



引文格式: 胡歆睿, 何犇, 胡荣, 等. 黔中地区二叠系稀土富集层的发现及意义[J]. 西北地质, 2025, 58(4): 328–338.
DOI: 10.12401/j.nwg.2025022

Citation: HU Xinrui, HE Ben, HU Rong, et al. The Discovery and Significance of Permian Emishan Basalt Formation and Rare Earth Enrichment Layer in Central Guizhou[J]. Northwestern Geology, 2025, 58(4): 328–338. DOI: 10.12401/j.nwg.2025022

黔中地区二叠系稀土富集层的发现及意义

胡歆睿¹, 何犇^{1,2,*}, 胡荣¹, 唐佐其¹, 譙常¹

(1. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550081; 2. 自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 在开展“贵州 1:5 万息烽幅矿产地质调查”项目工作过程中, 笔者在该幅西部旗山地区新填绘出峨眉山玄武岩组和稀土矿化点, 并对其上覆地层龙潭组底部假整合面附近地层实施了大比例尺剖面测量和刻槽取样, 并对采集样品进行稀土分量和稀土氧化物总量分析。研究结果显示, 研究剖面下部可采厚度 1 m, 加权平均为 0.29%, 矿化系数 3.63; 中部可采厚度 1.4 m, 稀土氧化物总量 0.09%, 矿化系数 1.125; 上部可采厚度 1 m, 加权平均为 0.09%, 矿化系数 1.125。整体均具有进一步调查评价的价值, 下部 1 m 潜力最大。该发现扩大了玄武岩风化壳的找矿范围, 为黔中地区对区域寻找同类型矿产资源提供了找矿方向, 为峨眉山大火成岩省表生/次生成矿作用研究提供了示范案例。

关键词: 稀土富集; 二叠系; 龙潭组; 峨眉山玄武岩组; 黔中地区

中图分类号: P622

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2025)04-0328-11

The Discovery and Significance of Permian Emishan Basalt Formation and Rare Earth Enrichment Layer in Central Guizhou

HU Xinrui¹, HE Ben^{1,2,*}, HU Rong¹, TANG Zuoqi¹, QIAO Chang¹

(1. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China; 2. Innovation Center of Ore Resources Exploration Technology in the Region of Bedrock, Ministry of Natural Resources, Guiyang 550081, Guizhou, China)

Abstract: During the implementation of the "1:50,000 Geological Survey of the Xifeng Mining Area in Guizhou" project, the Emei Mountain Basalt Formation and rare earth mineralization sites was newly identified by the author in the Qishan region, situated to the west of Xifeng. Extensive profiling and channel sampling were conducted on the strata near the bottom false conformity of the overlying Longtan Formation. Subsequently, the rare earth elements and total rare earth oxides in the collected samples were analyzed. The results indicate that the lower section exhibits a mineable thickness of 1 m, with a weighted average of 0.29% and a mineralization coefficient of 3.63. The central section has a mineable thickness of 1.4 m, a total rare earth oxide content of 0.09%, and a mineralization coefficient of 1.125. The upper section features a mineable thickness of 1 m, a weighted average of 0.09%, and a mineralization coefficient of 1.125. All these sections warrant further inves-

收稿日期: 2024-12-17; 修回日期: 2025-02-18; 责任编辑: 贾晓丹

基金项目: 贵州省地质矿产开发局科研项目“黔中地区石炭系九架炉组顶、底板沉积特征及与含铝岩系耦合关系研究(以修文-清镇矿区为例)”(黔地矿科合[2024]8号、黔地矿科合[2024]TD004)资助。

作者简介: 胡歆睿(1987-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事区域矿产地质调查工作。E-mail: 434920082@qq.com。

*通讯作者: 何犇(1991-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事区域矿产地质调查工作, E-mail: 495851830@qq.com。

tigation, with the lower 1 m section showing the greatest potential. This discovery not only broadens the exploration scope for basalt weathering crusts but also provides a direction for prospecting similar mineral resources in central Guizhou. Furthermore, it offers a valuable case study and research subject for investigating epigenetic/secondary mineralization within the Emeishan Large Igneous Province.

Keywords: rare earth enrichment; Permian; Longtan Formation; Emeishan basalt Formation; Central Guizhou region

峨眉山大火成岩省(ELIP)是中国唯一被国际地学界承认的大火成岩省,以攀枝花为中心向东可分为内带、中带、外带,形成于 250~260 Ma(Lo et al., 2002; Guo et al., 2004; 袁民汕等, 2021),喷发持续约 10 Ma,为华南陆块演化历史上一次重大的地质事件,形成了大面积的峨眉山玄武岩(He et al., 2006; 朱江等, 2011; 徐义刚等 2013)。贵州位于峨眉山大火成岩省东缘(中带-外带),二叠系玄武岩分布广泛,晚二叠世时期,峨眉山玄武岩遭受到大量的风化和剥蚀,在其顶部发育了区域性的不整合面和古风化壳。风化壳的形成过程是元素迁移或富集达到新平衡的一种地球化学行为(池汝安等, 2007),在风化壳型矿床中,除常见的褐铁矿外,风化淋滤型稀土矿床已成为地质学

者研究的重要目标(Barth et al., 2000; Aiuppa et al., 2000; Zhou et al., 2000; Hongbing et al., 2004; 杨瑞东等, 2006; 王伟等, 2007; 杨瑞东等, 2007; Yang et al., 2008; 陈智等, 2017; 叶远谋等, 2018; 袁民汕等, 2021; 罗香建等, 2023; 龚大兴等, 2023)。目前, 贵州省内主要发现并报道的稀土矿床及矿化点主要集中在黔西地区(中带), 产出地层为峨眉山玄武岩组($P_{2,3}em$)上覆地层—上二叠统宣威组(P_{3x})底部(张海, 2014; 陈智等, 2015), 平面上, 已发现的稀土矿主要分布在四川省南部金阳—沐川一带以南, 云南省东部昭通—宣威—曲靖一线以东, 至贵州西部赫章—六盘水一线以西的地区(图 1), 并认为在东侧亦即峨眉山大火成岩省外带(含黔中地区)同期海陆交互相的龙潭组(P_3l)并无稀土元

