

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

浙东新昌-永嘉银(铅-锌)矿带 同位素地球化学研究

徐步台 李长江

陈好寿

(浙江省地质矿产研究所, 杭州)

(浙江大学地球科学系, 杭州)



浙东新昌-永嘉银(铅-锌)矿带中,主要有嵊县毫石、新昌拔茅、天台大岭口及黄岩五部等大一中型银矿床或含银铅-锌矿床。在这些典型矿床的专题研究基础上,本文根据它们的成岩成矿年龄时差及氢、氧、硫和铅同位素地球化学特征,提出了“中生代地热水淋滤汲取成矿”的成因机制和成矿模式。地热水环流-汲取成矿活动的主体部分发生在火山岩层内。成矿流体是大气降水来源的浅循环地热水,在其环流过程中淋滤汲取周围岩石中的成矿物质(银、铅、锌及硫等成矿元素主要来源于已固结的火山岩),从而形成了中低温热液银(铅-锌)矿床。

关键词 同位素地球化学 银(铅-锌)矿带 矿床成因 浙江省

浙东地区是西环太平洋构造岩浆带中的重要组成部分。该区中生代火山岩浆活动频繁强烈,火山机构和断裂构造遍布叠置,这为金属和非金属成矿作用提供了必要的物质基础和有利的地质条件。已知,在新昌-永嘉存在一条南北向展布的银(铅-锌)矿带,密集分布了 30 余处矿床(点),占全省银矿资源总量的 1/2 以上,主要有嵊县毫石、新昌拔茅、天台大岭口及黄岩五部等大一中型银矿床或含银铅-锌矿床。该矿带具有相似的区域地质背景和成矿地球化学条件,以往对这些产于中生代火山岩中的银(铅-锌)矿一般认为是“火山岩浆热液矿床”^[1],或者“岩浆水-大气降水混合成因热液矿床”^[2-6],所谓热液流体和/或成矿物质主要直接来自火山岩浆或晚期分异的产物。近年来,我们提出了“中生代地热水淋滤汲取成矿”的成因机制^[7-10],即热液流体是大气降水来源的浅循环地热水,在其环流过程中淋滤汲取火山岩中的成矿物质,从而形成了中低温热液银(铅-锌)矿床。为了进一步阐明这个基本观点和主要论据,本文将以新昌-永嘉矿带为例,在各个典型矿床的专题研究基础上^[11-21],着重总结和探讨浙东火山岩区银(铅-锌)矿床的同位素地球化学特征及其成矿作用机制。

1) 董平. 浙江新昌拔茅银矿地质地球化学特征及矿床成因(硕士论文). 1989

2) 徐步台等. 浙江毫石银矿床成矿年代学和同位素地球化学. 1992.

本文 1992 年 12 月收到, 1993 年 9 月改回, 经内容编辑。

1 区域地质构造背景简述

浙东地区(余姚-丽水断裂带以东)由于中生代太平洋板块向欧亚大陆的俯冲作用,导致燕山期发展成为陆缘构造-岩浆活化带。该区除局部出露零星分布的前寒武系变质基底外,几乎全被中生代火山岩所覆盖(图1)。

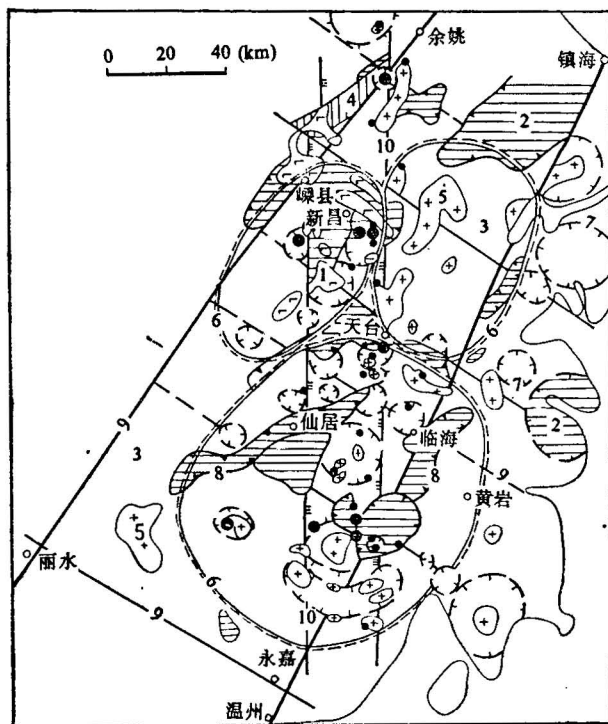


图1 浙东新昌-永嘉地区地质构造背景和矿床(点)分布略图

(据蒋叙良等, 1992)

Fig. 1 Schematic map of the geological setting and mineral deposit (occurrence) distribution in the Xinchang-Yongjia area, eastern Zhejiang Province

(after Jiang Xuluang, 1992)

1. 上第三系玄武岩; 2. 白垩系火山-沉积岩; 3. 上侏罗统火山岩; 4. 前寒武系变质岩;
5. 燕山期花岗岩; 6. 大型环形火山构造; 7. 破火山、火山穹隆; 8. 火山洼地; 9. 断裂;
10. 南北向断裂带; ● 主要矿床(点)

1. Basalt of Upper Tertiary; 2. Cretaceous volcanic-sedimentary rock; 3. Upper Jurassic volcanic rock; 4. Precambrian metamorphosed rock; 5. Yanshanian granite; 6. large circular volcanic structure; 7. caldera and volcanic dome; 8. volcanic depression; 9. fault; 10. fault zone in north-south direction; ● main deposits (or occurrences)

该区中生代火山岩浆活动形成具多旋回结构的同熔型火山-侵入杂岩系。在燕山中期(晚侏罗世)的挤压构造环境下,形成英安质-流纹质火山岩组合;燕山晚期(早白垩世)处于拉张构造环境,与燕山中期相比,火山活动强度减弱,规模较小,形成以流纹岩为主

