文章编号:1006-544X(2004)02-0127-11

五台山—恒山一带金、银多金属矿床同位素地球化学及其成矿模型

真允庆

(中国冶金地质勘查工程总局三局,山西 太原 030002)

摘 要: 通过同位素地球化学研究,五台山—恒山一带金、银多金属矿床的硫源均来自深源;铅同位素组成表明成矿物质主要来自下地壳及地幔,但绿岩型金矿铅同位素变化较大,而燕山期次火山岩型金、银多金属矿床铅同位素较为集中;运移形成矿物的水源也有所不同,前者是以变质水为主($\delta^{18}O_{H_2O}$ 1.34% ~ 12.55%, δD -22.287% ~ -177.36%),后者则是以岩浆水及天水混合为主($\delta^{18}O_{H_2O}$多在 -18.6‰ ~ +10.05‰, δD -68‰ ~ -110‰);碳氧同位素组成也揭示了前者以变质作用为主($\delta^{13}C$(PDB) -1.25‰ ~ 1.37‰, $\delta^{18}O$(SMOW) 11.4% ~ 16.5%),后者与花岗斑岩侵入有关($\delta^{13}C$(PDB)为 -4.0‰ ~ -9.2‰, $\delta^{18}O$(SMOW) 3.5‰ ~ 9.6‰);两类矿床的锶同位素比值,也反映了与成矿作用有着密切关系的太古宙斜长角闪岩和燕山中期花岗斑岩均是壳幔混合产物,故可视为两类矿床有着内在成因联系;钐-钕同位素组成不仅获得相同结论,而且从 $\varepsilon_{Nd}(0)$ 和 $f_{Sm/Nd}$ 均是负值,推测属大陆地壳岩石,可能为 O-C 型绿岩地体的成矿背景,从而建立了五台热幔柱构造的成矿模型,试图指导找矿.

关键词: 同位素地球化学; 金、银多金属矿床; 成矿模型; 五台山—恒山; 山西

中图分类号: P618.51; P597.2 **文献标识码:** A①

五台山—恒山一带是金矿床和银多金属矿床富集区. 该区由五台花岗(岩)-绿岩带地体和燕辽地体(西部)组成[1],前者以金矿床为主;后者以银多金属矿床为主,其均受控于太古宙超大陆地壳裂解所形成的裂谷型热幔柱构造和叠加在其上的中生代幔枝构造[2].

本文通过 S, Pb, C, H, O, Rb-Sr 及 Sm-Nd 同位素地球化学研究,初步建立成矿模型,试图指导新一轮普查找矿.

1 区域地质及金、银多金属矿床地质概况

五台山—恒山花岗(岩)-绿岩地体位于华北古板块的中、北部,寓于阜平地体(太古宙穹隆)和蒙冀辽地体(或称内蒙地轴)之间的陆内裂谷环境. 主要以五台群变质火山-沉积岩系为代表的地壳岩建造和以 TTG 岩系、钾质花岗岩系所组成,经过多期构造变形. 其总体格架为一复式向形,但又被若干整合断层(韧性剪切带)所肢解. 东部与燕辽地体(燕辽沉降带)拼合呈 NE-EW 向展布(图1).

区内主要有太古宙绿岩型金矿床和中生代次火山岩型金矿床、银多金属矿床两大类型.

太古宙绿岩型金矿床主要产于五台群的金刚库组和柏枝岩组的2个含铁建造(BIF)层位,金矿层(脉)赋存在多种岩石之中,没有明显的含矿岩石专属性. 截止目前,绿岩型金矿床仅有狐狸山金矿为小型,其它尚属矿点或矿化点(如康家沟、鹿沟、柏枝崖等).

① **收稿日期:** 2003-07-26

基金项目: 原冶金工业部地质勘查总局科研项目《晋东北与次火山岩有关金矿成矿规律的研究》部分成果

作者简介: 真允庆(1932-),男,教授级高级工程师,矿床学专业.

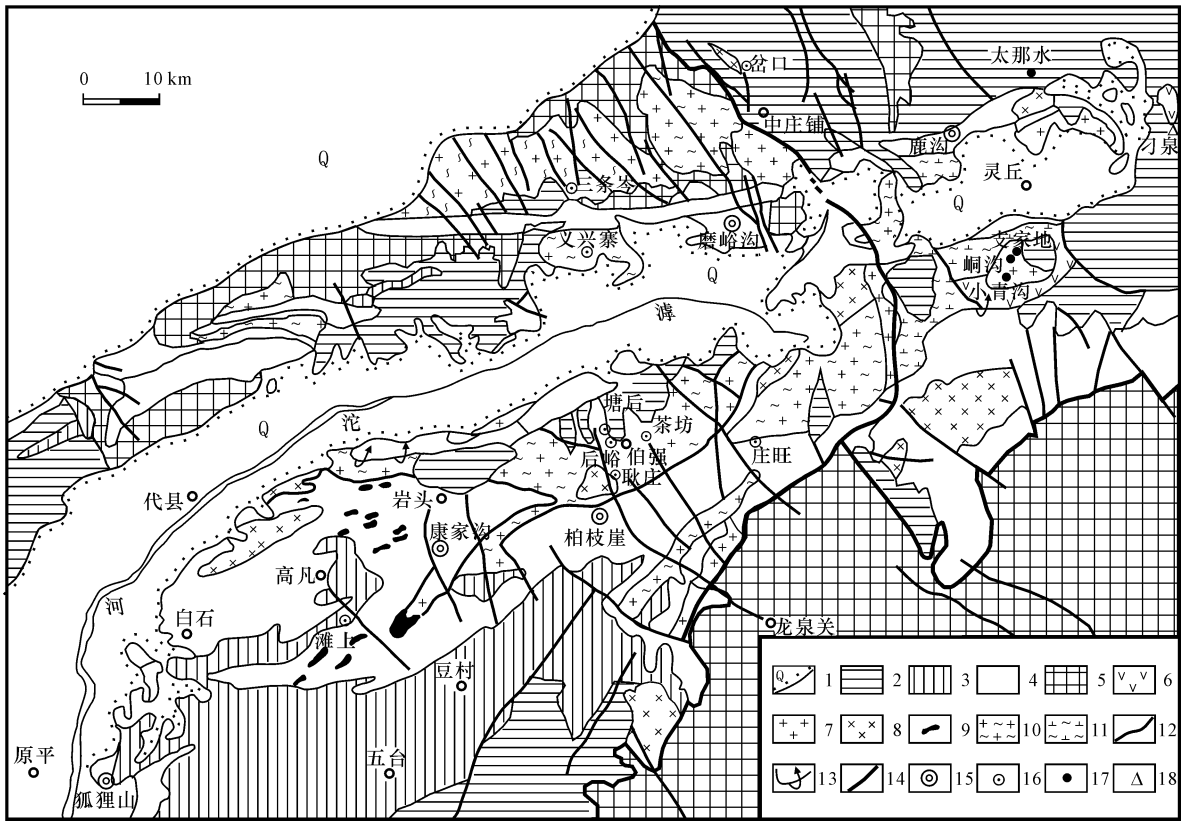


图 1 五台山—恒山绿岩带地质及金、银多金属矿床分布略图（据文献［3］略加修改）

Fig. 1 Sketch geological map of greenstone belt and distribution of gold and silver polymetal ore deposits in Wutaishan – Hengshan

1—第四系；2—后长城系；3—滹沱群；4—五台群（绿岩带）；5—阜平群、恒山群；6—中生代火山岩；7—中生代花岗岩类；8—前寒武纪花岗岩类；9—超基性岩；10—前寒武纪花岗片麻岩；11—英云闪长片麻岩；12—断层；13 推复逆掩断层；14—幔柱构造大致界限；15—太古宙绿岩型金矿床（点）；16—中生代火山岩型金矿床；17—中生代次火山岩型银、锰矿床；18—中生代次火山岩型银、铜矿床

中生代次火山岩型金矿床和银多金属矿床，常产于燕山期次火山岩或浅侵入相的花岗斑岩附近，大部与火山机构隐爆角砾岩关系密切. 经勘探，义兴寨金矿床为中型矿床，其它金矿床多为小型（如耿庄金矿、滩上金矿、太那水金银矿等），而银多金属矿床如支家地银矿、小青沟银矿、峒沟银（锰）矿、刁泉银、铜（金）矿床，均为大型－中型规模.

