

山西支家地银矿地质特征及矿床成因*

李兆龙 张连营 樊秉鸿

唐耀林 马丽华

(冶金部地质研究院, 天津)

(冶金部第三地质勘查局, 太原)

摘 要: 支家地银矿系产于火山岩-次火山岩中, 属浅成中低温热液型银矿床。研究了银矿的地质特征、微量元素、稳定同位素和包裹体地球化学特征, 探讨了成矿的控制因素和物理化学条件及矿床成因, 建立了成矿模式。

主题词: 银矿 次火山岩 同位素地球化学 支家地

支家地银矿床是由冶金部第三地质勘查局新近发现的大型银矿床。在找矿勘探中积累了丰富的地质资料。本文试图通过矿床地质及地球化学特征的研究, 以揭示支家地银矿控制因素和矿床成因。

1 区域地质背景

太白维山破火山口^[1]位于华北地台燕山沉降带和山西台背斜接壤部位的唐河断裂带中, 是中生代火山岩断陷盆地。支家地银矿位于火山岩盆地内的偏北部分。区内出露地层五台群, 为一套中浅变质的碎屑岩、中基性火山岩夹硅铁岩建造, 其次出露部分长城系高于庄组白云岩。火山盆地中主要为侏罗系陆相中酸性火山岩(图1)。

经研究, 太白维山地区为上地幔隆起区。太白维山破火山口受区内发育的北西向和北东向两组断裂构造的控制, 尤其北西向的唐河断裂对太白维山破火山口的发生和发展起着重要的控制作用。

太白维山地区中生代火山岩出露两个组, 即上侏罗统白旗组和张家口组。白旗组主要有英安质火山角砾岩、集块岩, 下部夹有安山岩, 上部夹有英安岩。张家口组为流纹质火山角砾岩、流纹岩、熔结角砾凝灰岩、英安质熔结角砾岩、粗安岩、安粗岩等。两组为一大的喷发旋回, 在岩性上, 从早到晚由中基性→中偏碱性→酸偏碱性演化, 该区火山岩主要为钾质碱性系列。

太白维山破火山口内有四个火山颈相次火山岩体, 与银成矿关系密切。支家地石英斑岩体是其中一个, 岩石化学特点是SiO₂含量高, 平均为74.23%; 碱高, Na₂O和K₂O含量分别为1.6%和6.9%, K>Na; FeO、Fe₂O₃、MgO和CaO含量较低。据Rb-Sr同位素测定, 支家地石英斑岩体成岩年龄为156×10⁶a, 初始⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值为0.7058; 稀土元素的分

* 该文是国家白银基金资助的“山西省支家地银矿地质特征、成矿模式及找矿远景研究”项目的一部分

李兆龙, 男, 53岁, 高级工程师, 室主任, 长期从事金属矿床地质研究。邮政编码: 300061

1992-02-11收稿, 1992-04改回

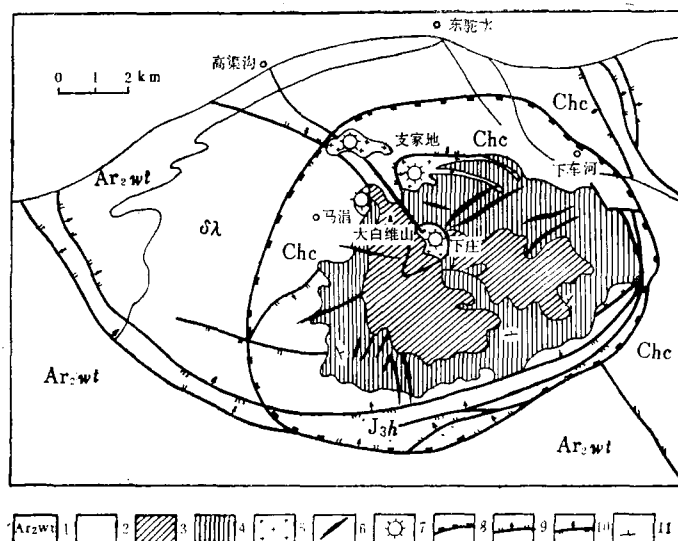


图 1 太白维山破火山口构造示意图

1—五台群；2—长城系(Chc)；3—上侏罗统张家口组；4—上侏罗统白旗组；5—次火山岩；6—岩脉；7—火山口；8—推测破火山口边界；9—正断层；10—逆断层；11—地层产状； $\delta\lambda$ —石英闪长岩； J_3h —侏罗系后城组砂砾岩

Fig. 1. Diagrammatic structural map of the Taibaiweishan caldera.

