

文章编号: 0258-7106 (2005) 03-0336-13

川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及成因*

张长青¹, 毛景文^{1,2}, 吴锁平¹, 李厚民¹, 刘峰², 郭保健¹, 高德荣³

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100027;

3 云南会泽铅锌矿, 云南 会泽 654211)

摘要 位于扬子地台西南缘的川滇黔铅锌多金属成矿区是中国重要的铅、锌、银、锗生产基地, 目前在该成矿区已经发现大、中、小型铅锌矿床和矿点 400 多处。经过对比研究, 这些矿床的赋矿围岩为震旦系—二叠系碳酸盐岩, 矿体明显受控于断裂构造, 并伴有强烈的白云岩化和方解石化, 以低温、低盐度为特征, 成矿时代可能为中生代, 成矿物质主要来自地层本身。它们为受热对流循环流体经过成矿物质萃取、搬运和卸载而成矿, 是大陆边缘造山带东侧伸展带中的产物, 属于比较典型的密西西比河谷型铅锌矿床。

关键词: 地质学; MVT 铅锌矿床; 成矿过程; 伸展; 川滇黔地区; 综述

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标识码: A

川滇黔多金属成矿区位于扬子地块西南缘, 包括黔西北、滇东北、川南部分地区, 是中国重要的铅、锌、锗、银产地之一, 其中包括银厂坡、麒麟厂、金沙厂和会理、会东一带 400 多个大、中、小型矿床及矿点。该地区早在汉代就有找矿和采矿活动, 随着社会发展, 这些活动不断扩大。该多金属成矿区与陆相峨眉山玄武岩的分布范围基本一致, 但赋矿层位全部为不同时代的碳酸盐岩, 为比较典型的密西西比河谷型 (MVT) 铅锌矿。近年来, 随着找矿工作的不断深入, 区内 Pb-Zn-Ge-Ag 矿床越来越引起人们的关注。但是目前研究程度甚低 (涂光炽, 2002), 对其成矿过程和环境有不同认识。本文比较全面地收集了区内有关资料, 并对重点矿区进行了野外调查, 首次对川滇黔多金属成矿区的几个大型铅锌矿床的区域成矿地质背景、矿床地质和地球化学特征及分布规律进行了初步总结, 并尝试探讨其成矿过程。

1 区域构造背景及矿床分布

1.1 区域构造背景

川滇黔多金属成矿区在大地构造位置上处于扬子地块曲靖台褶带西北部, 其范围为普渡河断裂以东、寻甸-宣威断裂北西的广大滇东、滇东北地区, 东面和北面分别延伸入贵州省和四川省境内。该区进一步划分为 3 个次级构造单元, 即昆明台褶束、滇东北台褶束和会泽台褶束 (云南省地质矿产局, 1990)。

川滇黔交界地区在太古宙—中元古代形成了以中、低变质岩为主的褶皱基底, 晋宁运动以后, 本区开始了被动大陆边缘演化阶段 (张云湘等, 1988), 震旦纪至三叠纪总体上处于

拉张状态, 属于地裂发展旋回 (杨应选, 1994)。晚震旦世开始, 由于古上扬子海的不断海侵, 该区出现了一个广阔的浅海台地, 形成了一套以震旦系碳酸盐岩为主的沉积地层 (夏文杰等, 1994); 寒武纪—二叠纪, 大部分地区接受沉积, 部分地区由于地壳的抬升缺失上奥陶统一石炭系沉积; 二叠纪的地幔物质上涌, 火山喷发, 形成了峨眉山玄武岩; 晚二叠世晚期至早、中三叠世又为一次海侵过程, 本区部分地区接受碎屑岩沉积; 三叠纪末期, 由于中特提斯洋壳沿金沙江向东俯冲消减, 扬子大陆边缘的攀西裂谷大幅度裂陷, 开始形成裂陷型盆地, 与此同时还发育了四川盆地; 晚三叠世末期, 随着北特提斯边缘海盆的褶皱关闭, 攀西裂谷盆地转化为内陆凹陷盆地 (张云湘等, 1988)。晚三叠世, 扬子地台西缘经历了一个由拉张到挤压的完整的构造旋回 (云南省地质矿产局, 1990); 在侏罗纪, 扬子地台西缘仍受到来自西古特提斯洋演化的强烈影响, 构造运动总的趋势是间歇性的抬升, 为大陆内部的发展阶段, 以陆相沉积为主, 属台地型沉积 (地质矿产部成都地质矿产研究所, 1987); 早白垩世, 西侧的甘孜陆块及盐源-丽江断块向攀西-滇中推覆碰撞, 形成龙门山-锦屏山造山带; 始新世时, 印度板块向欧洲大陆俯冲碰撞, 导致龙门山-锦屏山造山带进一步隆升 (王炎臻等, 2002)。

扬子地台西南缘规模巨大的峨眉山玄武岩喷溢及相伴的基性-超基性岩浆侵入, 是扬子地台演化过程中一次重大的构造-岩浆事件。峨眉山玄武岩分布于以天全、攀枝花、云南建水和贵阳 4 点围成的地域内, 假整合于茅口组之上, 在广大地区内又伏于宣威组或龙潭组之下 (四川省地质矿产局, 1991)。宋谢炎等 (2002) 根据峨眉山玄武岩的岩石组成、岩相学特征

* 本文为国家重点基础研究发展规划项目 (编号: G1999043211) 和地质调查项目 (编号: 200310200002) 资助。

第一作者简介 张长青, 男, 1975 年生, 硕士, 主要从事岩石、矿物、矿床学研究。通讯地址: 100083, 北京市海淀区学院路 29 号 S00203 信箱。Email: zcchangqing@sina.com。

收稿日期 2004-10-25; 改回日期 2005-02-20。张绮玲编辑。

将峨眉山火成岩省分为盐源-丽江岩区、攀西岩区、贵州高原岩区和松潘-甘孜岩区,峨眉山玄武岩的主喷发期大致为(251~262) Ma (Zhou et al., 2002; Lo et al., 2002),始于中泥盆世,延续到晚三叠世,它导致康定地轴再度抬升、部分古生代地层缺失和岩石圈破裂,形成了近50万平方公里的峨眉山玄武岩喷溢和近500 km的川滇基性超基性岩带,构成了著名的“西南暗色岩套”,具有多旋回中心-裂隙式喷发-喷溢的特征。扬子地台西南缘地区,中、新生代最主要的岩浆活动发生于晚三叠世早期,有中基性或碱性喷发,至晚期以大量的酸性花岗岩侵入为代表,经历了中基性到酸性的演化过程(地质矿产部成都地质矿产研究所,1987)。

1.2 矿床分布规律

川滇黔成矿区的铅锌矿床(点)分布在NS向安宁河线性断裂带(见图1之①)和石棉-小江断裂带(如图1之②)以东至北西向垭都-紫云断裂带(如图1之③)之间的地区。矿带内构造十分发育,将矿区切割成许多大大小小的断隆和断陷,组成了整个区域构造的基本轮廓。构造线方向主要为NS向,区内几条主要的NS向断层严格控制了大地构造单元的发育和发展,其次为NE向和NW向2组断裂,它们控制了次级构造单位的发育,还有EW向隐伏断裂,它们大多具有长期的、继承性活动的特点。断裂格局和主要断裂出现于晋宁期,再次强烈活动于印支期,而在燕山期受到叠加和改造。它们不仅控制了古沉积环境,而且与岩浆活动和热液成矿作用有明显的联系。大部分铅锌矿床在安宁河线性断裂带以东的台缘凹陷带中聚集,而在安宁河线性断裂的西侧,铅锌矿床(点)非常少,迄今为止尚未发现成型的矿床。铅锌矿床的空间分布格局明显受区域构造格局的严格控制。不同性质、方向、级别的构造,分别控制着不同级别、方向及几何形态的矿带、矿床及矿体,是构造分级控矿的结果。受控于石棉-小江断裂的NS向矿带及NE向、NW向断裂的铅锌矿带,其线性分布较明显(图1),而在近EW向构造矿带中则以散点状分布,这可能是由于铅锌矿主要是在不同方向褶皱、断裂的交汇部位及近NS向与近EW向构造的交汇点富集形成的(刘文周等,1996)。

2 Pb-Zn(-Ge-Ag)矿床地质

2.1 赋矿层位

川滇黔成矿区的绝大多数铅锌矿床产于厚的碳酸盐岩地层中,白云岩为最主要的赋矿岩石,赋矿层位为震旦系至二叠系。

震旦系碳酸盐岩为主要赋矿地层,上部为碳酸盐岩台地潮坪相的稳定-次稳定系列内源干旱型中厚层粉晶-细晶白云岩,及含硅质条带细晶白云岩,为含矿层;中部为次稳定系列干、湿型藻白云岩;下部为藻礁白云岩(赵准,1995)。主要分

布于永善、巧家及东川地区。震旦系中的大型矿床有巧家茂租、会东大梁子、会理天宝山,中型矿床有永善金沙厂、会泽五星厂、宁南银厂沟、鲁甸乐红,小型矿床5处。

下寒武统梅树村组、渔户村组主要为白云岩、含磷白云岩、白云岩夹燧石条带。该地层中分布的矿床规模一般不大,主要分布于永善、东川地区,大多与震旦系矿体共生。

中泥盆统曲靖组 and 上泥盆统格组,主要为碳酸盐岩台地潮坪相的稳定系列内源干、湿白云岩、灰岩及碎屑岩,主要分布于昭通、彝良、鲁甸、及昆明华宁等地,产出彝良毛坪中型铅锌矿床,小型矿床2处。

