

文章编号: 1009-3850(2016)01-0001-13

# 川滇黔相邻区碳酸盐岩容矿铅锌矿成矿特征

秦建华<sup>1</sup>, 廖震文<sup>1</sup>, 朱斯豹<sup>1</sup>, 赖 杨<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 中国地质科学院成都矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 本文对川滇黔相邻区碳酸盐岩容矿铅锌矿成矿特征进行系统总结, 并对区域成矿过程进行讨论。该区碳酸盐岩容矿铅锌矿发育3种矿床类型, 主要分布在泸定-荣经-汉源、雷波-金阳-巧家-会东、赫章-威宁-水城和会泽-彝良4个矿集区, 震旦系和古生代地层为主要容矿层。铅锌矿形成于3个成矿期和3类构造环境: 以黑区-雪区铅锌矿床为代表的喷流沉积型(SEDEX型), 形成于早寒武世海底地震同生断裂环境; 以会泽矿床为代表的与侵入作用有关的碳酸盐岩容矿铅锌银矿床类型(IRCH Pb-Zn-Ag型), 形成于晚三叠世前陆早期局部引张环境; 以大梁子和天桥矿床为代表的密西西比河谷型(MVT型), 形成于前陆晚期冲断挤压环境。与世界其它地方不同, 川滇黔相邻区MVT铅锌成矿作用主要发生于早侏罗世。

**关键词:** 川滇黔相邻区; 碳酸盐岩容矿铅锌矿; 矿集区; 矿床类型; 区域成矿  
中图分类号: P617 文献标识码: A

## 前言

川滇黔相邻区位于川南、滇东北、黔西北相邻区域。该区点已发现碳酸盐岩容矿铅锌矿床400多处, 主要分布于上扬子陆块南部碳酸盐台地上。该区自古以来是中国重要的铅锌矿产出区。

近年来, 作者在开展西南地区矿产资源潜力评价项目中, 对该区碳酸盐容矿铅锌矿床资料进行了系统收集和综合研究。该区碳酸盐容矿铅锌矿床主要赋存于震旦系和古生代地层中, 发育3种矿床类型, 即沉积喷流型(SEDEX型)、密西西比河谷型(MVT型)、与侵入作用有关的碳酸盐岩容矿铅锌银矿床类型(IRCH Pb-Zn-Ag型)。主要产出于4个矿集区(图1), 即Ⅰ泸定-荣经-汉源矿集区、Ⅱ雷波-金阳-巧家-会东矿集区、Ⅲ会泽-彝良矿集区、Ⅳ赫章-威宁-水城矿集区。本文对该区发育的3种类型碳酸盐容矿铅锌矿成矿特征进行系统总结, 并对其区域成矿过程进行讨论。

## 1 碳酸盐岩容矿铅锌矿成矿特征

### 1.1 沉积喷流型(SEDEX型)

该类矿床主要分布于泸定-荣经-汉源矿集区(图1), 该矿集区地处四川泸定-荣经-汉源-金口河一带, 面积约2100km<sup>2</sup>。矿集区内, 沉积喷流型(SEDEX型)铅锌矿(点)分布广泛, 有黑区-雪区铅锌矿床和白沙河等20余个铅锌矿床(点), 其中大型1个, 中型5个。铅锌矿赋存于震旦系上统灯影组和寒武系下统麦地坪组粉晶白云岩、葡萄状白云岩和硅质白云岩中。

该类型矿床以四川黑区-雪区大型铅锌矿床为代表。该矿床位于乌斯河火车站北东方向约4km处的大渡河谷北岸。矿体产于下寒武统麦地坪组白云岩所夹的黑色硅质岩层和角砾状白云岩中。按Zn ≥ 1.0% 或 Pb ≥ 0.5% 圈出上、下两层矿体。上层矿体为主矿体, 呈整合层状产出, 矿体厚度0.50

收稿日期: 2015-02-11; 改回日期: 2015-04-08

资助项目: 中国地质调查局地质矿产调查专项项目(1212011121033)、(12120113053000)

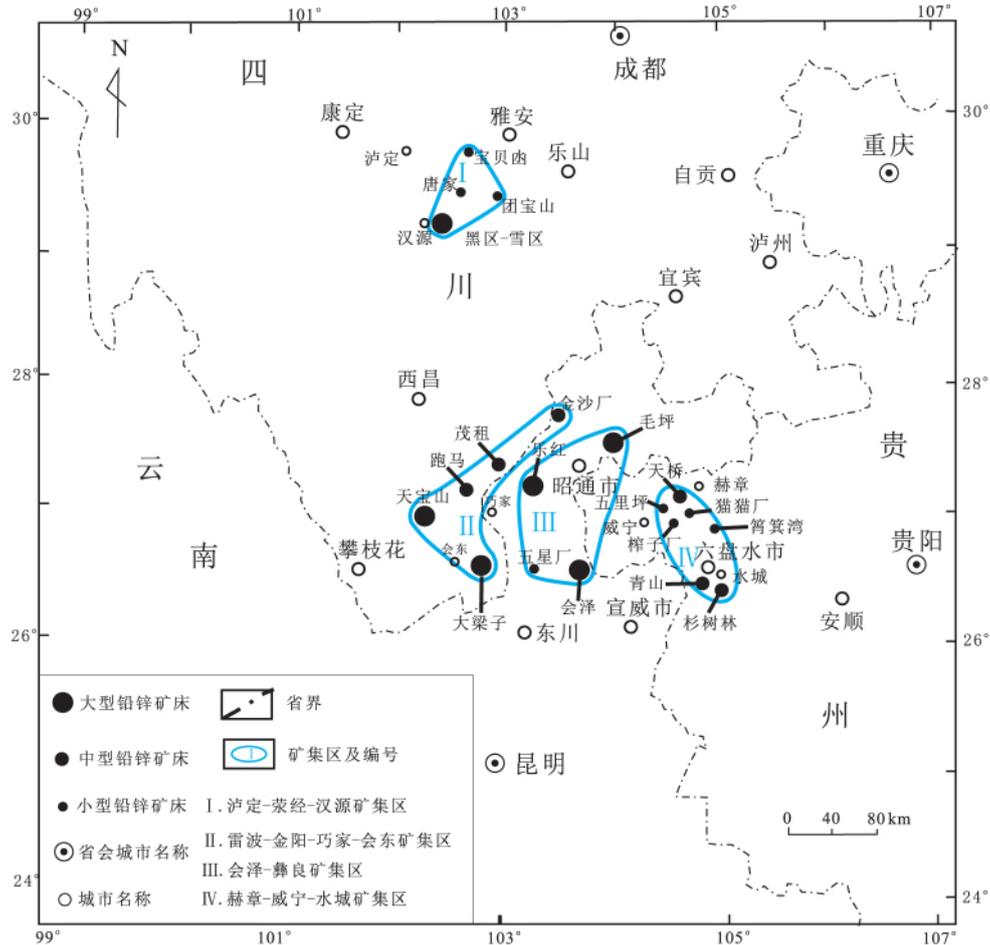


图1 川滇黔相邻区碳酸盐容矿铅锌主要矿床分布

Fig. 1 Distribution of major carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area

~4.86m,平均厚度1.81m,矿体横向延伸规模大,从黑区向北东方向延至雪区,地表露头断续长达6000m。矿石以锌为主、铅次之,矿体的平均品位 $Zn = 8.62\%$ , $Pb = 1.96\%$ , $Zn + Pb = 10.58\%$ , $Zn:Pb = 4.4:1$ 。下层矿体呈透镜状,较不稳定,分布于矿区西南部山斗崖一带,工程控制厚度1.16m。

矿体主要由金属硫化物与黑色硅质岩或白云岩组成。在层状矿体之下,局部地段发育浸染状铅锌矿化体。矿层底板为浅灰-灰色中厚层状粉晶和细晶白云岩、薄层状硅质岩及硅化白云岩,在一些地段铅锌矿层之下分布碎裂白云岩或角砾岩状白云岩,为海底地震作用形成的震积岩<sup>[1]</sup>。局部见星散状或浸染状铅锌矿化体( $Zn = 0.1\% \sim 1.0\%$ , $Pb = 0.1\% \sim 0.5\%$ )。铅锌矿(化)体最大厚度可达20m,硅化及白云石化较强烈。

矿石矿物成分简单。金属矿物以闪锌矿为主,其次为黄铁矿、方铅矿,有极少量白铁矿;非金属矿物主要为微晶石英,其次为玉髓、白云石,含少量重

晶石、胶磷矿、水云母等,以及沥青。

矿石类型有层纹状矿石、条带浸染状矿石、浸染状矿石、块状矿石、脉状矿石、角砾状矿石。

围岩蚀变在层状矿体产出区不甚明显,但在脉状矿石分布地带相对发育,有硅化、白云石化、黄铁矿化、沥青化、黑色有机质浸染等。蚀变矿物往往呈毫米级-厘米级的微小斑点状或细脉状产出。局部见白色粗粒石英、白云石亮晶呈斑块状、晶洞状、脉状产出;有的白色粗粒石英与深色闪锌矿、粗粒方铅矿等共生。