1—Wutai Group; 2—Changcheng System; 3—Upper Jurassic Zhangjiakou Formation; 3—Upper Jurassic Baiqi Formation; 5—Subvolcanic rock; 6—Dike; 7—Crater; 8—Inferred boundary of Caldera; 9—Normal fault; 10—Reversed fault; 11—Attitude of strata; $\delta\lambda$ —Quartz diorite; J_3h —Sandy conglomerate of Jurassic Houcheng Formation.

布特征为富轻稀土型，Eu 有中等程度亏损，属同熔型次火山岩。但据铅同位素特征，表明壳源物质混入较多，在吴利仁分类中属 MC 型。

2 矿床地质特征

支家地银矿是以银为主，伴生铅、锌的大型银矿床。银矿产于支家地石英斑岩体边部的隐爆角砾岩中，受隐爆角砾岩体及断裂构造控制（图 2）。

隐爆角砾岩体，在平面上，呈透镜状或椭圆状，其长轴北西西向，长约 600 m，短轴长约 150~200 m。在横剖面上为向石英斑岩体倾斜的筒状，筒壁凸凹不平，并有向石英斑岩斜深方向的分叉，延深 650 m。其围岩为石英斑岩、火山集块岩、火山角砾岩和燧石条带状白云岩。

隐爆角砾岩：按成因方式可分为爆破角砾岩、震碎角砾岩、崩塌-震碎角砾岩和贯入角砾岩等四种；按成分可分为碎裂石英斑岩、石英斑岩质角砾岩、多成分角砾岩，并有一定分带现象（图 2）。由于爆破作用的多期性，张家口组火山集块岩、流纹质火山角砾岩在隐爆时又再度爆破，爆破前又存在 F_2 断裂构造破坏，故一些角砾岩具有复成因特点。

隐爆角砾岩多蚀变，绢云母化、碳酸盐化、硅化和黄铁矿化发育。

支家地隐爆角砾岩体主要分布在火山颈相石英斑岩的旁侧，具有浑圆状的砾石，角砾岩热液蚀变发育。其形成机制是在火山口被顶部固结的石英斑岩堵塞情况下，火山活动后期岩浆气液进一步富集，形成富含挥发组分的上升岩浆融熔体，由于岩浆源重新活化时温度增高

促使液态转化为气态, 使体积不断膨胀。由于构造运动或岩浆面下降使裂缝突然张开, 发生爆破, 气体逸出, 岩浆潜在的热能转变为爆发的机械能, 导致爆破角砾岩体的形成。上升的气液震碎或推动岩石碎屑混合、磨擦和运移, 并产生蚀变。

隐爆角砾岩体成为后期含银热液的通道和银矿有利的沉积场所。

2.1 矿体特征

矿区内共圈出 10 条银矿体^①。1~9 号矿体产在石英斑岩质角砾岩和复成分角砾岩中, 10 号矿体赋存在碎裂石英斑岩中。矿体与围岩界线呈渐变关系。

1 号矿体分布于 3~12 线之间, 赋存在 1200 m 标高以上, 呈北西西走向, 倾向南西, 倾角 65°~70°, 长约 400 m, 呈脉状、透镜状产于火山角砾岩体中。矿体中部厚大而富, 厚

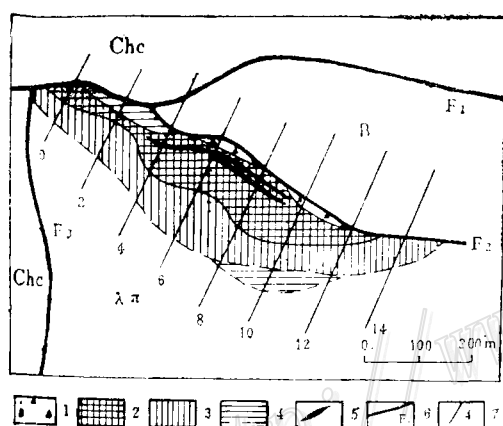


图 2 支家地银矿区隐爆角砾岩筒平面图
λπ—石英斑岩; B—火山集块岩及火山角砾岩;
Chc—含燧石条带白云岩; 1—复成分角砾岩;
2—石英斑岩质角砾岩; 3—碎裂石英斑岩; 4—
崩塌-震碎角砾岩; 5—银矿体; 6—断层; 7—
勘探线

Fig. 2. Plan of cryptoexplosion breccia pipe in the Zhijiadi silver ore district. λπ—Quartz porphyry; B—Volcanic agglomerate and volcanic breccia; Chc—Dolomite with chert bands; 1—polygenetic breccia; 2—Quartz-porphyrific breccia; 3—Cataclastic quartz porphyry; 4—Collapse-shatter breccia; 5—Silver orebody; 6—Fault; 7—Exploration line and its serial number.

