

文章编号: 1000-4734(2001)04-0647-07

云南潞西上芒岗金矿红色粘土化作用 及其环境效应

李红阳^{1,2} 高振敏¹ 杨竹森¹ 罗泰义¹ 饶文波¹ 陶 琰¹ 王立峰²

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放室, 贵州 贵阳 550002;

2. 石家庄经济学院 资源与环境工程系, 河北 石家庄 050031)

摘要: 上芒岗卡林型金矿床的强烈红土化作用, 形成了上部红色粘土型金矿体, 产生了一定范围的次生地球化学异常。金矿区红色粘土剖面可分为表土带、坡积带、钙华-沼泽带、残积带、腐泥带和基岩带。在原生卡林型金矿红土化作用过程中, 黄铁矿、毒砂、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物矿物发生氧化作用, S、As、Sb、Pb 等有害元素将被有效释放进入地下水和红色粘土中, 进而造成地下水和土壤的污染。

关键词: 卡林型金矿床; 红色粘土化作用; 环境效应; 上芒岗; 云南

中图分类号: P618.51 **文献标识码:** A

作者简介: 李红阳, 男, 1959年生, 教授, 博士后, 主要从事地球化学研究。

上芒岗金矿床是滇西南卡林型金矿床富集区^[1-5]的典型金矿床之一, 可与美国西部和我国滇黔桂“金三角”地区的卡林型金矿床相对比^[5]。该金矿床位于滇西南龙陵—瑞丽北东向大断裂的南东侧, 沿北东向上芒岗断裂展布, 包括羊石山、广岭坡、麦窝坝和果园等四个矿段(图1), 由下部原生卡林型和上部红色粘土型金矿体所组成。其中红色粘土型金矿主要为原生卡林型金矿体或矿化体的晚新生代强烈红土化作用之氧化带或红土化风化壳, 与国外典型红土型金矿存在明显的差异^[6-10]。该矿床赋矿地层主要为侏罗系勐戛组砂泥质岩、白云质灰岩和二叠系沙子坡组泥硅质灰岩、白云岩。伴生元素为 As、Hg、Sb、Th 等。金属矿物以黄铁矿和毒砂为主, 辉锑矿、辰砂、闪锌矿等次之。

本文是“云南潞西上芒岗金矿及外围成矿预测和找矿研究”专题研究报告的部分成果, 主要讨论上芒岗金矿红色粘土化作用及其环境效应。

1 卡林型金矿的红土化作用

1.1 红色粘土剖面特征

收稿日期: 2001-08-09

基金项目: 中国科学院重大项目(编号: KZ-951-A1-404-02); 国家自然科学基金项目(批准号: 49873021)

上芒岗金矿区广泛发育红土化风化壳, 红色粘土型金矿化主要沿上芒岗断裂分布, 明显受原生卡林型金矿化的控制(图1)。在上芒岗金矿区, 红色粘土剖面自上而下可划分为表土带、坡积带、钙华-沼泽带、残积带、腐泥岩带、基岩带6个带。

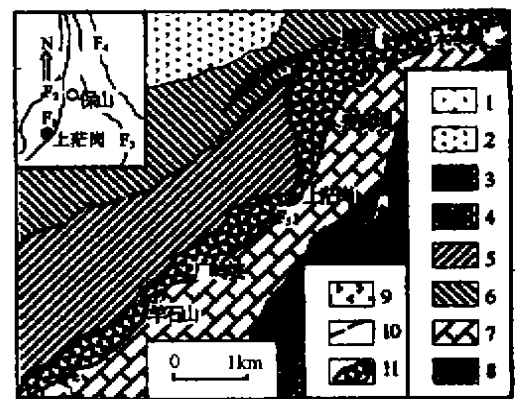


图1 上芒岗金矿床矿区地质略图

Fig. 1. Geological map of the Shangmanggang gold deposit. F₁, 龙陵-瑞丽断裂 F₂, 怒江断裂 F₃, 澜沧江断裂 F₄, 金沙江-红河断裂 F₅, 上芒岗断裂 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. 粘土化带(上芒岗断裂与卡林型金矿化带)

(1)表土带:主要为灰棕色高岭石质粘土和腐殖土,含少量硅质、迪开石和褐铁矿结核,最大厚度2 m。

(2)坡积带:主要为棕黄色、棕色粘土质砂土,发育灰白、白色高岭石质粘土组成的枝管状体,含泥岩和粉砂岩质次棱角状砾石,以及石英、斜长石、迪开石和热液蚀变硅质岩构成的砂粒,厚4~8 m。

(3)钙华-沼泽带:在广岭坡矿段为灰黑色碳质亚粘土,并有大量植物碎屑和少量硅藻、啮齿类骨骼碎片;在麦窝坝矿段主要为灰白、灰色粘土和透镜状钙华,含少量石英、斜长石砂粒;厚0~4 m。

(4)残积带:主要为紫红色砂质亚粘土,厚2~8 m。残积带顶部含有20%~30%的网脉状、结核状赤铁矿和褐铁矿,以及10%的石英砂。向下赤铁矿逐渐消失,褐铁矿逐渐减少,石英砂逐渐增加。

