

中国东部中-新生代玄武质火山岩的主量元素地球化学特征

谢先军, 凌文黎

中国地质大学 地球科学学院, 武汉 430074

摘 要: 用 $\text{MgO}=8\%$ 标准化后, 中国东部中-新生代玄武质火山岩表现为高 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 、 SiO_2 , 低 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的特征; 新生代玄武质火山岩表现为低 SiO_2 和低 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$; 高 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 、 $\text{Na}_{8.0}$ 、 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的特征。与区域软流圈地幔上涌和岩石圈伸展构造环境下形成的桂东南钾玄质岩石的高 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 、低 $\text{Na}_{8.0}$ 和 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值有明显的差异。中国东部中-新生代玄武质火山岩主量元素的特征, 可能反映了与桂东南钾玄质岩石不同的形成环境。而中-新生代玄武质火山岩主量元素特征上的差异反映了岩浆来源区的变化。

关 键 词: 玄武质火山岩; 中国东部; 中-新生代

中图分类号: P588.14⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2005)02-0171-07

近几十年来, 中国东部大陆地壳的双层地壳结构已经引起了广泛的注意。Gao 等^[1]认为这种结构与拆沉和底侵作用有关, 有人^[2]认为与洋壳的俯冲有关。对中生代花岗岩和鄂尔多斯盆地的物源研究表明, 中生代时中国东部应为东高西低的地势格局, 与现今西高东低的格局迥然不同。这种双层地壳结构与其地势格局的演化究竟是底侵作用的结果还是洋壳俯冲所致? 前人已做了大量的工作, 但长期未有定论。本文乐意参与讨论。

许多研究者在进行岩石地球化学分析时, 常不同程度地忽略了原始岩浆随结晶作用可能发生的化学组成演化, 而采用原始数据直接对比法。这样必然会产生很多问题, 甚或得出错误的结论。为此, 我们将所有原始数据用 $\text{Mg}=8\%$ 来标准化, 以避免岩浆的时间演化, 消除地壳对岩浆混染因素的影响^[3]。此外, 前人的研究主要集中在对微量元素和同位素的研究上, 对主量元素做的工作较少, 但主量元素相对于微量元素具有不易受到地壳混染及结晶分异的影响等优点。为此, 笔者尝试通过主量元素地球化学来揭示中国东部中生代-新生代玄武质岩浆的源区特征。

1 地球化学数据的校正

岩浆的成分取决于源区岩石性质和发生部分熔融作用的物理化学条件, 而岩浆结晶过程形成的岩浆岩组分受初始岩浆组成、结晶分异作用和围岩混染作用等因素的影响。因此, 消除后两因素的影响以研究中国东部中生代-新生代岩浆岩成分随时间、空间变化是本文的主要研究对象。由于不同岩浆作用体系 MgO 含量的不同和结晶分异作用的演化程度也可有差异, 故统一校正到 8% , 使所有样品有统一的对比标准。许多学者^[3~6]已从这一思路讨论了大洋中脊玄武岩(MORB)和大陆溢流玄武岩(CFB)的岩石学成因。

在对样品数据进行校正时, 采用的是 Turner 和 Hawkesworth 的方法^[3]。首先以 MgO 分别对其他主要氧化物(如 SiO_2 等)作散点图, 用最小二乘法将线性拟合得到一条直线, 斜率为 m 。然后利用 $Y_s = m \times 8 + Y_o - m \times \text{MgO}$ 得到最后的校正值(表 1), 其中 MgO 、 Y_o 和 Y_s 分别代表样品的实测 MgO 含量、 Y 氧化物含量和 Y 氧化物的校正值。只有 $\text{MgO} > 5\%$ 的样品才能沿直线($Y_s = m \times 8 + Y_o - m \times \text{MgO}$),

收稿日期: 2004-09-23 收到, 2005-01-17 改回

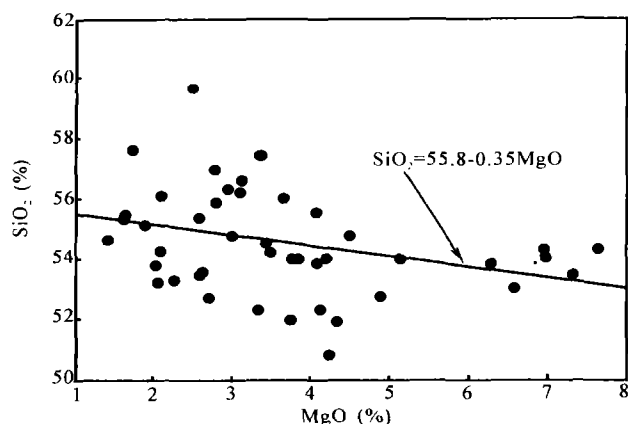
基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(40133020)

第一作者简介: 谢先军(1979), 男, 硕士研究生, 研究方向: 同位素地球化学, E-mail: cug_xxj@163.com.

