

文章编号: 1000-4734(2009)02-0235-08

云南会泽超大型铅锌矿床的矿床模型

许典葵¹, 黄智龙^{2*}, 邓红¹, 李文博³, 李晓彪^{2, 4}, 周家喜^{2, 4}, 陈东¹

(1. 广东省有色金属地质勘查局 935 地质队, 广东 惠州 516001; 2. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 3. 北京大学 地质系造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871; 4. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 矿床模型是一组有成因联系矿床的高度总结, 对找矿预测具有指导作用。位于川—滇—黔接壤区铅锌银多金属成矿区中南部的云南会泽超大型铅锌矿床是成矿区内很具代表性、研究程度较高的矿床。本文在总结了会泽铅锌矿床成矿背景、矿床地质特征、成矿时代和矿床地球化学基础上, 分析了峨眉山玄武岩、构造和地层与成矿的关系, 探讨了矿床类型, 初步建立了该矿床的矿床模型。

关键词: 川—滇—黔接壤区铅锌银多金属成矿区; 云南会泽超大型铅锌矿床; 矿床模型

中图分类号: P618.4 **文献标识码:** A

作者简介: 许典葵, 男, 1966 年生, 工程师, 从事地质勘探工作。E-mail: xudiank@163.com

矿床模型是一组有成因联系矿床的高度总结, 美国、加拿大、前苏联和澳大利亚等国相继出版了许多矿种的矿床模型, 而且根据矿床学研究的进展不断更新矿床模型版本或手册, 建立了多种矿床模型库, 出版了一系列矿床模型图册, 这些专著、图册以及模型库已经成为找矿评价的重要指南, 受到矿产资源勘查工作者的高度重视, 在找矿预测过程中得到广泛应用。我国地学工作者对国内许多矿床地质、地球化学、矿床成因及成矿规律等也进行了大量深入的研究, 已出版的两部专著, 即《中国矿床成矿模式》^[1] 和《中国矿床模式》^[2], 对相关矿床成矿模式进行了总结, 但有关矿床模型的研究仍显薄弱, 不同矿种的矿床模型库尚未建立、相应的矿床模型图册尚未形成。

位于川(四川)—滇(云南)—黔(贵州)接壤区的铅锌银多金属成矿区是我国重要的铅、锌、银、锗生产基地之一, 成矿区地质构造背景特殊、成矿条件优越, 目前已在该成矿区发现铅锌矿床、矿点和矿化点 400 多个^[3], 且其中许多大、中型矿床的成矿背景、成矿条件和矿床地质、地球化学特征相似^[4-6]。国内外许多学者对该成矿区地质背

景、成矿条件、矿床地质、地球化学特征、矿床成因、成矿规律和找矿预测进行过研究, 积累了丰富的地质、地球化学资料, 获得了许多高水平研究成果。云南会泽超大型铅锌矿床位于川—滇—黔接壤区铅锌银多金属成矿区中南部, 是成矿区内很具代表性、研究程度较高的矿床, 本文根据前人的研究成果, 初步建立了该矿床的矿床模型(图 1)。

