

陕南镇巴东部地区基性岩墙群的构造意义

李夫杰¹, 杨骏²

(1. 中铁一局集团有限公司, 西安 710054 2 长安大学, 西安 710054)

摘要:应用现代岩石地球化学分析方法, 对镇巴东部地区基性岩墙群岩石地球化学特征进行系统分析, 分析表明, Ta/Hf 值在 0.27~0.90 之间, Th/Ta 值在 0.68~1.59 之间, 这与地幔柱成因的玄武岩系特征 (Ta/Hf > 0.3 Th/Ta < 1.6) 相符。根据分析提出早古生代期间扬子板块北缘南秦岭区发生一次重要的地幔热柱岩浆活动, 也正是因为这次深部地幔热柱岩浆活动的存在才引发了该区大范围的拉张裂解。此次地幔热柱活动应该是早古生代期间整个南秦岭地区构造演化的主要深部驱动力来源, 可能对晚古生代时期勉略洋盆的打开产生着重要的影响, 同时对秦岭造山带古生代构造演化过程的研究也具有重要意义。

关键词:基性岩墙群; 地幔柱; 裂谷作用; 北大巴山

中图分类号: P534.46

文献标识码: A

引言

岩墙群作为一种特殊的构造岩浆类型, 在早期大陆地壳演化中具有重要意义。岩墙群可以侵入于不同的地壳层次(常为 10km~20km 深处), 是大陆板块刚性化及其古应力状态最直接的地质标志, 也是古板块恢复再造的重要标志。基性岩墙群的广泛发育标志着大陆裂解作用的存在, 它是在大陆伸展背景下主要来自地下软流圈或岩石圈地幔的岩浆侵入体, 对古陆块的聚合与伸展乃至裂解的重建具有至关重要的意义^[1-3]。在南秦岭北大巴山构造带中的镇巴东部地区早古生代地层中出露大量 NW-SE 向展布的基性岩墙群, 这对探讨南秦岭早古生代期间的构造演化有重要理论和现实意义。本文对这些基性岩墙群的岩石地球化学特征进行了详细研究, 并对其大地构造意义加以探讨。

1 陕西镇巴东部地区地质概况

研究区地处南秦岭-北大巴山逆冲推覆构造带西段, 巴山弧形断裂北缘东侧部位。北大巴山逆冲推覆构造带中包含两个次级构造单元和两大主要断裂, 分别是高滩——兵房街逆冲推覆构造带和紫阳——平利逆冲推覆构造带; 熨斗——观音断裂(大巴山弧形断裂的北端部

分)和红椿坝断裂。基性岩墙群主要产于镇巴东部巴庙——熨斗一带, 总体呈 NW-SE 向展布, 一般长 3km~6km, 最长可达 10km 左右, 出露宽度一般在 50m~200m 之间, 最宽可达 800m, 岩墙大多出露宽度稳定, 两端延伸有一定距离后逐渐尖灭(如图 1)。基性岩墙大多与围岩呈“顺层”侵入接触关系, 岩石类型主要以中细粒辉长辉绿岩为主, 局部有少量的细粒辉绿岩脉。辉长辉绿岩宏观野外露头上呈灰绿色—绿黑色, 中—细粒结构, 块状构造。镜下观察, 岩石具辉长辉绿结构, 斜长石多为自形板柱状, 少量为短柱状或不规则状, 粒径介于 0.5mm~2mm, 偶见钠黝帘石化, 含量约 40%~65%; 单斜辉石多为半自形柱状、短柱状及不规则状, 粒径 2mm 左右, 其次闪石化、绿泥石化等, 含量为 30%~35%; 另有少量黝帘石、绿帘石、钠长石、绿泥石、次闪石等次生矿物。在镇巴县碾子镇西的部分基性岩脉中含有较多的侵染状黄铁矿、磁黄铁矿等金属硫化物, 局部含量可达 1%。辉绿岩宏观露头上观察与辉长辉绿岩仅在粒度上差异明显, 为细粒结构, 镜下特征为典型的辉绿结构, 矿物组成及其它特征均与辉长辉绿岩基本相似。