下石炭统摆佐组主要为台地边缘浅滩相晶质白云岩、异地碳酸盐岩建造(赵准,1995)。主要分布于滇东、滇东北地区。产出有会泽矿山厂、麒麟厂大型矿床及小型矿床8处。

下二叠统栖霞茅口组也是主要的赋矿层位,为浅海-广海碳酸盐岩建造,产出罗平富乐厂中型矿床,小型矿床3处。

此外,中奥陶统宝塔组、中上奥陶统大箐组、中志留统石门坎组等层位,都赋存有铅锌矿床,含矿层位均为碳酸盐岩。

2.2 区域背景及控矿构造

MVT(密西西比河谷型)矿床是一类主要赋存于白云岩中以铅锌为主要矿产的后生热液矿床。在空间上基本分布于古老克拉通的边缘及内部(Brabbon et al., 1992; Eisenlohr et al., 1994; Ramboz et al., 1988)。川滇黔多金属成矿区处于扬子地台西南缘,为克拉通边缘地带,这与世界其他地区的MVT铅锌矿床所处的地质背景相似。矿床在构造上主要受褶皱和断层的控制,主要分布于向斜和背斜的轴部、翼部以及断层的两侧部位(图1、表1)。

二级深大断裂的交汇地段及区域性背斜的倾伏端控制矿群或矿田的分布,例如:在宁南、巧家地区的矿床位于SN向小江断裂和NW向则木河断裂的交汇地带;会泽矿群位于小江断裂和NE向的威信-会泽断裂、金牛厂断裂的交汇地段^①。褶皱和断裂的复合部位或构造破碎带往往是良好的定位空间。如天宝山矿床受控于天宝山复式向斜SE翼的次一级倾伏背斜和SN向益门断裂派生的NW向隐伏断裂的复合部位(王小春,1992);金沙厂矿床位于巧家-莲峰二级深大断裂派生的金沙逆断层与金盆短轴背斜倾伏端的交汇处,矿化在背斜轴部和倾伏端最强;茂租矿床位于巧家-莲峰二级深大断裂派生的茂租断裂和甘树林复式向斜的复合部位;大梁子矿床则位于断裂所造成的地堑式破碎带中(林方成,1994)。层间构造和断裂是有利的储矿空间,层状矿体是矿化沿层间滑动、层间虚脱和层间破碎带发育造成的,矿体形状基本上与地层产状一致;脉状矿体则是矿液沿次级断层充填交代而成(刘文周等,1994)。

2.3 矿体特征

铅锌矿体多呈脉状、似层状、透镜状、扁豆状、囊状产于白

^① 黄智龙,李文博,韩润生,等. 2003. 云南会泽超大型铅锌矿床成因研究中地几个问题[A]. 峨眉山幔柱与资源环境效应研讨会文集[C]. 17~25.

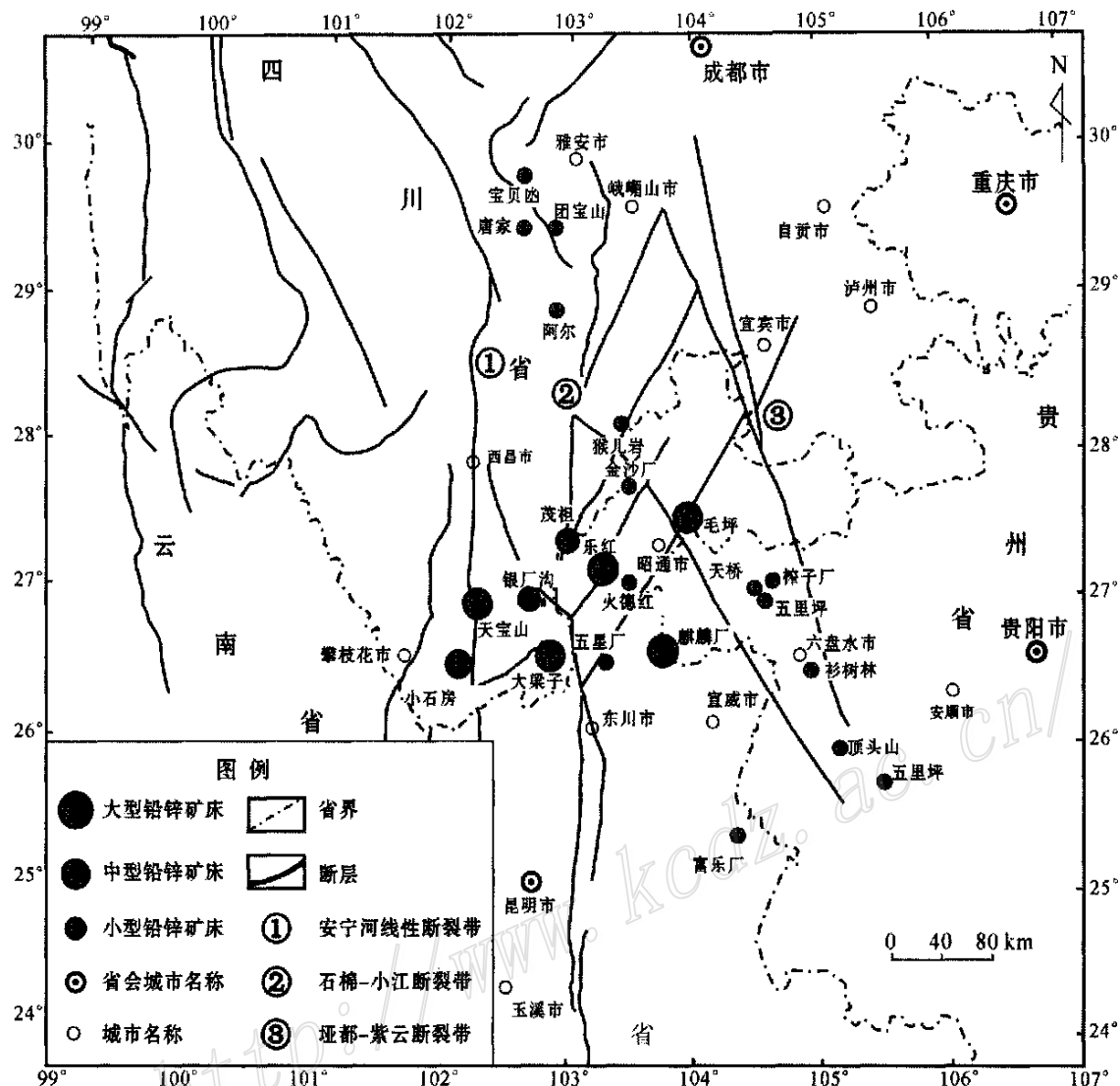


图 1 中国川滇黔地区主要铅锌矿床分布图 (据骆耀南, 2002^① 修编)

Fig. 1 Distribution of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area (modified from Luo Yaonan, 2002^①)

云岩中,产状分为 2 种:一种为切层筒柱状、脉状,倾角一般大于 60° ,如天宝山、大梁子等矿床;另一种为似层状矿体,顺层产出,一般倾角在 $10^\circ \sim 30^\circ$ 之间,如矿山厂、茂租等矿床。矿体形态一般简单,走向为数百米,少数可达数千米,矿床铅锌品位变化较大,可从百分之零点几到百分之四十几不等。

2.4 矿石特征

矿石组分及共生矿物组合简单,不同时代围岩中铅锌矿床的矿物组分有所不同,上震旦系灯影组的矿床以闪锌矿为主,普遍含硅质、重晶石,黄铁矿较少;泥盆系-石炭系的矿体除闪锌矿外,普遍见黄铁矿,重晶石含量较少。矿石矿物主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、菱锌矿、辉铜矿等;脉石矿物主要

为方解石、白云石、重晶石、石英、玉髓、萤石等。矿石具粒状、胶粒状、晶粒状等结构和浸染状、块状、条带状、脉状、团块状、斑点状等构造。矿石中金属组分比较简单,主要为锌,其次为铅,共生组分为硫,伴生组分有锗、铜、镓、银等;另有微量铋、砷、金。矿床富铅或富锌,一般锌高于铅,比值为 $1:2 \sim 1:15$,矿石铅品位一般 $0.5\% \sim 5.5\%$,锌品位为 $1\% \sim 11\%$ (表 1)。

2.5 矿化蚀变类型

热液蚀变轻微的矿床中矿体与围岩同步褶皱,矿体与围岩界线不明显;受断裂、裂隙等控制的矿体与围岩界线较明显,一般围岩蚀变较弱。对于不同时代的含矿围岩,其蚀变强弱和类型基本相似,主要有白云岩化、黄铁矿化、方解石化、硅

① 骆耀南,傅德明,何虹. 2003. 峨眉山地幔柱活动的成矿作用及其成矿系列. 峨眉山地幔柱与资源环境效应学术研讨会文集. 99~100.

