1990.6

山东香夼斑岩型铅梓矿床的 地球化学特征及成因探讨

张 乾

(中国科学院地球化学研究所)

提 要 香夼矿床是一个较为典型的斑岩型铅锌矿床,成矿母岩为燕山期花岗闪长斑岩,稀土元素 呈现明显的 Eu 亏损,为地壳重熔型浅成、超浅成岩浆岩。矿床主要有用元素 Pb、Zn、Cu、Ag、Au、S、 Cd、Se、Te 等均较高。矿床硫同位素 δ⁺S 值靠近零,铅同位素组成表明矿石铅来源于岩浆,矿石铅与 岩浆岩岩石铅组成一致,主要为上地幔来源的铅,有少量地壳铅参与成矿。H、O 同位素表明成矿流 体为岩浆水,成矿温度在 230-350℃之间,方铅矿、闪锌矿单矿物微量元素显示出与岩浆热液型铅 锌矿床相同的元素组合。

关键词 斑岩型铅锌矿床 地球化学特征 矿床成因 花岗闪长斑岩

在斑岩型矿床中,研究较多的是斑岩铜矿,斑岩型铅锌矿床作为一种独立的铅锌矿床类型,目前研究程度较低。在我国,斑岩型铅锌矿床除云南的北衙、姚安,江西冷水坑等矿床外,山东香夼铅锌矿床也是该类型矿床较为典型的例子之一。笔者曾对该矿床进行过野外调查,本文拟就该矿床的某些地球化学特征及矿床成因进行初步研究。

一、矿床地质特征

1. 成矿地质背景

根据传统大地构造学的观点,该矿床位于鲁中深断裂以东,胶北台拱中的栖霞复背斜北翼、藏各庄断陷盆地南缘。从板块构造角度看,该矿床所处的大地构造位置属于西太平洋板块俯冲带的上盘。该带从北到南,是我国各类斑岩型矿床最发育的地带。

该区太古代古老结晶基底,由胶东群、粉子山群变质岩系组成,呈东西向展布,构成栖霞复 背斜北翼。晚元古代的蓬莱群浅变质岩系不整合于古老基底之上,岩性主要为千枚岩、板岩、 灰岩等。该区古生代处于相对稳定的隆起阶段,沉积间断,地层缺失。中生代以后,地台活化, 燕山期构造和岩浆活动强烈,断裂作用形成藏各庄断陷盆地,盆地内堆积有磨拉石建造和白垩 纪火山岩建造,厚达 3000 余米,盆地边缘发育燕山期岩浆活动,侵入有郭家岭似斑状花岗闪长 岩、郝家栖二长花岗岩及西村、香夼浅成、超浅成花岗闪长斑岩。

区内断裂发育,规模较大的有 EW 向、NNE 向两组,花岗闪长斑岩体沿这两组断裂交汇部 位侵入,为主要的控岩控矿构造。

2. 矿床地质概况

矿区地层主要为蓬莱群香夼组灰岩和南庄组千枚岩、板岩,为一套浅变质岩系,形成矿区 基底地层,其上不整合覆盖有白垩纪英安质一一流纹质火山碎屑岩、火山熔岩。

香夼浅成、超浅成花岗闪长斑岩为矿床的成矿母岩,岩体侵位受断裂控制,常沿 EW 和 NNE 向两组断裂交汇部位侵入于南庄组板岩和香夼组灰岩中。岩体与围岩的接触带界面凹 凸不平,在与灰岩接触带处形成砂卡岩体,矿床主要赋存于此砂卡岩带及附近岩体内的裂隙 中。

花岗闪长斑岩呈灰绿色,斑状结构,斑晶主要为斜长石,其次为石英、角闪石,粒度达数 cm~10cm,基质为隐晶质结构,成分与斑晶类似,副矿物见有磷灰石、榍石、磁铁矿等,种类较 少,组合简单。根据 14 个岩石样品测算,花岗闪长斑岩含铅 33~400ppm,平均 153ppm,Zn 50~575ppm,平均 246ppm,Cu24~33ppm,平均 26ppm,Mo5~20ppm,平均 13ppm,围岩中成矿 元素含量都低于地壳克拉克值。稀土元素分布模式(图 1)显示出其总量低、曲线平滑,岩体内 部相未蚀变花岗闪长斑岩无

