

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2018.04.005

吉林抚松县龙湾铅锌矿床地质地球化学特征研究

连永牢,邵兴坤,郭晓岩,毛永新,李雨柯

(中国人民武装警察部队 黄金第一支队,黑龙江 牡丹江 157021)

摘要:龙湾铅锌矿床赋存于早白垩世正长花岗岩与中奥陶统马家沟组碳酸盐岩接触带附近,围岩蚀变强烈.铅锌矿石微量元素特征与正长花岗岩较为相似,矿石 Co/Ni 值为 2.93~4.32,具有岩浆热液成因矿床的特征.矿石稀土元素配分模式为右倾的轻稀土富集型,自矿石到花岗岩体,其稀土总量 73.92×10^{-6} 到 277.42×10^{-6} 逐渐升高.碳氧同位素特征显示成矿热液主要为岩浆水.矿床成矿物质主要来源于花岗岩体,矿床为典型的矽卡岩型矿床.

关键词:地质地球化学特征;微量元素;稀土元素

中图分类号:P642.3 **文献标志码:**B **文章编号:**1673-0062(2018)04-0025-07

Geological and Geochemical Characteristics Research of the Longwang Pb-Zn Deposit in Fusong County of Jilin Province

LIAN Yongliao, SHAO Xingkun, GUO Xiaoyan, MAO Yongxin, LI Yuke

(The First Gold Geological Party, CAPF, Mudanjiang, Heilongjiang 157021, China)

Abstract: Longwan Pb-Zn deposit is located in the outer contact zone of the Early Cretaceous syenite with the Middle Ordovician Majiagou Formation, where the wall rock strongly altered. The characteristics of trace elements of lead-zinc ore and syenogranite granite are very similar. The Co/Ni value of ore is 2.93 to 4.32, which is characterized by magmatic hydrothermal origin. The REE distribution pattern of ore is the right-handed light rare earth enrichment type. From ore to granite, the total amount of rare earth increases from 73.92×10^{-6} to 277.42×10^{-6} . The characteristics of carbon and oxygen isotope indicate that the hydrothermal solution is mainly composed of magmatic water. The ore-forming material is mainly derived from granite body, and the deposit is a typical skarn type deposit.

key words: geological and geochemical characteristics; trace elements; rare earth elements

收稿日期:2018-04-11

基金项目:中国地质调查局科学研究项目(12120114038401)

作者简介:连永牢(1978-),男,工程师,博士,主要从事矿产普查与勘探方面的研究.E-mail:lianyonglao@163.com

0 引言

龙湾铅锌矿床(原为抚松大营Ⅱ号地段铅锌矿床)行政区划属吉林省抚松县大营乡管辖,地理坐标:东经 127° 10' 00" ~ 127° 11' 15", 北纬 42° 07' 05" ~ 42° 07' 40", 为一小型铅锌矿床.1964 年吉林省地质局通化地质大队对其完成详查工作(吉林省地质局通化地质大队第二分队.吉林抚松大营Ⅱ号地段铅锌矿床详查报告,1964.).2014 年武警黄金一支队在该区开展区域地质矿产调查工作,对其重新进行评价.该矿床研究程度较低,于长霞^[1]通过对矿床的地质特征及 S、Pb、C、O 等同位素分析,认为矿床为沉积-热液叠加型层控矿床.本文基于龙湾铅锌矿床地质特征、矿床地球化学特征的研究,对矿床成因进行探讨,以期对区域上开展铅锌矿床的勘查评价工作有所裨益.