经笔者近年研究[2]，五台山—恒山变质核杂岩构造，实际是晚太古宙和中生代热幔柱构造及其成矿作用、时空演化的复合与叠加产物. 因此形成了“金三角、银镶边”的幔柱成矿体系域的时空结构.

2 同位素地球化学研究

2.1 硫同位素地球化学

从本区绿岩型金矿床及次火山岩型金矿硫同位素组成特征（表 1）及主要金矿床和银多金属矿床的 $\delta^{34}S$ 同位素组成分布（图 2）得知，不论是太古宙绿岩型金矿床，还是中生代燕山期次火山岩型金矿床或银多金属矿床的 $\delta^{34}S$ 值，绝大多数为小的正值，分布范围较狭，极差亦小，而且塔式分布明显. 硫化物矿物中富集 $\delta^{34}S$ 的顺序，除小青沟银矿床和马家岔金矿点外，其它的火山岩型银多金属矿床和金矿床皆是：黄铁矿 > 闪锌矿 > 黄铜矿 > 方铜矿，说明硫化物 $-H_2S$ 系统达到了平衡. 对次火山岩型金矿床，采用矿物对的 $\Delta^{34}S_{闪-方}$ 与 $\delta^{34}S$ 图解，求得义兴寨金矿、滩上金矿的 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$ 值均为 $-0.5‰$，耿庄金矿的 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$ 值为 $1.8‰ \sim 3.39‰$. 仅仅绿岩型金矿床矿石的 $\delta^{34}S$ 值有小的负值，如鹿沟金矿的 $\delta^{34}S$ 组成分布几乎与 BIF 一致，足可说明其成因相似. 图 2 的 $\delta^{34}S$ 演化表明：全区的 $\delta^{34}S$ 的平均值均与陨石接近，$\delta^{34}S$ 的均值在 $-1.03‰ \sim 3.98‰$，可推测金矿和

表 1　晋东北金、银多金属矿床 $\delta^{34}S$ 组成

Table 1　$\delta^{34}S$ characters for gold and silver polymetal ore deposits in the north Shanxi province　　w ($\delta^{34}S$) /‰

构造位置	矿床类型	矿床	黄铁矿	黄铜矿	斑铜矿	方铅矿	闪锌矿	全　区	资料来源
幔枝构造外带	次火山岩型金属矿床	刁泉	$\frac{5.7\sim1.0}{3.2}(7)$	$\frac{4.9\sim2.7}{3.18}(6)$	$\frac{3.3\sim2.9}{3.1}(2)$	0.5(1)	$\frac{4.3\sim3.5}{3.1}(3)$	$\frac{0.5\sim5.7}{2.74}(19)$	[4]
		支家地	$\frac{9.6\sim3.1}{4.92}(3)$			$\frac{5.2\sim0.6}{2.56}(9)$	$\frac{5.3\sim2.7}{4.17}(4)$	$\frac{0.6\sim9.6}{3.88}(16)$	[5]
		小青沟	$\frac{7\sim1.8}{2.93}(8)$			$\frac{5.3\sim1.5}{4.5}(3)$	$\frac{5.5\sim3.5}{4.5}(2)$	$\frac{1.3\sim7.0}{3.98}(13)$	[6]
幔枝构造内部	次火山岩型金矿床	滩　上	$\frac{5.4\sim1.5}{1.98}$			$\frac{-0.24\sim-0.8}{-0.55}$	$\frac{0.8\sim1}{0.9}$	$\frac{-0.8\sim5.4}{0.77}$	[3]
		耿　庄	$\frac{7.2\sim0.39}{3.13}(40)$			$\frac{2.8\sim-0.12}{0.33}(7)$	$\frac{2\sim-0.8}{0.5}(14)$	$\frac{-1.2\sim7.2}{1.01}(56)$	[7]
		义兴庄	$\frac{3.5\sim0.8}{2.34}(10)$	$\frac{2.9\sim-3.2}{0.07}(3)$		$\frac{1.4\sim-0.8}{-0.3}(4)$	$\frac{2\sim-0.6}{0.5}(7)$	$\frac{-0.32\sim3.5}{0.6}(22)$	[8]
		马家岔	$\frac{2.9\sim-1.2}{2.01}$			$\frac{1.7\sim-0.07}{0.7}(7)$	0.4		[3]
	绿岩型金矿床(金矿化点)	狐狸山	$\frac{9.62\sim-1.2}{1.053}(15)$						[9]
		小板峪	$\frac{0.1\sim-0.2}{0.1}(2)$						[10]
		鹿　沟	$\frac{2.9\sim-4.2}{0.39}(5)$						[10]
		盘　道	$\frac{1.68\sim-0.82}{0.78}(3)$						[10]
		北　沟	$\frac{0.22\sim-0.01}{0.1}(2)$						[10]
		BIF	$\frac{2.2\sim-4.8}{-1.05}(16)$						[10]

分子为 $\delta^{34}S$ 值分布范围,分母为算术平均值,括弧内为样品数

银多金属矿的硫源可能来自地幔,特别在幔柱构造内的绿岩型金矿和次火岩型金矿的平均 $\delta^{34}S$ 值几乎相同(前者为 0.1‰ ~ 1.053‰,后者为 0.6‰ ~ 1.01‰),而在幔柱构造外围主析离带的次火山岩型银多金属矿床的 $\delta^{34}S$ 平均值为 2.74‰ ~ 3.98‰,这是因为矿液在上升过程中受围岩混杂有关或者分异过程中 $\delta^{34}S$ 同位素的分馏作用所致.

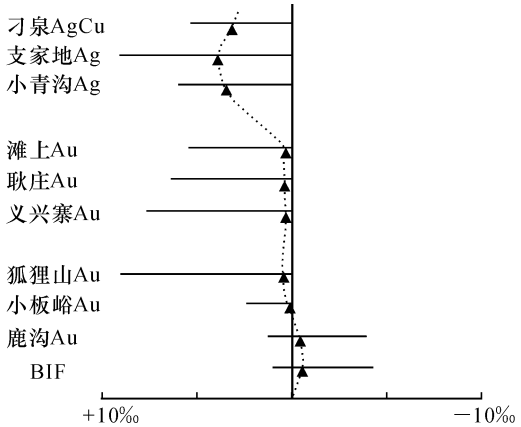


图 2　$\delta^{34}S$ 同位素组成分布

Fig. 2　$\delta^{34}S$ isotope composition distribution

2.2　铅同位素地球化学

研究铅同位素组成特征是探讨成矿物质来自地幔或地壳的重要依据. 本区金、银多金属矿床的矿石和围岩铅同位素组见表 2. 从卡农图（图 3）上可以看出，多数金矿床是在正常铅区. 小板峪金矿（点）多数在正常铅区，少数在 J－铅区；鹿沟和狐狸山金矿床少数在正常铅区，多数在 J－铅区. 而次火山岩型金矿床绝大多数为正常铅，仅有耿庄金矿是介于 J－铅区和正常铅区的边界. 总体的来看，金矿床是以正常铅为主，表明铅是通过岩浆活动，主要来自地幔，在成矿过程中仅受到地壳铅的混染.

