

我国与火山岩有关的大型、超大型银矿床*

李朝阳** 刘铁庚 叶霖 朱维光 邓海琳

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究重点实验室, 贵阳 550002)

摘要 通过对我国西南“三江”地区嘎村与老厂两个大型海相火山岩型银矿床和我国东部及新疆天山地区陆相火山岩-次火山岩型银矿的地质地球化学研究, 认为海相火山岩型银矿床主要产于岛弧、裂谷构造环境的次级火山-沉积盆地中, 矿床具有明显的分带现象, 下部为脉状-网脉状矿化, 上部为产于热水沉积岩中的层状矿化(主矿体), 从地表向深部成矿元素为 As(Au)→Ag, Pb, Zn→Cu, 嘎村矿床的层状矿体全岩 Rb-Sr 同位素等时线年龄为(204±14) Ma, 主成矿期为晚三叠世, 陆相火山-次火山岩(斑岩)型银矿床银矿形成时代多晚于围岩, 矿石构造以浸染状、细脉浸染状、网脉状和团块状为主, 并详细地研究了陆相火山岩-次火山岩型银矿床的矿床地球化学特征和银矿床或银与萤石、卤素元素、锰的关系。

关键词 海相火山岩型 陆相火山岩型 大型-超大型银矿床

现有资料表明, 在沉积岩、火山岩和变质岩等不同岩性及各种构造破碎带^[1,2]中, 均发现有大型、超大型银矿床, 其中以产于火山岩中的银矿床最多, 其银的储量和产量均占全世界银储量和产量的 50% 以上^[1], 是全球和我国最重要的银矿工业类型^[2,3], 本文将重点讨论我国产于火山岩(包括海相火山岩与陆相火山岩-次火山岩)中和与之有关的海相火山岩型和陆相火山岩-次火山岩型银矿床。

1 海相火山岩型银矿床

海相火山岩型银矿床是指产于海相火山盆地中, 含矿围岩为海相火山岩系或在成因上与之有联系的银矿床, 该类型矿床在我国主要见于西南“三江”地区(川西-滇西一带)的义敦岛弧带和昌宁-孟连陆内裂谷带内, 构成了德格-乡城和昌宁-孟连两条具块状硫化物矿床特征的海相火山岩型富银多金属成矿带, 嘎村(Ag 储量 4276 t^[3])和老厂(Ag 储量 2273 t^[3])两个大型银矿床就分别产于这两个成矿带中(图 1)。

1.1 德格-乡城成矿带

德格-乡城成矿带位于“三江”地区东北侧的义敦岛弧火山岩带中, 呈 NNW 向展布, 长 500 km, 宽 30~50 km, 沿该带从北到南发育有赠科、昌台、乡城和中甸四个火山-沉积盆地, 其

2002-06-14 收稿, 2002-08-28 收修改稿

* 国家攀登计划预选项目(编号: 95-预-25-02-03)和中国科学院矿床地球化学开放研究实验室基金资助项目

** E-mail: Lcyolodg@sohu.com

1) 辛格(Singer) D A. 世界级贱金属和贵金属矿床的定量分析. 国外地质科技, 1995, (3): 13

2) 中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所. 中国银矿, 1990: 89~131

3) Лидинов А Е(安东诺夫), 著. 白洪生, 译. 银成矿作用的某些重要特点. 地质科技动态, 1986, (6): 16

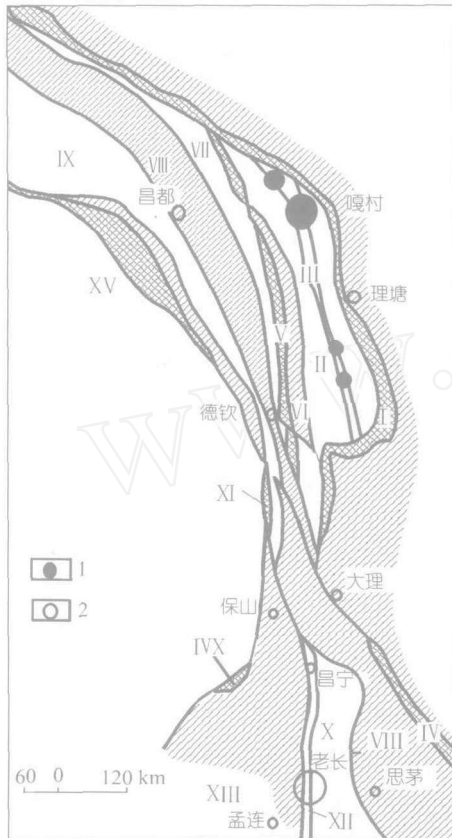


图 1 “三江”地区构造格局和大型海相火山岩型矿床的分布(据杨开辉等^[1]修改)

1. 甘孜-理塘洋脊型火山岩-蛇绿岩带; II. 义敦-稻城弧间盆地; III. 德格-乡城主弧带; IV. 中咱活动微陆块内火山岩区; V. 金沙江洋脊-准洋脊型火山岩-蛇绿岩带; VI. 哀牢山洋脊-准洋脊型火山岩-蛇绿岩带; VII. 江达-维西弧火山岩带; VIII. 昌都-思茅活动微陆块内火山岩区; IX. 妥坝-盐井-南佐火山岩带; X. 云县-景洪弧火山岩带; XI. 营盘-白济汛洋脊型火山岩-蛇绿岩带; XII. 昌宁-孟连裂谷-洋盆火山岩带; XIII. 保山微陆块内火山岩区; XIV. 丁青-八宿洋脊-准洋脊型火山岩-蛇绿岩带; XV. 波密-腾冲陆缘弧。1. 银铅锌铜矿床; 2. 银铅锌铜矿床