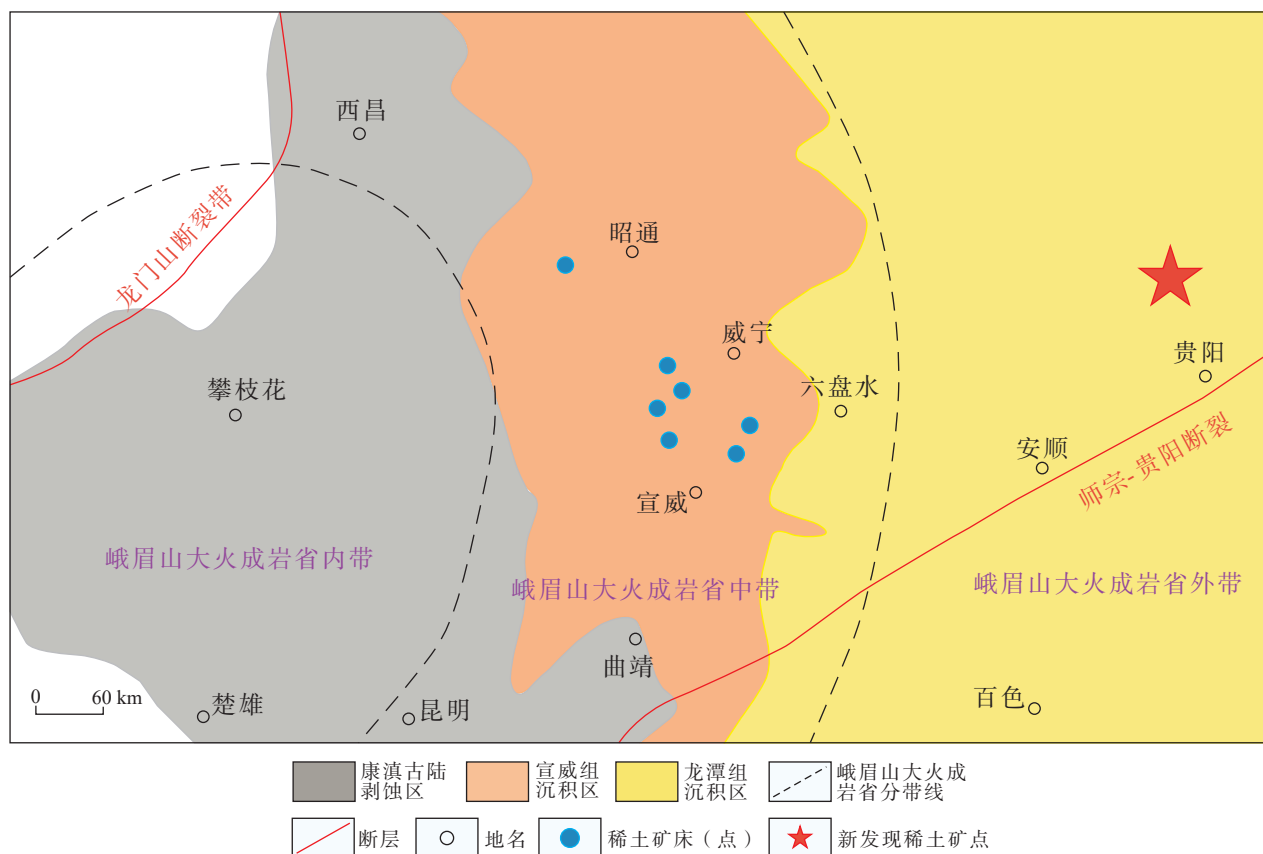


图1 川滇黔相邻区稀土矿床(点)分布简图(据龚大兴等, 2023 修)

Fig. 1 Geological map of rare earth element deposits of Sichuan, Yunnan and Guizhou

素异常(Gong et al., 2020; 龚大兴等, 2023)。

笔者主要报道在黔中地区(峨眉山大火成岩省外带)新发现的峨眉山玄武岩以及稀土矿化点。稀土富集层发育在峨眉山玄武岩($P_{2,3}em$)之上,上二叠统龙潭组(P_3l)底部,含矿建造为一套灰白色、灰绿色黏土岩建造,稀土氧化物总量品位 0.06%~0.48%,其中龙潭组底部(1 m)加权平均 0.29%,往上有减小趋势,具有进一步调查评价的价值。该发现打破了海陆交互的龙潭组(P_3l)并无稀土元素异常的认识,为黔中地区寻找同类型矿产资源提供了找矿方向,同时也为峨眉山大火成岩省表生/次生成矿作用研究提供了研究案例。另外,稀土资源是重要的战略资源,随着市场需求的扩大,更需要不断研究和探索新的稀土资源(李善平等, 2013; 杨斌清等, 2014)。

1 区域地质概况

研究区大地构造位置位于上扬子地块黔北隆起区之织金穹盆构造变形区(图 2),区内主要经历了雪峰-加里东构造旋回期(被动大陆边缘盆地向前陆盆地演化)、华力西-燕山构造旋回期(被动大陆边缘碳酸盐岩台地沉积、前陆盆地沉积及褶皱造山)、喜马拉雅期(歇性均衡隆升)。区内出露地层从老到新依次发育寒武系(明心寺组-娄山关组)、石炭系(九架炉组)、二叠系(梁山组-大隆组)、三叠系(夜郎组-改茶组)、侏罗系(二桥组-沙溪庙组)。其中,本次新发现的二叠系峨眉山玄武岩位于研究区西部旗山地区(图 2)。在晚二叠世东吴运动的影响和控制下,玄武岩喷溢和侵入,导致

