

陕西柞水银铜子银铅多金属矿床成矿动力学分析

魏俊浩 王思源

(中国地质大学·武汉)

本文概述了矿床地质特征及成矿背景,着重从火山动力学特征、成矿物理化学条件、成矿试验模拟三方面进行了成矿动力学分析,并建立了成矿模式。

关键词 银铜子银铅矿 成矿动力学 成矿模式

矿床地质与成矿背景

1. 矿床地质概况

矿床位于秦岭地槽北部海西褶皱带的白云—柞水凹陷区内。

矿床及外围出露中泥盆统大西沟组第二段中上部,主要岩性为千枚岩、板岩、碳酸盐及少量砂岩。矿体主要产在原岩为泥质岩和碳酸岩的过渡域内。

矿床构造简单,以断裂为主,规模不等,有大小断裂 40 多条,主要为北东向、南北向和北西向。所有断裂都不同程度地破坏矿体。文公庙向斜为矿区主要褶皱,其轴向为北西—南东向。

2. 成矿背景

古构造及古地理直接或间接地控制成矿地质背景,它们既是沉积矿床形成和演化的重要因素,又是控制成矿环境的重要条件。

加里东运动使北秦岭和大巴山带相继隆起,两隆起带之间形成一个近东西向的狭长海槽,长 500~600km,其北界为多期活动和超壳型深大断裂(商南—漳县深断裂)。在泥盆纪它是一个活动带,沿断裂两侧有火山岩堆积(杨振升,1980),从古地理特征分析,南侧应是一个滨海环境。由于秦岭海槽在泥盆纪处于拉张环境,引起地壳强烈下

降,并接受沉积。秦岭海槽是控制秦岭地区泥盆纪有色金属矿产分布的一级构造盆地。

在近东西向巨型海槽内,由于南北向拉张而引起的局部性差异升降,形成了一系列东西向断续的基底隆起。各隆起带之间则为一系列东西向排列的凹陷,其中堆积了巨厚的碎屑沉积物(图 1)。这些东西向凹陷是容纳和控制秦岭地区一些有色金属矿田分布的二级构造盆地(如柞水—山阳凹陷)。

在二级构造盆地的斜坡地段,由于陆源物质供应的不均一性和局部沉降速度的差异,形成了一些小的局部凹陷盆地,即控制矿床、矿点分布的三级构造盆地。银铜子银铅多金属矿床就产于柞水三级构造盆地中。

综上所述,本类矿床的形成,如同 D.E.拉奇对世界上产于沉积岩中的一些著名海底喷气型铅锌矿床所作出的总结那样,它们都受着一、二、三级构造盆地的逐级控制。

成矿动力学分析

1. 区域及矿区火山活动动力学特征

(1) 古火山活动的存在 从区域上分析,在秦岭泥盆纪海槽中,从西到东古火山活动普遍存在。在西部板房子、菜子坪一带均有火山岩分布,主要为中基性火山喷发,

本文 1992 年 7 月收到,张启芳编辑。

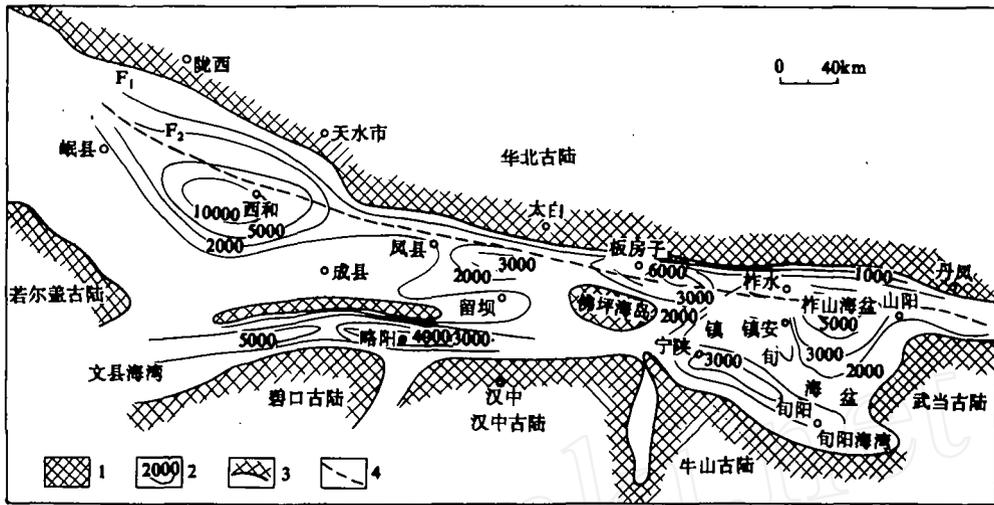


图 1 陕西、甘肃境内秦岭中泥盆世古地理略图

(据甘肃、陕西地矿局资料修编)