的主要含银矿物。其次是方铅矿、斑铜矿等; (iii) 微细粒矿物或包体形式, 如蠕虫状微细粒含银矿物(0.1~2 μm)。

1.1.2 嘎村矿床地球化学特征

矿石的化学成分主要是 SiO_2 , 其次是 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 。浸染状矿石含 SiO_2 高, 为 57.25%~71.21%, 块状矿石 SiO_2 低, 仅 7.4%~19.96%。流纹岩中的脉状、网

中已发现有与火山岩或次火山岩有关的数百处海相火山岩型(主要)、斑岩型的 Zn, Pb, Ag, Cu, Au, Hg 等矿床和矿点, 嘎村(大型银矿)与嘎依穷两个典型的海相火山岩型矿床分别产于昌台和赠科两个盆地中。嘎村矿床的地质地球化学特征如下:

1.1.1 嘎村矿床地质特征

矿床产于三叠系上统嘎村组中, 嘎村组分为 3 段: 下段为碎屑岩, 中段为酸性火山岩, 上段为热水沉积岩(重晶石岩和硅质岩等)与细碎屑岩^[5]。银多金属矿化产于嘎村组的中段酸性火山岩和上段热水沉积岩中, 以热水沉积岩中的层状矿化为主, 酸性火山岩中为脉状、网脉状矿化^[5,6]。矿带长 2000 m, 宽 50~600 m, 现有 8 个银矿体, 延深 60~600 m, 厚 0.15~85.11 m, 其中 6 个矿体产于热水沉积岩中, 为层状、似层状的富银矿体; 两个贫银矿体见于下部的流纹岩中。围岩蚀变与成矿密切相关, 主要蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化和钡冰长石化, 表现为多期次、多阶段特点, 但在层状矿带中蚀变却急剧减弱或消失。

矿石为自形、半自形、它形晶粒状、似斑状、草莓状、交代残余结构, 交代乳浊状、蠕虫状、似文象状和叶片状结构。条纹条带状、块状、层纹状、角砾状、脉状和网脉状构造。矿物颗粒细小, 一般为 10~50 μm。矿石矿物主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黝铜矿、黄铜矿及少量斑铜矿、车轮矿、毒砂与独立银矿物等。脉石矿物有石英、重晶石、钡冰长石、绢云母。银有 3 种存在形式: (i) 独立银矿物, 多产于黝铜矿与方铅矿的接触部位和方铅矿中, 为硫砷铜银矿与硫锑铜银矿(表 1)及硫铜银矿和螺硫银矿^[11]; (ii) 类质同象形式(主要的), 主要是黝铜矿, 其含银量为 0.08%~4.30%, 平均 2.10%。在块状银铅锌矿石中黝铜矿的含量一般可达 5%~10%, 在富银矿石中黝铜矿的含量甚至可达 20%~30%, 因此黝铜矿是该矿床中的

1) 四川地矿局 403 地质队. 四川白玉县呷村银多金属矿区勘察地质报告, 1993.12

表1 硫砷铜银矿、硫锑铜银矿电子探针分析结果(%)及化学成分式¹⁾

| 序号 | 样号 | 矿物名称 | Ag | Au | Cu | Zn | Fe | Sn | Pb | Sb | As | Bi | S | 总计 |
|--------|---------|-------|---|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| 1 | *GCD0-7 | 硫砷铜银矿 | 51.15 | 0 | 23.72 | 0.01 | 0.10 | - | 0.10 | 0.65 | 7.08 | 0.08 | 18.67 | 101.56 |
| 2 | *GCD0-7 | | 50.63 | 0.02 | 24.05 | 0 | 0.02 | - | 0.21 | 0.70 | 7.99 | 0.13 | 14.28 | 98.03 |
| 3 | *GCD0-7 | | 52.12 | 0 | 21.47 | 0 | 0.13 | - | 0.35 | 0.42 | 7.40 | 0.11 | 18.91 | 100.91 |
| 4 | GCD0-7C | 硫锑铜银矿 | 38.51 | 0 | 31.91 | 0 | 0.41 | - | 0 | 2.12 | 7.37 | 0 | 18.56 | 98.89 |
| 5 | 7GCD-2A | | 66.79 | - | 8.21 | 0.94 | 2.09 | 0 | 3.76 | 5.85 | - | - | 13.03 | 100.67 |
| 6 | 7GCD-2A | | 65.31 | - | 7.03 | 1.80 | 0.62 | 1.02 | 4.98 | 5.81 | - | - | 13.03 | 99.60 |
| 7 | 7GCD-2A | | 67.31 | - | 5.95 | 0.50 | 0 | 0.06 | 4.72 | 6.46 | - | - | 13.20 | 98.21 |
| | | | 化学成分式 | | | | | | | | | | | |
| 1~3 平均 | + | 硫砷铜银矿 | (Ag _{0.86} Cu _{0.57}) _{17.43} (Fe _{0.03} Pb _{0.02}) _{0.05} (Sb _{0.16} As _{0.09}) _{2.19} S _{11.00} | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | (Ag _{0.79} Cu _{0.54}) _{16.33} Fe _{0.05} (Sb _{0.33} As _{0.87}) _{2.20} S _{11.00} | | | | | | | | | | | |
| 5~7 平均 | | 硫锑铜银矿 | (Ag _{16.61} Cu _{1.00}) _{19.63} (Zn _{0.45} Fe _{0.44} Sn _{0.08} Pb _{0.58}) _{1.55} Sb _{1.34} S _{11.00} | | | | | | | | | | | |

a) 表内*号由南京大学成矿机制研究国家重点实验室张文兰分析, 仪器型号 JXA-8800M 电子探针, 其余由中国科学院地球化学研究所王明甫分析, 仪器型号 JXA-733 电子探针, “-” 示未定量

