

文章编号: 1000-4734(2004)02-0105-07

云南会泽超大型铅锌矿床成因研究中的几个问题

黄智龙¹, 李文博^{1, 2}, 张振亮^{1, 2}, 韩润生³, 陈 进⁴

(1. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 昆明理工大学国土资源学院 云南 昆明 650093; 4. 云南会泽超大型铅锌矿, 云南 会泽 654211)

摘要: 位于川—滇—黔铅锌多金属成矿域中南部云南会泽超大型铅锌矿床可能是一种新的铅锌矿床类型, 该类铅锌矿床明显特征是规模大、品位富、伴生有用元素多, 暗示其成矿环境较为特殊。从成矿时代、成矿物质来源、成矿流体来源与演化, 以及峨眉山玄武岩与成矿的关系等方面分析了会泽超大型铅锌矿床的研究进展及国内外研究现状, 认为矿床成矿时代与西南大面积峨眉山玄武岩成矿时代相近, 成矿物质和成矿流体具有“多源性”, 成矿流体存在均一化过程, 区域大规模流体运移在该区铅锌成矿过程中具有重要意义, 峨眉山玄武岩岩浆活动与铅锌成矿具有密切的成因联系, 矿床可能为“均一成矿流体贯入成矿”的产物。

关键词: 成矿时代; 成矿物质和成矿流体来源与演化; 峨眉山玄武岩与成矿的关系; 云南会泽超大型铅锌矿床

中图分类号: P611 文献标识码: A

作者简介: 黄智龙, 男, 1967 年生, 研究员(博导), 主要从事岩石和矿床地球化学研究。

位于扬子地台西南缘的川—滇—黔铅锌多金属成矿域是我国重要的铅、锌、锗、银生产基地之一, 目前在成矿域已发现大、中、小型铅锌多金属矿床和矿点 400 多个^[1]。云南会泽超大型铅锌矿床位于川—滇—黔铅锌多金属成矿域中南部, 由相距约 3 km 的矿山厂矿床和麒麟厂矿床组成, 自 1992 年在麒麟厂矿床深部找到 VI 号矿体后, 1999 年和 2000 年又相继在矿山厂矿床深部和麒麟厂矿床深部找到了 I 号、VIII 号和 X 号矿体, 新增 Pb+Zn 储量超过 300 万 t, Ag 1000 t, Ge 400 t (伴生 Ga、Cd、In 等的储量也很可观, 且矿体还在向深部延伸)。该矿床具有独特的地质特征: ① 矿区出露从震旦系灯影组至二叠系栖霞—茅口组多个时代的碳酸盐地层, 但矿体无不例外地赋存于下石炭统绥佐组白云岩中; 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 (开采 Pb+Zn 出矿品位大于 30%, 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。

涂光炽院士 2001 年在实地考察会泽超大型铅锌矿床后的座谈会上指出, 象会泽超大型铅锌矿床规模如此大, 品位如此高, 有用组分如此多的铅锌矿床在世界范围内也极少报道。对比分析结果表明^[2], 该矿床的地质、地球化学特征既不同于 MVT 铅锌矿床, 也不同于 SEDEX 型铅锌矿床。因此, 会泽超大型铅锌矿床可能是一种新的铅锌矿床类型。这种铅锌矿床类型最大的特征是 Pb+Zn 品位极高, 伴生有用元素多, 规模大, 具有很高的经济价值。涂光炽在中国科学院地球化学研究所学术报告会上指出, 分散元素 (Ge、Ga、Cd 和 In 等) 只有在较为特殊地质环境下才能聚集成矿, 会泽超大型铅锌矿床除 Pb+Zn 品位高外, 集众多分散元素于一身, 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, 因而具有很高的研究价值。

收稿日期: 2003-12-26

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)

会泽超大型铅锌矿床因为具有独特的地质特征(尤其是其 Pb+Zn 品位高, 伴生有用元素多)已引起国内外地学界的关注, 许多学者对该矿做过研究工作, 对矿床成因提出过不同模式, 如岩浆-热液成因^[3]、沉积成因^[4]、沉积-原地改造成因^[5]、沉积-改造成因^[6,7]、沉积-成岩期后热液改造-叠加成因^[8]、沉积-改造-后成成因^[1]、MVT 矿床^[9]和贯入-萃取-控制成因^[10]等, 但由于目前对该矿床成矿时代、成矿物质来源、成矿流体来源与演化, 以及峨眉山玄武岩与成矿的关系等方面的认识还存在很大分歧, 这些成矿模式都无法全面解释矿床具有的上述特征。本文就这些问题分析国内外的研究现状及会泽超大型铅锌矿床研究进展。

