

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2020.02.012

拉萨地块西部亚热地区林子宗群火山岩地球化学特征及其构造意义

曹延^{1,2}, 杨锋^{1,2}, 李岱鲜^{1,2}, 陈欢^{1,2},
周桐^{1,2}, 刘冬梅^{1,2}, 李衣鑫^{1,2}

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004;

2. 桂林理工大学广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 广泛分布于拉萨地块南部的林子宗群火山岩被普遍认为是新特提斯洋北向俯冲消减结束并由同碰撞向后碰撞构造背景转化过程中的岩浆作用产物, 记录了从新特提斯洋俯冲结束到印度-欧亚大陆碰撞-后碰撞的丰富信息。本文对采集于拉萨地块西部亚热地区的林子宗群火山岩样品进行了年代学和岩石地球化学研究, 结果显示: 林子宗群火山岩为一套钾玄质系列的流纹岩, 该岩石具有高硅 ($w(\text{SiO}_2) = 73.90\% \sim 74.03\%$)、高钾 ($w(\text{K}_2\text{O}) = 6.15\% \sim 6.28\%$)、高钾钠比 ($w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O}) = 2.14 \sim 2.65$), 富集 K、Rb、Th、U、Hf 等元素, 亏损 Nb、Ta、P、Ti、Sr 等元素, 具有明显的 Eu 负异常; 林子宗群火山岩样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $50.1 \text{ Ma} \pm 0.3 \text{ Ma} - 51.3 \text{ Ma} \pm 0.4 \text{ Ma}$ 之间; 结合前人研究, 笔者认为亚热地区林子宗群火山岩为形成于印度-欧亚大陆同碰撞背景下的大陆地壳部分熔融的产物。

关键词: 林子宗群; 地球化学特征; 构造意义; 拉萨地块; 西藏

中图分类号: P588.14 **文献标识码:** A

0 引言

拉萨地块南部是印度-欧亚大陆碰撞的前沿地带, 其上广泛分布的林子宗群火山岩长期以来被认为是新特提斯洋北向俯冲到陆陆碰撞及造山过程中的岩浆作用产物^[1-2]。其成因蕴含着从新特提斯洋俯冲到印度-亚洲大陆碰撞造山的丰富信息, 可以为印度-欧亚大陆碰撞时限及过程提供火山岩证据, 因此受到地学界的广泛关注并取得了大量的研究成果^[3-17]。前人通过对林周地区林子宗群火山岩剖面的研究, 将其从下到上分为典中组、年波组和帕那

组。前人对林子宗群帕那组火山岩研究发现, 其形成时代、构造背景和成因存在较大争议。帕那组火山岩年龄从 $53.9 \text{ Ma} - 38.7 \text{ Ma}$ 之间均有报道^[6-8, 11-12, 15, 18], 部分学者认为这与印度大陆和亚洲大陆的碰撞具有穿时性有关^[18]; 帕那组火山岩的形成构造背景主要有两种观点, 分别认为帕那组火山岩是后碰撞作用的产物^[3, 19]和同碰撞作用的产物^[11, 20-23]; 其岩浆成因多数学者认为其形成于地壳部分熔融^[13, 24-25]。近年来有学者认为帕那组火山岩经历了封闭条件下的高度分离结晶作用, 其岩浆来源于富集岩石圈地幔和局部下地壳^[15]。

由上可知, 印度-欧亚大陆碰撞之后的林子宗火山岩的形成时代、构造背景以及岩浆形成机制等方

收稿日期: 2019-09-23; **改回日期:** 2019-11-21; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:41463001)、广西高校中青年教師科研基础能力提升项目(编号:2019KY0291)联合资助。

作者简介: 曹延(1995—), 男, 在读硕士生, 地球化学专业。通信地址: 广西省桂林市桂林理工大学地球科学学院; 邮政编码: 541004; E-mail: 1803982902@qq.com

通信作者: 杨锋(1981—), 男, 硕士, 高级实验师, 主要从事分析地球化学研究工作。通信地址: 广西省桂林市桂林理工大学地球科学学院; 邮政编码: 541004; E-mail: yangfeng@glut.edu.cn