林方成对该矿床的包体和稀土元素、硫、硅、氧、铅同位素等特征进行了研究<sup>[2]</sup>。研究表明,纹层状矿石微晶石英和玉髓中的流体包裹体很少,且非常微细,一般 $< 3\mu m$ ,基本为单一的液相包体,偶见气-液二相包体,反映了矿石沉淀的温度低。在分布于层纹状矿石中的硅岩角砾和闪锌矿角砾的粒度较粗大的石英中,见有气液二相包体,特别是分布于 $SiO_2$ -黑色有机质等复杂沉积物中的硅质

岩角砾中包裹体较发育,其形态呈椭圆形、圆形、三角形、透镜状、不规则状等,大小约 $2\sim 9\mu\text{m}$ ,气/液比介于 $5\%\sim 15\%$ 。所测定的气/液二相包体的均一温度变化于 $140\sim 285^\circ\text{C}$ ,平均 $197^\circ\text{C}$ ( $n=47$ )。矿床富硅质铅锌矿石及硅质岩稀土元素总量为 $(1.45\sim 48.47)\times 10^{-6}$ ,LREE/HREE为 $8.06\sim 23.24$ 。经北美页岩标准化后 $\delta\text{Ce}$ 为 $0.28\sim 0.74$ , $\delta\text{Eu}$ 为 $0.76\sim 1.09$ , $\text{La}/\text{Yb}$ 为 $0.48\sim 4.62$ 。稀土元素组成具有稀土总量低、Ce亏损显著、Eu呈弱负异常或不具异常、轻稀土较富集的特点。经球粒陨石标准化后,矿床容矿硅质岩及矿石的 $\delta\text{Ce}$ 和 $\delta\text{Eu}$ 均呈现明显的负异常( $\delta\text{Ce}=0.30\sim 0.85$ , $\delta\text{Eu}=0.54\sim 0.79$ , $n=12$ )。 $\delta\text{Ce}$ 、 $\delta\text{Eu}$ 的负异常以及LREE的曲线配分曲线形态与海水REE极其相似。矿石中闪锌矿、方铅矿、黄铁矿硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $7.48\%\sim 15.51\%$ ,平均 $12.30\%$ ( $n=18$ )。与同期海水硫同位素组成基本一致,指示成矿的硫来自同期海水硫酸盐。矿床中灰白色微晶硅岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 介于 $-0.3\%\sim -0.2\%$ , $\delta^{18}\text{O}$ 介于 $20.9\%\sim 21.8\%$ ( $n=3$ )。该矿床微晶硅岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 落在热泉华石英和成岩重结晶石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值范围内。同时,矿床赋矿层位处于震旦系—寒武系过渡界面附近,层状硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值较低,可能是海底热水活动的反映。矿石中方铅矿的铅同位素组成: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 $17.974\sim 18.171$ , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 $15.599\sim 15.652$ , $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 $37.986\sim 38.251$ ( $n=8$ )。矿石的铅同位素组成相当均一,矿石铅可能来源于峨边群等基底变质岩系。

## 1.2 密西西比河谷型(MVT型)

该类型矿床主要分布在雷波-金阳-巧家-会东矿集区和赫章-威宁-水城矿集区(图1)。

雷波-金阳-巧家-会东矿集区位于四川雷波-金阳-布拖-云南永善-巧家一带,矿集区面积约 $4500\text{km}^2$ 。密西西比河谷型(MVT型)铅锌矿在该矿集区内已有大梁子、茂租等铅锌矿床(点)46个,其中大型2个,中型7个。铅锌矿容矿地层为震旦系灯影组、寒武系麦地坪组、筲竹寺组、沧浪铺组、龙王庙组、二道水组,奥陶系宝塔组及志留系大关组,铅锌矿床主要受断裂控制,北西向断裂与北东向或近南北向断裂交会部位是铅锌成矿的有利位置,该矿集区MVT型铅锌矿以大梁子铅锌矿为代表。

赫章-威宁-水城矿集区位于贵州赫章至云南彝良地区,面积约 $6000\text{km}^2$ 。MVT型铅锌矿在该矿集区已有天桥等铅锌矿床(点)16个,其中,中型矿床7个。铅锌矿产出与断裂或层间构造有关,矿体呈

似层状或脉状,铅锌矿主要赋存层位为石炭系马平组( $C_2m$ )—黄龙组( $C_2hn$ )—大塘组( $C_1d$ )—摆佐组( $C_1b$ )和二叠系栖霞组( $P_2q$ )—茅口组( $P_2m$ )。该矿集区MVT型铅锌矿以天桥铅锌矿床为代表。

### 1.2.1 大梁子铅锌矿

该矿床为大型矿床,位于四川会东县大桥区小街乡境内,小江深大断裂西侧。赋矿地层主要为灯影组中、上部,矿体顶部延入筲竹寺组底部。灯影组总厚 $928\text{m}$ ,主要岩性为白云岩,其中下部富藻,中部细碎屑成分较多,上部富含磷质和燧石条带。

矿区发育以F1、F15断裂为南、北边界的宽约 $600\sim 800\text{m}$ 的NW向断裂构造带,是主要的控矿构造系统。

矿体产状、形态、规模、分布以及矿石构造,都明显地受断裂构造控制。横向上,矿体主要赋存于F15、F6断裂拐弯的内侧;纵向上,矿体富厚部位与断裂倾角由陡变缓及构造破碎带膨大部位相一致。其中,张性“黑破带”及NW向组断裂带是最主要的容矿空间,在这些构造部位分布块状、角砾状矿石;其次,NW向及NW向断裂旁侧伴生的羽状裂隙也是贮矿的良好空间,分布着脉状、细脉浸染状矿石。锌矿体的空间连续性好,而铅矿体则由一系列大致与断裂倾向相平行的脉状体构成。

矿床主要由1号和2号两个矿体组成,前者规模大,为主矿体,其储量占整个矿床的99%以上;后者规模小,位于矿床的东南角。1号矿体受陡立的断裂构造破碎系统控制。矿体的形态犹如一系列厚大的透镜体呈左列叠置而成,中部厚,两端薄,浅部厚于深部,在三度空间上形似火炬状,一般称之为筒状。矿体走向 $\text{NW}290^\circ\sim 310^\circ$ ,倾向总体向北,局部向南,陡倾斜( $75^\circ\sim 90^\circ$ )。矿体长度 $630\text{m}$ ,最大厚度 $205\text{m}$ ,最小厚度为 $0.8\text{m}$ ,平均厚度为 $46\text{m}$ ,控制延深大于 $410\text{m}$ ,大部分矿体赋存于灯影组,而顶部沿断裂带伸入筲竹寺组中。

矿石矿物主要为闪锌矿,其次为方铅矿,其它金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、白铁矿、(砷、银)黝铜矿等。脉石矿物主要为白云石和石英,此外,还有方解石、重晶石、沥青、石墨、绢云母等。近地表以及深部一些断裂带中及旁侧发育次生氧化矿物,如菱锌矿、异极矿、水锌矿、白铅矿、褐铁矿等。

矿石以Zn为主,Pb次要,平均品位Zn $10.47\%$ ,Pb $0.75\%$ ,Zn:Pb $\approx 14:1$ 。Ag、Cd、Ge、Ga、S等为可综合利用的伴生组分,其平均含量为:Ag $43.1\text{g}/\text{T}$ ;Cd $0.116\%$ ;Ge $0.00129\%$ ;Ga $0.00106\%$ ;

S 4.99%。闪锌矿富含 Cd、Ge、Ga; 铅、锌、铜的硫化物均较富含 Ag, 各种矿物含银量从高到低的顺序为: 银黝铜矿 - 砷黝铜矿 - 闪锌矿 - 辉铜矿 - 方铅矿。Ag 在黝铜矿、方铅矿、辉铜矿等矿物中主要呈类质同象存在, 而在闪锌矿中主要以机械混入物赋存于晶体缺陷、晶间、矿物解理、微裂隙中。

矿石结构有粒状结构、固溶体分离结构、交代残余结构、胶状结构、碎裂结构、草莓状结构、充填结构等; 矿石构造有层纹状、角砾状、脉状、网脉状、致密块状、团块状、星散浸染状等构造; 此外, 氧化带中还发育蜂窝状、土状、钟乳状、皮壳状等次生氧化构造。

矿体围岩蚀变较弱, 仅见硅化、炭化、黄铁矿化和碳酸盐化, 以硅化和黄铁矿化最广, 其次是炭化。

矿床微量元素特征的研究表明<sup>[3]</sup>, 闪锌矿中镉的含量为 0.10%~1.07%; 黄铁矿中锗含量较高, 最高达 0.21%; 方铅矿中锗、镓的含量分别为 0.08%~0.35% 和 0.09%~0.37%。矿床中 Cd 与 Zn、Pb 与 Ge、Ga 呈明显的正相关关系(相关系数 R 分别是 0.65、0.58、0.70), 说明 Cd 主要赋存在闪锌矿中, 而 Ge、Ga 主要赋存在方铅矿中; Fe 与 Cd、Ga 呈负相关(R 分别为 -0.38、-0.35), 说明 Cd、Ga 分别以类质同象形式取代 Fe 进入闪锌矿中, 由于 Fe 的减少, 导致闪锌矿的颜色变浅; Zn 与 Ge、Ga 都呈负相关(R 分别为 -0.55、-0.23), 说明 Ge 和 Ga 可能是以类质同象的形式进入闪锌矿晶格替换了 Zn, 出现此消彼长现象。