2 基性岩墙群的地球化学特征

研究区不同区段基性岩墙群的 16 件具有代表性样

品的碎样在河北省廊坊区域地质矿产调查研究所实验室完成, 地球化学成分测试在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室完成, 主量元素使用 X-射线荧光光谱仪 (XRF-1500) 法测试, 精度优于 2% ~ 3%。微量元素及稀土元素使用 ICP-MS (Element II) 测试, 分析精度为: 当元素含量大于 10×10^{-6} 时, 其精度优于 5%, 当含量小于 10×10^{-6} 时, 其精度优于 10%。岩石样品的主量元素、微量元素和稀土元素的分析结果列于 (见表 1) 中。表中标准化值采用 Sun S S (1989)^[4] 的标准值。其中: $\delta Eu = (Eu/0.058) / ((Sm/0.153 + Gd/0.2055) \times 0.5)$; $\delta Ce = (Ce/0.612) / ((La/0.237 + Pr/0.095) \times 0.5)$; $(La/Yb)_N = (La/0.237) / (Yb/0.17)$; $(La/Sm)_N = (La/0.237) / (Sm/0.153)$; $(Gd/Yb)_N = (Gd/0.2055) / (Yb/0.17)$; $(Ce/Yb)_N = (Ce/0.612) / (Yb/0.17)$ 。

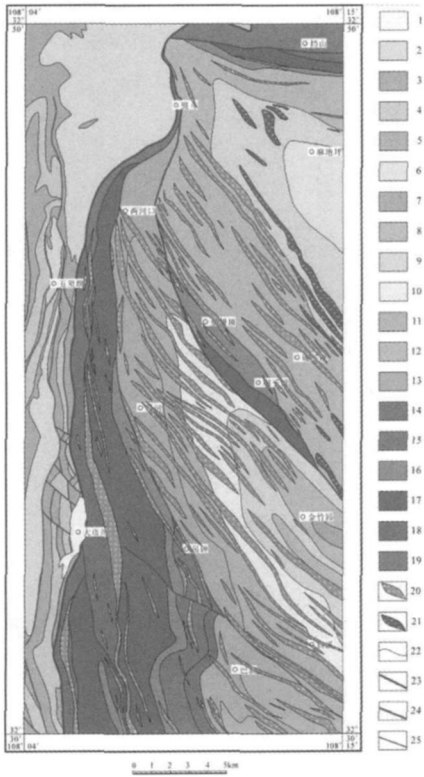


图 1 镇巴东部地区基性岩墙群分布

- 1 第四系 2 三叠系 3 二叠系 4 泥盆系 - 石炭系 5 寒武系
- 6 早志留世梅子垭组 7 早志留世五峡河组 8 早志留世陡山沟组
- 9 晚奥陶世 - 早志留世斑鸠关组 10 早中奥陶世权河口组
- 11 早奥陶世高桥组 12 中寒武世 - 中奥陶世洞河组 13 晚寒武世黑水河组
- 14 中寒武世八卦庙组 15 中寒武世毛坝关组 16 早寒武世箭竹坝组
- 17 早寒武世鲁家坪组 18 南华系 19 青白口纪耀岭河组 20 基性岩脉 21 正长斑岩脉
- 22 地质界线 23 鬃斗 - 观音断裂 (大巴山弧形断裂) 24 椿坝断裂 25 一般断裂

2.1 主量元素地球化学特征

研究区基性岩类岩石 SiO_2 含量变化在 39.58% ~ 48.70% 范围内, 绝大部分在 40% ~ 43% 之间; 各岩石样品钛含量较高, TiO_2 含量在 2.62% ~ 5.93%, 平均为

