

滇东富乐铅锌矿区地层稀土元素地球化学

念红良¹, 贾福聚², 郑荣华¹, 李珍立³, 杨树祥¹, 孙柱兵¹, 杨卓¹

(1. 云南省有色地质局三一七队, 云南 曲靖 655000;

2. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;

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 550002)

摘要:通过对罗平富乐铅锌矿区地层及矿石进行了稀土元素地球化学特征对比研究。结果显示, 梁山组样品 ΣREE 值 $25.91 \times 10^{-6} \sim 108.40 \times 10^{-6}$, δEu 值 $0.35 \sim 0.73$, δCe 值 $0.64 \sim 1.35$, 具 Eu 负异常和 Ce 弱正异常; 阳新组碳酸盐岩样品 ΣREE 值 $0.82 \times 10^{-6} \sim 6.75 \times 10^{-6}$, δEu 值 $0.15 \sim 0.97$, δCe 值 $0.22 \sim 0.62$, 具 Eu 负异常和 Ce 负异常; 玄武岩样品 ΣREE 值 $204.17 \times 10^{-6} \sim 290.57 \times 10^{-6}$, δEu 值变化范围 $0.91 \sim 0.97$, δCe 值 $1.02 \sim 1.03$, Eu 异常和 Ce 异常不明显。峨眉山玄武岩、阳新组、梁山组岩石与矿石 REE 配分模式比较区别明显, 暗示成矿物质并非这些地层提供另有其它来源; 梁山组及含矿地层阳新组样品为轻稀土富集型, 并具有 Eu 负异常, 暗示地层可能形成于被动大陆边缘还原环境。

关键词: 铅锌矿; 稀土元素; 地球化学特征; 还原环境; 滇东富乐

中图分类号: P618.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-5663(2016)06-0927-07

0 引言

滇东北铅锌成矿区是我国西南大面积低温成矿域的重要组成部分之一, 目前已发现铅锌矿床(点) 100 余处, 其中包括超大型铅锌矿床 1 处(会泽铅锌矿床超过 500 万 t 铅锌金属量)。以往工作认为滇东北区内铅锌矿床具有相似的成矿地质背景和矿床地质特征^[1-5]; 矿床受地层、岩性、构造和岩相古地理控制明显^[6-7, 3]; 矿床多伴生分散元素, 部分超常富集形成分散元素独立矿物和独立矿床^[5]; 成矿条件优越、找矿潜力巨大^[1, 5-7]。滇东罗平富乐铅锌矿是一个具有 300 多年开采历史的老矿山, 矿床以其赋矿层位新(中二叠统阳新组)和富含 Cd、Ga、Ge、Se 等分散元素为特征, 为滇东典型富分散元素铅锌矿床。矿区成矿地质条件较好, 深部及外围找矿潜力大, 尽管前人对该矿床的地质特征、找矿预测及同位素地球化学等方面进行了较为全面的研究^[8-13], 但赋矿岩石和矿石的稀土元素特征对比研究很薄弱, 制约了对成矿物质是否与赋矿围岩有关的认识, 本文通过稀土元素地球化学的综合研究, 探讨富乐铅锌矿床的成矿物质来源及

其形成环境。

1 矿床地质特征

矿区位于扬子陆块区(VI)之二级构造单元上扬子古陆块(VI-2)之三级构造单元滇被动陆缘(VI-2-4)曲靖陆表海(VI-2-4-3)南部弥勒—师宗断裂北西侧 NE 向的法本背斜北东端(图 1), 出露地层主要为第四系、上新统茨营组、渐新统蔡家冲组、中三叠统关岭组、下三叠统嘉陵江组、下三叠统飞仙关组、上二叠统宣威组、二叠系峨眉山玄武岩组、中二叠统阳新组、下二叠统梁山组、上石炭统马平组、石炭系黄龙组、中泥盆统曲靖组、下泥盆统翠峰山组。含矿地层为中二叠统阳新组, 上覆地层为峨眉山玄武岩组, 下伏地层为梁山组。矿区构造格架以 NE 向展布的背斜与 NE 向、近 SN 向断裂小角度斜交为特征, 其中近 SN 向和 NE 向断裂对区域内铅锌矿的形成、分布、富集起着十分重要的控制作用。岩浆岩主要为中晚二叠世峨眉山玄武岩。

富乐厂矿体呈透镜状、似层状、囊状、脉状产出,

收稿日期: 2016-05-03; 修回日期: 2016-08-08

基金项目: 973 项目(编号: 2014CB440900)和国家重点基金(编号: 41430315)资助

第一作者简介: 念红良(1974—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查工作。E-mail: nhlynqj@163.com

引文格式: 念红良, 贾福聚, 郑荣华, 等. 滇东富乐铅锌矿区地层稀土元素地球化学[J]. 矿产与地质, 2016, 30(6): 927-933.

赋存于阳新组中,矿体沿层间裂隙及断裂产出,矿体在空间上呈现多层“错位”产出特征。矿区内矿石矿物成分较复杂,金属矿物为镉闪锌矿、闪锌矿、异极矿、菱锌矿、硅锌矿、水锌矿、方铅矿、白铅矿、黄铜矿、黝铜矿、砷黝铜矿,镍矿物有针镍矿、方硫镍矿、含铁方硫镍矿等。脉石矿物以白云石和方解石为主,少量

萤石、石英。矿石结构主要为自形 他形不等粒结构,其次有交代残余结构,溶蚀、环带状结构、粒状结构;矿石构造主要为浸染状构造、致密块状构造、网脉状构造、角砾状构造、斑点状、皮壳状、蜂窝状和土状构造。与铅锌矿化关系密切的围岩蚀变主要为白云石化和方解石化。

