

文章编号: 1009-6248(2005)01-0015-11

羌塘地块南界班公湖- 丁青断裂构造带 火山岩地球化学及其形成构造环境

李永飞, 王 娟

(西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘 要: 利用岩石地球化学的方法, 研究了羌塘地块南界班公湖- 丁青断裂带中晚中生代火山岩。结果表明, 研究区火山岩由拉斑系列大洋玄武岩 (MORB) 和钙碱性系列岛弧玄武岩 (IAB)、玄武安山岩、安山岩、英安岩和流纹岩组成。拉斑系列的洋中脊玄武岩微量元素原始地幔的标准化配分型式, 明显不同于 N-MORB 玄武岩, 而具有岛弧型的 MORB 特征 (Ta、Nb 的相对亏损), 说明其成因与岛弧环境有一定联系。本区钙碱性系列的岛弧玄武岩 (IAB)、安山岩、英安岩和流纹岩在 Hacker 图解中, 微量、稀土元素标准化配分型式上显示出岩浆同源性的特征。通过对研究区内分布的大洋玄武岩、岛弧玄武岩厘定, 推断班公湖- 丁青缝合带在晚中生代期间可能发育过一个完整的有限洋盆, 这将对于进一步研究羌塘地块与其周边各地体的大陆动力学作用过程具有重要意义。

关键词: 地球化学; 晚中生代; 羌塘地块; 火山岩

中图分类号: P588.1, P591 **文献标识码:** A

青藏高原位于亚洲大陆的南部, 地处巨型特提斯—喜马拉雅构造域的东段, 具有多类型的沉积建造, 频繁的岩浆活动和变质作用, 以及复杂的地质构造格局, 长期以来引起了国际地学界的瞩目^[1-5]。其中, 最为重要研究课题集中在对青藏高原新特提斯蛇绿岩类型的划分这一方面, 值得肯定的是, 经过多年国内外学者较为系统性的蛇绿岩研究, 对该地区的蛇绿岩带的几个组成端元已经有了比较详细的了解, 并且划分出了若干个蛇绿岩亚带。

羌塘地块南界班公湖—丁青断裂带是青藏高原一条规模巨大的构造带, 它是羌塘地块和冈底斯—念青唐古拉地块的分界^[1-3]。该带内广泛发育有晚中生代的蛇绿岩杂岩体, 是该区侏罗系、白垩系的重要的岩石组成部分。因此, 在前人已有的研究基础上, 将该带内不同地段出露的、不同成因的火山岩块 (蛇绿岩块) 厘定出来, 对进一步研究藏北地区蛇绿岩的成因、类型并且对羌塘地块及其周边各

地体的大陆动力学作用过程具有重要意义^[6-10]。

笔者以羌塘地块南缘火山岩为主要研究对象, 从岩石大地构造学的角度, 利用火成岩石学的约束, 通过岩石构造组合类型的识别、划分, 来反演古板块构造环境。

1 地质概况及火山岩岩石化学

羌塘地块南界班公湖—丁青断裂构造带及其附近广泛发育晚中生代火山岩, 该带南部火山岩主要为海相火山岩, 出露于日土—改则—东巧—其香错一线, 岩石类型主要为玄武岩、变玄武岩、安山岩, 局部见火山角砾岩和凝灰岩, 枕状构造发育; 而该带北部火山岩成互层分布, 火山岩岩性变化相对较大, 但层序清楚。下部为深色枕状、块状玄武岩, 上部为少量玄武岩、安山玄武岩、安山岩、安山质凝灰岩、英安岩、流纹岩及砂岩透镜体, 且可见到玄

收稿日期: 2004-08-06; 修回日期: 2004-12-28

基金项目: 国家自然科学基金 (批准号: 40272042, 40072029)

作者简介: 李永飞 (1980-), 男, 陕西岐山人, 西北大学地质系硕士研究生, 从事岩石学及地球化学研究工作。

武岩与安山玄武岩、英安岩、流纹岩呈互层交替出现。总体来说,构造带内玄武岩十分发育,有枕状块状玄武岩和玄武质砾岩等,有的变质为绿片岩,且常夹放射虫硅质岩及硅、泥质粉砂岩,有的放射虫

多呈构造残片夹杂在侏罗纪轻微变质或未变质的地层中;部分玄武岩在空间上与超镁铁杂岩和放射虫硅质岩密切共生。据中科院地质研究所对硅质岩放射虫的研究,时代属于中-晚侏罗纪。

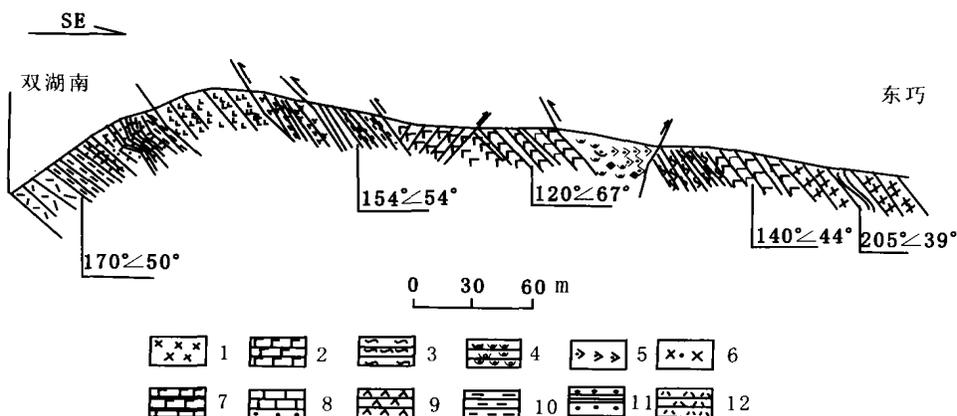


图1 研究区地质剖面图

Fig. 1 Geological profile of the rocks in the study area

1. 蚀变辉绿岩; 2. 玄武岩; 3. 片理化碳酸盐蚀变岩; 4. 蛇纹石化橄榄岩; 5. 方辉橄榄岩; 6. 辉绿岩; 7. 变玄武岩; 8. 下白垩统灰岩、砂岩; 9. 玄武安山岩、安山岩; 10. 中侏罗统泥砂质板岩; 11. 中侏罗统砂岩、千枚岩; 12. 英安、流纹岩

玄武岩: 呈块状、枕状或气孔构造,多具有斑状结构,斑晶含量变化较大(5%~30%),斑晶多为普通辉石和斜长石,少量橄榄石。玄武岩基质结构为填间、球颗结构,其矿物成分为斜长石和辉石。岩石有部分发生绿泥石化和碳酸盐化。

玄武安山岩: 呈气孔、杏仁体构造。斑晶矿物由辉石和斜长石组成,有时出现少量的橄榄石和角闪石。角闪石斑晶往往出现暗化边。基质常为显微间隐结构,由微晶斜长石、普通辉石、磁铁矿及玻璃质等组成。

安山岩: 为本区主要岩石类型,斑晶矿物常由普通辉石、中长石和角闪石、黑云母组成。角闪石和黑云母斑晶常见暗化边结构,斜长石具环带结构,基质多为显微玻晶交织结构,基质由辉石、斜长石、暗色矿物及火山玻璃组成。

