文章编号:1009-3850(2007)02-0020-06

青海省治多县扎那日根岩体特征及构造意义

李 莉,白云山,牛志军,段其发,王建雄

(宜昌地质矿产研究所,湖北宜昌 443003)

关键 词:治多;中酸性岩体;构造意义;青海

中图分类号: P588. 12⁺1; P588. 12⁺2 文献标识码: A

羌塘东部地区 1:25 万区域地质调查中, 在治多 县扎那日根一带新发现了扎那日根黑云母石英闪长 岩一花岗闪长岩岩体。笔者从岩石学和地球化学、 同位素等方面对扎那日根岩体进行了较详细调查, 分析了成因类型, 并对其形成构造环境进行探讨。

1 地质特征

扎那日根岩体为一复式岩体,由早期的石英闪 长岩和晚期的花岗闪长岩组成。黑云母石英闪长岩 体由3个形状不规则的侵入体组成,面积约5.5km², 小岩株状产出,被晚期花岗闪长岩侵入(图1)。花 岗闪长岩岩体呈不规则的圆状,地貌上形成高耸陡 峻的山脉,最高点海拨5550m,其上有常年积雪形成 的冰川,出露面积约36km²,呈岩株状。副矿物组合 为锆石-磷灰石-榍石。该岩体被下侏罗统那底岗日 组不整合沉积覆盖。

2 岩石学特征

黑云母石英闪长岩呈浅灰色,中细粒半自形粒 状结构、块状构造。岩石由斜长石(65%~70%)、石 英(4%~8%)、钾长石(2%~6%)、普通角闪石 (6%~10%)、黑云母(6%~10%)、金属矿物(1%~2%)及其他少量副矿物(榍石、磷灰石)组成。斜长石为半自形,具简单环带,中心部分黝帘石化较强,最大粒度0.6×1.1mm;普通角闪石为长柱状或针状,个别见绿泥石化;黑云母几乎全蚀变为绿泥石。 岩体中心部位矿物粒度增大,含有斑晶,斑晶为斜长石,最大可达2.5×7mm。

花岗闪长岩呈砖红色,似斑状结构、细粒花岗结构、块状构造。岩石由微斜长石(13%~18%)、斜长石(46%~58%)、石英(23%~31%)、黑云母(1%~4%)及少量金属矿物、磷灰石、锆石组成。微斜长石偶见格子状双晶,见微细钠长石条纹;斜长石多半自形长板状,蚀变强;石英见两个世代,早期为粒状,晚期填隙状,有时见溶蚀交代长石。岩体中心部位矿物粒度增大,斑晶增多。

3 岩石化学特征

岩石化学成分见表 1。早期黑云母石英闪长岩 SiO₂ 含量为62.36%~64.67%,平均63.41%,偏中酸 性; 全碱(K₂O + N₂O)为6.42%~6.90%,平均6.71%,且 N₂O>K₂O,K₂O/N₂O为0.59~0.67;

收稿日期: 2006-04-24; 修改日期: 2006-09-30

第一作者简介: 李莉,女,1967年生,高级工程师,主要从事区域地质调查及地理信息工作。

资助项目:中国地质调查局"1:25万直根尕卡幅区域地质调查"(I46C003001)。

 $J_{a}b$





图 1 扎那日根一带地质略图

J₂x. 中侏罗统夏里组; J₂b. 中侏罗统布曲组; J₂q. 中侏罗统雀莫 错组, J₁n. 下侏罗统那底岗日组; T₃ δ). 石英闪长岩; T₃ γδ. 花岗闪 长岩; YZS. 雅鲁藏布江板块缝合带; BNS. 斑公湖 怒江板块缝合 带; XJS. 西金乌兰-金沙江板块缝合带; KQS. 昆仑-秦岭板块缝合 带

