

浙江治岭头金-银矿床成矿条件的研究

梁子豪 朱清涛 韩梦合

(浙江省地质科学研究所)

夏安宁 王雁宾 俞文娟 张银珍*

(浙江省地质矿产局实验室)

浙江治岭头金-银矿床产于前奥陶纪陈蔡群变质岩中,是一个品位高 开采条件简单、选矿性能良好、经济效益较高的规模较大的金-银矿床,在江南地区具有典型意义。对于本矿床的成因问题,存在各种不同看法。为了探索该矿床的成矿条件和矿床成因,以期寻找同类矿床提供某些信息,两年多来,我们在深入矿区进行地质观察的基础上,采集了大量样品,作了一系列测试工作。本文在综合野外地质观察和各项测试成果的基础上,对成矿物质来源、成矿地质作用及成矿物理、化学条件等进行了研究,认为本矿床属变质热液叠加火山热液成因。

一、矿区地质概况

矿区位于余姚-丽水和绍兴-江山深断裂之间的陈蔡-遂昌隆起带西南段。

1. 地层及岩石

矿区有两个构造层。基底为前奥陶纪陈蔡群变质岩 (AnOch),亦是矿体的直接围岩,岩性主要为黑云斜长片麻岩、含石榴子石黑云斜长片麻岩。此外还有,极少量变粒岩和浅粒岩。片麻岩的原岩主要为泥质粉砂岩。变粒岩和浅粒岩的原岩一部分为砂岩,一部分为中-酸性脉岩。属绿帘-角闪岩相。钾-氩等时年龄为498.1和381.5百万年¹⁾,分别相当于早奥陶世末和志留纪末,表明这套地层在加里东旋回至少经受了两次较强烈的区域变质作用。

盖层为上侏罗统磨石山组火山岩 (J₃m),不整合于陈蔡群之上。变质岩、火山岩及次火山岩的金、银丰度见表1。

表1 矿区主要岩石金、银丰度值 (ppb)

含量 元素	岩类	变 质 岩 类			火 山 岩 及 次 火 山 岩 类				地壳平均值
		黑云斜长片麻岩	变粒岩	平均	霏细斑岩	闪长玢岩	凝灰岩	平均	
Au		11.63(22)	11.43(17)	11.54	3.1(5)	5(5)	7.5(5)	5.2	4.0
Ag		1900(25)	700(9)	1582.3	1000(4)	500(2)	300(3)	533.3	80.0

注: 1. 浙江省地质矿产局实验室分析。

2. 金为化学-原子吸收光谱定量分析结果。银为光谱半定量分析结果;次火山岩均穿插金-银矿体,也穿插火山岩;地壳平均值据黎彤(1976);括号内数字为样品数。

• 参加本专题研究的还有杨福田同志。

1) 南京地质矿产研究所测试。

本文1984年7月收到,9月改回,季国容编辑。

从表 1 可知, 矿区变质岩中金的内容约为地壳丰度 3 倍, 银的含量约为地壳丰度 20 倍。火山岩及次火山岩中金、银含量也都高于地壳丰度值。

2. 构造概况

根据零星露头片麻理及基底断裂性质、产状分析, 推断矿区处于区域基底构造的局部隆起和转折部位, 轴向由北东转为北西。发育于其中的北东张扭性基底断裂, 根据力学性质分析, 是加里东旋回晚期局部隆起和转折形成过程中的产物, 这是最主要的直接控矿构造, 总体走向为北东 55° — 65° , 因后期构造活动的牵引, 局部偏转为东西向, 并有分支复合现象。燕山旋回形成的北西向和近南北向断裂, 对早期矿体有明显破坏作用。火山期后热液带来的少量银和微量金, 主要沿这两组断裂充填或向旁侧扩散、渗滤而叠于早期矿体中。

3. 矿体形态及产状

矿体呈脉状, 严格受北东向张扭性基底断裂控制。总的走向为北东-南西, 局部转为近东西向。平面上呈左行斜列式展布 (图 1)。脉幅从数 10 厘米至 20 余米。控制长度大于 1,000 米, 延深大于 380 米。矿体边界靠采样分析圈定。

