

红色粘土型金矿成因矿物学特征

杨竹森¹, 高振敏¹, 李胜荣², 罗泰义¹, 李红阳¹, 饶文波¹

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

2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 红色粘土型金矿是表生湿热气候条件下含金基岩经不彻底的红土化作用而形成的一种新类型金矿床。以云南上芒岗、贵州老万场和湖北蛇屋山金矿为例, 对红色粘土型金矿的成因矿物学特征进行了研究。结果表明, 表生成因的高岭石+伊利石+针铁矿+自然金组合可作为该类型金矿的标型矿物组合; 高岭石的(001) X射线衍射峰半高宽可作为标型特征反映介质的酸性程度和硅、铝的饱和程度, 进而指示金的富集部位; 针铁矿中的铝置换率可反映红土化程度和粘土中的含水量, 进而指示古潜水面的位置; 金的粒度、形态和赋存状态可反映金的迁移富集程度和富集机制。

关键词: 红色粘土型金矿; 成因矿物学; 矿物标型特征; 标型矿物组合

中图分类号: P57; P618.51 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-8527(2001)02-0216-06

0 引 言

自 1980 年在西澳大利亚首先发现了博丁顿(Boddington)大型红土型金矿之后, 对于金在表生条件下经红土化作用而发生迁移富集的现象引起了普遍关注, 并在全球的低纬度区, 如巴西、美国、斐济、巴布亚新几内亚、印度、越南、马里、几内亚、尼日利亚、喀麦隆、加纳、加蓬、塞拉利昂等国发现了大批红土型金矿^[1-3]。中国于 1989 年首先在湖北的蛇屋山发现了类似的表生风化成因金矿床, 之后在贵州、云南、湖南、广西、广东、江西、江苏和辽宁等地也先后发现了一批类似的金矿^[4-10]。但是, 由于中国特殊的地质构造背景, 使得类似的表生风化成因金矿的特征有别于典型的红土型金矿, 表现为新生代构造活动强烈, 限制了准平原化发育的程度, 加之基岩多为含有碳酸盐岩的沉积岩系, 使得风化壳的去硅作用不强烈, 红土化程度不完全, 多种粘土矿物并存, 铝的氧化物和氢氧化物很少大量出现, 金矿物的粒度细小, 以吸附态居多。因此, 涂光炽教授将其称为红色粘土型金矿^[11]。

目前, 对红色粘土型金矿的地质条件、地球化学特征、成因机理的研究已有大量报道^[4-17], 但有关矿物学方面的研究尚不够深入, 尤其是成因矿物学方面的研究更显缺乏。本文以云南上芒岗、贵州老万场和湖北蛇屋山等红色粘土型金矿为主要研究对象, 阐述红色粘土型金矿的标型矿物组合和矿物标型特征, 以促进红土化作用和红色粘土型金矿的深入研究及找矿工作。

1 红色粘土型金矿的地质特征

红色粘土型金矿的形成受控于构造环境、含矿基岩、气候、地貌、水文地质等条件, 其中含矿基岩是成矿的物质来源, 构造环境决定风化壳的发育, 气候条件决定风化壳的红土化程度, 地貌和水文地质条件决定金的迁移富集部位。因此, 红色粘土型金矿主要形成于热带和亚热带—暖温带湿热气候区、构造相对稳定的准平原及低山丘陵、山前丘陵地带、原生金矿化发育部位。综合滇、黔、鄂等地的红色粘土型金矿, 其基本地质特征如下。

(1) 矿床产于红色风化壳中, 沿基岩构造线呈

收稿日期: 2001-03-19

基金项目: 中国科学院重大项目 A (KZ-951-A1-404-02); 国家自然科学基金项目 (49873021); 云南省省院省校科技合作项目 (YK98008-04)