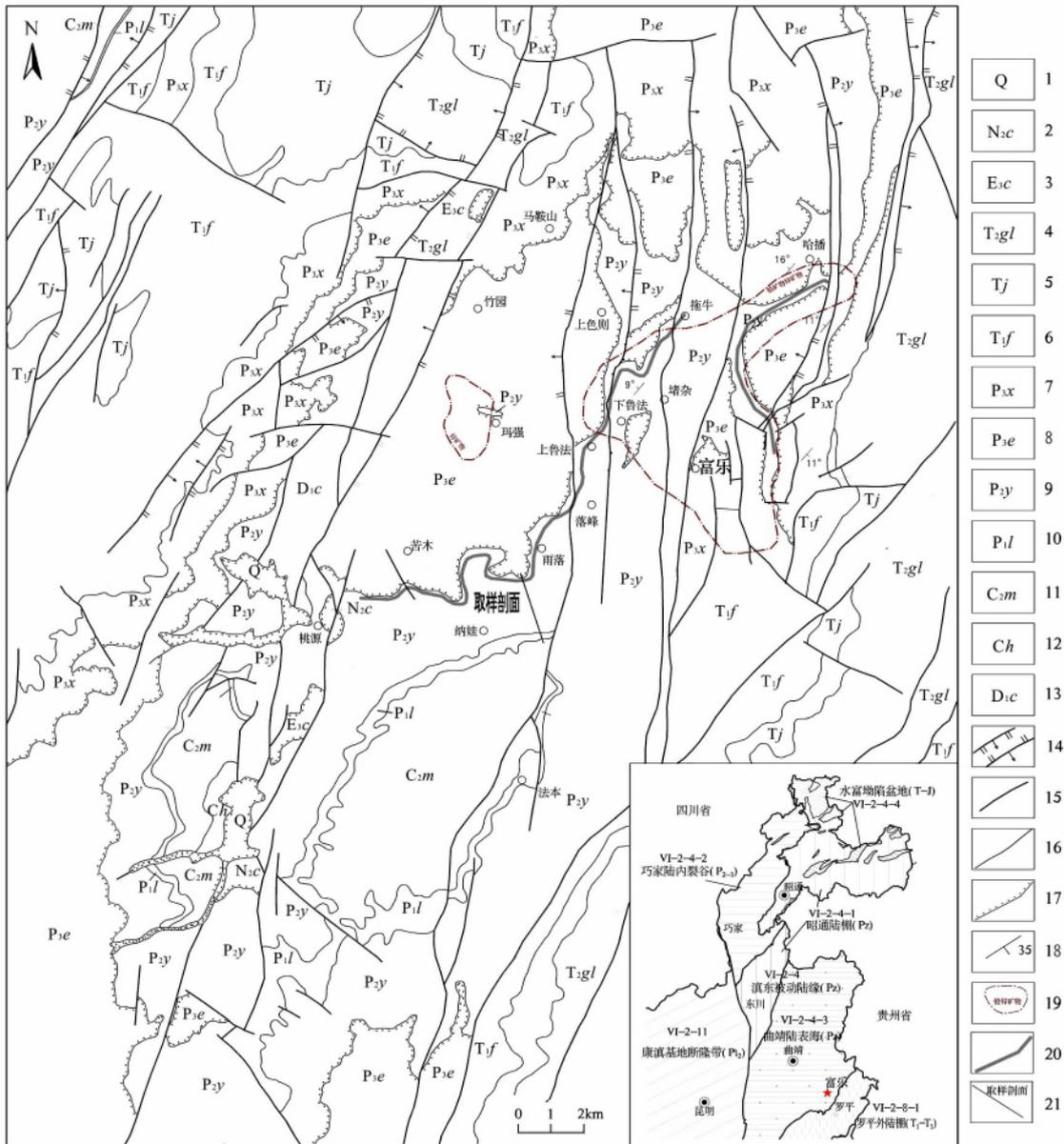


图1 罗平富乐铅锌矿区地质略图

Fig.1 Geological sketch map of Fule Pb-Zn mining area in Luoping

1—第四系 2—上新统茨营组 3—渐新统蔡家冲组 4—中三叠统关岭组 5—下三叠统嘉陵江组 6—下三叠统飞仙关组 7—上二叠统宣威组 8—上二叠统峨眉山玄武岩组 9—中二叠统阳新组 10—下二叠统梁山组 11—上石炭统马平组 12—上石炭统黄龙组 13—下泥盆统翠峰山组 14—正断层、逆断层 15—不明性质断层 16—整合地质界线 17—不整合地界线 18—地层产状 19—重砂异常 20—铅锌矿化层 21—取样剖面位置

2 样品选取与分析方法

本次研究通过选择富乐铅锌矿区南西侧纳洼村

附近含矿地层阳新组出露较好,受后期构造破坏较小且岩石完整的剖面实测并采集地层基岩样品(图1,图2),主要采集梁山组、阳新组及峨眉山玄武岩组岩

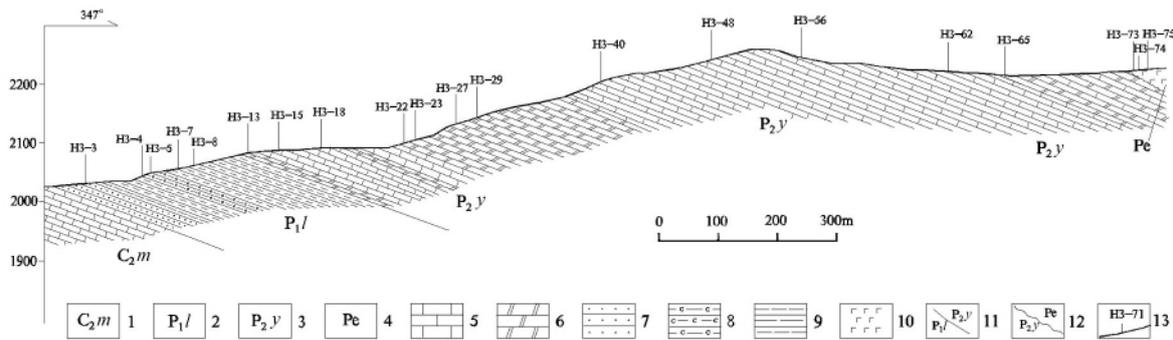


图 2 纳洼取样剖面图

Fig.2 Sampling profile map in Nawa

1—上石炭统马平组 2—下二叠统梁山组 3—中二叠统阳新组 4—二叠系峨眉山玄武岩组 5—灰岩 6—白云岩 7—砂岩
8—碳质泥岩 9—泥岩 10—玄武岩 11—整合地质界线 12—不整合地质界线 13—样品采集点及编号

