

银洞沟—许家坡金银多金属成矿带 地质地球化学研究

汪东波 张本仁 马振东 黄德坤 林元文

(中国地质大学地球化学系·武汉)

本文剖析了鄂西北地区银洞沟—许家坡矿化带的地质背景和金银多金属矿床的地质特征,研究了典型矿床的成矿物理化学条件和稳定同位素地球化学特征,探讨了成矿物质及成矿流体的来源,总结了矿化带中金银矿床的成矿模式。

关键词: 金银矿床; 物理化学条件; 同位素地球化学; 成矿模式

鄂西北银洞沟—许家坡金银成矿带位于南秦岭印支褶皱带武当隆起南西侧之鲍峡—

得胜断褶带。北西侧与白河复式向斜为邻,南东侧以茅塔断层与楼台穹窿分界,北东端被公路断裂(即十堰—白河断裂)切截,南西端为宝丰断陷盆地,总体展布为北东向(图1)●●。矿化带由竹山银洞沟金—银—铅—锌矿床,郧县许家坡金—银—碲矿床和倪家坪、青龙庙等银金多金属矿化点组成。

区内主要地层为中上元古界武当山群,上元古界耀岭河组、震旦系陡山沱组和灯影组及古生界和中生界。武当山群从上至下可分为:楼台组,由变石英角斑质凝灰岩、变凝灰质砂岩、泥质粉砂岩组成;挡鱼河组,上亚组为变石英角斑质火山岩、火山碎屑岩,下亚组为条带状基性火山岩;杨坪组,为富含硫、磷、碳的变凝灰质砂岩,变泥质粉砂岩和粉砂质泥岩等。矿床(点)产于挡鱼河组上亚组和杨坪组下部。

区内次级背向斜构造发育,多呈紧闭倒转等斜褶曲,轴面北西倾。主要断裂为北东向茅塔断层,北西向房(县)—竹(山)断层和公路断层。

岩浆活动在中晚元古代较强烈,火山的

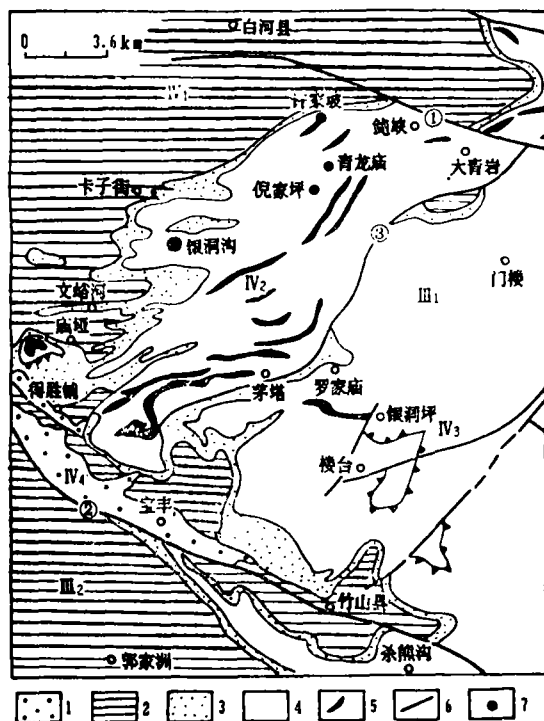


图1 银洞沟—许家坡金银多金属矿化带地质简图

1—中生界; 2—古生界; 3—震旦系(包括耀岭河组); 4—武当山群; 5—基性—超基性侵入体; 6—断层; 7—矿床(点); ①—十堰—白河断裂; ②—房县—竹山断裂; ③—茅塔断裂; III₁—武当隆起; III₂—郭家洲复向斜; IV₁—白河复向斜; IV₂—鲍峡—得胜断褶带; IV₃—楼台隆起; IV₄—宝丰断陷盆地