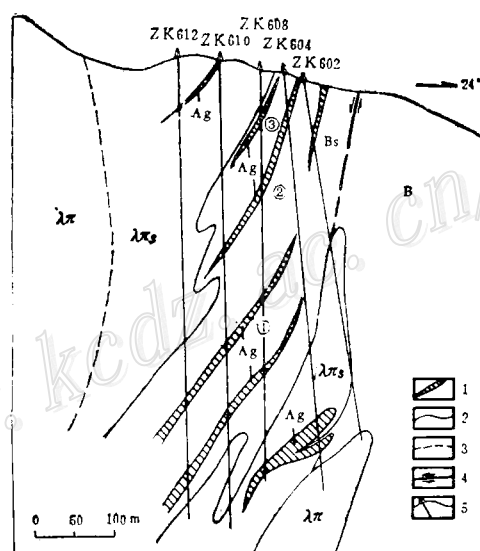


图 3 太白维山支家地银矿区第六勘探线剖面图
λπs—碎裂石英斑岩; Bs—石英斑岩质角砾岩; λπ—石
英斑岩; 1—银矿体; 2—地质界线; 3—推测地质界线;
4—断层; 5—钻孔

Fig. 3. Diagrammatic geological section along No. 6 exploration line of the Zhijiadi silver ore district in Taibaiweishan.

λπs—Cataclastic quartz porphyry; Bs—Quartz-porphyrific breccia; λπ—Quartz porphyry; 1—Silver orebody; 2—Geological boundary; 3—Inferred geological boundary; 4—Fault; 5—Drill hole.

① 冶金部地勘三局 312 队, 1989, 山西省灵邱县支家地银矿区详查地质报告

表 1 支家地银床银矿物的电子探针分析结果
Table 1. Electron microprobe analyses of silver minerals from the Zhijadi silver deposit

样 号	矿物名称	分 析 结 果 (%)													
		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	S	Sb	As	Te	Co	Ni	Bi	C:
Z-33①	辉银矿		87.15	0.23				12.53							
Z-22①	辉银矿		86.87	0.57				12.69							
Z-54①	辉银矿		86.97	0.39				12.58							
Z-69②	辉银矿		87.21	0.15				12.56							
Z-19①	辉银矿		86.74	0.25				12.76							
Z-24①	辉银矿		86.85	0.15				12.69							
Z-16①	辉银矿		86.91	0.08				12.54							
Z-23①	辉银矿		86.77	0.11				12.76							
Z-49①	辉银矿		87.12	0.08				12.65							
Z-61①	辉银矿		86.55	0.06				12.56							
ZY 1155	辉银矿		85.77			1.60									0.07
ZY 1156	辉银矿		82.84	0.50	0.07	0.02		16.06		0.16					
Z-22②	自然银	0.00	99.47	0.09				0.01							
Z-54②	自然银		99.56	0.15											
Z-69②	自然银		99.31	0.11											
Z-19②	自然银		99.46	0.07											
ZY 1146	自然银		97.53	0.13	0.07	0.09	0.02	0.03	0	0.05	0.10				
ZY 1146(1)	辉铜银矿		72.70	12.28	0.30		0.12	14.37	0	0	0.09	0	0.05	0.06	
ZY 1146(2)	辉铜银矿	0.024	71.16	13.00	0.47		0.08	14.86	0	0	0.14	0.05	0.04	0.17	
ZY 1146(3)	辉铜银矿		72.63	11.20	0.12		0.19	15.71	0	0	0.10	0.01		0.03	
ZY 1146(4)	辉铜银矿		76.37	9.98				13.95							
Z-22③	马硫铜银矿		61.01	23.51				15.06							
ZY 1146(5)	含铜辉银矿		80.85	6.34		0.02	0.03	14.20		0.05	0	0			0
选 2 ②	银黝铜矿		25.13	20.56		3.24		23.91	24.79						
Z-33③	硫铜银矿		68.80	5.67			0.24	15.23	8.36	0.52					
选 1 ②	硫铜银矿		76.05	5.67				12.20	6.39						
Z-22④	硫银铁矿		33.72				35.61	30.01							
ZY 1150-2	未知矿物	0.05	61.27	0.06			17.37	20.34		0.05	0.03	0.01			

