

贵州省贞丰县水银洞层控特大型金矿 成矿条件与成矿模式

刘建中^{1,2} 邓一明¹ 刘川勤^{1,2} 张兴春³ 夏勇³

(1. 贵州紫金矿业股份有限公司, 贵州 贞丰 562200;

2. 贵州地矿局 105 地质大队, 贵州 贵阳 550018;

3. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 上世纪 90 年代中期通过成矿预测发现的水银洞金矿床, 通过近 10 年的勘查, 成为特大型层控金矿床。矿体呈层状、似层状产于灰家堡背斜轴部附近 300 m 范围内二叠统龙潭组的大孔隙度生物碎屑灰岩中, 形态与背斜形态一致。矿体严格受控于碳酸盐岩, 顶板和底板皆为粘土岩或粉砂质粘土岩, 界线清楚。矿化表现为“硅化、白云石化、黄铁矿化”组合。硅化与白云石化是成矿的先决条件, 碳酸盐岩最终能否成矿及品位的高低, 取决于是否具有黄铁矿化热液蚀变及其强度。矿床具矿体多、厚度薄、品位富的特点。单矿体即达中型矿床规模。具中一低温超高压热液成矿的特点。金赋存于沿自形黄铁矿内核生长成的含砷黄铁矿环带中。

关键词: 层控型; 金矿床; 矿床地质特征; 成矿模式; 水银洞; 贵州; 贞丰县

中图分类号: P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)01-0169-09

1 矿床基本特征

水银洞金矿床为赋存于上二叠统龙潭组(P₂L)地层中的矿体以层控型为主、断裂型为辅的复合型隐伏矿床(矿体埋藏于地表 150 m 以下)。主矿体呈层状、似层状产于灰家堡背斜核部(以背斜轴为中心向两翼 300 m 范围内)生物碎屑灰岩中, 产状与岩层产状一致, 走向上具波状起伏向东倾没、空间上具有多个矿体上下重叠、品位高、厚度薄(图 1、2)。矿体集中产于龙潭组第二段中下部和第一段顶部, Ⅲc 矿体距龙潭组第二段顶界 55~60 m、Ⅲb 距Ⅲc 底板 25~35 m、Ⅲa 距Ⅲb 矿体底板 8~15 m、Ⅱf 距Ⅲa 矿体底板 5~11 m。单个矿体储量大, Ⅲc 矿体和Ⅲa 矿体分别达中型金矿床规模^[1]。

Ⅲc 矿体呈似层状产于灰家堡背斜近轴部南翼, 赋存于龙潭组第二段中部的生物碎屑灰岩中, 倾向南, 倾角 5°~10°, 距龙潭组顶界约 160 m。东西长 700 m, 平均宽 200 m, 平均品位 >10×10⁻⁶, 平均厚度 2.23 m, 品位变化系数 63.27%, 厚度变化系数 32.72%, 占矿床总储量的 33%。

Ⅲa 矿体呈似层状产于灰家堡背斜轴部, 赋存于龙潭组第二段底部的含泥砂质生物碎屑灰岩中, 距Ⅲc 矿体底板

33~50 m, 倾向南或北, 倾角 5°~10°。长 800 m, 平均宽 200 m。平均品位 >10×10⁻⁶, 平均厚度 2.27 m。品位变化系数 92.18%, 厚度变化系数 46.95%, 占矿床总储量的 35%。

Ia 矿体呈似层状产于灰家堡背斜轴部, 赋存于 P₂m 与 P₂l 不整合界面的构造蚀变体中。东西走向长 500 m、南北倾向延伸 630 m。矿体形态与构造蚀变体形态一致, 倾向南或北。平均品位 6.87×10⁻⁶, 平均厚度 3.11 m。品位变化系数 78.64%, 厚度变化系数 122.17%, 占矿床总资源/储量的 13%。

主要矿体Ⅲc、Ⅲa、Ia 属厚度稳定—较稳定(变化系数 25.89%~122.17%)、品位均匀(变化系数 68.37%~78.64%)、破坏程度小、走向规模大、倾向规模中—大, 矿体形态简单。根据 DZ/T0205-2002《岩金地质勘查规范》要求, 勘探类型划为 I 类偏复杂。

2 控矿条件分析

2.1 构造

灰家堡背斜: 为一区域性构造, 控制了紫木圪大型金矿床、太平洞大型金矿床和水银洞特大型金矿床产出, 控制资源 130 余吨, 显示了矿集区特点(图 3)。背斜东起者相, 西止

