

is not mature. Research of meta-sandstone in Boyang—Yuanlong area could offer important information for the study of Qinling orogenic belt.

Methods: Based on the clastic zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and the analysis of geochemical data, we discussed the age and structural environment of the meta-sandstone in Boyang—Yuanlong area. We Combined the zircon LA-ICP-MS U-Pb dating with geochemical data analysis and offer proof of the evolution of Tianshui—Wushan suture zone.

Results: ① The meta-sandstone was formed in Middle Devonian, and the clastic sediment comes mainly from the Northern Qinling orogenic belt and Yangtze craton; ② The meta-sandstone in the Boyang—Yuanlong area was mainly formed under tectonic setting of active continental margin; ③ The closure of Tianshui—Wushan suture zone had not been completed before Middle Devonian.

Keywords: western Qinling orogenic belt; Middle Devonian; meta-sandstone; Geochemical; detrital zircon U-Pb Geochronology

Acknowledgements: This work is supported by the MOST Special Fund from State Key Laboratory of Continental Dynamics, No. 201210133

First author: LI Yifei, female, born in 1992, Master. Mainly engaged in tectonic geology and Petrogeochemistry. Email: 707107057@qq.com

Corresponding author: LUO Jinhai, male, born in 1967, Professor. Mainly engaged in tectonic geology. Email: luojh@nwu.edu.cn

Manuscript received on: 2018-01-12; Accepted on: 2018-07-23; Edited by: LIU Zhiqiang

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.05.004

贵州东南部煌斑岩类中稀土元素超常富集

高军波¹⁾, 杨瑞东¹⁾, 杨光海¹⁾, 杨光忠²⁾, 徐海¹⁾, 冯康宁¹⁾

1) 贵州大学资源与环境工程学院, 贵阳, 550025; 2) 贵州省地质矿产勘查开发局 101 地质大队, 贵州凯里, 556000

关键词: 稀土元素; 超常富集; 煌斑岩类; 贵州东南部

贵州东南部产出大量规模不等的煌斑岩类岩体,其中位于贵州镇远马坪的煌斑岩体是我国发现的第一个含原生金金刚石岩体,并将其作为寻找规模性金金刚石矿床的重点,但遗憾的是,截至目前,一直未在金刚石找矿方面取得较大突破。然而,笔者及课题组成员通过多次野外调查和实验分析发现,贵州东南部镇远、麻江一带煌斑岩类及其风化壳中明显富集稀土元素, ΣREY ($\Sigma REE + Y$) 介于 $558.78 \times 10^{-6} \sim 2409.94 \times 10^{-6}$, 平均 1461.21×10^{-6} ($n = 20$), 高于风化壳型稀土矿床最低工业品位。这一重要发现对于我国稀土资源找矿具有较为重要参考价值。

由于我国稀土矿产资源禀赋,除世界第一大的白云鄂博轻稀土矿床外,长期以来,我国针对稀土资源的调查研究与找矿工作更多地聚焦在与酸性花岗岩类、变质岩有关的古风化壳型稀土矿床方面,而与基性、超基性岩,特别是与煌斑岩

类有关的稀土矿床找矿突破不大,可供参考的实例偏少。原因在于煌斑岩类中稀土元素含量一般比较低,不易形成稀土元素富集甚至成矿。例如我国滇西北衙煌斑岩 ($\Sigma REE = 206.6 \times 10^{-6} \sim 272.8 \times 10^{-6}$) (和文言等, 2014)、云南白马寨矿区煌斑岩 ($\Sigma REE = 139.11 \times 10^{-6} \sim 232.92 \times 10^{-6}$) (管涛等, 2006)、山西大同饮牛沟钾镁煌斑岩 ($\Sigma REE = 288.8 \times 10^{-6} \sim 472.6 \times 10^{-6}$) (张连昌等, 1998)、鲁西煌斑岩 (ΣREE 介于 $338.4 \times 10^{-6} \sim 558.05 \times 10^{-6}$) (邱检生等, 1997) 及塔里木板块西南缘煌斑岩 (ΣREE 介于 $118 \times 10^{-6} \sim 279.72 \times 10^{-6}$) (柴凤梅等, 2007) 等, 稀土元素含量相比均较低。西澳 Yilgarn 地块 (Taylor et al., 1994) 及意大利阿尔卑斯山脉西部煌斑岩类 (Owen, 2008) 中虽也发育稀土元素的富集,但含量总体也不高,往往不超过 500×10^{-6} 。与煌斑岩类有关的稀土元素富集现象,见于煌斑岩中分布的方解石脉中,其稀土元素含量有