表 1 中、新生代玄武岩最小二乘法线性回归玄武岩数据
Table 1 Slope, intercept and correlation coefficient obtained through the least-square linear regressions of the chemical compositions of basalts

时代	玄武岩产地	Fe ₂ O ₃ -MgO			Na ₂ O-MgO			SiO ₂ -MgO			Mg ²⁺ -MgO			TiO ₂ -MgO		
		截距	斜率	R ²	截距	斜率	R ²	截距	斜率	R ²	截距	斜率	R ²	截距	斜率	R ²
新生代	金平	13.4	-0.09	0.001	4.8	-0.3	0.08	58.4	-1.21	0.113	0.3	0.04	0.32	2	-0.02	0.003
	海南岛	6.5	0.3	0.465	2.92	-0.14	0.76	51.34	-0.23	0.263	0.64	0.008	0.579	2.07	-0.092	0.221
	福建	9.7	0.2	0.09	3.2	-0.05	0.02	55.9	-0.7	0.49	0.4	0.03	0.81	1.5	0.05	0.012
	合肥	7.7	0.5	0.83	2.2	0.08	0.08	52.3	-0.58	0.4	0.5	0.02	0.96	1	0.04	0.21
	江苏	9.5	0.35	0.41	5.2	-0.2	0.25	53	-0.6	0.34	0.42	0.02	0.9	1.4	0.05	0.07
代	济阳	6.3	0.8	0.66	4.6	-0.2	0.55	56.1	-0.7	0.26	0.4	0.02	0.85	1.9	-0.06	0.08
	汉诺坝	2.7	1.2	0.4	4.2	-0.16	0.1	65.5	-2.4	0.47	0.6	0.004	0.014	0.4	0.2	0.28
	华北南区	5.9	0.4	0.35	4.6	-0.2	0.68	62.9	-1.3	0.64	0.4	0.03	0.73	1.1	0.01	0.012
	华北过渡区	7.3	1.1	0.45	6	-0.35	0.24	61.5	-2	0.66	0.3	0.03	0.64	1.3	0.02	0.01
	华北北区	7.9	0.24	0.03	4.8	-0.3	0.25	57.3	-0.9	0.16	0.2	0.1	0.8	1.8	-0.1	0.05
中生代	粤西阳春	3.22	2.04	0.96	4.34	-0.43	0.92	61.20	-2.78	0.87	0.37	0.02	0.82	0.19	0.18	0.954
	湘东	11.82	-0.11	0.06	4.10	-0.18	0.46	51.71	-0.50	0.32	0.41	0.02	0.94	2.65	-0.09	0.222
	安徽沿江	4.48	1.31	0.54	4.17	0.07	0.01	61.03	-2.65	0.64	0.21	0.09	0.74	0.49	0.13	0.566
	宁芜	5.57	0.87	0.15	5.49	-0.68	0.13	57.10	-0.33	0.02	57.10	-0.33	0.02	0.75	—	—
	鲁西	5.14	0.56	0.57	3.53	-0.21	0.38	56.37	-0.57	0.25	0.46	0.02	0.61	1.00	-0.01	0.028
代	华北南区	7.50	0.24	0.11	4.56	-0.17	0.25	58.49	-0.89	0.43	0.35	0.04	0.79	1.12	—	—
	华北过渡区	6.11	0.26	0.29	5.35	-0.21	0.37	55.63	-0.52	0.12	0.30	0.06	0.97	1.00	-0.01	0.041
	华北北区	7.98	0.18	0.06	4.06	-0.11	0.11	55.65	-0.29	0.07	0.27	0.06	0.84	2.11	-0.20	0.549

m 为直线斜率), 回归到 $\text{MgO}=8\%$, 得到 Y_8 的数据。现以 SiO_2 - MgO 为例介绍校正方法。如图 1 所示, 将大兴安岭玄武岩的原始数据投到 SiO_2 - MgO 散点图上, 然后用最小二乘法进行线性拟合得到直线 $\text{SiO}_2=55.8-0.35\times\text{MgO}$ 。为计算各样品当体系 $\text{MgO}=8\%$ (重量百分比) 时的 SiO_2 含量, 将实测 SiO_2 (Y_s) 和 MgO (MgO_s) 含量及线性回归直线的斜率 (m) 分别代入: $Y_8 = m \times 8 + Y_s - m \times \text{MgO}_s$, Y_8 即为样品按 $\text{MgO}=8\%$ 的校正值。为防止样品因经历了强烈的结晶分异而采用上述分馏效应校正可能会带来的较大误差, 进行校正的样品仅限于 MgO 含量大于或等于 5% 的样品。