Fig. 1 Simplified geological map of the Zhanarigen region J_2x = Middle Jurassic Gyari Formation; J_2b = Middle Jurassic Biqu Formation; J_2q = Middle Jurassic Qoimaco Formation; J_1n = Lower Jurassic Nadiganiri Formation; T_3 \mathfrak{d} = quartz diorite; $T_3\gamma\mathfrak{d}$ = granodiorite; YZS= Yarlung Zangbo suture zone; BNS = Bangong Lake-Nujiang suture zone; XJS= Xi jir Ulan-Jinshajiang suture zone; KQS=Kunlun-Qinling suture zone

Al₂O₃ 含量为16.16%~16.51%,平均16.37%,较高。 晚期花岗闪长岩硅、碱含量较高, SiO₂含量为 65.73%~75.03%,平均72.86%,明显偏酸性;全碱 (K2O+Na2O)为6.94%~7.87%,平均7.30%。高干 黑云母石英闪长岩全碱含量; K₂O 含量为3.12%~ 4.18%,平均3.68%, Na₂O 含量为3.11%~4.34%, 平均3.63%,二者平均含量接近。花岗闪长岩低铝 (Al2O3 为12.15%~14.63%,平均13.15%),明显低 于黑 云 母 石 英 闪长 岩; 低 钛 (TiO₂ 为 0.20%~ 0.54%,平均0.37%)。随 SiO₂ 含量的升高, CaO、 MgO、FeO 含量总体降低,可能与角闪石、黑云母分 异有关^[1]。在 K_2O -SiO₂ 图解中(图 2),样品落低钾 (拉斑)岩区。黑云母石英闪长岩 A/CNK 为0.97~ 1.02、属准铝质岩石: 而花岗闪长岩 A/CNK 较高为 0.97~1.21, 多数样品均小于1.1, 应为铝正常序列。 黑云母石英闪长岩 σ为2.09~2.25,花岗闪长岩 σ 为1.51~2.14、均属钙碱性岩系。岩浆成分向高硅 富碱方向演化。





First group: granodiorite; second group: quartz diorite

4 地球化学特征

4.1 稀土元素特征

稀土元素含量见表 2。黑云母石英闪长岩稀土 总量为(189.68~217.61)×10⁻⁶,花岗闪长岩稀土 总量为 $(128.03 \sim 217.28) \times 10^{-6}$,均低于或稍高于 上地壳的210×10⁻⁶, 而明显高于下地壳的74× 10^{-6[3]}。石英闪长岩 LREE/HREE 比值为 8.80~ 11.10. 花岗闪长岩 LREE/HREE 比值为13.22~ 21.41. 属轻稀土元素显著富集型. 与黑云母石英闪 长岩高的(La/Yb) N值(11.07~15.57) 及花岗闪长岩 (La/Yb)N值(17.47~32.13)相一致。黑云母石英闪 长岩与花岗闪长岩配分曲线一致,呈斜率较大的右 倾式(图3),说明二者为同源岩浆的产物。黑云母 石英闪长岩 & Lu 为0.84~0.96, 无 Eu 负 异常或弱异 常,花岗闪长岩 &u为0.63~0.88表现为较明显的 Eu负异常,说明从黑云母石英闪长岩到花岗闪长岩 的演化是连续的、表明岩体有一定的分异作用。 石 英闪长岩 Sm/Nd 为0.18~0.20, 花岗闪长岩 Sm/Nd 为0.16~0.19,均低于陆壳平均值、总体具壳幔混合 源特征。

4.2 微量元素特征

微量元素分析结果见表 3, MORB 标准化配分型 式见图(图 4)。黑云母石英闪长岩和花岗闪长岩均 表现为富集大离子亲石元素 K、Ba、Rb, 及高场强元 素 Th, 相对于其它相邻元素而言, Sr、Nb、Ta, 略显亏 损, Ti、P 较强亏损。Nb/La=0.32~0.70, 与具岛弧 特征的钾质岩石相似。黑云母石英闪长岩与花岗闪 长岩显示的 P、Ti 亏损表明岩石受到了磷灰石、钛铁 矿的分离结晶作用影响。Nb-Ta-Ti 负异常和低Nb/

