

四平山门银矿矿床成因的同位素地球化学证据

黄文斌^{1,2}, 申浩澈³(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
2. 中国地质图书馆, 北京 100083; 3. 长春大学, 长春 130021)

[摘要] 文章运用同位素地球化学方法对四平山门银矿成矿作用与区域岩浆活动的关系进行了探讨。对矿石矿物、含矿岩体、矿区地层的铅、硫、氢、氧同位素进行了测定, 矿石的 Pb-Pb 等时线年龄 173Ma, 与矿区内花岗闪长岩体形成时代的末期接近; 矿石矿物、含矿岩体及矿区地层中铅同位素组成对比表明, 铅同位素主要与矿区内花岗闪长岩有密切关系。同时硫、氢、氧研究为山门银矿的矿床成因模式提供了准确的同位素证据。

[关键词] 银矿 同位素地球化学 中生代 花岗闪长岩 成矿作用

[中图分类号] P618.52; P629 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2006)04-0046-05

伊舒地堑大地构造位置处于天山—兴安地槽褶皱区内, 位于辽吉山地与松辽平原的过渡地带。盆地内部及两侧的山地出露着从古生代到新生代各个时代的地层。据吉林地区航磁资料, 伊舒断裂带由两条相互平行的、走向 45°~50° 的岩石圈断裂构成, 在其间狭长地带中沉积了厚达 2000 多米的中—新生代陆相碎屑岩, 从而形成了伊舒地堑盆地。该区经历了加里东、海西、印支、燕山、喜山期 5 次大的地壳运动, 岩浆活动十分频繁, 岩石类型复杂, 主要分布在盆地外围的山地。由于不同方向、不同规模、不同力学性质的构造形迹广为发育, 岩浆岩受到不同程度的变质蚀变、挤压。伊舒地堑周边岩浆活动与区域成矿作用关系密切, 岩浆作用一方面为成矿作用提供成矿物质, 成为成矿作用的母岩, 另一方面岩浆岩在岩浆活动中为区域成矿作用提供热动力, 促使地下水溶解地壳上部地层中分散成矿元素的能力增加, 从而使成矿元素迁移、富集成矿。

四平山门银矿是区内主要矿产, 为我国第二大银矿床, 显然研究该矿床与岩浆关系, 既有利于该矿床的成因研究与其所处的构造岩浆环境的认识, 又有利于认识区域岩浆岩的成矿作用。作者主要通过山门银矿地球化学深入研究探索该区成矿作用与岩浆活动的关系。

1 矿区地质背景

1.1 区域地质特征

山门银矿位于天山—兴安地槽区吉黑褶皱系, 吉林优地槽褶皱带两侧, 石岭隆起北西段。西邻松辽中断陷, 南距中朝准地台约 30km。

区域主体构造线为 NE 和 NNE 向, 横贯全区。四平—德惠和伊通—依兰两条壳断裂将该区分为 4 个 II—III 级构造单元, 从西向东依次为松辽中断陷、大黑山条垒、伊通—依兰地堑、郭化—靖宇隆起。山门银矿赋存于大黑山条垒南段东缘断裂带上^[1]。

区内出露的主要地层为寒武—奥陶系西保安组变质岩系, 岩性为片岩、麻粒岩, 黄莺屯组的变质砂岩板岩、大理岩夹变质粉砂岩, 侏罗系上统沙河子组及白垩系下统。其中上奥陶统黄莺屯组的黄铁矿化及石墨含量较多的大理岩夹变质粉砂岩、板岩为控矿围岩。

大型区域构造走向 NNE 向, 横贯全区, 各期次的岩浆活动均沿大断裂侵位。岩浆岩类以二长花岗岩、黑云母花岗岩为主, 还有一些石英闪长岩、花岗斑岩、流纹岩及少量的基性、超基性岩。其中石英闪长岩为矿体的直接围岩(图 1)^[2]。

