

山门银金矿铅同位素地球化学研究

咸嘉泉 周燕 张延洁 王铁夫

(吉林大学,吉林长春,130026)

摘要 在研究中将矿石铅、岩石铅同位素数据投影于 Zartman 铅构造模式图中。矿石铅数据点都位于造山带和地幔铅演化线之间,大洋火山岩范围内,更靠近地幔铅演化曲线,说明矿石铅主要来自地幔,岩石铅数据点都落在造山带和上地壳演化线之间,说明岩石铅来自地壳物质重熔或同熔产生的花岗岩类。从而认为山门矿床成矿物质主要来自赋矿地层。矿区印支期或印支燕山期花岗岩是该区老地层重熔形成。该花岗岩的热液活动对山门矿床的最终形成具有重要作用。

关键词 铅同位素 银金矿 岩浆岩

A Geochemistry Study of the Lead Isotope in the Shanmen Electrum Deposit

XIAN Jiaquan ZHOU Yan ZHANG Yanjie WANG Tiefu

(Jilin University, Jilin Changchun, 130026)

Abstract This paper deals mainly with the genesis of the Shanmen electrum deposit based on lead isotope ratios of ores, granites and strata. The data of rock lead and ore lead were projected on the map of Zartman's lead model. The data of ore lead are all located between the line of the mantle and that of the fold belt or more exactly near the mantle line, suggesting the derivation of ore lead from the mantle. There are data of rock lead between the fold belt line and the upper lithosphere line, implying the derivation of rock lead from the granite formed by the remelting of the oldest crust. It is thus known that most ore-forming substances were derived from the ore-hosting strata in the Shanmen deposit. The granites of Indo-China movement or Indo-China-Yanshanian movement were produced by the remelting of the oldest strata in this region. The hydrothermal processes of the granites are very important in the formation of the Shanmen deposit.

Key Words lead isotope Electrum granite

山门矿的银储量为大型规模、金储量达中型规模。Cd、Sb、Pb、Zn、To、Mo、Hg、Bi、Cu、In、Ge、Sn、Ni、W 等有益元素较富集,是可综合利用的多金属矿床。

1 矿床地质概况

山门矿位于吉黑褶皱系,吉林伏地槽褶皱带西侧石岭隆起带内(图1)。区内出露地层主要为寒武-奥陶系西保安组和石缝组,为一套变质海相火山-沉积岩系。石缝组为矿区的主要地层,主要矿体赋存于该组地层的黄铁矿化及石墨含量较高的大理岩夹变质粉砂岩和板岩层中。矿区西北部有保安组黑云母角闪变粒岩和片岩,东南地堑部有下白垩统紫色砂页岩分布。区域岩浆活动频繁强烈,自加里

东期至喜马拉雅期均有侵入或喷发。加里东晚期含磷角闪岩、石英闪长岩及花岗岩受区域变质作用,形成片理化石英闪长岩及片麻状花岗岩。华力西早期辉石角闪岩、橄榄辉长岩发育镍矿化。这些岩体多呈岩株侵入古生界地层中。印支-燕山期中-酸性侵入岩体呈 NE、NNE 向带状出露于矿区内。该岩体约占矿区面积的 60% 以上,是矿区的主要侵入体,也是山门银金矿体重要的围岩之一。

在矿区印支期闪长岩体(锆石 U-Pb 谐和年龄为 193 Ma)沿 NNE 向侵入于石缝组。岩体边部俘虏体较多,呈透镜状沿接触带分布。卧龙矿段主要矿体赋存于石缝组与石英闪长岩的接触带两侧,矿体呈层状和扁豆状,有的呈脉状。目前已发现的十余条大致相互平行的矿体中,其中1、2、3号矿体都