表 1 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床地质特征表

Table 1 Geological characteristics of the MVT deposits in Sichuan-Yunan-Guizhou area

矿床名称	矿体规模	地层及围岩岩性	构造位置	矿体形态	矿物及矿石品位	脉石矿物	围岩蚀变	资料来源
天宝山	超大型	震旦系灯影组中段上部白云岩	天宝山 EW 向短轴向斜轴部	脉状	闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、毒砂、重晶石 品位: 铅 0.81%, 锌 9.84%	石英、方解石、白云石、沥青	白云岩化、硅化、绢云母化、碳酸盐化、局部黄铁矿化及绿泥石化	王晓春, 1992
大梁子	超大型	震旦系灯影组白云岩	凉山褶皱带东南角和东川台拱西北交接部位	陡脉状、脉状、网状、透镜状	闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿 平均品位: 铅 0.77%, 锌 1.5%	石英、方解石、白云石、高岭石	硅化、碳酸盐岩化、黄铁矿化	朱楠民等, 1995a
宁南银厂沟	中型	震旦系灯影组中上段白云岩	麒麟沟背斜南端接近倾没处	似层状、脉状	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、重晶石 品位: 铅 3.23%, 锌 1.72%	石英、白云石	①	
乐红	中型	上震旦统灯影组硅质白云岩		似层状、裂隙充填、断裂充填、浸染矿床	闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、黑铅矿 品位: 铅 2.78% ~ 4.26%, 锌 3.33% ~ 4.71%	重晶石	② 蚀变退色、褐铁矿化、黄铁矿化、重晶石化、白云石化	
银厂	小型	震旦系灯影组、下寒武统渔户村组白云岩和粉砂岩	雨碌构造带中部, 待补断层西侧	似层状、脉状	方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、重晶石、石英 品位: 铅 1.22% ~ 3.77%, 最高可达 24.64%	白云石、石英	③	
金沙	中型	震旦系灯影组顶部、下寒武统渔户村组白云岩、白云岩夹磷块岩及燧石条带	莲峰断裂之东侧, 去那为一近东西向短轴背斜, 南翼为一 EW 向断层的切割	透镜状或似层状	方铅矿、闪锌矿、白铅矿、黄铜矿、重晶石、萤石 品位: 铅 1.56 ~ 7.14%; 锌 2.136 ~ 10.76%	石英、白云石、萤石	⑤ 萤石化	
雨碌	小型	下寒武统渔户村组和上震旦统灯影组白云岩	雨碌构造带中部, 背斜逆断层和 NW、NE 两组次级裂隙为控矿构造	似层状、透镜状、浸染状	黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、重晶石 品位: 铅 1.97%, 锌 4.85%	白云石、石英	③	
五星厂	中型	震旦系灯影组、下寒武统渔户村组白云岩	五星厂背斜的北东端倾没部分	扁豆状、脉状	铅矾、铅铁矾、矽钙铅矿、白铅矿、磷氯铅矿、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、重晶石 品位: 铅 1.56 ~ 7.14%; 锌 2.136 ~ 10.76%	白云岩、石英、玉髓、方解石	④	
白银厂	小型	下寒武统龙王庙组下部灰岩	西溪河断层面东部的一个短轴背斜内	似层状	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、氧化矿、铅矾、白铅矿、重晶石 品位: 铅 0.40% ~ 8.64%, 锌 2.0% ~ 4.2%	石英、萤石、方解石	⑤ 白云岩化为主, 重晶石化、硅化、萤石化次之	
打洛	小型	上奥陶统大箐组白云质灰岩	耿堡向斜西翼	似层状	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、白铅矿、铅矾、重晶石 品位: 铅最高 17.12%, 最低 2.73%, 平均 7.79%	白云石、石英、方解石	⑤ 白云岩化、硅化、重晶石化	
宁南松林	小型	志留系中统石门坎组中上部白云岩	NNW 向背斜之两翼	似层状、脉状	闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、重晶石 品位: 铅 2.75% 锌 1.77%	石英、萤石	① 黄铁矿化、重晶石化、硅化	
蟒坝	中型	中泥盆统独山组白云岩、下二叠统茅口组白云岩、结晶灰岩	坝都断裂带中	透镜状、脉状、层状	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、白铁矿 品位: 铅 3.75% 锌 2.51%	白云岩、方解石、石英	⑥ 白云岩化、褐铁矿化、黄铁矿化、方解石化、硅化、角闪石化	
火德红	小型	中泥盆统曲靖组白云质灰岩	鲁甸-火德红背斜轴部	扁豆状、透镜状	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、白铅矿、黄铁矿 品位: 铅含量很少, 锌 0.23% ~ 25%	白云石、方解石	② 白云岩化、退色现象	

续表 1-1
 Cont. Table 1-1

矿床名称	矿体规模	地层及围岩岩性	构造位置	矿体形态	矿物及矿石品位	脉石矿物	围岩蚀变	资料来源
朱砂厂	小型	上泥盆统白云岩、下石炭统大塘组燧石灰岩和腰佐组白云岩	垣都-蟒河断裂层西段南东盘次一缓褶皱小倾伏背斜的轴部	似层状、陡脉状	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿 品位: 铅 0.95%, 锌 3.81%, 铜 4.40~12.42%	白云岩、方解石、石英	白云岩化、褐铁矿化、黄铁矿化、方解石化、硅化、角砾化	⑥
毛坪	中型	泥盆、石炭结晶白云岩、灰岩、蚀变粗晶白云岩	长发背斜东倾段东端	扁豆状、透镜状、不规则状	硫化矿: 方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、重晶石、氧化矿: 白铅矿、菱锌矿、褐铁矿、水锌矿、硅铈矿、铅矾、异极矿、铜矿物 品位: 铅 0.58%~10.72%, 一般 1.0%~5.0%; 锌 2.15%~21.53%, 一般 2.0%~10.0%	白云石、粘土矿物	白云岩化、黄铁矿化、重晶石化、硅化	⑤
放马坝	矿点	下石炭统腰佐组灰岩白云岩互层之间	管门背斜北端转折处、新寨断层的东盘	小囊状、扁豆状	方铅矿、闪锌矿、菱锌矿、白铅矿、黄铁矿、重晶石 品位: 0.32%~18.59%, 锌 0.9%~38.57%	方解石	白云岩化、黄铁矿化、重晶石化、硅化	⑤
大寨山	矿点	上泥盆统细-中粒白云岩	百草坪背斜南段东翼近转折端	小扁豆状矿体群	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铅矿、重晶石 品位: 铅 0.1%~8.15%, 最高 14.53%; 锌 0.1%~18.57%	方解石、白云石	白云岩化、黄铁矿化、重晶石化、硅化	⑤
矿山厂	超大型	下石炭统腰佐组粗粒结晶白云岩	矿山厂背斜、矿山厂逆断层和东头断裂及伴生的羽状微断层	透镜状	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿 品位: 铅 0.50%~44.05%, 平均 2.04%; 锌 3.00%~46.52%, 平均 11.10%	方解石、白云石、石英	白云岩化	④
麒麟厂	超大型	下石炭统腰佐组粗粒结晶白云岩	雨碌断裂带的北东部, 麒麟厂断裂的上盘	透镜状	方铅矿、闪锌矿、白铅矿、菱锌矿 品位: 铅 0.30%~43.76%, 平均 7.88%; 锌 0.50%~44.13%, 平均 14.04%	方解石、石膏	白云岩化	⑦
银厂坡	小型	下石炭统腰佐组粗粒结晶白云岩	雨碌断裂带的北东部, 麒麟厂断裂的上盘	透镜状、囊状及不规则状	方铅矿、白铅矿、铅矾、菱锌矿、异极矿 品位: 铅 1.63%~16.18%, 锌 1.30%~2.38%	白云石、方解石、石英	白云岩化	⑧
猫猫厂	小型	下石炭统大塘组和腰佐组蚀变白云岩	最高峰背斜中段之北东翼	似层状、透镜状、陡脉状	白铅矿、菱锌矿、水锌矿、方铅矿、闪锌矿、重晶石 品位: 铅 0.63%~5.25%, 平均 2.80%; 锌 2.69%~9.00%	白云石、石英、方解石	白云岩化、褐铁矿化、黄铁矿化、重晶石化、角砾化、硅化、角砾化	⑥
棒子厂	小型	下石炭统腰佐组白云岩	垣都-蟒河断裂带及天桥地区之氧化铅锌矿床附近	似层状、陡脉状	砂矿: 白铅矿、水锌矿、菱锌矿、异极矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、褐铁矿、及少量磷氯铅矿 品位: 铅 0.31%~4.36%, 一般 1.5%~3.5%, 矿床平均品位 2.36%; 锌 1.35%~8.07%, 一般 2%~6%, 矿床平均 4.76%	方解石	白云岩黄铁矿化	⑥
天桥	小型	下石炭统大塘组上段灰岩、腰佐组结晶白云岩化灰岩		似层状、陡脉状、囊状	氯化矿: 方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿(少量)、白铅矿、菱锌矿、水锌矿、褐铁矿 品位: 铅 3.67%~8.82%, 平均 5.83%; 锌 3.67%~8.82%, 平均 13.15%	方解石、白云石、石英	白云岩化、黄铁矿化、硅化褐铁矿化等	⑥
张口洞	小型	下石炭统腰佐组白云石	张口洞-王家寨背斜北西段的北东翼	透镜状	砂矿: 方铅矿、白铅矿、菱锌矿、水锌矿、褐铁矿、黄铁矿 品位: 铅 1.06%~3.17%, 平均 2.12%; 锌 3.54%~5.17%, 平均 4.02%	白云石、石英	白云岩化	⑤
					原生矿: 方铅矿、闪锌矿、黄铁矿。平均品位: 铅 0.15%, 锌 4.20% 砂矿: 白铅矿、菱锌矿、水锌矿、异极矿、重晶石、石英 品位: 铅 0.26%~4.62%, 平均 1.45%; 锌 0.55%~5.77%, 平均 5.00%			