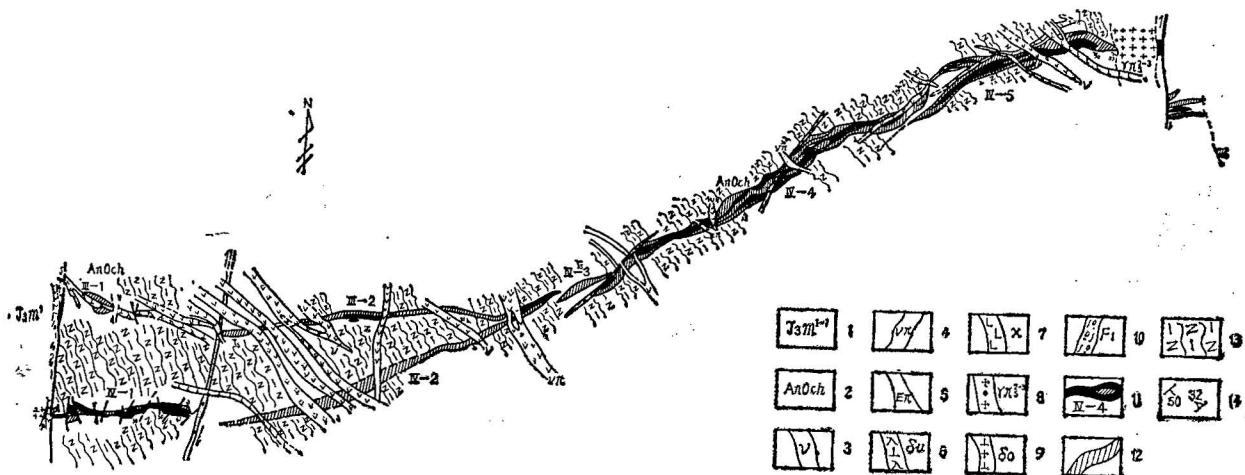


图 1 500米标高矿体平面图

(据浙江省丽水地质大队一分队)

1—上侏罗统磨石山组火山岩第一段; 2—前奥陶纪陈蔡群变质岩; 3—霏细岩; 4—霏细斑岩; 5—石英钠长斑岩; 6—闪长玢岩; 7—煌斑岩; 8—花岗斑岩; 9—石英闪长岩; 10—构造带及编号; 11—金-银工业矿体及编号; 12—金-银矿化带 ($Au > 0.2$ 克/吨); 13—黑云斜长片麻岩; 14—矿体及片麻理产状要素

4. 近矿围岩蚀变

与早期矿化有关的围岩蚀变以绢云母化 (图版-1)、硅化 (图版-2)、黄铁矿化和绿泥石化 (图版-3) 为主, 从矿体向两侧, 大致呈水平分带现象。由于后期火山热液叠加, 局部表现为黄铁绢英岩化, 但较微弱。

在蚀变交代过程中, 成矿流体与围岩之间存在着明显的物质组分交换, 使流体的物理、化学条件不断发生变化, 这对促使络合物的分解并沉淀出金、银矿物起着重要作用。

5. 矿化期、矿化阶段及矿物生成顺序

根据控矿断裂形成时代、矿石中各矿物组合的产出状态、穿切关系、包裹体及稳定同位素地球化学特征等,本矿床的成矿过程可以划分为早、晚两个成矿期和七个成矿阶段:

早期矿化作用:明显受加里东期北东向张扭性基底断裂控制,矿体仅发育于基底陈蔡群变质岩,未见穿至盖层火山岩,是本矿床金、银的主要成矿期,可划分为四个成矿阶段:(1)硅酸盐-石英阶段;(2)含金黄铁矿-石英阶段;(3)金、银-硫化物-石英阶段,是金、银的主要成矿阶段;(4)碳酸盐阶段。

晚期矿化作用:受燕山期北西向和近南北向断裂控制。主要表现为银、铅、锌的叠加作用(伴有微量金)。可划分为三个成矿阶段:(1)黄铁矿-石英阶段;(2)含银(微量金)-硫化物-石英阶段;(3)卤化物-碳酸盐阶段。矿物生成顺序见表2。

表 2 主要矿物生成顺序表

矿物名称	成 矿 期		早 期 (金、银主成矿期)				晚 期 (银、铅、锌叠加期)		
	成 矿 阶 段		硅酸盐-石英阶段	含金黄铁矿-石英阶段	金、银-硫化物-石英阶段	碳酸盐阶段	石英-黄铁矿阶段	含银-硫化物-石英阶段	黄铜矿-碳酸盐阶段
石英									
长石									
蔷薇辉石									
黄铁矿									
磁黄铁矿									
闪锌矿									
黄铜矿									
方铅矿									
金-银类矿物									
辉银矿									
碲银矿									
白铁矿									
毒砂									
菱锰矿									
方解石									
萤石									

二、某些矿物的标型特征

早、晚两期的某些特征矿物(以与金、银关系较密切的黄铁矿、闪锌矿为例),无论在物理性质和化学成分方面,均有较明显的差别,为研究成矿物质来源和矿床成因提供了重要的信息。

