

川北—甘南地区类卡林型金矿床的 地质地球化学特征

孙树浩

(中钢集团天津地质研究院, 天津 300061)

摘 要: 川北的联合村金矿和甘南的阳山金矿均为类卡林型金矿床。金矿形成于松潘—甘孜褶皱带与秦岭(华北)被动陆缘沉积构造活动带的对接部位。矿石类型不仅有各类沉积岩型, 并有同等比例的蚀变脉岩型。金矿物粒径小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 。单体金占总含金量的 91.6%, 为易选金矿石。金矿床具有 Au, Ag, As, Sb, Hg, Cu, Pb, Zn, Tl, Se, Te, Mo, Ba 低温元素组合及丰度。除金矿床的容矿岩石与卡林型金矿有所区别外, 区内金矿床的地质-地球化学特征与美国卡林型金矿床相似。

关键词: 类卡林型金矿; 秦岭(华北)被动陆缘; 微量元素; 稳定同位素

中图分类号: P611; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2005)01-0008-07

1986~1992年, 笔者与原冶金部西南地勘局合作, 对四川南坪和甘肃文县等地的卡林型金矿床成矿条件和矿床预测进行了研究。我们在南坪县联合村发现了类卡林型金矿体的分布^[1], 并预测联合村至甘肃省文县新关为该类型金矿的找矿远景区。经过5年的勘查, 武警黄金十二支队终于在2001年探明了甘肃文县阳山特大型类卡林型金矿床。从而证实了该区类卡林型金矿床的巨大经济价值和进一步找矿的美好前景。

为了便于进行对比, 笔者将本区的微细浸染型金矿, 简称为类卡林型金矿。

类卡林型金矿床是与卡林型金矿床产于同一构造地质背景下, 其地质、地球化学特征既有相同之处, 又存在明显差别的一类矿床^[4]。

含矿岩系全为各种沉积岩的, 为卡林型金矿床。而含矿岩系除各种沉积系外, 还有具脆性变形的岩浆岩者, 则称其为类卡林型金矿床。本区的联合村金矿和阳山金矿, 属类卡林型金矿。

川甘陕“金三角”地区是我国卡林型和类卡林型金矿床的重要聚集地。这里已经发现14处卡林型和类卡林型金矿床(图1)。

1 区域成矿背景

自古生代以来, 华北板块(秦岭)与扬子板块之俯冲-碰撞造山带形成。金矿床位于松潘—甘孜褶皱带与秦岭被动陆缘沉积构造活动带的对接部位, 受勉略缝合带控制。

区内出露的地层主要有元古代碧口群、泥盆系、石炭系和二叠系, 并零星出露三叠系和侏罗系。

(1) 联合村金矿分布于南坪构造窗边缘断裂控制的松柏犁坪断裂破碎带和剪切带内。西段走向NW, 东段转为NE; 西段倾向SW, 东段NW; 倾角 $50^\circ\sim 70^\circ$ 。本区断裂构造, 由北而南, 以逆冲推覆构造和不同时期、不同性质断裂组成的锯齿状构造和文县弧形断裂为特征。区域性剪切带常出现在推覆构造前缘。

印支晚期岩浆岩均呈脉状侵位于断裂破碎带、层间裂隙及脆性剪切带内。走向常与构造走向或岩层走向一致。岩石以花岗斑岩为主。岩石化学特征为高硅、富钾、铝过饱和的钙碱性。受燕山期构造影响, 发生脆性剪切的印支晚期岩脉或岩脉群, 为本区类卡林型金矿的重要容矿岩石。花岗斑岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(199.28 \pm 42.79)\ \text{Ma}$ 。

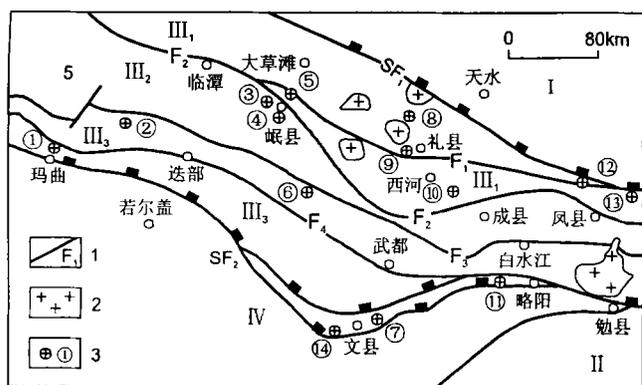


图1 区域地质构造略图(据文献[3])