Eu 异常。边缘相砂卡岩化、 钾化花岗闪长斑岩具明显的 Eu 负异常。

花岗闪长斑岩隐爆作用 明显,尤以岩体边缘部位最 为强烈,常形成隐爆碎裂花 岗闪长斑岩、隐爆角砾岩等。

矿体受岩体与围岩接触 带控制,多呈脉状、透镜状, 产状较陡,延深大,向下 700m 处仍见富矿存在。矿 化类型有 Pb-Zn、S-Cu、Cu -Mo 三种,在空间上有规律 地分布。Cu-Mo 矿化发生



图 1 香**夼矿区花岗闪长斑岩稀土分布模式** 说明: 1. 花岗闪长斑岩 2. 蚀变花岗闪长斑岩 Fig. 1 REE distribuion of granite in Xiangkuang Pb-Zn Mine

于岩体内部钾化、硅化、绢云母化花岗闪长斑岩中的原生裂隙中,呈细脉状、网脉状,规模小,不 具工业意义; S-Cu 矿化主要发生于岩体内接触带砂卡岩及裂隙中; Pb-Zn 矿化主要位于接 触带及外接触带砂卡岩中,这两种矿化都形成工业矿体,有时两种矿化叠加在一起,形成 Pb-Zn-Cu 矿体。

矿物组成复杂,种类繁多,不同阶段形成的矿物叠加在一起,形成复杂的矿物组合。砂卡 岩期以磁铁矿、赤铁矿为主,同时形成石榴石、透辉石、绿帘石等砂卡岩矿物。中低温热液成矿 ,阶段形成大量的方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、黝铜矿、斑铜矿、辉铜矿及少量的辉银矿、硫 盐类矿物,非金属矿物主要为石英、绿泥石、绢云母、萤石、方解石等。

矿石组构复杂,主要有自形、半自形及他形粒状结构、乳浊状结构、交代熔蚀、交代残余结构、包含结构、骸晶结构、斑状结构、交代假象结构及反应边结构等。矿石构造有块状、浸染状、 镶嵌状、脉状、网脉状、条带状、角砾状及揉皱状构造等。

矿床的围岩蚀变很发育,主要有(1)岩浆热力引起的热变质作用,使接触带附近的灰岩大

理岩化;(2)岩体的自变质作用如钾化、硅化、绢云母化及退色现象等,发育于岩体内部,沿原生裂隙分布,并伴随 Cu--Mo 矿化;(3)发育于内外接触带的矽卡岩化,形成矽卡岩体;(4)矽卡岩 化之后的中低温热液蚀变,主要有硅化、绿泥石化、绢云母化、方解石化等,常交代矽卡岩期矿物,和矿化关系密切,为本区主要成矿蚀变作用。

二、矿床地球化学特征

1. 硫同位素组成特征

该矿床 25 个硫化物样品的 δ³⁴S (CDT) 值分布于-0.75~+4.2%之间,平均+0.75%,与 冷水坑矿床的硫同位素组成非常相似⁽¹⁾。其中方铅矿的 δ³⁴S 值为-0.75~+0.05%,平均-0.3%,黄铜矿为-0.45~+0.55%,平均+0.02%,闪锌矿为+1.6~+2.65%,平均+ 2.05%,黄铁矿为+0.26%~+4.2%,平均+2.3%(图 2),可见硫同位素组成非常均一,δ³⁴S 接近零值,与陨石硫相近,表明硫具有来源的一致性。结合成矿地质条件,推测矿床的硫主要 来自地壳深部。

图 3 表示该矿床不同种类硫化物的 δ³S 值随深度的变化。从图中可以看出,从一 88m 到地表的近 120m 深度范围内,方铅矿、 黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿的硫同位素组成,越 靠近地表越富含重硫,δ³⁴S 有呈线性增高的 趋势,尤其是方铅矿、黄铜矿和闪锌矿,这种 关系更为明显,这种现象和德兴富家坞矿区 δ³S 值随深度的变化情况相同。这种现象的 发生很可能是岩体在侵入过程逐渐同化了围 岩,尤其是矽卡岩化和岩浆热液对围岩的交 代,促使围岩中的一部分富含 *S 的硫进入热 液并参与成矿,交代越强进入热液的重硫越 多,因而使得越靠近围岩,δ³⁴S值越大。该矿 床的围岩主要为海相沉积的碳酸盐岩,一般 来说,海相沉积物是富含重硫的,因此,上述 过程的发生是可能的。