1.2 矿床地质特征

山门银矿由 5 个矿段组成, 由北向南, 依次为张家屯、龙王、卧龙、云潘、古洞矿段。矿体产于 NNE

[收稿日期] 2005-09-01; **[修订日期]** 2005-11-05; **[责任编辑]** 韩进国。

[第一作者简介] 黄文斌(1966 年—), 女, 1991 年毕业于长春地质学院, 获硕士学位, 在读博士生, 副研究员, 现主要从事矿床地球化学工作。

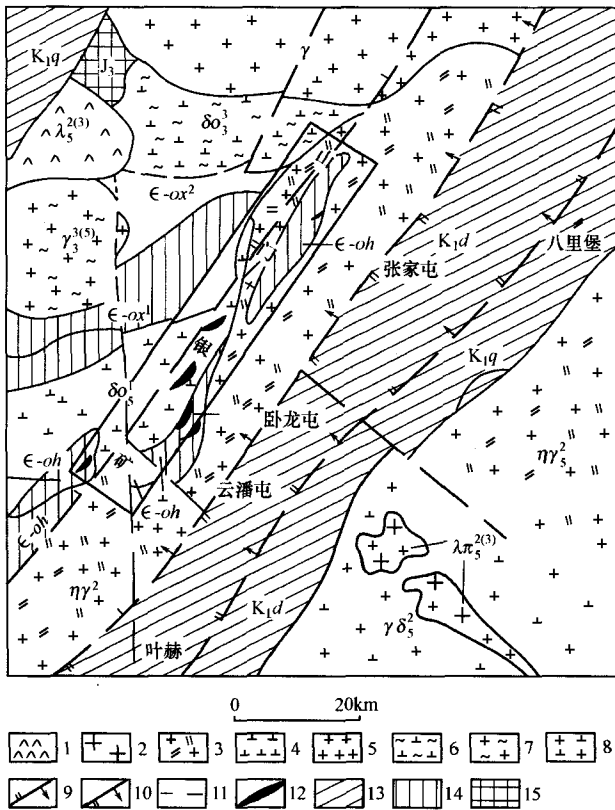


图1 山门银矿区地质图

(据1992年吉林省山门银矿床研究报告)

1—流纹岩;2—花岗岩;3—二长花岗岩;4—石英闪长岩;5—黑云母花岗岩;6—片理化石英闪长岩;7—片麻状黑云母花岗岩;8—花岗闪长岩;9—压扭性断层;10—张扭性断层;11—推测断层;12—金、银矿体;13—下白垩系;14—下古生界;15—上侏罗统

向深大断裂旁侧隆起区边缘次级平行断裂带与NW向断裂带的交汇部位,矿体赋存于破碎角砾岩硅化石英带内^[3]。

矿化主要发生在强烈硅化的石英岩中,存在两期主矿化阶段,第一期为黄铁绢云岩化和块状Pb、Zn矿化、灰色硅化和Ag矿化,石英中含大量碳质,范围广,规模大;第二期为白色石英银化物阶段,呈平行脉产生,叠加在第一期矿化阶段上,形成富矿体,Au的含量也相对增高。

矿体围岩蚀变发育,顶板为红长石化,底板发生黄铁绢云岩化,近矿为绢云母化、黄铁矿化和硅化等低温蚀变。

矿体为隐伏矿体,仅3号矿体部分出露,矿体倾向NW,倾角40°~45°,在-150m中段为富矿体,到0m段迅速尖灭,矿体长:宽=10:1。矿石有益组分为Ag,伴有少量Au,为独立银矿床。矿石矿物以独立的Ag(50%)、各种Ag的硫化物为主,其次为黄

铁矿、黄铜矿,整个金属硫化物<3%,脉石矿物主要为石英。矿床具有选矿简单、储量集中的特点。

2 矿区岩浆岩

矿区内岩浆岩分布在隆起区,多数剥蚀较浅,占总面积的80%,出露最早的岩体为华力西期的基性、超基性岩,与银矿床有关的岩体主要有靠道子岩体、卧龙岩体及燕山期侵入的脉岩群。

2.1 靠道子岩体

岩体位于矿床的上盘,呈岩株状产出,岩体展布方向为NE—NNE,出露面积约80km²,沿NNE向超覆于黄莺屯组之上,在矿区范围内控制了主矿体的分布。

岩体分为两个相带,边缘相主要为中粒石英闪长岩,在东北角插入矿区,形成矿体顶板,而有些岩脉插入矿体内部,成为矿体的直接围岩,石英闪长岩发生蚀变成红化带,即斜长石为红色,暗色矿物多数绿泥石化、磁铁矿化、铁白云石化,这也是直接找矿标志之一。内部相为中粒黑云母二长闪长岩。岩石化学成分上, $A1/(K+Na+2Ca) < 1$,为正常系列, SiO_2 含量为56%~62%, $Na_2O > K_2O$ 。副矿物组合为榍石—磷灰石—磁铁矿。 $\delta Eu = 0.9 \sim 0.82$,岩石中铈同位素比值 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为0.70544,石英闪长岩中石英的 $\delta^{18}O = 7.8\%$,岩体中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 为+0.5‰~ -1.9‰,岩石铅同位素组成为: $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.56 \sim 15.64$, $^{206}Pb/^{204}Pb = 18.32 \sim 18.35$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 38.24 \sim 38.47$,因此靠道子岩体的原岩物质来源较深,为壳幔同熔型花岗岩。