面研究结果存在较大的差异。为了进一步认识林子宗群火山岩的地球化学特征、岩浆源区特征以及形成的构造环境,本文基于对拉萨地块西部亚热地区的林子宗群火山岩进行全岩主微量地球化学研究,结合之前发表的年龄数据^[26],以期探讨林子宗群火山岩的地球化学特征及其构造意义。

1 地质背景及样品位置

研究区位于西藏自治区南部革吉县,地处拉萨地块西部,该地区发育的中-新生代火山岩地层主要有中生界则弄群、捷嘎组以及新生界林子宗群。据前人所做的 1:25 万亚热幅区域调查资料^①显示,本文所研究的 2 个样品产自亚热地区的则弄群(图 1);则弄群是一套以中酸性火山岩及火山碎屑岩类夹沉积岩为主的火山-沉积岩系,岩性主要为安山岩、英安岩及流纹岩、流纹质凝灰岩、流纹质角砾凝灰岩、火山碎屑沉积岩等。

前人^[26]曾对本文研究的 2 件火山岩样品进行过薄片鉴定:15ZN-05 样品为英安岩,呈紫红色,斑状结构,块状构造,斑晶以斜长石和石英为主(含量

约为 45%),基质主要由暗色的英安质、斜长石和石英微晶组成(含量约为 55%);15ZN-06 样品为流纹岩,呈紫红色,斑晶为石英和正长石,斑晶含量约为 21%,基质由隐晶石英、长石和玻璃质组成,含量约为 79%。样品 15ZN-05、15ZN-06 的锆石 U-Pb 测年数据已经发表,结果分别为 $51.3\text{ Ma} \pm 0.4\text{ Ma}$ 、 $50.1\text{ Ma} \pm 0.3\text{ Ma}$,并把该地区则弄群火山岩地层重新厘定为林子宗群火山岩^[26]。

2 分析方法和结果

林子宗群火山岩主量元素测试在廊坊市中铁物探勘察有限公司完成,测试采用碱熔玻璃片 XRF 法分析。稀土、微量元素测试由桂林理工大学广西隐伏金属矿产勘查重点实验室完成,稀土、微量元素分析采用酸溶法,使用 Agilent-7500cx 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测试。主量元素分析精度好于 5%,稀土、微量元素分析精度优于 10%,相关分析方法和程序参见文献^[27]。