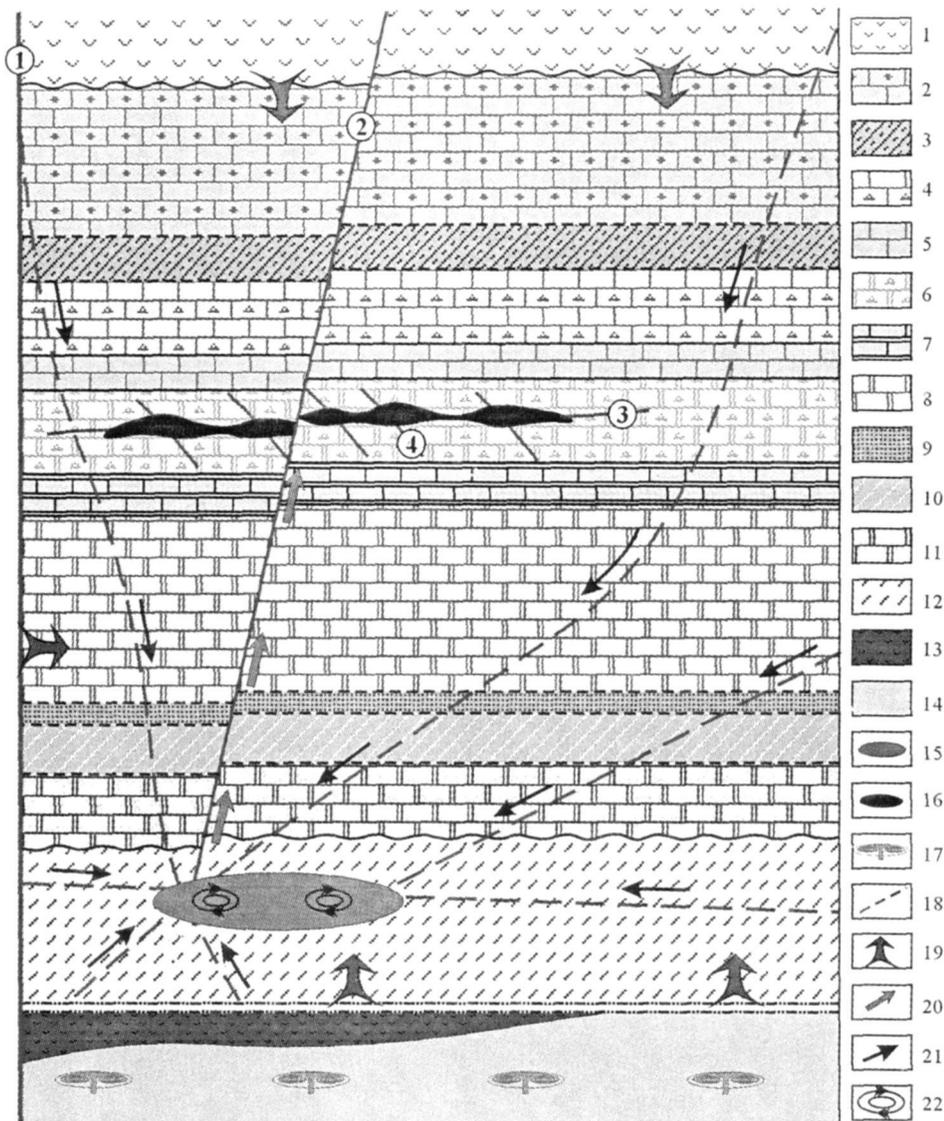
1 成矿背景

会泽超大型铅锌矿床大地构造位置处于扬子地台西南缘、攀西裂谷(或康滇地轴)主干断裂带——小江深断裂带东侧, 小江深断裂带和昭通—曲靖隐伏深断裂带间的北东构造带、南北构造带及北西紫云——垭都构造带的构造复合部位(图 2)。区域上褶皱基底(昆阳群和会理群)广泛出露, 盖层地层出露较为完整, 构造活动强烈且具多期性, 岩浆活动频繁且岩石类型多样化, 尤为重要是与成矿时代相近、地幔柱成因的大面积峨眉山玄武岩广泛分布。该区成矿条件优越, 形成了许多具有重要工业价值的矿产资源, 如铜镍矿、钒钛磁铁矿、铁铜矿、铅锌矿、稀土矿、铂钯矿、金矿、银矿、铌钽铍矿以及煤矿、膏盐等, 其中攀枝花钒钛磁铁矿床在世界范围内享有盛誉, 金宝山铂钯矿床是我国规模最大的独立铂族矿床, 冕宁稀土矿床储量在我国原生稀土矿床中仅次于白云鄂博, 川—滇—黔接壤区铅锌银多金属成矿区为

收稿日期: 2008-08-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB411402), 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q04-05)

