

元谋、牟定地区红土化过程中金的富集机理*

孙承兴 王世杰

(中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳, 550002)

戴福盛 罗 怡

(昆明理工大学地质系, 昆明, 650093)

摘 要 在对元谋县猛林沟、牟定县戍街两地红土化剖面的地质特征、次生矿物变化、主要元素及金含量变化进行研究的基础上, 探讨了金在红土化剖面上的分布形式和红土化过程中金的活化、迁移及沉淀等的机理。笔者认为, 区内保存完整的红土化剖面上存在金的双峰式富集, 其中产于铁质硬壳层附近的上部金富集带是由于铁质胶体吸附的结果, 而腐泥岩层附近的下部金富集带是由 Eh 变小、pH 变大引起的; 氧化还原作用是金活化、迁移、沉淀富集最重要的控制机制。

关键词 红土化 金 富集机理 氧化还原 吸附 元谋、牟定

第一作者简介 孙承兴 男 1971 年出生 博士研究生 从事环境地球化学研究

红土型金矿是本世纪 80 年代初发现的一类新型风化壳金矿, 并因其易采、易选和工业品位要求低、经济效益显著而倍受关注。自在澳大利亚博丁顿发现第一个红土型金矿以来, 许多低纬度国家和地区都相继发现了这种金矿^[1~8]。90 年代初在湖北嘉鱼县发现了我国第一个大型红土型金矿——蛇屋山金矿, 同时南方诸省也有较多中小型规模的红土型金矿床的报道^[9~12]。然而, 直到近年, 对红土型金矿的形成机理仍不很清楚, 从而影响了对其进一步的研究和寻找。

元谋、牟定地区位于扬子地台西缘康滇地轴中南段, 元谋—绿汁江断裂西侧。区内分布较广的下元古界元谋群普登组, 为一套中深变质岩系, 部分岩性段金背景值较高。区内金矿化点密集, 仅猛林沟到戍街一带就发现有数十条变质热液型金矿(化)脉, 有人称之为“牟定东大沟金矿床”。该区长期处于隆起状态, 遭受过强烈的风化作用, 风化壳发育, 铁帽多且分布广。

研究点选在元谋县猛林沟及牟定县戍街两地, 取样剖面为两冲沟露头和两浅井, 均为发育在普登组第二岩性段(白云石英片岩)的风化残积层。取样采用连续刻槽法, 戍街样长根据层厚确定, 猛林沟为 1m。样品经风干、研磨, 过 200 目筛后进行 XRD、ICP-MS 分析。

1 剖面特征及红土化发育程度

猛林沟因其距离元谋—绿汁江断裂近, 受该断裂活动的影响大, 剥蚀作用强, 红土化剖面薄, 分布窄; 戍街远离此断裂, 剖面保存相对完整, 红土分布广。两地剖面由上到下, 可依次分为红土层(猛林沟缺失)、杂色粘土层、含风化残块粘土层、腐泥岩及新鲜基岩。其中, 戍街的红土中常含有一层褐铁矿质硬壳层(如大尖山), 或出露于地表形成褐铁矿质豆石层(如金家山); 新鲜基岩(白云石英片岩)中可见较多黄铁矿, 局部地段可呈脉状产出, 原生金多赋存于其中。

红土化作用可划分为高岭土(粘土)化、褐铁矿化和铝土矿化三个阶段。根据 XRD 分析结果, 研究剖面次生矿物均以高岭石、伊利石为主, 上部高岭石较多, 下部伊利石增多。猛林沟剖面缺失红土层, 没有褐铁矿质硬壳或豆石层, 更无三水铝石出现, 说明尚处于高岭土化阶段; 铁矿物以磁铁矿为主, 没有针铁矿和赤铁矿, 剖面下部(金的富集部位)还有较多蒙脱石出现, 说明下部氧化作用也不强烈(可能与潜水面较浅有关), 环境介质也偏碱性。而戍街剖面上部含较多的针铁矿、赤铁