太古宙绿岩型金矿床(点)矿石铅同位素比值变化幅度较大，$^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 14.53 ~ 19.25；$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 15.19 ~ 15.75；$^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 34.34 ~ 38.84；与邻区张家口绿岩型金矿铅同位素(分别为 14.322 ~ 17.980；14.807 ~ 15.720；34.093 ~ 38.500)组成[11]十分相似，在Doe B R和Zalman R

表 2 晋东北金、银多金属矿床铅同位素组成

Table 2 Pb isotope components for gold and silver polymetal ore deposits in the northeast Shanxi province

构造位置	矿床类型	矿床	岩石或矿物	$w(^{206}Pb)/w(^{204}Pb)$	$w(^{207}Pb)/w(^{204}Pb)$	$w(^{208}Pb)/w(^{204}Pb)$	资料来源
幔枝构造外围主析离带	次火山岩型银多金属矿床	刁 泉	黄铁矿(4)	16.966	15.247	37.084	[12]
			石英二长岩(2)	16.793	15.135	36.686	
			花岗斑岩(2)	17.164	15.284	37.584	
			大理岩(2)	18.579	15.630	38.359	
			辉长岩(1)	17.179	15.321	37.373	
			凝灰岩(1)	17.709	15.492	37.956	
		支家地	黄铁矿(2)	16.571	15.34	36.956	[12]
			方铅矿(7)	16.536	15.217	36.614	
			石英斑岩(1)	16.985	15.500	36.548	
			白云岩(1)	16.862	15.318	36.993	
		小青沟	黄铁矿(3)	16.662	15.738	37.034	[3]
			方铅矿(2)	16.762	15.461	37.429	
			石英斑岩(1)	17.029 7	15.378 0	37.108 9	
幔枝构造	次火山岩型金(多金属)矿床	滩 上	方铅矿、闪锌矿(10)	16.40	14.97	35.85	[3]
			石英斑岩的长石(1)	17.02	15.23	36.75	
			花岗斑岩的长石(1)	17.21	15.61	37.58	
		耿 庄	黄铁矿(2)	17.393	15.290	37.450	[12]
			方铅矿(4)	17.434	15.303	38.024	
			花岗斑岩中的长石	17.211	15.315	37.648	
		义兴寨	方铅矿(4)	16.70	15.45	36.95	[8]
			花岗斑岩中的长石(1)	16.74	15.34	36.93	
			花岗伟晶岩中的长石(1)	16.65	15.37	34.09	
			斜长片麻岩中的长石(1)	17.57	15.69	35.80	
		马家岔	闪锌矿、方铅矿(1)	16.71	15.25	36.77	[3]
			斜长片麻岩中的长石(5)	16.66	15.21	35.99	
造内部	绿岩型金矿床	狐狸山	黄铁矿(4)	17.018	15.37	39.346	[10]
			绢云绿泥片岩(1)	20.57	15.66	38.55	
		小板峪	黄铁矿(2)	15.80	15.20	35.51	[10]
		鹿 沟	自然铅(4)	18.42	15.75	38.84	[10]
			黄铁矿(2)	18.19	15.66	38.29	
			斜长角闪岩(2)	18.26	15.62	38.51	
		柏枝崖	黄铁矿(2)	15.17	15.00	35.25	[10]
			绿泥片岩(1)	15.64	15.04	35.39	
			磁铁石英岩(2)	15.865	15.06	35.65	
			黑云花岗片麻岩(1)	15.45	14.91	35.12	

括号内为样品数

E 构造铅同位素模式图上(图 4)主要落在下地壳和地幔曲线附近,唯独鹿沟绿岩型金矿床矿石铅同位素是落在上地壳和造山带演化曲线以上,个别样品落在下地壳演化曲线以下,这反映了金矿化作用与太古宙绿岩的金刚库组斜长角闪岩铅同位素相关外(相关系数 $r_{xy} = 0.984\,2$, $r_{xz} = 0.985\,5$, $n = 8$; 设 $^{206}Pb/^{204}Pb = x$, $^{207}Pb/^{204}Pb = y$, $^{208}Pb/^{204}Pb = z$),可能和矿区内燕山期石英斑岩脉侵入,受放射性铅的叠加和改造有着密切关系. 从相邻近的义兴寨金矿床矿石与围岩石英斑岩的铅同位素相关系数 $r_{xy} = 0.942$, $r_{xz} = 0.884$ ($n = 7$) 几乎相同,亦可证实这一论点.

而燕山期次火山岩型金、银多金属矿床铅同位素组成的变化幅度要小得多, $^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 16.4 ~ 17.5; $^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 15.0 ~ 15.7; $^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 35.9 ~ 38.0, 其铅同位素皆落在造山带、地幔、

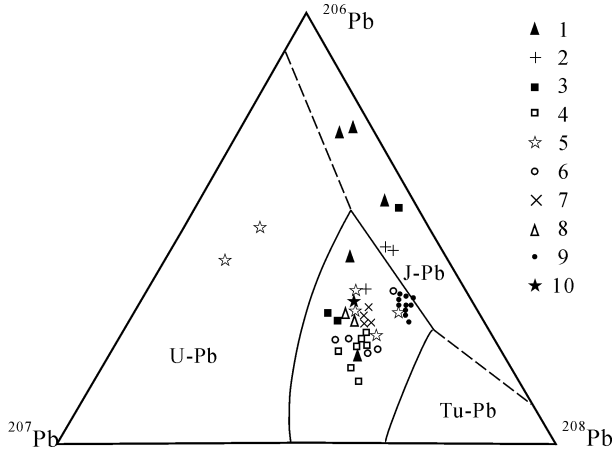


图 3　金矿床矿石的$^{206}Pb - ^{207}Pb - ^{208}Pb$ 图解

Fig. 3　$^{206}Pb - ^{207}Pb - ^{208}Pb$ diagram of ores in gold deposits

1—狐狸山；2—鹿沟；3—小板峪；4—柏枝崖；5—燕山期花岗岩；6—义兴寨；7—马家岔；8—滩上；9—耿庄；10—磨峪沟

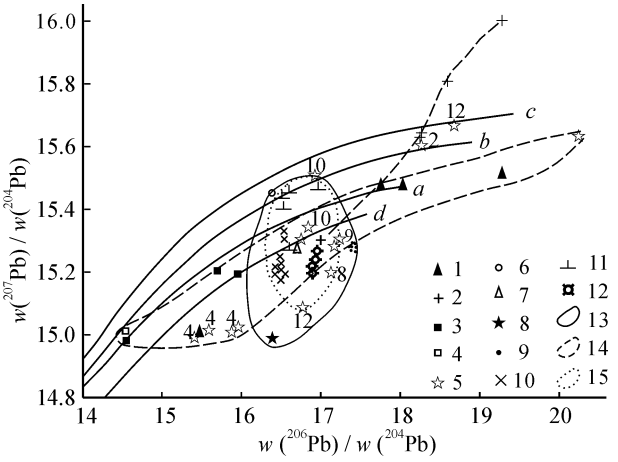


图 4　金、银多金属矿床$^{206}Pb/^{204}Pb - ^{207}Pb/^{204}Pb$ 图解

Fig. 4　$^{206}Pb/^{204}Pb - ^{207}Pb/^{204}Pb$ diagram of gold and silver polymetal ore deposits in Wutaishan – Hengshan

1—狐狸山；2—鹿沟；3—小板峪；4—柏枝崖；5—燕山期花岗岩及矿床围岩；6—义兴寨；7—马家岔；8—滩上；9—耿庄；10—支家地；11—小青沟；12—刁泉；13—次火山岩型金矿床分布范围；14—绿岩型金矿分布范围；15—次火山岩型银多金属矿床分布范围；*a*—地幔演化曲线；*b*—造山带演化曲线；*c*—上地壳演化曲线；*d*—下地壳演化曲线

下地壳演化曲线的区域，矿石铅同位素与次火山岩（花岗斑岩、石英二长斑岩、石英斑岩）铅同位素比值之间是相关的，属于混合铅模式. 但刁泉次火山岩型银、铜（金）矿床的围岩寒武—奥陶纪大理岩铅同位素比值投在上地壳，说明与成矿无明显继承演化关系.

