

文章编号: 1000-4734(2020)04-0450-08

贵州丹寨老东寨铅锌矿床微量和稀土元素地球化学

徐阳东¹, 田亚江¹, 郑禄林^{2*}, 尹努寻¹, 余杰¹, 唐永永³

(1. 贵州省地矿局 地球物理地球化学勘查院, 贵州 贵阳 550018; 2. 贵州大学 矿业学院, 贵州 贵阳 550025; 3 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 老东寨铅锌矿床是黔东南地区震旦系陡山沱组地层中首次发现的规模达中型的代表性矿床, 为该区域近年来重大找矿突破。但对该矿床的相关地质、地球化学研究程度较低, 本文对该矿床闪锌矿的微量元素地球化学特征进行了研究, 并对闪锌矿、容矿白云岩以及围岩地层的稀土元素地球化学特征进行对比。结果表明, 硫化物中 Cu、Ga、Cd、Sb 等元素均有不同程度的富集。各类岩石稀土元素配分模式为轻稀土富集型, 主要矿石闪锌矿均具有弱的 Ce 负异常 ($\delta\text{Ce}=0.62\sim 0.89$), 部分样品出现了 Eu 负异常 ($\delta\text{Eu}=0.45\sim 0.86$), 另一部分样品出现 Eu 正异常 ($\delta\text{Eu}=(1.22\sim 4.46)$), 结合矿床地质特征和重晶石的产出及分布情况, 推断该矿床成矿环境经历了从氧化到还原的过程。

关键词: 老东寨铅锌矿床; 微量元素; 稀土元素; 地球化学特征; 成矿环境

中图分类号: P595; P618.4

文献标识码: A

doi: 10.16461/j.cnki.1000-4734.2020.40.011

第一作者: 徐阳东, 男, 1984 年生, 硕士研究生, 地质高级工程师, 长期从事地质勘查找矿工作。E-mail: xuyangdong21th@163.com

Geochemical characteristics of trace elements and REE of the Laodongzhai Pb-Zn deposit, Danzhai County, Guizhou Province, China

XU Yang-dong¹, TIAN Ya-jiang¹, ZHENG Lu-lin^{2*}, YIN Nu-xun¹, YU Jie¹, TANG Yong-yong³

(1. *Guizhou Institute of Geophysical and Geochemical Prospecting, Guiyang 550018, China*; 2. *College of Mining, Guizhou University, Guiyang 550025, China*; 3. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China*)

Abstract: The Laodongzhai Pb-Zn deposit is a representative medium-sized one firstly discovered in silty dolostone of the Sinian Doushantuo Formation in SE Guizhou. Due to the relatively low degree of relevant geological and geochemical researches, in this paper, we have studied geochemistry of trace elements in sphalerites and made comparison of REE geochemical characteristics of sphalerites, ore-hosted dolostones, and wallrocks. The results show that Cu, Ga, Cd, and Sb are enriched in various degrees in sulfides. The ores and wallrocks have LREE-enriched REE distribution patterns. Sphalerites in main ores have unobvious Ce anomalies ($\delta\text{Ce}=0.62-0.89$). They have partly obvious negative Eu anomalies ($\delta\text{Eu}=0.45-0.86$) and partly positive Eu anomalies ($\delta\text{Eu}=1.22-4.46$). Combining with the deposit geological characteristics and the occurrence and distribution characteristics of barites, it is believed that the ore-forming process had experienced the transformation from oxidized to reduced environments.

Keywords: Laodongzhai Pb-Zn deposit; trace elements; REE; geochemical characteristics; ore-forming environment

收稿日期: 2020-06-11

基金项目: 贵州省地矿局科研基金 (编号: 黔地矿科合 2016 (18) 号); 国家自然科学基金项目 (编号: U1812402)

* 通讯作者, E-mail: 273550459@qq.com

贵州丹寨老东寨铅锌矿赋存于震旦系陡山沱组, 明显不同于区域内其他铅锌矿床的产出层位(青白口系和寒武系)^[1]。黔东南地区震旦系陡山沱组地层中新发现的中型规模铅锌矿床, Pb、Zn 金属量达 38 万余吨, 为该区域近年来重大找矿突破。由于该矿床发现时间较短, 可类比的资料缺乏, 在矿床地质特征、成矿物质来源方面研究不够深入, 严重制约了该矿床成因和成矿机理的认识。本文以老东寨铅锌矿床为例系统研究了主要硫化物(闪锌矿)、容矿白云岩以及矿区出露地层中的微量及稀土元素特征, 以探讨成矿流体及成矿物质的来源, 研究矿床成因机制, 建立矿床成因模式。

1 矿床地质特征

老东寨铅锌矿床位于贵州境内扬子板块与华南褶皱带的结合带, 综合地层区划属扬子地层区黔南分区台江—从江小区, 成矿区带划属上扬子东缘成矿带^[1-2], 处于三丹铅锌多金属成矿带西南端^[3-5,9,11]。矿区地处区域性雷公山复式背斜西翼, 区域性朱砂场断层穿过矿区南部, 区域性蔓洞断层位于矿区西北部, 断层以 SN 及 NNE 向为主。出露地层有第四系、二叠系、石炭系、泥盆系、志留系、奥陶系、寒武系、震旦系。南华系、清白口系, 地层展布主要呈 SE 及 NNE 向。震旦系的陡山沱组(Pt₃³d)是该铅锌矿床主要含矿地层(图 1)。根据岩性组合特征, 可分为 Pt₃³d¹、Pt₃³d² 等 2 段。陡山沱组 1 段(Pt₃³d¹)为灰-灰黑色含粉砂质炭质泥质板岩夹含白云质炭质钙质板岩及透镜状白云质灰岩, 厚 135 m 左右, 是该矿床主要含矿层位。