Fig. 1 Geological and structural sketch of the study area

北秦岭—祁连褶皱带; 扬子板块; 1. 南秦岭地块北带; 2. 南秦岭地块中带; 3. 南秦岭地块南带; 松潘—甘孜褶皱带; SF₁. 商丹缝合带; SF₂. 勉略缝合带
1. 断层(F₁. 洮坪—太阳寺; F₂. 临潭—凤县; F₃. 光盖山—白水江; F₄. 玛曲武山) 2. 花岗岩 3. 金矿床(大水 拉尔玛 甘寨 鹿儿坝 寨上 邛莫—马脑壳 阳山 李坝 金山—马泉 安家岔—小沟里 尚家沟 庞家河 八卦庙 联合村)

燕山期岩浆岩分布于矿区西南部边缘。为铅过饱和的碱性系列岩石。

(2) 沿文县弧形断裂, 向东约 40 km, 赋存了阳山金矿。文县弧形构造由一系列近于平行的断裂构成。阳山金矿位于其中的安昌河—观音坝断裂中。该断裂走向 NEE, 倾向 NNW, 倾角 50°~70°。断裂带内褶皱较发育, 而且褶皱翼部有一系列次级层间剪切或断裂发育, 其产状与地层产状近一致, 金矿体主要赋存在上述次级层间剪切带或断裂中^[2]。阳山金矿区的含矿岩系为:

发生了脆性剪切的印支晚期花岗斑岩, 控制了岩体中或其接触带中的类卡林型金矿体的分布。阳山金矿的斜长花岗斑岩的 K-Ar 年龄为 171~205 Ma(5 件样品), 含金石英脉的³⁹Ar-⁴⁰Ar 年龄为 (195.40±1.05) Ma。

泥盆系中统: 砂岩和板岩。

三叠系中统: 碎屑岩。

2 矿床地质和地球化学特征

2.1 矿体特征

(1) 联合村金矿 号矿带产于花岗斑岩脉中及内外接触带, 共有金矿体 19 个, 长 2 000 m, 宽 600~

1 000 m。在 30 线以西, 矿体 N 倾, 倾角 70°; 30 线以东, 矿体 S 倾或 N 倾, 倾角 70°。矿体长 100~350 m, 厚 1~11.4 m。最高品位 $w(\text{Au}) = 11.58 \times 10^{-6}$ 。孔深 103 m 处, 金品位增高。

联合村 -1 号金矿体, 分布在对肠沟断层以北 20~80 m 的硅质构造角砾岩破碎带中。容矿岩石为中泥盆统硅质岩、白云质灰岩、变细砂岩和花岗斑岩。矿体走向 283°~288°, 倾向 NNE, 地表倾角 45°~75°。金品位 $w(\text{Au}) = 3 \times 10^{-6} \sim 8.33 \times 10^{-6}$ 。

(2) 阳山金矿带东起固镇, 西至堡子坝, 全长 12 km, 分为 4 个矿段, 即阳山、高楼山、安坝和葛条湾矿段, 共发现 49 条金矿脉, 其中规模最大的 305 号、314 号脉均位于安坝矿段。305 号脉位于安坝背斜南翼的破碎带中, 由碎裂岩化、黄铁矿化千枚岩及斜长花岗岩组成, 矿脉在平面上为舒缓波状, 在剖面上为脉状, 总体走向 NEE, 倾向 NNW, 倾角 45°~70°, 圈出 1 条矿体, 长 1 800 m, 控制斜深 440 m, 平均厚度 5.58 m, 平均品位 $w(\text{Au}) = 7.06 \times 10^{-6}$ 。计算金资源量为 56 133 kg。314 号脉平行于 305 号脉, 并位于其上盘, 也圈定 1 条矿体, 长 100 m, 控制斜深 330 m, 平均厚度 5.61 m, 平均金品位 $w(\text{Au}) = 5.52 \times 10^{-6}$, 计算金资源量为 27 570 kg^[2]。