石样品。稀土元素分析由中国科学院地球化学研究所完成,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定,分析精度优于 10%。

3 结果与讨论

3.1 结果

各地层、岩石的稀土元素含量分析及分配特征如下(表 1,表 2,图 3):

(1)5 件梁山组样品 ΣREE 变化范围为 $25.91 \times 10^{-6} \sim 108.40 \times 10^{-6}$, 其 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE} = 8.44 \sim 20.76$, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值 $7.23 \sim 25.56$, 表明轻、重稀土分异明显,属于轻稀土富集型。样品 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 比值 $3.86 \sim 6.46$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 比值 $0.70 \sim 3.18$, 显示轻稀土内部分异明显,重稀土内部分异不明显。样品的 δEu 值变化范围 $0.35 \sim 0.73$, δCe 值变化范围 $0.64 \sim 1.35$, 具 Eu 负异常和 Ce 弱正异常。

(2)12 件阳新组碳酸盐岩样品 ΣREE 变化范围

表 1 地层稀土元素及相关参数统计表

Table 1 REE and its parameters of the stratum

$\omega_B/10^{-6}$

| 样品 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | ΣREE | LREE | HREE | LR/HR | $(\text{La}/\text{Sm})_N$ | $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ | $(\text{La}/\text{Yb})_N$ | δEu | δCe |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------------------|--------|-------|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|
| H3-3 | 5.54 | 13.60 | 1.10 | 3.78 | 0.64 | 0.08 | 0.36 | 0.04 | 0.30 | 0.05 | 0.18 | 0.02 | 0.21 | 0.03 | 1.42 | 25.91 | 24.72 | 1.19 | 20.76 | 5.58 | 1.42 | 19.09 | 0.50 | 1.35 |
| H3-4 | 11.50 | 25.05 | 2.53 | 8.97 | 1.72 | 0.26 | 1.50 | 0.25 | 1.58 | 0.29 | 0.90 | 0.14 | 1.03 | 0.16 | 9.58 | 55.86 | 50.02 | 5.84 | 8.57 | 4.32 | 1.20 | 8.01 | 0.49 | 1.14 |
| H3-5 | 24.50 | 48.90 | 4.71 | 16.10 | 2.45 | 0.26 | 2.07 | 0.48 | 3.00 | 0.76 | 2.06 | 0.32 | 2.43 | 0.36 | 19.50 | 108.40 | 96.92 | 11.48 | 8.44 | 6.46 | 0.70 | 7.23 | 0.35 | 1.12 |
| H3-7 | 6.77 | 15.27 | 1.53 | 5.98 | 1.13 | 0.26 | 1.03 | 0.16 | 0.81 | 0.17 | 0.44 | 0.05 | 0.33 | 0.04 | 4.92 | 33.97 | 30.94 | 3.03 | 10.22 | 3.86 | 2.62 | 14.94 | 0.73 | 1.16 |
| H3-8 | 14.750 | 14.250 | 2.015 | 8.180 | 1.550 | 0.344 | 1.590 | 0.229 | 1.220 | 0.284 | 0.698 | 0.088 | 0.414 | 0.06 | 20.00 | 45.67 | 41.09 | 4.58 | 8.97 | 6.14 | 3.18 | 25.56 | 0.67 | 0.64 |
| H3-13 | 0.91 | 0.51 | 0.11 | 0.51 | 0.10 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.10 | 0.03 | 0.11 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | 2.50 | 2.57 | 2.15 | 0.43 | 5.04 | 6.00 | 1.05 | 10.30 | 0.54 | 0.40 |
| H3-15 | 0.21 | 0.20 | 0.04 | 0.16 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.62 | 0.82 | 0.65 | 0.16 | 4.02 | 3.05 | 1.20 | 6.41 | 0.43 | 0.55 |
| H3-18 | 0.86 | 0.35 | 0.15 | 0.76 | 0.16 | 0.03 | 0.23 | 0.05 | 0.38 | 0.11 | 0.31 | 0.05 | 0.24 | 0.04 | 6.72 | 3.71 | 2.31 | 1.41 | 1.64 | 3.48 | 0.80 | 2.54 | 0.49 | 0.23 |
| H3-22 | 0.81 | 0.40 | 0.11 | 0.55 | 0.11 | 0.03 | 0.19 | 0.03 | 0.19 | 0.07 | 0.25 | 0.04 | 0.19 | 0.03 | 5.54 | 2.99 | 2.00 | 0.99 | 2.02 | 4.63 | 0.83 | 2.98 | 0.63 | 0.33 |
| H3-23 | 2.11 | 0.75 | 0.26 | 0.85 | 0.21 | 0.04 | 0.28 | 0.04 | 0.38 | 0.12 | 0.37 | 0.06 | 0.24 | 0.03 | 8.60 | 5.73 | 4.22 | 1.51 | 2.79 | 6.46 | 0.98 | 6.33 | 0.44 | 0.25 |
| H3-27 | 2.72 | 0.88 | 0.34 | 1.38 | 0.22 | 0.07 | 0.32 | 0.06 | 0.29 | 0.09 | 0.22 | 0.03 | 0.13 | 0.02 | 5.61 | 6.75 | 5.61 | 1.15 | 4.89 | 8.02 | 2.02 | 14.91 | 0.75 | 0.22 |
| H3-29 | 2.52 | 0.78 | 0.29 | 1.26 | 0.21 | 0.05 | 0.25 | 0.07 | 0.35 | 0.08 | 0.26 | 0.03 | 0.19 | 0.03 | 5.64 | 6.37 | 5.12 | 1.25 | 4.09 | 7.69 | 1.10 | 9.59 | 0.72 | 0.22 |
| H3-40 | 0.39 | 0.16 | 0.05 | 0.24 | 0.02 | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 1.26 | 1.12 | 0.87 | 0.26 | 3.37 | 10.86 | 2.55 | 11.52 | 0.15 | 0.27 |
| H3-48 | 0.60 | 0.38 | 0.08 | 0.35 | 0.11 | 0.04 | 0.15 | 0.02 | 0.10 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.07 | 0.01 | 1.88 | 2.01 | 1.55 | 0.45 | 3.42 | 3.43 | 1.76 | 6.00 | 0.86 | 0.44 |
| H3-56 | 1.03 | 1.06 | 0.17 | 0.69 | 0.31 | 0.09 | 0.33 | 0.05 | 0.23 | 0.05 | 0.19 | 0.04 | 0.15 | 0.04 | 1.99 | 4.44 | 3.35 | 1.09 | 3.07 | 2.14 | 1.80 | 4.84 | 0.86 | 0.62 |
| H3-62 | 0.33 | 0.35 | 0.08 | 0.32 | 0.31 | 0.09 | 0.26 | 0.04 | 0.20 | 0.06 | 0.15 | 0.05 | 0.14 | 0.05 | 0.91 | 2.43 | 1.49 | 0.93 | 1.60 | 0.69 | 1.61 | 1.77 | 0.97 | 0.53 |
| H3-65 | 1.27 | 0.86 | 0.16 | 0.61 | 0.35 | 0.10 | 0.29 | 0.05 | 0.24 | 0.07 | 0.21 | 0.05 | 0.15 | 0.04 | 2.20 | 4.46 | 3.35 | 1.11 | 3.02 | 2.31 | 1.58 | 6.01 | 0.95 | 0.47 |
| H3-73 | 51.20 | 109.50 | 13.45 | 57.55 | 11.65 | 3.52 | 10.56 | 1.78 | 9.14 | 1.76 | 4.49 | 0.62 | 3.58 | 0.56 | 40.80 | 279.33 | 246.87 | 32.46 | 7.61 | 2.84 | 2.44 | 10.27 | 0.97 | 1.02 |
| H3-74 | 50.50 | 112.00 | 14.10 | 62.60 | 13.20 | 3.71 | 11.63 | 1.98 | 9.46 | 1.91 | 4.54 | 0.66 | 3.73 | 0.56 | 46.10 | 290.57 | 256.11 | 34.46 | 7.43 | 2.47 | 2.58 | 9.71 | 0.91 | 1.03 |
| H3-75 | 36.65 | 77.65 | 9.32 | 40.70 | 9.07 | 2.56 | 7.64 | 1.41 | 8.06 | 1.64 | 4.41 | 0.66 | 3.83 | 0.59 | 35.40 | 204.17 | 175.95 | 28.22 | 6.23 | 2.61 | 1.65 | 6.87 | 0.94 | 1.03 |