陡山沱组 2 段(Pt₃³d²): 上部为灰黄色页岩、粘土岩, 下部为灰黑色粘土岩, 厚度大于 94 m。对成矿作用起到隔层的作用, 创造有利的环境, 利于成矿流体充分反应及金属硫化物的富集保存(图 2、图 3)。

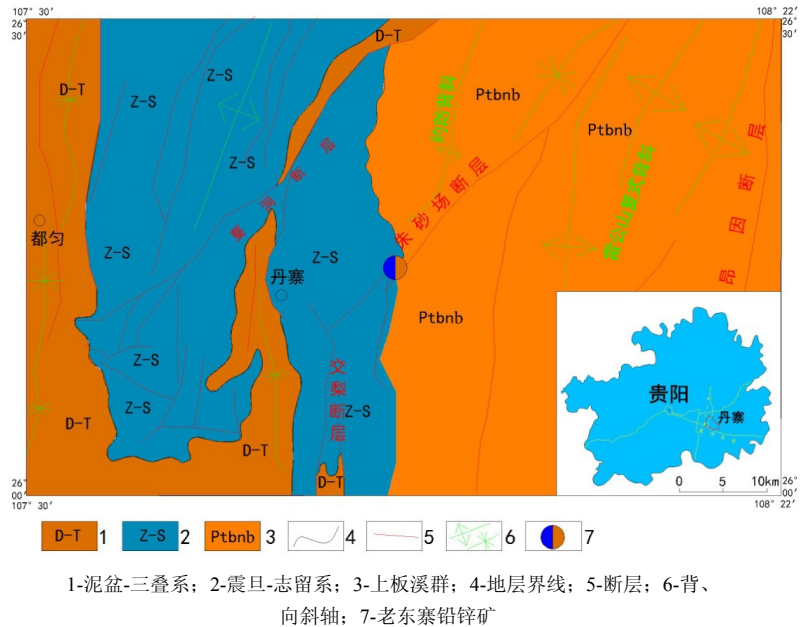


图 1 区域地质简图
Fig. 1. Regional geological sketch map for the study area.

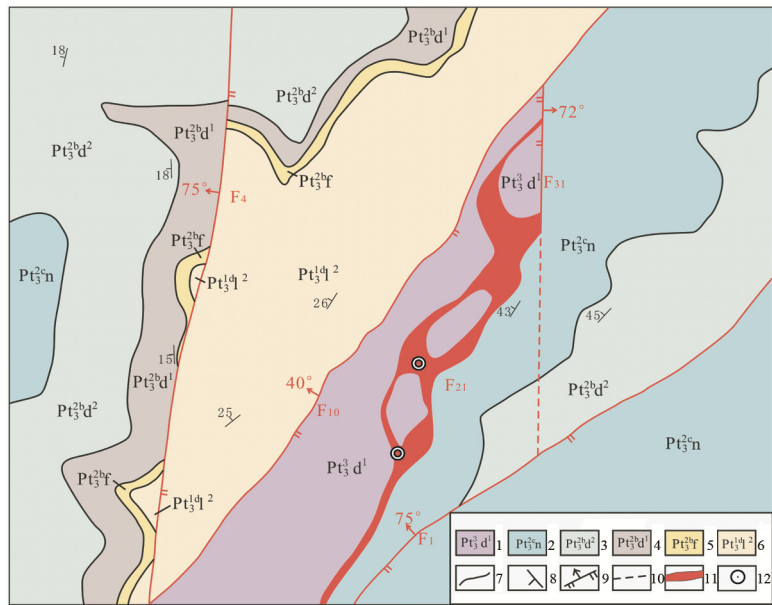


图 2 老东寨铅锌矿床地质简图
Fig. 2. The geological sketch map for the Laodongzhai Pb-Zn deposit.

老东寨铅锌矿床主矿体赋存于 $Pt_3^3d^1$ 的层间破碎带 F_{21} 内, 地表仅在北东部的一个剥土工程 BT1 中见有矿化, 属于近隐伏矿体, 矿体走向近北东 30° , 长度约 800 m, 倾向北西, 倾角平均 33° , 最大延伸约 440 m, 矿体厚度变化较稳定, 见矿工程内厚度 0.92~25.76 m, 平均厚度 7.53 m, 矿体以闪锌矿为主, Zn 品位一般为 $0.5\% \sim 38.43\%$, 平均 7.18%, 其次含少量铅, Pb 品位变化较大, 平均 2.45%。矿石以闪锌矿为主, 其次为少量方铅矿、黄铁矿、褐铁矿等, 偶见重晶石; 脉石矿物以石英为主, 其次为隐晶质炭质、玉髓, 少量方解石、白云石、粘土矿物等 (图 4)。