●吴贤奎等, 贵金属矿产, 1988, №11。

●湖北第五地质队, 武当山地区武当山群贵多金属成矿地质特征研究, 1986年。

喷发—喷溢作用形成了广泛分布的武当山群火山岩和耀岭河群变基性火山岩。侵入岩以加里东期基性和超基性侵入岩为主, 岩体整体上呈北东向线状展布 (图1), 其形成明显受基底断层控制。区内岩石变质程度较低, 为绿片岩相。

区内矿产资源丰富, 除银洞沟、许家坡金银多金属矿床外, 尚有庙垭 铌—稀土矿床, 文峪河重晶石和黄铁矿矿床等。

矿床的主要地质特征

前已述及, 该金银多金属矿化带主要由银洞沟 Au—Ag—Pb—Zn 矿床和许家坡 Au—Ag—Te 矿床构成。银洞沟矿床位于鲍峡—得胜断褶带西侧, 赋矿围岩为武当山群挡鱼河组上亚组之变石英角斑质火山岩, 矿床产在银洞岩—石门沟背斜东端之轴部。许家坡矿床位于鲍峡—得胜断褶带北西侧, 矿

银洞沟、许家坡矿床主要地质特征●●

表 1

矿床	银洞沟	许家坡
矿床类型	Au—Ag—Pb—Zn型	Au—Ag—Te
矿床规模	大型	中—小型
围岩	挡鱼河组上亚组变石英角斑质凝灰岩、变石英角斑岩, 晶屑凝灰岩等	杨坪组变凝灰岩, 变粉砂质泥岩、泥质粉砂岩等
矿体产出部位及产状	背斜轴部, 脉状, 脉体为糖粒状—似糖粒状石英和铁白云石组成	背斜轴和向斜叠加部位, 层状, 糖粒状石英、强硅化围岩和滑石等一起构成矿体
围岩蚀变	硅化为主, 绢云母化、铁白云石化、黄铁矿化、绿泥石化等次之	硅化为主, 滑石化、透闪石化, 黄铁矿化、绿泥石化
矿体Ag/Au	100 : 1	100 : 1.7
主要矿石矿物及硫化物	自然银、银金矿、金银矿、闪锌矿、方铅矿、螺状硫银矿、银黝铜矿、黄铁矿、黄铜矿	碲银矿、自然银、金银矿、辉铜银矿、淡红银矿、闪锌矿、黄铁矿、方铅矿
主要脉石矿物	石英、绢云母、铁白云石、绿泥石、钾长石、方解石	石英、滑石、透闪石、白云母、绿泥石、黑云母等
元素组合	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, As, Sb, Bi, Mo	Au, Ag, Te, Cu, Pb, Zn, Sb, Mo

体产在武当山群杨坪组变凝灰质砂岩和泥质粉砂岩中, 矿体受魏家山背斜和红岩尖向斜叠加部位控制。表 1 给出了两个主要矿床的地质特征。

地层与金银矿化的关系

涂光炽 (1989) 指出: “地层对金矿床没有层控性, 但在一定的区域内, 金矿床的产出有一定的专属性”。这就是说虽然金矿床可在各种岩石类型中产出, 但是在特定的地壳演化条件下, 金银矿化对地层有一定的选择性。地层对金银矿化的限制一方面表现出它可能是金银矿化的矿源层, 另一方面又表现为金银矿体的容矿岩石。为查明区内地层

同银、金矿化的关系, 笔者对上元古界耀岭河群和武当山群各组的金银含量变化、分布型式、元素组合类型等进行了系统研究 (表 2)。根据笔者提出的地层金银含矿性评价的地球化学准则 (中国科学报, 1990年 2 月 9 日第 1 版): 若地层中具有相对较高的金、银丰度, 较低的 x_g/x_s , 金呈多峰偏态和对数多峰偏态分布, 银呈多峰偏态和对数正态分布, 金、银形成特定的元素组合, 且该组合同区域矿化元素组合一致, 则该地层为有利金银矿化产出的地层。对照表 2 的金、银

