

俯冲带火山岩硼及其同位素特征： 华南中生代玄武岩初步研究

戴宝章 蒋少涌 赵葵东 高剑锋

南京大学地球科学系 成矿作用国家重点实验室 江苏 南京 210093

摘要 硼及其同位素能够有效地反映由于俯冲板片脱水引起的湿地幔楔部分熔融过程在火山岩中存留的地球化学信息。本次研究中使用同位素稀释法对华南中生代玄武岩进行了硼含量的测定,结合稀土与微量元素分析结果对玄武岩成因及构造背景进行探讨。玄武岩的硼含量主要集中在 $(1\sim 5)\times 10^{-6}$,只有几个样品具有较高的含量(最高可达 19×10^{-6})。按时代和空间位置划分出的3组样品在硼含量上没有明显差别。在B/Ce, Nb/Be的协变图解上,中侏罗世玄武岩表现出OIB特征。最临近太平洋板块的白垩世东区玄武岩富集LILE,并出现Nb-Ta亏损,具有岛弧火山岩特征,但硼没有富集。进行系统的B-Li-O同位素分析能有效地揭示华南中生代玄武岩的形成过程及该区的构造演化。

关键词 华南中生代玄武岩 俯冲板片脱水 B含量

Boron and Its Isotopes in the Subduction Zone : A Preliminary Study of Mesozoic Basalts in Southeast China

DAI Baozhang JIANG Shaoyong ZHAO Kuidong GAO Jianfeng

*Department of Earth Science, Nanjing University, State Key Laboratory for Mineral Deposits
Research, Nanjing, Jiangsu, 210093*

Abstract Although not the dominant facies, basalts are quite widely distributed in southeast China, and thus have special significance in studying the tectonic evolution of this region. The dominant eruption ages of basalts are 175 ± 5 Ma and $80\sim 110$ Ma. In this study, all basalt samples (31 samples) were divided into three groups: Group I (13 samples) of Middle Jurassic, Group IIa (4 samples) of Cretaceous basalts from the western part of southeast China, and Group IIb (14 samples) of Cretaceous basalts from the eastern part of southeast China. Samples of Group IIb are rich in LILE and show evident depletion of Nb and Ta in the spider diagram of primary mantle normalized incompatible elements, which is generally thought to be related to hydrated mantle wedge by fluids from the subduction slab. In this study, the authors aim to employ boron geochemistry to trace the source of boron in basalts from southeast China and to assess the contribution of the subduction slab to the basalt generation, in particular the generation of Group IIb basalts. The boron contents of basalt samples were analyzed using the isotope-dilution (ID) ICP-MS method at the State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University. The results show that, compared with recent basalts, all basalts under study are relatively poor in boron, being mainly in the range of $(1\sim 5)\times 10^{-6}$, with only a few samples having higher abundances (up to 19.0×10^{-6}). The boron versus other element plots (e. g., B/Ce versus Ce) for Group I basalts indicate a clear OIB affinity for Middle Jurassic basalts, which possibly erupted in an intra-continental rift setting without any contributions from subducted slab related to Pacific Plate. Further analyses of B-O-Li isotopes for these basalts may provide a better clue to their origin and tectonic settings.

Key words Mesozoic basalts in Southeast China subduction slab boron content

1 俯冲带体系研究现状

硼具有两个稳定同位素: ^{10}B 和 ^{11}B ,其同位素组成变化很大($-37\%\sim +58\%$)。同时,硼在自然界各种岩石,水体中分布广泛,在岩浆演化过程中,硼

具有强不相容性,而在流体过程中,硼则具有极强的活动性,在流体相中强烈富集。上述特性使得硼在地球科学中具有广泛的应用,尤其是对研究壳-幔演化和板块俯冲作用过程具有重要作用(蒋少涌等, 2000)。

研究表明,俯冲板片脱水及由此引起的部分熔融是俯冲带-岛弧火山体系中最重要地质作用过程,在此过程中,具有强流体活动性的元素如 B, Li 等与其他元素“去耦”,表现出不同于普通的部分熔融过程以及其他岩浆演化过程的独特的元素含量和同位素特征。在一系列横穿岛弧火山岩带的研究中均表现出硼含量以及同位素组成的系统变化,表明硼及其同位素是提取火山岩中俯冲-板片脱水等信息的有效手段 (Moriguti 等, 2004; Straub 等, 2002; Clift 等, 2001; Schmitt 等, 2002)。

