

辽宁岫岩庙沟铅锌多金属矿床成矿流体、 氢氧同位素特征及矿床成因

王晓亮¹, 陈军典^{2*}, 王玉平¹, 李海洋¹, 李超³, 常影⁴, 田美扬²

(1. 辽宁省地质矿产研究院有限责任公司; 2. 辽宁省物测勘查院有限责任公司;

3. 辽宁省地矿集团生态修复有限责任公司; 4. 辽宁省汇泽矿业技术咨询有限公司)

摘要:庙沟铅锌多金属矿床属于青城子矿集区外围近年发现的小型矿床。流体包裹体显微岩相鉴定和测试分析结果显示,庙沟铅锌多金属矿床流体包裹体发育较好,包裹体粒度为 $3\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}\sim 15\mu\text{m}\times 4\mu\text{m}$,形态多以不规则状、椭圆形为主,少数为长方形、三角形等。包裹体类型主要为气液两相包裹体,气液比为 $5\%\sim 45\%$,以单独成行产出为主,少数呈孤立状分布。主成矿温度为 $270\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$;盐度为 $0.99\%\sim 5.17\%$,为低盐度流体;密度为 $0.70\sim 0.79\text{ g/cm}^3$,为低密度流体。推算成矿压力为 $5.0\sim 8.9\text{ MPa}$,成矿深度为 $0.50\sim 0.89\text{ km}$ 。氢、氧同位素分析结果显示, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $10.89\text{ }^{\circ}\text{‰}\sim 12.50\text{ }^{\circ}\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $-97.8\text{ }^{\circ}\text{‰}\sim -55.8\text{ }^{\circ}\text{‰}$,属于混合流体且具有多源演化特点。庙沟铅锌多金属矿床成矿流体特征与青城子矿集区有较大区别,二者不属于同一成矿阶段。综合分析认为,庙沟铅锌多金属矿床属于浅成中低温破碎蚀变岩型矿床。

关键词:成矿流体;包裹体;氢同位素;氧同位素;矿床成因;庙沟;辽宁岫岩

中图分类号:TD11 P632

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)03-0080-05

doi:10.11792/hj20250314

引言

庙沟铅锌多金属矿床位于辽东(隆起)Fe-Cu-Pb-Zn-Au-U-硼-菱镁矿-滑石-石墨-金刚石成矿带,大地构造位置处于柴达木-华北板块(I)、华北东部陆块(II)、辽东新元古代-古生代拗陷带(III),横跨辽吉古元古代造山带(IV)和辽东中生代盆地带(IV)2个四级构造单元,位于辽吉古元古代造山带的南端,是中国重要的硼铁、菱镁、铅锌多金属成矿区(带)。

庙沟铅锌多金属矿床隶属于辽宁省岫岩县大营子镇陶家隈子村,位于青城子矿集区外围,区域上分布有青城子铅锌矿床(大型)及众多金属矿床^[1-3]。该矿床是近年来新发现的铅锌多金属矿床,成矿元素以铅、锌为主,伴生元素为银。前人对辽东地区一些典型矿床地质特征、找矿方向、矿床成因等进行了大量研究^[4-9],但未对该矿床进行成矿流体特征等的精细研究。大量研究表明,成矿流体与氢、氧同位素研究可以揭示成矿物质的迁移及矿床形成过程^[10-15]。依托辽宁省省级地质勘查项目,本文对该矿床的成矿流体特征进行详细研究,在此基础上探讨矿床成因,并

对青城子矿集区外围小型矿床(点)的成矿流体进行研究,为深部找矿预测提供基础资料。

1 区域地质特征

1.1 地层

区域出露地层由老至新依次为古元古界里尔峪岩组、高家峪岩组、大石桥岩组、盖县岩组,新元古界钓鱼台组,中生界铼草沟组、温家沟组、小东沟组、小岭组,以及第四系松散沉积物。其中,里尔峪岩组岩性以浅(变)粒岩为主;高家峪岩组岩性主要为含石墨黑云变粒岩、黑云角闪斜长变粒岩、透斜长变粒岩、白云母石英片岩、二云石英片岩等;大石桥岩组岩性主要为方解石大理岩、白云石大理岩及片岩等;盖县岩组岩性主要为片岩;钓鱼台组主要岩性为灰白色厚层石英砂岩、中厚层含褐铁矿石英砂岩,以及少量含砾石英砂岩等;铼草沟组岩性主要为灰黑色碳质泥质板岩、含红柱石碳质绢云千枚岩、含红柱石碳质板岩、砂线白云变质含砾石英砂岩等;温家沟组岩性主要为灰色石英岩质砾岩、云母质长石石英砂岩、电气碳质白云母变质石英砂岩,局部夹板岩、石英绢云片岩等;小