从图 2 和图 3 还可看出,该矿床不同硫化物之间 δ⁴S 值的变化为:黄铁矿>闪锌矿>黄铜 矿>方铅矿,这种关系表明硫同位素是在平衡体系中演化的。由方铅矿——闪锌矿、黄铁矿 ——黄铜矿两个矿物对计算的成矿温度区间为 270°——350℃,与地质现象基本一致。

2、H、O 同位素组成及成矿流体性质

4 个 H、O 同位素分析样品选自该矿床 Pb—Zn 矿体中与方铅矿、闪锌矿等金属矿物共生的石英,测定对象为石英包裹体中的 H₂O,分析结果为:4 个样品的 δ^{1*}O (SMOW)值为+5.8~ +9.0‰,平均 7.48‰;δD (SMOW)值为-55.6~-74.2‰,平均-65.1‰。它们在 δD-δ^{1*}O 图上均位于岩浆水区域内(图 4)。



Xiangkuang Mining area.





Table 1 Pb-isotopic composition of Xiangkuang deposit											
序号	岩石或矿石	矿物	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	Φ 值年龄 (Ma)	μ				
1	花岗闪长斑岩	长石	17.449	15. 489	37.906	560	8.87				
2	花岗闪长斑岩	长石	17.665	15. 598	37.992	510	8.95				
3	花岗闪长斑岩	长石	17. 545	15. 476	37.818	460	8.81				
4	Pb-Zn 矿石	方铅矿	17.539	15. 529	38. 186	530	8.92				
5	Pb-Zn 矿石	方铅矿	17.664	15. 598	37.861	510	8.95				
6	Pb-Zn 矿石	方铅矿	17.883	15. 704	37.927	470	9.00				

表1 香夼矿床铅同位素组成

分析单位:北京铀矿地质研究所

3. 铅同位素组成特征及矿质来源

对该矿床 3 个花岗闪长斑岩长石 (斑晶)和 3 个方铅矿样品进行了铅同位素组成测定,分析结果见表 1。

从表 1 可以看出,(1)花岗闪长斑岩长石铅和矿石铅二者很均一,Φ 值模式年龄极为接近, 平均约 500Ma,似乎同属单阶段演化的正常铅。(2)据矿区资料,花岗闪长斑岩为燕山期岩浆 岩,对照表 1 发现,无论是矿石还是岩石,铅模式年龄远大于实际年龄,大致相当于加里东早 期,因此,铅同位素模式年龄不代表成岩成矿年龄,这种铅可能是多阶段演化的结果,并非单阶段正常铅,与 所谓的"B"型铅类似,但不是异常铅,只是多阶段演化 的结果而出现了异常模式年龄^[2,3]。(3)矿石和岩石 不但具有均一的铅同位素组成和一致的模式年龄,而 且二者有极为接近的 μ 值,矿石的 μ 值平均 8.96,岩 石平均 8.88,相差仅 0.08,表明二者是同源的,为均一 的高 μ 值地壳源铅。为了进一步验证铅在成矿过程中 演化的情况,笔者采用朱炳泉等人的铅同位素 Δ_{i}^{s} —— Δ_{i}^{z} 示踪法^[4],即以²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb(γ)与²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb(β)与上 地幔同一时间相应同位素比值 $\gamma_{m}(t)$ 、 $\beta_{m}(t)$ 的相对偏 差

 $\Delta_4^{s} = \frac{\gamma - \gamma_{m}(t)}{\gamma_{m}(t)} \times 1000, \qquad \Delta_4^{r} = \frac{\beta - \beta_{m}(t)}{\beta_{m}(t)} \times 1000$