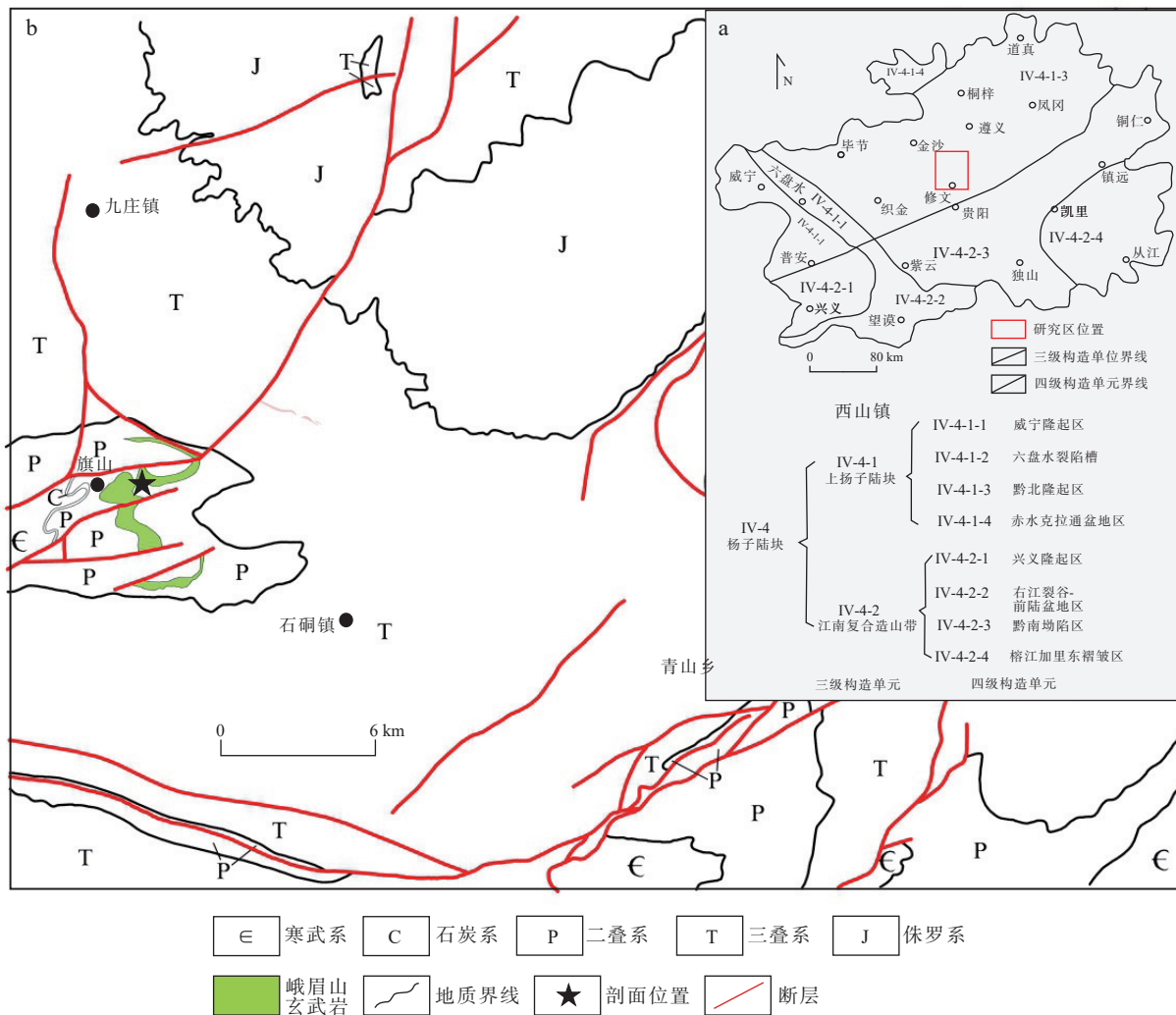


图2 研究区大地构造位置图(a)和地质简图(b)

Fig. 2 (a) Location map of the tectonic structure in the study area and (b) geological sketch map in the study area

大面积玄武岩广布于黔西地区,少量分布于黔中地区,同时省内大部分地区上升成陆,遭受剥蚀,海水由南侵入贵州,形成贵州省晚二叠世特殊的古地理格局(杨玉卿等, 2000; 陈文一等, 2003; 丁枫等 2012)。在峨眉地幔柱的持续影响下,黔西及黔中的玄武岩沉积区隆升成为风化剥蚀区,随之从西向东依次出现陆相及海陆交互相,并出现了泛滥平原相的曲流河沉积和湖泊沉积(宣威组含煤岩系)及陆源碎屑沉积(龙潭组含煤岩系)。



2 剖面特征

2.1 峨眉山玄武岩组(PM406)

剖面(PM406)位于息烽县李家屋基(图1), 比例为1:500, 交通较为便利, 该剖面沿公路出露。剖面上峨眉山玄武岩组出露完整(图3), 从下到上可分为11层(0~10层)(图4), 具体岩性描述如下:



图3 峨眉山玄武岩外观

Fig. 3 Basalt appearance

上覆地层(10层): 上部为灰色块状砾岩, 砾石含量大于80%, 分选磨圆差, 大小1mm×1mm~2mm×2mm; 下部岩性为灰黄色薄层状泥质细砂岩、泥质粉砂岩, 层次清晰、层面平整, 风化面、节理面、层面多见铁质侵染现象; 底部为灰白色凝灰岩、黏土岩、铁壳层。

-----平行不整合整合接触-----

9层: 灰白色凝灰岩

8层: 灰黄色薄层状粉砂质泥岩、泥质粉砂岩, 层次清晰、层面平整, 岩中见玄武岩砾石, 砾石大小5cm×5cm~6cm×10cm不等, 呈次圆-椭圆状, 顺层面展布, 玄武岩中可见细小密集的杏仁, 杏仁为土黄色, 大小50mm×50mm左右。本层厚度4.13m。

7层: 灰绿色极薄-薄层状泥岩, 岩石致密, 层次清晰、层面平整, 岩石中水平层理发育, 细层厚0.5~1mm, 由灰兰色、浅灰色、灰绿色细层互层组成, 岩中偶见植物化石碎片, 风化后呈碎片、碎块状, 节理面、风化面多见铁质侵染现象。本层厚度1.13m。

6层: 灰绿色、灰黄色薄至中层状泥岩、含粉砂质泥岩, 层次清晰层面平整, 风化面多见球形风化, 节理裂隙几风化面商多见铁质侵染现象。岩中见玄武岩砾石, 大小10cm×10cm~30cm×30cm不等, 呈椭圆-次圆状。本层厚度21.8m。

5层: 灰色、深灰色杏仁状玄武岩, 深灰色、灰兰色含杏仁玄武岩、灰黑色、兰灰色致密状玄武岩, 三者不等厚韵律互层, 单个韵律厚70~90cm, 前后三者比例约为1:2:3。单个韵律中下部为灰蓝色、蓝灰色致密状玄武岩, 岩中不发育气孔、杏仁, 致密坚硬, 单层厚10~20cm, 长石含量约10%, 中部为深灰色、灰蓝色含杏仁玄武岩, 岩中杏仁含量10%~30%, 杏仁成分有铁质、玛瑙、绿泥石等, 大小2mm×3mm~5mm×8mm, 顺层显定向性, 上部为灰绿色、深灰绿色杏仁状玄武岩, 岩中杏仁含量约50%, 杏仁成分有铁质、玛瑙、绿泥石等, 大小2mm×3mm~5mm×7mm, 顺层显定向性, 长石含量约40%。该层由多个上述韵律组成。本层厚度5.03m。

4层: 灰绿色、深灰绿色玄武岩, 块状构造, 不显层次, 岩中发育少许气孔、杏仁, 大小1mm×2mm~3mm×4mm, 顺层具定向性, 含量约10%, 岩中长石大小0.5~1mm, 含量约80%。本层厚度14.26m。