收稿日期:2024-10-09;修回日期:2024-12-03

基金项目:辽宁省省级地质勘查项目(JH22-210000-15694);中国地质调查局项目(DD20160049)

作者简介:王晓亮(1988—),男,高级工程师,从事矿床研究工作;E-mail:975771779@qq.com

*通信作者:陈军典(1985—),男,正高级工程师,研究方向为矿产普查与勘探、地球物理勘查、生态修复、山水林田湖草沙一体化治理等;E-mail:

13889317713@163.com

东沟组岩性主要为含砾石英砂岩、青灰色粉砂质泥岩夹长石砂岩、泥质粉砂岩;小岭组岩性主要为粉砂质泥岩、安山质火山角砾岩、紫红色安山岩、角闪安山岩、安山质晶屑岩屑凝灰岩。

1.2 构造

区域上经历了多次构造运动,使岩石地层遭受了强烈的褶皱和断裂改造,形成了现有的构造格架。区域构造以北东向与北西向为主,北东向断裂及伸展构造相互配套,构成网状构造格架。以燕山期脆性和韧性断裂为主,强烈改造前期构造,受北西向韧性断裂控制,发育北西向展布的火山断陷盆地。中生代脆性和韧性断裂活动基本奠定了地貌格局。

1.3 侵入岩

区域上经历了多期次岩浆活动,由老到新依次为古元古代二长花岗岩,晚三叠世二长花岗岩、闪长岩,晚侏罗世二长花岗岩,以及早白垩世二长花岗岩、闪长岩等。

1.4 矿产

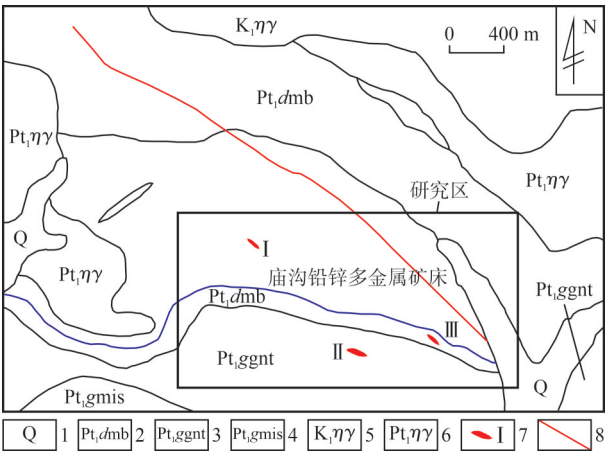
区域发育金、铅锌、硼铁矿、菱镁矿等矿产资源共 19 种,已发现矿(化)点 9 处,分别为东沟铅锌多金属矿点、庙沟铅锌多金属矿点、纪家堡子铁矿点、顾家东沟菱镁矿化点、孙家堡子钾长石矿点、马阳沟门—闹沟钾长石矿点。

2 矿区及矿床地质特征

2.1 矿区地质特征

矿区地层主要出露辽河岩群的高家峪岩组、大石桥岩组,以及第四系(见图 1)。其中,高家峪岩组为一套变粒岩建造,大石桥岩组则以大理岩为主,地层

总体走向北西,倾向北东。矿区内发育一条压性断裂,走向南东,倾向北东,倾角 40°~60°,断裂内发育构造蚀变岩,庙沟铅锌矿体受此断裂控制。矿区内发育有古元古代二长花岗岩和早白垩世二长花岗岩及小型岩脉。此外,矿区内圈定 4 个高极化激电异常,其具有中低阻特征。1:1 万土壤地球化学测量在矿区内共圈出 4 个综合异常。