1—古陆与海岛；2—沉积等厚线（单位 m）；3—商南—漳县断裂；4—山阳—礼县断裂

并严格受扬斜—营盘大断裂控制。东部的柞水—山阳凹陷中，既有中基性火山岩喷发，又有中酸性火山岩喷发。如柞水县城大西沟南部及山阳县城东南部分别有数个火山喷发活动中心，它们主要受南部山阳—礼县同生大断裂控制，而使大西沟以东地区中泥盆统中含有大量凝灰岩层或凝灰岩夹层。据董映碧（1985）资料，本区泥盆纪地层中存在着两个火山喷发沉积旋回。

（矿区内采样 11 个，收集 00534 部队数据 18 个），利用 P. 尼格里指数计算值做出 (al+fm)—(c+alk)—Si 图解，al—alk—c 图解和 P. 尼格里四面体切面图解（图 2、图 3、图 4）。从图中可以看出，多数样品点落入粘土岩和碳酸岩区，也有相当一部分样品（9~15 个）落入火山岩区，说明含矿岩系本身就有火山物质存在。

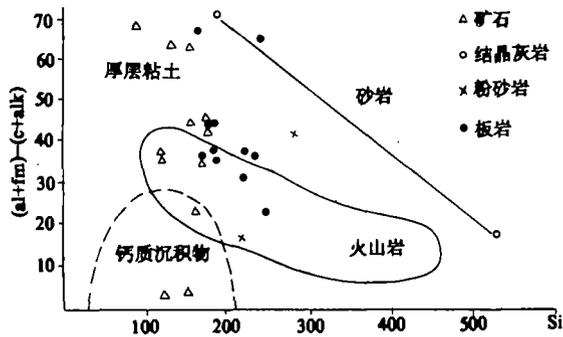


图 2 含矿岩系岩石、矿石化学成分 (al+fm)—(c+alk)—Si 图解

(A · Symoner, 1953)

(2) 含矿岩系的原岩特征 据矿区 29 个千枚岩、板岩、矿石的岩石化学分析数据

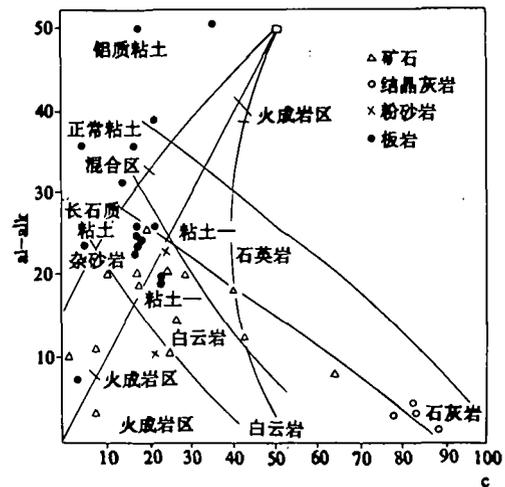


图 3 含矿岩系岩石、矿石化学成分 al-alk-c 图解

(B.E. Leake, 1969)