图 4 很清晰地表明了太古宙绿岩型金矿床矿石、斜长角闪岩（绿泥片岩）、磁铁石英岩（BIF）的铅同位素比值与燕山期次火山岩型金、银多金属矿床矿石硫化物、花岗斑岩的长石、石英二长岩的铅同位素比值构成了两个不同的“混合铅”区域，前者呈缓倾斜“混合铅”区，后者为陡倾“混合铅”区，但主要铅数据多投在地幔与下地壳之间，因此可以认为金、银矿石和相关的岩浆岩，均来自地幔和下地壳的混合铅源.

2.3　氢、氧同位素地球化学

本区测定氢、氧同位素的矿物主要是脉石矿物石英，少数为方解石、白云母、角闪石、透闪石、磁铁矿（如刁泉和鹿沟的矿脉围岩）等造岩矿物，组成范围很宽.

从氢、氧同位素组成（表 3）可知，绿岩型金矿床 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 1.34‰ ~ 12.55‰；δD 变化较大，为 – 22.287‰ ~ – 177.36‰，其中狐狸山金矿床、鹿沟、康家沟金矿（点）δD 与 $\delta^{18}O$ 皆呈线型分布. 特别是鹿沟金矿的矿石与围岩 δD – $\delta^{18}O$ 组成可分为两组（图 5），矿石 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 显然比围岩的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 要小，分别为 3.19‰ ~ 6.3‰和 5.2‰ ~ 10.72‰，可能与成矿温度有关，多数是落在变质水（或变质分泌水）区，仅个别样品因天然水渗透有所漂移，两者演化趋势线近于平行. 狐狸山金矿床的氢、氧同位素绝大多数样品落在变质水区的附近，只有 1 个点落在变质水区，也许成矿溶液除了变质水之外，尚有雨水渗与有关. 康家沟金矿（点）亦有类似情况. 因此可以认为本区绿岩型金矿成矿溶液运移过程中主体为变质水，少量亦有雨水影响，但不是主流.

而次火山型金、银多金属矿床的氢、氧同位素组成则有很大的不同，$\delta^{18}O_{H_2O}$ 变化较大，为 –

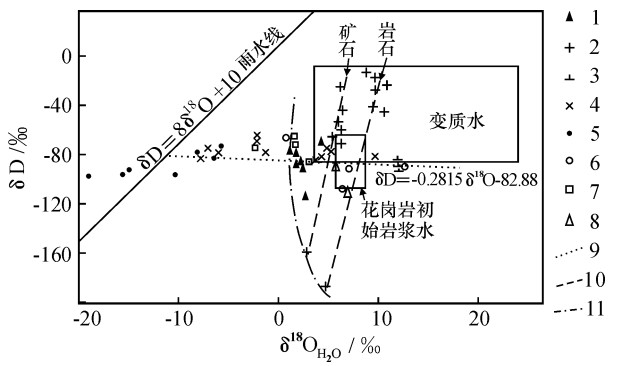


图 5　含矿热液 $\delta^{18}O - \delta D$ 图解

Fig. 5　$\delta^{18}O - \delta D$ diagram of ore – bearing hydrothermal fluid

1—狐狸山；2—鹿沟；3—康家沟；4—义兴寨；5—耿庄；6—滩上；7—刁泉；8—支家地；9—次火山岩型金、银矿床矿石回归线；10—鹿沟矿石及岩石趋势线；11—绿岩型金矿矿石趋势范围

18‰～10‰；δD 为 －68‰～ －110‰，大致沿 δD ＝0.281 5δ^{18}O －82.88（经最小二乘法拟合）直线上下分布（图5），明显超出典型岩浆水和变质水同位素组合范围，与张理刚的 Au－Cu 和 Fe－Cu 系列花岗岩初始岩浆水氧同位素组成范围相同[15]，产生这种情况的根本原因是相对贫 δD 的岩浆水和相对富集的 δD 雨水混入有关.

显而易见，本区绿岩型金矿床与次火山岩型金、银多金属矿床成矿热液的水源有明显差别.

2.4 碳、氧同位素地球化学

本区金、银多金属矿床碳酸盐化与成矿作用关系密切. 两种不同类型的金矿床和银、铜矿床的碳、氧同位素组成存在很大差异(表4). 刁泉银铜矿床矿石 δ^{13}C(PDB)为 －4.0‰～ －9.20‰；δ^{18}O(SMOW)为 3.5‰～9.6‰，显示出典型内生热液成因. 相同成因的支家地银矿床 δ^{13}C(PDB)值在 －4.3‰～5.51‰；δ^{18}O(SMOW)在 13.519‰～15.954‰，可能有铁菱锰矿的存在，促使成矿热液同位素交换及天水加入所致. 狐狸山绿岩型金矿床矿石的 δ^{13}C(PDB)值为 －1.25‰～1.37‰；δ^{18}O(SMOW)为 11.4‰～16.54‰，很显然，该矿区的 δ^{13}C 值与南非地盾 27～33 亿年火山－沉积岩系中碳酸盐岩的 δ^{13}C(PDB))值 －3.3‰～ ＋2.5‰相似，也与我国内蒙二道洼群和安徽霍邱群的白云质大理岩 δ^{13}C(PDB)值 0.4‰～1.4‰相差甚少. 所以完全可以认为成矿热液中碳质来源于海相灰岩，这可从表 4 中强碳酸盐化大理岩透镜体的 δ^{13}C(PDB)为 －0.99‰～0.02‰与矿石中 δ^{13}C(PDB)近似得到证明. 而不同于碳酸盐化辉绿岩(－4.28‰～ －4.39‰)，故不能视为来源于镁铁质岩石[9]. 根据矿脉内石英包裹体均一温度在 280～320℃，参照矿区附近的刘家坪金矿(点)和康家沟金矿成矿流体 pH 值分别为 6.16～7.63 和 5.74～5.94，及矿石的矿物组合、围岩蚀变和气液包裹体主要成分为 H_2O，CO_2，CH_4 等，可推测成矿热液应属低 f_{O_2}(<10^{-22} Pa)，若投入 pH－f_{O_2}图(H Ohmoto，1972)，其 δ^{13}C 值与上述测定值一致，可以相互验证.