1 成矿时代

到目前为止, 包括会泽超大型铅锌矿床在内的川—滇—黔铅锌多金属成矿域还没有一个准确可信的年代学数据, 这严重制约了矿床成矿机制研究, 不同学者根据地质和区域铅锌矿床 Pb 同位素模式年龄对其成矿时代有不同的认识, 张云湘等^[11]认为包括会泽铅锌矿在内的滇东北铅锌矿带为多期成矿产物, 主成矿期为海西晚期和燕山期; 杨应选等^[12]将康滇地轴东缘铅锌矿床(包括会泽超大型铅锌矿床)划分为海西成矿期和印支—燕山成矿期; 欧锦秀^[13]将黔西北青山铅锌矿床矿石铅单阶段演化模式年龄 134~192 Ma 作为成矿年龄, 认为矿床形成于燕山期; 张立生^[14]认为该区铅锌矿床成矿作用发生于晚二迭纪; 柳贺昌等^[1]将其作为上古生界矿床讨论, 形成于海西晚期和印支—燕山期; 管士平等^[15]利用 Pb 同位素组成计算出该区铅锌矿床成矿时代为 245 Ma; Zhou 等^[8]认为会泽超大型铅锌矿床形成于喜山期; 黄智龙等^[16]根据川—滇—黔铅锌多金属成矿域 400 多个矿床(点)集中分布于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), 推测矿床成矿时代可能与峨眉山玄武岩岩浆活动时代相近。

铅锌矿床定年一直是国内外地学界的难题, 即使是世界上研究程度最高的 MVT 矿床也是如此^[17], 其主要原因是铅锌矿床中一般缺少可直接用于同位素定年的矿物^[17,18]。Symons 等^[19,20]曾利用古地磁法确定了 MVT 矿床的成矿时代, 但由于理论上不完善, 在古地磁极解释上存在不确定性, 其结果难以令人信服。随着测试技术的提高,

Changkakoti 等^[21]、Nakai 等^[18,22]、Brannon 等^[23]、Christensen 等^[24,25]相继在 Nature 等高级别刊物上发表了一批直接测定铅锌矿床中硫化物(主要是闪锌矿)或其中流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄。刘建明等^[24]认为, 由于样品处理过程中很难排除次生包裹体的影响, 直接测定的硫化物中流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄可能会存在多解性; 单一硫化物 Rb/Sr 比值变化不明显, 很难构筑一条等时线, 用矿物组合来测定 Rb-Sr 等时线年龄可能更好。

Sm、Nd 同为稀土元素(REE), 稳定性好, 变化同步, 不易受改造, 母体衰变形成的子体容易在矿物的晶格中保存下来, 所以 Sm-Nd 定年法是一种较为理想的定年方法。许多学者已成功利用萤石、白钨矿和电气石等含 Ca 矿物对相关矿床进行了 Sm-Nd 等时线定年^[27~31]。方解石是许多矿床中常见的脉石矿物, 研究表明, REE 进入方解石晶格, 除非晶体溶解, 其它过程不可能破坏方解石稀土配分模式这个地质记录密码^[32], 因此, 这种矿物具有 Sm-Nd 等时线定年的潜力。Peng 等^[33]成功地利用 LREE 亏损型热液方解石对湘中锡矿山锑矿床进行了 Sm-Nd 等时线定年。方解石是会泽铅锌矿床原生矿石中最主要的脉石矿物, 黄智龙等^[34]的研究表明, 不同产状方解石为同源产物, 其 REE 含量变化范围宽, Sm/Nd 比值变化大, 为 Sm-Nd 同位素定年创造了条件, 笔者(未发表资料)利用方解石的 Sm-Nd 等时线获得会泽超大型铅锌矿床 VI 号矿体和 I 号矿体的成矿时代分别为(227±18)Ma 和(225±41)Ma, 可见与峨眉山玄武岩成岩时代 218~256 Ma^[12,35,36]基本一致, 但该成矿年龄数据还有待更多地质和年代学资料的支持。