表 1 扎那日根岩体岩石化学成分(wg/%)

| Table 1 Chemical compositions ($w_{B'}$ ⁰) in the Zhanarigen masses | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|--------------------|------------------|-------------------------------|------|-------|
| 序号 | 岩性 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | M nO | MgO | CaO | N a ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | 灼失量 | 总量 |
| 1 | | 73.94 | 0.35 | 13.07 | 1.41 | 0.60 | 0.04 | 0.13 | 1.28 | 3.45 | 4.03 | 0.09 | 1.31 | 99.70 |
| 2 | | 74.87 | 0.34 | 13. 11 | 1.29 | 0.97 | 0.03 | 0.12 | 0.54 | 3. 23 | 4. 18 | 0.09 | 0.82 | 99.59 |
| 5 | | 71.35 | 0.38 | 13.38 | 1.68 | 1.00 | 0.07 | 0.14 | 2.32 | 3.65 | 3.34 | 0.11 | 2.19 | 99.61 |
| 4 | | 75.87 | 0.20 | 12. 15 | 0.89 | 1.03 | 0.04 | 0.13 | 1.04 | 3. 11 | 3.95 | 0.04 | 1.09 | 99.54 |
| 5 | 花 | 75.35 | 0.22 | 12.38 | 0.96 | 1.25 | 0.04 | 0.15 | 1.09 | 3.43 | 3.59 | 0.04 | 1.11 | 99.61 |
| 6 | 岗 | 75.81 | 0.25 | 12. 17 | 0.60 | 1.65 | 0.04 | 0.38 | 0.47 | 3.47 | 4.04 | 0.05 | 0.40 | 99.33 |
| 7 | 闪 | 74.87 | 0.20 | 12.27 | 1.06 | 1.10 | 0.05 | 0.15 | 1.45 | 3. 15 | 3.88 | 0.04 | 1.31 | 99.53 |
| 8 | K | 75.03 | 0.21 | 12. 19 | 1.08 | 1.05 | 0.05 | 0.12 | 1.41 | 3.54 | 3.62 | 0.04 | 1.19 | 99.53 |
| 9 | 岩 | 65.73 | 0.75 | 14.63 | 1.76 | 2.90 | 0.08 | 1. 95 | 2.46 | 4.08 | 2.86 | 0.18 | 1.80 | 99.18 |
| 10 | | 71.69 | 0.42 | 13. 53 | 0.99 | 2. 20 | 0.05 | 0.57 | 1.16 | 3.95 | 3.92 | 0.10 | 0.66 | 99.24 |
| 11 | | 71.19 | 0.46 | 13.80 | 0.84 | 2.50 | 0.06 | 0.70 | 1.81 | 3.92 | 3.62 | 0.11 | 0.34 | 99.35 |
| 12 | | 70.94 | 0.46 | 13.90 | 0.99 | 2.40 | 0.07 | 0.70 | 1.81 | 3.86 | 3.63 | 0.11 | 0.49 | 99.36 |
| 13 | | 70.54 | 0.54 | 14.35 | 1.11 | 2.30 | 0.06 | 0.85 | 1.31 | 4.34 | 3. 12 | 0.13 | 0.73 | 99.38 |
| 14 | | 63.19 | 0.86 | 16. 51 | 1.90 | 3. 53 | 0.13 | 1. 33 | 3.83 | 4.08 | 2. 72 | 0.31 | 0.87 | 99.26 |
| 15 | | 64.67 | 0.75 | 16.16 | 1. 72 | 3.30 | 0.12 | 1.14 | 3. 27 | 4.26 | 2.64 | 0.25 | 0.96 | 99.24 |
| 16 | | 62.36 | 0.94 | 16.44 | 2. 27 | 3. 77 | 0.15 | 1. 48 | 4.22 | 4.03 | 2.39 | 0.36 | 0.81 | 99.22 |