大梁子矿区矿石以及矿区外围地层岩石的稀土元素配分曲线都为右倾型, 为轻稀土富集<sup>[4]</sup>, 同时, 矿石稀土配分曲线与灯影组白云岩配分曲线形状相似, 说明在成矿热液作用过程中, 矿区灯影组地层稀土已随成矿流体进入到热液矿石中。

大梁子铅锌矿氢、氧同位素研究表明, 矿床成矿热液为大气降水。矿床石英包裹体水  $\delta D_{H_2O}$  (‰) 为 -96.3‰,  $\delta^{18}O_{H_2O}$  (‰) 为 -6.62‰, 其  $\delta D_{H_2O}$  (‰) 值与我国西南地区大气降水值(-70‰~-110‰) 相近; 而闪锌矿包裹体水中  $\delta D_{H_2O}$  (‰) 为 -40.3‰,  $\delta^{18}O_{H_2O}$  (‰) 为 3.31‰, 较石英包裹体水均有不同程度的增加, 且  $\delta D_{H_2O}$  (‰) 与现代大气降水值范围相差较大; 在氢-氧同位素投点图上(图 2), 大梁子矿床投点均在岩浆水与变质水区域之外, 并强烈地向雨水线“飘移”, 显示出强烈的氧同位素交换后的大气降水特征<sup>[5]</sup>。

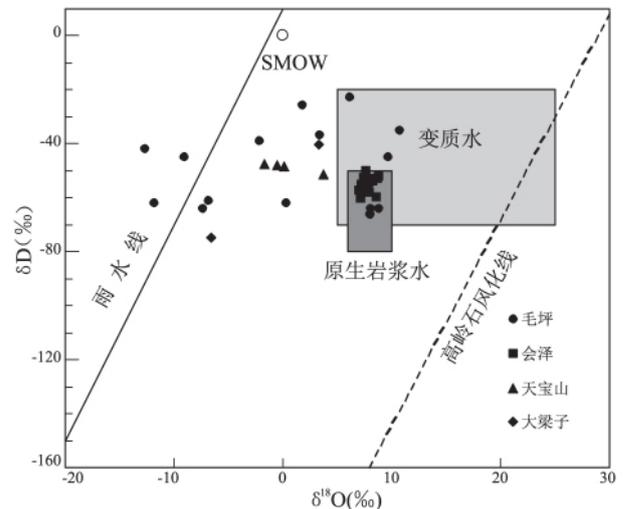


图 2 川滇黔相邻区碳酸盐岩容矿铅锌矿  $\delta D - \delta^{18}O$  图(毛坪数据来源<sup>[6]</sup>; 大梁子数据来源<sup>[5]</sup>; 会泽数据来源<sup>[7]</sup>; 天宝山数据来源<sup>[8-10]</sup>)

Fig. 2  $\delta D - \delta^{18}O$  diagram for the carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area

大梁子矿床铅来源较为复杂, 铅同位素组成变化较大,  $^{206}Pb/^{204}Pb$  变化范围为 18.0347 ~ 18.9693,  $^{207}Pb/^{204}Pb$  变化范围为 15.2171 ~ 15.8815,  $^{208}Pb/^{204}Pb$  变化范围为 37.2740 ~ 39.5863。在  $^{207}Pb/^{204}Pb - ^{206}Pb/^{204}Pb$  关系上(图 3), 大部分数据落入上地壳或地幔线附近, 表明矿石铅可能主要由上部地壳贡献, 但不排除有少量幔源铅和下地壳铅的加入<sup>[5]</sup>。

### 1.2.1 天桥铅锌矿床

该矿床为一个中型矿床, 位于赫章县妈姑镇境内, 北东向猫猫厂-耗子硐断裂带与北西向构造带交汇处。矿床赋矿层为下石炭统泥晶灰岩和生物屑灰岩, 分营盘上和沙子地两个矿段, 矿床共有 32 个矿(化)体。矿体受层间剥离、层间滑动构造控制, 在地层和层间滑动面由陡变缓部位, 矿体增厚变富。营盘上矿段以 II 号矿体规模最大, 长 200m, 宽 120m, 厚 1.50m, Pb 含量 1.23%, Zn 含量 5.69%; 沙子地矿段以 1、2、3、4、5 号矿体为主, 长 50 ~ 100m, 延深 110 ~ 170m, 厚 1.57 ~ 8.90m, 平均含 Pb 含量 1.70%, Zn 含量 10.24%。沙子地矿段以氧化矿石为主, 营盘上矿段为硫化矿石。矿石构造有土状、脉状、条带状、块状。矿石矿物有方铅矿、闪锌矿、菱锌矿、水锌矿、白铅矿、黄铁矿, 脉石矿物有石英、方解石、白云石。

据研究, 天桥矿床硫化物样品以具有低  $\Sigma REE$  ( $< 3 \times 10^{-6}$ ) 和负的 Eu 异常(0.13 ~ 0.88) 为特

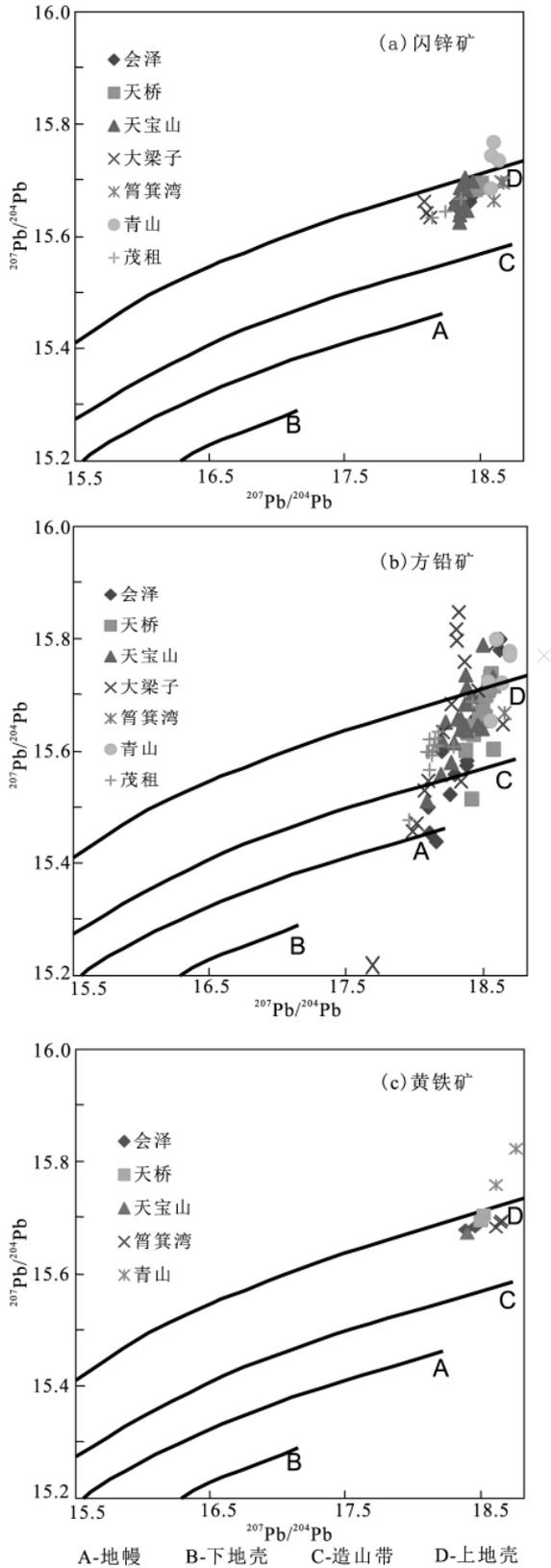


图3 川滇黔相邻区碳酸盐岩容矿铅锌矿 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图(会泽数据来源<sup>[12]</sup>;大梁子数据来源<sup>[5,8]</sup>;天桥、天宝山、青山、茂租及筲箕湾数据来源<sup>[9-11]</sup>)

Fig. 3  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  diagrams for sphalerite (a), galena (b) and pyrite (c) from the carbonate-hosted Pb-Zn

deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area 征<sup>[10-11]</sup>。在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图上,全部样品具有相似特征,且与地层中的黄铁矿(下石炭统大塘组C<sub>1d</sub>)、白云岩地层及蚀变围岩相比,具有一致的稀土配分模式和Eu负异常特征,表明成矿流体来源于围岩及下伏碳酸盐地层。该矿床热液方解石 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值范围在 $-5.3\text{‰} \sim -3.4\text{‰}$ 之间, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 范围为 $+14.9\text{‰} \sim +19.6\text{‰}$ ,在碳-氧同位素图上(图4)的投点显示,矿床流体中的CO<sub>2</sub>组成是地幔流体、海相碳酸盐岩以及沉积有机质的混合物。

