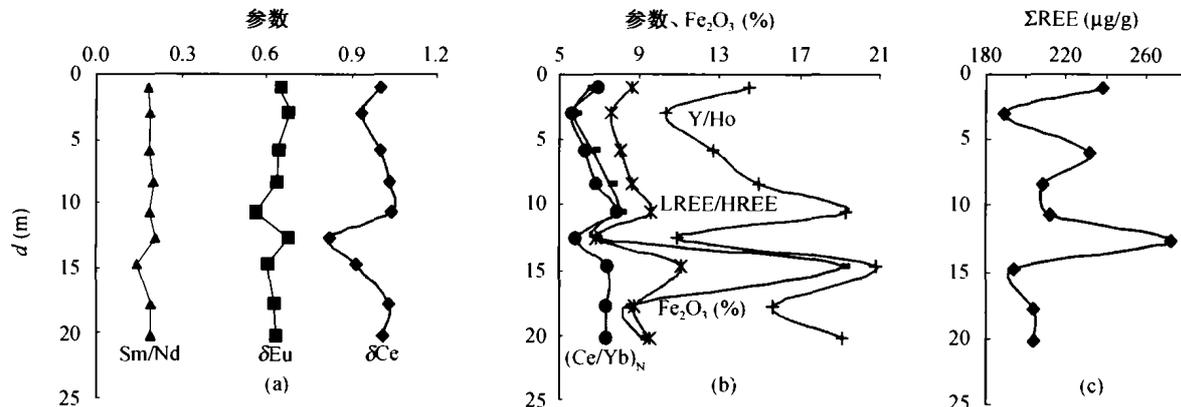


图 7 上芒岗金矿红色粘土剖面中 Fe_2O_3 含量和稀土元素参数变化

Fig. 7 Changes of selected parameters in the red clay profile of the Shangmanggang gold deposit

a. Sm/Nd 比值、 δEu 和 δCe 的变化; b. LREE/HREE 比值、 Y/Ho 比值、 $(Ce/Yb)_N$ 值和 Fe_2O_3 含量的变化; c. ΣREE 的变化。

红色粘土中代表样品 δCe 值在 1 左右徘徊, 只有 S114 的 δCe 值为 0.823, 表明 S114 所代表的钙华-沼泽带形成于湿润、还原性环境。在整个红色粘土剖面中 δEu 小于 0.7, Eu 负异常明显, 主要取决于含钙造岩矿物(斜长石、磷灰石和含钙辉石)的聚集和迁移。风化壳和太古宙的页岩均具有 Eu 亏损, 这反映了母体经历过分异作用^[26]。

7 物质来源探讨

上芒岗红色粘土型金矿的物质来源包括红色粘土的来源和金的来源。

7.1 红色粘土的来源

宏观的地质特征和元素地球化学特征显示: (1) 矿区中仅在羊石山矿段出露极少量煌斑岩脉; 出露地层为中侏罗统勐嘎组和下二叠统沙子坡组; 红色粘土位于沙子坡组白云岩岩溶面之上, 其附近有卡林型金矿化和矿化蚀变岩。此红色粘土型金矿和卡林型金矿受上芒岗断裂控制。(2) 主元素的迁移富集特征表明, 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了少部分物质。(3) 大离子亲石元素与稀土元素一样, 其分布模式往往能探讨成矿物质来源^[27]。前面分析了大离子亲石元素的分布模式总体上与矿化蚀变岩的和中侏罗统勐嘎组的相似, 与下二叠统沙子坡组的不同, 反映了红色粘土继承了矿化蚀变岩和勐嘎组的微量元素组成, 可能有少部分沙子坡组参与了成矿作用。(4) 红色粘土稀土元素分布模式与蚀变岩、地层的一致, 特征参数值也很接近, 揭示了红色粘土稀土元素和蚀变岩、地层稀土元素的紧密相关性, 红色粘土稀土元素来自蚀变岩和地层, 与岩浆岩无关。

7.2 金的来源

与地壳平均值(泰勒值)^[23]相比, 地层和岩浆岩中金都有所富集, 但是这二者不大可能是上芒岗红色粘土型金矿的主要矿源体(表 1)。首先, 尽管与地壳丰度相比金含量较高, 但与矿化蚀变岩和红色粘土相比, 金含量很低; 其次, 要形成上芒岗红色粘土型金矿, 需要大量的地层和岩浆岩为红色粘土型金矿体的形成提供金, 事实上, 上芒岗红色粘土型金矿明显受上芒岗断裂控制, 所涉及的地层和岩浆岩的