2.2 热液蚀变

联合村类卡林型金矿的热液蚀变作用包括热液成矿作用和热液酸蚀蚀变作用。热液成矿作用分为早、中、晚三个阶段。

(1) 早期热液阶段。早期热液流体沿一组脆性剪切断裂向上运移。这一阶段主要从围岩中溶出少量的方解石和沉淀出少量的石英。

(2) 主期热液阶段。

菱铁矿化。菱铁矿主要交代斜长石, 花岗斑岩中分布有菱铁矿细脉。

钾泥化。花岗斑岩的斑晶和基质中斜长石多具高岭土化和绢云母化。

硅化发育。碎裂花岗斑岩的裂隙中分布霏细状硅质, 石英脉广泛分布。

只有发生了热液蚀变的碎裂花岗斑岩才构成金矿石。未蚀变的花岗斑岩, 其金的背景值为 0.017×10^{-6} 。热液黄铁矿是重要的载金矿物。并且黄铁矿粒度越小, 含金越高。主期热液阶段带入 Fe, S, Au, Ag, As, Hg 等元素, 形成本区金矿主矿体。本期的菱铁矿、绢云母、方解石也是载金矿物。

(3) 晚期热液阶段。主要带入 Sb, Hg, Fe, Cu, S。发育辉锑矿、雄黄、雌黄、辰砂、斑铜矿等矿化。发育重晶石化、硬石膏化、碳酸盐化、黄钾铁矾化、萤石化。由于存在重晶石和硬石膏, 说明本区叠加热液酸滤蚀变作用。这种酸性溶液是由热液流体沸腾时分馏出的硫化氢, 经过氧化, 并与水蒸气和天水混合, 形成硫酸。硫酸根(SO_4^{2-})与热液带来的 Ba^{2+} 发生化学反应, 而形成重晶石(BaSO_4); 与 Ca^{2+} 发生化学反应而形成硬石膏(CaSO_4)。

脆性剪切带和断层是热液活动的通道, 强酸滤蚀变带沿此通道发育。在通道的浅部、酸滤带上部发育了碳酸盐化, 广泛分布方解石脉。

热液酸滤蚀变带是赋存卡林型和类卡林型金矿工业矿体的重要标志。酸滤蚀变带是不规则的, 厚度可达 75 m。主矿体位于酸滤蚀变带之下。

阳山金矿的非金属矿物中也存在重晶石, 说明也存在晚期热液蚀变阶段的酸滤蚀变。联合村金矿是重晶石化较发育的部位, 花岗斑岩压碎岩中, $w(\text{Ba})$ 可达 $10\ 500 \times 10^{-6}$ 。向东进入甘肃省文县新关, 花岗斑岩型金矿石中 $w(\text{Ba})$ 已降为 $210 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$ 。

2.3 矿石特征

联合村金矿花岗斑岩型金矿石中, 组成矿石的金属和非金属矿物 25 种。主要金属矿物是黄铁矿、磁黄铁矿、辉锑矿、毒砂、辰砂、雄黄。而脉石矿物主要是石英、斜长石、菱铁矿、方解石、白云石、绢云母、重晶石、硬石膏、锆石、磷灰石、萤石、锰铝榴石。联合村金矿金品位 $w(\text{Au}) = 2.71 \times 10^{-6} \sim 3.89 \times 10^{-6}$ 。阳山金矿金品位 $w(\text{Au}) = 7.06 \times 10^{-6} \sim 5.52 \times 10^{-6}$ 。

松潘沟的砂岩型金矿石, 金属和非金属矿物 13 种。常见金属矿物是, 黄铁矿、雄黄、辰砂、毒砂、辉锑矿、磁铁矿。常见脉石矿物是石英碎屑、绢云母、菱铁矿、方解石、锆石。5 号矿体平均金品位 $w(\text{Au}) = 6.27 \times 10^{-6}$, 最高 31.0×10^{-6} 。

2.4 矿床地球化学

联合村金矿花岗斑岩型金矿石的微量元素组成, 与美国卡林金矿石对比, Au, Ag, As, Sb, Hg, Cu, Pb, Zn, Tl, Se, Te, W, Mo, Ba 元素及其丰度基本相同(表 1)。但本区金矿石中, $w(\text{As})$ 是美国卡林金矿石的 4~5 倍。 $w(\text{Ba})$ 是其氧化矿石的 4 倍。美国卡林金矿有机碳质量分数高, 为本区类卡林型金矿的 345 倍。金与砷、汞正相关。