从黑云母二长闪长岩(内部相)挑选出锆石,测得U—Th—Pb同位素年龄为193.3Ma,从石英闪长岩(边缘相)挑选出锆石做锆石的Pb—Pb等时线,其年龄为187.8Ma,因此岩体是在印支末期至燕山早期形成。

2.2 卧龙岩体

卧龙岩体位于矿床下盘,呈岩墙产出,NNE向展布,沿印支期靠道子岩体东缘展布,并插入石英闪长岩中,二者的接触关系较为复杂。岩体处于主构造带内,与主断裂呈斜接关系,构成矿体底板,是矿体直接围岩。主要岩性为二长花岗岩,具变形结构。

岩石化学成分上, $A1/(K+Na+2Ca) > 1$,为铝过饱和系列, SiO_2 含量增高为73.4%, $K_2O > Na_2O$,副矿物组合为锆石—磷灰石—磁铁矿。 $\delta Eu = 0.45$,岩石中铈同位素比值 $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7158$,石英中 $\delta^{18}O = 9.0\% \sim 9.2\%$,黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 接近陨石硫,铅同

位素组成 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.58 \sim 15.61$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.56 \sim 18.89$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.71 \sim 38.85$, 因此岩体为壳幔同熔型花岗岩。

岩体的全岩 K - Ar 同位素地质年龄为 158Ma, 锆石的 U - Th - Pb 同位素年龄为 150Ma^[5], 这两个年龄的可信度是值得怀疑的。一般来说, 锆石的年龄往往大于全岩的 K - Ar 年龄, 尤其是该岩体处在主构造带内, 破碎较强烈, K - Ar 全岩(含有大量的钾长石)年龄必然偏低, 而锆石的 U - Th - Pb 年龄又小于 K - Ar 全岩年龄, 因此这两个年龄不能反映该岩体的真实年龄。

根据卧龙岩体与靠道子岩体的侵入特点和空间上相伴生关系, 并结合岩石学、岩石化学、同位素(铅、铀、钍、氧)、 δEu 、成岩及成矿演化关系等方面综合分析, 都一致表明它们之间存在着岩浆分异演化的直接联系, 故应属同期次侵入的岩浆分异演化过程中先后侵入的产物^[6]。因此, 两者同为一个岩体, 在印支末期该岩体就已形成并一直持续到燕山期, 属于壳幔同熔型花岗岩。

2.3 脉岩

脉岩主要有细粒闪长岩、辉石闪长岩、辉绿岩、细粒二长花岗岩、细粒斜长花岗岩、煌斑岩等。除细粒二长花岗岩、细粒斜长花岗岩外, 其余均在空间上与矿体十分密切, 基本上受同一构造体系控制, 相互近平行展布, 主要分布在矿床下盘, 主要沿 NNE 向分布, 倾向 NW, 煌斑岩、闪长玢岩与矿体几乎相随, 有的则成为矿体顶底板或直接围岩。

对没有受到矿化和蚀变的煌斑岩中黑云母斑晶用 K - Ar 法测得同位素年龄为 122Ma。

矿区内的岩体基本上属于一个演化系列。属钙碱性系列或碱性系列。

3 矿床成因的同位素地球化学证据

3.1 铅同位素

对区内 22 个矿石样品的铅同位素数据进行统计处理, 所有样品除 1 个样品的 ^{208}Pb 外都服从单一母体的正态分布(图 2), 方差很小可能是由实验引起的。说明 Pb 是来自同一成矿母体, 物质来源单一。

为了查明矿床的物质来源和成矿机制, 以便进一步扩大找矿远景, 对矿床进行了广泛的方铅矿的铅同位素研究。用方铅矿普通铅来计算成矿年龄具有很大的可靠性, 同时它又是一个可靠的物质来源的示踪剂^[7]。