1 研究区地质背景

1.1 区域地质概况

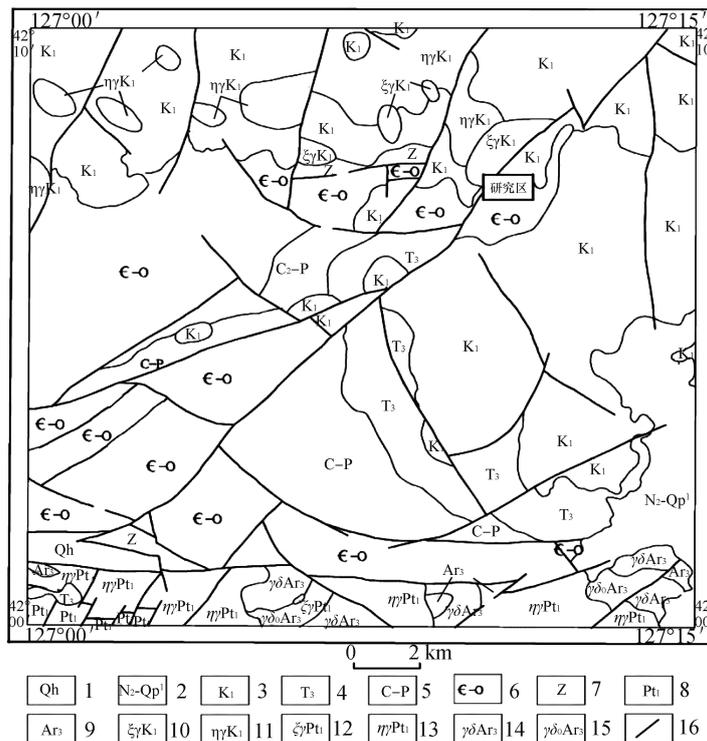
龙湾铅锌矿床大地构造位置位于华北陆块(I级)北缘,渤海东陆块(Ⅱ级)南部,太子河-浑江陆表海盆地(Ⅲ级)东部.其东部、北部与胶辽吉陆源裂谷相接,北部毗邻龙岗古岩浆弧.经历了晚

印支期以来滨太平洋陆缘构造域的强烈改造,地质构造复杂(图 1).

区域内出露的地层较为齐全,主要有新太古界、古元古界、震旦系、寒武-奥陶系、石炭-二叠系、上三叠统、下白垩统、上新统、下更新统等.其中新太古界为区内的结晶基底,岩性为斜长角闪岩类;古元古界为白云岩-碎屑岩沉积;震旦系为一套海相碎屑岩-碳酸盐沉积;寒武-奥陶系属于海相碳酸盐岩建造;石炭-二叠系主要由海陆交互相含煤碎屑岩建造构成;上三叠统为一套砾岩、砂岩组合;下白垩统为调查区大面积分布的中生代中性、酸性火山岩和火山碎屑岩组合.上新统-下更新统主要为新生代玄武岩.

区内构造复杂,经历了五台、吕梁、晋宁-海西、印支、燕山、喜山等多次构造活动,构造变形强烈,形式复杂多样.主要发育松树镇复向斜、长青沟复向斜、三叉湖-小干沟复向斜.燕山期形成的北东、北西向断裂构造形成了区内基本构造格架.

区内侵入岩主要呈岩基、岩株状产出,近东西向展布.主要有新太古代英云闪长质片麻岩、花岗闪长质片麻岩,古元古代片麻状二长花岗岩、正长花岗岩,早白垩世二长花岗岩、正长花岗岩.



1—全新统;2—上新统-下更新统;3—下白垩统;4—上三叠统;5—石炭-二叠系;6—寒武-奥陶系;7—震旦系;8—古元古界;9—新太古界;10—早白垩世正长花岗岩;11—早白垩世二长花岗岩;12—古元古代正长花岗岩;13—古元古代片麻状二长花岗岩;14—新太古代花岗闪长质片麻岩;15—新太古代英云闪长质片麻岩;16—断裂。

图 1 龙湾矿区区域地质图

Fig.1 Regional geological map of Longwan ore district

1.2 矿区地质特征

矿区内出露的地层主要有寒武系芙蓉统-下奥陶统冶里组 ($\epsilon_4 O_{1y}$)、下奥陶统亮甲山组 (O_{1l})、中奥陶统马家沟组 (O_{2m})、下白垩统果松组 (K_{1g})、下白垩统林子头组 (K_{1l})。冶里组岩性主要为灰色泥晶灰岩,灰色粒屑灰岩,竹叶状灰岩和钙质粉砂岩。亮甲山组为泥晶灰岩,夹少量粒屑灰岩。马家沟组为泥晶灰岩,粉屑灰岩,砂屑灰岩,为矿体的主要赋矿层位。果松组为安山质凝灰岩、安山岩、安山质角砾凝灰岩。林子头组岩性主要为流纹岩、流纹质凝灰岩、流纹质凝灰熔岩。矿区断裂构造发育,规模较大的断裂主要有仙人桥-河东断裂,主要呈北东向展布,倾向南东,倾角 $54^\circ \sim 56^\circ$,为左行平移正断层。北西向断裂构造规模较小,为北东向断裂的次级断裂构造。马家沟组中发育的北东向层间断裂构造为矿床主要的控矿构造。矿区侵入岩为正长花岗岩。岩体南部侵入冶里组中,东部与林子头组呈断层接触。岩体整体呈北东向展布,与区域构造方向基本一致。

