

# 晋东北地区中生代<sup>①</sup> 次火山岩及金银成矿作用地球化学

李兆龙 张连营

(冶金部天津地质研究院,天津,300061)

骆华宝

(冶金部地质总局)

**提 要** 晋东北地区是金银矿床成矿有利地区,本文通过该区次火山岩 Rb-Sr 同位素及次火山岩和金银矿的稳定同位素研究,揭示了次火山岩和金银矿的生成时代及它们成因的内在联系,并指出了找矿标志。

**关键词** 次火山岩 金银矿床 地球化学

## 1 地质概况

山西东北部地区是中生代火山岩和次火山岩发育的地区,它处于燕山火山岩带西南端,主要分布在山西省东北部的浑源、灵丘、广灵等地。火山岩盆地明显受 NE 和 NW 向两组断裂的控制,在火山岩盆地中发育了一套中生代陆相火山-沉积建造和次火山岩体的侵入。该区金银矿床与次火山岩体密切相关。

区内大面积出露五台群地层和五台期似片麻状奥长花岗岩-英云闪长岩。其北侧分布着长城系高于庄组砂岩、白云岩,寒武奥陶系砂页岩、灰岩、白云岩等。

次火山岩分布于火山机构的环状、放射状等断裂或火山通道内,形态为岩枝、岩脉状或筒状。次火山相岩石系列形成深度较浅。其岩性主要为中酸性-酸性岩石,由正长闪长岩-花岗闪长岩-石英二长岩-花岗斑岩-石英斑岩组成。并常伴随(隐蔽)爆破作用,形成次火山岩的爆破角砾岩。区内与次火山岩有关金银矿有:支家地银矿赋存在石英斑岩隐爆角砾岩筒中;耿庄金矿赋存在花岗斑岩爆破角砾岩筒中或其附近;刁泉铜金银矿赋存在刁泉复式岩体与寒武奥陶系大理岩的接触带内,义兴寨金矿在石英斑岩、花岗斑岩体旁。

金银矿床内金属矿物为中低温矿物组合,主要为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿,金银矿物有银金矿、自然金、自然银、金银矿、辉银矿、碲银矿、辉铜银矿、银黝铜矿、角银矿、深

<sup>①</sup> 收稿日期 1994.1 改回日期 1995.1

红银矿等。主要脉石矿物有石英、绢云母、方解石、菱锰矿、重晶石等及接触带内的矽卡岩矿物。

## 2 次火山岩体铷锶同位素组成特征及成岩时代

工作中测定了支家地、刁泉、枪头岭、小彦岩体的 Rb、Sr 同位素样品。其测定结果如表 1 所示。

表 1 刁泉、小彦-枪头岭岩体 Rb-Sr 等时线年龄测定结果  
Table 1 Rb-Sr isochron for Diaquan and Xiaoyan-qiantou intrusives

序号	样品	样品名称	样品位置	$^{87}\text{Rb}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	$^{86}\text{Sr}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
1	D1	黑云母石英二长岩	刁泉北西环	0.52781	0.57326	0.92072	0.707927
2	D46	花岗斑岩	刁泉村西	0.58859	0.07452	7.89842	0.724285
3	D88	花岗斑岩	刁泉村西	0.53421	0.05389	9.91297	0.724616
4	D4	花岗斑岩	刁泉村西	0.73893	0.05847	12.63776	0.722940
5	D5	石英斑岩	刁泉	0.76133	0.04013	18.97159	0.744336
6	D17	黑云母石英二长岩	对子峪西	0.39666	1.20384	0.32950	0.706538
7	D22	辉石石英二长闪长岩	枪头岭	0.27191	1.26116	0.21560	0.706493
8	D19	黑云母石英二长岩	对子峪西	0.40945	0.87135	0.46990	0.706891
9	D61	花岗斑岩	小彦	0.44464	0.26370	1.68616	0.708841
10	D65	花岗斑岩	小彦	0.33589	0.04930	6.76633	0.718636