的玄武岩或英安岩-流纹岩组合,并夹有少量火山沉积岩。据现有大量的岩石化学资料表明,该区岩石总的属于具大陆边缘火山岩带特征的高钾钙碱性系列。火山岩中银、铅、锌等成矿元素含量均高于酸性岩类的平均丰度(表 1)。

表 1 浙东中生代火山岩中成矿元素含量($\times 10^{-6}$)

Table 1 Ore-forming element contents ($\times 10^{-6}$) in Mesozoic volcanic rocks of eastern Zhejiang Province

时 代	岩 石	Ag	Pb	Zn	Cu
燕山晚期 (K_1)	熔结凝灰岩	1.50	96	108	32
	流纹斑岩	1.80	84	95	14
	霏细斑岩	1.20	89	94	26
燕山早期 (J_2)	熔结凝灰岩	0.96	34	61	41
	流纹岩	—	63	106	27
	流纹斑岩	2.30	52	101	30
	英安岩	—	46	100	49
	辉绿玢岩	0.40	38	104	51
酸性岩维氏值(1962)		0.05	20	60	20

注: 据魏元柏(1986)。

据区域地质、重力和航磁资料,本区火山岩盖层之下的变质基底大致呈北东向隆拗相间的格局形态,并发育以北东、北北东向为主及派生配套的北西、南北向的基底断裂系统。余姚-丽水和镇海-温州两条北东或北北东向断裂带主要控制了区内燕山期火山岩浆活动及白垩纪火山-断陷盆地的形成与发展。火山岩系不仅呈整个大面积的区(带)分布,而且发育众多大型的环形构造以及破火山、火山穹窿、火山洼地等火山机构。上述变质基底构造和盖层火山机构对该区的银(铅-锌)成矿在一定程度上起着间接的控制作用。

2 成矿地质特征及物理化学条件

浙东新昌-永嘉由南北向平行断裂系(图 1 之 10)构成了一条火山构造-岩浆带,长 200km,宽 30—40km 左右^{[11,12]1)}。整个浙东火山岩区几个主要银(铅-锌)矿床,如嵊县毫石、新昌拔茅、天台大岭口及黄岩五部等,都分布在这个构造岩浆带内,成为一条醒目的北西向银(铅-锌)矿带(图 1)。该矿带中银(铅-锌)矿床大多处于火山盆地边缘或火山机构与断陷盆地的接壤部位。其容矿构造为断裂系统,主要是叠加在火山构造之上的次级南北向断裂,其次是近东西向及北西向断裂(表 2)。

已知,几个主要银(铅-锌)矿床获得的成矿年龄大致在 70—100Ma^{[8,10]2)};而赋矿火山岩或有关侵入岩的成岩年龄在 110—130Ma 左右^{[8,10,13,14]3,4)}。上述成矿时间恰好相当于太平洋板块向大陆快速扩张俯冲之后的减速时期^{[15]1)}。由此表明,浙东火山岩区银、铅、锌成矿作用在总体上是与这一俯冲松弛时期的拉张构造环境密切相关。同时,成矿作用相对

1) 蒋叙良等, 浙江新昌-永嘉银(金)铅锌矿带的构造成岩成矿作用研究, 1992。

2) 徐步台等, 浙江毫石银矿床成矿年代学和同位素地球化学, 1992。

3) 浙江省第五地质大队, 浙江括苍山地区 1:5 万区调报告, 1990。

4) 徐步台等, 浙江毫石银矿床成矿年代学和同位素地球化学, 1992。

表 2 新昌-永嘉银(铅-锌)矿带成矿构造特征

Table 2 Characteristics of metallogenic structure in the Xinchang-Yongjia silver (lead-zinc) ore zone

矿 床	火山机构	矿床产出部位	容矿断裂构造
嵊县毫石	破火山	白垩纪火山盆地边缘	S-N 向为主, EW 向次之的张性断裂
新昌拔茅	破火山	白垩纪火山盆地边缘	S-N 向或 NW 向张性断裂
天台大岭口	火山穹窿	火山穹窿与白垩纪断陷盆地接壤处	S-N 向张性断裂
黄岩五部	火山穹窿	火山穹窿与白垩纪断陷盆地接壤处	S-N 向张性断裂

注: 据胡永和等(1990)、华锡荣和王武生(1991)及蒋叙良等(1992)

于有关的火山岩浆成岩作用要滞后 30—40Ma (即成岩成矿时差), 从现有的火山岩浆冷却速度研究和野外地质观察的资料来看, 在这样长的时差间隔中, 在成矿时期不仅火山岩浆喷发活动已停熄, 而且喷发的火山碎屑-熔浆也完全冷却固结, 甚至有些已开始遭受风化剥蚀。因此, 该火山岩区银(铅-锌)矿床的成矿作用似乎与所谓的“火山岩浆热液成矿”的传统观念相悖, 很可能是由中生代大气降水来源的循环地热流体成矿的。

这些矿床的赋矿围岩为上侏罗统一下白垩统中酸性、酸性火山碎屑岩、熔岩及少量火山沉积岩。其蚀变类型主要有硅化、(黄铁)绢英岩化或绢云母化、绿泥石化, 其次为碳酸盐化、萤石化及高岭石化等, 且常具有一定的蚀变分带现象。矿体主要受断裂构造控制, 呈脉状、似层状或透镜体, 普遍埋藏较浅, 一般延深为 $n \times 10$ 至 $n \times 10^3$ m。矿石多具在开放空间充填形成的构造特征, 如角砾状、网脉状、浸染状、晶洞状、皮壳状及条带状等。金属矿物以黄铁矿、闪锌矿、方铅矿为主及少量黄铜矿, 至少有自然银、辉银矿、螺状硫银矿、硫锑铜银矿、银黝铜矿、硫铜银矿、碲银矿等一、二十种银和含银矿物。脉石矿物主要是石英、绢云母、长石、高岭石及菱锰矿、还有玉髓、绿泥石、方解石、萤石、重晶石、蔷薇辉石等。