2 成矿物质和成矿流体

由于会泽超大型铅锌矿床赋存于下石炭统摆佐组白云岩中, 区域上有大面积峨眉山玄武岩分布, 较多学者认为成矿物质由碳酸盐地层和玄武岩提供^[1,6,8,10], 但也有不同的认识, 如李连举^[37]提出上震旦统、下寒武统、中上泥盆统和石炭系地层是区域重要的矿源层; 胡耀国^[38]则认为成矿物质主要来源于区域前寒纪基底(如昆阳群等); Zhou 等^[8]根据铅锌等成矿物质的背景含量、Pb 和 Sr 同位素组成认为成矿物质主要由早震旦纪火山岩提供; 李文博等^[39]的研究发现, 会泽铅锌矿

床矿区外围各时代碳酸盐地层 Pb、Zn、Ge、Ga、Cd 和 In 等成矿元素的含量明显低于克拉克值, 也低于中国东部碳酸盐上述元素的平值含量, 结合各时代碳酸盐地层普遍有重结晶特征, 暗示其中成矿元素有明显被迁移现象, 表明成矿物质可能由各时代的碳酸盐地层提供; 铅同位素组成研究^[6]也证实, 碳酸盐地层、峨眉山玄武岩、基底地层均可能提供成矿物质。上述均表明, 会泽超大型铅锌矿床成矿物质具有“多来源”特征。

由于会泽超大型铅锌矿床不同稳定同位素组成示踪出不同成矿流体来源, 有关成矿流体来源更是众说纷纭。柳贺昌等^[1]、韩润生等^[8]和李文博等^[40]测得原生矿石中矿石矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值主要在 11‰~17‰, 表明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‰~17‰) 与矿石相近, 证实成矿流体中的硫主要来源于碳酸盐地层; 原生矿石中脉石矿物方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值分别为 -2.1‰~-3.5‰ (均值 -2.8‰) 和 +16.7‰~+18.6‰ (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, Huang 等^[41]据此认为矿床成矿流体为壳-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; 原生矿石中脉石矿物方解石流体包裹体的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值分别为 -55.8‰~-75‰ 和 6.44‰~8.04‰^[1], 在岩浆水 H₂O 同位素组成范围之内, 表明成矿流体中的 H₂O 主要来自深部; 黄智龙等^[34]通过对原生矿石中脉石矿物方解石和控矿断裂带中方解石 REE 地球化学研究也证实, 矿床成矿流体是一种壳-幔混合流体, 伴随峨眉山玄武岩岩浆活动过程中去气作用 (包括地幔去气作用和岩浆去气作用) 形成的流体参与了会泽超大型铅锌矿床的成矿作用。这些资料均表明, 会泽超大型铅锌矿床成矿流体具有“多来源”特征。

虽然会泽超大型铅锌矿床现已探明的 I 号、VI 号、VII 号和 X 号原生矿体出露于不同标高 (分别为 1751 m、1631 m、1571 m、1451 m), 但其矿物组合相似 (矿石矿物为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿, 脉石矿物为方解石)。笔者 (未发表资料) 测得 VI 号和 I 号矿体的方解石 Sm-Nd 等时线年龄一致, 分别为 (227±18) Ma 和 (225±41) Ma。不同矿体的 Pb、

S、C、O 同位素组成不具明显的区别, 且各自具有较小的变化范围。这些特征均表明, 矿床为均一成矿流体同期成矿作用的产物。管士平等^[15]也指出, 康滇地轴东缘分布于不同层位的铅锌矿床为同一体系一次性成矿作用的产物。会泽超大型铅锌矿床 S 同位素组成存在 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$ ^[40], 表明成矿过程中硫已达到平衡; C、O 同位素组成显示成矿流体为壳-幔混合流体, 但其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值相对稳定^[41], 均表明矿床成矿流体存在均一化过程。Zhou 等^[9]也认为该矿床 Pb 同位素组成不具明显的变化为成矿流体存在均一化的结果。