扫描电镜能谱测定承做单位: ①湖南省地质研究所实验室; ②北京矿产研究所, 其余为冶金部天津地质研究院, () 括号内为样数

大部分向北西侧伏, 平均厚度 15m, 头部及尾部呈延向相同的分枝状。倾斜延深约 300m。为富银矿体(图 3)。

应提及的是在 6 线、9 线深部发现矿体厚大部位, 个别样品含银高达 $\times\times 00\text{g/t}$, 大于 1000g/t 的样品有 10 个, 揭示了银矿体的厚大和集中。

10 号矿体分布于 4~12 线之间碎裂石英斑岩中, 控制长度 200m, 倾斜延深 100m, 矿体平均厚度约 15m, 银品位平均 150g/t 。

2.2 银矿床矿石的矿物组成

支家地银矿床主要金属矿物有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及微量蓝辉铜矿。银矿物以自然银、辉银矿为主, 其次有辉铜银矿、马硫铜银矿、含铜辉银矿、银黝铜矿、硫锑铜银矿、硫银铁矿等。银矿物电子探针分析结果列于表 1。表生金属矿物有褐铁矿、铅矾、软锰矿、硬锰矿等。脉石矿物主要有石英、斜长石、钾长石、方解石、铁菱锰矿和含铁菱锰矿、绿泥石、叶腊石、粘土矿物、绢云母等。

2.3 矿石结构构造、矿石类型及成矿阶段划分

经研究, 矿石的结构主要发育有: 黄铁矿的自形一半自形粒状结构, 方铅矿、闪锌矿、黄铜矿的他形粒状结构, 黄铜矿在闪锌矿中呈乳滴状、叶片状结构, 黄铁矿的碎裂结构, 早期黄铁矿被黄铜矿、方铅矿、闪锌矿交代成港湾状、孤岛状等结构。

矿石的主要构造有: 稀疏浸染状构造、细脉-浸染状构造、角砾状构造和网脉状构造。银高品位呈网脉状富矿石。

根据矿石的矿物组成和结构构造, 将矿石分为如下类型, 稀疏浸染状矿石、角砾状矿石、细脉-网脉状矿石和网脉状矿石四种。

根据矿石金属矿物、脉石矿物组合及生成温度, 将支家地银矿床成矿期次划分为: 热液成矿期和表生期。其热液成矿期又划分为三个成矿阶段: I、黄铁矿阶段($250\sim 335^\circ\text{C}$); II、银多金属硫化物阶段($180\sim 250^\circ\text{C}$); III、银多金属硫化物-碳酸盐阶段($130\sim 240^\circ\text{C}$)。

支家地银矿床矿物生成顺序和成矿阶段划分列于表 2。

2.4 围岩蚀变与成矿的关系

该银矿床围岩蚀变现象普遍且较强烈, 主要有绢云母化、黄铁矿化、叶腊石化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化和泥化。

绢云母化是成矿前大面积的蚀变作用。这是成矿前的一次较广泛的碱性热液活动, 碱水交代作用。黄铁矿化在隐爆角砾岩带内发育, 黄铁矿呈细粒浸染在石英斑岩质角砾岩和复成分角砾岩中, 它为矿带和近矿的指示标志。碳酸盐化, 主要是铁锰碳酸盐化, 部分为方解石化, 其与银矿关系密切, 交代赋矿岩石, 并与闪锌矿、方铅矿、银矿物一起组成银多金属硫化物-铁菱锰矿细脉。在围岩中发育以方解石为主。硅化作用与银、铅、锌矿化作用关系密切, 矿化地段硅化强烈。硅化常沿火山角砾岩的边部分布, 石英垂直角砾生长, 形成粗粒梳状石英边。与银矿化作用密切相关的蚀变作用, 还有“泥化作用”, 在矿化部位及其附近, 主要为伊利石-高岭石-方解石-石英-黄铁矿组合。

支家地银矿围岩蚀变在平面上有分带性。自矿体向外依次为碳酸盐化、硅化-绿泥石化、黄铁矿化、泥化-绢云母化。与成矿关系密切的是碳酸盐化、黄铁矿化、硅化和绢云母化。

表 2 支家地银矿矿物生成顺序表
Table 2. Formation sequence of minerals in the Zhijiadi silver deposit