续表 1-2
Cont. Table 1-2

矿床名称	矿体规模	地层及围岩岩性	构造位置	矿体形态	矿物及矿石品位	脉石矿物	围岩蚀变	资料来源
白蜡厂	小型	下石炭统大塘组及厘佐组白云质灰岩、灰岩	构造位置	似层状、陡脉状	似层状矿体: 铁菱铁矿、黄钾铁矾等;陡脉状矿体:菱铁矿、异极矿、水锌矿、白铅矿、褐铁矿等 砂矿: 含铅锌褐铁矿、铁菱铁矿、黄钾铁矾 闪锌矿、方铅矿、黄铁矿及少量的水锌矿、菱铁矿、方铅矿、褐铁矿、重晶石 透辉状矿体:菱铁矿、白铅矿、方铅矿、闪锌矿 品位:铅0.02%,锌1.10% 砂矿:菱铁矿、白铅矿、方铅矿 品位:铅2.03%,锌4.00%	白云石、方解石	白云岩化、角砾化、方解石化	⑥
草子坪	小型	下石炭统厘佐组白云岩	蟒洞逆断层与草子坪逆断层相交处	似层状、陡脉状		方解石、石英、白云石	白云岩化、硅化、黄铁矿化、褐铁矿化	⑥
江子山	小型	下石炭统厘佐组白云岩和石灰岩	最高峰背斜中段之北西段,南西翼产于NW向逆断层南西盘的层间破碎带	小透辉状、囊状		方解石、白云石、石英	白云石化、角砾岩化及黄铁矿化	⑥
埡都	小型	下二叠统栖霞茅口组微细晶灰岩	埡都-蟒洞逆断层北西侧	似层状、脉状	似层状矿体: 菱铁矿、水锌矿、白铅矿、异极矿、铅矿、褐铁矿、针铁矿、孔雀石 平均品位:铅0.13%,锌13.48% 砂矿: 白铅矿、方铅矿、铅矿、异极矿、菱铁矿、闪锌矿、水锌矿、石英。品位:铅1.01%~4.43%平均2.00%;锌1.57%~5.62%,平均5.00% 菱铁矿、水锌矿、白铅矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、重晶石、褐铁矿 品位:铅0.99%~3.50%,平均1.46%;锌3.22%~13.30%,平均5.49%	方解石、白云石、石英	白云岩化、硅化、褐铁矿化等	⑥
飞来石	小型	下二叠统栖霞组浅灰色斑点状微晶灰岩	埡都逆断层大致平行的次级逆断层	陡脉状		褐铁矿	方解石化、黄铁矿化、退色现象	⑥
野都古	小型	下二叠统栖霞组灰、深灰色细粒结晶灰岩	控矿构造为走向正断层,走向与断层产状一致	陡脉状	陡脉状矿体:水锌矿、菱铁矿、白铅矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、褐铁矿等 平均品位:铅1.76%,锌6.85% 砂矿:方铅矿、闪锌矿、水锌矿。平均品位:铅1.12%,锌4.42%	方解石	方解石化、黄铁矿化、退色现象	⑥
罗马厂	小型	下二叠统栖霞茅口组白色、浅黄色白云岩化结晶灰岩	罗马厂断裂带两侧	透辉状、扁豆状、似层状、裂隙脉状	方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、黄铁矿、磁铁矿 品位:铅0.06%~3.84%,锌3.71%	白云石	白云岩化、褐铁矿化	②

① 地质部四川省地质局, 1966. 区域地质测量报告. 1:20 万米易幅; ② 云南省地质局, 1978. 区域地质调查报告. 1:20 万普甸幅; ③ 会泽铅锌矿最终储量报告书; ④ 云南省地质局, 1980. 区域地质调查报告. 1:20 万东川幅; ⑤ 地质部四川省地质局, 1966. 区域地质测量报告. 1:20 万昭通幅; ⑥ 贵州省革命委员会地质局, 1973. 区域地质调查报告. 1:20 万威宁幅; ⑦ 会泽县铅锌矿勘探队, 1966. 麒麟厂补充勘探储量计算说明书; ⑧ 贵州威宁县银厂坡铅锌矿区地质普查简报, 1969.

化、粘土化、重晶石化和绿泥石化。

3 矿床地球化学

3.1 成矿流体特征

成矿流体以中低温为主,这些矿床的形成温度在 90 ~ 240 ℃之间,矿床主成矿阶段的形成温度比较低,并且十分接近,大多在 140 ~ 190 ℃之间,中等盐度〔w(NaCl_{eq}) 4.2 % ~ 13.5 %〕(周朝宪,1998;林方成,1994;陈启良,2001;王小春,1992),属于典型的低温、中等盐度矿床。成矿流体组分中,Na⁺、Ca²⁺、F⁻、Cl⁻等离子含量较高,而且 Na⁺ > K⁺、Ca²⁺ > Mg²⁺、Cl⁻ > F⁻,气相组分主要为 H₂O、CO₂、CO、CH₄、H₂,成矿流体为 Na⁺-Cl⁻-Ca²⁺-Mg²⁺型(王小春,1990;1992;刘文周,1998;林方成,1994)。矿床的成矿流体具有密西西比河谷型成矿流体的特征。

3.2 同位素地球化学

铅同位素组成特征(表 2)表明,川滇黔地区铅同位素范围²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 为 17.98 ~ 26.95,大部分处于 17.89 ~ 19.0 之间,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 为 15.20 ~ 23.02,主要集中在 15.51 ~ 15.90 之间,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 为 37.3 ~ 57.31,主要集中在 37.3 ~ 39.00 之间,从单个矿区看,大部分矿区铅同位素分布相对稳定,属单阶段铅。但从整个矿区来看,铅同位素的变化范围很大,与密西西比河谷型铅锌矿床的铅同位素特征相类似。

普通铅模式年龄,不管是单阶段模式、两阶段模式、多阶段模式,还是后来发展的构造铅模式和动态连续演化模式,都是假设铅来自某一特定的源地,具有特定的初始铅同位素比值,并在特定的 U-Pb 环境中演化。但是,这种关于源区和演化路径的假设都是十分不确切的,选择不同的模式就能得出截然不同的年龄和地质解释,随意性太大,对于密西西比河谷型这一开放的多源区矿床更是如此(刘建明等,1998)。将各铅同位素投影到²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 坐标图上,投影点分 3 部分,其中一部分落入上地壳平均演化线附近,属壳源铅、

放射性铅、异常铅;本区部分的样品落入造山带演化线下部;个别样品位于地幔铅范围(图 2)。表明本区的铅源复杂,以壳源为主导,造山带铅次之。由于晚二叠世峨眉山玄武岩的喷发,及晚三叠世早期的中基性或碱性喷发至晚期大量的酸性岩的侵入,深部物质(含幔源物质)随岩浆的喷溢或侵入上升,形成该区大面积的峨眉山玄武岩沉积,中基性到酸性岩的就位,为该区矿床的形成提供了金属来源,成为该区的矿源层之一;造山运动使得不同源区的铅混合,导致了本区铅同位素复杂的特点。

矿石中黄铁矿的 δ³⁴S 为 -10.5 ‰ ~ 22.1 ‰,变化范围较大,方铅矿和闪锌矿的硫同位素除天宝山铅锌矿外,δ³⁴S 主要范围分别为 9.9 ‰ ~ 13.2 ‰和 10.7 ‰ ~ 15.1 ‰(表 2、图 3),

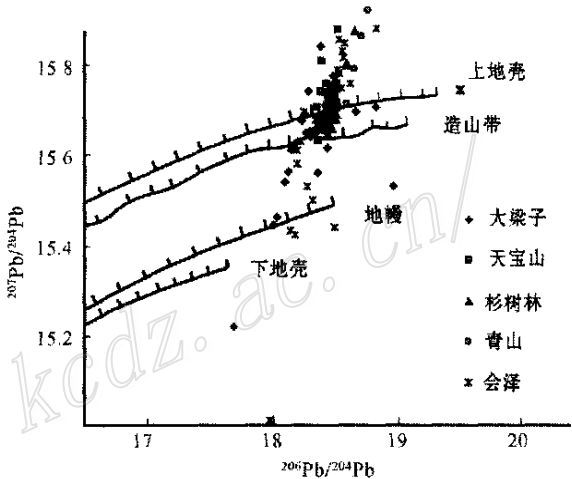


图 2 川滇黔地区主要铅锌矿床铅同位素演化曲线图(据底图 Zartman 等,1988)
Fig.2 Lead isotopic evolution curves of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area (from Zartman et al.,1988)

