

# 会泽铅锌矿床的成矿流体来源： 来自水-岩反应的证据

张振亮<sup>1,2</sup>, 黄智龙<sup>1</sup>, 饶冰<sup>3</sup>, 管涛<sup>1,2</sup>, 严再飞<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所, 矿床地球化学开放实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院北京研究生院, 北京 100039; 3. 南京大学地球科学系, 内生金属成矿机制研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

**摘要:**系统地研究了脉石矿物方解石中流体包裹体特征及矿床的水-岩反应条件。研究表明, 该矿床的形成与中低温热液与中高温热液的混合有关; 成矿流体的 H、O 同位素组成在不同矿体中没有明显的差别, 流体形成前曾存在流体的均一化作用; 成矿流体的形成是地层循环水与变质水、岩浆水在流体储库中充分混合的结果。因此, 成矿流体具有多源性。

**关键词:**成矿流体; 流体包裹体; 氢氧同位素; 流体混合作用; 会泽铅锌矿床

**中图分类号:** P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5888(2005)05-0587-06

## The Sources of Ore-Forming Fluid in the Huize Lead-Zinc Ore Deposits: Evidences for Water-Rock Reaction

ZHANG Zhen-liang<sup>1,2</sup>, HUANG Zhi-long<sup>1</sup>, RAO Bing<sup>3</sup>, GUAN Tao<sup>1,2</sup>, YAN Zai-fei<sup>1,2</sup>

(1. *Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*; 2. *Postgraduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*; 3. *Department of Earth Sciences, State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Nanjing University, Nanjing 210093, China*)

**Abstract:** The characters of fluid inclusions in calcite and water-rock reaction of the ore deposits was systematical studied. It is suggested that the ore deposit under study was relative to the mixing of the low-temperature and high-temperature hydrothermal solutions.  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  values of ore-forming fluid of different ore bodies are unanimous, thus indicating that fluid homogenisation once happened before the formation of ore-forming fluid. The ore-forming fluid in fluid reservoir is of multiple derivation of the mixed circular waters in the strata, metamorphic fluids and magmatic waters.

**Key words:** ore-forming fluid; fluid inclusion; H and O isotopes; fluid fixing; Huize lead-zinc ore deposits

对云南会泽铅锌矿床成矿流体来源的探讨, 最早始于 20 世纪 80 年代。许多学者<sup>[1~5]</sup>先后对会泽铅锌矿床的脉石矿物方解石进行过大量的稀土元素配分及少量的氧同位素研究, 有的还开展了系统的硫同位素研究<sup>[6]</sup>。但由于不同学者所获得的结论存在较大的差异, 目前关于该矿床的成矿流体来源还存在较大的分歧。本文从成矿流体的氢氧同位素组成特征出发, 结合流体包裹体研究, 通过详细的水-岩反应模拟计算, 系统地讨论了该矿床的成矿流体来源, 指出成矿流体的形成是地层循环水与变质水、

收稿日期: 2004-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372048); 云南省省院省校科技合作项目(2000YK-04)

作者简介: 张振亮(1974-), 男, 江西丰城人, 博士研究生, 主要从事矿床地球化学研究, E-mail: liangzhen\_74@163.com。

岩浆水在流体储库中充分混合的结果,成矿流体具有多源性。

## 1 流体包裹体特征

有关会泽铅锌矿床的地质特征,韩润生等<sup>[7,8]</sup>、黄智龙等<sup>[9]</sup>和 Zhou 等<sup>[2]</sup>已经进行过详细描述,这里不再赘述。

会泽铅锌矿床流体包裹体类型较为简单,以纯液相、气液两相包裹体为主。在成矿流体中,阳离子以  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  为主,且  $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{K}^+$  在闪锌矿的包裹体中大致相当,在方解石包裹体中  $\text{Ca}^{2+}$  大于  $\text{K}^+$ ; 而阴离子则以  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  为主,  $\text{Cl}^- > \text{F}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ; 气相成分主要为  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$ ;  $w(\text{NaCl})$  4.3%~15.8% (平均 6.2%), 压力  $(50\sim 600)\times 10^5 \text{ Pa}$ 。因此,成矿流体为  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$  型流体。