会泽超大型铅锌矿床 (以及川—滇—黔铅锌多金属成矿域) 成矿物质和成矿流体具有“多源性”, 区域碳酸盐地层中成矿元素含有贫化现象, 成矿流体存在均一化过程等特征均表明区域大规模流体运移在该区铅锌成矿过程中具有重要意义。王奖臻等^[42]也认为大规律流体运移与川—滇—黔铅锌多金属成矿域成矿具有密切联系。大规模流体运移与区域成矿的关系已成为当前矿床成因理论研究的前沿课题和热点之一。Fyfe 等^[43]首先注意到地壳中大规模流体运移与成矿的关系。Bethke^[44]、Duane 等^[45]、Viets 等^[46]、Deming^[47]、Garven 等^[48]、Johnson^[49]等利用大规模流体运移成功的解释了 MVT 铅锌矿床的成因, 这些研究成果表明, 碰撞造山带是产生大规模流体运移最为有利的地区, 而造山带一侧的盆地则是大规模流体运移、混合和成矿的有利场所, 成矿物质来源、包裹体、稳定同位素组成、铅同位素组成, 以及流体物理特征是示踪大规模流体运移和混合的有利手段; 马东升^[50]认为, 地壳中主要存在三大流动系统, 即重力、浮力和应力驱动系统, 各种流动系统在具备成矿物质来源和沉淀机制的条件下均能形成矿床。马东升^[50]还指出了大规模流体运移与成矿关系的研究方向, 认为国内外在该领域的研究尚处于初级阶段, 有关典型成矿区带的区域古流体场地球化学背景资料、变化规律与成矿关系的综合研究至今还属空白, 宜结合我国特色矿床和急需矿床, 选择基础程度较高、成矿现象典型丰富的地区, 进行大规模流体运移与成矿关系研究。本文认为川—滇—黔铅锌多金属成矿域是研究大规模流体运移与成矿关系较为理想的地区, 以会泽超大型铅锌矿床为突破口可望在该领域取得高质量的研究成果。

3 峨眉山玄武岩与成矿的关系

会泽超大型铅锌矿床(以及川—滇—黔铅锌多金属成矿域的众多矿床)的外围有大面积峨眉山玄武岩出露,对峨眉山玄武岩岩浆活动与成矿的关系,不同学者有不同的认识。廖文^[9]、陈进^[8]、柳贺昌^[11]和韩润生等^[10]认为峨眉山玄武岩在成矿过程中提供成矿物质;张云湘等^[11]、胡耀国^[38]认为峨眉山玄武岩在成矿过程中主要起提供热动力作用;李文博等^[39]的分析结果显示,峨眉山玄武岩成矿元素背景含量明显高于各时代碳酸盐地层的含量,但不同地区峨眉山玄武岩成矿元素含量相对稳定,且与中国东部以及国外玄武岩成矿元素含量不具明显变化,表明这种岩石在成矿过程中提供大量成矿物质的可能性较小。

柳贺昌^[51]从“峨眉山玄武岩含有铅锌等金属元素和铅锌等矿物”,“在峨眉山玄武岩、玄武质凝灰岩、玄武角砾岩中,多处有铜、黄铁矿、锑、金矿,个别的有铁矿”,“峨眉山玄武岩的展布范围,与铅锌矿的水平分布基本重合,铅锌矿的垂向分布则受前者的限制”,“峨眉山玄武岩等厚度线图与铅锌矿间保持明显的关系”和“与峨眉山玄武岩相当的侵入相辉绿岩岩带和所在区内主要铅锌构造成矿带间保持一定关系,被侵入的围岩有蚀变、矿化”等方面论述了峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系。黄智龙等^[16]也认为峨眉山玄武岩岩浆活动与会泽超大型铅锌矿床在内的川—滇—黔铅锌金属成矿域的成矿存在密切的成因联系,主要表现在会泽超大型铅锌矿成矿时代与峨眉山玄武岩成岩时代相近,峨眉山玄武岩具有提供成矿物质的潜力,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(以及川—滇—黔铅锌多金属成矿域)的成矿作用,峨眉山玄武岩岩浆活动在成矿过程中提供了热动力。

