

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.02.005

豫西龙门店银铅锌矿碳氧同位素特征 及其地质意义

王杰^{1,2}, 王小高¹, 程宝成¹, 丁世先¹, 谢克家³, 王培培⁴

(1. 河南省有色金属地质勘查总院, 郑州 450052;

2. 河南省有色金属深部找矿勘查技术研究重点实验室, 郑州 450052;

3. 河南省有色金属地质矿产局第一地质大队, 郑州 450016;

4. 中国冶金地质总局中南局, 武汉 430081)

摘要: 豫西洛宁龙门店银铅锌与区域性滑脱拆离断层活动密切相关, 在早期韧性剪切带的基础上, 成矿期多次叠加了脆性断裂和含矿热液活动。通过对龙门店银铅锌矿碳氧同位素的组成分析, 认为龙门店银铅锌矿 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})$ 值相对均一, 分布范围介于 $-7.10 \times 10^{-3} \sim 0.90 \times 10^{-3}$, 平均 -1.28×10^{-3} ; $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}})$ 变化较大, 介于 $9.21 \times 10^{-3} \sim 19.52 \times 10^{-3}$, 平均为 13.37×10^{-3} , 证实了其成矿流体来源于深部岩浆热液和地层双重作用, 后期有大气降水的加入, 具有趋向沉积有机物分布的特征。

关键词: 银铅锌矿床; 碳氧同位素; 龙门店; 河南省

中图分类号: P618.43; P597.2 **文献标识码:** A

0 引言

华北陆块南缘豫西熊耳山地区是河南境内重要的多金属矿集区, 区内陆续发现大中型金矿床、钼矿床 10 多处, 近年来铅锌矿勘查工作取得了明显进展, 尤其是在豫西洛宁地区先后发现了沙沟、铁炉坪、蒿坪沟、龙门店、范庄、龙王庙等大中型银铅锌多金属矿床。对这些铅锌矿床的总结研究, 有利于提高对该区区域成矿学的认识, 有助于促进矿产勘查工作。

矿床的碳酸盐稳定同位素研究能够为揭示成矿流体性质和来源提供宝贵的信息, 同时也可以为矿石和脉石碳酸盐沉积机制、成矿流体化学演化、流体

混合与水-岩作用过程提供重要信息^[1-2]。方解石是豫西地区铅锌矿成矿中最主要的脉石矿物, 其形成贯穿于铅锌矿成矿过程始终, 并与铅锌矿石紧密共生。本文通过研究豫西沙沟矿集区龙门店银铅锌矿床成矿期方解石的 C、O 同位素组成, 探讨其成矿物质的来源, 有助于深入了解该地区银铅锌矿床的成因和富集规律。

1 区域地质背景

龙门店银铅锌矿床位于熊耳山地体西段沙沟矿集区。近年来, 沙沟矿集区是河南省在内生金属矿产方面找矿取得重大进展的地区之一。熊耳地体东西长约 80 km, 南北宽 4~15 km, 南以近 EW 向马超营断裂为界, 北以洛宁断裂为界, 西接崤山, 东连

收稿日期: 2020-08-27; **责任编辑:** 沈名星

基金项目: 河南省国土资源地质矿产科技攻关项目(编号:2010-61-4)资助。

作者简介: 王杰(1984—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事金属矿产勘查及地球化学研究工作。通信地址: 河南省郑州市二七区中原东路 107 号; 邮政编码: 450052; E-mail: 404817633@qq.com

通信作者: 王小高(1981—), 男, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事地质勘查与科研工作。通信地址: 河南省郑州市二七区中原东路 107 号; 邮政编码: 450052; E-mail: 43571649@qq.com