相关分析的数据结果,如表 1—表 3 所述。

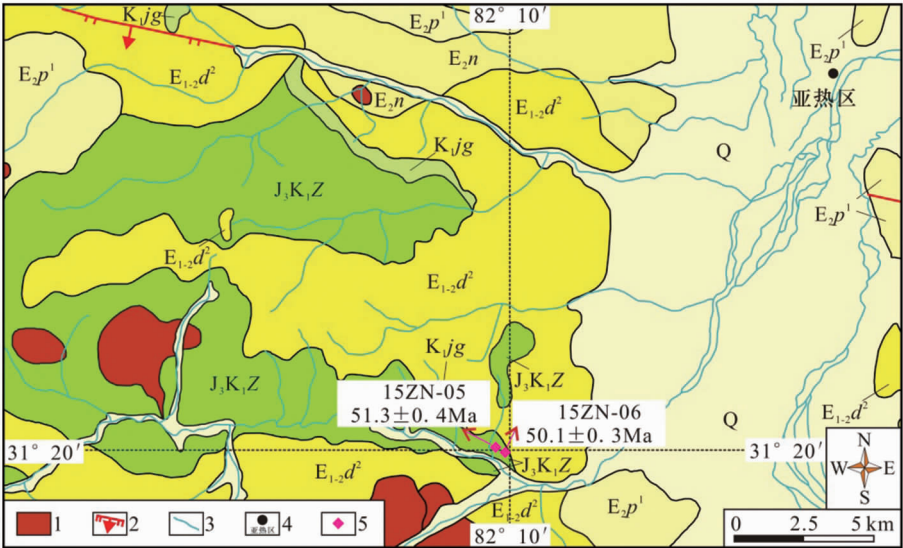


图 1 拉萨地块亚热地区地质简图^①

Fig. 1 Geological sketch of Yare area in the region of Lhasa block

Q. 第四系; E_2p^1 . 帕那组一段; E_2n . 年波组; $E_{1-2}d^2$. 典中组二段;

K_1jg . 捷嘎组; J_3K_1Z . 则弄群

1. 新生代侵入体; 2. 正断层; 3. 水系; 4. 亚热区; 5. 采样位置

表 1 亚热地区林子宗群火山岩主量元素测试结果

Table 1 Analysis of major elements of volcanics of Linzizong group

样品编号	15ZN-05	15ZN-06
SiO ₂	73.14	72.84
Al ₂ O ₃	14.74	14.47
TFe ₂ O ₃	1.33	1.41
MgO	0.169	0.523
CaO	0.240	0.529
Na ₂ O	2.83	2.33
K ₂ O	6.08	6.19
MnO	0.029	0.031
TiO ₂	0.176	0.195
P ₂ O ₅	0.053	0.041
LOI	1.19	1.44
TOTAL	99.98	100.00
Mg [#]	22.86	46.30
A/CNK	1.26	1.26
w(Na ₂ O+K ₂ O)	9.02	8.64
w(K ₂ O)/w(Na ₂ O)	2.14	2.65

量单位:w_B/‰。

表 2 亚热地区林子宗群火山岩稀土元素测试结果

Table 2 REE analysis of volcanics of Linzizong group

样品编号	15ZN-05	15ZN-06
La	60.10	63.06
Ce	106.44	99.17
Pr	11.18	11.29
Nd	36.83	37.01
Sm	6.12	6.01
Eu	0.53	0.83
Gd	5.39	5.38
Tb	0.88	0.96
Dy	4.90	4.42
Ho	1.00	1.04
Er	2.95	2.58
Tm	0.57	0.69
Yb	3.74	3.14
Lu	0.56	0.68
w(ΣREE)	241.18	236.27
w(ΣLREE)	221.20	217.37
w(ΣHREE)	19.98	18.90
w(ΣLREE)/w(ΣHREE)	11.07	11.50
w(La) _N /w(Yb) _N	11.52	14.42
w(Gd) _N /w(Yb) _N	1.19	1.42
δEu	0.28	0.45
δCe	1.01	0.91

量单位:w_B/10⁻⁶。

表 3 亚热地区林子宗群火山岩微量元素测试结果

Table 3 Trace element analysis of volcanics of Linzizong group

样品编号	15ZN-05	15ZN-06
V	12.50	14.22
Cr	7.73	9.36
Co	0.71	1.43
Ni	0.31	12.50
Ga	11.72	8.34
Rb	244.96	232.11
Sr	71.67	53.16
Y	28.04	23.37
Zr	187.86	157.45
Nb	19.78	16.79
Cs	8.08	4.84
Ba	212.23	118.95
Hf	6.21	5.18
Ta	1.63	1.48
Th	34.37	31.37
U	5.61	3.14
K	51051.89	52106.63
Ti	1066.37	1184.07

量单位:w_B/10⁻⁶。

3 火山岩地球化学特征

(1) 主量元素特征

本文林子宗群火山岩的主量元素测试结果见表 1。林子宗群火山岩的 SiO₂ 含量为 73.90%~74.03%，平均为 73.97%，Na₂O+K₂O 含量为 8.64%~9.02% (平均 8.83%)，w(K₂O)/w(Na₂O) 值为 2.14~2.65；Al₂O₃ 含量为 14.68%~14.92% (平均 14.80%)，A/CNK 值为 1.26，属强过铝质岩石。样品在火山岩硅-碱图(图 2a)中的投点落入流纹岩区域，在 w(SiO₂)—w(K₂O)图(图 2b)中主要落入钾玄岩系列。整体上看，本文林子宗群火山岩与林周、朱诺地区帕那组火山岩具有相似特征，呈现富碱、富硅的化学特征。

(2) 稀土元素和微量元素特征

本文林子宗群火山岩的稀土元素、微量元素测试结果见表 2 和表 3。

林子宗群火山岩稀土元素总量为 w(ΣREE)=236.27×10⁻⁶~241.18×10⁻⁶，变化范围较小；其球粒陨石标准化 REE 配分模式图表现为轻稀土富集右倾型(图 3a)；w(ΣLREE)/w(ΣHREE) 值为 11.07~11.50，w(La)_N/w(Yb)_N 值为 11.52~