地幔柱-热点成矿作用是当今矿床学研究的又一前沿课题之一。李红阳等^[52]和牛树银等^[53]指出,地幔柱-热点活动可形成有利于成矿的“成矿物质大规模聚集的成矿物质场”、“驱动壳/幔成矿物质的热-化学交换和流体输导运移的成矿能量场”和“矿质迁移和沉淀的成矿空间场”,因而从根本上控制了“大矿集中区”的发育;王登红^[54]在评述地幔柱-热点成矿作用中强调,地幔柱-热点可能影响到各种环境的矿床和地球演化各个阶段

的成矿作用;刘丛强等^[55]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。国外较早开展地幔柱-热点成矿作用研究, Sawkins^[56]、Mitchell等^[57]和 Piragno^[58]分别总结了该领域的研究成果,发现自然界许多金属、非金属矿床成矿都与地幔柱-热点活动有密切联系。国内对该领域的研究起步较晚,但李红阳等^[52]、牛树银等^[53]对华北地台金银多金属矿床地幔柱-热点成矿作用做了较为系统的研究,侯增谦等^[59]论述了三江特提斯成矿域幔柱构造与成矿系统。峨眉山玄武岩是我国较为典型地幔柱活动产物^[60~63],谢家荣^[3]在1960年代就注意到西面大面积峨眉山玄武岩岩浆活动与成矿具有内在联系,但由于在这类岩石中没有找到像样的矿床而一直未被矿床学家所重视,到1990年代随着地幔柱-热点成矿作用研究的不断深入,峨眉山玄武岩岩浆活动与成矿关系才逐渐被我国矿床学家所关注,侯增谦等^[59]已将三江地区金属矿床与幔柱构造对应起来,将赋存于碳酸盐地层的铅锌银矿床(包括会泽超大型铅锌矿床在内的川—滇—黔铅锌金属成矿域的矿床绝大部分为这种类型)归入热幔柱成矿体系的地幔柱-热点成矿系统之内,其成矿体制为热动力成矿;王登红^[64]也认为,我国西南部包括铅锌矿床在内的许多金属矿床的大规模成矿作用与地幔柱活动存在密切联系。

4 结 语

根据现有资料和地球化学研究成果,笔者认为会泽超大型铅锌矿床为“均一化成矿流体贯入成矿”的产物,成矿机制简述为峨眉山玄武岩岩浆活动引发区域大规模流体运移,使膏盐层地层中的硫还原硫代硫酸和氢硫酸,并淋滤各时代地层(包括基底)中的成矿元素,携带成矿元素的流体运移至成矿流体储库发生混合、均一化和浓缩形成高度富集铅锌等成矿元素的成矿流体,沿有利构造贯入成矿。其主要依据:①矿床明显受构造控制,矿体形态不规则,矿体与围岩界线清晰,矿床为一次性成矿,矿体本身具有分异现象等均表明为贯入成矿;②矿区外围各时代碳酸盐地层成矿元素有贫化现象,成矿物质多来源,成矿流体多来源以及Pb、Sr、S、C、H、O同位素组成相对均一等表明存在大规模流体运移和成矿流体混合、均一化过程;③原生矿石组成相对简单,铅锌品位

高, 伴生有用元素多等表明成矿流体存在浓缩过程; ④ 成矿时代与峨眉山玄武岩成岩时代相近, 成矿流体(和成矿物质)具有幔源信息以及成矿动力来源等表明成矿与峨眉山玄武岩活动有密切的成因联系。虽然该成矿机制能较好的解释会泽铅锌矿的成因, 但还有待大量地质、地球化学研究工作以及成岩成矿实验来补充和完善。

会泽超大型铅锌矿床品位极富, 伴生有用元素多, 规模大, 具有极其特殊的成矿环境, 矿石本身具有巨大的经济价值, 加之川—滇—黔铅锌多金属成矿域有众多与该矿床成矿地质背景相似的

矿床(点), 深入探讨这类矿床的成矿条件和成矿机制, 总结其成矿规律, 建立其成矿模式, 揭示地幔柱—热点活动、大规模流体运移与成矿的耦合关系, 不仅对丰富现代成矿理论具有重要理论意义, 而且对指导富铅锌矿床的找矿, 提高生产部门的经济效益具有重要的现实意义。

致谢: 野外工作得到会泽铅锌矿领导的大力支持, 参加野外工作的还有昆明理工大学李元副教授、马德云博士、马更生工程师和会泽铅锌矿地质科高德荣高级工程师、吴代城工程师、赵德顺工程师, 在此一并表示感谢!