- 3层: 灰黑色、黑灰色玄武岩, 块状构造, 不显层次。岩石致密坚硬, 少见气孔、杏仁, 灰白色长石含量约 10%。本层厚度 6.27 m。
- 2层: 灰黑色, 黑灰色玄武岩, 块状构造, 不显层次。岩中发育气孔, 气孔中发育杏仁, 杏仁多呈椭圆-次圆状, 大小 2 mm×3 mm~4 mm×5 mm, 长轴顺层具定向性, 杏仁含量约 10%, 岩中可见灰白色长石晶体大小约 0.5 mm, 含量约 20%, 演示整体较为致密坚硬, 节理发育, 多见铁质侵染现象。本层厚度 6.27 m。
- 1层: 灰绿色玄武岩, 块状构造, 不显层次, 岩中多件杏仁状构造, 杏仁孔洞中多见黑色杏仁, 大小 2 mm×2 mm×5 mm, 呈次圆-圆状, 疑似铁质杏仁含量从下往上逐渐降低, 从底部 60% 左右, 逐渐过渡为顶部约 20%, 杏仁大小亦是向上变小。岩中节理裂隙中亦可见铁质侵染现象。本层厚度 3.65 m。

-----平行不整合接触-----

下伏地层(0层): 浅灰、灰色中厚-厚层状颗粒灰岩, 整体略显层次, 层面不平。岩中颗粒含量大于 80%, 颗粒以生物屑为主, 含少量内碎屑, 整体分选磨圆较好, 颗粒大小 1 mm×1 mm~2 mm×2 mm 不等, 呈次圆-次棱角状均匀分布。颗粒间被亮晶方解石胶接。与上覆底层 P_{2-3cm} 呈平行不整合接触。

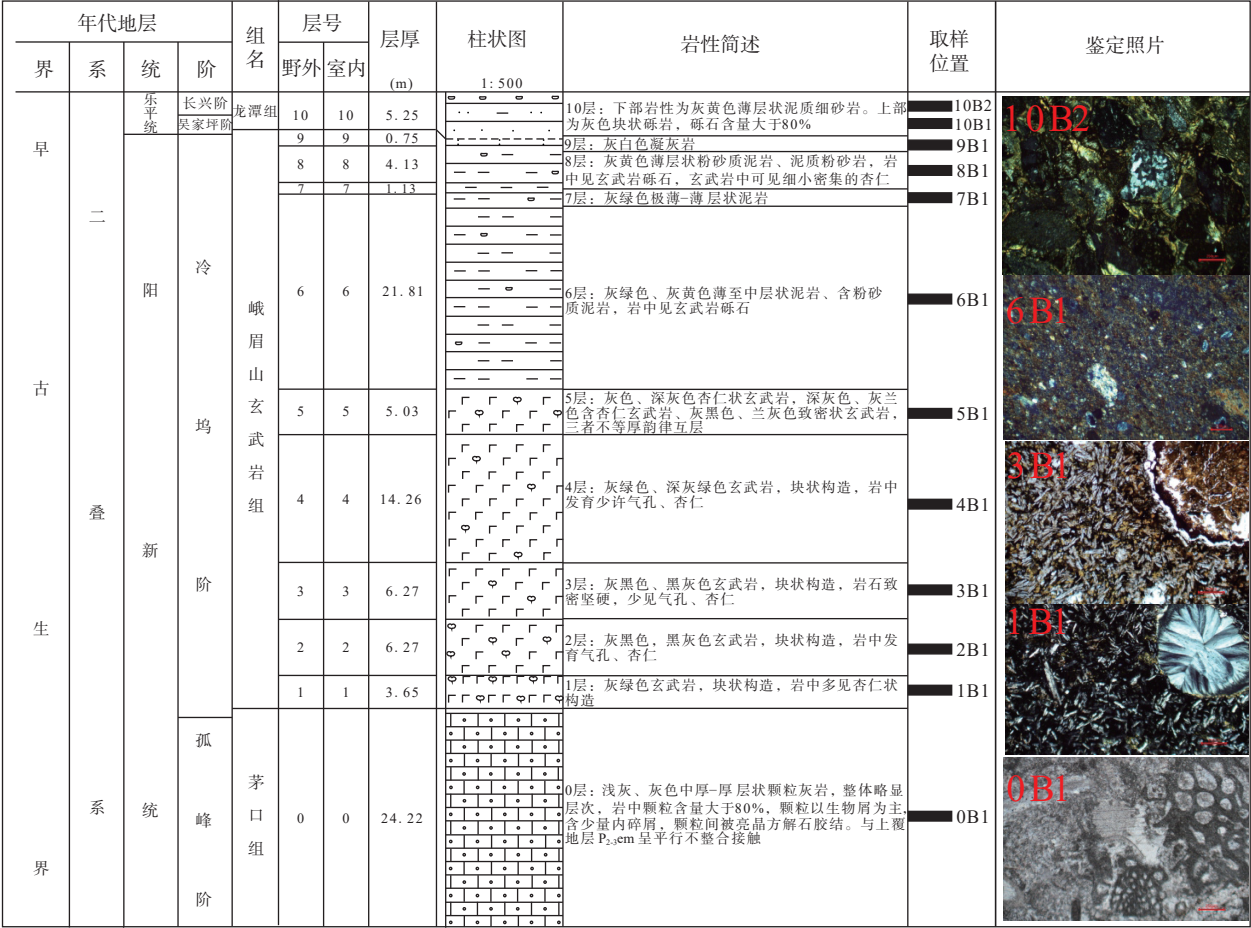


图4 PM406 峨眉山玄武岩组实测剖面柱状图

Fig. 4 PM406 column diagram of measured section of Emeishan basalt formation

2.2 稀土富集层(旗山剖面)

旗山剖面位于息烽县李家屋基, PM406 西侧 20 m, 比例尺为 1:50, 从下到上可分为 7 层(0~6 层)(图 5), 剖面真厚度 4 m。剖面底部为峨眉山玄武岩角砾及凝

灰岩层, 其上为剖面 0 层, 岩性为灰绿色薄层状黏土岩夹同色鲕豆状黏土岩和极薄层凝灰岩, 顶部见一层厚约 5 cm 的铁壳, 该层真厚度 0.4 m(图 6a); 1 层岩性为灰绿色、深灰色薄-中层状黏土岩, 真厚度 0.6 m