英安岩: 斑状构造,斑晶常由斜长石、角闪石、黑云母和石英组成。暗色矿物具暗化边。基质为显微嵌晶结构。常见碳酸岩化和绢云母化。

流纹岩: 灰白色-灰紫色,有的见流动构造,斑状结构。斑晶主要是更长石和石英,少量钾长石、黑云母,总含量15%~25%。基质微晶结构,其矿物成分是钾长石呈球粒集合体或嵌在他形石英中的小

晶体,还有少量磷灰石。普遍绢云母化和方解石化。

本区火山岩中玄武岩按 SiO_2 和 K_2O 的含量划分(表1),主要分为中-低钾玄武岩、中-高钾玄武岩和玄武安山岩,均属于亚碱性系列火山岩(图2),在AFM图解(图3),亚碱性钙碱系列和亚碱性的拉斑系列是两种截然不同的岩浆演化趋势,图中该区玄武岩明显可分为两组:随着 MgO 的降低, $TFeO$ 迅速增加,表明属于拉斑系列;随 MgO 的降低,最初出现微弱的富铁趋势,再迅速转变为明显的富碱趋势,表明属于钙碱性系列(图4)。

第一组: SiO_2 含量低且稳定,介于48.4%~50.99%之间,平均为49.92%;低 K_2O ,而高 TiO_2 ;其中, K_2O 含量的变化范围介于0.39%~1.18%之间,平均为0.86%; TiO_2 介于1.22%~1.96%之间,平均为1.54%,与洋脊拉斑玄武岩的 TiO_2 含量及变化范围相似; Al_2O_3 含量很高,且稳定,大多在13%~17%之间,平均为13.07%。另外,岩石中 $FeO + Fe_2O_3$ 、 MgO 含量高,且 FeO 明显高于 Fe_2O_3 ; CaO 含量介于8.14%~13.34%之间,平均为10.44%。该组玄武岩主量元素地球化学特征显示具有大洋拉斑玄武岩(MORB)地球化学特征。

第二组: SiO_2 含量略高(高于本区大洋拉斑玄

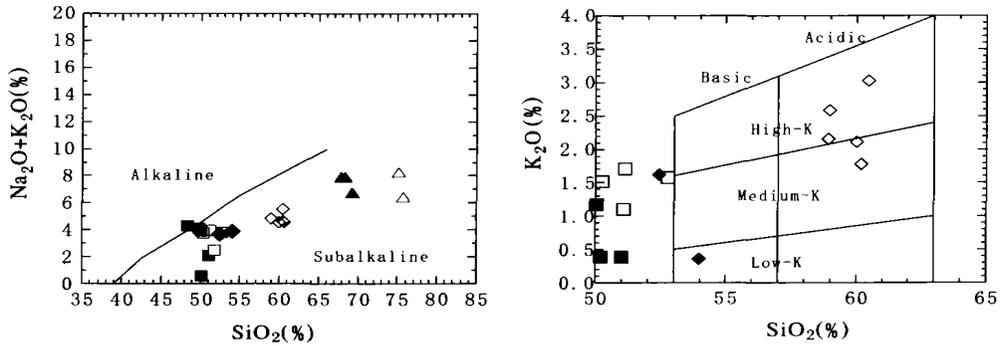


图 2 $SD_2-(Na_2O+K_2O)$ 与 SD_2-K_2O 图解
(据 Le Bas, 1986)^[11]

Fig. 2 $SD_2-(Na_2O+K_2O)$ and SD_2-K_2O diagram (After Le Bas, 1986)

1. 拉斑玄武岩; 2. 钙碱性玄武岩; 3. 玄武安山岩; 4. 安山岩; 5. 英安岩; 6. 流纹岩

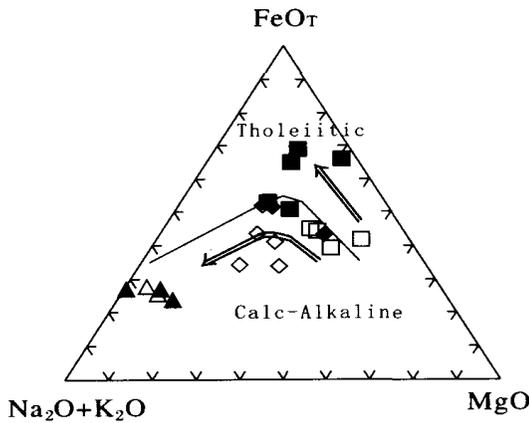


图 3 AFM 图解

(据 Le Bas, 1986; 图例同图 2)

Fig. 3 AFM diagram (After Le Bas, 1986; symbols as same as Fig. 2)

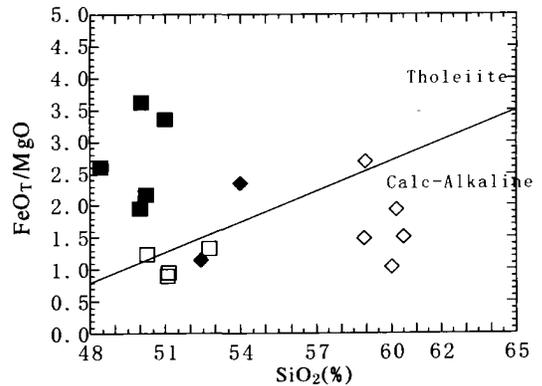


图 4 SD_2-FeO_T/MgO 图解

(据 Miyashiro^[12], 1974; 图例同图 2)

Fig. 4 SD_2-FeO_T/MgO diagram (After Miyashiro, 1974; symbols as same as Fig. 2)

武岩 SD_2 的含量), 介于 51.09% ~ 53.96% 之间, 平均为 51.93%; 高 K_2O , 低 TD_2 ; 其中, K_2O 含量明显高于本区洋脊型拉斑玄武岩, 大多介于 1.1% ~ 1.71% 之间变化, 平均为 1.32%; TD_2 介于 0.69% ~ 0.9% 之间, 平均为 0.8%; 而 $FeO+Fe_2O_3$ 含量低, 尤其是 FeO 含量明显低于大洋拉斑系列玄武岩; 该组玄武岩地球化学特征显示了具有岛弧玄武岩的特征。

本区大多数钙碱性系列的安山岩类 SD_2 含量高, 大多数样品 $SD_2 > 58.94%$, 属高硅安山岩, SD_2 平均含量为 59.71%; K_2O 含量高, 大多在 1.78% ~ 3.03% 之间变化, 平均为 2.23%; 与现代岛弧

安山岩类相比, 本区安山岩类 Na_2O 明显偏高, 而 CaO 略低, 这可能与岩石所经受的细碧岩化蚀变作用和低级变质作用有关。岩石 Al_2O_3 含量高且稳定, 变化范围窄, 大多在 14.25% ~ 16.68% 之间, 平均为 15.82%。其化学成分表明本区安山岩与本区岛弧玄武岩相似, 具有岛弧中-高钾安山岩类的总体化学成分特点(图 2)。英安岩类及流纹岩类火山岩化学成分上具有高的 SD_2 含量, SD_2 介于 67.94% ~ 75.72% 之间; 高 K_2O , 低 TD_2 ; 其中, K_2O 介于 3.34% ~ 4.96%, TD_2 平均为 0.28%; 低 $FeO+Fe_2O_3, MgO, CaO$ 的特点。其化学成分表明具有造山带及岛弧火山岩的化学成分特点(表 1)。

