

云南会泽铅锌矿床构造成矿作用探讨

文美兰<sup>1</sup>, 魏宽义<sup>2</sup>, 李元<sup>1</sup>

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 会泽铅锌矿床成矿作用受构造控制明显, 主要与压扭性断裂作用有关。H、O、C、S、Pb 同位素和包裹体资料、断裂构造地球化学和矿床地球化学分析表明, 矿床形成于持续开放体系条件, 并且持续开放体系下的(断裂)构造作用控制了矿床成矿元素的活化迁移与含矿流体的形成、流体的迁移汇聚及矿液的沉淀与矿床的定位。持续开放体系下的构造(断裂)作用对矿床的形成起了决定性作用。

[关键词] 持续开放体系; 构造成矿作用; 会泽铅锌矿床

[中图分类号] P611.1; P542<sup>+</sup>.3 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)01-0021-03

[作者简介] 文美兰(1974—), 女, 广西桂林人, 硕士研究生, 现从事构造地球化学研究工作。

构造成矿作用已引起广大地质工作者的重视, 形成了“构造成矿”这一新概念<sup>[1~2]</sup>, 而对构造成矿过程进行动力学研究目前仍处于一个比较薄弱的领域。成矿系统实际上是开放的和非平衡的非线性复杂系统, 成矿过程是各种转变过程(如矿物的沉淀或溶解反应)和输运过程(如流体流动和扩散引起的质量迁移、能量输运、动量传递等)的耦合<sup>[3]</sup>。构造活动特别是断裂作用导致了各地质体相对封闭环境的破坏, 沟通了不同圈层和岩石, 加速了流体活动和物质、能量的迁移。可见构造成矿系统是典型的开放系统, 对开放体系下的构造成矿动力学进行研究具有重要的理论意义和实践价值。

1 区域地质与矿床地质概况

云南会泽铅锌矿床位于扬子准地台西南缘的滇东北拗陷盆地中, 处于小江深断裂带和昭通曲靖隐伏深断裂带NE向, SN向, NW向和EW向构造带的构造复合部位。区域上经历了长期继承性的发展演化, 构成了基底和盖层的“两层式”演化模式。区内分布矿山厂、麒麟厂、大水井及银厂坡铅锌矿床, 地层主要发育有上震旦统灯影组、下寒武统筇竹市组、中上泥盆统、石炭系、二叠系。下石炭统摆佐组白云岩是矿区最主要的赋矿地层(图1)。

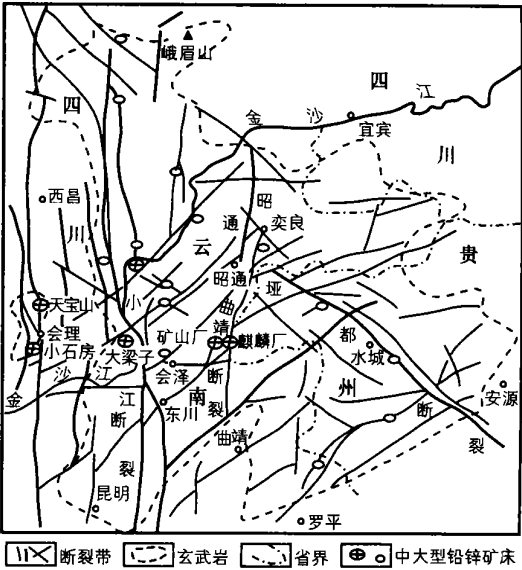


图1 滇川黔铅锌成矿区构造与铅锌矿床分布  
Fig.1 Simplified map of regional tectonics and the distribution of lead-zinc deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou lead-zinc ore forming area

矿区内构造主要为断裂和褶皱构造, 而背斜构造是由于逆冲推覆断裂引起的牵引构造<sup>[4]</sup>, 即所谓“先断后褶”。矿石类型由浅到深为氧化矿、硫化矿和氧化矿的混合矿、硫化矿。由此可见, 该矿床可能是一个持续开放体系。矿山厂、麒麟厂和银厂坡3条NE向的压扭性断裂是矿床重要的控矿断裂, 并有近乎垂直于NE向断裂的NW向断裂伴生, 这些断裂具有多期活动的特点, 与成矿密切相关。NE向断裂

还有牛栏江断裂, 表现为 NE 向重力梯度带及线型正异常带, 是基性侵入体和玄武岩喷发的通道。

矿床成矿作用可以划分为: 沉积成岩成矿期和热液叠加改造成矿期及表生期, 成矿温度为中偏低温, 为  $142\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 245\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 2 构造成矿特征

### 2.1 构造控矿规律

构造成矿作用首先表现在构造对矿体产出空间的控制。麒麟厂铅锌矿床的产出受构造控制明显, 主要表现在以下几个断裂构造控矿规律<sup>[3]</sup>上:

(1) 小江断裂带和曲靖—昭通隐伏断裂带的左行走滑控制了滇川黔铅锌成矿区的左列式铅锌成矿矿带的分布。

(2) 矿体分布于摆佐组粗晶白云岩中的左列式压扭性层间破碎带中。这一规律回答了为什么主矿体主要赋存于摆佐组中上部的原因。

(3) 在平面上, 矿体呈左行雁列式分布于 NE 向层间破碎带中; 在剖面上, 主矿体受构造的严格控制, 显示出主矿体向 SW 侧伏的特点。

(4) NE 向构造带是会泽铅锌矿最主要的控矿体系。

(5) 矿床、矿体大致呈现等间距分布的特点, 表现强弱构造矿化带的分带规律。

(6) 小江断裂为深部流体上升的主要通道, 麒麟厂、矿山厂断裂是矿床主要的导矿构造; 派生的 NE 向压扭性断裂为矿床的主要容矿构造, NW 向断裂主要表现为配矿构造; NE 向、NW 向断裂组合成应力释放中心。

由以上构造控矿规律可知, 小江断裂带和曲靖—昭通隐伏断裂带为形成深源成矿流体提供了有利的成矿地质背景, 麒麟厂、矿山厂压扭性断裂为含矿流体的贯入提供了通道, 下石炭统摆佐组中 NE 向层间压扭性断裂为矿质提供了储存空间, 并直接控制了矿体的形成和分布。

### 2.2 成矿系统的开放性

会泽铅锌矿床构造成矿系统的持续开放性可从以下几个主要方面表现出来:

(1) C, H, O 同位素分析结果表明, 会泽铅锌成矿期成矿流体的  $\delta\text{D} = (-43.5 \sim -75) \times 10^{-3}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = (3.84 \sim 8.04) \times 10^{-3}$ , 反映出成矿流体的组成。结合矿区成矿地质条件, 成矿流体具有以岩浆水为主, 部分深部基底循环水和海水混合组成的

特征。方解石流体包裹体的  $\delta^{13}\text{C} = (-3.31 \sim -1.2) \times 10^{-3}$  之间, 与氧同位素组成呈线性关系。尽管与白云岩碳氧同位素组成范围不同, 但是反映碳的多来源。成矿流体热液的多来源表明成矿体系属于开放体系。

(2) 硫同位素分析结果表明, 会泽铅锌成矿期热液硫的  $\delta^{34}\text{S}$  主要在  $(4.30 \sim 15.75) \times 10^{-3}$  之间, 变化区间  $> 10 \times 10^{-3}$ , 峰值为  $13 \times 10^{-3}$  左右, 即硫的来源主要为萃取地层中的含膏盐层, 还有一小部分可能来自岩浆热液。这表明成矿体系对硫是开放的, 并且大部分硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  的富集顺序为: 黄铁矿  $>$  闪锌矿  $>$  方铅矿, 属正常序列<sup>[6]</sup>。

(3) 铅同位素组成为:  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  在  $18.339 \sim 18.496$ ;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  分布  $15.663 \sim 15.855$  之间;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为  $38.729 \sim 39.001$ 。在铅构造图上的大部分投影点落在上地壳与造山带之间的演化线附近。上述特征表明成矿流体很可能是深源和壳源混合作用的结果, 成矿物质的多源性也反映出成矿体系的开放特征。

(4) 从矿床构造地球化学、断裂构造岩和脉石矿物微量元素地球化学研究<sup>[7~9]</sup>可以看出, 断裂带是一个明显的复杂开放体系。

(5) 由前人<sup>[5, 7, 12]</sup>研究和包裹体资料可以得出, 成矿体系存在着温度、压力梯度, 不同方向和部位的构造应力强度存在差异, 很可能是由于成矿体系的热量与动量部分地传递给了围岩, 从而导致体系中出现一个熵增长梯度, 成矿作用在这一梯度场中表现为形成的矿床具有分带性<sup>[9]</sup>。

(6) 成矿体系存在浓度梯度, 成矿元素浓度在时间上和空间都有变化。於崇文等认为<sup>[10]</sup>, 对于典型的岩浆期后热液矿床, 成矿物质来源于岩浆, 下部组分浓度相对较高, 存在着垂向的组分梯度。因此可以认为对于成矿流体主要来自深部的会泽铅锌矿床, 成矿流体沿断裂上升时, 由于岩浆热液的作用, 下部成矿流体的组分相对较高, 表现为主矿体从底板到顶板矿物组合的分带现象和矿体从浅部到深部变厚变富的趋势<sup>[7]</sup>。造成这种变化的原因是非平衡体系内的各种不可逆过程和体系的开放性。