表 2 扎那日根岩体稀土元素分析结果(w_{B} 10⁻⁶)

| Table 2 | REE analyses | $(w_{\rm B}/10^{-6})$ | for the | Zh ana rig en | masses |
|---------|--------------|-----------------------|---------|---------------|--------|
|---------|--------------|-----------------------|---------|---------------|--------|

| 序号 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | LREE | HREE | δEu |
|----|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|--------|-------|------|
| 1 | 38.30 | 61.50 | 6.10 | 23.10 | 4.09 | 0.77 | 2.90 | 0.47 | 2.55 | 0.50 | 1. 39 | 0.23 | 1.44 | 0.21 | 11.4 | 133.86 | 9.69 | 0.66 |
| 2 | 41.90 | 67.80 | 6.98 | 26.60 | 4.28 | 1.04 | 3.34 | 0.60 | 2.81 | 0.50 | 1. 58 | 0.25 | 1.57 | 0.23 | 12.2 | 148.60 | 10.88 | 0.82 |
| 3 | 40.60 | 59.30 | 5.90 | 18.00 | 3. 15 | 0.62 | 2.35 | 0.35 | 1.95 | 0.32 | 1.01 | 0.14 | 0.92 | 0.14 | 8.81 | 127.57 | 7.18 | 0.67 |
| 4 | 43.50 | 63.10 | 6.64 | 18.80 | 3.00 | 0.67 | 2. 22 | 0.34 | 1.65 | 0.28 | 0.83 | 0.12 | 0. 78 | 0.12 | 7.45 | 135.71 | 6.34 | 0.77 |
| 5 | 38.20 | 56.70 | 5.60 | 17.00 | 3.24 | 0.58 | 2.23 | 0.34 | 2.05 | 0.38 | 1.07 | 0.17 | 0.86 | 0.12 | 8.22 | 121.32 | 7. 22 | 0.63 |
| 6 | 37.40 | 55.90 | 6.49 | 17.80 | 3.04 | 0.64 | 2.20 | 0.34 | 1.80 | 0.34 | 0. 91 | 0.14 | 0.90 | 0. 13 | 7.68 | 121.27 | 6.76 | 0.73 |
| 7 | 44.00 | 63.80 | 6.45 | 19.00 | 3.36 | 0.69 | 2.46 | 0.34 | 1.94 | 0.36 | 1.02 | 0.15 | 0.90 | 0.14 | 8.75 | 137.30 | 7.31 | 0.71 |
| 8 | 40.30 | 60.70 | 7.18 | 22.60 | 4.12 | 1.11 | 3. 53 | 0.49 | 2.76 | 0.46 | 1. 33 | 0.20 | 1.13 | 0.16 | 10.6 | 136.01 | 10.06 | 0.88 |
| 9 | 45.10 | 71.20 | 8.36 | 26.40 | 4.47 | 0.99 | 3. 74 | 0.62 | 3.11 | 0.55 | 1. 68 | 0.26 | 1.62 | 0.26 | 13.3 | 156.52 | 11.84 | 0.73 |
| 10 | 59.60 | 91.00 | 9.48 | 34. 70 | 6.21 | 1.27 | 4.51 | 0. 74 | 4.15 | 0.74 | 2.17 | 0.33 | 2.08 | 0.30 | 16.6 | 202.26 | 15.02 | 0.71 |
| 11 | 43.40 | 75.20 | 8.39 | 36.00 | 6. 76 | 1.92 | 5.30 | 0.86 | 5.14 | 0.88 | 2.73 | 0.37 | 2.38 | 0.35 | 20.6 | 171.67 | 18.01 | 0.96 |
| 12 | 55.60 | 88.20 | 11.40 | 36.00 | 6.60 | 1.82 | 5.63 | 0.86 | 4.89 | 0.89 | 2.63 | 0.39 | 2.35 | 0.35 | 19.7 | 199.62 | 17.99 | 0.90 |
| 13 | 46.70 | 83.70 | 10.50 | 39.20 | 7.96 | 2.04 | 6.65 | 0.96 | 6.14 | 1. 09 | 3.10 | 0.48 | 2.78 | 0.41 | 25.5 | 190.10 | 21.61 | 0.84 |