表1 羌塘地块南缘边界断裂构造带火山岩主元素(%)与微量元素(10^{-6})分析结果

Tab. 1 Major (%) and trace element (10^{-6}) analysis of volcanic rocks
from suture zone of south boundary in Qiangtang Block

| 编号 | ZK1-2 | QX19 | NQX | QX | T09 | T12-1 | L3 | 510T ₁ | T23 | B26 | B32 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| 岩石类型 | 玄武岩 | 玄武岩 | 玄武安山岩 | 玄武安山岩 |
| SiO ₂ | 50.99 | 48.4 | 50.04 | 49.97 | 50.21 | 51.09 | 50.26 | 52.74 | 51.12 | 53.96 | 52.41 |
| TiO ₂ | 1.5 | 1.22 | 1.96 | 1.48 | 1.52 | 0.69 | 0.84 | 0.78 | 0.81 | 0.9 | 0.78 |
| Al ₂ O ₃ | 16.02 | 16.43 | 3.41 | 16.27 | 13.22 | 12.43 | 14.57 | 15.06 | 13.56 | 19.17 | 14.71 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.75 | 3.2 | 13.99 | 3.5 | 3.75 | 3.7 | 2.35 | 3.3 | 2.81 | 3.38 | 2.2 |
| FeO | 5.70 | 5.09 | 7.25 | 5.18 | 5.59 | 5.13 | 5.88 | 4.6 | 5.01 | 3.73 | 6.16 |
| MnO | 0.08 | 0.10 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.12 | 0.15 | 0.14 |
| MgO | 2.62 | 3.32 | 6.31 | 4.66 | 4.51 | 10.36 | 6.88 | 6.24 | 8.55 | 3.18 | 7.5 |
| CaO | 12.27 | 10.11 | 8.35 | 8.14 | 13.34 | 8.55 | 10.69 | 10.77 | 9.7 | 8.35 | 9.66 |
| Na ₂ O | 1.69 | 3.44 | 2.72 | 2.66 | 0.07 | 1.31 | 2.26 | 2.26 | 2.3 | 3.52 | 2.07 |
| K ₂ O | 0.39 | 0.94 | 1.18 | 1.42 | 0.39 | 1.1 | 1.52 | 1.58 | 1.71 | 0.36 | 1.62 |
| P ₂ O ₅ | 0.19 | 0.29 | 0.2 | 0.36 | 0.14 | 0.16 | 0.28 | 0.23 | 0.91 | 0.18 | 0.21 |
| H ₂ O | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.19 | 0 | 2.48 | 1.54 | 0 |
| CO ₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.40 | 0 | 0.58 | 0.22 | 0 |
| S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sr | 1 446 | 204 | 110 | 83 | 186 | 223 | 336 | 730 | 204 | 405 | 1 070 |
| Rb | 6.4 | / | 42.4 | 5.4 | 17.2 | 8.1 | 31 | / | 92.7 | 95.8 | 126 |
| Ba | 234 | 153 | 102 | 30 | 110 | 5 | 385 | 1 565 | 616 | 584 | 1 300 |
| Th | / | 43.51 | / | / | 0.54 | / | / | 60.15 | 1.81 | 86.8 | 45 |
| Ta | 1.56 | / | 0.95 | 0.18 | 0.06 | 0.29 | 2.2 | / | 0.19 | 48.8 | 44.2 |
| Nb | 4.4 | / | 0.51 | 1.13 | 1.21 | 2.9 | 2.3 | / | 3.78 | 4.9 | 2.1 |
| Zr | 191 | 646 | 45 | 79.5 | 31.5 | 49 | 94 | 198 | 73 | 114 | 233 |
| Hf | 4 | 17.2 | 18 | 22.9 | 0.91 | 1.8 | 2.3 | 20 | 2.03 | 3.1 | 6.1 |
| Y | 24 | 22 | / | / | 13.4 | 32.4 | 35 | 16 | 13.1 | 19 | 18.4 |
| Sc | 34 | / | 2.36 | 2.4 | / | 4.1 | 8 | / | / | 8.8 | 7.9 |
| Co | 39.7 | 37 | 49 | 51 | 29.2 | 28.1 | 24 | / | 23 | 18.6 | 16.6 |
| Ni | 142 | 256 | 82 | 97 | 193 | 25.6 | 35 | 38 | 23.7 | 20.8 | 92 |
| V | 246 | 229 | 298 | 321 | 142 | 276 | 153 | 302 | 227 | 181 | 119 |
| Cr | 89 | 816 | 319 | 301 | 284 | 29 | 172 | 105 | 45 | 63.1 | 312 |
| Cu | 186 | 64.3 | 102 | 132 | 20.3 | 13 | 29 | 49 | 47.2 | 23.4 | 43.2 |
| Zn | 96 | / | 95.8 | 84 | 64.4 | 27 | 114 | / | 80.7 | 67.9 | 47.2 |
| La | 4.4 | 9.96 | 5.11 | 2.7 | 4.46 | 6.47 | 5.77 | 7.25 | 10.1 | 26.9 | 58.8 |
| Ce | 10.79 | 14.5 | 9.67 | 5.5 | 8.86 | 16.42 | 10.1 | 9.95 | 23.5 | 52.2 | 111 |
| Pr | 1.87 | 2.83 | 1.96 | 0.86 | 1.33 | 2.68 | 1.46 | 1.42 | 2.94 | 5.98 | 12.9 |
| Nd | 10.24 | 13.27 | 10.06 | 4.03 | 6.36 | 13.14 | 6.37 | 8.13 | 12.7 | 22.2 | 44.9 |
| Sm | 3.36 | 3.53 | 3.08 | 1.23 | 1.84 | 4 | 1.72 | 2.46 | 2.92 | 4.32 | 7.48 |
| Eu | 1.24 | 1.27 | 1.1 | 0.26 | 0.61 | 1.46 | 0.57 | 0.87 | 0.99 | 1.16 | 1.74 |