注:样品 H3-3,3-4,3-5,3-7,3-8 为下二叠统梁山组粉砂岩、页岩;样品 H3-13,3-15,3-18,3-22,3-23,3-27,3-29,3-40,3-48,3-56,3-62,3-65 为中二叠统阳新组灰岩、白云岩;样品 H3-73,3-74,3-75 为玄武岩。

表2 矿石稀土元素及相关参数统计表^[11]

Table 2 REE and its parameters of the ores

 $\omega_B/10^{-6}$

| 样品号 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | Σ REE | LREE | HREE | LR/HR | (La/Sm) _N | (Gd/Yb) _N | (La/Yb) _N | δ Eu | δ Ce |
|---------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|--------------|-------|------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| FL27 | 1.06 | 1.44 | 0.17 | 0.62 | 0.11 | 0.03 | 0.11 | 0.01 | 0.09 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.92 | 3.77 | 3.42 | 0.35 | 9.82 | 6.21 | 2.11 | 17.03 | 0.89 | 0.82 |
| FL28 | 0.70 | 1.31 | 0.14 | 0.54 | 0.12 | 0.03 | 0.11 | 0.02 | 0.10 | 0.02 | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 1.27 | 3.20 | 2.84 | 0.36 | 7.86 | 3.73 | 1.99 | 10.95 | 0.88 | 1.00 |
| FL37 | 0.27 | 0.44 | 0.05 | 0.17 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.30 | 1.09 | 0.97 | 0.12 | 8.17 | 6.67 | 1.38 | 9.32 | 0.93 | 0.93 |
| FL66 | 0.20 | 0.39 | 0.04 | 0.18 | 0.04 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.27 | 0.99 | 0.87 | 0.12 | 7.09 | 2.98 | 1.97 | 9.34 | 0.90 | 0.99 |
| FL56 | 1.88 | 2.44 | 0.34 | 1.23 | 0.23 | 0.06 | 0.22 | 0.03 | 0.17 | 0.03 | 0.10 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 2.10 | 6.83 | 6.19 | 0.65 | 9.55 | 5.14 | 2.30 | 16.46 | 0.78 | 0.73 |
| FL86 | 2.50 | 3.22 | 0.16 | 1.00 | 0.12 | 0.00 | 0.19 | 0.03 | 0.17 | 0.04 | 0.10 | 0.02 | 0.09 | 0.03 | 1.20 | 7.71 | 7.05 | 0.66 | 10.68 | 13.10 | 1.74 | 19.15 | 0.95 | 1.23 |
| FL114-s | 1.42 | 1.98 | 0.28 | 1.04 | 0.20 | 0.05 | 0.19 | 0.03 | 0.15 | 0.03 | 0.09 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 1.71 | 5.54 | 4.96 | 0.58 | 8.61 | 4.44 | 2.23 | 13.95 | 0.76 | 0.75 |
| FL114-y | 3.86 | 4.21 | 0.57 | 1.36 | 0.14 | 0.05 | 0.27 | 0.02 | 0.15 | 0.04 | 0.10 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | 1.69 | 10.88 | 10.19 | 0.69 | 14.77 | 17.34 | 2.91 | 34.70 | 0.75 | 0.68 |
| FL116 | 3.17 | 3.42 | 0.28 | 1.14 | 0.27 | 0.04 | 0.19 | 0.03 | 0.15 | 0.04 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 1.17 | 8.91 | 8.32 | 0.59 | 14.15 | 7.39 | 1.99 | 27.76 | 0.51 | 0.87 |
| FL24 | 0.81 | 0.96 | 0.14 | 0.60 | 0.12 | 0.03 | 0.13 | 0.02 | 0.14 | 0.02 | 0.07 | 0.00 | 0.05 | 0.03 | 0.86 | 3.14 | 2.66 | 0.48 | 5.49 | 4.25 | 1.94 | 10.11 | 0.61 | 0.69 |
| FL54 | 3.16 | 3.54 | 0.29 | 1.09 | 0.12 | 0.04 | 0.12 | 0.02 | 0.16 | 0.03 | 0.10 | 0.01 | 0.05 | 0.02 | 1.00 | 8.76 | 8.24 | 0.52 | 15.97 | 16.56 | 1.94 | 42.61 | 1.02 | 0.89 |
| FL61 | 2.04 | 2.06 | 0.12 | 0.50 | 0.09 | 0.02 | 0.10 | 0.02 | 0.12 | 0.03 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.02 | 0.42 | 5.22 | 4.83 | 0.39 | 12.44 | 13.95 | 1.61 | 27.51 | 0.51 | 1.00 |
| FL55 | 2.55 | 2.94 | 0.19 | 0.65 | 0.11 | 0.01 | 0.13 | 0.02 | 0.16 | 0.04 | 0.10 | 0.02 | 0.08 | 0.03 | 1.68 | 7.03 | 6.45 | 0.58 | 11.16 | 14.58 | 1.36 | 22.33 | 0.33 | 1.02 |
| FL43 | 1.09 | 1.37 | 0.18 | 0.40 | 0.06 | 0.01 | 0.14 | 0.02 | 0.06 | 0.01 | 0.03 | <0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.39 | 3.41 | 3.11 | 0.30 | 10.26 | 12.03 | 4.52 | 29.39 | 0.41 | 0.74 |
| FL61 | 0.73 | 0.83 | 0.08 | 0.40 | 0.09 | 0.01 | 0.10 | 0.03 | 0.16 | 0.03 | 0.05 | <0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.31 | 2.57 | 2.15 | 0.42 | 5.08 | 4.99 | 3.20 | 19.69 | 0.42 | 0.81 |
| FL54 | 1.06 | 1.42 | <0.02 | 0.32 | 0.08 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.03 | <0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.46 | 3.12 | 2.91 | 0.21 | 14.06 | 8.55 | 1.61 | 27.49 | 0.58 | |
| FL42 | 0.93 | 1.21 | 0.07 | 0.42 | 0.06 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | 0.05 | <0.01 | 0.05 | 0.03 | 0.90 | 3.00 | 2.70 | 0.30 | 9.17 | 10.64 | 0.84 | 12.54 | 1.09 | 1.14 |
| FL86 | 1.09 | 1.26 | 0.05 | 0.24 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | <0.01 | 0.03 | <0.01 | 0.03 | <0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.45 | 2.85 | 2.69 | 0.16 | 17.04 | 15.58 | 1.14 | 33.40 | 0.91 | 1.33 |
| FL96 | 1.06 | 1.34 | 0.04 | 0.16 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | <0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.03 | <0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.47 | 2.85 | 2.66 | 0.19 | 13.92 | 14.50 | 1.83 | 32.48 | 0.77 | 1.55 |
| FL128-1 | 1.66 | 1.82 | 0.08 | 0.41 | 0.09 | 0.02 | 0.17 | 0.03 | 0.20 | 0.04 | 0.10 | 0.02 | 0.10 | 0.02 | 0.58 | 4.75 | 4.08 | 0.67 | 6.05 | 11.35 | 1.37 | 11.19 | 0.37 | 1.18 |
| FL128-2 | 1.08 | 1.62 | 0.11 | 0.55 | 0.14 | 0.02 | 0.15 | 0.02 | 0.16 | 0.02 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | 0.59 | 4.05 | 3.52 | 0.54 | 6.56 | 4.85 | 1.61 | 9.71 | 0.34 | 1.13 |
| FL43 | 1.04 | 1.34 | 0.08 | 0.29 | 0.09 | 0.02 | 0.12 | 0.02 | 0.16 | 0.04 | 0.10 | <0.01 | 0.05 | 0.02 | 0.48 | 3.39 | 2.87 | 0.52 | 5.52 | 7.11 | 1.94 | 14.02 | 0.64 | 1.10 |
| FL46 | 1.67 | 1.79 | 0.10 | 0.44 | 0.11 | 0.01 | 0.16 | 0.03 | 0.20 | 0.04 | 0.10 | 0.02 | 0.10 | 0.02 | 0.47 | 4.78 | 4.12 | 0.66 | 6.22 | 9.55 | 1.29 | 11.26 | 0.32 | 1.07 |

