

文章编号: 1006-6616 (2017) 05-0673-13

西藏狮泉河地区晚侏罗世中性侵入岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义

尼玛次仁^{1,2}, 王国灿², 顿都^{1,2}, 普尺¹, 次仁央宗¹, 焦文龙¹,
李开云¹, 叶强¹, 洛桑朗杰¹, 达娃¹

(1. 西藏地勘局区域地质调查大队, 西藏 堆龙德庆县 851400;

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 侵位于狮泉河结合带南缘和结合带南侧古生代地层的晚白垩世侵入岩中, 解体出一套中性侵入岩, 呈岩珠、岩枝状产出, 主要岩石类型为石英闪长岩、英云闪长岩和花岗闪长岩, 其中石英闪长岩和英云闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 157.3 ± 1.5 Ma (MSWD = 0.96) 和 159.3 ± 3.7 Ma (MSWD = 2.30), 指示岩浆活动时间为晚侏罗世牛津期。该岩体 SiO_2 含量在 59.65% ~ 64.57% 之间, K_2O 为 1.95% ~ 2.69% 之间, Na_2O 为 1.97% ~ 3.42%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 在 0.74 ~ 1.29 之间, P_2O_5 为 0.085% ~ 0.139% 之间, Al_2O_3 为 13.63% ~ 15.68% 之间, A/CNK 为 0.89 ~ 1.07, 属于准铝质—弱过铝质花岗岩。岩石稀土元素总量 (ΣREE) 为 107.37×10^{-6} ~ 148.33×10^{-6} , LREE/HREE 在 6.77 ~ 9.67 之间, 轻重稀土分异程度强, δEu 为 0.63 ~ 0.84, 镉略具负异常; 在原始地幔标准化蛛网图上, 富 Rb、Th 等大离子亲石元素 (LILE) 而亏损 Nb、Ta、Ti 和 P 等高场强元素 (HFSE), 具有岛弧钙碱性岩浆的地球化学性质。从岩石学、岩石地球化学特征研究表明, 该时期岩石显示同源岩浆演化的特征, 具有典型 I 型花岗岩特征, 形成于板块俯冲下的岛弧环境。表明狮泉河一带在晚侏罗世已经存在俯冲型花岗岩, 研究认为该时期岩浆活动很可能是狮泉河洋盆北缘 (北亚带) 持续扩张时, 向南缘 (南亚带) 及中冈底斯带北缘俯冲的产物。

关键词: 狮泉河地区; 中性侵入岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb; 晚侏罗世

中图分类号: P597.3; P588.12

文献标识码: A

0 引言

青藏高原南部的冈底斯带上广泛发育中生代火山—岩浆活动, 记录了中生代特提斯洋盆的演化以及冈底斯带的构造—岩浆演化过程, 并构成了冈底斯重要的成矿带^[1~6]。通常认为冈底斯中生代火山—岩浆活动受北 (班公错—怒江洋壳)、南 (雅鲁藏布江新特提斯洋壳) 两个洋壳双向剪切作用制约^[1], 也就是在冈底斯带上发育火山—岩浆岩是在南雅鲁藏布江、北班公错—怒江两个洋壳的俯冲、消减、碰撞等作用下, 发育成因各异、

形成时代不同的火山—岩浆弧。而在冈底斯带北缘狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿—构造混杂带 (下称“狮泉河结合带”) 南缘及南侧 (中冈底斯带) 断续出露中生代火山—岩浆岩, 这与班公错—怒江结合带有关, 还是与狮泉河结合带有关? 前人对狮泉河一带中生代火山—岩浆岩未深入研究, 报道也相对较少, 特别对侵入岩更少, 限制了我们对狮泉河地区中生代岩浆作用及其与特提斯构造演化关系的理解。

在实施西藏 1:5 万噶尔地区 6 幅区调过程中, 在狮泉河一带晚白垩世侵入岩体边部重新厘定出一套晚侏罗世侵入岩, 研究分析了该侵入岩的 LA-

ICP-MS 钨石 U-Pb 年代学、岩石学及岩石地球化学数据, 结合区域地质背景, 探讨该时期岩浆活动岩石成因及构造环境, 为研究青藏高原南部特提斯构造演化提供了重要素材。

1 地质概况与岩石学特征

夹持在南(雅鲁藏布江结合带)、北(班公错—怒江结合带)两个结合带之间的冈底斯带, 呈中间宽两端窄的巨型构造—岩浆带(见图 1a), 东西长度>2500 km, 南北宽度约150~300 km, 面