4.55%, 与板内玄武岩相当。 Al_2O_3 含量也较高, 在 12.11% ~ 17.32%。 FeO 含量在 9.28% ~ 13.96%, 含量较高, 且每个岩石样品的 $FeO > Fe_2O_3$ 。 Fe_2O_3 含量在 2.09% ~ 5.20%。 MgO 含量在 4.03% ~ 11.44%。以上数据可说明本区基性岩类为镁铁质玄武岩类。 CaO 含量在 6.48% ~ 11.61%, 变化范围较大, 相对较高。 Na_2O 含量都远高于 K_2O , Na_2O/K_2O 在 1.24 ~ 6.92, 其中 K_2O 含量在 0.39% ~ 1.17%。 Na_2O 含量在 1.35% ~ 4.80%。其成分特点属于 K_2O 过渡型玄武岩类型, 岩石类型主要为辉绿岩。 $K_2O + Na_2O$ 含量在 2.32% ~ 5.84%, 平均为 3.38%, 属碱质岩类; A/CNK 值在 0.55 ~ 0.78 本区基性岩墙大部分岩石样品的 $Mg\#$ 比较小 (< 63), 指示研究区基性岩墙群是原始岩浆经过高度演化后的产物。在 TAS 图解投图结果显示各类岩石主要落入碱玄武岩和苦橄岩区, 只有一个样品落入粗面安山岩区, 总体显示为碱性系列岩石 (见图 2)。

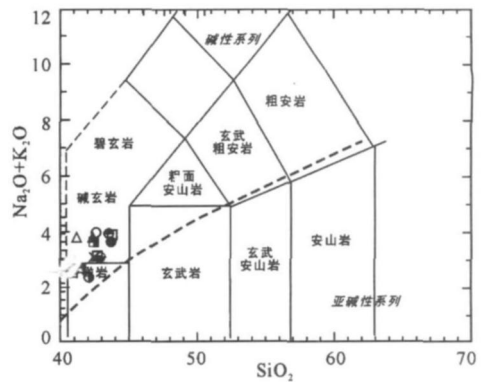


图 2 基性岩 TAS ($SiO_2 - K_2O + Na_2O$) 图解

2.2 稀土元素地球化学特征

该套基性岩墙群岩石的稀土总含量 ΣREE 为 $65.65 \times 10^{-6} \sim 281.60 \times 10^{-6}$, $LREE$ 在 $56.98 \times 10^{-6} \sim 248.06 \times 10^{-6}$, $HREE$ 为 $8.67 \times 10^{-6} \sim 33.54 \times 10^{-6}$ 。可以看出, 轻重稀土分馏强烈, $LREE/HREE$ 较大, 在 5.79 ~ 7.40 之间变化, 平均为 6.63。稀土元素球粒陨石标准化配分曲线为轻稀土元素富集重稀土元素亏损的典型碱性岩右倾式分配模式 (图 3)。 $(La/Yb)_N$ 和 $(Ce/Yb)_N$ 比值高, 分别在 7.48 ~ 11.56 和 5.79 ~ 8.96 之间。可能的原因是地幔物质在高压下部分熔融时, La, Ce 优先进入岩浆, 而作为残留相的石榴子石选择性的保留了重稀土元素, 如 Yb (因为重稀土元素在石榴子石中是相容的, 即分配系数很高)。所以本研究区的基性岩墙群为典型的轻重稀土分馏强烈、轻稀土富集重稀土亏损的右倾谱型的碱性岩类; δEu 值在 1.21 ~ 1.58 说明具有弱的 Eu 正异常, 表明本区基性岩墙群在岩浆演化过程中基本没有发生以斜长石做为结晶相的分离作用。 δCe 值在 0.86 ~ 0.90 具有弱的 Ce 负异常^[5]。各岩石样品中 Ce 的负异常表明岩浆演化过程中可能有大陆地壳物质的混染。

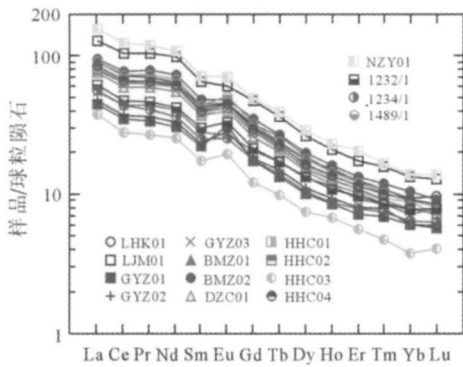


图 3 基性岩墙群稀土元素分布模式图

(球粒陨石标准化数据据 Boynton W. V., 1984)

