

黔西铅锌矿床成矿元素地球化学特征与成矿机制研究进展

周 洁

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2026年8月20日; 录用日期: 2026年9月10日; 发布日期: 2026年9月21日

摘 要

黔西地区位于扬子地块西南缘, 是川滇黔铅锌多金属成矿带的重要组成部分。本文系统梳理了黔西铅锌矿床的区域地质背景、矿床地质特征及Pb、S、C-O同位素地球化学研究成果, 重点总结了成矿物质来源与流体演化特征, 并探讨了矿床成因机制。结果表明: 矿床分布受区域性深大断裂与褶皱构造的复合控制, 矿体赋存于泥盆系-二叠系碳酸盐岩中, 具有明显层控性与构造控矿特征。Pb同位素指示金属来源具壳幔混合特征, 以壳源为主; S同位素揭示硫主要源于海相硫酸盐的热化学还原作用; C-O同位素表明成矿流体以建造水/变质水为主, 晚期混入少量大气降水。成矿时代集中于海西期-燕山期, 与峨眉山玄武岩喷发及印支期构造事件时空耦合。矿床成因应属“沉积预富集-构造热液叠加改造”的复合成因类型。未来应加强高精度定年与原位微区同位素分析, 以进一步约束成矿机制。

关键词

铅锌矿床, 成矿元素, 同位素地球化学, 成矿机制, 黔西地区

Geochemical Characteristics of Ore-Forming Elements and Advances in the Study of Ore Genesis Mechanisms in the Qianxi Lead-Zinc Deposits

Jie Zhou

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: August 20, 2026; accepted: September 10, 2026; published: September 21, 2026

Abstract

The Qianxi region, located at the southwestern margin of the Yangtze Craton, is an important part of the Sichuan-Yunnan-Guizhou lead-zinc polymetallic metallogenic belt. This paper systematically reviews the regional geological setting, ore deposit characteristics, and research findings on the geochemistry of Pb, S, and C-O isotopes in the Qianxi lead-zinc deposits, with a focus on summarizing the sources of ore-forming materials and fluid evolution features, as well as discussing the mechanisms of ore genesis. Results indicate that the distribution of deposits is controlled by the combined effects of regional deep faults and folding structures. Ore bodies occur within Devonian to Permian carbonate rocks, showing distinct stratiform control and structural control. Pb isotope data suggest a mixed crust-mantle source for metals, dominated by crustal origin; S isotope data reveal that sulfur mainly originates from the thermal chemical reduction of marine sulfates; C-O isotope data indicate that the ore-forming fluids were primarily derived from sedimentary water/metamorphic water, with minor late-stage mixing of meteoric water. The ore-forming period is concentrated in the Hercynian to Yanshanian epochs, coinciding temporally and spatially with the Emeishan basalt eruptions and Indosinian tectonic events. The genesis of these deposits should be classified as a composite type involving “sedimentary pre-enrichment followed by tectonic-hydrothermal overprinting”. Future studies should strengthen high-precision dating and *in situ* micro-scale isotope analysis to further constrain the ore-forming mechanisms.

Keywords

Lead-Zinc Deposits, Ore-Forming Elements, Isotope Geochemistry, Ore Genesis Mechanism, Qianxi Region

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

铅锌是国民经济支柱产业不可或缺有色金属，其资源安全直接关系国家战略保障[1][2]。中国铅锌资源丰富，而贵州地处特提斯-喜马拉雅与滨太平洋两大构造域交汇部位，成矿条件优越[3][4]。黔西成矿区位于川滇黔“铅锌金三角”核心区，已发现矿床(点)400余处，探明资源量超2000万吨，约占全国27% [5]-[7] (图1)。近年来猪拱塘超大型矿床的发现进一步彰显了该区找矿潜力[8]。

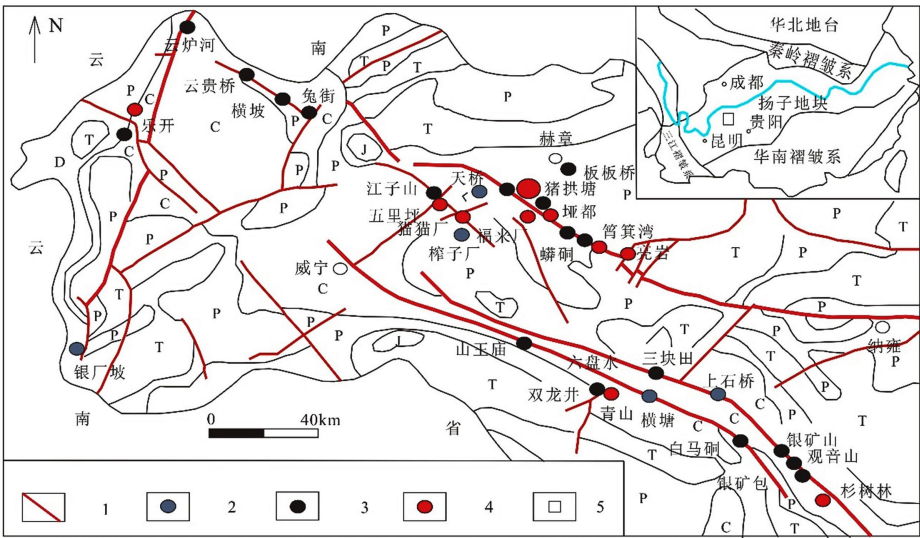
然而，关于黔西铅锌成矿的金属来源、流体驱动机制及矿床成因类型仍存在争议。这些争议的核心在于：成矿物质究竟是单一来源还是多来源混合？成矿流体的驱动机制是构造挤压还是地幔热柱活动？矿床应归入沉积-改造型还是MVT型？对这些问题的不同回答直接影响到区域成矿模型的构建和找矿方向的确定。本文系统梳理前人研究成果，重点总结成矿元素同位素地球化学特征，探讨成矿物质来源与成矿机制，并在批判性整合现有证据的基础上，提出综合性见解，以期为区域成矿理论研究和找矿实践提供参考。

