

云南会泽超大型铅锌矿床 C、O 同位素地球化学

黄智龙¹, 李文博¹, 陈进², 许德如^{1,4}, 韩润生³, 刘丛强¹

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放室, 贵州 贵阳 550002; 2. 云南会泽铅锌矿, 云南 会泽 654211; 3. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 4. 中国科学院广州地球化学研究所与南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 云南会泽超大型铅锌矿床规模大、品位富、伴生有用元素多, 预示其成矿环境较为特殊。本文分析该矿床矿石中脉石矿物方解石和赋矿碳酸盐地层的 C、O 同位素组成, 结果表明矿石中脉石矿物方解石的 C、O 同位素组成相对均一, 不同矿体(不同标高)、不同产状以及相同矿体不同产状方解石的 C、O 同位素组成不具明显差别, 其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值分别为 $-2.1\text{‰} \sim -3.5\text{‰}$ (均值 -2.8‰) 和 $16.7\text{‰} \sim 18.6\text{‰}$ (均值 17.7‰)。在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图上集中于岩浆碳酸岩与海相碳酸盐岩之间的狭小范围内。多方面的证据表明: 矿床成矿流体为壳-幔混合流体, 其中壳源组分可能主要由矿区(或区域)碳酸盐地层提供, 而幔源组分则可能与区域大面积峨眉山玄武岩岩浆活动过程中的去气作用有关。

关键词: C、O 同位素地球化学; 成矿流体; 云南会泽超大型铅锌矿床

中图分类号: P597 文献标识码: A 文章编号: 1001-1552(2004)01-0053-07

在我国西南川—滇—黔铅锌银多金属成矿域中发现铅锌矿床、矿点及矿化点 400 多个(柳贺昌等, 1999), 其中绝大部分矿床、矿点和矿化点的外围都有二叠纪峨眉山玄武岩分布, 目前对铅锌矿化与峨眉山玄武岩的关系还有很大争论。云南会泽超大型铅锌矿床位于川—滇—黔铅锌银多金属成矿域的中南部, 该矿床以其铅锌品位特高(Pb + Zn 含量多在 25% ~ 35%, 部分矿石 Pb + Zn 含量超过 60%) 伴生有用元素多(Ag、Ge、Cd、In、Ga 等) 近年在找矿方面取得重大突破而引起国内外地学界的极大关注。虽然许多学者对该矿床做过研究工作, 对矿床成因提出过不同模式(陈士杰, 1986; 陈进, 1993; 赵准, 1995; 柳贺昌等, 1999; 韩润生等, 2001; Zhou *et al.*, 2001), 由于该矿床不同稳定同位素组成示踪出不同成矿流体来源, 有关成矿流体来源众说纷纭(柳贺昌等, 1999; 黄智龙等, 2001a; Zhou *et al.*, 2001),

因而目前所提出的模式都无法全面解释矿床的成矿机制。C、O 同位素组成是示踪成矿流体中 CO₂ 来源的有效手段, 方解石是会泽超大型铅锌矿床原生矿石中最主要的脉石矿物, 其形成贯穿整个成矿过程(黄智龙等, 2001a), 因而研究方解石 C、O 同位素地球化学, 可提供成矿流体来源与演化方面的重要信息。本文分析了会泽超大型铅锌矿床脉石矿物方解石和赋矿碳酸盐地层的 C、O 同位素组成资料, 探讨了矿床成矿流体的来源与演化。

1 矿床地质概况

云南会泽超大型铅锌矿床位于川—滇—黔铅锌多金属成矿域的中南部, 小江深断裂带和昭通—曲靖隐伏深断裂带间的北东构造带、南北构造带及北西向紫云—垭都构造带的构造复合部位, 由相距约

收稿日期: 2003-02-09; 改回日期: 2003-09-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372048、40172038)和云南省省院省校科技合作项目(2000YK-04)资助。