(5)腐泥岩带:主要为杂色含砾的粘土质亚砂土,厚度1~8 m。腐殖质和砂粒均在40%左右,其中砂粒以棱角状石英为主,其次为热液蚀变硅质岩,并有少量团块状泥岩、迪开石和球状、水滴状、姜块状石膏集合体。

(6)基岩带:主要为沿上芒岗断裂破碎带分布的热液蚀变矿化岩(矿)石以及勐夏组和沙子坡组赋矿围岩。

1.2 红土化作用

1.2.1 残积-坡积作用

残积-坡积作用是上芒岗金矿红土化作用的前期-初期阶段,主要表现为原生卡林型金矿蚀变矿化岩(矿)石与围岩破碎、风化残留的岩(矿)石碎屑、团块和矿物的堆积。上芒岗金矿区残积作用普遍发育,其堆积物呈现出原地风化堆积特征。残积和坡积作用使原生卡林型金矿蚀变矿化岩(矿)石与围岩的岩块、碎屑和残留矿物大量聚积于岩溶洼地内。例如,在广岭坡矿段,残积作用形成紫红色砂质亚粘土,并向下过渡到粘土质亚砂土构成的腐泥岩带。而且,在紫红色砂质亚粘土的下部常含次棱角状的原生卡林型金矿蚀变矿化岩(矿)石与围岩的团块。在果园矿段,残积作用形成紫红色亚粘土充填于岩溶洼地内,并含有一定数量的原生卡林型金矿化期石英晶洞内的石英晶体。坡积作用发生于钙华和碳质亚粘土堆积之后,形成较厚的含砾粘土质亚砂土堆积于低洼处。

坡积物中含有大量原生卡林型金矿蚀变矿化岩(矿)石与围岩的碎屑。

残-坡积物的矿物成分主要为基岩风化残留的矿物。例如,各类蚀变矿化岩(矿)石和石英脉、迪开石-高岭石细(网)脉、碳酸盐脉、重晶石脉等脉体风化残留的不同粒度的石英、迪开石、白云石、方解石和少量的黄铁矿、辉钨矿、毒砂、闪锌矿、伊利石、高岭石、重晶石和辰砂等,赋矿围岩风化残留的砂屑石英、白云石、水云母、燧石及少量长石和斜长石等。其中,石英是基岩风化残留的主要矿物,多组成红色粘土的砂砾部分。

1.2.2 粘土化作用

广泛的粘土化作用是上芒岗金矿红土化作用的主要表现形式。该金矿床红土化作用不彻底,仅属于红土化作用的初-中级阶段,即红色粘土化阶段。矿区广泛发育伊利石化、高岭石化以及蒙脱石化等粘土化和针铁矿化,表现为粘土矿物含量高且多种粘土矿物并存,铁铝氧化物明显较少。

在粘土化过程中,基岩矿物在表层水的循环下发生化学风化而分解,导致K、Na、Ca、Mg等可溶性组分大量淋失, Si有一定程度的淋失, Al、Fe、Mn、Ti等组分则残留富集。在矿物成分上,伊利石、高岭石大量出现,以及绿泥石、针铁矿和少量蒙脱石、三水铝石的出现,形成粘土矿物组合。

高岭石化是上芒岗原生卡林型金矿蚀变矿化岩(矿)石与围岩发生红色粘土化作用的主要表现形式之一。高岭石是红色粘土化作用的典型表生成因粘土矿物之一,多呈次显微片状分布于红色粘土层上部的表土带和坡积带之中。而在残积带和腐泥岩带,多为半自形和自形的高岭石。

伊利石化也是红色粘土化作用的重要表现形式之一,伊利石亦是典型的表生成因的粘土矿物之一。伊利石多呈次显微片状分布于红色粘土之中。其中,在钙华-沼泽带,伊利石的结晶程度相对较高。

针铁矿是上芒岗原生卡林型金矿中黄铁矿等矿物经红色粘土化作用形成的典型表生成因铁矿物,主要呈次显微针状分布于红色粘土之中,或其它矿物组成褐铁矿团块呈结核状、豆状、皮壳状和黄铁矿假象分散于红色粘土及所含砂砾中。其粒度极细,并含有一定的砷、锑、金、铅(表1)。这与广岭坡矿段残积带上部因含大量褐铁矿而金高度富集相吻合。

1.2.3 硫化物的氧化作用

上芒岗原生卡林型金矿中的黄铁矿、毒砂、辉锑矿、方铅矿等金属硫化物矿物在近地表溶有氧、二氧化碳等成分的地下水的作用与影响下,转变为硫酸盐。其中,易溶的硫酸盐进入水体而流失,难溶的硫酸盐则保留在原地。硫酸盐又可能进一步氧化或与其它无机酸反应生成氧化物、氢氧化物、碳酸盐及少量的砷酸盐等。黄铁矿、毒砂等硫化物矿物的氧化作用导致上芒岗卡林型金矿床上部近地表部分产生次生富集而形成易采的红色粘土型金矿。与此同时,也形成一定范围的表生地球化学异常,造成一定程度的环境污染。