来确定铅的成因和类型。根据这一方法,该矿床花岗 闪长斑岩长石铅的三个样品点均落在 Δζ 小于 15、Δζ 小于 20 的上地幔铅区域内,三个方铅矿样品均落在





说明 北、上地幔铅 Ⅱ、上地幔与上地壳混合铅 Ⅲ、地壳铅

Fig. 5 Pb – isotopic $\Delta_4^7 - \Delta_4^8$ tracing plot of Xiangkang deposit

△ 大于 15、△ 小于 40 的上地幔与上地壳混合铅区域内(图 5)。说明长石铅源为上地幔单一 来源,而矿石铅中混入了一部分上地壳铅,表1 所列的方铅矿三个同位素比值较之长石铅略有 增长的事实也说明成矿过程中有部分地壳铅加入。推测这部分地壳铅可能是岩浆同化围岩或 热液交代围岩使其进入矿液进而参与成矿的。但由于围岩提供的铅量少,因而矿石铅仍具有 与岩石铅基本一致的铅同位素组成。

4. 微量元素特征

对该矿床方铅矿、闪锌矿、黄铁矿单矿物的微量元素研究发现,方铅矿富 Ag、Bi、Sb、Se、Te,贫 Ga、In,闪锌矿富 Cd、Se、Te、In、Fe,贫 Ag、Bi、Ga、Sb,黄铁矿除 Se、Te 稍高外,其余元素都 较低(表 2)。矿石的 Ag、Se、Te、In 等都达到了综合利用的要求。对 4 个黄铁矿化蚀变岩石样 品的分析发现含 Au0.039~0.421g/t,平均 0.222g/t,估计矿体的某些部位或某些矿物含 Au 可能较高。

矿物	样口数	Ag	Sb	Bi	Cd	Se	Te	Ga	In	Fe%	Mn %
	3	704	160	439	69	148	120	0.6	12		
闪锌矿	3	66	40	21	3400	101	77	2.5	37	9.6	0.39
黄铁矿	3	135	87	19	11	65	54	3.2	2.1		

表 2 香夼矿床单矿物微量元素(ppm) Table 2 Microelements of mono-mineral (ppm) of Xiangkuang Pb-Zn ore deposit

分析者:吕佩芹等

笔者曾利用国内外 60 余个不同类型铅锌矿床方铅矿、闪锌矿的某些微量元素,用作图法 在 Pb-InAg、InSb-InBi 等 6 个图中圈定了几种主要类型铅锌矿床的区域(图 6),香介铅锌矿 床所有方铅矿、闪锌矿样品的点在每一个图中都落在与岩浆活动有关的铅锌矿床的区域内。

5. 包裹体特征及成矿温度

花岗闪长斑岩的长石、石英及矿石中的石英都含有大而多、类型全的包裹体,有液体包裹体、气体包裹体、气液包裹体、含二氧化碳及含子矿物包裹体。根据均一法测定,花岗闪长斑岩的形成温度约为 587℃,砂卡岩期成矿温度约为 343℃,Pb、Zn 成矿阶段的温度为 230°~320℃,平均约为 260℃,由此可知,该矿床的形成温度大致为 230°~350℃,由硫同位素矿物对计算的成矿温度(270°~350℃)也在这一范围内。

据冷冻法测定盐度,斑岩期盐度为12wt%,砂卡岩期盐度为8.5wt%,中低温阶段盐度为4.4wt%,可见随温度降低,流体的盐度亦下降。

三、矿床成因讨论

该矿床位于西太平洋板块俯冲带上盘,这一地带是我国各类斑岩型矿床及岩浆热液矿床 形成的集中区。矿床的成矿母岩即花岗闪长斑岩的侵入受断裂构造控制,和板块运动引发的 地台活化同步发生。矿体直接产于斑岩体内的原生裂隙及岩体与围岩(灰岩)接触带附近的矽 卡岩体中,矿体呈脉状、网脉状、透镜状。复杂的矿物组合、矿石结构构造、强烈的围岩蚀变及 矿化的多期次表明了成矿过程的复杂性。花岗闪长斑岩含有数倍于地壳克拉克值的 Pb、Zn 等成矿物质,说明原始岩浆富含矿质,由其分异出的岩浆热液也可能富含矿质,从而为成矿奠 定了物质基础。

矿床具有非常均一的硫同位素组成,δ^{**}S (CDT)值在-0.75~+4.2‰之间,平均为+ 0.75‰,靠近零值,和陨石硫类似,结合矿床的地质特征,推测硫主要来自地壳深部。矿体从深 部到地表,从岩体到围岩,δ^{**}S 值逐渐升高,说明成矿的晚期,随着热液对沉积围岩的交代,围 岩中的部分重硫进入热液参与了成矿。

