

贵州水银洞金矿床黄铁矿标型特征

张立中, 曹新志

(中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074)

摘要: 通过光学显微镜、SEM、ICP-MS等方法对水银洞金矿床黄铁矿的形貌学、地球化学等标型进行研究,发现黄铁矿具有草莓状、粗粒、细粒、生物碎屑状、胶状等5种类型,且热液型的细粒、生物碎屑状、胶状黄铁矿具有较好的含金性;黄铁矿成矿时矿物成分具有不均匀性,成矿环境动荡变化,导致热液型黄铁矿发育有多层性质各异的环带,进一步证实了黄铁矿具有“三层式”特征;各类型黄铁矿的微量元素具有一定差异。在结合前人研究工作的基础上,通过对黄铁矿的Co/Ni, S/Se和Au/Ag等成分标型数据进行分析,认为成矿热液与深源流体有关。

关键词: 水银洞金矿;黄铁矿;标型;贵州省

中图分类号: P578.25;P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2010)02-0101-06

0 引言

黄铁矿是卡林型金矿床最重要的矿石矿物。水银洞金矿是黔西南地区一个典型的卡林型金矿,自1995年被发现以来,已经有大批的专家学者对黄铁矿的标型特征进行了研究^[1-3]。付绍洪^[1]发现黄铁矿有草莓状、细粒自形、粗粒自形和交代生物碎屑4种类型,并发现交代生物碎屑和细粒自形黄铁矿的含金性最好,而草莓状黄铁矿和粗粒自形黄铁矿仅含微量金;刘建中^[3]根据扫描电镜观察和硫同位素分析结果,认为矿石中的黄铁矿通常由沉积成因黄铁矿内核、热液含砷黄铁矿环带和后期生长表层构成;陈景河^[2]补充研究了矿石中存在的另一类型黄铁矿——胶状黄铁矿,发现其也具有较好的含金性;后续的补充研究发现金主要与含砷黄铁矿有关^[2,4];张弘弢^[5]将含砷黄铁矿分为细粒生物碎屑状、细粒、环带状、细脉状4种类型进行研究,发现含砷黄铁矿含金性好,部分可见自然金。关于水银洞金矿的成因,目前主要有4种观点:①与区内燕山期幔源岩浆活动有关的深源热液成因^[6-9];②喷流沉积成因^[10];③热卤水成因,表现为成矿物质与成矿流体的多来源特点^[11];④由峨眉山地幔柱提供热源和矿

质的地下水热液成因^[12]。这些成因认识主要是从同位素地球化学和稀土元素地球化学特征的研究得出的。

前人虽然在黄铁矿的标型、含金黄铁矿的类型及地球化学特征、矿床成因上做了大量的研究,但仍存在较大的争议,对黄铁矿的基本类型也没有一个较为全面的认识。本文在前人研究成果的基础上,结合对黄铁矿的类型、形貌、含金性、地球化学特征的综合研究,进一步确定黄铁矿的标型,并对矿床成因进行探讨。

1 矿区地质概况

1.1 地层与构造

水银洞卡林型金矿床位于黔西南贞丰县城西北约20 km处,大地构造位置处于华南褶皱系右江褶皱带西延部分与扬子准地台西南缘交接部位的灰家堡背斜东段。

该区出露地层主要为上古生界和中生界,其中以下二叠统茅口组、上二叠统龙潭组和大隆组、下三叠统夜郎组比较发育。岩性以灰岩、黏土岩为主。矿区构造主要分为EW向、NS向和NE向3组,水银洞金矿产于EW向的灰家堡背斜中(图1)。

收稿日期: 2009-09-06

作者简介: 张立中(1985-),男,福建龙岩人,硕士研究生,中国地质大学(武汉)资源学院,矿产普查勘探专业。通信地址:中国地质大学(武汉)资源学院资源系;邮政编码:430074;E-mail: zhang031417@163.com

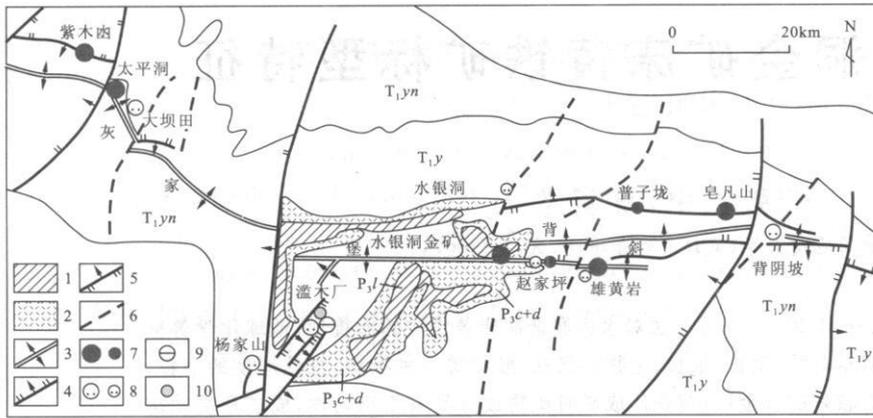


图1 灰家堡矿田地质图(据文献[9])