刘慧芳和岳书仓及胡永和等曾对浙东火山岩区一些银-铅-锌矿床做过成矿物理化学条件的综合研究和论述^[7,8,16]。新昌-永嘉矿带几个主要银(铅-锌)矿床, 由一些矿物(石英、闪锌矿、方解石、萤石)气液包裹体测得的均一温度范围, 大多在 300—70℃之间。根据这些测温资料和矿物组合特征, 大致可分为 3 个不同的温度阶段: I 阶段为 230—300℃(石英-黄铁矿); II 阶段为 200—220℃(石英-碳酸盐-硫化物); III 阶段为 70—180℃(石英-萤石-碳(硫)酸盐-硫化物)。其中, III 阶段又可分为 III_a (150—180℃) 和 III_b (70—150℃) 两个亚阶段。银、铅、锌成矿作用主要发生在 II 阶段和 III_a 亚阶段。

这些矿床的成矿压力一般较低, 大致在 100×10^5 — 400×10^5 Pa 之间。据此, 估计对应的静岩压(深度)处在 500—1500m 范围内, 表明它们的成矿作用发生在近地表的浅部带。

根据矿石中石英、闪锌矿等矿物包裹体的气、液相成分资料, 成矿热液主要属 Na^+ - K^+ - Ca^{2+} - Cl^{2-} 型, 气体组分中以 H_2O 为主, 其次为 CO_2 。热液流体的盐度 ($W_{\text{NaCl}}/10^{-2}$) 为 0.1—8.1, 大多 ≤ 5.0 , 密度 (g/cm^3) 为 0.76—1.00, 均 ≤ 1 。因此, 它们总的属低盐度、低密度的热液流体。由蚀变矿物组合、矿物包裹体成分及成矿温度等资料, 估算出成矿热液的 pH 在 5.5—7.0 之间, f_{O_2} 为 -41 — -43 , 属中性—弱酸性且氧逸度中偏高的热液流体。

综上所述,这些矿床的地质构造特征和成矿物理化学条件表明,浙东火山岩区银(铅-锌)矿大多属典型的浅成中低温热液矿床。

3 热液流体和成矿物质来源

在矿床成因和成矿机制研究中,查明和探讨热液流体和成矿物质来源是一个至关重要的问题。当前,应用同位素地球化学原理和方法已成为解决这一问题的有效手段之一。近年来,浙东新昌-永嘉矿带几个主要银(铅-锌)矿床已积累了一批氢、氧、硫及铅同位素分析数据,本文将利用这些实际资料,并结合上述矿床地质和地球化学特征,对该矿带银、铅、锌成矿热液和成矿物质来源加以判别和论述。

3.1 氢、氧同位素证据

新昌-永嘉矿带几个主要银(铅-锌)矿床中,由一些脉石矿物(石英、方解石、重晶石、菱锰矿)测得的氢和氧同位素组成,总的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值变化范围较大。其中,石英矿物 $\delta^{18}O$ 值为 7.9‰ — 14.5‰ ; 包裹体水 δD 值为 -55‰ — -70‰ ; 以及计算得出的热液水 $\delta^{18}O$ 值为 -8.3‰ — $+4.1\text{‰}$ 。然而,各个矿床的同一温度阶段之间,其氢和氧同位素组成相对差别要小得多。图 2 为热液流体 $\delta^{18}O$ 值与温度的相关图。由此可见,热液流体 $\delta^{18}O$ 值各自集中分布在 3 个不同区域,从 I 阶段至 III_a 亚阶段(即温度由高往低),其 $\delta^{18}O$ 值呈不断降低的趋势,大致从 $+4\text{‰}$ 降至 -8‰ 。同时, I 和 II 阶段的 $\delta^{18}O$ 值分布范围较窄,而 III_a 亚阶段则分布较离散,范围相对要宽一些。K. L. Shelton 和 D.M. Lofstrom(1987,1988)通过对美国东南密苏里州银矿床的氢和氧同位素研究,认为这种热液水 $\delta^{18}O$ 值与温度及矿物组合之间的关系,显示出 $\delta^{18}O$ 值随成矿时间的演化(温度由高至低)而有规律的降低变化,是大气降水在热液体系中不断增加并起着重要作用的结果。据此,他们应用大气降水-岩石交换及交换水-未交换水混合的两种机制来解释热液水的氢和氧同位素组成^[17]。

为了更具体地判别和探讨新昌-永嘉矿带银(铅-锌)矿床的成矿热液流体来源及其演化过

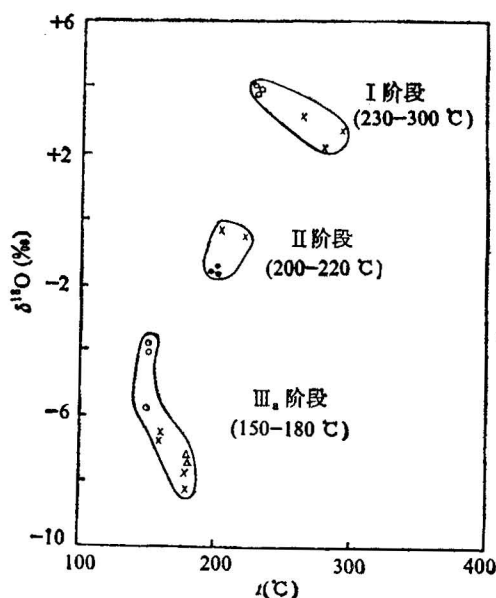


图 2 新昌-永嘉矿带银(铅-锌)矿床热液流体 $\delta^{18}O$ 值随成矿温度演化图

Fig. 2 $\delta^{18}O$ variation diagram of hydrothermal fluids with formation temperature in the silver (lead-zinc) deposits of the Xinchang-Yongjia ore zone