●汪东坡, 扬子地台北缘中段中上元古界形成演化及金 (银) 矿床地质地球化学研究, 1989年。

耀岭河及武当山群金、银含量 (ppb) 及元素组合特征

表 2

		耀岭河群	杨坪组	挡鱼河组上亚组	挡鱼河组下亚组	楼台组
Au	x_a	0.84(59)	1.05(73)	1.17(65)	0.73(46)	0.59(33)
	x_g	0.73(59)	0.76(73)	0.76(65)	0.52(46)	0.54(33)
	x_g/x_a	0.87	0.72	0.66	0.71	0.92
	分布型式	偏态 对数正态—正偏	多峰偏态, 对数 多峰偏态	多峰偏态, 对数 多峰偏态	偏态 (单调递减) 偏态 (单调递减)	偏态 对数正态—正偏
	元素组合	Au, Sb	Au, Ag, Sb, Cu, Hg, F, Bi, SiO ₂	Au, Ag, Bi	—	—
Ag	x_a	10(93)	47(58)	53(68)	26(73)	—
	x_g	—	40(58)	34(68)	24(73)	—
	x_g/x_a	—	0.85	0.64	0.92	—
	分布型式	—	多峰偏态, 对数正态	多峰偏态, 对数正态	正态分布	—
	元素组合	—	Ag, Au, Sb, Cu, Hg, F, Bi, SiO ₂	Ag, Au, Bi	Ag, Cu	—

注: x_a 为算术平均值; x_g 为几何平均值; 括号内数字为样品数。

含量特征, 武当山群杨坪组和挡鱼河组上亚组为有利金银矿化的地层。事实上区内贵多金属矿床 (点) 均产于这两个层位, 说明银洞沟—许家坡金银矿化带明显受上述地层制约

成矿物理化学条件

为探讨成矿带的物理化学条件、成矿演化进程、成矿机制和矿床成因, 对银洞沟和许家坡矿床进行了矿物学、流体包裹体地球化学和高温高压下成矿流体的物理化学计算, 获得了两矿床的物理化学参数。

1. 矿物包裹体的一般特征

研究表明, 银洞沟金—银—铅—锌矿床的矿物包裹体主要类型有: ①气液包裹体, 气/液 < 50%, 一般 10~15%, 直径 3~30 μ , 一般 10 $\pm$ 2 μ , 不同矿化阶段均有分布。②气体包裹体, 气/液 50~80%, 直径 5~10 μ , 孤立分布, 只在早期石英中出现^{①②}。③含 CO₂ 包裹体, 只在早期矿化石英中偶见。④含 H₂S 包裹体, 仅见于主矿化期糖粒状石英中。许家坡矿床矿物中气液包裹体占绝对优势, 从 4~20 μ , 一般 7~10 μ ,

气液比约为 5~20%, 多为 10~15%。除原生包裹体外, 在两矿床中均有沿裂隙分布的次生包裹体。

2. 成矿流体的化学组成类型

对矿物气液包裹体的分析结果 (表 3) 表明: 银洞沟矿床成矿流体中阳离子以 Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺ 为主, 阴离子以 HCO₃⁻、HS⁻ (S²⁻)、Cl⁻ 为主, F⁻ 次之; 气体以 CO₂ 为主, 考虑到有含 H₂S 包裹体出现, 显示的成矿流体化学组成为 Ca²⁺—Mg²⁺—Na⁺—K⁺—HCO₃⁻ (CO₂)—HS⁻ (H₂S, S²⁻)—Cl⁻—F⁻ 型。许家坡矿床成矿流体中阳离子以 Mg²⁺ 为主, K⁺、Na⁺、Ca²⁺ 次之, 阴离子以 HCO₃⁻、HS⁻、Cl⁻ 为主, F⁻ 次之, 气体以 CO₂ 为主, 化学组成为 Mg²⁺—K⁺—Na⁺—Ca²⁺—HCO₃⁻ (CO₂)—HS⁻—Cl⁻—F⁻ 型。

