云南省富宁县者桑金矿床成因矿物学研究*

陈翠华[1]，代鸿章[1]，顾雪祥[2]，李保华[1]，张 燕[1]，赵德坤[1]，何朝鑫[1]

（1 成都理工大学 地球科学学院，四川 成都 610059；2 中国地质大学 地球科学与资源学院，北京 100083）

者桑金矿床是处于滇黔桂“金三角”构造带中的典型卡林型金矿床，以往本区地质工作投入较少，研究程度较低，尤其在成因矿物学方面的研究更是甚少。本文主要对与金密切相关的黄铁矿、毒砂等矿物的成因矿物学方面进行研究，进而查明矿石的物质组成、金的赋存状态和矿物的标型特征，获取岩矿石生成和演变的信息，为矿床成因及下一步找矿工作提供有用的信息。

1 矿床地质特征

者桑金矿床出露地层由老至新依次为二叠系中统玄武岩组（$P_2\beta$）、上统吴家坪组（P_3w）；三叠系下统罗楼组（T_1l）和中统百逢组（T_2b）。矿区位于者桑背斜南翼，区内断裂发育，大致分为北东向早期断裂及北西向和近东西向后期断裂。区内侵入岩分布有印支期辉绿岩、辉长辉绿岩，呈岩墙岩脉产出；喷出岩主要为玄武岩和凝灰质玄武岩，蚀变强烈。围岩蚀变主要有黄铁矿化、毒砂化、硅化、粘土化等。

矿床的金属矿物主要有黄铁矿、毒砂及褐铁矿，还有少量黄铜矿、黝铜矿及闪锌矿。脉石矿物主要为石英（以脉石英为主，含少量玉髓）及碳酸盐矿物，另含少量绢云母、白云母、泥状及碎片状炭质物。矿石构造主要有稠密浸染状构造，星散浸染状构造，细脉状构造，蜂窝状构造，矿石结构主要有自形-半自形晶结构，莓状结构，不规则他形晶粒状结构，胶状结构，交代假象结构等。

者桑金矿床的形成经历了沉积成岩期、热液成矿期及表生氧化期，金的富集与成矿主要发生在热液成矿期。其中热液成矿期又可划分为 3 个成矿阶段：（Ⅰ）黄铁矿-毒砂-石英-白云母阶段；（Ⅱ）石英-黄铁矿-毒砂-绢云母阶段；（Ⅲ）黝铜矿-黄铜矿-闪锌矿-石英-方解石阶段。

2 成因矿物学研究

通过对本区矿石光薄片显微观察及扫描电镜面分析均未发现自然金颗粒，对黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、黝铜矿等矿物进行电子探针分析随机点测，约 37%的测点含有金，黄铁矿、毒砂中测点含金率更是高达 63.6%，表明金是以不可见金形式赋存于黄铁矿、毒砂等载金矿物中。

热液成矿Ⅰ阶段中主要载金矿物为毒砂，含金性相对优于黄铁矿，黄铁矿晶形主要为五角十二面体，毒砂晶形主要呈板柱状，均为粗粒状产出。热液成矿Ⅱ阶段为本区最主要金矿化阶段，主要载金矿物为黄铁矿，含金性明显优于毒砂，黄铁矿晶形呈立方体，毒砂晶形呈细粒针柱状。黄铁矿及毒砂晶形指示者桑金矿床形成于中-低温环境。黄铁矿呈胶状、细粒状、破碎状为其载金标型，毒砂呈粗粒板柱状为其载金标型。反射率较低，反射色较深、维氏硬度值偏低能够指示含金性较好。

热液成矿各阶段黄铁矿亏 S 亏 Fe，毒砂富 S 亏 As，指示者桑金矿床低温热液成因特征（徐国风，1980）。含金性优的黄铁矿相对富砷，但 As 含量与 Au 含量并未呈现出显著的正消长关系，暗示金在不同成矿阶段

*本文得到国家自然科学基金重点项目（编号：40930423）、教育部高校博士点基金项目（编号：20095122120020）、成都理工大学中青年骨干教师培养计划项目和高等教育质量工程项目《矿相学》优秀教材建设（编号：XJC1105）联合资助
第一作者简介 陈翠华，女，1972 年生，副教授，主要从事矿床学、矿相学、地球化学研究工作。Email：chencuihua@cdut.edu.cn

中赋存状态有所不同。少量黄铁矿富砷而贫金，反映其 As 的来源除主要为成矿热液外，同时还来自于成矿热液所萃取的分散于围岩、土壤及地下水中的 As（Utsunomiya et al.，2003）。本区黄铁矿的深度级别 D 值主要处于中部 D 值区间内（1.58~2.90），表明者桑金矿床形成于中浅成（薛君治等，1990）。