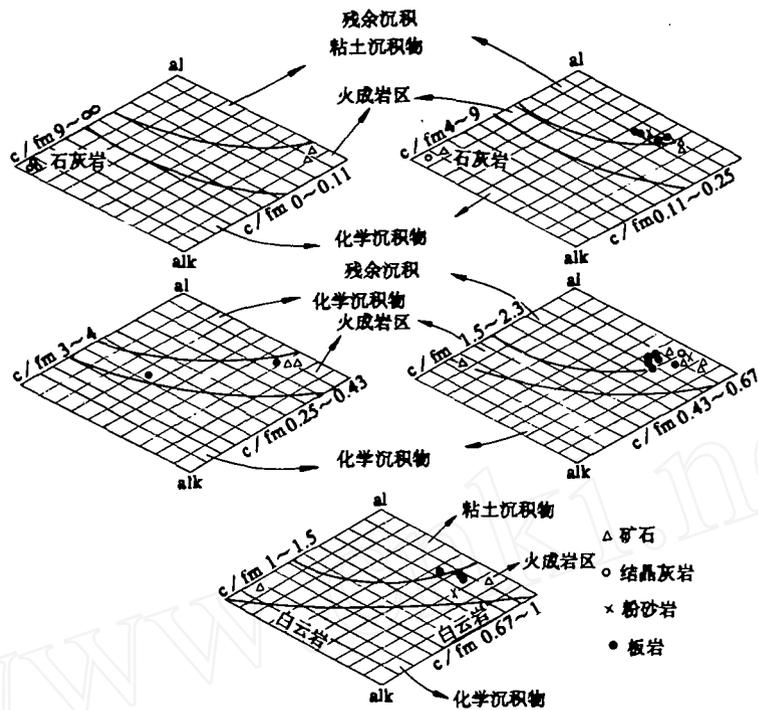


图4 含矿岩系岩石、矿石化学成分P. 尼格里四面体切面图解

(3) 地球化学特征 从矿区岩石的 La/Yb—ΣREE 相关图 (图5) 中就可以看出, 全部样品均落入沉积岩与玄武岩重叠区, 说明矿区内沉积岩可能含有基性凝灰岩。据 H. 普切尔特(1967), 海底喷气、喷

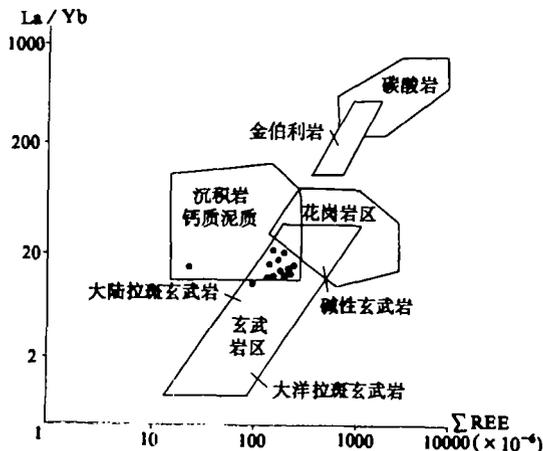


图5 含矿岩系岩石的(La/Yb)—ΣREE 含量图解

液的重晶石和岩浆热液形成的重晶石, 在地球化学特征上有明显差异, 前者 Sr 含量低 (0.3%~1.5%), 后者 Sr 含量高 (>1.5%)。

本矿床中的重晶石单矿物 Sr 含量为 1%, 属于海底喷气、喷液作用形成。黄铁矿的 Co/Ni > 1, As, Ga, Ag 含量较高, Se/S 比值较大, 闪锌矿中 Fe, In, Bi, Cu, Ag 含量较高, 以及方铅矿中 Sb/Pb, Ag/Pb 比值较大等特点均说明成矿与火山热液活动有关。

综上所述, 中泥盆世以前商南—漳县大断裂和山阳—礼县大断裂活动异常, 并导致局部地区的差异升降, 伴有中基性和中酸性火山岩喷发。到中泥盆世后期, 含矿岩系以陆源碎屑沉积为主, 并伴有经常的火山喷气喷液活动, 火山喷发处于相对宁静时期。泥盆纪秦岭海槽的火山活动动力学规律是: 中泥盆世以前火山活动强烈, 范围大; 中泥盆世以后火山活动减弱, 范围变小, 局部表现出火山活动以宁静式的喷气喷液为主。

2. 成矿物理化学条件

(1) 成矿温度 样品主要采自不同期次的脉石矿物和金属矿物, 其包裹体测温结果见表1、表2。由包裹体的均一法测温结果

(未经压力校正)可知:沉积成矿期平均温度为 188℃, 变质热液改造期的温度较高, 石英—硫化物阶段石英包裹体的平均温度为

313℃, 方解石—硫化物阶段方解石包裹体平均温度为 188℃, 与爆裂法测温结果大致相当。该矿床应属于中低温热液成矿类型。

表 1 包裹体均一法测温结果表

成矿期次		测定矿物	温度 (°C)			
			范围	数据	平均值	总平均值
沉积 (成岩) 期	铜银矿段 (61 勘探线以东)	重晶石	155~245	26	196	188
	铅银矿段 (61 勘探线以西)	重晶石	145~200	16	174	
变质热液改造期	石英硫化物阶段	石英	275~340	11	313	
	方解石—硫化物阶段	方解石	175~205	3	188	