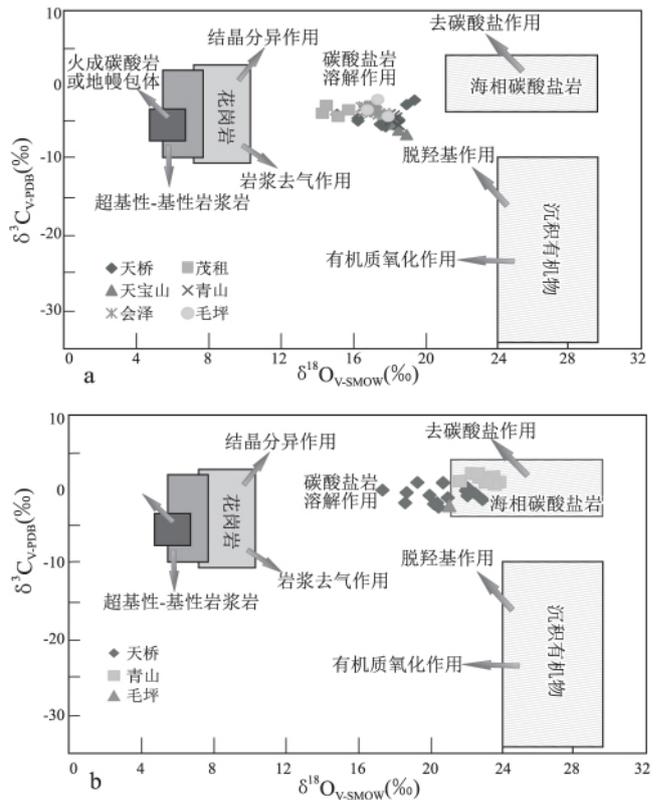


图4 川滇黔相邻区碳酸盐岩容矿铅锌矿床 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}\text{‰}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}\text{‰}$ 图(天桥、茂租、天宝山及青山数据来源<sup>[9-11]</sup>;毛坪数据来源于<sup>[6,12]</sup>;会泽数据来源<sup>[7]</sup>)

a. 样品取自矿体中的方解石; b. 样品取自矿体碳酸盐围岩  
Fig. 4  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}\text{‰}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}\text{‰}$  diagrams of the carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area

矿床中方铅矿、闪锌矿以及黄铁矿均较富集重硫同位素<sup>34</sup>S,其 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}(\text{‰})$ 值范围分别为 $+8.4\text{‰} \sim +12.6\text{‰}$ , $+10.9\text{‰} \sim 14.2\text{‰}$ , $+12.8\text{‰} \sim 14.4\text{‰}$ ,黄铁矿<sup>34</sup>S含量相对最高,方铅矿最低(图5)。硫同位素研究表明,成矿流体的<sup>34</sup>S主要来源于泥盆系—石炭系地层蒸发岩。矿床硫化物矿石铅同位素组成范围(图3): $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $18.378 \sim 18.601$ , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.519 \sim 15.811$ , $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $38.666$

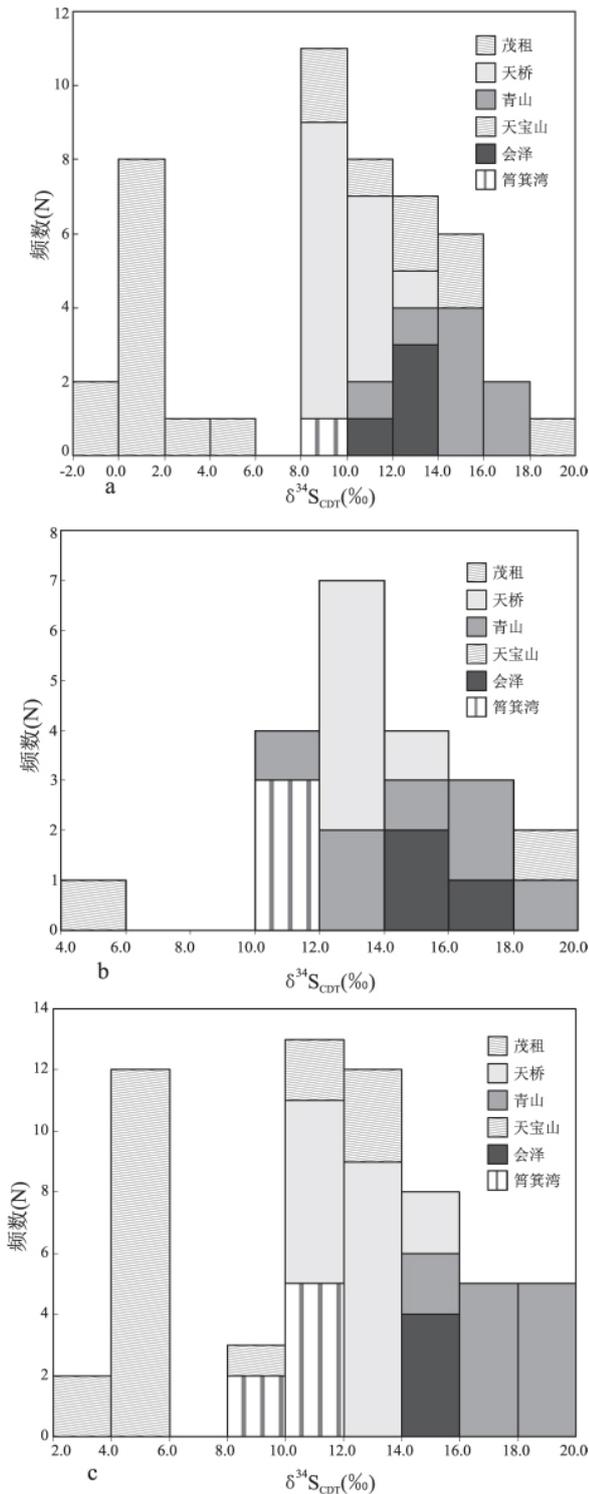


图5 川滇黔相邻区碳酸盐岩容矿铅锌矿床 $^{34}\text{S}$ 同位素特征(筲箕湾数据来源<sup>[9-10,13]</sup>;会泽数据来源<sup>[14]</sup>;天宝山数据来源<sup>[9-10]</sup>;青山、天桥及茂租数据来源<sup>[9-10]</sup>)

Fig. 5 Sulfur isotope ( $^{34}\text{S}$ ) values for galena (a), pyrite (b) and sphalerite (c) from the carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area

~39.571, 铅同位素组成较为均匀,放射铅含量较低,成矿流体铅来源较为复杂,可能是区内玄武岩、

沉积岩以及基底岩石混合的结果。该矿床硫化物矿石中锶同位素 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值范围为0.7125~0.7167(图6),明显高于震旦—二叠纪沉积岩石和二叠纪峨眉山玄武岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,但是低于区内古老基底岩石(昆阳-会理群基底),成矿流体中的Sr同位素组成可能也是区内古老基底岩石、较新的沉积岩石(泥盆系—二叠系沉积岩)以及峨眉山玄武岩等各个源区Sr同位素混合的结果。

### 1.3 与侵入作用有关的碳酸盐岩容矿铅锌银矿(IRCH Pb-Zn-Ag型)

该类型铅锌矿(IRCH Pb-Zn-Ag型,为Intrusion-related carbonate-hosted Pb-Zn-Ag deposits的缩写),主要分布在会泽-彝良矿集区。矿集区面积约4700km<sup>2</sup>。该矿集区分布会泽特大型矿床及乐红大型、五星厂中型矿床等45个矿床(点),赋矿地层包括震旦系、寒武系、泥盆系、石炭系。区内北东向断裂往往近于等距出现,铅锌矿床亦沿北东向的控矿断裂构造展布;北西向断裂有牛栏江断裂和大关断裂,其与北东向断裂或北东向背斜交会处是矿床(点)产出的部位。区内次级区域性断裂,主要为走向逆断层,多数发生在褶皱轴部,这些断层促使层间发生滑动破碎,形成次级张性裂隙,控制矿床、矿体的产出。矿体形态多呈似层状、透镜状,部分呈脉状。主矿体周围往往有囊状、扁豆状小矿体平行产出,在层间滑动构造发育处或地层产状转折地段矿体变富变厚。该类型以会泽铅锌矿床为代表。