3. 成矿流体的温度、压力

对矿物包裹体均一化测温 and 爆裂法测温表明, 银洞沟矿床均一化温度为 150~320 $^{\circ}$ C,

① 刘丛强, 鄂西竹山银洞沟铅锌—银矿床地球化学与成矿机理研究, 1984 年。

② 周观庸, 银洞沟多金属矿床成因的包裹体研究, 1982 年。

银洞沟—许家坡金银多金属矿床成矿流体化学成分(ppm)

表 3

样 号	YD-011	YD-017	YD-022	YD-027	YD-025	X006	X001	X021	X022
K ⁺	10800	3914	6225	4752	26927	8333	7174	53097	5000
Na ⁺	18109	2348	8140	3445	6148	7333	8043	7257	7400
Ca ²⁺	39209	16436	76139	54646	63193	12000	6304	—	8600
Mg ²⁺	27080	5088	43576	33500	34313	27133	27261	19150	36660
HCO ₃ ⁻	74763	32939	>100000	69733	59762	216667	143479	60177	130000
F ⁻	17112	6653	4545	10454	16513	16667	6522	4425	600
Cl ⁻	3156	2218	9577	5346	4146	—	21739	31858	22000
SO ₄ ²⁻	>50000	5414	>50000	>50000	>50000	—	—	—	—
CO	0.34	0.71	0.45	0.61	0.73	—	0.26	0.22	0.13
CO ₂	0.66	0.29	0.55	0.39	0.27	0.73	0.63	0.59	0.70
CH ₄	—	—	—	—	—	0.27	0.11	0.19	0.17
pH	6.67	6.77	7.24	7.22	8.19	6.50	6.60	6.80	6.50

注: YD、X分别为银洞沟和许家坡; SO₄²⁻代表硫的总和, 以还原硫(HS⁻、H₂S)为主, 硫含量过高可能与少量硫化物混入有关; 许家坡矿床未测SO₄²⁻, 据矿物组合及与银洞沟对比, 流体中应有较多的HS⁻、H₂S或S²⁻; CO、CO₂、CH₄单位为气体的摩尔分数。

主要集中在170~190℃; 爆裂温度为290~330℃, 主要集中在310~320℃。压力校正后成矿温度为160~380℃, 金银沉淀主要发生在210~250℃。许家坡矿床均一化温度为135~230℃, 爆裂温度为220~320℃, 成矿温度(经压力校正)为175~290℃。利用逐步逼近法在NaCl—H₂O体系的P—T—V(ρ)图解(Γ.Γ.列姆列英等, 1961)上, 用均一化温度代替成矿温度求出近似压力P, 用P求出均一温度同矿化温度之差ΔT, ΔT加上均一温度近似代替成矿温度即可求得银洞沟矿床的成矿压力为200~1500Pa, 大多集中在400~1000Pa。许家坡矿床的成矿压力同银洞沟矿床大体相当。

4. 成矿流体的盐度

根据拉乌尔定律, 通过测定气液包裹体的冰点, 利用图解法和计算法(Potter等, 1978)求得银洞沟矿床成矿流体的盐度分别为3.2~11.7wt% NaCl和3.0~12.1wt% NaCl。同刘丛强^①给出的盐度(2~14wt% NaCl)和周观庸^②给出的盐度值(4~11.8wt% NaCl)十分接近。许家坡矿床成矿流体的盐度是根据包裹体中阳离子

的总量计算出的(4.9~8.1wt% NaCl), 结果同银洞沟基本一致。

5. 成矿流体的酸碱度

在研究矿物包裹体地球化学时, 测得银洞沟成矿流体的pH值为6.0~8.2, 许家坡的pH值为6.5~6.8, 根据矿物共生组合, 银洞沟早期为石英+钾长石+绢云母等, 晚期出现铁白云石沉淀, 说明成矿流体具有从弱酸性介质向弱碱性介质演化的趋势。