天津地质研究院同位素室测定

采用 Rb-Sr 全岩等时线法,按最小二乘法计算等时线年龄,并采用  $\lambda_{^{87}\text{Rb}} = 1.42 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$  的常数,求得刁泉岩体的等时线年龄为  $130.9 \pm 1.4 \text{Ma}$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.70607 \pm 0.00004$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  与  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Rb}$  比值的相关系数为 0.985,等时线斜率 = 0.00186(图 1)。小彦-枪头岭岩体的等时线年龄为  $130.6 \pm 1.9 \text{Ma}$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.70633 \pm 0.00004$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  与  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Rb}$  比值的相关系数为 0.999,等时线斜率为 0.00185(图 2)。与支家地银矿成生有关的石英斑岩,其 Rb-Sr 同位素测定表明,Rb-Sr 等时线年龄为  $156.03 \text{Ma}$ ,锶的初始比值  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.7058$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  与  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Rb}$  比值的相关系数为 0.997。据林建阳(1992)资料,耿庄金矿花岗斑岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $167.4 \text{Ma}$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.7065$ 。

岩石的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  初始比值是岩石成因或物质来源的良好指示。该区与金银矿有关的次火山岩  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  初始比值在 0.7058~0.7065 间,略高于上地幔平均值,而低于地壳锶同位素平均增长值,与同熔型花岗岩(0.705~0.709,徐克勤等,1982)比较一致。表明次火山岩体属幔壳混源型。岩体形成年龄在 130.6~167.4Ma 间,为燕山早中期产物。与其有关的金银矿床,形成时代同时或稍晚。

### 3 稳定同位素组成特征及成矿物质来源

#### 3.1 铅同位素组成特征

在晋东北地区的浅成中低温热液金银矿床研究中,测定了耿庄金矿、支家地银矿、刁泉铜金银矿等矿床的矿石铅同位素组成,同时测定了与成矿作用有关的次火山岩和围岩高于庄组灰岩、寒武奥陶系灰岩的岩石铅同位素组成。刁泉铜金银矿、支家地银矿的部分测试结果及次火山岩体和变质岩全岩铅的组成如表 2 图 3 所示。总体看刁泉矿石铅同位素组成相对稳定,

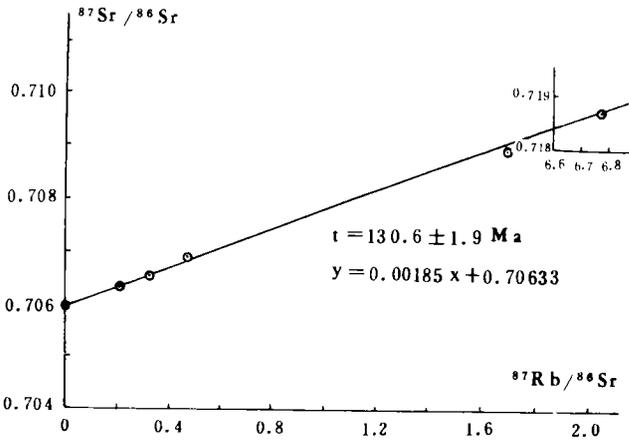


图 2 小彦-枪头岭岩体全岩 Rb-Sr 等时线图解

Fig. 2 Rb-Sr isochron of whole rock for Xiaoyan-qiangtuo intrusive

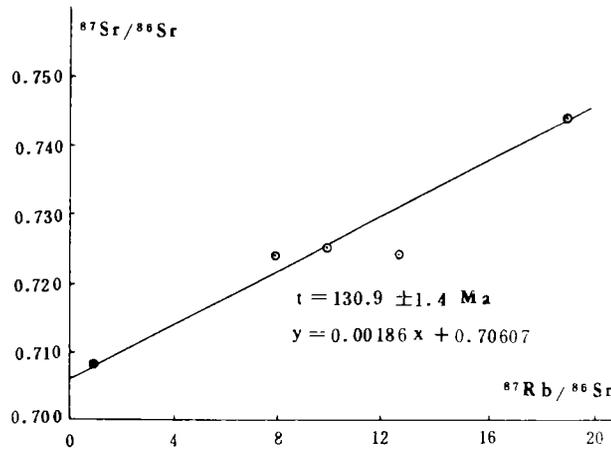


图 1 刁泉岩体全岩 Rb-Sr 等时线图解

Fig. 1 Rb-Sr isochron of whole rock for Diaquan intrusive

变化范围小, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 16.692~17.068,平均值为 16.843, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.181~15.280,平均值为 15.229, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 36.785~37.394,平均值为 36.968。矿石铅源区特征值  $\mu$ 、 $\omega$ 、Th/U 的平均值分别为 8.5、35.9 和 4.1。其与支家地银矿相比,支家地银矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  在 16.439~16.617 间变化,平均值为 16.544,较刁泉铜金银矿偏低。支家地银矿特征值  $\mu$ 、 $\omega$ 、Th/U 的平均值分别为 8.6、36.8 和 4.1。两矿区矿石铅同位素组成相似。