积达 $45 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[2-3]。将冈底斯带划分为四个亚带^[4], 研究区内中冈底斯未向西延伸, 在狮泉河一带, 狮泉河结合带直接与南冈底斯带西端接触。西藏1:5万区调成果^[7], 将狮泉河结合带划分了南、北两个亚带(见图 1b), 北亚带(北缘)与区域上的狮泉河混杂带相连, 而南亚带(南缘)在狮泉河镇东侧格弄勒一带被岩体侵位, 向东延伸不清。在区域上, 江巴、邦巴、雄巴^[8]、拉果错^[9]、文部^[10]和央雄勒^[11]等地, 沿着狮泉河结合带的东侧也发育中—晚侏罗世的花岗岩, 但岩石组合类型、成因、构造背景等有所差异。

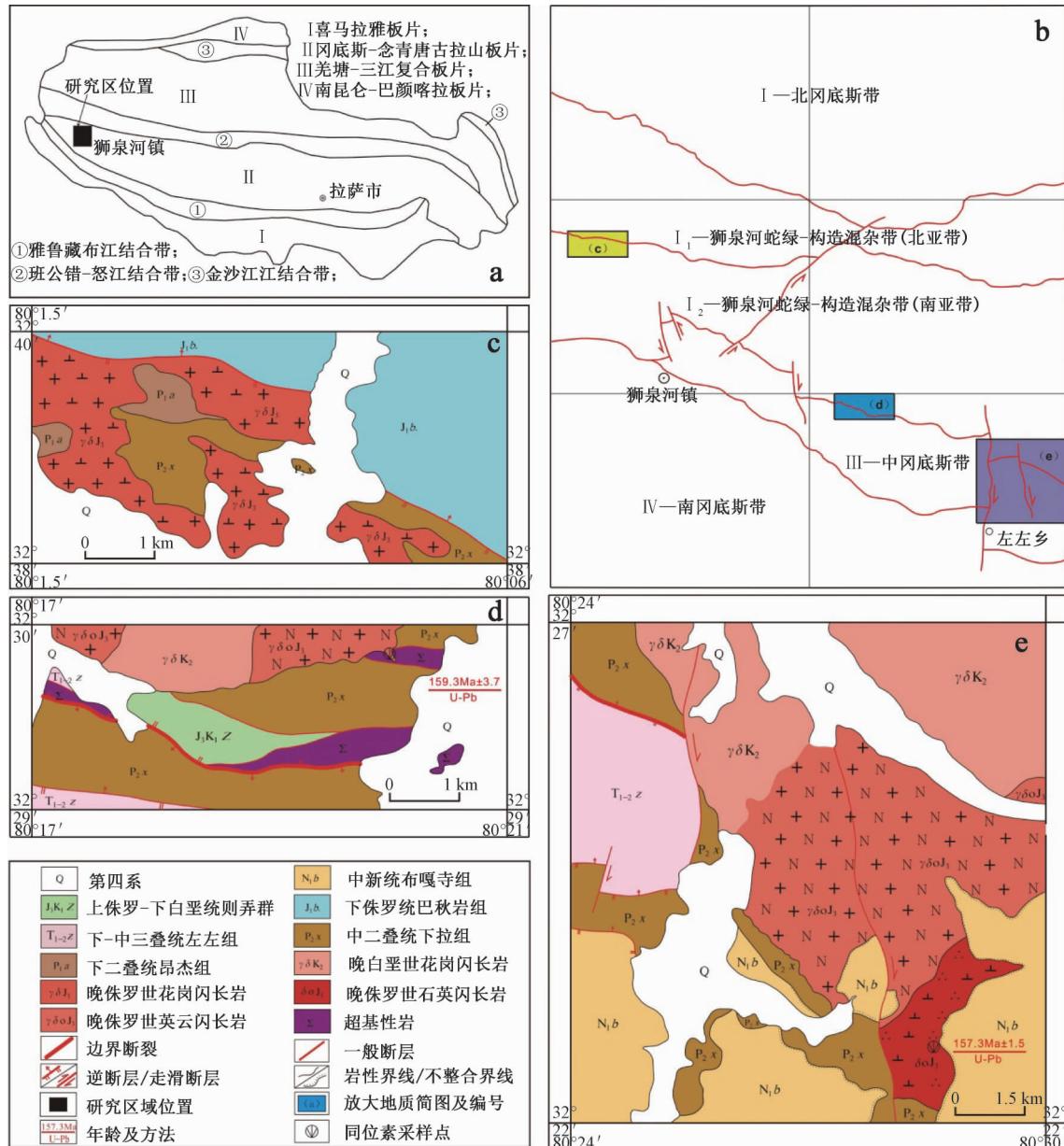


图 1 研究区地质简图(据文献[7]修编)