2 华南中生代玄武岩的初步研究

玄武岩虽然不是华南地区的主要岩石类型,但其分布非常广泛,对研究该区的构造演化具有重要意义。

2.1 样品时空分布

华南玄武岩主要分布在两个带中,①包括湘南,赣南和闽西南的近 EW 走向的岩带;②更临近太平洋的东南沿海带,主要包括浙江和福建两省和江西及湖南的部分地区(图 1)。

上述两个带中玄武岩喷发时代分别是 175 ± 5

Ma 和 $80 \sim 110$ Ma (谢昕等, 2001)。在此次研究中,根据年龄和采样位置将所有 31 个玄武岩样品分成 3 组: I 组为中侏罗世玄武岩,共 13 个样品; II-a 组为白垩世西区玄武岩,样品数量较少,仅 4 件; II-b 组为白垩世东区玄武岩,包括 14 个样品,大致以武夷山为界与 II-a 组分开。

2.2 分析方法与结果

对所有 31 个样品均进行了硼含量及其他微量元素含量的测定。

玄武岩微量元素和稀土元素的测定采用酸溶法,具体样品处理过程和试验条件按照高剑锋 (2003) 的测试流程进行。在南京大学内生金属矿床成矿作用国家重点实验室使用 Element2 型高分辨等离子质谱进行测定,分析精度优于 5%。分析结果表明,3 组样品的稀土含量及稀土配分模式差异不大,但在微量元素蛛网图上,II-b 组(白垩世东区)玄武岩与其他两组样品表现出明显的差别,出现明显的 Nb-Ta 亏损,类似岛弧玄武岩。Nb-Ta 亏损是湿地幔楔部分熔融的陆源弧玄武岩的特征,说明东区玄武岩在形成过程中受到俯冲的太平洋板块脱水作用的影响。在各种利用微量元素含量判断构成环