外方山。熊耳山地区区域地层可分为上中下3个构造层。结晶基底岩系为新太古界太华群中深变质岩及片麻状花岗岩,盖层为中元古界熊耳群浅变质火山岩,上构造层为在中新生代伸展断陷盆地内发育的红色碎屑沉积岩(图1)。太华群构成了克拉通的基底,熊耳群火山岩覆于其上并广泛分布于豫西地区,二者是区内金银铅钼矿床的主要含矿层位^[3]。

研究区内的岩浆岩主要分布有基性岩类(辉长辉绿岩)和酸性岩类(燕山期花岗岩),同时零星分布有少量超基性岩类。区内花岗岩与成矿作用密切相关,花岗岩的分布决定着矿床的展布。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

矿区地处熊耳山地区花山—龙脖背斜核部南侧,瓦庙河次级倾伏向斜的东翼。矿区出露地层主要有新太古界太华群和中元古界熊耳群。新太古界太华群龙潭沟组和段沟组的岩性为黑云斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩及浅粒岩等。在矿区南东部出露有中元古界熊耳群,第四系主要出露于沟谷中。中元古界熊耳群的岩性主要为杏仁状安山岩、斑状安山岩等(图2)。区内经历多次岩浆活动,岩浆岩分布广泛。新太古代岩浆活动形成的中

一基性火山岩或TTG岩系已变质成各类太华群片麻岩,中元古代岩浆活动形成区内大面积分布的熊耳群火山岩系。另外,区内辉绿(玢)岩等脉岩也有分布。

矿区构造以断裂为主,有NE—NNE向、NW向断裂破碎带和滑脱拆离断层。NE—NNE向断裂破碎带为区内的主要控矿断裂带,分布于太华群,多倾向NW,个别倾向SE,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$,出露长度一般350~1500 m,最长2400 m,宽度1~8 m,局部可达20余米。断裂带内构造岩主要为蚀变碎裂岩,偶见构造角砾岩或糜棱岩。多呈舒缓波状延伸,有分枝复合和膨缩现象。该组断裂以K1断裂破碎带为代表。K1断裂破碎带位于矿区中部,控制长度约2400 m,宽度10~30 m,倾向 $290^{\circ}\sim 310^{\circ}$,倾角 $18^{\circ}\sim 45^{\circ}$,个别地段倾角 50° 左右。其他重要的断裂破碎带还有K2、K3、K4、K6、K7、K9、K10等。NW向断裂破碎带主要出现于矿区东北部熊耳群内,部分出现于太华群内,例如K17、K18、K19等构造蚀变带。该组断裂破碎带走向 $300^{\circ}\sim 315^{\circ}$,倾向SW,倾角 $57^{\circ}\sim 71^{\circ}$ 。

矿区南东侧近EW向马超营断裂带—滑脱拆离断层是熊耳山变质核杂岩构造南部拆离断层的一部分,为一由韧性向脆性演化的断裂带,位于太华群和熊耳群之间,产状平缓稳定,倾角一般 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。沿滑脱拆离带,分带清楚,表现出脆—韧性过渡的特征。

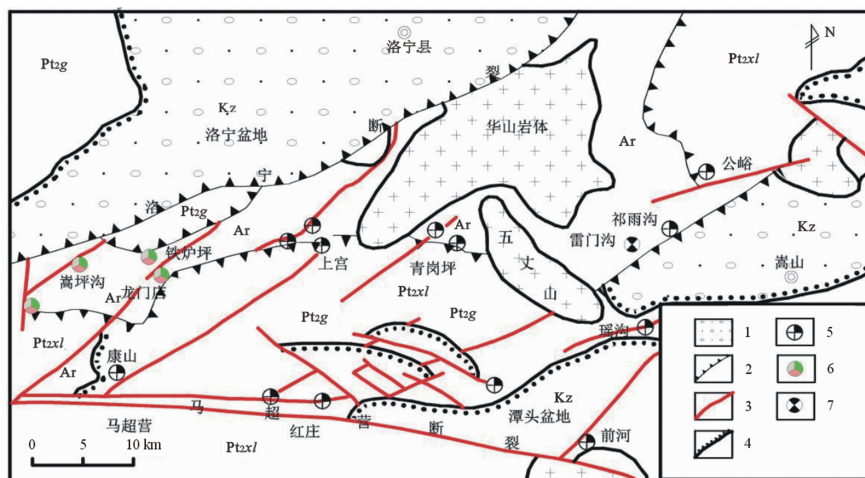


图1 区域地质矿产简图

Fig. 1 Regional geological and mineral resources map

Kz. 第四系沉积物及K-N红层;Pt₂g. 中元古代官道口群石英砂岩和白云岩;