续表 1

| 编号 | ZK1-2 | QX19 | NQX | QX | T09 | T12-1 | L3 | 510T ₁ | T23 | B26 | B32 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|--------|--------|------|
| Gd | 4.79 | 4.25 | 4.52 | 1.72 | 2.21 | 5.19 | 2.05 | 2.67 | 2.69 | 3.87 | 5.54 |
| Tb | 0.92 | 0.72 | 0.82 | 0.38 | 0.44 | 0.9 | 0.4 | 0.43 | 0.54 | 6.67 | 0.86 |
| Dy | 5.89 | 3.91 | 4.98 | 1.97 | 2.73 | 4.8 | 2.31 | 2.65 | 2.78 | 3.7 | 3.87 |
| Ho | 1.29 | 0.77 | 1.09 | 0.46 | 0.56 | 0.97 | 0.51 | 0.53 | 0.55 | 0.77 | 0.85 |
| Er | 3.86 | 2.05 | 3.22 | 1.34 | 1.61 | 2.6 | 1.52 | 1.38 | 1.67 | 2.06 | 1.96 |
| Tm | 0.62 | 0.32 | 0.52 | 0.25 | 0.26 | 0.4 | 0.24 | 0.19 | 0.27 | 0.31 | 0.31 |
| Yb | 4.07 | 1.8 | 3.26 | 1.44 | 1.55 | 2.22 | 1.53 | 1.09 | 1.72 | 1.91 | 1.69 |
| Lu | 0.66 | 0.27 | 0.54 | 0.24 | 0.25 | 0.33 | 0.24 | 0.19 | 0.27 | 0.3 | 0.26 |
| 编号 | B19 | B31 | B36 | T07 | T14 | T21 | B38 | B40 | G138R1 | G139R2 | |
| 岩石类型 | 安山岩 | 安山岩 | 安山岩 | 安山岩 | 安山岩 | 英安岩 | 英安岩 | 英安岩 | 流纹岩 | 流纹岩 | |
| SiO ₂ | 60.2 | 58.94 | 60.47 | 60 | 58.97 | 67.94 | 68.16 | 69.2 | 75.04 | 75.72 | |
| TiO ₂ | 0.76 | 0.77 | 0.72 | 0.74 | 1.39 | 0.42 | 0.42 | 0.27 | 0.19 | 0.13 | |
| Al ₂ O ₃ | 16.61 | 15.86 | 16.68 | 16.01 | 14.25 | 14.93 | 15.31 | 14.88 | 11.87 | 11.61 | |
| Fe ₂ O ₃ | 1.28 | 1.47 | 2.1 | 2.1 | 2.5 | 0.71 | 1.09 | 1.85 | 1.13 | 1.63 | |
| FeO | 4.55 | 4.76 | 2.12 | 2.12 | 6.04 | 2.13 | 2.08 | 0.44 | 2.07 | 0.64 | |
| MnO | 0.09 | 0.1 | 0.09 | 0.11 | 0.12 | 0.05 | 0.06 | 3.06 | 0.03 | 0.03 | |
| MgO | 3.08 | 4.31 | 2.94 | 4.26 | 3.28 | 1.59 | 1.01 | 0.04 | 0.59 | 0.82 | |
| CaO | 6.4 | 6.4 | 5.32 | 6.76 | 5.37 | 1.87 | 1.9 | 0.33 | 0.71 | 0.71 | |
| Na ₂ O | 2.85 | 2.7 | 2.5 | 2.37 | 2.27 | 4.09 | 4.48 | 2.12 | 3.18 | 1.89 | |
| K ₂ O | 1.78 | 2.15 | 3.03 | 2.11 | 2.58 | 3.72 | 3.34 | 4.55 | 4.96 | 4.39 | |
| P ₂ O ₅ | 0.18 | 0.19 | 0.17 | 0.19 | 0.15 | 0.10 | 0.14 | 0.16 | 0.03 | 0.03 | |
| H ₂ O | 2.00 | 1.98 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.44 | 0.09 | 1.83 | |
| CO ₂ | 0.98 | 0.44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.32 | 1.87 | |
| Sr | 1 140 | 1 090 | 1 140 | 293 | 576 | 320 | 694 | 1 390 | | | |
| Rb | 120 | 120 | 132 | 146 | 47.4 | 43.1 | 144 | 144 | | | |
| Ba | 1 210 | 283 | 1 180 | 427 | 6 003 | 216 | 1 220 | 1 940 | | | |
| Th | 69.30 | 108 | 74 | 15.20 | 2.93 | 3.02 | 101 | 88.40 | | | |
| Ta | 18.80 | 83.50 | 45.20 | 0.92 | 0.45 | 0.16 | 57 | 78 | | | |
| Nb | 2.80 | 5.60 | 6.30 | 12.10 | 8.23 | 2.41 | 6.30 | 7.00 | | | |
| Zr | 186 | 195 | 196 | 160 | 113 | 44.4 | 178 | 200 | | | |
| Hf | 5.60 | 4.50 | 5.10 | 4.20 | 3.15 | 1.68 | 4.60 | 5.00 | | | |
| Y | 11.90 | 13.5 | 12.40 | 13.50 | 14 | 6.47 | 8.10 | 11.80 | | | |
| Sc | 5.20 | 6.20 | 5.70 | / | / | / | 3.90 | 4.50 | | | |
| Co | 14.60 | 15.50 | 14.40 | 10.20 | 10.30 | 6.51 | 8.60 | 9.50 | | | |
| Ni | 86.60 | 109 | 87.40 | 40.50 | 4.03 | 13.60 | 41.40 | 5.60 | | | |
| V | 119 | 113 | 122 | 74.50 | 65.10 | 56.40 | 87 | 82 | | | |
| Cr | 157 | 162 | 160 | 82 | 10.40 | 26.50 | 135 | 121 | | | |
| Cu | 50.50 | 56 | 43.30 | 29 | 33.80 | 394 | 44 | 22.10 | | | |

续表 1

| 编号 | B19 | B31 | B36 | T07 | T14 | T21 | B38 | B40 | G138R1 | G139R2 |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|--------|
| 岩石类型 | 安山岩 | 安山岩 | 安山岩 | 安山岩 | 安山岩 | 英安岩 | 英安岩 | 英安岩 | 流纹岩 | 流纹岩 |
| Zn | 59.60 | 69.10 | 59.80 | 70.10 | 65.80 | 48 | 56.40 | 49.50 | | |
| La | 55.8 | 71.1 | 55.1 | 30 | 19.1 | 9.43 | 37.6 | 97.5 | 16.83 | 14.33 |
| Ce | 10.7 | 138 | 103 | 55.8 | 39.1 | 19.7 | 70.8 | 159 | 78.62 | 74.18 |
| Pr | 11.5 | 13.8 | 11.7 | 5.97 | 4.66 | 2.29 | 7.59 | 17.3 | 8.56 | 6.36 |
| Nd | 44.000 | 51.3 | 42.1 | 21.4 | 19.1 | 9.06 | 24.3 | 59.1 | 28.47 | 28.47 |
| Sm | 3.36 | 6.91 | 6.15 | 3.95 | 3.9 | 1.78 | 4.06 | 8.5 | 3.86 | 4.06 |
| Eu | 1.39 | 1.59 | 1.5 | 1.03 | 1.34 | 0.47 | 0.91 | 2.03 | 0.64 | 0.78 |
| Gd | 4.23 | 4.78 | 4.54 | 3.4 | 335 | 1.56 | 3 | 5.64 | 2.46 | 2.01 |
| Tb | 0.68 | 0.76 | 0.69 | 0.56 | 0.54 | 0.28 | 0.47 | 0.83 | 0.43 | 0.36 |
| Dy | 2.59 | 2.84 | 2.65 | 3.02 | 3.05 | 1.45 | 1.77 | 2.74 | 2.87 | 2.46 |
| Ho | 0.55 | 0.63 | 0.89 | 0.54 | 0.57 | 0.27 | 0.42 | 62 | 0.62 | 0.55 |
| Er | 1.25 | 1.37 | 1.3 | 1.62 | 1.67 | 0.81 | 0.91 | 1.29 | 1.75 | 1.58 |
| Tm | 0.19 | 0.22 | 0.21 | 0.27 | 0.28 | 0.14 | 0.15 | 0.21 | 2.6 | 0.24 |
| Yb | 0.97 | 1.13 | 1.07 | 1.64 | 1.75 | 0.82 | 0.76 | 1.6 | 1.63 | 1.55 |
| Lu | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.27 | 0.29 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.25 | 0.25 |