表 2 川滇黔地区主要铅锌矿床铅、硫同位素组成

Table 2	Lead and sulfur isotopic composition of minerals from the lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area			
	茂祖	麒麟厂	天宝山	大梁子
方铅矿 ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	17.98 ~ 18.154	18.25 ~ 18.50	18.11 ~ 26.95	18.00 ~ 19.00
方铅矿 ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	15.47 ~ 15.63	15.66 ~ 15.86	15.51 ~ 23.02	15.20 ~ 15.90
方铅矿 ²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	38.01 ~ 38.22	38.49 ~ 39.00	38.03 ~ 57.31	37.30 ~ 39.00
铅模式年龄/ Ma	300 ~ 1485	19 ~ 277 ^②	193 ~ 1230	91 ~ 478
方铅矿 δ ³⁴ S/ ‰	11.9 ~ 12.6	10.6 ~ 13.2	-2.2 ~ 4.9	9.9 ~ 11.5 ^①
闪锌矿 δ ³⁴ S/ ‰	10.7 ~ 14.1	11.4 ~ 15.1	1.3 ~ 8.1	12.0 ~ 14.4 ^①
黄铁矿 δ ³⁴ S/ ‰	-10.5 ~ 19.9 ^①	10.6 ~ 15.8	11.6 ~ 22.1	-8.1 ~ 15.1 ^①
资料来源	刘文周,1989	韩润生等,2001	王小春,1992	朱赖民,1995b

注:①据陈启良,2001;②据孙志伟,1998。

● 四川省冶金地质勘探公司 604 队,1984.四川会东大梁子铅锌矿详探报告。

大多数为正值,负值和接近零值的样品较少,基本上与同期海水硫酸盐相同或接近,说明成矿的硫主要来自海水,属泻湖、海湾、潮坪、泻湖-潮坪交替的沉积环境,矿床硫源主要为同时代海水硫酸盐(柳贺昌,1996)。天宝山矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值较低,可能为细菌还原作用所致。

本区矿石矿物和脉石矿物的碳和氧同位素值范围分别为 $\delta^{13}\text{C}$ - 4.6 ‰ ~ - 2.0 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ 14.46 ‰ ~ 18.7 ‰,而围岩方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ - 3.6 ‰ ~ 1.1 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ 22.1 ‰ ~ 23.6 ‰(表 3),表明矿石由热液卸载而成,类似于南岭地区与花岗岩有关的脉状钨锡矿床(毛景文等,1988),但有更多的围岩物质加入到成

矿系统。而围岩碳酸盐岩明显为沉积而成,与其他地区的碳酸盐岩的碳氧同位素组成基本相同(图 4)。

本区(会泽铅锌矿床除外)矿石矿物和脉石矿物流体包裹体氢、氧同位素值范围分别为 $\delta^2\text{H}$ O - 8.21 ‰ ~ 10.08 ‰, δD - 40.3 ‰ ~ - 94.3 ‰(表 3),大部分位于大气降水、岩浆水和变质水之间,并且更加靠近大气降水,说明该地区的氢氧同位素主要来自大气降水(图 5)。会泽矿区的方解石流体包裹体氢同位素值范围与围岩接近,方解石氧同位素值略低于围岩的氧同位素值(黄智龙,2001a),这可能与成矿流体和围岩的水-岩反应和交换作用有关。

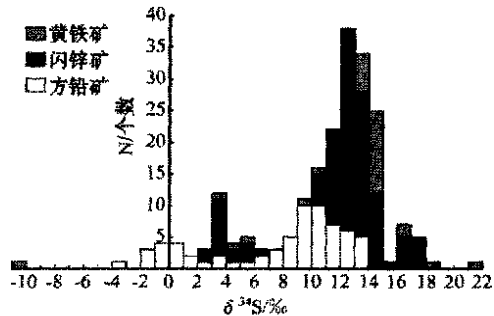


图 3 川滇黔地区主要铅锌矿床硫同位素直方图
Fig.3 Sulfur isotopic histogram of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area

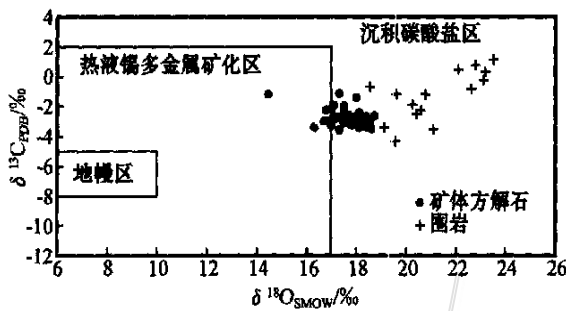


图 4 川滇黔地区部分铅锌矿床 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图
Fig.4 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ diagram of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area

表 3 川滇黔地区主要铅锌矿床碳氢氧同位素

Table 3 Carbon and oxygen isotope data from the lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area						
矿床	矿物	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ / ‰	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ / ‰	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ / ‰	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ / ‰	资料来源
茂祖	闪锌矿	- 54.9		- 6.73		阚梅英等,1993
茂祖	萤石	- 47.9		- 5.45		阚梅英等,1993
金沙	萤石	- 94.3 ~ - 62.5		- 8.21 ~ - 6.39		阚梅英等,1993
会泽	方解石	- 75.0 ~ - 43.5	14.46 ~ 18.7	3.84 ~ 10.08	- 3.6 ~ - 2.0	黄智龙,2001a;刘峰*;韩润生,2001
会泽	围岩		22.1 ~ 23.6		- 3.6 ~ 1.1	黄智龙,2001a;刘峰*
天宝山	闪锌矿	- 47.6		- 1.68		王小春,1992
大梁子	闪锌矿	- 73.2 ~ - 40.3		- 2.89 ~ 3.31		Wang, 2004;杨应选,1994

注：* 刘峰,未发表资料,为会泽铅锌矿麒麟厂 1571 中段样品碳氧同位素数据。

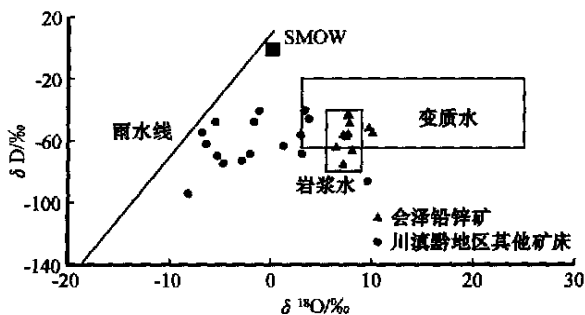


图 5 川滇黔地区部分铅锌矿 δD - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图
Fig.5 δD - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ diagram of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area

4 矿床成矿过程讨论

4.1 川滇黔成矿区铅锌矿床特征

综合以上分析,川滇黔多金属成矿区的铅锌矿床具有以下特征,形成时期为中侏罗世,为古特提斯向欧亚大陆俯冲碰撞时期;该区的矿床形成与构造碰撞有关,铅锌矿床多产于厚的碳酸盐岩地层之中,具有明显的岩控特征;各矿床均受断层控制,矿体产于构造空间;这些矿床都具有后生成矿的特点;赋矿层位多,震旦系至二叠系均有分布,时控特征不显著;矿物组合简单,主要有闪锌矿(含铁较低)、方铅矿、黄铁矿(白铁矿)、萤石、重晶石、白云石、方解石、石英等,矿物颗粒一般较大。矿床富铅或富锌,一般锌高于铅,大部分矿床具有银异

常。如云南鲁甸乐马厂以前以产铅锌为主,现转为以开采银矿为主。一些矿床还含有具经济意义的锗、镉、铟、铊等稀散元素。矿床中闪锌矿、重晶石、方解石、萤石的流体包裹体均一温度较低,中等盐度。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{34}\text{S}$ 、 δD 等同位素特征表明成矿物质和成矿流体来源为各时代的围岩地层和同时代的海水硫酸盐。以上特征均与 MVT 型铅锌矿床的特征(周朝宪,1998)相符合,说明该区的铅锌矿床为典型的密西西比河谷型铅锌矿床。

4.2 成矿时代

铅锌矿床定年一直是国内外地学界的一道难题,到目前为止,关于川滇黔铅锌多金属成矿域的准确可靠的年代学数据较少。不同学者根据地质和区域铅锌矿床 Pb 同位素模式年龄对该区的成矿时代有不同的认识,张云湘等(1988)认为包括会泽铅锌矿在内的滇东北铅锌矿带为多期成矿的产物,主成矿期为海西晚期和燕山期;杨应选等(1994)、柳贺昌等(1999)认为主成矿期形成于海西晚期和印支期-燕山期;欧锦秀(1996)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;王奖臻等(2001)认为川、滇、黔交界地区的 MVT 矿床成矿时代应为晚燕山期,周朝宪(1998)认为麒麟厂铅锌矿形成于喜马拉雅期。张立生(1997)认为滇东北地区的成矿作用发生于晚二叠世,管士平等(1999a)通过铅同位素年龄分析推测成矿年龄为 245 Ma。铅同位素模式年龄已经被证明代表成矿物质来源源区的年龄,不代表成矿时代。由于这些铅锌矿与峨眉山玄武岩分布范围大致吻合,黄智龙(2001b)推测会泽铅锌矿的成矿年龄应该与峨眉山玄武岩基本相同,进而对该矿区六号矿体和一号矿体中方解石进行 Sm-Nd 同位素测年,得到等时线年龄分别为(227±18) Ma 和(225±41) Ma(李文博,2004)。尽管如此,这两组年龄数据仍然与峨眉山玄武岩的年龄(251~262) Ma(Zhou et al., 2002; Lo et al., 2002; 张招崇等,2002)差别明显。况且这种测年方法仍然在探索之中,其可靠性和可重复性有待检验。