1. 黄铁矿

是矿石中最主要的金属硫化物,也是金、银的主要载体矿物。两期黄铁矿的差别见表3和表4。

表3和表4说明,早期矿体中的黄铁矿,由于受到后期构造应力作用,常具压碎现象。化学成分的特征是,Ag/Au值小, Ni/Co>1, 与产自陈蔡群中黄铁矿的特征相似。而晚期的粗晶及脉状黄铁矿,则无压碎现象, Ag/Au值较大, Ni/Co<1, 与产于火山岩、次火山岩者相似。这

表 3 黄铁矿矿物特征表

特征 项目	成矿期	早	晚
		期	期
晶体 粒度 碎裂 包体 构造 反射率		不规则粒状为主，次为立方体，少量呈五角十二面体 以0.15mm 为主， 有 多硫化物，有包体金 浸染状 $\lambda = 589\text{nm}$ 时， $R = 55.09\%$	立方体、八面体、五角十二面体等 以0.3mm为主，大者达3cm 未见 少硫化物，未见包体金 团块状、脉状 $\lambda = 589\text{nm}$ 时， $R = 53.89\%$

表 4 黄铁矿微量元素特征表

地质体	产出状态	样品数	平均含量 (ppm)				Ag/Au	Ni/Co
			Au	Ag	Ni	Co		
早期矿体	细粒浸染状	7	117.74	695.36	91.57	71.29	5.90	1.28
晚期矿体	粗晶团块状及脉状	10	1.67	65.76	14.90	33.30	39.38	0.45
围岩(陈蔡群)	细粒分散状	5	8.50	65.60	383.20	205.16	7.72	1.87
火山岩及次火山岩	脉状及细脉状	3	0.33	14.00	4.70	20.33	42.42	0.23

分析单位：浙江省地质矿产局实验室

些特征表明，早期矿体和围岩（陈蔡群）中的黄铁矿，具有相同的成因和硫源，而晚期黄铁矿则与火山岩中黄铁矿成因相同¹⁾。

2. 闪锌矿

不同成矿期的闪锌矿，其矿物特征、晶胞参数、化学成分等均有明显差别（表5）。

表 5 的数据，反映了两期闪锌矿是在不同的物理、化学条件下形成的。

综上所述，本矿床存在两种成因的黄铁矿和闪锌矿。

表 5 不同成矿期的闪锌矿特征表

特征 项目	化 学 成 分 (%)					晶胞参数	形成温度(℃)
	S	Fe	Zn	Cu	Pb		
早 期	34.25	17.64	46.11	1.11	0.02	5.4216	300—500
晚 期	32.75	9.02	53.62	0.22	1.04	5.4179	100—300

分析单位：浙江省地质矿产局实验室

三、矿物包裹体地球化学特征

早、晚两期的脉石矿物，都含有较多的气、液包裹体，尤其是石英，包裹体常成群出现（图版-4）。有的包裹体含较多的石盐子矿物（图版-5），表明成矿流体含盐度较高。从早阶段到晚阶段，包裹体气、液比逐渐变小，含子矿物或液相CO₂的多相包裹体也逐渐减少。反映了成矿流体在演化过程中，压力和含盐度逐渐降低。不同成矿期各阶段矿物包裹体的均一温度见表6。

1) 南京大学地质系地球化学教研室，1979，微量元素地球化学的若干问题(未刊稿)。

表 6 不同成矿阶段包裹体均一温度表

成 矿 期	成 矿 阶 段	均 一 温 度 (°C)					离 差 (σ)
		测定矿物	样 品 数	测定次数	温度范围	平 均 值	
早 期 (金、银主成矿期)	硅酸盐-石英	石 英	10	140	377—293	335	42
	含金-黄铁矿-石英	石 英	24	321	355—275	315	40
	金银-硫化物-石英	石 英	27	348	333—237	285	48
	碳酸盐	方 解 石	2	8	183—138	161	22
晚 期 (铅、锌、银叠加期)	石英-黄铁矿	石 英	5	94	396—276	336	60
	金银-硫化物-石英	石 英	24	294	328—214	271	57
	氯化物-碳酸盐	萤 石	2	30	275—163	219	56

测定单位：浙江省地质矿产局实验室

表 6 说明，本矿床成矿流体存在着两个温度演化系列：早期（金、银主成矿期）成矿流体的温度演化为 $335^{\circ}\text{C} \rightarrow 315^{\circ}\text{C} \rightarrow 285^{\circ}\text{C} \rightarrow 161^{\circ}\text{C}$ ，离差 <50 ，主要成矿温度 $300-230^{\circ}\text{C}$ ；晚期（银、铅、锌叠加期）流体的温度演化为 $336^{\circ}\text{C} \rightarrow 271^{\circ}\text{C} \rightarrow 219^{\circ}\text{C}$ ，离差 >50 。表明两期成矿流体是两种不同地质作用的产物。沿水平方向温度变化见图2。