- 岙县毫石; ○ 新昌拔茅; × 天台大岭口;
△ 黄岩五部
- Haoshi of Sheng County; ○ Bamao of Xinchang County; × Dailinkou of Tiantai County; △ Wubu of Huangyan County

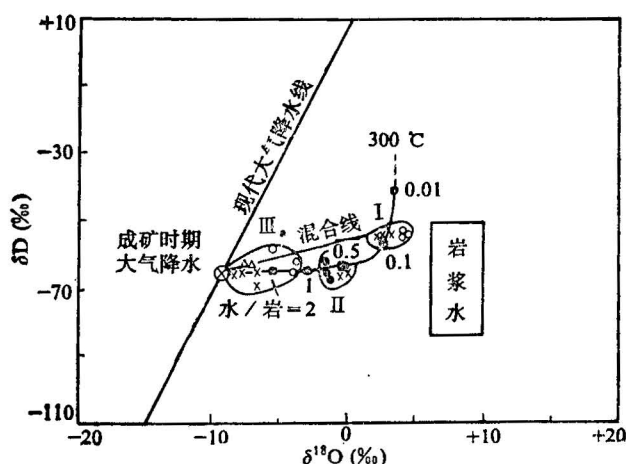


图3 新昌-永嘉矿带银(铅-锌)矿床热液流体 δD - $\delta^{18}O$ 相关图

Fig. 3 δD versus $\delta^{18}O$ diagram of hydrothermal fluids in the silver (lead, zinc) deposits of the Xinchang-Yongjia ore zone

交换曲线表示在 300°C 时不同水/岩比条件下, 中生代大气降水与火山岩交换平衡产生的地热水同位素组成; 混合直线表示强烈交换的大气降水与未交换的大气降水混合产生的地热水同位素组成。图中符号同图 2

Exchange curve shows the isotopic composition of geothermal water resulting from exchange equilibrium between the Mesozoic meteoric water and volcanic rock at 300°C and different water/rock ratios; Mixing. line shows the isotopic composition of geothermal water resulting from mixing and reaction between strongly exchanged meteoric water and unexchanged meteoric water. Symbols same as in Fig. 2

程, 在图 3 中绘制出浙江中生代大气降水-火山岩的交换曲线及强烈交换水-未交换水的混合直线。这里, 采用水/岩计算方程^[18]的一些参数是, 中生代大气降水的 $\delta D = -65\text{‰}$ 和 $\delta^{18}O = -9.4\text{‰}$; 火山岩的 $\delta D = -70\text{‰}$ 和 $\delta^{18}O = +8.0\text{‰}$; 岩石中含水矿物数量平均为 5% 以及交换温度为 300°C (正如前述, 这是热液流体已定位开始沉淀溶质的温度, 假定它为地热水的环流过程及其与火山岩的交换作用的最终温度)。从图 3 可见, 这些银(铅-锌)矿床的 3 个不同阶段热液水都沿着水/岩交换曲线分布, 并且随成矿时间演化(温度降低)越来越靠近大气降水线。由此表明, 它们的成矿热液是来源于中生代大气降水, 经过较高温度下(300°C)发生水/岩同位素交换后的循环地热流体。此外, 各个阶段的水/岩比变化大致为, I 阶段为 0.05—0.1; II 阶段为 0.5—1.0; III 阶段除个别样品外, 都 > 2, 且在大气降水线附近。这种变化趋势显示了从 I 阶段至 III 阶段是不断增加大气降水, 并发生了大量未交换水与交换水之间的混合作用。

综上所述, 浙东火山岩区银(铅-锌)成矿的环流地热流体, 从较深部环流上升到近地表浅部带的过程中, 不断补给大气降水, 特别是在晚期由地表往下渗流的大量冷大气降水(未交换水)与地热流体的混合作用, 致使其温度、盐度、压力、pH 和 f_{O_2} 等物理化学条件的急剧变化, 从而发生银(铅-锌)矿质的沉淀, 形成了断裂(隙)充填式浅成中低温热液矿床。

3.2 硫、铅同位素证据

新昌-永嘉矿带几个主要银(铅-锌)矿床中, 一些矿石硫化物矿物(黄铁矿、闪锌矿、方

铅矿及黄铜矿)获得的硫同位素分析结果(图 4), 由于它们可形成于各个不同的温度阶段, 总的温度变化范围在 100—300℃左右, 因此, 其硫同位素组成变化较大, $\delta^{34}\text{S}$ 值在 -7‰—+7‰左右(除个别样品外), 离差达 14‰之多。采用硫化物矿物对的硫同位素分馏图解法^[19]或根据矿物共生组合资料, 对这些矿床的主成矿期(II 阶段和 III₁ 亚阶段)热液流体, 估算出其总硫 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ss}}$ 大体一致, 约为 +5‰^[2,8,11]。该总硫的同位素组成不仅处于酸性岩浆岩中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值(大多为 -4‰—+9‰)分布范围内, 而且与其平均值(约 +4‰)非常近似^[20]。同时, 还可大致与浙东中生代火山岩的一些硫同位素资料(-1‰—+5‰)直接相比较。因此, 该矿带银(铅-锌)矿床成矿过程中的硫主要来自中生代火山岩。