Fig.1 The geological map of Hujiabao ore field

T_{1yn} . 永宁镇组 T_{1y} . 夜郎组 P_{3c+d} . 大隆组+ 长兴组 P_{3l} . 龙潭组

1. 龙潭组矿体 2. 大隆、长兴组矿体 3. 背斜 4. 正断层 5. 逆断层
6. 性质不明断层 7. 金矿床/点 8. 汞矿床/点 9. 铅矿床 10. 锌矿点

1.2 矿化特征

水银洞金矿的矿石类型主要为碳酸盐岩型、断层角砾岩型和硅化角砾状黏土岩型。其容矿岩石主要为碳酸盐岩型硅化、白云石化生物碎屑灰岩和硅化、白云石化生物碎屑砂屑灰岩。

矿区内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、辰砂化等。其中硅化、白云石化、黄铁矿化与金矿关系极为密切,“三化”组合是成矿的必备条件^[13]。

2 黄铁矿的形貌学标型

首先使用 Nikon E400 显微镜对磨制的光片、光薄片进行详细的岩相学观察。对薄片或光薄片不同成因的黄铁矿进行扫描电镜(SEM)分析,所用仪器为 Quanta 200 环境扫描电镜,同时该仪器装有 EDAX GENESIS 能散分光计,可将形貌与成分结合起来进行针对性研究。SEM 分析条件为加速电压 20 kV,束斑 5 μm ,工作距离约 11 mm。黄铁矿样品电子探针分析运用仪器为 JEOL JXA 8800R,采用的分析条件:束斑直径 1~5 mm,加速电压 15 kV,电流 15 nA 分析,标样采用国际标样: Co(Co); CuFeS₂(Fe, Cu); PbS(Pb); ZnO(Zn)。

微量元素分析采用激光剥蚀电感耦合等离子体

质谱(LA-ICP-MS)。LA-ICP-MS 分析仪器采用 Elan 6100DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas 200M 型激光剥蚀系统,激光器为 193 nm ArF 准分子激光器,激光剥蚀斑束直径为 24 μm ,激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm 。元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 作为外标,Fe 作为内标元素进行校正,反复测试国际标准物质 BCR-2g 和 BHVO-2g 来分析元素测量准确度。样品元素的背景、信号区间取值、时间漂移校正以及定量计算运用 ICPMSDataCal 进行处理,详细

的分析方法及其流程见 Yongsheng Liu 等(2008)^[14]。上述分析测试工作均由中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。

2.1 黄铁矿的类型

通过手标本、显微镜、扫描电镜的观察,黄铁矿归纳为 5 种类型。

(1) 草莓状黄铁矿。由于后期热液的改造,大部分已重结晶。改造较弱的黄铁矿以单体形式(单个莓球)零星分布于矿石之中(图 2A),改造强的以集合体(莓球密集共生)形式产出(图 2B)。单体粒径一般只有几个微米,甚至更小。集合体可达到十几个微米。未被改造的颗粒切面多为正六边形。

(2) 粗粒黄铁矿。他形-自形,部分被后期热液改造后边界变得模糊。以粗粒自形黄铁矿为主,主要以浸染状构造分布在矿化层中(图 2C)。矿物粒径通常 > 30 μm ,最大可 > 100 μm 。有呈单个矿物形式散布于矿石之中,也有以团块状集合体的形式出现(图 2C),在局部范围内团块状黄铁矿可高度富集。粗粒黄铁矿的分布范围和含量均高于其他类型黄铁矿。

(3) 细粒黄铁矿。他形-自形,以自形为主。切面形状主要有五边形、四边形。粒径 < 30 μm ,通常仅为数微米,部分甚至 < 1 μm (图 2D),部分以集合体形式出现。以稀疏浸染状构造分布于矿石之中。细粒黄铁矿主要出现在取自矿化程度高的矿体样品中。