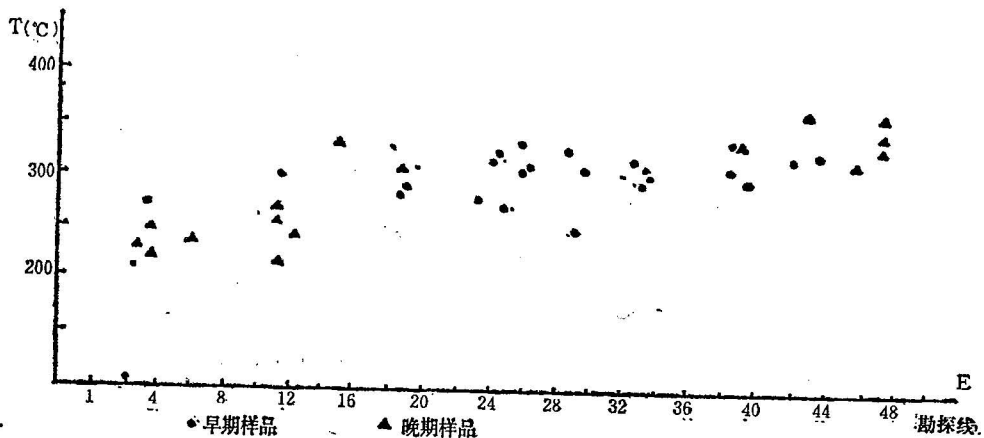


图 2 不同成矿期主要矿化阶段脉石英在500米标高水平方向均一温度变化图

图 2 清楚地表明，本矿床成矿流体存在着两种温度变化趋向：早期相对稳定，显示了变质热液特点；晚期变化幅度较大（ $>150^{\circ}\text{C}$ ），具有火山热液特征，自东向西，温度渐降，说明流动方向从东向西。也说明两期流体形成方式不同。两期流体包裹体成分见表 7。

表 7 两期石英包裹体成分表（平均值）

样品名称	Eh (V)	pH	溶 液 成 分 (ppm)										气体成分(ml/100g)			$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^-}$	样品数
			SiO ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Fe ³⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₂	CO	CH ₄		
早期脉石英	0.37	4.56	0.77	0.99	1.58	1.60	1.02	0.76	0.25	4.05	14.83	11.15	24.49	3.14	3.02	3.81	10
晚期石英	0.21	5.14	0.56	0.36	0.17	0.94	1.78	0.40	0.19	1.56	3.01	9.12	11.86	缺	微	1.93	8
黑云斜长片麻岩	0.13	5.53	0.72	1.24	1.88	3.68	1.64	0.05	0.15	0.87	6.70	10.00	50.81	4.10	2.30	7.70	1
水的中性点		6.02															

分析单位：南京大学地质系地球化学教研室

表 7 说明, 早期矿体与黑云斜长片麻岩中的石英包裹体, 含 Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_2 及 HCO_3^- 较多, 且含一定数量的 CH_4 , $\text{K}^+ > \text{Na}^+$, 这反映了由一套含有机质沉积岩, 经变质改造派生出来的流体的特点。晚期石英包裹体基本不含 CH_4 , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量偏低, $\text{Na}^+ > \text{K}^+$, 结合黄铁矿中微量元素比值考虑, 可以认为晚期流体与火山热液有关。表 7 也反映了成矿流体被包裹体捕获时呈弱酸性, 矿物的沉淀是在弱氧化条件下进行的。晚期流体中挥发组分如 CO_2 , Cl^- , F^- 等低于早期流体, 说明二者来源和形成条件不同, 并非由一个系统演化而来。

四、稳定同位素组成特征

1. 氢、氧同位素组成

早期矿体及黑云斜长片麻岩中石英的氢、氧同位素组成见表 8。

表 8 氢、氧同位素分析结果表

样品名称	样号	测定矿物	均一温度(℃)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}(\text{‰})$
含金脉石英岩	AB 8	石英	345	+3.05	-61.4
含金脉石英岩	AB18	"	290	+1.04	-58.6
含金脉石英岩	AB22	"	248	-1.75	-60.2
黑云斜长片麻岩	AB 7	"	303	+3.91	-60.4

分析单位：中国地质科学院宜昌地质矿产研究所同位素室

$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 的数值是根据测得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 数值按 R. N. 克莱顿和 J. R. 奥尼尔 (1972) 提出的公式换算结果, 即: $1000\ln\alpha = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.4$ (适用于 $200-500^\circ\text{C}$, T 为绝对温度)^[1] 或改写为 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}\text{‰} = \delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}\text{‰} - 3.38 \times 10^6 T^{-2} + 3.4$ 。

