

湘东北黄金洞金矿床成因: 硫、铅同位素和流体包裹体新证据

夏浩东¹, 息朝庄^{2,3*}, 邓会娟¹, 肖晓⁴, 吴圣刚³

(1. 国土资源实物地质资料中心; 2. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局核资源地质调查院;

3. 湖南黄金洞矿业有限责任公司; 4. 中南大学地球科学与信息物理学院)

摘要: 黄金洞金矿床位于湘东北, 赋存于中元古界冷家溪群浅变质碎屑岩中, 并具有资源储量大、金品位高、伴生元素丰富等典型特征。在前人研究的基础上, 对黄金洞金矿床的硫、铅同位素、流体包裹体特征和成矿时代展开了系统研究。研究结果表明: 成矿物质具有地层和深部岩浆的混合来源特征; 成矿流体属中低温、中低盐度的 $K^+ - Na^+ - Ca^{2+} - Mg^{2+} - F^- - Cl^- - SO_4^{2-}$ 体系, 来源于深部岩浆和大气降水的混合; 矿床成矿具有 2 个主成矿期, 分别为加里东期和燕山期。

关键词: 同位素; 流体包裹体; 矿床成因; 黄金洞金矿床; 湘东北

中图分类号: TD11 P618.51 P597

文章编号: 1001-1277(2017)10-0019-06

文献标志码: A

doi: 10.11792/hj20171004

黄金洞金矿位于湖南省平江县, 该矿既是湖南省有名的百年老矿, 也是近年来危机矿山找矿获得重大突破的黄金矿山。黄金洞金矿床以资源储量大、金品位高、伴生元素丰富、开采历史悠久为特点, 前人曾对成矿地质背景、矿床地质、矿物学和矿床成因等方面进行过较为系统的研究^[1-6], 但对于黄金洞金矿床的成矿物质来源、成矿流体来源、成矿时代和矿床成因等仍存在争议。在矿山开发早期, 研究多集中在矿区浅部; 随着企业生产经营不断加强, 矿山已经开采到了一定深度, 归纳总结各个主矿体的富集规律, 研究矿床成因具有重要的意义。本文在总结前人研究成果的基础上, 通过对成矿流体包裹体均一温度和成分的研究, 结合硫、铅同位素组成, 研究矿床成矿物质来源、成矿流体特征, 为矿山勘查找矿工作提供依据。

1 区域地质概况

黄金洞金矿床位于湘东北地区, 该区是湖南省重要的产金基地之一, 其大地构造位置属于扬子板块东南缘江南古陆中段(见图 1)。该矿床主要产于中元古界冷家溪群——一套浅变质碎屑岩中, 区域构造为长平断裂、泥湾断裂和坑上断裂, 金矿床类型多以石英脉型和蚀变岩型为主。断裂构造及韧性剪切带为主要控矿因素, 黄金洞金矿床矿体主要位于泥湾断裂和坑上断裂之间, 在泥湾断裂以西未发现具有开采价值的矿体。

2 矿床地质概况

矿区出露地层主要为中元古界冷家溪群第四组第一段、第二段砂质板岩夹绢云母板岩, 白垩系红色砂砾岩仅在西北角发育。矿区构造主要为近 EW 向褶皱和 NWW-EW 向、NE 向断裂。其中, NWW-EW 向断裂为区内主要控矿构造。矿区内岩浆岩不发育。

矿区内金矿脉主要产于 EW-NWW 向断裂破碎带中, 在空间上成群平行展布, 由石英细脉和蚀变破碎板岩组成; 产状与含矿破碎带一致, 走向 EW-NWW, 多数倾向 N, 倾角 $40^\circ \sim 75^\circ$, 少数倾向 S, 倾角 $60^\circ \sim 75^\circ$ 。矿脉地表最大延长 2 645 m, 一般长十几米到 300~400 m, 沿倾向最大延深大于 600 m(V1)。矿体呈脉状、透镜状及不规则状, 产状与断裂带一致, 金平均品位 $4 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ 。围岩蚀变限于破碎带两侧, 与围岩呈渐变过渡关系, 向围岩方向逐渐减弱。蚀变类型有硅化、毒砂化、黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化。其中, 碳酸盐化和绿泥石化主要限于破碎带内, 硅化、绢云母化和毒砂-黄铁矿化范围相对较广, 与金矿化关系密切。