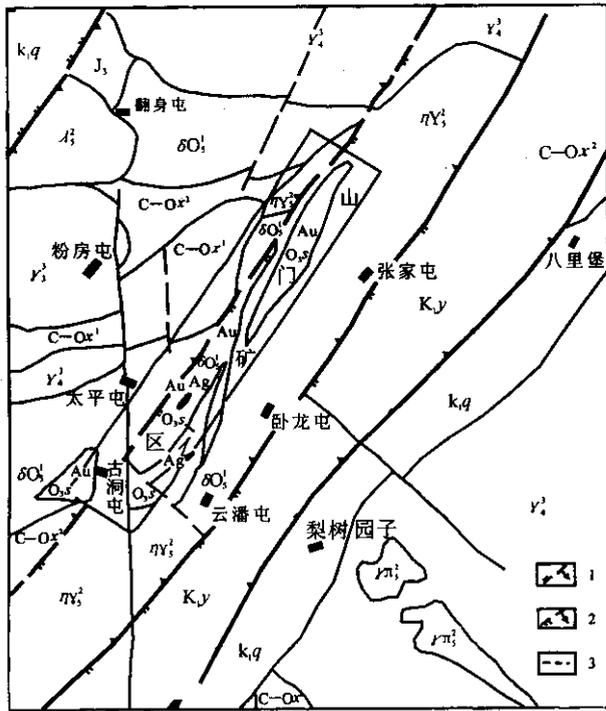


图1 山门银矿区域地质图

Fig.1 Sketch geological map of the Shanmen silver deposit
 K_{1,y}-白垩系下统叶赫组 K_{1,q}-白垩系下统泉头组 J₃-上侏罗统;
 O_{3,s}-上奥陶统石缝组 C-O₂-寒武-奥陶系西保安组片麻岩段和变粒
 岩段 λ_3^2 -流纹岩 γ_3^2 -花岗岩 γ_2^2 -二长花岗岩 δO_3^1 -石英闪长岩;
 γ_3^1 -黑云母花岗岩 δO_3^2 -片理化石英闪长岩 γ_3^1 -片麻状黑云母花岗岩;
 Au, Ag-金银矿体; 1-压扭性断层 2-张扭性断层 3-推断断层
 K_{1,y}-Lower Cretaceous Yehe Fm.; K_{1,q}-Lower Cretaceous Quantou
 Fm.; J₃-Upper Jurassic; O_{3,s}-Upper Ordovician Shifeng Fm.; C-O₂-
 Shist portion and leptynite portion of Cambrian-Ordovician Xibao Fm.;
 λ_3^2 -rhyolite γ_3^2 -granite porphyry γ_2^2 -monzonitic granite δO_3^1 -quartz
 diortite γ_3^1 -Biotte granite δO_3^2 -Schistositized quartz-diortite;
 γ_3^1 -Schistostlized blotte granite; Au, Ag-gold-silver ore body;
 1-compresso-shear fault 2-tenso-shear fault 3-inferred fault

产在石缝组地层中,其产状与围岩层一致,有的部位与石英闪长岩直接接触;4、6号矿体产于石缝组上盘石英闪长岩体边部的破碎带中。二长花岗岩体分布于闪长岩体东侧,与闪长岩呈侵入接触,并形成接触交代混杂带,部分银矿体产在混杂带的构造裂隙中。燕山晚期各类脉岩发育,脉岩在空间上与矿体十分密切,与矿体受同一构造控制,相互平行展布。

区域主体构造线为 NNE 方向,主要有四平-德惠、伊通-依兰 2 条深大断裂,其活动控制了中生代以来的区域岩浆活动和断陷盆地沉积,同时控制矿产的生成和分布。矿区断裂构造和区域断裂构造方向一致,由多次活动复合叠加形成。

山门矿床矿石属贫硫化物型,矿石矿物中金属硫化物总量为 2%~5%,一般低于 5%,但矿物种类较多,金和银主要以独立矿物存在。

2 铅同位素地球化学

2.1 矿石铅同位素组成

山门矿床已发表的铅同位素数据较多,在研究中采集测试 40 多个矿石铅样品并收集部分铅同位素数据(戚友顺,1992),其铅同位素组成很一致(表 1)。在矿区,从层状矿体到脉状矿体,从深部到近地表矿体,无论其共生矿物组合如何,铅同位素组成都很近似,²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 比值变化范围为 18.05~18.15,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 为 15.45~15.52,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 为 37.75~37.95,²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 为 1.170±0.002。

从矿石铅同位素组成特征来看,²⁰⁴Pb 小于 1.42%,²⁰⁶Pb 大于 24.76%,²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 大于 17.7,²⁰⁸Pb 大于 37.6,说明山门矿矿石铅均来自寒武纪以后的现代铅,矿石铅里混染部分放射成因铅。