脉状矿石 Al_2O_3 含量较高(13.39%~15.50%), 成矿元素主要是 Ag, Zn, Pb, Cu, Au, As, Sb, Cd 和 Hg 等。在嘎村矿区, 无论火山岩还是沉积岩, 成矿元素的含量一般都很高¹⁸⁾, 其中流纹岩含量最高(170 个样), Ag 平均含量为地壳丰度值的 13.1 倍, Pb 为 15.5 倍, Zn 为 3.5 倍。结晶灰岩中的含量也高(23 个样), Ag 平均含量为地壳丰度值的 5.5 倍, Pb 为 4.7 倍。因此, 流纹岩可能是矿源岩, 沉积岩也提供一部分成矿物质。Ag 与 Cu, Sb, Hg, Au 和 Pb 成正相关。

矿床顶板围岩 ΣREE 高($(140.62\sim 156.49) \times 10^{-6}$), 微富轻稀土和微负铈异常, 球粒陨石标准化稀土曲线近似一条水平线; 热水沉积岩 ΣREE 低($(1.56\sim 9.40) \times 10^{-6}$), 富轻稀土, 具明显的正铈异常; 矿区火山岩 ΣREE 高($(62.21\sim 125.99) \times 10^{-6}$), 富轻稀土, 铈异常不明显; 层状矿石 ΣREE 低($(0.87\sim 30.89) \times 10^{-6}$), 富轻稀土, 铈异常变化较大, 有明显的正异常到弱负异常。

矿床中 47 个硫化物(黄铁矿 12 个, 闪锌矿 15 个和方铅矿 20 个, 其中部分资料引自叶庆同等¹⁹⁾)的 $\delta^{34}S$ 值变化在 $-4.60\% \sim +3.10\%$ 之间, 平均值在 -1% 左右, 并具塔式分布特点。

对矿区 14 件岩石、矿石和方铅矿的铅同位素组成测定, 发现矿石和方铅矿的铅同位素组成与火山岩基本一致, 说明铅主要由火山岩提供。同时, 方铅矿、矿石、近矿蚀变岩和安山岩的 μ 在 9.21~9.80 之间, 平均为 9.52, 说明铅源区为地壳。因此, 矿石铅应为二元混合铅, 显示成矿物质除主要由火山岩提供外, 还有部分可能是来自火山岩的下部地层。

对矿区 41 件不同矿石、岩石和石英的氧同位素测量结果(其中 27 件分别为侯增谦¹⁷⁾、余金杰¹¹⁰⁾和徐明基¹⁵⁾等的资料), 用几种方法计算的热液流体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值大体一致, 表明嘎村矿床的成矿流体具有高 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值的特点。结合矿床地质背景, 成矿流体是大量来源于岩浆水, 同时海水也部分参与了成矿流体的循环和水-岩反应。

矿床成矿流体的 Sr 同位素为 0.70994, 高于我们测定的安山岩(0.70840), 和同时代三叠纪末的海水 Sr 同位素组成(0.707~0.708)¹¹¹⁾ 也不同, 说明成矿流体是流经一个富放射性成因 Sr 的地质体或区域(可能是火山岩的下部地层)。本次还测定了矿床全岩 Rb-Sr 同位素等时线年龄, 结果为 (204 ± 14) Ma(图 2), 邓海琳等¹⁾用 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法测定了该矿床矿体上盘蚀变带的冰长石-

1) 邓海琳, 王江海, 朱维光等. 川西嘎村银-多金属块状硫化物矿床的时代: $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年代学结果. 中国科学院资源环境地球化学前沿领域高级学术研讨会会议摘要汇编, 贵阳, 2002

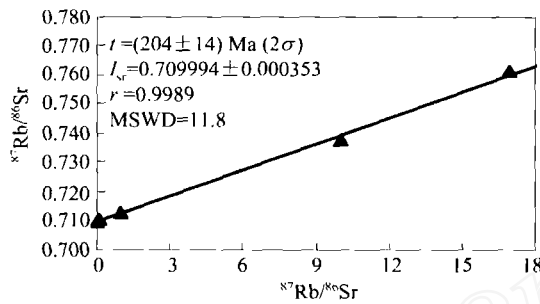


图 2 全岩 Rb-Sr 等时线

石英-绢云母片岩内的冰长石的成矿年龄为 $(207.0 \pm 0.3) \text{ Ma}$, 说明成矿是在晚三叠世。

成矿温度变化范围较大, 为 $98 \sim 319 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[6], 主要在 $130 \sim 260 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 网脉状矿石中硫化物温度较高, 层状矿石相对较低。成矿流体的盐度为 $4.17\% \sim 18.36\%$, 早期脉状矿的盐度高, 晚期层状矿的盐度低。成矿溶液的 $\text{pH} = 4.55 \sim 5.50$, 为酸性到弱酸性。Ag 在成矿溶液中是以 Cl^- 和 H_2S 的络合物形式存在, 以 AgCl_2 的形式迁移。