1—第四系 2—大石桥岩组大理岩 3—高家峪岩组大理岩
4—高家峪岩组黑云片岩 5—早白垩世二长花岗岩
6—古元古代二长花岗岩 7—矿体及编号 8—断裂

图 1 庙沟铅锌多金属矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of the Miaogou Pb-Zn polymetallic mining district

2.2 矿床地质特征

矿区内共发育 3 条矿体,呈似层状或脉状赋存于高家峪岩组及构造裂隙中,含矿岩性为破碎蚀变岩,与青城子铅锌矿床处于同一层位,矿体总体走向北西,倾向北东,倾角较陡,矿体特征见表 1。

表 1 矿体特征

Table 1 Orebody characteristics

矿体编号	矿体形态	产状/(°)	矿石特征	围岩蚀变	品位
I	沿走向延长约 50 m,沿倾向延伸约 25 m,宽约 2 m	25∠50	矿石结构为鳞片状粒状变晶结构,矿石构造主要为块状构造、细脉状构造、网脉状构造、浸染状构造;矿石矿物主要为黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、褐铁矿和白铁矿	矿体围岩为高家峪岩组变粒岩,围岩蚀变主要为硅化	Pb 0.78 % ~ 1.74 % , Zn 1.23 % ~ 16.10 %
II	沿走向延长约 100 m,沿倾向延伸约 100 m,宽 4 ~ 5 m	10∠50	矿石结构为鳞片状变晶结构,矿石构造为块状构造、网脉状构造、浸染状构造,矿石矿物主要为闪锌矿、黄铁矿和褐铁矿	矿体围岩为变粒岩,围岩蚀变主要为硅化和黄铁矿化	Ag 37.3×10 ⁻⁶ ~ 983.0×10 ⁻⁶ , Pb 0.26 % ~ 26.3 % , Zn 0.28 % ~ 13.19 %
III	沿走向延长约 100 m,沿倾向延伸约 25 m	15∠50	矿石结构为鳞片状变晶结构,矿石构造为块状构造、网脉状构造、浸染状构造	矿体围岩为大理岩,围岩蚀变主要为硅化和黄铁矿化	Ag 21.7×10 ⁻⁶ ~ 85.4×10 ⁻⁶ , Pb 0.68 % ~ 5.65 % , Zn 0.31 % ~ 8.72 %

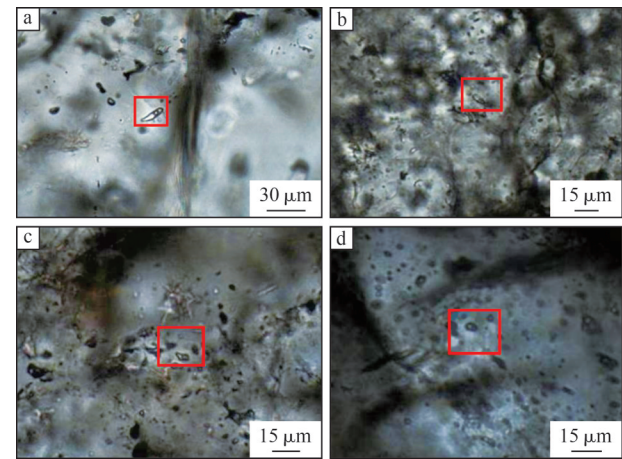
3 成矿流体特征

在 I 号矿体采集 D319BG1、D319BG2 样品,在 II 号矿体采集 D315BG1 样品,在 III 号矿体采集 D342BG1、

D342BG2 样品,并对采集矿石样品中的石英进行流体包裹体显微岩相鉴定和测试分析。

流体包裹体显微岩相鉴定结果显示,流体包裹体发育良好,次生包裹体占多数,包裹体直径多为 3 ~

20 μm,与寄主矿物界线明显,透明度较好。包裹体形态多数为不规则状、椭圆形,少数为长方形、三角形。包裹体类型主要为气液两相包裹体(见图2),气液比为5%~45%,以单独成行产出为主,少数呈孤立状分布。