Pt₂x/l. 中元古代熊耳群火山岩;Ar. 晚太古代太华群变质岩

1. 中生代花岗岩类;2. 拆离断层;3. 断层;

4. 不整合地质界线;5. 金矿床;6. 银铅矿床;7. 钼矿床

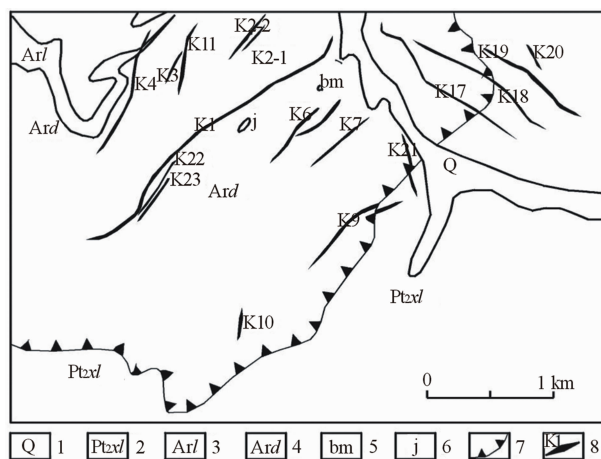


图 2 龙门店矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch of Longmendian prospecting area

1. 第四系冲积物、残坡积物; 2. 熊耳群安山岩;
3. 龙潭沟组角闪片麻岩; 4. 段沟组黑云斜长片麻岩;
5. 辉绿岩; 6. 超镁铁质岩; 7. 拆离断层; 8. 矿体及编号

2.2 矿体特征

矿体形态以脉状和透镜状为主, 次为网脉状。矿体规模大小差异较大, 矿体与围岩产状基本一致, 偶尔亦有穿层现象。矿体走向延伸通常在 700~2500 m, 平均厚度 0.5~1.6 m。矿石主要有用组分为银, 伴生金、铅等。野外系统调查和室内矿石组构研究结果显示, 龙门店矿床按矿物共生序列可分为三个阶段: (I) 钾化+硅化+少量硫矿物阶段; (II) 硅化+多金属硫化物阶段; (III) 碳酸岩化+石英+少量硫化物阶段。主要矿体特征如下:

K1 矿体: 出露长度 2400 m, 厚度 0.45~0.97 m, 倾向 320°左右, 倾角 18°~55°。矿石主要有用组分为银, 伴生金、铅等, 银品位最高 $w(\text{Ag}) = 40.1 \times 10^{-6} \sim 312 \times 10^{-6}$, 平均 171.4×10^{-6} ; 伴生金品位 $w(\text{Au}) = 0.18 \times 10^{-6} \sim 1.29 \times 10^{-6}$, 平均 0.75×10^{-6} ; 伴生铅平均品位 $w(\text{Pb}) = 0.47\%$ 。

K2 矿体: 出露长 1700 m, 厚度 0.37~1.05 m, 产状 $287^\circ \sim 330^\circ \angle 55^\circ \sim 60^\circ$ 。银品位最高 $w(\text{Ag}) = 79.37 \times 10^{-6} \sim 456.0 \times 10^{-6}$, 平均 222.37×10^{-6} ; 伴生铅品位 $w(\text{Pb}) = 0.64\% \sim 1.59\%$, 平均 1.01%。