* 通讯作者, E-mail: huangzhilong@vip.gygc.ac.cn



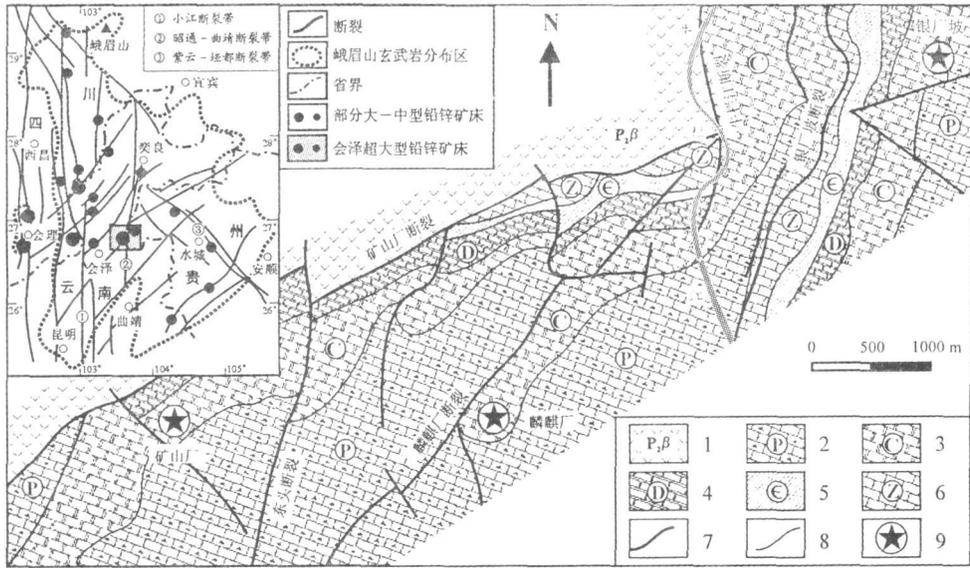
1二叠系峨眉山玄武岩; 2栖霞-茅口组 (P_1^{qm}) 灰岩、白云质灰岩夹白云岩; 3梁山组 (P_1) 炭质页岩和石英砂岩; 4马平组 (C_3^m) 角砾状灰岩; 5威宁组 (C_2^w) 鲕状灰岩; 6摆佐组 (C_1^b) 粗晶白云岩夹灰岩及白云质灰岩, 会泽铅锌矿床赋矿地层; 7大塘组 (C_1^d) 隐晶灰岩及鲕状灰岩; 8宰格组 (D_3^z) 灰岩、硅质白云岩和白云岩; 9海口组 (D_2^h) 粉砂岩和泥质页岩; 10筲竹寺组 (E_1^q) 泥质页岩夹砂质泥岩; 11灯影组 (Z_2^d) 硅质白云岩; 12基底 (昆阳群和会理群); 13地幔柱活动形成的基性岩浆; 14上地幔; 15成矿流体库; 16矿床; 17地幔柱活动; 18推测的流体运移通道; 19热动力; 20均一化和浓缩后的成矿流体运移方向; 21流体运移方向; 22成矿流体混合、均一化和浓缩作用。① 深大断裂带; ② 导矿构造; ③ 容矿构造; ④ 配矿构造

图 1 会泽超大型铅锌矿床的矿床模型

Fig. 1. The deposit model of the world-class Huize Pb-Zn deposit

我国重要的铅、锌、银、锗的重要生产基地之一。会泽铅锌矿床位于川—滇—黔接壤区铅锌银多金属成矿区中南部 (图 2), 其成矿地质背景、赋矿层位的岩性 (碳酸盐)、控矿构造、矿体产状、矿石组

成、成矿温度、流体盐度以及 Pb-Sr-S-C-O 等同位素组成等地质、地球化学特征与区内许多大、中型铅 (银) 矿床相似^[4-6]。



1二叠系峨眉山玄武岩; 2二叠系地层, 包括栖霞茅口组 (P_1^{q+m}) 灰岩、白云质灰岩夹白云岩、梁山组 (P_1^l) 炭质页岩和石英砂岩; 3石炭系地层, 包括马平组 (C_3^m) 角砾状灰岩、威宁组 (C_2^w) 鲕状灰岩、摆佐组 (C_1^b) 粗晶白云岩夹灰岩及白云质灰岩, 大塘组 (C_1^d) 隐晶灰岩及鲕状灰岩; 4泥盆系地层, 包括宰格组 (D_3^z) 灰岩、硅质白云岩和白云岩, 海口组 (D_2^h) 粉砂岩和泥质页岩; 5寒武系地层, 包括筇竹寺组 (E_1^q) 泥质页岩夹砂质泥岩; 6震旦系地层, 包括灯影组 (Z_2^d) 硅质白云岩; 7断裂; 8地层界线; 9铅锌矿床

图 2 会泽超大型铅锌矿床地质图

Fig. 2. The geological map of the world-class Huize Pb-Zn deposit

2 矿床地质特征

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: ① 矿区出露从震旦系灯影组 (Z_2^d) 至二叠系栖霞茅口组 (P_1^{q+m}) 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摆佐组 (C_1^b) 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, 其矿石矿物为方铅矿、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 25%, 部分矿石 $Pb+Zn$ 品位超过 60%), 伴生有用元素多 (Ag, Ge, Ga, Cd, Ir 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 \rightarrow 闪铁矿方铅矿黄铁矿方解石 \rightarrow 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。

3 成矿时代

目前, 对包括会泽超大型铅锌矿床在内的川—滇—黔接壤区铅锌银多金属成矿区的成矿时代还存在很大争论。黄智龙等^[17]根据区内 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例外), 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。黄智龙等^[4]利用矿石矿物闪锌矿 Rb-S 等时线测得会泽超大型铅锌矿床 1 号矿体成矿时代为 $(225.9 \pm 1.1) Ma$ 6 号矿体为 $(224.8 \pm 1.2) Ma$ 10 号矿体为 $(226.0 \pm 6.9) Ma$ 脉石矿物方解石 Sm-Nd 等时线测得矿床 1 号矿体成矿时代为 $(225 \pm 38) Ma$ 6 号矿体为 $(226 \pm 15) Ma$; 李文博等^[7]报道该矿床 6 号矿体两组同源矿物组合的 Rb-S 等时线年龄分别为 $(225.1 \pm 2.9) Ma$ 和 $(225.9 \pm 3.1) Ma$ 可见, 不同方法获得的成矿时代不具明显区别, 同时显示该区不同矿体的成矿时代基本一致, 加之不同矿体的矿物组合以及 Sr-Pb-S-C-H-O 同位素组成不具明显