只有 $\text{MgO}>5\%$ 的样品才能沿箭头所示的直线
($Y_8 = m \times 8 + Y_s - m \times \text{MgO}_s$, m 为斜率), 回归到 $\text{MgO}=8\%$,
得到最终 Si_8 的数据

图 1 SiO_2 - MgO 散点图

Fig. 1 Diagram of SiO_2 - MgO

Turner 和 Hawkesworth^[3] 认为, 尽管用 8% 的 MgO 含量计算初始岩浆组分可能稍低, 但是 8% 的 MgO 有利于不同玄武岩的对比。如果数据校正到更高的 MgO 含量, 将可能明显高出大多数玄武质火山岩样品的 MgO 含量而产生较大误差。

本文收集了中国东部已发表的 487 件中、新生代玄武质火山岩样品的地球化学数据^[7~21], 最终均以 Fe_2O_3^* 计算全铁含量。数据处理结果见表 1 和表 2。

表 2 列出了玄武质火山岩样品主要氧化物用 $\text{MgO}=8\%$ 标准化后的平均含量或比值。从中可以看出 $\text{Mg}^\#$ [$\text{Mg}^\# = \text{Mg}/(\text{Mg} + 0.85\text{Fe}^*)$] 的平均值基本上为 $0.5\sim0.7$ 。接近于与地幔矿物平衡时的值 ($\text{Mg}^\# \approx 0.7$)。地壳对玄武质岩浆的混染与岩浆

表 2 玄武质火山岩主要氧化物用 $\text{MgO}=8\%$
标准化后的平均含量或比值 (%)

Table 2 Average values of major elements
for $\text{MgO}=8\%$ normalized basaltic rocks (%)

时 代	玄武岩	Fe_8^*	Na_8	Si_8	$\text{Mg}^\#$	Ti_8	$\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$
新 生 代	金 平	12.38	2.61	48.75	0.61	1.85	0.59
	海南岛	8.99	2.73	47.99	0.70	1.33	0.92
	福 建	12.79	3.97	45.17	0.62	2.42	0.81
	合肥盆地	11.73	2.81	47.64	0.60	1.33	0.68
	江 苏	12.30	3.74	47.12	0.60	1.93	0.56
	济 阳	12.30	3.03	50.43	0.60	1.42	0.61
	汉诺坝	12.49	2.94	46.23	0.60	2.21	0.64
	华北南区	11.74	4.77	47.12	0.62	1.74	0.79
	华北过渡区	11.77	4.22	46.82	0.64	1.93	0.75
	华北北区	13.82	3.88	49.28	0.50	1.44	0.54
中 生 代	粤西阳春	10.41	2.81	51.41	0.44	0.81	0.47
	湘 东	10.84	2.62	47.74	0.62	1.90	0.66
	安徽沿江	7.07	4.30	55.79	0.39	0.75	0.22
	宁 芜	8.02	3.58	56.17	0.45	0.75	0.24
	鲁 西	8.25	2.38	55.34	0.58	0.94	0.51
	华北南区	8.95	3.53	53.11	0.58	1.12	0.41
	华北过渡区	7.65	4.08	52.48	0.66	0.93	0.34
	华北北区	8.66	3.63	54.54	0.49	1.35	0.34

的结晶分异是相伴随的, 即所谓 AFC 过程。因此, 评价地壳的混染时, 必须考虑到同化混染作用 (AFC)。然而, 将原始数据用 $\text{MgO}=8\%$ 标准化后 $\text{Mg}^\#$ 与初始岩浆近似, 因此可以认为用 $\text{MgO}=8\%$ 标准化可以消除 AFC 的影响。并且, 主量元素相对于微量元素受地壳混染的影响要小, 所以可以认为最终讨论的数据已消除地壳的影响。

