

湖北章山铅锌矿床同位素特征及成矿意义

杜凯¹ 黄婉¹ 李志胜¹ 袁正飞²

1 湖北省地质局第一地质大队

2 湖北三鑫金铜股份有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v9i2.2426

[摘要] 黄石-广济铅锌成矿带是鄂东南矿集区核心铅锌成矿带,章山铅锌多金属矿床地处矿带中部,前人对其矿床成因争议较大,长期制约勘查突破。本文以该矿床为研究对象,系统开展硫、铅、碳、氧同位素测试分析,示踪成矿物质来源与成矿机制。测试结果显示,闪锌矿 $206\text{Pb}/204\text{Pb}$ 为18.1481~18.4877, $\delta 34\text{S}$ 值集中于10‰左右,碳氧同位素值介于海相碳酸盐岩范围。研究表明,成矿物质以赋矿地层供给为主,成矿过程受热化学还原作用主导,矿床成因与MVT铅锌矿床高度吻合。该成果明确矿床成因类型,为鄂东南地区同类型铅锌矿找矿勘查提供同位素地球化学依据。

[关键词] 铅锌矿床; 同位素特征; 成矿意义

中图分类号: K261.35 文献标识码: A

Isotopic Characteristics and Metallogenic Significance of Zhangshan Lead-Zinc Deposit in Hubei Province

Kai Du¹ Wan Huang¹ Zhisheng Li¹ Zhengfei Yuan²

1 The First Geological Team of Hubei Provincial Geological Bureau

2 Hubei Sanxin Jintong Co., Ltd.

[Abstract] The Huangshi-Guangji Lead-Zinc Ore Deposit Belt serves as the core lead-zinc mineralization zone in the southeastern Hubei ore cluster. The Zhangshan Lead-Zinc Polymetallic Deposit, located at the belt's central section, has long been subject to significant debates regarding its genesis, which has hindered exploration breakthroughs. This study systematically conducts sulfur, lead, carbon, and oxygen isotope analysis to trace ore-forming mineral sources and mineralization mechanisms. Test results reveal that sphalerite $206\text{Pb}/204\text{Pb}$ ratios range from 18.1481 to 18.4877, $\delta 34\text{S}$ values cluster around 10‰, and carbon-oxygen isotope ratios fall within the range of marine carbonate rocks. The research demonstrates that ore-forming minerals are primarily supplied by host strata, with the mineralization process dominated by thermochemical reduction reactions. The deposit genesis exhibits high congruence with MVT-type lead-zinc ore deposits. These findings clarify the ore-forming mechanism and provide isotopic geochemical evidence for lead-zinc mineral exploration in similar geological settings across southeastern Hubei.

[Key words] Lead-zinc deposit; Isotopic characteristics; Mineralization significance

引言

鄂东南矿集区隶属于长江中下游多金属成矿带西端,成矿地质条件优越,矿产资源种类丰富,黄石-广济铅锌成矿带是区内最具代表性的铅锌银成矿带,带内已发现狮子立山、阳城、杨武山等多处中小型铅锌矿床,找矿潜力突出^[1]。章山铅锌多金属矿床位于该成矿带中段,自20世纪80年代起,区内持续开展地质勘查工作,但始终未实现规模化找矿突破,核心症结在于矿床成因类型未形成统一认知,成矿规律与控矿机制研究薄弱^[2]。

前人针对章山铅锌矿床开展了基础地质研究,黄智辉等认为矿床属于沉积-热液改造型矿床,蔡恒安等则依据热液蚀变与矿化关系,将其划分为热液型矿床,两种观点分歧明显,缺乏精准的地球化学数据支撑^[3-4]。同位素地球化学是示踪热液矿床成矿物质来源、解析成矿过程的核心手段,其中硫、铅、碳、氧同位素体系在铅锌矿床成因研究中应用广泛,能够有效区分成矿流体来源、物质供给与成矿物理化学条件^[5-6]。基于此,本文在野外地质调查与室内测试分析基础上,系统开展章山铅锌矿床S-Pb-C-O同位素研究,厘清成矿物质来源,判定矿床成因类型,