K3 矿体: 出露长度为 1100 m, 厚度最大 1.46 m, 最小 0.35 m, 产状 $285^\circ \sim 293^\circ \angle 70^\circ \sim 75^\circ$ 。平均银品位 $w(\text{Ag}) = 284.47 \times 10^{-6}$, 伴生铅品位平均 $w(\text{Pb}) = 0.95\%$ 。

K4 矿体: 长度约 1280 m, 厚 0.74~1.52 m, 产状: $110^\circ \angle 73^\circ$, 银平均品位 $w(\text{Ag}) = 195.61 \times 10^{-6}$, 伴生铅平均品位 $w(\text{Pb}) = 0.48\%$ 。

K6 矿体: 长 790 m, 厚 0.69~1.67 m, 产状 $319^\circ \angle 60^\circ$, 银品位 $w(\text{Ag}) = 49.17 \times 10^{-6} \sim 4056.31 \times 10^{-6}$, 平均 422.37×10^{-6} ; $w(\text{Pb}) = 0.26\% \sim 7.59\%$, 平均 4.01%。

K9 矿体: 长 750 m, 厚 0.61~1.58 m, 产状 $325^\circ \angle 70^\circ$, 银品位 $w(\text{Ag}) = 40.3 \times 10^{-6} \sim 2542 \times 10^{-6}$, 平均 302.81×10^{-6} ; $w(\text{Pb}) = 0.11\% \sim 12.55\%$, 平均 0.67%。

2.3 矿石组构特征与围岩蚀变

矿石中主要金属矿物有辉银矿、方铅矿、黄铁矿, 脉石矿物有方解石、石英、长石等, 方解石呈团块或条带状与铅锌矿石共生。矿石结构以自形-半自形晶结构为主, 早期黄铁矿呈自形-半自形晶结构, 次为交代-残余结构和假晶结构; 构造以浸染-稠密浸染状构造为主, 金属矿物黄铁矿、方铅矿等呈浸染状分布于脉石(石英等)中, 部分呈稠密浸染状分布。方铅矿呈团块状、浸染状两种形式产出。粒度变化大(0.1 mm~1.5 cm), 集合体一般呈脉状、枝杈状充填在早期岩石的裂隙中, 常与石英脉、方解石脉共存。

围岩蚀变以碳酸盐化、硅化为主, 次为绢云母化、黄铁矿化。

3 样品采集与分析结果

3.1 样品采集与分析方法

方解石是该地区铅锌矿床最为重要的脉石矿物, 本次研究重点采集了龙门店矿床中与铅锌矿石紧密共生的方解石样品 25 件, 分别采自硅化+多金属硫化物阶段、碳酸岩化+石英+少量硫化物阶段。

氧同位素的测试分析采用 BrF5 法, 碳同位素的测定采用碳酸盐与正磷酸发生反应法, 测试单位为中石化无锡石油地质研究所实验研究中心。分析结果以 PDB 标准表示, 精度为 0.2×10^{-3} 。为便于比较, 氧同位素采用 Friedman 等的平衡方程, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}) = 1.03086 \times \delta(^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}) + 30.86$, 转换成以 SMOW 标准表示。

3.2 测试分析结果

龙门店银铅锌矿 25 件方解石样品的碳氧同位素测试结果见表 1。结果(表 1)表明, 龙门店银铅锌矿的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})$ 值相对均一, 分布范围介于 $-7.10 \times 10^{-3} \sim 0.90 \times 10^{-3}$, 平均 -1.28×10^{-3} ; $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}})$ 值变化较大, 介于 $9.2 \times 10^{-3} \sim 19.52 \times$