收稿日期: 2005-05-08; 改回日期: 2005-09-19

基金项目: 贵州省自然科学基金(20033056)“贵州省贞丰水银洞金矿成矿特征及金的超常富集作用”项目资助。

作者简介: 刘建中, 男, 1966 年生, 高级工程师, 长期从事矿产勘查工作; E-mail: liujianzhong868@sina.com。

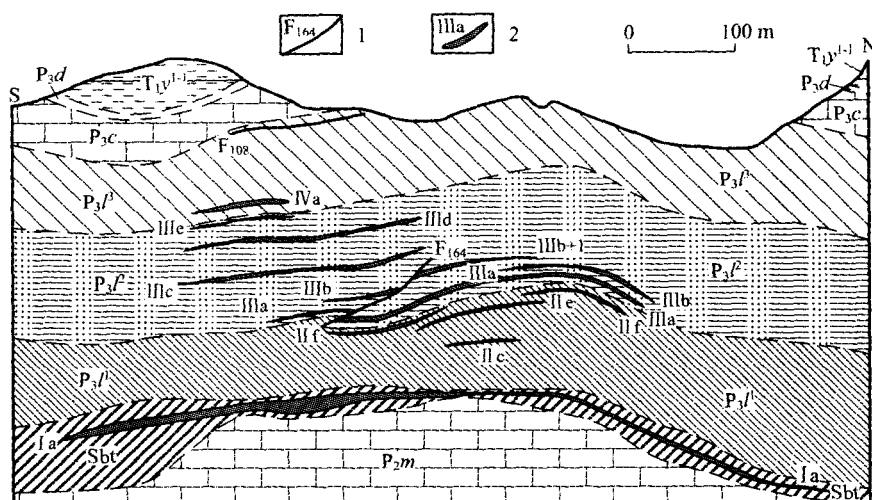


图1 贵州省贞丰县水银洞金矿床7勘探线剖面图

T₁Y—夜郎组; P₃d—大隆组; P₃c—长兴组; P₃j³—龙潭组三段; P₃j²—龙潭组二段; P₃j¹—龙潭组一段; Sbt—构造蚀变体; P₂m—茅口组;
1—断层及编号; 2—矿体及编号

Fig.1 No. 7 exploratory profile of the Shuiyindong gold deposit in Zhenfeng County, Guizhou Province

T₁Y—Yelang Formation; P₃d—Dalong Formation; P₃c—Changxing Formation; P₃j³—Third Member of the Longtan Formation; P₃j²—Second Member of the Longtan Formation; P₃j¹—First Member of the Longtan Formation; Sbt— Structurally altered body; P₂m—Maokou Formation;
1—Fault and its number; 2—Orebody and its number

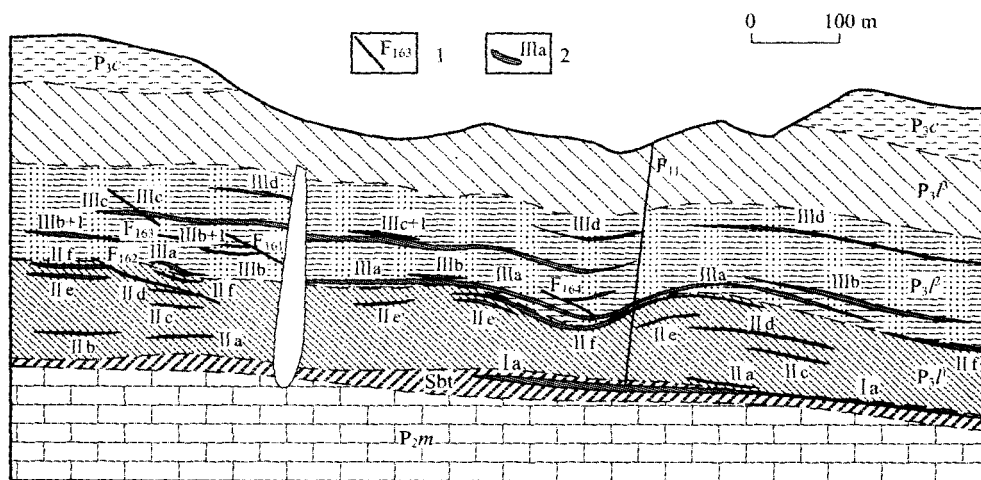


图2 贵州省贞丰县水银洞金矿床7勘探线剖面图

P₃d—大隆组; P₃c—长兴组; P₃j³—龙潭组三段; P₃j²—龙潭组二段; P₃j¹—龙潭组一段; Sbt—构造蚀变体; P₂m—茅口组;
1—断层及编号; 2—矿体及编号

Fig.2 No. 7 exploratory profile of the Shuiyindong gold deposit in Zhenfeng County, Guizhou Province

P₃d—Dalong Formation; P₃c—Changxing Formation; P₃j³—Third Member of the Longtan Formation; P₃j²—Second Member of the Longtan Formation;
P₃j¹—First Member of the Longtan Formation; Sbt— Structurally altered body; P₂m—Maokou Formation.
1—Fault and its number; 2—Orebody and its number

于老王箐附近,全长约20 km,宽约6 km,岩层倾角5°~20°,为两翼基本对称的近东西向之宽缓短轴背斜。轴线总体向东倾没,具波状起伏的特点。波峰(背斜高点次高点)控制了金