而对于其均一温度来说,存在较大的变化(图 1),其变化范围为  $110\sim 315^\circ\text{C}$ ,与韩润生等<sup>[7]</sup>的研究结果基本一致。从包裹体均一温度的分布图上可以看出,会泽铅锌矿床矿物包裹体的形成存在两个高峰期(即双峰结构):第一个高峰期,包裹体均一温度变化于  $110\sim 250^\circ\text{C}$ ,并主要集中于  $180\sim 220^\circ\text{C}$ ;第二个高峰期,包裹体均一温度变化于  $250\sim 400^\circ\text{C}$ ,并主要集中于  $280\sim 320^\circ\text{C}$ 。这种现象的产生可能有两种原因:一为在矿物形成的过程中, $100\sim 250^\circ\text{C}$  左右的中低温热液与  $300^\circ\text{C}$  以上的中高温热液相混合;另一种原因为温度大于  $300^\circ\text{C}$  的中高温热液在上升的过程中,与下渗的大气降水相遇,发生流体的混合作用而导致。从作者的计算结果来看(计算过程略),由于距离遥远(玄武岩与会泽矿床最近的距离为 9 km),峨眉山玄武岩的喷发作用难以使会泽铅锌矿床周围的地层水加热至  $300^\circ\text{C}$  以上,而地热增温最多只能使温度升高  $80\sim 100^\circ\text{C}$ 。因此,会泽铅锌矿区成矿热液的形成只可能与中低温热液和高温热液的混合有关。而高温热液也有两种可能的来源:一种为高温岩浆水沿玄武岩浆喷发过程中产生的裂隙或构造裂隙上升而产生;另一种来源为高温的岩浆水与基底变质水相混合,然后沿裂隙上升而形成。具体哪一种假设成立,有待于同位素的验证。

## 2 氢氧同位素组成

氢同位素组成分析方法如下:首先将挑好的方

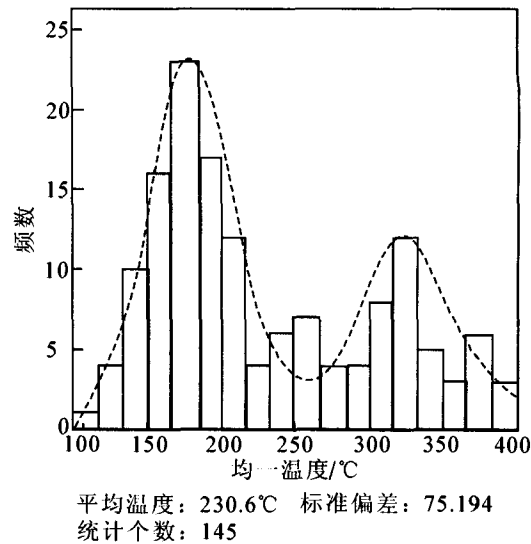


图 1 会泽铅锌矿床矿物流体包裹体均一温度分布  
Fig. 1 Homogenization temperatures of fluid inclusions within calcite and dolomite in Huize lead-zinc ore deposits

解石样品通过低温( $100\sim 120^\circ\text{C}$ )烘烤,去除矿物中吸附水和次生流体包裹体;根据方解石流体包裹体测温结果,在  $300\sim 350^\circ\text{C}$  条件下采用爆裂法打开流体包裹体,为避免发生化学反应,通入  $\text{N}_2$  气流保护,利用锌将流体包裹体中的  $\text{H}_2\text{O}$  还原成  $\text{H}_2$ ;最后在质谱仪(型号为 MAT 251 EM)上测定 H 同位素组成。测试结果投影于  $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  图上(图 2)。可以看出,不同矿体中赋存的流体的 H、O 同位素组成并无明显差别,说明在成矿前流体曾经有过均一化作用;大部分样品集中于岩浆水区域的狭小范围内,该范围同时也在变质水区域内。柳贺昌、林文达<sup>[1]</sup>、韩润生等<sup>[7]</sup>都曾获得同样的结果。

但是,并不能就此认为矿床成矿流体主要来源于岩浆水,理由如下:

(1)按照岩浆热液成矿理论,岩浆结晶不可能产生富钙的热液,而是产生富钾和钠、贫钙热液,这与会泽铅锌矿的流体包裹体富钙不符。

(2)岩浆水来源的流体一般含有较高的盐度,而据目前所研究的包裹体特征来看,会泽铅锌矿床成矿流体为中低盐度,与那些以岩浆水为主要来源的高盐度流体显然不同。

(3)研究证实,在会泽铅锌矿床周围较大范围内各时代地层中存在着成矿元素的地球化学降低场

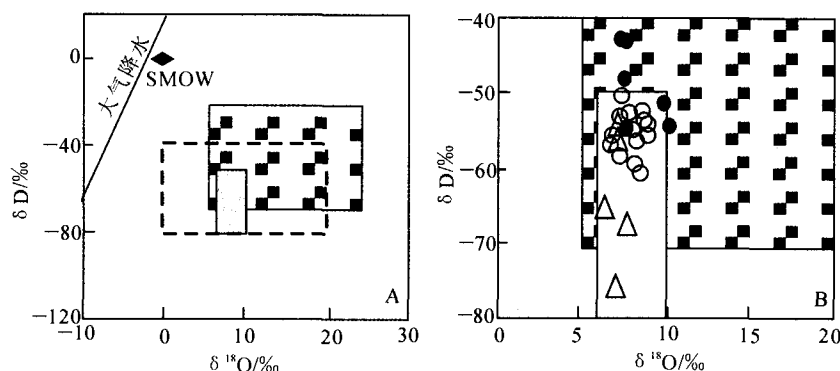
图 2 会泽超大型铅锌矿床  $\delta D - \delta^{18}O_{H_2O}$  图Fig. 2  $\delta D - \delta^{18}O_{H_2O}$  diagram of Huize lead-zinc ore deposits

图 B 为图 A 中的点线区:○本次分析资料,●据韩润生等<sup>[7]</sup>,△据柳贺昌和林文达<sup>[1]</sup>;流体包裹体计算方程为: $1000 \ln \alpha_{\text{方解石-水}} = 4.01 \times 10^6 / T^2 - 4.66 \times 10^3 / T + 1.71$ <sup>[10]</sup>,计算过程中温度(T)取本次测得方解石流体包裹体的平均均一温度值 220℃

(另文撰述),表明曾经发生过较大范围的流体运移和水-岩反应;而峨眉山玄武岩规模虽大,但其中的水绝大部分随岩浆的喷发而散逸在地表,且玄武岩并不在矿区出露,与矿区有着较大的距离(9 km),难以大规模地进入矿区地层,但并没有排除小规模地渗入。

因此,只有对成矿过程的水-岩反应有一个清晰的了解,才能正确地利用氢氧同位素数据判定流体的来源。

### 3 讨论

#### 3.1 水-岩反应初始值的确定

会泽铅锌矿床的成矿年龄为 230 Ma<sup>[11]</sup>,属早中生代。考虑到降水作用,本文取会泽地区中生代大气降水的  $\delta^{18}O_{H_2O}$  为  $-10\%$ ,而  $\delta D$  为  $-75\%$ ;岩浆水的  $\delta^{18}O_{H_2O}$  和  $\delta D$  分别为  $7\%$  和  $-70\%$ <sup>[12]</sup>;变质水的 H、O 同位素组成变化范围较宽<sup>[13]</sup>,其  $\delta^{18}O_{H_2O}$  和  $\delta D$  分别为  $5\% \sim 25\%$  和  $-40\% \sim -100\%$ ,本文取  $\delta^{18}O_{H_2O}$  和  $\delta D$  分别为  $5\%$  和  $-40\%$  的变质水以及  $\delta^{18}O_{H_2O}$  和  $\delta D$  分别为  $25\%$  和  $-100\%$  的变质水为端元进行计算。

至于白云岩,笔者利用前人<sup>[14]</sup>资料,计算了邻区银厂坡矿区白云岩(与麒麟厂仅一江之隔)的组成成分含量(计算过程略)以作本文参考。通过计算, C<sub>1</sub>b 白云岩的全岩样品  $\delta^{18}O$  平均值为  $22.93\%$ <sup>[6]</sup>,