作者简介: 黄智龙(1967-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事岩石地球化学研究。

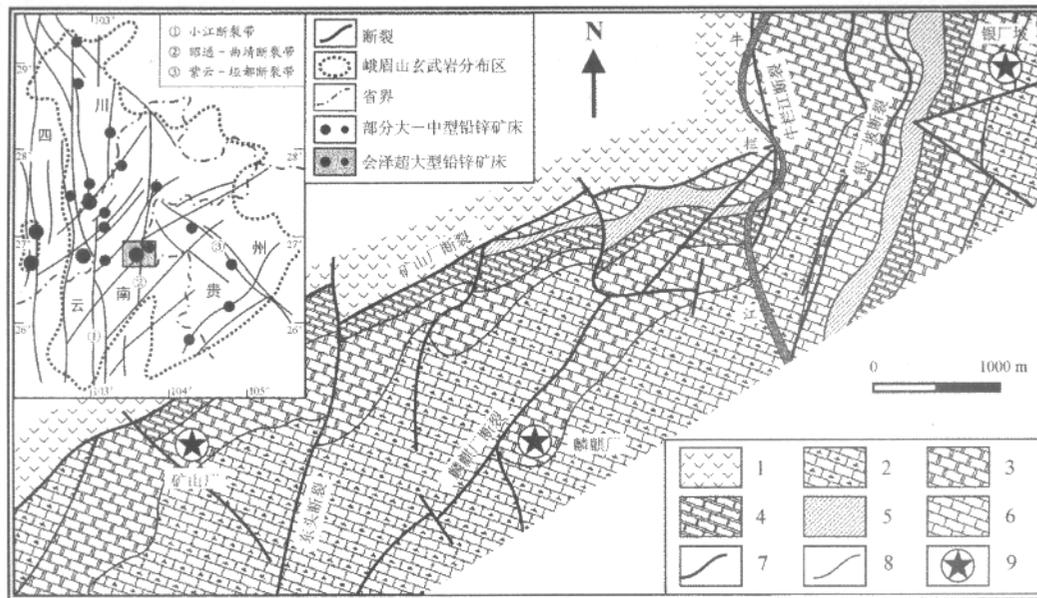


图 1 会泽超大型铅锌矿床地质图

1 - 二叠系峨眉山玄武岩; 2 - 二叠系: 包括栖霞-茅口组(P_1q+m)灰岩、白云质灰岩夹白云岩, 梁山组(P_1l)炭质页岩和石英砂岩; 3 - 石炭系: 包括马平组(C_3m)角砾状灰岩, 威宁组(C_2w)鲕状灰岩, 摆佐组(C_1b)粗晶白云岩夹灰岩及白云质灰岩, 大塘组(C_1d)隐晶灰岩及鲕状灰岩; 4 - 泥盆系: 包括宰格组(D_3z)灰岩、硅质白云岩和白云岩, 海口组(D_2h)粉砂岩和泥质页岩; 5 - 寒武系: 包括筇竹寺组(ϵ_1q)泥质页岩夹砂质泥岩; 6 - 震旦系: 包括灯影组(Z_2d)硅质白云岩; 7 - 断裂; 8 - 地层界线; 9 - 铅锌矿床

Fig. 1 Geological map of the Huize super-large Pb-Zn deposits

3 km 的矿山厂矿床和麒麟厂矿床组成(图 1)。矿区出露地层见图 1, 其中下石炭统摆佐组(C_1b)是矿床最主要的赋矿地层。构造以 NE 向断裂为主, 代表性断裂有矿山厂断裂、麒麟厂断裂、银厂坡断裂和牛栏江断裂, 这些断裂具有多期活动特点, 与成矿关系密切(韩润生等, 2000)。矿区岩浆岩主要为二叠纪峨眉山玄武岩, 出露于矿区北部和西南部外围地区。

与国内外铅锌矿床相比, 该矿床具有以下鲜明的地质特征: ①矿区出露从震旦纪灯影组至二叠纪栖霞组、茅口组多个时代的碳酸盐地层, 但绝大部分矿体赋存于下石炭统摆佐组(C_1b)白云岩中; ②矿体形态不规则, 多为似筒状、扁柱状、透镜状、囊状和脉状, 剖面上总体呈“阶梯状”分布; ③矿体与围岩接触界线清晰, 与矿体接触的围岩有几到几十厘米的“红化”现象; ④矿床的上部为氧化矿、下部为原生矿、中间为混合矿, 氧化矿组成相当复杂, 而原生矿组成相对简单, 矿石矿物为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿, 脉石矿物为方解石; ⑤围岩蚀变相对简单, 常见的蚀变为白云岩化, 局部地段见有黄铁矿化; ⑥矿石铅锌品位极高(Pb+Zn 多在 25%~35%, 部分矿石 Pb+Zn 含量超过 60%) 伴生有用元素多(Ag、Ge、Ga、Cd、In