矿产出(太平洞高点控制了太平洞金矿床,水银洞高点控制了水银洞金矿床)。水银洞高点背斜核部向两翼300 m范围内控制了水银洞金矿床产出^[1-3,5]。

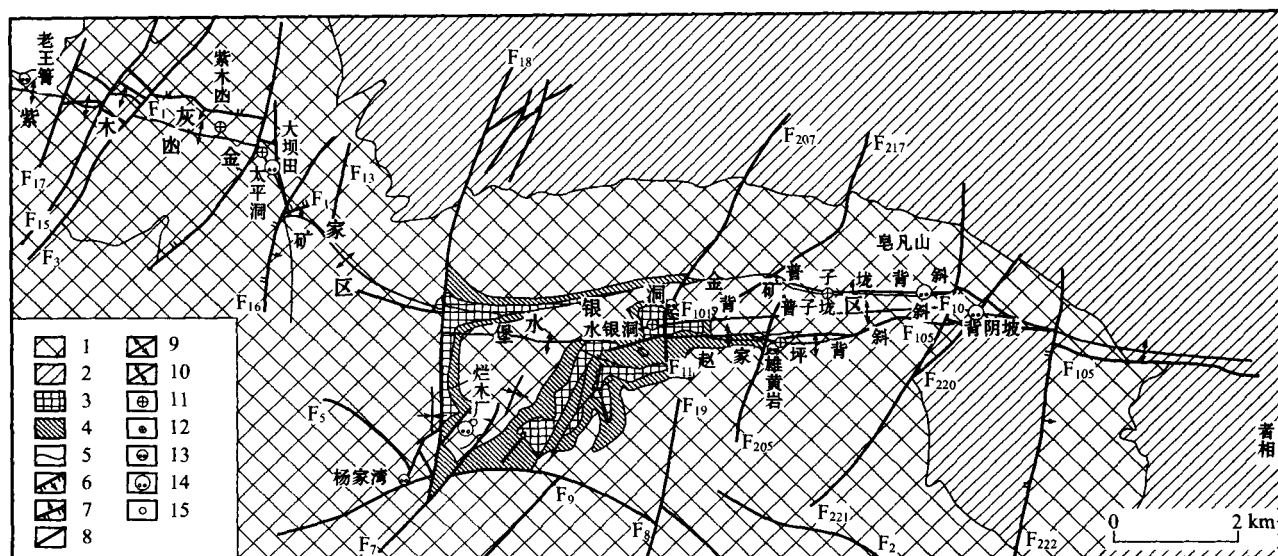


图 3 灰家堡背斜金矿田地质图

1—永宁镇组;2—夜郎组;3—长兴组至大隆组;4—龙潭组;5—地质界线;6—实测及推测正断层及编号;7—实测及推测逆断层及编号;
8—性质不明断层;9—背斜轴;10—向斜轴;11—金矿床;12—金矿点;13—汞矿床;14—汞矿点;15—铊矿点

Fig.3 Geological map of the gold field in the Huijiabao anticline

1—Yonglinzhen Formation; 2—Yelang Formation; 3—Changxing to Dalong formations; 4—Longtan Formation; 5—Geological boundary; 6—Measured and inferred normal fault and its number; 7—Measured and inferred reverse fault and its number; 8—Fault of uncertain nature; 9—Axis of anticline; 10—Axis of syncline; 11—Gold deposit; 12—Gold occurrence; 13—Mercury deposit; 14—Mercury occurrence; 15—Thallium occurrence

构造蚀变体(Sbt):产于 P_{2m} 和 P_{3l} 之间不整合界面附近的、由区域性构造作用形成的并经热液蚀变的构造蚀变岩石。为强硅化灰岩、角砾状强硅化灰岩、硅质岩及角砾状硅化粘土岩组合,普遍具硅化、黄铁矿化、萤石化、雄(雌)黄化、锑矿化、金矿化等热液蚀变特征。水银洞 I a 矿体和戈塘金矿床即产于其中,为含矿热液远距离运移的通道。

2.2 岩性

主矿体(Ⅲc、Ⅲb、Ⅲa、Ⅱf)赋存于海陆交互相的上二叠统龙潭组(P_{3l})所夹的厚 1~2.8m 的生物碎屑灰岩或生物屑砂屑灰岩中和 P_{3l} 与 P_{2m} 不整合界面的构造蚀变体中。隔水的粘土岩和透水性良好的生物碎屑灰岩互层成为水银洞金矿床有利的岩石组合。

Ⅲc:容矿岩石为生物碎屑粉晶或泥晶灰岩,主要产出腕足类、头足类、腹足类、瓣腮类、海百合、棘皮动物等。顶底板为含碳质粘土岩。Ⅲb:容矿岩石为生物碎屑粉晶或泥晶灰岩,主要产出腕足类、头足类、腹足类、瓣腮类、棘皮动物等。顶板为粉砂质粘土岩,底板为碳质粘土岩及煤线。Ⅲa:容矿岩石为含泥质砂质生物碎屑灰岩,主要产出腕足类、头足类、腹足类、瓣腮类、筴等。顶板为粉砂质粘土岩,底板为碳质粘土岩。Ⅱf:容矿岩石为含泥质生物屑砂屑灰岩,生物化石丰富,以盛产筴科化石为特征,次有小个体的腕足类、头足类、腹足类、瓣腮类等。顶底板为粉砂质粘土岩。I a 矿体呈

似层状和透镜状,产于 P_{2m} 和 P_{3l} 之间不整合界面附近的由区域性构造作用形成的并经热液蚀变的构造蚀变岩石中,为强硅化灰岩、角砾状强硅化灰岩、硅质岩及角砾状硅化粘土岩组合。

2.3 热液蚀变

主要的热液蚀变类型有:黄铁矿化、白云石化、硅化、毒砂化、雄(雌)黄化、方解石化、辉锑矿化、萤石化、滑石化及辰砂化等。硅化、白云石化、黄铁矿化与金矿关系极为密切,凡金矿产出部位皆有这“三化”组合。有利的容矿岩石(生物碎屑灰岩或生物屑砂屑灰岩)能否成矿,取决于是否具有相应的热液蚀变^[3,5]。

金属矿物:黄铁矿、毒砂、赤铁矿、辉锑矿(偶见)、辰砂(偶见)及雄黄(偶见)。

脉石矿物主要为:石英、白云石、方解石、水云母、绢云母、高岭石、萤石、海绿石、沸石和有机碳。

黄铁矿化:黄铁矿呈自形、半自形或他形浸染状星散状分布,颗粒细小,一般 0.001~0.05 mm,少数呈立方体的粒径可达 0.2mm,黄铁矿集合体最大可达 0.4mm。黄铁矿主要呈浸染状分布,次呈细脉状、条带状、透镜状分布。沉积期黄铁矿多呈自形立方体或五角十二面体晶型,粒度较大,多呈条带(纹)状产出;热液期黄铁矿颗粒细小,肉眼难以见及,镜下表现为沿自形黄铁矿内核生长成的含砷黄铁矿环带。