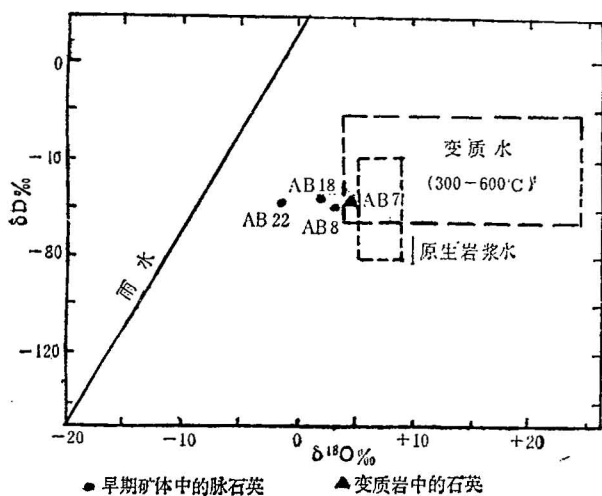


图 3 成矿流体氢、氧同位素组成特征

将表 8 的数据投在 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 坐标图上, 大致落在靠近变质水范围, 略向雨水方向偏移 (图 3)。其中陈蔡群黑云斜长片麻岩中石英的氢、氧同位素组成, 正好落在变质水范围。 δD 的变化范围较窄, 极差只有 2.8‰, 说明早期成矿流体以变质水为主, 并有大气降水的参与。

2. 硫同位素组成

矿区各类地质体中硫化物的硫同位素组成见表 9。数据表明, 本矿床存在着两种不同产出状态的硫化物和相应的两个硫同位素组成系列, 且各自大致达到硫同位素平衡: $\delta^{34}\text{S}_{\text{Py}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{Sp}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{Ga}}$ ^[1], 但两种不同产出状态的硫化物

1) Py 为黄铁矿; Sp 为闪锌矿; Ga 为方铅矿。

表 9 不同地质体硫化物硫同位素组成

地 质 体 类 型	测定矿物	样品数	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)		极差(R) (‰)	标准差 (σ)
			变 化 范 围	平均值($\bar{x}$)		
矿体内细粒浸染—星散状硫化物	Py	25	+3.01—+6.67	+5.30	3.66	0.98
	Sp	4	+1.93—+3.46	+2.65	1.53	0.82
	Ga	4	+0.33—+2.53	+1.22	2.20	1.01
	Py + Sp + Ga	33	+0.33—+6.67	+4.48	6.34	1.78
矿体内粗晶团块—脉状硫化物 (晚期叠加之硫化物)	Py	10	+3.12—+7.44	+5.97	4.32	1.17
	Sp	3	+5.36—+6.21	+5.72	0.82	0.44
	Py + Sp	13	+3.12—+7.44	+5.91	4.32	1.04
围岩 (陈蔡群变质岩)	Py	6	+2.83—+6.64	+4.71	3.81	1.48
后期黄铁矿脉	Py	5	+4.97—+6.84	+5.88	1.87	0.85
火山一次火山岩中之多金属硫化物脉	Py	4	+5.73—+6.70	+6.09	0.97	0.44
	Sp	2	+4.28—+5.58	+4.93	1.30	0.92
	Ga	3	+2.33—+3.32	+2.94	0.99	0.53
	Py + Sp + Ga	9	+2.33—+6.70	+4.87	4.37	1.54
后 期 脉 岩	Py	1	+6.36	+6.36		
全 矿 区	Py + Sp + Ga	67	+0.33—+7.44	+4.95	7.11	1.62

分析单位：南京大学地质系中心实验室

间,硫同位素是不平衡的,如晚期 $\delta^{34}\text{S}_{\text{Sp}} >$ 早期 $\delta^{34}\text{S}_{\text{Py}}$ 。早期矿体中细粒浸染—星散状黄铁矿与陈蔡群中黄铁矿的硫同位素组成相近, Ni/Co 值均大于 1, 晚期粗晶团块—脉状黄铁矿与火山一次火山岩中黄铁矿的硫同位素组成相近, 且 Ni/Co 值均小于 1。结合矿物共生组合, 含矿流体的 pH、Eh 及均一温度考虑, 可以认为, 早期硫化物的硫主要来自陈蔡群, 晚期硫化物的硫主要来自火山热液。由于成矿以后, 经历了漫长的地质年代, 受到多次地质事件的影响, 所以不能简单地用 $\delta^{34}\text{S}$ 偏离陨石值大小这一概念判断硫的来源。