2 主量元素地球化学特征

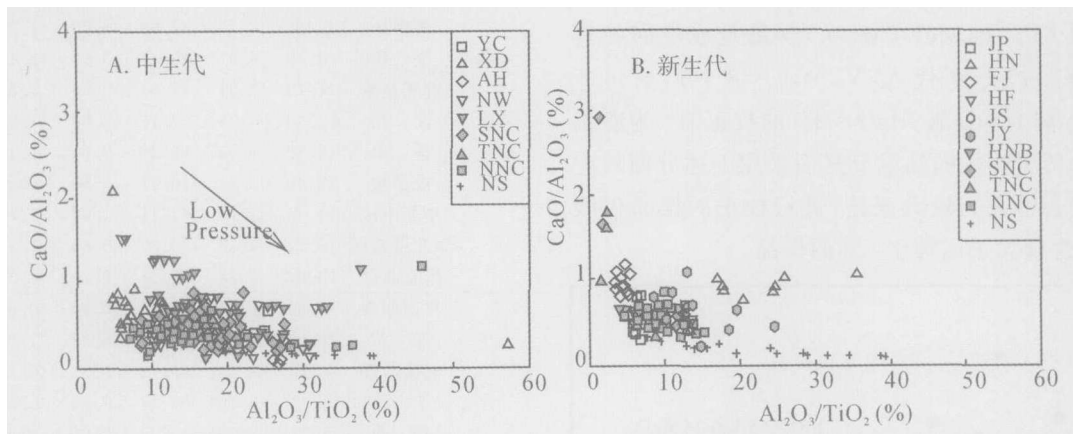
本文讨论的数据样品主要分布在东部沿海及毗邻地区, 南起云南、海南岛, 北至大兴安岭, 形成一个火山岩分布带, 样品的时代以引用文献为依据。总体上看, 中生代样品以玄武安山岩为主, 新生代以玄武岩为主。Zou^[22] 对中国东部火山岩的 Nd、Sr、Pb 同位素、微量元素及主量元素的研究指出, 中国东部以女山、塔山和方山一线为界可分为南北两个区。还有人^[23] 认为桂东南钾玄质侵入岩是区域软流圈地幔上涌和岩石圈伸展构造背景下的产物, 与岛弧无关。

2.1 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 与 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的关系

由图 2 可以看出, 中生代玄武质火山岩具高的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值和低的 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值。 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$

$\approx 5 \sim 30$, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1$ 。新生代玄武质火山岩则相反,前者低而后者高: $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 \approx 5 \sim 15$, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 一般大于 0.4。低 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值、高 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值代表了高压条件;相反的情况代表低压条件。由此可以推断,新生代玄武岩岩浆产生于高压环境;中生代玄武岩岩浆处于相对低压的环境。图

2a 中中生代玄武岩岩南北差异不明显。但新生代玄武岩明显地分为南北两区(图 2b),南区有较高的 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值和低 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值,说明中生代岩浆源区基本上没有区域性差异,到新生代时渐趋明显差异。



中箭头代表压力降低的方向;YC. 阳春, XD. 湘东, AH. 安徽, NW. 宁芜, LX. 鲁西, SNC. 华北南区, TNC. 华北过渡区, NNC. 华北北区, NS. 非俯冲型; JP. 金平, HN. 海南岛, FJ. 福建, HF. 合肥, JS. 江苏, JY. 济阳, HNB. 汉诺坝(非俯冲型数据引自文献[23])

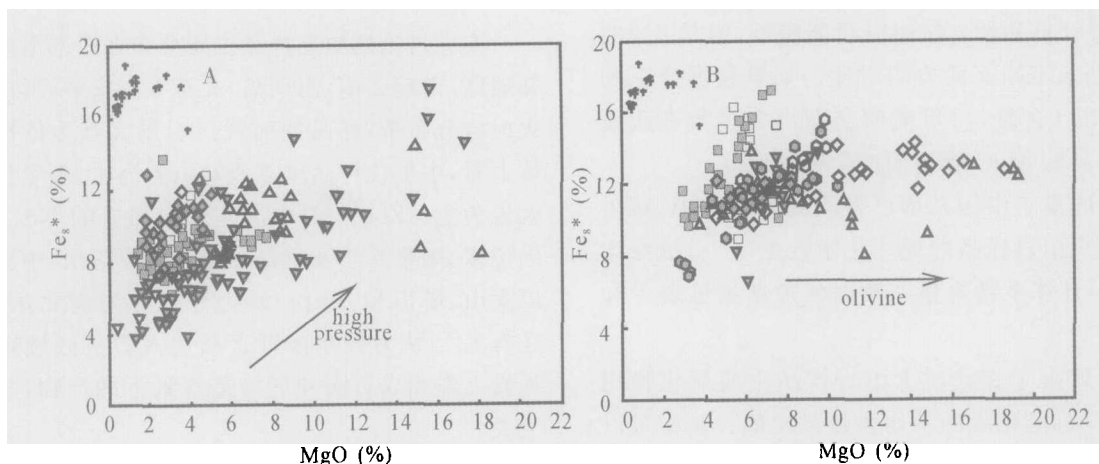
图 2 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ - $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 图