参 考 文 献:

- [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.
- [2] Han R S, Liu C Q, Huang Z L, et al. Huize Carbonate-hosted rich Zn-Pb-(Ag) District, Yunnan, China[J]. *Ore Geol Rev*, 2003 (in press).
- [3] 谢家荣. 中国矿床学总论[M]. 北京: 学术书刊出版社, 1964.
- [4] 张位及. 试论滇东北 Pb-Zn 矿床的沉积成因和成矿规律[J]. *地质与勘探*, 1984, (7): 11~16.
- [5] 陈士杰. 黔西滇东北铅锌矿床的沉积成因探讨[J]. *贵州地质*, 1986, 8(3): 41~48.
- [6] 廖文. 滇东、滇西 Pb-Zn 金属区 S、Pb 同位素组成特征与成矿模式探讨[J]. *地质与勘探*, 1984, (1): 1~6.
- [7] 赵准. 滇东、滇东北地区铅锌矿床的成矿模式[J]. *云南地质*, 1995, 14(4): 364~376.
- [8] 陈进. 麒麟厂铅锌硫化矿床成因及成矿模式探讨[J]. *有色金属矿床与勘查*, 1993, 2(2): 85~89.
- [9] Zhou C X, Wei C S, Guo J Y, et al. The source of metals in the Qilinchang Zn-Pb deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints[J]. *Econ Geol*, 2001, 96: 583~598.
- [10] 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.
- [11] 张云湘, 骆耀南, 杨崇喜, 等. 攀西裂谷[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [12] 杨应选, 管士平. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律[M]. 成都: 四川科技大学出版社, 1994.
- [13] 欧锦秀. 贵州水城青山铅锌矿床的成矿地质特征[J]. *桂林冶金地质学院学报*, 1996, 16(3): 277~282.
- [14] 张立生. 康滇地轴东缘以碳酸盐为主岩的 Pb-Zn 矿床的几个地质问题[J]. *矿床地质*, 1998, 17: 182~190.
- [15] 管士平, 李忠雄. 康滇地轴东缘铅锌矿床铅硫同位素地球化学研究[J]. *地质地球化学*, 1999, 27(4): 45~54.
- [16] 黄智龙, 陈进, 刘丛强, 等. 峨眉山玄武岩与铅锌成矿: 以云南会泽铅锌矿为例[J]. *矿物学报*, 2001, 31(4): 691~688.
- [17] Sangster D F. Mississippi Valley-type lead-zinc[J]. *Geol Surv Can*, 1996, (8): 253~261.
- [18] Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, Jones H D, et al. Rb-Sr dating of sphalerites from Mississippi Valley-type (MVT) ore deposits[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1993, 57: 417~427.
- [19] Symons D T A, Sangster D F. Palaeomagnetic age of the central Missouri barite deposits and its genetic implications[J]. *Econ Geol*, 1991, 86: 1~12.
- [20] Symons D T A, Sangster D F, Lead D L. A tertiary age from palaeomagnetism for Mississippi Valley-type zinc-lead mineralization in the Upper Silesia, Poland[J]. *Econ Geol*, 1995, 90: 782~794.
- [21] Changkakoti A J, Gray D, Krstic G L, et al. Determination of radiogenic isotopes (Rb/Sr, Sm/Nd, and Pb/Pb) in fluid waters: An example from the Bluebell Pb-Zn deposit, British Columbia, Canada[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1988, 52: 961~967.
- [22] Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, et al. Rb-Sr dating of sphalerites from Tennessee and the genesis of Mississippi Valley-type ore deposits[J]. *Nature*, 1990, 346: 354~357.
- [23] Brannon J C, Podosek F A, Melimans R K. Alleghenian age of the Upper Mississippi Valley-type zinc-lead deposit determined by Rb-Sr dating of sphalerite[J]. *Nature*, 1992, 356: 509~511.
- [24] Christensen J N, Halliday A N, Leigh K E, et al. Direct dating of sulfides by Rb-Sr: A critical test using the Polar Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1995, 59: 5191~5197.
- [25] Christensen J N, Halliday A N, Vearncombe J R, et al. Testing models of scale crustal fluid flow using direct dating of sulfides: Rb-Sr evidence for early dewatering and formation of Mississippi Valley-type deposits, Canning Basin, Australia[J]. *Econ Geol*, 1995, 90: 877~884.
- [26] 刘建明, 赵善仁, 沈浩, 等. 成矿流体的同位素定年方法评述[J]. *地球物理学进展*, 1998, 13(3): 45~55.