Fig. 1 Simplified geological map (according to regional geological survey of 1:50000 in Gaer area, Tibet)

在狮泉河镇东北部汤康巴、帕里革勒、仁温勒、学玛勒、甲布弄、格弄勒等地出露大面积晚白垩世侵入岩, 在该岩体的边部重新厘定出一套以石英闪长岩、英云闪长岩和花岗闪长岩组合的中性侵入岩体, 在平面上呈不规则岩珠、岩枝状断续侵位于狮泉河结合带南缘, 并在惹衣拉一带向南侵位狮泉河结合带南界至中冈底斯带北缘, 大致呈北西—南东向展布, 与区域构造线方向一致, 在砸惹、锅脚勒一带侵位于超基性岩 (Σ) 和下拉组 (P_{2x}) 岩片中, 界线呈波状弯曲, 岩体接触处具有定向性, 靠岩体内部逐渐消失, 围岩发育大理岩化等, 在中冈底斯带的北缘该岩体被布嘎寺组 (N_1b) 碱性火山岩喷发不整合覆盖 (见图 1c—1e)。

石英闪长岩具有中细粒结构, 块状构造, 主要矿物成分由斜长石 (40% ~ 45%) + 石英 (20%) + 钾长石 (5% ~ 10%) + 角闪石 (10% ~ 15%) + 黑云母 (5% ~ 10%) 组成。斜长石 (中长石为主) 呈半自形柱状、柱粒状和小板柱状, 一般粒径 0.6 ~ 1.1 mm, 最大 2 mm × 3.5 mm; 石英呈它形粒状组成填隙物底板, 大者 3 mm × 4 mm, 见统一消光特征, 细小斜长石在石英中呈包含嵌晶; 钾长石主要为微纹长石, 它形粒状 (约 1.5 mm), 不规则状, 内部含稀疏微纹嵌晶; 角闪石呈长柱状、不规则状、碎斑状, 具聚片双晶, 小角度倾斜消光特征; 黑云母呈叶片状、碎片状伴铁质、局部蚀变 (见图 2a、2b)。英云闪长岩具有粒状结构, 块状构造, 矿物成分由斜长石 (40% ~ 50%)、石英 (20% ~ 30%)、角闪石、黑云母 (10% ~ 30%)、钾长石 (偶见或 < 2%) 组成。斜长石 (中长石) 呈半自形柱状, 有隐约的环带构造, 绢云母化集中在晶体中心部位, 石英充填于斜长石和角闪石间隙中, 斜长石间隙中偶见钾长石, 角闪石呈长柱状、不规则碎斑状, 黑云母呈叶片状、碎片状充填于斜长石的间隙中, 具绿泥石化 (见图 2c、2d); 花岗闪长岩为中细粒状结构, 块状构造, 矿物成分为斜长石 (45%)、钾长石 (5% ~ 10%)、石英 (10% ~ 15%)、角闪石 (20% ~ 25%)。斜长石 (中长石—更长石) 呈柱状和不规则扁豆状, 粒径在 1.2 ~ 3.5 mm 之间, 发育细密钠长石双晶和环带状蚀变带, 核部绢云母化; 钾长石呈它形不规则状, 含稀少微纹嵌晶; 石英呈不规则粒状和碎粒状集合体; 角闪石呈长柱