本区钙碱性系列火山岩成分点在Hacker图解(图5)上体现分离结晶演化趋势。随着 SiO_2 的增加,其CaO、MgO、 $TFeO$ 和 P_2O_5 含量明显随之降低。但 Al_2O_3 含量不具有随着 SiO_2 的增加而降低的整体趋势。因此,镁铁矿物的分离结果作用可能是该组钙碱性火山岩的主要成岩演化方式;同时,其岩浆房应位于高于斜长石可稳定存在的压力条件下(> 1.5 GPa)的深度。另外,随着 SiO_2 的增加, K_2O 含量急剧增高,表明随着铁镁矿物和斜长石的分离,岩浆成分向富碱性的方向演化。 SiO_2 与各主量成分在Hacker图解上均反映出了岩浆延续的演化趋势,这表明本区钙碱性火山岩系列具有同源岩浆的演化特征。而本区拉斑系列洋脊玄武岩的演化趋势明显不同于钙碱性系列火山岩的演化趋势,表明洋脊玄武岩是由另一独立源区的岩浆演化而形成的。

2 微量元素地球化学

2.1 洋脊拉斑玄武岩微量元素地球化学

从原始地幔标准化图解中可以看出,该组拉斑玄武岩微量元素配分曲线总体上显示为一条近似水平的曲线。其中, Th 、 K 、 Sr 、 Nb 的变化大,具有

轻微的 Ta 、 Nb 谷,除 Zr 、 Hf 、 Y 相对于弱富集外,其他元素没有明显正(负)异常现象。值得注意的是,本区拉斑玄武岩有 Ta 、 Nb 相对亏损现象,与典型洋中脊的MORB型的玄武岩不同。一般认为,大洋中脊下的玄武岩源区基本无水,也不会出现 Ta 、 Nb 的相对亏损,但众多的研究事实表明,不成熟的弧后盆地MORB型玄武岩也可以出现类似于岛弧特征的玄武岩(Ta 、 Nb 的相对亏损),这类MORB玄武岩与AT也可以出现在岛弧蛇绿岩中,指示与弧间盆地环境有关^[13]。需要指出的是,本区洋脊拉斑玄武岩与其北侧安多地区拉斑玄武岩均具有岛弧玄武岩的特征^[4]。

本区洋脊拉斑玄武岩 Nb/La 值(0.10~1.00)平均为0.45; Hf/Th 值较稳定,约为1.04; Zr/Y (2.35~29.36)平均为13.32; Ti/V (27.66~64.22)平均为39.98; La/Ta 值多为3.00~15.00, Ta/Yb 为0.03~0.38。上述微量元素比值特征表明,本区洋脊玄武岩 Hf/Th 、 Zr/Y 、 Ti/V 与来自正常地幔的MORB型玄武岩有所不同。

2.2 岛弧火山岩微量元素地球化学

本区钙碱性玄武岩的不相容元素配分曲线明显不同于本区拉斑玄武岩,曲线总体呈斜率不大的右倾配分型式(图6-b),并具有 K 、 Rb 、 Ba 明显的正

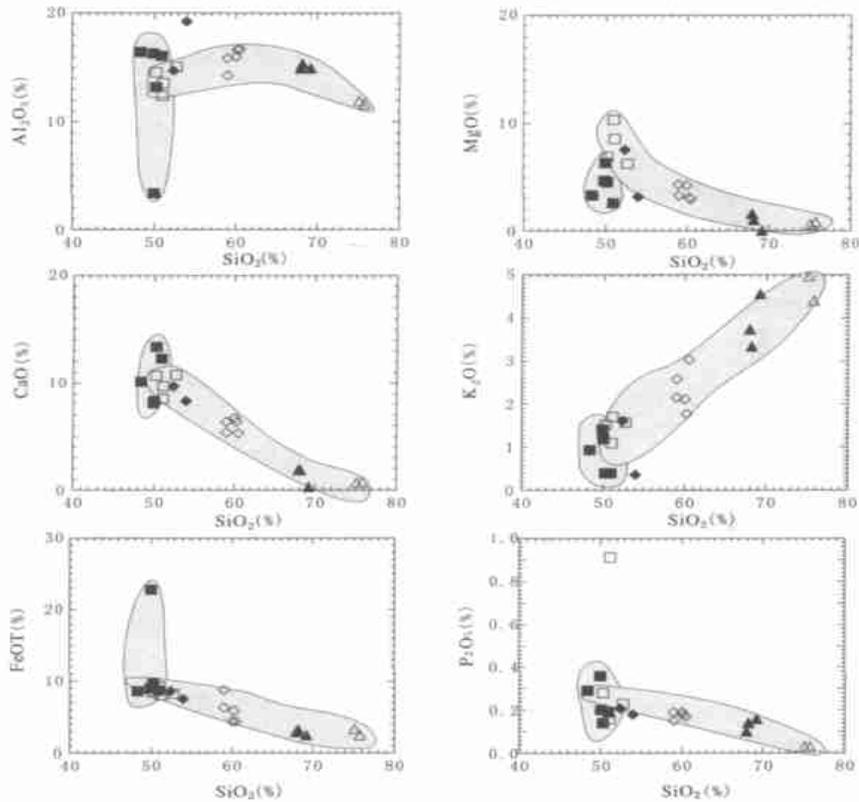


图 5 Hacker 图解

(图例同图 2)

Fig. 5 Hacker diagram (symbols as same as Fig. 2)

异常, 表明该玄武岩浆存在受陆壳组分混染的可能性; 自基性向中酸性演化, Ti 谷略有加深。本区岛弧玄武岩大多 $Th > Ta$, Nb/La 变化小而稳定, 介于 0.37~0.44 之间, 平均 0.41; Th/Ta 为 9.52。本区玄武安山岩、安山岩、英安岩、流纹岩不相容元素配分曲线总体上均显示为右倾负斜率富集型配分型式 (图 6-c)。其中, 玄武安山岩的 Th/Yb 值平均为 41.04; 安山岩 Th/Yb 值平均为 49.44; 英安岩的 Th/Yb 值平均为 63.94; 玄武安山岩的 Ta/Yb 值平均为 25.8; 安山岩的 Ta/Yb 值平均为 27.27; 英安岩的 Ta/Yb 值平均为 61.87; 表明该组钙碱性系列岩石具有弧火山岩的地球化学特征。