1.1.3 成矿模式 晚三叠世义敦岛弧进一步张裂, 卡尼克晚期长英质岩浆喷发或超浅成侵位经减压脱气分异出富含挥发分、成矿元素的岩浆热液。由于热能作用从火山岩下部的岩石中活化迁移出来的金属元素加入到岩浆热液中, 这种混合后的成矿热液一部分通过充填-交代方式在流纹岩的浅部形成脉状、网脉状矿化, 大部分则喷发到海底沉积, 形成层状矿化。

1.2 昌宁-孟连成矿带

位于“三江”地区南部印度板块与扬子板块的汇聚碰撞带内, 为一个晚古生代的陆内裂谷的拉张环境产物。火山岩系包括 3 个火山-沉积旋回, 自早至晚由粗面玄武质向碱性苦橄玄武质演化。裂谷早期火山作用形成碱性系列火山岩, 主要分布于裂谷带的中、南部, 其中沉积夹层的生物化石显示其时代为早石炭世。火山岩型块状硫化物矿床主要产于下部火山旋回的粗面玄武-安山质火山岩系中, 以 $\text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cu}$ 为特征, 老厂是裂谷早期形成的典型海相火山岩型银矿床; 裂谷晚期火山活动形成拉斑岩系列火山岩, 为玄武质熔岩及其火山碎屑岩类, 分布于裂谷带的北段。产出的火山岩型块状硫化物矿床以 $\text{Cu} > \text{Zn}$ 为特征。

老厂大型银矿床^[3], 产于裂谷中 SN 向基底断裂与 NW 向断裂交汇处的老厂破火山口边缘的拉斑玄武岩与碱性橄榄玄武岩复合的火山岩系中。矿区地层以石炭系为主, 局部出露有泥盆系和二叠系下统。泥盆系为碎屑岩夹硅质岩建造, 石炭系下统为基性-中性、碱性-碱中性的火山岩系, 石炭系中上统和二叠系下统为连续沉积的碳酸盐沉积。石炭系下统火山岩受裂谷和老厂火山机构控制, 火山岩分为 8 层 3 个旋回, 每一旋回均经历了喷发→溢流→沉积的过程, 火山岩浆则从基性-中性→碱基性-碱中性方向演化。含矿岩系为石炭系下统的第二、第三旋回的粗面安山质凝灰岩、粗面玄武质和粗面安山质凝灰岩及石炭系中上统的碳酸盐岩。矿床由 3 个矿体群组成: I 矿体群受第二旋回的粗面安山质凝灰岩控制, 为似层状、透镜状矿体; II 矿体群为受第三火山旋回晚期粗面安山质凝灰岩控制的似层状、大脉状矿体, 是矿区最主要的银矿体; III 矿体群是产于石炭系中上统下部灰质白云岩中的似层状、透镜状矿体。矿床具有一定的分带性, 表现在矿床由北向南、由地表向深部成矿元素为 $\text{As}(\text{Au}) \rightarrow \text{Ag}, \text{Pb}, \text{Zn} \rightarrow \text{Cu}$ 的分带性, 具有上部层状块矿与下部网脉状矿化共存的双层结构特征。

1.3 海相火山岩型银矿床的基本特征(以“三江”地区为例)

(1) 在大地构造位置上, 海相火山岩型银矿床均位于岛弧、裂谷构造环境。在德格-乡城成矿带上的该类型矿床主要形成于义敦古岛弧的弧间裂谷作用的晚期, 昌宁-孟连成矿带的该类型矿床主要形成于裂谷的早期。这类矿床往往分布在裂谷的次级火山-沉积盆地中。

(2) 矿床具有层控特点, 在区域上均位于与成矿作用密切相关的火山岩系的顶部与其上

覆结晶灰岩的接触界面附近。

(3) 矿床具有明显的分带, 即下部发育脉状-网脉状矿化, 上部发育层状矿化(主矿体), 主要成矿元素也往往呈垂直分带, 矿床的元素组合常为 Ag、Pb、Zn、Au、Cu 等。

(4) 矿床中层状矿化多是银矿体的产出部位, 而且热水沉积岩广泛出现, 这些明显的地质特征表明该矿床属于海相火山喷流沉积矿床。

2 陆相火山岩-次火山岩型银矿

陆相火山岩-次火山岩型银矿床主要是指产于陆相火山岩-次火山岩(包括火山沉积岩)及接触带中的银矿床, 在成因上与火山喷发作用或岩浆浅成侵入活动有密切联系, 如全球最大的前十个银矿床都是陆相火山岩-次火山岩型, 其中玻利维亚的波多西矿床, 银储量达 19×10^4 t 以上^[12]。

2.1 矿床一般地质特征

陆相火山岩-次火山岩(斑岩)型银矿床以形成时代新、品位高和规模大为特点, 主要分布在环太平洋、地中海-喜马拉雅褶皱系亚洲东部的中南半岛等地中-新生代构造岩浆活化区和新疆天山地区^[13]。如浙江天台大岭口、黄岩五部两矿床^[14], 矿化蚀变带长达 10 km 以上, 新疆天山地区晚古生代银成矿带, 长 2000 多公里, 具有明显的分带现象, 东天山以次火山岩金-银矿床为主, 中天山主要是火山-次火山岩型银铅锌矿床, 西天山基本全是火山-次火山岩型银铜矿床^[15]。矿体一般为脉状、透镜状, 有两种产出形式: 一种是呈脉状交代充填于断裂中; 另一种是与地层产状一致, 分布于火山盆地中, 银矿形成时代多晚于围岩, 如浙江东部沿海地区陆相火山岩银矿床一般比赋围岩晚 $n \sim 40$ Ma, 矿物组成一般为典型的低温矿物组合, 矿石矿物以 Fe、Pb 和 Zn 硫化物或硫盐为主, 有时含大量的辉铜矿和(或)黝铜矿, 脉石矿物除石英、黏土矿物外, 常含不定量的萤石和锰矿物(菱锰矿、锰的氧化物和蔷薇辉石等), 矿石常见半自形-他型粒状结构、交代充填(或熔蚀)结构和乳滴状(固熔体分离)结构, 少数为自形粒状结构和镶嵌结构, 矿石构造以浸染状、细脉浸染状、网脉状和团块状为主。