2 样品采集与分析方法

测试岩、矿石样品均采自老东寨铅锌矿床 (表 1)。本文分析了老东寨铅锌矿床 14 件岩矿样品中的闪锌矿、围岩 (包含容矿白云岩, 顶底板粉砂岩及泥岩) 的稀土元素含量, 其中 9 件闪锌矿样品, 4 件围岩地层样品, 1 件容矿白云岩样品数据作为对比。因该矿床主要以闪锌矿为主产出, 本文未对方铅矿进行取样分析。

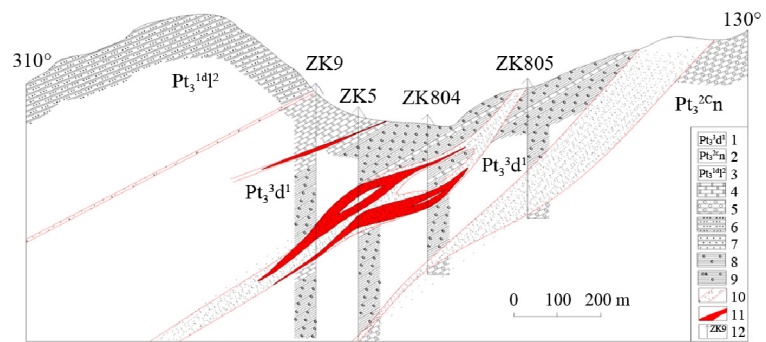
首先将样品粉碎至 40 目, 在双目镜下挑选纯净的闪锌矿单矿物, 用去离子水清洗挑纯的硫化物单矿物, 低温干燥后, 用玛瑙研钵研磨至 200 目置于容器中备用。微量元素和稀土元素组成分析由核工业北京地质研究院分析测试研究所采用 NexION300D 型等离子体质谱仪完成。

3 微量元素地球化学特征

老东寨铅锌矿硫化物微量元素分析结果如表 2, 相对地壳丰度富集特征如图 5 所示。主要硫化物闪锌矿中 Co、Cu、Ga、Cd、Sb、Ba、Pb 的含量相对其他微量元素含量较高, 其他微量元素相对亏损或没有明显富集。

4 稀土元素地球化学特征

样品 REE 元素含量分析结果见表 3, 图 6 为相应的球粒陨石标准化配分模式图。



1-陡山沱组一段; 2-南沱组; 3-隆里组二段; 4-白云岩; 5-冰碛砾岩; 6-变余砂岩; 7-砂质板岩; 8-炭质泥岩; 9-含钙质泥岩; 10-断层破碎带 (矿体); 11-矿体; 12-钻孔