2. 区域地质背景与矿床分布特征

2.1. 大地构造位置与地层

黔西铅锌成矿区位于扬子准地台西缘(图2)，康滇地轴东侧，涵盖威宁、赫章、织金、纳雍、六盘水等地[10][11]，处于紫云-垭都、纳雍-息烽和安顺-镇远三条古断裂围限的三角形断块内[12]。该区经

历了雪峰期——加里东期的伸展上隆、海西期 - 印支期的大规模玄武岩喷发等多期构造 - 岩浆事件，为成矿提供了热动力和物质基础[13]。



1-断层; 2-中型矿床; 3-小型矿床; 4-大型矿床; 5-研究区。

Figure 1. Distribution map of major lead-zinc deposits in the Western Guizhou ore concentration area (modified from Chen *et al.* [9])
图 1. 黔西矿集区主要铅锌矿床分布图(据陈伟等修编[9])

区内出露震旦系 - 侏罗系，缺失奥陶系、中上志留统及下泥盆统，石炭系、二叠系和三叠系分布最广[14]。赋矿层位主要为泥盆系 - 石炭系和震旦系 - 寒武系的碳酸盐岩(灰岩、白云岩、泥灰岩)，容矿岩石与岩浆岩无直接成因联系。半局限 - 局限台地相白云岩因孔隙率高、连通性好，最有利于成矿流体渗流和矿质沉淀[13]。

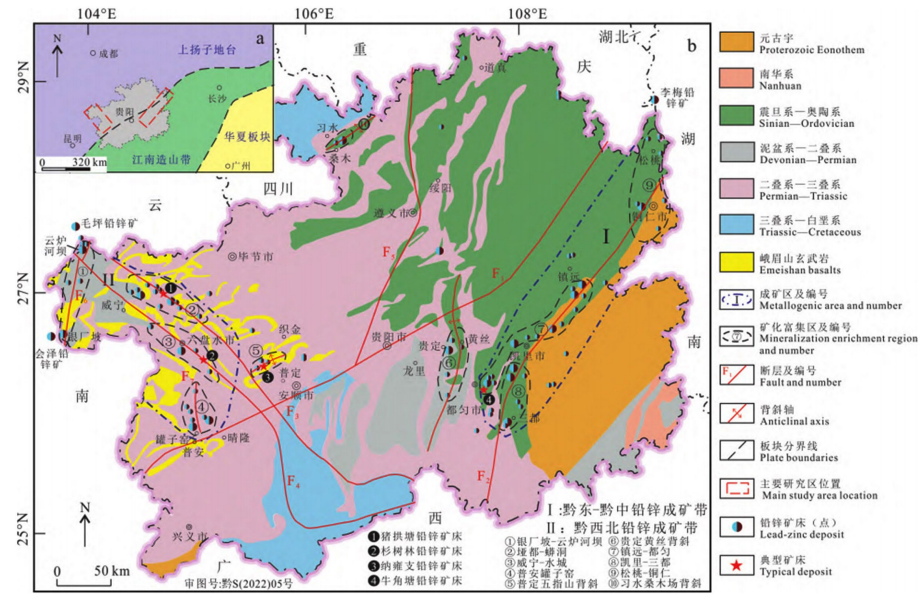


Figure 2. Simplified tectonic map of Guizhou Province (cited from Jin Zhongguo [12])
图 2. 贵州省大地构造简图(引用自金中国[12])

2.2. 控矿构造与矿床分布

区域主要发育 NW 向和 NNE-NE 向两组高角度逆冲断层及相伴生的紧密褶皱[15]。构造控矿呈现显著的分级特征[16]：一级区域断裂带(垭都 - 蟒硐断裂、威宁 - 水城断陷)控制成矿带宏观展布；二级褶皱构造带控制矿田分布；三级次级断层和断裂交汇部位控制矿床定位；四级层间滑脱面、破碎带和褶皱虚脱部位为直接容矿空间。