(4) 胶状黄铁矿。胶黄色,胶状结构(图 2E)。形态较不统一,有球状、皮壳状等外形,部分具有环形收缩

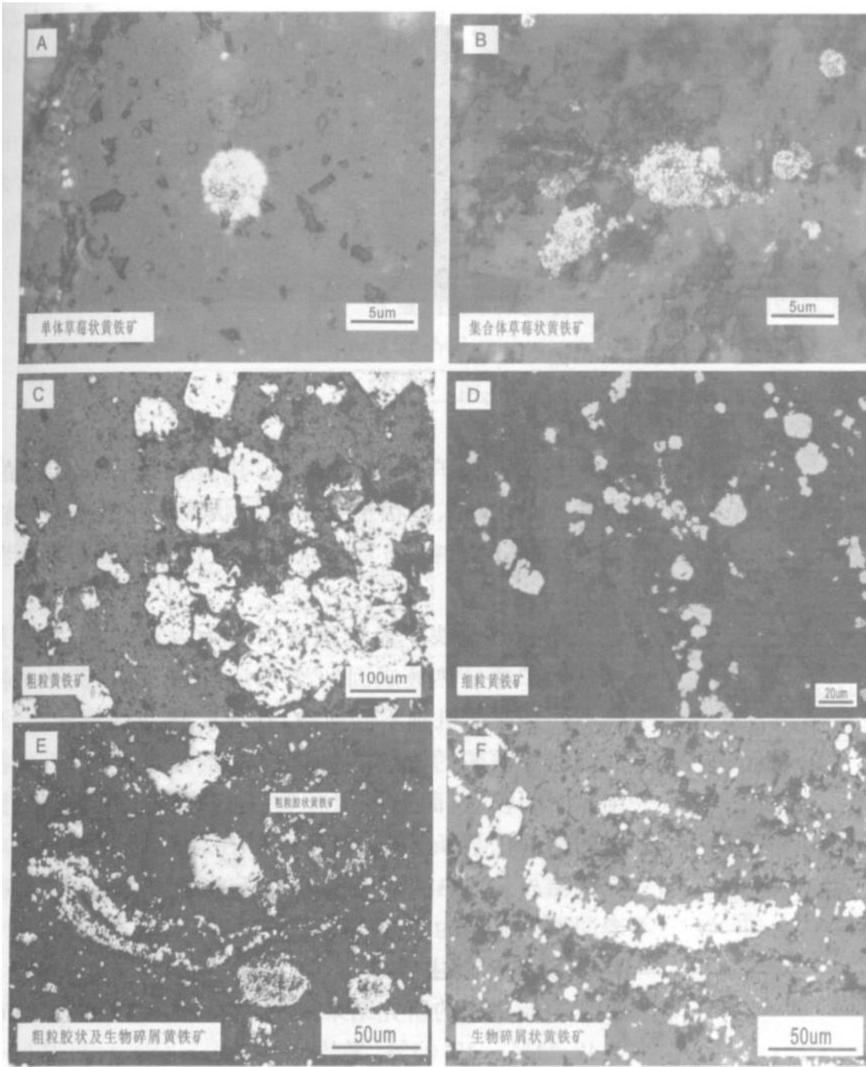


图 2 各类型黄铁矿形态特征

Fig. 2 The morphological characteristics of different types pyrite

和龟裂纹等特征。粒径范围较广, 十几微米至 $100 \mu\text{m}$ 不等, 多在 $40\sim 60 \mu\text{m}$ 之间, 分布较广。有圆形生长环带或加大边。部分在自形或草莓状黄铁矿边部形成胶状外壳。

(5) 生物碎屑状黄铁矿。这类黄铁矿总体呈弯曲形态(图 2E, F), 显示生物体遗迹特征, 系沉积阶段被埋葬的生物体在后期成岩演化过程中被黄铁矿交代而成。生物碎屑状黄铁矿长 $50\sim 200 \mu\text{m}$, 内部由大量自形-他形黄铁矿微粒组成。生物碎屑状黄铁矿在矿体中分布局限, 仅见于少量层位之中。

3.2 黄铁矿的形貌和结构特征

扫描电镜 10 000 倍放大倍数下观察未发现自然金颗粒, 黄铁矿以内核为中心发育特征的环境带, 环带多为 2 个, 部分黄铁矿甚至出现多个环带(图 3)。能谱分析