作者简介: 杨竹森 (1964-), 男, 博士后, 矿物学专业, 主要从事矿物学和矿床地球化学的研究工作。

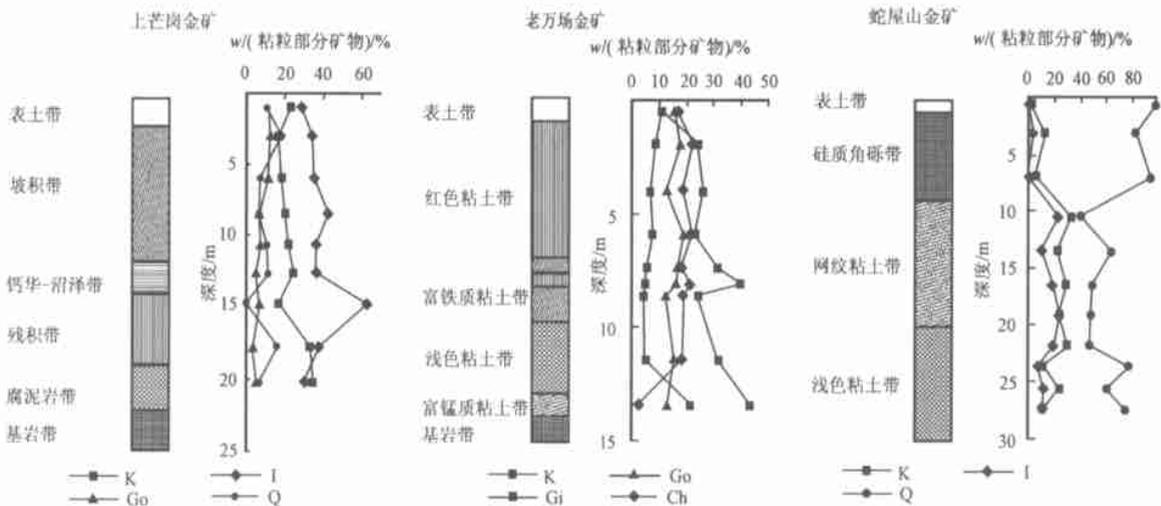


图 1 红色粘土型金矿的剖面分带及主要矿物含量

Fig. 1 Diagrams showing the zonation of profiles and the contents of main minerals in some red-clay type of gold deposits

K. 高岭石; I. 伊利石; Go. 针铁矿; G. 三水铝石; Ch. 绿泥石; Q. 石英

带状展布。矿体呈似层状、透镜状等，一般位于风化壳中下部，个别情况下整个风化壳剖面均含矿，如与岩溶作用密切相关的老万场金矿。矿体产状和厚度受风化壳不整合面的控制，在洼地内矿体厚度增大。

(2) 风化壳剖面具有垂向分带性 (图 1)。剖面下部为原地残积形成，上部为近距离搬运堆积的结果。这在上芒岗金矿最明显，钙华—沼泽带之上具有坡积特征，下部的残积带和腐泥岩带显示原地堆积特征。老万场金矿除下部富锰质粘土带为原地残积外，上部各带均为岩溶堆积和坡积形成。蛇屋山金矿除硅化岩角砾带以上为坡积外，下部各带均显示原地残积特征。

(3) 基岩主要为以碳酸盐岩为主的沉积岩系，如蛇屋山金矿为寒武系—奥陶系的泥质瘤状灰岩、粒屑泥灰岩、白云岩，老万场金矿为下二叠统茅口组生物碎屑灰岩、含燧石结核灰岩，上芒岗金矿为下二叠统沙子坡组白云岩。沿基岩中的断裂构造发育有原生金矿化或金矿床，如蛇屋山和上芒岗金矿基岩断裂构造中均发育有原生卡林型金矿化，局部构成小型原生金矿体。老万场金矿基岩中虽然没有热液蚀变矿化迹象，但粘土层中有残留石英的特征，表明已风化淋滤掉的碳酸盐岩中仍存在原生的热液蚀变矿化。

(4) 矿石为红色粘土，松散，呈泥质、粉砂质、含砂砾泥质结构，土状、条带状、混杂砾状、网纹

状、结核状、皮壳状等构造。矿物成分包括粘土矿物、铁和铝的氧化物及氢氧化物、贵金属矿物和基岩残留的石英、长石等，此外还有微量的锐钛矿、锆石、石膏、重晶石、炭质和锰的氧化物等。化学成分主要为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 ，次为 MnO_2 和 TiO_2 。