表 1 山门金银矿矿石铅同位素数据

Table 1 Lead Isotope data of ores from the Shanmen electrom

岩石矿石名称	测试矿物	铅同位素组成			源区特征值		
		²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	μ	ν	ω
黄铁绢云岩	黄铁矿(5)	18.106~18.149	15.445~15.501	37.778~37.925	9.0~9.3	0.065~0.067	33.1~33.4
	黄铁矿(1)	18.071	15.453	37.839	9.1	0.066	34.4
铅锌矿石	方铅矿(2)	18.115~18.140	15.499~15.531	37.901~37.994	9.4	0.068	35.5
	闪锌矿(1)	18.112	15.496	37.849	9.2	0.067	34.3
金银矿石	黄铁矿(1)	18.079	15.466	37.761	9.1	0.066	33.5
	方铅矿(2)	18.113~18.115	15.492~15.499	37.901~37.912	9.2~9.3	0.067	34.6
银矿石	闪锌矿(1)	18.069	15.459	37.931	9.1	0.066	33.5
	黄铁矿(3)	18.073~18.115	15.495~15.510	37.910~37.997	9.2~9.3	0.067	34.6~35.4
方铅矿(13)	方铅矿(13)	18.048~18.129	15.452~15.525	37.802~37.950	9.1~9.4	0.065~0.068	33.3~35.4
	闪锌矿(2)	18.093~18.115	15.479~15.488	37.825~37.860	9.2	0.067	34.1
矿化白云石英脉	方铅矿(2)	18.067~18.117	15.458~15.497	37.831~37.901	9.1~9.2	0.066~0.067	34.0~34.6
黄铁矿方解石脉	黄铁矿(1)	18.125	15.431	37.802	9.0	0.065	32.7

注:计量单位为国际原子质量单位,测试精度为 1%,括号内数字为测试矿物数。

将矿石铅同位素数据投影于 Zartman 铅构造模式图中(图 2),其数据点都位于造山带铅和地幔铅演化线之间,大洋火山岩范围内,更靠近地幔铅演化曲线,说明矿石铅主要来自地幔,与矿区岩浆岩系列岩石铅同位素数据点分布域明显不同。

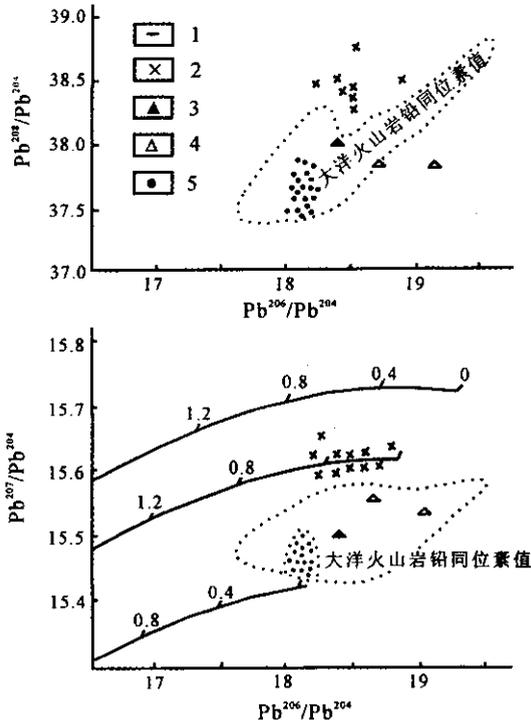


图 2 山门银金矿矿石铅和岩石铅同位素组成分布图

Fig. 2 Distribution figure of lead isotope of ore and rock in Shanmen

- 1-大洋火山岩铅同位素值 2-岩浆岩、地层铅同位素值 3-粉砂岩中黄铁矿铅同位素值 4-大理岩铅同位素值 5-矿石铅同位素值
- 1-the lead isotope ratio of the ocean volcanic rock 2-the lead isotope ratio of stratum and granites 3-the lead isotope ratio of pyrite in the aleuvite ; 4-the lead isotope ratio of griotte 5-the lead isotope ratio of ore

由于山门矿形成时代较年轻(显生宙),因此矿石铅同位素组成可与现代地幔和地壳来源的岩石铅同位素组成进行比较,进一步说明矿石铅和岩浆岩系列岩石铅的来源不同。由图 3 可见,矿石铅都落在代表上地幔组成的洋中脊玄武岩和代表壳幔混合的太平洋西岸岛弧铅底线之间,并倾向于洋中脊玄武岩岩区。说明山门银矿成矿物质是以地幔物质成份为主的海底火山沉积物,矿床中的矿石铅是通过海底火山喷发的,其来自上地幔或地壳深部。