图 3 稀土元素球粒陨石标准化曲线

Fig. 3 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the Zhanarigen masses



图4 MORB 标准化配分型式(MORB 值据文献¹⁴) Fig. 4 MORB-nomalized distribution patterns (MORB values from Beviens et al., 1984)

表 3 扎那日根岩体微量元素分析成果(w_Β/10⁻⁶)

| | Table 3 Trace element analyses ($w_{\rm B}/10^{-6}$) for the Zhanarigen masses | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|------|------|------|------|-------|------|-------|---------------|-----|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|
| 序号 | Cu | Pb | Zn | Cr | Li | Rb | Cs | As | \mathbf{Sr} | Ba | V | Sc | Ga | Be | Nb | Та | Zr | Hf | U | Th |
| 1 | 28.4 | 11 | 33 | 8.5 | 5.3 | 93. 9 | 5.6 | 8.98 | 178 | 619 | 20.5 | 2.18 | 16.5 | 2.83 | 20.1 | 3.44 | 166 | 5.54 | 1.9 | 3.92 |
| 2 | 30.2 | 10.6 | 33.5 | 9.3 | 5.2 | 92.2 | 3.7 | 5.56 | 174 | 674 | 20.8 | 1. 5 | 17 | 2.5 | 20.4 | 1.38 | 216 | 6.48 | 2. 98 | 22.6 |
| 3 | 48.2 | 6.8 | 33.8 | 15.1 | 8.5 | 88.8 | 4 | 8.23 | 230 | 778 | 23.4 | 2.5 | 16.3 | 2.31 | 20 | 1.84 | 249 | 7.27 | 0.52 | 9.5 |
| 4 | 10.2 | 2.7 | 18.5 | 8.3 | 14.3 | 89.1 | 3.1 | 1.18 | 122 | 726 | 15.4 | 2.24 | 15 | 2. 22 | 18.7 | 2.57 | 84.4 | 3. 28 | 2.92 | 9.84 |
| 5 | 10.4 | 6.7 | 21.6 | 3 | 12.5 | 88.4 | 3.2 | 1.67 | 136 | 659 | 16.4 | 1.29 | 13.6 | 2. 27 | 16.6 | 2.41 | 79.7 | 2.94 | 2.36 | 7.72 |
| 6 | 15.9 | 13.4 | 32.4 | 6.1 | 11.4 | 101 | 2.9 | 5. 08 | 183 | 846 | 14.5 | 1.6 | 12.5 | 2.14 | 18 | 1.87 | 88.2 | 3.11 | 2.58 | 6.16 |
| 7 | 10.9 | 8.05 | 22.3 | 11 | 8.5 | 92.7 | 3.1 | 3.4 | 147 | 741 | 14 | 1.62 | 14.6 | 2. 23 | 11.8 | 0. 54 | 66.5 | 2.15 | 2.7 | 14.6 |
| 8 | 13.2 | 28.8 | 26.9 | 18 | 11.2 | 87 | 3.2 | 2.8 | 176 | 704 | 15.6 | 2.09 | 13.2 | 2. 58 | 15.2 | 1.51 | 79 | 2.64 | 1.9 | 14.8 |
| 9 | 12.9 | 6.4 | 70.9 | 4.8 | 21.3 | 71.4 | 4.25 | 1. 32 | 635 | 673 | 71.9 | 7.82 | 25.1 | 2.47 | 30.2 | 2.37 | 382 | 9.58 | 0.52 | 7.17 |
| 10 | 45.8 | 7.3 | 59.8 | 4.8 | 21 | 69.1 | 4 | 1.41 | 592 | 686 | 65.8 | 6.81 | 24.7 | 2.81 | 23.5 | 1.42 | 299 | 7.97 | 1.21 | 10.3 |
| 11 | 19.9 | 4.5 | 71.2 | 6 | 22 | 63 | 3.7 | 1.46 | 593 | 609 | 93 | 10.7 | 27.1 | 2.98 | 27.9 | 1.88 | 336 | 8.77 | 0. 98 | 11.6 |
| 12 | 50.1 | 47.8 | 61.6 | 52 | 57.2 | 72 | 6.4 | 5 | 861 | 671 | 90.1 | 7.21 | 17.6 | 1.86 | 18.6 | 1.48 | 139 | 4.13 | 1.44 | 12.5 |
| 13 | 21.4 | 18.3 | 38.6 | 7.8 | 16.6 | 95.4 | 3.6 | 3. 33 | 295 | 670 | 27.4 | 2.56 | 17.3 | 1.99 | 17.7 | 0.59 | 130 | 4.83 | 1.67 | 14.6 |
| 14 | 10.7 | 23.8 | 36.5 | 7.85 | 21.4 | 95.3 | 2.7 | 1. 69 | 331 | 725 | 32.2 | 2.91 | 19.3 | 2. 22 | 18.1 | 1.15 | 121 | 4.38 | 1.78 | 13.6 |
| 15 | 9 | 55.7 | 35.4 | 6.8 | 21.2 | 93. 7 | 2.9 | 2.63 | 366 | 704 | 33.4 | 3.1 | 17.8 | 2.37 | 21.8 | 1.23 | 182 | 6.43 | 2.7 | 11.3 |
| 16 | 8.2 | 12.7 | 38.9 | 5.2 | 21.2 | 70.4 | 3.8 | 1. 19 | 446 | 671 | 39.9 | 3.35 | 18.1 | 2.37 | 22.9 | 2.17 | 179 | 6 | 2.13 | 8.83 |