变化(后文),认为矿床为一次性成矿作用的产物。虽然这些成矿时代相对低于峨眉山玄武岩成岩年龄(260 Ma左右^[8,9]),但众多研究结果表明^[10-13],岩浆活动与成矿作用一般存在一定的时差,该时差最大值超过60 Ma。Leach等^[14]对北美6个主要的MVT铅锌矿区的古地磁定年统计结果也显示,矿化过程可以持续25 Ma。因而所获成矿时代为峨眉山玄武岩岩浆活动与铅锌成矿作用之间存在密切联系提供了年代学证据。

4 矿床地球化学

4.1 成矿物理化学条件

在矿石矿物(闪锌矿)和脉石矿物(方解石等)中发现多种类型流体包裹体,如纯液相(L)、纯气相(V)、气液两相(L+V)、含子晶多相(L+V+S)和含液相CO₂的多相包裹体(L_{CO₂}+L+V+S)等;温度测定结果显示成矿作用经历中高温(300~350℃)和中低温(150~200℃)两个成矿阶段(图3);同时发现成矿过程中流体曾存在沸腾和不混溶现象。包裹体成分分析结果显示,成矿流体PH值变化于4.2~7.5之间,盐度变化范围5.21%~21.0% NaCl(平均为13.2% NaCl),密度0.546~1.129 g/cm³,压力14.5~75.4 MPa,成矿流体总体属中温—中压—中盐度的含Pb、Zn等成矿金属元素的H₂S-CO₂-H₂O型流体;同时认为,流体混合作用和沸腾作用是引起金属矿物沉淀的主要原因。

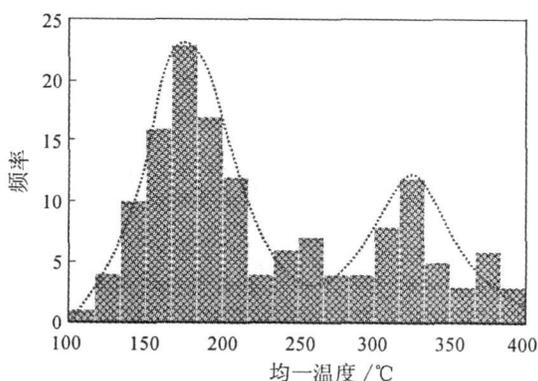


图3 会泽超大型铅锌矿床流体包裹体测温结果

Fig. 3. The homogenization temperatures of fluid inclusions from the world-class Huize Pb-Zn deposit

4.2 成矿物质和成矿流体来源

成矿元素(Pb、Zn、Ge、Ag、Ga、Cd、In等)地球

化学以及Pb-Sr同位素组成研究结果表明^[4],区域褶皱基底(昆阳群和会理群)、各时代碳酸盐地层和峨眉山玄武岩均可能提供会泽超大型铅锌矿床成矿物质,其中褶皱基底(昆阳群和会理群)为重要的矿源层。S同位素组成显示^[4,15],会泽超大型铅锌矿床成矿流体中的硫来源于海水硫酸盐的还原,主要由矿区(或区域)含膏盐地层提供;C、H、O同位素组成表明^[4,16],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;脉石矿物方解石、REE地球化学和控矿构造带脉状方解石、REE地球化学进一步证实^[17],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)形成的流体参与了矿床的成矿作用。由此可见,矿床成矿物质、成矿流体具有多源性。

4.3 成矿流体均一化

虽然会泽超大型铅锌矿床现已探明的1号、6号、8号和10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,脉石矿物最主要为方解石);从表1中可见,不同矿体的闪锌矿Rb-Sr等时线年龄和方解石Sm-Nd等时线年龄基本一致,不同矿体的Pb-Sr、S-C-Q-H同位素组成不具明显的区别,且各自具有较小的变化范围;同位素年代学资料显示1号、6号和10号矿体成矿时代基本一致。这些特征均表明,矿床为成矿流体同期成矿作用的产物。管士平和李忠雄^[18]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。矿床S同位素组成存在 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$ ^[4,15],表明成矿过程中硫已达到平衡;Pb-Sr同位素组成证实矿床成矿物质具有多源性,但其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ 具有很小的变化范围(表1);C、Q、H同位素组成显示成矿流体为壳—幔混合流体,但其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 和 δD 相对稳定(表1),均表明矿床成矿流体存在均一化过程。Zhou等^[19]也认为该矿床Pb同位素组成不具明显的变化可能为成矿物质来源单一或者成矿流体存在均一化过程的结果。据此,笔者推测矿床存在成矿流体均一化场所——成矿流体储库,至于该成矿流体储库的