注: 本文为贵州省教育厅青年科技人才成长项目(编号:黔教合 KY 字[2016]117)、贵州省沉积矿床科技创新人才团队项目(编号:黔科合平台人才[2018]5613)和贵州省科学技术基金项目(编号:黔科合 J 字[2015]2032 号)的成果。

收稿日期: 2018-08-02; 改回日期: 2018-08-14; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.05.021

作者简介: 高军波, 男, 1985 年生, 博士, 副教授, 硕士生导师, 从事沉积矿床研究和教学工作。Email: gaojunbo1985@126.com。

时可达 1000×10^{-6} 左右(王登红等, 2005), 但都不足以构成煌斑岩体及其风化壳中稀土元素含量的整体偏高。

位于贵州东南部的煌斑岩类普遍遭受风化作用, 其中弱风化煌斑岩类呈墨绿色(图 1a、b), 风化较强的则呈土黄色、灰黄色(图 1c、d), 但煌斑岩类所具有的典型斑状结构依然较为明显, 斑晶多以橄榄石假象、金云母、钛金云母为主, 基质主要以细粒橄榄石假象、金云母、磷灰石、金红石、辉石、锐钛矿、磁铁矿、普通角闪石等为主。部分岩体因风化程度深, 橄榄石斑晶多已被交代蚀变为绿泥石、蛇纹石及碳酸盐矿物, 岩体则呈土黄色、灰色松散土状(图 1d)。贵州东南部煌斑岩类发育的岩石学特征与国内外煌斑岩类较为类似。但主要区别在于, 贵州东南部煌斑岩类普遍富集稀土元素。方维萱等(2002)系统采集镇远思南塘、马坪 1 号、马坪、溪头剖面受风化作用影响微弱的煌斑岩类样品 13 件, 并进行 ICP-MS 测定, 发现煌斑岩类 ΣREE 主要介于 $493 \times 10^{-6} \sim 1733 \times 10^{-6}$, 平均 1065.23×10^{-6} ($n=13$)。笔者及团队成员对麻江隆昌、大塘、龙山、石板寨和尚坟剖面煌斑岩类进行调查并开展稀土元素分析测试, 发现风化较强的煌斑岩类岩体中 ΣREY 更加富集, 介于 $558.78 \times 10^{-6} \sim 2409.94 \times 10^{-6}$, 平均 1461.21×10^{-6} ($n=20$)。除此之外, 发现贵州东南部煌斑岩类

及其风化壳中 Nb 含量也很高, 介于 $101 \times 10^{-6} \sim 404 \times 10^{-6}$, 平均 279.2×10^{-6} ($n=20$)。按照百分比进行含量换算, Nb_2O_5 含量介于 $0.014\% \sim 0.058\%$, 高于风化壳型铌钽矿床最低工业品位($0.016\% \sim 0.020\%$)。可见, 位于贵州东南部的煌斑岩类不仅高度富集稀土元素, 铌元素也比较富集。近年来的调查研究表明, 仅镇远地区已发现产状呈岩床、岩脉形式的煌斑岩体约 378 个(王亮等, 2012)、麻江地区约 40 余个(任怀翔等, 1993), 而且岩体数量仍在不断地随着调查工作的深入推进而逐渐升高, 说明贵州东南部煌斑岩体中 REE、Nb 等元素不仅含量偏高, 而且可能具有一定的资源储量, 具备可供综合开采利用的基础条件。

贵州东南部不仅产出大量煌斑岩岩体, 而且岩体中稀土、铌元素含量明显偏高, 甚至出现超常富集、成矿。这一重要发现改变了以往认为煌斑岩类中难以形成稀土富集甚至成矿的认识。更值得注意的是, 煌斑岩类中稀土元素超常富集不仅仅局限在贵州东南部地区。位于甘肃柳园地区的煌斑岩中稀土元素含量也很高, 其 ΣREE 介于 $2482.1 \times 10^{-6} \sim 3078.2 \times 10^{-6}$ (刘畅等, 2006)。Rock (1987) 对煌斑岩类进行类型划分和对对比研究时, 搜集并整理了大量不同类型煌斑岩类样品的稀土元素数据, 结果指示钾镁煌斑岩类具有较