等); ⑦矿体从底板到顶板矿物组合出现分异现象, 大致为: 铁闪锌矿—粗晶黄铁矿—少量方解石—闪锌矿—方铅矿—黄铁矿—方解石—细晶黄铁矿—方解石; ⑧从浅部到深部, 矿体有变厚、变富的趋势。

2 样品及分析方法

方解石是会泽超大型铅锌矿床最主要的脉石矿物, 原生矿中的方解石根据产状可大体分为三类, 即团块状、团斑状和脉状, 其相对数量: 团块状 > 团斑状 > 脉状。根据与矿石矿物之间的接触关系, 结合矿相观察结果, 3 种产状方解石的形成顺序为团块状→团斑状→脉状。黄智龙等(2001a)已对 3 种产状方解石的结构构造进行了较详细描述, 同时认为三者为同源不同演化阶段形成的产物。

本文分析了原生矿石中不同产状方解石的 C、O 同位素组成, 为便于对比, 也分析了矿区碳酸盐地层中的晶洞方解石以及赋矿地层(C_1b)的 C、O 同位素组成。C、O 同位素组成由中国地质科学院矿床地质研究所分析, 分析方法采用 100% 磷酸法, 质谱计型号为 MAT 251 EM, 分析精密度的 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

3 结果及讨论

3.1 C、O 同位素组成

表 1 为会泽超大型铅锌矿床 C、O 同位素组成分析结果,可见以下特征:

① 矿石中脉石矿物方解石的 C、O 同位素组成相对均一,其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 介于 $-2.1\text{‰} \sim -3.5\text{‰}$ 、极差 -1.4‰ 、均值 -2.8‰ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 介于 $16.7\text{‰} \sim 18.6\text{‰}$ 、极差 1.9‰ 、均值 17.7‰ ;不同矿体(不同标高)、不同产状以及相同矿体不同产状方解石的 C、O 同位素组成不具明显差别;在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图上(图 2)集中于岩浆碳酸岩与海相碳酸盐岩之间的狭小范围内。

② 矿石中脉石矿物方解石的 C、O 同位素组成与赋矿地层 (C_1b) 有明显的差别,后者的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分别为 $-0.80\text{‰} \sim +0.74\text{‰}$ (平均为 $+0.01\text{‰}$) 和 $22.6\text{‰} \sim 23.2\text{‰}$ (平均 22.9‰),与陈士杰 (1986) 报道的矿区碳酸盐地层 C、O 同位素组成相似 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分别为 $-1.5\text{‰} \sim +0.85\text{‰}$ 和 $19.3\text{‰} \sim 23.1\text{‰}$),在图 2 中落在海相碳酸盐岩范围。

③ 矿区晶洞方解石可认为是碳酸盐地层低温淋滤产物,其 C、O 同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分别为 $+0.50\text{‰} \sim +1.1\text{‰}$ 和 $22.1\text{‰} \sim 23.5\text{‰}$) 与 C_1b 和矿区碳酸盐地层(陈士杰,1986)相近,而与矿石中脉石矿物方解石的 C、O 同位素组成明显不同,暗示本区矿石中脉石矿物方解石不是碳酸盐地层淋滤的产物。

3.2 讨论

地幔流体参与成矿作用在许多大型-超大型矿床均有例证(刘丛强等,2001),会泽超大型铅锌矿床成矿过程中是否有地幔流体参与还有较多争论。众所周知,C、O 同位素组成是示踪地幔流体参与成矿作用的有效方法,但许多资料显示,幔源碳酸岩(Carbonatite)

的 C、O 同位素组成常常超出 Taylor *et al.* (1967) 确定的原生碳酸岩 C、O 同位素组成范围 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}: -4\text{‰} \sim -8\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}: 6\text{‰} \sim 10\text{‰}$) (Reid *et al.*, 1992; Pearce *et al.*, 1996; Horstmann *et al.*, 1997; Demény *et al.*, 1998; Andrade *et al.*, 1999; Ray *et al.*, 1999)。前人常用沉积物混染作用或高温分异作用来解释具有图 2 中趋势① C、O 同位素组成碳酸岩的成因 (Reid *et al.*, 1992; Demény *et al.*, 1998; Ray *et al.*, 1999)。