总之, 本区钙碱性玄武岩、玄武安山岩、安山岩、英安岩的不相容元素地幔标准化配分型式总体上均表现为右倾负斜率富集型的配分型式, 且越向酸性演化, 富集程度越高, 从而表明这一系列岛弧火山岩具有类似同源的原生岩浆分异演化的特点。

3 稀土元素地球化学

3.1 洋脊拉斑玄武岩稀土元素地球化学

本区洋脊拉斑玄武岩的稀土总量很低, ΣREE 一般为 $46.47 \times 10^{-6} \sim 81.45 \times 10^{-6}$, 平均为 65.30×10^{-6} ; 轻重稀土分异不明显, $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 比较稳定, 在 $0.69 \times 10^{-6} \sim 1.25 \times 10^{-6}$ 之间变化, 平均为 0.99; 岩石无明显 Eu 异常, δEu 介于 0.55~1.01 之间, 平均为 0.93; 样品 QX 具有 Eu 负异常特征。球粒陨石标准化配分图 (图 2-a) 上显示为无轻重稀土分异的平坦型的配分曲线; 其中玄武岩的 $(La/Yb)_N$ 介于 0.7~1.86 之间, 平均为 1.18; $(Ce/Yb)_N$ 介于 0.64~1.95 之间, 变化很小, 且十分稳定, 平均为 1.00; 具有洋中脊玄武岩 (MORB) 稀土元素地球化学特征。

3.2 岛弧火山岩稀土元素地球化学

本区岛弧玄武岩的稀土总量介于 50.79×10^{-6}

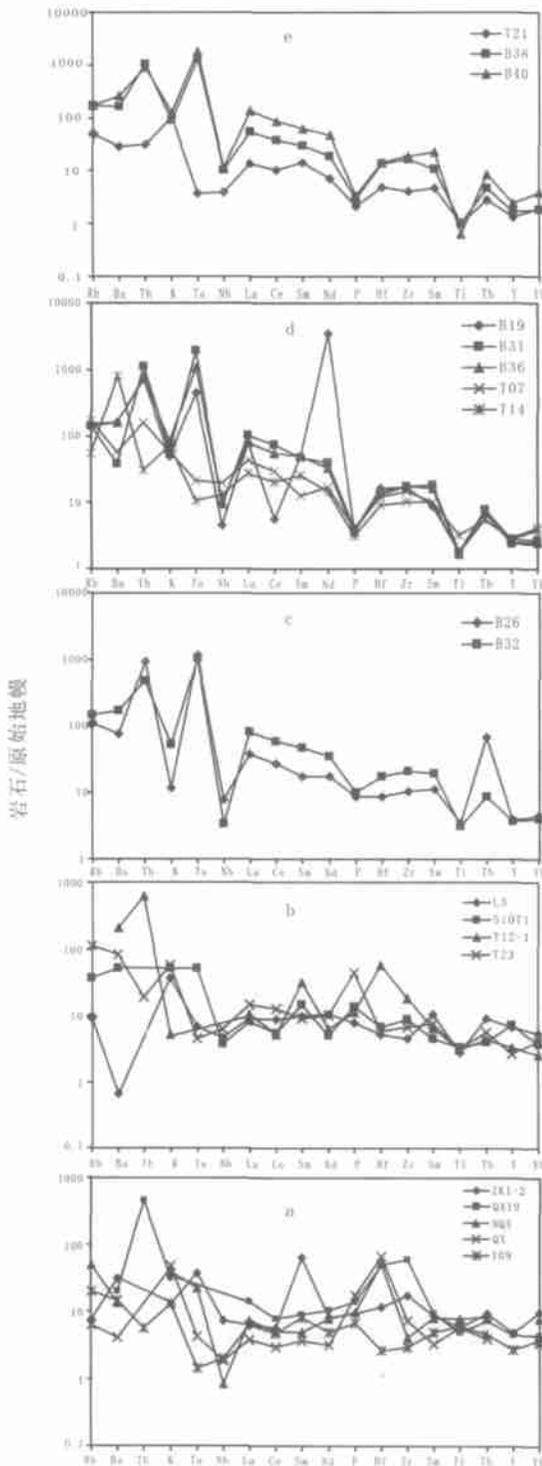


图6 洋脊拉斑玄武岩微量元素与岛弧火山岩微量元素原始地幔标准化图解^[14]

(据 Pearce, 1983)

Fig. 6 Primary mantle-normalized trace element patterns of the MORB and Island-arc rocks in study area

~ 96.58×10^{-6} 之间, 平均为 70.58×10^{-6} ; 轻重稀土分异比较明显, $\Sigma \text{REE} / \Sigma \text{HREE}$ 为 0.84~ 1.80, 平均为 1.25; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 1.89~ 4.30, 平均为 3.10; $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 1.60~ 3.30, 平均为 2.18; 表明该组玄武岩轻稀土略有富集。岩石 δEu 为值变化小, 并且稳定, 介于 0.94~ 1.07 之间, 平均为 1.01, 表明岩石基本无 Eu 异常。从稀土元素球粒陨石标准化配分图 (图 2-b) 中可以看出: 这类玄武岩为右倾负斜率轻稀土富集型, 但负斜率小, δEu 处无异常峰或谷。这与岛弧玄武岩的稀土元素地球化学特征十分相似。

玄武安山岩和安山岩的稀土元素球粒陨石标准化配分图 (图 7-c, d) 均为轻稀土富集型。玄武安山岩 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 9.11~ 22.51, 平均为 15.81; $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 6.61~ 15.88, 平均为 11.25; 表明岩石有强烈的轻重稀土分异特征, 轻稀土中强富集。岩石 δEu 为 0.80~ 0.86, 平均为 0.83, 表明岩石有微弱的 Eu 亏损。安山岩 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 7.06~ 40.7, 平均为 25.81; $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 5.40~ 29.5, 平均为 18.62; 岩石 δEu 0.81~ 1.14, 平均为 0.95; 英安岩和流纹岩 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 5.98~ 39.4, 平均为 19.11; $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 5.81~ 24.02, 平均为 15.13, 表明岩石较安山岩类具有轻稀土强烈富集的特征。岩石 δEu 为 0.6~ 0.85, 平均为 0.76, 有弱的 Eu 亏损。从稀土元素球粒陨石标准化配分式图 (图 7-e, f) 中可以看到, 曲线为右倾负斜率轻稀土强烈富集型, 轻稀土元素部分曲线陡, 负斜率大; 而重稀土元素部分曲线较为平直, 在 Eu 处形成一弱的凹陷, 表明岩石具有弱负 Eu 异常, 这与其 δEu (0.6~ 0.85) 平均为 0.76 是一致的。

从上述稀土元素特征可以看出, 本区岛弧火山岩由基性 中性 酸性演化的同时, 稀土元素具有连续递进的演化规律, 轻稀土富集度逐渐增高, Eu 由无异常 微弱负异常 弱负异常, 反映了斜长石相的分离结晶作用。这表明本区岛弧火山岩具有同源性, 是由共同类似的岩浆源区起源的原生岩浆分异演化的产物, 这与 Hacker 图解中所显示的结果是一致的。