14.42, 指示林子宗群火山岩轻重稀土分异明显, $w(\text{Gd})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 值在 1.19~1.42 之间, 指示重稀土元素基本无明显分异。火山岩 $\delta\text{Eu} = 0.28 \sim 0.45$, 具有强的负 δEu 异常, 这可能与岩浆演化过程中斜长石分离结晶作用有关或在地壳源区部分熔融过程中作为难熔残余相有关。

从林子宗群火山岩微量元素蛛网图(图 3b)中不难看出, 火山岩富集 K、Rb、Th、U、Hf 等元素, 亏损 Nb、Ta、Ti、Sr 等元素。本文林子宗群火山岩与林周、朱诺地区林子宗群帕那组火山岩样品具有类似的微量元素分布形式, 暗示其可能有相同的源区; 火山岩 Ti 具有强烈亏损的特点, 并且表现出明显 Sr 负异常, 可能与岩浆演化过程中钛铁矿物和斜长石的明显结晶分离有关。

4 讨论

(1) 关于火山岩源区

研究区火山岩岩性为流纹岩, 具有高的 K_2O 含量(6.15%~6.28%)、低的 MgO 含量(0.17%~0.53%), A/CNK 值为 1.26, 显示强过铝岩石的特点。主量元素特征显示, 本文火山岩来源以壳源物质为主。本次研究火山岩样品具有较低的 $\text{Mg}^\#$ 值, 平均为 34.58; 一般认为玄武质岩浆的 $\text{Mg}^\#$ 值应为 68~75^[33], 与下地壳部分熔融有关的岩浆产物的镁值一般小于 40^[34], 暗示本文林子宗群火山岩可能与下地壳部分熔融有关。林子宗群火山岩富集 K、Rb、Th、U、Hf 等元素, 亏损 Nb、Ta、Ti、Sr 等元素,

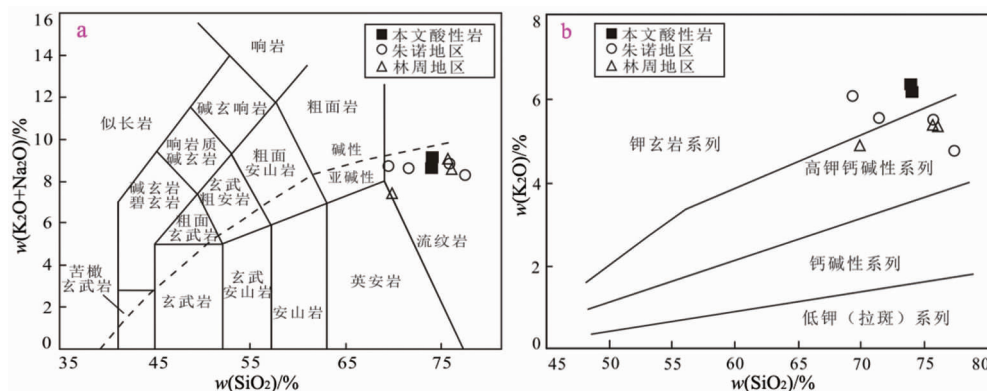


图 2 林子宗群火山岩 TAS 分类图解(a)、 $w(\text{SiO}_2)$ — $w(\text{K}_2\text{O})$ 判别图解(b)

Fig. 2 TAS (a) and $w(\text{SiO}_2)$ — $w(\text{K}_2\text{O})$ diagram (b) of volcanics of Linzizong Group

a. 底图据文献[28]; b. 底图据文献[29]; 林周、朱诺数据据文献[11, 30]

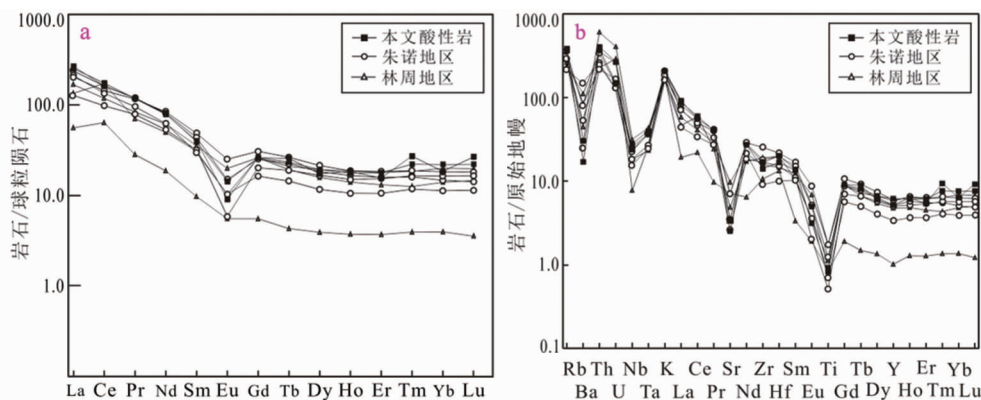


图 3 亚热地区林子宗群火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分图(a)、原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)