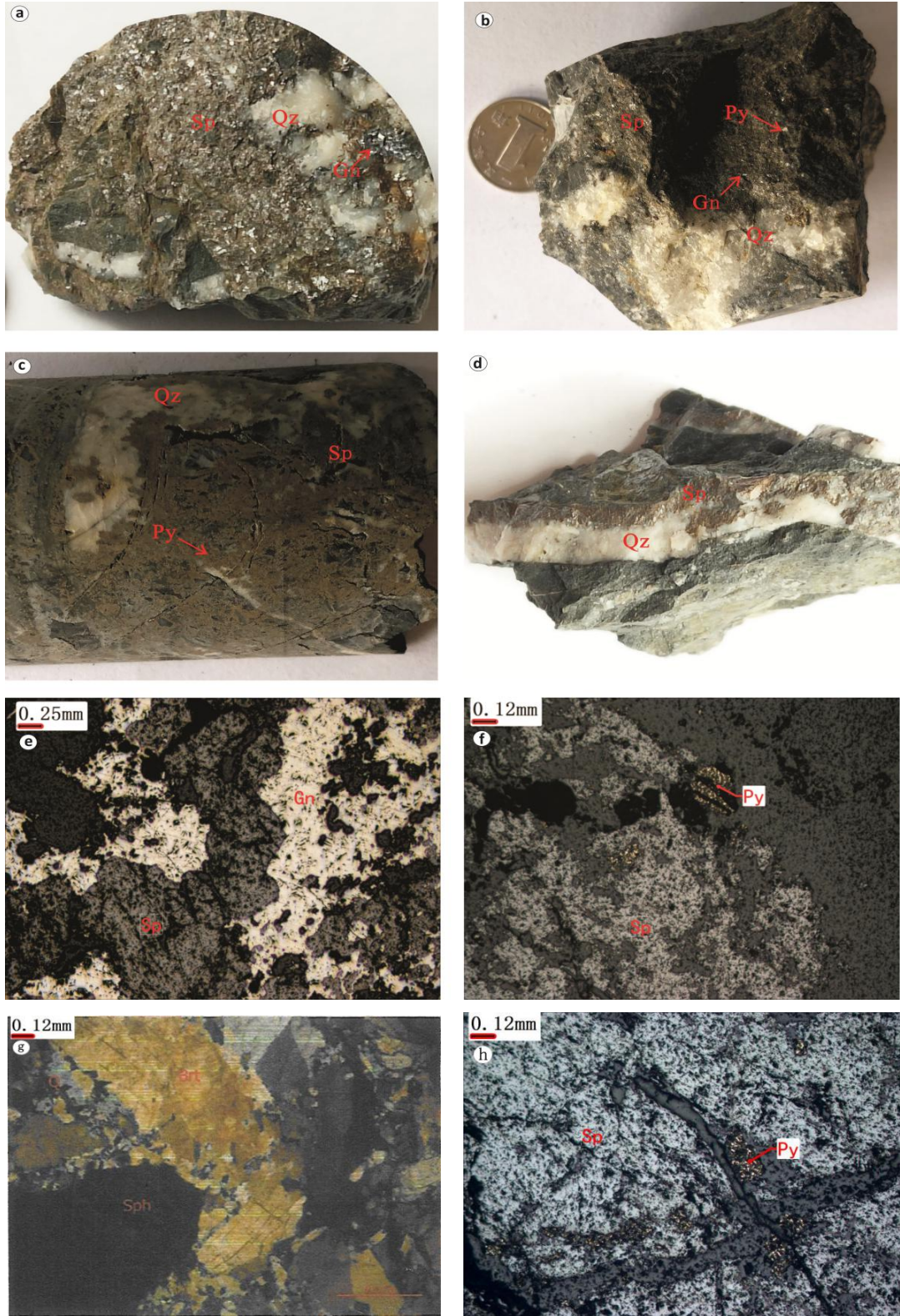
图 3 老东寨铅锌矿床地质剖面图

Fig. 3. A geological profile for the Laodongzhai Pb-Zn deposit.

表 1 老东寨铅锌矿床采样记录表

Table 1. A table of samples in the Laodongzhai Pb-Zn deposit

样品	送样编号	样品描述	测试矿物
ZK502-1	LDZ01	含炭质泥质粉砂岩 (围岩)	
ZK502-7	LDZ02	泥质粉砂岩 (围岩)	
ZK5-1	LDZ03	含炭质泥质粉砂岩 (围岩)	
ZK5-2	LDZ04	泥岩 (围岩)	
ZK5-8	LDZ05	容矿白云岩	
ZK5-3	LDZ06	浸染状闪锌矿	闪锌矿
ZK5-4	LDZ07	浸染状闪锌矿	闪锌矿
ZK5-5	LDZ08	浸染状闪锌矿	闪锌矿
ZK5-6	LDZ09	浸染状闪锌矿	闪锌矿
ZK5-7	LDZ10	浸染状闪锌矿	闪锌矿
ZK502-3	LDZ11	浸染状闪锌矿	闪锌矿
ZK502-4	LDZ12	浸染状闪锌矿	闪锌矿
ZK502-5	LDZ13	浸染状闪锌矿	闪锌矿
ZK502-6	LDZ14	浸染状闪锌矿	闪锌矿



Sp-闪锌矿; Gn-方铅矿; Py-黄铁矿; Qz-石英(脉); Brt-重晶石(脉)

a-块状铅锌矿石; b-团块状铅锌矿石 c-浸染状铅锌矿石; d-脉状铅锌矿石; e-闪锌矿、方铅矿呈不规则团块状(反射光); f-闪锌矿、黄铁矿呈浸染状充填于石英、炭质裂隙中(反射光); g-重晶石脉穿插生长的闪锌矿(早期样品); h-闪锌矿、黄铁矿呈浸染状充填于石英、炭质裂隙中(反射光)

图4 矿石宏观及微观特征

Fig. 4. Photos showing macro and micro features of ores.

表 2 老东寨铅锌矿床闪锌矿物微量元素分析结果 ($w_B/10^{-6}$)

Table 2. Analytical results of trace elements in sphalerites of Zn ores from the Laodongzhai Pb-Zn deposit

样品	样号	Sc	V	Cr	Co	Cu	Ga	Sr	Y	Zr	Nb	Mo
闪锌矿	LDZ-06	0.085	0.093	0.258	0.245	0.74	0.276	0.142	0.117	0.102	0.045	1.52
闪锌矿	LDZ-07	0.238	0.342	0.274	0.634	0.404	0.594	0.123	0.485	0.269	0.061	36.4
闪锌矿	LDZ-08	0.280	0.357	0.312	0.662	0.543	0.667	0.143	0.525	0.385	0.120	53.2
闪锌矿	LDZ-09	0.111	0.237	0.112	3.43	5.73	4.32	0.082	0.124	0.120	0.067	4.25
闪锌矿	LDZ-10	0.053	0.325	0.088	1.84	3.38	3.08	0.049	0.160	0.158	0.036	16.3
闪锌矿	LDZ-11	0.040	0.035	0.075	1.34	3.917	3.58	0.488	0.272	0.012	0.006	0.443
闪锌矿	LDZ-12	0.024	0.083	0.237	1.23	3.4	1.86	0.029	0.038	0.046	0.021	0.331
闪锌矿	LDZ-13	0.025	0.014	0.064	0.797	2.47	1.91	0.512	0.307	0.013	0.007	0.171
闪锌矿	LDZ-14	0.030	0.157	0.086	0.431	2.75	1.11	0.577	0.494	0.054	0.024	0.465
样品	样号	Cd	In	Sb	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Th	U	
闪锌矿	LDZ-06	17.4	0.82	91.5	0.88	2.01	1.28	7742	3.67	0.740	1.39	
闪锌矿	LDZ-07	12.1	0.28	47.8	2.66	4.58	2.89	32.6	2.33	1.789	31.8	
闪锌矿	LDZ-08	141	0.34	61	2.82	22.8	3.39	920	2.93	2	39.9	
闪锌矿	LDZ-09	12969	62	136.5	1.03	1.4	1.16	68.1	1.45	0.560	2.74	
闪锌矿	LDZ-10	5418	224	315.5	0.687	1.34	3	5941	2.05	0.469	12.97	
闪锌矿	LDZ-11	7214	15.28	47.65	0.072	0.286	0.294	88	0.45	0.107	0.385	
闪锌矿	LDZ-12	4142	9.96	38.05	0.397	0.532	2.35	18981	3.05	0.224	0.262	
闪锌矿	LDZ-13	4132	2.72	19.1	0.096	0.214	0.253	38.7	0.317	0.083	0.287	
闪锌矿	LDZ-14	1959	8.48	70.5	0.268	0.64	0.442	46.3	1.1	0.3	1.60	