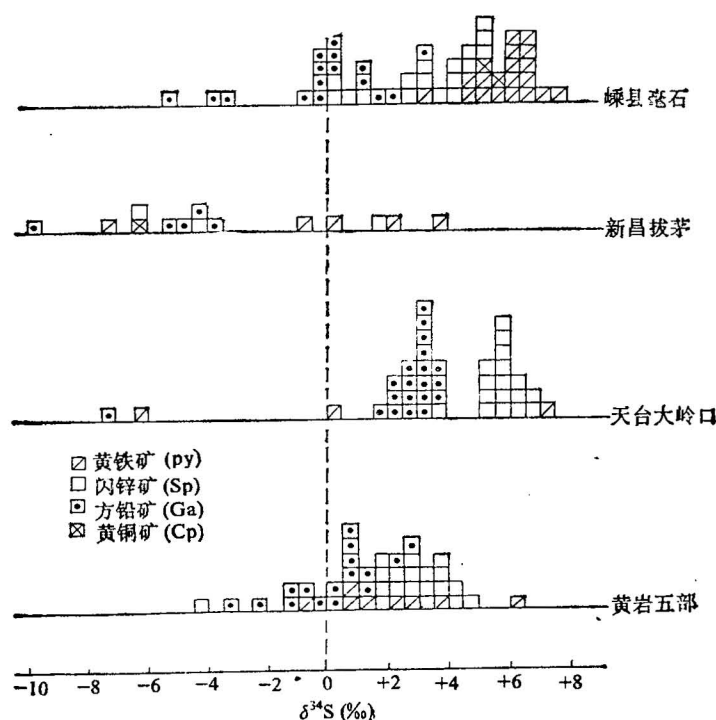


图 4 新昌-永嘉矿带银(铅-锌)矿床硫化物矿物 $\delta^{34}\text{S}$ 分布图

Fig. 4 $\delta^{34}\text{S}$ distribution diagram of sulphides from the silver (lead-zinc) deposits in the Xinchang-Yongjia ore zone

前已述及, 这些矿床的成矿热液物理化学条件的研究表明, pH 大致为 5.5—7.0, f_{O_2} 为 -41—-43^[16]。同时, 我们选取这些矿床的主成矿阶段温度在 200℃左右和总硫 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ss}}$ 为 +5‰。这样, 根据矿石硫化物矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值分布范围, 在 H. Ohmoto (1972) 的热液体系硫同位素分馏平衡图中^[21], 可近似确定该银(铅-锌)矿带主成矿阶段中硫化物的沉淀区(图 5, 阴影部分)。

根据上述硫同位素组成特征并结合成矿年龄和氢、氧同位素资料, 作者认为该矿带中

1) 徐步台等, 浙江毫石银矿床成矿年代学和同位素地球化学, 1992。

来源于中生代大气降水的热液流体,在其地下环流过程中很可能淋滤汲取了火山岩内的硫。

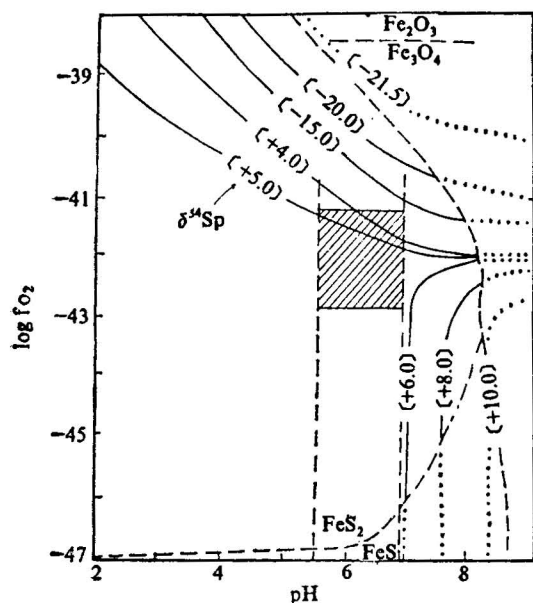


图5 新昌-永嘉矿带银(铅-锌)矿床 pH- f_{O_2} 相关图
Fig. 5 pH versus f_{O_2} diagram of the silver (lead, zinc) deposits in the Xinchang-Yongjia ore zone

(阴影部分为硫化物沉淀区)

(hachured area shows the range of sulphide precipitation)

$T = 200^{\circ}\text{C}$ $I = 1.0$
 $\Sigma S = 0.1\text{mol}$ $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma S} = +5\text{‰}$

此外,大多数矿石铅的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 值要略大于在成矿时期火山岩的比值。这些事实表明,该矿带银(铅-锌)矿床的成矿物质并非直接来自火山作用产生的岩浆热液,而是主要汲取了已固结的火山岩中成矿物质,并且在成矿过程中还可能加入极少量前寒武纪变质基底的物质,以致造成矿石铅同位素模式年龄失去了真实的地质年代意义,它们既不能代表银-铅-锌的成矿时代,又不能代表赋矿火山岩的成岩时代。

该区中生代火山岩系(K_1-J_3)下伏基底主要为前寒武纪陈蔡群变质岩($An\epsilon ch$)。根据变质岩的岩石铅同位素组成¹⁾;铀、钍含量²⁾以及选取变质岩中钾长石铅同位素组成作为初始值³⁾和变质岩形成年龄为1500Ma,计算获得陈蔡群变质岩在成矿时期的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 值。我们将变质岩、火山岩及矿石铅的这两组比值一并投在图7上^[24],除天台大岭口矿床两个离散样品外(图6),它们均呈线性分布($r = 0.994, n = 48$),而且

新昌-永嘉矿带银(铅-锌)矿床中,方铅矿、黄铁矿及萤石的铅同位素组成,除个别样品外,单个矿床的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值较为稳定,不同矿床之间其差异也很小。将它们的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值投在 R. E. Zartman 和 B. R. Doe (1981) 的矿石铅同位素构造模式图上(图6)^[22],集中分布在造山带和上地壳的铅平均演化曲线之间及附近。同时,已知该区中生代火山岩及花岗岩的岩石铅与银(铅-锌)矿床的矿石铅,两者的同位素组成相类似,并无明显的差异。因此,该矿带中矿石铅来源主要与造山带物质——火山岩有关。

然而,对这些矿床的矿石铅采用 B. R. Doe 和 J. S. Stacey (1974) 参数计算得出的铅同位素单阶段演化模式年龄^[23],除个别样品外,均大于150Ma,且绝大多数集中在150—300Ma之间。这个年龄区间既远大于该矿带银-铅-锌的成矿年龄(70—100Ma),也大于赋矿火山岩的成岩年龄(110—130Ma)。此

1) 凌洪飞, 浙赣前寒武纪地壳地球化学演化和 Sm-Nd 同位素地质研究(博士论文), 1990.