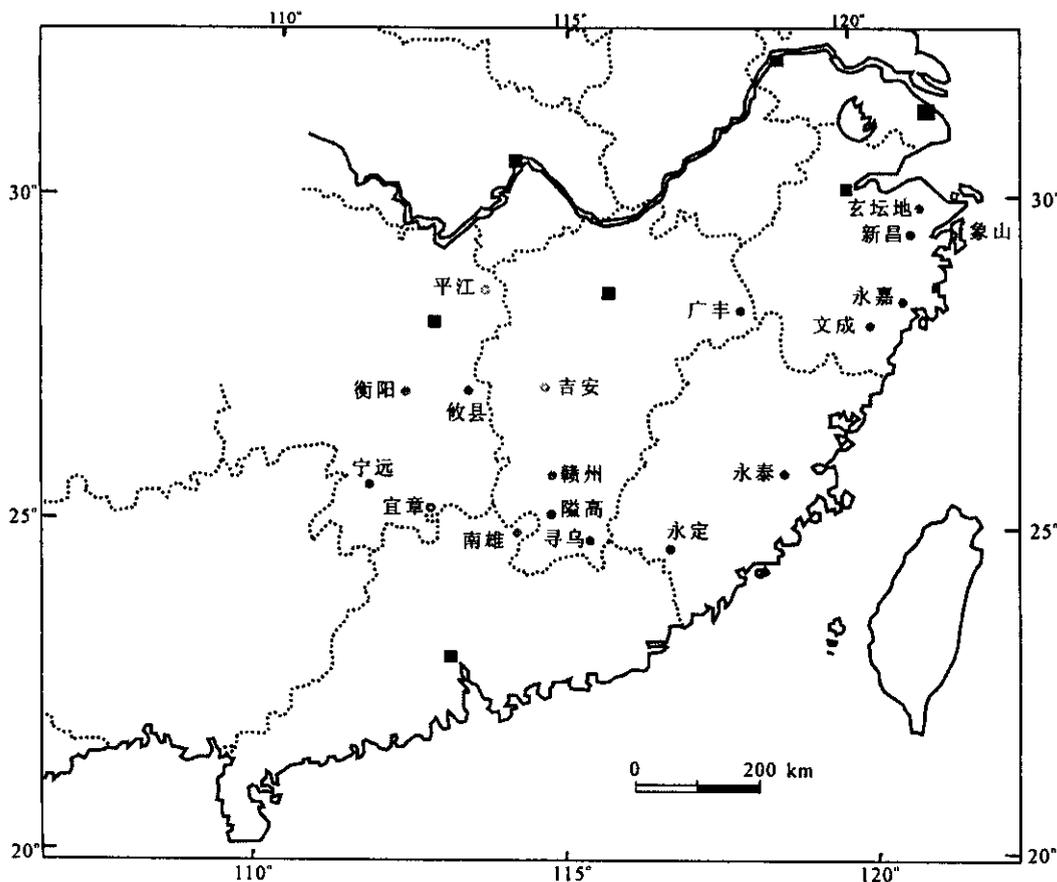


图 1 华南中生代玄武岩样品分布

境的图解上,燕山早期玄武岩和西区玄武岩具有类似特征,其构造属性基本表现为板内特征,而东区玄武岩则表现出岛弧型玄武岩特征,与其他两组玄武岩在地球化学特征上具有较大差异。

玄武岩硼含量的测定采用同位素稀释法。称取 30 mg 磨至 200 目的玄武岩样品于 15 mL savillex 溶样罐中,准确称取适量的硼同位素稀释剂加入待测样品中,加入 15 mL 3% mannitol 溶液防止 B 元素挥发,加入 1.5 mL 浓 HF。将溶样罐拧紧盖子,超声振荡过夜后在电热板低温(70 °C)加热 1~2 d,至样品完全溶解。开盖,在不超过 70 °C 条件下蒸干。加入 Milli-Q 18 MΩ 超纯水 5 mL,拧紧溶样罐盖,低温加热,超声振荡 30 min 以上。将样品转移至 15 mL 离心管中,加 Milli-Q 超纯水至 7.5 mL。离心分离后用 ICPMS 测试¹⁰B/¹¹B 同位素比值并计算出样品中的硼含量(表 1)。以上分析均在南京大学成矿作用国家重点实验室完成。

硼元素含量分析结果表明,所有样品的 B 含量均未出现明显富集,主要集中在(1~5)×10⁻⁶,只有几个样品具有较高的含量(最高可达 19×10⁻⁶)。其中,I组玄武岩的 B 含量主要范围在(0.93~

表 1 华南中生代玄武岩 B 元素含量
Table 1 Abundance of boron in basalts of SE China

		10 ⁻⁶			
样号	含量	样号	含量	样号	含量
B001	19.00	TB2	3.190	FL12	2.060
AG1	4.910	YD1	0.930	Hg2	2.480
CH4	2.620	YD3	3.330	Hh2	2.220
PK1	2.750	YO4	-	Hch2	2.280
PK7	1.020	HY1	15.13	Wch33	4.270
PK8	2.010	DDP1	2.964	Wch52	4.790
PK9	1.170	MD01	8.111	Wch10	0.960
PK10	2.130	GF1	2.667	Xs2	1.710
PK11	1.710	GF2	2.178	Xs6	7.870
PK12	1.290	FL11	1.930	Ys12	0.950

19.00)×10⁻⁶, II-a 组样品的 B 含量为(2.96~15.13)×10⁻⁶, II-b 组玄武岩的 B 含量由 0.95 至 7.87,3 组样品在硼元素含量上没有明显差异。在 B 和 Ce, Nb, Be 的协变图解上(图 2),B/Be, B/Ce 和 B/Nb 与 B 之间均表现出正相关关系,并且 3 组样品分布范围也有明显差别,尤其是燕山早期的一组样品显示出 OIB 玄武岩特征,属于板内玄武岩(Ryan 等,1993)。