- [27] Halliday A N, Shepherd T J, Dicken A P, *et al.* Sm-Nd evidence for the age and origin of a MVT ore deposit[J]. *Nature*, 1990, 334: 54~56.
- [28] Chesley J T, Halliday A N, Scrivener R C. Samarium-neodymium direct dating of fluorite mineralization[J]. *Science*, 1991, 252: 949~951.
- [29] Chesley I T, Halliday A N, Kyser T K, *et al.* Direct dating of Mississippi Valley-type mineralization: Using Sm-Nd in fluorite[J]. *Econ Geol*, 1994, 89: 1192~1199.
- [30] Eichhorn R, H?ll R, Jagoutz E, *et al.* Dating scheelite stages: A strontium, Neodymium, lead approach from the Feibertal tungsten deposit, Central Alps, Austria[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1997, 61: 5005~5022.
- [31] Jiang S Y, Slack J F, Palmer M R. Sm-Nd dating of the giant Sullivan Pb-Zn-Ag deposit, British Columbia[J]. *Geology*, 2000, 28: 751~754.
- [32] Zhong S J, Alfonso M. Partitioning of rare earth elements (REEs) between calcite and seawater solutions at 25 °C and 1 atm, and high dissolved REE concentrations[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1995, 59: 443~453.
- [33] Peng J T, Hu R Z, Bumard P G. Samarium-neodymium isotope systematics of hydrothermal calcites from the Xikuangshan antimony deposit (Hunan, China): the potential of calcite as a geochronometer[J]. *Chem Geol*, 2003, 200: 129~136.
- [34] 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 云南会泽铅锌矿脉石矿物方解石 REE 地球化学[J]. 矿物学报, 2001, 31(4): 659~666.
- [35] Boven A, Pasteels P, Punzalan L E, *et al.* ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronological constraints on the age and evolution of the Permian-Triassic Emeishan Volcanic Province, Southwest China[J]. *J Asian Earth Sci*, 2002, 20: 157~175.
- [36] Zhou M F, Malpas J, Song X Y, *et al.* A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2002, 196: 113~122.
- [37] 李连举, 刘洪滔, 刘继顺. 滇东北铅、锌、银矿床矿源层问题探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 333~339.
- [38] 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(博士学位论文), 2000.
- [39] 李文博, 黄智龙, 陈进, 等. 云南会泽超大型铅锌矿床成矿物质来源: 来自矿区外围地层及玄武岩成矿元素含量的证据[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 413~416.
- [40] 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, (3): 待刊.
- [41] Huang Z L, Li W B, Chen J, *et al.* Carbon and oxygen isotope constrains on mantle fluid involvement in the mineralization of the Huize super-large Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China[J]. *J Geochem Explor*, 2003, 78/79: 643~648.
- [42] 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 川、滇、黔交界地区密西西比河谷型铅锌矿床与美国同类型矿床的对比[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21: 127~132.
- [43] Fyfe W S, Price N J, Thompson A B. *Fluids in the Earth's Crust*[M]. Amsterdam: Elsevier, 1978.
- [44] Bethke C M. Hydrological constrains on the genesis of upper Mississippi Valley mineral district from Illinois Basin brines[J]. *Econ Geol*, 1986, 81: 233~249.
- [45] Duane M J, de Wit M L. Pb-Zn ore deposits of northern Caledonides: products of continental-scale fluid mixing and tectonic expulsion during continental collision[J]. *Geology*, 1988, 16: 999~1002.
- [46] Viets J B, Leach D L. Genetic implications of regional and temporal trends in ore fluid geochemistry of Mississippi Valley-type deposits in the Ozark Region[J]. *Econ Geol*, 1990, 85: 842~861.
- [47] Deming D. Catastrophic release of heat and fluid flow in the continental crust[J]. *Geology*, 1992, 20: 83~86.
- [48] Garven G, Ruffensperger J P. Hydrogeology and geochemistry of ore genesis in sedimentary basins[A]. Barnes H L. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*[M]. New York: John & Sons, 1997, 125~190.
- [49] Johnston J D. Regional fluid flow and the genesis of Irish Carboniferous base metal deposits[J]. *Mineralium Deposita*, 1999, 34: 571~598.
- [50] 马东升. 地壳中流体的大规模流动系统及其成矿意义[J]. 高校地质学报, 1998, 4(3): 250~261.
- [51] 柳贺昌. 峨眉山玄武岩与铅锌成矿[J]. 地质与勘探, 1995, 31(4): 1~6.
- [52] 李红阳, 阎升好, 王金锁, 等. 试论地幔柱与成矿——以冀西北金多金属成矿区为例[J]. 矿床地质, 1996, 15(3): 249~256.
- [53] 牛树银, 罗殿文, 叶东虎, 等. 幔柱构造及其成矿规模[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [54] 王登红. 地幔柱与热点的成矿作用[J]. 地球学报, 1996, 17(4): 393~400.
- [55] 刘丛强, 黄智龙, 李和平, 等. 地幔流体及其成矿作用[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 231~244.
- [56] Sawkins F J. Metal deposits related to intracontinental hotspot and rifting environments[J]. *J Geol*, 1976, 84: 653~671.
- [57] Mitchell A H G, Garson M S. *Mineral Deposits and Global Tectonic Setting*[M]. [S. L.] Academic Press Geology Series, 1981.
- [58] Pirajno F. *Ore Deposits and Mantle Plumes*[M]. [S. L.] Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [59] 侯增谦, 李红阳. 试论幔柱构造与成矿系统——以三江特提斯成矿域为例[J]. 矿床地质, 1998, 17(2): 97~113.
- [60] 王登红. 地幔柱的概念、分类、演化与大规模成矿: 对中国西南部的探讨[J]. 地学前缘, 2001, 8(3): 67~72.
- [61] Xu Y G, Chung S L, Jahn B M, *et al.* Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China[J]. *Lithos*, 2001, 58: 145~168.
- [62] Song X Y, Zhou M F, Hou Z Q, *et al.* Geochemical constraints on the mantle source of the upper Permian Emeishan continental flood basalts, Southwest China[J]. *Inter Geol Rev*, 2001, 43: 213~225.