白云石化: 颗粒细小, 呈自形菱面体产出。自形白云石亮晶交代泥晶方解石。白云石粒度在 0.01~0.05 mm 之间。矿石普遍具强烈白云石化, MgO/CaO 高达 0.37~0.534, 表明绝大部分方解石被白云石交代。矿石中方解石仅占 10.1%~22.4%, 而白云石则高达 44.2%~64.6%, 具极强白云石化特征。

硅化: 矿石普遍具强烈硅化作用, 矿化期硅呈隐晶质玉髓交代岩石, 矿石含 SiO_2 普遍高达 30%~40%。晚期表现为石英颗粒细小, 呈斑块状, 细脉状充填于溶蚀孔洞或充填于岩石的节理裂隙中, 或呈半自形他形粒状分布于溶蚀孔洞中。

毒砂化: 呈自形菱面体、枣核形、矛状、针状等形态, 多与黄铁矿形成连晶或在草莓状黄铁矿上生长。颗粒细小, 粒径全部在 0.02 mm 以下, 肉眼难以见及。矿石普遍含毒砂较少, 但高品位矿石中往往可见针状毒砂。据电子探针波谱扫描, 金与毒砂的关系较明显, 毒砂中显示了较好的含金性。

方解石化: 多为细小的半自形他形粒状, 少数呈细小自形晶产出, 主要以脉状充填于岩石的节理裂隙中, 局部出现方解石呈团块状。

辉锑矿化: 出现在成矿晚期, 呈脉状、网脉状、浸染状充填和交代围岩, 或成为断层角砾岩的胶结物(见于 F_{102} 断层破碎带及其旁侧和构造蚀变体中)。

雄(雌)黄化: 出现在成矿晚期, 主要呈脉状、网脉状、填隙状充填和交代围岩, 或成为断层角砾岩的胶结物(见于 F_{102} 断层破碎带及其旁侧和构造蚀变体中)。

萤石化: 仅见于构造蚀变体中, 呈自形半自形粒状交代岩石。

辰砂化: 呈自形半自形粒状充填于岩石节理裂隙中, 或呈微细浸染状交代岩石。

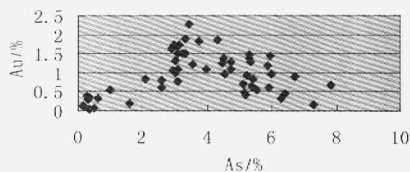


图4 金-砷关系图解

Fig.4 Relationship between Au and As

2.4 金的赋存状态

反光镜下矿石中未见自然金颗粒, 电子探针同样未扫描到自然金颗粒, 说明金呈超显微状态。研究^[4]表明: 金主要赋存于热液成因的砷黄铁矿环带中(在成矿前的自形黄铁矿内核的基础上, 于成矿期生长成的砷黄铁矿环带), 采用高分辨率电子探针(CAMECA SX-50 型)进行横切砷黄铁矿环带的金的波谱成分扫描, 展示了 Au 与 As 的相关性, 但并不具正相关关系(金在砷黄铁矿环带中的含量并不随这种环带中的砷含量增高而增高, 特别是在含砷高达 7%~8% 的部位往往不含金或含金很低, 即金与砷在砷黄铁矿环带中的含量分布不呈线性正相关关系, 而是高金含量与中等砷含量 3%~6% 相对应)(图 4), 这可能说明金在砷黄铁矿环带中以亚微米至纳米级的颗粒状不均匀浸染分布, 而不太可能以晶格金(即以 $Au^{3+}-As$ 成对置换黄铁矿晶格中的 $Fe^{2+}-S$)的状态存在。

黄铁矿是金的主要载体。含金黄铁矿粒度主要在 0.5~50 μm 之间, 呈莓状、球状、皮壳状、环带状等。热液期黄铁矿

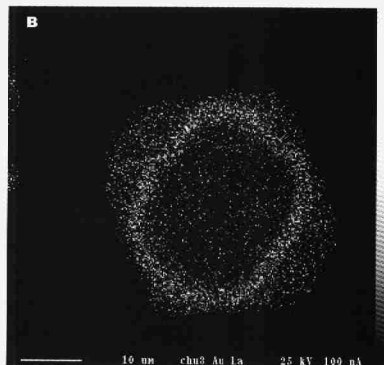
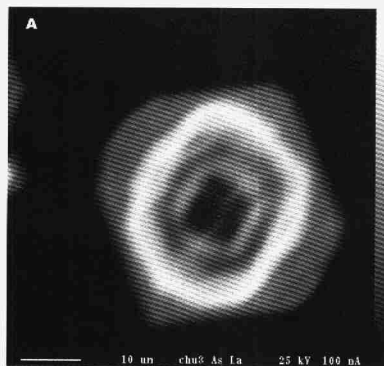


图5 黄铁矿的电子探针波谱砷 L α (A)、金 L α (B) 成分扫描图像

Fig.5 Microprobe spectral scan images of the As L α (A) and Au L α (B) compositions of pyrite