通过野外反复调查研究,笔者注意到会泽铅锌矿麒麟矿坑 1710 中段矿体中泥质岩石在矿化时形成以伊蒙间层为主的蚀变岩石。笔者通过对脉石蚀变粘土矿物的精选,挑出高纯度伊蒙间层岩石(伊利石),进行 K-Ar 方法测年。样品处理方法分为以下步骤:①用电子探针测试样品矿物成分;②将挑选出的粘土矿物样品,使用扫描电镜和 X 射线衍射技术进行粘土矿物特征研究;③应用真空抽滤并结合沉降分离和离心分离进行自生伊利石分离提纯,获得样品粒度为 0.3~0.15 μm;④检测钾含量,由国家地质试验中心用原子吸收分光光度法测定,所用仪器为北京市第二光学仪器厂生产的 SH1 AAS9442 原子吸收光谱仪,方法为酸溶法,测量误差小于 0.1%(张有瑜等,2001);⑤XRD(X 射线衍射分析)纯度检

测,利用 XRD 峰值特征可将碎屑伊利石和自生伊利石区分开来(张有瑜等,2001)。

结果获得(176.5±2.54) Ma 的年龄数据(张长青等,2005),这一数据比较准确地反映出成矿时代,与朱炳泉等(2005)测定鲁甸玄武岩铜矿中阳起石蚀变年龄(164.7±5.2) Ma(Ar-Ar 法)相似,表明这两种不同类型的矿化形成于同一地质事件(毛景文等,2005)。

4.3 成矿物质来源

目前对区内铅锌矿的成矿物质来源的认识并不统一,廖文(1984)、陈进(1993)、柳贺昌等(1999)、韩润生等(2001)认为成矿物质主要来自碳酸盐岩地层和峨眉山玄武岩;李文博等(2002)认为主要来自各时代碳酸盐岩地层;余明烈(1993)、林方成(1995)、邵世才(1996)、胡耀国(2000)的观点是成矿物质主要来自区域寒武纪基底(如坤阳群等);周朝宪(1998)认为它们主要来自早震旦纪火山岩;李连举(1999)则认为来自上震旦统、下寒武统、中泥盆统、石炭系;而黄智龙(2001b)持其主要来自碳酸盐岩、峨眉山玄武岩、基底地层等多来源的观点。根据矿体及围岩的常量元素、微量元素和铅、硫同位素以及稀土元素资料,认为该区成矿物质主要来自上部地壳和造山带各种沉积围岩地层,含矿地层、基底岩石和沉积盖层可能均提供部分成矿物质,深部来源较少。矿石矿物和脉石矿物的均一温度都较低,范围在 120~200℃之间,说明成矿温度较低,成矿流体以大气降水和海水为主。饶有趣味的是一些铅锌矿床(例如金沙厂、茂租等矿床)具有高含量放射成因铅,与美国中西部 MVT 铅锌矿相似(Sverjensky, 1986)。

4.4 成矿过程认识

川滇黔以碳酸盐岩为容矿岩石的铅锌矿床在 20 世纪 50~60 年代被认为是岩浆热液成因的(谢家荣,1964);80~90 年代各种矿床成因模式纷纷建立,如典型的沉积(张位及,1984)和沉积改造(廖文,1984;陈士杰 1986;赵准,1995)、沉积-改造-叠加(陈进,1993)、沉积-改造-后成(柳贺昌,1999)、构造成矿(刘文周,1996)等,还有持与峨眉运动密切相关(管士平等,1999b)及密西西比河谷型铅锌矿床(王小春,1990;王奖臻等,2001;2002)等观点。关于会泽铅锌矿床,最近许多学者又有一些新的认识,如韩润生(2001)提出它为“深源流体贯入-蒸发岩层萃取-构造控制”的后生矿床;黄智龙(2001b)等从峨眉山地幔柱考虑出发,提出“均一成矿流体贯入”的成矿模式。

由以上讨论可知,尽管在成因方面仍有不同的认识,但是大家对于矿床为后成矿床的观点趋于一致。在总结前人成果和实地考察、室内分析的基础上,笔者认为川滇黔铅锌矿床为密西西比河谷型铅锌矿床。所有铅锌矿床都出现在碳酸盐岩层位中,但未明显受某一特定层位的限制,从震旦纪到二叠纪的碳酸盐岩都是赋矿层位,这说明区内没有单一的铅锌矿源

● 朱炳泉,戴潼谟,胡耀国,等. 2003. 滇东北自然铜矿化的阳起石-沸石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. 见:中国地质学会同位素地质专业委员会、国土资源部同位素地质重点实验室. 同位素地质新进展:技术、方法、理论与应用学术研讨会论文(摘要)集. 148 页.

层的存在。自从震旦纪以来,峨眉山玄武岩喷发是区内一次重大事件,有关的矿化有与基性、超基性岩有关的二叠纪末期(260~253 Ma)铂钼矿、钒钛磁铁矿和铜镍硫化物矿,但铅锌矿成矿时代为中侏罗世,晚于这一事件。事实上,野外观察到铅锌矿的控矿断裂可以切割三叠纪和侏罗纪的地层。另外,从成矿物质组成来看,富镁铁、铂族和铜元素的峨眉山玄武岩与富铅锌、硫的铅锌矿床完全不同,前者不可能为后者提供所需的所有物质。

在上震旦统灯影组至三叠系中,普遍有同生沉积型的铅锌元素,由于古特提斯洋向扬子板块的俯冲,本区处于大区域的地热环境中,成为良好的热、气、液驱动源。此时地层压力增加,温度升高,释放同生沉积水,它们与地表和海盆中向下渗透的水相混合,经“地堑”式或岩浆加热,并淋滤和溶解了蒸发岩中的卤素,形成热卤水,向地热高、压力低的梯度带上运移,运移的热卤水将分散在地壳岩石中的铅、锌成矿元素萃取,形成含矿热卤水;侏罗纪以来,本区为一个构造格架形成后的挤压后伸展阶段,伸展期地壳继续活动,形成有利的容矿空间,上升热卤水继续活跃,溶滤、萃取各地层中的矿质,与大气降水混合,形成大规模的流体,含矿热卤水由断裂、裂隙不发育、岩石完整及向斜轴部的承压地段向断裂发育、岩石碎裂或及斜两翼等卸压地段运移,并在物理化学条件变化时或因能量的突然释放或因不同性质水溶液的加入,与围岩发生反应,使铅锌等重金属元素以硫化物的形式从含矿热卤水中不断沉淀。主干逆断层为矿液运移通道,羽状断裂容矿或储矿。容矿岩层挠曲、层间剥离、层间滑动带组成容矿空间,成矿流体在燕山期造就的有利构造空间就位成矿。

References

- Brabbon D F, Podosek F A and McLimans R K. 1992. Alleghenian age of the Upper Mississippi Valley-type zinc-lead deposit determined by Rb-Sr dating of sphalerite[J]. *Nature*, 356: 509~511.
- Bureau Geology and Mineral Resource of Sichuan Province. 1990. Regional geology of Sichuan Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 362~400(in Chinese).
- Chen J. 1993. Discussion on genesis of Pb-Zn sulfide ores from Qilin-chang deposit[J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 2(2): 85~89 (in Chinese).
- Chen Q L. 2001. Geological characteristics and genesis of high-grade Pb-Zn metallogenesis in Yuhucun Formation, Northeast Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 20(2): 186~194(in Chinese with English abstract).
- Chen S J. 1986. Research on the genesis of lead-zinc ore-deposit in Western Guizhou and Northeastern Yunnan[J]. *Geology of Guizhou*, 8(3): 41~48 (in Chinese with English abstract).
- Deng H L, Li C Y, Tu G Z, et al. 2000. Strontium isotope geochemistry of the Lemachang independent silver ore deposit, northeastern Yunnan, China[J]. *Science in China (Series D)*, 43(4): 337~346.
- Eisenlohr B N, Topkins L A, Cathles L M, et al. 1994. Mississippi Valley-type deposits: Products of brine expulsion by especially induced hydrocarbon generation? An example from northwestern Australia[J]. *Geology*, 22:315~318.
- Guan S P and Li Z X. 1999a. REE geochemistry of rocks and lead-zinc ores at the eastern margin of Kangdian axis[J]. *Geology-Geochemistry*, 27(3): 5~16(in Chinese with English abstract).
- Guan S P and Li Z X. 1999b. Lead-sulfur isotope study of carbonate-hosted lead-zinc deposit at the eastern margin of the Kangdian axis[J]. *Geology-Geochemistry*, 27(4): 45~54 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Liu C Q, Huang Z L, et al. 2001. Genesis modeling of Huize lead-zinc ore deposit in Yunnan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 674~680 (in Chinese with English abstract).
- Hu Y G. 2000. Occurrence of silver, sources of mineralized substances and ore-forming mechanism of Yinchangpo silver-polymetallic deposit, Guizhou Province, China[D][dissertation for doctor degree]. Tutor: Tu G Z, Li C Y. Institute of Geochemistry, CAS. 88p (in Chinese with English abstract).
- Huang Z L, Chen J, Han R S, et al. 2001a. REE geochemistry of calcite gangue mineral in the Huize ore deposit, Yunnan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 659~666 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z L, Li W B, Chen J, et al. 2001b. Carbon and oxygen isotope geochemistry of the Huize superlarge Pb-Zn Ore deposits in Yunnan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(1): 53~59 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z L, Chen J, Liu C Q, et al. 2004. A preliminary discussion in the genetic relationship between Emeishan basalts and Pb-Zn deposits as exemplified by the Huize Pb-Zn deposit, Yunnan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 681~688 (in Chinese with English abstract).
- Kan M Y, Luo A P, Zhang L S, et al. 1993. Strata bound Pb-Zn deposits in the strata of the Upper Sinian to Lower Cambrian, northeast Yunnan[M]. Chengdu: Sichuan Sci. & Tech. Univ. Press. 124p(in Chinese).
- Li L J. 1999. A discussion on the source bed of Pb-Zn-Ag deposits in northeast Yunnan[J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 8(6): 333~339 (in Chinese with English abstract).
- Li W B, Huang Z L, Chen J, et al. 2002. Sources of ore-forming materials in Huize superlarge zinc-lead deposit, Yunnan Province: Evidence from contents of ore-forming element in strata and basalts from margin of ore district[J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.): 413~416 (in Chinese).
- Li W B, Huang Z L, Wang Y X, et al. 2004. Age of the giant Huize Zn-Pb deposit determined by Sm-Nd dating of hydrothermal calcite[J]. *Geological Review*, 50(2): 189~195 (in Chinese with English abstract).
- Liao W. 1984. Characteristics of S, Pb isotopic composition and discussion on genesis of the Pb-Zn metallic deposit in eastern and western Yunnan[J]. *Geology and Prospecting*, (1): 1~6 (in Chinese).