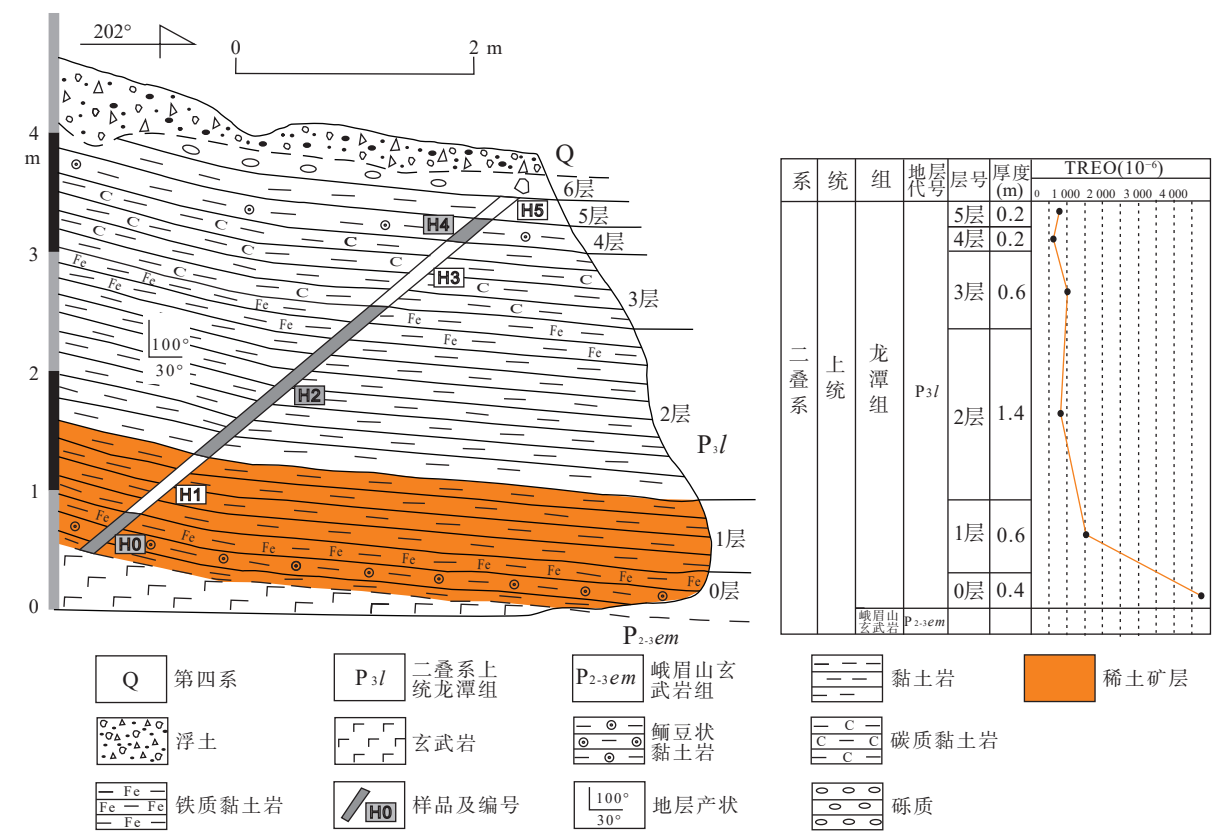


图5 息烽县旗山剖面示意图
Fig. 5 Xifeng County Qishan section diagram



a. 旗山剖面0层宏观特征; b. 旗山剖面1层宏观特征; c. 旗山剖面3层宏观特征; d. 旗山剖面刻槽取样位置

图6 旗山剖面宏观特征
Fig. 6 Macro characteristics of Qishan section

(图 6b); 两层岩性为灰白色、白色薄层在黏土岩, 真厚度 1.4 m; 3 层岩性为灰色、灰黑色极薄层状碳质黏土岩, 真厚度 0.6 m; 4 层岩性为灰色、灰白色极薄层状黏土岩(鲕豆状), 真厚度 0.2 m(图 6c); 5 层岩性为灰色、灰绿色极薄层状黏土岩, 偶见灰黑色黏土岩, 真厚度 0.2 m; 6 层岩性为灰色、浅灰色块状砾岩, 砾石成分多为泥岩、粉砂岩, 大小在 1 mm×2 mm~3 mm×5 mm 不等, 具有一定的磨圆度, 呈圆状-次圆状。

3 样品采集及分析方法

稀土富集层样品采于贵州息烽县旗山剖面。按照剖面出露特征由底向上依次采样, 具体采样位置见图 2。采用刻槽取样的方法(图 6d)采集新鲜且具代表性岩石样品 6 件(H0-H5)进行稀土分量(15 个)和稀土氧化物总量分析, 采样位置样品前处理及测试均由贵州省地质矿产中心实验室完成。

采用电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)测定样品的稀土元素, 准确称取 25 mg 或 50 mg 试料于封闭溶样器的内罐中, 加入 1 mL 氢氟酸($\rho 1.16 \text{ g/mL}$)、

0.5 mL 硝酸($\rho 1.42 \text{ g/mL}$)密封, 将溶样器放入烘箱中, 加热 24 h, 温度控制在 $(185 \pm 5)^\circ\text{C}$ 左右。冷却后取出内罐, 置于电热板上加热蒸至近干, 再加入 0.5 mL 硝酸($\rho 1.42 \text{ g/mL}$)蒸发近干, 加入 5 mL 硝酸(1+1), 再次密封, 放入烘箱中, 130°C 加热 3 h, 冷却后取出内罐, 将溶液定量转移至塑料瓶(容积 25 mL 或 50 mL)中。用水稀释, 定容至 25 mL(或 50 mL), 摇匀, 此溶液直接用于 ICP-MS 测定。测试所得数据结果以 $\mu\text{g/g}$ 为单位, 分析精度优于 5%; 稀土氧化物总量分析仪器为美国热电 EV300 紫外可见分光光度计, 试样用氢氧化钠熔融, 熔体用少量热水浸取, 并用盐酸酸化, 再用氢氧化钠溶液调制 pH 为 2~2.5, 在磺基水杨酸和过氧化氢存在下, 用 EDTA 络合 3 价铁, 加入一定量盐酸-乙酸钠缓冲溶液、三溴偶氮胂溶液, 分别在波长 639 nm、652 nm 处测吸光度。

4 实验结果

息烽县旗山剖面稀土元素分析结果及相关数据表明(表 1), 剖面稀土元素总量 ΣREE 介于 $434.51 \times$

表 1 贵州息烽县旗山剖面稀土元素(10^{-6})分析结果及相关参数

Tab. 1 The analysis results and related parameters of rare earth elements(10^{-6}) in the Qishan Profile, Xifeng County, Guizhou Province