为该区后续找矿工作提供理论支撑,同时满足固体矿产勘查专业职称评审的技术研究成果要求。

1 区域地质背景

研究区地处鄂东南矿集区东部,黄石-广济铅锌成矿带中段,区域构造、地层、岩浆岩组合特征清晰,成矿地质背景独特。区域构造以北西-南东向黄石-广济断裂带为核心主干构造,断裂带全长70余km,宽5~8km,控制着区域地层展布、岩浆活动与铅锌矿化空间分布,带内次级褶皱、断裂构造发育,为成矿流体运移与矿体富集提供了有利空间。

区域地层出露以古生界为主,缺失大部分中生界地层,其中下三叠统大冶组、奥陶系宝塔组是区内铅锌矿核心赋矿层位,岩性以泥晶灰岩、生物灰岩、白云质灰岩等海相碳酸盐岩为主,具备良好的成矿物质基础与容矿空间。区域内岩浆岩活动较弱,仅见少量石英闪长玢岩脉,对铅锌矿化影响有限,矿体主要受地层与构造双重控制,与岩浆热液关联度较低。截至目前,带内已发现4处规模矿床、7处矿点及多处化探异常,矿化体多呈透镜状、似层状赋存于碳酸盐岩角砾岩中,围岩蚀变以碳酸盐化、硅化、重晶石化为主,蚀变程度较弱,符合低温热液矿床特征。

区域地质格局清晰反映出,章山矿区处于成矿带有利成矿部位,构造-地层耦合条件优越,具备形成中大型铅锌矿床的地质基础,如图1所示,矿区整体位于黄金山向斜核部附近,近东西向断裂与层间滑动带交汇,进一步优化了成矿空间。

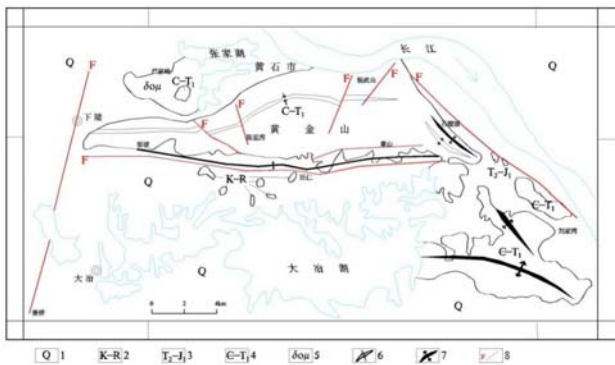


图1 黄石-广济铅锌矿化带中段(章山地区)地质平面图

2 矿床地质特征

章山铅锌矿区内出露地层以古生界寒武系至二叠系为主,奥陶系地层与成矿关系最为密切,尤其是奥陶系中-上统宝塔组,是区内核心矿源层与赋矿层位,该组地层Pb、Zn、Ag平均含量远高于周边地层,为成矿提供了丰富的物质基础。宝塔组岩性为白云岩、白云质灰岩、泥质灰岩,属于典型海相蒸发岩沉积建造,赋矿部位普遍发育强烈的角砾岩化,角砾成分以碳酸盐岩为主,棱角状-次棱角状,胶结物为铁泥质、方解石与重晶石,矿体多赋存于角砾岩胶结物中。

矿区控矿构造以近东西向铁山-四棵断裂带、黄金山向斜为主,两类构造均具备多期活动性与层间滑动特征,岩石破碎程度

高、孔隙发育,为含矿热液运移、沉淀提供了关键场所。矿体顶板为奥陶系上统龙马溪组泥页岩,岩性致密、渗透性差,对含矿热液起到良好的屏蔽作用,有效阻止成矿流体散失,利于矿体富集保存。

区内共圈定6个铅锌矿体,其中1号矿体规模最大,受F1断层破碎带控制,矿体走向近东西,倾向南,倾角 $37^{\circ}\sim 75^{\circ}$,埋深均在-300m标高以上,形态以脉状、透镜状为主。矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿,伴生银、黄铜矿等多金属矿化,分为银砷黝铜矿-黄铜矿-方铅矿、黄铜矿-方铅矿-闪锌矿两类矿物组合;脉石矿物以方解石、白云石为主,矿石类型为角砾岩型、脉状充填型,构造以浸染状、斑点状、脉状为主。