前人将黔西成矿区划分为 5 个成矿亚带[17]：垭都 - 蟒硐亚带(I-1)、威宁 - 水城亚带(I-2)、银厂坡 - 云炉河亚带(I-3)、普安 - 盘州市亚带(I-4)和织金 - 纳雍亚带(I-5)。各亚带赋矿层位和控矿构造略有差异，但均受统一的区域构造应力场制约。

矿体产出类型有两类：一类为上泥盆统 - 二叠系中的脉状、透镜状矿体，品位高($Pb + Zn > 10\%$)，伴生 Ge、In、Ga、Ag 等稀散元素，代表为杉树林、猪拱塘；另一类为下寒武统中的层状 - 似层状矿体，品位低($Pb + Zn < 5\%$)，伴生元素较少，代表为纳雍枝。

2.3. 黔西典型矿床地质特征

黔西地区铅锌矿床数量众多，矿化特征既有共性又有差异[18][19]。总体而言，区内矿床在赋矿层位、容矿岩石、控矿构造、矿体形态及矿石品位等方面呈现出规律性的变化——其共性特征可概括为：① 赋矿层位集中于泥盆系 - 石炭系和寒武系碳酸盐岩建造，容矿岩石以灰岩和白云岩为主；② 控矿构造以 NW 向和 NE 向断裂为主，褶皱轴部及倾伏端亦是重要容矿部位；③ 矿石矿物组合简单，以闪锌矿、方铅矿为主，伴生黄铁矿及 Cd、Ge、In、Ga 等稀散元素；④ 围岩蚀变普遍较弱，以碳酸盐化为主。然而，受不同成矿亚带的构造 - 地层组合差异控制，各矿床在矿体产状、矿石品位和伴生元素组合上又呈现出明显分异——受断裂控制的脉状矿床品位较高($Pb + Zn > 10\%$)，伴生稀散元素丰富；受褶皱控制的层状矿床品位较低($Pb + Zn < 5\%$)，伴生元素相对简单。这种共性中的差异性，为探讨区内铅锌成矿的主控因素和成因机制提供了重要窗口。以下选取四个典型矿床(图 3)，简要归纳其地质特征：

赫章猪拱塘矿床：位于垭都 - 蟒硐断裂带中段，赋矿层位为中二叠统栖霞组灰岩，受 NW 向 F1、F2 逆冲断层控制，矿体呈脉状 - 透镜状。主矿体走向长 1640 m，平均厚 11.01 m，Pb 品位 8.71%、Zn 2.81% [8][20]。

水城杉树林矿床：位于威宁 - 水城断裂带南东段，赋矿层位为上石炭统黄龙组泥晶灰岩，矿体赋存于 F11 与 F30 断层间。主矿体长 460 m，平均厚 4.17 m，Pb 3.64%、Zn 14.98%，伴生 Cd、Ge、Ga、In [13][21]。

普定纳雍枝矿床：位于五指山背斜北东段，赋矿层位为寒武系清虚洞组白云岩，受 NE 向断层控制，矿体呈层状 - 似层状。主矿体 Zn 4%~7%、Pb 0.5%~1.0% [22]-[26]。

都匀牛角塘矿床：位于王司复背斜南段，赋矿层位为寒武系清虚洞组白云岩，矿体呈似层状 - 透镜状，Zn 品位 5.85%~24.48%，伴生 Cd，见独立硫镉矿 [27]。