颗粒细小,肉眼难以见及,电镜下表现为沿自形黄铁矿内核生长成的含砷黄铁矿环带。早期(沉积期)黄铁矿不含金,金赋存于含砷黄铁矿环带中,据电子探针波谱分析,含砷黄铁矿环带含金量高达 $600 \times 10^{-6} \sim 1800 \times 10^{-6}$ 。热液期黄铁矿明显表现为两期,第一期为沿沉积期的不规则状或草莓状黄铁矿内核生长成的砷黄铁矿环带,第二期为金沉淀后于砷黄铁矿环带外的黄铁矿生长表层^[4,9]。

图 5 显示金与砷间的正对应关系,这颗黄铁矿含有成矿前的黄铁矿内核,矿化期的砷黄铁矿环,和金沉淀后的黄铁矿生长表层(测试者:张兴春)。

毒砂是仅次于黄铁矿的第二种金属硫化物,其含量多不超过 1%,且颗粒细小($\leq 0.02 \text{ mm}$),结晶自形度高,多呈菱形、针状等。与黄铁矿多形成连晶或在草莓状黄铁矿上生长。矿石普遍含毒砂较少,但高品位矿石中往往可见针状毒砂,据电子探针波谱扫描,金与毒砂的关系较明显,显示了较好的含金性。鉴于毒砂本身含量少、分布局限,不是金的主要载体。

2.5 同位素地球化学

2.5.1 硫同位素(表 1)

在钻孔中采集了 II f、III c 两个矿层的矿石样品和矿石的顶板样品,分选出单矿物黄铁矿,开展硫同位素组成分析。样品采集为矿层组合大样缩分,破碎至过 60 目,经物理方法分离流程处理,得到纯净黄铁矿粉末,样品由中国科学院地球化学研究所资源环境测试分析中心分析。

① 矿体 3 件样品 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $+3.18\text{‰} \sim +7.00\text{‰}$, 平均值 $+5.63\text{‰}$; 围岩 3 件样品 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $+6.01\text{‰} \sim +8.67\text{‰}$, 平均值 $+7.19\text{‰}$ 。

② 6 件样品总体来看,明显富 S^{34} , 其 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $+3.18\text{‰} \sim +8.6\text{‰}$, 平均值 $+6.4\text{‰}$ 。

③ 矿体和围岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 都非常靠近。

由于样品挑选过程中未能将热液成因的砷黄铁矿环带与成岩成因的黄铁矿内核分离,特别是矿石中本身含有相当数量的微细粒成岩成因黄铁矿,因此,矿石的硫同位素组成仍表现为地层中沉积硫的特征。

表 1 水银洞金矿硫同位素分析结果

Table 1 Sulfur isotopes analysis of the Shuiyindong gold deposit

取样位置	岩性	矿体	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
ZK1618	碳酸盐岩	III c	7.00
ZK1404	碳酸盐岩	II f	3.18
ZK1130	碳酸盐岩	III c	6.72
ZK1618	粉砂质粘土岩	III c 顶板	6.91
ZK1404	粉砂质粘土岩	II f 顶板	6.01
ZK1130	粉砂质粘土岩	III c 顶板	8.67

注:由中国科学院地球化学研究所资源环境测试分析中心分析。

2.5.2 铅同位素(表 2)

采集了 II e、II f、III a、III b 4 个矿层的矿石样品和 III b 矿层的近矿底板样品,分选出单矿物黄铁矿,开展铅同位素组成分析。样品采集为矿层组合大样缩分,破碎至过 60 目,经物理方法分离流程处理,得到纯净黄铁矿粉末,样品在国土资源部宜昌地质矿产研究所同位素研究室分析,采用 VG-354 型质谱仪测定。

水银洞金矿矿石热液黄铁矿铅同位素组成有较大的变化,黄铁矿 Pb 同位素组成 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $17.942 \sim 18.452$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.532 \sim 15.642$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $38.158 \sim 38.729$ 。一般认为,铅在浸取、转移和沉淀的过程中,铅同位素组成通常是不发生变化的,因而矿石的铅同位素组成的相对稳定或明显变化能够说明矿床中成矿物质是单一来源还是具有多来源。水银洞金矿矿石热液中黄铁矿铅同位素组成的变化反映成矿物质可能具有多来源或混合成因^[6]。

2.6 包裹体地球化学

研究样品采自 III c 和 III d 矿层间矿化断层中的石英脉或石英团块及 ZK002 钻孔 147.8 m 处矿层中的石英脉(测试者:张兴春)。

2.6.1 包裹体形态大小

原生流体包裹体以孤立状分布、负晶形为其特征,一般大小(直径) $5 \sim 60 \mu\text{m}$,多数为 $10 \sim 30 \mu\text{m}$;次生流体包裹体则