表 2 爆裂法测温结果表

成矿期次	测定矿物	温度 (°C)	
		范围	平均值
沉积成岩期	菱铁矿	160~200	180
	方铅矿	210~230	220
	重晶石	210~240	230
变质热液改造期石英—硫化物阶段	方铅矿	220~320	275
	闪锌矿	315	315
变质热液改造期方解石—硫化物阶段	黄铁矿	170~300	235

(2) 成矿压力 成矿压力的估算主要采用了方铅矿、闪锌矿、黄铁矿和磁黄铁矿的共生关系。斯科特(Scott, S. D, 1973)的实验研究表明, 和磁黄铁矿、黄铁矿平衡共生的闪锌矿是良好的地质压力计, 并提出在温度不超过 710℃、压力小于 5kbar 时, 闪锌矿中 FeS 的含量随压力增大而降低, 并随从下列关系式:

$$P = 42.30 - 32.10 \log X_{\text{FeS}} \quad (1)$$

P 为矿物形成时的压力, X_{FeS} 为闪锌矿中 FeS 的摩尔百分数。又据斯金纳(Skinner)的实验研究, 生成闪锌矿中铁的含量会影响其晶胞参数, 并给出下列关系式:

$$a_0 = 5.4093 + 0.000456 X_{\text{FeS}} \quad (2)$$

陈德兴(1985)对银洞子银铅矿中沉积成岩期的闪锌矿作了 X 射线粉晶分析, 测得晶胞参数为 5.4178 Å。运用上述 (1)、(2) 方程式, 求出了闪锌矿的形成压力为 1.32kbar。若按岩层产生的压力为 1kbar / 4km 来计算, 则 1.32kbar 相当于 5280m 的岩层所产生的静压力。这与该地区矿体层位

上覆地层厚度 5437m (据冶金 714 队) 相当。因此, 可以认为沉积成岩期的成矿压力主要是由上覆地层所产生, 金属矿物的生成主要是在成岩阶段。

(3) 成矿溶液的 pH、Eh 值 含矿岩系底部有一层含炭质绢云母千枚岩, 据陕西区调队 1980 年的分析测试, 千枚岩 pH 值在 7.1~8.5 之间, 条带状菱铁矿的 pH 值为 8。因此含矿岩系为中性到弱碱性环境。同时对矿石的主要矿物重晶石、黄铁矿进行测定, 重晶石沉淀环境的 pH 值为 6.2~6.8, 黄铁矿沉淀的 pH 值范围较宽, 为 5.65~6.70。因此成矿的介质条件主要是弱酸性。

矿体顶底板岩石中有机质含量较高, $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+} > 1$, 反映了一定的还原条件的特征, 同时对磁铁矿和菱铁矿形成的氧化—还原电位进行分析, 氧化还原电位为 $\text{Eh} < -0.1\text{V}$ 、 $\text{Eh} < -0.2\text{V}$, 都表现出一定的弱还原特征。从成矿的演化历史来看, 重晶石形成较早, 黄铁矿形成较晚, 说明成矿介质是向着还原性增强的方向演化。据周乐尧(1986)的计算结果, 主矿体形成环境的氧化—还原电位为 $-0.40 \sim -0.17\text{V}$, 与上述分析结果是一致的。