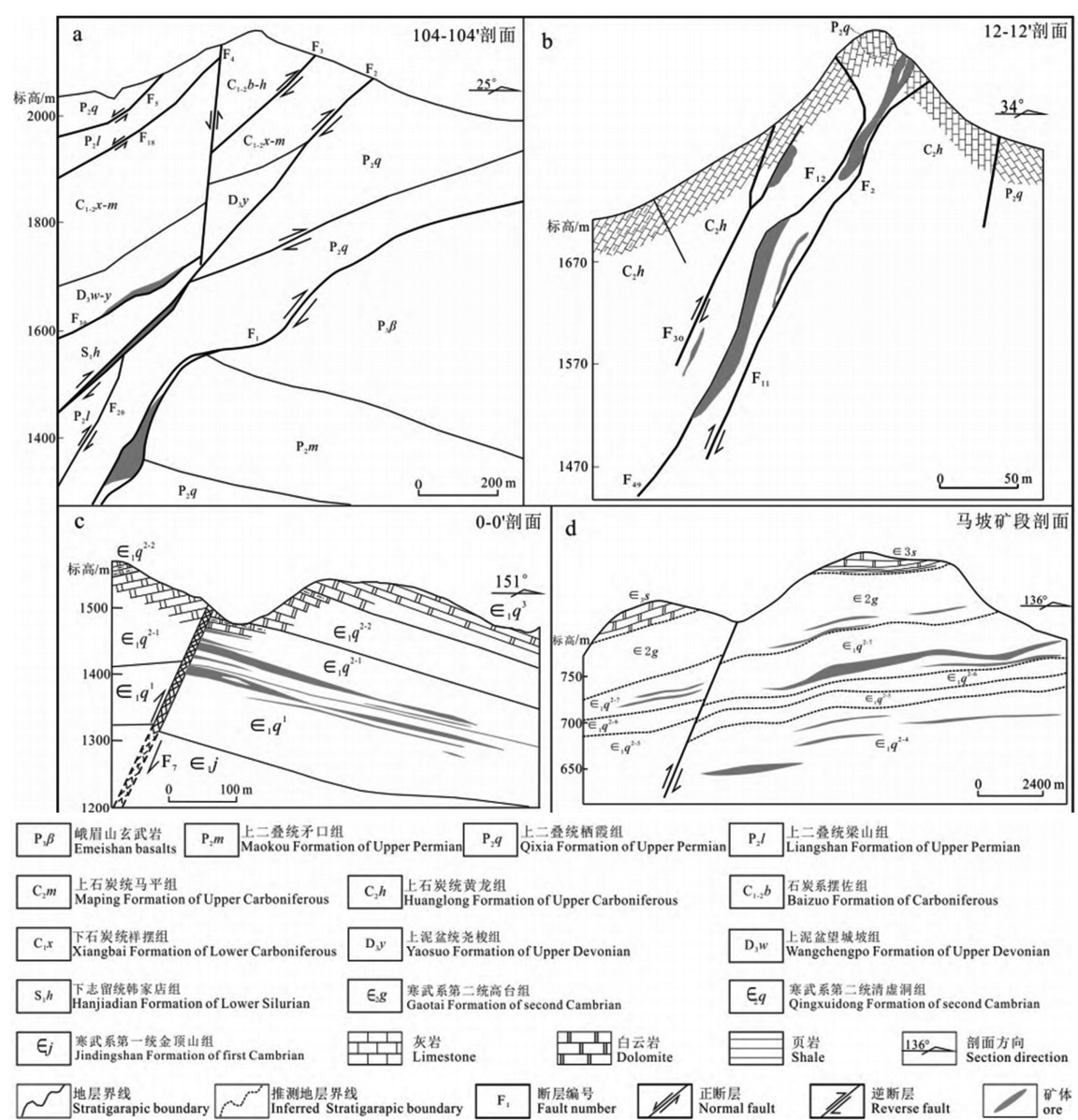
3. 成矿元素地球化学特征与成矿机制

3.1. Pb 同位素组成与金属来源

金中国等[17][23]对黔西多个矿床方铅矿的 Pb 同位素测定表明： $^{206}Pb/^{204}Pb = 18.12 \sim 18.83$ ， $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.52 \sim 15.76$ ， $^{208}Pb/^{204}Pb = 38.22 \sim 39.09$ 。在 Pb 构造模式图解中，数据点主要集中于上地壳铅演化曲线附近，并向造山带铅和地幔铅区域发散，显示多源混合特征——壳源占主导(60%~70%)，造山带次之(20%~30%)，幔源亦有贡献(约 5%~10%) [28]。

Pb 模式年龄给出两个峰值区间：389~261 Ma 和 190~84 Ma，与峨眉山玄武岩喷发期(253.3~218.6 Ma)和辉绿岩侵入期(380~111.5 Ma)部分重叠，暗示构造 - 岩浆热事件与成矿具有内在成因关联[23]。泥盆系

和石炭系地层中 Pb、Zn 的高背景值表明，赋矿围岩本身也是成矿系统的重要金属储库[29]。因此，金属来源具有“基底岩石 + 赋矿围岩 + 深部幔源”三重贡献特征。



a. 猪拱塘矿床; b. 杉树林矿床; c. 那雍枝矿床; d. 牛角塘矿床 3. 成矿元素地球化学特征与成矿机制。

Figure 3. Geological section of typical deposits in Western Guizhou (cited from Jin Zhongguo et al. [12])
图 3. 黔西典型矿床剖面图(引用自金中国等[12])

值得关注的是，罐子窑铅锌矿床的 Pb 同位素研究进一步证实了矿石铅与围岩铅的同源性，表明成矿金属并非完全来自外部输入，而是在构造热液活动中对围岩中预富集金属的活化与再富集[29]。这一认识为理解“沉积预富集”的成矿阶段提供了关键同位素证据。

3.2. S 同位素组成与硫的来源

刘玲等[30]及周家喜等[31]对黄铁矿、闪锌矿和方铅矿的 S 同位素分析显示： $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较宽

(+8‰~+32‰), 呈富重硫型特征, 与地幔硫(0‰±1‰)及生物成因硫(-30‰~+10‰)存在本质区别。区内震旦系、寒武系及石炭系地层中广泛发育石膏、重晶石等海相硫酸盐矿物, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 组成与同期古海水硫酸盐一致。