围岩蚀变有硅化、绢云母化、黏土化、绿泥石化、萤石化、菱锰矿化等, 早期为火山期后热液蚀变, 形成硅化和绢云母化; 中期热液转成弱酸-弱碱性, 发育有蔷薇辉石化、硅化、绿泥石化、绿帘石化及黄铁矿化; 晚期热液偏碱性, 发育有菱锰矿化、碱性长石化、萤石化、方解石化和高岭土化, 热液蚀变的同时, 有大量金属硫化物沉淀, 同时使岩石孔隙度增加, 如五部矿床石英霏细斑岩的孔隙度由原岩的 1.71%, 经绢云母化后, 增加到 5.39%; 大岭口矿床晶屑凝灰岩的孔隙度由原来的 2.28% 增加到 5.82%, 岩石抗压强度亦随之降低, 形成一些成矿裂隙, 围岩蚀变一般局限在矿化构造带内或其两侧, 分带不明显(冷水坑例外), 总体上是浅部以绢云母化、硅化为主, 深部绿泥石化、黄铁矿化明显增强, 黑色玉髓状石英与银矿化关系密切。

2.2 陆相火山-次火山岩型银矿床地球化学特征

2.2.1 成矿温度 属于中-低温热液矿床, 其包裹体均一温度一般为 $131 \sim 305^\circ\text{C}$, 内蒙古额仁陶勒盖银矿是 $215 \sim 339^\circ\text{C}$, 平均为 273°C ; 江西冷水坑银矿为 $112 \sim 296^\circ\text{C}$, 平均为 169°C ; 浙江毫石银矿为 204°C ; 大岭口银矿为 $200 \sim 298^\circ\text{C}$ 。

2.2.2 铅同位素 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值的变化范围均 $< 1\%$ (表 2), μ 值为 $9.35 \sim 9.50$, $\text{Th}/\text{U} = 3.68 \sim 4.23$, 反映与火山岩有关的银矿床属于时代相近的单阶段演化的正常铅。

浙东南火山岩区银矿床铅的 85%~100%来自火山岩^[15,16]。

2.2.3 硫同位素 18 个火山岩-次火山岩型银矿床的硫同位素组成变化范围较大($\delta^{34}\text{S} = -9.81\text{‰} \sim +7.85\text{‰}$)，多集中于 $-4\text{‰} \sim +4\text{‰}$ 之间。如额仁陶勒盖银矿床的 $\delta^{34}\text{S} = -3.96\text{‰} \sim +4.077\text{‰}$ ；浙江大岭口银矿的 $\delta^{34}\text{S} = -6.77\text{‰} \sim +7.39\text{‰}$ 。说明 S 可能有多种来源，但主要来自深部岩浆或火成岩。

表 2 火山岩型银矿床的铅同位素组成

| 矿床 | 样品数 | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | μ 值 | Th/U | 资料来源 |
|-------|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|------|------|
| 额仁陶勒盖 | 8 | 18.210~18.338 | 15.505~15.558 | 38.017~38.230 | 9.35 | 3.68 | 本课题 |
| 冷水坑 | 9 | 17.723~17.788 | 15.519~15.585 | 38.107~38.376 | 9.50 | 4.14 | 本课题 |
| 堯石 | 6 | 18.276~18.371 | 15.579~15.659 | 38.553~38.892 | | | a) |
| 后岸 | 2 | 18.336~18.420 | 15.540~15.657 | 38.412~38.638 | 9.46 | 4.08 | b) |
| 下溪底 | 4 | 18.38~18.534 | 15.62~15.732 | 38.381~38.875 | | | c) |
| 大望山 | 1 | 19.16 | 15.7 | 38.22 | | | c) |
| 大岭口 | 17 | 17.90~18.96 | 15.03~16.45 | 38.37~41.65 | 9.38 | 4.23 | a) |