黄铁矿(FeS_2)为上芒岗卡林型金矿床最常见的载金矿物之一。黄铁矿的氧化作用主要表现为 S^{2-} 氧化为 SO_4^{2-} ,产生硫酸亚铁和硫酸。其中硫酸亚铁将进一步氧化为高价铁的硫酸盐。在中性或弱酸性溶液中,高价铁的硫酸盐将发生水解作用最终转变为氢氧化铁。氢氧化铁凝聚为分布最广泛的水赤铁矿、针铁矿等各种表生铁矿物。黄铁矿的氧化作用反应式可概括为: $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。黄铁矿氧化作用所产生的酸性溶液,又可以促使矿床中毒砂、方铅矿、闪锌矿等硫化物进一步氧化^[11],导致As、S、Pb、Cd等有害元素更多地被释放而污染环境(大气、水、土壤)。

表1 上芒岗金矿红色粘土中褐铁矿的电子探针分析结果(%)

Table 1. Electron microprobe analyses of limonite in red clay of the Shangmanggang gold deposit (%)

| 样号 | SiO_2 | TiO_2 | Al_2O_3 | Cr_2O_3 | FeO | CoO | NiO | MnO | CuO | PbO | ZnO | As_2O_3 | Sb_2O_3 | Au_2O_3 | Ag_2O |
|---------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| S112-1 | 1.78 | 0.00 | 4.56 | 0.43 | 54.46 | 0.18 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.68 | 0.06 | 0.34 | 0.10 |
| S112-2 | 2.09 | 0.00 | 8.84 | 0.65 | 50.73 | 0.10 | 0.03 | 0.17 | 0.15 | 0.42 | 0.00 | 0.72 | 0.05 | 0.00 | 0.05 |
| S112-3 | 4.99 | 0.05 | 8.05 | 0.60 | 58.21 | 0.14 | 0.10 | 0.25 | 0.09 | 0.00 | 0.07 | 0.52 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| S112-4 | 21.24 | 0.30 | 14.91 | 0.56 | 33.24 | 0.03 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.03 | 0.22 | 0.07 | 0.00 |
| S112-5 | 17.58 | 0.48 | 14.99 | 0.24 | 40.00 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.07 | 0.09 | 0.14 | 0.63 | 0.34 | 0.00 | 0.00 |
| S112(2) | 2.70 | 0.38 | 4.97 | 0.06 | 62.03 | 0.09 | 0.07 | 0.18 | 0.09 | 0.00 | 0.07 | 0.57 | 0.00 | 0.60 | 0.00 |
| S114-1 | 1.70 | 0.03 | 1.18 | 0.05 | 77.88 | 0.10 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 1.01 | 0.00 | 0.24 | 0.00 | 0.00 | 0.04 |
| S114-2 | 5.46 | 0.13 | 1.35 | 0.02 | 69.28 | 0.00 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.12 | 0.05 | 0.00 | 0.02 | 0.09 |
| S112(1) | 2.09 | 0.04 | 1.24 | 0.06 | 75.30 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.32 | 0.92 | 0.00 | 0.46 | 0.00 |
| S116 | 6.58 | 0.02 | 4.79 | 0.03 | 52.63 | 0.04 | 0.00 | 0.04 | 0.03 | 0.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.06 |
| S113 | 5.11 | 0.02 | 10.95 | 0.02 | 51.79 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.04 | 0.38 | 0.06 | 0.35 | 0.01 |

分析者:中国科学院地球化学研究所电子探针室,王明再。

毒砂(FeAsS)是上芒岗卡林型金矿床最重要的载金矿物之一。砷亦是“五毒(汞、镉、铅、铬、砷)”元素之一^[12-19]。毒砂只有在强碱性和还原环境中稳定,富氧的表生水环境必然引起毒砂分解。在卡林型金矿床近地表氧化带的酸性和氧化环境下,毒砂的氧化速度比黄铁矿大很多^[11]。毒砂一旦被氧化,就会释放Fe、As、S等元素。毒砂被破坏的速率与表生水体的成分和酸碱度密切相关^[11]。在上芒岗卡林型金矿床氧化带,由于硫化物特别是 FeS_2 的普遍存在和氧化,产生了以 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 为主要成分的淋滤液。这类水酸度大($\text{pH} \approx 2$),具有很强的氧化能力,能使毒砂迅速分解。毒砂的氧化作用主要反应式: $\text{FeAsS} + 13\text{Fe}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 14\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 13\text{H}^+ + \text{H}_3\text{AsO}_4(\text{aq})$ 。砷酸盐可被氢氧化铁、粘土矿物或其它的

含铁化合物吸附(表1)。

方铅矿(PbS)是上芒岗卡林型金矿床中的含硫铅矿物。伴随方铅矿的氧化,部分铅溶解而随水迁移。然而,近地表氧化带中硫酸铅因其溶解度相对很小而多残留原地。

在上芒岗金矿红土化作用过程中,卡林型金矿原生硫化物发生氧化释放出大量 SO_4^{2-} ,当其与 Ca^{2+} 在潜水面附近相遇时,可能以石膏的形式沉淀富集。例如,上芒岗金矿红色粘土剖面坡积带之下的各个层位,均有似层状分布的球状、水滴状和姜块状石膏集合体。这些集合体多被褐铁矿浸染。