a—D315BG1 气液两相包裹体 b—D342BG1 气液两相包裹体
c—D342BG2 气液两相包裹体 d—D319BG1 气液两相包裹体

图2 包裹体镜下照片

Fig. 2 Photomicrograph of fluid inclusions

对流体包裹体开展显微测温研究,结果见表2。
由表2可知:流体包裹体完全均一温度为268.8℃~305.7℃,主成矿温度集中于270℃~300℃,具有中低温成矿的特点。根据流体包裹体水溶液的冰点温度来确定成矿盐度^[16],经计算,获得庙沟铅锌多金属矿床成矿流体的盐度为0.99%~5.17%,集中于1.00%~4.00%(见图3-a),为低盐度流体。根据完全均一温度和盐度来确定成矿流体密度^[17],经计算,获得庙沟铅锌多金属矿床成矿流体的密度为0.70~0.79 g/cm³,集中于0.74~0.78 g/cm³(见图3-b),为低密度流体。根据成矿压力经验公式^[18],获得成矿压力为5.0~8.9 MPa。根据热液矿床中流体压力和深度之间的关系^[19],获得该矿床的成矿深度为0.50~0.89 km,具有浅成成矿的特征。

4 氢、氧同位素特征

采集了庙沟铅锌多金属矿床主矿体中的石英,共采集5件,对石英进行氢、氧同位素测试,结果见表3。由表3可知:δ¹⁸O_{V-SMOW}为10.89‰~12.50‰,δD_{V-SMOW}为-97.8‰~-55.8‰。在氢、氧同位素分布

表2 庙沟铅锌多金属矿床流体包裹体显微测温结果

Table 2 Microscopic temperature measurements of fluid inclusions in the Miaogou Pb-Zn polymetallic deposit

样品编号	测试矿物	包裹体类型	形态	粒度/ (μm×μm)	气液比/%	完全均一温 度/℃	冰点温 度/℃	盐度/%	密度/ (g·cm ⁻³)	压力/MPa	深度/km
D319BG1	石英	气液两相包裹体	不规则状	15×4	10	269.8	-1.1	1.82	0.78	5.1	0.51
	石英	气液两相包裹体	不规则状	10×6	10	270.9	-0.7	1.16	0.77	5.2	0.52
	石英	气液两相包裹体	不规则状	6×4	8	268.9	-0.9	1.49	0.77	5.0	0.50
	石英	气液两相包裹体	不规则状	10×5	13	278.2	-1.4	2.31	0.77	5.0	5.80
	石英	气液两相包裹体	不规则状	11×2	7	271.4	-1.2	1.98	0.78	5.2	0.52
	石英	气液两相包裹体	不规则状	8×4	10	276.6	-1.1	1.82	0.76	5.7	0.57
	石英	气液两相包裹体	不规则状	6×3	15	273.0	-0.8	1.32	0.76	5.4	0.54
	石英	气液两相包裹体	不规则状	7×3	10	270.1	-1.0	1.65	0.77	5.1	0.51
	石英	气液两相包裹体	三角形	9×5	12	292.5	-0.7	1.16	0.72	7.4	0.74
	石英	气液两相包裹体	不规则状	4×3	15	286.8	-0.9	1.49	0.74	6.7	0.67
D319BG2	石英	气液两相包裹体	不规则状	4×2	10	294.3	-1.3	2.14	0.73	7.5	0.75
D315BG1	石英	气液两相包裹体	不规则状	7×2	10	299.7	-1.0	1.65	0.71	8.2	0.82
	石英	气液两相包裹体	椭圆形	5×2	15	300.6	-0.8	1.32	0.71	8.3	0.83
	石英	气液两相包裹体	不规则状	11×4	15	291.3	-0.7	1.16	0.73	7.1	0.71
	石英	气液两相包裹体	不规则状	5×2	20	268.8	-1.3	2.14	0.78	5.0	0.50
	石英	气液两相包裹体	长方形	6×4	10	286.5	-0.7	1.16	0.73	6.7	0.67
	石英	气液两相包裹体	不规则状	5×3	30	299.8	-0.9	1.49	0.71	8.2	0.82
	石英	气液两相包裹体	不规则状	4×2	15	273.7	-1.2	1.98	0.77	5.4	0.54
D342BG1	石英	气液两相包裹体	不规则状	6×3	20	283.6	-1.0	1.65	0.75	6.4	0.64
	石英	气液两相包裹体	不规则状	4×2	15	298.4	-1.0	1.65	0.72	8.9	0.79
	石英	气液两相包裹体	不规则状	8×3	5	303.7	-1.3	2.14	0.71	8.6	0.86
	石英	气液两相包裹体	椭圆形	4×2	5	300.6	-0.6	0.99	0.70	8.3	0.83
	石英	气液两相包裹体	不规则状	7×3	5	302.1	-0.7	1.16	0.70	8.4	0.84
	石英	气液两相包裹体	不规则状	6×2	8	296.8	-0.7	1.16	0.71	7.8	0.78
	石英	气液两相包裹体	不规则状	11×3	15	304.6	-2.7	4.39	0.75	8.8	0.89
	石英	气液两相包裹体	椭圆形	3×2	45	295.6	-2.1	3.44	0.75	7.7	0.77
	石英	气液两相包裹体	三角形	8×3	18	277.4	-2.4	3.92	0.79	5.7	0.57
	石英	气液两相包裹体	不规则状	5×3	25	297.2	-3.0	5.17	0.77	7.8	0.78
D342BG2	石英	气液两相包裹体	不规则状	7×3	10	305.7	-2.3	3.76	0.75	7.8	0.78