a) 福建省地质矿产局、浙江地质矿产厅。闽浙沿海火山岩地区银矿成矿规律及成矿预测研究。1994. 86~110

b) 张士高。内蒙潘家沟银矿床特征与找矿标志。内蒙有色地质, 1990, (1): 6~11

c) 张国柱、贾文仲、赵存威。矿产资源战略分析(单矿种分析系列)课题成果. 34, (萤石). 1987. 9~44

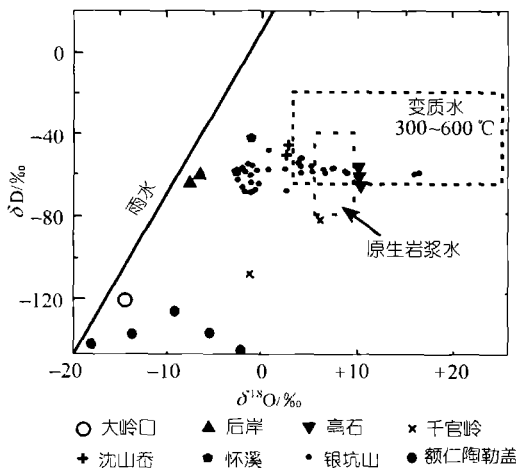


图 3 成矿流体氢氧同位素组成特征

2.2.4 氢氧同位素 该类矿床矿物包裹体的氢氧同位素组成变化比较宽($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -18.2\text{‰} \sim +12.58\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -190.96\text{‰} \sim -42.6\text{‰}$) (图 3), 多数集中于 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -2.3\text{‰} \sim +5.5\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -48.7\text{‰} \sim -68.2\text{‰}$ 。在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} - \delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图上多分布在大气降水线与原始岩浆水区之间, 有的靠近雨水线, 有的接近原始岩浆水区。暗示成矿溶液是原始岩浆水与大气降水的混合溶液, 但内蒙古额仁陶勒盖、浙江后岸和福建怀溪矿床以大气降水为主, 浙江沈山岙和银坑山是以原始岩浆水为主。成矿物质既有来自中生代火山岩, 又有来自古老基底岩石。根据成矿年龄一

般比赋矿围岩年轻的事实, 认为大气降水下渗过程中从周围岩石中萃取一部分 Ag, Pb, Zn 等成矿物质, 在一定深度与上升的富含 Ag, Au, Pb, Zn 火山热液混合, 沿着构造破碎带继续上升。当混合矿液的温、压降低到一定程度或物理化学条件改变时, Ag, Pb, Zn 等矿物质就沉淀形成充填-交代陆相火山岩型银矿床。

2.3 陆相火山-次火山岩型银矿多与萤石矿有密切的时空关系

(1) 我国陆相火山岩型银矿密集区与萤石矿的密集区基本一致, 都分布在陆相火山岩广泛分布的东南沿海板块俯冲带的大陆边缘地区^[14]。

(2) 它们的成矿时代主要是中生代, 世界上 53% 的工业萤石矿床也形成于 90 Ma 以内^[17]。我国约有 90% 的萤石矿床与燕山期(特别是燕山晚期)构造岩浆活动有关^[15]。如将乐常口、建阳南山下、邵武羊古庵、河源到吉、乐昌两江和张姑岭等大型萤石矿床和日本列岛的萤石矿床

都是新生代矿床。陆相火山岩-次火山岩型银矿形成时代也以中-新生代为主,东部地区的陆相火山岩型银矿主要在中生代,如浙江毫石银矿为 104 Ma, 治岭头银矿为 127 Ma, 江西冷水坑银矿 <136 Ma, 内蒙额仁陶勒盖银矿 <130 Ma。

(3) 银矿床中多有萤石矿(化)存在,且萤石矿中常有很高的 Ag 含量,甚至构成银-萤石矿床^[18]。如浙江毫石银-萤石矿、义乌金银-萤石矿^[19]、治岭头银矿床^[20]、大岭口银矿、后岸银矿、内蒙古潘家沟银矿、兰园银矿、秃力马银矿和小青沟银矿、河南白石坡银矿、城皇山银矿等都发育萤石矿化。浙江毫石萤石矿蚀变围岩中银的平均含量 $>150 \times 10^{-6}$ ^[1];河南魏沟萤石矿 Ag 含量通常 $>100 \times 10^{-6}$, 高者达 523×10^{-6} ;河南尖山大型萤石矿床在第四个开采中段的捡块样 Ag 含量一般 $>80 \times 10^{-6}$, 最高达 513×10^{-6} 。部分陆相火山岩型银矿床的萤石单矿物中也有较高的 Ag 含量,可达 $(0.28 \sim 11.2) \times 10^{-6}$, 比地壳克拉克值 (0.07×10^{-6}) 高 2 个数量级,是地壳各类岩石平均含量 $((0.02 \sim 0.68) \times 10^{-6})$ 的几十到几百倍。

2.4 Ag 与卤素元素有密切关系

卤素元素对金属元素有很强的亲和能力,且银的卤化物和络合物有很大的溶解度和较宽的稳定区^{[19][1]},因此对 Ag 等金属元素的溶解、活化和远距离运移、富集起极其重要的作用。F、Cl 和 I 为同族元素,许多化学性质和地球化学行为相似,但也有差别。如 F 比 Cl、I 腐蚀性更强,更活泼、更易挥发;在氯化物溶液与硅酸盐熔体作用过程中以阳离子交换为主,基本无阴离子交换;在氟化物溶液与硅酸盐熔体互相作用中以阴离子交换为主,阳离子交换较少。氯在熔体与流体之间的分配系数比氟高 1~3 个数量级^{[21][9,20]},而氟在熔体中的溶解度比氯高 1~3 个数量级,说明在不同的物理化学条件下,F 与 Cl、I 表现出完全不同的地球化学行为。F 是所有元素中电负性最强的元素,对电子有非常强的亲和力,易与其他元素结合形成离子化合物或络合物,如络阴离子 $[\text{SiF}_6]^{-2}$ 和 $[\text{AlF}_6]^{-2}$ 等。这些化合物或络合物一般具有较高的溶解度,可以进行长距离的迁移。如 AgF 的溶解度仅次于 AgNO_3 , 比 AgCl 、 Ag_2SO_4 、 AgCN 、 AgCNS 、 AgS 等高 3~7 个数量级。银的氯化物和碘化物极不溶于水,还可以从围岩中活化部分银。在热液上升过程,温度、压力和氧逸度变化,热液中 Ag^+ 与 S 或 Cl、I 结合生成银的硫化物、角银矿或碘银矿等沉淀,F 向周围挥发扩散。