表 3 老东寨铅锌矿床稀土元素含量 ($w_B/10^{-6}$) 及特征值

Table 3. REE contents and characteristics parameters of rocks and sphalerites from the Laodongzhai Pb-Zn deposit

原岩	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	Σ LREE/ Σ HREE	δ Eu	δ Ce
粉砂岩	LDZ-01	26.6	46.3	5.53	20.7	3.75	0.793	3.24	0.511	2.69	0.503	1.50	0.273	1.77	0.255	114.42	9.65	0.69	0.86
粉砂岩	LDZ-02	13.4	25.3	2.92	11.7	2.55	0.829	2.29	0.416	2.38	0.439	1.26	0.221	1.41	0.193	65.31	6.59	1.03	0.92
粉砂岩	LDZ-03	31.2	54.5	6.36	23.6	3.74	0.831	3.23	0.565	3.52	0.705	2.20	0.406	2.84	0.403	134.1	8.67	0.72	0.87
泥岩	LDZ-04	25.6	45.2	5.53	21.4	4.29	1.06	3.67	0.645	3.79	0.783	2.36	0.44	2.86	0.404	118.03	6.89	0.80	0.86
白云岩	LDZ-05	3.54	4.57	0.673	2.63	0.452	0.344	0.442	0.09	0.485	0.10	0.278	0.05	0.274	0.037	13.97	6.95	2.35	0.66
闪锌矿	LDZ-06	4.80	7.91	1.00	3.85	0.775	0.201	0.625	0.096	0.476	0.086	0.257	0.048	0.295	0.044	20.46	9.62	0.86	0.81
闪锌矿	LDZ-07	7.14	12.6	1.79	8.57	2.39	0.564	1.90	0.351	1.88	0.362	0.982	0.178	1.10	0.163	39.97	4.78	0.79	0.81
闪锌矿	LDZ-08	5.09	9.20	1.38	6.83	2.03	0.287	1.80	0.344	1.93	0.378	1.10	0.205	1.28	0.189	32.04	3.43	0.45	0.80
闪锌矿	LDZ-09	3.86	6.09	0.728	2.92	0.651	0.157	0.507	0.082	0.442	0.091	0.271	0.05	0.339	0.052	16.24	7.85	0.81	0.81
闪锌矿	LDZ-10	1.30	2.84	0.429	2.26	0.635	0.23	0.496	0.101	0.566	0.107	0.318	0.054	0.384	0.055	9.78	3.70	1.22	0.89
闪锌矿	LDZ-11	1.93	3.81	0.659	3.34	0.916	1.34	0.948	0.181	0.897	0.151	0.364	0.061	0.429	0.06	15.09	3.88	4.40	0.79
闪锌矿	LDZ-12	1.36	1.49	0.184	0.604	0.104	0.05	0.122	0.022	0.129	0.027	0.078	0.016	0.11	0.016	4.31	7.29	1.37	0.62
闪锌矿	LDZ-13	3.30	5.29	0.813	3.79	0.996	1.49	1.05	0.206	1.00	0.176	0.377	0.059	0.356	0.053	18.96	4.78	4.47	0.74
闪锌矿	LDZ-14	3.67	7.25	1.19	5.87	1.65	1.61	1.71	0.333	1.67	0.263	0.615	0.089	0.502	0.061	26.48	4.05	2.94	0.81

其中 5 件闪锌矿的稀土元素总量 Σ REE 变化范围为 $4.31 \times 10^{-6} \sim 26.48 \times 10^{-6}$, 平均值为 14.92×10^{-6} 。轻重稀土元素比值 LREE/HREE 变化范围为 3.69~7.29, 相对富集轻稀土; $(La/Yb)_N = 2.23 \sim 8.16$, 平均为 4.86, 轻稀土分馏程度较高; $(Gd/Yb)_N = 0.89 \sim 2.73$, 平均为 1.76, 重稀土分馏不明显。 δ Eu 值为 1.22~4.46, 平均为 2.87, 存在明显的正 Eu 异常。 δ Ce 值变化范围为 0.62~0.89, 平均为 0.77, 具有弱的负 Ce 异常, 以球粒陨石为标准的稀土元素分布模式图显示稀土元素模式曲线为平缓右倾型。