五、成矿作用及矿床成因

要形成一个矿床, 必需具备两个基本条件, 即要有成矿物质来源和促使成矿组分活化、迁移、富集的地质作用。下面从这两方面进行讨论。

1. 成矿物质来源

根据前述的金、银背景含量、包裹体及稳定同位素地球化学特征、黄铁矿中镍、钴比值等资料分析, 两期成矿作用的物质来源是不同的。

早期成矿物质 (流体、硫及金、银) 来源: 主要来自陈蔡群副变质岩, 依据是: (1) 早期矿体与变质岩中石英的氢、氧同位素组成相近, 投在 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 坐标图上, 大致落在变质水范围, 略向雨水方向偏移, 表明成矿流体主要来自陈蔡群, 并有大气降水的渗入。(2) 早期矿体脉石英包裹体含 CH_4 等有机质, 且含较多的钙、镁组分, 也表明成矿流体来自陈蔡群。(3) 如前所述, 早期矿体中之浸染状黄铁矿的硫来自陈蔡群, 且与陈蔡群中之黄铁矿具有相同的成因。(4) 矿区陈蔡群金、银的丰度较高。(5) 矿区外围陈蔡群的人工重砂中发现有金、银矿物颗粒, 有的层段 (黑云斜长片麻岩) 含金达 17ppb。

晚期成矿物质来源: 主要自火山热液, 依据是: (1) 叠加于早期矿体中的团块状、脉状硫化物, 其矿物组合及矿物学特征与产于火山岩及次火山岩者近似。(2) 晚期叠加的黄铁矿与产于火山岩、次火山岩者具有相似的硫同位素组成和镍钴比值。(3) 晚期硫化物团块及铅-锌石英脉(穿切早期矿体)之石英包裹体, 基本不含 CH_4 , 贫于钙镁。(4) 产于火山岩的多金属硫化物矿石, 发现有个别金、银矿物, 表明火山热液有少量银和微量金的带入。

2. 成矿地质作用

早期成矿作用的机理: 矿区陈蔡群变质岩的原岩为一套含水较高的泥质粉砂岩, 且含金、银、铜、铅、锌等成矿元素, 其中金可能存在于这些岩石的黄铁矿中^[2]。据等时年龄资料, 陈蔡群在加里东旋回至少经受了两次较强烈的区域变质作用。早期变质作用使成矿组分在局部地段初步富集。在晚期区域变质过程中, 随着温度和压力的升高, 岩石发生脱水作用, 挤出大量气-液混合流体^[3]。由于高温流体中溶解有 HCl 、 F^- 、 HCO_3^- 等组分, 对岩石中的金属元素和其他组分有较强的淋蚀作用, 使岩石中初步富集的成矿元素与 SiO_2 等一起被溶解而进入流体中, 形成含矿流体, 沿裂隙带向相对隆起和转折部位的张扭性断裂带运移。可见, 在区域变质过程形成的高温流体的淋蚀作用, 是使成矿组分从岩石中活化出来的重要因素, 褶皱和断裂活动, 则是驱使含矿流体迁移的动力。金、银在流体中的搬运形式, 主要取决于流体的物理、化学条件、流体的组分及其演化状况。据前面有关岩石学、矿物组合、包裹体及稳定同位素地球化学特征等分析, 在温度为 400°C 的弱酸性介质中, 金、银可能与 Cl^- 结合成络合物, 一部分 K^+ , Na^+ 作为阳离子参加到络合物中, 如: $(\text{K}, \text{Na})[\text{AuCl}_4]$, $(\text{K}, \text{Na})[\text{AgCl}_2]$ 等。此时体系中的 H_2S 产生热解离, 形成 H_2 和 S_2 等中性气体分子, 不参加化学反应($\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{S}_2$), 故在高温条件下, 金、银不大可能与硫结合成络合物。流体继续运动, 温压下降, H_2S 电离为 H^+ , $(\text{HS})^-$ 及 S^{2-} :



其中一部分 S^{2-} 或 $(\text{S}_2)^{2-}$ 与 Fe^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} 等分别结合成磁黄铁矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿。由于某些组分的析出、流体与围岩的物质交换以及 S^{2-} 的还原作用, 系统内的物理、化学条件发生变化, 转变为弱碱性, 金、银的氯络合物发生解离, 析出金、银矿物(绝大部分金、银矿物如银金矿、金银矿、螺状硫银矿等充填于上述硫化物及石英的裂隙或晶隙间), 形成金、银矿物-硫化物-石英组合, 这是金、银的主要成矿阶段, 成矿温度为 $300-230^\circ\text{C}$ 。在弱碱性和中等温度条件下, S^{2-} 或 $(\text{HS})^-$ 可与金、银络合成 $(\text{AuS}_2)^-$, $(\text{Au}(\text{HS})_2)^-$, $(\text{AgS})^-$, $(\text{Ag}(\text{HS})_2)^-$ 等络合物。由于所处的部位较浅, 氧的供给增多, CO_2 的活动性加强, 同时由于大气降水和围岩有机质的加入, 流体随即又向弱酸性转变, 使金、银的硫或硫氢络合物解离, 析出金、银矿物。