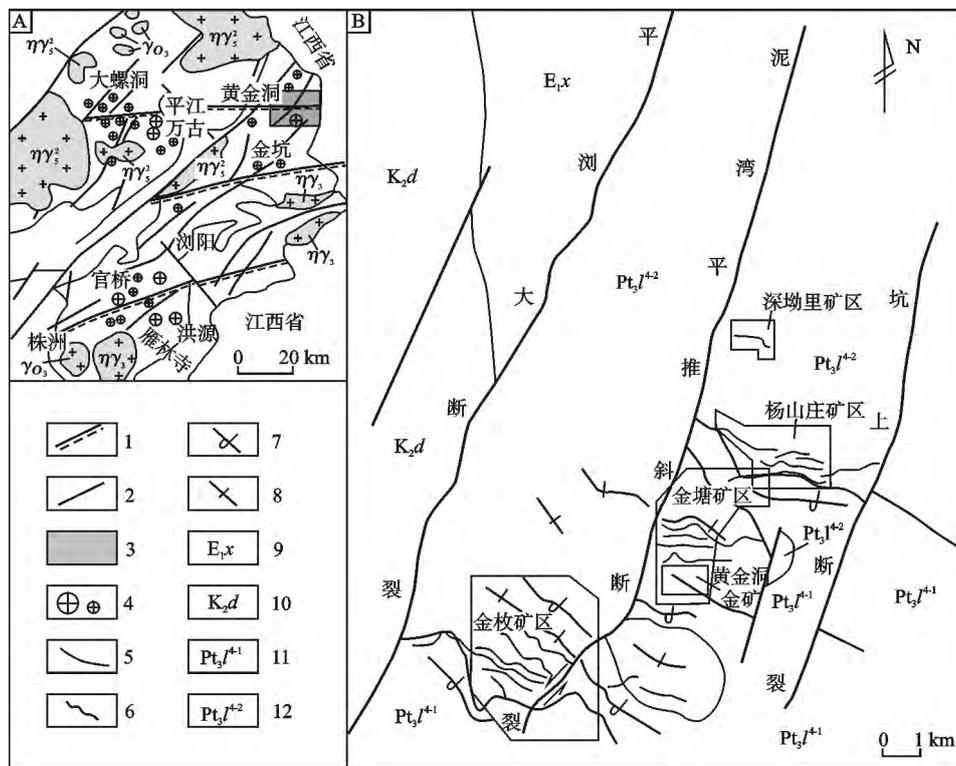
黄金洞金矿区主要包括 3 个矿区: 金枚矿区、金塘矿区和杨山庄矿区, 矿脉分为 V1、V201、V202、V3、V301、V401 和 V501, 以前主要开采 V1, 目前主矿脉为 V1、V3、V202。主要矿脉特征如下:

收稿日期: 2017-05-11; 修回日期: 2017-06-23

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160051)

作者简介: 夏浩东(1968—), 男, 江苏泰兴人, 教授级高级工程师, 主要从事矿产勘查及实物地质资料管理工作; 河北省三河市燕郊燕灵路 245 号, 国土资源实物地质资料中心, 065201; E-mail: xiahaodong68@163.com

* 通信作者, E-mail: xczsummmmm@126.com, 18984313392



1—韧性推覆剪切带 2—断裂 3—花岗岩 4—金矿床 5—地层界线 6—矿脉 7—倒转向斜 8—倒转背斜
9—第三系古新统新余组 10—白垩系上统戴家坪组 11—冷家溪群第四岩性段第一岩组 12—冷家溪群第四岩性段第二岩组
 $\gamma\delta_3$ —加里东期花岗岩 $\gamma\delta_3$ —加里东期斜长花岗岩 $\eta\gamma_5^2$ —燕山早期二长花岗岩 $\eta\gamma_5$ —加里东期二长花岗岩

图1 黄金洞金矿床大地构造位置图(A)及矿区地质略图(B)^[3]

V1 矿脉呈脉状、透镜体状,沿构造充填,总长为 1 100 m。该矿脉由含金石英脉、含金硅化蚀变破碎板岩及含金硅化构造角砾岩组成,以前二者为主;金品位以含金石英脉最高。石英脉呈脉状或透镜状沿构造面分布,脉宽一般 2~10 cm,最厚可达 1.20 m。矿体沿走向厚度、品位变化较稳定。V1 矿脉单工程金品位为 $1.04 \times 10^{-6} \sim 11.71 \times 10^{-6}$,平均品位 3.84×10^{-6} ,品位变化系数 58.63%;矿脉厚度 0.54~2.15 m,平均厚度 1.23 m,厚度变化系数 40.25%。