(5) 红色粘土型金矿的形成过程包括原生金矿化期和表生成矿期两大阶段。原生金矿化期为成矿提供物质基础，表生成矿期的残积、坡积和岩溶堆积作用使成矿物质发生初步聚集，红土化作用使易溶组分淋失，金以硫代硫酸盐等络合物的形式活化迁移，并在适当部位 (针铁矿淀积部位、潜水面的氧化-还原界面部位等) 沉淀富集，形成红色粘土型金矿。

2 标型矿物组合

由于红色粘土型金矿是表生条件下红土化作用的结果，因此表生成因矿物能够反映矿床形成时的物理化学条件，以下仅讨论表生成因的粘土矿物及铁、铝的氧化物和氢氧化物。

应用半定量 X 射线衍射方法，对上芒岗和老万场金矿的红色粘土的粘粒部分以及蛇屋山金矿的红色粘土的全土进行分析，结果 (图 1) 表明，表生成因矿物中以高岭石和伊利石为主，次为针铁矿和绿泥石，少量三水铝石，并有微量蒙脱石和锐钛矿。值得注意的是，老万场金矿中含有较多的绿泥石和蒙脱石，这与粘土层中含有较多的玄武岩碎块有关，它

反映了风化产物部分来自峨眉山玄武岩, 不具普遍性; 蛇屋山金矿中表生成因矿物仅分析出高岭石、伊利石和锐钛矿, 残留矿物石英大量存在, 这与分析对象是全土, 且粘土中含有大量硅化灰岩碎块, 使得含量较低的矿物如针铁矿等的衍射峰被淹没有关。

上述结果表明, 高岭石、伊利石和针铁矿是红色粘土型金矿中常见的主要表生成因矿物。其中酸性条件下稳定的高岭石是红土化作用的产物, 而近中性条件下稳定的伊利石是红土化作用不彻底的体现, 两者大量共存是红色粘土型金矿的特征。若伊利石减少, 代之以大量的高岭石和三水铝石, 则成为被红土化作用渗透的红土型金矿的特征。针铁矿是湿热气候条件下红土化作用的特征矿物, 普遍存在于红色粘土型金矿中, 是基岩中发育有与原生金矿化密切相关的黄铁矿的标志。自然金因含量较低, 在分析中没有检出, 但它是红色粘土型金矿的主要经济矿物。因此, 红色粘土型金矿的标型矿物组合为高岭石+ 伊利石+ 针铁矿+ 自然金, 它反映了红色粘土型金矿形成于表生湿热气候条件下的红土化作用过程中, 具有总体呈弱酸性的氧化环境。

3 矿物标型特征

3.1 高岭石

高岭石是组成红色粘土型金矿的主要表生成因矿物之一, 其结构的有序-无序程度即结晶度是结构单位层堆叠特征、结构缺陷和 Fe^{3+} 的类质同象置换率的反映, 可作为标型特征指示高岭石形成的环境条件^[18]。高岭石 (001) 衍射峰的半高宽是评价高岭石总体结晶度的良好方法^[19]。该衍射峰半高宽小, 则高岭石结构的无序程度小, 结晶度高; 反之, 该衍射峰半高宽大, 则高岭石结构的无序程度大, 结晶度低。

对上芒岗和老万场金矿红色粘土的 X 射线衍射分析显示, 高岭石 (001) 衍射峰半高宽在红色粘土剖面中呈现有规律的变化 (图 2), 表明红色粘土剖面顶部的高岭石结晶度较低, 向下高岭石结晶度总体增高, 但出现多次反复, 到底部与碳酸盐岩基岩接触部位又降低 (如老万场金矿) 这种情况说明, 在红色粘土剖面的不同部位, 高岭石沉淀结晶的条件不同。在红色粘土剖面的上部, 因氧化淋滤作用强烈, 地下水呈弱碱-弱酸性, 使得硅、铝的溶解度较大, 呈不饱和或微过饱和状态, 不利于高岭石结构层的规则发育, 加之 Fe^{3+} 的类质同象置换, 导