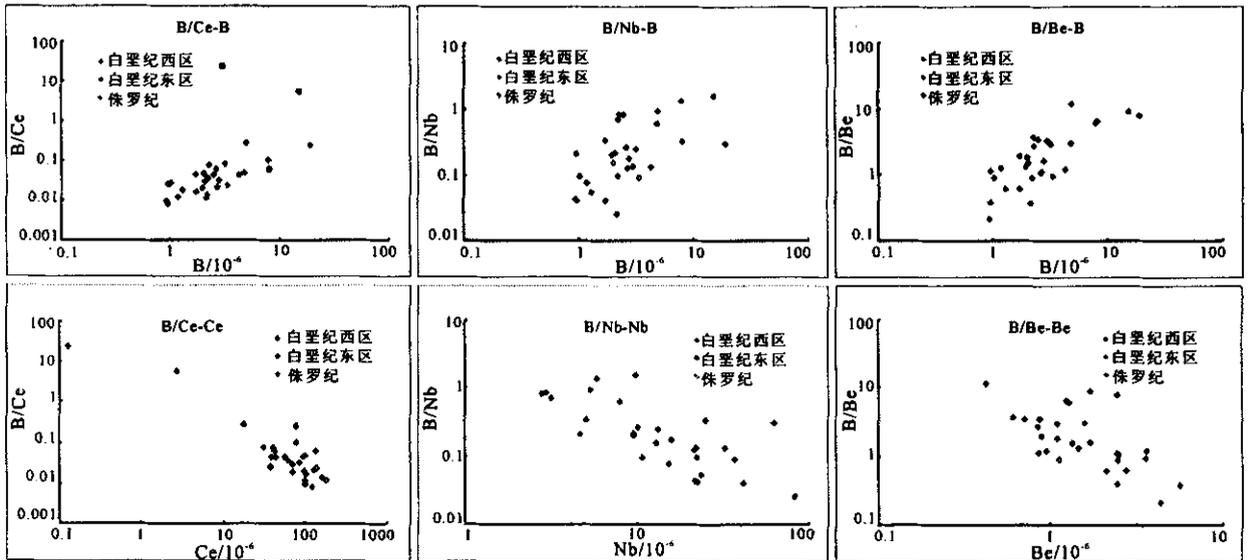


图 2 B 与 Ce, Nb, Be 的协变图解
Fig. 2 Plots of B vs Ce, B vs Nb and B vs Be

3 讨论及初步认识

(1) 硼与其他微量元素协变图解(例如 B/Ce vs Ce)显示中侏罗世玄武岩具有明显的 OIB 玄武岩特征,应形成于陆内裂谷环境,可能没有受到太平洋板块俯冲的影响。对改组样品的稀土和微量元素分析也表明该组玄武岩没有岛弧火山岩的特征。在协变

图解上,白垩世西区玄武岩似乎与其他样品有一定差别,但可能是有限的样品数量(仅 4 个样品)造成的假相,还需要进一步补充样品加以确认。

(2) 白垩世西区玄武岩在地理位置上最靠近太平洋板块。分析表明这些玄武岩富含 LILE,同时表现出明显的 Nb 和 Ta 的亏损,上述特征指示该组玄武岩在成因上与由俯冲板片脱水引起的湿地幔楔部

分熔融有密切联系。该组玄武岩的硼元素没有明显富集,对硼含量特征的合理解释有赖于与同位素分析结果的结合。

(3)由于中生代玄武岩分布的华南地区在新生代还有强烈的岩浆火山活动,因此在这些样品中可能发生硼的丢失。在此情况下,硼同位素组成可能比硼元素含量更能保持原有特征。开展系统的 B-O-Li 同位素研究可以更好的揭示这些玄武岩的成因和构造背景。

参考文献

蒋少涌,于际民,凌洪飞等. 2000. 壳-幔演化和板块俯冲作用过程中的硼同位素示踪. *地学前缘*, 7(2): 391~399.
高剑锋,陆建军,赖鸣远等. 2003. 岩石样品中微量元素的高分辨等离子质谱分析. *南京大学学报*, 39: 844~850.
谢昕,徐夕生,邹海波等. 2001. 中国东南沿海中-新生代玄武岩微

量元素和 Nd-Sr-Pb 同位素研究. *岩石学报*, 17(4): 617~628.
Clift P D, Rose E F, Shimizu N et al. 2001. Tracing the evolving flux from the subducting plate in the Tonga-Kermadec arc system using boron in volcanic glass. *GCA* 65(19): 3347~3364.
Schmitt AK, Kasemann S, Meixner A et al. 2002. Boron in central Andean ignimbrites: implications for crustal boron cycles in an active continental margin. *Chemical Geology*, 183: 333~347.
Straub S M, Layne G D. 2002. The systematics of boron isotopes in Izu arc front volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 198: 25~39.
Moriguti T, Shibata T, Nakamura E. 2004. Lithium, boron and lead isotope and trace element systematics of Quaternary basaltic volcanic rocks in northeastern Japan. *Mineralogical Controls on Slab-derived Fluid Composition* 212: 81~100.
Ryan J G, Langmuir C H. 1993. The systematics of boron abundances in young volcanic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 1489~1498.