数量有限; 而含金较高的矿化蚀变岩(卡林型金矿)则是上芒岗红色粘土型金矿的主要矿源体。

另外, 红色粘土剖面中微量元素的分析结果表明, Au、Hg、Sb、Mo、Pb、Cu、Zn 和 As 为共生元素, 说明红色粘土继承了矿化蚀变岩(卡林型金矿体)的微量元素特征, 也证实了含金较高的矿化蚀变岩(卡林型金矿)为红色粘土型金矿的主要矿源体。

最后, 综合红色粘土的来源分析, 上芒岗红色粘土型金矿的金主要来自附近的卡林型金矿体及矿化蚀变岩。

参考文献(References):

- [1] Mann A W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: Some observations from Western Australia [J]. *Econ Geol*, 1984, 79: 38 ~ 49.
- [2] Davy R, El-ansary M. Geochemical patterns in the laterite profile at the Boddington gold deposit, Western Australia [J]. *J Geochem Explor*, 1986, 26: 119 ~ 144.
- [3] 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, 47 (1-3): 143 ~ 163.
- [4] Carvalho I G, Mestrinbo S S P, Fontes V M S, *et al.* Geochemical evolution of laterites from two areas of the semiarid region in Bahia State, Brazil [J]. *J Geochem Explor*, 1991, 40: 385 ~ 411.
- [5] Zang Weisheng, Fyfe W S. A three-stage genetic model for the Igarapé Bahia lateritic gold deposit, Carajás, Brazil [J]. *Econ Geol*, 1993, 88(7): 1 768 ~ 1 779.
- [6] Porto C G, Hale M. Gold redistribution in the stone line lateritic profile of the Posse deposit, central Brail [J]. *Econ Geol*, 1995, 90(2): 308 ~ 321.
- [7] Da Costa M L, Araújo E S. Application of multi-element geochemistry in the Au-phosphate-bearing lateritic crusts for identification of their parent rocks [J]. *J Geochem Explor*, 1996, 57 (1-3): 257 ~ 272.
- [8] 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, 29(1): 12 ~ 15.
Li Song-sheng. Geological feature and genesis of lateritic gold deposit in Shewushan, Hubei [J]. *Geol Prospect*, 1993, 29(1): 12 ~ 15 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘腾飞. 湖北蛇屋山红土型金矿地质特征与勘探[J]. *黄金地质*, 1996, 2(3): 25 ~ 30.
Liu Teng-fei. Geological feature and exploration of lateritic gold deposit in Shewushan, Hubei [J]. *Gold Geol*, 1996, 2(3): 25 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- [10] 蒋年生. 湘南红土型金矿地质特征及控矿因素[J]. *湖南地质*, 1999, 18(2, 3): 79 ~ 83.
Jiang Nian-sheng. Geological characteristics and factors controlled of laterite Au deposits in southern Hunan [J]. *Hunan Geol*, 1999, 18(2, 3): 79 ~ 83 (in Chinese with English abstract).
- [11] 洪金益, 杜智明, 陆术华, 等. 湘南红土型金矿的成矿条件分