从图 6 亦可以清楚看出，狐狸山金矿的 3 种样品尽管岩性不一（金矿脉、碳酸盐化辉绿岩、大理岩透镜体），但其 δ^{13}C 值变化不大（－4.39‰～1.37‰），显示出在区域变质热液作用下，经碳酸盐溶解致使成矿流体中 CO_2，CH_4 碳同位素组成处于平衡状态，形成δ^{13}C的线型演化

表 3 晋东北金、银多金属矿床 δD－δ^{18}O 同位素组成分布特征

Table 1 δD－δ^{18}O isotopic composition characters for gold and silver polymetal ore deposits in the northeast Shanxi province

矿床类型	矿床名称	矿脉或围岩	矿 物	$\delta^{18}O_{矿物}$/‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$/‰	δD/‰
绿岩型金矿床	狐狸山[9]	矿脉	石英	8.37～12.95	1.34～5.61	－69.42～－112.45
	鹿沟[13]	矿脉	石英		3.19～6.3	－24.358～－155.36
		围岩	白云母、角闪石		5.2～10.72	－22.287～－177.36
	康家沟[14]	矿脉	石英		12.00～12.55	－86.34～－99.42
次火山岩型金、银多金属矿床	义兴寨[10]	矿脉	石英		－8.02～10.05	－68.0～－80.70
	耿庄[7,10]	矿脉	石英		－7.10～－18.6	－84.0～－97.0
	滩上[10]	矿脉	石英		4.2～4.5	－90.0～－110.0
	刁泉[10]	矿脉	方解石	3.5～9.3	－2.4～2.5	－72～－76
		矿脉	石英	9.4	3.7	－91
	支家地[5]	矿脉	石英		5.0～7.0	－90～－105

表 4 晋东北金、银（铜）矿床碳、氧同位素组成

Table 4 Carbon and oxygen isotopic composition of gold and silver (copper) deposits in northeast Shanxi province ‰

矿床名称	矿脉或围岩	矿 物	$\delta^{13}C_{矿物}$(PDB)	$\delta^{18}O_{矿物}$(PDB)	$\delta^{18}O_{矿物}$(SMOW)
次火山岩型刁泉银、铜(金)矿床[4]	硫化物－方解石脉	方解石	－4.0～－9.2	－20.5～－26.5	3.5～9.6
	黄铁矿石英脉	石英			9.4
	大理岩		－1.1～0.7	－13.4～－10.8	
绿岩型狐狸山金矿[9]	金矿脉	含铁白云石	－1.25～1.37	－13.42～－18.88	11.40～16.54
	碳酸盐化辉绿岩	含铁白云石	－4.28～－4.39	－18.65～－19.32	10.94～11.62
	大理岩透镜体	含铁白云石	－0.99～0.02	－17.08～－18.32	11.99～13.27

趋势. 当然也并不排除有岩浆－地幔 CO_2 和沉积有机物经脱羧基作用生成的 CO_2 混入. 虽然这一认识没有考虑碳酸盐矿物沉淀时的各种同位素分馏过程，但是总体趋势却是非常明显的. 由此看出次火山岩型刁泉银、铜（金）矿床 $\delta^{13}C$ 的来源与花岗岩侵入息息相关.

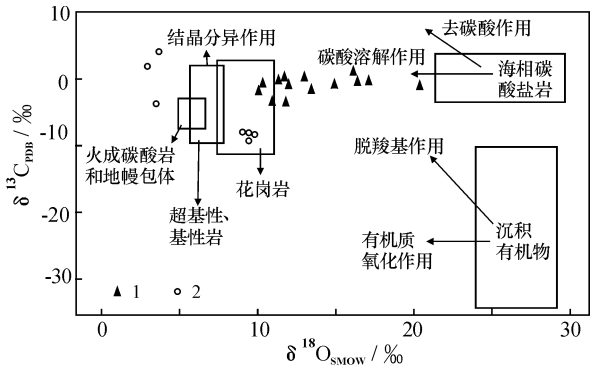


图 6　$\delta^{18}O-\delta^{13}C$ 图解（仿刘进明，1993）

Fig. 6　$\delta^{18}O-\delta^{13}C$ diagram (from Liu, 1993)

1—狐狸山金矿床；2—刁泉银、铜（金）矿床

2.5　铷、锶同位素地球化学

本区绿岩型金矿床产于五台群磁铁石英岩含铁建造中，在空间上常和镁铁质火山岩（斜长角闪岩或斜长绿泥片岩）相伴生，其铷锶同位素等时线年龄为 2 573 ± 47 Ma（王汝铮，1997）. 狐狸山金矿层曾被辉绿岩脉切割，该脉岩的铷锶同位素等时线年龄为 2 395.68 ± 182 Ma[9]，足以阐明，绿岩型金矿床的成矿时代应在 2 300 Ma 以前，这与骆辉等（2002）对本区条带状建造中金矿石的石英 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 同位素年龄（2416 ± 64）～（2317 ± 63）Ma，成矿作用形成于区域变质作用峰期之后的论点一致[16].

中生代次火山岩型金、银多金属矿床在空间上和成因上与中侏罗世燕山中期（135～160 Ma）岩浆活动有关，可从滩上金矿脉与石英斑岩的石英和黄铁矿的特征对比获得证实[1]（表 5）. 这些岩体最显著的特点是常与爆破角砾岩伴生，且多为石英斑岩（花岗斑岩）、花岗闪长斑岩、长石石英斑岩浅成相小型复式岩体. 而燕山早期的单一岩体，如铁瓦殿黑云母花岗岩（K－Ar 等时线年龄为 179.1 Ma），与成矿无关. 两类花岗岩呈近似 S 型独特的孪生花岗岩带分布[1].

从表 6 和图 7 中不难看出，与绿岩型金矿床有关的鹿沟斜长角闪岩和狐狸山穿过金矿脉的辉

表 5　滩上金矿与石英斑岩特征对比

Table 5　Comparison of mineral isotope between quartz porphyry and Au ore of Tanshang mine

矿物		石英斑岩	金矿石	说明
石英	$w(La)/w(Yb)$	13.00(2)	12.5(3)	基本一致
	$w(Eu)/w(Sm)$	0.188(2)	0.142(3)	
	$w(\sum L)/w(\sum H)$	36.75(2)	37.38	
黄铁矿	爆裂温度/℃	370(1)	305～255(9)	正常差异
	形态得分 X_{FeS_2}	－183(20)	－148(20)	基本相同
	$\delta^{34}S/‰$	+1.3	+2.1(11)	来自同源
	红外光谱	293(3)	291(4)	很一致
		347(3)	345(4)	
		417(3)	418(4)	

据余成华，1993；括号内为样品数

表 6　晋东北岩浆岩锶同位素比值和等时年龄

Table 6　Sr isotopic ratio and isochron dating of magmatic rock in northeast Shanxi province

矿(地)区岩石	$w(^{87}Sr)/w(^{86}Sr)$	年龄/Ma
1. 刁泉 花岗斑岩[4]	0.706 07	130.95
2. 小青 花岗斑岩[4]	0.706 33	130.6
3. 支家地 石英斑岩[12]	0.705 6	156.03
4. 耿庄 花岗斑岩[7]	0.704 5	157.0
5. 庙旺 花岗斑岩[17]	0.703 8	128.0
6. 耿庄 正长闪长岩	0.706 4	135.0
7. 孙庄 正长闪长岩[17]	0.708 4	165.0
8. 铁瓦殿 黑云母花岗岩[17]	0.728 5	179.0
9. 茶房 花岗闪长斑岩[7]	0.701 99	134.0
10. 岔口 花岗斑岩[17]	0.704 6	126.0
11. 神化 正长闪长斑岩[17]	0.704 2	166.0
12. 鹿沟 斜长角闪岩[13]	0.702 1	2 573 ± 47
13. 狐狸山 辉绿岩[9]	0.704 31	2 395.6 ± 182

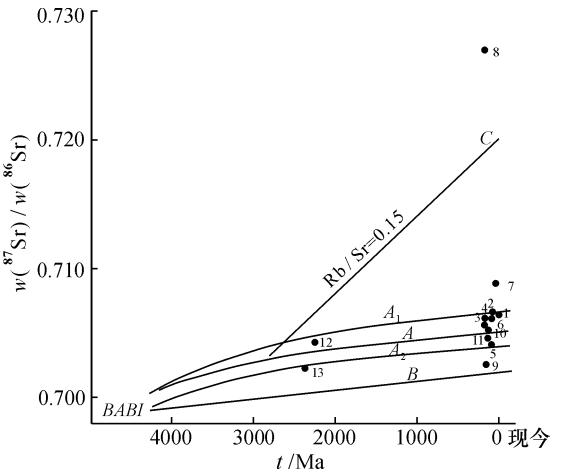


图 7　晋东北金、银矿床锶同位素演化

Fig. 7　Sr isotopic evolution diagram of gold and silver deposits in northeast Shanxi province