V3 矿脉呈脉状、似层状、透镜状,沿构造充填,总长为 1 200 m。工程控制标高 -130~-510 m。经过深部工程控制,矿脉具有向东侧伏的规律,侧伏角 45°。由含金蚀变破碎板岩及含金石英脉组成,以含金蚀变破碎板岩为主。石英脉呈网脉状、细脉状或透镜状穿插于破碎板岩中,脉宽一般 1~6 cm。矿脉沿走向厚度、品位较稳定。V3 矿脉单工程金品位 $1.00 \times 10^{-6} \sim 5.14 \times 10^{-6}$,平均品位 3.53×10^{-6} ,品位变化系数 47.22%;矿脉厚度 0.63~15.14 m,平均厚度 4.14 m,厚度变化系数 52.38%。

V202 矿脉沿走向长 2 220 m,已控制斜深 900 m 以上。矿脉产状、形态受断层破碎带控制,倾向 300°~56°,倾角 66°~80°,平均 72°。V202 矿脉呈脉状产

出,沿走向、倾向具不明显的舒缓波状变化。由于控矿断裂具多期活动,矿脉破碎程度较高,成分较复杂,一般情况下,矿脉顶部呈黄白色或灰白色,中部或底部呈深灰色—黑灰色,这种黑灰色与极破碎的特征是区别于其他矿脉的显著标志。矿化受主断裂控制,其厚度不超过主断裂顶、底 2 个构造面,在破碎带两侧蚀变板岩取样化验,一般不含金。矿脉由含金破碎板岩及少量含金石英脉组成。脉厚 0.24~3.47 m,平均 1.01 m。工业矿体集中在矿脉中段,东西两端仅有零星矿化。全脉共 6 个工业矿体,品位 $5.53 \times 10^{-6} \sim 5.81 \times 10^{-6}$,品位变化系数 36.32%;厚度 1.89~12.67 m,厚度变化系数 36.07%。

矿石类型以含金石英脉型为主,局部地段为含金蚀变破碎板岩型。矿石结构主要有粒状变晶结构、交代残余结构、碎裂结构、角砾结构、花岗变晶结构和显微鳞片变晶结构等;矿石构造主要有块状构造、星点浸染状构造、角砾状构造和板状或条带状构造,部分具网脉状构造、晶洞构造等。其中,条带状构造、板状构造是蚀变板岩型矿石所常有的构造。矿石中金属矿物有黄铁矿、毒砂、自然金、黄铜矿、磁黄铁矿、辉锑矿、白钨矿、方铅矿和闪锌矿等;脉石矿物有石英、绢云母、方解石、白云石、绿泥石。

3 硫、铅同位素组成

测试样品采自金塘矿区 V3 脉 0 m 中段, 硫同位素测试矿物为毒砂和黄铁矿, 铅同位素测试矿物为黄铁矿, 测试单位为中南大学地质研究所测试实验室, 测试方法见文献 [7]。

3.1 硫同位素

黄金洞金矿床硫同位素(10 件)测定结果与前人研究成果见表 1。从表 1 可以看出: 黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围 $-3.7\text{‰} \sim -0.5\text{‰}$, 平均 -2.2‰ , 极差 3.2‰ ; 毒砂 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围 $-3.3\text{‰} \sim -2.1\text{‰}$, 平均 -2.8‰ , 极差 1.2‰ 。前人研究黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围 $-12.92\text{‰} \sim -4.2\text{‰}$, 毒砂 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围 $-7.3\text{‰} \sim -3.4\text{‰}$ [1, 3, 5]; 与之相比, 本次研究样品的硫同位素含量略高。富轻硫, 数据较为集中, 说明同种矿物均一化程度高。