注: FL27、FL28、FL37、FL66 为未蚀变围岩, FL56、FL86、FL114-s、FL114-y、FL116、FL24、FL54、FL61、FL55 为原生矿石, FL43、FL61、FL54、FL42、FL86、FL96、FL128-1、FL128-2 为闪锌矿, FL43、FL46 为方铅矿。

为 $0.82 \times 10^{-6} \sim 6.75 \times 10^{-6}$, 其 Σ LREE/ Σ HREE = 1.60 ~ 5.04, (La/Yb)_N 比值 1.77 ~ 14.91, 表明轻、重稀土分异明显。样品 (La/Sm)_N 比值 0.69 ~ 10.86, (Gd/Yb)_N 比值 0.80 ~ 2.55, 显示轻稀土内分异明显, 重稀土内部分异不明显。样品的 δ Eu 值变化范围 0.15 ~ 0.97, δ Ce 值变化范围 0.22 ~ 0.62, 具 Eu 负异常和 Ce 负异常。

(3) 3 件玄武岩样品 Σ REE 变化范围为 $204.17 \times 10^{-6} \sim 290.57 \times 10^{-6}$, 其 Σ LREE/ Σ HREE = 6.23 ~ 7.61, (La/Yb)_N 比值 6.87 ~ 10.27, 表明轻、重稀土分异明显, 属于轻稀土富集型。样品 (La/Sm)_N 比值 2.47 ~ 2.84, (Gd/Yb)_N 比值 1.65 ~ 2.58, 显示玄武岩轻、重稀土内部分异明显。样品的 δ Eu 值变化范围 0.91 ~ 0.97, δ Ce 值 1.02 ~ 1.03, Eu 异常和 Ce 异常不明显。

3.2 讨论

稀土元素特征及相关参数在揭示成岩成矿环境和成因方面具有指示意义^[8,14]。赵振华^[9]认为活动大陆边缘的沉积物富重稀土, 无 Eu 亏损, 被动大陆边缘的沉积物相对富轻稀土, Eu 负异常。赵劲松认

为 Eu 正异常代表氧化环境, Eu 负异常表示还原环境^[15]。矿区梁山组样品为轻稀土富集型, 具有 Eu 负异常(样品 δ Eu 值 0.35 ~ 0.73), 暗示矿区梁山组形成于被动大陆边缘还原环境。阳新组样品为轻稀土富集型, 并具有 Eu 负异常(样品 δ Eu 值 0.15 ~ 0.97), 暗示阳新组形成于被动大陆边缘还原环境。

矿区梁山组与矿石及矿物(闪锌矿、方铅矿)稀土元素配分模式对比区别明显(图 3A, 图 4)。显示矿石与地层间稀土元素没有继承关系。

黄智龙(2004)所获得的会泽铅锌矿区及外围玄武岩样品分析结果^[19], Σ REE 变化范围为 $152.74 \times 10^{-6} \sim 467.44 \times 10^{-6}$, 其 Σ LREE/ Σ HREE = 4.39 ~ 9.25, (La/Sm)_N 比值 2.03 ~ 2.89, (Gd/Yb)_N 比值 1.51 ~ 2.85, (La/Yb)_N 比值 3.83 ~ 13.10, δ Eu 值 0.82 ~ 1.04, δ Ce 值 0.99 ~ 1.07。与矿区玄武岩相比(图 3C, 图 5), 特征相似。矿区玄武岩稀土含量与中国玄武岩 Σ REE 值 151.46×10^{-6} 相比略高^[20-21]。玄武岩与矿区矿石及矿物稀土元素配分模式区别明显(图 3C, 图 4), 暗示玄武岩与矿石间稀土元素没有继承关系。