区域变质和褶皱、断裂活动, 是持续时间相当长的地质作用。在成矿过程中, 断裂还在活动, 变质流体也多次上升。先形成的脉体被压碎、撕裂, 后一阶段上升的含矿流体, 沿裂隙流动沉淀。多次矿化的结果, 使某些部位矿石变富(有的样品金 >460 克/吨, 银 $>10,000$ 克/吨)。

晚期火山热液叠加的形式: 晚期火山热液叠加的方式主要有二: (1) 晚期硫化物呈不规则团块状或脉状充填于早期矿脉的裂隙或洞穴中(图版-6), 这种硫化物在矿物学、微量元素、硫同位素组成等方面与产于火山岩及次火山岩者相似。(2) 含矿热液通过早期矿脉的裂隙向旁侧渗透, 引起旁侧矿石品位升高(尤其是银更为明显)。根据晚期石英包裹体成分及矿物共生组合分析, 金、银可能与硫结合成硫或硫氢络合物, 如 $(\text{AuS}_2)^-$, $(\text{Au}(\text{HS})_2)^-$, $(\text{AgS})^-$, $(\text{Ag}(\text{HS})_2)^-$ 等。当流体运移至浅部, 由于温度和压力降低及外来物质的加入, 使络合物解离, 析出银(及微量金)。硫化物沉淀温度 $270-380^\circ\text{C}$ (爆裂温度), 银(金)的析出温度应低些。

3. 矿床成因及成矿模式

综合前面关于矿区地质背景、岩石化学、矿物共生组合、包裹体及稳定同位素地球化学、成矿物质来源和成矿机理的讨论,可以清楚地看出,早期成矿作用与加里东旋回区域变质、褶皱和断裂活动有关,属变质热液成因,成矿时代为加里东晚期,是本矿床金、银的主要成矿期;晚期属火山热液成因,成矿时代为燕山期,是银、铅、锌(伴有微量金)叠加期。成矿模式见图4。

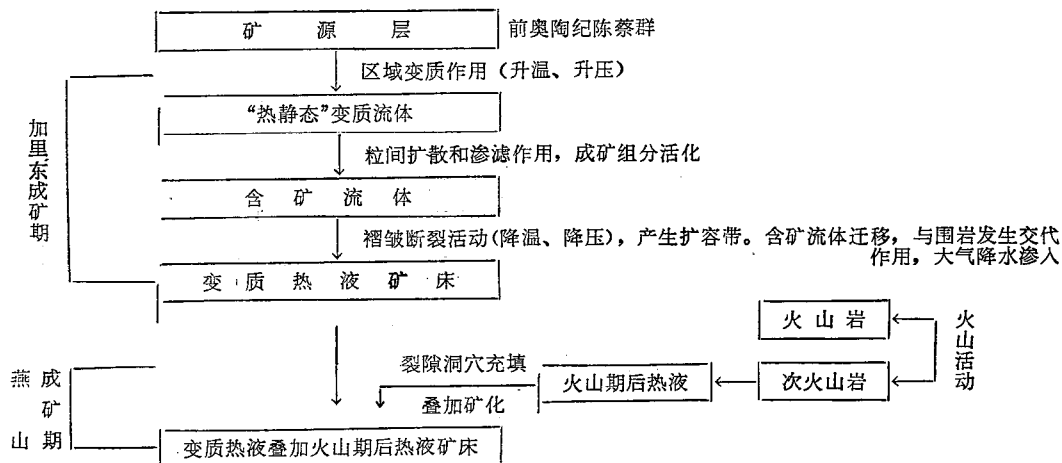


图4 成矿模式图

参 考 文 献

- 〔1〕 丁悌平, 1980, 氢氧同位素地球化学, 地质出版社。
- 〔2〕 Boyle, R. W., 1979, The geochemistry of gold and its deposits. Geological Survey of Canada, Bulletin 280.
- 〔3〕 南京大学地质系地球化学教研室, 1979, 地球化学。科学出版社。
- 〔4〕 饶纪龙, 1979, 地球化学中的热力学。科学出版社。

METALLOGENIC CONDITIONS OF THE ZHILINGTOU GOLD-SILVER DEPOSIT IN ZHEJIANG PROVINCE

Liang Zihao, Zhu Qingtao, Han Menghe,
(*Zhejiang Institute of Geological Sciences*)

Xia Anning, Wang Yanbin, Yu Wenjuan and Zhang Yinzhen
(*Laboratory of Zhejiang Bureau of Geology and Mineral Resources*)

Abstract

The Zhilington gold-silver deposit is located in the southwestern segment of the Chencai-Suichang uplift zone between the Yuyao-Lishui and Shaoxing-Jiangshan deep fractures.