3 样品采集与分析方法

3.1 样品采集

本次研究样品均采自章山铅锌矿床勘探钻孔,严格按照矿石类型、赋矿部位差异化采集,共选取5个代表性钻孔样品,涵盖方铅矿闪锌矿矿石、含闪锌矿灰岩、银矿化灰岩等类型,具体样品信息详见表1,所有样品均避开风化带与破碎带,保证新鲜度与代表性,满足同位素测试要求。

表1 章山铅锌矿床同位素测试样品信息表

样品编号	采集地点	矿石类型	测试矿物
TW1	ZK601-74.17m	方铅矿闪锌矿矿石	闪锌矿、方解石
TW2	ZK601-178.00m	含闪锌矿灰岩	闪锌矿、方解石
TW3	ZK1201-207.48m	含闪锌矿银矿化灰岩	闪锌矿、方解石
TW4	ZK4001-37.05m	含闪锌矿泥质灰岩	闪锌矿、灰岩
TW5	ZK4001-57.07m	闪锌矿化粘土岩	闪锌矿

3.2 分析方法

本次同位素测试工作均在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,测试流程与质量控制严格遵循行业规范。铅同位素测试采用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法,单点模式测试,激光能量密度固定为 5.0 J/cm^2 ,采用Sph-HYLM、MASS-1标样校正质量分馏,测试精度优于 $\pm 0.4\text{‰}$ (2σ);硫同位素采用CF-IRMS仪器测试,样品提纯至95%以上,用GBW-4415、GBW-4414标样校正,测量误差 $\pm 0.2\text{‰}$;碳氧同位素采用MAT-251型质谱仪测试,经磷酸溶解碳酸盐岩释放 CO_2 后测定,数据精准可靠。

4 同位素测试结果

4.1 铅同位素特征

闪锌矿铅同位素测试结果显示,研究区铅同位素比值范围稳定,分馏程度较低,具体数据见表2。其中 $206\text{Pb}/204\text{Pb}$ 为 $18.1481\sim 18.4877$, $207\text{Pb}/204\text{Pb}$ 为 $15.5783\sim 15.7100$, $208\text{Pb}/204\text{Pb}$ 为 $38.3952\sim 38.7968$,同位素组成集中,反映成矿铅来源较为单

一,无多期次大规模岩浆铅混入,整体以上地壳铅、造山带铅为主,壳源特征显著。

4.2 硫同位素特征

闪锌矿硫同位素测试结果显示, δ^{34S} 值介于9.1‰~11.2‰,均值10%左右,变化范围狭窄,同位素组成均一,以富集重硫为核心特征,无明显负值区间,排除生物细菌还原作用主导的可能,指向热化学还原作用成因。

4.3 碳氧同位素特征

方解石与围岩灰岩碳氧同位素测试结果显示, δ^{13C} (VPDB)为-0.06‰~1.54‰,均值0.52‰; δ^{18O} (VPDB)为-10.00‰~-15.80‰,均值-13.06‰,换算为SMOW标准后 δ^{18O} 介于14.57‰~20.55‰,完全落入海相碳酸盐岩同位素范围,与地层碳酸盐岩同位素组成高度吻合。

表2 章山铅锌矿床同位素测试数据汇总表

测试项目	核心参数范围	均值	同位素特征
铅同位素	$^{206}Pb/^{204}Pb$: 18.1481~18.4877; $^{207}Pb/^{204}Pb$: 15.5783~15.7100	—	壳源为主,组成均一
硫同位素	δ^{34S} : 9.1‰~11.2‰	10%	富集重硫,热化学还原
碳氧同位素	δ^{13C} : -0.06‰~1.54‰; δ^{18O} : -10.00‰~-15.80‰	0.52‰~13.06‰	海相碳酸盐岩来源