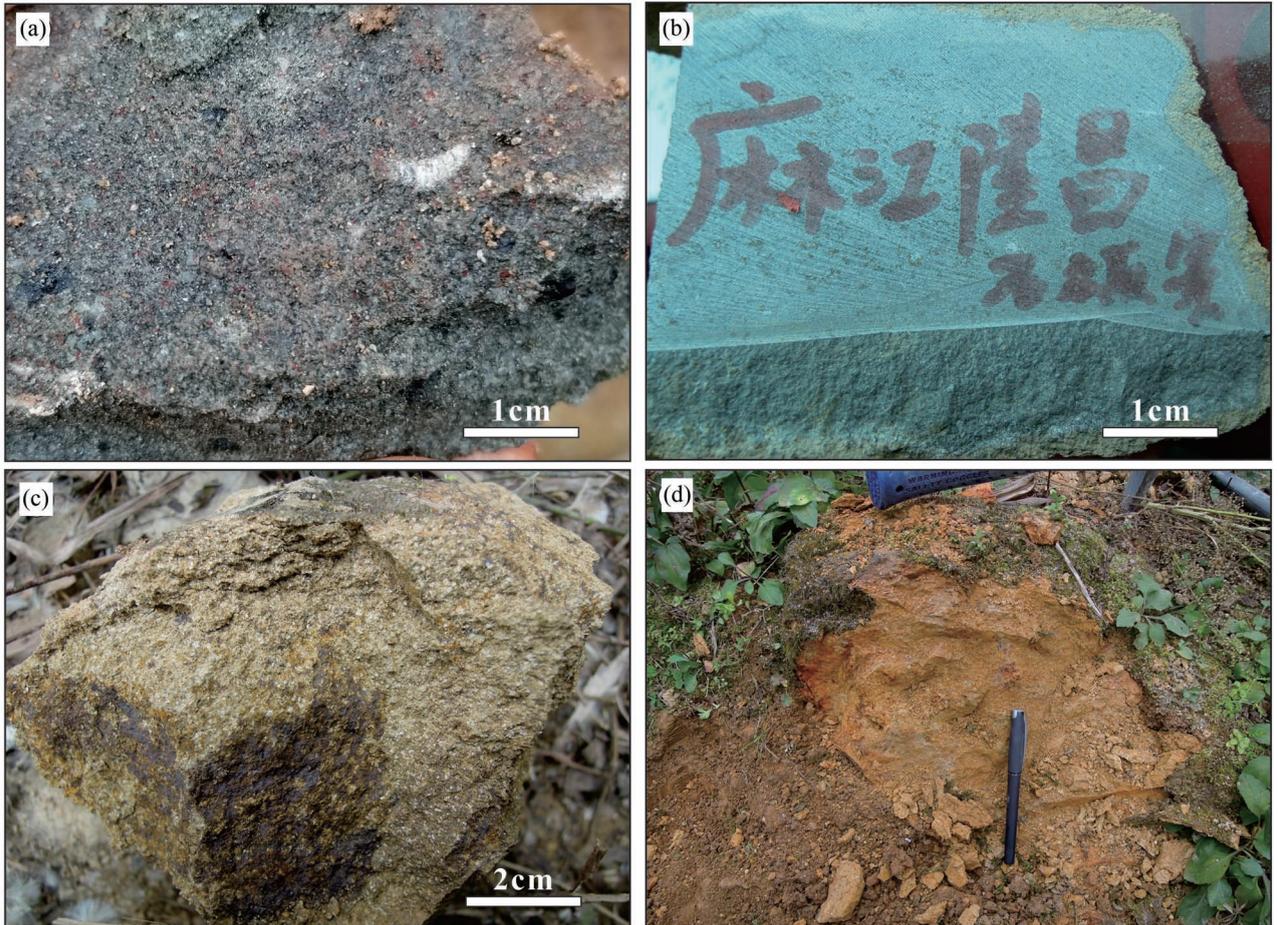


图 1 贵州东南部部分煌斑岩类野外照片: (a) 较为新鲜的煌斑岩体(镇远马坪); (b) 较为新鲜的煌斑岩体(麻江隆昌); (c) 半风化煌斑岩体(麻江石板寨); (d) 强风化煌斑岩体(麻江龙山)

two kinds of veins contribute to ore exploration work. The airborne thermal inferred hyperspectral remote sensing images due to its high spatial and spectral resolutions, can recognize quartz and silicate veins in small scales, thus benefits geological ore exploration. In this study, we acquired the thermal inferred hyperspectral remote sensing data covering the Liuyuan—Fangshankou and Xiemistian areas based on the TASI imager of National Key Laboratory of Science and Technology on Remote Sensing Information and Image Analysis, in an attempt to identify quartz and silicate veins. An application example was used to evaluate the capability of thermal inferred hyperspectral remote sensing in ore prospecting.