1999 年 10 月 11 日收稿, 10 月 25 日改回。

* 国家自然科学基金重点基金(编号: 49833002)和国家攀登项目(95-预-39)联合资助项目。

矿及少量的三水铝石,其中大尖山处还形成了较厚(可达 1m 以上)的褐铁矿硬壳,金家山处分布有褐铁矿质豆石层,说明已进入褐铁矿化阶段,并显示出微弱的铝土矿化。从化学成分上看,两地剖面由上到下, SiO_2 含量(42.74%~72.27%)逐渐增加,而 Al_2O_3 (28.59%~15.99%)和 Fe_2O_3 (19.82%~5.75%)含量则逐渐减少,具明显的去硅、富铝和铁趋势,尤以戍街剖面表现得更为突出。戍街剖面上部的红土层,尤其是铁质硬壳显示出金的强烈富集。结合地质背景考虑,我们认为猛林沟剖面的上部红土层可能已遭剥蚀掉。

2 金在剖面上的分布特点

剖面各层金的含量如表 1 所示。据某地质队对戍街大量岩石取样分析(剔除了矿化样品),普登组第二岩性段含金较高,247 个样的金含量平均值为 13.3×10^{-9} 。若以此作为基岩金的平均含量,据公式 $E = (\text{风化带岩石密度}/\text{基岩密度})(\text{风化带金含量}/\text{基岩金含量})$ 可计算剖面各层金的富集系数(E), $E > 1$ 为富集, < 1 为贫化^[9]。由此可推断,猛林沟剖面上部为金的贫化带($E < 1$);中、下部的含风化残块粘土层及腐泥岩层(潜水面附近)为富集部位($E > 1$),金含量在 $56 \times 10^{-9} \sim 136 \times 10^{-9}$ 之间,平均 113×10^{-9} ,比基岩富集了近 7 倍。戍街剖面由下到上,金的含量逐渐增加,并在含褐铁矿的红土层中达最高值。其

中大尖山的褐铁矿硬壳层含金达 $0.42 \times 10^{-6} \sim 5.0 \times 10^{-6}$,与基岩相比,富集了几十倍到几百倍不等,已构成具开采价值的小型金矿体(现由当地农民开采)。戍街剖面上部金的富集与褐铁矿(针铁矿)关系密切,凡是有褐铁矿或豆石出现的地方,就有金的富集。但由于两取样浅井不深,未能揭露下部腐泥岩层(潜水面附近)的情况。

3 红土化过程中金的富集机理

金在红土化过程中的富集可主要通过两种方式得以实现:一种是通过残积作用的被动富集,主要依靠对原岩碱、碱土金属及硅等主要成分的淋滤,使金得到相对富集;另一种是通过金的活化、短距离迁移,然后沉淀富集于有利部位。对于前一种金的富集方式,红土化作用越强烈、越彻底就越有利于金的富集,但研究发现,区内红土化作用并不十分强烈、彻底,因此,金的富集可能主要以后一富集方式为主,下面作较详细的阐述。

金的活化:由于基岩中含较多黄铁矿,部分地段甚至呈脉状产出,故在红土化过程中,富氧地下水向下渗透时能将 Fe^{2+} (黄铁矿)氧化成 Fe^{3+} , Fe^{3+} 作为氧化剂可增加金的溶解度,从而导致金的活化迁移。伴随黄铁矿的氧化,地下水变成了(强)酸性溶液,由于溶液 pH 值每降低 1, Fe^{3+} 的活度将提高 3 个数量级,从而更有利于金的活化^[13]。

表 1 研究剖面各层金的含量及其富集系数

Table 1. The contents and enrichment coefficients of gold in the studied profiles

剖面名称	层位	岩性	厚度(m)	样品数	Au($\times 10^{-9}$)	E
戍街大尖山冲沟	1	红土	1.5	1	29	1.49
	2	杂色粘土	3.0	1	15	0.77
	3	含风化残块粘土	未见底	1	10	0.51
戍街大尖山浅井	1	红土	1.0	1	211	10.82
	2	杂色粘土	1.5	1	15	0.77
	3	含风化残块粘土	未见底	1	9	0.46
戍街金家山浅井	1	红土	1.2	1	34	1.74
	2	杂色粘土	2.0	1	25	1.28
	3	含风化残块粘土	未见底	1	18	0.92
猛林沟冲沟	2	杂色粘土	2.0	2	7	0.36
	3	含风化残块粘土	3.0	3	27	1.38
	4	腐泥岩	>3	3	113	6.29