10^{-3} 之间,平均为 13.37×10^{-3} 。

4 讨论

龙门店银铅锌矿脉沿构造破碎带充填,具有放射状展布的特征,控矿断裂具多期活动的特点,早期往往表现为压性和较深的形成环境,发育糜棱岩化。成矿期主压应力方向为 NE-SW 向,与其夹角较小的断裂沿 NW-SE 方向张开,导致矿液的上升与充填,形成大量陡倾的 NE 和 NNE 向矿脉。矿脉产状大致平行,成群成带产出。

碳氧同位素的组成能够反映出成矿流体的来源^[2]。自然界几个主要碳储库数据见表 2,郑永飞

等学者认为典型海相碳酸盐岩的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})$ 平均值为 $\pm 2 \times 10^{-3}$,且在成岩过程中基本保持不变^[8]。通过分析发现龙门店银铅锌矿中方解石的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})$ 值介于 $-7.1 \times 10^{-3} \sim 0.90 \times 10^{-3}$,介于海相碳酸岩和岩浆岩之间,说明龙门店银铅锌矿中成矿流体 CO_2 可能主要来自岩浆岩系统,同时可能存在碳酸盐地层变质分解的 CO_2 不同程度的加入^[9],指示两种碳源共同作用的特点,反映了铅锌矿成矿流体的岩浆和地层双重作用。

本次研究同时收集了沙沟、铁炉坪和蒿坪沟的碳氧测试数据,建立龙门店银铅锌多金属矿碳氧同位素示踪图解(图 3)。从图中不难看出,龙门店银铅锌矿碳氧同位素分布范围较为复杂,总体具线性分布特征,表明龙门店银铅锌多金属矿具有复杂的

表 1 龙门店银铅锌矿床碳氧组成特征
Table 1 C, O isotopic composition characteristics of Longmendian Ag-Pb-Zn deposit

矿区	样品编号	测试矿物	矿脉	$\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})/10^{-3}$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}})/10^{-3}$	备注
龙门店	LMD-02	方解石	K6	0.8	9.21194	
	LMD-04	方解石	K6	-2	14.675498	
	LMD-05	方解石	K6	0	19.52054	
	LMD-06	方解石	K6	-0.1	18.48968	
	LMD-08	方解石	K6	0	18.592766	
	LMD-09	方解石	K6	-0.1	10.139714	
	LMD-11	方解石	K6	-0.1	14.36624	
	LMD-13	方解石	K6	-1.1	17.768078	
	LMD-18	方解石	K6	0.8	11.170574	
	LMD-20	方解石	K6	-0.3	10.036628	
	LMD-21	方解石	K6	0.9	11.27366	
	LMD-23	方解石	K6	-1.3	14.160068	
	LMD-24	方解石	K6	0.9	9.315026	
	LMD-25	方解石	K6	-0.2	14.056982	
	LMD-26	方解石	K6	0.1	10.448972	
	LMD-29	方解石	K9	-6.8	14.572412	
	LMD-30	方解石	K9	-0.4	12.201434	
	LMD-32	方解石	K9	-7.1	14.572412	
	LMD-47	方解石	K2-2	-4.5	12.407606	
	LMD-48	方解石	K2-2	-2.3	14.572412	
	LMD-49	方解石	K2-2	-1.5	12.81995	
	LMD-51	方解石	K2-2	-1.5	12.613778	
	K8-3	方解石	K8	0	11.170574	
	PD1058 K1-1	方解石	K1	-1.6	11.582918	
	ZK306-Y1	方解石		-4.7	14.469326	
沙沟	SG-103-B1	方解石		-2.5	13.5	文献[4]
蒿坪沟	9036	方解石		-1.7	13.14	文献[5]
铁炉坪	9301	方解石		-0.9	8.94	文献[5]
	9302	方解石		-0.6	8.69	
	9303	方解石		-0.8	8.63	
	9304	方解石		-1.7	12.72	
	9307	方解石		-1.2	11.35	