在图 2 中,本区矿石中脉石矿物方解石的 C、O 同位素组成集中于岩浆碳酸岩与海相碳酸盐岩(或 C_1b) 之间的狭小范围内,该特征与图 2 中趋势①碳酸岩相似,亦可用沉积物混染作用或高温分异作用来解释。由于笔者测得脉石矿物方解石的包裹体均一温度相对较低(绝大部分集中于 $180 \sim 250\text{°C}$ 之间),因而可排除高温分异作用对方解石 C、O 同位

表 1 会泽铅锌矿床 C、O 同位素组成(‰)

Table 1 C and O isotopic compositions (‰) of Huize lead and zinc ore deposits

| 样品号 | 产地 | 测定对象 | 产状 | $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ |
|------------|----------------|------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| HZ-911-3 | 矿山厂 1 号矿体 | 方解石 | 矿石中团斑状 | -2.2 | 17.5 |
| HZ-911-4 | 矿山厂(距矿体 540m) | 方解石 | NW 向构造带 | -3.0 | 6.7 |
| HZ-911-10 | 矿山厂 1 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -3.4 | 8.4 |
| HZ-911-15 | 矿山厂 1 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -3.5 | 8.6 |
| HZQ-25 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -2.5 | 7.5 |
| HZQ-28 | 麒麟厂(距矿体 150m) | 方解石 | NW 向构造带 | -3.4 | 6.3 |
| HZQ-40 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中团斑状 | -2.6 | 7.7 |
| HZQ-47 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -3.1 | 7.5 |
| HZQ-55 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中脉状 | -2.7 | 7.7 |
| HZQ-66 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -3.4 | 8.1 |
| HZQ-70 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中团斑状 | -3.3 | 8.1 |
| HZQ-77 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中脉状 | -2.8 | 7.8 |
| HZQ-85 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中团斑状 | -2.7 | 7.3 |
| HZQ-90 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中团斑状 | -2.7 | 7.2 |
| HZQ-96 | 麒麟厂 6 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -2.1 | 7.5 |
| HQ-10-7 | 麒麟厂 10 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -2.9 | 7.0 |
| HQ-10-12 | 麒麟厂 10 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -3.2 | 8.5 |
| HQ-10-18 | 麒麟厂 10 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -2.3 | 6.8 |
| HQ-10-25 | 麒麟厂 10 号矿体 | 方解石 | 矿石中团斑状 | -3.0 | 7.9 |
| HQ-10-5 | 麒麟厂 10 号矿体 | 方解石 | 矿石中脉状 | -2.8 | 7.2 |
| HQ-8-115 | 麒麟厂 8 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -2.2 | 7.0 |
| HQ-8-143 | 麒麟厂 8 号矿体 | 方解石 | 矿石中团块状 | -2.7 | 7.6 |
| HQ-8-98 | 麒麟厂 8 号矿体 | 方解石 | 矿石中脉状 | -3.0 | 7.8 |
| HZQ-35 | 麒麟厂(距矿体 500m) | 方解石 | $P_1q + m$ 中晶洞 | 0.50 | 22.1 |
| HZK-33 | 矿山厂(距矿体 450m) | 方解石 | $P_1q + m$ 中晶洞 | 1.10 | 23.5 |
| HZQ-74 | 麒麟厂 10 号矿体围岩 | 全岩 | C_1b 粗晶白云岩 | -0.80 | 22.6 |
| HZ-2053-29 | 矿山厂 1 号矿体围岩 | 全岩 | C_1b 白云岩 | 0.35 | 23.2 |
| HZS-40 | 孙家沟(距矿体 1500m) | 全岩 | C_1b 粗晶白云岩 | 0.74 | 22.8 |
| HZ-X-3 | 小黑箐(距矿体 1000m) | 全岩 | C_1b 粗晶白云岩 | -0.24 | 23.1 |