Fig. 2 Plots of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ - $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$

2.2 $\text{Fe}_{8.0}^*$ -MgO 的关系

中生代具有低的 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 和 MgO, 新生代则高 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 和 MgO(图 3)。中生代高 $\text{Fe}_{8.0}^* \approx 4 \sim 12$, MgO $\approx 1 \sim 10$; 新生代玄武岩中一般 $\text{Fe}_{8.0}^* > 10$, MgO 基本上集中于 $4 \sim 14$ 。一般而言, Fe_2O_3^* 越大表示岩浆产生时的压力越高, 高 MgO 表示岩浆中橄榄石成分含量的增加(图 3)。从图 3 可以看出, 中生代玄

武质岩浆压力小, 橄榄石成分含量低; 新生代玄武岩岩浆形成于高压环境; 中生代岩浆源区差异不明显, 但新生代岩浆出现明显的差异。在相近的 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 含量条件下, 新生代南区 MgO 高(图 3B), 表明岩浆中橄榄石成分的含量高, 进而可推断北区比南区岩浆源区亏损橄榄石。与中国东部中-新生代火山岩相比, 桂东南钾玄质岩石明显具高 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 低 MgO 特征。



全铁 $\text{Fe}^* = \text{Fe}_2\text{O}_3^*$; A 中箭头表示压力升高的方向, B 中箭头表示橄榄石增加的方向; 图例同图 2

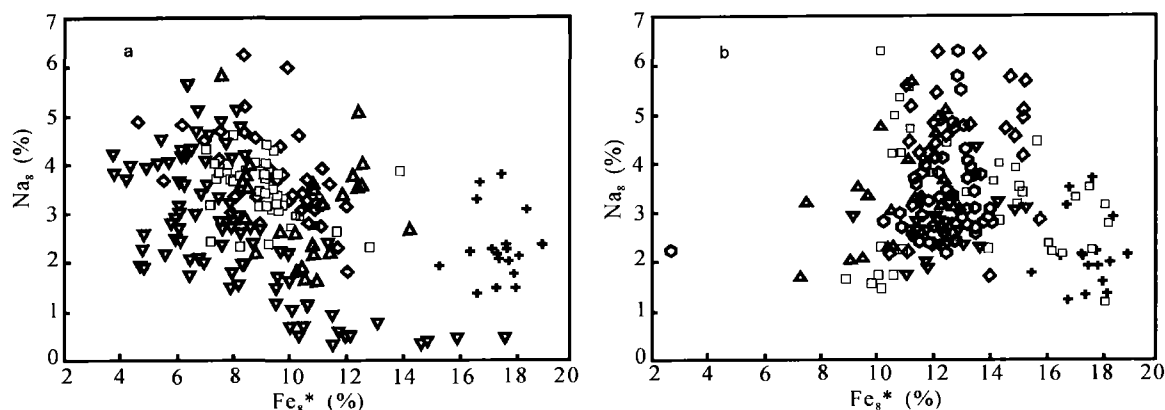
图 3 MgO - $\text{Fe}_{8.0}^*$ 关系图

Fig. 3 Plots of MgO vs. $\text{Fe}_{8.0}^*$

2.3 $\text{Na}_{8.0}$ - $\text{Fe}_{8.0}^*$ 的关系

图4中中生代和新生代北区 $\text{Na}_{8.0}$ 和 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 表现出一种负的相关性, $\text{Na}_{8.0}$ 含量随 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 含量的增加而减少; 新生代南区 $\text{Na}_{8.0}$ 和 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 则相反, $\text{Na}_{8.0}$ 含量随 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 含量的增高而增加。中生代 $\text{Fe}_{8.0}^* \approx 6 \sim 8$, 新生代 $\text{Fe}_{8.0}^* \approx 8 \sim 16$; 中生代和新生代具有相似的 $\text{Na}_{8.0}$ 。Klein 和 Langmuir^[4] 认为 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 的降低反映了环境的压力降低, 而 $\text{Na}_{8.0}$ 的降低反映了熔融程度的加强。这种趋势被认为是在深部形成的岩浆不断