#### 1.3.1 会泽铅锌矿床

该矿床为超大型矿床,由矿山厂和麒麟厂两个矿段组成。矿山厂矿段位于会泽县城北东58°方位48km处,麒麟厂矿段位于矿山厂矿段北东3.08km处,紧依牛栏江西岸。矿区出露震旦系至二叠系地层,石炭系下统摆佐组(C<sub>1</sub>b)在矿区内广泛出露,为赋矿地层,厚达40~60m,与上覆、下伏地层均呈整合接触。矿区构造主要为北东-南西向矿山厂逆断层和麒麟厂逆断层,是重要的控矿构造,分别控制了矿山厂矿床和麒麟厂矿段。矿区分布有大面积的峨眉山玄武岩。矿床上部为氧化矿,下部(指标高1800m以下)为原生矿,中间为混合矿。麒麟厂矿段3、6、8、10号矿体和矿山厂矿段1号矿体是矿床最大的矿体,5个矿体铅锌金属量占整个矿床总储量约90%。铅锌品位高(平均大于30%)是该矿床最明显、最重要的特征,其中3号矿体Pb+Zn平均品位为36.5%,6号矿体为34.6%,8号矿体为25.8%,10号矿体为33.5%,1号矿体为32.6%。

此外,矿石中伴生的银、锗、镓、镉等元素均达到可综合利用的品位。

矿山厂矿段1号、13号矿均产出在逆断层上盘,其间以NW向 $F_4$ 横断层为界, $F_4$ 南西为1号矿群,北东为13号矿群,单矿体呈透镜状,沿走向及倾斜均有分支、复合、尖灭、再现等特征。

麒麟厂矿段已探明规模不等的矿体50多个,矿体在摆佐组粗晶白云岩中沿层产出,其顶底板与围岩界限清楚,受顺层陡倾的断裂带控制,矿体均沿层产于白云岩中,矿体走向长达700m,倾斜延伸大于1000m,厚度0.7~40m。主矿体在纵剖面上呈“阶梯状”向南侧伏,单个矿体形态不规则,多为似筒状、囊状、扁柱状、透镜状、脉状、多脉状、网脉状及“似层状”。矿体在平面上形态不规则,同一矿体在不同中段具有不同形态,均为中部厚大,沿走向变薄或分枝尖灭。矿体在剖面上均为上部薄或分枝尖灭,向深部、逐渐变厚,局部出现小的膨胀和收缩。

矿石自然类型有氧化矿石、混合矿石和原生矿石。原生矿石根据矿石的结构和矿物共生组合不同,划分为闪锌矿型矿石、闪锌-方铅矿型矿石、方铅矿-黄铁矿型矿石和黄铁矿型矿石。

原生硫化物矿石矿物主要是闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,在闪锌矿和方铅矿中包裹有少量的黄铜矿、硫锑铅矿、硫砷铅矿、深红银矿和自然锑等,脉石矿物主要为方解石,其次为白云石,偶见重晶石、石膏、石英和粘土矿物。

矿石结构有粒状结构、包含结构、交代环状结构、固溶分解结构、揉皱结构、压碎结构、细(网)脉状结构、斑状结构、共结边结构、交代结构、填隙式结构;矿石构造有条带状构造、层状-似层状构造、浸染状构造和脉状构造等。

矿体与围岩接触界限清楚,围岩蚀变简单,与原生矿体接触的围岩除褪色现象外,其它蚀变作用少见。围岩蚀变作用主要为白云岩化和黄铁矿化,偶见方解石化、硅化和粘土化等。

矿床以富集Cd和Ge为特征,含量分别为 $(900 \sim 2900) \times 10^{-6}$ 和 $(200 \sim 2300) \times 10^{-6}$ ,Ga含量相对较低,其中Cd主要富集于闪锌矿中,Ge、Ga主要富集于方铅矿中<sup>[15]</sup>。

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(NaCl)4.3%~15.8%,平均6.2%,成矿流体为 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$ 型流体<sup>[16-19]</sup>。矿床方解石流体包裹体的均一温度在142~245°C之间变化,矿床成矿压力为 $(436 \sim 618) \times 10^5 \text{Pa}$ ,换算成成矿深度为1.54~2.06km<sup>[17]</sup>。

据研究,矿床 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$ 值介于-59.2‰~50.2‰之间,根据包裹体计算的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ 范围为7‰~8.8‰<sup>[7]</sup>,在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰}) - \delta\text{D}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$ 图(图2)上,落入岩浆水和变质水混合区;矿床方解石碳-氧同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 的变化范围为-2.1‰~-3.5‰,显示成矿流体具有较赋矿围岩低得多的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 值,在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰}) - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ 图(图4)上,投点落于岩浆水与海相碳酸盐区域之间,指示成矿流体在上升过程中通过水岩反应与围岩碳酸盐地层进行了碳氧同位素交换,导致流体中 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高,围岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。矿床硫化物(闪锌矿、方铅矿及黄铁矿等) $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 值变化范围介于10.9‰~17.4‰之间(图5),多集中于13‰~17‰,不同矿体或同一矿体中硫化物 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 值没有明显差异,同时 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 值满足黄铁矿>闪锌矿>方铅矿,指示矿石达到硫同位素平衡,矿床的还原硫可能主要来自硫酸盐的还原,矿体含矿层位之下的黑色页岩、碎屑岩及泥质岩为硫酸盐还原提供了有机质。

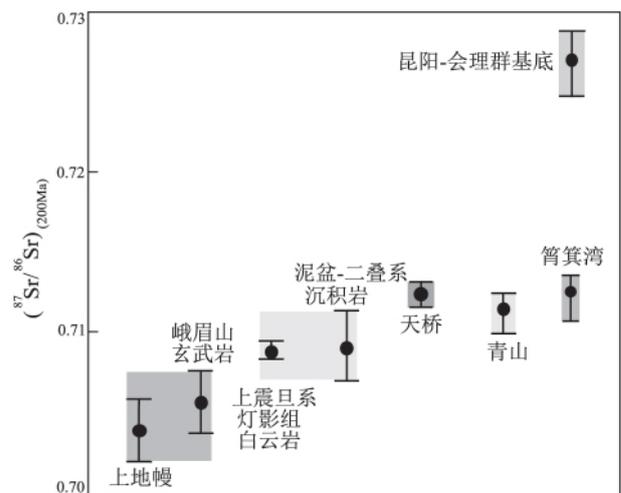


图6 赫章-威宁-水城矿集区碳酸盐岩容矿铅锌矿床 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图解(天桥、青山及筲箕湾数据来源<sup>[9-10]</sup>)

Fig. 6  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  diagram of the carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Hezhang-Weining-Shuicheng ore field, Guizhou

硫化物矿石的Pb同位素组成均一, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值范围为18.251~18.496, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值范围

为 15.663 ~ 15.855,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比值范围为 38.487 ~ 39.0, 与玄武岩 Pb 同位素范围类似 ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.175 \sim 18.371$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.629 \sim 15.662$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.38 \sim 38.666$ ) 指示矿石铅为上地壳铅与造山带铅混合来源<sup>[7-12]</sup>(图 3)。

目前,该矿床成矿类型尚有颇多争议,本文将其划分为与侵入作用有关的碳酸盐岩容矿铅锌银矿 (IRCH Pb-Zn-Ag 型),详见下述区域成矿讨论部分。

## 2 区域成矿讨论

如上所述,川滇黔相邻区 3 种类型碳酸盐岩容矿铅锌矿主要产出于 4 个矿集区。同一矿集区内,矿床具有相似的成矿地质特征,不同矿集区的矿床具有不同的成矿地质特征,矿集区内发生的成矿作用应是区域性的成矿事件,而非局部或孤立的事件<sup>[18]</sup>。

### 2.1 沉积喷流型 (SEDEX 型) 铅锌矿区域成矿

黑区-雪区矿集区为沉积喷流型铅锌矿集区,铅锌矿成矿机制为海底地震诱发深部超压流体库排泄喷流。据研究,位于铅锌矿层底板呈区域性分布的震裂角砾岩的发育,寓示着强大的海底地震是海底喷流-沉积成矿的开始,同生断裂带的活动和与之相伴的地震活动,触发了深部流体库的震荡破裂,并与同生断裂带沟通,含矿流体向断裂减压空间汇集、向上运移,并喷出海底成矿<sup>[1]</sup>。在一次强大的地震活动之后,尚有多幕式强度逐渐减弱的余震发生。随着地壳应力的释放和深部流体的排放,流体库枯竭,结束了一次大规模的 SEDEX 成矿作用。Pb、Zn、Fe、SiO<sub>2</sub>、有机质等成矿物质主要来自峨边群

等基底变质岩系,成矿硫质来自海水硫酸盐,富含有机质的含矿流体喷溢出海底,由于物理化学条件的急剧改变以及有机质对海水 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的还原作用,导致了硅质岩和铅锌硫化物的沉淀。

### 2.2 密西西比河谷型 (MVT 型) 铅锌区域成矿

雷波-金阳-巧家-会东和赫章-威宁-水城矿集区为两个 MVT 型矿集区。

#### 2.2.1 成矿流体性质

雷波-金阳-巧家-会东矿集区成矿流体性质通过大梁子铅锌矿的研究(见上述),揭示铅锌矿成矿流体主要为雨水来源,成矿流体类型属 Ca<sup>2+</sup>-Mg<sup>2+</sup>-Cl<sup>-</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 型,为弱酸到近中性,盐度 NaCl 为约 4wt%,主成矿阶段成矿温度为 150 ~ 200°C,成矿流体成矿深度为地下 1km 左右<sup>[19]</sup>。