表 4 扎那日根岩体 Nd、Sr 同位素组成 Table 4 Nd and Sr isotopic compositions for the Zhanarigen masses

| 样品号 | MY1108/1 | MY1108/1-1 | MY1108/3 | MY1108/ 3-2 |
|--|-----------|------------|-----------|-------------|
| ¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd | 0. 0916 | 0.0906 | 0. 0899 | 0. 0881 |
| ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd | 0. 512664 | 0. 512646 | 0. 512626 | 0. 512656 |
| $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{i}$ | 0. 512535 | 0. 512518 | 0. 512499 | 0. 512531 |
| $\varepsilon_{Nd}(t)$ | 3.4 | 3. 1 | 2.7 | 3.3 |
| ⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr | 1. 492 | 1.518 | 2.334 | 1.674 |
| ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr | 0.70893 | 0. 70929 | 0.71120 | 0. 70964 |
| (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i | 0.70435 | 0. 70463 | 0.70403 | 0. 70450 |
| $\varepsilon_{Sr}(t)$ | 1.4 | 5. 4 | -3.1 | 3.6 |
| T_{2IM} | 718 | 744 | 744 | 722 |

La(0.32~0.70)的存在表明其不可能直接由软流圈 部分熔融产生^[3],其源区受到了俯冲组分的影响,或 者是源区部分熔融过程中存在残留钛酸盐矿物^{6]}。 但石英闪长岩未出现铕负异常和 Ti 亏损不明显,因 此源区钛酸盐矿物残留的可能性不大。 Rh/Sr 为 0.11~0.73,表明源区有壳源物质的加入。

5 Sr、Nd 同位素地球化学

扎那日根岩体 Sr、Nd 同位素分析结果列于表 4。(87 Sr/ 86 Sr)i 较低,变化于0.70403~0.70463之间; $\epsilon_{Nd}(t)$ 值较高,变化于2.7~3.4之间。在 $\epsilon_{Nd}(t)$ - $\epsilon_{Sr}(t)$ 图解(图 5),落入地幔线附近,显示了略亏损的地幔 源区特征,同时可能受到来自富集地幔物质的影响, 这种 Nd、Sr 同位素特征表明该岩体可能为板块消减 作用的产物。