表 1 黄金洞金矿床硫同位素组成

采样位置	测试矿物	样品数	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$		资料来源
			范围	平均值	
冷家溪群	黄铁矿	1	-10.4		文献[1]
	矿脉 毒砂	3	-7.3 ~ -6.7	-6.97	
V1 矿脉	毒砂	3	-6.4 ~ -5.6	-6.06	文献[4]
V1 矿脉	黄铁矿	3	-8.3 ~ -5.6	-7.22	
矿体	黄铁矿	3	-12.0 ~ -5.6	-8.16	文献[4]
	黄铁矿	8	-12.2 ~ -4.4	-7.80	
	毒砂	3	-6.1 ~ -3.4	-4.45	
金矿围岩蚀变	黄铁矿	3	-8.5 ~ -4.2	-6.83	文献[5]
含金石英脉	黄铁矿	6	-12.92 ~ -5.93	-9.48	
含金石英脉	毒砂	4	-6.70 ~ -4.83	-5.76	本文
V3 矿脉	黄铁矿	1	-3.7		
	黄铁矿	1	-2.8		
	黄铁矿	1	-1.6	-2.2	
	黄铁矿	1	-2.2		
	黄铁矿	1	-0.5		
V3 矿脉	毒砂	1	-3.1		
	毒砂	1	-2.9		
	毒砂	1	-2.6	-2.8	
	毒砂	1	-3.3		
	毒砂	1	-2.1		

通常情况下, 热液矿床有 4 种硫同位素的来源: 一是 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围 $0\text{‰} \sim 5\text{‰}$, 硫源自于地幔和深部地壳; 二是 $\delta^{34}\text{S} > 15\text{‰}$, 硫源自于海水硫酸盐; 三是 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较大, 而且显示硫同位素非平衡效应, 这种情况为生物成因的硫; 四是 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围介于第一种和第二种硫值之间, 即 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围 $5\text{‰} \sim 15\text{‰}$, 为混合硫源 [8]。通过总结前人成果和本次研究认为, 本区硫源具有第一种和第三种 2 种

可能, 具有地壳深部岩浆和生物成因。

3.2 铅同位素

黄金洞金矿床矿石铅同位素测试结果与前人研究结果见表 2。从表 2 可看出: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $17.049 \sim 18.137$, 极差为 1.088 ; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.263 \sim 15.586$, 极差为 0.323 ; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $37.597 \sim 38.453$, 极差为 0.856 。在 Zartman 和 Doe 的铅构造模式演化曲线上 (见图 2) [9-10], 数据点主要分布在下地壳铅和造山带铅之间, 应为壳幔混合来源。

表 2 黄金洞金矿床铅同位素组成

采样位置	测试矿物	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
围岩	黄铁矿	38.365	15.712	17.970	文献[1]
围岩	黄铁矿	38.069	15.584	17.848	
矿脉	黄铁矿	38.178	15.589	17.897	
矿脉	黄铁矿	38.934	15.564	17.845	
矿石	黄铁矿	38.223	15.556	17.963	文献[4]
矿石	黄铁矿	37.763	15.556	17.860	
矿石	黄铁矿	38.262	15.539	17.943	
矿石	黄铁矿	38.020	15.529	17.846	
矿石	黄铁矿	38.088	15.509	17.830	
矿石	黄铁矿	37.702	15.508	17.706	
矿脉	黄铁矿	38.418	15.526	17.853	本文
矿脉	黄铁矿	38.003	15.441	17.496	
矿脉	黄铁矿	38.145	15.468	17.579	
矿脉	黄铁矿	38.416	15.517	17.725	
矿脉	黄铁矿	38.453	15.557	17.674	
矿脉	黄铁矿	38.155	15.431	17.448	
矿脉	黄铁矿	37.669	15.586	17.194	
矿脉	黄铁矿	37.597	15.396	17.049	
矿脉	黄铁矿	38.127	15.275	18.014	
矿脉	黄铁矿	38.019	15.263	18.137	

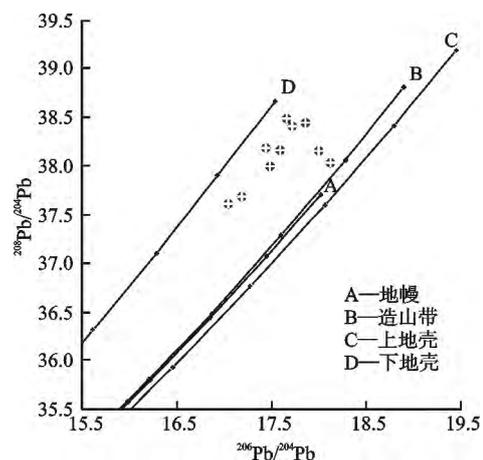


图 2 黄金洞金矿床铅同位素构造环境模式图

4 流体包裹体特征

样品采自于金塘矿区 V3 矿脉, 测试单矿物为石英。流体包裹体测温由中南大学地质研究所流体包裹体测温实验室完成, 测试方法见文献 [11]。

4.1 岩相学特征

通过显微镜观察, 黄金洞金矿床石英流体包裹体主要为气液二相包裹体(见图 3)。包裹体多为富液包裹体, 数量较多, 粒径大小不一, 气液比多为 10% ~ 20%, 无色, 形状多为椭圆形、圆形、半自形等。