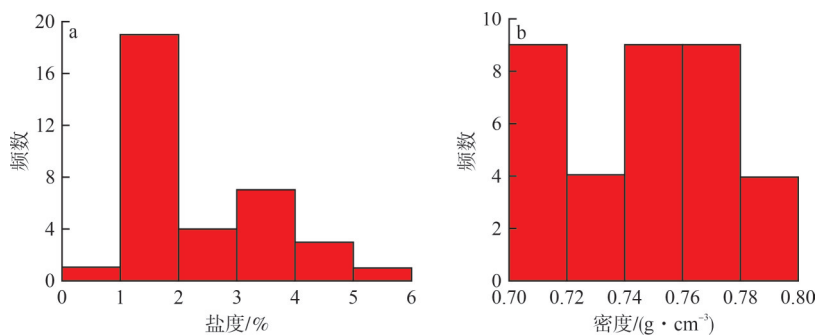


图3 流体盐度和密度频数分布直方图

Fig. 3 Histogram of frequency distribution of fluid salinity and density

图(见图4)中,样品落在岩浆水和变质水附近,离大气降水较远,表明成矿流体属于混合流体。因此,该矿床成矿流体具有多源演化的特点,反映了成矿作用的复杂性。

表3 庙沟铅锌多金属矿床氢、氧同位素测试结果

Table 3 Test results for hydrogen and oxygen isotopes in the Miaogou Pb-Zn polymetallic deposit

样品编号	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$
D342HO1	10.38	-96.4
D342HO2	11.43	-97.8
D319HO1	10.89	-82.5
D315HO1	11.70	-55.8
D315HO2	12.50	

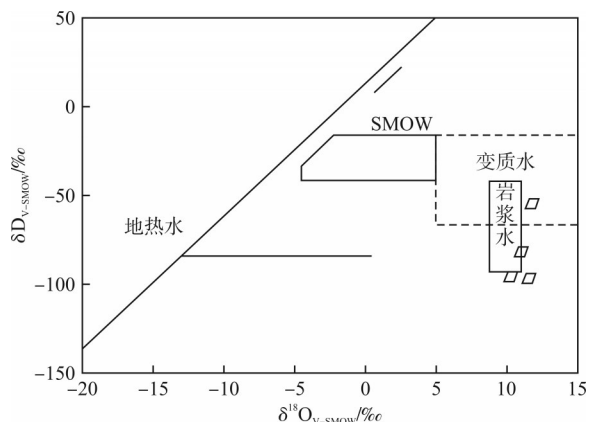


图4 氢、氧同位素分布图

Fig. 4 Distribution diagram of hydrogen and oxygen isotopes

宋运红等^[20]对青城子矿集区的喜鹊沟、甸南、本山等3个铅锌矿床进行了流体包裹体研究,认为喜鹊沟铅锌矿床成矿温度为159℃~322℃,甸南铅锌矿床成矿温度为150℃~180℃,本山铅锌矿床成矿温度为138℃~299℃,成矿温度集中在190℃~310℃,属中温成矿。青城子矿集区盐度集中在1.42%~9.28%。整个完全均一温度范围内都存在高低盐度共存现象,暗示成矿过程中流体可能发生过沸腾或不混溶。综上,青城子矿集区成矿流体为中温低盐度的水盐流体;氢氧同位素结果显示,成矿热液主要来源于岩浆水和大气降水。而庙沟铅锌多金属矿床成矿流体为