表 2 主要碳储库数据
Table 2 Data of the main C reservoir

碳储库	$\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})/10^{-3}$	资料来源
地幔	-5~-7	文献[6]
地壳	-7	文献[6]
岩浆系统	-3~-30	文献[6]
海相碳酸盐	-3~+2	文献[6]
大气	-7~-11	文献[6]
淡水	-9~-20	文献[6]
有机质	-27	文献[7]
龙门店	-7.1~0.90	本文

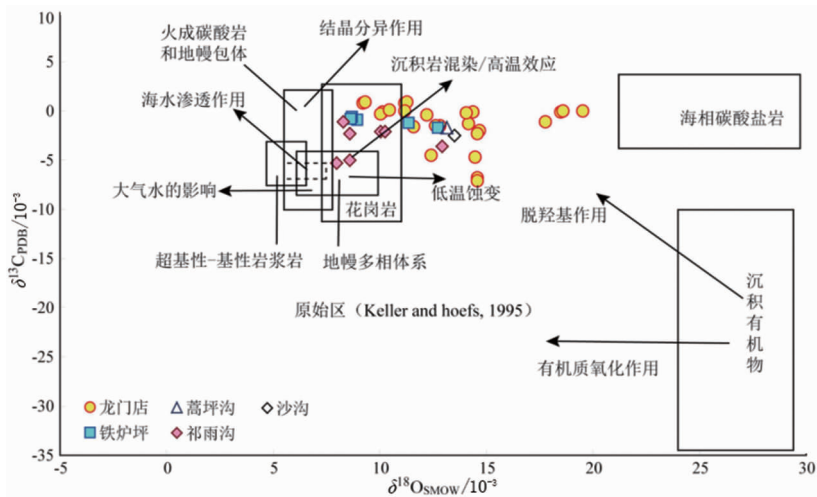


图 3 龙门店银铅锌矿床 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})-\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}})$ 图解
Fig. 3 Diagram of $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})-\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}})$ in Long men dian

成矿物质来源;部分样品投影点落在花岗岩区域,说明这部分矿物质来自深部岩浆岩,推测受到该地区隐伏岩体的影响,向右漂移的线性特征呈水平分布形式,有少量海相碳酸盐岩的混入,近线性分布的特征可能与成矿过程中与 CO_2 脱气作用和流体与围岩之间的水岩反应有关,是后期低温蚀变的结果。由此推断:成矿早期,成矿流体来自岩浆岩,促使 CO_2 脱气,图中的碳、氧同位素组成分布还具有趋向沉积有机物分布的特征,从而印证了碳源与岩浆脱气作用有关^[10];随着成矿热液的演化,大气降水的影响,成矿温度降低。与铁炉坪铅锌矿相似,早期成矿阶段温度以 373°C 为主,成矿主阶段温度集中在 $210\sim 249^\circ\text{C}$,晚阶段流体温度 $<203^\circ\text{C}$,温度具有下降趋势^[11]。碳、氧同位素的同步变化说明了不同矿化阶段的热液来源,表明成矿流体来源于深部岩浆热液和地层双重作用,后期有大气降水的加入;在早期形成的韧性剪切带的基础上,成矿期多次叠加了脆性断裂和含矿热液活动。

综合考虑熊耳山西段和东段的区域地质特征及

花岗岩分布特征,推测龙门店矿区有隐伏岩体存在,且是龙门店银铅锌矿成矿物质来源之一,实际找矿勘查中应注意到深部矿体向下延续趋势。

5 结论

- (1)龙门店铅锌矿控矿断裂具有多期次活动的特点,矿脉产状大致平行,成群成带产出,NE 和 NNE 向矿脉为主矿脉方向。
- (2)龙门店银铅锌矿 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})$ 值相对均一,分布范围介于 $-7.1\times 10^{-3}\sim 0.90\times 10^{-3}$ 之间,平均值 -1.28×10^{-3} ; $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}})$ 值变化较大,介于 $9.21\times 10^{-3}\sim 19.52\times 10^{-3}$ 之间,平均为 13.37×10^{-3} 。指示成矿物质来自深部岩浆和地层,后期有大气降水的加入,具有趋向沉积有机物分布的特征。
- (3)龙门店矿区深部有隐伏岩体存在的可能,为