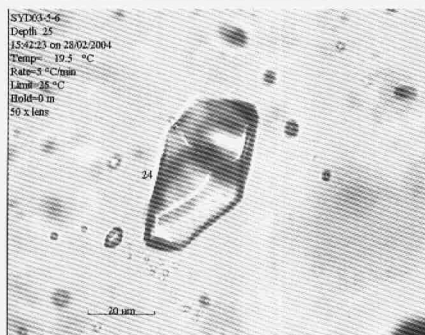
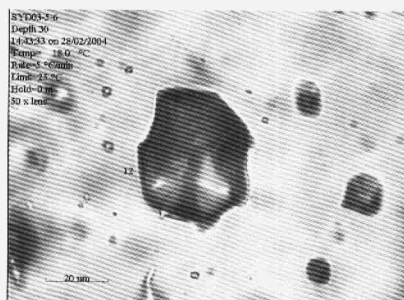
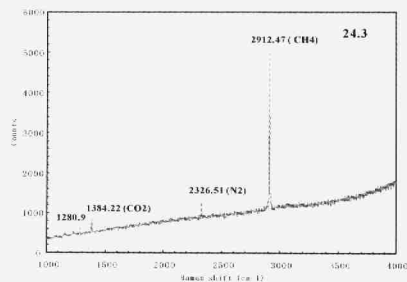
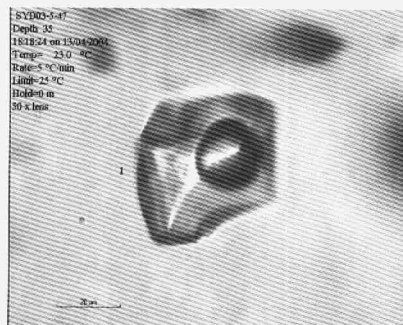
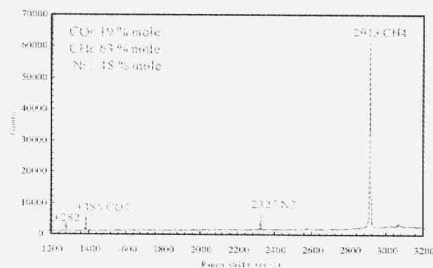
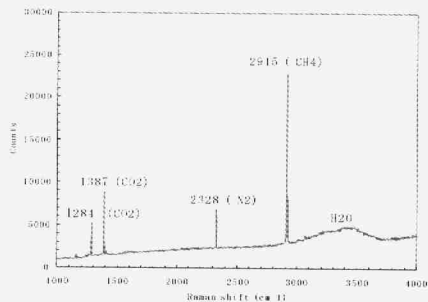
表 2 水银洞金矿矿石中热液黄铁矿铅同位素组成及有关参数

Table 2 Lead isotopic composition and related parameters of hydrothermal pyrite in ore of the Shuiyindong gold deposit

样品编号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄 (Ma)	ϕ	μ	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
IIe	18.361	15.56	38.452	153	0.582	9.39	15.003	26.208
II f	18.383	15.642	38.729	239	0.589	9.55	20.352	33.600
IIIa	18.304	15.54	38.501	169	0.583	9.36	13.699	27.515
IIIb-1	18.452	15.532	38.332	49.1	0.573	9.33	13.177	23.005
IIIb-2	17.942	15.56	38.158	457	0.61	9.44	15.003	18.361
IIIb-3	18.145	15.551	38.382	300	0.595	9.4	14.416	24.339

注: $\Delta\beta = \frac{\beta - \beta_M}{\beta_M} \times 1000$; $\Delta\gamma = \frac{\gamma - \gamma_M}{\gamma_M} \times 1000$; β = 样品的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; γ = 样品的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; β_M = 地幔的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$;

$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.33$; γ_M = 地幔的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.47$ 。测试单位:宜昌地质矿产研究所同位素研究室。

图6 液相 $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-CO}_2(\text{L})$ 包裹体及激光拉曼光谱Fig.6 Liquid $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-CO}_2(\text{L})$ inclusions and laser Raman spectra图7 气相 $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-CO}_2(\text{V})$ 包裹体及激光拉曼光谱Fig.7 Gas $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-CO}_2(\text{V})$ inclusions and laser Raman spectra图8 气-液相 $\text{V}(\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-CO}_2)+\text{H}_2\text{O}$ 包裹体及激光拉曼光谱Fig.8 Gas-liquid $\text{V}(\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-CO}_2)+\text{H}_2\text{O}$ inclusions and laser Raman spectra

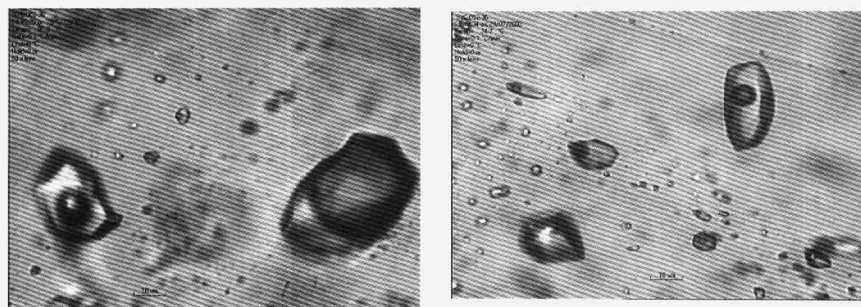


图9 不同类型的原生流体包裹体常共生在一个平面内或裂隙中,显示了流体的不混溶特征

Fig.9 Various types of primary fluid inclusions occurring together in a plane or a fissure, showing the fluid immiscibility feature

呈不规则状或负晶形,一般大小5~50 μm,多数10~50 μm,通常沿次生裂隙或曲面分布,但次生裂隙中常见黄铁矿、毒砂、辉钨矿、雄黄(雌黄)等硫化物,反映了早期石英形成之后的张裂。这些沿次生裂隙分布的流体包裹体可能保存有成矿晚期流体的信息。

期流体的信息。

2.6.2 包裹体类型及物质组成

按室温(25℃)下包裹体的相态特征以及冷冻过程中相的变化,可划分为液态 $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-CO}_2(\text{L}_{\text{CH}_4+\text{N}_2+\text{CO}_2})$ 、气相 $\text{CH}_4\text{-}$