注:样品由中国地质科学院矿床研究所分析; $P_1q + m$ 和 C_1b 分别为栖霞-茅口组和摆佐组地层代号;麒麟厂 8 号矿体为岩芯样品

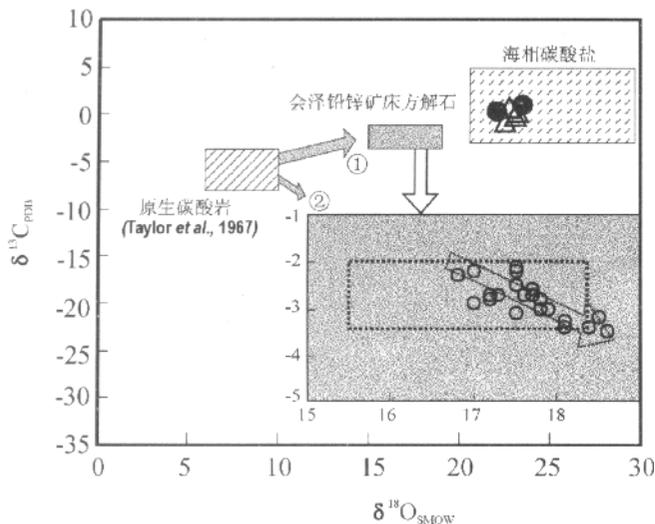


图 2 会泽超大型铅锌矿床 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图

趋势①为原生碳酸岩沉积物混染或高温分异作用 C、O 同位素组成变化趋势 (Demény *et al.*, 1998); 趋势②为原生碳酸岩岩浆去气作用 C、O 同位素组成变化趋势 (Demény and Haragi, 1996); ○ - 矿石中脉石矿物方解石; ● - 地层中晶洞方解石; △ - C_{1b} 地层; 点线区为壳 - 幔二元混合 C、O 同位素组成模拟计算结果 (详见正文)

Fig. 2 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ diagram of the Huize super-large Pb-Zn deposits

素组成的影响。也就是说,会泽超大型铅锌矿床成矿流体中的 CO_2 既有幔源、又有壳源,成矿流体是一种既有幔源组分、又有地层组分参与的混合流体。以下证据同样支持该结论:

(1) 图 2 中的点线区为简单二元流体混合模拟计算结果,端元组分为原生碳酸岩(其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分别取 -6.7‰ 和 8‰ ; Demény *et al.*, 1998) 和矿区 C_{1b} 地层(其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分别取 0.01‰ 和 22.9‰ ; C_{1b} 地层 C、O 同位素组成的平均值)混合 C_{1b} 的比例为 $50\% \sim 70\%$ 。可见,矿石中脉石矿物方解石的 C、O 同位素组成绝大部分落入该点线区内,表明方解石为 C_{1b} 与原生碳酸岩的混合产物。

(2) 笔者测得会泽超大型铅锌矿床 69 件方铅矿、闪锌矿和黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 主要在 $11\text{‰} \sim 17\text{‰}$, 暗示成矿流体中的硫来源于海水硫酸盐的还原; 区域上多个时代的碳酸盐地层中含有重晶石、石膏等硫酸盐矿物,且其硫同位素组成($\delta^{34}\text{S}$: $13\text{‰} \sim 17\text{‰}$; 作者未发表资料)与矿石相近,证实成矿流体中的硫主要来源于碳酸盐地层; 柳贺昌等(1999)报道矿床脉石矿物方解石流体包裹体的 $\delta_{\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}}$ 和 $\delta_{\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}}$ 分别为 $-56\text{‰} \sim -75\text{‰}$ 和 $6.44\text{‰} \sim 8.04\text{‰}$, 指示成矿流体中的 H_2O 主要来自深部。上述 S、H、O 同位素组成

特征同样表明会泽超大型铅锌矿床成矿流体为壳 - 幔混合流体。

(3) 韩润生等(2000)的分析资料显示,会泽超大型铅锌矿床矿石中的稀土元素(REE)主要赋存于方解石中,因而脉石矿物方解石的 REE 地球化学可指示成矿流体的来源及演化。黄智龙等(2001a)的分析结果表明,该矿床脉石矿物方解石的 REE 含量明显高于区内各时代碳酸盐地层,但低于原生碳酸岩; REE 配分模式总体为轻稀土元素(LREE)富集型,但大部分样品具有 $(\text{La})_{\text{N}} < (\text{Ce})_{\text{N}} < (\text{Pr})_{\text{N}} \approx (\text{Nd})_{\text{N}}$ 特征。据此,黄智龙等(2001a)也认为矿床成矿流体是一种壳 - 幔混合流体。

(4) 会泽超大型铅锌矿床明显受 NW 向构造带控制(韩润生等, 2000)。黄智龙等(2003)的研究结果表明,该构造带内的脉状方解石为壳 - 幔混合流体结晶产物。从表 1 和图 2 中可见,本文分析的两件 NE 向构造带内脉状方解石的 C、O 同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值分别为 $-3.4\text{‰} \sim -3.0\text{‰}$ 和 $16.3\text{‰} \sim 16.7\text{‰}$)与矿石中脉石矿物方解石基本一致。同样证实矿床成矿流体是一种壳 - 幔混合流体。