显示各环带 Fe, S, As 含量不一致(十字丝为能谱分析位置), 但每个测试样品由内核到外环, 元素含量变化规律是一致的。如图 2A 中, 该黄铁矿具有 4 个特征环带, 能谱分析结果(表 1)表明该黄铁矿由里及外, $w(\text{S})$ 的变化从 $54.66\% \rightarrow 50.50\% \rightarrow 49.73\% \rightarrow 52.46\% \rightarrow 52.1\%$, $w(\text{As})$ 为 $2.16\% \rightarrow 7.45\% \rightarrow 8.27\% \rightarrow 5.62\% \rightarrow 5.17\%$, $w(\text{Fe})$ 基本上变化不大, 核部的 $w(\text{S})$ 最高 (54.66%), $w(\text{As})$ 最低 (2.16%)。B, C 两个样品的能谱分析结果显示其各元素的质量分数变化趋势与 A 样品具有相似性。尤其的 $w(\text{As})$ 变化最为明显, 均为内低、中高、外较低。

表 1 数据中显示, S, As 两元素之间存在此升彼降的关系。同一环带中, S 的升高伴随着 As 的降低。环带中 As 的质量分数呈现先升后降的规律, 其中以中间带(图 3A 的 P2 点和 P3 点; 图 3B 的 P2 点; 图 3C 的 P2 点)的 $w(\text{As})$ 最高。刘建中等^[15, 16]研究表明, 含金黄铁矿具“三层式”: 黄铁矿内核(沉积成因) - 砷黄铁矿环带(热液成因) - 黄铁矿生长表层(热液成因), 并通过进一步研究

发现含砷黄铁矿环带中 $w(\text{Au}) = 600 \times 10^{-6} \sim 1800 \times 10^{-6}$, Au 主要赋存于热液成因的砷黄铁矿环带中。此次实验中, As 的质量分数也在一定程度上显示黄铁矿具有“三层”模式: 内核, 中间层(图 3A 的 P2 点和 P3 点所在环带, 图 3B、图 3C 中的 P2 点所在环带), 生长层(图 3A 中最后两个带, 图 3B、图 3C 中的外带)。内核 $w(\text{As})$ 最低, 且 $w(\text{S})$ 除了内核的高于理论值 53.45% , 其他的都低于理论值, 这在一定程度上指示了内核为沉积成因。

各个环带化学成分的差异也说明成矿时矿物成分具有不均匀性, 反映了成矿流体演化过程中成分存在一定的动荡变化, 指示了成矿是在动荡环境下进行的。

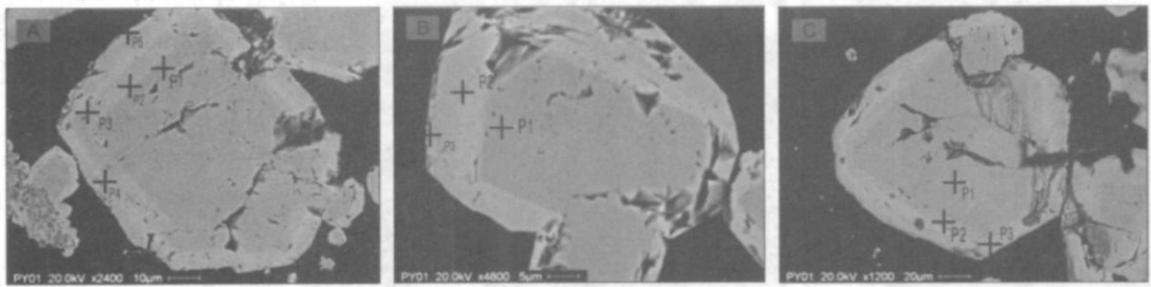


图3 黄铁矿环带图

Fig. 3 Diagram showing zoning of Pyrite

表1 黄铁矿扫描电镜能谱分析结果(K 区间值%)

Table 1 The analytic results of scanning electron microscopy energy spectrum of the pyrite

样号	元素	P1	P2	P3	P4	P5
A	S	54.66	50.5	49.73	52.46	52.15
	Fe	43.18	42.05	42	41.92	42.67
	As	2.16	7.45	8.27	5.62	5.17
B	S	54.49	48.41	52.01	—	—
	Fe	43.66	42.32	43.37	—	—
	As	1.84	9.28	4.67	—	—
C	S	55.11	50.63	52.07	—	—
	Fe	44.89	42.73	43.67	—	—
	As	0	6.64	4.26	—	—

4 黄铁矿的地球化学特征标型

4.1 各类型黄铁矿的含金性

付绍洪^[1]将水银洞金矿床黄铁矿分为草莓状、生物碎屑状、细粒、粗粒自形等4种类型进行电子探针分析。分析数据显示,含金性最好的为生物碎屑状黄铁矿, $w(\text{Au})$ 平均 0.42%; 细粒黄铁矿次之, 平均 0.28%; 粗粒黄铁矿较差, 平均 0.06%; 以草莓状黄铁矿含金最低, 3个样品中有2个样品 $w(\text{Au})$ 低于检出限为0, 仅其中1个样品 $w(\text{Au}) = 0.05\%$ 。陈景河等^[2]单独对胶状黄铁矿进行研究, 发现胶状黄铁矿也具较好的含金性。笔者在所观察的样品中挑选了4种类型的黄铁矿样品进行含金性验证测试。实验在中国地质大学(武汉)国家重点实验室激光剥蚀-电感耦合等离子体质谱仪上进行, 共测试了14个黄铁矿样品。由于草莓状黄铁矿多数已被后期热液改造, 此次未进行测试。