上述证据表明, 硫的最终来源为赋矿地层中的海相硫酸盐, 经热化学硫酸盐还原作用(TSR, 反应式: $\text{SO}_4^{2-} + \text{有机质} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, 温度 $> 100^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$)转化为还原硫, 继而与 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 结合沉淀成矿。流体包裹体均一温度($120^\circ\text{C} \sim 220^\circ\text{C}$)和烃类包裹体的检出均支持 TSR 机制[32]。近年来, NanoSIMS 原位 S 同位素分析技术在该区得到应用。以纳雍枝矿床为例, 原位 S 同位素分析显示不同硫化物颗粒内部及颗粒之间存在显著的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化, 反映了 TSR 过程中硫同位素的分馏效应及多期流体脉冲的叠加记录[33]。这种微米尺度的同位素不均一性, 是传统全岩分析方法难以捕捉的, 它揭示出成矿流体并非一次性大规模充注, 而是经历了多次脉冲式的流体活动, 每次脉冲的物理化学条件略有差异, 从而在矿物尺度上留下了同位素“指纹”。

3.3. C-O 同位素组成与流体来源

金中国等[23]对成矿期方解石的 C-O 同位素测定显示: $\delta^{18}\text{OSMOW} = +15.62\text{‰} \sim +25.55\text{‰}$ (平均 $+22.21\text{‰}$), 属海相碳酸盐范畴; $\delta^{13}\text{CPDB} = -6.8\text{‰} \sim +3.91\text{‰}$ (平均 $+0.15\text{‰}$), 接近正常海相沉积碳酸盐岩。不同矿床从围岩到脉石矿物的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化趋势差异(青山矿床升高, 杉树林矿床降低)反映了水岩交换强度的不同, 均证实了流体与围岩间的强烈反应。

杉树林矿床流体包裹体 $\delta\text{D} = -46\text{‰} \sim -55\text{‰}$, 在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解中落入变质水/岩浆水区域[13], 指示成矿流体主体为深源流体(建造水/变质水), 晚期有少量大气降水混入。综合 C-O 同位素信息, 成矿流体在构造驱动下上升, 与碳酸盐岩围岩发生广泛水岩交换、萃取金属, 在有利部位因 TSR 产生还原硫而卸载成矿。

3.4. 伴生元素特征

黔西铅锌矿床普遍富含 Cd、Ge、In、Ga、Ag 等稀散元素。受褶皱控制的层状矿床(如纳雍枝)主要伴生 Cd、Se, 受断裂控制的脉状矿床(如杉树林、猪拱塘)则伴生 Ge、In、Ga、Ag 组合[13]。Ag、Cd 等元素以类质同象替代方式进入闪锌矿和方铅矿晶格(Ye *et al.*, 2011)。LA-ICPMS 原位分析揭示 Zn/Cd 比值与成矿温度呈负相关, In/Ge 比值对流体盐度敏感[34], 为精细刻画成矿条件提供了新手段。

3.5. 区域对比：黔西与滇东北矿集区及美国 MVT 矿床

为更深刻地揭示黔西铅锌矿床的独特性和普适性规律, 有必要将其与邻近的滇东北矿集区以及国际上经典的 MVT 矿床进行系统对比。

与滇东北矿集区的对比。滇东北矿集区以会泽超大型矿床为代表, 成矿特征与黔西既有共性也有差异[35]。两地区均受紫云-垭都断裂带等区域深大断裂控制, Pb 同位素均显示以壳源为主的混合来源特征。差异主要体现在: 滇东北更靠近康滇地轴, 构造变形更强, 矿床品位更高、规模更大[36]; 赋矿层位方面, 滇东北具“多层位”特征(震旦系-二叠系均可容矿), 而黔西相对集中于泥盆系-石炭系和寒武系; 成矿温度方面, 会泽矿床(约 $250^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$)普遍高于黔西($120^\circ\text{C} \sim 220^\circ\text{C}$)。上述差异表明, 川滇黔成矿带内不同矿集区的成矿强度受局部构造-岩浆活动强度差异控制, 但成矿物质来源和流体性质具有区域一致性[37]。

与美国 MVT 矿床的对比。川滇黔交界地区铅锌矿床与美国中部 MVT 矿床的共性特征包括: 含矿岩系均位于红色碎屑岩之上, 为成矿提供金属并作为流体运移通道; 矿床形成时间均与造山作用相关[38]。然而, 差异同样显著: ① 成矿温度方面, 川滇黔地区($120^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$)普遍高于美国 MVT 矿床($75^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$);

- ② 矿体形态上,川滇黔地区常见垂向延伸大的脉状、筒柱状矿体,而美国 MVT 矿床多为层状、似层状;
- ③ 品位方面,川滇黔地区矿床品位普遍较高($Pb + Zn$ 常 $>10\%$),远高于典型 MVT 矿床的平均品位[19]。上述差异反映出两地流体运移方式的根本不同——美国 MVT 矿床以侧向运移为主,川滇黔地区以垂向运移为主,沿深大断裂快速上升并在局部构造圈闭中高效沉淀。