(1) 陆相火山岩型银矿床中通常有较高的 F, Ag 与 F 多成负相关关系。如新疆托斯巴 Ag-Cu 矿床的 F 含量高达 $(1000 \sim 29000) \times 10^{-6}$ ^[13];内蒙额仁陶勒盖银矿的 F 含量达 $(400 \sim 1700) \times 10^{-6}$, 平均为 726×10^{-6} , 远高于地壳克拉克值。但由矿体到蚀变围岩 F 含量增加,Ag 含量却减少,成负相关关系;江西冷水坑银矿 F 含量一般为 $(400 \sim 600) \times 10^{-6}$, F 与 Ag 也是成负相关,故 F 可以作为银矿的找矿标志。因为, F 是最活泼的强挥发性元素,当以氟化物或络合物迁移的 Ag 沉淀时,在溶液中 F 就继续迁移或成气体向周围扩散,于是在矿体中出现 Ag 与 F 的负相关关系。

(2) 该类银矿床的 Cl 和 I 含量比较高,并与 Ag 成正相关关系。如内蒙古额仁陶勒盖银矿床地表石英脉型矿石中角银矿、碘银矿和溴银矿的含量占全岩 25% 以上,其 Cl 的平均含量为 826×10^{-6} , 最高达 3580×10^{-6} ; I 的平均含量为 60.6×10^{-6} , 最高是 342×10^{-6} 。这可能是因为

1) 中国有色金属总公司北京地质矿产研究所,中国银矿,1990,89~131

2) 耿文辉,浙江东南部中生代陆相火山岩浅成低温银-贱金属矿床地质地球化学特征,见:全国第四届矿物岩石地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编,1992,234~235

Cl 和 I 的活泼性和挥发性都比 F 小, 而银的氯化物、碘化物及它们的络合物的溶解度远远小于银的氟化物, 于是 Cl, I 和 Ag 就以银的氯化物和碘化物形式一起沉淀。

(3) 矿石类型不同, 卤族元素与 Ag 的关系也不同。额仁陶勒盖银矿床地表的石英脉型、硫化物型和氧化锰型矿石 Ag 与 Cl, I 成正相关, 与 F 成负相关; 菱锰矿型矿石 Ag 与 F, Cl 和 I 均成正相关, 深部石英脉型矿石中 Ag 与 Cl 成正相关, 与 I 成负相关。这可能是不同类型矿石代表局部存在物理地球化学环境的差异, 致使不同元素的地球化学行为的差异性体现。

2.5 陆相火山岩型银矿床中 Ag 与 Mn 关系密切

Ag 与 Mn 多成正相关或具相关趋势。目前已发现与陆相火山-次火山岩有关的银锰型矿床有: 额仁陶勒盖、冷水坑银矿床的鲍家矿区、河北相广、山西小青沟和北京西湖村^[21]、美国的

Hardshell^[22], Candelariat^[22] 和秘鲁 Lampa^[22] 等。许多陆相火山岩型银矿床中 Mn 含量较高, 并含有大量的锰矿物, 如大岭口银矿、冶岭头银矿和冷水坑银矿的银路岭矿段中的 Mn 主要是以锰矿物或含锰矿物形式存在, 如锰的氧化物和锰碳酸盐、硅酸锰、锰酸盐和硫酸盐矿物等。锰的氧化物多产于浅成低温矿床的地表或近地表(额仁陶勒盖和小青沟), 锰碳酸盐分布于中-低温银矿床的深部(额仁陶勒盖和大岭口), 锰硅酸盐产于与浅成侵入体有关、成矿温度较高的矿床(冶岭头银矿)中。锰矿物有分带现象, 额仁陶勒盖银矿, 地表或近地表为氧化锰型矿石, 深部碳酸锰型矿石; 冷水坑银矿分带明

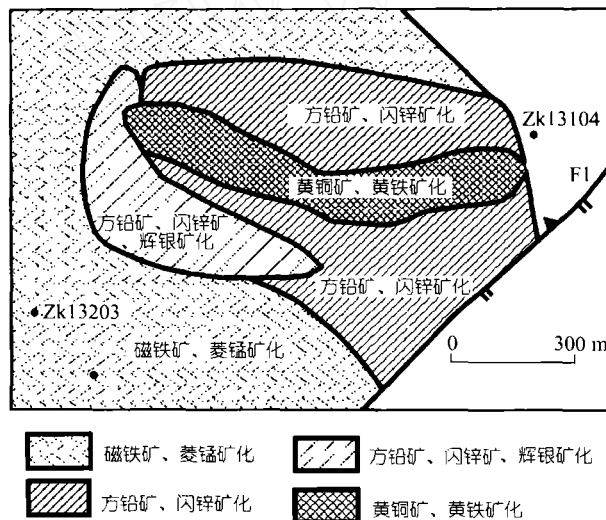


图 4 江西冷水坑银矿矿化分带图(据罗诒爵^[23]改编)

显, 锰矿化仅见于外接触带的围岩中(图 4)。

Mn 可以使岩石染色, 额仁陶勒盖银矿的地表是一片黑色, 大岭口银矿的新鲜剖面被菱锰矿染为浅玫瑰色, 美国内华达州科夫金银矿床的岩石和土壤呈煤烟状褐色^[22]。