结果显示(表2), 粗粒自形黄铁矿 $w(\text{Au})$ 平均峰值 43.9×10^{-6} , 明显小于其他类型黄铁矿。其中以细粒黄铁矿含金最高, 所测4个样中有2个 $w(\text{Au})$ 峰值超过 500×10^{-6} , 平均峰值也达到 442×10^{-6} 。粗粒胶状和生

物碎屑状黄铁矿 $> 300 \times 10^{-6}$ 。由此看出, 5种类型的黄铁矿中, 细粒、胶状及生物碎屑状黄铁矿的含金性较好, 对金品位影响大; 草莓状与粗粒自形黄铁矿含金性较差。

草莓状黄铁矿为沉积成因已为大家共识, 其他类型黄铁矿都是热液成因^[17]。热液型粗、细粒黄铁矿粒径不同是成矿机制不同所致: 在成矿热液的演化上, 形成细粒黄铁矿的流体的物理化学条件变化较快, 矿物结晶时间较短; 而形成粗粒黄铁矿的流体具有相对稳定的物理化学条件, 使得黄铁矿在相对较长的时间内充分结晶^[1]。热液型黄铁矿较高的含金性在一定程度上表明了该矿床为热液成因。

4.2 黄铁矿的主成分

付绍洪^[1]的研究结果显示, 本矿区黄铁矿的 $w(\text{Fe}) = 42.74\% \sim 48.05\%$, 平均 45.47%; $w(\text{S}) = 48.49\% \sim 53.19\%$, 平均 51.68%, 均低于理论值 53.45%。Fe 元素除极个别外, 普遍低于其理想值 46.55%。Fe 和 S 元素的质量分数变化范围较大, 变幅均为 5% 左右。数据展示了该区黄铁矿存在 S 元素亏损现象, 说明在黄铁矿形成过程中有较多杂质元素混入黄铁矿晶体中。不同类型黄铁矿的 $w(\text{Fe})$ 值显示, 含金低的草莓状黄铁矿与粗粒自形黄铁矿的 $w(\text{Fe})$ 值与理论值相差不多, 部分甚至稍高过理论值, 这为 S 亏损所致。而含金较好的其他类型黄铁矿的 $w(\text{Fe})$ 值均小于理论值, 差值最小 0.16%, 最大达 3.81%。 $w(\text{Fe})$ 的降低是 Au 等金属元素进入黄铁矿所致。能谱分析结果(表1)和微量元素相对含量(表2)也在一定程度上证实了这一结论。

4.3 黄铁矿的成分标型

黄铁矿中具有指示矿床成因和成矿作用标型意义的因子主要有 Co/Ni , S/Se 和 Au/Ag 比值等。笔者对表2数据及付绍洪^[1]的数据进行了处理, 得到了各类型黄铁矿中的 Co/Ni , S/Se 和 Au/Ag 比值数据(表3)。 Co/Ni 最大为 1; S/Se 最大为

13 194, 最小为 2 016; Au/Ag 最大为 8.4(149), 最小为 1.5(7)。

S/Se 的意义为: 热液成因的黄铁矿 $S/Se = 0.9 \times 10^4 \sim 2.67 \times 10^{4[18]}$, 其中一般岩浆热液矿床中黄铁矿 $S/Se < 1.5 \times 10^{4[19]}$; 沉积成因的黄铁矿 $S/Se > 2.0 \times 10^5$ 。表 3 中 S/Se 值最大为 $1.3194 \times 10^4 (< 1.5 \times$

$10^4)$ 。

金矿床中黄铁矿 Au/Ag 的意义体现在: 岩浆热液型金矿床中黄铁矿含金量较高, $Au/Ag \geq 0.5$, 构造破碎带蚀变岩型、沉积变质热液交代型及各类伴生金矿床中黄铁矿的 $Au/Ag < 0.5^{[19]}$ 。表 3 中, Au/Ag 值最小也为 1.5(> 0.5)。

表 2 水银洞金矿床黄铁矿微量元素激光剥蚀 ICP-MS 分析结果

Table 2 Laser ablation ICP-MS analysis of trace elements in Pyrite from Shuiyindong gold deposit