- [63] Chung S L, John B M. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary[J]. *Geology*, 1995, 23: 889~892.

SEVERAL PROBLEMS INVOLVED IN GENETIC STUDIES ON HUIZE SUPERLARGE Pb-Zn DEPOSIT, YUNNAN PROVINCE

HUANG Zhi-long¹, LI Wen-bo^{1, 2}, HAN Run-sheng³, CHEN Jin⁴

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

3. *Kunming University Science and Technology, Kunming 650093, China;*

4. *Huize Giant Zinc-Lead Deposit of Yunnan Province, Huize 654211, China)*

Abstract: The Huize superlarge zinc-lead deposit, which is located in the center of the Sichuan-Yunnan-Guizhou Zn-Pb polymetallic mineralization zone, may be a new type of Zn-Pb deposit. This type of Zn-Pb deposits is famous for their large scale, high grade and many associated trace elements. These characteristics imply that they may form in a special setting. In this paper, based on the metallogenetic age, the source of base metals and ore-forming fluid and the relationship between the Emeishan basalt and mineralization, we summarized the progress in the study of the Huize superlarge Zn-Pb deposit. The result showed that the age of this deposit is close to that of the Emeishan basalt that is distributed in Southwest China. The base metals and ore-forming fluid have several sources, which were completely mixed during leaching, migration and precipitation processes. Large-scale fluid migration in this area played an important role in Zn-Pb mineralization. Zn-Pb mineralization in this area is closely connected with Emeishan basalt magmatic activities. When homogenous fluid migrated on a large scale in host carbonate rocks, Zn-Pb ores were precipitated.

Key words: metallogenetic epoch; source of base metals and ore-forming fluid; relationship between Emeishan basalt and mineralization; Huize superlarge Zn-Pb deposit