2.1.3 微量元素地球化学特征

在基性岩墙群岩石样品原始地幔标准化微量元素蛛网图中 (见图 4), 显示各岩石样品相对富集大离子亲石元素 (LILE), 并且表现为以 Ba 为明显峰值的右倾谱型。高场强元素 (HFSE) 分布变化幅度较小, 分异不明显, 大离子亲石元素含量变化幅度较大, 但自左向右随元素的不相容性的降低, 富集度逐渐降低。K 相对于 La 和 Ta 亏损, 且在蛛网图中并没有出现 Nb-Ta 谷 (样品 BMZ02、HHC04 除外), 证明为非岛弧背景, 与消减作用无关。总体来看, 在岩石微量元素原始地幔标准化蛛网图上, 曲线总体呈现右倾谱型, 具有典型的板内玄武岩分布型式。且部分微量元素如 K、Rb、Ba 等可能在岩浆演化, 特别是后期改造作用过程中存在迁入与带出现象。研究区大部分基性岩岩石样品具有高 Ti ($TiO_2 > 4\%$, 在 2162~5193 平均为 4125, $Ti/Y > 500$) 的特征, 这与中国东部中生代大陆裂谷环境形成的玄武岩富 TiO_2 (平均为 2125) 相似, 这表明研究区碱基性岩类代表了大陆裂谷发育早期阶段的产物。另外, 裂谷初期玄武岩是以 Ba 的富集和 Th 的亏损为典型的^[7]。同时裂谷早期演化阶段应以碱性玄武岩为主^[8], 本区基性岩类的 Ta/Hf 平均为 0.133 基本都大于 0.13。根据汪云亮等研究, 大陆裂谷拉斑玄武岩较碱性玄武岩 Ta/Hf 比值低, 前者一般为 0.11~0.13 后者一般大于 0.13。本区岩石样品明显具有这些特征, 证明了本区岩石应形成于裂谷早期演化阶段的构造环境^[9]。

3 基性岩墙群的成因及其构造意义

本区基性岩墙岩石样品在 La/Nb-La 图解上绝大多数落入 OB 区, 少数落入 IAB 区 (见图 5)。且岩石样品相对富集轻稀土, 轻重稀土分馏强烈, 总体显示了较为一致的右倾谱型, 这种分配模式也与典型的洋岛玄武岩 (OB) 一致^[4]。对于具有与 OB 相似化学组成的岩浆最简单的解释是它们来自于岩石圈之下的软流圈, 而偏离 OB 区的岩石就不可能是完全源自于软流圈, 它们应该受到大陆岩石圈的轻微混染。

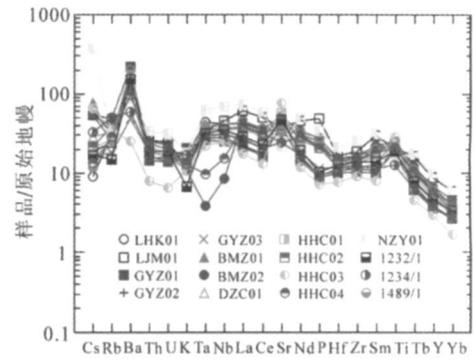


图 4 基性岩墙群微量元素蛛网图

(原始地幔标准化数据, 据 Sun S. S 等, 1989)

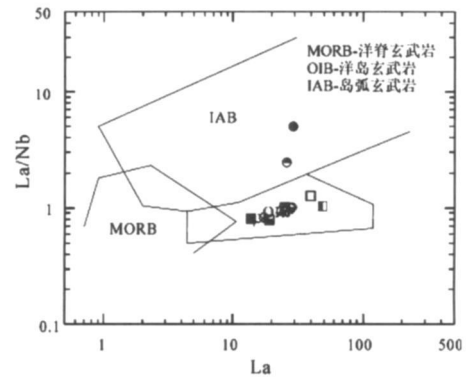


图 5 基性岩的 La/Nb-La 图解 (图中符号同图 4)