Fig. 3 Chondrite-normalized rare earth elements distribution patterns (a) of volcanics of Linzizong Group and Primitive mantle-normalized incompatible elements spider diagram (b) of volcanic rocks of Linzizong group

球粒陨石标准化值据文献[31]; 原始地幔标准化值据文献[32]; 林周、朱诺数据据文献[11, 30]

这与典型的弧火山岩特征(Nb、Ta、Ti 亏损, Rb、Th、U、K、Pb 富集^[2])存在差异, 但与林周、朱诺地区帕那组具有相似的特征; 大离子亲石元素 Ba 也呈明显的负异常, 表明岩浆源区存在壳源物质^[35], 与林周、朱诺地区帕那组相似。此外, 酸性火山岩 $w(\text{Nb})/w(\text{Ta})$ 值介于 11.30~12.09 之间, 远低于幔源岩浆比值(17.5 ± 2), 符合壳源岩浆比值(11~13)特征^[36]; $w(\text{Zr})/w(\text{Hf})$ 值介于 30.3~30.4 之间, 明显低于原始地幔值($w(\text{Zr})/w(\text{Hf}) = 36$ ^[37]); $w(\text{Sm})/w(\text{Nd})$ 值为 0.16~0.17, 均远小于 0.3, 指示岩浆来源于壳源^[38]。在稀土元素配分模式图中, 该火山岩具有明显的 Eu 负异常, 一般认为产生 Eu 负异常的原因与斜长石在岩浆中的分离结晶或在地

壳源区部分熔融过程中作为难熔残余有关。在 $w(\text{La})/w(\text{Sm})-w(\text{La})$ 图解中(图 4), 本文林子宗群火山岩分布在平衡部分熔融趋势线附近, 显示研究区岩浆在演化的过程中主要受到平衡部分熔融作用的控制。综上, 林子宗群火山岩可能为地壳源区部分熔融所形成。

(2) 火山岩形成构造背景

随着锆石 U-Pb 定年技术的广泛应用, 结合岩浆活动的空间变化规律和岩石学地球化学资料, 目前大多数学者认为印度-欧亚大陆的初始碰撞发生在 55 Ma 左右^[39]。林子宗群火山岩是拉萨地块典型的新生代火山岩, 形成于新特提斯洋俯冲削减向印度-欧亚大陆碰撞转化期间^[17]。本文林子宗群火山岩的锆石 U-Pb 年龄 $50.1 \text{ Ma} \pm 0.3 \text{ Ma}-51.3 \text{ Ma} \pm 0.4 \text{ Ma}$, 处于印度-欧亚板块陆陆碰撞时期; 该火山岩具有高钾(6.38%~6.15%)、高 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值、强过铝质地球化学特征, 为一套过铝的钾玄质系列岩石, 反映其为陆壳加厚背景下的火山岩。俯冲带内钾玄质岩石的出现, 是大陆岩石圈俯冲结束、陆内汇聚开始的岩石学标志^[17]; 本文林子宗群火山岩在 $w(\text{Rb})-w(\text{Yb}+\text{Ta})$ 构造判别图(图 5a)解中, 火山岩归入同碰撞带内; 在 $w(\text{Rb})/10-w(\text{Hf})-w(\text{Ta}) \times 3$ 构造环境判别图解(图 5b)中, 该火山岩与中东部帕那组火山岩(流纹岩和英安岩为主)一致, 均落入同碰撞的构造环境。综上所述, 本文林子宗群火山岩形成于陆壳重熔及地壳加厚的构造环境, 应属印度-亚洲大陆同碰撞的产物。