上升、熔融岩石圈物质形成的, 反映一种岩浆对围岩的提取和混合过程。中生代与新生代北区玄武岩岩浆表现的这种负相关性与大洋中脊玄武岩(MORB)表现的趋势相似。这是岩浆在上升过程中由于压力减小、部分熔融程度增加所致。此外, 桂东南钾玄质岩石以高 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 特征明显地区别于中国东部中、新生代火山岩, 与区域软流圈地幔上涌和岩石圈伸展构造环境相一致。



图例同图2

图4 $\text{Fe}_{8.0}^*$ - $\text{Na}_{8.0}$ 相关关系图

Fig. 4 Plot of $\text{Fe}_{8.0}^*$ vs. $\text{Na}_{8.0}$ for basaltic rocks from Eastern China

3 讨论

中生代玄武质火山岩表现的高 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 、 SiO_2 和低 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 等特征, 与橄榄岩在低压、富水条件下的熔融结果相一致。这种低压富水特征可能是由于古太平洋板块对中国东部俯冲的结果, 古洋片在向俯冲过程中挤压脱水, 水降低了大陆岩石圈物质的熔点而发生部分熔融, 产生了具高 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 、 SiO_2 和低 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的岩浆。新生代玄武质火山岩表现的低 SiO_2 和低 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 和高 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 、 $\text{Na}_{8.0}$ 、 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 等特征, 与橄榄岩在无水、高压条件下的熔融特征类似。表明在新生代时期古太平洋板块向中国东部俯冲的俯冲角度变大。桂东南钾玄质岩石所具的高 $\text{Fe}_{8.0}^*$ 、低 $\text{Na}_{8.0}$ 与 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 特征, 表明深部产生岩浆的上涌过程^[4], 与其形成的区域软流圈地幔上涌和岩石圈伸展构造环境相一致。中国东部中-新生代玄武质岩浆主量元素

特征与由区域软流圈地幔上涌和岩石圈伸展构造背景下形成的桂东南钾玄质岩石的主量元素特征有明显差别(图2、图3和图4)。因此不可能形成于区域软流圈上涌和岩石圈伸展条件。反之, 中国东部中-新生代火山岩的这种时间上的变化可能是由于古太平洋板块向西俯冲所致, 而且早期俯冲角较小, 俯冲洋壳挤压脱水在浅部形成一种富水环境, 产生具有中生代特征的玄武质岩石; 到新生代时, 俯冲角度变大, 洋壳在俯冲至深部的过程中已完全脱水, 因此, 产生的玄武质岩浆具有新生代玄武质岩石的特征。此外, 中生代太平洋板块还可能向亚欧板块俯冲, 新生代时大洋板块向大陆的俯冲带向东移^[24]。用 $\text{Mg}=8\%$ 标准化以后的数据消除了岩浆演化及地壳同化混染的影响。因此我们认为新生代玄武质火山岩主量元素地球化学在空间上的差异, 反映了不同源区的性质。由图3b可见, 南区玄武质岩石明显地富集橄榄石成分, 而北区玄武质岩石源区则具亏损的

特征。

综上所述,中国东部中-新生代玄武质火山岩产生于古太平洋板块的俯冲环境,主量元素的差异与古太平洋板块的俯冲角度有关;新生代的南北的差异反映了源区的差异。

参考文献 (References):