样品名称	样品号	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sb	Au	Tl	Pb
细粒黄铁矿	SYD35	229292	9.6	146	777	12.0	40196	13.5	3.35	95.8	582	16	45
	SYD36	256882	9.8	252	499	2.67	33263	23.5	1.29	50.1	320	6.3	22
	SYD40	221175	39	320	442	19.9	27125	21.1	3.04	103	331	15	48
	SYD29	216212	25	202	1030	3.50	50246	12.0	5.06	174	534	27	56
交代生物碎屑黄铁矿	SYD35	219687	4.5	105	670	160	50478	42.0	2.11	66.7	408	10	28
	SYD35	234194	28	279	238	6.13	16003	11.4	4.04	108	175	19	45
	SYD40	214234	5.8	81.1	571	23.6	36619	106	2.03	58.0	442	10	38
粗粒胶状黄铁矿	SYD40	219829	7.9	186	792	4.64	41583	27.1	1.83	98.9	463	11	30
	SYD29	241446	22	311	508	7.81	27602	18.0	2.30	96.0	310	14	37
	SYD35	226099	23	148	891	2.30	52116	16.1	3.12	128	475	17.6	38
粗粒黄铁矿	SYD33	244726	46	223	311	25.1	13191	109	6.66	161	153	33.6	71
	SYD35	252366	2.5	77	109	7.67	6610	150	1.34	57.2	65.3	6.42	16
	SYD33	263660	1.8	53	62.8	1.42	3369	176	0.620	28.4	32.0	3.18	13
	SYD34	215848	63	827	356	14.8	10989	36.5	15.8	285	34.4	72.0	134
细粒黄铁矿平均值		230890	21	230	687	9.52	37708	17.5	3.19	106	442	16.1	43
生物碎屑黄铁矿平均值		221986	12	163	568	48.6	36171	46.6	2.50	82.9	372	12.5	35
粗粒胶状黄铁矿平均值		237424	30	227	570	11.7	30970	47.7	4.03	128	313	21.7	49
粗粒黄铁矿平均值		243958	22	319	176	7.96	6989	121	5.92	124	43.9	27.2	54

量的单位: $w_B/10^{-6}$

表 3 各类型黄铁矿 Co/Ni, S/Se, Au/Ag 均值表

Table 3 The average of Co/Ni, S/Se, Au/Ag in various pyrites

比值	细粒黄铁矿	生物碎屑黄铁矿	粗粒胶状黄铁矿	粗粒自形黄铁矿
S/Se	- / 13194	- / 4764	- / 4977	- / 2016
Au/Ag	3.5 / 139	8.4 / 149	- / 145	1.5 / 7
Co/Ni	0.09 / 1	0.07 / 0.85	0.1 / -	0.14 / 0.67

注:“-”左边的比值据文献^[1], 右边的比值据表 2 处理得出,“-”表示无值。

沉积矿床、地下水热液矿床及内生热液矿床(尤其是中、低温热液矿床)中的黄铁矿的 Co/Ni 比值一般 $< 1^{[20]}$; 变质热液成因黄铁矿的地球化学背景和物理化学条件更接近于沉积成因黄铁矿, 其 Co/Ni 一般也 $< 1^{[19]}$ 。表 3 中, Co/Ni 除了 1 个比值等于 1 外, 其他均 < 1 。

水银洞金矿区内未见岩浆岩, 也没有与岩浆有关的热液矿床所具有的矿化特征。测试的黄铁矿样品均为热液成因(具有沉积型黄铁矿内核), 该地区也无明显变质作用发生。前人通过对区域上的岩浆分布情况, 矿床的铅、氢、氧、硫同位素及稀土元素等

研究表明, 黔西南金矿床的岩浆活动时代与成矿时代具有一致性, 成矿与深源流体有关^[8, 9, 12, 21, 22]。刘显凡^[6]对黔西南金矿常量元素的地球化学特征进行分析后也认为, 成矿热液与上地幔分异的熔融流体有关, 是该流体经地壳后演变而成。矿区内包裹体研究也显示成矿流体是与岩浆作用有关的深源成因^[23]。这种深源流体从深处上升过程中分异成液相流体, 并萃取地壳中的一些成矿物质, 最终以中低温含矿热液进入地层成矿。由于深源流体运移较远, 流体的迁移距地表越来越近, 也有可能融入一些地层建造水或大气水。