龙湾矿区铅锌矿体主要赋存于马家沟组泥晶灰岩中,沿花岗岩体的外接触带产出,共圈定出 33 条铅锌矿体,呈脉状、扁豆状成群产出。矿石常见铜铅锌多金属型矿石、石榴子石磁铁矿型矿石。矿石中矿物成份较为复杂。金属矿物主要为闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、磁铁矿、赤铁矿、镍磁铁矿等。非金属矿物主要为石榴子石、透辉石、透闪石、绿帘石、符山石、方解石、石英等。闪锌矿常与黄铜矿、磁铁矿紧密共生。矿石以自形-它形粒状结构、乳滴状结构、交代残余结构为主,多具条带状构造、块状构造、浸染状构造。受多期次岩浆活动影响,围岩蚀变主要为矽卡岩化、硅化、绿帘石化、绿泥石化。其中矽卡岩化主要表现为绿帘石榴子石,呈斑点状、团块状,其与成矿密切相关。

2 样品采集与分析方法

本次研究采集了龙湾铅锌矿床不同类型典型矿石、矽卡岩、正长花岗岩样品进行微量元素和稀土元素分析,对矽卡岩及矿石进行碳氧同位素分析,以期对矿床成因进行探讨。所有样品测试工作均由核工业北京地质研究院分析测试研究中心承担。稀土元素 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y 和微量元素 Cr、Co、Ni、Cu、Zn、Rb、Sr、Ba、Pb、Th、U、Nb、Ta、Zr、Hf 均采用 ELEMENT XR 离子体质谱仪测试,执行 GB/T14506.30—2010 标准;碳氧同位素采用 MAT253 型同位

素质谱仪进行测试,执行 DZ/T 0184.17—1977,精度 $\pm 0.2\%$ 。

3 结果分析

龙湾铅锌矿床岩矿石微量、稀土元素分析表显示,龙湾矿区不同类型岩矿石 REE 总量变化范围不大,但略有差别(列于表 1 数据),其中正长花岗岩 REE 总量最高,为 $225.29 \times 10^{-6} \sim 329.54 \times 10^{-6}$,平均 277.42×10^{-6} ,其次为矽卡岩为 $222.84 \times 10^{-6} \sim 233.68 \times 10^{-6}$,平均 227.54×10^{-6} ,铅锌矿石 REE 总量最低,且变化范围较大,为 $48.10 \sim 115.15 \times 10^{-6}$,平均 73.92×10^{-6} 。正长花岗岩 LREE/HREE 为 6.23~6.66,平均 6.45;矽卡岩为 2.39~3.07,平均 2.88;铅锌矿石为 1.70~1.93,平均 1.46。岩矿石均具有明显的负铕异常。正长花岗岩中 δEu 为 0.57~0.78,平均 0.68;矽卡岩为 0.64~0.70,平均 0.66;铅锌矿石为 0.56~0.72,平均 0.63。

岩矿石碳氧同位素组成特征如表 2 所示,矿石中热液方解石的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值分布范围为 $-7.5\% \sim -8.1\%$,平均值为 -7.85% , $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 值为 $-3.6\% \sim -1.6\%$,平均值为 -1.3% 。4 件矽卡岩样品 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值的分布范围为 $-6.8\% \sim -5.3\%$,平均值为 -6.1% , $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 值为 $-0.7\% \sim 4.7\%$,平均值为 2.35% 。