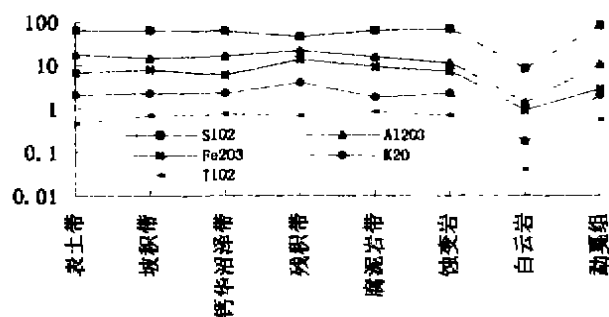
2 矿区红土化作用的环境效应

在上芒岗原生卡林型金矿蚀变矿化岩(矿)石及赋矿围岩红土化作用过程中,伴随高岭石、伊利

石等红色粘土化的广泛发育,以及主要金属硫化物黄铁矿、毒砂、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿等矿物发生氧化作用, Si、Al、Fe、Mn、Ti、Ca、Mg、K、Na 等常量元素和 Au、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Mo、Cr、Co、Ni 等微量元素,特别是 S、As、Hg、Sb、Pb 有害元素将被有效释放进入红色粘土中,形成上部红色粘土型金矿体,并产生一定范围的土壤地球化学异常,即土壤污染,并通过污染的土壤和水而危害农作物、动物以及当地居民的健康。现主要从红色粘土剖面各带中常量与微量元素含量变化和地球化学异常的角度讨论原生卡林型金矿红土化作用所产生的环境效应。

2.1 红色粘土的常量元素地球化学异常特征

根据广岭坡矿段红色粘土剖面各带样品的化学分析结果^[5],常量元素以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 为主,三者的总含量达 80% 左右。活动元素中 K_2O 的含量最高,其次为 Na_2O ,而 CaO 和 FeO 最低。在红色粘土剖面中,常量元素总体分布特征为(图 2)。在坡积带以上, CaO 、 MgO 、 FeO 和 TiO_2 含量较低;坡积带底部 MnO 含量增高;在钙华-沼泽带, FeO 含量达到最高值;在残积带顶部, SiO_2 明显降低,而 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 含量则明显增高,并含有较高的 K_2O 和 FeO ;在腐泥岩带, CaO 和 MgO 的含量明显较高。在垂向上,从上到下,除残积带顶部外, SiO_2 和 Al_2O_3 基本没有变化, Fe_2O_3 略有增加;而在残积带顶部, SiO_2 显著减少, Al_2O_3 和 Fe_2O_3 明显增加; FeO 从上到下总体逐渐增加; K_2O 的含量在残积带顶部明显增加, MnO 在坡积带的底部出现最高值; CaO 从上到下明显增加,并在坡积带中下部增加幅度最大; Na_2O 无明显变化,而 MgO 的含量则缓慢增加。



相对于蚀变矿化岩石^[5],红色粘土的碱土金属明显偏低, SiO_2 和碱金属略低, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO 等含量增加;相对于中侏罗统勐董组细碎屑岩,红色粘土中的 SiO_2 含量明显降低, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO 含量明显增高, CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 含量略有增高;相对于下二叠统沙子坡组泥质灰岩、白云岩,红色粘土层中 CaO 、 MgO 显著偏低,而 MnO 、 Na_2O 、 K_2O 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 增高。

与基岩化学成分相对比,红色粘土化过程中, CaO 和 MgO 基本全部淋失; Na_2O 发生了不同程度的淋失; K_2O 在残积带发生了富集,在其它各带发生了较低程度的淋失; Al_2O_3 仅在残积带略有富集,其它各带均表现为轻度淋失; SiO_2 有一半被迁出; Fe_2O_3 在钙华-沼泽带以上发生部分迁出,在残积带和腐泥岩带富集; FeO 仅在钙华-沼泽带和残积带略有富集; MnO 除在腐泥岩稍有贫化外,其它各带均明显富集。

2.2 红色粘土的微量元素地球化学异常特征

上芒岗金矿广岭坡矿段红色粘土的微量元素含量见表 2。与地壳平均值(泰勒,1964)相比,红色粘土中 Au、Pb、Sn、As、Sb、W、V、Mo、Co、Rb、Zr、Cs、Cr、Th、U、Hf 等元素相对富集,其中 Au、Sb、As、Pb、W、Mo、Co 等元素显著富集;Hg、Sr、Ti、Ba、Sc、Ta 等元素相对贫化,特别是 Hg、Sr 元素;Zn 在坡积带相对亏损;Cu 和 Ni 在残积带顶部富集,在其它带亏损;Hg 只在残积带顶部和腐泥带中富集。