耿庄金矿矿石铅同位素组成特征与刁泉、支家地银矿不同,而与花岗斑

岩的岩石铅相似,同属异常铅。在 Doe, B. R. 和 Zartman, R. E. 构造铅模式图上均落在下地壳铅同位素演化曲线的右侧异常铅范围(图 3)。在构造铅模式图上(图 3),刁泉铜金银矿、支家地银矿均落在下地壳铅同位素演化曲线附近及地幔铅演化曲线间,与黑云母石英二长岩、花岗斑岩铅同位素组成相似,表明了刁泉铜金银矿、支家地银矿与黑云母石英二长岩的亲缘关系。与黑云母石英二长岩的 Rb-Sr 同位素特征、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  的初始比值所示的结果相同,岩石属壳幔同熔型,成岩成矿物质为壳幔混合源。

表 2 晋东北地区次火山岩及金银矿的铅同位素组成

Table 2 Pb-isotope composition of sub-volcanics and gold, silver deposits in the Northeast Shanxi Province

序号	样品号	样品名称	采样位置	铅同位素组成			模式年龄 (Ma)	源区特征值		
				<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb		μ	ω	Th/U
1	D-17	石英二长岩	对子峪西	16.988	15.256	36.973	788	8.6	35.2	4.0
2	D-22	辉石二长岩	枪头岭村西	15.944	14.668	34.827	905	7.6	25.9	3.3
3	D-67	花岗斑岩	小彦山脊处	16.920	15.239	36.887	924	8.7	36.0	4.0
4	D-1	黑云母石英二长岩	刁泉 1770 坑口西	17.194	15.293	37.383	684	8.6	36.3	4.1
5	D-3	黑云母石英二长岩	刁泉 44 线北	16.901	15.218	37.113	815	8.5	36.1	4.1
6	D-89	黑云母石英二长岩	刁泉 1770 中段 54 川	16.938	15.242	37.136	815	8.6	36.2	4.1
7	D-4	花岗斑岩	刁泉矿区	17.408	15.328	37.584	567	8.7	36.2	4.0
8	D-50	辉长岩	刁泉 ES 环	17.179	15.321	37.373	728	8.7	36.6	4.1
9	D-14	厚层大理岩	刁泉 NW 部, O <sub>1</sub>	18.343	15.598	38.419	210	9.1	36.9	3.9
10	D-23	灰色大理岩	刁泉 ES 环外, C <sub>3</sub>	18.184	15.672	38.299	412	9.3	38.1	4.0
11	D-69	凝灰岩	刁泉矿区 SW 部	17.709	15.492	37.956	546	9.0	37.1	4.1
12	D-36	黄铁矿	刁泉矿区	16.917	15.264	37.057	855	8.6	36.2	4.1
13	D-96	黄铁矿	刁泉矿区	16.967	15.255	37.012	807	8.6	35.6	4.0
14	BO43	黄铁矿	刁泉矿区	16.912	15.220	36.873	809	8.5	34.9	4.0
15	BO26	黄铁矿	刁泉矿区	17.068	15.251	37.393	729	8.7	36.7	4.1
16	Z-41	方铅矿	支家地	16.584	15.189	36.635	1090	8.5	35.9	4.1
17	T-16	方铅矿	支家地	16.616	15.227	36.643	1033	8.6	35.8	4.0
18	T-8	黄铁矿	支家地	16.590	15.353	36.998	1184	8.9	39.0	4.3
19	Z-38	方铅矿	支家地	16.617	15.212	36.836	1071	8.7	37.1	4.2
20	T-9	黄铁矿	支家地	16.553	15.327	36.915	1185	8.8	38.7	4.3
21	Z-2	方铅矿	支家地	16.439	15.187	36.460	1120	8.5	35.7	4.1
22	Z-52	方铅矿	支家地	16.512	15.233	36.618	1116	8.6	36.5	4.1
23	Z-69	方铅矿	支家地	16.510	15.240	36.595	1125	8.6	36.5	4.1
24	Z-18	方铅矿	支家地	16.476	15.215	36.518	1123	8.6	36.0	4.1
25	T-3	石英斑岩	支家地	16.985	15.500	36.548	1059	9.1	35.6	3.8
26	T-11	白云岩	高于庄组	16.862	15.318	36.993	954	8.7	36.8	4.1