会泽超大型铅锌矿床矿区及外围出露多个时代的碳酸盐地层,且赋矿围岩为下石炭统摆佐组(C_{1b})白云岩,成矿流体中的部分 CO_2 来源于地层不难理解。对于成矿流体中的幔源组分,笔者认为与区域大面积峨眉山玄武岩岩活动有关,对此柳贺昌等(1999)和黄智龙等(2001b)已例举了大量地质、地球化学证据。本文仅补充以下两点:

(1) 会泽超大型铅锌矿床的岩浆岩仅有矿区外围大面积峨眉山玄武岩分布,虽然前人对矿床成矿时代有不同认识(张云湘等, 1988; 柳贺昌等, 1999; Zhou *et al.*, 2001),但从川—滇—黔铅锌多金属成矿域 400 多个矿床(点)集中分布于上二叠统峨眉山玄武岩以下各时代地层中(只有 3 个矿化点在三叠纪地层中例外)来看,矿床成矿时代可能与峨眉山玄武岩岩浆活动时代相近; 近期笔者利用矿石中脉石矿物方解石 Sm - Nd 等时线法测得 2 个年龄数据为 $(227 \pm 18)\text{Ma}$ 和 $(225 \pm 41)\text{Ma}$, 与峨眉山玄武岩成岩时代 $218 \sim 256\text{Ma}$ (张云湘等, 1988; Boven *et al.*, 2002; Zhou *et al.*, 2002) 基本一致,也证实上述推论。

(2) 峨眉玄武岩是我国较为典型地幔柱活动产物 Chung *et al.*, 1995; Xu *et al.*, 2001; Song *et al.*, 2001), Piragnó(2000) 和刘丛强等(2001)例举了大量

实例说明伴随地幔柱活动的岩浆作用过程中的地幔去气和岩浆去气作用形成的流体参与了成矿作用。

Demény *et al.* (1996) 指出, 具有图 2 中趋势② C、O 同位素组成的碳酸岩与以 CO₂ 和 H₂O 为主的岩浆去气作用有关。在图 2 中 本区矿石中脉石矿物方解石的 C、O 同位素组成具有趋势②特征 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 呈负相关), 表明其形成与岩浆去气作用存在密切关系。因此 本文认为伴随峨眉山玄武岩岩浆活动过程中去气作用形成的流体参与了会泽超大型铅锌矿床的成矿作用。

4 结 语

与国内外铅锌矿床相比, 会泽超大型铅锌矿床具有独特的地质特征(前文)。涂光炽院士在考察会泽超大型铅锌矿床过程中指出, 像会泽超大型铅锌矿床规模大、品位富、伴生有用元素多的同类矿床在世界范围也极少报道(私人交谈)。笔者认为会泽超大型铅锌矿床可能是一种新的铅锌矿床类型(暂称为“麒麟厂式”铅锌矿床), 这种铅锌矿床除铅锌品位高外, 集众多分散元素(Ge、Ga、Cd 和 In 等)于一身, 暗示其成矿环境极为特殊, 加上这种矿床类型在川—滇—黔铅锌多金属成矿域中很具代表性, 深入开展其矿床成因和成矿规律研究具有重要的理论意义和实际价值。本文的 C、O 同位素地球化学研究结果表明 矿床成矿流体为壳—幔混合流体, 其中壳源组分可能主要由矿区(或区域)碳酸盐地层提供, 而幔源组分则可能与区域大面积峨眉山玄武岩岩浆活动过程中的去气作用有关。

致谢 野外地质工作得到云南会泽铅锌矿各级领导的大力支持, 该矿采选厂地质科的高德荣高级工程师、赵德顺工程师、冯志宏工程师以及昆明理工大学地质系李元教授、马德云博士、马更生工程师参加野外地质调查及取样工作; 中国地质科学院矿床地质研究所完成了 C、O 同位素组成分析。在此一并感谢!

参考文献:

- 陈进. 1993. 麒麟厂铅锌硫化矿床成因及成矿模式探讨. 有色金属矿床与勘查, 2(2): 85-89.
 陈士杰. 1986. 黔西滇东北铅锌矿成因探讨. 贵州地质, 3(3): 211-222.
 韩润生, 刘丛强, 黄智龙, 陈进, 马德云, 李元. 2001. 论云

南会泽富铅锌矿床成矿模式. 矿物学报, 21: 674-680.