与蚀变矿化岩(矿)石相对比(表 3),红色粘土中 Sr、Cs、Ba 大量富集,Rb 稍贫化,Sn 在残积带稍有富集,在其它带表现亏损,W 相对贫化;Nb、Ta、Zr、Hf、Y 和 Th、U 相对富集;Pb、Zn、Mo 明显富集,As、Sb 在残积带顶部显著富集,在其它层位贫

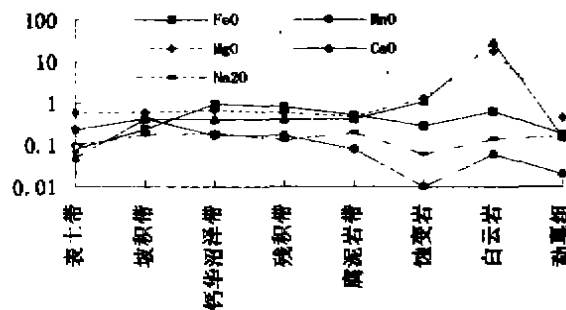


图 2 上芒岗金矿红色粘土剖面常量元素分布图

Fig. 2. Red clay profiles of the Shangmanggang gold deposit, showing the distribution of the major elements.

表 2 上芒岗金矿广岭坡矿段红色粘土的微量元素含量($\times 10^{-6}$)Table 2. Trace element contents of red clay in the Guanglingpo ore block of the Shangmanggang gold deposit($\times 10^{-6}$)

| 样品 | S119 (表土带) | S118 (坡积带) | S117 (坡积带) | S116 (坡积带) | S115 (坡积带) | S114(钙华 -沼泽带) | S113 (残积带) | S112 (残积带) | S111(腐 泥岩带) | 蚀变岩 | 勐嘎组 泥质岩 | 沙子坡组 白云岩 | 地壳丰度 |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|----------------|--------|------------|-------------|-------|
| Au | 0.50 | 0.56 | 0.93 | 0.65 | 0.45 | 0.45 | 50.00 | 1.17 | 1.43 | 3.59 | 0.13 | 0.052 | 0.004 |
| As | 391.24 | 401.1 | 430.0 | 336.0 | 158.0 | 247.0 | 2288. | 563.0 | 90.4 | 589.2 | 37.5 | 290.2 | 1.8 |
| Hg | 0.855 | 1.053 | 1.488 | 4.01 | 2.96 | 2.41 | 73.3 | 2.54 | 11.6 | 12.035 | 0.29 | 5.014 | 8 |
| Sb | 23.79 | 28.35 | 35.23 | 26.0 | 43.0 | 49.0 | 517.0 | 55.0 | 97.0 | 83.09 | 6.50 | 46.06 | 0.2 |
| Pb | 37.06 | 16.04 | 36.18 | 46.0 | 41.6 | 54.8 | 335.7 | 58.7 | 79.0 | 13.67 | 10.42 | 4.852 | 12.5 |
| Cu | 28.35 | 12.76 | 21.23 | 54.80 | 50.5 | 55.6 | 175.8 | 54.8 | 53.5 | 29.67 | 16.85 | 2.327 | 55 |
| Zn | 50.84 | 31.16 | 38.53 | 43.1 | 63.0 | 99.5 | 219.7 | 88.8 | 98.10 | 23.46 | 36.27 | 8.001 | 70 |
| Li | | | | 21.90 | 23.50 | 28.50 | 28.90 | 26.10 | 26.50 | 1870 | 16.84 | 0.583 | |
| Sn | 3.76 | 4.29 | 5.49 | 5.21 | 5.140 | 4.62 | 12.90 | 4.61 | 4.53 | 4.856 | 18.58 | 8.885 | 2 |
| Sr | 128.95 | 122.1 | 141.0 | 95.30 | 113.7 | 141.3 | 61.6 | 141.1 | 170.0 | 32.14 | 199.3 | 66.34 | 375 |
| W | 24.89 | 87.98 | 27.07 | 25.4 | 25.8 | 28.4 | 14.6 | 30.7 | 42.6 | 512.1 | 50.56 | 20.59 | 1.5 |
| V | 154.5 | 106.5 | 159.8 | 148.8 | 147.8 | 155.6 | 215.1 | 157.6 | 170.9 | 153.6 | 70.45 | 15.63 | 135 |
| Ni | 56.20 | 45.21 | 55.76 | 66.0 | 55.1 | 53.8 | 106.6 | 61.6 | 35.4 | 41.42 | 29.05 | 12.97 | 75 |
| Mo | 4.31 | 1.67 | 3.679 | 4.59 | 2.82 | 3.23 | 47.82 | 6.16 | 5.02 | 2.334 | 0.052 | 1.353 | 1.5 |
| Co | 28.96 | 17.63 | 26.05 | 29.20 | 38.3 | 30.4 | 26.7 | 37.3 | 29.10 | 135.8 | 19.71 | 4.555 | 25 |
| Cr | 104.22 | 84.21 | 103.98 | 112.5 | 97.5 | 104.0 | 148.6 | 105.7 | 114.9 | 69.82 | 46.56 | 18.258 | 100 |
| Ba | 247.4 | 26.62 | 205.6 | 180.0 | 222.0 | 268.0 | 80.0 | 174.0 | 165.0 | 41.05 | 91.81 | 21.679 | 425 |
| Ca | 23.36 | 20.25 | 23.62 | 20.20 | 20.4 | 21.7 | 31.4 | 20.6 | 17.8 | 13.14 | 8.627 | 0.32 | |
| Rb | 152.75 | 117.0 | 163.9 | 133.0 | 134.4 | 127.2 | 280.8 | 122.3 | 91.1 | 169.1 | 48.86 | 2.178 | 90 |
| Zr | 223.50 | 148.1 | 224.2 | 197.4 | 198.3 | 189.6 | 161.5 | 174.8 | 174.1 | 113.0 | 81.112 | 2.72 | 165 |
| Cs | 12.24 | 13.0 | 13.16 | 11.25 | 10.39 | 9.58 | 10.41 | 9.69 | 6.51 | 6.905 | 3.52 | 0.227 | 3 |
| Nb | 18.51 | 12.2 | 17.47 | 16.90 | 19.3 | 19.4 | 16.2 | 16.6 | 18.7 | 11.04 | 7.118 | 0.336 | |
| Th | 20.61 | 15.62 | 20.34 | 16.12 | 15.69 | 15.9 | 16.25 | 15.24 | 14.87 | 6.767 | 8.083 | 0.327 | 9.6 |
| U | 6.64 | 5.166 | 6.822 | 5.76 | 5.86 | 5.79 | 24.63 | 5.82 | 6.45 | 5.093 | 2.321 | 1.333 | 2.7 |
| Hf | 7.80 | 5.534 | 8.006 | 6.52 | 6.18 | 5.99 | 5.26 | 5.71 | 5.74 | 4.131 | 2.781 | 0.051 | 3 |
| Ta | 1.54 | 1.05 | 1.46 | 1.23 | 1.39 | 1.40 | 1.19 | 1.21 | 1.39 | 0.817 | 0.53 | 0.548 | 2 |
| Sc | 12.01 | 13.61 | 12.25 | 15.60 | 15.0 | 17.1 | 7.40 | 15.50 | 13.6 | 8.729 | 7.566 | 0.173 | 22 |