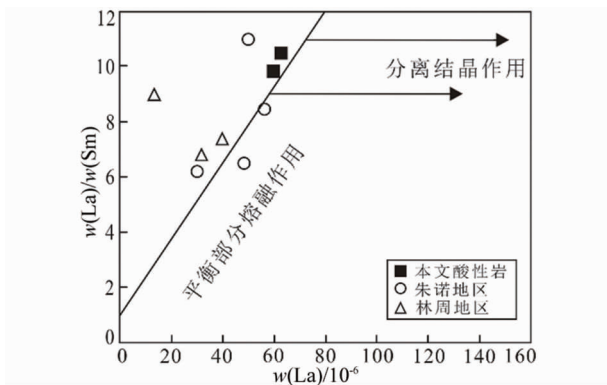


图 4 林子宗群火山岩平衡部分熔融与分离结晶作用图解

Fig. 4 Equilibrium partial melting and separation crystallization diagram of volcanic rocks of Lizizong Group

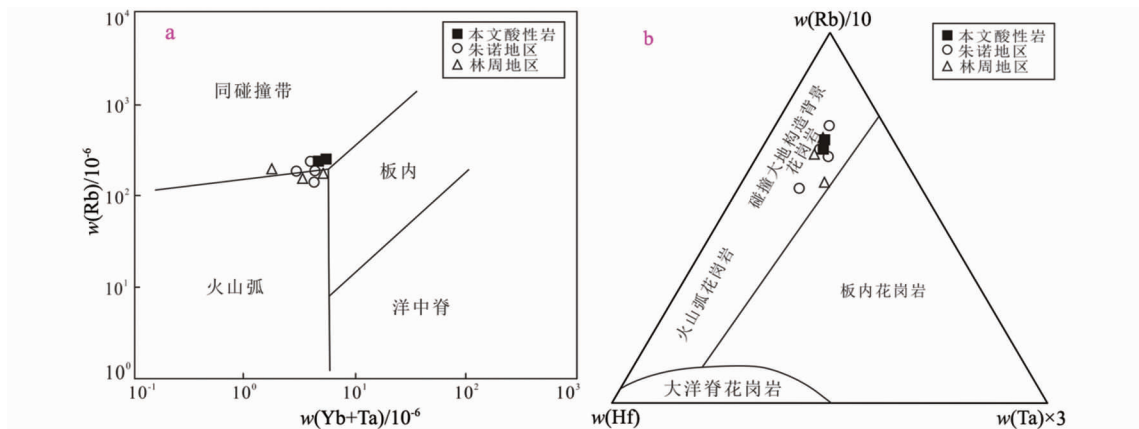


图 5 亚热地区林子宗群火山岩 $w(\text{Rb})-w(\text{Yb}+\text{Ta})$ 图解(a)和 $w(\text{Rb}/10)-w(\text{Hf})-w(\text{Ta} \times 3)$ 图解(b)

Fig. 5 $w(\text{Rb})-w(\text{Yb}+\text{Ta})$ (a) and $w(\text{Rb}/10)-w(\text{Hf})-w(\text{Ta} \times 3)$ (b)

diagrams of of Lizizong Group volcanic rocks

林周、朱诺数据文献[11,30]

5 结语

通过对拉萨地块西部亚热地区林子宗群火山岩地球化学特征,可以得出以下结论:

(1)前人^[26]对本文研究样品(原“则弄群”火山岩)的年代学研究结果显示该火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $50.1 \text{ Ma} \pm 0.3 \text{ Ma}$ — $51.3 \text{ Ma} \pm 0.4 \text{ Ma}$,应将其重新厘定为林子宗群火山岩。

(2)该火山岩地球化学特征显示:火山岩为一套钾玄质系列的流纹岩,该岩石具有高硅($w(\text{SiO}_2) = 73.90\% \sim 74.03\%$)、高钾($w(\text{K}_2\text{O}) = 6.15\% \sim 6.28\%$)、高钾钠比($w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O}) = 2.14 \sim 2.65$),富集 K、Rb、Th、U、Hf 元素、亏损 Nb、Ta、P、Ti、Sr、Ba 元素,具有明显的 Eu 负异常;此火山岩可能为地壳源区部分熔融所形成。

(3)结合前人及周边地区的林子宗群火山岩研究成果资料分析,笔者认为亚热地区林子宗群火山岩为形成于陆壳重熔及地壳加厚的构造环境,可能是印度-亚洲大陆同碰撞时期地壳源区部分熔融所形成。

注释:

- ① 张振利,张计东,魏文通,等. 中华人民共和国 1:25 万亚热幅区域地质调查报告[R]. 石家庄:河北地质调查院,2006.