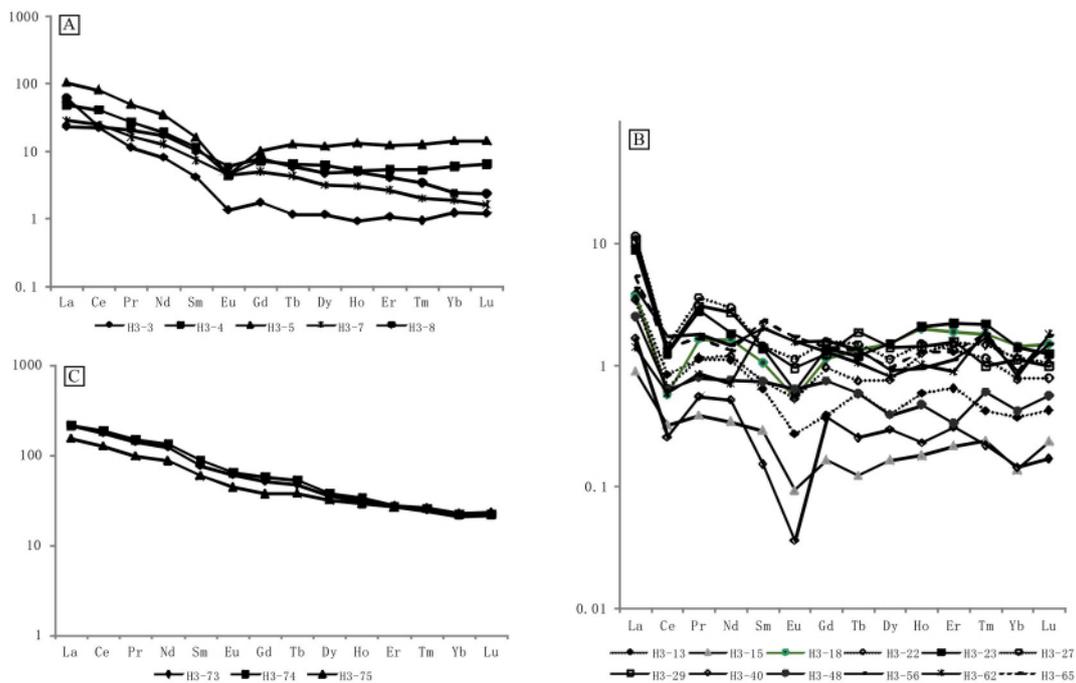


图 3 富乐矿区地层稀土元素配分模式图

Fig.3 REE distribution pattern of the strata in Fule mining area

A—梁山组砂岩页岩配分模式图 B—阳新组碳酸盐岩配分模式图 C—玄武岩配分模式图

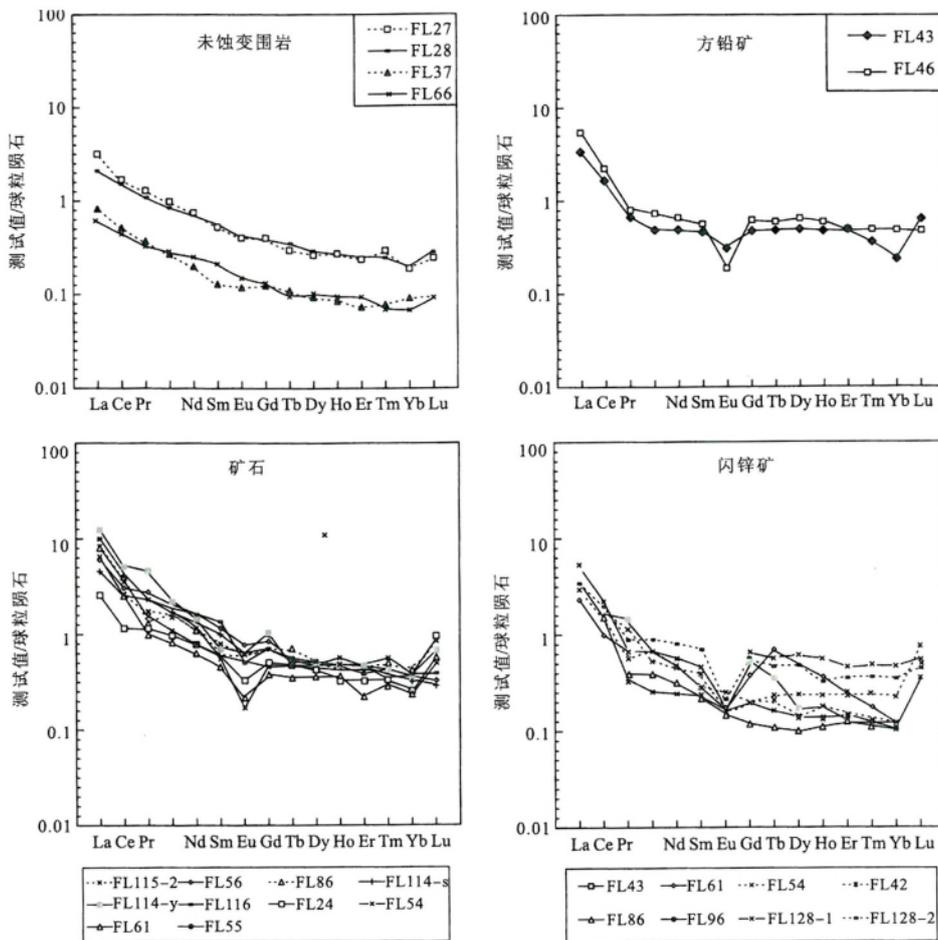


图 4 围岩与矿石稀土元素配分模式图(据司荣军,2005)

Fig.4 REE distribution pattern of the wall rocks and the ores

司荣军所获得的富乐矿区原生矿石样品分析结果(表 2)^[11], ΣREE 变化范围为 $3.14 \times 10^{-6} \sim 10.88 \times 10^{-6}$, 其 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE} = 5.49 \sim 