铅同位素研究表明,花岗闪长斑岩和矿石具有均一的铅同位素组成,二者的铅同位素模式 年龄基本相同(500Ma)。这一年龄虽然不能代表成岩成矿年龄,但从一个侧面反映出矿石铅 来源于岩浆。从岩石与矿石具有一致的铅同位素组成及非常接近的 μ 值及铅同位素示踪研究 的结论可知,岩石和矿石二者的铅为同一来源的铅,均为上地幔岩浆来源的铅,尽管矿石中存 在部分岩浆同化围岩或热液交代围岩而来的上地壳铅,但因其量少,不占主导地位。稀土元素 研究表明,花岗闪长斑岩为上地幔来源的岩浆岩,无 Eu 负异常,蚀变花岗闪长斑岩及边缘相 花岗闪长斑岩 Eu 负异常明显,说明岩浆演化及成矿过程中有同化和交代围岩的作用发生。 这与铅同位素得出的结论是一致的。

方铅矿富 Ag、Sb、Bi、Se、Te,贫 Ga、In,闪锌矿富 Cd、Se、Te、In、Fe,Ga < In,黄铁矿中 Se、Te 较高,与其它岩浆热液型铅锌矿床的微量元素含量近似。某些微量元素显示了和矿床成因的 联系,如方铅矿和闪锌矿在由微量元素组成的图中均落在与岩浆活动有关的铅锌矿床区域内 (图 6)。

矿床的形成温度为 230—350℃,成矿流体的盐度在 4~9wt %NaCl 之间。H、O 同位素研 究表明成矿流体为岩浆水。



图 6 香夼矿区方铅矿、闪锌矿微量元素成因图解

说明:I-与岩浆活动有关的铅锌矿床:II-火山岩型铅锌矿床;III-沉积、沉积改造铅锌矿床;IV-沉积变质铅锌矿床 Fig. 6 Plot illustrating origin the deposit by microelements in galena and sphelerite.

根据以上讨论,可以认为该矿床为一典型的与花岗闪长斑岩岩浆活动有关的斑岩型铅锌 多金属矿床。

笔者在野外工作中得到了该矿床地质工作者的大力支持,室内工作中吕佩芹等同志为本。 文分析了大量数据,文中引用了一些学者的观点,在此表示衷心的谢意。

参考文献

〔1〕罗诒爵,冷水坑斑岩型铅锌矿床地质特征。矿床地质,(4) 1985, 15-23

- [2] 陈毓蔚等,矿石铅同位素组成与中国大陆地壳的演化。中国科学院地球化学研究所编《地球化学文集》,科学出版 社,1986,99-103
- 〔3〕罗镇宽等,浙江银坑山金银矿床地质特征及成因讨论。矿床地质,(4) 1985, 35-46
- 〔4〕朱炳泉等,中国太古代地盾边缘成矿作用的铅同位素组成特征。《国际早前寒武纪成矿作用讨论会论文集》,中国, 长春 1985,103—104
- [5]张乾,方铅矿、闪锌矿的微量元素及其在划分铅锌矿床成因类型中的地球化学意义。地球化学(英文版),(2)1987, 177-190

GEOCHEMICAL CHRACTERISTICS OF XIANGKUANG PORPHYRY LEAD-ZINK DEPOSIT IN SHANDONG PROVINCE AND DISCUSSION ON IT'S GENESIS

Zhang Qian

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica)

Abstract

Geotectonicaly, this deposit is located in the upperplate of the west pacific ocean plate's subduction zone in which various porphyric ore deposits are developed. It is a typical porphyric lead-zink ore deposit. The enclosing rock is Yianshanian granodiorite porphyre with strong Eu depletion belonging to crustal remelting shallow — supershallow magmatic rock. Pb, Zn, Cu, Ag, Au, S, Cd and Se are the minable elements. δ^{14} S values are concentrated about zero. Pb-isotopic data indicate that ore Lead is derived from magma. Ore Lead composition and magma Lead composition are similar showing that both are the crustal Lead. H and O isotopic data indicate that magmatic water is the ore fluid. Ore-forming temperature range is 230° — 350° C. Micro-element composition of monominerals of galena and sphelerite is similar to that of magmatic hydrothermal Pb-Zn ore deposit.