Ag 与 Mn, F, Cl, I 在一起的原因可能是: (i) 锰的氧化物对 Ag 有很强的吸附能力, 岩(矿)石中的锰质在表生风化淋滤作用下, 特别是硫化物矿床氧化带铁非常丰富, 对 Ag 具有很强的吸附能力^[1], 在地表或矿带的上部形成 Ag 的次生富集; (ii) Mn^{2+} 能促进 Ag^+ 的沉淀; (iii) Сахарова^[2] 研究表明溶液中 Mn^{2+} , F^- , Cl^- 等离子可促使 Ag 沉淀, 而 Ag 又是 Mn 的沉淀剂。这就是火山岩银矿床以及其他银矿床 Ag, Mn 以及 Ag, Cl, F 和 I 密切相关的原因。

2.6 陆相火山岩型银矿的成矿机理探讨

中-新生代的火山、次火山岩浆活动, 不仅从地壳深部带来成矿物质, 而且提供了热动力, 使地下水加热循环, 不断从围岩中萃取成矿物质; 同时以硅化、绢云母化、蔷薇辉石化、含锰碳酸盐化等为主的蚀变, 使围岩中的 K^+ , Ca^{2+} , Na^+ 离子大量带出, 在早期酸性淋滤后, 热液转

1) 中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所, 中国银矿, 1990, 74-89

2) Сахарова М С. 项仁杰, 译. 自然金和自然银的标性实验资料. 矿物岩石地球化学通讯, 1985, (3): 141

为弱酸-弱碱性的条件下,以卤族元素的络合物形式运移的 Ag、Pb、Zn 等金属组分,开始从络合物中分解出来,上升至适合的构造容矿空间,随着温度的降低,金属硫化物和银矿物大量沉淀而形成矿床,该类银矿多与萤石矿床在时空上有密切的关系,并常在矿体内或周围形成一定的卤族元素扩散晕和锰晕。

参 考 文 献

- 1 隋颖慧, 王海波, 高秀丽, 等. 河南铁炉坪银成矿流体研究及其对碰撞造山成岩成矿与流体作用模式例证. 中国科学, D 辑, 2000, 30(增刊): 82~84
- 2 邓海琳, 李朝阳, 涂光焯, 等. 滇东北乐马厂独立银矿床 Sr 同位素地球化学. 中国科学, D 辑, 1999, 29(6): 486~489
- 3 陈守武, 贾伟光, 韩仲文. 中国两种 VHMS 型银矿床的基本特征. 贵金属地质, 1998, 7(1): 20~30
- 4 杨开辉, 侯增谦, 莫宣学. “三江”地区火山成因块状硫化物矿床的基本特征与主要类型. 矿床地质, 1992, 11(1): 35~44
- 5 徐明基, 傅德明, 尹裕明, 等. 四川呷村银多金属矿床(M). 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 38~135
- 6 侯增谦, 侯立玮, 叶庆同, 等. 三江地区义敦岛弧构造—岩浆演化与火山成因块状硫化物矿床. 北京: 地震出版社, 1995. 1~196
- 7 侯增谦, 浦边彻郎. 古代与现代海底黑矿型块状硫化物矿床矿石地球化学比较研究. 地球化学, 1996, 25(3): 228~241
- 8 杨本锦, 钟晓明, 张文宽. 川西嘎村银多金属矿床地质特征及成因新认识. 有色金属矿产与勘查, 1992, 1(3): 145~150
- 9 叶庆同, 胡云中, 杨岳清, 等. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用. 北京: 地质出版社, 1992. 144~173
- 10 余金杰, 侯增谦, 曲晓明. 呷村黑矿型矿床 ^{18}O 成矿流体的成因. 岩石矿物学杂志, 2000, 19(4): 382~389
- 11 Veizer J. Strontium isotopes in seawater. *Ann Rev Earth Planet Sci.* 1989, 17: 141~167
- 12 刘铁庚, 叶霖. 寻找紧缺的银矿资源——地质工作者的急迫使命. 地质地球化学, 1999, 27(3): 53~61
- 13 刘铁庚, 叶霖. 新疆北部银矿资源现状及展望. 地质地球化学, 1996, 24(2): 32~36
- 14 李长江, 徐步台, 胡永和, 等. 浙东南金银铅锌成矿作用的若干问题探讨. 地质与勘探, 1990, 26(6): 1~8
- 15 刘铁庚, 叶霖. 银矿与萤石. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 300~302
- 16 地质出版社, 中国地质矿产信息研究院, 中国地质科学院矿床地质研究所. 中国矿产资源图说明书. 北京: 地质出版社, 1992
- 17 朱训, 主编. 中国矿情. 第三编(非金属矿产). 北京: 科学出版社, 1999. 43~77
- 18 张寿庭, 徐旃, 沈军涛. 中国首例金(银)-萤石矿床的成矿期与成矿阶段发育特征. 成都理工学院学报, 1999, 26(2): 113~114
- 19 Lowenstern J B. Chlorine, fluid immiscibility and degassing in peralkaline magmas from Pantelleria, Italy. *American mineralogist*, 1994, 79: 353~369
- 20 赵斌, 王声远, 吴厚泽, 等. 高温高压实验地球化学. 北京: 科学出版社, 1995. 167~194
- 21 叶霖, 刘铁庚. 银与锰之间可能存在的联系. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 303~304
- 22 Craybeal F T, Smith D M, Vikre P G. The Geology of silve deposits. *Handbook of strat-bound and stratiform ore deposits*, 1986, 14: 1~167
- 23 罗治爵. 冷水坑斑岩型铅锌矿地质特征. 矿床地质, 1985, 4(4): 15~22