Keywords: Hyperspectral remote sensing; thermal inferred; quartz—silicate vein; ore exploration

Acknowledgements: This study was supported by project(No. 1212011220277) of China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources

First author: LIU Dechang, born in 1938, male, senior researcher, supervisor of doctor candidate, majors in structural geology, engages in the study of remote sensing for unclear security and geology. Email: liudc@yeah.net

Manuscript received on:2017-07-22; Accepted on:2018-08-12; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.05.011

(上接第 1104 页) 高的稀土元素含量,平均约 600×10^{-6} 。可见,煌斑岩体及其风化壳中具备发育稀土、铈元素超常富集甚至成矿的基础条件。因此,在稀土资源,特别是风化壳型稀土矿床找矿时,应加强基性、超基性岩,特别是煌斑岩类及其风化壳中的稀土资源调查评价工作,有望取得稀土资源找矿新突破。

参 考 文 献 / References

- 柴凤梅,帕拉提·阿布都卡迪尔,张招崇,毛景文,董连慧,木哈塔尔·扎日. 2007. 塔里木板块西南缘钾质煌斑岩地球化学及源区特征. 地质论评, 53(1): 11~21.
- 方维萱,胡瑞忠,苏文超,肖加飞,漆亮,蒋国豪. 2002. 贵州镇远地区钾镁煌斑岩类的侵位时代. 科学通报, 47(4): 307~312.
- 管涛,黄智龙,许成,张振亮,严再飞,陈冕. 2006. 云南白马寨镍矿区煌斑岩⁴⁰Ar-³⁹Ar定年和地球化学特征. 岩石学报, 22(4): 873~883.
- 和文言,莫宣学,喻学惠,董国臣,和中华,黄雄飞,李小伟,姜丽莉. 2014. 滇西北衙煌斑岩的岩石成因及动力学背景: 年代学、地球化学及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素约束. 岩石学报, 30(11): 3287~3300.
- 刘畅,赵泽辉,郭召杰. 2006. 甘肃北山地区煌斑岩的年代学和地球化学及其壳幔作用过程讨论. 岩石学报, 22(5): 1294~1306.
- 邱检生,王德滋,曾家湖,McInnes B I A. 1997. 鲁西中生代富钾火山岩及煌斑岩微量元素和 Nd-Sr 同位素地球化学. 高校地质学报, 3(4): 384~395.

任怀翔,张光文. 1993. 贵州麻江金云火山岩(钾镁煌斑岩)的地质特征. 贵州地质, 10(3): 189~191.

王登红,李华芹,陈毓川,屈文俊,梁婷,应立娟,韦可利,刘孟宏. 2005. 桂西北南丹地区大厂超大型锡多金属矿床中发现高稀土元素方解石. 地质通报, 24(2): 176~180.

王亮,陶平. 2012. 贵州东南部含金刚石钾镁煌斑岩找矿远景区预测. 地质与勘探, 48(4): 775~783.

张连昌,卢登蓉,王淑荣,梅厚钧. 1998. 山西大同钾镁煌斑岩地质地球化学特征. 矿物岩石, 18(4): 22~30.

Owen J P. 2008. Geochemistry of lamprophyres from the Western Alps, Italy: implications for the origin of an enriched isotopic component in the Italian mantle. Contributions to Mineralogy and Petrology, 155(3): 341~362.

Rock N M S. 1987. The nature and origin of lamprophyres: an overview. Geological Society, London, Special Publications, 30(1): 191~226.

Taylor W R, Rock N M S, Groves D I, Perring C S, Golding S D. 1994. Geochemistry of Archean shoshonitic lamprophyres from the Yilgarn Block, Western Australia: Au abundance and association with gold mineralization. Applied Geochemistry, 9(2): 197~222.

GAO Junbo, YANG Ruidong, YANG Guanghai, YANG Guangzhong, XU Hai, FENG Kangning: Super - enrichment of Rare Earth Element in the Lamprophyres in Southesatern Guizhou

Doi: 10. 16509/j.georeview.2018.05.021