金富集系数 $E = (\text{风化带岩石密度}/\text{基岩密度})(\text{风化带金含量}/\text{基岩金含量})$,参考华南及博丁顿的情况,剖面各层物质密度取以下近似值:红土及粘土为 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$,腐泥岩 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$,基岩 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。测试单位:中国科学院地球化学研究所。

金的迁移:由于黄铁矿的氧化使溶液变成酸性,甚至强酸性,剖面(中)上部又是一个富氧环

境,在这样的环境中,金可能主要以 AuCl_4^- 配合物形式进行迁移。 Cl^- 可以来源于大气降水(Cl^-

含量通常大于 100mg/L)。金的活化、迁移与黄铁矿的氧化关系密切,并主要发生在褐铁矿化阶段。

金的沉淀:根据金的迁移形式、富集部位及这些部位的物理化学性状、次生矿物的组成特点,我们认为引起区内金沉淀富集的主要原因是:带正电荷的 $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 胶体对带负电荷的 $\text{Au}-\text{Cl}$ 配合物的吸附(上部金富集带)、Eh 值变小和 pH 值变大(下部金富集带)。一些模拟实验表明,褐铁矿在表生条件下具有较强的吸附能力,是金良好的吸附剂^[14]。上部含褐铁矿红土层中的富集就是铁质胶体吸附作用的结果,如戌街剖面。含金流体到达腐泥岩层(潜水面附近)时,由于氧逸度降低和地下水的稀释,使 Eh 值迅速变小、pH 值变大(这可从剖面矿物变化特征上得到验证),这样 $\text{Au}-\text{Cl}$ 配合物因发生还原及变得不稳定而分解沉淀,这可能是猛林沟下部(潜水面附近)腐泥岩层中金沉淀富集的机理。金在剖面上的双峰式富集就是通过上部铁质胶体的吸附和潜水面以下 $\text{Au}-\text{Cl}$ 配合物的还原及在碱性环境中的失稳分解沉淀而形成的。

因此,在红土化过程中,金在近地表的(强)氧化带中被活化,这一过程主要发生在褐铁矿化阶段。然后,被活化的金以 AuCl_4^- 配合物形式进行迁移,当遇到吸附障、还原障和碱性障时便发生沉淀。潜水面的缓慢下降使红土化作用不断向下深入,从而使已经沉淀富集的金再次活化、迁移及沉淀,形成了金含量更高的富集带。因此,金在红土化过程中的富集就是含金原岩通过不断的氧化(活化)、还原、失稳分解及吸附(沉淀)而实现的。

由于区内降雨量不大及红土化作用不彻底,上部的金不至于完全淋滤带到下部,加之戌街的剥蚀作用较弱,从而使剖面中金的双峰式富集能得以保存。金在剖面上的分布,还受研究剖面的剥蚀程度不同和揭露深度的制约,如图 1 所示:剖面 1 相当于戌街剖面的情况,剖面 4 相当于猛林沟剖面的情况。由金在剖面上的变化规律和两地剖面揭露及剥蚀程度,我们推测区内(尤其是戌街)较完整剖面存在金的双峰式富集,即上部含褐铁矿红土层(尤其铁质硬壳层)和下部的腐泥岩层(潜水面附近)分别存在一个金的富集带,如图 1 剖面 2、3 所示。