样品号	H0	H1	H2	H3	H4	H5	平均值
La	679.70	231.00	119.70	126.00	88.64	116.50	226.92
Ce	1 461.00	494.40	282.30	325.70	179.60	252.30	499.22
Pr	174.90	55.72	32.05	40.67	22.42	29.52	59.21
Nd	627.00	224.60	118.20	159.60	83.42	103.80	219.44
Sm	131.50	43.77	20.80	29.26	13.47	14.60	42.23
Eu	26.39	9.51	3.34	4.14	2.36	2.56	8.05
Gd	110.60	40.66	19.58	22.95	13.00	15.02	36.97
Tb	20.08	6.67	3.52	3.72	2.30	2.65	6.49
Dy	101.40	32.48	19.70	18.40	12.42	15.11	33.25
Ho	19.27	5.51	4.29	3.74	2.45	3.04	6.38
Er	55.41	13.87	13.17	11.43	6.80	8.85	18.25
Tm	8.58	1.90	2.25	1.88	1.04	1.43	2.85
Yb	49.39	10.61	13.06	11.07	5.80	8.21	16.36
Lu	6.59	1.31	1.87	1.55	0.79	1.12	2.20
ΣREE	3 471.81	1 172.01	653.82	760.10	434.51	574.70	1 177.82
LREE	3 100.49	1 059.00	576.39	685.37	389.91	519.28	1 055.07
HREE	371.32	113.01	77.44	74.74	44.60	55.42	122.75
L/H	8.35	9.37	7.44	9.17	8.74	9.37	8.74
δCe	1.01	1.04	1.09	1.08	0.96	1.02	1.03
δEu	0.71	0.73	0.54	0.52	0.58	0.56	0.61
TREO	4 746.42	1 567.46	934.50	1 029.44	609.98	784.26	1 612.01

注: L/H为轻、重稀土含量的比值; $\delta\text{Ce}=\text{Ce}_\text{N}/(\text{La}_\text{N}\times\text{Pr}_\text{N})^{1/2}$; $\delta\text{Eu}=\text{Eu}_\text{N}/(\text{Sm}_\text{N}\times\text{Gd}_\text{N})^{1/2}$; 球粒陨石值据文献 Sun et al., 1989。

$10^{-6} \sim 3\,471.81 \times 10^{-6}$, 平均值为 $1\,177.82 \times 10^{-6}$; 轻稀土总量 LREE 介于 $389.91 \times 10^{-6} \sim 3\,100.49 \times 10^{-6}$, 平均值为 $1\,055.17 \times 10^{-6}$; 重稀土 HREE 介于 $44.60 \times 10^{-6} \sim 371.32 \times 10^{-6}$, 平均值为 122.75×10^{-6} ; L/H 介于 $7.44 \sim 9.37$, 平均值为 8.74, 表现为轻稀土较重稀土更为富集; 经球粒陨石标准化计算获得 δEu 值介于 $0.52 \sim 0.73$, 平均值为 0.61, 表现为明显负异常; δCe 值介于 $0.96 \sim 1.09$, 平均为 1.03, 略显正异常; 稀土氧化物总量介于 $609.98 \times 10^{-6} \sim 4\,746.42 \times 10^{-6}$, 平均值为 $1\,612.01 \times 10^{-6}$, 高于行业标准(DZ/T0204-2002)中最低工业品位(800×10^{-6})。

5 讨论

在 REE 球粒陨石标准化配分图中(图 7), 本次稀土富集层样品和峨眉山玄武岩(张震, 2010; 廖宝丽, 2013)配分曲线趋势具有一致性, 曲线明显右倾, 表现为轻稀土较重稀土更为富集。稀土元素由于本身离子半径大小的差异, 离子半径较小的重稀土元素较离子半径较大的轻稀土元素迁移速率大, 加上稀土富集层的黏土矿物选择性吸附作用, 所以在配分曲线特征上, 稀土富集层与玄武岩均呈现右倾趋势, 轻稀土与重稀土发生明显分异特征(叶远谋等, 2018), 表明稀土富集层物质来源可能与峨眉山玄武岩来自同一源区。本次稀土富集层样品 L/H 介于 $7.44 \sim 9.37$, 平均值为 8.74, 轻、重稀土分异程度大, δEu 值介于 $0.52 \sim 0.73$,

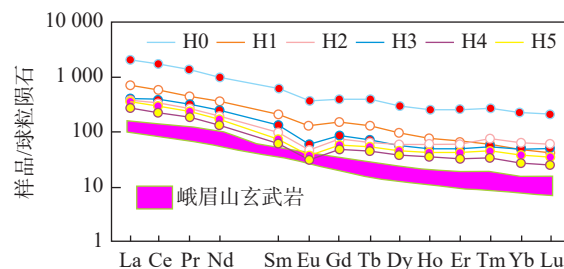


图7 贵州息烽旗山剖面稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(峨眉山玄武岩稀土元素数引自文献廖宝丽等, 2013)

Fig. 7 Standardized partition pattern of rare earth element chondrites in Qishan section, Xifeng, Guizhou

平均值为 0.61, 表现为明显的负异常, δCe 值介于 $0.96 \sim 1.09$, 平均为 1.03, 略显正异常。 δCe 正异常的原因可能是风化成土的作用过程中, δCe 具有正异常演化的趋势, δCe 正异常被普遍认为是氧化环境所致; 而 δEu 负异常可能是风化成土作用使 Eu 向负异常演化, Eu^{3+} 还原成 Eu^{2+} 以后与 Sr^{2+} 一起淋溶损失的结果(黄成敏等, 2002)。廖宝丽(2013)研究了贵州西部玄武岩, 认为基性玄武岩中斜长石的风化会导致稀土元素 δEu 的负异常, 这种异常程度与风化程度有关, 而稀土富集层的形成与风化壳有直接的关系, 本次研究的龙潭组底部稀土富集层 δEu 呈现明显的负异常, δCe 略显正异常, 推测该稀土富集层与玄武岩风化有直接关系。这与贵州西部其他地区已发现的玄武岩风化壳稀土矿床一致(表 2)(陈智等, 2017; 袁民汕等, 2021; 罗香建等, 2023)。

表 2 稀土元素数据分析结果对比表(10^{-6})

Tab. 2 Comparative table of rare earth element data analysis results (10^{-6})

参数	水城-纳雍地区①	威宁地区②	赫章地区③	峨眉山玄武岩④	息烽地区 (本次研究)
ΣREE	556	4 272	557	281	1 178
LREE	496	3 737	513	253	1 055
HREE	60	535	45	28	123
L/H	8.27	8.15	11.40	9.05	8.60
δEu	0.70	0.31	0.77	1.10	0.61

注: ①引自文献袁民汕等, 2021, 峨眉山玄武岩之上44个样品平均值; ②引自文献陈智等, 2017, 峨眉山玄武岩之上7个样品平均值; ③引自文献罗香建等, 2023, 峨眉山玄武岩之上21个样品平均值; ④引自文献毛德明等, 1992