矿 物	热 液 成 矿 期			表 生 期
	I 黄铁矿阶段	II 银、多金属硫化物阶段	III 银、多金属硫化物碳酸盐阶段	
黄铁矿 I				
黄铁矿 II				
闪锌矿				
方铅矿				
黄铜矿				
兰辉铜矿				
自然银				
辉银矿				
辉铜银矿				
马硫铜银矿				
含铜辉银矿				
银黝铜矿				
硫锑铜银矿				
硫银铁矿				
褐铁矿				
铅矾				
软锰矿				
硬锰矿				
铁菱锰矿				
方解石				
石英				
绿泥石				
叶腊石				
高岭石				
绢云母				

3 银矿床地球化学特征及成因

3.1 微量元素分布特征

测定了矿区各类岩石、矿石和单矿物中的微量元素 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Mo、Se、Te、Sr、Ba、Ni、Co、As、Sb、Bi、Rb、Hg 和 Mn。矿化碎裂石英斑岩、矿化石英斑岩质角砾岩，Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Mo、As、Bi 和 Sb 含量明显增高；Ag/Au、Ba/Sr 比值升高。该区火山岩-次火山岩的 Co/Ni 比值为 0.33~4，主要为 1~4；矿化碎裂石英斑岩 Co 含量为 3×10^{-6} ~ 60×10^{-6} ，Ni 含量为 3×10^{-6} ~ 12×10^{-6} ，Ag/Au 比值为 7611。而石英斑岩 Co、Ni 含量分别为 3×10^{-6} ~ 30×10^{-6} 和 2×10^{-6} ~ 16×10^{-6} ，Ag/Au 比值为 810。

黄铁矿较其它硫化物富 Co、Ni。支家地银矿床黄铁矿 Co、Ni 平均含量分别为 36×10^{-6} 和 24×10^{-6} 。方铅矿、闪锌矿的 Co、Ni 平均含量分别为 5×10^{-6} 和 5.5×10^{-6} 。

关于黄铁矿的 Co/Ni 比值，前人已进行过深入研究，可作为矿床成因的地球化学标志。1972 年 Price 指出^[3]，沉积形成的黄铁矿通常 Co、Ni 含量低，并主要是 Co/Ni 比值低（平均值 0.63）。热液脉状黄铁矿显示 Co、Ni 含量及 Co/Ni 比值高且变化大，Co/Ni 平均值约为 1.17，并且单一矿床的平均值一般小于 5。火山喷气矿床，黄铁矿 Co/Ni 比值界于 5~50 间，Co 通常大于 100×10^{-6} ，Ni 通常小于 100×10^{-6} 。支家地银矿黄铁矿 Co、Ni 含量及 Co/Ni

比值表现了热液脉状黄铁矿的特征, Co/Ni 比值为 0.94~3.2, 平均为 1.7。

3.2 稳定同位素特征

(1) 硫同位素特征: 表 3 列出了支家地银矿硫同位素组成, 图 4 显示了 $\delta^{34}\text{S}$ 的分布特征。从中可以看出, 矿床中硫同位素组成明显富集 ^{34}S , $\delta^{34}\text{S}$ 均为正值, 总的分布范围为

表 3 支家地银矿 1 号矿体硫同位素组成
Table 3. Sulfur isotopic composition of No.1 orebody
in the Zhijadi silver deposit

样号	测试矿物	采样位置	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	样号	测试矿物	采样位置	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
T-8	黄铁矿	矿化角砾凝灰岩	4.5	Z-41	方铅矿	ZK802孔方铅矿脉	1.7
T-9	黄铁矿	细脉状矿化角砾凝灰岩	3.9 3.5	Z-54	方铅矿	方铅矿闪锌矿细脉	2.8 0.6
T-46	黄铁矿	浸染状矿化石英斑岩	3.1 9.6	Z-69	方铅矿	方铅矿闪锌矿矿石	5.2 3.1
平均变			4.92	平均变			2.56
化范围			3.1~9.6	化范围			0.6~5.2
T-8	方铅矿	矿化角砾凝灰岩	1.7	Z-39	闪锌矿	硫化物菱铁锰矿脉	4.1
T-9	方铅矿	细脉状矿化角砾凝灰岩	2.9 1.3	Z-54	闪锌矿	方铅矿闪锌矿细脉	4.4 3.5
T-46	方铅矿	浸染状矿化石英斑岩	3.7 0.7	Z-55	闪锌矿	硫化物细脉	5.3
Z-2	方铅矿	ZK 804 的 237 m 处	3.1	Z-69	闪锌矿	方铅矿闪锌矿矿石	5.0 2.7
Z-18	方铅矿	ZK 804 的 238 m 处细脉状矿石	4.6	平均变			4.17
Z-38	方铅矿	ZK 401 孔 147 m 处块状矿石	1.9	化范围			2.7~5.3