表 1 联合村、阳山金矿与卡林金矿石微量元素对比

Table 1 Microelement content of Yangshan, Lianhecun Carlin-like Au deposits and Carlin Au deposit

矿床	矿石类型	$w_B / 10^{-6}$																
		Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn	Mo	Se	Te	Tl	w	Ba	Au/Ag	C有机	
联合村*	碎裂花岗斑岩型金矿石	3.26	0.12	2139.33	127.38	18.01	21.23	17.5	42.2	2.32	0.27	0.52	2.83	9.58	5395			
		(6)	(12)	(12)	(12)	(12)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(2)	27	0.09	
阳山	碎裂千枚岩和花岗斑岩型金矿石	7.06	0.45	6300	154.7		26.4	44.9	47.8									
			(2)	(2)	(2)		(2)	(2)	(2)							15.7	2.22	
美国卡林金矿	氧化金矿石	9	0.7	405.0	95.0	18.0	22.0	25.0	90.0	3.0	0.4	<0.2	20.0	12.0	1500	12.9		
主矿带	原生金矿石	7.1	0.7	506.0	126.0	21.0	35.0	30.0	165.0	6.0	0.9	0.4	50.0	18.0	400	10	400	
																		292

* 测试单位: 天津地质研究院。括号中数字为样品数。

联合村金矿花岗斑岩型金矿石中, 各种矿物和单矿物化学分析及电子探针分析结果, 有金显示的矿物为黄铁矿、菱铁矿、方解石、绢云母、石英。

黄铁矿除立方体晶形外, 其他晶形都含金。黄铁矿中金的富集规律为:

(1) 五角十二面体与立方体聚形, 不规则粒状黄铁矿含金较富, $w(\text{Au}) = 5.48 \times 10^{-6}$, $w(\text{Co}) = 109 \times 10^{-6}$, $w(\text{Ni}) = 125 \times 10^{-6}$ 。

(2) 细粒黄铁矿含金较富, 电子探针分析结果 w

(Au) = $1\ 600 \times 10^{-6} \sim 8\ 100 \times 10^{-6}$ 。

(3) 含金黄铁矿均为含砷黄铁矿, $w(\text{As}) = 2.52\%$; 并且黄铁矿中 Au, Ag, As 呈正相关关系。

(4) 环带状黄铁矿中环带的含金量高于内核和外环带; 中环带 $w(\text{Au}) = 2\ 900 \times 10^{-6}$, 内核 $1\ 100 \times 10^{-6}$ (电子探针分析)。

联合村金矿床各种晶形和粒度混合样的黄铁矿单矿物化学分析 $w(\text{Au}) = 11.7 \times 10^{-6}$ 。在矿石中黄铁矿相对金占有率为 7%。

菱铁矿的电子探针分析结果, 某些点上 $w(\text{Au}) = 200 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$ 。方解石的电子探针分析结果, 某些点上 $w(\text{Au}) = 200 \times 10^{-6} \sim 3\,600 \times 10^{-6}$; 菱铁矿和方解石混合碳酸盐单矿物的化学分析 $w(\text{Au}) = 1.13 \times 10^{-6}$ 。矿石中碳酸盐相对金占有率为 5%。

绢云母的电子探针分析, 某些点上 $w(\text{Au}) = 1\,400 \times 10^{-6} \sim 4\,800 \times 10^{-6}$; 绢云母单矿物化学分析 $w(\text{Au}) = 0.42 \times 10^{-6}$, 矿石中绢云母相对金占有率为 3%。

石英的电子探针分析, 某些点上 $w(\text{Au}) = 300 \times 10^{-6}$; 石英单矿物化学分析 $w(\text{Au}) = 0.41 \times 10^{-6}$ 。矿石中石英相对金占有率为 2%。

化学物相分析, 联合村金矿花岗斑岩型金矿石中单体金占 91.35%。单体金不被矿物包裹, 金矿物有自由表面, 可被化学药品浸出, 属易选矿石, 有利于工业利用。该矿石氰化浸出率 90% 以上。