2.2 岩浆岩系列岩石铅同位素组成

表 2 是矿区及其外围岩浆岩系列不同岩石类型的岩石铅同位素数据。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值变化范围为 1.8.08~18.90, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.45~15.52,

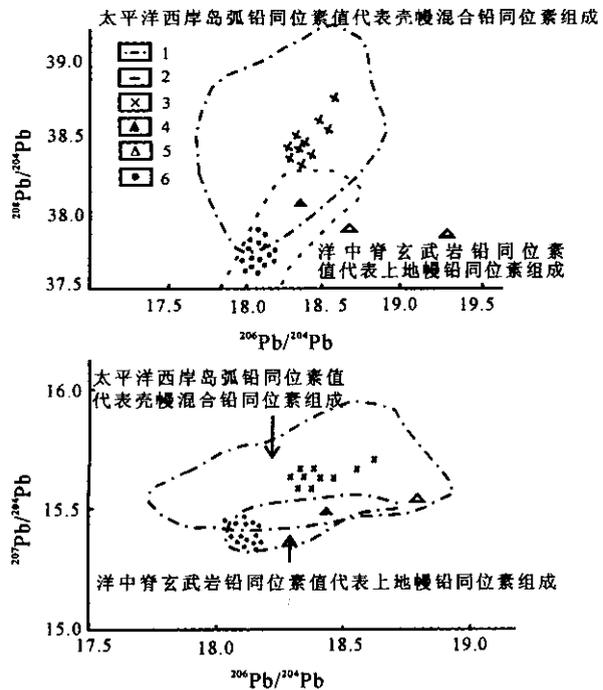


图 3 山门矿矿石铅、岩石铅与现代岩石铅来源比较图

Fig. 3 Comparison of lead origin of

ore and rock and newly formed rocks in Shanmen

- 1-洋中脊玄武岩铅同位素值代表上地幔铅同位素组成 2-太平洋西岸岛弧铅同位素值代表壳幔混合铅同位素组成;
- 3-岩浆岩、地层铅同位素值 4-粉砂岩中黄铁矿铅同位素值;
- 5-大理岩铅同位素值 6-矿石铅同位素值
- 1-the lead isotope ratio of the basalt in the ocean ridge represents the lead isotope ratio of mantle 2-the lead isotope ratio of island arc on the west seacoast of Pacific Ocean represents the lead isotope ratio of crust and mantle mixed 3-the lead isotope ratio of stratum and granites 4-the lead isotope ratio of pyrite in the aleuvite 5-the lead isotope ratio of griotte ; 6-the lead isotope ratio of ore

$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.05~38.70, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 1.16~1.21。这表明岩石铅同位素组成有较大的变化范围,放射成因铅明显增多,岩石铅同位素比值明显高于矿石铅同位素比值。将岩石铅同位素数据投影于 Zartman 铅构造演化模式图中(见图 2),发现其数据点部落在造山带和地壳演化线之间,一般集中在岛弧铅范围内(见图 3)。岩石铅的 μ ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$) 值 (9.6~9.9) 明显高于矿石铅的 μ 值 (9.0~9.3)。这说明岩浆岩系列岩石是 U、Th 含量相对高的地壳物质重熔或同熔形成的花岗岩类,从而排除岩浆岩成岩物质直接来自地幔的可能性。在该区老地层深部重熔或同熔过程中,海底火山喷发沉积的矿石铅和地层中的放射成因铅混合形成了岩浆岩系列的岩石铅。