Th、Ta、Hf 是一组耐熔强亲岩浆元素, 它们的亲岩浆性是同步变化的。Ta/Hf 和 Th/Hf 的值在地幔部分熔融过程中只有很小的变化, 在岩浆分离结晶过程中基本不变, 岩石的 Ta/Hf 和 Th/Hf 值基本等于其源区的相应比值。由于地球化学性质的相似性, 其相互之间的比值关系能将深部作用的地球化学过程较好地恢复出来。玄武岩类特别是原始玄武岩浆形成的岩石的 Ta/Hf 和 Th/Hf 比值能较好地反映其源区的 Th、Ta、Hf 之间的分异特征。一般情况下这一特征与某种确定的大地构造环境有密切关系和确定的因果联系, 可用来判别玄武岩类形成的大地构造环境及其源区 Th、Ta、Hf 分异特征^[9]。对于原始岩浆, Ta/Hf 和 Th/Hf 比值大的差异被解释为源区成分不同引起^[10]。Ta/Hf、Th/Hf 图解中, 本区基性岩石样品基本全部落入地幔热柱玄武岩区 (见图 6)。本区基性岩类 Nb/Zr 值在 0.115~0.118 之间, 平均 0.116。Th/Nb 值在 0.104~0.107 之间, 平均 0.106 (样品 BMZ02、H1489-1 除外), 所以本区基性岩岩石从孙书勤 (2003)^[11] 所研究的角度也符合地幔柱成因玄武岩系 ($Nb/Zr > 0.115$, $Th/Nb < 0.111$), 明显不同于岛弧和大陆板内裂谷玄武岩的 $Th/Nb > 0.111$ 。在 $(Th/Zr) Nb/Zr$ 关系图上基本全部落入地幔柱成因玄武岩区 (见图 7)。

在大陆壳拉张早期, 部分熔融只发生在岩石圈部分, 随着岩石圈拉张程度的增大, 软流圈对生成岩浆的贡献逐渐增大。所以, 根据本区基性岩墙群的地球化学

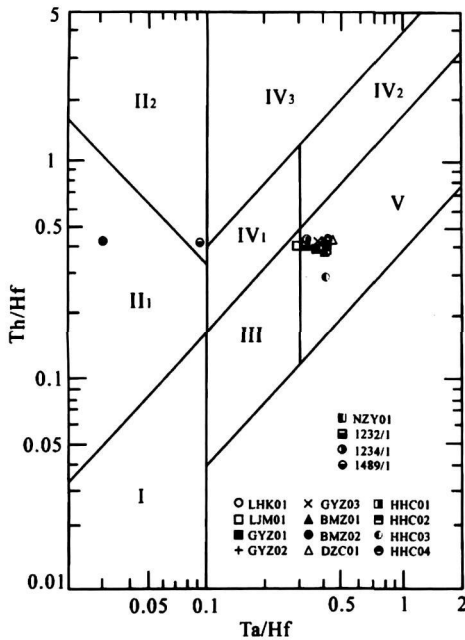


图6 Ta/Hf - Th/Hf 图解(据汪云亮等,2001)

I. 板块发散边缘 N - MORB 区; II. 板块汇聚边缘 (II₁. 大洋岛弧玄武岩区; II₂. 陆缘弧及陆缘火山弧玄武岩区); III. 大洋板内洋岛、海山玄武岩区及 T - MORB、E - MORB 区; IV. 大陆板内 (IV₁. 陆内裂谷及陆源裂谷拉斑玄武岩区; IV₂. 陆内裂谷碱性玄武岩区; IV₃. 大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区); V. 地幔热柱玄武岩

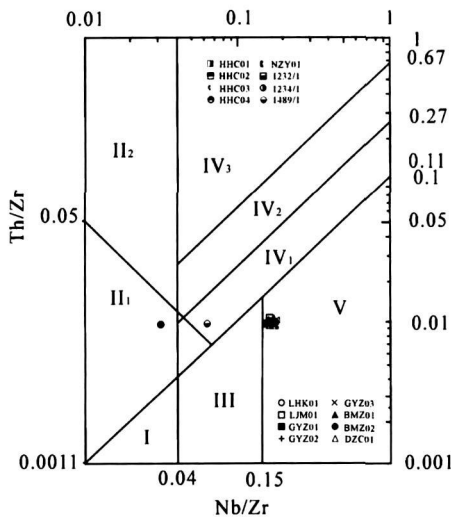


图7 Th/Zr - Nb/Zr 图解(据孙书勤,2003)