经电子显微镜和电子探针研究, 金矿物为自然金 ($w(\text{Ag}) = 10\%$) 和银金矿 ($w(\text{Ag}) = 17\% \sim 32\%$)。金矿物粒径小于 $0.1 \mu\text{m}$ 。

阳山金矿, 金矿物最大粒径 $5 \sim 6 \mu\text{m}$, 大部分为 $2 \sim 3 \mu\text{m}^{[2]}$ 。

阳山金矿的有机碳含量高于联合村金矿的有机碳含量。

联合村金矿热液黄铁矿 $w(\text{Co})$ 一般为 109×10^{-6} , $w(\text{Ni}) = 125 \times 10^{-6}$, $w(\text{Pt}) = 5\,200 \times 10^{-6}$ 。热液黄铁矿的中环带含铂最高, $w(\text{Pt}) = 7\,800 \times 10^{-6}$ 。

松潘沟金矿 5 号金矿体破碎石英粉砂岩型金矿石的微量元素特征见表 2。微量元素组成和丰度与美国卡林金矿基本相同, 砷含量为卡林金矿的 13 倍。与阳山金矿相似之处是砷含量较高, Au 与 Ag, As, Hg 正相关。

表 2 松潘沟 5 号金矿体微量元素特征

Table 2 Microelement of No. 5 ore body in Songpangou Au mine

$w_B / 10^{-6}$

编号	产地	样品名称	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn	Mo	Se	Te	Tl	W	Ba
LSH-1	TC17	碎裂石英粉砂岩型金矿石	4.5	0.58	2200	264	5.1	28	28	86	1.7	0.6	1.0	0.6	16	400
LSH-3	TC18	碎裂石英粉砂岩型金矿石	31.0	3.5	14000	40	514	24	33	113	6.2	0.7	1.5	0.73	26	550

测试单位: 天津地质研究院。

松潘沟金矿碳质板岩和石英粉砂岩型金矿石中有金显示的矿物是沉积变质和热液成因黄铁矿、雄黄、毒砂。

沉积变质和热液成因黄铁矿有以下特点:

(1) 五角十二面体与立方体的聚形, 不规则粒状黄铁矿含金较富。 $w(\text{Au})$ 可达 11.9×10^{-6} 。

(2) 细粒黄铁矿含金较富。粒径 40 目的黄铁矿含 $w(\text{Au}) = 1.8 \times 10^{-6}$, 粒径 200 目的黄铁矿 $w(\text{Au}) = 11.9 \times 10^{-6}$ 。

(3) 含金黄铁矿富砷, 并且 Au 与 Ag, As 正相关。 $w(\text{Co}) = 166 \times 10^{-6}$, $w(\text{Ni}) = 275 \times 10^{-6}$ 。

(4) 可见沉积变质成因黄铁矿次生加大结构。黄铁矿发育 6 层环带。第 4 环带 $w(\text{As})$ 最高, 可达 $25\,200 \times 10^{-6}$ 。第 5 环带 $w(\text{Au})$ 最高可达 $12\,200 \times 10^{-6}$, 核心 $w(\text{Au})$ 次之, 为 $7\,000 \times 10^{-6}$ 。第 2 环带 $w(\text{Sb})$ 最高, 为 $2\,000 \times 10^{-6}$, 却不含金, 说明金和锑不是同时沉积的。由核心至各环带都含 Pt, $w(\text{Pt}) = 900 \times 10^{-6} \sim 5\,300 \times 10^{-6}$ 。

不同晶形和粒径的黄铁矿混合样化学分析 $w(\text{Au}) = 8.0 \times 10^{-6}$ 。不规则粒状黄铁矿电子探针分析, 某些点的 $w(\text{Au}) = 1\,200 \times 10^{-6}$ 。

雄黄单矿物化学分析 $w(\text{Au}) = 0.97 \times 10^{-6}$, 电子探针分析, 某些点的 $w(\text{Au}) = 137 \times 10^{-6}$ 。

毒砂电子探针分析 $w(\text{Au}) = 4\,900 \times 10^{-6}$, 显然高于黄铁矿金的质量分数。 $w(\text{Pt}) = 700 \times 10^{-6}$ 。