$\delta D$  取  $-80\%$ <sup>[15]</sup>;而白云石在  $150 \sim 250^\circ\text{C}$  条件下约为  $23.4\% \sim 23.8\%$ (取平均值),与全岩基本相同。由于白云石中的氧对白云岩起着相当重要的作用,本文氧同位素组成变化采用 Y F Zheng<sup>[10]</sup> 推导的水/白云石交换反应过程中氧同位素的分馏方程:

$$1000 \ln \alpha_{\text{白云石-水}} = 4.12 \times 10^6 / T^2 - 4.62 \times 10^3 / T + 1.71 \quad (1)$$

笔者没有收集到水/白云岩交换反应过程中氢同位素的分馏方程,计算过程参考翟建平<sup>[16]</sup>提供的相关图件(即灰岩)而获得其近似的同位素分馏方程以作本次研究之用。计算温度分别为  $150^\circ\text{C}$ 、 $200^\circ\text{C}$ 、 $250^\circ\text{C}$  和  $300^\circ\text{C}$ 。

#### 3.2 计算结果及讨论

图 3 为本次工作的计算结果。从计算结果来看,大气降水和岩浆水在  $150^\circ\text{C}$ 、(W/R) 为 0.01 左右的条件下与白云岩发生反应,所获得的  $\delta^{18}O$ 、 $\delta D$  均可以达到成矿流体的要求;而对于变质水来说,只有  $\delta^{18}O_{H_2O}$  和  $\delta D$  分别为  $25\%$  和  $-100\%$  为端元的变质水与白云岩在  $150^\circ\text{C}$ 、(W/R) 为 0.005 的条件下反应,才能达到所需要的数值。

实际上,成矿流体温度并不局限于  $150^\circ\text{C}$  左右,而是在一个较大的范围内变动,其平均值( $230^\circ\text{C}$ )远高于  $150^\circ\text{C}$ ;对于在  $200^\circ\text{C}$  以上所计算获得的流体  $\delta^{18}O_{H_2O}$  和  $\delta D$  数值与实验测试值有着较大的差距,这很难用误差来解释,也是制约单一流体与围岩单