2) 沈渭洲, 私人通信, 1988.

3) 郑人杰等, 浙江龙泉至诸暨一带金矿床研究报告, 1986.

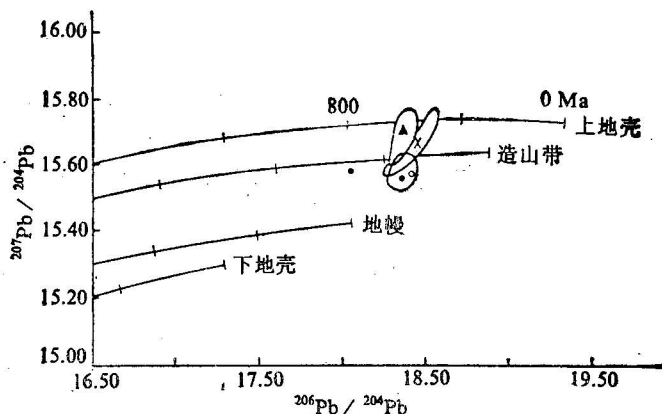


图 6 新昌-永嘉矿带银(铅-锌)矿床矿石铅同位素构造模式图

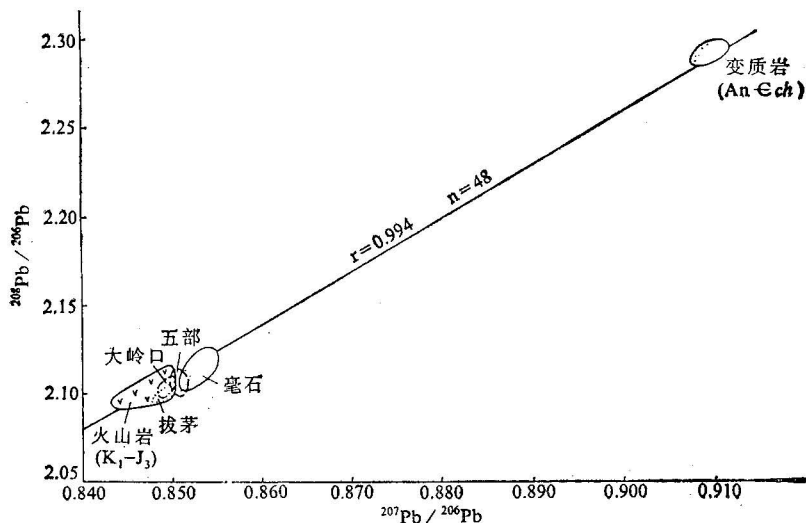
(据 R. E. Zartman 和 B. R. Doe, 1981)

Fig. 6 Tectonic model of the ore lead isotopes in the silver (lead-zinc) deposits of the Xinchang-Yongjia ore Zone

(after R. E. Zartman 和 B. R. Doe, 1981)

▲—嵛县毫石; ×—新昌拔茅; ●—天台大岭口; ○—黄岩五部

▲—Haoshi of Shengxian County; ×—Bamao of Xinchang County; ●—Dailinkou of Tiantai County; ○—Wubu of Huangyan County

图 7 新昌-永嘉矿带矿石和岩石铅的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 相关图Fig. 7 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ versus $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ diagram of ores in the Xinchang-Yongjia ore zone and related rocks

所有矿石铅都趋近于火山岩一端,其中部分还相互叠置。由此进一步说明,该矿带银-铅-锌成矿作用主要与火山岩有关,同时与基底变质岩也存在一定的联系。因此,矿石铅同位素组成可用端元分别为火山岩和变质岩铅源的二元混合铅模式加以解释^[9]。这样,根据变质岩和火山岩在成矿时期的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{203}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 值,计算得出该矿带各个矿床中

矿石铅,94%以上来自中生代火山岩,而变质岩源铅所占数量甚少。由此表明,这些矿床成矿地热流体的循环深度并不大,其主体部分是在火山岩盖层内。然而,正如前述,极少量变质岩源古老铅却对矿石铅同位素模式年龄产生了显著的影响。这或许可作为此类地热水淋滤汲取矿床成因的标志之一。

4 矿床形成机制与成矿模式

根据新昌-永嘉矿带几个银(铅-锌)典型矿床的同位素地球化学研究,并结合区域地质构造背景及成矿作用基本特征,作者对浙东火山岩区浅成中低温热液银(铅-锌)矿床的形成过程与构造-岩浆-地热水演化的关系概括如下:

4.1 火山构造-岩浆活动期

已知,浙东地区以北东、北北东向为主及其派生配套的北西、南北向的基底断裂系统,控制了中生代火山构造岩浆作用及白垩纪火山-断陷盆地的形成与发展。在相应的时期内形成巨厚的以酸性岩为主体且具多旋回结构的大陆边缘钙碱性火山岩系,富含银、铅、锌及硫等成矿元素。在空间上发育众多的火山构造及断陷盆地,这些火山构造有可能成为较长期贮藏地热能的场所,而它们的环状和放射状断裂,以及断陷盆地边缘断裂,又更易于在后来的区域性断裂活动中,得到复活或形成新的断裂构造。这些叠加在火山构造之上的张或张扭断裂,往往是形成和储集循环地热流体的有利空间。因此,从成岩成矿的时差,表明这些矿床的形成与火山岩浆活动并无直接的成因联系,但火山岩浆活动、火山构造及其后的次级断裂系统,至少为该区地热流体循环作用,提供了能量和空间等有利条件,火山岩中银、铅、锌及硫等成矿元素更为热液成矿作用提供了丰富和必要的物质基础。