综合前人的研究成果和具体的矿床地质特征,并结合此次黄铁矿成分标型的分析,水银洞金矿的成矿热液主要与深源流体有关。

5 结论

(1) 水银洞金矿床黄铁矿有草莓状黄铁矿、粗粒黄铁矿、细粒黄铁矿、生物碎屑黄铁矿、胶状黄铁矿 5 种类型,其中细粒黄铁矿、生物碎屑状黄铁矿及胶状黄铁矿具有较好的含金性,草莓状及粗粒黄铁矿含微量金。

(2) 矿物形貌学特征反映该矿区黄铁矿具有“三层式”结构特征:黄铁矿内部具有多层环带结构,环带成分的差异反映成矿期矿物成分具有不均匀性,成矿流体演化过程中成分存在不稳定性,表征成矿时的成矿环境具有一定的动荡性。

(3) 成矿热液主要与深源流体有关。

致谢:野外工作得到了水银洞金矿付芝康、陈发恩工程师的大力支持,中国地质大学(武汉)陆建培老师、博士生邓晓东、毕诗剑在实验测试和研究过程中给予了很大的帮助,特别是李建威教授对论文的悉心指导,在此一并致以衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 付绍洪,顾雪祥,王乾,等. 黔西南水银洞金矿床载金黄铁矿标型特征[J]. 矿物学报, 2004, 24(1): 75-80.
- [2] 陈景河,葛广福,王军荣. 试论贵州水银洞金矿床中胶状黄铁矿的含金性[J]. 矿床地质, 2007, 26(6): 643-650.
- [3] 刘建中,邓一明,刘川勤,等. 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[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 169-177.
- [4] 刘建中,夏勇,邓一明,等. 贵州水银洞大型金矿床金的赋存状态再研究[J]. 贵州地质, 2007, 24(2): 165-169.
- [5] 张弘弢,苏文超,田建吉,等. 贵州水银洞卡林型金矿床金的赋存状态初步研究[J]. 矿物学报, 2008, 28(1): 18-25.
- [6] 刘显凡,朱赖民,金景福,等. 微细浸染型金矿常量元素地球化学特征与深部物质来源示踪——以滇黔桂三角区金矿为例[J]. 贵金属地质, 1998, 7(1): 51-58.
- [7] 李红阳,高振敏,杨竹森,等. 我国西南地区卡林型金矿成矿模式讨论[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 360-361.
- [8] 肖龙,叶乃清,张明华,等. 滇黔桂“金三角区”岩浆活动与金矿成矿的关系[J]. 桂林工学院学报, 1996, 16(3): 264-272.
- [9] 朱赖民,金景福,何明友,等. 黔西南微细浸染型金矿床成因讨论——矿床时空分布及同位素证据[J]. 火山地质与矿产, 1997, 18(2): 117-126.
- [10] 刘家军,刘建明,顾雪祥,等. 黔西南微细浸染型金矿床的喷流沉积成因[J]. 科学通报, 1997, 42(19): 2126-2127.
- [11] 刘平,李沛刚,李克庆,等. 黔西南金矿成矿地质作用浅析[J]. 贵州地质, 2006, 23(2): 83-91.
- [12] 聂爱国,秦德先,管代云,等. 峨眉山玄武岩浆喷发对贵州西部区域成矿贡献研究[J]. 地质与勘探, 2007, 43(2): 50-54.
- [13] 刘建中. 贵州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): 30-24.
- [14] Yongsheng Liu, Zhaochu Hu, Shan Gao, *et al.* In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34-43.
- [15] 苏文超,张弘,夏斌,等. 贵州水银洞卡林型金矿床首次发现大量次显微-显微可见自然金颗粒[J]. 矿物学报, 2006, 26(3): 257-260.
- [16] 刘建中,邓一明,邱林,等. 中国第一个 I 类型卡林型金矿——水银洞金矿地质[J]. 矿床地质, 2006, 25(增刊): 175-178.
- [17] 刘建中,刘川晴. 贵州水银洞中段地质勘探报告[R]. 2004.
- [18] 曹新志,高秋斌,徐伯俊,等. 矿区深部矿体定位预测的有效途径和方法研究——以山东招远界河金矿为例[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2005.
- [19] 李红兵,曾凡治. 金矿中的黄铁矿标型特征[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(3): 199-203.
- [20] 刘平. 试论黄铁矿化学成分的标型意义[J]. 湖南地质, 1987, 6(1): 38-47.
- [21] 胡瑞忠,苏文超,毕献武,等. 滇黔桂三角区微细浸染型金矿床成矿热液一种可能的演化途径:年代学证据[J]. 矿物学报, 1995, 15(2): 144-150.
- [22] 朱赖民,金景福,何明友,等. 初论黔西南微细浸染型金矿床深源流体成矿[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16(3): 173-177.
- [23] 刘建中,邓一明,刘川勤,等. 水银洞金矿包裹体和同位素地球化学研究[J]. 贵州地质, 2006, 23(1): 51-56.
- [24] 刘克云. 黔西南微细浸染型金矿的找矿标志[J]. 贵州地质, 1991, 8(2): 174-179.
- [25] 张复新,肖丽,齐亚林. 卡林型-类卡林型金矿床勘察研究回顾及展望[J]. 中国地质, 2004, 33(4): 406-412.
- [26] 刘建中,刘川晴. 贵州水银洞金矿床成因探讨及成矿模式[J]. 贵州地质, 2005, 22(1): 9-14.
- [27] 谭仕敏,施国栋,雷良奇,等. 中国卡林型金矿的分布规律及找矿前景[J]. 地质调查与研究, 2007, 30(4): 289-295.
- [28] David W P, Spry P G. Invisible gold and tellurium in arsenic-rich pyrite from the Emperor gold deposit, Fiji: Implications for gold distribution and deposition[J]. Economic Geology, 2003, 98(3): 479-493.
- [29] Reich M, Kesler S, Utsunomiya S, *et al.* Solubility of gold in arsenian pyrite. Geochimica et cosmochimica acta, 2005, 69(11): 2781-2796.