另有 4 件闪锌矿的稀土元素总量 Σ REE 变化范围为 $16.24 \times 10^{-6} \sim 39.97 \times 10^{-6}$, 平均值为 27.18×10^{-6} 。轻重稀土元素比值 LREE/HREE 变化范围为 3.43~9.61, 相对富集轻稀土; $(La/Yb)_N = 2.62 \sim 10.74$, 平均为 6.29, 轻稀土分馏程度较高; $(Gd/Yb)_N = 1.12 \sim 1.70$, 平均为 1.35, 重稀土分馏不明显。 δ Eu 值为 0.45~0.86, 平均为 0.73, 存在中等程度的负 Eu 异常, δ Ce 值变化范围为 0.80~0.81,

平均为 0.80, 具有弱的负 Ce 异常, 以球粒陨石为标准的稀土元素分布模式图显示稀土元素模式曲线为平缓右倾型。

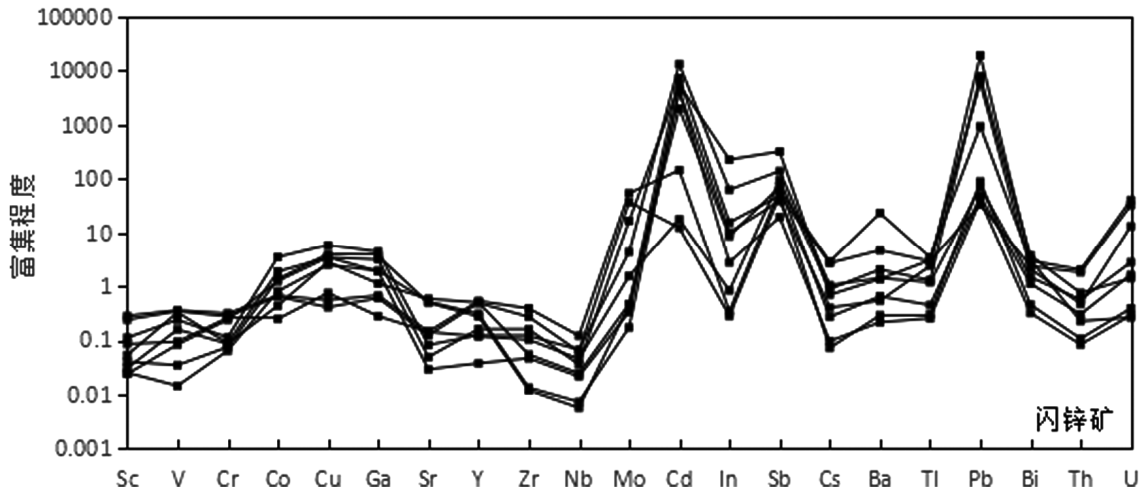


图 5 老东寨铅锌矿床闪锌矿微量元素富集特征 (据 Taylor 和 McLennan (1995)^[22])

Fig. 5. The enrichment characteristics of trace elements in sphalerites of Zn ores from the Laodongzhai Pb-Zn deposit.

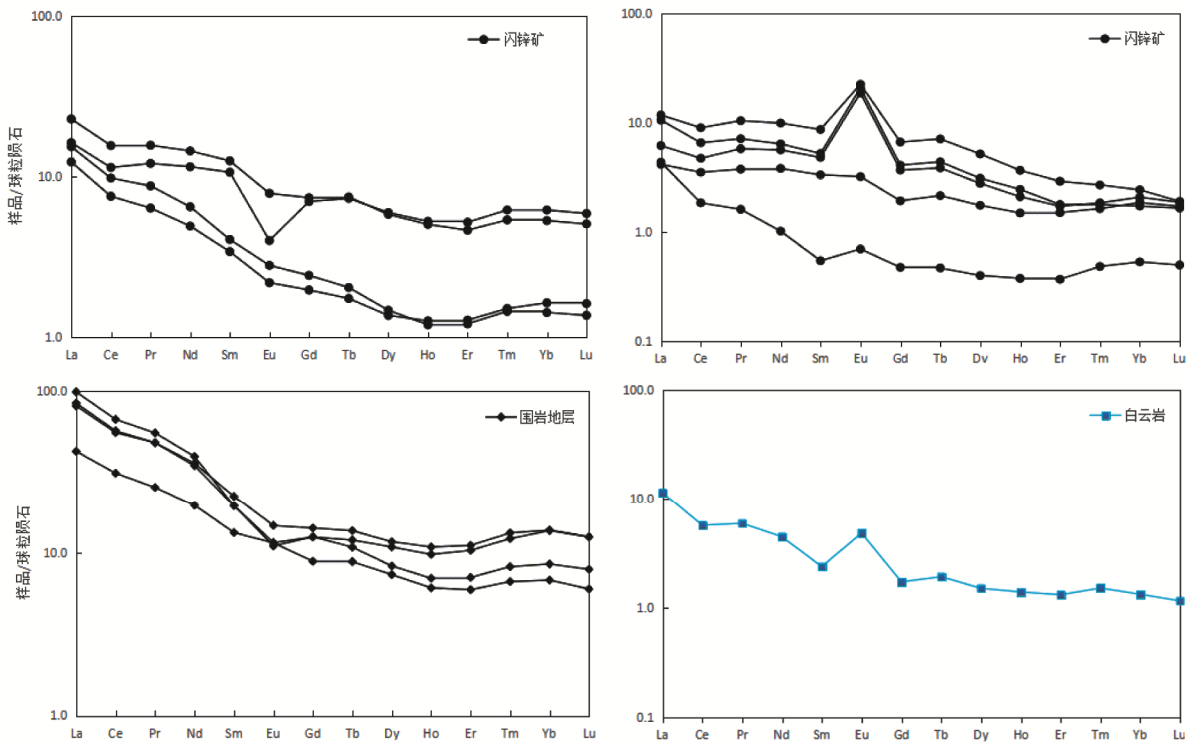


图 6 老东寨铅锌矿床稀土元素球粒陨石标准化配分模式图 (球粒陨石据 Boynton,1984)

Fig. 6. The chondrite-normalized REE distribution patterns for sphalerites, wallrocks, and dolostone from the Laodongzhai Pb-Zn deposit.