## 3 构造成矿作用与矿液形成、运移和沉淀

### 3.1 矿液的形成

晚古生代以来, 强烈的构造活动所形成的开放

体系,由于深部热源的作用,导致岩浆水和部分不断循环下渗被加热的同期海水沿断裂上升同时萃取地层中的矿质,形成矿液。

断裂构造地球化学<sup>[11]</sup>研究表明,Pb、Zn、Ag等主要成矿元素在压扭性断裂作用下,容易发生活体迁移,并向断裂带特别是断裂产状变化处和断裂交叉部位聚集。断裂作用中成矿流体组分(H<sub>2</sub>O、S、Cu、Pb、Zn、Ag、CO<sub>2</sub>等)呈离子、分子、原子等状态沿着固体介质(矿物晶格)或流体介质从围岩向断裂带的扩张空间扩散,当矿物晶格受到剪切时,扩散速度可大大提高。会泽铅锌矿床成矿期的压扭性断裂作用及开放体系的形成导致了该区围岩中成矿元素的活化迁移和含矿流体的形成。

断裂作用形成的开放环境导致了成矿热液水的深循环加热,并且挤压与增温使硫化物、卤化物分解析出H<sub>2</sub>S、HCl等,形成热卤水而不断萃取围岩中的成矿元素形成卤化物和硫络合物进行迁移。因此,开放体系下的构造(特别是断裂)作用对矿液的形成起了决定性作用。

### 3.2 成矿热液的运移

根据破裂介质中矿液运移势方程<sup>[3]</sup>

$$\operatorname{div}(K \cdot \nabla H) = a \cdot \partial(H) / \partial \alpha, \quad (1)$$

式中: $K$ 为介质流通系数; $a$ 为介质压缩系数; $H$ 和 $a$ 与应力场有关; $K$ 是岩石变形强度的函数,在动态应力场中, $K$ 值由下式给出

$$K = K_0 \cdot [a \cdot \exp(\sigma - \sigma_0)], \quad (2)$$

$K_0$ 可由样品直接测出, $\sigma - \sigma_0$ 为应力差。

对于裂隙(断裂)介质边界有

$$v_i = -\frac{K}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{K_0 \cdot a}{\mu} \exp(\sigma - \sigma_0) \cdot \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (3)$$

式中: $\mu$ 为矿液粘度; $p$ 为矿液内压力; $v_i$ 为矿液流速。

式(3)表明,在构造应力驱动下,沿持续开放的断裂带将有持续的热液流动。会泽铅锌矿床构造(断裂)作用驱动流体运移主要模式为断层阀模式:早期断裂在后期流体压力超过静岩压力时活化,活化的断裂导致剪应力释放,正应力减少,高压流体急剧排入断裂带及断裂带附近的扩张空间,由于流体压力降低导致矿物沉淀成矿,这可能是会泽铅锌矿床成矿期的主要模式,其中麒麟厂、矿山厂断裂很可能充当了断层阀作用。

### 3.3 成矿热液的沉淀与矿床定位

引起含矿热液沉淀为矿石的主要原因,是热液

物理化学条件(如温度、压力、pH、Eh、组分逸度和活度等)的变化,导致成矿元素的络合物分解和溶解度降低而发生沉淀反应<sup>[10]</sup>。在持续开放体系中,由于与外部系统不断发生物质交换,如围岩蚀变作用就是一种明显的物质交换过程,必将导致热液体系平衡条件的破坏,从而引起物理化学条件的变化和沉淀反应的发生。

含矿流体从流体源运移到开放体系的构造扩张空间,显然有一个较大的压力降低,它可引起流体相的分离和矿液物理化学条件的改变,从而导致金属矿物的沉淀:①压力降低,溶液的氧化还原电位会发生明显变化,使高氧化态 $S^{+6}$ 、 $S^{+4}$ 还原成 $S^{-2}$ ,从而使溶液 $a_{S^{-2}}$ 显著增高,导致Pb、Zn、Ag、Fe等元素呈硫化物沉淀;②压力降低可使溶液pH值升高,影响成矿溶液pH值的反应主要是对 $H^+$ 的缔合和离解反应,压力的变化会影响成矿溶液中缔合、离解反应的平衡常数,也会影响pH值

$$\Delta Z_i = \Delta Z_i^0 + \int_{p_1}^{p_2} \Delta V^0 dp = \Delta Z_i^0 + \Delta V^0 (p_2 - p_1), \quad (4)$$

式中: $\Delta V^0$ 为负值,显然压力降低时, $\Delta Z_i$ 增大,pH值也将增高。热液中Pb、Zn、Ag、Fe等元素随pH值增高,络合物分解,溶解度显著降低,从而引起矿物沉淀。