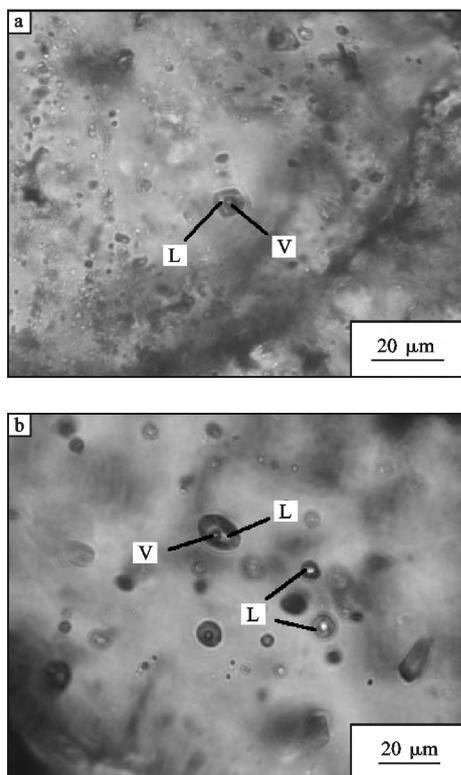


图 3 流体包裹体显微照片

4.2 均一温度和盐度

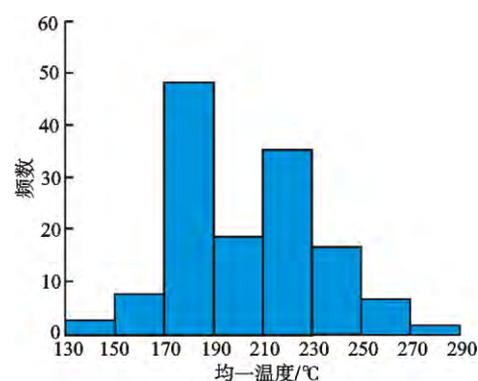
对 10 个石英样品中的 137 个流体包裹体进行均一法测温, 测温结果见表 3, 均一温度和盐度直方图见图 4。结果表明, 石英流体包裹体均一温度范围为 132 °C ~ 274 °C, 主要集中在 170 °C ~ 250 °C; 盐度 $w(\text{NaCl})$ 范围为 0.18% ~ 16.34%, 主要集中在 4.1% ~ 10.1%。因此, 成矿流体具有中低温、中低盐度的特征。

4.3 气液相成分

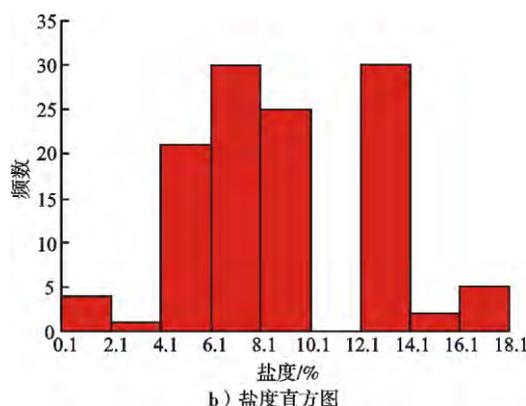
黄金洞金矿床石英流体包裹体气液相成分数据引自于文献 [4]。该矿床石英流体包裹体气相成分主要为 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 和 H_2 。其中, H_2O 含量最高, 其次为 CO_2 。气相成分中含有 CO_2 、 CH_4 和 H_2 等挥发分, 表明成矿环境为还原环境 [12]。另外, H_2O 占据绝对优势, 说明成矿流体为热水溶液。 $w(\text{H}_2 + \text{CH}_4) /$