- 韩润生, 刘丛强, 黄智龙, 李元, 陈进. 2000. 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. 矿物岩石, 20(4): 11-18.
 黄智龙, 陈进, 韩润生, 李文博, 高德荣, 赵德顺, 刘丛强. 2001a. 云南会泽铅锌脉石矿物方解石 REE 地球化学. 矿物学报, 21(4): 659-666.
 黄智龙, 陈进, 刘丛强, 李文博, 赵德顺, 高德荣, 冯志宏. 2001b. 峨眉山玄武岩与铅锌成矿: 以云南会泽铅锌矿为例. 矿物学报, 21(4): 691-688.
 黄智龙, 李文博, 陈进, 吴静, 韩润生, 刘丛强. 2003. 云南会泽超大型铅锌矿床构造带方解石 REE 地球化学. 矿床地质, 22(2): 199-207.
 刘丛强, 黄智龙, 李和平, 苏根利. 2001. 地幔流体及其成矿作用. 地学前缘, 8(4): 231-244.
 柳贺昌, 林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究. 昆明: 云南大学出版社. 49-378.
 张云湘, 骆耀南, 杨崇喜. 1988. 攀西裂谷. 北京: 地质出版社. 290-297.
 赵准. 1995. 滇东、滇东北地区铅锌矿床的成矿模式. 云南地质, 14(4): 364-376.

References:

- Andrade F R D, Möller P, Lüders V, Dulski P and Gilg H A. 1999. Hydrothermal rare earth elements mineralization in the Barra do Itapirapuã carbonatite, southern Brazil: behaviour of selected trace elements and stable isotopes (C, O). *Chem Geol*, 155: 91-113.
 Boven A, Pasteels P, Punzalan L E, Liu J, Luo X, Zhang W, Guo Z and Hertogen J. 2002. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronological constraints on the age and evolution of the Permo-Triassic Emeishan Volcanic Province, Southwest China. *J Asian Earth Sci*, 20: 157-175.
 Chen J. 1993. Probe on formation of Pb-Zn sulphide ore and ore-forming mode of Qilinchang. *Nonferrous Metallic Mineral Explorer*, 2(2): 85-90 (in Chinese with English abstract).
 Chen S J. 1986. A discussion on the origin of Pb-Zn deposits in western Guizhou and northeastern Yunnan. *J Guizhou Geol*, 3(3): 211-222 (in Chinese with English abstract).
 Chung S L and Jahn B M. 1995. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary. *Geology*, 23: 889-892.
 Demény A and Harangi S Z 1996. Stable isotope studies on carbonate formations in alkaline basalt and lamprophyre series: evolution of magmatic fluids and magma-sediment interactions. *Lithos*, 37: 335-349.
 Demény A, Ahijado A, Casillas R and Vennemann T W. 1998. Crustal contamination and fluid/rock interaction in the car-