构造破碎带或扩张空间的孔隙度明显高于其围岩,是高孔隙度扰动区;同时构造通过的岩性主要为碳酸盐岩和砂页岩,其中碳酸盐岩是一种有易溶矿物组成的岩石,因而也是有利的化学扰动区。上述持续开放体系的构造作用和岩性的耦合引起了成矿体系的不均匀性和非线性扰动,从而导致成矿流体的大量汇聚和矿床的定位。

## 4 结论

会泽铅锌矿床可能是一个持续开放的和非平衡的非线性复杂系统体系,成矿过程是矿物的沉淀或溶解反应和流体流动以及扩散引起的质量迁移、能量输运、动量传递等的耦合,断裂作用导致了该矿床相对封闭环境的破坏,沟通了不同圈层和岩石,加速了流体活动和物质、能量的迁移,从而导致成矿流体在有利部位的大量会聚和矿床的定位。

(下转第60页)

density and velocity than gneisses; plagioclase amphibolites vary in velocities and densities in a large range between eclogite and gneisses because they are retrograded from the eclogite and their lithology and physical properties vary synchronously with the degree of retrogressive metamorphism; and velocity and density of ultramafic rock are lowered apparently due to fractures in it. Since large impedance contrasts exist between eclogite and other rocks, it is effective that the VSP profiles are used to calibrate geological horizons of seismic reflections. With regard to the origin of seismic reflections, compositional contrasts, ductile shear zones and fractures are considered as the main cause on the basis of integrated study of the features of seismic waves (including PP reflections, PS converted reflections and tubewaves), distribution of velocities and densities and the caliper conditions, but some other elements involved need to be studied in detail.

**Key words:** CCSD; zero-offset VSP observation; seismic velocity; horizon calibrating; cause of seismic reflections

(英文审定:李庆春)

(上接第 23 页)

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 陈国达. 成矿构造研究法[ M ]. 北京: 地质出版社, 1978.

[ 2 ] 陈国达. 历史—因果论大地构造学谘议[ J ]. 大地构造与成矿学, 1992, 16(1): 1~71

[ 3 ] 刘顺生, 谭凯旋. 开放体系成矿动力学[ M ]. 北京: 地震出版社, 1996.

[ 4 ] 刘淑文, 魏宽义, 许拉平. 云南会泽铅锌矿田控矿构造体系及成矿预测[ J ]. 西北地质, 2002, 35(2): 84~89.

[ 5 ] 韩润生, 陈进, 李元, 等. 云南会泽铅锌矿床构造控矿规律及其隐伏矿预测[ J ]. 矿物学报, 2001, 21(2): 265~269.

[ 6 ] [ 苏] B A. 格里年科, И. H. 格里年科. 硫同位素地球化学[ M ]. 北京: 科学出版社, 1989.

[ 7 ] 韩润生, 刘丛强, 黄智龙, 等. 云南会泽铅锌矿床构造控矿规律及断裂构造岩稀土元素组成特征[ J ]. 矿物岩石, 2000, 2(4): 11~18.

[ 8 ] 韩润生, 陈进, 李元, 等. 云南会泽铅锌矿床构造地球化学及定位预测[ J ]. 矿物学报, 2001, 21(4): 667~673.

[ 9 ] 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 云南会泽铅锌矿床脉石矿物方解石地球化学[ J ]. 矿物学报, 2001, 21(4): 659~666.

[ 10 ] 於崇文, 岑况, 鲍征宇. 热液成矿作用动力学[ M ]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.

[ 11 ] 刘顺生, 谭凯旋. 湖南水口山矿田开放体系构造控矿动力学[ J ]. 大地构造与成矿学, 1996, 20(1): 1~9.

[ 12 ] 涂光炽. 中国层控矿床地球化学(第一卷)[ M ]. 北京: 科学出版社, 1984.

Discussion of structural geology and metallogeny of the Huize Pb-Zn deposit, Yunnan province, China

WEN Mei-lan<sup>1</sup>, WEI Kuan-yi<sup>2</sup>, LI Yuan<sup>1</sup>

(1. School of Resources management Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;  
2. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Structural geology, mainly related to compression-shear faulting, was supposed to have been the major control over the regional metallogenesis of the Huize Pb-Zn deposit. The continual open system under which the deposit formed was well recognized in the light of studies of Pb and stable isotopes (H, O, C and S), fracturing and Pb-Zn mineralizing geochemistry. In essence, the fault system developed under the continual open system was the key to the activation and transportation of ore-forming elements, the formation and advection of ore fluids, and the emplacement of ore bodies. It is thus a crucial geological process for the formation of the Huize Pb-Zn deposit.

**Key words:** tectonic ore-forming process; continual open system; the Huize Pb-Zn deposit

(英文审定:周军)