6. 成矿流体的氧逸度和硫逸度

根据矿物包裹体中CO₂、CO、CH₄的含量, 计算出银洞沟成矿流体的氧逸度 $f_{O_2} = 10^{-30} \sim 10^{-41}$, 主成矿期 $f_{O_2} = 10^{-33} \sim 10^{-37}$; 许家坡矿床成矿流体 $f_{O_2} = 10^{-41} \sim 10^{-47}$ 。根据与螺状硫银矿共生的银金矿中银的摩尔分数值, 利用M.D.Barton建立的关系式, 求得银洞沟成矿流体 $f_{S_2} = 10^{-13.15} \sim 10^{-13.43}$ 。以闪锌矿中FeS的摩尔百分比用图解法求得 $f_{S_2} = 10^{-12} \sim 10^{-16.5}$ (M.D.Barton等, 1966)。成矿流体的 f_{O_2} 、 f_{S_2} 从矿化早期—晚期皆呈降低趋势。

7. 成矿流体中金银的迁移形式

根据包裹体成分测定结果, 结合前述物

理化学参数,利用 H.C.Helgesson等, T. M.Seward, B.C.Weissberg和涂光炽等给出的反应方程式和参数,对金、银在成矿流体中的溶解度进行了计算。结果表明:银洞沟成矿流体中以 Cl^- 为配体的金的各种络合物中, AuCl_2^- 比 AuCl_4^- 的溶解度高得多,而 AuCl_2^- 、 AuCl_4^- 的总溶解度为 $10^{-9.10} \sim 10^{-14.88} \text{ m}$,在以硫为配体的金的各种络合物 AuS^- 、 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 、 $\text{Au}_2\text{S}(\text{HS})_2$ 中,以 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 最重要,各络合物的总溶解度为 $10^{-11.11} \sim 10^{-16.3} \text{ m}$ 。因此硫金络合物比氯金络合物迁移金的能力要强得多。许家坡矿床与之基本一致。由于金、银具有相近的地球化学性质,银也应主要以硫的络合物形式迁移。考虑到成矿流体中大量的 HCO_3^- 和高含量的 CO_2 ,许家坡矿床有含 Te 矿物出现,以 HCO_3^- 、 CO_2 或 Te 为配体的络合物在 Au、Ag 的转移过程中也可能起到一定的作用。

稳定同位素地球化学

为了研究成矿带的矿质及其流体来源,对稳定同位素地球化学进行了研究。

1. 硫同位素地球化学

银洞沟矿床中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}\%$ 为 0~

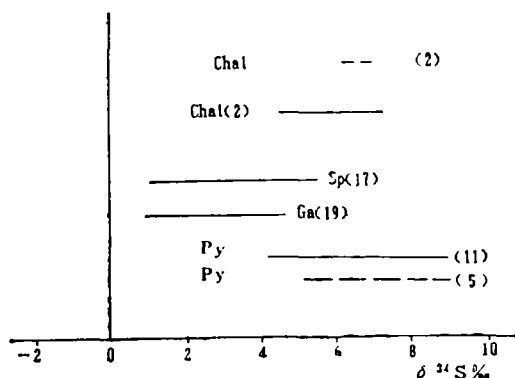


图 2 银洞沟和许家坡矿床硫同位素组成 (据●、●、●及本文资料)