表 3 黄金洞金矿床流体包裹体显微测温结果

样品编号	测试数	大小/ μm	气液比/ %	均一温度/°C		盐度 $w(\text{NaCl})$ / %	
				范围	平均	范围	平均
H-0-1	14	2~10	10~35	148~274	191	0.18~11.96	6.34
H-0-2	16	3~15	10~20	132~252	202	1.57~8.14	5.64
H-0-3	13	2~15	10~30	152~267	208	8.81~13.83	11.17
H-0-4	14	8~15	10	185~240	216	6.26~13.40	10.90
H-0-5	14	6~15	10~20	177~244	205	4.34~14.15	9.16
H-0-6	15	3~10	10~30	178~214	194	7.71~13.51	10.00
H-0-7	13	5~10	10~15	187~240	209	5.86~16.34	11.69
H-0-8	13	5~15	10~20	173~219	195	7.02~13.72	10.21
H-0-9	14	5~15	10~20	177~258	206	5.26~9.86	7.77
H-0-10	11	5~15	10~20	170~224	191	9.73~12.38	10.37



a) 均一温度直方图



b) 盐度直方图

4 黄金洞金矿床石英流体包裹体均一温度和盐度直方图
 $w(\text{CO}_2)$ 范围为 0.010 ~ 0.090。液相成分较为复杂, 其中阴离子成分主要为 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} , 阳离子成分主要为 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 。

5 矿床成因

5.1 成矿时代

黄金洞金矿床成矿时代统计结果见表 4。罗献林 [1] 运用黄铁矿铅同位素来计算铅年龄值, 并结合围岩-蚀变围岩-矿脉的黄铁矿 Co/Ni 比值, 认为黄金洞金矿床成矿经历雪峰运动和加里东运动, 但主成矿期为加里东早期; 刘荫椿 [2] 通过黄铁矿铅同位素

模拟成矿时代同样为加里东早期;叶传庆等^[4]通过研究矿石铅同位素模拟年龄为前寒武纪之后,震旦期—加里东期,时间跨度较大。韩凤彬等^[6]和董国军等^[5]通过 Rb - Sr 同位素法对石英和石英包裹体测定成矿年龄,获得的年龄值却大相径庭,测试结果分别为 (462 ± 18) Ma ($MSWD = 1.6$) 和 (152 ± 13) Ma ($MSWD = 1.3$),成矿时代分别为加里东期和燕山期(晚侏罗世)。综上所述,黄金洞金矿床可能经历了雪峰期、加里东早期、加里东期、燕山期,而主成矿期可能为 2 个时期,分别为加里东期和燕山期。

表 4 黄金洞金矿床成矿时代统计结果

测试方法	测试矿物	样品数	测试结果/Ma	大地构造分期	资料来源
Pb	黄铁矿	4	551.62 ~ 514.86	加里东早期	文献[1]
Pb	黄铁矿	6	524.6 ~ 518.2	加里东早期	文献[2]
Pb	矿石	6	645.2 ~ 447.2	震旦期—加里东期	文献[4]
Rb - Sr	石英	6	462 ± 18	加里东期	文献[6]
Rb - Sr	石英	6	152 ± 13	燕山期	文献[5]

5.2 成矿物质来源

有关黄金洞金矿床成矿物质来源的观点主要有:一是成矿物质来源于围岩地层,即冷家溪群^[1-2,4,13];二是成矿物质来源于地壳深部^[5];三是成矿物质来源于冷家溪群和深部岩浆^[14]。与区域冷家溪群地层中黄铁矿相比(见图 5),本次矿石中黄铁矿相对富集重硫。黄金洞金矿床在成矿过程中硫源可能存在 2 种:一是来源于冷家溪群地层,这可能是主要来源;二是来自地壳深部或深部岩浆,二者混合来源造成矿石中黄铁矿和毒砂的 $\delta^{34}\text{S}$ 略重于围岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 。此外,黄金洞金矿床在硫、铅同位素组成上与湘西沃溪矿床及板溪群地层相似^[1],可能暗示该矿床成矿物质不仅来源于地层,而且与岩浆热液可能存在某种成因关系。所以黄金洞金矿床的成矿物质来源既来自于围岩地层,也与地壳深处的岩浆有关。

5.3 成矿流体特征

成矿流体的 F^-/Cl^- 比值和 K^+/Na^+ 比值可作为判断流体来源的一个标志^[15]。通常情况下,岩浆热液中 $w(\text{K}^+)/w(\text{Na}^+) < 1$ 。经过统计,本矿床石英中 $w(\text{K}^+)/w(\text{Na}^+)$ 范围为 0.190 ~ 0.450, 小于 1, 故具有岩浆热液特征。另外 $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-) < 1$ 时反映属于大气降水^[11], 通过统计,本矿床石英 $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-)$ 范围为 0.128 ~ 0.685, 均小于 1, 显示具有大气降水的加入。因此,黄金洞金矿床成矿热液具有多来源特征。