- bonatites of Fuerteventura (Canary Islands, Spain): a C, O, H isotope study. *Lithos*, 44: 101 – 115.
- Han R S, Liu C Q, Huang Z L, Chen J, Ma D R and Li Y. 2001. Ore-forming modle of Huize Pb-Zn rich deposits, Yunnan. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 674 – 680 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Liu C Q, Huang Z L, Ma D Y and Li Y. 2001. Features of structural control of minerals and fault structural rock rare earth element for Huize Pb-Zn Deposit, Yunnan. *J Mineral Petrol*, 20(4): 11 – 18 (in Chinese with English abstract).
- Horstmann U E and Verwoerd W J. 1997. Carbon and oxygen isotope variations in southern African carbonatites. *J Afr Earth Sci*, 25: 115 – 136.
- Huang Z L, Chen J, Han R S, Li W B, Gao D Y, Zhao D S and Liu C Q. 2001a. REE geochemistry of vein mineral calcites in the Huize Pb-Zn deposit, Yunnan Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 659 – 666 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z L, Chen J, Liu C Q, Li W B, Zhao D S, Gao D R and Feng Z H. 2001b. Preliminary the relationship between Emeishan basalts and Pb-Zn mineralization: As exemplified by the Huize Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 691 – 697 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z L, Li W B, Chen J, Wu J, Han R S and Liu C Q. 2003. REE geochemistry of calcites in fault zone of the Huize Super-large Pb-Zn Deposits in Yunnan Province. *Mineral Deposits*, 22(2): 199 – 207 (in Chinese with English abstract).
- Liu C Q, Huang Z L, Li H P, and Su G L. 2001. Mantle fluids and their mineralization. *Earth Sci Front*, 8(4): 251 – 267 (in Chinese with English abstract).
- Liu H C and Lin W D. 1999. Study on the ore formation law of the Pb-Zn-Ag ore deposits in Northeast Yunnan, China. Kunming: Yunnan University Press, 49 – 378.
- Pearce N J G and Leng M J. 1996. The origin of carbonatites and related rocks from the Igaliko Dyke Swarm, Gardar Province, South Greenland: field, geochemical and C-O-Sr-Nd isotope evidence. *Lithos*, 39: 21 – 40.
- Pirajno F. 2000. Ore Deposits and Mantle Plumes. Kluwer: Kluwer Academic Publishers, 1 – 134.
- Ray J S and Ramesh R. 1999. Evolution of carbonatite complexes of the Deccan flood basalt province: stable carbon and oxygen isotopic constraints. *J Geophys Res*, 104(B12): 29471 – 29483.
- Reid D L and Cooper A F. 1992. Oxygen and carbon isotope patterns in the Dicker Willem carbonatite complex, southern Namibia. *Chem Geol*, 94: 293 – 305.
- Song X Y, Zhou M F, Hou Z Q, Cao Z M, Wang Y L and Li Y G. 2001. Geochemical Constraints on the Mantle Source of the Upper Permian Emeishan Continental Flood Basalts, Southwestern China. *Inter Geol Rev*, 43: 213 – 225.
- Taylor Jr H P, Frechen J and Degens E T. 1967. Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See District, West Germany and the Alno District Sweden. *Geochim Cosmochim Acta*, 31: 407 – 430.
- Xu Y G, Chung S L, Jahn B M and Wu G Y. 2001. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China. *Lithos*, 58: 145 – 168.
- Zhang Y X, Luo Y N and Yang C X. 1988. Panzhihua-Xichang Rift in China. Beijing: Geological Publishing House, 290 – 297.
- Zhao Z. 1995. Ore-forming modle of Pb-Zn deposit in east and northeast Yunnan. *J Yunan Geol*, 14 (4): 350 – 354 (in Chinese with English abstract).
- Zhou C X, Wei C S and Guo J Y. 2001. The source of metals in the Qilingchang Zn-Pb deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints. *Econ Geol*, 96: 583 – 598.
- Zhou M F, Malpas J, Song X Y, Robinson P T, Sun M, Kennedy A K, Leshner C M and Keays R R. 2002. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction. *Earth Planet Sci Lett*, 196: 113 – 122.

CARBON AND OXYGEN ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF THE HUIZE SUPERLARGE Pb – Zn ORE DEPOSITS IN YUNNAN PROVINCE

HUANG Zhilong¹, LI Wenbo¹, CHEN Jin², XU Deru^{1,4},
HAN Runsheng³ and LIU Chongqiang¹

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*; 2. *Huize Pb-Zn Mine of Yunnan, Huize 654211, China*; 3. *Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China*; 4. *Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry & South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, China*)

Abstract: The Huize superlarge Pb-Zn ore deposit is characterized by its big scale, high contents of Pb + Zn and multiple concomitant elements, which shows that its ore-forming condition is relatively special. This paper analyzes the carbon and oxygen isotopic compositions of calcites occurring as gangue mineral in ores and in carbonate strata that host the ores. The results show that the carbon and oxygen isotopic compositions of the calcites are relatively homogeneous, and the carbon and oxygen isotopic compositions of the calcites that appear in different ore bodies, have different occurrences and the same ore body with varied occurrences are not obviously different from one another. The values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ of calcite range respectively from $-2.1\text{‰} \sim -3.5\text{‰}$ (the average value is -2.8‰) and $16.7\text{‰} \sim 18.6\text{‰}$ (the average value is 17.7‰). In the $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ diagram, the samples are plotted in a small field between carbonatite and marine carbonate. A variety of evidences demonstrate that the ore-forming fluids are of the crustal-mantle mixing type, with the crustal compositions being mainly originated from the carbonate strata in the orefield, and the mantle compositions being related to the degassing process of the E-meishan basalt magmatism.

Keywords: carbon and oxygen isotope geochemistry; ore-forming fluids; Huize superlarge Pb-Zn deposits, Yunnan Province