+0.6‰~+9.6‰, 平均为 3.45‰, 塔式效应明显。黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 的变化范围较大, 从 3.1‰~9.6‰, 平均值为 4.92‰, 闪锌矿、方铅矿的平均值分别为 4.17‰和 2.56‰。表现为按黄铁矿(4.92‰)→闪锌矿(4.17‰)→方铅矿(2.56‰)的顺序减小, 表明硫化物为同一硫源, 同一热液体系中沉淀的产物。在 0.62‰~5.3‰形成塔式分布, 是内生来源的特征。

由共生硫化物对硫同位素组成, 计算了硫同位素平衡温度。黄铁矿、方铅矿组合形成较早, 生成温度较高为 325~284℃。闪锌矿、方铅矿组合形成较晚, 生成温度较低, 为 163~224℃, 这是银矿物沉淀的主要阶段(表 4), 与包体测温数据一致。用黄铁矿、方铅矿对高温外推法计算的成矿热液总硫 $\delta^{34}\text{S}$ 值接近零。这仅是一种尝试。

(2) 铅同位素特征: 为研究成矿物质的来源, 做了铅同位素测定。测定了支家地银矿的矿石铅和与成矿有密切关联的石英斑岩、高于庄组白云岩的岩石铅, 共 11 个样品。

支家地银矿矿石铅同位素组成相对稳定, 变化范围小(表 5)。计算的源区特征值 $\mu=8.53\sim 8.85$, 平均 8.64; $\omega=35.72\sim 39.03$, 平均为 36.81; Th/U 变化为 4.04~4.27, 平均 4.12。将铅同位素数据投在 R E Zartman 构造铅演化图^[4]上, 主要落在下地壳铅同位素演化曲线附近及下地壳铅和地幔铅同位素演化曲线间(图 5), 表示了铅主要来源于下地壳并有地幔铅混入。

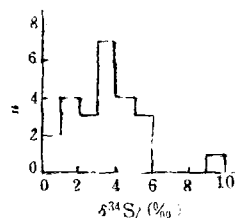


图 4 支家地银矿床硫同位素组成图

Fig. 4. Histogram showing sulfur isotopic composition of the Zhijadi silver deposit.

表 4 支家地银矿床中共生硫化物的硫同位素平衡温度

Table 4. Sulfur isotope equilibrium temperatures of sulfide pairs from the Zhijiadi silver deposit

样号	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)			1000 $\ln\alpha$	平均温度 (°C)
	黄铁矿	闪锌矿	方铅矿		
T-8	4.5		1.5	3	284
T-9	3.9		1.3	2.6	325
Z-15		3.5	0.6	2.9	163
Z-69		5.0	3.1	1.9	244

其中黄铁矿-方铅矿对采用 $1000 \ln\alpha = 9.3 \times 10^5 T^{-2}$ (拉伊, 1974); 闪锌矿-方铅矿对采用 $1000 \ln\alpha = 6.6 \times 10^5 T^{-2} - 0.57$ (格鲁特博等人, 1969) 计算平衡温度

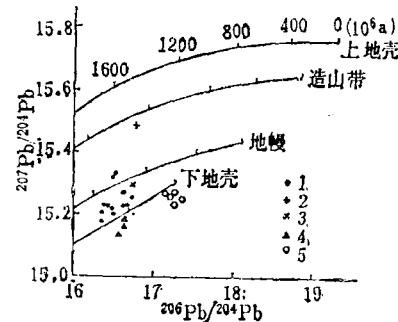


图 5 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

1—支家地银矿; 2—石英斑岩; 3—高于庄组白云岩; 4—后所银金矿; 5—耿庄金矿

Fig. 5. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram.

1—Zhijiadi silver deposit; 2—Quartz porphyry; 3—Dolomite of Gaoyuzhuang Formation; 4—Housuo silver-gold deposit; 5—Gengzhuang gold deposit.

表 5 山西支家地银矿铅同位素组成及铅源区特征值

Table 5. Lead isotopic composition and characteristic values of lead provenance of the Zhijiadi silver deposit