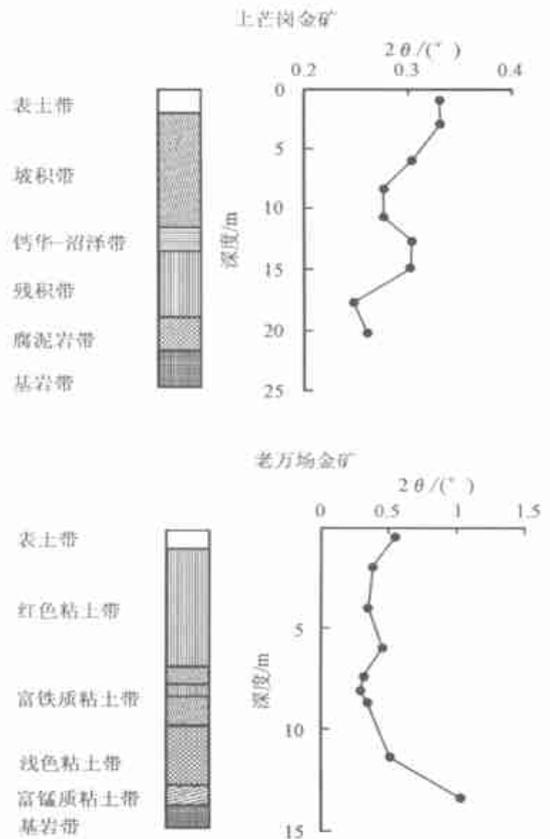


图 2 红色粘土型金矿粘土剖面中高岭石 (001) 衍射峰半高宽的变化特征

Fig. 2 Diagrams showing the variation of the width at half-high of (001) peak of kaolinite in the profiles of red-clay type of gold deposits

致所晶出的高岭石的结晶度较低。在剖面的中下部各带, 地下水呈酸性, 样品的去离子水浸泡液的 pH 值为 4.96~6.65, 使得下渗的地下水中硅、铝的溶解度减小, 呈过饱和状态, 有利于高岭石的规则发育, 所结晶的高岭石的结晶度较高。而在剖面的底部, 因碳酸盐岩基岩的中和作用, 使地下水的酸性程度降低, pH 值为 6.46~7.26, 硅和铝的溶解度增大, 致使高岭石结构的无序程度较大, 结晶度较低。对于剖面中部高岭石结晶度的波动变化, 可能与地壳的间歇性抬升所引起的酸性地下水的赋存部位不断下降有关。

由于红色粘土型金矿的红土化程度不高, 且常发育于碳酸盐岩基岩之上, 造成地下水的 pH 值很少低于 4, 而常呈弱酸-弱碱性, 使得金主要以硫代硫酸盐络合物的形式活化迁移。活化迁移的金进入酸性程度较高的环境时, 络合物发生分解, 所释放的金遇有还原剂如 Fe^{2+} 便被还原而沉淀富集。由于

高岭石结晶度较高的部位及其上下两侧是地下水酸性程度增高的地带, 因此这一地带是金沉淀富集的有利场所。例如, 上芒岗金矿中含金较高的残积带上部位于高岭石结晶度较高部位的上侧; 蛇屋山金矿中高岭石结晶度较高的杂色粘土带为主要含矿层位; 老万场金矿中含金较高的红色粘土带, 位于高岭石结晶度较高的富铁质粘土带上侧 (因老万场金矿发育较多的绿泥石, 对高岭石 (001) 衍射峰的高宽有影响, 其结果仅作参考)。

3.2 针铁矿

针铁矿是常见的表生成因的铁矿物, 其成分中铝的类质同象置换率可作为标型特征反映其形成的环境条件。由于 Al^{3+} 的离子半径 (0.061 nm) 小于 Fe^{3+} 的离子半径 (0.063 nm), 当 Al^{3+} 类质同象置换针铁矿中的 Fe^{3+} 时, 可造成针铁矿晶胞参数的减小。因此, 应用 X 射线衍射分析结果, 如应用 $d_{(110)}$ 、 $d_{(130)}$ 、 $d_{(111)}$ 、 c_0 等的计算方法可以确定针铁矿中铝的类质同象置换率。其中晶胞参数 c_0 与铝置换率 (Al 的摩尔分数) 的线性关系最佳^[20, 21]。