Py—黄铁矿, Ga—方铅矿, Sp—闪锌矿, Chal—黄铜矿, 实线—银洞沟, 虚线—许家坡, 括号内数字为样品数

10 的正值 (图 2)。其中黄铁矿为 4.2~9.1; 方铅矿为 0.9~4.6; 闪锌矿为 1.1~5.6, 黄铜矿为 4.6~7.1, 总体看变化范围窄, 但这并不能代表成矿流体的硫同位素组成。为此用方铅矿和闪锌矿的硫同位素资料^①, 采取高温平衡外推法 (O.M.Pickney, 1972) 求得成矿流体的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ES}}$ 约为 2.5‰, 同幔源硫极为接近。许家坡矿床的黄铁矿和黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}\%$ 分别为 1.3~9.1 和 6.2~7.0, 与银洞沟矿床基本相同, 两矿床矿物组合及成矿物理化学条件相近, 推测许家坡成矿流体的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ES}}$ 亦为近于零的正值, 为深源硫特征。

2. 铅同位素地球化学

矿石铅同位素分析结果表明, 其组成比较集中, 说明铅的来源比较单一固定。在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上 (图 3B), 样品点集中在造山带铅演化曲线两侧, 部分

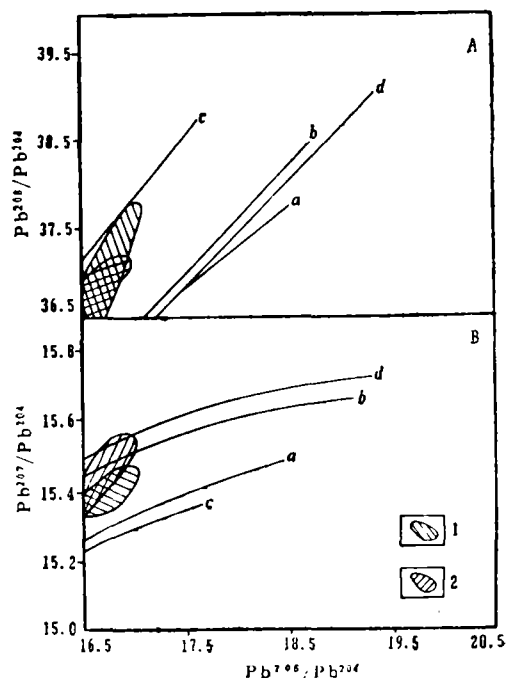


图 3 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (A) 与 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (B) 之图解

(据 R.E.Zartman 和 S.M.Haines (1981) 简化)
1—许家坡矿床, 2—银洞沟矿床, a—地幔, b—造山带, c—下地壳, d—上地壳

样品点较接近上地壳演化曲线; 在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上 (图 3A) 样品点集中在下地壳和造山带铅演化曲线之间, 说明成矿物质铅来源于上、下地壳, 在造山运动中趋于均一。因此其铅同位素组成比较均匀, 这同其围岩的成岩环境为岛弧环境的结论是吻合的 (汪东坡, 1990)。

3. 氢、氧同位素地球化学

为了解成矿流体的来源及性质, 测定了脉石矿物石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 及其流体包裹体的 δD , 用石英—水的同位素分馏平衡式, 将 $\delta^{18}\text{O}_\text{q}$ 换算成 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, 并投影到 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图上 (图 4)。由图 4 可以看出, 银洞沟的样品落