天津地质研究院同位素地质室测定

寒武奥陶系大理岩的岩石铅同位素组成明显高于矿石铅同位素组成,具上地壳铅同位素特征,二者无明显继承演化关系。

### 3.2 硫同位素组成特征

本文测试硫同位素数据 37 个,资料数据 91 个,共 128 个。区内火山岩型银金矿床金属矿物黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿和方铅矿等的硫同位素组成主要特征如下。

(1) δ<sup>34</sup>S 值的分布范围为 -0.8‰ ~ +9.6‰,绝大多数为小正值(表 3),塔式分布明显(图 4)。其算术平均值在 +3.23‰ ~ +3.85‰ 间,稍富集 <sup>34</sup>S。为内生岩浆热液矿床特征。

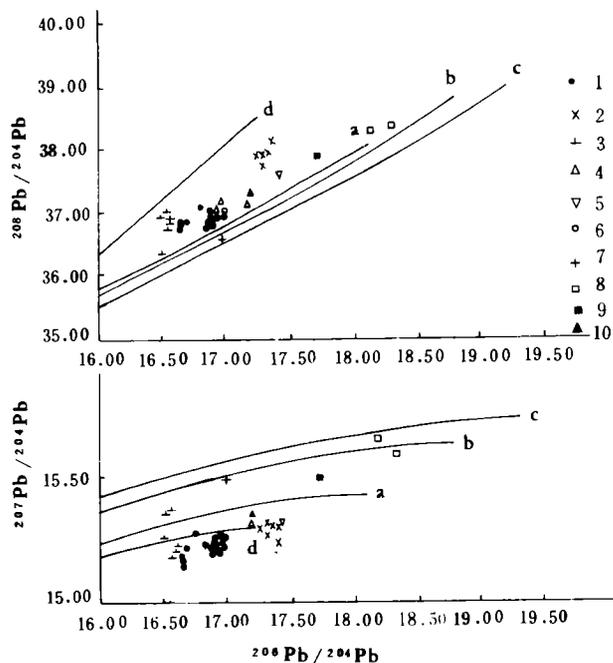
(2) 据林建阳(1992)研究,该区次火山岩金矿,硫同位素达到了平衡,用硫化物矿物对求得

本区  $\delta^{34}\text{S}_{\text{ss}}$  值在 1.8‰~3.39‰ 间。

表 3 晋北火山岩型金银矿  $\delta^{34}\text{S}$ (‰) 分布特征

Table 3  $\delta^{34}\text{S}$  charaters for Au, Ag deposits of subvolcanic-type in the Northwest Shanxi Province

序号	矿床名称	矿床类型	样品数	平均值	极差	极大值	极小值
1	耿庄金矿	次火山岩型	12	+3.85	2.9	+4.5	+1.6
2	支家地银矿	次火山岩型	18	+3.45	9	+9.6	+0.6
3	刁泉银铜矿	矽卡岩型	19	+3.36	5.2	+5.7	+0.5
4	大麻花沟金矿	构造岩浆热液型	32	+3.5	7	+7.2	-0.2
5	义兴寨金矿	构造岩浆热液型	11	+3.23	6.4	+5.6	-0.8



a. 地幔铅同位素演化曲线 b. 造山带铅同位素演化曲线 c. 上地壳铅同位素演化曲线 d. 下地壳铅同位素演化曲线 1. 刁泉铜银金矿 2. 耿庄金矿 3. 支家地银矿 4. 黑云母石英二长岩 5. 花岗斑岩 6. 小彦-抢头岭石英二长岩、花岗斑岩 7. 支家地石英斑岩 8. 大理岩 9. 凝灰岩 10. 辉长岩

图 3 山西北部铜银金矿床铅同位素组成分布图

Fig. 3 Pb-isotope composition distribution for Cu, Ag, Au deposits in Northwest Shanxi Province