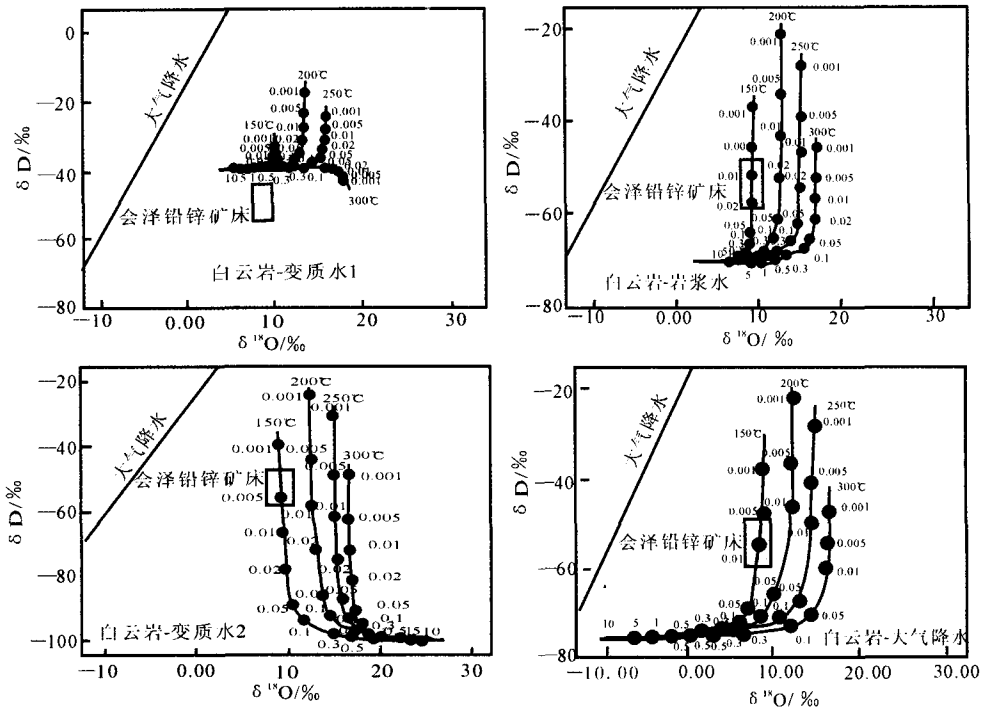


图 3 会泽铅锌矿床的水-岩反应图解

Fig. 3 Water-rock reaction of Huize lead-zinc ore deposits

独发生反应的一个因素。更何况低温的单一流体来源很难解释包裹体均一温度分布的双峰结构。另外,本区基底岩石仅为轻微变质,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 $\delta\text{D}$  值难以达到所假设的数值,因此变质水与白云岩反应,实际上并不能达到所需要的数值。而峨眉山玄武岩浆作用大约发生在 250 Ma 左右<sup>[16]</sup>,与本区矿床形成年龄相差不大。因此很难理解,喷发时的高温岩浆

水沿构造裂隙,可以在不长的时间内使温度迅速下降至 150℃,除非有大量大气降水的渗入。不难看出,纯粹的岩浆水与白云岩发生水-岩反应也难以达到成矿流体所需要的数值。

从不同时代地层的铅锌含量来看(表 1),各地层成矿元素含量还是普遍存在一个规律:矿区含量 > 区域含量 > 矿区外围含量。这充分说明,局部范

表 1 会泽地区区域、矿区、矿区外围成矿元素对比

Table 1 The contents of Pb and Zn in the strata of Huize area

$w_B/10^{-6}$

| 地 层                    | 区域 <sup>[1]</sup> |      | 会泽矿区 <sup>①</sup> |        | 会泽矿区外围 <sup>②</sup> |       |
|------------------------|-------------------|------|-------------------|--------|---------------------|-------|
|                        | Pb                | Zn   | Pb                | Zn     | Pb                  | Zn    |
| 震旦系灯影组                 | 44.8              | 20   | 64.8              | 205.5  | 3.1                 | 4.5   |
| 中下寒武统                  | 11.4              | 20.5 | 48                | 106    | 21.4                | 62.9  |
| 中泥盆统海口组                | 10.8              | 40   | 44.6              | 64.8   | 5.8                 | 12.9  |
| 上泥盆统宰格组                | 8.0               | 20   | 46.2*             | 121.7* | 3.5                 | 2.4   |
| 下石炭统大塘组                | 64.8              | 20   | 57.4*             | 135.9* | 4.8                 | 5.3   |
| 下石炭统摆佐组                |                   |      | 47.3              | 120.8  | 3.6                 | 4.3   |
| 中石炭统威宁组                | 15                | 20   | 26.9*             | 80.5*  | 5.7                 | 13.5  |
| 上石炭统马平组                |                   |      |                   |        | 2.0                 | 14.8  |
| 下二叠统梁山组                | 40.8              | 75   | 未取样               | 未取样    | 4.8                 | 11.2  |
| 下二叠统栖霞茅口组              | 28.4              | 36   | 49.1              | 108.5  | 1.9                 | 9.5   |
| 峨眉山玄武岩                 | 8.8               | 60   |                   |        | 5.3                 | 113.6 |
| 中国东部玄武岩 <sup>[6]</sup> | 9.6               | 120  |                   |        |                     |       |

注: \* 号为笔者根据文献计算的中间值,其余均为笔者根据文献计算的平均值;①韩润生.会泽超大型银铅锌矿床地质地球化学及隐伏矿定位预测,博士后出站报告,2002;②黄智龙,李文博,张振亮,等.云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因.中国科学院地球化学研究所结题报告,2004.