注:蚀变岩为 4 个样品平均值;沙子坡组白云岩为 5 个样品平均值;地壳丰度引自泰勒(1964);分析者: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等离子质谱室漂亮。

化;Cu 在钙华-沼泽带以下部位相对富集;V、Cr、Ni 相对富集;Sc 在残积带稍有亏损外,在其它带富集;Co 明显亏损。

与勐嘎组泥质岩相对比,Au、Zn、Hg、Mo、As、Sb、Pb 等元素略有富集,Cu 不同程度富集;V、Ni、Co、Sc、Cr 和 Nb、Ta、Zr、Hf、Y 元素略有富集;Rb、Cs 相对富集,Ba 在坡积带顶部贫化。

与沙子坡组泥质硅质灰岩、白云岩相对比,红色粘土中大部分微量元素明显富集。

根据元素浓度质量平衡计算(表 3)^[5],Pb 在整个红色粘土剖面中均为富集组分,特别是在残积带富集程度最高,反映了方铅矿的氧化作用特点。Au、Sb、Cu、Zn 在表土带和坡积带亏损,而在钙华-沼泽带以下部位富集,特别是残积带富集程度最高,反映了元素的淋滤迁移与再沉淀。其中,

Sb 在剖面上部大量迁出,在残积带以下部位以黄铜矿形式强烈富集;而 Cu、Zn 相对较活泼,在残积带以下部位富集,但富集系数小于锑;Hg 在钙华沼泽带以上部位几乎全部迁出,但在残积带强烈富集;As 在腐泥岩带大量迁出,在残积带明显富集。Co、Ni、Cr 在整个红色粘土剖面中均为迁出组分。

综上所述,在上芒岗原生卡林型金矿红色粘土化作用过程中,伴随黄铁矿、毒砂、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿等主要载金硫化物矿物的氧化作用,Au、Hg、As、Sb、Cu、Pb、Zn 等元素被有效释放,并在红色粘土剖面的残积带以下部位因粘土矿物和铁的氧化物、氢氧化物的吸附而富集,形成红色粘土型金矿的表生元素组合。然而,As、Sb、Hg、Pb 均为有害元素,这些元素进入红色粘土和地下水

中,在上芒岗金矿区及邻区形成了大面积的 As、Sb、Hg、Pb 等元素的土壤与水系沉积物地球化学异常,导致矿区的水质和土质明显酸化,农作物产量降低、品质下降以及人、畜的砷、汞中毒。