- 析[J]. 中南工业大学学报, 1996, 27(5): 511~515.
Hong Jin-yi, Du Zhi-ming, Lu Shu-hua, *et al.* Geological condition of metallization of southern Hunan [J]. J Central South Univ Tech, 1996, 27(5): 511~515 (in Chinese with English abstract).
- [12] 洪金益. 红土型金矿的找矿地质特征 [J]. 中南工业大学学报, 1995, 26(增刊): 148~152.
Hong Jin-yi. Geological feature and prospecting of lateritic gold deposit [J]. J Central South Univ Tech, 1995, 26(suppl): 148~152 (in Chinese with English abstract).
- [13] 吕伯西. 云南省红土型金矿找矿前景 [J]. 云南地质科技情报, 1994, (2): 1~3.
Lü Bo-xi. Future of prospecting of lateritic gold deposits in Yunnan [J]. Geol Sci Tech Infor Yunnan, 1994, (2): 1~3 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王瑞湖. 广西红土型金矿基本类型及找矿前景分析[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 687~689.
Wang Rui-hu. Basic types and prospecting of lateritic gold deposits in Guangxi [J]. Geol Explor Non Ferrous Metal, 1999, 8(6): 687~689 (in Chinese with English abstract).
- [15] 刘幼平. 贵州红土型金矿的成矿与找矿[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 353~358.
Liu You-ping. Metallogenic theories and prospecting of lateritic gold deposits in Guizhou [J]. Geol Explor Non Ferrous Metal, 1999, 8(6): 353~358 (in Chinese with English abstract).
- [16] 何维基. 赣西红土型金矿床地质特征、成矿地质条件和找矿前景分析[J]. 矿产与地质, 1998, 12(5): 329~334.
He Wei-ji. Geological features, metallogenic conditions and exploration perspective of laterite gold deposits in western Jiangxi [J]. Mineral Resour Geol, 1998, 12(5): 329~334 (in Chinese with English abstract).
- [17] 饶文波, 高振敏, 杨竹森, 等. 云南路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.
Rao Wen-bo, Gao Zhen-min, Yang Zhu-sen, *et al.* Geological characteristics of the Shangmanggang red-clay-type gold deposit in Luxi, Yunnan [J]. Geology-Geochemistry, 2000, 28(4): 12~17 (in Chinese with English abstract).
- [18] 杨竹森, 高振敏, 饶文波, 等. 滇西上芒岗红色粘土型金矿成因研究[J]. 矿床地质, 2000, 19(2): 97~104.
Yang Zhu-sen, Gao Zhen-min, Rao Wen-bo, *et al.* On the genesis of the Shangmanggang red-clay-type gold deposit, western Yunnan [J]. Mineral Deposit, 2000, 19(2): 97~104 (in Chinese with English abstract).
- [19] Braun J J, Pagel M, Herbillon A, *et al.* Mobilization and redistribution of REEs and thorium in a syenitic lateritic profile: A mass balance study [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1993, 57: 4 419~4 434.
- [20] Braun J J, Viers J, Dupke B, *et al.* Solid/liquid REE fractionation in the lateritic system of Goyoum, East Cameroon: The implication for the present dynamics of the soil covers of the humid tropical regions [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1998, 62(2): 273~299.
- [21] Nesbitt H W. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite [J]. Nature, 1979, 206~210.
- [22] Nesbitt H W, Markovics G. Weathering of granodioritic crust, long-term storage of elements in the weathering profiles, and petrogenesis of siliciclastic sediments [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1997, 61(8): 1 653~1 670.
- [23] 刘秉光, 陆德复, 蔡新平, 等. 滇川西部金矿床研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1999. 119~128.
Liu Bing-guang, Lu De-fu, Cai Xin-ping, *et al.* Research of Gold Deposits in Western Yunnan and Sichuan [M]. Beijing: China Ocean Press, 1999. 119~128 (in Chinese).
- [24] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 93.
Wang Zhong-gang, Yu Xue-yuan, Zhao Zhen-hua, *et al.* Geochemistry of Rare Earth Elements [M]. Beijing: Science Press, 1989. 93 (in Chinese).
- [25] Brau J J, Pagel A, Muller J P, *et al.* Cerium anomalies in lateritic profiles [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1990, 54: 781~795.
- [26] 李昌年. 微量元素及其在岩石学中的应用[M]. 武汉: 武汉地质学院岩石教研室. 1986. 36~40.
Li Chang-nian. Trace Element and Its Application to Petrology [M]. Wuhan: Teaching and Research Section of Petrology, Wuhan College of Geology, 1986. 36~40 (in Chinese).
- [27] 潘家永. 滇西铜多金属矿带地球化学特征及成矿机理[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1999.
Pan Jia-yong. Geochemistry and mechanism of metallization of copper and multi-metal deposit zones [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1999 (in Chinese with English abstract).

Geochemistry of element of the Shangmanggang red-clay-type gold deposit in West Yunnan and the source of ore-forming materials

RAO Wen-bo^{1,2}, GAO Zhen-min¹, YANG Zhu-sen^{1,3}, LUO Tai-yi¹,
LI Hong-yang^{1,4}, TAO Yan¹, PU Chuan-jie⁵

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School of the 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 Environmental Engineering, Shijiazhuang University of Economy, Shijiazhuang 050031, China; 5. Gold Administration Bureau of Yunnan Province, Kunming 650051, China)

Abstract: Geochemistry of major elements, trace elements and REEs in the red clays of the Shangmanggang red-clay-type gold deposit in West Yunnan are researched in detail. The results show that Al_2O_3 , Fe_2O_3 and K_2O migrated and precipitated together in the red clay profile, but change of SiO_2 was in contrast with them. As a whole, content of SiO_2 is high, desilication is incomplete, and degree of laterization is low, except for high degree of laterization in eluvial zone. In contrast with strata and mineralized and altered rocks, red clays come from Mengga Formation mudstone with laterization. Au, Hg, As, Sb, Cu, Pb, Zn and Mo are coextensive elements in the red clay profile, and they are obviously enriched in the eluvial zone where laterization is complete. Patterns of crust-normalized large-ion-lithophile elements for red clays are similar to those of both mineralized and altered rocks and Mengga Formation. Patterns of chondrite-normalized REEs for red clays are also similar to those of both altered and mineralized rocks and Mengga Formation. LREEs are enriched, and gold concentrated where REE fractionated strongly. It is concluded that gold comes mainly from the mineralized and altered rocks, and the red clays come mainly from Mengga Formation and the mineralized and altered rocks.

Key words: red-clay-type gold deposit; major element; trace element; REE; source of ore-forming materials; Yunnan Province