围内地层(震旦系灯影组一下二叠统,基底昆阳群因缺少数据而不加讨论)的成矿元素发生了向矿区迁移的现象,促使矿区地层成矿元素含量增高,而成矿元素迁移的动力则来自岩石中的流体。由于地层岩石以碳酸盐岩为主,并夹有少量页岩和砂岩,其中的流体以下渗的大气降水和成岩时的海水为主。因此可以肯定,至少有大气降水参与了成矿活动,但也不能完全排除其他类型水的参与,因为单纯的大气降水无法满足水-岩反应后以达到成矿流体所需要的氢氧同位素数值。流体包裹体的研究也表明,会泽铅锌矿区成矿热液的形成与中低温热液与中高温热液的混合有关。而锶同位素<sup>[17]</sup>的研究表明,部分成矿物质和成矿流体来源于古老的基底地层,高温热液可能来源于高温的岩浆水与基底变质水相混合。黄智龙等<sup>[4]</sup>的研究则证明,矿床成矿流体具有多来源特征,地幔流体活动在成矿流体形成过程中起了重要的作用,部分成矿流体可能来源于峨眉山玄武岩浆的喷发作用。

综上所述,会泽铅锌矿床的成矿流体具有多源性;它的形成是大量的大气降水与被玄武岩浆烤热的白云岩发生水-岩反应后形成的热卤水,与刺穿基底、沿裂隙上升的少量变质水、岩浆水在流体储库充分混合后的结果。经计算(计算过程略),大气降水与白云岩反应后形成的热卤水在理想(即流体混合不发生同位素分馏,也不形成新矿物)的状态下,与上升的岩浆水、变质水在流体储库发生混合作用,完全可以形成所需的成矿流体。当成矿流体在流体储库中形成后,沿构造裂隙上升(由于构造作用),由于上覆岩石(主要是页岩和泥质岩)的阻挡和遮盖作用,含矿流体在成矿部位卸载、沉淀,形成铅锌矿体;并在上升的过程中与围岩发生反应,形成围岩蚀变。如果测得蚀变围岩的氢氧同位素组成,可以估算出参与成矿的有效水量。

#### 4 结 论

根据以上研究成果,可得出如下主要结论:

(1)会泽铅锌矿床脉石矿物方解石中流体包裹体的均一温度具有双峰结构,表明该矿床的形成与中低温热液和中高温热液的混合有关;

(2)成矿流体的 H、O 同位素组成在不同矿体中没有明显的差别,在流体形成前曾存在流体的均一化作用;

(3)成矿流体的形成是热卤水与变质水、岩浆水

在流体储库中充分混合的结果;

(4)成矿流体沿构造裂隙上升,形成铅锌矿体,而铅锌矿体严格受构造控制。

#### 参考文献(References):

- [1] 柳贺昌,林文达.滇东北铅锌银矿床规律研究[M].昆明:云南大学出版社,1999:1-468.  
LIU He-chang, LIN Wen-da. Study on Pb-Zn-Ag ore deposits law in northeast Yunnan Province[M]. Kunming: Yunnan University Press, 1999: 1-468.
- [2] Zhou C X, Wei C S, Guo J Y. The source of metals in the Qilingchang Pb-Zn deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints[J]. Econ Geol, 2001, **96**: 583-598.
- [3] 黄智龙,陈进,刘丛强,等.峨眉山玄武岩与铅锌矿床成矿关系初探——以云南会泽铅锌矿床为例[J].矿物学报, 2001, **21**(4): 681-688.  
HUANG Zhi-long, CHEN Jin, LIU Cong-qiang, et al. A preliminary discussion on the genetic relationship between Emeishan basalts and Pb-Zn mineralization: As exemplified by the Huize Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2001, **21**(4): 681-688.
- [4] Huang Z L, Li W B, Chen J, et al. Carbon and oxygen isotope constraints on the mantle fluids join the mineralization of the Huize super-large Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China[J]. J Geochem Explor, 2003, 78-79: 637-642.
- [5] 周朝宪.滇东北麒麟厂铅锌矿床成矿金属来源、成矿流体特征和成矿机理研究[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所,1996.  
ZHOU Chao-xian. The origin of the mineralizing metals, the Geochemical characteristics of ore-forming fluid, and the Genesis of Qilinchang Zn-Pb deposits, Northeast Yunnan Province, China[D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1996.
- [6] 李文博,黄智龙,陈进,等.云南会泽超大型铅锌矿床硫同位素和稀土元素地球化学研究[J].地质学报,2004, **78**(4):507-518.  
LI Wen-bo, HUANG Zhi-long, CHEN Jin, et al. Study on sulfur isotope and the geochemical characteristics of REE in Huize superlarge lead-zinc deposits, Yunnan Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, **78**(4):507-518.
- [7] 韩润生,刘丛强,黄智龙,等.论云南会泽富铅锌矿床成矿模式[J].矿物学报, 2001, **21**(4): 674-680.