规模、具有位置、形成机制还有待深入研究。从矿床看, 成矿流体在成矿流体储库中存在高浓缩过程。床铅锌品位高、伴生元素多、矿物组合相对简单

表 1 会泽超大型铅锌矿床两个矿床地质地球化学特征对比

Table 1. The geologic and geochemical characteristics of two deposits in the world-class Huize Pb-Zn deposit

矿床名称	矿山厂矿床		麒麟厂矿床		
矿体名称	1号矿体	6号矿体	8号矿体	10号矿体	
出露标高	1751米	1631米	1471米	1571米	
成矿时代	225±38 Ma (Sm-Nd)	226±15 Ma (Sm-Nd)			
	225.9±1.1 Ma (Rb-Sr)	224.8±1.2 Ma (Rb-Sr)		226.0±6.9 Ma (Rb-Sr)	
赋矿地层	C ₁ b	C ₁ b	C ₁ b	C ₁ b	
控矿构造	NE向断裂	NE向断裂	NE向断裂	NE向断裂	
矿物组合	矿石矿物: Py, Sp, Ga	矿石矿物: Py, Sp, Ga	矿石矿物: Py, Sp, Ga	矿石矿物: Py, Sp, Ga	
	脉石矿物: 方解石	脉石矿物: 方解石	脉石矿物: 方解石	脉石矿物: 方解石	
同位素组成	δ ⁴ S (‰)	10.94~15.99 (16)	11.56~17.24 (10)	11.25~16.68 (23)	13.53~17.42 (13)
	δ ¹³ C (‰)	-3.5~-2.2 (3)	-3.4~-2.1 (9)	-3.0~-2.2 (3)	-3.2~-2.3 (5)
	δ ⁸ O (‰)	17.5~18.6 (3)	17.2~18.1 (9)	17.0~17.8 (3)	16.8~18.5 (5)
	δD (‰)	-52.4~-59.8 (2)	-50.2~-58.0 (7)	-54.1~-55.2 (3)	-52.8~-57.3 (4)
	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	18.452~18.491 (8)	18.432~18.487 (20)	18.477~18.514 (27)	18.452~18.488 (9)
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	15.687~15.734 (8)	15.664~15.720 (20)	15.712~15.754 (27)	15.669~15.727 (9)
	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	38.876~38.905 (8)	38.729~38.874 (20)	38.765~39.009 (27)	38.835~38.899 (9)
	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) ₀	0.715175~0.716847 (10)	0.713676~0.717012 (17)	0.716548~0.716688 (2)	0.715913~0.716779 (6)

注: C₁b为摆佐组地层代号; Py为黄铁矿, Sp为闪锌矿, Ga为方铅矿; 括号内的数字为分析样品数。

5 峨眉山玄武岩、构造和地层与成矿的关系

5.1 峨眉山玄武岩与成矿的关系

会泽超大型铅锌矿床矿区岩浆岩只有峨眉山玄武岩, 川—滇—黔接壤区铅锌银多金属成矿区的绝大部分矿床、矿点和矿化点外围都有大面积峨眉山玄武岩分布, 峨眉山玄武岩岩浆活动与铅锌矿床成矿存在密切成因联系。前文已提供了两者存在密切成因联系的年代学证据, 矿床地球化学资料也显示, 峨眉山玄武岩在成矿过程中具有提供部分成矿物来源和成矿流体的作用。

此外, 会泽铅锌矿床流体包裹体均一温度变化范围大, 多数集中在 150~200 °C 和 300~350 °C 两个区间 (图 3)。会泽铅锌矿床的成矿深度为 2.00~2.50 km, 如果按最大地温梯度 1 °C/30 m, 可以计算出在成矿深度范围内的温度最大不超 100 °C, 远小于流体包裹体所显示的温度, 可见成矿过程中必然有其他热动力。由于该矿床铅

同位素均为正常铅^[4], 因而可排除放射性元素衰变产生的放射性热源提供主要热动力的可能性。区域上与成矿时代相近的岩浆活动只有峨眉山玄武岩, 而峨眉山玄武岩为具有巨大热能的地幔柱活动产物, 所以峨眉山玄武岩岩浆活动是成矿热动力最理想的提供者。张云湘等^[20]、沈苏等^[21]、柳贺昌^[22]和胡耀国^[23]的研究结果也支持这种推论。