围岩 4 件样品稀土元素总量 ΣREE 变化范围为 $65.31 \times 10^{-6} \sim 134.10 \times 10^{-6}$, 平均值为 107.96×10^{-6} 。轻重稀土元素比值 LREE/HREE 变化范围为 6.58~9.65, 相对富集轻稀土; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 5.91 \sim 9.92$, 平均为 7.34, 轻稀土分馏程度较高; $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.91 \sim 1.47$, 平均为 1.18, 重稀土分馏不明显。 δEu 值为 0.68~1.03, 平均为 0.81, 存在中等程度的负 Eu 异常, δCe 值变化范围为 0.85~0.91, 平均为 0.87, 具有弱的负 Ce 异常, 以球粒陨石为标准的稀土元素分布模式图显示稀土元素模式曲线为平缓右倾型。

容矿白云岩稀土元素总量 ΣREE 为 13.96×10^{-6} , 轻重稀土元素比值 LREE/HREE 为 6.95, 相对富集轻稀土。 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=8.53$, 轻稀土分馏程度较高, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}=1.29$, 重稀土分馏不明显。 δEu 值为 2.35, 存在明显的正 Eu 异常; δCe 值变化范围为 0.66, 具有弱的负 Ce 异常。以球粒陨石为标准的稀土元素分布模式图显示稀土元素模式曲线为平缓右倾型。

5 讨论

老东寨铅锌矿床为近年来黔东南地区陡山沱组地层中新发现的规模达中型的铅锌矿床, 主矿体赋存于陡山沱组 1 段层间破碎带中, 资源量占比达 85% 以上。矿体受构造控制明显, 赋矿岩石主要为白云岩、白云石灰岩, 具有构造、地层、岩性共同控矿的特征; 热液热变主要为硅化, 与铅锌成矿关系密切^[6-8]。闪锌矿中微量元素与 Zn 具有相似的地球化学性质的元素可以类质同象的方式存在于闪锌矿的晶格中^[12-14,24], 如主要硫化物中 Cu、Ga、Cd、Sb 等元素均有不同程度的富集。综合岩矿测试基本分析 (Pb、Zn 含量) 数据, Cu、Ga、Cd、Sb 等元素与 Zn 具有一定程度的正相关性, 表明其含量受到 Zn 的控制。

矿物和岩石的稀土元素含量和特征可以反映物质来源、形成环境和介质的性质^[15-17,22]。矿石及脉石矿物的 REE 地球化学特征可以代表成矿流体的 REE 特征, 其变化规律记录了成矿流体的来源及演化等方面的重要信息^[19-20,23]。

矿区内闪锌矿稀土元素配分曲线形态一部分与容矿白云岩大体一致, 另一部分与围岩地层的配分曲线相似, 反映了老东寨铅锌矿成矿与容矿白云岩及围岩地层的有一定的关系, 成矿物质来源主要为近矿岩层^[23]。同时, 铈异常主要取决于成矿环境的氧化还原条件, 在氧逸度较高的条件下, 成矿流体体系亏损 Ce, 矿石样品及容矿围岩等均出现弱的 Ce 异常^[18,24]说明成矿流体具有负的 Ce 异常, 表明水/岩作用是在还原条件下进行的^[19,25]。含 Ca 的矿物通常具有较高的稀土元素含量, 因为稀土元素可以类质同象形式替代含钙质矿物, 而无法交代闪锌矿等硫化物中的阳离子进入硫化物晶格, 只能在其中以包裹体的形式存在。因此, 成矿流体中的稀土元素主要分布在方解石等含 Ca 矿物中, 而闪锌矿等矿物则具有较低的稀土元素总量。推测早期成矿环境应是处于相对开放, 热液流体应是萃取了富集稀土围岩地层, 与其中的碎屑岩和泥岩等进行了水岩反应及元素迁移, 从而导致沉淀出来的硫化物早期具有相对较高的稀土元素组成。一部分样品表现为明显的正 Eu 异常, 而另一部分样品出现中等的负异常或异常不明显, 且一些早期发现的矿体样品中出现的少量重晶石, 而本次勘查新发现的主矿体中未出现重晶石, 说明矿床在形成过程中发生的成矿环境的明显改变, 由氧化环境转变为还原环境, 为铅锌富集提供良好的成矿环境^[20-21]。