黄金洞金矿床成矿流体具有 $\text{K}^+ - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{F}^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 体系特征。 $w(\text{K}^+)/w(\text{Na}^+)$ 为 0.190 ~ 0.450, $w(\text{Ca}^{2+})/w(\text{Mg}^{2+})$ 为 4.293 ~

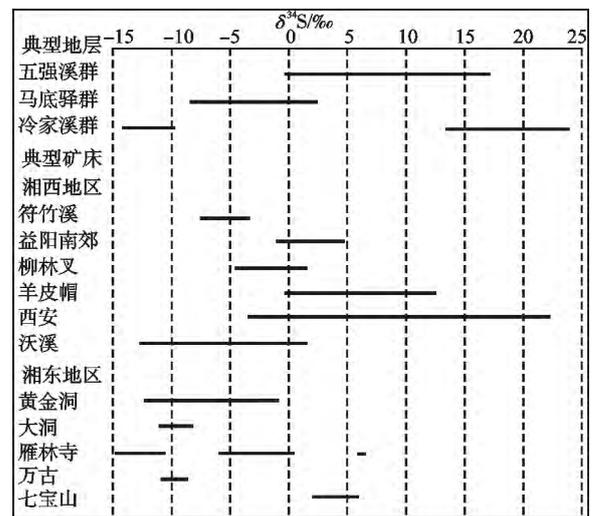


图 5 湖南省典型金矿床硫同位素组成(据文献[1,5,16])

54.176 $\mu(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/w(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 为 0.081 ~ 1.132, 阳离子中质量分数 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, Ca^{2+} 最高; $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-)$ 为 0.128 ~ 0.685, $w(\text{SO}_4^{2-})/w(\text{Cl}^-)$ 为 0.338 ~ 0.702, 阴离子中 Cl^- 质量分数最高,故成矿热卤水应为富钙钠的盐酸型热卤水^[17]。

6 结论

1) 黄金洞金矿床黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $-3.7\text{‰} \sim -0.5\text{‰}$; 毒砂 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $-3.3\text{‰} \sim -2.1\text{‰}$ 。具有富轻硫、数据集中的特点。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.049 ~ 18.137; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.263 ~ 15.586; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.597 ~ 38.453。表明成矿物质来源中硫、铅具有地层和深部岩浆的混合来源特征。

2) 黄金洞金矿床石英流体包裹体主要为气液二相包裹体,多为富液相包裹体;石英流体包裹体均一温度主要集中于 $170\text{℃} \sim 250\text{℃}$; 盐度主要集中于 4.1% ~ 10.1%。成矿流体具有中低温、中低盐度的特征。

3) 黄金洞金矿床经历了雪峰期、加里东早期、加里东期、燕山期,而主成矿期为加里东期和燕山期。黄金洞金矿床成矿流体具有 $\text{K}^+ - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{F}^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 体系特征,成矿流体为深部岩浆与大气降水的混合流体。

[参考文献]

- [1] 罗献林. 论湖南黄金洞金矿床的成因及成矿模式[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1988, 8(8): 226 - 240.
- [2] 刘荫椿. 黄金洞金矿床地球化学特征[J]. 地质与勘探, 1989, 25(11): 43 - 48.
- [3] 刘亮明, 彭省临, 吴延之. 湘东北地区脉型金矿床成矿构造特征及构造成矿机制[J]. 大地构造与成矿学, 1997, 3(21): 197 - 204.
- [4] 叶传庆, 戴文剑, 刘荫椿, 等. 试论黄金洞金矿床成因及找矿意义[J]. 黄金地质科技, 1998(2): 24 - 36.