- [1] Gao S, Luo T C, Zhang B R, Zhang H F, Han Y W, Hu Y K, Zhao Z D. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1998, 62:1959—1975.
- [2] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R. On the mechanics of the collision between India and Asia[A]. Coward M P, Ries A C eds. *Collision tectonics* [C]. *Geol. Soc., London Spec. Publ.*, 1986. 115—157.
- [3] Turner S, Hawkesworth C. The nature of the sub-continental mantle: constraints from the major—element composition of continental flood basalts[J]. *Chemical Geology*, 1995, 120: 295—314.
- [4] Klein E M, Langmuir C H. Local versus global correlations in ocean ridge basalt composition: a reply[J]. *Geophys. Res.*, 1989, 94: 4241—4252.
- [5] Brodholt J P, Batiza, R. Global systematics of unaveraged mid-ocean ridge basalt compositions: comment on “Global correlations of ocean ridge basalt chemistry with axial depth and crust thickness”[J]. Klein E M, Langmuir C H eds. *Geophys. Res.*, 1989, 94: 4231—4239.
- [6] Kinzler R J, Grove T L. Correlations and further discussion of the primary magmas of mid—ocean ridge basalts[J]. *Geophys. Res.*, 1993, 98: 22339—22347.
- [7] 刘丛强,解广轰,增田彰正. 中国东部玄武岩的地球化学——I. 主量元素和微量元素组成: 岩石成因及源区特征[J]. *地球化学*, 1995, 24(1): 1—19.
Liu Congqiang, Xie Guanghong, Akimasa Masuda. Geochemistry of Cenozoic basalt from eastern China (I) major element and trace element compositions: petrogenesis and characteristics of mantle source[J]. *Geochimical*, 1995, 24(1): 1—19. (in Chinese with English abstract)
- [8] 刘丛强,解广轰,增田彰正. 中国东部玄武岩的地球化学——II. Sr, Nd, Ce 同位素组成[J]. *地球化学*, 1995, 24(3): 203—214.
Liu Congqiang, Xie Guanghong, Akimasa Masuda. Geochemistry of Cenozoic basalt from eastern China (II) Sr, Nd, and Ce isotope compositions[J]. *Geochimical*, 1995, 24(3): 203—214. (in Chinese with English abstract)
- [9] 邢光福,杨祝良,毛建仁,舒良树,沈加林,孙强辉,陈荣,陶奎元. 东南大陆缘早侏罗世火成岩特征及其构造意义[J]. *地质通报*, 2002, 21(7): 384—391.
Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Mao Jianren, Shu Liangshu, Shen Jialin, Sun Qianghui, Chen Rong, Tao Kuiyuan. Characteristics of Early Jurassic igneous rocks on the continental margin of southeastern China and their tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(7): 384—391. (in Chinese with English abstract)
- [10] 李献华,周汉文,刘颖,李寄嶠,陈正宏,于津生,桂训唐. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: 1. 岩石学和同位素地质年代学[J]. *地球化学*, 2000, 29(6): 513—520.
Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, Li Jiayu, Chen Zhenhong, Yu Jinsheng, Gui Xuntang. Mesozoic shoshonitic intrusives in the Yangchun Basin, western Guangdong, and their tectonic significance: 1. Petrology and isotope geochronology[J]. *Geochimical*, 2000, 29(6): 513—520. (in Chinese with English abstract)
- [11] 贾大成,胡瑞忠,谢桂青. 湘东北中生代基性岩脉岩地球化学特征[J]. *矿物岩石*, 2002, 22(3): 37—41.
Jia Dacheng, Hu Riuzhong, Xie Guiqing. Lithogeochemical characteristics of Mesozoic mafic dikes in northeast Hunan province[J]. *Mineral Petrol.*, 2002, 22(3): 37—41. (in Chinese with English abstract)
- [12] 贾大成,胡瑞忠,卢焱. 湘东南玄武质岩石地球化学特征及构造环境[J]. *吉林大学学报*, 2002, 32(3): 209—214.
Jia Dacheng, Hu Riuzhong, Lu Yan. Lithogeochemical characteristics and tectonic setting of basaltic rocks in southeastern Hunan province[J]. *J. Jilin University (Earth Science Edition)*, 2002, 32(2): 209—214. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李超文,王岳军,郭锋,彭头平,喻晓彬. 汝城地区晚中生代火山岩地球化学特征及对源区属性的指示[J]. *大地构造与成矿学*, 2002, 26(4): 354—362. (in Chinese with English abstract)
Li Chaowen, Wang Yuejun, Guo Feng, Peng Touping, Yu Xiaobin. Geochemistry of late Mesozoic volcanic rocks in Rucheng and its implication for the source nature[J]. *Geotectonics et Metallogenia*, 2002, 26(4): 354—362. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王元龙,张旗,王焰. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17(4): 565—575.
Wang Yuanlong, Zhang Qi, Wang Yan. Geochemical characteristics of volcanic rocks from Ningwu area, and its significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(4): 565—575. (in Chinese with English abstract)
- [15] 邢凤鸣,徐祥. 安徽沿江地区中生代岩浆岩的基本特点[J]. *岩石学报*, 1995, 11(4): 409—422.
Xing Fengming, Xu Xiang. The essential feature of magmatic rocks along the Yangtze River in Anhui Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(4): 409—422. (in Chinese with English abstract)