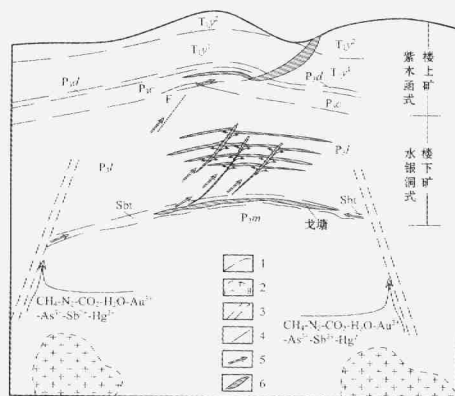


图10 水银洞金矿床“两层楼”成矿模式示意图

P_{3m} —茅口组; Sbt —构造蚀变体; P_{3j} —龙潭组; P_{3c} —长兴组; P_{3d} —大隆组; $T_1\gamma^1$ —夜郎组一段; $T_1\gamma^2$ —夜郎组二段

1—地层界线; 2—隐伏花岗岩; 3—深大断裂; 4—断层; 5—矿液迁移方向; 6—金矿体

Fig.10 “Two-storey” metallogenic model of the Shuiyindong gold deposit

P_{3m} —Maokou Formation; Sbt —Structure alteration body; P_{3j} —Longtan Formation; P_{3c} —Changxin Formation; P_{3d} —Dalong Formation; $T_1\gamma^1$ —First Member of the Yelang Formation; $T_1\gamma^2$ —Second Member of the Yelang Formation. 1—Stratigraphic boundary; 2—Concealed granite body;

3—Deep fault; 4—Fault; 5—Migration direction of ore fluids; 6—Gold orebody

N_2 - CO_2 ($V_{CH_4+N_2+CO_2}$)、气液相 $V_{CH_4+N_2+CO_2}+H_2O$ 、富 CO_2 流体 (H_2O -NaCl)、气液相 (H_2O -NaCl) 流体包裹体 5 大类。

液态 CH_4 - N_2 - CO_2 ($L_{CH_4+N_2+CO_2}$) 包裹体 (图 6): 主要为原生流体包裹体, 多呈孤立状、负晶形, 大小 $10\sim 40\mu m$ 。在加热过程中该类包裹体易发生爆裂, 表明其内压较大。

气相 CH_4 - N_2 - CO_2 ($V_{CH_4+N_2+CO_2}$) 包裹体 (图 7): 该类包裹体通常为半透明-黑色, 多呈孤立状、负晶形, 大小 $10\sim 40\mu m$ 。显微测温学与激光 Raman 研究, 发现该类包裹体中的气相以甲烷 (CH_4) 为主, 并含有较高的 N_2 和 CO_2 。

气液相 $V_{CH_4+N_2+CO_2}+H_2O$ 包裹体 (图 8): 在室温 ($25^\circ C$) 下, 该类流体包裹体通常有一个气相 (V) 和液相 (L)。通过激光 Raman 研究, 则发现该类包裹体中的气相成分主要为 CH_4 、 N_2 和 CO_2 。

对近 200 个不同类型流体包裹体的激光 Raman 光谱研究表明, 除纯 CO_2 相包裹体之外, 其他类型流体包裹体中都含有较高的 CH_4 ($2913\sim 2919 cm^{-1}$)、 N_2 ($2330 cm^{-1}$) 和 CO_2 ($1285 cm^{-1}$ 、 $1388 cm^{-1}$), 其中 $V_{CH_4+N_2+CO_2}$ 包裹体中 CH_4 含量高达 63mol%、 N_2 为 18mol%、 CO_2 为 19mol%。

2.6.3 包裹体测温及压力结果

流体包裹体显微测温结果表明, 主成矿期 $V_{CH_4+N_2+CO_2}+L$ 相流体包裹体的均一温度为 $200^\circ C\sim 220^\circ C$, 盐度 (5~6) wt%NaCl; 与 $V_{CH_4+N_2+CO_2}+L$ 共存的富 CO_2 相流体包裹体也显示相同的均一温度范围 ($200^\circ C\sim 220^\circ C$)。初步压力计算表明, 成矿流体具有很高的压力 ($100\ 000\sim 200\ 000 kPa$), 显示了超压流体的性质。具中一低温超高压热液成矿的特点。

3 成矿模式探讨

与深部隐伏花岗岩有关的富含 CH_4 - N_2 - CO_2 和 Au^{2+} 、 Sb^{2+} 、 Hg^{2+} 、 As^{2+} 、 H_2O 的热液, 在燕山期区域构造作用下沿深大断裂上涌, 沿 P_2m 与 P_3l 间的不整合界面 (区域构造滑脱面) 侧向运移 (与岩石产生交代形成构造蚀变体, 局部形成金矿体或矿床。如: 水银洞 I a 矿体、戈塘金矿床), 背斜核部附近发育的 F_{162} 、 F_{163} 等斜切层面的断裂构造或一系列节理成为成矿流体穿透一些构造封闭层 (如碳质页岩) 到达另外一些渗透性较好的地层——碳酸盐岩 (这些地层上必须有封闭层覆盖) 的通道, 热液向上运移过程中, 碳酸盐岩的顶底板粘土岩形成良好的封闭层阻止热液扩散而导致含矿热液沿孔隙度大的碳酸盐岩侧向运移并富集而成黔西南独特的层控型矿床——水银洞金矿^[7,8] (图 10)。

致谢: 电子探针波谱扫描图和包裹体照片由中国科学院地球化学研究所张兴春博士和苏文超博士提供, 中国科学院地球化学研究所肖唐付研究员代写英文摘要, 在此表示诚挚感谢。

参考文献 (References):

- [1] 刘建中. 贵州省水银洞金矿床矿石特征及金的赋存状态[J]. 贵州地质, 2003, 20(1): 30~34.