序号	样号	样品名称	样品位置	铅同位素组成			模式年龄 (10 ⁶ a)	源区特征值		
				$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$		μ	ω	Th/U
1	Z-41	方铅矿	1号矿体, 含银方铅矿脉	16.5844	15.1892	36.6348	1090	8.54	35.92	4.05
2	T-46	方铅矿	1号矿体, 矿化石英斑岩	16.6161	15.2266	36.6430	1033	8.58	35.82	4.04
3	T-8	黄铁矿	1号矿体, 矿化复成分角砾岩	16.5896	15.3525	36.9980	1184	8.85	39.03	4.27
4	Z-38	方铅矿	1号矿体, 方铅矿块状矿石	16.6173	15.2121	36.8295	1071	8.65	37.12	4.16
5	T-9	黄铁矿	1号矿体, 矿化复成分角砾岩	16.5530	15.3273	36.9145	1185	8.79	38.72	4.27
6	Z-2	方铅矿	1号矿体, 矿化石英斑岩质角砾岩	16.4394	15.1872	36.4601	1120	8.53	35.72	4.06
7	Z-54	方铅矿	1号矿体, 细脉浸染状矿化	16.5124	15.2334	36.6176	1116	8.61	36.49	4.11
8	Z-69	方铅矿	ZK806孔, 方铅矿-闪锌矿矿石	16.5099	15.2402	36.5949	1125	8.63	36.45	4.09
9	Z-18	方铅矿	ZK804孔, 细脉-浸染状矿石	16.4761	15.2149	36.5182	1123	8.58	36.04	4.07
10	T-3	石英斑岩	矿区内	16.9848	15.5002	36.5475	1059	9.06	35.59	3.81
11	T-44	白云岩	高于庄组白云岩	19.8616	15.3179	36.9934	954	8.72	36.81	4.09

天津地质研究院同位素地质室测定

矿区内石英斑岩的铅同位素组成与矿石铅不同, 其铀铅较高, 钍铅较低, 更接近于造山带铅同位素演化曲线。

高于庄组白云岩铅同位素组成及源区特征值与矿石铅相似, 表示二者铅的同源性。

铅同位素同其它地质体一样, 是地质事件中的一分子, 有它的产生、发展过程, 有它本身的演化历史。计算了单阶段铅模式年龄, 主要在 9.5~11 亿年, 明显老于石英斑岩及银矿生成年龄。可能为源区年龄。

(3) 碳、氧同位素特征: 支家地银矿碳酸盐矿物、硫化物和银矿物密切共生, 并组成细

脉浸染状矿石。其碳氧同位素组成特点为, 铁菱锰矿的碳氧同位素组成基本相同。 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-5.51\text{‰} \sim -4.31\text{‰}$ 间变化, 差异小, 平均为 -4.9‰ , 为深源岩浆碳酸盐型的上限, 海水碳酸盐的下限。碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ 在 $13.519\text{‰} \sim 15.954\text{‰}$ 间变化, 平均为 14.527‰ , 属花岗岩质的较大值, 考虑到碳酸盐的存在, 成矿热液可能与其有碳氧微量交换及部分大气水的加入, 使铁菱锰矿略富含 ^{13}C 和 ^{18}O 。表明了它们的内生热液成因和碳酸盐混入特点。

(4) 氢氧同位素: 测定了支家地银矿床闪锌矿碳酸盐脉中铁菱锰矿的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值, 从而计算出包体水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 5.47\text{‰}$, 测得 $\delta\text{D} = -83\text{‰}$ 。可以看出热液的氢氧同位素具岩浆热液特征。数据少仅供参考。

3.3 包裹体特征

研究了矿石中闪锌矿、石英、碳酸盐矿物的包裹体。室温下可分为四种包裹体类型, 即气相包体、纯 CO_2 包体、含液态 CO_2 包体和液体气体。其主要为液态包体。

支家地银矿气液包体均一温度范围为 $130 \sim 335^\circ\text{C}$ 。有两个成矿区间: 一是 $130 \sim 240^\circ\text{C}$; 另一区间是 $250 \sim 335^\circ\text{C}$ 。主要成矿温度在 $130 \sim 240^\circ\text{C}$ 间, 与硫同位素平衡温度相近。

分析了形成于热液期第 II 阶段闪锌矿、铁菱锰矿气液包裹体的成分, 计算了有关成矿参数, 其形成温度为 $250 \sim 300^\circ\text{C}$, 成矿压力 $180 \times 10^5 \text{Pa}$, 低盐度 0.97% , 矿化度为 42.4g/t , $\text{pH} = 7.57$, $\text{Eh} = -0.77$, $\text{Na}^+/\text{K}^+ = 0.94$, $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 1.54$, $\text{F}^-/\text{Cl}^- = 1.95$ 。从包裹体资料看出, 支家地银矿属浅成中低温热液矿床, 成矿热液主要和岩浆有关, 也有地层热液的混入, 成矿在弱碱性、还原条件下进行。

3.4 矿床成因及成矿模式

根据上述支家地银矿床地质特征、微量元素、稳定同位素及包裹体地球化学研究, 矿床形成主要有两个阶段:

① 火山活动形成火山岩及火山机构, 太白山破火山口在中生代侏罗纪形成。火山活动初期下部岩浆上侵, 形成穹隆和张性断裂, 岩浆沿断裂、裂隙喷发到地表形成火山岩。下部物质喷发后, 压力减小, 产生地堑式下陷, 形成一系列线状及环状构造。火山活动晚期, 在破火山口的侧火山口内, 由于石英斑岩的侵入将火山通道堵塞, 其地下气液聚集, 压力再次加大, 在石英斑岩旁的爆破角砾岩带成为矿液的良好通道和有利的储矿场所。

② 破火山口深部岩浆的存在和上升, 产生热效应, 使火山期后作成矿热液和地层水产生环流, 在基底地层及火山岩中溶解 Ag 、 Pb 、 Zn 等元素, 使成为富银矿热液。在近地表条件下, 在角砾岩带和裂隙带成矿流体温度和压力降低产生沸腾, 矿质迅速沉淀, 富集成矿, 形成细粒中低温矿物组合。支家地银矿为与中生代侏罗纪火山-次火山作用有关的浅成中低

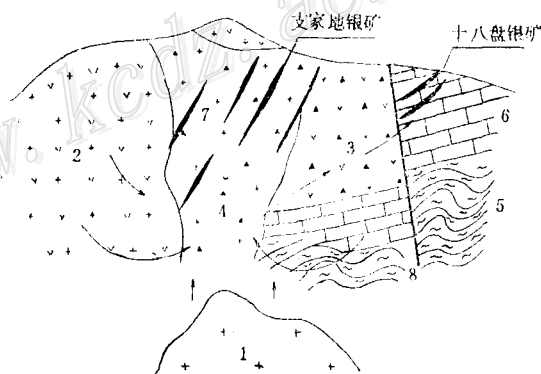


图 6 支家地银矿成矿模式图

1—隐伏岩体; 2—石英斑岩; 3—火山岩; 4—隐伏角砾岩; 5—五台群变质岩; 6—白云岩; 7—银矿体; 8—断层;

Fig. 6. Metallogenic model of the Zhijiadi silver deposit.

1—Concealed rock body; 2—Quartz porphyry; 3—Volcanic rock; 4—Concealed breccia; 5—Metamorphic rock of Wutai Group; 6—Dolomite; 7—Silver orebody; 8—Fault.

温热液银矿床。山西支家地银矿形成的理想模式见图6。

工作中,承蒙冶金部第三地质勘查局支持和大力帮助,谨致谢意。

参 考 文 献

- 1 王枝堂.灵丘太白维山侏罗统破火山口.山西地质,1989,(4)
- 2 张维根.山西省耿庄金银矿区隐爆角砾岩研究.岩石学报,1988,(3)
- 3 Price B G. Minor elements in pyrite from the Smithers map area, B. G. and applications of minor elements studies. Thesis of Univ. of British Columbia, 1972, 270
- 4 Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics: the model. Tectonophysics, 1981, 15: 135~162

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE ZHIJIADI SILVER DEPOSIT, SHANXI PROVINCE

Li Zhaolong, Zhang Lianying and Fan Binghong

(Tianjin Institute of Geology, Ministry of Metallurgical Industry, Tianjin)

Tang Yaolin and Ma Lihua

(No. 3 Geological Exploration Bureau, Ministry of Metallurgical Industry,
Taiyuan, Shanxi Province)

Abstract

The Zhijiadi silver deposit is a large-sized deposit present in the crypto-explosive breccia rimming the neck facies quartz porphyry, with orebodies in veinlike and lenticular forms. Silver minerals are mainly native silver and argentite, making up disseminated and brecciated ores. The ore-forming process might be divided into three stages, with strong wall rock alteration. Minor element geochemistry of rocks and sulfides suggests that the ore-forming fluids are endogenic hydrothermal solutions, and stable isotope studies reveal the enrichment of ^{34}S which shows relatively small positive values and obvious tower effect. Ore lead and dolomite lead (Changcheng System) have similar and relatively stable composition, implying that they might both have been derived from the lower crust with the entry of some mantle materials. Carbon and oxygen isotopic composition exhibits the feature of magmatic hydrothermal solutions. Inclusion thermometry gives ore-forming temperatures of $130\sim 335^{\circ}\text{C}$; salinity is 0.97%. It is considered that the Zhijiadi silver deposit is a shallow-seated mesothermal-epithermal deposit related to volcanic-subvolcanic rocks. A metallogenic model has been established in this paper.