3.6. 成矿动力学过程：峨眉山幔柱与构造事件的耦合机制

成矿动力学过程是理解黔西铅锌矿床成因机制的核心环节。现有证据表明,海西期和燕山期两期成矿分别受控于不同的动力学机制。黔西铅锌成矿受海西期和燕山期两期动力学事件的控制,两者构成完整的成矿演化序列。

海西期成矿与峨眉山幔柱活动的耦合。早、晚二叠世之间大规模峨眉山玄武岩喷发是峨眉地幔热柱基性岩浆活动的高峰期。峨眉山玄武岩在贵州西部广泛分布,不仅以矿源层形式参与铅、锌等层控矿床的形成,其喷发活动还引发了大规模热液循环[39]。热模拟研究表明,地幔柱活动期间地壳浅部地温梯度可升至 $5080^{\circ}\text{C}/\text{km}$,足以驱动流体循环并促进 TSR 反应。Pb 模式年龄(389,261 Ma)与峨眉山玄武岩喷发期(253.3~218.6 Ma)的时空吻合,是地幔柱热动力驱动成矿系统的直接证据。

燕山期成矿与印支-燕山期陆内造山的耦合。印支期强烈挤压造山运动(245,205 Ma)与铅锌成矿密切相关。构造挤压产生双重效应:其一,泵吸作用驱动深部流体沿断裂向上运移;其二,褶皱轴部、层间滑脱带和断裂交汇部位在挤压应力下形成虚脱空间,为矿质沉淀提供场所。Pb 模式年龄第二峰值区间(19,084 Ma)与印支-燕山期构造事件相对应[40]。

两期成矿的内在联系。两期成矿构成完整序列:海西期地幔柱活动提供初始热动力和部分物质,在碳酸盐岩地层中形成矿化预富集;燕山期陆内造山通过构造挤压驱动流体再次活化,萃取预富集金属并在有利构造-岩性界面叠加成矿。这种“热驱动预富集-构造驱动叠加”的两阶段模式,为“沉积预富集-构造热液叠加改造”的复合成因提供了动力学支撑[12]。

3.7. 成矿机制探讨

成矿时代:Pb 模式年龄限定主成矿期为海西期(389~261 Ma)和燕山期(190~84 Ma)。海西期(约 260 Ma)与峨眉山大火成岩省喷发同步,地幔柱活动驱动热液循环并贡献部分物质;燕山期与印支-燕山期陆内造山对应,构造挤压提供泵吸动力和容矿空间[6]。成矿具有多阶段性。

成因类型:目前存在“沉积-改造型”和“MVT 型”两种观点。前者强调层控性、沉积结构残余及弱蚀变[22][40];后者强调后生特征、高盐度盆地卤水及中低温流体[31][41]。本文综合分析认为,二者并非截然对立,本区铅锌矿床应属“沉积预富集-构造热液叠加改造”的复合成因类型:沉积阶段在特定层位形成初始贫富集;海西-燕山期构造-岩浆热事件驱动深源流体萃取地层金属,在 TSR 提供还原硫的构造-岩性界面叠加成矿。该模型兼顾层控性与后生性,更符合实际观测[42]。

从区域尺度看,川滇黔成矿带内会泽、天宝山等矿床成矿时代均集中于海西晚期-印支期和燕山期,表明黔西成矿是古特提斯构造域演化的系统性产物,受统一的区域动力学机制驱动[12][30]。基于上述成矿物质来源、成矿流体性质、硫的沉淀机制及构造-岩浆动力学过程的系统分析,本文引用黔西铅锌矿床的综合性成矿模式图(图 4)。

4. 结论与研究展望

4.1. 主要结论

- (1) 构造分级控矿:从区域断裂带到矿田褶皱带,再到矿床级次级断层和层间破碎带,构造对黔西铅

锌矿床的控制呈现显著分级特征，构造-岩性耦合是矿体定位的核心机制。

(2) 成矿物质多来源：Pb 同位素示踪金属以壳源为主，兼有幔源和造山带贡献；S 同位素揭示硫源于海相硫酸盐 TSR 还原；C-O 同位素表明成矿流体以建造水/变质水为主，晚期混入大气降水。