黄铁矿 *w*(Co)平均为 0.06%，*w*(Ni) 平均为 0.02%，Co/Ni 比值介于 0.54~3.5 之间，平均 1.54；各成矿阶段的毒砂中明显富集 Co（300×10^{-6}~1 200×10^{-6}），Co/Ni 比值较小（1~1.67），指示形成于中温相并发生较强烈的热液活动（李红兵等，2005）。

黄铁矿及毒砂稀土元素特征均表现为轻稀土富集型式，明显负铕异常、而铈无明显异常。从成矿Ⅰ阶段至Ⅲ阶段，石英中稀土总量均较低但呈现逐渐由轻稀土富集变化为中稀土较富集趋势；各成矿阶段中石英均无明显铈异常，铕异常表现为成矿Ⅰ阶段为负铕异常，成矿Ⅱ阶段无明显铕异常，至成矿Ⅲ阶段变化为正铕异常。黄铁矿、毒砂及石英稀土元素特征均表明成矿物理化学条件为还原环境（范建国等，2000；李厚民等，2003），成矿物质主要来自于围岩而并非来自于本区内的基性岩浆，岩浆活动更可能是作为热源对金矿化过程中的流体热循环起一定作用。

本区内岩矿石富含有机质，有机碳含量达到 0.12%~0.45%（TC 可达 2.36%~3.84%），并与金品位呈正相关，同黔西南的众多金、锑、汞矿床特征一致（施继锡，2006），暗示本矿床形成可能与黔西南分布的古油藏存在着空间上的耦合关系（顾雪祥，2011）。较高的有机质含量能够表征本区成矿流体的还原环境，同时有机质对金属元素有吸附、化合作用，使金等成矿元素富集在碎屑岩和不纯碳酸盐岩中（Tompkins et al.，1994）。黄铁矿及毒砂 $\delta^{34}S_{V\text{-}CDT}$ 值介于 9.2‰~10.2‰，明显表现为富重硫特征，也印证了有机质与围岩中硫酸盐反应的确切性（Powell et al.，1984），表明者桑金矿床的成矿物质主要来自于围岩。

包裹体岩相学特征表现为热液成矿Ⅰ阶段的石英中包裹体数量较少，多呈星散状分布，包裹体类型主要有 CO_2-H_2O 包裹体、气液 H_2O 包裹体和气相 CO_2 包裹体，指示在该成矿阶段中成矿流体物理化学条件较稳定，成矿温度较高；成矿Ⅱ阶段的包裹体非常发育，主要呈星散状及成群分布，包裹体的类型主要为 CO_2-H_2O 包裹体和气液 H_2O 包裹体，含少量气相 CO_2 包裹体和液相 H_2O 包裹体，镜下可以观察到该阶段不同 CO_2 相比例的 CO_2-H_2O 包裹体出现，显示成矿流体在成矿Ⅱ阶段可能发生了不混溶作用（李保华等，2010），也指示该成矿阶段发生较为强烈的构造运动，成矿流体物理化学条件变化较快。成矿Ⅲ阶段中的包裹体比较发育，主要呈星散状及成群分布，少量呈孤立状，包裹体类型主要为气液 H_2O 包裹体，含少量液相 H_2O 包裹体。

各成矿阶段中气液 H_2O 包裹体均一及冷冻温度测试表明成矿流体为中-低温（80~245℃），低盐度（0.18%~6.45%），中-低密度体系。石英及方解石中包裹体氢、氧同位素组成 $\delta^{18}O_{H2O}$ 值为−5.6‰～5.4‰；$\delta D_{V\text{-}SMOW}$ 值为−40.3‰～−74.8‰，表明成矿流体来源为大气降水。成矿流体流经富含有机质的沉积岩层时，受到有机质中氢的混染导致本区原始大气降水的氢同位素发生漂移（Hsueh，1981）。

3 结 论

综上所述，本文从成因矿物学角度，通过对载金矿物黄铁矿、毒砂以及重要脉石矿物石英的各标型特征的研究，分析认为，者桑金矿床中黄铁矿及毒砂为重要的载金矿物，脉石矿物石英及富含有机质围岩与金矿化密切相关，矿床成因类型为中浅成中低温热液矿床，成矿物质主要来自于围岩，成矿流体为大气降水，并在下渗过程中混合建造水，受到地温梯度或岩浆烘烤作用影响后再向上循环，金矿化发生在成矿流体的热循环与富含有机质的赋矿围岩的相互作用过程中，并在构造有利部位沉淀富集。

参 考 文 献（略）