4 结果讨论

4.1 微量元素

矿区岩矿石微量元素分析结果(见表 1)及微量元素蛛网图(如图 2)显示,正长花岗岩微量元素 MORB 标准化曲线略向右倾,Sr、Ba 具有较强的负异常,Nb、Ta、Zr、Hf 具有弱的负异常,Rb、Th、U、Ce、Sm、Nd 表现为正异常,其曲线样式与 I 型花岗岩岩石蛛网图曲线相近。矽卡岩与铅锌矿石蛛网图曲线形态与正长花岗岩较为相似,只是铅锌矿石的微量元素含量总体较花岗岩体低。这反映出矿石样品可能继承了正长花岗岩的微量元素特征。成矿物质主体源自花岗岩体。微量元素 Co、Ni 的比值能够在一定程度上指示矿床形成的条件,岩浆或火山热液成因的矿床,Co/Ni 一般大于 5;海相火山岩沉积矿床 Co/Ni 值一般为 1.93~2.57;沉积岩中 Co/Ni 一般小于 1^[2-4]。矿区铅锌矿石 Co/Ni 值得变化区间为 2.93~4.32,接近岩浆热液成因矿床范围。

表1 龙湾铅锌矿区岩石微量、稀土元素($\times 10^{-6}$)分析结果表
 Table 1 Trace elements contents($\times 10^{-6}$) of the rocks and ores in the Longwan Pb-Zn deposit

岩性	铅锌矿石			矽卡岩			正长花岗岩	
样品原号	KFLWB01	KFLWB03	KFLWB04	KFLWB05	KFLWB06	KFLWB07	KFPM7B44	KFPM7B51
La	15.50	6.17	6.82	32.40	34.20	41.60	50.50	72.30
Ce	36.00	14.40	17.20	73.20	75.60	81.10	86.00	142.00
Pr	3.82	1.55	1.97	8.65	8.65	9.17	9.91	13.60
Nd	16.10	6.64	8.53	36.10	35.00	35.70	39.90	49.80
Sm	3.69	1.54	1.96	7.48	7.18	7.10	6.33	7.45
Eu	0.75	0.38	0.37	1.54	1.52	1.58	1.50	1.36
Gd	3.85	1.66	2.09	6.99	6.96	6.54	5.10	6.96
Tb	0.76	0.31	0.42	1.34	1.26	1.19	0.76	0.98
Dy	4.37	1.78	2.37	7.31	6.71	6.49	3.34	4.75
Ho	0.90	0.36	0.49	1.47	1.38	1.31	0.59	0.81
Er	2.40	0.94	1.27	4.04	3.71	3.52	1.69	2.48
Tm	0.41	0.15	0.21	0.73	0.66	0.63	0.23	0.34
Yb	2.56	0.91	1.16	4.34	3.96	4.00	1.45	2.29
Lu	0.33	0.12	0.15	0.61	0.55	0.55	0.20	0.32
Y	23.70	11.20	13.50	39.90	35.50	33.20	17.80	24.10
Cr	12.50	4.11	4.71	72.50	66.60	69.00	2.10	3.11
Co	410.00	23.90	49.20	9.04	7.64	8.78	1.10	4.27
Ni	9.48	8.14	14.10	24.50	20.10	27.10	2.18	3.09
Cu	423.00	55.20	22.70	15.40	14.70	13.20	11.90	7.60
Zn	433.00	128.00	63.70	140.00	96.60	78.60	227.00	52.70
Rb	5.22	4.20	17.80	9.76	27.50	212.00	10.10	126.00
Sr	39.30	21.40	66.40	474.00	337.00	394.00	59.40	280.00
Ba	1.72	29.30	39.70	5.54	5.78	1 096.00	92.30	1 055.00
Pb	178.00	63.10	265.00	14.00	13.60	10.90	338.00	21.20
Th	3.19	1.46	2.05	14.00	11.40	15.80	8.58	14.30
U	0.94	0.81	0.76	2.83	2.29	2.70	1.65	1.78
Nb	3.24	1.03	1.79	18.40	17.00	18.90	19.20	26.50
Ta	0.24	0.06	0.08	1.31	1.15	1.51	1.42	1.81
Zr	30.50	8.03	7.48	114.00	91.80	115.00	75.10	91.50
Hf	0.79	0.24	0.24	3.17	2.80	3.33	2.67	3.13
Σ REE	115.15	48.10	58.51	226.10	222.84	233.68	225.29	329.54
LREE	75.86	30.68	36.85	159.37	162.15	176.25	194.14	286.51
HREE	39.29	17.42	21.66	66.73	60.69	57.43	31.15	43.03
LREE/HREE	1.93	1.76	1.70	2.39	2.67	3.07	6.23	6.66
La _N /Yb _N	4.08	4.59	3.96	5.03	5.82	7.01	23.48	21.29
δ Eu	0.60	0.72	0.56	0.64	0.65	0.70	0.78	0.57
δ Ce	1.10	1.09	1.12	1.03	1.03	0.96	0.87	1.02