赫章-威宁-水城矿集区成矿流体性质通过天桥铅锌矿的研究,揭示成矿流体为 Cl<sup>-</sup>-Na<sup>+</sup>-Ca<sup>2+</sup>-F<sup>-</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 型;含盐度为 10wt%,成矿流体来源岩层及下伏碳酸盐地层,成矿温度为 150 ~ 240°C,成矿深度大于 400m<sup>[10]</sup>。

#### 2.2.2 成矿年龄

雷波-金阳-巧家-会东矿集区矿床成矿年龄,目前已有大梁子、宁南跑马和茂租铅锌矿的成矿年龄测定(表 1)。宁南跑马铅锌矿闪锌矿 Rb-Sr 年龄为 200.1 ± 4.0 Ma<sup>[20]</sup>。茂租铅锌矿热液方解石 Sm-Nd 年龄为 196 ± 13 Ma<sup>[9]</sup>。大梁子矿床闪锌矿 Rb-Sr 年龄为 366.3 ± 7.7 Ma<sup>[21]</sup>。结合矿集区成矿地质构造环境演化,笔者认为雷波-金阳-巧家-会东矿集区成矿年龄为 196 ~ 200 Ma,与区域成矿地质构造演化特征更为一致(见下述)。

表 1 川滇黔相邻区碳酸盐容矿铅锌矿放射性年龄一览表

Table 1 Radiometric age determinations for the carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area

矿床	位置	年龄测定 (Ma)	测定矿物和测定方法	资料来源
会泽麒麟厂铅锌矿	云南会泽县	225.1 ± 2.9 225.9 ± 3.1	两组同源矿物组合(闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和方解石); Rb-Sr 法	李文博等 2004 <sup>[30]</sup>
会泽麒麟厂、矿山厂铅锌矿	云南会泽县	225 ± 38 226 ± 15	矿体方解石; Sm-Nd 法	李文博等 2004 <sup>[31]</sup>
会泽铅锌矿	云南会泽县	225.9 ± 1.1 224.8 ± 1.2 226.0 ± 6.9	闪锌矿, Rb-Sr 法	黄智龙等, 2004 转引自鲍森等 2011 <sup>[32]</sup>
会泽麒麟厂铅锌矿	云南会泽县	176.5 ± 2.5	伊利石, K-Ar 法	张长青等 2005 <sup>[36]</sup>
大梁子铅锌矿	四川会东县	366.3 ± 7.7	闪锌矿, Rb-Sr 法	张长青等 2008 <sup>[21]</sup>
宁南跑马铅锌矿	四川宁南县	200.1 ± 4.0	闪锌矿, Rb-Sr 法	蔺志永等 2010 <sup>[320]</sup>
天桥铅锌矿	贵州赫章县	191.9 ± 6.9	闪锌矿、黄铁矿, Rb-Sr 法	Jiayi Zhou et al. 2013 <sup>[10]</sup>
茂租铅锌矿	云南巧家县	196 ± 13	矿体方解石; Sm-Nd 法	Jiayi Zhou et al. 2013 <sup>[9]</sup>

赫章-威宁-水城矿集区矿床成矿年龄,目前,已有天桥铅锌矿的年龄测定<sup>[10]</sup>。对天桥铅锌矿的闪锌矿、黄铁矿利用 Rb-Sr 法年龄测定结果为  $191.9 \pm 6.9\text{Ma}$ (表 1)。

### 2.2.3 成矿物质来源

通过对矿集区内矿床的铅、硫、锶、碳、氧同位素分析(图 3、图 4、图 5、图 6)表明成矿金属物质主要来自上地壳基底岩石和震旦系灯影组白云岩、寒武系一二叠系碳酸盐岩沉积盖层和峨眉山玄武岩,碳、氧、硫物资主要来源于海相碳酸盐岩和硫酸盐岩石,锶则是来源于基底岩石、较新的沉积岩石(泥盆系一二叠系沉积岩)以及峨眉山玄武岩。

### 2.2.4 区域成矿讨论

#### (1) MVT 铅锌矿区域成矿研究进展

MVT 铅锌矿是形成于台地碳酸盐岩石中的后生矿床。近年来的研究表明<sup>[18]</sup>,世界上绝大多数 MVT 铅锌矿形成于造山前陆地区,少数形成于或相邻于裂谷引张环境,极少数形成于克拉通内盆地中。造山前陆型 MVT 矿床就是形成于造山前陆隆起相对未变形的台地碳酸盐或前陆冲断带中,前者如 Pine Point, Ozark 和田纳西中部矿集区内的 MVT 铅锌矿,后者可以阿巴拉契亚山脉和落基山脉的 MVT 铅锌成矿带中的铅锌矿为代表;而欧洲阿尔卑斯 MVT 矿集区中的 MVT 铅锌矿就是形成或相邻于裂谷带;密西西比河谷上游矿集区(Upper Mississippi Valley district) MVT 铅锌矿则是形成于克拉通内盆地中的典型代表。

虽然, MVT 铅锌矿的成因一直是令人困惑的,但近年来随着人们对 MVT 矿集区地球化学、地质特征的研究和新的放射性年龄的测定,以及对地壳中大规模流体流动认识的研究进展表明,世界上绝大多数 MVT 矿集区都是区域性或次大陆尺度水文过程的产物, MVT 铅锌矿形成于热-温热的含盐溶液(类似于油田卤水),从沉积盆地经由含水层迁移到盆地周缘并进入到台地碳酸盐地层层序中。关于含矿硫化物卤水的运动过程,目前至少已提出了 3 种不同的流体流动模式<sup>[22]</sup>:

一是地形或重力驱动流体流动模式(topographic or gravity-driven fluid flow model)。

二是沉积和构造压实模式(sedimentary and tectonic compaction model)。

三是热液对流模式(hydrothermal convection model)。

而关于 MVT 矿床成矿流体硫化物化学搬运和

沉淀的通用模式(conventional model),目前也提出了 3 种模式,即混合模式、硫酸盐还原模式和还原硫模式<sup>[22]</sup>。

#### (2) 区域成矿讨论

主要根据近年来获得的最新的矿床成矿年龄资料,重点结合矿集区区域成矿地质构造环境,对两个矿集区 MVT 铅锌矿区域成矿进行讨论。

雷波-金阳-巧家-会东矿集区该矿集区构造上位于上扬子地台西缘,该矿集区 MVT 铅锌成矿年龄,经放射性年龄测定表明在  $196 \sim 200\text{Ma}$ , 相对应于早侏罗世。早侏罗世,该矿集区区域成矿构造环境主要受特提斯甘孜-理塘洋演化影响,甘孜-理塘洋盆此时向西与义敦岛弧发生同碰撞造山作用<sup>[24]</sup>。而雷波-金阳-巧家-会东矿集区的成矿构造环境受甘孜-理塘洋盆同碰撞造山磨拉石前陆冲断影响,主要来源于地层建造水的区域性流体在前陆冲断带中可能通过地形或重力驱动由西向东沿区域性断裂发生了区域性流体流动,并在流动中不断溶滤、萃取了区域内基底岩石震旦系灯影组白云岩、泥盆系一二叠系碳酸盐岩和峨眉山玄武岩中的矿质和碳、氧、硫、锶物质,形成了  $\text{Ca}^{2+}-\text{Mg}^{2+}-\text{Cl}^{-}-\text{HCO}_3^{-}$  型成矿硫化物卤水,在区域性成矿流体流动的区域断裂旁侧发育的次级(2 级、3 级断裂)断裂中,成矿卤水在物理化学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,铅锌物资以硫化物形式沉淀形成了 MVT 铅锌矿床<sup>[23]</sup>。

赫章-威宁-水城矿集区与雷波-金阳-巧家-会东矿集区不同,其在构造上位于上扬子地台南缘,与南盘江盆地相邻,矿集区 MVT 铅锌成矿年龄,如前述,为  $191.9 \pm 6.9\text{Ma}$ , 为早侏罗世。该矿集区区域成矿构造环境受特提斯洋马江构造带和南盘江盆地演化影响,早三叠世末,华南板块与印支板块在马江构造带发生碰撞,中晚三叠世,南盘江盆地进入前陆盆地早期演化接受复理石沉积,早侏罗世,盆地进入前陆盆地晚期演化接受磨拉石沉积。赫章-威宁-水城矿集区 MVT 成矿作用就与南盘江早侏罗世前陆冲断作用有关。该矿集区 MVT 铅锌成矿作用在早侏罗世由前陆冲断挤压形成的  $\text{Cl}^{-}-\text{Na}^{+}-\text{Ca}^{2+}-\text{F}^{-}-\text{SO}_4^{2-}$  型含矿卤水由南向北发生类似于雷波-金阳-巧家-会东矿集区的区域性的流体流动并在合适的断裂构造中发生硫化物沉淀形成 MVT 铅锌矿床(图 7)。