低温低盐度流体,成矿热液来源于岩浆水和变质水。通过与青城子矿集区成矿流体特征对比发现,庙沟铅锌多金属矿床空间上虽处于青城子矿集区外围,但其与青城子矿集区不属于同一成矿阶段。

5 矿床成因

根据野外观察,矿体均产自高家峪变粒岩地层构造破碎带中,蚀变较发育,初步认为该矿床类型为破碎蚀变岩型,矿体出露形态严格受构造破碎带控制。高家峪岩组中铅、锌、银、金元素具较高丰度,为成矿提供了部分物质来源。吕梁岩浆构造期,大量岩浆上涌底侵,含矿热液随构造通道向上迁移并就位成矿。燕山岩浆构造期,岩浆的上涌再次将原有的成矿层位活化,热液再次置换高家峪岩组中的铅锌等成矿元素,形成较为富集的含矿热液进一步向浅部迁移,同时高家峪岩组由于构造运动的影响而发生强烈破碎,其所产生的裂隙为矿体就位提供了通道和空间。

结合流体包裹体显微岩相鉴定、显微测温结果,以及氢、氧同位素分析结果,认为庙沟铅锌多金属矿床的形成受多期岩浆、构造、变质作用的影响,属于浅成中低温破碎蚀变岩型矿床。

6 结论

- 1)庙沟铅锌多金属矿床流体包裹体发育较好,包裹体粒度为3 μm×2 μm~15 μm×4 μm,形态多以不规则状、椭圆形为主,少数为长方形、三角形等。成矿温度为270℃~300℃,成矿盐度为0.99%~5.17%,为低盐度流体;密度为0.70~0.79 g/cm³,为低密度流体。
- 2)氢、氧同位素分析结果表明,庙沟铅锌多金属矿床成矿流体属于混合流体并具有多源演化的特点。
- 3)庙沟铅锌多金属矿床成矿流体特征与青城子矿集区有较大区别,二者不属于同一成矿阶段。
- 4)综合分析认为,庙沟铅锌多金属矿床属于浅成中低温破碎蚀变岩型矿床。

[参考文献]