注:数据由核工业北京地质研究院测试中心测试;特征参数采用球粒陨石标准化。

表 2 龙湾铅锌矿岩矿石碳氧同位素组成

Table 2 Carbon and oxygen isotopic compositions of rock and ores from the Longwan Pb-Zn deposit ‰

序号	样品编号	岩性	$\delta^{13}C_{V-PDB}$	$\delta^{18}O_{V-PDB}$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$
1	KFLWC-O 01	铅锌矿石	-7.9	-33.4	-3.6
2	KFLWC-O 02	铅锌矿石	-7.9	-31.6	-1.7
3	KFLWC-O 03	铅锌矿石	-8.1	-28.5	1.6
4	KFLWC-O 04	铅锌矿石	-7.5	-31.4	-1.5
5	KFLWC-O 05	矽卡岩	-6.8	-29.0	1.1
6	KFLWC-O 06	矽卡岩	-6.0	-30.7	-0.7
7	KFLWC-O 07	矽卡岩	-5.3	-25.4	4.7
8	KFLWC-O 08	矽卡岩	-6.3	-25.9	4.3

注:数据由核工业北京地质研究院测试中心测试.

4.2 稀土元素

矿区岩矿石具有较为一致的分馏模式,均为右倾型,轻重稀土分馏较为明显(图 3).稀土总量从铅锌矿石→矽卡岩→正长花岗岩逐渐升高,且三者具有一致的分馏模式,表明铅锌矿石主要继承了正长花岗岩中高 REE 含量的特征,矿床的成矿物质主要来源于正长花岗岩.而 LREE/HREE 平均值由铅锌矿石(1.46)→矽卡岩(2.88)→正长花岗岩(6.45),也表明成矿流体的性质与岩浆热液一致,由岩浆热液演化而来.

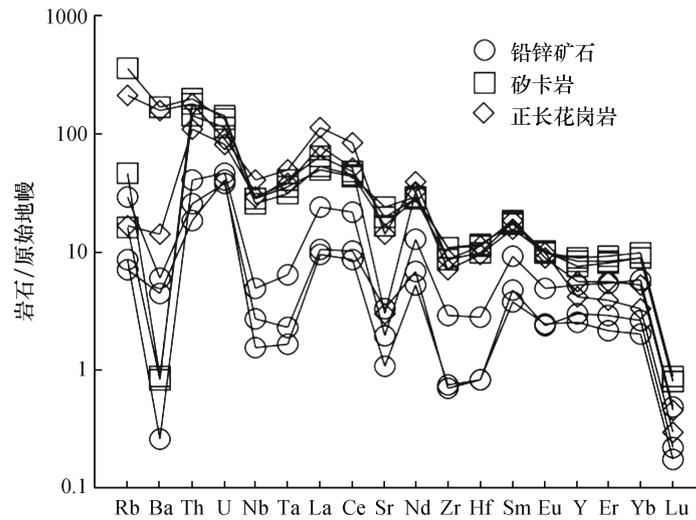


图 2 龙湾铅锌矿床岩矿石微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig.2 Primitive-mantle-normalized trace element spider diagram of rocks and ores from the Longwan Pb-Zn deposit

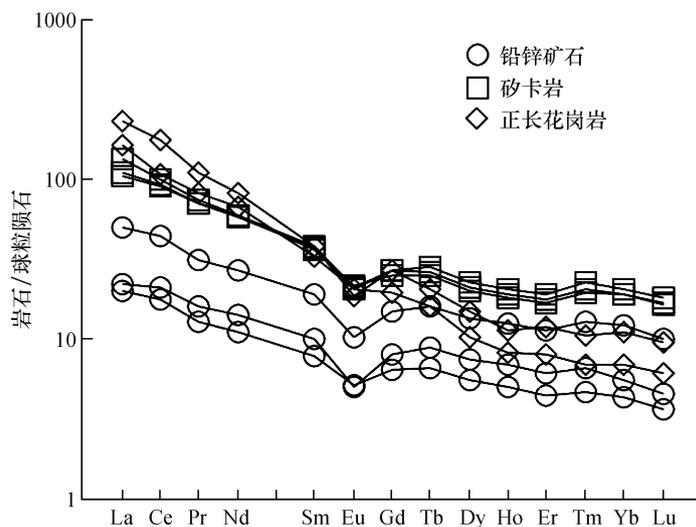


图 3 龙湾铅锌矿床岩矿石稀土元素球粒陨石标准化配分图

Fig.3 Chondrite-normalized REE distribution patterns of rock and ores from the Longwan Pb-Zn deposit

