

2 金矿化特征

2.1 矿体与围岩的空间关系

矿体主要赋存在蚀变超基性岩体西侧的中、下志留统金厂组浅变质岩系地层中,该套地层与金厂蚀变超基性岩体呈构造“冷侵入”接触或以构造“残留体”、“悬垂体”的形式出现。部分矿体产于强硅化、黄铁矿化、铬水云母化蚀变超基性岩中。此外,还有几条产于蚀变超基性岩体西缘的含金滑石脉。

2.2 矿体形态

矿体在平、剖面上均呈斜列式展布,主要受NW向次级断裂、节理、层间滑动面及早期EW构造在成矿期的再次活动所控制,其形态随破碎带、节理、层间滑动面的规模、产状变化而变化。

2.3 矿石类型

主要矿石类型有:含金石英脉型、含金蚀变岩型、含金石英脉与含金蚀变岩混合型,而含金滑石脉型量少。

2.4 成矿阶段及矿物组合

热液成矿期可以划分为3个阶段,第Ⅰ、Ⅱ两个成矿阶段金属矿物组合基本相同。但第Ⅰ成矿阶段金属矿物含量小于2%,Au品位一般低于 2×10^{-6} ,少数达 10×10^{-6} 左右。第Ⅱ成矿阶段金属矿物含量一般为1%~5%,Au品位为数 10×10^{-6} ~ 100×10^{-6} 左右。第Ⅲ成矿阶段金属矿物含量甚微,Au品位低,未达到工业开采要求。

矿床具有明显的中、低温热液矿物的组合特征,而且部分矿物与超基性岩体有亲缘关系。矿石中金属矿物含量少、粒度细、分布不均匀,金属矿物以黄铁矿为主,其次为磁黄铁矿、黄铜矿、辉钨矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、铬铁矿、铬尖晶石、自然铂、铌铂矿等。金矿物主要为自然金,其次为银金矿、硒金银矿、铌金矿、钯金矿。含银矿物为自然银、硫锑铜银矿—银黝铜矿—含银黝铜矿系列。含镍矿物有辉砷镍矿、针镍矿、方硫镍矿、锑硫

镍矿、斜方砷镍矿等。脉石矿物主要为石英,其次为玉髓、蛋白石、绢云母、绿泥石、铬水云母、滑石、蛇纹石、碳酸盐类矿物及粘土矿物类等。

自然金主要赋存在石英、黄铁矿的晶隙间或充填于黄铁矿的晶体裂纹中,或呈细粒—显微粒状包裹于石英、黄铁矿、硒金银矿、辉锑银矿、银黝铜矿、含银黝铜矿内部或与这些矿物呈连生体产出。自然金形状主要为不规则粒状、少数为树枝状、片状和针状。

电子探针分析结果表明:自然金的成色为818.3~950.24。自然金除含银以外,少数金粒中含有微量的Se、Te、Rh、Cu等元素。

2.5 矿石组构

矿石的组构反映出该矿床具有典型的浅成热液矿床的特征。常见的结构有自形粒状结构、它形粒状结构、镶边结构、包含结构、交代残余结构、网状结构、压碎结构等。常见构造为浸染状构造、环状构造、皮壳状构造、胶状构造、条带状构造、网脉状构造、裙边带状构造、放射状构造、晶洞状构造、梳状构造等。

2.6 围岩蚀变

矿区内第Ⅰ、Ⅱ两个成矿阶段的围岩蚀变类型基本相同,矿体两侧常见的蚀变类型有硅化、黄铁矿化、铬水云母化、碳酸盐化、粘土化、绢云母化、滑石化及绿泥石化。其中硅化、黄铁矿化、铬水云母化与金矿化关系尤为密切。第Ⅲ阶段以硅化为主,其它类型的蚀变微弱。

3 岩体蚀变分带及成矿元素含量变化

3.1 岩体的蚀变分带

由东向矿区方向存在5个明显的蚀变带,其顺序为:蛇纹石化、滑石化超基性岩带;方解石、白云石化蛇纹岩带;菱镁矿化蛇纹岩带;硅化、黄铁矿化菱镁岩带;黄铁矿化、铬水云母化、硅化蛇纹岩带。各蚀变带均呈渐变过渡关系,岩体以蛇纹石化、滑石化超基性岩为主,其次为碳酸盐化蛇纹岩带。其它蚀变