松潘沟矿体粉砂岩型金矿石的物相分析表明, 单体金占 57.3%。矿石氰化浸出率 80%, 属易选矿石, 便于工业利用。经电子显微镜和电子探针研究, 金矿物为自然金 ($w(\text{Ag}) = 1\%$) 和银金矿 ($w(\text{Ag}) = 56\%$), 粒径小于 $0.1 \mu\text{m}$ 。

联合村金矿矿体上部有原生晕、次生晕金异常。矿床范围分散流具 Au, As, Sb, Hg 异常。

2.5 同位素地球化学

2.5.1 硫同位素

由表 3 知, 热液成因黄铁矿、重晶石 $\delta(^{34}\text{S}) = 5.54 \times 10^{-3} \sim 9.02 \times 10^{-3}$, 平均值为 $+7.3 \times 10^{-3}$,

表3 联合村、甲勿池金矿与卡林金矿硫同位素特征对比

Table 3 Comparison of S isotope signature of Lianhecun, Jiawuchi and Carlin Au deposit

矿区	编号	样品名称	测定矿物	$\delta(^{34}\text{S}_{\text{CDT}}) / 10^{-3}$	资料来源
联合村	Z-1	花岗斑岩	重晶石	6.78	本文
联合村	Z-2	硅质构造角砾岩	重晶石	9.02	本文
甲勿池	Z-8	石英斑岩	热液黄铁矿	5.54	本文
甲勿池	Z-7	花岗斑岩	热液黄铁矿	8.79	本文
美国卡林		主矿带、东矿带	黄铁矿	4.2~ 16.1	A. S. 拉德克
美国卡林		东矿带、矿化岩墙	黄铁矿	9.7	A. S. 拉德克

本文数据的测试单位:天津地质研究院。

表4 联合村、甲勿池金矿与卡林金矿碳氧同位素特征对比

Table 4 Comparison of C, O isotope signature of Lianhecun, Jiawuchi and Carlin Au deposit

矿区	编号	测定矿物	$\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) / \times 10^{-3}$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) / 10^{-3}$	资料来源
甲勿池	JH 1001-4	石英包体	- 4.76	16.91	本文
甲勿池	JBPD1-2-1	石英包体	- 5.26	21.30	本文
甲勿池	JH 29-1	石英包体	- 1.61	33.92	本文
联合村	CH 22-1	方解石	0.92	13.31	本文
联合村	G-1	方解石	1.58	15.685	本文
美国卡林	弱氧化矿石	方解石	0.2	15.4	A. S. 拉德克
美国卡林	未氧化矿石	方解石	0.9	16.3	A. S. 拉德克

本文数据的测试单位:天津地质研究院。

表5 甲勿池金矿氢氧同位素特征

Table 5 H, O isotope signature of Jiawuchi Au deposit

矿区	编号	测定矿物	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) / 10^{-3}$	$\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}) / 10^{-3}$	温度/℃	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) / 10^{-3}$
甲勿池	JH 1001-4	石英	19.39	- 97.8	190	5.4
					256.7	9.27
甲勿池	JBPD1-2-1	石英	18.54	- 77.0	170	3.02
					229.3	7.04
甲勿池	JH 29-1-1	石英	33.92	- 118.56	179.2	19.13
					239.7	22.98

测试单位:天津地质研究院。

$\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$ 按石英-水的氧同位素分馏方程 $\Delta\delta(^{18}\text{O}_{\text{石英-水}}) = 3.55 \times 10^6 T^{-2} - 2.57$ (Shiro, 1972) 计算。

极差为 3.48×10^{-3} , 标准差为 1.67×10^{-3} 。说明硫来源于混合硫源。除地层硫外, 岩浆也是一个硫源。

2.5.2 碳同位素

由表4知, 方解石的 $\delta(^{13}\text{C}) = 0.92 \times 10^{-3} \sim 1.58 \times 10^{-3}$, 平均值为 1.25×10^{-3} , 极差为 0.66×10^{-3} , 标准差为 0.47×10^{-3} 。具有海相碳酸盐的碳同位素组成。说明成矿热液中的碳主要来源于碳酸盐地层。石英流体包裹体中的 $\delta(^{13}\text{C}) = -5.26 \times 10^{-3} \sim -1.61 \times 10^{-3}$, 平均值为 -3.88×10^{-3} , 极差为 3.15×10^{-3} , 标准差为 -1.98×10^{-3} , 反映富 ^{12}C