(3) 成矿多期性：主成矿期分别为海西期(与峨眉山玄武岩热事件耦合)和燕山期(与印支构造挤压事件耦合)。

(4) 复合成因类型：矿床属“沉积预富集-构造热液叠加改造”类型，单纯沉积-改造型或纯 MVT 型均难以完整解释所有地质地球化学特征。

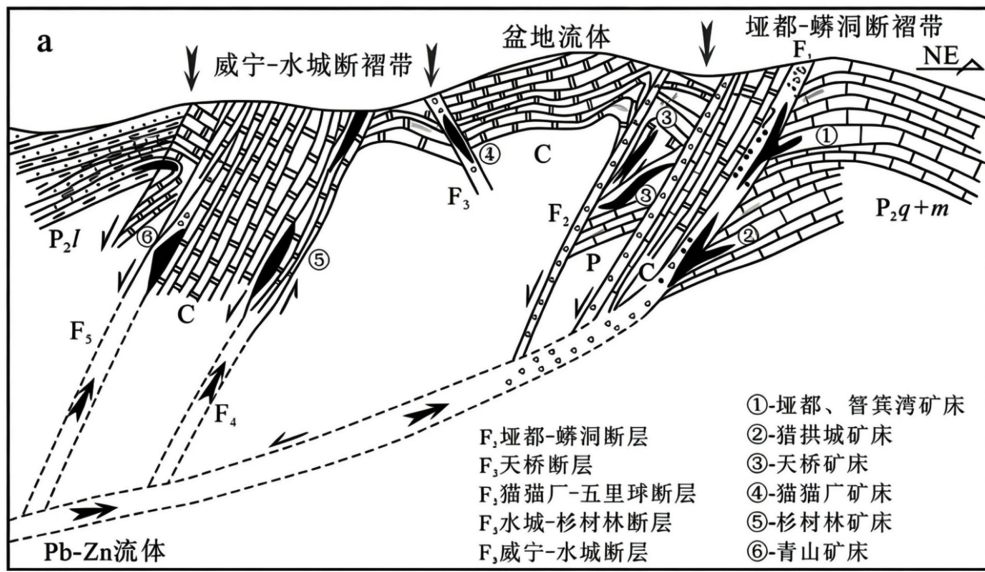


Figure 4. Composite mineralization model diagram of the lead-zinc deposit in Qianxi (quoted from Jin Zhongguo [12])
图 4. 黔西铅锌矿床复合成矿模式图(引用自金中国[12])

4.2. 研究展望

当前研究不足包括：① 成矿年代依赖 Pb 模式年龄，精度不足；② 流体演化研究以整体分析为主，缺乏原位微区精细示踪；③ 金属迁移路径和沉淀机制缺乏定量模拟；④ 稀散元素赋存状态研究薄弱。

未来应重点推进：① 开展闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年和方解石 U-Pb 定年，获取可靠成矿年龄；② 利用 LA-MC-ICP-MS 开展单颗粒闪锌矿原位 Pb、S 同位素剖面分析；③ 结合流体包裹体和构造应力场数值模拟，建立成矿动力学模型；④ 借助 EPMA 和 LA-ICPMS 查明稀散元素赋存状态，评估综合利用潜力；⑤ 加强区域对比，建立普适性成矿模型，服务深部找矿预测。

参考文献

[1] 张明超, 李景朝, 李鹏远, 等. 国内外铅锌矿资源及分布概述[J]. 中国矿业, 2016, 25(z1): 41-45+103.
[2] 张进宇. 内蒙古太仆寺旗金豆子山铅锌多金属矿床控矿因素及成矿模式研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2014.
[3] 杨波. 贵州铅锌矿地质特征控矿因素分析[J]. 低碳世界, 2014(9): 167-168.
[4] 肖克炎, 邢树文, 丁建华, 等. 全国重要固体矿产重点成矿区带划分与资源潜力特征[J]. 地质学报, 2016, 90(7): 1269-1280.
[5] Ye, L., Cook, N.J., Ciobanu, C.L., Yuping, L., Qian, Z., Tiegeng, L., et al. (2011) Trace and Minor Elements in Sphalerite from Base Metal Deposits in South China: A LA-ICPMS Study. *Ore Geology Reviews*, **39**, 188-217.