表2 山门银矿岩浆岩系列岩石铅同位素数据

Table 2 Lead Isotope data of granites in Shanmen

采样位置	岩石名称	同位素组成			源区特征值				实测年龄/Ma
		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ	ν	ω	Th/V	
古洞	黑云母闪长岩	18.230	15.619	38.465	9.80	0.071	38.5	3.8	198 U-Pb
卧龙	石英闪长岩	18.353	15.558	38.242	9.50	0.069	35.9	3.6	187 U-Pb, 227Rb-Sr
东粉房屯	二长花岗岩	18.560	15.583	38.712	9.6	0.069	37.3	3.8	158 K-Ar, 223 Rb-Sr
叶赫岭	二长花岗岩	18.891	15.609	38.850	—	—	—	—	156 U-Pb, 223 Rb-Sr
卧龙	橄榄云煌岩	18.455	15.601	38.366	9.7	0.070	36.7	3.7	122K-Ar
卧龙	细粒闪长岩	18.559	15.618	38.624	9.7	0.071	37.6	3.7	80U-Pb
Tc7-4	辉长岩	18.297	15.647	38.532	9.9	0.072	39.7	3.9	329K-Ar
山门	流纹岩	18.419	15.559	38.336	9.5	0.069	36.0	3.6	134U-Pb
梨树园	纹纹岩	18.402	15.557	38.195	9.5	0.069	35.3	3.6	—
ZK43-2	斜长花岗岩	18.075	15.445	38.049	9.7	0.066	34.6	3.7	—

注: 计量单位为国际原子质量单位, 测试精度为1‰。

2.3 地层岩石铅同位素组成

地层铅同位素数据并不多, 区内含矿地层黄莺屯组变质粉砂岩中黄铁矿和大理岩岩石铅同位素数据共有3个(戚友顺, 1992; 表3)黄铁矿的 μ 值为9.2, 与矿石铅相同, 很可能为同源同期的共生矿物。由于大理岩的原岩是海相沉积的石灰岩, 大理岩中 μ 值高, 其铅同位素组成继承了海相石灰岩富铀贫钍的特征, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为18.78~19.36, 明显高于矿石铅, 而 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为37.87~37.89相对较低。这是由铀、钍元素的地球化学性质差异所决定的, U^{4+} 在氧化条件下呈六价, 以 UO_2^{2+} 的形式易溶于海水中, 海水中的铀与 CaCO_3 一起沉淀, 铀很可能占据晶格中钙的位置, 所以沉积碳酸盐富铀贫钍, Th/U比值较小。

表3 地层岩石铅同位素数据表

Table 3 Lead Isotope data of the rock in the strata

样品号	岩石名称	测试矿物	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
1	变质粉砂岩	黄铁矿	18.400	15.509	38.045
2	大理岩	全岩	18.780	15.570	37.89
3	大理岩	全岩	19360	15.550	37.870

注: 计量单位为国际原子质量单位, 测试精度为1‰。

3 结论

根据上述讨论, 对山门矿床的成矿物质来源、成矿溶液以及花岗岩浆热液活动与成矿关系等问题有了新的认识。

万方数据

铅同位素研究结果说明, 山门矿床成矿物质主要由赋矿地层本身提供, 矿石铅主要来自上古生界海底火山喷发沉积的原始铅, 后经印支期或印支-燕山期重熔老地层中放射成因铅的混染。印支或印支-燕山期的岩浆热液活动活化了赋矿地层的成矿物质。花岗岩铅同位素特征表明, 矿区印支或印支-燕山期花岗岩是该区老地层深部重熔的“S型”花岗岩, 其岩浆热液活动对山门矿床的最终形成具有重要意义。

山门矿床的成因类型可归为海底火山喷发沉积, 经后期热液改造形成的银、金多金属矿床。

参考文献

- 包志伟, 赵振华. 2000. 东平式金矿床铅同位素组成特征及其化探评价. 地球化学, 29(3): 223~228.
- 戚友顺. 1992. 山门银矿铅同位素地质特征及地质意义. 吉林地质, 11(1): 60~69.
- 田维胜. 1991. 吉林四平山门银矿床地质特征. 矿床地质, 10(2): 152~159.

References

- Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua. 2000. Lead isotope composition of the Dongping-type gold deposit and their exploration application. Geochimica, 29(3): 223~228 (in Chinese with English abstract).
- Doe B R, Zartman R E. 1979. Plumbotectonics: The Phanerozoic. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits Barnes H L CL, 12(3): 156~165.
- Qi Youshun. 1992. The lead isotope of the Shanmen silver deposit clarifies geological specialty and meaning. Jilin Geology, 11(1): 60~69 (in Chinese).
- Tian Weisheng. 1991. The geological specialty of Shanmen silver deposit. Deposit Geology, 10(2): 152~159 (in Chinese).