采用 H - H 法计算铅的模式年龄, 得到负的模

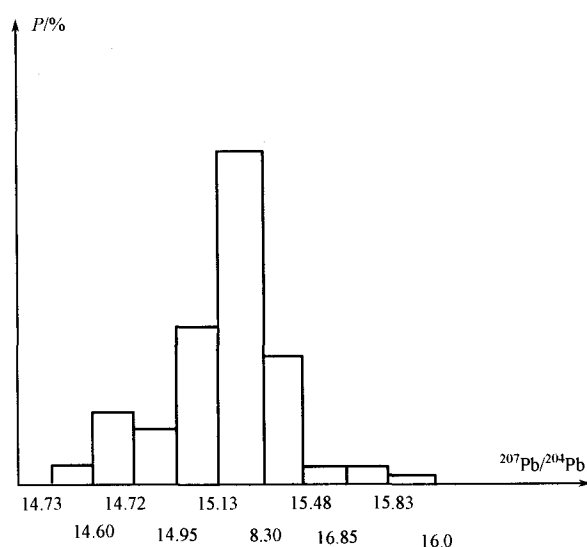


图 2 山门银矿矿石样品铅同位素数据分布直方图
(测试单位: 长春地质学院同位素室)

式年龄, 因此矿石中铅已不是单阶段的, 反映了现代上地幔铅特征的异常铅。若采用拉塞尔 - 斯塔顿 - 法夸尔法, 假设 $a_0 = 9.3074$, $b_0 = 10.294$, 矿石样品中铅平均同位素比值为: $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1.16915$, 通过线性内插法计算得到成矿模式平均年龄为 172.8Ma。利用 J S 斯塔西两阶段增长公式, 年龄集中在 180Ma, 这个模式年龄与区内靠道子和卧龙岩体形成时代相接近, 并且铅同位素组成与两个岩体的铅同位素组成一致, 而与矿区黄莺屯组地层铅同位素组成相差较远, 说明矿石中铅的来源与岩浆活动有密切的关系。

由于山门银矿形成时代比较年轻, 因此方铅矿中铅的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, 从而查明它的来源^[8]。将山门银矿的铅同位素数据以 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 对 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在生长线上做图(图 3), 由图可以看出数据都在零等时线的右边, μ 值为 8.2 ~ 8.7 的演化线的延

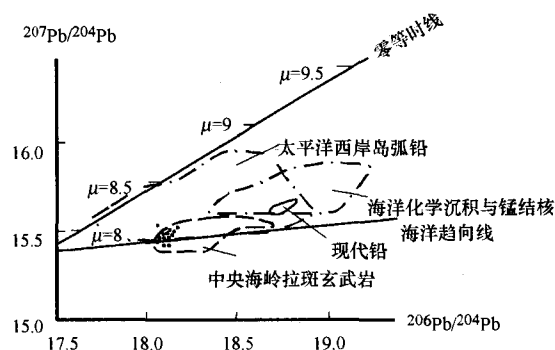


图 3 山门银矿方铅矿 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 作图并与 3 种来源现代岩石铅的比较

长线上,铅同位素组成介于代表上地幔组成的中央海岭拉斑玄武岩和代表壳幔混合的太平洋西岸岛弧铅之间,并倾向于中央海岭拉斑玄武岩,同样在²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb - ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 图上(图 4)也同样反映了这一规律。说明矿床中成矿物质来源较深,是上地幔与地壳的混合铅,且上地幔的物质成分多些。

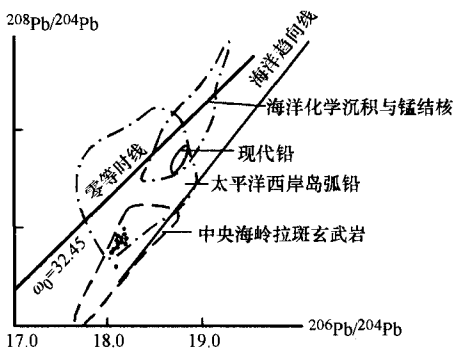


图 4 山门银矿方铅矿²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb - ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 作图并与现代岩石铅的比较

山门银矿的方铅矿铅同位素组成特征与陈毓蔚总结的我国显生代金属矿床铅同位素组成特征相一致,也与全球中生代硫化矿床铅同位素分布范围相吻合。我国中生代方铅矿同位素组成另一个特点是凡与岩浆活动有关的矿床铅同位素组成变化范围小,并且凡是与火山岩或花岗闪长岩有关的矿床铅同位素组成较稳定,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 都比较低(15.3 ~ 15.6),²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 都大于 17.5^[9]。山门银矿的铅同位素组成²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb: 18.017 ~ 18.149, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb: 15.418 ~ 15.525, 与中国中生代方铅矿铅同位素组成相同。因此,山门银矿的形成可能与区内花岗闪长岩有关。