4.3 碳氧同位素

铅锌矿石与矽卡岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值较为稳定,变化范围较小,且平均值近似,具有深部深部来源或岩浆来源的碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-9\text{‰} \sim -3\text{‰}$ 的特征^[5]. 其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值变化范围均较大,平均值为 -1.3‰ 与 2.35‰ ,明显偏离岩浆水 $5.5\text{‰} \sim 8.5\text{‰}$ ^[6-7],这种

同位素组成指示成矿热液主要由岩浆水构成,晚期有大气降水大量加入.

将岩矿石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 与 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 投影在 $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ 图(图4)上,结果显示,投影点均落在花岗岩区左侧,呈线状分布,表明出碳、氧物质来源于岩浆热液,后期受大气降水的影响.

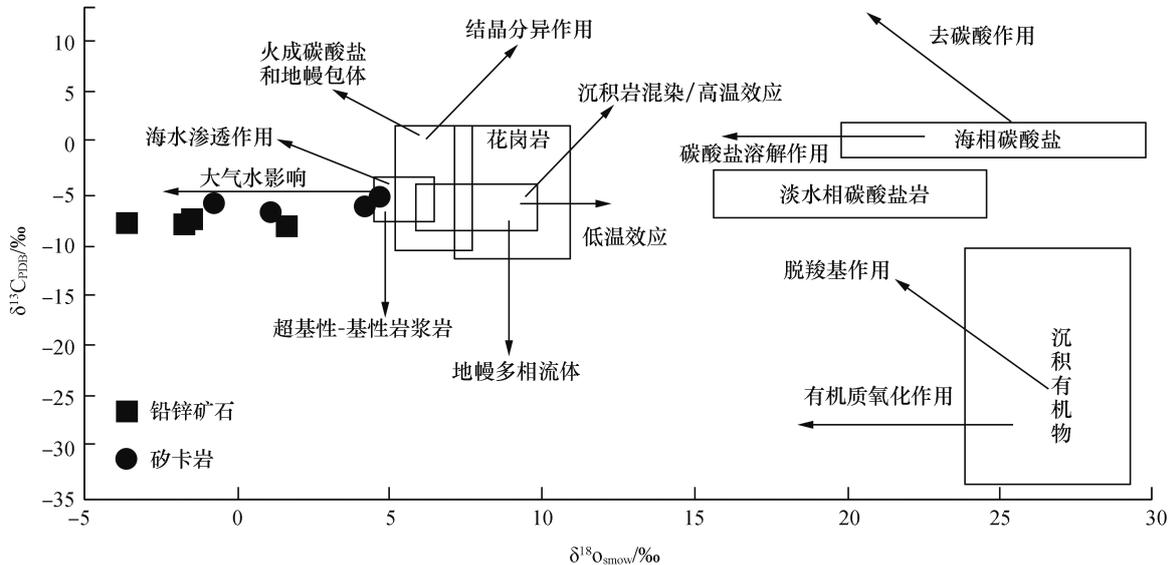


图4 龙湾铅锌矿床岩矿石 $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ 图解(底图据^[8-11])

Fig 4 $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ diagram of rock and ores from the Longwan Pb-Zn deposit (base diagram from^[8-11])

4.4 矿床成因

龙湾铅锌矿床外围采集2件正长花岗岩样品,进行LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄测定,测得其加权平均年龄为 $123.1 \pm 1.8 \text{ Ma}$ (MSSWD = 2.4)、 $126.33 \pm 0.96 \text{ Ma}$ (MSSWD = 1.7) (数据另文发表). 矿区矽卡岩、铅锌矿体产于正长花岗岩外接触带,矿床的形成与花岗岩体的侵入为同一地质事件,故推测龙湾铅锌矿床的成矿时代为早白垩世.