<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.03.001>

- [6] 韩润生, 邹海俊, 刘鸿. 滇东北铅锌银矿床成矿规律及构造地球化学找矿[J]. 云南地质, 2006(4): 382-384.
- [7] 耿忠武, 吴红, 李松. 贵州省铅锌矿综合利用现状及“富矿精开”思考[J]. 世界有色金属, 2024(9): 55-57.
- [8] 何良伦, 赵锋, 柏光辉, 等. 贵州省猪拱塘超大型铅锌矿床的发现及其找矿意义[J]. 中国地质, 2019, 6(3): 29-36.
- [9] 陈伟, 孔志岗, 刘凤祥, 等. 贵州纳雍枝铅锌矿床地质、地球化学及矿床成因[J]. 地质学报, 2017, 91(6): 1269-1284.
- [10] 刘路, 黄波, 徐伟钧. 贵州省黔西地区铅锌矿成因浅析[J]. 西部探矿工程, 2018, 30(11): 100-102+106.
- [11] 刘路, 黄波, 徐伟钧, 等. 贵州省铅锌矿床成因浅析[J]. 四川地质学报, 2019, 39(1): 54-57.
- [12] 金中国, 郑明泓, 黄智龙, 等. 黔西北与黔东铅锌成矿区地质地球化学特征对比及其地质意义[J]. 矿床地质, 2023, 42(3): 531-547.
- [13] 金中国, 黄智龙, 郑明泓, 等. 贵州碳酸盐岩型铅锌矿床地质特征与容矿机理[J]. 矿物学报, 2020, 40(4): 346-355.
- [14] 罗卫, 孔令, 金中国, 等. 黔西北地区铅锌矿床控矿构造与成矿[J]. 矿产与地质, 2010, 24(1): 35-43.
- [15] 韦晨, 叶霖, 黄智龙, 等. 黔西北五指山地区铅锌矿床研究新进展: 成矿带归属的启示[J]. 矿物学报, 2020, 40(4): 394-403.
- [16] 韩润生, 王明志, 金中国, 等. 黔西北铅锌多金属矿集区成矿构造体系及其控矿机制[J]. 地质学报, 2020, 94(3): 850-868.
- [17] 金中国, 黄智龙. 黔西北垭都-蟒硐断裂带铅锌成矿地质特征及找矿潜力分析[J]. 地质与勘探, 2009, 45(2): 20-26.
- [18] 王明志, 韩润生, 周威, 等. 黔西北矿集区亮岩铅锌矿成矿构造解析[J]. 地质力学学报, 2019, 25(2): 187-197.
- [19] 张长青. 中国川滇黔交界地区密西西比型(MVT)铅锌矿床成矿模型[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质科学院, 2008.
- [20] 王朝东. 贵州省赫章县猪拱塘铅锌矿陈家寨矿段地质特征及成矿规律浅析[J]. 中国金属通报, 2023(2): 47-49.
- [21] 钱建平. 黔西北威宁-水城铅锌矿带动力成矿作用研究[J]. 地质地球化学, 2001(3): 134-139.
- [22] 金中国, 黄智龙. 黔西北铅锌矿床控矿因素及找矿模式[J]. 矿物学报, 2008, 28(4): 467-472.
- [23] 金中国, 张伦尉, 叶静. 黔西北地区铅锌矿床成矿物质来源探讨[J]. 地质与勘探, 2007(6): 32-35.
- [24] 彭松, 金中国, 林贵生, 等. 贵州五指山铅锌矿区控矿因素及成矿模式研究——以纳雍枝矿床为例[J]. 矿产勘查, 2016, 7(3): 463-470.
- [25] 许辉, 王兵, 邓之章. 贵州五指山地区那雍枝铅锌矿床地质特征及开发利用探讨[J]. 世界有色金属, 2022(13): 118-120.
- [26] 赵永明. 贵州五指山纳雍枝铅锌矿找矿标志及深部成矿预测——以砂岩铅锌矿为例[J]. 世界有色金属, 2024(17): 67-69.
- [27] 叶霖, 潘自平, 李朝阳, 等. 贵州都匀牛角塘富镉锌矿同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石, 2005(2): 70-74.
- [28] 仲文斌, 张均, 王健, 等. 川滇黔地区铅锌矿床稳定同位素地球化学研究现状综合分析[J]. 矿床地质, 2017, 36(1): 200-218.
- [29] 曾广乾, 何良伦, 张德明, 等. 黔西罐子窑铅锌矿床 Pb 同位素研究及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2017, 41(2): 305-314.
- [30] 刘玲, 金中国, 郑明泓, 等. 贵州西部铅锌成矿作用与成矿模式[C]//中国地球物理学会金属矿勘查专业委员会. 第二届全国矿产勘查大会论文集. 2023: 259-264.
- [31] 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.
- [32] 朱路艳, 苏文超, 沈能平, 等. 黔西北地区铅锌矿床流体包裹体与硫同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2016, 32(11): 3431-3440.
- [33] 杨兴玉, 周家喜, 安琦, 等. 贵州纳雍枝铅锌矿床还原 S 的形成机制: NanoSIMS 原位 S 同位素约束[J]. 矿物学报, 2018, 38(6): 593-599.
- [34] 程涌. 黔东清水塘锌矿床硫化物原位 S-Pb 同位素地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物学报, 2025, 45(4): 773-785.
- [35] 罗江华, 等. 会泽铅锌矿床碳、氧、硫同位素地球化学特征研究[J]. 云南冶金, 2025, 54(5): 10-15.

-
- [36] 付绍洪, 顾雪祥, 王乾, 等. 黔西滇东铅锌矿床中分散元素镉镓铊富集规律研究[C]//中国矿物岩石地球化学学会. 中国矿物岩石地球化学学会第 11 届学术年会论文集. 2007: 278-279.
 - [37] 冯鹏宇, 杨光树, 燕永锋, 等. 滇东北毛坪铅锌矿床地质特征及与典型 MVT 型铅锌矿床对比[J]. 价值工程, 2014, 33(6): 321-323.
 - [38] 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矿床的对比[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002(2): 127-132.
 - [39] 聂爱国, 秦德先, 管代云, 等. 峨眉山玄武岩浆喷发对贵州西部区域成矿贡献研究[J]. 地质与勘探, 2007(2): 50-54.
 - [40] 陈士杰. 黔西滇东北铅锌矿成因探讨[J]. 贵州地质, 1986(3): 211-222.
 - [41] 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(3): 336-348.
 - [42] 王兵, 金中国, 邓明国. 贵州五指山铅锌矿地质特征、控矿因素及成矿模式研究[J]. 矿产与地质, 2018, 32(1): 74-78.