根据老万场和上芒岗金矿红色粘土中粘粒部分的 X 射线衍射分析结果, 利用针铁矿的 $d_{(110)}$ 和 $d_{(111)}$ 值, 通过计算晶胞参数 c_0 , 进而求得针铁矿中铝的置换率。结果 (图 3) 表明, 老万场金矿中针铁矿的铝置换率在红色粘土剖面顶部的表土带最高, 向下略降低, 到底部富锰质粘土带则显著降低。上芒岗金矿中, 针铁矿的铝置换率自剖面顶部向下出现高—低—高—低的变化, 其中表土带和残积带较高, 钙华—沼泽带最低。

一般认为, 铝 (含铝) 针铁矿形成于湿热气候和水饱和的环境中, 其铝的置换率与体系中 Fe^{3+} 的含量无关, 而与介质中 H_2O 、 SiO_2 和 Al^{3+} 的活度有关^[22]。 H_2O 和 SiO_2 的活度增高, 铝的置换率降低; Al^{3+} 的活度增高, 铝的置换率增高, 故低洼处水体中沉淀的针铁矿和水稻土中的针铁矿铝的置换率很低, 而山丘顶部风化壳中针铁矿铝的置换率较高; 脱硅不强烈的风化壳中针铁矿铝的置换率较低, 而脱硅富铝的风化壳中针铁矿铝的置换率较高。因此, 针铁矿中铝的置换率可以反映风化壳的红土化程度和潜水面的位置。老万场金矿中, 针铁矿中铝的置换率在红色粘土剖面上的变化特征说明风化壳的红土化程度自上部向下部逐渐降低, 是一次堆积—红土化过程的反映, 其中富锰质粘土带基本代表古潜水面的位置。上芒岗金矿中针铁矿的铝置换率的变化特征说明风化壳的上部及中下部的残积带红土化程

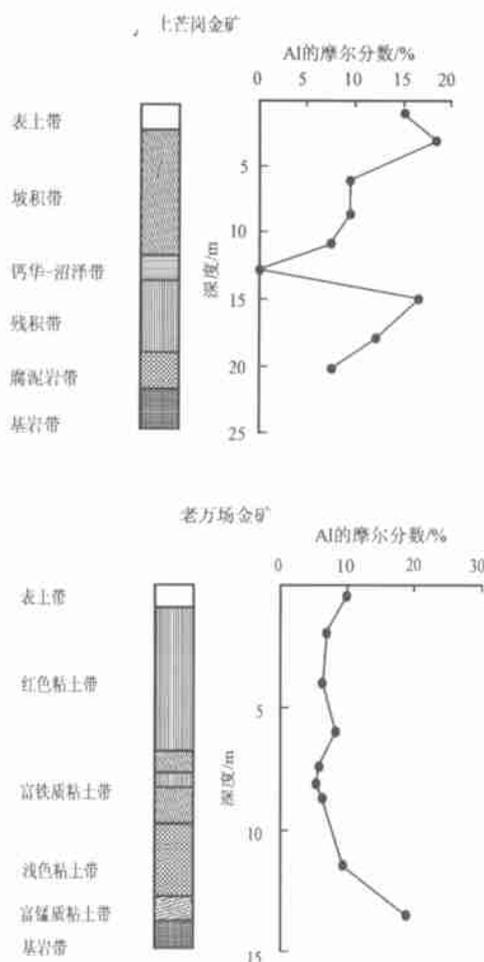


图 3 红色粘土型金矿粘土剖面中针铁矿的铝的置换率的变化特征

Fig. 3 Diagrams showing the variation of Al substitution of goethite in the profiles of red-day type of gold deposits

度较高, 指示风化壳是由两次堆积—红土化过程形成的。第一次形成残积带的以下部分, 第二次形成钙华—沼泽带的以上部分, 其中第一次的红土化程度比第二次的高, 两次形成过程的古水面分别位于腐泥岩带和钙华—沼泽带部位。

3.3 自然金

红色粘土型金矿中, 除残留的原生金粒度较粗外^[14], 次生金的粒度细小, 主要为次显微态的金, 常呈球形和半自形晶。例如, 经透射电子显微镜和电子探针分析, 发现上芒岗金矿中出现 50 nm 和 500 nm 的球形和圆棱立方金颗粒, 蛇屋山金矿中存在 15~30 nm 左右的球形金颗粒^[23], 这有别于红土型金矿中次生金的粒度和形态。一般情况下, 红土型金矿中次生金的粒度较粗, 并可见明金和块金, 形