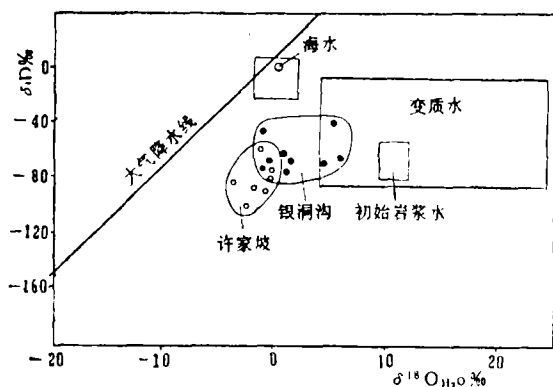


图 4 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解

〔据①、鄂西北地质矿产调查所 (1987) 及本文资料〕

在变质水、岩浆水和大气降水三者之间, 说明成矿流体具多来源。这可能是变质作用过程中挡鱼河组上亚组石英角斑质凝灰岩中的少量岩浆水被驱动转入成矿流体, 大气降水则沿裂隙补给, 从而形成多来源混合成矿流体。许家坡矿床的成矿流体主要介于变质水和大气降水之间, 表明由大气降水和同生建造水经变质升温形成。两矿床成矿流体的不同主要由围岩的差异引起, 许家坡 Au—Ag—Te 矿床的赋矿围岩为沉凝灰岩和粉砂质泥岩、泥质粉砂岩, 因而成矿流体偏离岩浆水, 而更靠近大气降水线。

成矿模式探讨

银洞沟—许家坡金银矿化带的形成演化同区域地壳演化有密切联系。①武当山地区重要的金银多金属矿化主要产于武当山群挡鱼河组上亚组变石英角斑质凝灰岩和杨坪组沉凝灰岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩中。②上述层位金银丰度相对较高, 地层含金银性评价表明它们皆为有利金银矿化的地层单元。③矿石硫同位素组成表明其为深部来源, 铅同位素组成同造山带中铅同位素组成一致, 说明成矿物质可能主要来自岛弧环境的武当山群。④银洞沟矿床产在一短轴背斜轴部, 该背斜形成于加里东期^②, 从银洞沟矿床围岩的 Rb—Sr 年龄 (398Ma) 也证明加里东期曾使 Au、Ag 进一步富集和形成容矿构造。⑤强烈的围岩蚀变 (硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、滑石化) 标明有大量成矿流体参与成矿。⑥从矿体形态完整、连续、极少遭受错断看, 主要矿化发生时间较晚。在银洞沟矿区含金银糖粒状石英脉旁组 (白) 云母的 K—Ar 年龄为 $216.88 \pm 3.57\text{Ma}$ 及 $292 \pm 4.76\text{Ma}$, 表明金银大规模矿化时间应在印支期^②。从区域地壳演化史看, 印支期构造运动是最强烈的, 形成了区内主体构造体系, 导致金银矿化的发生。⑦成矿流体以变质水为主, 成岩过程中捕获的岩浆水和大气降水在变质热动力驱动下亦进入成矿体系, 成矿流体中的 HS^- 、 Cl^- 等对 Au、Ag 有较强的络合能力, 为金银的迁移创造了有利条件。

根据上述地质事实, 笔者给出了银洞沟—许家坡金银多金属成矿带的成矿模式 (图 5)。从图 5 可以看出, 处于同一矿化带上的银洞沟 Au—Ag—Pb—Zn 矿床和许家坡 Au—Ag—Te 矿床有着相似的矿化历程。大约在中元古代晚期 (1200~1300Ma), 强烈的岛弧期火山喷发—沉积作用, 在近火山机构处形成武当山群挡鱼河组上亚组石英角斑质凝灰岩等, 其后在远离火山机构处形成了