- HAN Run-sheng, LIU Cong-qiang, HUANG Zhi-long, et al. Ore-forming model of Huize rich Pb-Zn deposit, Yunnan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2001, **21**(4): 674 - 680.
- [8] 韩润生,刘丛强,黄智龙,等. 云南会泽铅锌矿床构造控矿及断裂构造岩稀土元素组成特征[J]. *矿物岩石*, 2000, **20**(4): 11 - 18.
- HAN Run-sheng, LIU Cong-qiang, Huang Zhi-long, et al. Characteristics of ore-controlling structures and REE composition of fault rocks in Huize lead-zinc deposits, Yunnan Province[J]. *J Mineral Petrol*, 2000, **20**(4): 11 - 18.
- [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 REE 地球化学[J]. *矿物学报*, 2001, **21**(4): 659 - 666.
- HUANG Zhi-long, CHEN Jin, HAN Run-sheng, et al. REE geochemistry of calcite — A gangue mineral in the Huize oredeposits, Yunnan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2001, **21**(4): 659 - 666.
- [10] Zheng Y F. Calculation of oxygen isotope fractionation in hydroxyl-bearing silicate[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1993, **120**: 247 - 263.
- [11] 李文博,黄智龙,陈进,等. 会泽超大型铅锌矿床成矿时代研究[J]. *矿物学报*, 2004, **24**(2): 112 - 116.
- LI Wen-bo, HUANG Zhi-long, CHEN Jin, et al. Rb-Sr dating of mineral assemblage from Huize super-large-type lead-zinc ore deposits, Yunnan Province of China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2004, **24**(2): 112 - 116.
- [12] 张理刚,刘敬秀,陈振胜,等. 江西德兴铜厂铜矿水-岩体系氢氧同位素演化[J]. *地质科学*, 1996, **31**(3): 250 - 261.
- ZHANG Li-gang, LIU Jing-xiu, CHEN Zhen-sheng, et al. Evolution of H and O isotopes of water-rock system in Tongchang porphyry copper deposit of Dexing area, Jiangxi Province of China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1996, **31**(3): 250 - 261.
- [13] 郑永飞,陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1 - 316.
- ZHENG Yong-fei, CHEN Jiang-feng. *Stable isotope geochemistry*[J]. Beijing: Science Press, 2000: 1 - 316.
- [14] 胡耀国. 贵州银厂坡银多金属矿床银的赋存状态、成矿物质来源与成矿机制[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1999.
- HU Yao-guo. Occurrence of silver, sources of mineralized substances and ore-forming mechanism Yinchangpo silver-polymetallic deposits, Guizhou Province, China[D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1999.
- [15] 翟建平,胡凯,陆建军. 应用氢氧同位素研究矿床成因的一些问题探讨[J]. *地质科学*, 1996, **31**(3): 229 - 237.
- ZHAI Jian-ping, HU Kai, LU Jian-jun. Discussion on the applications of hydrogen and oxygen isotopes to the problems of ore genesis[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1996, **31**(3): 229 - 237.
- [16] Boven A, Pasteels P, Punzalan L E, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological constraints on the age and evolution of the Permo-Triassic Emeishan volcanic Province, Southwest China[J]. *J Asian Earth Sci*, 2002, **20**: 157 - 175.
- [17] ZHANG Zhen-liang, HUANG Zhi-long, LI Wen-bo, et al. Study on the multi-sources of ore-forming materials and ore-forming fluid in Huize lead-zinc ore deposits[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 2005, (3): 56 - 65.