成矿实验模拟

矿床中见到的方铅矿、闪锌矿不可能直接从海水沉淀出来, 而是经历了一个活化转移到再沉淀的过程。

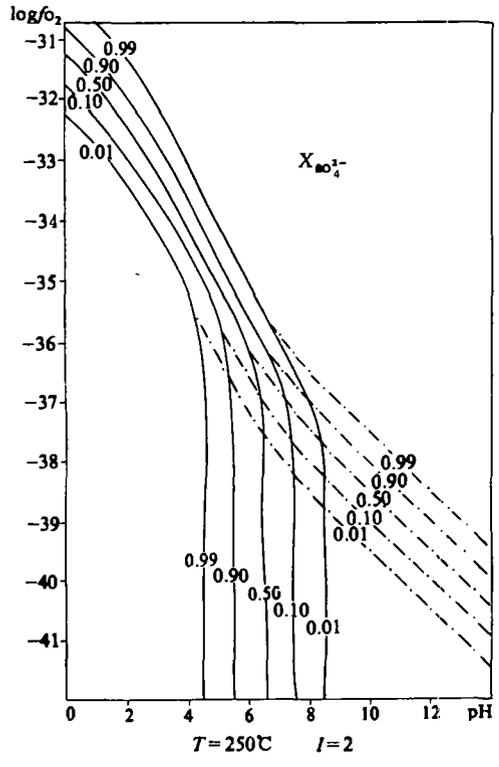
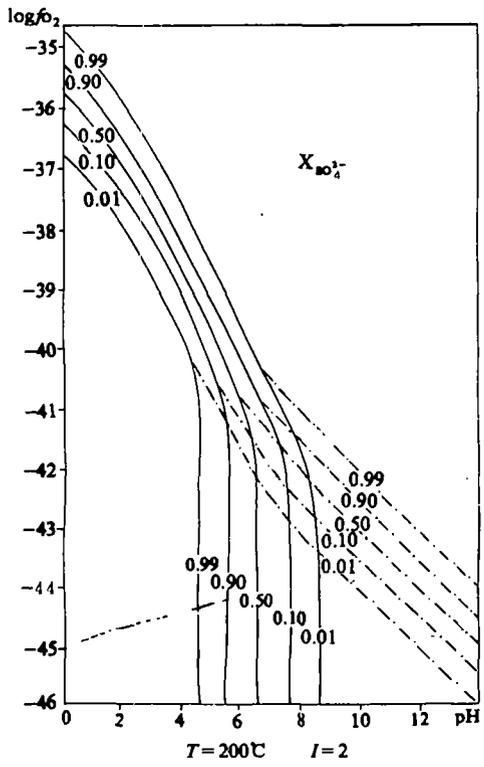
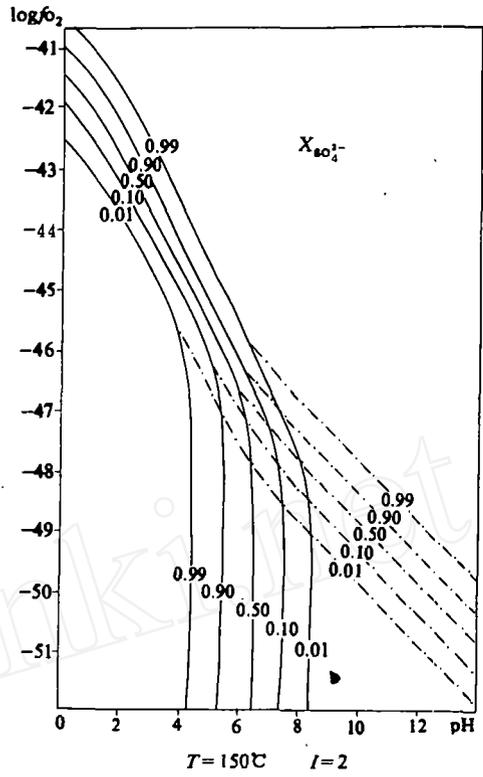
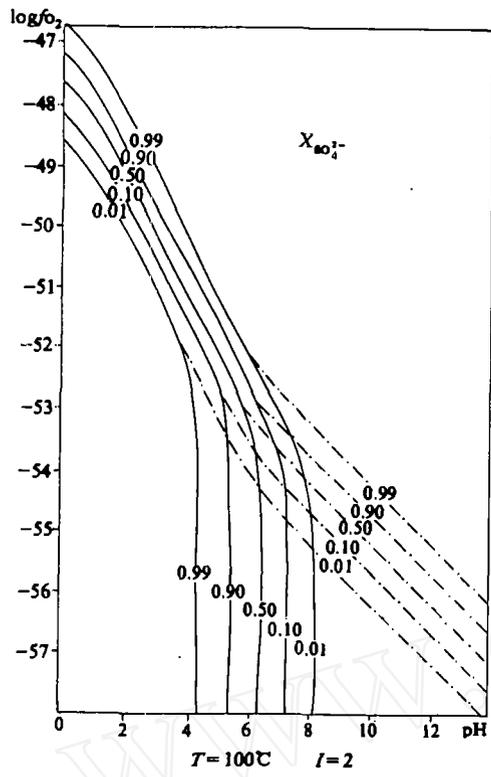