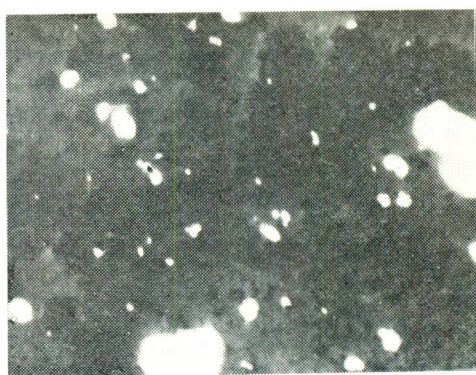
There are two structural layers in the ore district. The basement is represented by metamorphic rocks of the pre-Ordovician Chencai Group, consisting mainly of biotite-plagioclase gneiss with garnet-biotite-plagioclase gneiss. The cover is represented by volcanic rocks of the Upper Jurassic Mushishui Formation, including tuff, rhyolite and subvolcanic rocks, which overlies the basement unconformably.

The orebodies occur as veins and are strictly controlled by the NE-trending tenso-shear basement fracture. The principal ore minerals include electrum, kustelite, argentite, hessite, pyrite, galena, sphalerite, pyrrhotite and chalcopryrite. The gangue minerals comprise quartz, chlorite, rhodonite, calcite, rhodochrosite and garnet. The well-rock alteration include silicification, sericitization, pyritization and chloritization.

The formation of the deposit may be divided into two metallogenic epochs. The early mineralization occurred in the Caledonian cycle and is associated with the Caledonian regional metamorphism. This is the most important metallogenic epoch of gold and silver mineralizations. The late mineralization occurred in the Yanshan cycle, mainly manifested by overprinting of Ag, Pb and Zn mineralizations, which are related to volcanic activity. The mineralizations of the two metallogenic epochs show obvious differences in mineralogy, fluid inclusions and stable isotopic composition. The deposit was formed by overprinting of metamorphic hydrothermal fluids and volcanic hydrothermal fluids.



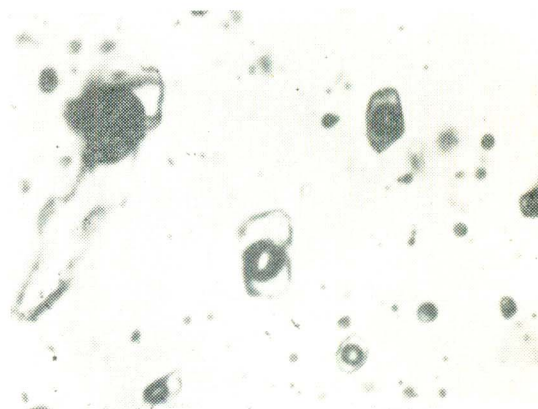
照片1 绢云母片麻岩
岩石绢云母化强烈，长石（灰色）均已被绢云母交代。正交偏光， $\times 50$



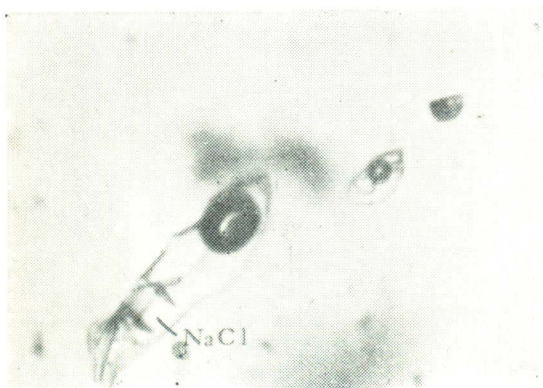
照片2 蚀变的片麻岩
片麻岩蚀变强烈，石榴石呈眼球状并被绢云母（白色）、绿泥石（黑色）交代。正交偏光， $\times 50$



照片3 绿泥石化片麻岩
自然银呈浸染状不均匀地分布在绿泥石化强烈的部位。单偏光（光片）， $\times 20$



照片4 脉石英中的细小包裹体群
 $\times 1200$



照片5 石英中含石盐子矿物的纯液包裹体
 $\times 900$



照片6 晚期粗晶硫化物（含少量银及微量金）
（2）沿早期矿体（1）的洞穴或裂隙充填