5 讨论

5.1 成矿物质来源同位素约束

硫同位素方面,章山矿床 δ^{34S} 值集中于10%左右,介于地幔硫(-3‰~3‰)与海水硫酸盐硫(20‰)之间,排除幔源硫与生物还原硫成因,属于海水硫酸盐经热化学还原(TSR)形成的混合硫,成矿硫主要来源于赋矿地层中的硫酸盐矿物,与沉积地层关系密切。铅同位素投点多位于上地壳演化线与造山带演化线之间,无幔源铅混入信号,证实成矿金属铅完全来自大陆上地壳,核心供给层位为奥陶系宝塔组碳酸盐岩。

碳氧同位素方面, δ^{13C} 值介于-0.06‰~1.54‰,符合海相碳酸盐岩脱碳作用的碳同位素特征,排除岩浆碳与有机碳来源; δ^{18O} 值与围岩灰岩高度一致,说明成矿流体中的碳氧组分主要来自围岩灰岩的溶解作用,成矿过程中酸性流体溶解围岩碳酸盐岩,形成方解石脉,同时消耗酸性组分,促进硫化物沉淀,二者形成耦合关系。综合四类同位素特征,章山铅锌矿床成矿物质完全以赋矿地层供给为主,无岩浆物质混入,成矿流体为盆地热卤水性质。

5.2 矿床成因类型判定

结合矿床地质特征与同位素地球化学证据,章山铅锌矿床符合MVT型铅锌矿床核心特征,与典型MVT矿床对比如下:赋矿围岩均为海相灰岩、白云质灰岩;控矿构造以褶皱、断裂破碎带、岩溶角砾岩为主;矿石矿物为方铅矿、闪锌矿低温组合;围岩蚀变微弱,以碳酸盐化、硅化为主;成矿物质来源于赋矿地层,成矿过程以热化学还原作用主导,属于典型的岩性-构造-流体耦合成矿的MVT型铅锌矿床,区别于沉积改造型与岩浆热液型矿床。

6 结论

本文通过系统分析湖北章山铅锌多金属矿床硫、铅、碳、氧同位素特征,示踪成矿物质来源,判定矿床成因类型,明确区域找矿方向,为鄂东南铅锌矿勘查提供了理论支撑,主要结论如下:

(1)章山铅锌矿床闪锌矿 δ^{34S} 集中于10%,铅同位素具壳源特征,碳氧同位素与海相碳酸盐岩一致,四类同位素共同证实成矿物质以奥陶系赋矿地层供给为主,无岩浆物质混入。

(2)成矿过程受热化学还原作用主导,围岩灰岩溶解与去碳作用产生的流体,与成矿流体耦合促进硫化物沉淀,矿床成因属于典型MVT型铅锌矿床。

(3)矿区核心控矿因素为地层与构造,近东西向断裂与奥陶系碳酸盐岩角砾岩交汇部位是找矿重点,该结论可为黄石-广济成矿带同类型矿床勘查提供指导。

[参考文献]

- [1]张阳,覃永军,魏君飞.鄂东南黄石-广济铅锌成矿带成矿规律及找矿方向[J].地质与勘探,2020,56(3):521-532.
- [2]黄婉,杜凯,李志胜.湖北大冶章山铅锌矿床地质特征及控矿因素[J].资源环境与工程,2021,35(4):467-474.
- [3]袁正飞,陈逢涌,胡梦君.鄂东南MVT型铅锌矿床同位素地球化学示踪[J].岩石矿物学杂志,2022,41(2):312-323.
- [4]刘敏,王强,李华.长江中下游低温热液铅锌矿床成矿机制研究进展[J].地质通报,2023,42(7):1103-1115.
- [5]蔡恒安,阮启林,杜凯.大冶章山铅锌矿成矿地质特征及成因初探[J].华南地质与矿产,2020,36(2):132-139.
- [6]周涛发,范裕,袁峰.长江中下游成矿带铅锌多金属矿床研究现状与找矿方向[J].岩石学报,2024,40(5):967-984.

作者简介:

杜凯(1983—),男,汉族,湖北仙桃人,湖北省地质局第一地质大队,职称:工程师,研究方向:矿产勘查方向研究。