3.2 硫同位素

对山门银矿的矿体、岩体、地层中方铅矿、闪锌矿、黄铁矿的硫同位素测试结果表明(表 1),矿体、岩体中 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围窄,接近陨石硫,而地层中 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围大,且出现较低的负值,因此矿体中硫的来源比较单一,为上地幔或地壳深部,硫可能与侵入体有关。

各矿体中的金属矿物硫同位素服从对数正态分布, $\delta^{34}\text{S}$ 集中在 -2.0‰左右,矿石中金属矿物 $\delta^{34}\text{S}$ 具有: $\delta^{34}\text{S}(\text{FeS}) > \delta^{34}\text{S}(\text{ZnS}) > \delta^{34}\text{S}(\text{PbS})$,这符合热液体系中硫同位素平衡条件下的矿物生成顺序,因此几种矿物为共生关系。根据闪锌矿、方铅矿共生矿物对的 $\delta^{34}\text{S}$ 值进行温度计算,结果表明其变化范围为 160℃ ~ 300℃,多集中在 200℃,这与其他方法

所获得的温度值极为一致。

表 1 山门银矿矿区各主要地质硫化物的硫同位素

地质体	矿物	样本数	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$		极差
			变化范围	均值	
斜长花岗岩	FeS ₂	3	0.5 ~ -1.9	-0.76	2.4
细粒斜长花岗岩					
石英闪长岩					
变质粉砂岩大理岩	FeS ₂	8	-1.86 ~ -30.3	-12.09	28.4
黄铁绢云岩	FeS ₂	12	-1.2 ~ -9.6	-4.2	8.4
矿体及矿化带	FeS ₂	23	1.79 ~ -4.6	-1.47	6.39
	ZnS	12	1.18 ~ -8.7	-3.89	7.52
	PbS	13	-2.7 ~ -11.4	-8.24	8.7
黄铜矿、方铅矿白	FeS ₂	1	-3.9	-6.76	1.3
云石英脉	PbS	1	-12.6		
	FeCuS ₂	3	-6.3 ~ -7.6		
金属矿体及矿化带		67	1.79 ~ -12.6	-4.1	14.39

数据来源于吉林省区域地质调查三队。

在空间上, $\delta^{34}\text{S}$ 由深部向浅部、从南向北逐渐减小(表 2),这种规律性的变化很可能是受热液迁移方向的影响,即矿液是从南向北迁移的。

表 2 山门银矿主矿化阶段硫同位素垂向变异特征

标高/m	金属矿物($\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$)			
	FeS ₂	ZnS	PbS	FeCuS ₂
-100 ~ 0	-0.26(5)	-3.75(4)	-7.4(4)	
0 ~ 100	-0.83(7)	-4.06(8)	-8.72(5)	
100 ~ 200	-1.96(8)	-2.75(3)	-8.85(3)	
200 ~ 300	-4.63(3)		-12.6(1)	-6.96(3)

注:()内为样品数。数据来源于吉林省区域地质调查三队。

山门银矿以黄铁矿、磁黄铁矿、方解石组合为特征,没有出现高氧逸度条件下的重晶石 - 磁铁矿 - 黄铁矿组合和低氧逸度条件下以石墨 - 磁黄铁矿为标志的矿物组合,因此矿床中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值 -1.37‰可近似地代表矿床中总硫同位素组成特征,这个结果与采用平克尼高温外推法求得 $\delta^{34}\text{S} = -2.4\text{‰} \sim -2.9\text{‰}$,均值为 -2.65‰一致,山门银矿总硫值属于陨石硫值范围,为深部来源。

3.3 氢、氧同位素

通过测定各地质体的氢、氧同位素可知,主硅化阶段及一些远离主矿化带的硅化脉石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值基本相近,晚期方解石石英脉中的石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值则明显降低。矿化前期的黄铁绢云岩中绢云母与二长花岗岩、细粒斜长花岗岩中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 差别不大,各地质体的 $\delta\text{D} = -92\text{‰} \sim -106\text{‰}$ 之间,可以认为整个矿床形成过程中属于一个热液系统。

石英的同位素比值有很好的保存性,又是蚀变矿化过程的贯通矿物,所以根据它的同位素比值计算出来的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 代表其形成时热液流体的同位素