区内硫同位素组成特征明显具内生岩浆热液成因,反映出浅成中低温热液矿床与次火山岩的内在成因联系。

### 3.3 碳氢氧同位素组成

为了解火山岩型金银矿床成矿流体的碳、氢、氧同位素组成及演化,测定了成矿作用的石英硫化物阶段和碳酸盐硫化物阶段的方解石、铁菱锰矿、菱铁矿、白云石等的碳氧同位素组成及石英氧同位素组成和气液包裹体水的  $\delta\text{D}$  值。

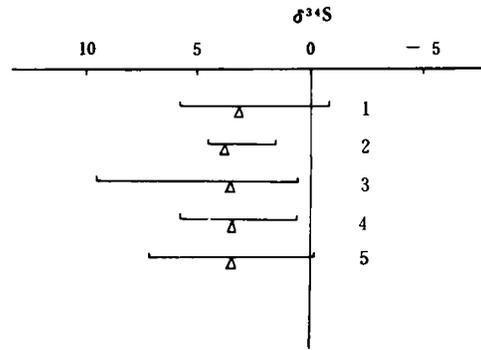
支家地银矿铁菱锰矿的碳氧同位素组成基本相同,  $\delta^{13}\text{C}$  值在 -5.51‰~-4.31‰ 间变化,差异小,平均为 -4.9‰。为深源岩浆碳酸盐的上限,海水碳酸盐的下限。  $\delta^{18}\text{O}$  在 13.519‰~15.954‰ 间,平均为 14.527‰,属花岗质岩石的较大值,考虑到碳酸盐的存在,可能引起成矿热液的同位素交换及天水的加入,铁菱锰矿略富含  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$ ,为内生热液成因和海水碳酸盐混入的特点。

刁泉银铜矿床矿石中方解石的

$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ 在 $-9.2\sim-3.9$ 间, $\delta^{18}\text{O}$ 值在 $3.3\text{‰}\sim 9.6\text{‰}$ 间,均落在岩浆热液范围内,显示出成矿碳酸盐的典型内生热液成因(表4)。

包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ 值是由矿脉中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}}\text{‰}$ 值计算而得的。支家地银矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}=5.47\text{‰}$ , $\delta\text{D}=-83\text{‰}$ ,具岩浆热液特征。刁泉银铜矿硫化物碳酸盐成矿阶段成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值在 $-2.38\text{‰}\sim 2.53\text{‰}$ 之间,平均为 $0.85\text{‰}$ , $\delta\text{D}$ 值在 $-72\text{‰}\sim-76\text{‰}$ 间,平均为 $-73.7\text{‰}$ 。石英硫化物阶段成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=3.66\text{‰}$ , $\delta\text{D}$ 值为 $-91\text{‰}$ (表4)。成矿流体向

$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 降低的方向演化。流体包裹体的成分研究表明,早期成矿阶段成矿流体的盐度为 $44.2\text{wt}\%\text{NaCl}$ 当量,富 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ ,到晚期硫化物碳酸盐阶段,成矿流体的盐度值明显降低,为 $3.6\text{wt}\%\text{NaCl}$ 当量,富 $\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ (夏桂兰,1994)。以上均说明在火山岩次火山岩金银成矿作用过程中,成矿晚期含矿流体中除岩浆水外,还有大量大气降水的加入,从而导致了 $\delta^{18}\text{O}$ 值向大气降水线漂移。



1. 义兴寨 2. 耿庄 3. 支家地 4. 刁泉 5. 大麻花沟

图4 山西北部火山岩型金银矿床硫同位素分布图

Fig. 4 S-isotope distribution for Au, Ag deposits of sub-volcanic type.