图 6 $\log f_{O_2}$ -pH 图解

以 Hemley 等为代表, 他们根据方铅矿、闪锌矿在氯化物溶液中, 较高温下 (300~600℃) 具有较高溶解度的实验结果, 得出了成矿溶液是属于弱酸性的结论, 并结合矿物包裹体成分测定资料得到了说明。同时, Helgeson, H.C. 的热力学计算结果也支持了这一结论。卢家烂研究方铅矿在不同 pH 值和 NaCl 溶液中的溶解度及方铅矿、闪锌矿在不同盐度溶液中溶解度实验结果也表明, 酸性溶液有利于方铅矿的溶解 (pH=2 时溶解度为 $360 \times 10^{-6} \text{Pb}$), 随着 pH 值升高, 溶解度迅速下降, 直至 pH=7~8 时达到最小值 ($< 1.4 \times 10^{-6}$), 说明酸性溶液有利于方铅矿、闪锌矿迁移富集。

同时对矿物包裹体的含盐度进行了测定, 其结果为 14wt% (NaCl), 这说明成矿溶液的盐度高于海水的含盐度 (3.57wt%), 接近于密西西比河谷型铅锌矿床成矿溶液的含盐度 (17wt%~20wt%)。在矿物包裹体中还可见到 NaCl 的立方体籽晶。因此, 可以认为运载成矿元素的溶液是一种具有较高盐度的呈弱酸性的热卤水。这种热卤水在运移过程中使含矿岩系中的铅锌等成矿元素发生活化转移, 并相对富集。

凌文黎 (1986) 对该矿床中的 f_{O_2} , pH, $X_{\text{H}_2\text{S}}$, $X_{\text{SO}_4^{2-}}$ 与温度 (T) 和离子度 (I) 作了综合模拟试验 (图 6)。图中 $X_{\text{H}_2\text{S}}$, $X_{\text{SO}_4^{2-}}$ 分别

代表溶液中 H_2S , SO_4^{2-} 摩尔数。在 $I=2$, T 为 100℃、150℃、200℃、250℃ 时, 由 $\log f_{\text{O}_2}$ -pH 图解可知, 物理化学参数 T , pH, f_{O_2} , I 对 $X_{\text{H}_2\text{S}}$ 和 $X_{\text{SO}_4^{2-}}$ 的影响特点, 温度是最重要的因素。在其他条件不变的情况下, 温度升高, 有利于 $X_{\text{H}_2\text{S}}$ 增大, 体系中 pH 值和氧逸度 (f_{O_2}) 较低。在温度不变、溶液 pH 值较高的情况下, 有 HS^- , S^{2-} 出现。然而温度升高将扩大矿物的稳定场, 矿物稳定场在很大的 pH 值范围内不受影响。当体系温度、盐度和氧逸度保持不变时, 相对碳酸盐矿物沉淀的 pH 值条件, 硫化物矿物可在较强的酸性条件下形成, 特别是方铅矿。体系中盐度对矿物稳定场有一定的影响, 而方铅矿受盐度影响较大, 溶液盐度升高有利于方铅矿溶解和运移。

总之, 成矿元素活化转移到再沉淀的成矿过程是: 偏酸性、较高盐度、中等温度的运矿流体, 在其运移过程中使火山气液中的铅等成矿元素活化转移, 在碎屑岩和碳酸岩的过渡区、偏碱性的还原环境下, 使成矿元素发生再沉淀成矿。