参考文献:

- [1] Lee H Y, Chung S L, Lo C H, et al. Eocene Neotethyan slab break off in southern Tibet inferred from the Linzizong volcanic record [J]. *Tectonophysics*, 2009, 477: 20–35.
- [2] Mo X X, Niu Y, Dong G C, et al. Contribution of syn-collisional felsic magma time to continental crust growth: A case study of the Paleogene Linzizong volcanic succession in southern Tibet [J]. *Chemical Geology*, 2008, 250: 49–67.
- [3] Coulon C, Maluski H, Bollinger C, et al. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating, petrological characteristics and geodynamical significance [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1986, 79(3/4): 281–302.
- [4] 贾建称,温长顺,王根厚,等. 冈底斯地区林子宗群火山岩岩石地球化学特征及地球动力学意义[J]. *中国地质*, 2005, 32(3): 396–404.
- [5] Mo X X, Zhao Z D, Zhou S, et al. On the timing of India-Asia continental collision [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(10): 1240–1244.
- [6] 董国臣,莫宣学,赵志丹,等. 西藏林周盆地林子宗火山岩研

- 究近况[J]. *地学前缘*, 2002, 9(1): 153–153.
- [7] 董国臣,莫宣学,赵志丹,等. 拉萨北部林周盆地林子宗火山岩层序新议[J]. *地质通报*, 2005, 24(6): 549–557.
 - [8] 周肃,莫宣学,董国臣,等. 西藏林周盆地林子宗火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代格架[J]. *科学通报*, 2004, 49(20): 2095–2103.
 - [9] He S, Kapp P, DeCelles P G, et al. Cretaceous-Tertiary geology of the Gangdese arc in the Linzhou area, southern Tibet [J]. *Tectono & physics*, 2007, 433(1/4): 15–37.
 - [10] 黄圭成,李志昌,邱瑞照,等. 西藏冈底斯西段狮多地区火山岩的地质地球化学特征[J]. *现代地质*, 2004(12): 511–517.
 - [11] 梁银平,朱杰,次邛,等. 青藏高原冈底斯带中部朱诺地区林子宗群火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. *地球科学*, 2010, 35(2): 211–223.
 - [12] 周肃,方念乔,董国臣,等. 西藏林子宗火山岩氩-氦年代学研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20(4): 317–319.
 - [13] 于枫,李志国,赵志丹,等. 西藏冈底斯带中西部措麦地区林子宗群火山岩地球化学特征及意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(7): 2217–2225.
 - [14] Chen J, Huang B, Sun L. New constraints to the onset of the India-Asia collision: Paleomagnetic reconnaissance on the Linzizong Group in the Lhasa Block, China [J]. *Tectonophysics*, 2010, 489(1/4): 189–209.
 - [15] 谢克家,曾令森,刘静,等. 藏南昂仁县桑桑地区林子宗群火山岩的形成时代和地球化学特征[J]. *地质通报*, 2011, 30(9): 1339–1352.
 - [16] 谢冰晶,周肃,谢国刚,等. 西藏冈底斯中段孔隆至丁仁勒地区林子宗群火山岩锆石 SHRIMP 年龄和地球化学特征的区域对比[J]. *岩石学报*, 2013, 29(11): 3803–3814.
 - [17] 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. *地学前缘*, 2003(3): 135–148.
 - [18] 付文春,康志强,潘会彬. 西藏冈底斯带西段狮泉河地区林子宗群火山岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *地质通报*, 2014, 33(6): 850–859.
 - [19] Wan X, Jansa L F, Sarti M. Cretaceous and Tertiary boundary strata in southern Tibet and their implication for India-Asia collision [J]. *Lithos*, 2002, 35(2): 131–146.
 - [20] 鲍春辉,丁枫,王乾,等. 西藏措勤县雄玛地区始新统林子宗群帕那组火山岩地球化学特征及构造背景[J]. *地质论评*, 2014, 60(2): 275–284.
 - [21] Garzanti E, Baud A, Mascle G, et al. Sedimentary record of the northward flight of India and its collision with Eurasia (Ladakh Himalaya, India) [J]. *Geodinamica Acta*, 1987, 1(4–5): 297–312.
 - [22] Searle M P, Windley B F, Coward M P, et al. The closing of Tethys and the tectonics of the Himalaya [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1987, 98(6): 678–701.
 - [23] 杨辉,向树元,王欣,等. 西藏马乡地区典中组年龄厘定及其构造背景[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(4): 89–96.
 - [24] 李再会,郑来林,李军敏,等. 冈底斯中段林子宗火山岩岩石地球化学特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2008, 27(1): 20–27.