表 3 蚀变矿化岩石的微量元素含量($\times 10^{-6}$)
Table 3. Trace element contents of altered and mineralized rocks($\times 10^{-6}$)

| 样号 | MWB-3 | MWB-4 | M2-4 | M2-3 | M2-5 | M2-2 | MWB | HBZ-2 | CY-3 | GLP-2-1 | GLP-1 |
|----|--------|--------|--------|--------|---------|---------|------------|-------------|--------|---------|---------|
| 位置 | 麦窝坝 | 麦窝坝 | 麦窝坝 | 麦窝坝 | 麦窝坝 | 麦窝坝 | 麦窝坝 | 河边寨 | 果园 | 广岭坡 | 广岭坡 |
| 岩性 | 强硅化灰岩 | 碳酸盐化灰岩 | 碳酸盐化灰岩 | 碳酸盐化灰岩 | 强碳酸盐化灰岩 | 强碳酸盐化灰岩 | 致密浸染状黄铁矿矿石 | 层纹状灰岩(含黄铁矿) | 辉锑矿石英脉 | 重晶石脉 | 黄铁矿化泥质岩 |
| Au | 2.12 | 0.01 | 0.10 | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.14 | 0.01 | 0.08 | 0.08 | 0.03 |
| Ag | 0.69 | 0.35 | 0.11 | 0.31 | 0.12 | 0.20 | 1.48 | 0.60 | 0.24 | 0.16 | 0.26 |
| As | 125 | 7.3 | 2.9 | 13.0 | 2.9 | 4.2 | 125 | 11.7 | 6.7 | 4.1 | 389 |
| Hg | 20.4 | 7.2 | 4.9 | 6.1 | 4.0 | 3.2 | 20.5 | 23.0 | 2.4 | 1.0 | 4.5 |
| Sb | 94.78 | 2.327 | 1.369 | 2.848 | 6.1 | 4.009 | 6.413 | 2.889 | 39.97 | 158.3 | 24.60 |
| Pb | 19.00 | 3.642 | 4.29 | 10.09 | 2.6 | 3.999 | 14.31 | 4.326 | 2.085 | 0.542 | 5.26 |
| Cu | 10.58 | 3.192 | 2.742 | 2.409 | 1.568 | 1.765 | 43.391 | 6.305 | 3.48 | 5.811 | 8.65 |
| Zn | 9.4 | 8.15 | 8.87 | 11.72 | 4.42 | 7.44 | 17.13 | 7.17 | 8.06 | 12.87 | 22.25 |
| Li | 7.064 | 5.59 | 0.891 | 0.983 | 0.599 | 0.441 | 1.972 | 1.585 | 9.371 | 0.497 | 13.16 |
| V | 32.342 | 12.54 | 6.28 | 28.01 | 4.949 | 25.843 | 304.9 | 27.296 | 42.437 | 0.785 | 124.95 |
| Cr | 37.865 | 9.56 | 48.31 | 6.959 | 6.753 | 21.025 | 203.8 | 22.888 | 22.41 | 2.577 | 81.97 |
| Co | 0.617 | 1.828 | 0.85 | 1.032 | 0.69 | 0.748 | 55.79 | 5.636 | 0.95 | 0.048 | 9.20 |
| Ni | 2.367 | 7.379 | 27.28 | 6.502 | 4.604 | 10.737 | 81.60 | 13.004 | 3.69 | 0.942 | 38.73 |
| Ga | 5.214 | 1.05 | 0.307 | 0.348 | 0.072 | 0.254 | 30.19 | 7.525 | 1.6 | 0.101 | 19.47 |
| Rb | 6.616 | 8.723 | 0.996 | 4.208 | 0.125 | 0.927 | 547.5 | 38.586 | 0.886 | 0.14 | 90.78 |
| Sr | 29.83 | 691.9 | 45.24 | 41.4 | 29.96 | 57.92 | 51.63 | 206.13 | 4.3 | 2716.3 | 38.92 |
| Y | 7.058 | 1.872 | 0.681 | 0.912 | 0.553 | 1.261 | 14.97 | 7.629 | 0.251 | 0.597 | 24.42 |
| Zr | 50.06 | 7.336 | 1.337 | 4.145 | 0.344 | 0.606 | 234.7 | 48.278 | 0.453 | 0.262 | 153.9 |
| Nb | 5.062 | 0.684 | 0.182 | 0.421 | 0.362 | 0.056 | 26.77 | 5.237 | 0.061 | 0.048 | 13.19 |
| Mo | 5.77 | 0.858 | 2.012 | 2.755 | 1.138 | 0.86 | 5.928 | 3.084 | 1.21 | 0.044 | 0.868 |
| Se | 4.759 | 15.03 | 10.633 | 11.397 | 12.93 | 7.614 | 7.316 | 11.314 | 3.366 | 2.43 | 11.23 |
| Cs | 0.563 | 0.548 | 0.167 | 0.245 | 0.052 | 0.105 | 21.07 | 5.014 | 0.494 | 0.114 | 6.66 |
| Ba | 80.05 | 44.54 | 14.37 | 12.59 | 42.43 | 25.27 | 30.33 | 95.83 | 41.21 | 35691 | 414.9 |
| Hf | 1.597 | 0.198 | 0.42 | 0.103 | 0.00 | 0.012 | 6.508 | 1.443 | 0.002 | 0.007 | 4.721 |
| Ta | 0.922 | 0.08 | 0.328 | 0.722 | 1.677 | 0.019 | 1.937 | 0.454 | 0.016 | 0.225 | 1.14 |
| W | 2.189 | 0.616 | 0.394 | 0.456 | 0.282 | 0.516 | 35.31 | 0.955 | 0.356 | 0.189 | 5.15 |
| Bi | 0.188 | 0.023 | 0.015 | 0.027 | 0.01 | 0.005 | 0.03 | 0.164 | 0.064 | 0.006 | 0.317 |
| Th | 5.613 | 0.698 | 0.134 | 0.345 | 0.041 | 0.048 | 3.894 | 5.372 | 0.078 | 0.013 | 15.28 |
| U | 9.117 | 1.608 | 1.669 | 1.603 | 1.004 | 1.459 | 2.523 | 3.434 | 0.177 | 0.022 | 3.85 |