4 微量元素地球化学与构造环境

本区所有玄武岩类样品在 $\text{Ni}-(\text{Ti}/\text{Cr})$ 图解 (图 8)

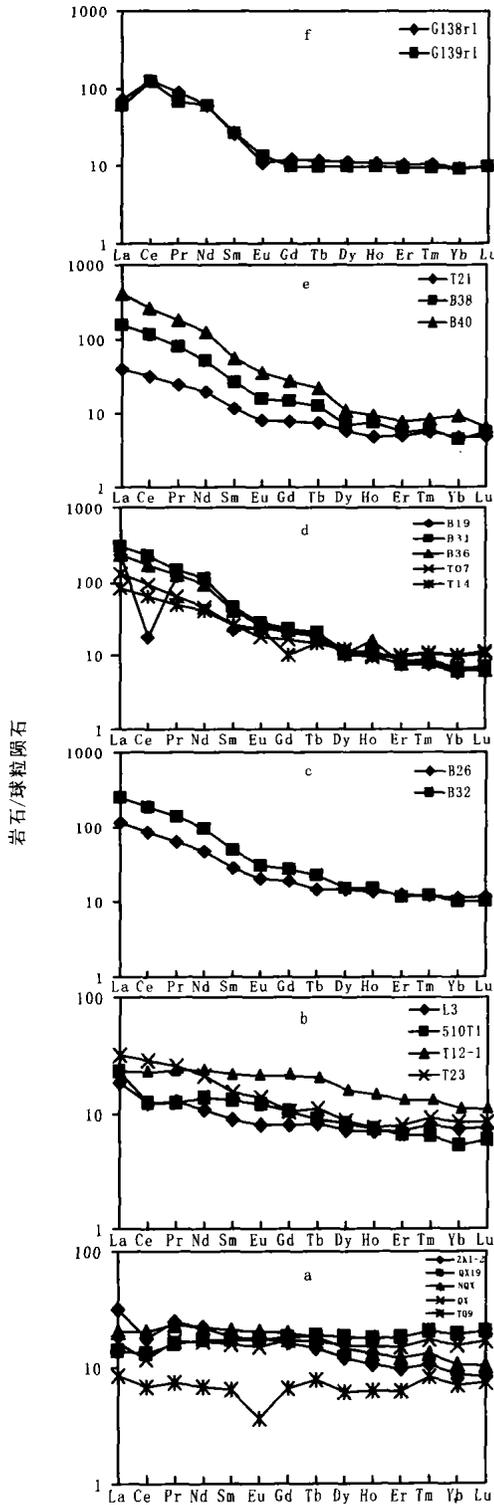


图 7 岩石稀土元素球粒陨石标准化配分型式^[15]
(据 Sun 和 Donogh, 1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE distribution patterns of the rocks in the study area

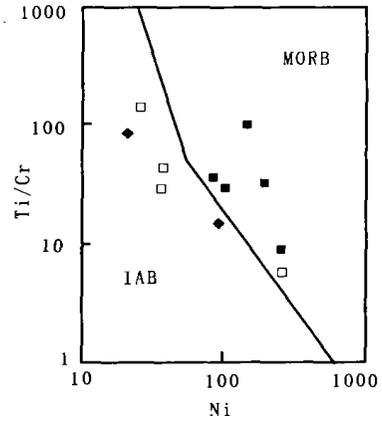


图 8 Ni-(Ti/Cr) 图

(据 Beccaluva^[16]; 图例同图 2)

Fig. 8 Ni-(Ti/Cr) diagram (symbols as same as Fig. 2)

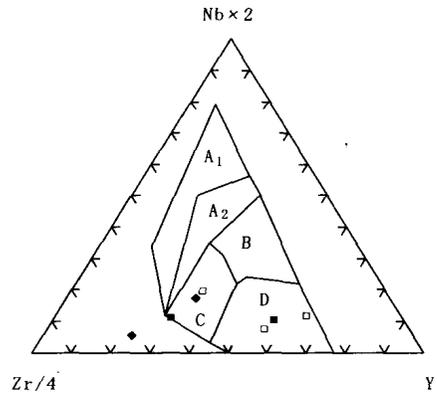


图 9 不同构造环境玄武岩 Nb-Zr-Y 判别图^[17]

(据 Meschede, 1986; 图例同图 2)

Fig. 9 Nb-Zr-Y diagram for basalts formed in different tectonic setting (symbols as same as Fig. 2)

A₁, A₂: 板内碱性玄武岩; B: P 型洋脊玄武岩; A₂, C: 板内碱性玄武岩; D: N 型洋脊玄武岩; C, D: 弧火山岩

中明显分为两类洋脊玄武岩 (MORB) 和岛弧玄武岩 (IAB)。利用 Nb-Zr-Y 图解 (图 9) 可以判别玄武岩形成时的大地构造环境 (Meschede, 1986)。本区 7 个玄武岩类样品的分析结果在 Nb-Zr-Y 判别图中, 明显密集于两个不同的区域, 即岛弧玄武岩区 (C 区) 和 N 型洋脊玄武岩区 (D 区)。因此, 本区玄武岩具有岛弧玄武岩和洋底玄武岩的双重特征, 它应形成于扩张盆地环境, 从而更好的表明该洋脊玄武岩与岛弧环境有一定联系。

5 讨论

岩石学和地球化学综合特征表明, 本区火山岩主要存在岛弧型大洋拉斑玄武岩 (MORB)、岛弧火山岩 (IAB) 两种主要岩石—构造组合类型, 班公湖—丁青缝合带总体处在北面羌塘与南面冈底斯—念青唐古拉地块之间, 三叠纪到侏罗纪时期, 冈瓦纳大陆向北侧羌塘地块俯冲, 在侏罗纪时期拉张作用的驱动下, 诱发弧后扩张, 从而最终形成一套指示弧环境的火山岩组合。在羌塘北界构造断裂带中, 尤其是其西段火山岩组合具有双峰式特点, 并且以玄武岩为基性端元, 英安、流纹岩为酸性端元的两套岩石组合, 缺乏安山岩类为代表的典型岛弧型中性火山岩岩石组合。而羌塘南界构造断裂带却具有典型的岛弧火山岩岩石组合, 这与北界岩石组合有显著差异, 从而说明羌塘地块南北构造带中火山岩形成的大地构造背景完全不同^[18]。

在羌塘南界及其附近地区, 蛇绿岩分布在一个很宽的地域内, 并可细分为若干个蛇绿岩亚带。由于受后期构造运动的影响, 蛇绿岩带大部分已经被肢解, 常呈蛇绿杂岩体产出, 但蛇绿岩各组成单元仍可以在区内找到。笔者运用岩石地球化学方法, 厘定出班公湖—丁青缝合带中火山岩体为洋中脊拉斑玄武岩和钙碱性岛弧玄武岩, 并且得出本区洋中脊玄武岩形成于不成熟的弧后盆地环境, 而并非典型 MORB。这与前人对该区附近等地的蛇绿杂岩体的研究结果基本一致^[19-22]。同时, 本区钙碱性系列玄武岩、玄武安山岩、安山岩、英安岩、流纹岩共同具有弧火山岩的岩石地球化学特征, 并且为同一母岩浆源结晶分异演化的产物。