带主要发育在矿区附近。

3.2 成矿元素在岩体中含量的变化

在岩体遭受热液蚀变的过程中,成矿元素亲铁性明显减弱,而亲硫性及亲石性表现得尤为明显。在相同的物理化学条件下,它们常常共同迁移,又共同沉淀富集,与源岩具有明显的亲缘关系。

3.2.1 岩体中金含量的变化

通过垂直岩体的系统取样及测试分析,其结果表明:蚀变超基性岩体中金的平均含量为 1.92×10^{-9} ,而靠近矿体的菱镁矿化蛇纹岩的平均含量为 20×10^{-9} (图 3)。表明在岩体蚀变过程中,金发生了活化迁移,在矿区内富集形成矿床,而蚀变超基性岩体中金含量降低,明显低于元素的丰度值。

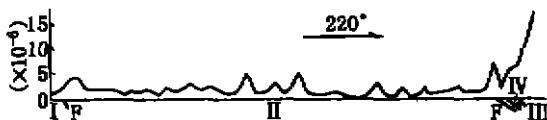


图 3 金厂金矿床超基性岩体金含量变化图
(样数 68 件,由冶金部西南测试所分析)

I—金厂组浅变质岩;II—金厂组蚀变超基性岩体;III—矿区内金厂组蚀变变质岩;IV—蚀变花岗岩岩;F—断裂

3.2.2 岩体中微量元素含量的变化

金厂岩体属镁质超基性岩体,与铬铁矿的成矿关系密切。岩体中除铬的含量高于克拉克值以外,Ag、Ni、Co、Cu、Ga、V、Ti 的含量均低于丰度值,而在矿区内出现明显的富集。此外,Se、Te、Pt、Pd 等与超基性岩有成因联系的元素在矿石中也出现局部富集现象。这些元素在岩体和矿区内出现的亏盈现象,表明成矿物质主要来源于金厂蚀变超基性岩体。值得一提的是,从岩体中活化迁移出来的铬,在矿区内与粘土矿物结合生成铬水云母,与金矿化关系密切,是明显的找矿标志。

3.2.3 硅的来源

金厂蚀变超基性岩样品的化学全分析结果表明:SiO₂ 的平均含量为 38.59%,属正常范围。岩石中并没有大量的 SiO₂ 迁出。通过对哀牢山超基性岩带未矿化的蚀变岩体进

行观察,硅化仅仅出现在岩体边缘或构造破碎带内部,而且硅化范围小,强度不大。说明岩体在蚀变过程中,释放出的 SiO₂ 在数量上并不多。矿床中 SiO₂ 的来源一部份可能由热液作用过程中沿构造、岩浆活动带侵位的花岗斑岩群所提供,大部份可能由地下热水流经的岩石提供。

3.2.4 硫同位素组成及硫源

金矿体的 $\delta^{34}\text{S}$ (平均值)变化范围为 -5.7‰ ~ -2.2‰ ;各种蚀变岩浆岩的 $\delta^{34}\text{S}$ (平均值)变化范围为 -5.1‰ ~ -2.9‰ ;蚀变围岩的 $\delta^{34}\text{S}$ (平均值)变化范围为 -5.6‰ ~ -2.7‰ 。矿区内各种地质体的硫同位素组成比较接近,表明在成矿作用过程中,硫同位素发生了广泛的交换,使硫同位素组成的变化范围趋于一致。矿区内各种地质体的 $\delta^{34}\text{S}$ 的平均值为 -4.3‰ ,偏离陨石硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 不超过 $\pm 6\text{‰}$,具同一来源的特点,硫同位素组成的频率直方图具地幔硫的塔式效应,而且形态规则,弥散度小(图 4)。

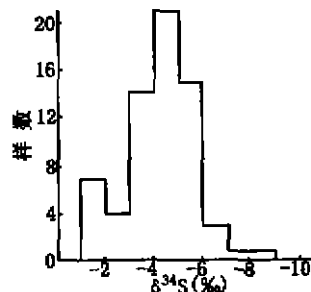


图 4 金厂金矿床硫同位素组成直方图
(由桂林有色矿产地质研究院测试)