4.2 地热水环流-淋滤汲取期

随着火山岩浆喷发活动的逐渐衰竭乃至完全停熄固结成岩石之后,大气降水有可能通过断裂系统在岩石中发生渗流和聚集作用,并且这种作用会不断增强扩大。当处于温度梯度大于绝热梯度(热量交换消失的温度梯度)的某些地带中,在岩石内就将形成地热水流体的环流活动。在这个漫长的环流过程中,地热水流体有足够时间允许不断地淋滤汲取岩石中所富含的成矿物质。由氢和氧同位素地球化学资料表明,成矿流体是来源于中生代大气降水,且经过在较高温度(300℃)下与火山岩发生交换后的地热水,或者是这种地热水与地表渗流未交换的大气降水的混合地热水。同时,硫和铅同位素地球化学研究,也表明地热水环流-汲取成矿活动的主体部分是发生在火山岩层内,其银、铅、锌及硫等成矿元素,主要来源于已固结的火山岩,而基底变质岩供给的成矿物质是很少的,有时几乎可以忽略不计。

4.3 银、铅、锌等金属沉淀期

在地热水上升环流和汲取成矿元素的过程中,随着浅部大气降水的不断增加补给(水/岩值从0.05至 $\gg 2$),温度和压力逐渐降低,于是在其浅部或近地表形成一种低盐度、

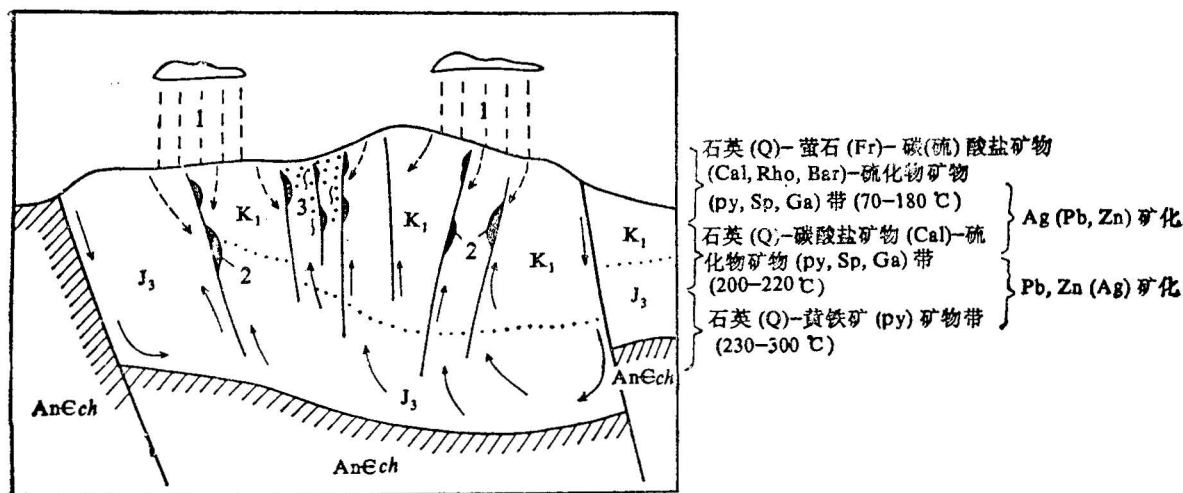


图 8 浙东火山岩区银(铅-锌)矿床的成矿理想模式图

(据胡永和等, 1991, 改编)

Fig. 8 Idealized metallogenetic model of the silver (lead-zinc) deposits
in the volcanic area of eastern Zhejiang Province

(Modified from Hu Yonghe, 1991)

AnEch 前寒武系陈蔡群变质岩; J₃ 上侏罗统火山岩; K₁ 下白垩统火山岩; 1. 中生代
大气降水; 2. 断裂(隙)充填式矿床; 3. 硅化破碎带式矿床; ↗ 地下环流成矿热液流体; ↘
地表渗流大气降水

AnEch Precambrian Chencai Group metamorphic rock; J₃ Upper Jurassic volcanic
rock; K₁ Lower Cretaceous volcanic rock; 1. Mesozoic meteoric water; 2. deposit
of the fracture filling type; 3. deposit of the silicified broken zone type; ↗
mineralizing hydrothermal fluid derived from the circulating ground water; ↘
meteoric water permeated from the surface

低密度和低压力的含矿热液。当这种含矿热液汇聚在有利成矿的次级断裂系统中, 处于合适的 pH 及 f_{O_2} 条件下, 产生了银、铅、锌等金属矿物的结晶沉淀。正如前述, 根据热液流体温度、矿物共生组合及氢和氧同位素的演化资料, 可将成矿作用分为 3 个不同温度阶段, 而银-铅-锌矿化则主要发生在 II 阶段(200—220°C)和 III₂ 亚阶段(150—180°C)。因此, 浙东火山岩区银(铅-锌)矿床往往显示其垂直矿化分带现象, 即自下而上(由深至浅)为铅、锌(铜)→铅、锌(银)→银(铅、锌)序列。

综上所述, 我们将浙东火山岩区这类浅成中低温热液银(铅-锌)矿床的成矿理想模式示于图 8。

参 考 文 献

- 1 黄极章, 郑人来, 尤岳昌, 徐忠连, 李强, 田德辉, 王雁宾, 高觉先. 论浙江黄岩五部铅锌矿的成矿特征和形成条件. 南京地质矿产研究所刊, 1983, 4(2): 85—102.
- 2 魏元柏, 陈武, 陈克荣. 浙江天台大岭口银铅锌矿床稳定同位素研究. 南京大学学报(地球科学版), 1988, (1): 203—213.
- 3 刘抗娟, 董平, 吴军林. 浙江拔茅银矿地质特征及成因. 南京地质矿产研究所刊, 1990, 11(1): 38—51.
- 4 梁修睦. 拔茅银矿田成矿规律探讨. 浙江地质, 1992, 8(1): 51—58.