Liu Jianzhong. Ore characteristics and the location and state of gold of the Shuiyindong gold deposit, Zhenfeng, Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2003, 20(1): 30~34 (in Chinese with English abstract).

- [2] 刘建中. 贵州省贞丰县岩上金矿床地质特征[J]. 贵州地质, 2001, 18(3): 174~178.

Liu Jianzhong. Geological characteristics of the Yanshang (Shuiyindong) gold deposit, Zhenfeng, Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2001, 18(3): 174~178 (in Chinese with English abstract).

- [3] 刘建中. 贵州灰家堡金矿田 Au/Ag 比值特征及找矿意义[J]. 贵州地质, 1999, 16(2): 97~102.

Liu Jianzhong. The characteristics of Au/Ag ratios of the Huijiabao gold field in Guizhou Province and its significance for exploration [J]. Guizhou Geology, 1999, 16(2): 97~102 (in Chinese with English abstract).

- [4] 张兴春, 夏勇, 刘建中, 等. 贵州烂泥沟和水银洞金矿床金的赋存状态研究及其意义[A]. 第一届贵州地质矿产发展战略研讨会论文集[C]. 2003, 4.

Zhang Xingchun, Xia Yong, Liu Jianzhong, et al. A study on the state of gold of the Lannigou and Shuiyindong deposits in Guizhou Province and its significance [A]. Abstracts for the First Seminar on the Development Strategy of the Guizhou Geology and Mineral Resources [C]. 2003, 4 (in Chinese with English abstract).

- [5] 刘建中, 刘川勤. 贵州省贞丰县水银洞金矿床地质特征及控矿因素研究[A]. 第一届贵州地质矿产发展战略研讨会论文集[C]. 2003, 4.

Liu Jianzhong, Liu Chuanqin. A study on the geological features and ore-controlling factors of the Shuiyindong gold deposit, Zhenfeng County, Guizhou Province [A]. Abstracts for the First Seminar on the Development Strategy of the Guizhou Geology and Mineral Resources [C]. 2003, 4 (in Chinese with English abstract).

- [6] 夏勇, 陶琰, 苏文超, 等. 贵州省贞丰县水银洞金矿床地球化学特征及成因探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(增刊): 79.

Xia Yong, Tao Yan, Su Wenchao, et al. The geochemical features and metallogenesis of the Shuiyindong gold deposit, Zhenfeng County, Guizhou Province [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23(supp.): 79 (in Chinese with English abstract).

- [7] 刘建中, 刘川勤. 贵州省贞丰县水银洞金矿床的几个特点[J]. 贵州地质, 2004, 21(4): 273~274.

Liu Jianzhong, Liu Chuanqin. Some features of the Shuiyindong gold deposit, Zhenfeng County, Guizhou Province [J]. Guizhou Geology, 2004, 21(4): 273~274 (in Chinese with English abstract).

- [8] 张兴春, 苏文超, 夏勇, 等. 卡林型金矿不可见金与超压流体 (Overpressured fluid) 关系探讨——以贵州贞丰水银洞金矿为例[J]. 贵州地质, 2004, 21(4): 274~275.

Zhang Xingchun, Su Wenchao, Xia Yong, et al. A discussion on the relationship between invisible gold and the overpressured fluid of the Carlin-type gold deposits - a case study of the Shuiyindong gold deposit [J]. Guizhou Geology, 2004, 21(4): 274~275 (in Chinese with English abstract).

Metallogenic conditions and model of the superlarge Shuiyindong stratabound gold deposit in Zhenfeng County, Guizhou Province

LIU Jian-zhong^{1,2}, DENG Yi-ming¹, LIU Chuan-qin^{1,2}, ZHANG Xing-chun³, XIA Yong³

(1. Ziji Holding Company Ltd., Zhenfeng 562200, Guizhou, China;

2. Geological Party 105, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550018, Guizhou, China;

3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China)

Abstract: The Shuiyindong gold deposit was found in the middle 1990s and has now become a superlarge stratabound gold deposit through nearly ten years of exploration. The orebodies occur in the stratified or stratoid shape in high-porosity bioclastic limestone of the Upper Permian Longtan Formation within 300 m near the axis of the Huijiabao Anticline. The shape of the orebodies is similar with that of the anticline. They are strictly controlled by carbonate rocks, and both their hanging wall and footwall consist of claystone or silty claystone, with clear-cut boundaries. The gold mineralization is represented by the association of silicification, dolomitization and pyritization. Silicification and dolomitization are metallogenic preconditions. The possibility of carbonate mineralization and gold grade of ores depend on the hydrothermal alteration of pyrite and its alteration intensity. The deposit is characterized by the large number of orebodies, small thickness and high grade, and a single orebody may reach a medium-sized deposit scale. This deposit has the features of medium- and low-temperature, ultrahigh-pressure hydrothermal mineralization. Gold is hosted by arsenic-bearing pyrite zones growing along the cores of idiomorphic pyrite.

Key words: Stratabound; gold deposit; geological characteristics of ore deposit; metallogenic model; Shuiyindong; Zhenfeng County; Guizhou

About the first author: LIU Jian-zhong, male, born in 1966, senior engineer, engages in mineral exploration; E-mail: liujianzhong868@sina.com.