[1] 马玉波,杜晓慧,张增杰,等.青城子层状脉状铅锌矿床稀土元素地

- 球化学特征及地质意义[J]. 矿床地质, 2013, 32(6): 1 236–1 248.
- [2] 王玉往, 解洪晶, 李德东, 等. 矿集区找矿预测研究——以辽东青城子铅锌-金-银矿集区为例[J]. 矿床地质, 2017, 36(1): 1–24.
- [3] 吕行, 张哲, 王晓亮, 等. 辽东庙沟铅锌多金属矿床地质特征及找矿方向[J]. 矿产勘查, 2019, 10(10): 2 565–2 570.
- [4] 林成贵, 姚晓峰, 程志中, 等. 辽宁省桃源铅锌矿床成矿物质来源——硫、铅同位素组成特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2021, 51(1): 81–94.
- [5] 于娜, 霍延达, 边惠惠, 等. 辽东青城子白云金矿床成矿期构造特征分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2021, 51(6): 1 720–1 739.
- [6] 段雪鹏, 田永飞, 王宁, 等. 辽东地区大石湖沟铜矿化构造背景——来自闪长玢岩锆石成因的指示[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2023, 53(1): 140–160.
- [7] 邱海成, 李德东, 李建平, 等. 辽宁五龙金矿床 163 号脉 Au 品位数据特征与找矿预测[J]. 黄金, 2022, 43(11): 19–24.
- [8] 吴文彬, 闵振友, 王玉平, 等. 辽东卧龙泉金矿床地质特征及找矿方向[J]. 黄金, 2022, 43(1): 28–33.
- [9] 韩晓涛, 金秀英, 高倩, 等. 辽东猫岭矿集区金矿床地质特征、空间分布及找矿要素[J]. 黄金, 2022, 44(8): 70–75.
- [10] 齐雨宁, 孙国胜, 冯德胜, 等. 内蒙古敖汉旗岱王山金矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. 黄金, 2024, 45(3): 67–71.
- [11] 汪徽, 温守钦, 李敏, 等. 吉林省东南部白山市金英金矿床金赋存状态及流体包裹体特征[J]. 黄金, 2024, 45(2): 80–84.
- [12] 叶柄杨, 高茂凯, 刘宇轩, 等. 吉林二道沟金矿床地质特征及成矿物理化学条件研究[J]. 黄金, 2024, 45(12): 114–120.
- [13] 张雅静, 刘万臻, 卢禹含, 等. 吉林延边和龙地区华集岭铅矿床成矿时代、成矿流体特征及成矿物质来源[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2024, 54(6): 2 154–2 170.
- [14] 李斌, 臧兴运, 王永胜, 等. 夹皮沟成矿带小北沟金矿床成矿流体特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2024, 54(5): 1 575–1 591.
- [15] 赵克强, 孙景贵, 程琳, 等. 内蒙古白土营子钼矿床成矿年代学及成矿流体特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2023, 53(3): 822–839.
- [16] HALL D L, STERNER S M, BODNAR R J. Freezing point depression of NaCl–KCl–H₂O[J]. *Economic Geology*, 1988, 83(1): 197–202.
- [17] 刘斌. 利用流体包裹体研究喀斯特溶洞——桂林和杭州地区古水文条件的对比[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(3): 14–17.
- [18] 邵洁涟. 找矿矿物学在微细浸染型金矿床深部找矿上的应用[J]. 地质与勘探, 1989, 24(6): 23.
- [19] 霍亮, 孙丰月. 黑龙江东安金矿床流体包裹体特征及矿床成因研究[J]. 黄金, 2010, 31(3): 8–14.
- [20] 宋运红, 杨凤超, 闫国磊, 等. 辽宁青城子铅锌矿成矿流体特征和成矿物质来源示踪[J]. 地质与勘探, 2017, 53(2): 259–269.

Characteristics of ore-forming fluids, hydrogen and oxygen isotopes, and genesis of the Miaogou lead–zinc polymetallic deposit in Xiuyan, Liaoning

Wang Xiaoliang¹, Chen Jundian², Wang Yuping¹, Li Haiyang¹, Li Chao³, Chang Ying⁴, Tian Meiyang²

(1. *Liaoning Institute of Geology and Mineral Resources Co., Ltd.*;

2. *Geophysical Measuring Exploration Institute of Liaoning Province*;

3. *Liaoning Geology and Mineral Resources Group Ecological Restoration Co., Ltd.*;

4. *Liaoning Huize Mining Technology Consulting Co., Ltd.*)

Abstract: The Miaogou lead–zinc polymetallic deposit is a newly discovered small-scale deposit located on the periphery of the Qingchengzi ore province. Fluid inclusion microscopic lithofacies identification and testing results show that fluid inclusions in the Miaogou lead–zinc polymetallic deposit are well-developed, with sizes ranging from 3 μm ×2 μm to 15 μm ×4 μm . They are predominantly irregular and elliptical, with a few rectangular and triangular forms. The inclusions are mainly two-phase gas–liquid inclusions with a gas–liquid ratio of 5 %–45 %, mostly occurring in clusters, with some isolated. The main mineralization temperature ranges from 270 °C to 300 °C, salinity ranges from 0.99 % to 5.17 %, indicating low-salinity fluids, and density ranges from 0.70 g/cm³ to 0.79 g/cm³, indicating low-density fluids. Calculated ore-forming pressures range from 5.0 MPa to 8.9 MPa, with a mineralization depth of 0.50 km to 0.89 km. Hydrogen and oxygen isotope analysis shows $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ values of 10.89 ‰–12.50 ‰ and $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ values of –97.8 ‰ to –55.8 ‰, suggesting mixed fluids with multi-source evolution. The characteristics of ore-forming fluids in the Miaogou lead–zinc polymetallic deposit significantly differ from those in the Qingchengzi ore province, indicating that they do not belong to the same mineralization stage. Comprehensive analysis suggests that the Miaogou lead–zinc polymetallic deposit is an epithermal medium-low temperature fractured and altered rock-type deposit.

Keywords: ore-forming fluids; inclusion; hydrogen isotopes; oxygen isotopes; deposit genesis; Miaogou; Xiuyan, Liaoning