表4 刁泉银金铜矿床碳、氢、氧同位素组成

Table 4 Isotope composition of C, H and O for Diaquan Cu-Au deposit

序号	样品名称	样品名称	产状	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}}\text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}}\text{‰}$ (SMOW)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}^*$ (SMOW)	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ (SMOW)
1	D020	方解石	硫化物方解石矿	-8.4	-21.3	8.9	2.53	-76
2	D-26	方解石	硫化物方解石矿	-8.0	-20.7	9.5		
3	D-36	方解石	黄铁矿方解石脉	-9.2	-20.6	9.6		
4	D-40	方解石	方解石脉	-3.9	-25.9	4.2		
5	D-44	方解石	硫化物方解石脉	-8.6	-20.9	9.3	2.40	-73
6	D-83	方解石	方解石脉	-4.0	-26.7	3.3		
7	D-87	方解石	硫化物方解石脉	-4.3	-26.5	3.5	-2.38	-72
8	D-39	石英	黄铁矿石英脉			9.4	3.66	-91
平均				-6.6		7.21	1.55	

\* 为计算值 地科院矿床所同位素研究室测定

## 4 结论

据该区火山岩次火山岩银金矿床产出的地质条件,矿床地质特征和同位素地球化学研究,得出如下认识。

(1)与银金矿床有关的石英斑岩、花岗斑岩等次火山岩,其成岩的 Rb-Sr 等时线年龄在 130.6~167.4Ma 间,为燕山早中期产物,银金矿的成矿为同时或稍后,亦为燕山期成矿。岩石的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值在 0.7058~0.7065 间,与同熔型花岗岩比较一致,属幔壳混源型,成矿物质来源亦有幔源、壳源两种来源。

(2)次火山岩体和有关金银铜矿床,铅同位素组成为两种类型,正常型和异常型。部分花岗斑岩和石英斑岩及耿庄金矿床铅同位素组成均富铀铅,在地壳铅演化线的右侧,为异常铅。

支家地银矿、刁泉银铜矿及有成因联系的黑云母石英二长岩,其铅同位素组成相似,属稳定铅同位素组成。示成岩成矿物质的下地壳和幔源双重来源。并揭示了次火山岩体和银金矿间的亲缘关系。

(3)次火山岩型银金矿的硫同位素组成,在该区表现出明显的一致性,均一化强, $\delta^{34}\text{S}$  均为较小的正值,富重硫 $^{34}\text{S}$ ,塔式效应明显,为内生热液成矿特征。

(4)成矿流体包裹体氢氧同位素及碳酸盐矿物的碳氧同位素组成特征表明,矿床中方解石、菱锰矿等显示典型内生热液成因。随成矿作用的演化,由石英硫化物阶段到碳酸盐硫化物阶段,成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  值向降低方向演化,即 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  值向大气降水线漂移,说明成矿晚期含矿流体中除内生水外,还有大量大气降水的加入。包裹体气液成分研究亦证明了这一点。

(5)火山机构及发育的小型次火山岩体是该区寻找金银矿的重要标志。

## 参考文献

- 1 李兆龙,张连营,等. 山西支家地银矿地质特征及矿床成因. 矿床地质,1992,11(4)
- 2 林建阳. 山西伯强金、多金属矿田同位素地质特征及其意义. 地质找矿论丛,1992,7(2)
- 3 田永清. 五台山-恒山绿岩带地质及金的成矿作用. 山西科学技术出版社,1991
- 4 Zartman R E and Doe B R. Plumbotectonics-the model. Tectonophysics. 1981,75

# ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF VOLCANIC Au—Ag DEPOSITS IN NORTH SHANXI PROVINCE

*Li Zhaolong Zhang Liangying*

*(Tianjin Geological Academy)*

*Luo Huabao*

*(Ministry of Metallurgical Industry)*

## Abstract

In the North Shanxi province occur many epithermal Au-Ag deposits which are closely related to volcanic and sub-volcanic rocks, especially to quartz porphyrite and granitic porphyrite. Rb—Sr isochron age of 130—167 Ma indicate that the rocks are product of middle Yanshanian Period and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7058-0.7065$  suggests that they are the products of mixation of crust and mantle.

Pb isotope composition of silver ore in Zhijiadi Mine and Ag-Au-Cu ore in Diaquan Mine is comparable to those of dolomite of Gaoyuzhuang Formation and the related subvolcanics, probably derived from mixed sources of crust and mantle. Pb isotope analysis of Au-ore from Gengzhuang Mine is considered abnormal.  $\delta^{34}\text{S}$  value of electrum is ranged as  $-0.8+9.6\%$  (arithmetic average of  $3.85\%$ ) riched in  $\delta^{34}\text{S}$  showing characteristics of volcanic hydrothermal minerals. Ore fluid  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  value decreases with evolution as a result of more meteoric water incorporation into metallogeny.