分析者: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等离子质谱室,漂亮。

参 考 文 献

- [1] 方维萱,胡瑞忠,谢桂青. 云南墨江镍金矿床主要控矿因素分析与研究[J]. 矿物学报, 2001, 21(1): 80~89.
- [2] 黄智龙,王联魁. 云南镇元金矿煌斑岩矿化过程中元素活动规律[J]. 矿物学报, 1998, 18(3): 337~343.
- [3] 韩润生,金世昌,雷丽. 云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热系统地球化学[J]. 矿物学报, 1997, 17(3): 335~344.
- [4] 毕献武,胡瑞忠,何明友. 哀牢山金矿带主要金矿床成矿流体特征[J]. 矿物学报, 1997, (4): 435~441.
- [5] 高振敏,杨竹森,陶炎,等. 云南澜西上芒岗金矿及外围成矿预测和找矿研究报告[R]. 贵阳:中国科学院地球化学研究所, 2000. 1~120.
- [6] Claudio G P and Martin H. Gold redistribution in the stone line laterite profile of the Posse deposit, central Brazil[J]. *Econ. Geol.*, 1995, 90: 308~321.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Mann A W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: Some observations from western Australia[J]. *Econ. Geol.*, 1984, 79: 38 ~ 49.
- [10] Zang Weisheng and Fyfe W S. A three-stage genetic model for the Igarape Bahia lateritic gold deposit, Carajas, Brazil[J]. *Econ. Geol.*, 1993, 88: 1768 ~ 1779.
- [11] Rimstidt J D, et al. Rates of reaction of galena, sphalerite, chalcopyrite, and arsenopyrite with F(III) in acidic solutions, Environmental geochemistry of sulfide oxidation[J]. *American Chemical Society*, 1994, 3 ~ 13.
- [12] 杨忠芳, 朱立, 陈岳龙. 现代环境地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1999. 154 ~ 313.
- [13] 戎秋涛, 翁焕新. 环境地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1990. 77 ~ 271.
- [14] Prusty B G, et al. Metal contamination due to mining and milling activities at the Zawar zinc mine, Rajasthan, India, 1. Contamination of stream sediments[J]. *Chemical Geology*, 1994, 112(2): 275 ~ 292.
- [15] Watson C, et al. Heavy metal toxicity responses of two willow varieties grown hydroponically[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 1999, 21(4): 359 ~ 364.
- [16] Sahu K C, et al. Metal contamination due to mining and milling activities at the Zawar zinc mine, Rajasthan, India, 2. Dispersion in floodplain soils of stream[J]. *Chemical Geology*, 1994, 112(2): 293 ~ 307.
- [17] Olga A, et al. Metal concentrations in surface water in the vicinity of the silvermines abandoned mine site[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 1999, 21(4): 347 ~ 352.
- [18] Salomons W. Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, prediction, prevention[J]. *J. Geochem. Explor.*, 1995, 52: 5 ~ 23.
- [19] Hoina U, et al. Ligand effect on the adsorption of heavy metals: The sulfate-cadmium-goethite case[J]. *Water Air & Soil Pollution*, 1993, 68(1-2): 241 ~ 256.

RED CLAYIZATION AND ITS ENVIRONMENTAL EFFECTS OF THE SHANGMANGGANG GOLD DEPOSIT, LUXI, YUNNAN

Li Hongyang^{1,2} Gao Zhenmin¹ Yang Zhusen¹ Luo Taiyi¹ Rao Wenbo¹ Tao Yan¹ Wang Lifeng²

(1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031)

Abstract: The extensive red clayization of the Shangmanggang Carlin-type gold deposit is responsible for the upper red clay-type ore bodies and the widespread secondary geochemical anomalies. The red clay profile can be divided into six zones such as topsoil, slopewash, travertine-fan, eluvial deposit, saprolite and bedrock. During the red clayization, harmful elements such as, As, S, Sb and Pb could be effectively released into the red clay and water to result in water and soil pollutions because of the oxidation of sulfide minerals such as pyrite, arsenopyrite, stibnite, galena, and sphalerite.

Key words: gold deposit; red clayization; environmental effects; Shangmanggan; western Yunnan