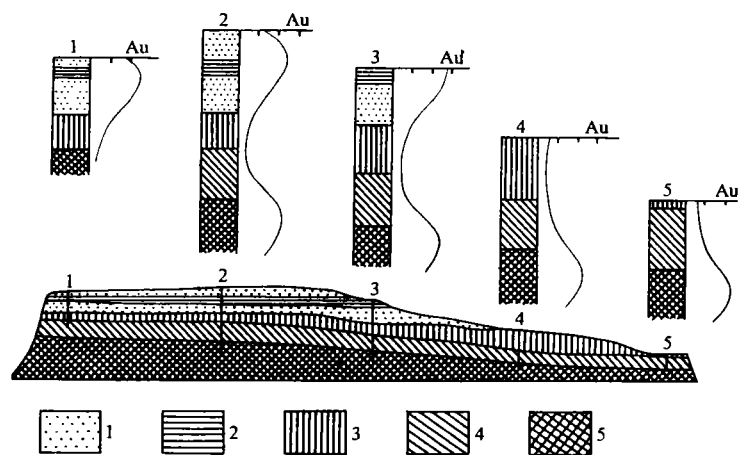


图 1 不同揭露深度及剥蚀程度对金在红土剖面中的理想分布示意图

Fig. 1. The gold distribution curves along lateritic profiles at different depths and erosion degrees.

图例说明: 1. 红土; 2. 铁质硬壳夹层; 3. 杂色粘土; 4. 含风化残块粘土; 5. 腐泥岩层。

参 考 文 献

- [1] Davy R. and El Ansary M. Geochemical patterns in the lateritic profile at the Boddington Gold Deposit, Western Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 1986, 26:119~144.
- [2] Mann A W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from Western Australia. *Economic Geology*, 1984, 79:38~49.
- [3] Freyssinet Ph., Lecomte P. and Edimo A. Dispersion of gold and base metals in the Mborguene lateritic profile, east Cameroon. *Journal of Geochemical Exploration*, 1989, 32: 99~116.
- [4] Benedetti M., Boulegue J. and Hierongmus B. Present behavior of gold in lateritic environment of Salobo (state of Para-Brazil). *Chemical Geology*, 1990, 81:27~29.
- [5] Colin F. and Vieillard P. Behavior of gold in lateritic equatorial environment: weathering and surface dispersion of residual gold particles, at Dodo Mobi, Gabon. *Applied Geochemistry*, 1991, 37:279~290.
- [6] Michael D. Concentration of gold in situ laterites from Mato Grosso. *Mineralium Deposita*, 1987, 22:185~189.
- [7] Jaireth S. Transport of gold and silver in oxygen-saturated fluids and the formation of high-fineness gold in saprolitic supergene environment. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1992, 42:181~189.
- [8] Porto C.G. and Hale M. Gold redistribution in the stone line lateritic profile of the Posse Deposit, Central Brazil. *Economic Geology*, 1995, 90:308~321.
- [9] 李文达、王文斌、程忠富等, 华南红土地化作用地球化学及红土型金矿形成的可能性, 北京, 地质出版社, 1~85。
- [10] 陈大经、杨明寿, 红土型金矿的地质特征、成矿条件及找矿评价标志. 矿产与地质, 1996, 10(2):73~80。
- [11] 李松生, 再论蛇屋山红土型金矿的成因. 矿床地质, 1998, 17(2):114~123。
- [12] 李志群, 云南红土型金矿床地质特征及成矿条件研究. 矿产与地质, 1998, 12(3):160~166。
- [13] 王秀璋等, 中国改造型金矿床地球化学, 北京, 科学出版社, 1992。
- [14] 范宏瑞、李兆麟. 金在表生作用中的富集模拟实验及地球化学意义. 黄金, 1991, 12(1):12~15。

ENRICHMENT MECHANISM OF GOLD DURING THE PROCESS OF LATERITIZATION IN THE YUANMOU- MOUDING AREA, YUNNAN

Sun Chengxing Wang Shijie

(The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese
Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Dai Fusheng Luo Yi

(Department of Geology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract

In terms of the regionally geological setting, the variation of secondary minerals, the analyses of major and minor elements and gold contents of lateritic profiles in the Yuanmou-Mouding area, Yunnan Province,

the model of gold distribution in the profiles and the enrichment mechanism of gold during the process of lateritization were discussed. There is a bimodal-enrichment of gold in the well-preserved profiles in the investigated area. The lower enrichment zone in saprolite resulted from precipitation of instable chloride complexes of gold in alkaline environment and its reduction, and the upper one in ferric duricrust at Xujie resulted from absorption of ferric colloids. Oxidation-reduction is important to the mobilization, migration, precipitation, and enrichment of gold during lateritization.

Key words: lateritization; gold; enrichment mechanism; oxidation-reduction; absorption of colloid; bimodal enrichment; Yuanmou-Mouding