15.97$, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 比值 $4.25 \sim 17.34$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 比值 $1.36 \sim 2.91$, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值 $10.11 \sim 42.61$, δEu 值 $0.33 \sim 1.02$, δCe 值 $0.68 \sim 1.23$ 。与含矿地层阳新组稀土特征对比(表 1, 图 3B, 图

4), 含矿地层阳新组稀土总量较矿石低, 矿石轻、重稀土分异较阳新组岩石更强, 矿石轻稀土内部较含矿地层分异更明显, 含矿地层阳新组岩石与矿石 REE 配分模式区别明显(图 3B, 图 4)。显示两者间没有继承关系。

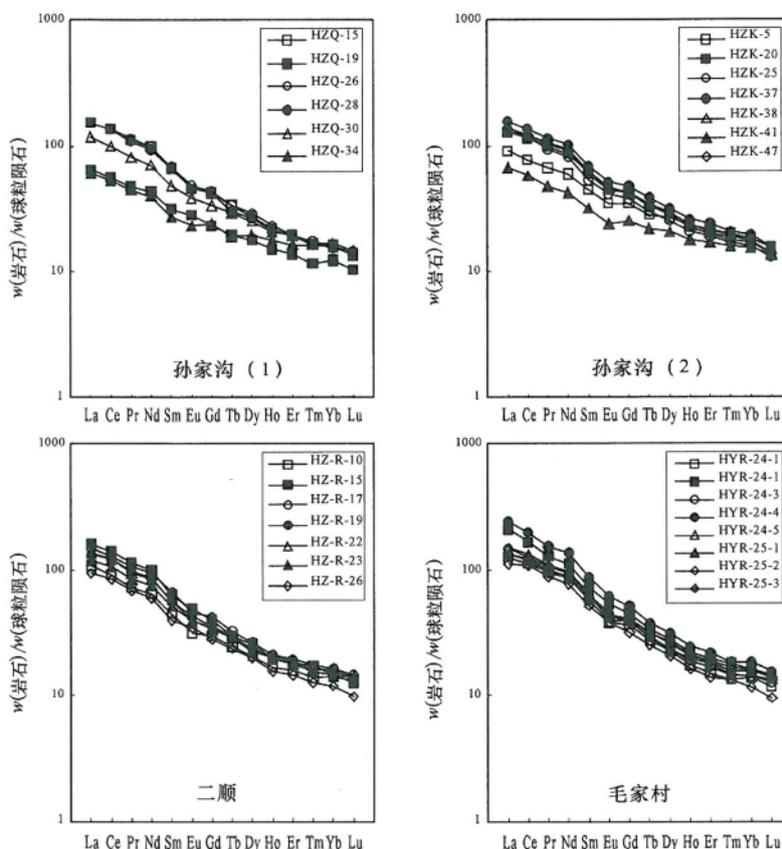


图 5 会泽地区玄武岩稀土元素分配模式图(据黄智龙等, 2004)