态有薄膜状、丝状、树枝状、海绵状和八面体以及三角形、六边形片状等^[24],说明红色粘土型金矿成矿过程中金的迁移富集程度要比红土型金矿的低。

红色粘土型金矿中金的成色较高,如上芒岗金矿两粒金的成色分别为 998.0和 998.2,蛇屋山金矿中金的成色为 997.1^[23],说明红色粘土型金矿中的金均为自然金,这与红土型金矿相似。造成金成色较高的原因是红土化过程中银的络合物比金的络合物稳定,使金与银发生了分离。

红色粘土型金矿的氰化浸取实验显示,金的浸出速度快,浸出率很高,上芒岗金矿金的浸出率为 94.3%~98.8%,老万场金矿为 98%^[14],蛇屋山金矿为 95%^[4],表明金主要呈游离态。透射电子显微镜和电子探针分析发现,金颗粒主要吸附于伊利石、高岭石和针铁矿的边缘,说明红色粘土型金矿成矿过程中金的富集机制以吸附作用为主。

3.4 石英

红色粘土型金矿中的石英主要为基岩风化残留的产物,它的标型特征可反映基岩中原生矿化的特征。例如,老万场金矿的红色粘土中含有大量细砂和粉砂级的自形单晶石英,其中 60% 为一端发育菱面体的单头晶,呈六方长柱状习性,长宽比为 3~5,指示其形成于温度较低、过饱和度较低、中性—弱酸性体系中^[25]; 30% 为两端发育菱面体的双头晶,呈六方柱状习性,长宽比为 5~11,显示其形成于温度更低而过饱和度相对较高的浅部(压力较低)的开放体系中;另外 10% 也为单头晶,呈柱菱面体习性,长宽比为 1~1.5,其菱面体 R 与 r 的发育程度接近,反映其形成于温度和过饱和度更低(可接近地表条件)的体系中。此外,双头石英的存在还指示弱硅化灰岩的发育,因灰岩在硅化过程中,产生的石英结晶中心弥散在灰岩中,而石英的结晶能力又较强,且随着热液对灰岩的溶解更为石英提供了向两端生长的自由空间,使石英得以发育成双头晶。因此,老万场金矿的基岩中虽然没有热液蚀变的迹象,但红色粘土中自形单晶石英的标型特征却反映部分成矿物质为低温热液蚀变灰岩的风化产物,指示已风化的基岩中发育有原生卡林型金矿(化)。

4 结论

(1) 红色粘土型金矿的矿物组成中既有表生成因矿物,又有基岩残留矿物,其中表生成因的高岭石+伊利石+针铁矿+自然金组合为红色粘土型金矿的标型矿物组合。

(2) 高岭石的(001)衍射峰半高宽和针铁矿的铝置换率可作为矿物标型特征,指示其形成的条件。其中高岭石(001)衍射峰半高宽随介质的酸性程度和硅、铝过饱和度的增大而减小;针铁矿的铝置换率随风化程度的增高而增大,随粘土中水含量的增大而减小,在古潜水面位置为最小。

(3) 金主要为游离态的次显微自然金吸附于伊利石、高岭石和针铁矿的边缘,金的富集部位常位于高岭石(001)衍射峰半高宽较小的部位及其上侧。

(4) 基岩残留矿物特别是石英的标型特征,可反映原生金矿(化)的特征。

参考文献:

- [1] Mann A W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles—some observations from Western Australia [J]. *Economic Geology*, 1984, 79: 38–49.
- [2] Da Costa M L. Gold distribution in lateritic profiles in South America, Africa, and Australia: applications to geochemical exploration in tropical regions [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1993, 47: 143–163.
- [3] Zang Weisheng, Fyfe W S. A three stage genetic model for the Igarape Bahia lateritic gold deposit, Carajas, Brazil [J]. *Economic Geology*, 1993, 88: 1768–1779.
- [4] 李松生. 湖北蛇屋山红土型金矿床地质和成因 [J]. *地质与勘探*, 1993, 29 (1): 12–15.
- [5] 盛学庸, 韩至钧. 一种新类型金矿——试谈老万场式金矿成因及其找矿方向 [J]. *贵州地质*, 1998, 15 (1): 37–42.
- [6] 李志群. 云南红土型金矿的成矿条件及地质特征 [J]. *黄金地质*, 1998, 4 (2): 27–32.
- [7] 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.
- [8] 王瑞湖. 广西红土型金矿基本类型及找矿前景分析 [J]. *广西地质*, 2000, 13 (1): 29–36.
- [9] 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.
- [10] 邱祖林, 陈福鑫. 江苏某地红土型金矿地质特征及成矿机理分析 [J]. *江苏地质*, 1998, 21 (1): 27–30.
- [11] 涂光炽. 贵金属找矿的若干问题讨论 [A]. 陈毓川. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法 [C]. 北京: 地震出版社, 1999. 186–191.
- [12] 刘国平, 汪东波, 徐勇. 中国红土型金矿类型、成因和找矿 [J]. *地质与勘探*, 1999, 35 (3): 14–16.
- [13] 曹新志. 中国红土型金矿床研究综述 [J]. *地质科技情报*, 1998, 17 (1): 50–54.
- [14] 陈大经, 杨明寿. 中国南方红土型金矿床地质特征 [J]. *矿产与地质*, 1998, 12 (6): 377–385.
- [15] 孙承兴, 罗怡, 戴福盛. 红土型金矿某些地质特征、成矿条件再认识及其意义 [J]. *云南地质*, 1999, 18 (4): 431–437.
- [16] 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.

- [17] 陈履安. 老万场红土型金矿成矿过程的地球化学作用 [J]. 贵州地质, 2000, 17 (1): 18-26.
- [18] 章明奎. 红壤中高岭石结构无序度的研究 [J]. 科学通报, 1997, 14 (1): 17-21.
- [19] 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. 341.
- [20] Schulze D G. The influence of aluminum on iron oxides. V. III. Unit-cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them [J]. Clays and Clay Minerals, 1984, 32 (1): 36-44.
- [21] 陈世益. 广西铝针铁矿的研究及其意义 [J]. 广西地质, 1997, 10 (2): 21-24.
- [22] Trolard F, Tardy Y. A model of Fe^{3+} -kaolinite- Al^{3+} -goethite, Al^{3+} -hematite equilibria in laterites [J]. Clay Minerals, 1989, 24: 1-21.
- [23] 洪汉烈, 叶先贤. 红土型金矿床金的特征研究 [J]. 电子显微学报, 1998, 17 (3): 267-271.
- [24] Wilson A F. Origin of quartz-free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils- a review and some new observations [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1984, 31: 303-316.
- [25] 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 胶东金矿成因矿物学与找矿 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1989. 305-323.

CHARACTERISTICS OF GENETIC MINERALOGY OF RED-CLAY TYPE OF GOLD DEPOSIT

YANG Zhu-sen¹, GAO Zhen-min¹, LI Sheng-rong², LUO Tai-yi¹, LI Hong-yang¹, RAO Wen-bo¹

(1. *Open Laboratory of Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China;*

2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract As a new type of gold deposit, the red-clay type of gold deposit developed from gold-bearing bedrock by incomplete lateritization under humid and wet climate is one of the front issues studied in economic geology recently. The characteristics of genetic mineralogy of this type of gold deposits such as Shangmang-gang of Yunnan, Laowanchang of Guizhou and Shewushan of Hubei are studied in this paper. The results show that the supergene mineral assemblage of kaolinite+ illite+ goethite+ native gold is the typomorphic mineral assemblage of the red-clay type of gold deposit. The width at half-high of (001) X-ray diffraction peak of kaolinite can operate as typomorphic peculiarity to show the acidity and Si and Al saturation in weathering fluid, and further indicate the enrichment location of gold. Al-substitution of goethite shows the lateritization degree and the water content in red-clay profile, and further indicates the position of ancient groundwater table. The granularity, morphology and existent states of gold can imply the migration and enrichment degree and the reprecipitation mechanism of gold.

Key words red-clay type of gold deposit; genetic mineralogy; typomorphic peculiarity of mineral; typomorphic mineral assemblage