5.2 构造与成矿的关系

会泽超大型铅锌矿床所在区域及矿区构造活动强烈、且具多期多阶段性^[24], 矿体定位空间及其形态也严格受构造控制, 因而构造与成矿作用具有密切成因联系。韩润生等^[24]总结出该区构造控矿模式: 小江深断裂带和昭通—曲靖隐伏断裂带为形成深源成矿流体提供了有利的成矿地质背景; 麒麟厂、矿山厂及银厂坡压扭性断裂为含矿流体的贯入提供了通道, 是主要的导矿构造; 下石炭统摆佐组中北东向层间压扭性断裂为矿质提供了储存空间, 并直接控制了矿体的形态和产状, 为

矿床的主要容矿构造,北西向断裂主要表现为配矿构造;东北向构造带是矿区最主要的成矿构造体系,容矿地层、含矿断裂与矿体呈“三位一体”。

5.3 地层与成矿的关系

矿床地球化学研究结果表明,矿区各时代地层(包括基底)在成矿过程中具有提供部分成矿物质和成矿流体(由地层提供)的作用。下石炭统摆佐组是矿床最主要的赋矿地层,黄智龙等^[4]的研究发现,该组地层的岩性、主要元素和稀土元素与其他碳酸盐岩地层均存在不同程度的差异,在成矿过程中除具有提供部分成矿物质和成矿流体的作用外,还可能起到“提供成矿空间”和“地球化学障”的作用。

(1)成矿空间:表现在矿区构造和摆佐组岩性共同控矿。会泽超大型铅锌矿床绝大部分矿体赋存于摆佐组地层中的粗晶白云岩岩性段,这种粗晶白云岩重结晶明显、矿物晶形完整、粒度大小参杂、颜色多种多样、孔隙发育、沿层稳定性差,其主要元素和稀土元素含量均与该层中的灰岩的白云质灰岩呈连续变化,为交代成因白云岩。矿区北西向断裂既是导矿构造(主干断裂)——麒麟厂断裂的次级构造、又是最主要的容矿构造且其中北西向断层发育的白云岩才含矿,该组断裂在摆佐组赋矿岩性段极为发育,韩润生等^[24]认为这组断裂的形成是“构造选择岩性”的结果,即粒度大小参杂、孔隙发育的粗晶白云岩为硬脆性岩石,在构造应力作用更易产生规模较大的断裂和裂隙,为成矿流体提供了良好的运移通道和聚集空间。

(2)地球化学障:REE地球化学研究结果显示,矿区赋矿地层摆佐组粗晶白云岩形成相对氧化环境;而矿床最主要矿石矿物为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,暗示其成矿流体中的硫以 S^0 为主,为相对还原环境。因而成矿流体流经摆佐组粗晶白云岩过程中将发生氧化还原反应,形成闪锌矿、方铅矿和黄铁矿等矿石矿物。韩润生等^[24]的分析结果也表明,与矿体接触粗晶白云岩的 F_{O_2} ($F_{O_2} = \frac{FeO}{FeO + Fe_2O_3}$)含量明显高于远离矿床的粗晶白云岩。这些均暗示,成矿流体与粗晶白云岩发生过氧化还原反应: $Pb^{2+}(Zn^{2+}等) + 2Fe^{3+} \rightarrow Pb(Zn等) \downarrow + 2Fe^{2+}$,即摆佐组粗晶白云岩在成矿过程中起“地球化学障”作用。

6 矿床类型

会泽超大型铅锌矿床不仅具有有利的成矿地质背景,而且具有独特的地质特征,尤其是其规模大(储量达超大规模)、品位高(平均出矿品位近30%)、伴生有用元素多(Ag、Ge、Cd、Ga、In等)在世界范围内极为少见。世界上铅锌矿床主要有三种成因类型,即SEDEX型、MVT型和VMS型,包括会泽超大型铅锌矿床在内的川—滇—黔铅锌多金属成矿区明显不同于SEDEX型和VMS型铅锌矿床已得到广大矿床学家的公认。该成矿区铅锌矿床、矿点、矿化点成群、成带分布,其赋矿地层主要为不同时代的碳酸盐岩,这些现象与MVT铅锌矿床相似。因而,一些学者^[5, 19, 25]将会泽铅锌矿床视为MVT矿床。从表2中可见,会泽铅锌矿床铅锌品位、矿物组合、单个矿体的规模、围岩蚀变、形成物理化学条件、同位素组成以及与峨眉山玄武岩存在密切关系等特征均与MVT铅锌矿床存在一定差别。尤其是该矿床品位($Pb+Zn$ 平均为30%左右)明显高于MVT铅锌矿床($Pb+Zn$ 一般小于10%),单个矿体的规模(1、6、8、10号矿体 $Pb+Zn$ 金属储量都接近100 Mt)明显大于MVT铅锌矿床(单个矿体 $Pb+Zn$ 金属储量一般小于10 Mt),与岩浆活动(峨眉山玄武岩)存在密切联系明显不同于MVT铅锌矿床(一般与岩浆岩没有直接成因联系)。因此,认为川—滇—黔接壤区铅锌银多金属成矿区内类似于会泽铅锌矿床为代表的铅锌矿床不同于MVT铅锌矿床。