龙湾铅锌矿属于矽卡岩型矿床.燕山运动期间,受太平洋板块俯冲影响,幔源岩浆发生底侵作用,诱发下地壳物质部分熔融,形成富含Cu、Pb、Zn等成矿元素的花岗质岩浆,沿北东向与北西向断裂的交汇处上升,侵位形成花岗岩体以及岩浆期后含矿流体.该岩浆流体在岩体的外接触带交代围岩,形成矽卡岩型矿石.随着温度、压力降低,含矿热液中大量金属成矿物质与矿化剂(H_2S)等结合,形成多金属硫化物石.部分叠加在早期形成矽卡岩型矿石富集成矿.

5 结论

1) 龙湾铅锌矿床铅锌矿石、矽卡岩、正长花

岗岩具有较为一致的稀土分馏模式,稀土总量呈逐渐升高趋势.铅锌矿石微量元素Co/Ni值显示具有岩浆热液成因特征.矿床的成矿物质主要来源于正长花岗岩,具有岩浆热液成因矿床的特征.

2) 碳同位素特征显示铅锌矿石成矿物质具有岩浆来源,氧同位素特征表明成矿热液主要为岩浆水,晚期有大气降水加入.

3) 结合龙湾铅锌矿床地质背景、正长花岗岩同位素年代学研究,进一步推断龙湾铅锌矿床为矽卡岩型矿床.

参考文献:

- [1] 于长霞. 抚松大营铅锌矿床同位素地质特征及矿床成因[J]. 吉林地质, 1990, 9(5): 27-33.
- [2] 朱上庆, 黄华盛. 层控矿床地质学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988: 1-348.
- [3] 李双应. 皖南上震旦统蓝田组中银铅锌等多金属矿床成因探讨[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2001, 21(5): 68-74.
- [4] 王成彬, 陈建国, 肖凡, 等. 浙西北银山银多金属矿床地质特征及成因[J]. 地质与勘探, 2013, 49(4): 634-646.

(下转第60页)

BIN 文件在单独开发的设备上运行,这样既降低了功耗,减少了空间,而且该设备安装方便,有利于系统集成。

参考文献:

- [1] 杨宇鹏. 针对嵌入式硬件的仿真调试系统设计[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2013, 36(4): 24-29.
- [2] POSCOLIERO T, GIRELLI M. Electrophysiological modulation in an effort to complete illusory figures: configuration, illusory contour and closure effects[J]. Brain topography, 2018, 31(2): 202-217.
- [3] Jakub Checiński, Marek Frankowski. MAGE (M-file/Mif Automatic GEnerator): A graphical interface tool for automatic generation of Object Oriented Micromagnetic Framework configuration files and Matlab scripts for results analysis [J]. Computer physics communications, 2016, 207: 487-498.
- [4] 徐向权, 范延滨. 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的硬件实时操作系统内核设计[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2017, 32(1): 31-36.
- [5] 石冠先. 基于 VC 的监控组态软件开发及其应用[D]. 北京: 北京工业大学, 2013.
- [6] 石纪奎. 基于组态软件和 ARM 平台的触摸屏人机界面设计[J]. 电子世界, 2017(6): 106-107.
- (责任编辑: 扶文静)
-
- (上接第 30 页)
- [5] TAYLOR, B E. Magmatic volatiles: Isotope variation of C, Hand S reviews in mineralogy [J]. Reviews in mineralogy and geochemistry, 1986, 16(1): 185-225.
- [6] OHMOTO H. Stable isotopes geochemistry of ore deposits [J]. Reviews in mineralogy and geochemistry, 1986(16): 491-559.
- [7] 唐永永, 毕献武, 和利平, 等. 兰坪金顶铅锌矿方解石微量元素、流体包裹体和碳-氧同位素地球化学特征研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(9): 2635-2645.
- [8] 王长明, 徐贻赣, 吴淦国, 等. 江西冷水坑 Ag-Pb-Zn 矿田碳、氧、硫、铅同位素特征及成矿物质来源[J]. 地学前缘, 2011, 18(1): 179-193.
- [9] 刘建明, 刘家军. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式[J]. 矿物学报, 1997, 17(4): 448-456.
- [10] 毛景文, 赫英, 丁梯平. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据[J]. 矿床地质, 2002, 21(2): 121-127.
- [11] 刘家军, 何明勤, 李志明, 等. 云南白秧坪银铜多金属矿集区碳氧同位素组成及其意义[J]. 矿床地质, 2004, 23(1): 1-9.
- (责任编辑: 龙威)