- [25] 黄映聪, 杨德明, 郑常青, 等. 西藏林周县扎雪地区林子宗群帕那组火山岩的地球化学特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2005, 35(5): 576–580.
- [26] 李强, 冉孟兰, 康志强, 等. 拉萨地块西部亚热区则弄群火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 桂林理工大学学报, 2017, 37(4): 561–569.
- [27] 刘颖, 刘海臣, 李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学, 1996(6): 552–558.
- [28] Bas M J L, Maitre R W L, Streckeisen A, et al. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram [J]. *Journal of Petrology*, 1986, 27(3): 745–750.
- [29] Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins [J]. *American Journal of Science*, 1974, 274(4): 321–355.
- [30] Mo X X, Hou Z Q, Niu Y L, et al. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision Evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet [J]. *Lithos*, 2007, 96: 225–242.
- [31] Taylor S R, McLennan S M. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* [M]. Oxford: Blackwell, 1985.
- [32] 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.
- [33] Green D H. Experimental Testing of Equilibrium Partial Melting of Peridotite under Water-saturated, High-pressure Conditions [J]. *The Canadian Mineralogist*, 1976, 14(3): 255–268.
- [34] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust [J]. *Nature*, 1993, 362(6416): 144–146.
- [35] 赵志丹, 莫宣学, 张双全, 等. 西藏中部乌郁盆地碰撞后岩浆作用——特提斯洋壳俯冲再循环的证据[J]. 中国科学: 地球科学, 2001(s1): 20–26.
- [36] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition and evolution [J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1986, 42: 196–197.
- [37] Boynton W V. Chapter 3-Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies [J]. *Developments in Geochemistry*, 1984, 2(2): 63–114.
- [38] 陈德潜, 陈刚. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.
- [39] 王青. 拉萨地体南北两侧碰撞后岩浆作用的岩浆起源和岩石成因[D]. 北京: 中国地质大学, 2016.

Geochemistry and geological significance of volcanic rocks of the Linzizong Group, Yare area, western Lhasa Block

CAO Yan^{1,2}, YANG Feng^{1,2}, LI Daixian^{1,2}, CHEN Huan^{1,2},

ZHOU Tong^{1,2}, LIU Dongmei^{1,2}, LI Yixin^{1,2}

(1. School of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract: Volcanic rocks of the Linzizong Group widely distributed in the southern part of the Lhasa Block are considered to be the product of magmatism during ending of the northward subduction of Neo-Tethys Ocean and the transition from syn-collision to post-collision thus keep abundant information from ending of the northward subduction of Neo-Tethys Ocean to Indian-Eurasian continent-continent collision. This paper has carried out chronological and petrochemical studies on the samples of the Linzizong Group volcanic rocks collected in the western sub-thermal region of the Lhasa block. The results show that it is a set of potassium basaltic series of rhyolites with high SiO₂ (73.90%~74.03%), high K₂O (6.15%~6.28%), high K₂O/Na₂O (2.14~2.65%) enrichment of K, Rb, Th, U, Hf and other elements and depletion of Nb, Ta, P, Ti, Sr, Ba and other elements and a significant Eu negative anomaly. The LA-ICP-MS zircon U-Pb age of the acid rock samples is between 50.1 Ma±0.3 Ma and 51.3 Ma±0.4 Ma. Combined with the previous data the author considers that the volcanic rock is the product of partial melting of continental crust during syn-collision of Indian and Eurasian continents.

Key Words: Linzizong Group; geochemical characteristics; structural meaning; Lhasa Block; Tibet