对世界上 MVT 铅锌矿与地质历史演化的关系进行了研究后发现<sup>[27]</sup>,世界上许多铅锌矿主要形成

于全球几个特定时期发生的大规模的收缩构造事件中,并主要形成于泥盆纪-二叠纪和白垩纪-第三纪两个时期。而正如上所述,雷波-金阳-巧家-会东和赫章-威宁-水城两个 MVT 矿集区成矿作用也就是发生于甘孜-理塘洋和马江洋在三叠纪-侏罗纪发生的大规模收缩构造事件中,为造山前陆型 MVT 矿床。与世界上其它地方不同,川滇黔 MVT 铅锌成矿作用发生于早侏罗世(图 8)。

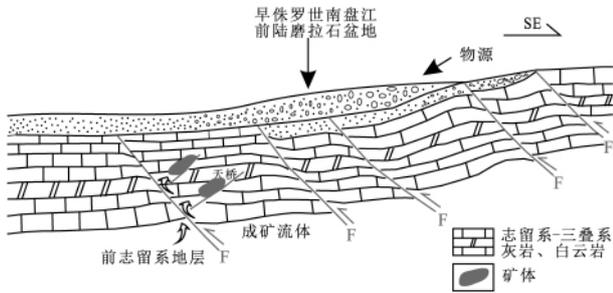


图 7 赫章-威宁-水城矿集区 MVT 铅锌矿区域成矿模式  
Fig. 7 Mineralization model for the Mississippi Valley-type Pb-Zn deposit in the Hezhang-Weining-Shuicheng ore field, Guizhou

### 2.3 与侵入作用有关的碳酸盐岩容矿铅锌矿集区区域成矿

会泽-彝良矿集区为与侵入作用有关的碳酸盐岩容矿铅锌矿集区。

#### 2.3.1 成矿流体性质

经对会泽和毛坪铅锌矿的研究,会泽-彝良矿集区铅锌矿成矿流体为  $Na^+ - K^+ - Ca^{2+} - Cl^- - F^- - (SO_4^{2-})$  型,含盐度 NaCl 为 4.1%~12wt%,成矿温度: 142~245℃,成矿压力为  $(436 \sim 618) \times 10^5 Pa$ ,换算成成矿深度为 1.54~2.06km,成矿流体主要为岩浆水、变质水、建造水混合来源,与沉积作用、昆阳群基底的变质作用和岩浆热液作用有关<sup>[12, 17, 18, 29]</sup>。

#### 2.3.2 成矿年龄

近 10 年来,已有较多研究者对会泽铅锌矿进行了成矿年龄测定(表 1),利用 Sm-Nd 法和 Rb-Sr 法测得的成矿年龄数据主要集中在 224~226 Ma(晚三叠世卡尼期),张长青<sup>[30-32]</sup>等(2005b)对会泽麒麟厂铅锌矿伊利石利用 K-Ar 法测得年龄为  $176.5 \pm 2.5 Ma$ ,结合成矿地质背景认为该矿集区成矿作用更可能发生在 224~226 Ma。

#### 2.3.3 成矿物质来源

通过对矿集区矿床铅、硫、碳同位素的分析(图 3、4、5),表明矿床成矿流体中的金属物质主要来源于上地壳,并存在造山带铅和地幔铅少量混源的可能<sup>[6, 7, 28, 33]</sup>;碳主要来源于海相碳酸盐岩,并有源于

深部流体碳加入<sup>[6, 28]</sup>;硫主要来源于海水硫酸盐<sup>[6, 33]</sup>。

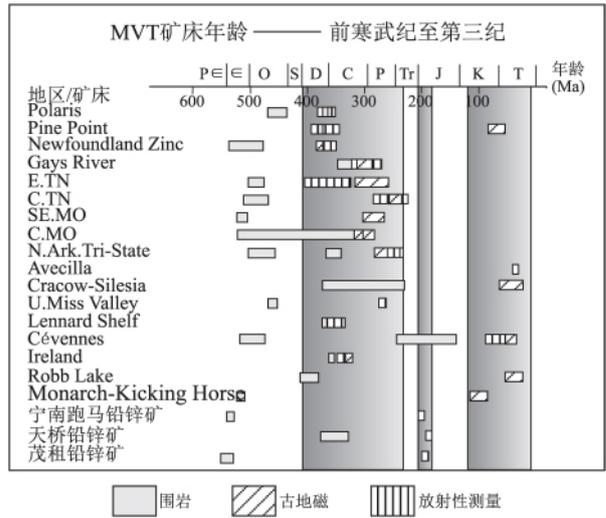


图 8 川滇黔相邻区与世界密西西比河各型(MVT)铅锌矿成矿年龄和容矿岩石对比<sup>[27]</sup>  
Fig. 8 Correlation of mineralization ages and host rocks of the Mississippi Valley-type Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area and other parts of the world (after Leach et al., 2001)

#### 2.3.4 区域成矿讨论

目前,有关以会泽铅锌矿为代表的会泽-彝良矿集区铅锌矿成因有许多研究,也存颇多争议。韩润生等<sup>[34]</sup>提出会泽铅锌矿为深源流体贯入-蒸发岩层萃取-构造控制的后生矿床;黄智龙等<sup>[35]</sup>从峨眉山地幔柱考虑,提出会泽为均一化成矿流体贯入的成矿模式。张长青等<sup>[36]</sup>认为属于比较典型的密西西比河谷型铅锌矿床。Han Rs 等<sup>[28]</sup>认为毛坪铅锌矿床不同于典型的 MVT 型铅锌矿床,是一个碳酸盐岩为主岩的铅锌多金属硫化物矿床,认为会泽铅锌矿是变形的碳酸盐岩容矿 MVT 型矿床<sup>[12]</sup> (deformed, carbonate-hosted MVT type deposit)。

通过对矿集区铅锌成矿特征、成矿流体性质、矿床地球化学和成矿物质来源等特征的系统综合研究,结合晚三叠世早期矿集区所处的成矿地质构造环境等因素,认为会泽-彝良矿集区铅锌矿成矿类型应属于与侵入作用有关的碳酸盐容矿铅锌银矿床类型 (IRCH Pb-Zn-Ag 矿床) (intrusion-related carbonate-hosted Pb-Zn-Ag deposit)<sup>[37]</sup>。矿集区区域成矿过程与其成矿构造环境密切相关。晚三叠世早期卡尼期,会泽-彝良矿集区构造上位于上扬子地台西南部,区域成矿地质构造环境主要受特提斯洋马江构造带与南盘江盆地演化的影响。据秦建华

等<sup>[25]</sup>研究,早三叠世末,华南板块与印支板块在马江构造带发生碰撞。中晚三叠世,南盘江盆地进入前陆盆地早期演化接受复理石沉积。会泽-彝良矿集区,此时的成矿地质构造环境正处于南盘江早期前陆盆地在盆地北侧扬子台地南缘发生的局部引张构造环境中。矿集区在引张作用地质背景下,在会泽地区发生了岩浆侵入。岩浆水在上升过程中与地层建造水、基底昆阳群的变质水逐步混合,溶滤、萃取来自上地壳和造山带的矿质铅,并与来自少量地幔铅组成矿质混源铅来源。同时,溶滤、萃取来自地层海水碳酸盐和硫酸盐的碳质和硫质,形成了混合水来源的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- - \text{F}^- - (\text{SO}_4^{2-})$ 型成矿卤水,该矿集区可能以会泽地区为岩浆侵入成矿中心,成矿卤水在上升中向上和四周相邻区主要沿断裂等薄弱地带进行流动,并在合适的断裂构造中发生硫化物沉淀形成了以会泽为代表的 IRCH Pb-Zn-Ag 矿床(图9)。会泽-彝良矿集区铅锌矿可与美洲地区科迪勒拉西部和拉腊米或更年轻造山作用有关形成的 IRCH Pb-Zn-Ag 矿床进行对比<sup>[37]</sup>。

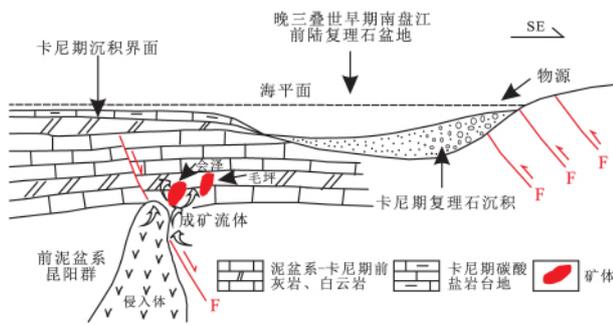


图9 会泽-彝良矿集区与侵入作用有关的碳酸盐岩容矿( IRCH) Pb-Zn-Ag 区域成矿模式

Fig. 9 Mineralization model for the intrusion-related Pb-Zn-Ag deposits in the Huize-Yiliang ore field, Yunnan