成矿模式

成矿模式是基于大地构造、古地理环境、成矿物质来源及成矿演化诸因素而提出的。

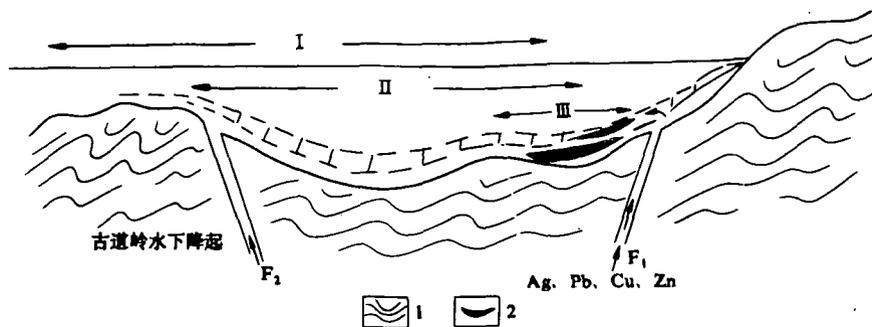
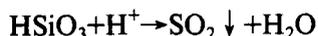


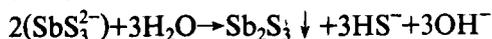
图 7 柞水银铜子银铅矿成矿模式

F_1 —商南—礼县断裂; F_2 —山阳—礼县断裂; I、II、III—I、II、III 级构造盆地; 1—基底岩系; 2—矿体

(下转第 27 页)



当温度继续下降到 400℃ 以下时, H₂S 不断溶解于溶液中, 随着温度不断下降, 溶液中硫离子浓度加大, 据热力学分析 (张本仁, 1981), 辉锑矿在 pH=4.5 时相继开始沉淀, 其反应式是:



这一沉淀过程中, 随介质条件不断的改变, 矿质不断的补充, 在各种有利的岩溶形迹中赋存富集形成本区超大型锑矿床。

5. 成矿模式

综上所述, 锡矿山超大型锑矿床形成的模式见图 6。

本文, 1986、1987 级部分本科生和研究生参加了部分野外调研工作, 岩石和单矿物中的微量元素及包体成分由我校测试中心测定; 硫、碳和氧同位素由桂林矿产地质研究院测定, 均一法测温由湖南矿产局测试研究中心完成。野外工作得到了锡矿山矿务局大力支持, 在此谨致谢意。

参考文献

- [1] 陈国达, 成矿构造研究法, 地质出版社, 1978 年。
- [2] 文国璋、吴强, 地质与勘探, 1972, 第 9 期。
- [3] 任美镔, 岩溶概论, 商务印书馆, 1984 年。
- [4] 庄锦良, 锡矿山锑矿地质特征及成因探讨, 湖南地质, 1978。

Preliminary Study on Ore Controlling Regularities and Metallogenic Mechanism of Super Large-sized Sb-deposits in Xikuangshan

Wen Guozhang, Wu Qiang, Liu Hanyuan, Xie Guozhu, Lei Xiuli

The geological features and ore controlling regularities of super large-sized Sb-deposits in Xikuangshan have been expounded in this paper. Karst and tecto-Karst are the important composite ore controlling factors to form the Sb-deposits. The metallogenic process has been demonstrated and it is also shown that these deposits are typical of the geodepression-type strata-bound ancient Karst epithermal deposits.

(上接第 19 页)

矿床受同沉积期构造运动形成的秦岭海槽中二级构造盆地(柞水凹陷)的控制, 产出于二级构造盆地中因差异升降形成的三级构造盆地, 同时在分布上受近东西向的商南—漳县断裂、山阳—礼县断裂的控制。碎屑岩相和碳酸盐相的过渡域是矿体赋存的有利部位。成矿元素沿矿床附近的大断裂或与大断裂伴生的次级断裂以火山气液形式向上运移, 同海水混合后在高盐度弱酸性的成矿流

体是以络合物的形式运移, 在半封闭的海水相对稳定的三级构造盆地中, 由于成矿物化条件发生变化, 盐度逐渐降低, 酸度逐渐由中性向弱碱性过渡, 成矿元素由原来的络合物形式分解成离子状态, 同时与海水中的硫或硫酸盐化合生成硫化物, 并沉淀成矿(图 7)。

主要参考文献

- [1] 拉奇.D.E. (戴自希译): 《国外地质科技》, 1982, 第 1 期。

The Dynamic Analysis of Metallogeny of Zhashui Ag-Pb Polymetallic Deposit, Shanxi

Wei Junhao Wang Siyuan

The paper summarized firstly the geological features of ore deposit and metallogenic background. It put an emphasis on the dynamic analysis of metallogeny from three parts including volcanic dynamics, physical-chemical condition of ore formation and experimental simulation of ore formation. Finally, the metallogenic model is set up in this paper.