7 矿床模型

初步建立的会泽超大型铅锌矿床的矿床模型如图1所示。晋宁运动导致富含铅锌等多种成矿元素的扬子地台基底固结(川—滇—黔地区主要为康定群和昆阳群)。震旦纪以来,形成了一套稳定盖层,在矿区为从震旦纪灯影组至早二叠纪梁山组的碳酸盐和碎屑岩地层,碳酸盐地层中多夹膏盐层。由于基底物质补给,这些地层中均含有一定量的铅锌等多种成矿元素。海西—印支期(P_2),地幔柱活动形成大面积峨眉山玄武岩喷发,玄武岩岩浆活动过程中伴随大量流体活动,同时提供热动力,使地层中膏盐层中硫还原硫代硫酸和氢硫酸,这些硫代硫酸和氢硫酸淋滤各时代地层(包括基底)中成矿元素;携带成矿元素的流体运移至基底较为开阔的空间(成矿流体库);在

表 2 会泽超大型铅锌矿床与 MVT 矿床主要特征对比

Table 2. The major geologic characteristics of the MVT and the world-class Huize Pb-Zn deposit

成矿条件	MVT 矿床	会泽超大型铅锌矿床
品位	Pb+Zn 多小于 10%, Zn/(Zn+Pb); 多为 0.8 左右。	Pb+Zn 平均 35%, Zn/(Zn+Pb); 0.9 左右。
规模	单个矿体 Pb+Zn 金属储量一般小于 10 Mt	1.6-8.10 号矿体 Pb+Zn 金属储量都接近 100 Mt
矿化范围	常集中出现在同一地区, 面积数百 km ² 。	会泽铅锌矿床所在川—滇—黔成矿区面积约 17 万 km ² 。
赋矿地层	石炭纪、泥盆纪、奥陶纪和寒武纪的碳酸盐岩, 矿体多产于白云岩和交代灰岩中。	下石炭统摆佐组灰白色、肉红色、米黄色粗晶白云岩。
矿体深度	多小于 600 m, 最大不超过 1500 m	大于 2000 m
构造背景	沉积盆地边缘的抬升部位, 或者古老克拉通的边缘、内部裂谷环境中, 一般与构造运动或裂谷活动有关。	扬子克拉通西缘, 小江断裂带和昭通—曲靖隐伏断裂带的复合部位。
与岩浆活动的关系	在时间和空间上一般与岩浆岩没有直接成因联系。	与峨眉山玄武岩岩浆活动存在密切联系。
控矿因素	主要受构造和地层岩性控制。	受构造和地层岩性控制。
成矿时代	元古界到白垩系, 主要为泥盆纪到晚二叠纪, 其次是白垩纪至第三纪。	晚二叠纪。
矿石结构、构造	浸染状、细粒状、树枝状、胶状和块状构造, 主要为胶状、骸状粗晶结构。	块状构造为主, 细—中—粗晶结构。
矿物组合	矿石矿物: 主要为闪锌矿、方铅矿, 次要为黄铁矿、黄铜矿和白铁矿, 脉石矿物: 主要为重晶石、萤石、方解石和白云石等。	矿石矿物: 闪锌矿、方铅矿和黄铁矿, 脉石矿物: 最主要为方解石。
包裹体	盐度: 10%~30%, 成分: 主要为 Cl ⁻ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , K ⁺ 和 Mg ²⁺ 均一温度: 一般为 50~200 °C。	盐度: 10%左右, 成分: 主要为 Cl ⁻ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , F ⁻ 和 SO ₄ ²⁻ , 均一温度: 一般为 150~250 °C。
伴生元素	大部分矿床有银异常, 有的具有铜、钴、镍异常。	银、锗、镓、铋、铟都具有工业价值。
硫同位素	$\delta^{34}\text{S}$ 多在 +10‰~+25‰ 之间。	$\delta^{34}\text{S}$ 多在 +11‰~+17‰ 之间。
铅同位素	铅同位素组成比较复杂, 区域上具有分带性。	铅同位素组成均一, 主要为正常铅。