的有机碳加入成矿溶液。

2.5.3 氢氧同位素

由表5可知:

(1) 石英脉数据在 $\delta(\text{D})-\delta(^{18}\text{O})$ 图中的投影具有“漂移”雨水线的特点, 说明大气降水加入热水循环。

(2) 另一组石英脉的投影反映成矿溶液(富 ^{18}O), 说明大气降水渗入地下过程中被加热, 并与硅酸盐、碳酸盐(富 ^{18}O)发生同位素交换, 而使其 $\delta(^{18}\text{O})$ 值增大, 也可能有残存的富 ^{18}O 的盆地卤水参入成矿溶液。

(3) 石英脉投影接近原始岩浆水投影点, 反映岩浆期后热液水参入成矿作用。

2.5.4 铅同位素

表 6 显示, 辉锑矿和黄铁矿的铅同位素组成稳定, 属正常演化铅。将铅同位素数据投于 Doe 和

Zartman(1979) 编绘的不同构造动力环境的²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 坐标图中可以看出, 矿化铅的投点位于造山带与地幔演化曲线之间, 显示矿化铅主要来自地幔。

表 6 甲勿池金矿铅同位素特征

Table 6 Pb isotope composition of Jiawuchi Au deposit

编号	矿区	矿物	铅同位素组成			源区特征			
			²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²³⁸ U/ ²⁰⁴ Pb	²³² Th/ ²⁰⁴ Pb	²³² Th/ ²³⁸ U	²³⁵ U/ ²⁰⁴ Pb
						(μ)	(ω)	(k)	(U)
NSB-1	甲勿池	脉状辉锑矿	18.3720	15.6040	38.2600	9.47584	36.03539	3.80295	0.06872
Z-7	甲勿池	热液黄铁矿	18.1810	15.6020	38.3590	9.49343	37.48617	3.94864	0.06865

测试单位: 宜昌地质矿产研究所。

2.6 流体包裹体

2.6.1 包裹体的类型和特征

联合村金矿床的气液两相包裹体, 多呈不规则状, 直径小于 3 μm, 气液比小于 2%; 三相包裹体, 即水溶液相、CO₂ 液相、CO₂ 和 H₂O 气相, 多为不规则状, 直径一般为 3.6 μm, 气液比 30%~80%。

2.6.2 温度

早期热液阶段, 仅含气液两相包裹体, 均一温度为 120~200 °C。35 样次测定的平均值为 173 °C。热液曾发过短期沸腾, 三相包裹体出现, 均一温度为 265~310 °C。两相包裹体均一温度为 205~320 °C, 58 样次测定结果的平均值为 237.66 °C。

表 7 甲勿池金矿石英流体包裹体成分

Table 7 Composition of fluid inclusion of quartz from Jiawuchi Au deposit

样品编号	矿区	液相成分							气相成分						w _B /10 ⁻⁶		
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Cl ⁻	CO ₂	CH ₄	CO	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O (10 ⁻³)	F ⁻ / Cl ⁻	Na ⁺ / K ⁺
JH29-1-1	甲勿池	413	2065	482	136	161	1056	1547	38658	921.5	0.0	14.7	0.0	0.0	2.51	0.7	5.0
JHPD-2-3	甲勿池	120	1094	1605	498	937	477	3155	7925	182.2	0.0	34.9	0.0	0.0	2.119	0.2	9.1
JH1001-4	甲勿池	740	500	190	190	300	50	130	6239	91.92	3175	36.2	377.8	992.3	12.46	0.4	0.7
JBPD-2-1	甲勿池	< 10	170	10	10	300	20	170	3274	61.34	3178	103.6	378.2	2980	12.46	0.1	34

测试单位: 天津地质研究院

2.6.3 成分、盐度和密度

由表 7 知:

(1) 流体气体成分以 H₂O 和 CO₂ 为主; 含 CH₄ 和 H₂。液相组分中, 阳离子含量由高而低, 依次为 Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺; 阴离子富 Cl⁻;

(2) F⁻/Cl⁻ 比值为 0.1~0.7, 说明矿液为热卤水成因;

(3) CH₄ 含量较高, 表示成矿流体具非岩浆特征;