综合分析认为, 老东寨铅锌矿床的成矿热流体在构造运动的作用下, 沿深大断裂带开始往上运移, 区域上发育的深大断裂为深部热液的大规模运移和热量传输提供了良好的通道^[6,10,23]。在热流体系统的活动过程中, 流体淋滤萃取震旦系陡山沱组白云岩矿源层及围岩地层中的铅锌等成矿物质, 从而演化为成矿流体, 加之震旦纪海水侵入上扬子盆地, 形成广阔的浅海区, 局部呈现半封闭的状态, 为成矿元素的最终富集提供良好的地质环境, 更加利于含矿热液中富含的高活动性的 S^{2-} 与 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Fe^{2+} 等结合形成硫化物。

6 结论

1) 老东寨矿区铅锌矿床矿石表现出较低的稀土总含量特征, 闪锌矿样品的 ΣREE 平均值为 21.05×10^{-6} , 容矿围岩白云岩 ΣREE 值为 13.96×10^{-6} , 但均明显低于顶、底板围岩地层的稀土元素总量平均值 107.96×10^{-6} 。整个矿床中 ΣREE 含量变化范围不大, 稀土元素的分布较为均匀, 说明矿石主要继承容矿白云岩的特点, 具有同源性。

2) 出现的 Eu 异常的转变, 说明矿床在形成过程中发生的成矿环境的明显改变, 根据早期矿体采取的矿石样品中出现部分重晶石, 而后期新发现的主矿体采取的矿石样品中未出现重晶石推断成矿环境由氧化环境转变为还原环境。

3) 结合矿体产出特征、矿石结构构造及稀土配分特征, 老东寨铅锌矿床成矿物质主要来自于赋矿地层, 矿床后生作用明显, 流体混合可能是金属硫化物沉淀以及最终富集成矿的主要机制。

参 考 文 献:

- [1] 陈国勇, 安琪, 范玉梅. 黔东地区铅锌矿地质特征及成矿作用分析[J]. 贵州地质, 2005, 22(4): 252-259.
- [2] 余杰, 徐阳东, 田亚江, 等. 贵州省丹寨老东寨铅锌矿床地质特征及控矿条件分析[J]. 贵州地质, 2018, 35(1): 14-19.
- [3] 陈国勇, 王砚耕, 邹建波, 等. 论贵州省铅锌矿床的分类[J]. 贵州地质, 2011, 28(2): 92-98.
- [4] 刘家铎, 张成江. 扬子准地台西南缘成矿规律及找矿方向[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [5] 贵州省地矿局. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [6] 李宗发. 湘西黔东地区铅锌矿成因初步探讨[J]. 贵州地质, 1991, 29(4): 363-371.
- [7] 秦建华, 廖震文, 朱斯豹, 等. 川滇黔相邻区碳酸盐岩容矿铅锌矿成矿特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2016, 36(1): 1-13.
- [8] 涂光炽. 中国铅锌矿床[M]//中国矿床编委会. 中国矿床(上册). 北京: 地质出版社, 1989.
- [9] 王华云, 施继锡. 贵州丹寨、三都、都匀地区低温成矿系列的成矿物质来源和分异条件[J]. 矿物学报, 1997, 17(4): 491-500.
- [10] 杨宗文, 刘灵, 罗邦良, 等. 黔东南铅锌矿床控矿界面类型及找矿意义[J]. 云南地质, 2014, 33(3): 302-308.
- [11] 朱霁林, 王常微, 易国贵, 等. 贵州雷公山地区过渡性剪切带及其与铋金多金属矿关系[J]. 贵州地质, 1995, 12(1): 1-20.
- [12] 赵爽, 潘文, 杨胜堂, 等. 湘西—黔东南地区下寒武统铅锌矿床地质特征及成因探讨[J]. 贵州地质, 2016, 33(4): 257-264.
- [13] 曹华文, 张寿庭, 唐利. 柴川矿集区中鱼库铅锌矿床闪锌矿微量元素地球化学特征[J]. 矿物学报, 2013, 33(S2): 1-2.
- [14] 邹志超, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 滇西北兰坪盆地李子坪铅锌矿床微量元素地球化学特征[J]. 地球化学, 2012, 41(5): 482-496.
- [15] 黄智龙, 李文博, 陈进, 等. 云南会泽超大型铅锌矿床构造带方解石稀土元素地球化学[J]. 矿床地质, 2003, 22(2): 199-207.
- [16] 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.
- [17] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 黔西北天桥铅锌矿床热液方解石 C、O 同位素和 REE 地球化学[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(1): 93-101.
- [18] 涂光炽, 高振敏, 胡瑞忠, 等. 分散元素地球化学性质及成矿机制[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [19] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [20] 杨富全, 毛景文, 徐林刚, 等. 新疆蒙库铁矿床稀土元素地球化学及对铁成矿作用的指示[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2443-2456.
- [21] 丁振举, 刘丛强, 姚书振, 等. 海底热液系统高温流体的稀土元素组成及其控制因素[J]. 地球科学进展, 2000, 15(3): 307-312.
- [22] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust[J]. Reviews of Geophysics, 1995, 33: 241-265.
- [23] Michard A. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1989, 53(3): 745-750.
- [24] Bau M. Rare earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock in traction and the significance of the oxidation state of europium[J]. Chemical Geology, 1991, 93: 219-230.
- [25] Chen Y J, Fu S G. Variation of REE patterns in early Precambrian sediments: Theoretical study and evidence from the southern margin of the northern China craton. [J]. Chinese Sci Bull, 1991, 36: 1100-1104.