成矿期两个主要成矿阶段矿石硫同位素组成也存在差异,第 I 成矿阶段的矿石 $\delta^{34}\text{S}$ (平均值)为 -5.7‰ ;而第 II 成矿阶段矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ (平均值)为 -2.2‰ ,表明第 II 成矿阶段的硫同位素组成更为靠近幔源硫,由于大量的硫等成矿元素从蚀变岩体中迁出,使矿石中金属硫化物含量增高,金品位也相应升高。

4 成矿作用

4.1 氢氧同位素

矿床氢氧同位素组成: δD 值由直接测定石英包裹体水而得, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值由测定样品石英的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值代入公式 $100\ln a = 3.42 \times 10^6 T^{-2} - 2.86$ (据张理刚, 1985) 换算而得。投影在各种成因的 δD — $\delta^{18}O$ 图解上(图 5), $\delta^{18}O$ 坐标 0 点附近的狭窄范围以内, 而 δD 的变化在 -95.74‰ ~ 170.51‰ 范围内, 表明成矿热液主要是由大气降水与超基性岩原生水混合的结果。

4.2 成矿热液的成分及演化

应用冷冻法对不同成矿阶段石英中 200 多个纯液体和气液包裹体进行测定, 其盐度变化范围为 0.1‰ ~ 14.8‰ , 平均值为 5.48‰ , 成矿热液属低盐度的 H_2O — $NaCl$ 体系。矿石中两个成矿阶段石英包裹体成份测定结果(表 1)表明成矿热液的主要成份是 H_2O ,

气体成份主要是 CO_2 , 而 CH_4 和 H_2 的含量甚少, 阳离子主要是 Mg^{2+} , 其次为 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ , 阴离子主要是 SO_4^{2-} , 其次是 F^- 、 Cl^- 。阳离子 Ca^{2+}/Mg^{2+} 的比值小于 0.1, K^+/Na^+ 比值小于 1。表明成矿热液是一种与蚀变超基性岩体有成因联系的 Na^+ — Mg^{2+}/SO_4^{2-} 型热水溶液。

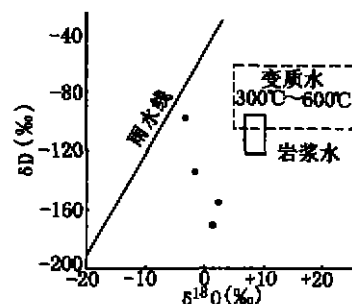


图5 流体包裹体 δO — δD 图解
(由桂林有色矿产地地质研究院测试)

表1 金厂金矿床的石英包裹体平均成份

成矿阶段	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_2	CH_4	H_2	H_2O	K^+/Na^+	Ca^{2+}/Mg^{2+}	CO_2/H_2O
I	2807	2940	350	2811	236	2011	1710	5376	322	86	982354	1.07	0.07475	2.22×10^{-3}
II	242	611	3238	36051	3285	1855	11310	311025	359	274	631753	0.2425	0.0605	0.205

注:中国有色金属总公司桂林矿产地地质研究院测试。

第 I 成矿阶段 K^+ 、 Na^+ 、 H_2O 的含量偏高, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 的含量偏低;第 II 成矿阶段则与之相反, Cl^- 的含量在整个成矿过程中都比较稳定, SO_4^{2-} 的含量从第 I 成矿阶段到第 II 成矿阶段明显升高, 表明 Au 主要是以硫络合物的形式进行迁移的。 CO_2/H_2O 的比值, 第 I 成矿阶段比第 II 成矿阶段低得多, 表明早期参与成矿的 H_2O 高于中期, 而且 CO_2 的数量也比中期少得多, 而中期则与之相反。矿石中金品位高, CO_2/H_2O 的比值也高, 反之亦然。

4.3 金的迁移富集

通过对矿床包裹体分析数据的计算, 得出两个成矿阶段的物理化学参数(表 2)。在超基性岩体蚀变过程中, 金等成矿元素也随之迁出。在碱性、富含硫化氢、硅及较还原的中—低温热液条件下, 结合成稳定的硫络合