(4) 还原参数为 0.7~3.19, 平均值 1.14, 表明成矿物质的搬运介质具有较强的还原性质, pH =

5.16;

(5) 类卡林型金矿的流体包裹体特别小, 无法测到冷冻温度; 因而据包体成分计算盐度 w(NaCl) = 0.73%~10.26%, 平均值为 6.06%; 成矿流体密度为 0.83~0.89 g/l; 成矿压力为 27.36~75.99 MPa; 成矿深度 949~2625 m。

3 结论

本区类卡林型金矿床除容矿岩石与美国卡林型

金矿床有区别外,其他特征相似。其突出特征为:

(1)类卡林型金矿床形成于松潘—甘孜褶皱带与秦岭(华北)被动陆缘沉积构造活动带的对接部位,受勉略缝合带控制。

(2)矿石类型有蚀变脉岩型、蚀变砂岩型、蚀变千枚岩型和蚀变灰岩型。脉岩型矿石为印支晚期的S型花岗斑岩金矿;金矿的成矿作用发生在花岗斑岩成岩之后;金矿体的分布受侵位后的脆性剪切带控制;成矿深度小于3 km。

(3)黄铁矿中的矿化铅主要来自地幔;并且热液黄铁矿中均含钴、镍、铂;S型花岗斑岩是俯冲构造活动的产物;成矿热卤水并从容矿岩石花岗斑岩中,汲取了金、铜、铅、锌、钼、等元素;金、银、砷、锑、汞、铜、铅、锌、铊、硒、碲、钨、钽等低温元素组合及其丰度与美国卡林型金矿基本相似;但砷和钽的质量分数为卡林金矿的4~5倍;Au/Ag=4~27;美国卡林金矿有机碳含量高,为本区类卡林型金矿的345倍。

(4)燕山晚期花岗岩不仅是金矿成矿作用的热源,而且岩浆期后热液体系的末端掺入了热卤水循环,带入了金、钨等元素。

(5)石英包体中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值反映了富 ^{12}C 的有机碳加入成矿溶液。

(6)成矿作用的主期热液阶段,均一温度平均值为173℃;热液沸腾时的均一温度为265~310℃。

(7)金矿物为自然金和银金矿,粒径均 $< 0.1 \mu\text{m}$;单体金占总金量的91.6%;矿石为易选矿石,氰化浸出率达90%以上。

(8)本区类卡林型金矿床与卡林型金矿床同归类为浅成低温的造山带型金矿床。

参考文献:

- [1] 孙树浩,文国林. 微细浸染型联合村式金矿的地质和地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 1993, 8(4): 9-22.
- [2] 郭俊华,齐金忠,孙彬,等. 甘肃阳山特大型金矿地质特征及成因[J]. 黄金地质, 2002, 8(2): 15-19.
- [3] 郭红乐,陆志平,刘爽,等. 甘肃寨上卡林型金矿床地质特征与控矿因素[J]. 黄金地质, 2003, 9(3): 21-26.
- [4] 何军,张复新,张旺定. 甘肃小沟里类卡林型金矿床地质地球化学征[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 602-605.

GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL SIGNATURE OF CARLIN-LIKE GOLD DEPOSITS IN THE NORTH SICHUAN-SOUTH GANSU AREA

SUN Shu-hao

(Tianjin Geological Academy, Tianjin 300061, China)

Abstract: Lianhecun Au deposit in the North Sichuan and Yangshan Au deposit in the south Gansu are all Carlin-like Au deposits formed in the amalgamation zone between the Songpan-Ganzi fold belt and sedimentary-structural mobile zone of the passive Qinling (the North China) continent margin. They include not only the sedimentary rock-hosted gold ore but also the altered vein-type gold ore. Grain size of gold minerals are generally less than $0.1 \mu\text{m}$. Free gold is about 91.6% of the total gold and the ore is easily to process. Gold deposits in the North Sichuan and south Gansu area are similar to Carlin gold deposit in the aspects of hydrothermal alteration, epithermal element association of Au, Ag, As, Sb, Hg, Cu, Pb, Zn, Tl, Se, Mo, and Ba but the hostrock is different from Carlin. They are of orogenic epithermal gold deposits.

Key words: Carlin-like gold deposit; the passive Qinling (the North China) continental margin; microelement; stable isotope