A_1, A, A_2 —上地幔中锶的可能演化途径；*B*—地幔铷亏损区锶同位素演化；*C*—大陆壳中锶同位素增长线；*BABI*—玄武质球粒陨石最初始值

绿岩脉的$^{87}Sr/^{86}Sr$为0.702 1～0.704 31,接近上地幔现今$^{87}Sr/^{86}Sr$值(0.704±0.002).与燕山期次火山岩型的金、银多金属矿床有成生关系的岩浆岩$^{87}Sr/^{86}Sr$值均介于0.704 2～0.706 5的狭窄范围之内,两者均在图7上的A_1、A_2及B演化曲线的范围之内.若参照本区中生代花岗质岩石与太古宙花岗质岩稀土元素的某些特征参数,δEu、$(La/Sm)_N$、$(Yb/Gd)_N$、$(La/Yb)_N$亦非常接近[2,3,10],两者相互印证.因此完全有理由推定中生代燕山期花岗岩类与绿岩带中的岩浆岩都属于壳幔混合产物,它们之间有着千丝万缕的联系.然而燕山早期的黑云母花岗岩或正长闪长岩(样品7和8)为幔枝构造早期富钾的偏碱性岩浆岩系列,属于壳型(S型)或改造型花岗岩,与成矿作用关系不大.

2.6 钐、钕同位素地球化学

本区太古宙绿泥片岩、斜长角闪岩或条带状铁建造及中生代燕山中期酸性次火山岩与金、银多金属矿床紧密伴生.不难看出,岩浆活动对金矿床及银多金属矿床的成矿作用致关重要.

应该阐明,Sm－Nd的模式年龄t_{DM}是地壳岩石从未经化学分异的原始地幔源形成时至现在所经历的时间.后峪和滩上的石英斑岩或花岗闪长斑岩的侵入成岩K－Ar法年龄在130～157 Ma,而它们t_{DM}值都较大,分别为(1 989±13) Ma和(1 780±7) Ma,$\varepsilon_{Nd}(t)$也较大,分别为5.635和6.133(表7),表明岩浆源岩来自比较强烈亏损的地幔.该特征可能表明成矿岩体属于壳幔混合的产物,即来自深源岩浆在上侵过程中,受到地壳混染、亏损所致.故t_{DM}值比岩石侵入年龄要大得多[10].

然而,太古宙绿岩型金矿的围岩即金刚库组斜长角闪岩(原岩为镁铁质火山岩)7个样品的模式年龄为2 735～3 005 Ma,平均模式年龄(t_{DM})为2 832 Ma,可视为从地幔中分离的年龄,或是成岩年龄.因为太古宙时地壳较薄,$\varepsilon_{Nd}(t)$要比燕山期岩浆要小,为3.40～4.02,这表明岩浆受地壳混染作用相对要少.根据$\varepsilon_{Nd}(0)$和$f_{sm/Nd}$都小于零,而且都是负值,反映了大陆地壳岩石演化特征.据沈保丰等(1998)研究[10],本区五台群中变质镁铁质火山岩具有拉斑玄武岩的成分,在$SiO_2-(Na_2O+K_2O)$图解上(图略),大部分落在高碱拉斑玄武岩区,少数落在低碱拉斑玄武岩区和碱性玄武岩区,大约60%落在稳定大陆拉斑玄武岩区及其附近,这里所述及的绿岩型金矿床(脉)共生的五台群金刚库组斜长角闪岩也属此类,另外10%为同一构造环境相近的碱性玄武岩和低碱拉斑玄武岩,仅有30%落在大洋拉斑玄武岩区及其附近.所以从绿岩型金矿有成因关系的斜长角闪岩(有时为变质绿泥片岩)Sm－Nd同位素地球化学特征研究的结果支持这一论点.因此,是否可以认为:五台地体既不同于胡受奚教授研究[18]的华熊地体(O型绿岩地体),又不同于嵩箕地体(C型绿岩地体),似乎应属过渡型(C—O)绿岩地体.很显然,五台地体和吕梁地体两者亦不能相题并论[19](另文讨论).

从图8可知,本区岩石的$w(^{143}Nd)/w(^{144}Nd)$值远低于洋脊玄武岩、洋岛玄武岩和东非裂谷火山岩,而和我国东部的郯庐断裂及其邻区中生代钾质火山岩相近似.接近EMⅠ端员,据Zindler(1986)研究,该端员是由富CO_2的流体交代产生的,EMⅡ是

表7 Sm－Nd同位素组成

Table 7 Sm－Nd isotopic composition

地区	样号	$w(Sm)/10^{-6}$	$w(Nd)/10^{-6}$	$w(^{147}Sm)/w(^{144}Nd)$	$w(^{143}Sm)/w(^{144}Nd)$	t_{DM}/Ma	$\varepsilon_{Nd}(0)$	$\varepsilon_{Nd}(t)$	$f_{Sm/Nd}$
后峪、滩上花岗斑岩	94w－4	2.940	20.827	0.085 3	0.511 469	1 989±13		5.635	－0.566 3
	94w－37	5.195	32.963	0.095 3	0.511 764	1 780±7		6.133	－0.515 5
金刚库斜长角闪岩	w 8650 T	2.662	12.423	0.129 5	0.511 63	2 735	－19.7	4.02	－0.34
	w 8702 T	3.080	15.428	0.120 7	0.511 47	2 735	－22.8	4.02	－0.385
	w 8701 T	2.899	10.819	0.162 0	0.512 161	2 897	－9.34	3.67	－0.18
	w 8639 T	0.591	2.736	0.130 6	0.511 632	2 767	－19.66	3.95	－0.34
	w 8645 T	2.210	7.706	0.173 4	0.512 350	3 005	－5.66	3.43	－0.12
	w 8653 T	4.227	15.248	0.169 6	0.512 303	2 908	－6.57	3.64	－0.14
	w 8703 T	3.623	16.386	0.133 7	0.511 682	2 780	－18.69	3.93	－0.32

据白瑾、王汝铮分析数据,1992;沈保丰、骆辉计算,1998

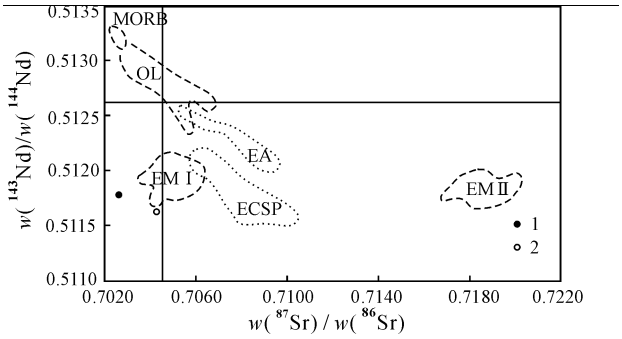


图 8　$^{143}Nd/^{144}Nd$ 与 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 关系

Fig. 8　$^{143}Nd/^{144}Nd$ – $^{87}Sr/^{86}Sr$ diagram

MORB—洋脊玄武岩；OL—大洋岛屿玄武岩；EA—东非裂谷火山岩；ECSP—郯庐断裂及其邻区中生代钾质火成岩；EMⅠ，EMⅡ—富集型地幔端员；1—太古宙金刚库组斜长角闪岩；2—燕山期石英斑岩

由地壳水参与交代作用引起的. 本区斜长角闪岩与石英斑岩的 Sr, Nd 同位素组成显示了与地幔交代作用有关的流体富含 CO_2 成分，这与金、银铜多金属矿区内普遍均有碳酸盐化的地质事实相符.