Fig.5 REE distribution pattern of the basalts from Huize area

4 结论

根据地层稀土元素特征, 矿区含矿地层上覆峨眉山玄武岩、阳新组, 下伏地层梁山组及矿石 REE 配分模式区别明显, 暗示没有继承关系, 铅锌成矿物质并非上述地层提供而另有其它来源; 梁山组及含矿地层阳新组轻稀土富集型, 并具有 Eu 负异常, 暗示地层可能形成于被动大陆边缘还原环境。

致谢: 成文过程得到中国科学院地球化学研究所周家喜研究员的指导和帮助, 在此表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] 柳贺昌, 林文达. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明: 云南大学出版社, 1999.

- [2] 张长青. 中国川滇黔交界地区密西西比型(MVT)铅、锌矿床成矿模型[D]. 北京: 中国地质科学院, 2008.
- [3] 吴越. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床大规模成矿作用的时代与机制[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- [4] 黄智龙, 李文博, 陈进, 等. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因[J]. 大构造与成矿学, 2004, 28(1): 53-59.
- [5] 崔银亮. 滇东北铅锌银矿床遥感地质与成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
- [6] 韩润生, 等. 构造成矿动力学及隐伏矿定位预测: 以云南会泽超大型铅(银、锗)矿床为例[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [7] 李家盛, 刘洪滔, 陈明伟. 滇东北铅锌矿成矿条件与成矿预测[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2011.
- [8] 司荣军. 云南省富乐分散元素多金属矿床地球化学研究[D]. 贵阳: 中国科学院研究生院(地球化学研究所), 2005.
- [9] 司荣军, 顾雪祥, 庞绪成, 等. 云南省富乐铅锌多金属矿床闪锌矿中分散元素地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2006, 26(1): 75-80.

- [10] 司荣军,顾雪祥,肖淳,等.云南省富乐铅锌矿床闪锌矿中微量元素地球化学特征:兼论深色闪锌矿富集 Cd 的原因[J].矿物岩石,2011,31(3):34-40.
- [11] 司荣军,顾雪祥.云南省富乐分散元素多金属矿床地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,2014.
- [12] 刘莹莹,漆亮,黄智龙,等.滇东北富乐铅锌矿床硫化物 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].矿物学报,2013(增刊2):599-600.
- [13] 朱传威.川滇黔铅锌矿床中分散元素镉和锆同位素地球化学及应用[D].贵阳:中国科学院研究生院(地球化学研究所),2013.
- [14] 贾福聚,高建国,念红良,等.滇东南老君山锡多金属成矿区含矿岩系稀土元素地球化学[J].矿物学报,2013,33(4):658-664.
- [15] 周家喜,黄智龙,周国富,等.黔西北天桥铅锌矿热液方解石 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.
- [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] 赵振华.铜地球化学特征的控制因素[J].南京大学学报(地球科学版),1993(5):271-280.
- [18] 赵劲松,邱学林,赵斌,等.大冶-武山矿化砂卡岩的稀土元素地球化学特征[J].地球化学,2007,36(4):40-41.
- [19] 黄智龙,陈进,韩润生,等.云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因:兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系[M].北京:地质出版社,2004.
- [20] 迟清华,鄢明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007.
- [21] ZHOU J X, HUANG Z L, ZHOU G F, et al. Trace elements and rare earth elements geochemistry of sulfide minerals in the Tianqiao Pb-Zn ore deposit, Guizhou Province, China [J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 2011, 85(1): 189-199.

A study on REE geochemistry of strata in Fule Pb-Zn mining area of eastern Yunnan

NIAN Hongliang¹, JIA Fujun², ZHENG Ronghua¹, LI Zhenli³,
YANG Shuxiang¹, SUN Zhubing¹, YANG Zhuo¹

(1. No.317 Team of Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Qujing 655000, Yunnan, China;

2. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China;

3. The State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute Of Geochemistry,
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China)

Abstract: This paper conducted research on the REE geochemical characteristics of strata and ores in Fule Pb-Zn mining area of Luoping. The results indicated that: ΣREE , δEu and δCe of the samples from Liangshan Formation were $25.91 \times 10^{-6} - 108.40 \times 10^{-6}$, $0.35 - 0.73$, and $0.64 - 1.35$ respectively with negative Eu anomaly and weak positive Ce anomaly, while ΣREE , δEu and δCe of basalt samples were $204.17 \times 10^{-6} - 290.57 \times 10^{-6}$, $0.91 - 0.97$ and $1.02 - 1.03$ respectively without obvious Eu anomaly and Ce anomaly. REE distribution pattern in Emeishan basalts, rocks of Yangxin Formation and rocks of Liangshan Formation were different from that in the ores, and the fact implied that the metallogenic materials were not provided by these strata but by some other sources. Most samples from Liangshan Formation and ore-bearing Yangxin Formation were LREE-enriched with Eu negative anomaly, and it implied that the strata was possibly formed in a reducing environment of passive continental margin.

Keywords: Pb-Zn deposit, REE, geochemical characteristic, reducing environment, Fule of eastern Yunnan