- [16] 孙冶东, 杨荣勇, 任启江, 刘孝善. 安徽庐枞中生代火山岩系的特征及其形成的构造背景[J]. 岩石学报, 1994, 10(1): 94—103.
Sun Yedong, Yang Rongyong, Ren Qijiang, Liu Xiaoshan. Discussion on the characteristic and tectonic setting of the Mesozoic volcanic sequences in Lujiang-Zongyang area[J]. Acta Petrologica Sinica, 1994, 9(1): 94—103. (in Chinese with English abstract)
- [17] 邱检生, 王德滋, 曾家湖, Brent I A. McInnes. 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[J]. 高校地质学报, 1997, 3(4): 384—395.
Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Zeng Jiahu, Brent I A McInnes. Study on trace element and Nd-Sr isotopic geochemistry of Mesozoic potash-rich volcanic rocks and lamprophyres in western Shandong Province[J]. Geological J. China Universities, 1997, 3(4): 384—395. (in Chinese with English abstract)
- [18] 李伍平, 路凤香, 李献华, 周瑶琪, 孙善平, 李家振, 章大港. 北京西山髻髻山组火山岩的地球化学特征与岩浆起源[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(2): 123—133.
Li Wuping, Lu Fengxiang, Li Xianhua, Zhou Yaoqi, Sun Shanping, Li Jiazhen, Zhang Dagang. Geochemical features and origin of volcanic rocks of Tiaojishan formation in Western Hills of Beijing[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2001, 20(2): 123—133. (in Chinese with English abstract)
- [19] 周新华, 张国辉, 杨进辉, 陈文寄, 孙敏. 华北克拉通北缘晚中生代火山岩 Sr-Nd-Pb 同位素填图及意义[J]. 地球化学, 2001, 30(1): 10—23.
Zhou Xinhua, Zhang Guohui, Yang Jinghui, Chen Wenji, Sun Min. Sr-Nd-Pb isotope mapping of Late Mesozoic volcanic rocks across northern margin of North China Craton and implications to geodynamic process[J]. Geochimica, 2001, 30(1): 10—23. (in Chinese with English abstract)
- [20] 葛文春, 林强, 孙德有, 吴福元, 元钟宽, 李文远, 陈明植, 尹成孝. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征: 壳幔相互作用的证据[J]. 岩石学报, 1999, 15(3): 397—407.
Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Yin Chongkuan, Lee Moonwon, Jin Myungshik, Yun Sunghyo. Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Daxinganling: Evidence of the mantle—crust interaction[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(3): 397—407. (in Chinese with English abstract)
- [21] 谢智, 陈江峰, 张翼, 周泰禧. 北淮阳晓天盆地早白垩世玄武岩地球化学: 富集地幔的证据[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(1): 28—31.
Xie Zhi, Chen Jiangfeng, Zhang Yun, Zhou Taixi. Geochemistry of early Cretaceous basalt in the Xiaotian basin, North Huaiyang region: evidence of enriched mantle[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2003, 22(1): 28—31. (in Chinese with English abstract)
- [22] Zou H B, Zinder A, Xi X S, *et al*, Major, trace element, and Nd, Sr and Pb isotope studies of Cenozoic basalts in SE China: Mantle source, regional variations, and tectonic significance[J]. Chem. Geol., 2000, 117: 33—47.
- [23] 李献华, 周汉文, 刘颖, 李寄嶓, 孙敏, 陈正宏. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[J]. 科学通报, 1999, 44: 1992—1998.
Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, Li Jiyu, Sun Min, Chen Zhenhong. Shoshonitic intrusives belt in southeastern Guangxi province, and their litho-geochemical and geochemical characteristics[J]. Chinese Sci. Bull., 1999, 44: 1992—1998. (in Chinese)
- [24] Yu J H, Xu X S, O'Reill S Y, Griffin W L, Zhang M. Granulite xenoliths from Cenozoic Basalts in SE China provide geochemical fingerprints to distinguish lower crust terranes from the North and South China tectonic blocks[J]. Lithos, 2003, 67: 77—102.

Geochemical Characteristics of Major Elements of Mesozoic-Cenozoic Basaltic Rocks from Eastern China

XIE Xian-jun, LING Wen-li

School of Earth Science, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China

Abstract: The $\text{MgO}=8\%$ normalized lithochemical compositions of Mesozoic basaltic rocks from eastern China show high ratios of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, high contents of SiO_2 and low ratios of $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$. However, those of the Cenozoic basaltic rocks show features of low SiO_2 contents, low ratios of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ and high contents of Fe_{K_0} and Na_{K_0} , and high ratios of $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$. These are obviously different those (high Fe_{K_0} and low Na_{K_0} , $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) of the shoshonitic rocks, which were believed to have been formed by ascending of atmosphere and stretching of lithosphere, from southeast Guangxi Province. This indicates that the tectonic background for the formation of Mesozoic-Cenozoic basaltic rocks in eastern China is different to that for the formation of the shoshonitic rocks in southeastern Guangxi. The major elemental geochemical variations between the Mesozoic and Cenozoic basaltic rocks in the eastern China reflect that they were derived from different magma sources.

Key words: eastern China; basaltic rock; Mesozoic-Cenozoic