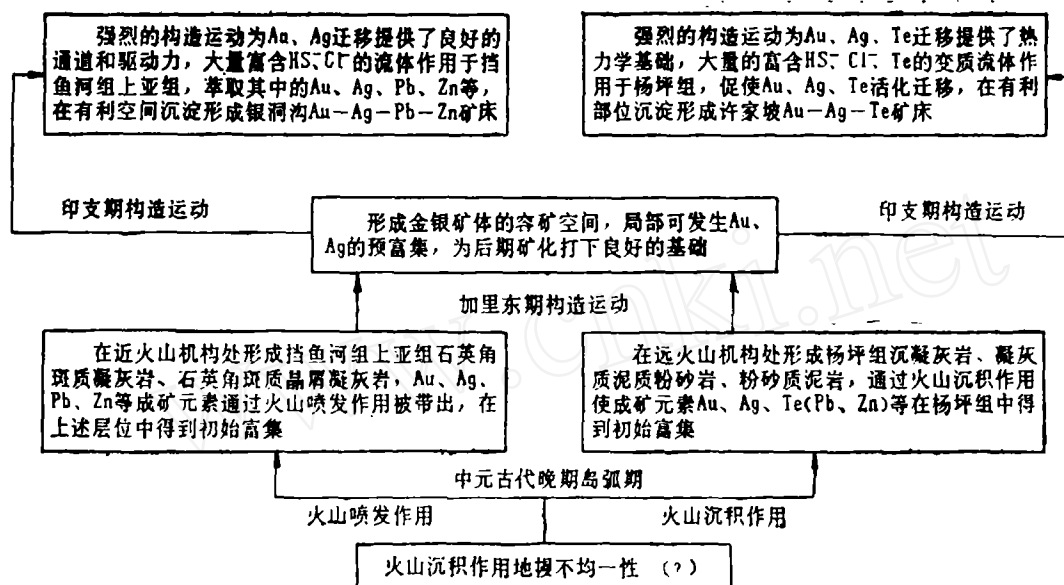


图 5 银洞沟和许家坡矿床成矿模式图解

杨坪组沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩、粉砂质泥岩等。在上述地层形成过程中，Au、Ag、Te、Pb、Zn等极可能已在其中得到初始富集，形成了一潜在有利矿化地层。加里东运动期间，初始富集的Au、Ag得到进一步富集。印支运动是区内最强烈的，对武当山地区金银矿床的形成起到了决定性作用，在大量变质流体的循环作用下，成矿元素Au、Ag、Pb、Zn、Te等同 HS^- 、 $(\text{Cl}^-, \text{HCO}_3^-)$ 等形成稳定络合物，将其从上述地层中萃取出来，在有利的空间（背斜轴部，背斜轴和向斜叠加部位，韧性剪切带中）发生沉淀，形成了重要的银洞沟Au—Ag—Pb—Zn型和许家坡Au—Ag—Te型矿床。

野外工作期间，得到鄂西北地质矿产调查所周骏华总工程师，吴贤奎、王寿琼、罗斌高级工程师，张子才、罗裕祖工程师等的

鼎力协助，深表谢忱。

参 考 文 献

- [1] 涂光炽，黄金，1989，第6期。
- [2] 赵伦山等，《地球化学》，地质出版社，1986年。
- [3] 何知礼，《包体矿物学》，地质出版社，1982年。
- [4] 林传仙等，《矿物及有关化合物热力学数据手册》，科学出版社，1985年。
- [5] Barton, M. D., Econ. Geol., 1980, V. 75, pp.303—316.
- [6] Helgesson, H. C. et al., Econ. Geol., 1968, V. 63, p. 622—635.
- [7] Seward, T. M., Geochemica et Cosmochemica Acta, 1973, V. 37, p. 379—399.
- [8] Weissberg, B. C., Econ. Geol., 1970, V. 65, p. 551—556.
- [9] 涂光炽等，《中国层控矿床地球化学》，第三卷，科学出版社，1988年。
- [10] 魏菊英等，《同位素地球化学》，地质出版社，1988年。
- [11] 张理刚，《稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿》，陕西科学技术出版社，1985年。
- [12] Zartman, R. E., et al., Geochemica et Cosmochemica Acta, 1988, V. 52, p. 1327—1339.

Geological-Geochemical Investigation of the Yindonggou

Xujiapo Au-Ag-multimetal Metallogenic Belt

Wang Dongbo, Zhang Benren,

Ma Zhendong, Huang Dekun, Lin Yuanwen

The geological setting of the Yindonggou, Xujiapo mineralization belt in the northwestern area of Hubei province and the geological features of the Au-Ag-multimetallic deposits are analysed. In addition, the metallogenetic physicochemical conditions, stable isotope geochemical characteristics and the sources of ore-forming materials and solutions for some typical mineral deposits are also discussed. Based upon the discussion we summed up a metallogenic model for the deposits in this district.