Fig. 5 $\varepsilon_{Nd}(t)$ vs. $\varepsilon_{Sr}(t)$ diagram

6 构造环境分析

花岗岩的形成受其所处的大地构造环境、构造 活动的过程以及物源条件制约的观点已被广泛接 受。不同构造环境、条件下形成的花岗岩其岩石化 学特征存在差别。因而可以从岩石学的角度应用花 岗岩的岩石化学、地球化学特征判别其形成环境。 Picher(1983)把I型和S型花岗岩的概念与构造环境 结合起来,认为S型花岗岩是大陆碰撞的产物,I型 是造山后隆起的产物^[7]。扎那日根岩体黑云母石英 闪长岩和花岗闪长岩单元,在时空分布上具有联系, 形成时代接近,其岩石学、地球化学上既有联系和相 同、相似的演化趋势,又存在着一定的差别。岩石化 学上总体表现为具有中等的 K/(K+Na) 原子数比 值(0.28~0.46)和较高的Al₂O₃/(Na₂O+K₂O+CaO) 分子数比值(0.97~1.21)。 微量元素中以 Rb、Th 富 集.Nb、P、Ti 亏损和具较高的 Rb/Sr 比值为特征。 稀土元素特征值以中 Σ_{REE} 、高的(La/Yb) N 和低的 Œu为特征。根据岩石化学和矿物成分综合判断, 扎那日根岩体黑云母石英闪长岩和花岗闪长岩单元 具有 I-S 过渡型的特点,其岩浆含有幔源成分。综 上所述,印支期那日根黑云母石英闪长岩一花岗闪 长岩岩体应为壳幔混合产物。

在微量元素图解 Rb-(Y+Nb) 和 Rb-(Yb+Ta) 图解中(图6), 黑云母石英闪长岩和花岗闪长岩单 元样品均落入火山弧环境。在 *R*₁-*R*₂ 图上(图7), 黑云母石英闪长岩单元落入碰撞前消减地区和碰撞 后隆升地区的花岗岩内, 而花岗闪长岩单元落入重 熔-同碰撞花岗岩区及附近。显示了从早期黑云母 石英闪长岩单元到晚期花岗闪长岩单元的演化趋 势。本次工作在花岗闪长岩侵入体中获取了 216Ma、217Ma的单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄值 (表 4), 说明该岩体为印支期侵出, 时代为晚三叠 世。即随着拉竹龙-金沙江洋盆向南消减^{[8}, 扎那日 根岩体侵位。

7 结 论

(1) 扎那日根黑云母石英闪长岩一花岗闪长岩 岩体, 在岩石化学成分上花岗闪长岩表现为高硅、 碱、低铝、低钛, A/CNK 较高。黑云母石英闪长岩偏 中酸性, 属准过铝质岩石。稀土特征为轻稀土富集 型, 微量元素特征为富集大离子亲石元素 K、Ba、Rb, 及高场强元素 Th, (87 Sr/ 86 Sr) i 变化于0.70403~ 0.70463之间, ϵ_{Nd} (t) 值变化于2.7~3.4之间。构造 背景为火山弧型花岗岩。这些特征表明, 扎那日根 岩体的形成为壳幔混合作用的结果。

(2)花岗岩的形成及其岩石化学特征与它们的 形成环境的地壳演化的不同阶段存在着有机联系, 可以概括为洋壳俯冲一过渡壳一陆壳3个演化阶 段,扎那日根岩体石英闪长岩和花岗闪长岩单元的 岩浆来源,按照洋壳俯冲和一般模式,可以认为在俯 冲过程中,洋壳夹带了一定量的陆源物质,并在地幔 区形成混合岩浆,岩浆在上升侵位的途中又混合了 陆壳的成分,这种再次混合的岩浆上升到地壳浅处,



图 6 Rb-(Y+Ta) 和 Rb-(Y+Nb) 判别图判别图解(据 Pearce 等, 1984)