龙门店银铅锌矿成矿物质来源之一,在今后的勘查中应注意深部矿体向下延续的趋势。

参考文献:

- [1] 李堃, 吴昌雄, 汤朝阳, 等. 湘西黔东地区铅锌矿床 C、O 同位素地球化学特征及其对成矿过程的指示[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1608-1619.
- [2] 段士刚, 薛春纪, 冯启伟, 等. 豫西南栾川地区铅锌矿床碳、氧同位素地球化学[J]. 现代地质, 2010, 24(4): 767-775.
- [3] 郭保健, 李永峰, 王志光, 等. 熊耳山 Au-Ag-Pb-Mo 矿集区成矿模式与找矿方向[J]. 地质与勘探, 2005(5): 43-47.
- [4] 高建京. 豫西沙沟脉状 Ag-Pb-Zn 矿床地质特征和成矿流体研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- [5] 陈旺, 郭时然, 崔毫. 豫西熊耳山铁炉坪、蒿坪沟矿床银铅矿石稳定同位素研究[J]. 有色金属矿产与勘查, 1996(4): 213-218.
- [6] Hoefs J. Stable Isotope Geochemistry [M]. Fourth Edition. Berlin: Springer-Verlag, 1997: 201.
- [7] Schidlowski M. Beginning of terrestrial life problems of early record and implications for extraterrestrial scenarios [J]. Instruments, Methods, and Missions for Astrobiology, SPIE 3441, 1998: 149-157.
- [8] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 50-58.
- [9] 王涛, 祝朝辉, 刘淑霞, 等. 东秦岭地区中生代金铂多金属矿 C、H、O 同位素组成研究[J]. 地质找矿论丛, 2017, 32(2): 180-189.
- [10] 黄智龙, 李文博, 陈进, 等. 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, 2004(1): 53-59.
- [11] 陈衍景, 隋颖慧, Franco PIRAJNO. CMF 模式的排他性依据和造山型银矿实例: 东秦岭铁炉坪银矿同位素地球化学[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 551-568.

C-O isotopic characteristics of Longmendian silver-lead-zinc deposit in western Henan and its geological significance

WANG Jie^{1,2}, WANG Xiaogao^{1,2}, CHENG Baocheng¹, DING Shixian^{1,2}, XIE Kejia³, WANG Peipei⁴

(1. Henan province nonferrous metal geological exploration institute, Zhengzhou 450052, China;

2. Henan province non-ferrous metal deep prospecting and exploration technology research key laboratory, Zhengzhou 450052, China;

3. The first geological brigade of Henan nonferrous metals geology and mineral resources bureau, Zhengzhou 450016, China;

4. Centralsouth bureau of China metallurgical geology bureau, Wuhan 430081, China)

Abstract: Longmendian Ag-Pb-Zn deposit in Luoning county of the west Henan Province are closely related to regional detachment fault activity. During the metallogenic period brittle faulting and ore fluid multiply overprinted on the early ductile shear zone. Analysis of C and O isotopic composition of the Ag-Pb-Zn deposit shows that the $\delta(^{13}\text{C}_{\text{V-SMOW}})$ values are relatively uniform, ranging from -7.10×10^{-3} to 0.90×10^{-3} , with an average of -1.28×10^{-3} . $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}})$ varies greatly, ranging from 9.21×10^{-3} to 19.52×10^{-3} , with an average of 13.37×10^{-3} . The synchronous changes of carbon and oxygen isotopes indicate that the ore fluid composed of deep magmatic hydrothermal solution, formation water and late meteoric water. It is characteristic of tendency of sedimentary organic mater distribution.

Key Words: Lead-zinc deposit; Carbon and oxygen isotopes; Longmendian; Henan province