- Lin F C. 1994. Some new opinion on the genesis of the daliangzi leadzinc deposit, Huidong County, Sichuan Province[J]. Mineral Deposits, 13(2) :126 ~ 136 (in Chinese with English abstract) .
- Lin F C. 1995. Lead isotopic composition and genesis of the lead-zinc deposits on the eastern margin of the Kang-Dian axis[J]. Tethyan Geology, 19 :131 ~ 139 (in Chinese with English abstract) .
- Liu H C. 1996. Genesis modeling of lead-zinc ore deposit in Sichuan-Yunnan-Guizhou[J]. Yunnan Geology, 15(1) : 41 ~ 51 (in Chinese) .
- Liu H C and Lin W D. 1999. Study on metallogenetic laws of lead-zinc-silver deposits in Northeastern Yunnan[M]. Kunming: Publishing House of Yunnan University. 1 ~ 419 (in Chinese) .
- Liu J M, Zhao S R, Shen J, et al. 1998. Review on direct isotopic dating of hydrothermal ore-forming processes[J]. Progress in Geophysics, 13(3) :46 ~ 55(in Chinese with English abstract) .
- Liu W Z. 1989. The geological characteristics and discussion on genesis of Jinshachang lead-zinc deposit, Yunnan[J]. J. Chengdu College of Geology, (2) : 1 ~ 9 (in Chinese) .
- Liu W Z and Xu X H. 1994. Ore-controlling structure of Kangdian Axis [J]. Mineral Deposits, 13(Supp.) :27 ~ 29 (in Chinese) .
- Liu W Z and Xu X H. 1996. On the relationship between the deposits and tectonics of the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn mineralization belt[J]. J. Chengdu Institute of Tech., 23(1) :71 ~ 77 (in Chinese with English abstract) .
- Liu W Z. 1998. The geological characteristics and discussion on genesis of Maozu lead-zinc deposit[J]. Mineral Deposits, 17(Supp.) : 637 ~ 640 (in Chinese) .
- Lo C H, Chung S L, Lee T Y, et al. 2002. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian-Triassic boundary events[J]. Earth and Planetary Science Letters, 198 : 449 ~ 458 .
- Mao J W, Song S H and Chen Y C. 1988. Igneous rock series and metallogenic series of tin polymetallic deposits in North Guangxi region[M]. Beijing: Beijing Sci. & Tech. Press. 1 ~ 196 (in Chinese) .
- Mao J W, Li X F, Li H M, et al. 2005. Types and characteristics of endogenous metallic deposits in Chinese orogenic belts and their metallogenetic process[J]. Acta Geologica Sinica, 79(3) : 342 ~ 372(in Chinese with English abstract) .
- Ou J X. 1996. Geological characteristics and ore-control geological condition of Qingshan lead-zinc deposit, Guizhou[J]. J. Guilin Institute of Tech., 16(3) :277 ~ 282 (in Chinese with English abstract) .
- Ramboz C and Charef A. 1988. Temperature, pressure, burial history, and paleohydrology of the Les Marlines, Pb-Zn deposit: reconstruction from aqueous inclusions in barite[J]. Econ. Geol., 83 :784 ~ 800 .
- Sverjensky D A. 1986. Genesis of Mississippi Valley-type lead-zinc deposits[J]. Ann. Rev. Earth Plant. Sci., 14 : 177 ~ 199 .
- Shao S C and Li C Y. Metallogenetic rules of the stratabound Pb-Zn deposit in Dengying formation of the west margin of Yangzi massif and its possibility of forming super-large ore deposit[J]. Yunnan Geology, 15(4) : 345 ~ 350(in Chinese with English abstract) .
- Song X Y, Hou Z Q, Wang Y L, et al. 2002. The mantle plume features of Emeishan basalts[J]. J. Mineral Petrol., 22(4) : 27 ~ 32 (in Chinese with English abstract) .
- Sun Z W. 1998. A discovery of the buried orebody and the methods of prediction of Qilinchang Pb-Zn deposit, Yunnan[J]. Yunnan Geology, 17(2) : 159 ~ 167 .
- Tu G Z. 2002. Two unique mineralization areas in southwest China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 21(1) : 1 ~ 2 (in Chinese with English abstract) .
- Wang J Z, Li C Y, Li Z H, et al. 2001. The geological setting, characters and origin of Mississippi Valley-Type Pb-Zn deposit in Sichuan and Yunnan Province[J]. Geology-Geochemistry, 21(2) : 41 ~ 45 (in Chinese with English abstract) .
- Wang J Z, Li C Y, Li Z Q, et al. 2002. The comparison of Mississippi Valley-type lead-zinc deposits in southwest of China and in mid-continent of United States[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 21(2) : 127 ~ 132 (in Chinese with English abstract) .
- Wang X C. 1990. Chemical and physical conditions on Diagenetic-metallogenic of Tianbaoshan lead-zinc deposit in Sichuan Province[J]. Acta Geologica Sichuan, 10(1) : 34 ~ 42 (in Chinese) .
- Wang X C. 1992. Genesis analysis of the Tianbaoshan Pb-Zn deposit[J]. J. Chengdu College of Geology, 19(3) : 10 ~ 20 (in Chinese with English abstract) .
- Xie J R. 1963. Discussion on metallogeny[M]. Beijing: Academic Journal Pub. House(in Chinese) .
- Xia W J, Du S G, Xu X H, et al. 1994. Lithofacies and Palaeogeography of Sinian Period in South China and their mineralization [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 120 (in Chinese) .
- Yang Y X, Ke C X, Lin F C, et al. 1994. Origin and metallogenetic laws of the lead-zinc deposits in the eastern margin of Kangdian Axis [J]. Chengdu: Sichuan Sci. & Tech. Univ. Press. 1 ~ 175 (in Chinese) .
- Yu M L. 1993. Ore-forming structure of lead-zinc deposit in the eastern margin of Kangdian axis[J]. Acta Geologica Sichuan, 13(1) : 20 ~ 27(in Chinese with English abstract) .
- Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1990. Regional geology of Yunnan Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 572 ~ 609 (in Chinese) .
- Zartman R E and Haines S M. 1988. The plumbotectonic model for Pb isotopic systematics among major terrestrial reservoirs—a case for bidirectional transport[J]. Geochim. Chemoschim. Acta, 52, 1327 ~ 1339 .
- Zhang C Q, Mao J W, Liu F, et al. 2005. K-Ar dating of altered clay minerals from Huize Pb-Zn deposit in Yunnan Province and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 24(3) : 317 ~ 324(in Chinese with English abstract) .
- Zhang L S. 1997. Hydrothermal Karst genesis of stratabound Pb-Zn-(F-Ba) deposit in northeast Yunnan[J]. Acta Geoscientia Sinica, 18(1) : 41 ~ 52 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang W J. 1984. Discussion on genesis and forming law of Pb-Zn deposits in Northeast Yunnan[J]. Geology and Prospecting, (7) : 11