I. 大洋板块发散边缘 N - MORB 区; II. 板块汇聚边缘 (II₁. 大洋岛弧玄武岩区; II₂. 陆缘岛弧及陆缘火山玄武岩区); III. 大洋板内(洋岛、海山玄武岩区、T - MORB、E - MORB 区); IV. 大陆板内 (IV₁. 陆内裂谷及陆缘裂谷拉斑玄武岩区; IV₂. 大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区; IV₃. 陆-陆碰撞带玄武岩区); V. 地幔热柱玄武岩区

特征可以得知,该区源岩浆形成初期是在高压下地幔岩石圈首先发生了低程度的部分熔融,随后岩石圈拉张程度迅速增大,软流圈地幔柱物质很快成为源岩浆的主要来源。

根据张国伟(2003)^[12]等的研究,在 Z - O₂ (700Ma

~ 44Ma) 时期勉略地区一直处于拉张裂陷环境,在 O₂ - D₃ (44Ma ~ 335Ma) 时期,随着北侧商丹洋盆向华北板块的俯冲碰撞闭合,勉略地区初期小裂谷进一步拉张打开,形成初始洋盆。对勉略带南侧晚古生代沉积岩层发育层位的时代及其延展分布状态的研究揭示出:勉略古洋盆的演化过程是自西向东逐渐扩张打开的^[13],并且于晚古生代中晚期与西侧东昆南)阿尼玛卿裂谷相互对接沟通形成东古特提斯洋北支^[14]。前人对该区域不同岩类的同位素定年研究表明,本区各类岩石年龄介于 47216Ma ~ 41311Ma。黄月华等, (1992); 夏林圻等, (1994) 研究表明^[1526], 本区各类岩石形成于晚志留纪之前, 所以本区与勉略地区在早古生代时期处在同样的构造拉张环境中。从宏观上看, 北秦岭的地幔柱岩浆活动始于古元古代, 南秦岭的地幔柱岩浆活动开始于中元古代晚期^[17], 本区地幔柱活动始于早古生代, 再往南的扬子板块内峨眉山地幔柱活动于二叠纪。这可说明秦岭造山带(元古代之前均属扬子板块北缘)及其扬子地块内部受到了多期次以时间为序向南推移的地幔柱活动的影响。从时间上看, 本区各岩类的形成时间略早于勉略洋盆的打开时间, 空间上它们均处于扬子板块北缘且本区脉岩类紧靠勉略缝合带之南, 这可能暗示它们具有类似的深部动力学背景。短时间内邻近的又近平行区域内出现这么大范围的拉张环境, 时间上又相继联系, 且在此范围内又有地幔柱活动从北到南的先后控制, 用不同的深部动力学机制来解释它们的拉张裂解比较困难。而更合理的是, 早古生代扬子板块北缘大范围的拉张作用都是由相同的深部动力学机制控制, 这次大范围的拉张作用应该就是该区域深部地幔柱活动过程的地表响应。在本区以东紫阳 - 岚皋一带也有相似岩脉产出, 与本区岩脉空间上相连且产状相似, 形成时间上也与本区吻合, 同属地幔柱岩浆活动的产物^[18]。紫阳 - 岚皋一带岩墙群形成于早古生代晚期, 略晚于本区岩脉的形成时间, 这也恰恰与勉略古洋盆的演化过程是自西向东逐渐扩张打开的观点相吻合^[13], 这也更加有力的证明了勉略洋盆的打开与本区及以东地区的大规模基性岩墙群同属地幔柱活动的产物。照此推论并结合目前研究的事实可以认为, 早古生代时期的地幔柱活动主要发生在镇巴 - 紫阳 - 岚皋一线。在晚古生代时, 地幔柱活动中心南移至勉略带, 然后进一步向南移动, 于二叠纪时期在我国西南部扬子克拉通内形成大规模的峨眉山溢流玄武岩。所以秦岭及扬子板块北缘区域可能存在着多期次与地幔柱活动有关的以时间为先后由北向南的裂解作用。本研究区的碱基性岩墙群就是目前南秦岭地区有可靠证据的一次地幔热柱岩浆活动的产物, 它们代表了南秦岭区早古生代时期的一次重要的拉张伸展事件, 对秦岭造山带古生代构造演化过程的研究具有重要意义。

参考文献:

- [1] Halls H C, Fahrig W C (eds). Mafic Dykes Swarms [M]. Geological Society of Canada Special Publication, 1987.
- [2] 周鼎武, 张成立, 刘良, 等. 武当地块基性岩墙群的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 定年及其相关问题讨论 [J]. 地球学报, 1998, 19(1): 25230
- [3] 李江海, 何文渊, 钱祥麟, 等. 元古代基性岩墙群的成因机制、构造背景及其古板块再造意义 [J]. 高校地质学报, 1997, 3(3): 2722281.
- [4] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [A]. In Saunders AD and Norry M J Magma-tism in the Ocean Basins [C]. Geological Society Special Publication, 1989, 42: 3132345
- [5] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题 [J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 922103.
- [6] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. In Henderson P. (ed) [C]. Rare earth element geochemistry. Elsevier, 1984: 632114
- [7] Hohn P E. The geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hygromagmatophile element abundances of tholeiitic and basaltic andesites [J]. Chem. Geol., 1985, 51: 3032323
- [8] 张成立, 高山, 张国伟, 等. 南秦岭早古生代碱性岩墙群的地球化学及其地质意义 [J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32(10): 8192829
- [9] 汪云亮, 张成江, 修淑芝. 玄武岩类形成的大地构造环境的 Th/Hf — Ta/Hf 图解判别 [J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 4132421
- [10] McCulloch and Gamble. Depleted source for volcanic arc basalts: constraints from basalts of Kamadec2 Taupo volcanic zone based on trace elements isotopes and subduction chemical geodynamics [A]. In Continental Magma-tism [C]. In: Volcanic Conf2 Abstr New Mexico Bur Miner Resour Bull 1989, 1312180
- [11] 孙书勤, 汪云亮, 张成江. 玄武岩类岩石大地构造环境的 Th/Nb — Zr 判别 [J]. 地质评论, 2003, 49(1): 16222
- [12] 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带 [J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(12): 112121135
- [13] Liu Shaofeng, Zhang Guowei. Process of rifting and collision along plate margins of the Qinling orogenic belt and its geodynamics [J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(3): 2752287.
- [14] 孙延贵, 张国伟, 王瑾, 等. 秦昆结合区两期基性岩墙群 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年及其构造意义 [J]. 地质学报, 2004, 78(1): 66271
- [15] 黄月华, 任有祥, 夏林圻, 等. 北大巴山早古生代双模式火成岩套: 以高滩辉绿岩和蒿坪粗面岩为例 [J]. 岩石学报, 1992, 8(3): 2432256.
- [16] 夏林圻, 夏祖春, 张诚, 等. 北大巴山碱质基性) 超基性潜火山杂岩岩石地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1994
- [17] 张本仁. 秦岭地幔柱源岩浆活动及其动力学意义 [J]. 地学前缘, 2001, 8(3): 57266
- [18] 晏云翔. 陕西紫阳 2 崮泉地区碱 2 基性岩墙群的岩石地球化学及 Sr/Nd — Pb 同位素地球化学研究 [D]. 西安: 西北大学, 2005

F tectonic Meaning of Mafic Dyke Swarms in Zhenba Eastern Area in Shannan

LI Fu-jie¹, YANG Jun²

(1. China Railway First Bureau Group Corp., Xi'an 710054, China; 2. Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract Using the modern geochemistry analysis way, the article analyzes the geochemistry characteristics of Mafic Dyke Swarms, which is in Zhenba eastern area. The result shows that the numerical value of Ta/Hf is between 0.127 and 0.190 and Th/Ta is between 0.168 and 1.159. This conclusion accords with the basalt characteristics, which comes into being for mantle plume. According to the conclusion, the article deduces that there is an important mantle plume magma action at the north of Yangtze plate, the south Qin Mountain during the early Paleozoic age and arouses the pull and rift valley action in big range. The article thinks that this mantle plume action should be the main deep driving power source for the whole south Qin Mountain conformation and evolution in early Paleozoic age and may have very important effects on opening the Mid-late Paleozoic ocean basin in the late Paleozoic age and have important meaning on researching on Qin Mountain conformation and evolution.

Key words mafic dyke swarms; mantle plume; action of rift valley; the north big mountain