蛇绿岩带是大陆裂解和洋盆存在的直接证据, 需要指出的是, 弧火山岩系及其相关的岩石组合仍是与蛇绿岩密切相关并常常相伴出现的岩石组合, 在古造山带及缝合带研究中, 在缺乏蛇绿岩或其组成单元的情况下, 弧岩浆系也可作为曾经发育古洋盆并存在古洋壳俯冲的重要证据^[23]。

班公湖—丁青缝合带岛弧型洋脊拉斑玄武岩和典型的弧岩浆系作为蛇绿岩的组成单元, 这就表明该带在晚中生代期间曾经经历过一个有限洋盆的发生、发展与演化过程。其演化过程如下: 从初始扩张—洋盆的发育—洋壳的形成及大洋板内火山岩活动—洋壳的俯冲与消减—俯冲杂岩系 (岛弧型洋脊

拉斑玄武岩及岛弧火山岩组合) 的形成—直至侏罗纪末期—早白垩纪初洋盆的最终关闭。在这个完整的演化过程中, 不同时期, 不同的动力学作用形式, 相对应地形成了具有不同地球化学特征的火成岩—构造组合 (Petro tectonic assemblages)。班公湖—丁青这套岛弧型洋脊拉斑玄武岩及岛弧火山岩组合作为这一演化过程中古洋壳俯冲阶段的岩石组合, 与其他岩石组合共同为该区的古构造环境反演和古板块构造格局的重建提供了可靠的火山岩岩石学记录。

致谢: 笔者对赖绍聪教授、夏祖春研究员在百忙之中对本文的审阅以及所提出的诚恳、周详的修改意见, 特别是对后学的鞭策与鼓励深表谢意。

参考文献:

- [1] 王鸿祯. 试论西藏地质构造分区问题 [J]. 地球科学, 1983, (1): 1-8.
- [2] 黄汲清, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1987. 1-78.
- [3] 肖序常, 李廷栋. 青藏高原的构造演化与隆升机制 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2003. 71-121.
- [4] 赖绍聪, 刘池阳. 青藏高原安多岛弧蛇绿岩地球化学及成因 [J]. 岩石学报, 2003, 19 (4), 675-682.
- [5] 赖绍聪. 青藏高原北部新生代火山岩的成因机制 [J]. 岩石学报, 1999, 15 (1), 98-104.
- [6] Lai shaocong. Petrogenesis of the Cenozoic Volcanic Rocks from the Northern Part of Qinghai Xizang (Tibet) plateau [J]. Chinese journal of geochemistry, 1999, 18 (4): 361-371.
- [7] 赖绍聪, 伊海生, 刘池阳, O'Reilly Sy. 青藏高原北羌塘半岛湖新生代粗面玄武岩橄榄石电子探针和激光探针分析 [J]. 矿物学报, 2002, 22 (2): 107-112.
- [8] 赖绍聪, 刘池阳. 青藏高原北羌塘榴辉岩质下地壳及富集型地幔源区——来自新生代火山岩的岩石地球化学证据 [J]. 岩石学报, 2001, 17 (3), 459-468.
- [9] 赖绍聪. 青藏高原新生代埃达克质岩的厘定及其意义 [J]. 地学前缘, 2003, 10 (4): 407-415.
- [10] 赖绍聪. 青藏高原新生代三阶段造山隆升模式: 火成岩岩石学约束 [J]. 矿物学报, 2000, 20 (2): 182-190.
- [11] Le Bas M J. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram [J]. Petrol, 1986, 27: 745-750
- [12] Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and

- active continental margins [J]. American Journal of Science, 1974, 274: 321-355.
- [13] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 82-92.
- [14] Pearce J A. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In: Hawkesworth *et al.* (eds). continental Basalts and mantle Xenoliths [J]. Northwest Shiva, 230-249.
- [15] Sun S-S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M (eds). Magmatism in the Ocean Basin [J]. J. Geol. Soc. Special Publ, (42): 313-345.
- [16] Beccaluva L, Ohnenstetter D, Ohnenstetter M. Geochemical discrimination between ocean-floor and island arc tholeiites—Applications to some ophiolites [J]. Can J. Earth Sci, 1979, 16: 1874-1882.
- [17] Meschede M. A method of discriminating between different types of mid-ocean Basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [J]. Chem Geol. 1986. 56: 207-218
- [18] 赖绍聪, 刘池阳. 羌塘地块北界拉竹龙-西金乌兰-玉树结合带印支期构造环境探讨 [J]. 西北大学学报 1999, 29 (1): 59-61.
- [19] 邓万明. 藏北东巧-怒江基性、超基性岩带的岩石成因 [M]. 喜马拉雅地质 (II). 北京: 地质出版社, 1984. 218-241.
- [20] 邓万明, 王方国. 藏北班公错-怒江蛇绿岩带 [M]. 王希斌等著, 西藏蛇绿岩. 北京: 地质出版社, 1987. 138-214.
- [21] 李秋生, 王建平. 西藏东部丁青-怒江蛇绿混杂岩带的地质特征 [M]. 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996. 195-198.
- [22] 汤耀庆, 王方国. 藏北湖区蛇绿岩形成环境浅析 [M]. 喜马拉雅地质 (II). 北京: 地质出版社: 1984. 99-113.
- [23] 赖绍聪, 张国伟, 杨瑞瑛. 南秦岭勉略带两河弧内裂陷火山岩组合地球化学及其大地构造意义 [J]. 岩石学报, 2000, 16 (3): 317-326.

Geochemistry of the volcanic rock association from Bangong lake-Dingqing suture zone of the south boundary in Qiangtang block and its tectonic setting

L I Yong-fei, WANG Juan

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: By means of the petrological and geochemical methods, the Late Mesozoic volcanic rocks collected from the Bangong lake-Dingqing suture zone of the South boundary in Qiangtang block were dealt with in this paper. The research results indicate that the volcanic rocks in the studied area are composed of two different kinds of associations: Tholeiitic series (MORB) and calc-alkaline series (basalt, andenite, dacite and rhyolite). After normalized by primitive mantle, the distribution pattern of Tholeiitic basalt exhibits remarkable depleted in Ta, Nb, which is quite different both from the N-MORB and the typical island-arc volcanic rocks. Thus, the tholeiitic basalt should have generated from the marginal basin (back-arc basin) tectonic setting with both characteristics of MORB and IAB. Besides, the calc-alkaline series volcanic rocks in the Harker diagrams display the continual magmas evolved process respectively, which indicates those rocks not only originated from some parental magmas, but resulted from the magmatic fractional crystallization. It is well known that the MORB and IAB are the two important units of ophiolite, accordingly, it can be proposed the studied area in the Late Mesozoic era had ever undergone a complete development of the limited ocean basin, which may be important significance to further study the continental dynamic evolved process of Qiangtang and its surrounding blocks.

Key words: geochemistry; Late Mesozoic; Qiangtang block; volcanic rocks