- ~16 (in Chinese).
- Zhang Y X, Luo Y N, Yang C X, et al. 1988. Panxi rift[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 320 (in Chinese).
- Zhang Y Y, Dong A Z, and Luo X Q. 2001. Separation of authigenic illite in hydrocarbon reservoirs and its K-Ar dating techniques[J]. Geoscience, 15(3): 315 ~ 320 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z. 1995. Genesis modeling of lead-zinc ore deposit in eastern and northeastern Yunnan, China[J]. Yunnan Geology, 14(4): 350 ~ 354 (in Chinese).
- Zhou C X. 1998. The source of mineralizing metals, geochemical characterization of ore-forming soluting, and metallogenetic mechanism of Qilinchang Zn-Pb deposit, northeastern Yunnan Province, China [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 17(1): 34 ~ 36 (in Chinese with English abstract).
- Zhou M F, Malpas J, Song X Y, et al. 2002. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction[J]. Earth and Planetary Science Letters, 196: 113 ~ 122.
- Zhu L M, Yuan H H and Luan S W. 1995a. Typomorphic characteristics and their significance of minor elements of sphalerite from Disu and Daliangzi Pb-Zn deposit, Sichuan[J]. Acta Geologica Sichuan, 15(1): 49 ~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Zhu L M. 1995b. A study of isotopic geochemical features and mineralogical material source of the Disu and Daliangzi Pb-Zn deposits, Sichuan[J]. J. Mineral Petrol., 15(1): 72 ~ 79 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈进. 1993. 麒麟厂铅锌硫化物矿床成因及成矿模式探讨[J]. 有色金属矿床与勘探, 2(2): 85 ~ 89.
- 陈启良. 2001. 滇东北渔户村组内的富铅锌矿床成矿地质特征及成因[J]. 云南地质, 20(2): 186 ~ 194.
- 陈士杰. 1986. 黔西滇东北铅锌矿床的沉积成因探讨[J]. 贵州地质, 8(3): 41 ~ 48.
- 邓海琳, 李朝阳, 涂光炽, 等. 1999. 滇东北乐马厂独立银矿床 Sr 同位素地球化学[J]. 中国科学(D辑), 29(6): 496 ~ 503.
- 地质矿产部成都地质矿产研究所. 1987. 扬子地台西缘地质构造演化[M]. 重庆: 重庆出版社. 121 ~ 147.
- 管士平, 李忠雄. 1999a. 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, 27(4): 45 ~ 54.
- 管士平, 李忠雄. 1999b. 康滇地轴东缘岩石与铅锌矿石稀土元素地球化学研究[J]. 地质地球化学, 27(3): 5 ~ 16.
- 韩润生, 刘丛强, 黄智龙, 等. 2001. 论云南会泽富铅锌矿床成矿模式[J]. 矿物学报, 21(4): 674 ~ 680.
- 胡耀国. 2000. 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[学位论文][D]. 导师: 涂光炽, 李朝阳. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所. 88 页.
- 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 2001a. 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, 21(4): 659 ~ 666.
- 黄智龙, 陈进, 刘丛强, 等. 2001b. 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, 21(4): 681 ~ 688.
- 黄智龙, 李文博, 陈进, 等. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床 C、O 同位素地球化学[J]. 大地构造与成矿学, 28(1): 53 ~ 59.
- 阙梅英, 罗安屏, 张立生, 等. 1993. 滇东北上震旦-下寒武统层控铅锌矿[M]. 成都: 成都科技大学出版社. 124 页.
- 李连举. 1999. 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, 8(6): 333 ~ 339.
- 李文博, 黄智龙, 王银喜, 等. 2004. 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 50(2): 189 ~ 195.
- 李文博, 黄智龙, 陈进, 等. 2002. 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, 21(增刊): 413 ~ 416.
- 廖文. 1984. 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, (1): 1 ~ 6.
- 林方成. 1994. 四川会东大梁子铅锌矿床成因新探[J]. 矿床地质, 13(2): 126 ~ 136.
- 林方成. 1995. 康滇地轴东缘铅锌矿床铅同位素组成特征及其成因意义[J]. 特提斯地质, 19: 131 ~ 139.
- 刘建明, 赵善仁, 沈洁, 等. 1998. 成矿流体活动的同位素定年方法评述[J]. 地球物理学进展, 13(3): 46 ~ 55.
- 刘文周, 徐新煌. 1994. 康滇地轴东缘的构造控矿作用[J]. 矿床地质, 13(增): 27 ~ 29.
- 刘文周, 徐新煌. 1996. 论川滇黔铅锌成矿带矿床与构造的关系[J]. 成都理工学院学报, 23(1): 71 ~ 77.
- 刘文周. 1989. 云南金沙厂铅锌矿床地质特征及成因探讨[J]. 成都地质学院学报, (2): 1 ~ 9.
- 刘文周. 1998. 茂租铅锌矿床地质特征及其成因探讨[J]. 矿床地质, 17(增): 637 ~ 640.
- 柳贺昌. 1996. 滇川黔铅锌成矿区的成矿模式[J]. 云南地质, 15(1): 41 ~ 51.
- 柳贺昌, 林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明: 云南大学出版社. 1 ~ 419.
- 毛景文, 宋叔和, 陈毓川. 1988. 桂北地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 1 ~ 196.
- 毛景文, 李晓峰, 李厚民, 等. 2005. 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨[J]. 地质学报, 79(3): 342 ~ 372.
- 欧锦秀. 1996. 贵州水城青山铅锌矿床的成矿地质特征[J]. 桂林冶金地质学报, 16(3): 277 ~ 282.
- 邵世才, 李朝阳. 1996. 扬子地块西缘震旦系灯影组层控铅锌矿床的成矿规律及形成超大型矿床的可能性[J]. 云南地质, 15(4): 345 ~ 350.
- 四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 362 ~ 400.
- 宋谢炎, 侯增谦, 汪云亮, 等. 2002. 峨眉山玄武岩的地幔热柱成因[J]. 矿物岩石, 22(4): 27 ~ 32.
- 孙志伟. 1998. 会泽麒麟厂铅锌矿床隐伏矿体的发现及其预测的基础方法[J]. 云南地质, 17(2): 159 ~ 167.
- 涂光炽. 2002. 我国西南地区两个别具一格的成矿带(域)[J]. 矿物岩石地球化学通报, 21(1): 1 ~ 2.
- 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 2001. 川滇地区密西西比河谷型铅锌

- 矿床成矿地质背景及成因探讨[J]. 地质地球化学, 29(2): 41 ~ 45.
- 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 2002. 川、滇、黔交界地区密西西比河谷型铅锌矿床与美国同类矿床的对比[J]. 矿物岩石地球化学通报, 21(2): 127 ~ 132.
- 王小春. 1990. 论四川天宝山铅锌矿床底成矿物理化学条件[J]. 四川地质学报, 10(1): 34 ~ 42.
- 王小春. 1992. 天宝山铅锌成因分析[J]. 成都地质学院学报, 19(3): 10 ~ 20.
- 夏文杰, 杜森官, 徐新煌, 等. 1994. 中国南方震旦纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 120.
- 谢家荣. 1963. 中国矿床学总论[M]. 北京: 学术期刊出版社.
- 杨应选, 管士平, 林方成, 等. 1994. 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. 1 ~ 175.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 572 ~ 609.
- 余明裂. 1993. 康滇地轴东缘铅锌矿的成矿构造[J]. 四川地质学报, 13(1): 20 ~ 27.
- 张长青, 毛景文, 刘峰, 等. 2005. 云南会泽铅锌矿床粘土矿物 K-Ar 测年及其地质意义[J]. 矿床地质, 24(3): 371 ~ 324.
- 张立生. 1997. 滇东北地区层控 Pb-Zn-(F-Ba) 矿床地热液喀斯特成因[J]. 云南地质学报, 18(1): 41 ~ 52.
- 张位及. 1984. 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, (7): 11 ~ 16.
- 张云湘, 洛耀南, 杨崇喜, 等. 1988. 攀西裂谷[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 320.
- 张有瑜, 董爱正, 罗修泉. 2001. 油气储层自生伊利石的分离提纯及其 K-Ar 同位素测年技术研究[J]. 现代地质, 15(3): 315 ~ 320.
- 赵准. 1995. 滇东、滇东北地区铅锌矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 14(4): 350 ~ 354.
- 周朝宪. 1998. 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[J]. 矿物岩石地球化学通报, 17(1): 34 ~ 36.
- 朱赖民, 袁海华, 栾世伟. 1995a. 金阳底苏会东大梁子铅锌矿床内闪锌矿微量元素标型特征及其研究意义[J]. 四川地质学报, 15(1): 49 ~ 55.
- 朱赖民. 1995b. 四川底苏、大梁子铅锌矿床同位素地球化学特征及成矿物质来源探讨[J]. 矿物岩石, 15(1): 72 ~ 79.

Distribution, characteristics and genesis of Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area

ZHANG Chang-qing¹, MAO Jing-wen^{1,2}, WU Suo-ping¹, LI Hou-min¹, LIU Feng², GUO Bao-jian¹ and GAO De-rong³

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Huize Pb-Zn Mine of Yunnan, Huize 654211, Yunnan, China)

Abstract

The Mississippi Valley-type lead-zinc deposits are widely distributed in Sichuan-Yunnan-Guizhou Provinces. These deposits constitute an important component part of the low temperature metallogenic system consisting of Carlin type gold, Mississippi Valley-type lead-zinc and, possibly, basalt-hosted copper deposits in southwestern China, with characteristics of low temperature and low salinity. The Pb-Zn deposits are hosted in Late Proterozoic to Permian carbonate rocks. Their orebodies are obviously controlled by faults and accompanied by intense calcitization and dolomitization. Ore-forming materials were derived from host strata. The ore-forming process seems to be the leaching of ore-forming materials from the host rocks by the convective heated hydrothermal solution, followed by transport and precipitation of these materials along some fracture systems. The metallogenic epoch is likely to be Mesozoic. These deposits were formed in the extensional basin on the east side of the continental orogenic belt along the Yangtze Craton.

Key words: geology, Mississippi Valley-type lead-zinc deposits, ore-forming process, extension, Sichuan-Yunnan-Guizhou, comprehensive