- 5 封益城,章纯荪,芮行健,吴岩,朱韶华. 浙江天台大岭口银铅锌矿床的地质背景和成因. 南京地质矿产研究所所刊, 1983,4(4): 60—80.
- 6 徐国风. 论浙江火山岩区金银矿床的成矿物质来源. 地球科学, 1987,12(4): 389—396.
- 7 胡永和,李长江,徐步台,蒋叙良,许峰林. 浙东沿海火山岩区金、银和含金(银)铅锌矿床成因及成矿模式探讨. 浙江地质, 1990,6(2): 15—25.
- 8 胡永和,徐步台,李长江,蒋叙良. 浙江中生代火山岩区“浅成热液”型金、银矿床的成因特征与成矿模式. 矿产与地质, 1991,5(3): 176—182.
- 9 李长江,徐步台,胡永和,蒋叙良. 浙东南金、银、铜、铅、锌矿床成矿作用的若干问题探讨. 地质与勘探, 1990,26(6): 1—8.
- 10 李长江,徐步台,蒋叙良,胡永和. 中国东南部某些热液矿床的成岩成矿时差序列及有关问题讨论. 矿床地质, 1992,11(2): 106—112.
- 11 华锡荣,王勤生. 浙东火山岩型银矿成矿条件及勘查方法. 矿产与地质, 1991,5(2): 96—100.
- 12 徐忠连,朱安庆,林国富,吴军林. 浙东火山浅成热液银铅锌矿床的地质模式. 浙江地质, 1992,8(1): 38—50.
- 13 李坤英,沈如林,王小平. 浙闽赣中生代陆相火山岩同位素年代学. 南京地质矿产研究所所刊, 1989, 增刊(5): 87—133.
- 14 徐步台,胡永和,李长江,蒋叙良,许峰林. 浙东沿海燕山晚期岩浆岩的稳定同位素和微量元素地球化学研究. 矿物岩石, 1990,10(4): 57—65.
- 15 Larson R L, Pitman W C. World-wide correlation of Mesozoic magnetic anomalies, and its implications. Bull. Geol. Soc. Amer., 1972, 83: 3645—3662.
- 16 刘慧芳,岳书仓. 浙东脉状铅锌矿地球化学热力学研究. 矿床地质, 1988,7(4): 52—64.
- 17 Shelton K L, Lofstrom D M. 1988. Stable isotope and fluid inclusion studies of W-Sn-Ag deposits, silver mine district, southeastern Missouri: Tectonic control of water-rock interaction in a magmatic hydrothermal system. North American Conference on tectonic control of ore deposits and the vertical and horizontal extent of ore systems. 1988. 368—377.
- 18 徐步台. 水-岩石同位素交换作用及其对成矿流体源的判别应用. 地质地球化学, 1990,(4): 30—32.
- 19 Pinckney D M, Rafter T A. Fractionation of sulfur isotopes during ore deposition in the Mississippi Valley zinc-lead district. Econ. Geol., 1972, 67: 315—327.
- 20 魏菊英,王关玉. 同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1988. 135—165页.
- 21 Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. Econ. Geol., 1972, 67: 551—578.
- 22 Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics—the model. Tectonophysics, 1981, 75: 135—162.
- 23 Doe B R, Stacey J S. The application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evaluation: A review. Econ. Geol., 1974, 69: 757—776.
- 24 Crocetti C A, Holland H D, McKenna L W. Isotopic composition of lead in galenas from the Viburnum Trend, Missouri. Econ. Geol., 1988, 83: 355—376.

ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF THE XINCHANG-YONGJIA SILVER (LEAD, ZINC) ORE ZONE IN EAST ZHEJIANG PROVINCE

Xu Butai, Li Changjiang

(Zhejiang Institute of Geology and Mineral Resources, Hangzhou, Zhejiang)

and Chen Haoshou

(Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang)

Abstract

In the Xinchang-Yongjia silver (lead, zinc) ore zone of eastern Zhejiang Province, more than thirty deposits (or occurrences) are densely distributed, mainly

including the large and intermediate-sized Haoshi, Bamo, Dailinkou and Wubu silver or silver-bearing lead-zinc deposits. On the basis of studies on individual typical deposits, the authors deal with the isotopic geochemical characteristics of the zone and the genesis of the deposits therein.

In this paper the leaching-drawing mineralization mechanism of the Mesozoic geothermal water is put forward; the following are its main arguments:

1. Ore-forming ages obtained from the altered minerals or rocks and the fluid inclusions of quartz in ore veins are in the range of 70—100Ma, while rock-forming ages of the related volcanic and intrusive rocks are in the range of 110—130Ma. It is indicated that the time interval between the formation of host volcanic rocks and the silver mineralization was up to 30—40Ma. Therefore, the mineralization in the zone was not directly associated with the volcanic activity.

2. The hydrogen and oxygen isotopic data of the gangue minerals, such as quartz, calcite, barite and rhodochrosite, show that the ore-forming hydrothermal water has δD values of -55‰ to -70‰ and $\delta^{18}O$ values of -8.3‰ to $+4.1\text{‰}$. Through the an investigation of the variation curve of isotopic composition for water-rock exchange, it is considered that the ore fluids in the zone were circulating geothermal water derived from the Mesozoic meteoric water.

3. The sulphur and lead isotopic composition characters of the ore minerals, such as pyrite, galena, and sphalerite, are consistent with that of the host volcanic rocks, reflecting that the ore materials were mainly derived from the Mesozoic volcanic rocks. The two-component mixing model for lead isotopic composition suggests that more than 94% ore lead came from the Mesozoic volcanic rocks, while lead derived from the metamorphosed rocks of the Precambrian basement underlying the volcanic rocks was scarce. This result shows that the ore materials were leached and drawn by circulating geothermal water from a shallower depth and that the main part of the circulation lies in the volcanic cover. Thus, the silver (lead, zinc) deposit in the zone belongs to epithermal one.

Key words: isotope geochemistry, silver (lead, zinc) ore zone, genesis of ore deposit, Zhejiang Province

作者简介

徐步台, 生于 1936 年 10 月, 浙江省东阳市人。1960 年毕业于北京大学地质学系地球化学专业。现任浙江省地质矿产研究所高级工程师, 从事同位素地球化学研究工作。通讯处: 杭州市体育场路 232 号。邮政编码: 310007。