3　成矿模型

本区绿岩型金矿床，燕山期次火山岩型金、银多金属矿床的 S，Pb，H – O，C – O，Rb – Sr 及 Sm – Nd 同位素组成及地球化学特征各有差异，为了对比和研究，现综合列于表 8.

（1）矿石的硫源来自地幔，$\delta^{34}S$ 较小，多为正值，接近陨石硫. 次火山岩型银多金属矿床的 $\delta^{34}S$ 值较绿岩型金矿和次火山岩型金矿稍大，可能是矿液在运移过程受围岩混染作用有关.

（2）铅同位素组成特征表明，绿岩型金矿床的矿石和成矿主岩与次火山岩型金、银多金属矿床很不相同，前者在构造铅同位素模式图（图 4）上较为分散呈缓倾的“混合铅区”，主要来自地幔和下地壳；而后者相对较为集中，铅同位素分布在地壳、造山带、地幔和下地壳之间呈陡倾“混合铅区”. 唯独鹿沟金矿较为特殊，铅同位素穿越上地壳至下地壳，且呈线性分布，可能受燕山期石英斑岩活动、叠加放射铅影响所致. 从总体来看，矿石与岩浆岩（斜长角闪岩或酸性浅成相花岗岩）铅同位素近似，显而易见，金、银多金属矿床的成矿作用与岩浆活动关系密切，矿石铅应来自深源.

（3）两个类型的矿床在成矿过程中矿液的水源有明显差别，绿岩型金矿主要与变质水或变质分泌水有关，天水渗与仅占次要成分；次火山岩型金、银多金属矿床与岩浆水和天水混合关系密切.

（4）绿岩型狐狸山金矿床的围岩中，海相碳酸盐岩经区域变质作用为主形成碳酸盐矿物（含铁白云石）；次火山岩型刁泉银 – 铜矿床，矿石中碳酸盐矿物与燕山期花岗斑岩侵入有关（图 6）.

（5）从 Rb – Sr 同位素组成特别是 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值结果得知：与绿岩型金矿床和次火山岩型金、银多金属矿床有成因关系的岩浆岩（斜长角闪岩和石英斑岩或花岗斑岩）皆属壳幔混合型，因此可以推论，它们在成矿作用中有着内在联系. 但是燕山早期花岗岩纯属改造型花岗岩，与成矿无关.

表 8　五台山—恒山一带金、银多金属矿床同位素组成对比

Table 8　Isotopic composition of gold and silver polymetal ore deposits in Wutai – Hengshan

同位素	绿岩型金矿床	燕山期次火山岩型金矿床	燕山期次火山岩型银多金属矿床
$\delta^{34}S/‰$	0.1 ~ 1.053	0.6 ~ 1.01	2.74 ~ 3.98
$w(^{206}Pb)/w(^{204}Pb)$	14.53 ~ 19.25	16.40 ~ 17.434	16.536 ~ 16.966
$w(^{207}Pb)/w(^{204}Pb)$	15.19 ~ 15.75	14.97 ~ 15.45	15.217 ~ 15.738
$w(^{208}Pb)/w(^{204}Pb)$	34.34 ~ 38.84	35.85 ~ 38.024	36.614 ~ 37.429
$\delta^{18}O_{H_2O}/‰$	1.34 ~ 12.55	– 18.6 ~ 10.05	– 2.4 ~ 7.0
$\delta D/‰$	– 177.36 ~ – 22.287	– 110.0 ~ – 68.0	– 105 ~ – 72
$\delta^{13}C_{(PDB)}/‰$	– 1.25 ~ 1.37		– 9.2 ~ – 4.0
$\delta^{18}O_{(PDB)}/‰$	– 18.88 ~ – 13.42		– 26.5 ~ – 20.5
$\delta^{18}O_{(SMOW)}/‰$	11.4 ~ 16.54		3.5 ~ 9.6
$w(^{84}Sr)/w(^{86}Sr)$ *	0.702 1	0.701 99 ~ 0.704 5	0.705 6 ~ 0.706 33
	0.704 31（成矿后辉绿岩脉）	0.708 4 ~ 0.728 5（燕山早期花岗岩）	
$\varepsilon_{Nd}(t)$ *	3.64 ~ 4.02	5.635 ~ 6.133	
$f_{Sm/Nd}$ *	– 0.385 ~ – 0.12	– 0.515 5 ~ – 0.566 3	
t_{DM}/Ma	2 735 ~ 3 005	1 780 ~ 1 989	

* 与成矿有关的岩体，其它均为金、银多金属矿石

（6）Sm－Nd 同位素组成特征同样也说明了燕山期次火山岩型金矿和绿岩型金矿的主岩（即石英斑岩和斜长角闪岩）均不同程度受到围岩的混染或使地幔物质受到不同程度亏损，前者影响较大，侵入岩K－Ar法年龄为150 Ma，而t_{DM}为1 780～1 989 Ma，相差很大；后者影响较小，金刚库组斜长角闪岩 Rb－Sr 法等时线年龄为 2 573 Ma，而 t_{DM}为 2 832 Ma 即是从地幔中分离的年龄[10]，或者可视为镁铁质火山岩的形成年龄. 根据 ε_{Nd}（0）和$f_{Sm/Nd}$都小于零，是负值，反映了有大陆地壳岩石的成分.

回溯地壳演化历史，早于 3 500～3 600 Ma，华北地区业已形成岛链状初始古陆核. 在迁西运动之后，其南侧发育大规模的拗陷，并快速堆积了阜平群及恒山群巨厚的基性火山岩—碎屑岩—镁质碳酸盐建造. 大约在 2 800 Ma 前后，发生阜平运动，使阜平群及恒山群发生强烈变形—变质和混合岩化，形成古陆核增生，由于地壳克拉通化，呈现了刚性，具备板块构造运动的基本模式特征[20].

一般认为在北西－南东向拉张应力体制下，形成了五台裂谷. 实际上是由于地幔柱上隆，触发了超大陆地壳裂解，继而形成了以五台群的超基性岩群、钙碱性火山岩群和沉积岩群建造；并有花岗岩匹配组合（即所谓“三位一体”的花岗－绿岩带）. 根据其中超基性岩体科马堤岩、“双峰式”火山岩及元古界辉绿岩脉的侵入等特征，均成为太古宙裂谷型热幔柱构造活动的有力佐证. 与之相应的还有磁铁石英岩建造（BIF）、金刚库硫铁矿床、碾子沟金红石矿床和狐狸山绿岩型金（多金属）矿床等的矿床系列组合（图9A）.

随着构造演化，中生代末本区受太平洋板块的俯冲以及华北河淮地幔亚热柱的影响，派生了本区三级幔枝构造、叠加或复合在原裂谷热幔柱构造之上[2,21]（图9B）. 同时也产生一套与燕山中期花岗斑岩有成生关系的次火山岩型矿床谱系：斑岩型钼矿床（后峪），矽卡岩型铁、金矿点（义兴寨），隐爆角砾岩型金（多金属）矿脉（耿庄、庄旺、滩上），次火山岩型银、锰矿床（支家地、小青沟、峒沟及矽卡岩型银、铜、金（多金属）矿床（刁泉）.

4 结束语

五台山—恒山一带金、银多金属矿床寓于太古宙和燕山期复合热幔柱构造之中. 绿岩型金矿床形成于 2 416～2 317 Ma，相当于五台期或吕梁早期，这是迄今我国条带状铁建造金矿最老的成矿年龄[16]. 次火山岩金、银多金属矿床的成矿时代与燕山中期（135～160 Ma）复式、浅成相花岗岩类小岩体侵入有关.