物。成矿时期, 在近 EW 向的构造应力场作用下, 成矿热液由东向西流动进入扩溶减压带后, 成矿热液系统的物化条件将发生显著的变化, 其结果将导致成矿物质从矿液中沉淀出来富集成矿。

表2 金厂金矿床成矿的物理化学参数

参数	第 I 成矿阶段	第 II 成矿阶段	第 III 成矿阶段
均一温度 (°C)	210 ~ 320	130 ~ 210	125 ~ 160
压力	221.42	99.24	
pH	5.1	3.9 ~ 3.91	
Eh(V)	-0.347 ~ -0.353	-0.117 ~ -0.106	
f_{O_2} (Pa)	7.57×10^{-39}	7.76×10^{-40}	
f_{S_2} (Pa)	3.89×10^{-10}	1.66×10^{-13}	

温度较高时, 水的密度受压力控制, 流体密度是控制物质溶解度和电离度的主要因素, 密度大(压力大)时, 溶解度和电离度也高, 其离子活动性也强。当矿液在构造脉动性应力的驱使下进入储矿构造, 由于温度、压

力降低,金的溶解度减小,从而导致金沉淀富集。矿石普遍具有对称条带状构造,每一组条带都代表着一次构造的脉动性活动和矿质的一次沉淀。每次减压首先达到饱和的是矿液中的 SiO_2 。因此,首先沉淀出白色的石英条带,随后各种金属组份也相继达到饱和,于是沉淀出富含金属硫化物的暗色条带。这种暗色条带和浅色条带的多次重复,表明了储矿构造的多次脉动性减压扩张和矿质的多次沉淀富集。以络合物形式迁移的 Au 为 Au^+ 、 Au^{3+} 离子状态,热液中金络合物的稳定需要碱性及相对还原的环境。成矿溶液进入扩容减压带后,由于温度和压力的降低,将导致 HS^- 的分解,大量的 S^{2-} 进入围岩与 Fe^{2+} 形成黄铁矿,而分解出来的 H^+ 则使成矿溶液的 pH 值减小,矿液由碱性变为酸性或微酸性。另外,矿液进入储矿构造以后,其氧化还原电位也相对增高,都将导致金从热液中沉淀出来富集成矿。

5 结语

(1)成矿作用与造山带的构造、岩浆、热液活动关系密切;(2)金厂蚀变超基性岩体与金矿床有密切的空间关系及成因联系;(3)含矿热液是由大量地表水加入的中低温、低盐度的 $\text{Na}^2+ + \text{Mg}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$ 型流体;(4)金是在金厂超基性岩体滑石化、蛇纹石化、碳酸盐化过程中,在碱性、相对还原的介质条件下,以硫络合物的形式进入成矿溶液的,并在 T 、 P 、 pH 、 E_h 等物理化学参数发生变化的条件下沉淀富集成矿床。

参考文献

- 1 曾庆丰.论热液矿床的成矿条件.北京:地质出版社,1985
- 2 奥古士梯蒂斯 S S.基性超基性岩结构图册及成因意义.北京:地质出版社,1987
- 3 Saran - Jan Barnes, Naldrett A J. Fractionation of the platinum - group elements and gold in some komatites of the Abitibi greenstone belt, Northern Ontario. Econ. Geol., 1987. 82

THE JINCHANG ALTERED ULTRABASIC PLUTON AND ITS RELATED GOLD MINERALIZATION, YUNNAN

Li Yuan

The spatial relation between the Jinchang altered ultrabasic pluton and gold mineralization, the nature of metallization, geology of pluton, fluid, trace elements and sulfur isotope indicate that gold mainly originated from the Jinchang pluton with serpentinization, talcization and carbonization. During the alteration process, gold was extracted into solution as sulfur complex under the conditions of alkali and reduction, and was deposited with change of physico - chemical parameters, such as T , P , pH , E_h etc.

Key words Yunnan, Jinchang, altered ultrabasic intrusion, material source, mineralization

第一作者简介:

李元男,1952年生。1976年毕业于昆明工学院地质系矿产普查专业,1988年在昆明工学院获硕士学位。现任昆明理工大学副教授,主要从事矿床学科研究和教学工作。

通讯地址:昆明市五华区一二·一大街文昌巷1号 昆明理工大学国土系矿勘教研室
邮政编码:650093