- 特征[J]. 甘肃冶金, 2008, 28 (2): 29-32.
- [22] 肖启明. 中国锑矿地质及矿床实例: 湖南锡矿山锑矿床[R]. 北京: 北京矿产地质研究所, 1996: 64-89.
- [23] 叶造军. 贵州大厂锑矿流体包裹体与稳定同位素[J]. 地质地球化学, 1996, 5: 18-20.
- [24] 蔡华君, 张宝贵, 李院生. 滇黔桂三角地区锑矿床流体包裹体研究[J]. 矿物学报, 1997, 17(4): 427-434.
- [25] Cressey G.. Skarn formation between metachak and agglomerate in the central Ring Complex, Isle of Arran, Scotland [J]. Mineral Mag. J., 1987, 51(2): 231-246.
- [26] 凌其聪, 刘丛强. 层控夕卡岩及有关矿床形成过程的稀土元素行为——以安徽冬瓜山矿床为例[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 192-200.
- [27] 周德忠, 杨国桢, 毛健全. 贵州晴隆大厂火山沉积-构造改造锑矿床地质特征及成因分析[J]. 贵州工业学院学报, 1980, (1): 1-18.

THE REE CHARACTERISTICS AND GENETIC STUDY OF QINGLONG ANTIMONY DEPOSIT, GUIZHOU

ZHU Jun-bin^{1,2}, FANG Wei-xuan^{1,2}, LIU Jia-jun¹, HU Yu-zhao^{2,3}

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing Resources Exploration Technical Center of China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China; 3. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: An investigation on the REE geochemistry of the ore-bearing strata and surrounding rock of Qinglong antimony deposit show that the Σ REE changes greatly while REE patterns is stable, characterized by the obviously negative Ce anomaly, positive Eu anomaly and flat REE distribution pattern. Comparison with the basalt's REE distribution patterns illustrate that there is significant difference between them. Microscopic characteristics of the surrounding rocks, ore structure and field observations indicate that the ore materials had been transferred through NE fault, such as Huayujing and Leibodong faults, and then deposited in "Dachang Layer" as a result of the change of the redox and P, T conditions.

Key Words: "Dachang Layer"; basin liquid; REE; antimony deposit of Qinglong; Guizhou province

(上接第 106 页)

TYPOMORPHIC CHARACTERISTICS OF PYRITE FROM SHUIYINDONG GOLD DEPOSIT IN GUIZHOU PROVINCE

ZHANG Li-zhong, CAO Xin-zhi

(China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Researches of optical microscopy, SEM ICP-MS on morphology, geochemistry and other typomorphic characteristics of various pyrites show 5 types of pyrite in Shuiyindong gold deposit, i. e. strawberry pyrite, coarse grain pyrite, fine grain pyrite, bio-detrital pyrite and colloidal pyrite. The fine grained hydrothermal, bio-detrital and colloidal types are better in their auriferous property. In the ore-forming process ore materials were varied and environment unrest leading to multi-rings of the hydrothermal pyrite, i. e. 3 zones of pyrite. The pyrites are varied with trace element. Combined the preexisting results of researches with analysis of the typomorphic Co/Ni, S/Se and Au/Ag ratio the hydrothermal ore fluid is considered to be related to deep source fluid.

Key Words: Shuiyindong gold deposit; pyrite; typomorphic characteristic; Guizhou province