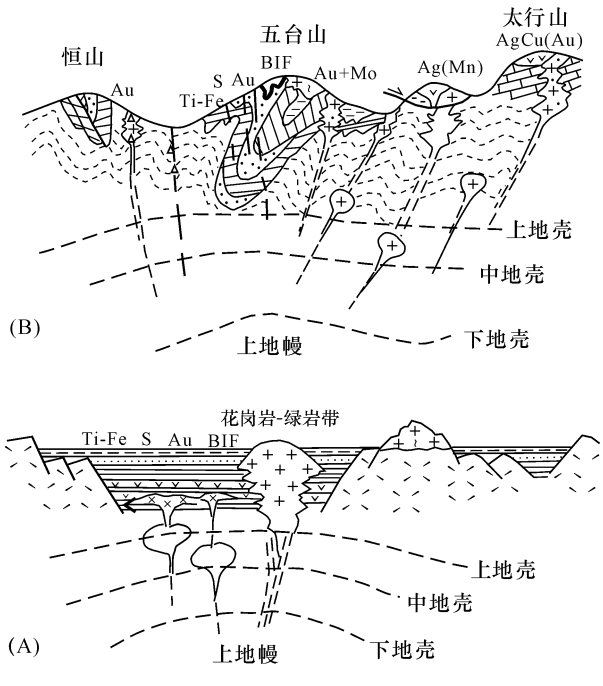


图9 五台山—恒山一带地幔热柱演化成矿模型

Fig. 9 Metallogenic model for evolution of mantle plume in Wutaishan－Hengshan

A—太古宙地幔热柱构造成矿模式；B—燕山期幔枝构造成矿模式

通过同位素地球化学研究，提供了硫源及金、银多金属矿源均来自深部地核的信息[22,23]，属于下地壳与地幔的混合产物. 两期的成矿作用有所不同，太古宙和燕山期的金、银多金属矿床的成矿特征既有继承性，又有变遗性.

参考文献

[1]刘风岐，真允庆. 晋东北“金三角”地区金、银矿床成矿构造环境[J]. 地质找矿论丛，1994，9(1)：27－38.

[2]真允庆. 五台幔枝构造的演化与金、银多金属矿床[J]. 桂林工学院学报，2003，(2)：139－148.

[3]田永清. 五台山—恒山绿岩带地质及金的成矿作用[M]. 太原：山西科学技术出版社，1991. 186－194.

[4]李兆龙，张连营. 山西省刁泉银铜矿床地质矿特征及矿床成因[J]. 矿床地质，1999，18(1)：11－21.

[5]李兆龙，张连营，樊秉鸿，等. 山西支家地银矿地质特征及矿床成因[J]. 矿床地质，1999，11(4)：315－324.

[6]余金杰，孟瑞发，李 泽. 灵丘小青沟银、锰矿床地质地球化

学特征及矿床成因[J]. 矿床地质,1996,15(1):53 – 63.
[7]林建阳. 山西伯强金、多金属矿田同位素地质特征及其意义[J]. 地质找矿论丛,1992,7(2):75 – 84.
[8]景淑慧. 繁峙义兴寨金矿的成矿条件[J]. 山西地质,1992,7(1):51 – 64.
[9]王安建,刘志宏,李晓峰. 五台山太古宙地质与金矿床[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1996. 111 – 115.
[10]沈保丰,孙继源,田永清,等. 五台山—恒山绿岩带金矿床地质[M]. 北京:地质出版社,1998. 85 – 135.
[11]关　康,罗镇宽. 华北地台太古代绿岩型金矿床铅同位素及其构造分区和成因上的意义[J]. 地质找矿论丛,1992,7(4):75 – 83.
[12]李兆龙,张连营,骆华宝. 晋东北地区中生代次火山岩及金银成矿作用地球化学[J]. 地质找矿论丛,1995,10(1):1 – 8.
[13]郭有录. 恒山鹿沟金矿形成的物理化学条件及同位素地球化学[J]. 华北地质矿产杂志,1994,9(3):281 – 292.
[14]曾国雄. 五台山绿岩带岩头—宽滩—康家沟一带绿岩岩金矿找矿前景[R]. 太原:冶金地质勘查三局,1991.
[15]张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液作用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1985. 150 – 201.
[16]骆　辉,余克思,陈志宏,等. 五台山地区条带状铁建造金矿地质及成矿预测[M]. 北京:地质出版社,2002. 82 – 110.
[17]山西省地质矿产局区域地质调查队. 山西省中生代中酸性侵入岩[R]. 榆次:山西省地质矿产局区域地质调查队,1983.
[18]胡受奚,赵懿英,徐金芳,等. 华北地台金矿地质[M]. 北京:科学出版社,1997. 100 – 205.
[19]胡受奚,王鹤年,王德滋,等. 中国东部金矿地质学及地球化学[M]. 北京:科学出版社,1998. 207 – 335.
[20]牛树银,陈　路,许传诗,等. 太行山区地壳演化及成矿规律[M]. 北京:地质出版社,1994. 118 – 178.
[21]钟　华,周锡明,真允庆. 地幔热柱与油气田成因[J]. 桂林工学院学报,2003,(23):258 – 265.
[22]牛树银,罗殿文,叶东虎,等. 幔枝构造及其成矿规律[M]. 北京:地质出版社,1996. 11 – 37.
[23]真允庆. 论金矿床的矿源层问题[J]. 地质与勘探,1989,(8):1 – 8.

Isotope geochemistry and metallogenic model of gold and silver polymetal ore deposits in the Wutaishan – Hengshan region

ZHEN Yun-qing
(*Geoexploration Bureau* 3, *Ministry of Metallurgy*, *Taiyuan* 030002, *China*)

Abstract: It is shown from the Isotope study that the sulphur in gold and silver polymetal ore deposits in the greenstones of Wutaishan – Hengshan region come from deep sources. Lead isotope compositions indicate that metals might be derived from lower crust and mantle. These deposits in the greenstones are different from the Yan-shanian gold and silver polymetal ore deposits of subvolcanic type. The former has relatively larger variations in lead isotope values, and is genetically related to metamorphism. Metamorphic fluids are dominant ($\delta^{18}O_{H_2O}$ from 1.34% to 12.55%, δD from 22.287% to −177.36%). However, the Yanshanian deposits show a small range of lead isotope variations and are genetically related to granite porphyry intrusions. Ore forming fluids are a mixture of magmatic and meteoric waters ($\delta^{18}O_{H_2O}$ mainly from −18.6‰ to +10.05‰, δD from −68‰ to −110‰). Carbon and Oxygen isotopes also indicate the same results. $\delta^{13}C$ (PDB) is from −1.25‰ to 1.37‰ and $\delta^{18}O$ (SMOW) is from 11.4% to 16.5% in greenstone type gold deposit. $\delta^{13}C$ (PDB) is from −4.0‰ to −9.2‰ and $\delta^{18}O$ (SMOW) is from 3.5‰ to 9.6‰ in Yanshanian subvolcanic gold and silver deposit. It is suggested by strontium isotope ratios of the deposits of these two types that both the Archean amphibolites and the Yanshanian granite porphyries, to which the mineralization is closely related, present a mixtures of crustal and mantle materials. Therefore, deposits of these tow types are intrinsically related in genesis. This conclusion is also supported by Sm – Nd isotope compositions. Furthermore, the negative values of both $\varepsilon_{Nd}(O)$ and $f_{Sm/Nd}$ imply that they are derivatives of the rocks in the continental crust and are most probably formed in greenstone terranes of the O – C types. A metallogenic model including hot mantle plumes is established for ore exploration in Wutaishan – Hengshan region.

Key words: isotope geochemistry; gold and silver polymetal ore deposits; metallogenic model; Wutaishan – Hengshan; Shanxi