- [5] 董国军,许德如,王力,等.湘东地区金矿床矿化年龄的测定及含矿流体来源的示踪——兼论矿床成因类型[J].大地构造与成矿学,2008,32(4):482-491.
- [6] 韩凤彬,常亮,蔡明海,等.湘东北地区金矿成矿时代研究[J].矿床地质,2010,29(3):563-571.
- [7] 要梅娟,刘家军,翟德高等.大兴安岭南段多金属成矿带硫、铅同位素组成及其地质意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(2):362-373.
- [8] OHMOTO H. Systematics of Sulfur and Carbon Isotopes in Hydrothermal Ore Deposits [J]. *Econ Geol*, 1972, 67(5): 551-578.
- [9] DOE B R, ZARTMAN R E. Plumbotectonics the Phanerozoic [C]// BARNES H L. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. New York: Wiley Interscience, 1979: 22-70.
- [10] ZARTMAN R E, HAINES S M. The plumbotectonic model for Pb isotope systematics among major terrestrial reservoirs: A case for bi-directional transport [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, 52: 1327-1339.
- [11] 杨柳,邵海洋,陈松岭,等.山东省埃子王家一原瞳矿区成矿流体特征及流体来源[J].地质与勘探,2012,48(2):217-226.
- [12] 杨金中,沈远超,刘铁兵,等.山东蓬家乔金矿床成矿流体地球化学特征[J].矿床地质,2000,19(3):235-244.
- [13] 黄强太,夏斌,蔡周荣,等.湖南省黄金洞金矿田构造与成矿规律探讨[J].黄金,2010,31(2):9-13.
- [14] 毛景文,李红艳,徐钰,等.湖南万古地区金矿地质与成因[M].北京:原子能出版社,1997.
- [15] RAN C Y. On ore source and ore-forming fluid of Dongchuan - Yimen type copper deposit [J]. *Sciences in China (Series B)*, 1989, 32(9): 1117-1124.
- [16] 柳德容,吴延之,刘石年.平江万古金矿床地球化学研究[J].湖南地质,1994,13(2):83-90.
- [17] ULRICH T, GUNTHER D, HEINRICH C A. Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits [J]. *Nature*, 1999, 399(6737): 676-679.

Genesis of Huangjindong Gold Deposit: New evidence for sulfur lead isotopes and fluid inclusions

Xia Haodong¹, Xi Chaozhuang^{2,3}, Deng Huijuan¹, Xiao Xiao⁴, Wu Shenggang³

(1. Geological Information Centre Ministry of Land and Resource;

2. Geological Survey Institute for Nuclear Resources, Guizhou Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals and Nuclear Industry; 3. Hunan Huangjindong Mining Industry Co. Ltd.;

4. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University)

Abstract: Located in the northeast of Hunan Province, Huangjindong Gold Deposit occurs in the epimetamorphic clastic rocks of mesoproterozoic Lengjiaxi Group and is characterized by large reserve, high gold grade and various associated elements. Based on precedent research, the paper systematically studied the characteristics of sulfur, lead isotopes and fluid inclusions and the metallogenic age of Huangjindong Gold Deposit. The results show that the ore-forming materials have the mixed source of strata and deep magma; the ore-forming fluids belong to a medium-low temperature and medium-low salinity $K^+ - Na^+ - Ca^{2+} - Mg^{2+} - F^- - Cl^- - SO_4^{2-}$ system deriving from the mixture of deep magma and atmosphere precipitation; the deposit metallogenesis is divided into 2 main stages, namely the Caledonian and the Yanshanian.

Keywords: isotope; fluid inclusion; deposit genesis; Huangjindong Gold Deposit; northeast Hunan Province

(编辑: 宿晓静)

(上接第9页)

Study on the anti-tarnishing performance of the self-assembled monolayers formed by octadecyl mercaptan on the surface of Sterling silver alloy

Wu Zhiping¹, Yang Li¹, Zhong Fei¹, Xiang Xiongzhi²

(1. EBOHR Luxuries (Shenzhen) Co. Ltd.;

2. College of Materials Science and Engineering, Shenzhen University)

Abstract: Self-assembled monolayers can effectively prevent media from damaging matrix materials. The paper based on the results of quantified surface color change test analyzed the influence the assembling time of the SAMs, which formed by octadecyl mercaptan on the surface of Sterling silver alloy had on the anti-tarnishing performance of Sterling silver alloy and compared it with the SAMs formed by hexadecane mercaptan. The results showed that when the concentration of octadecyl mercaptan was 0.05 mol/L, the temperature was 50 °C and the assembling time was 120 min, the SAMs formed had the best anti-tarnishing performance for Sterling silver alloy; the SAMs formed by octadecyl mercaptan and hexadecane mercaptan both were effective in the anti-tarnishing for Sterling silver alloy surface but the latter was relatively poor.

Keywords: octadecyl mercaptan; Sterling silver alloy; self-assembled monolayer; anti-tarnishing performance; hexadecane mercaptan

(编辑: 柳华丽)