VAG. 火山弧花岗岩; WPG. 板内花岗岩; S-COIG. 同碰撞花岗岩; ORG. 洋中脊花岗岩石。第一组. 花岗闪长岩体; 第二组. 石英闪长岩

Fig. 6 Rb-(Y+Ta) and Rb-(Y+Nb) discrimination diagrams (after Pearce et al., 1984)

VAG = volcanic arc granite; WPG = within plate granite; S-COLG = syn-collision granite; ORG = ocean ridge granite. First group: granodiorite; second gropp; quartz diorite



图7 深成岩 R₁-R₂ 构造环境判别图(据 Batchelor 等, 1985)

①.地幔斜长花岗岩;②.碰撞前花岗岩;③.碰撞后花岗岩④.
造山晚期花岗岩区;⑤.非造山花岗岩;⑥.同碰撞花岗岩;⑦.后
造山花岗岩。第一组.花岗闪长岩岩体;第二组.石英闪长岩岩体;第三组. 埋扎黑云母二长岩体

Fig. 7 $R_1 = R_2$ diagram for plutons (after Batchelor et al., 1985)

经过岩浆分异等地质作用,便形成了石英闪长岩单 元和花岗闪长岩单元的岩浆源。

参加野外工作的还有涂兵、卜建军、甘金木、曾

波夫和段万军等同志。

参考文献:

- [1] 王岳军,范蔚茗,郭锋,等.湘东南中生代花岗闪长质小岩体的 岩石地球化学特征[J].岩石学报,2001,17(1):169-175.
- PECCERILLO A, TAYIOR S R Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey
 [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1976, 58(1): 63-81.
- [3] TAYLORS R. Chemical composition and evolution of the continental crust: The rare earth element evidence [A]. Mcelhinny. The Earth, Its Origin, Structure and Evolution [C]. London: Academic Press, 1979. 353-372.
- [4] BEVIENS R E, KOKELAAR B P, DUNKLE P N. Petrology and geochemistry of lower to middle Ordovician igneous rocks in Wales: A volcanic arc to marginal basin transition [J]. Proc. Geol. Ass., 1984, 95: 337–347.
- [5] MILLER C, SCHUSTER R, KIOTZLI U et al. Post collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis [J]. Journal of Petrology, 1999, 40(9): 1399–1424.
- [6] FOLEY S, AMAND N, LIU J. Potassic and ultrapotassic magmas and their origin [J]. Lithos, 1992, 28: 181–185.
- [7] PITCHER W S. Granite: Typology, geological environment and melting relationships [A]. Aetherton M P, Gribble C D. Migmatites, Melting and Metamorphism [C]. Nantwich: Shiva Publication, 1983. 277-287.
- [8] 潘桂棠,陈智梁,李兴振,等.东特提斯地质构造形成演化[M].
 北京:地质出版社,1997.122-128.

Characteristics and tectonic significance of the Zhanarigen rock masses in Zhidoi, Qinghai

LI Li, BAI Yun-shan, NIU Zhi-jun, DUAN Qi-fa, WANG Jian-xiong (*Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang* 443003, *Hubei, China*)

Abstract: The Zhanarigen rock masses in Zhidoi, Qinghai consist of early biotite quartz diorite and late granodiorite. The granodiorite gives U-Pb zircon ages ranging between 216 ± 2 Ma and 217 ± 7 Ma (Late Triassic). The Zhanarigen rock masses are enriched in alkali and depleted in Ti, suggesting the calc-alkaline series. They also exhibit the enrichment of the macro-ion lithophile elements K, Ba and Rb, and high field strength elements Th, while slight depletion in Sr, Nb and Ta, marked depletion in Ti and P relative to their adjacent elements. The initial ⁸⁷ Sr/⁸⁶Sr ratios vary from 0.70403 to 0.70463, and the $\varepsilon_{Nd}(t)$ values from 2.7 to 3.4. Judged from the trace element discrimination diagrams, the Zhanarigen rock masses should be assigned to the volcanic arc granites derived from the mixed crust-mantle products. **Key words:** Zhidoi; intermediate to acidic rock mass; tectonic significance; Qinghai