注: MVT 铅锌矿床主要地质特征引自文献^[4]。

热动力作用下, 携带成矿元素的流体在成矿流体库中发生混合、均一化和浓缩, 形成高度富集铅锌等成矿元素的成矿流体; 这些富集铅锌等成矿元素的成矿流体沿有利构造 (NE 向构造) 贯入, 在

特定的环境 (“地球化学障”, 会泽超大型铅锌矿床为摆佐组地层) 成矿; 由于重力等因素, 在成矿过程中发生分异, 形成规模大、品位高、伴生元素多的矿床。

参 考 文 献:

- [1] 陈毓川, 朱裕生. 中国矿床成矿模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [2] 裴荣富, 吴良士. 中国矿床模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [3] 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.
- [4] 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因——兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [5] 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, 2005, 24(3): 336-348.
- [6] 张伦尉, 黄智龙, 李晓彪, 金中国. 铅锌矿床定年研究现状 [J]. 矿物学报, 2007, 27(增刊): 322-323.
- [7] 李文博, 黄智龙, 陈进, 韩润生, 张振亮, 许成. 云南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.
- [8] Lo C-H, Chung S-I, Lee T-Y, et al. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian-Triassic boundary events [J]. Earth Planet Sci Lett 2002, 198(3-4): 449-458.

- [9] 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
- [10] Halliday A N. The timing of early and main stage ore mineralization in Southwest Cornwall [J]. *Economic Geology*, 1980, 75: 752-759
- [11] Stee L W, Sutter J F, Kelly W C. Thermochronology of economic mineral deposits: Dating the stages of mineralization at Panasqueira, Portugal by high-precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum techniques on muscovite [J]. *Econ Geol*, 1988, 83: 335-354
- [12] Chesley J T, Halliday A N, Scrivener R C. Samarium-neodymium direct dating of fluorite mineralization [J]. *Science*, 1991, 252: 949-951
- [13] 柳少波, 王联魁. 金矿床成岩成矿时差述评 [J]. *地质论评*, 1996, 42(2): 154-165
- [14] Leach D L, Bradley D, Lewchuk M T, et al. Mississippi valley type lead-zinc deposits through geological time: implications from recent age-dating research [J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36: 711-740
- [15] Li X B, Huang Z L, Li W B, et al. Sulfur isotopic compositions of the Huize super-large Pb-Zn deposit, Yunnan Province, China: Implications for the source of sulfur in the ore-forming fluids [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006, 89: 227-230
- [16] Huang Z L, Li W B, Chen J, et al. Carbon and oxygen isotope constraints on the mantle fluids in the mineralization of the Huize super-large Pb-Zn deposit, Yunnan Province, China [J]. *J Geochem Explor*, 2003, 78/79: 637-642
- [17] 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
- [18] 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
- [19] Zhou C X, Wei C S, Guo J Y. The source of metals in the Qilingchang Pb-Zn deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints [J]. *Econ Geol*, 2001, 96: 583-598
- [20] 张云湘, 骆耀南, 杨崇喜. 攀西裂谷 [M]. 北京: 地质出版社, 1988
- [21] 沈苏, 金明霞, 陆元法, 等. 西昌—滇中地区主要矿产成矿规律及找矿方向 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1988
- [22] 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
- [23] 胡耀国. 贵州银厂坡银多金属矿床银的赋存状态、成矿物质来源与成矿机制 [D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1999
- [24] 韩润生, 陈进, 黄智龙, 等. 构造成矿动力学及隐伏矿定位预测—以云南会泽超大型铅锌(银、锗)矿床为例 [M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [25] 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

THE DEPOSIT MODEL OF THE WORLD-CLASS HUIZE Pb-Zn DEPOSIT, YUNNAN PROVINCE, CHINA

XU Dian-ku¹, HUANG Zhi-long², DENG Hong³, LIW en-bo⁴,
LIXiao-biao⁴, ZHOU Jia-xi⁴, CHEN Dong⁴

- (1. The No. 935 Team of Guangzhou Bureau of Nonferrous Geological Exploration, Huizhou 516001, China)
- (2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)
- (3. MOE Key Laboratory of Ore Genic Belts and Crustal Evolution, Peking University, Beijing 100871, China)
- (4. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The deposit model, which is a high summary for one group of deposits with genetic connections, plays a guiding role in ore exploration. The world-class Huize Pb-Zn deposit, Yunnan Province, China, is located in the central-southern part of the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn polymetallic metallogenic province, has representativeness and has been well documented in this metallogenic province. On the basis of the mineralization setting, age, geology and geochemistry of the world-class Huize Pb-Zn deposit, this paper analyzed the relationship between Pb-Zn mineralization and the Emeishan basalt structure and strata, discussed the deposit type, and preliminarily established the deposit model.

Key words: Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn polymetallic metallogenic province; world-class Huize Pb-Zn deposit; deposit model