组成,可以指示热液流体的来源。不同阶段石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值与包裹体均一温度、盐度相对应,表明早期热液流体主要为岩浆水,大气降水加入量随热液演化不断增高。

4 结 论

综上所述,根据地质地球化学、同位素地球化学资料分析研究,认为矿区内靠道子岩体与卧龙体是同属一个岩浆演化系列的同一岩体。矿床的成矿模式平均年龄为 173Ma,接近岩体形成时代末期,并且从铅、硫、氢、氧同位素对比分析表明它们具有一致性,说明山门银矿的成矿作用与岩浆活动密不可分,这为该矿床的成因模式提供了准确的同位素证据。

山门银矿为中低温热液型矿床,成矿物质来源于上地幔与地壳,NNE 向和 NE 向深大断裂严格控制着岩浆活动和矿体的形成,山门银矿无论是从成矿物质来源还是成矿流体都与岩浆活动密切相关,岩浆活动是矿床的主要成矿机制。在矿床形成过程中,岩浆期后热液上升溶解了岩体中的铅并混入了上地壳的铅,这样使得矿床中放射成因铅明显增高,显示出某种异常, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 增加的更多些,而 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 不明显,并且随着热液的上升,不断有大气降水的加入,当成矿流体遇到含碳较高的大理岩层时,碳的还原作用使得金属硫化物沉淀。

通过对矿床的具体分析,可知伊通断裂边缘岩

浆岩成矿作用具有一定规模远景,研究该地区的岩浆岩特征将有助于该地区的找矿远景预测工作。如叶赫荣家沟岩体在岩性、形成时代、铅同位素组成、初始铈比值等方面都与靠道子岩体相似,该岩体有进一步工作的价值。

[参考文献]

- [1] 吉林省区域地质调查三队. 吉林省区域地质调查报告(长春市幅)[R]. 长春:吉林省地质局,1978.
- [2] 吉林省地质科学研究所. 吉林省地质图说明书(1:50 万)[R]. 1979.
- [3] 艾瑟顿 M P,丁塔奈伊. 花岗岩岩基成因的地球化学证据[M]. 北京:地质出版社,1985.
- [4] 关 键,孙丰月,刘洪文. 吉林省东部韧性剪切带特征及其与金银成矿关[J]. 地质与勘探,2004,40(2):7-11.
- [5] 王福宽. 吉林省四平市山门银矿成矿地质条件分析[J]. 吉林地质,1994,13(3):8-16.
- [6] 王福宽. 对四平市山门银矿中生代侵入岩成因及与成矿关系的再认识[J]. 吉林地质,1997,16(3):9-26.
- [7] 陈毓蔚,毛存孝. 我国显生代金属矿床铅同位素组成特征及其成因探讨[J]. 地球化学,1980,(3):215-229.
- [8] 刘毓蔚,朱炳泉. 矿石铅同位素组成特征与中国大陆地壳的演化[J]. 中国科学(D 辑),1984,(3):35-45.
- [9] 李 龙,郑永飞,周建波. 中国大陆地壳铅同位素演化的动力学模型[J]. 岩石学报,2001,17(1):61-68.
- [10] Taylor S R, McLennan S M. Continental crustal composition and evolution[M]. International Geological Congress, Abstracts = Congres Geologique International, Resumes. 1984,27(5):413-414.

ISOTOPIC GEOCHEMISTRY EVIDENCE FOR GENESIS OF SHANMEN SILVER DEPOSIT, SIPING

HUANG Wen-bin^{1,2}, SHEN Hao-che³

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2. Chinese Geological Library, Beijing 100083; 3. Jilin University, Changchun 130021)

Abstract: Based on isotopic geochemistry, relationship between mineralization of Shanmen silver deposit and regional magmatic activity is discussed. Pb, S, H and O isotopic compositions of ores, ore-bearing intrusive body and strata are determined. Model age for Pb-Pb isochron for ores is 173Ma, and close to intrusive age of granodiorite in the mine. Comparison of Pb isotopic composition of ores, ore-bearing intrusive body and strata shows that Pb isotope is tightly associated with granodiorite, and differs from the strata. Silver mineralization in the Shanmen deposit has an intimate relationship with Mesozoic magmatic activity. This study provides an exact isotope evidence for genesis of Shanmen silver deposit.

Key words: silver deposit, isotopic geochemistry, Mesozoic, granodiorite, mineralization