本次研究剖面稀土氧化物总量介于 $609.98 \times 10^{-6} \sim 4\,746.42 \times 10^{-6}$, 平均值为 $1\,612.01 \times 10^{-6}$, 为下一步找矿工作提供数据支撑。笔者将研究剖面进一步细化, 以行业标准(DZ/T0204-2002)中最低工业品位 0.08%, 最

小可采厚度(1 m)为划分基础, 将研究剖面划分为上中下 3 个稀土富集层。其中下部可采厚度 1 m, 稀土氧化物总量介于 $0.16\% \sim 0.48\%$, 加权平均为 0.29%, 矿化系数(样品稀土氧化物总量/最低工业品位)3.63,

具有进一步调查评价价值;中部可采厚度 1.4 m, 稀土氧化物总量 0.09%, 矿化系数 1.125;上部可采厚度 1 m, 稀土氧化物总量介于 0.06%~0.10%, 加权平均为 0.09%, 矿化系数 1.125(表 3)。整体均具有进一步调查评价的价值,且下部潜力最大。玄武岩风化壳中稀

土元素含量高的原因可能是由于峨眉山玄武岩中稀土元素背景值较高,达到 106×10^{-6} (毛德明等, 1992),如果玄武岩被强烈淋漓风化,则稀土元素富集,可能形成类似于江西花岗岩风化形成的风化壳离子吸附型稀土矿床(Yang et al., 2008)。

表 3 贵州息烽县旗山剖面稀土富集层不同岩性稀土氧化物总量统计表

Tab. 3 Statistical table of total rare earth oxides of different lithologies in Qishan section of Xifeng County, Guizhou Province

样品号	岩性	可采厚度 (m)	稀土氧化物总量(10^{-2})		矿化系数 (样品稀土氧化物总量/ 最低工业品位)
			含量区间	加权平均	
H0	灰绿色、深灰色薄-中层状黏土岩	1	0.16~0.48	0.29	3.625
H1					
H2	灰白色、白色薄层在黏土岩	1.4	0.09	0.09	1.125
H3	灰白色、灰色、灰绿色、 灰黑色极薄-薄层状黏土岩	1	0.06~0.10	0.09	1.125
H4					
H5					

6 结论

(1)贵州息烽县旗山地区发现有峨眉山玄武岩出露,其上覆地层龙潭组底部发现稀土富集层,含矿建造为一套灰白色、灰绿色黏土岩建造。稀土富集层研究剖面(旗山剖面)整体均具有进一步调查的价值,尤其下部,可采厚度 1 m, 稀土氧化物总量加权平均为 0.29%, 矿化系数 3.63, 潜力最大。

(2)研究结果表明,稀土富集层物质来源可能与峨眉山玄武岩来自同一源区,稀土富集层是经历较强风化作用所形成,该层与玄武岩风化有直接关系,风化、淋漓作用是形成富稀土元素黏土岩的关键。

(3)贵州息烽县旗山地区稀土富集层的发现,更加扩大了玄武岩风化壳的找矿范围,为黔中地区对区域寻找同类型矿产资源提供了找矿方向,丰富峨眉山大火成岩省表生/次生成矿作用研究提供了有益的案例和研究对象。

参考文献(References):

池汝安,田君. 风化壳淋积型稀土矿评述[J]. 中国稀土学报, 2007(6): 641-650.
CHI Ru'an, TIAN Jun. Review of weathered crust rare earth ore[J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2007(6): 641-650.
陈智,侯林洋,莫兆. 贵州威宁玉龙锆矿化体的发现及其意义

[J]. 贵州地质, 2015, 32(3): 177-180.
CHEN Zhi, HOU Linyang, MO Zhao. Discovery of Niobium Mineralization Body and Its Significance in Yulong[J]. Weining, Guizhou, 2015, 32(3): 177-180.
陈文一,刘家仁,王中刚,等. 贵州峨眉山玄武岩喷发期的岩相古地理研究[J]. 古地学报, 2003, 5(1): 17-28.
CHEN Wenyi, LIU Jiaren, WANG Zhonggang, et al. Study on Lithofacies Palaeogeography During the Permian Emeishan Basalt Explosion in Guizhou Province[J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(1): 17-28.
陈智,郑禄林,陈军,等. 贵州威宁玉龙锆矿稀土富集层的发现及其成矿意义[J]. 稀土, 2017, 38(6): 117-124.
CHEN Zhi, ZHENG Lulin, CHEN Jun, et al. The Discovery and Metallogenic Significance of Accumulation Zone of Rare Earth Elements in Xuanwei Group of Yulong Niobium Deposit, Weining, Western Guizhou[J]. Chinese Rare Earths, 2017, 38(6): 117-124.
丁枫,陈洪德,侯明才,等. 黔南坳陷二叠系层序地层特征及岩相古地理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2012, 39(1): 76-82.
DING Feng, CHEN Hongde, HOU Mingcai, et al. Characteristics of the Permian sequence stratigraphy and the paleogeographic environment in South Guizhou sag, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition), 2012, 39(1): 76-82.
袁民汕,蔡国盛,曾道国,等. 贵州西部二叠系峨眉山玄武岩顶部古风化壳钽-铌-稀土矿化富集层的发现与意义[J]. 矿物学报, 2021, 41(4): 531-547.
GUN Minshan, CAI Guosheng, ZENG Daoguo, et al. Discovery and