需要指出的是,上述对川滇黔矿集区 MVT 铅锌矿和以会泽为代表的 IRCH Pb-Zn-Ag 矿床的区域成矿过程的讨论重点是结合矿床形成时的成矿构造环境进行的。而对与矿床形成有关的成矿流体的形成、流动、矿质化学搬运和沉淀等方面的形成机制未做深入讨论。从目前已发表的研究成果来看,今后应进一步加强对川滇黔相邻区 MVT 铅锌矿和 IRCH Pb-Zn-Ag 矿的成矿机制(如硫化物化学搬运模式、沉淀机制等)的研究。

### 3 结论

川滇黔相邻区碳酸盐岩容矿铅锌矿,主要以 4

个矿集区的形式分布,形成于 3 期、3 种构造环境:黑区-雪区矿集区,成矿时代为早寒武世,形成于台地区海底地震引发的同生断裂构造环境;雷波-金阳-巧家-会东矿集区和赫章-威宁-水城矿集区,成矿时代为早侏罗世,形成于前陆盆地晚期前陆冲断环境;会泽-彝良矿集区,成矿时代为晚三叠世早期,矿床形成于前陆盆地早期碳酸盐台地局部引张构造环境。

鸣谢: 本文得到中国地质调查局西南地区矿产资源潜力评价项目的支持。成都地质调查中心金灿灿海教授高级工程师、张屿工程师阅读了本文初稿;研究生游钦帮助绘制了图 8 和图 9。在此,一并表示感谢。

### 参考文献:

- [1] 林方成,潘桂棠. 四川大渡河谷灯影期层状铅锌矿床中震积岩的发现及其成矿意义[J]. 中国科学 D 辑(地球科学), 2006, 36(11): 998-1008.
- [2] 林方成. 论扬子地台西缘层状铅锌矿床热水沉积成矿作用[D]. 成都: 成都理工大学, 2005.
- [3] 王乾,安匀玲,顾雪祥,等. 四川大梁子铅锌矿床分散元素镉、锗、镓的富集规律[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(1): 78-84.
- [4] 李发源. MVT 铅锌矿床中分散元素赋存状态和富集机理研究——以四川天宝山-大梁子铅锌矿床为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2003.
- [5] 朱赖民,袁海华,栾世伟,等. 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, 1995, 15(1): 72-79.
- [6] 申屠良义,韩润生,李波,等. 云南昭通毛坪铅锌矿床同位素地球化学性质研究[J]. 矿产与地质, 2011, 25(3): 211-226.
- [7] 李文博,黄智龙,张冠,等. 云南会泽铅锌矿田成矿物质来源: Pb、S、C、H、O、Sr 同位素制约[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2568-2580.
- [8] 王小春. 康滇地轴中段东缘展旦系灯影组层控铅锌矿床成矿理论[D]. 成都: 成都地质学院, 1988.
- [9] ZHOU J X, HUANG Z L, YAN Z F. The origin of the Maozu carbonate-hosted Pb-Zn deposit, southwest China: Constrained by C-O-S-Pb isotopic compositions and Sm-Nd isotopic age [J]. Journal of Asian Earth Sciences 2013, 73: 39-47.
- [10] ZHOU J X, HUANG Z L, ZHOU M F, et al. Constraints of C-O-S-Pb isotopic compositions and Rb-Sr isotopic age on the origin of Tianqiao carbonate-hosted Pb-Zn deposit, SW China [J]. Ore Geology Reviews 2013, 53: 77-92.
- [11] 周家喜,黄智龙,周国富,等. 黔西北赫章天桥铅锌矿床成矿物质来源: S、Pb 同位素和 REE 制约[J]. 地质论评, 2010, 56(4): 513-524.
- [12] HAN R S, LIU C Q, HUANG Z L, et al. Geological features and origin of the Huize carbonate-hosted Zn-Pb-(Ag) District,

- Yunnan, South China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007a, 31: 360-383.
- [13] 张准, 黄智龙, 周家喜, 等. 黔西北筲箕湾铅锌矿床硫同位素地球化学研究[J]. *矿物学报*, 2011, 31(3): 498-501.
- [14] 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, 8: 507-518.
- [15] 王乾. 康滇地轴东缘典型铅锌矿床分散元素镉锗镓的富集规律及富集机制[D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [16] 张振亮, 黄智龙, 饶冰, 等. 会泽铅锌矿床成矿流体研究[J]. *地质找矿论丛*, 2005, 20(2): 115-122.
- [17] 严鑫熔, 李元. 会泽铅锌矿床的地质特征及成因探讨[J]. *地下水*, 2006, 28(6): 123-125.
- [18] PARADIS S, HANNIGANAND P, DEWING K. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits [A]. Goodfellow W D. *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Type, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada [C]. Mineral Deposits Division, Special Publication*, 2007. 5: 185-203.
- [19] ZHENG M H, WANG X C. Genesis of the Daliangzi Pb-Zn deposit in Sichuan, China [J]. *Economic Geology*, 1991, 86: 831-846.
- [20] 蔺志永, 王登红, 张长青, 等. 四川宁南跑马铅锌矿床的成矿时代及其地质意义[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 488-494.
- [21] 张长青, 李向辉, 余金杰, 等. 四川大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿铷-锶测年及其地质意义[J]. *地质论评*, 2008, 54(4): 532-538.
- [22] PARADIS S, NELSON J L. Metallogeny of the Robb Lake carbonate-hosted zinc-lead district, northeastern British Columbia [A]. Goodfellow W D. *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Type, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada [C]. Mineral Deposits Division, Special Publication* 2007. 5: 633-654.
- [23] 张长青, 毛景文, 吴锁平, 等. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及成因[J]. *矿床地质*, 2005a, 24(3): 336-348.
- [24] 潘桂棠, 徐强, 侯增谦, 等. 西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [25] 秦建华, 吴应林, 颜仰基, 等. 南盘江盆地海西-印支期沉积构造演化[J]. *地质学报*, 1996, 70(2): 99-107.
- [26] 杨宗永, 何斌. 南盘江盆地中三叠统碎屑锆石地质年代学: 物源及其地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(4): 581-596.
- [27] LEACH D J, BRADLEY D, LEWCHUK M T, et al. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits through geological time: Implications from recent age-dating [J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36: 711-740.
- [28] HAN R S, ZOU L J, HU B, et al. Features of fluid inclusions and sources of ore forming fluid in the Maoping carbonate-hosted Zn-Pb-(Ag-Ge) deposit, Yunnan, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2109-2118.
- [29] HAN R S, LIU C Q, HUANG Z L, et al. Fluid inclusion of calcite and sources of ore-forming fluids in the Huize Zn-Pb-(Ag-Ge) district, Yunnan, China [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2004, 78: 583-591.
- [30] 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.
- [31] 李文博, 黄智龙, 王银喜, 等. 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*, 2004, 50(2): 189-195.
- [32] 鲍森, 周家喜, 黄智龙, 等. 铅锌矿床定年方法及川-滇-黔铅锌成矿域年代学研究进展[J]. *矿物学报*, 2011, 31(3): 391-396.
- [33] 马更生, 胡彬, 韩润生, 等. 毛坪铅锌矿床地质地球化学特征[J]. 第二届全国应用地球化学学术讨论会论文集专辑, 2006, 25: 474-480.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 张长青, 毛景文, 刘峰, 等. 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*, 2005, 24(3): 317-324.
- [37] SMITH JR D M. Sedimentary basins and the origin of intrusion-related carbonate-hosted Zn-Pb-Ag deposits [M]. *Society of Economic Geologists Special Publication*, 1996, 4: 255-263.

## Mineralization of the carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area , southwestern China

QIN Jian-hua<sup>1</sup> , LIAO Zhen-wen<sup>1</sup> , ZHU Si-bao<sup>1</sup> , LAI Yang<sup>2</sup>

( 1. *Chengdu Center , China Geological Survey , Chengdu 610081 , Sichuan , China*; 2. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources , CAGS , Chengdu 610041 , Sichuan , China*)

**Abstract:** The present paper gives a detailed description of the mineralization of the carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Sichuan Yunnan-Guizhou area , southwestern China. Three types of the Pb-Zn deposits may be distinguished in the Luding-Yingjing-Hanyuan , Leibo-Jinyang-Qiaojia-Huidong , Hezhang-Weining-Shuicheng and Huize-Yiliang ore fields. The Sinian and Palaeozoic strata constitute the main host rocks of the Pb-Zn deposits outlined above. These Pb-Zn deposits are assigned to three types of mineralization and three types of tectonic settings , including the SEDEX-type deposit represented by the Heiqu-Xuequ Pb-Zn deposit formed in the Early Cambrian submarine seismic contemporaneous fault environment; the intrusion-related carbonate-hosted ( IRCH) deposit represented by the Huize deposit formed in the extensional environment in the early stages of foreland thrust during the Late Triassic , and the Mississippi Valley-type ( MVT) deposit represented by the Daliangzi and Tianqiao deposits formed in the late stages of foreland thrust and compression. Different from those in the other parts of the world , the mineralization of the Mississippi Valley-type Pb-Zn deposits in the study areas occurred mostly during the Early Jurassic.

**Key words:** Sichuan-Yunnan-Guizhou area; carbonate-hosted Pb-Zn deposit; ore field; ore deposit type; mineralization