- significance of the Sc-Nb-REE-enriched zone in the paleocrust of weathering atop the Permian Emeishan basalt in the western Guizhou, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2021, 41(4): 531–547.
- 龚大兴, 田恩源, 肖斌, 等. 川滇黔相邻区古陆相沉积型稀土的发现及意义[J]. *矿床地质*, 2023, 42(5): 1025–1033.
- GONG Daxing, TIAN Enyuan, XIAO Bin, et al. Significance and discovery of sedimentary REE deposits in adjacent areas of Sichuan, Yunnan and Guizhou[J]. *Mineral Deposits*, 2023, 42(5): 1025–1033.
- 黄成敏, 王成善. 风化成土过程中稀土元素地球化学特征[J]. *稀土*, 2002, 23(5): 46–49.
- HUANG Chengmin, WANG Chengshan. Geochemical Features of Rare Earth Elements in Process of Rock Weathering and Soil Formation[J]. *Chinese Rare Earths*, 2002, 23(5): 46–49.
- 李善平, 谢智勇, 李小雪, 等. 青海大风山天青石矿稀土元素地球化学特征及物源分析[J]. *稀土*, 2013, 34(1): 41–48.
- LI Shanping, XIE Zhiyong, LI Xiaoxue, et al. REE Geochemical Characteristics and Provenance Analysis of Dafengshan Celestite Deposit, Qinghai Province[J]. *Chinese Rare Earths*, 2013, 34(1): 41–48.
- 廖宝丽. 贵州二叠纪碱性玄武岩的岩石学和地球化学研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- LIAO Baoli. Study of petrology and geochemistry of the Permian alkaline basalts in Guizhou Province[J]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- 罗香建, 覃英, 卢树藩, 等. 赫章辅处地区沉积型富稀土岩系地球化学特征及物源分析[J]. *矿物学报*, 2023, 43: 1–17.
- LUO Xiangjian, QIN Ying, LU Shufan, et al. Geochemical characteristics and provenance analysis of the sedimentary type REE-rich rock series in the Fuchu area, Hezhang county, Guizhou, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2023, 43: 1–17.
- 毛德明, 张启厚, 安树仁. 贵州西部峨眉山玄武岩及有关矿产[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1992.
- 王伟, 杨瑞东, 鲍森, 等. 贵州峨眉山玄武岩区风化壳与成矿关系[J]. *贵州大学学报: 自然科学版*, 2007, 23(4): 366–370.
- WANG Wei, YANG Ruidong, BAO Miao, et al. Discussion on the mineralization associated with the weathering crust on E'meishan basalt in Guizhou Province, China[J]. *Journal of Guizhou University (Natural Sciences)*, 2007, 23(4): 366–370.
- 徐义刚, 何斌, 罗震宇, 等. 我国大火成岩省和地幔柱研究进展与展望[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2013, 32(1): 25–39.
- XU Yigang, HE Bin, LUO Zhenyu, et al. Study on Mantle Plume and Large Igneous Provinces in China: An Overview and Perspectives[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2013, 32(1): 25–39.
- 杨瑞东, 王伟, 鲍森, 等. 贵州赫章二叠系玄武岩顶部稀土矿床地球化学特征[J]. *矿床地质*, 2006, 25(S1): 205–208.
- YANG Ruidong, WANG Wei, BAO Miao, et al. Geochemical character of rare earth mineral from the top of Permian basalt, Hezhang County, Guizhou Province[J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(S1): 205–208.
- 杨瑞东, 鲍森, 廖琳, 等. 贵州西部中、上二叠统界线附近风化壳类型及成矿作用[J]. *矿物学报*, 2007, 27(1): 41–48.
- YANG Ruidong, BAO Miao, LIAO Li, et al. Ancient Weathering Crust and its Mineralization Near the Middle-upper Permian Boundary in Western Guizhou Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2007, 27(1): 41–48.
- 杨斌清, 张贤平. 世界稀土生产与消费结构分析[J]. *稀土*, 2014, 35(1): 110–117.
- YANG Binqing, ZHANG Xianping. Analysis of Global Rare Earth Production and Consumption Structure[J]. *Chinese Rare Earths*, 2014, 35(1): 110–117.
- 杨玉卿, 冯增昭. 中国南方二叠纪沉积体系[J]. *古地理学报*, 2000, 2(1): 11–18.
- YANG Yuqing, FENG Zengzhao. Permian Depositional Systems in South China[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2000, 2(1): 11–18.
- 叶远谋, 付勇, 周克林, 等. 贵州西部二叠系龙潭组底部粘土岩物质来源分析[J]. *矿物学报*, 2018, 38(6): 655–665.
- YE Yuanmo, FU Yong, ZHOU Kelin, et al. Provenance Analysis of Claystone at the Base of the Permian Longtan Formation in Western Guizhou[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2018, 38(6): 655–665.
- 朱江, 张招崇, 候通, 等. 贵州盘县峨眉山玄武岩系顶部凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄对峨眉山大火成岩省与生物大规模灭绝关系的约束[J]. *岩石学报*, 2011, 27(9): 2743–2751.
- ZHU Jiang, ZHANG Zhaochong, HOU Tong, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of the tuffs on the uppermost of the Emeishan basalt succession in Panxian County, Guizhou Province: Constraints on genetic link between Emeishan large igneous province and the mass extinction[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(9): 2743–2751.
- 张海. 黔西北地区稀土矿床地质地球化学特征及其成矿机制研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- ZHANG Hai. Geological and Geochemical Characteristics and Metallogenic Mechanism of REE Deposits, Northwestern Guizhou[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014.
- 张震, 戴朝辉. 贵州稀土矿及成矿地质特征[J]. *矿产与地质*, 2010(5): 433–439.
- ZHANG Zhen, DAI Chaohui. Rare earth ore and metallogenic geological characteristics in Guizhou[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2010(5): 433–439.
- Aiuppa A, Allard P, D'Alessandro W, et al. Mobility and fluxes of

- major, minor and trace metals during basalt weathering and groundwater transport at Mt Etna volcano (Sicily)[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64(11): 1827–1841.
- Barth M G, McDonough W F, Rudnick R L. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust[J]. *Chemical Geology*, 2000, 165(3): 197–213.
- Guo F, Fan W M, Wang Y J, et al. When did the Emeishan Mantle Plume activity start? Geochronological and geochemical evidence from ultramafic -mafic dikes in southwestern China[J]. *International Geology Review*, 2004, 46(3): 6–234.
- Gong D X, Hui B, Dai Z M, et al. A new type of REE Deposit found in clay rock at the top of the Permian Emeishan basalt in Yunnan-Guizhou area[J]. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 2020, 94: 204–205.
- Hongbing J, Shijie W, Ziyuan O, et al. Geochemistry of red residua underlying dolomites in karst terrains of Yun-nan-Guizhou Plateau[J]. *Chemical Geology*, 2004, 203(1-2): 29–50.
- He B, Xu Y G, Wang Y M, et al. Sedimentation and lithofacies Paleogeography in southwestern China before and after the Emeishan flood volcanism: new insights into surface response to mantle plume activity[J]. *Journal of Geology*, 2006, 114(1): 117–132.
- Lo C H, Chung S L, LEE T Y. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian - Triassic boundary events[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2002, 198(3): 449–458.
- Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. *Geological Society London Special Publications*, 1989, 42(1): 313–345.
- Yang R D, Wang W, Zhang X D, et al. A new type of rare earth elements deposit in weathering crust of Permian basalt in western Guizhou, NW China[J]. *Journal of Rare Earths*, 2008, 26(5): 753–759.
- Zhou Y, Bohor B F, Ren Y. Trace element geochemistry of altered volcanic ash layers (tonsteins) in Late Permian coal-bearing formations of eastern Yunnan and western Guizhou Provinces, China[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2000, 44(3): 305–324.