状、长条状和不规则条带状, 含聚片双晶, 发育两组菱形解理, 部分发育绿泥石化 (见图 2e、2f)。

2 样品采集及分析方法

2.1 分选锆石及分析方法

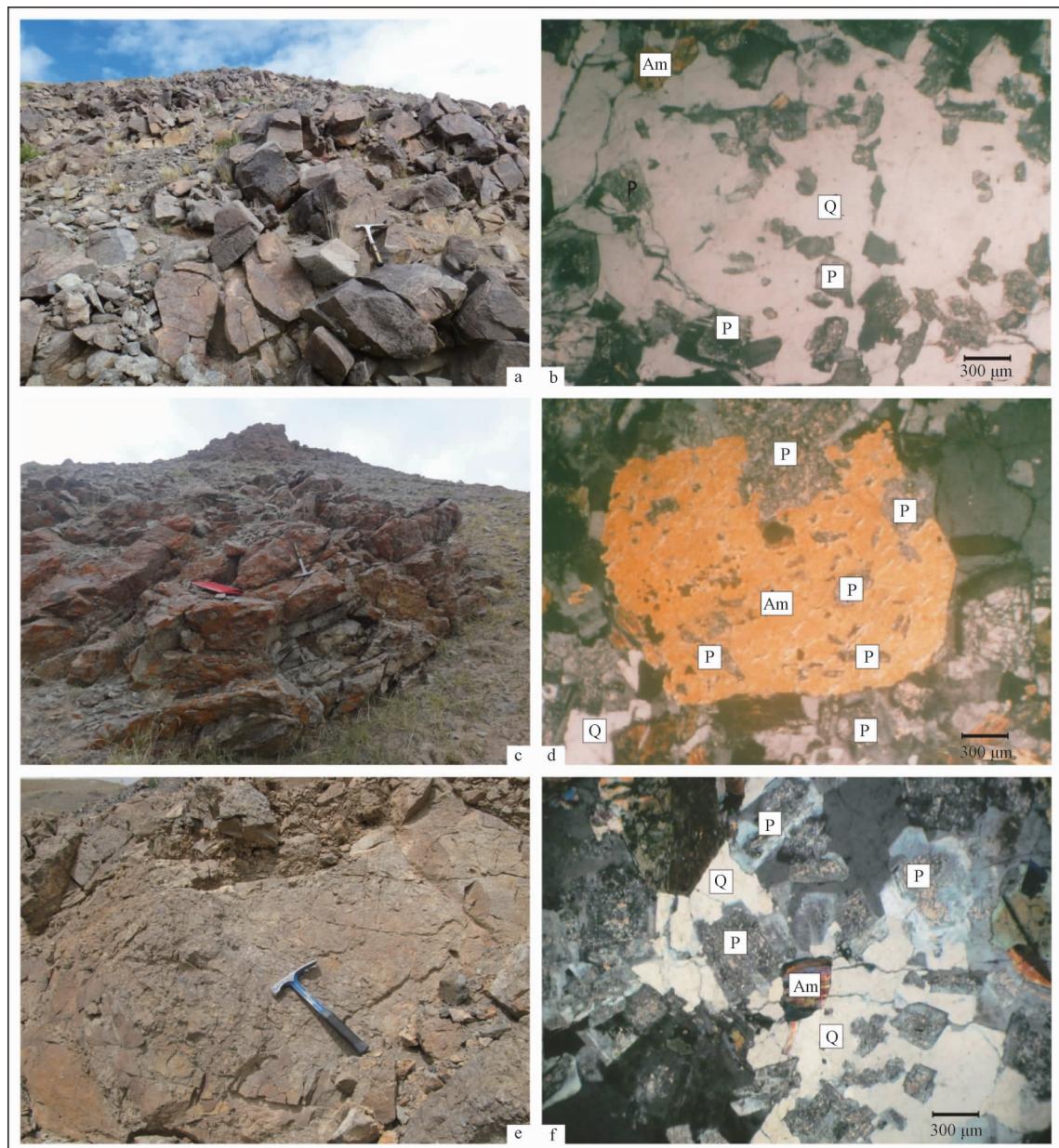
测年的锆石样品石英闪长岩 (D3052) 和英云闪长岩 (D2087) 采自噶尔县左左乡北约 20 km 次旺勒一带和左左乡北东约 7 km 处格弄勒一带 (见图 1d、1e), 样品各重 2 kg 左右, 并由河北廊坊诚信地质服务有限公司应用常规的分选方法, 获得了锆石。锆石制靶后, 进行了锆石阴极发光照片 (见图 3), 以观察锆石的内部结构。

锆石 U-Pb 同位素定年是在中国地质大学 (武汉) 国家重点实验室完成。测试仪器为激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪 (LA-ICP-MS), 激光剥蚀系统为 GeoLas2005, 激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度, 二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流 (Ar + He) 中加入了少量氮气, 以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度^[12]。每个时间分辨分析数据包括大约 20 ~ 30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号。对分析数据的离线处理 (包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算) 采用软件 ICPMSDataCal 软件^[13~14]完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同 Liu 等^[13~15]。

U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 作外标进行同位素分馏校正, 每分析 5 个样品点, 分析 2 次 91500。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移, 利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正^[14]。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck 等^[16]。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3^[17]完成。单次测定数据点的误差为 1σ , 年龄值选用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄, 其加权平均值具有 95% 的置信度。

2.2 主量、微量元素的测试方法

选取采集到的 11 个岩石样品进行主量、微量元素测试。样品分析由西南冶金地质测试中心完成, 其中主量元素采用 XRF (X 荧光光谱仪) 方法测定, 测定精度为 5%。微量元素和稀土元素采用等离子质谱仪分析, 含量大于 10×10^{-6} 的元素



a—为石英闪长岩宏观地质特征；b—为石英闪长岩显微矿物特征；c—为英云闪长岩宏观地质特征；d—为英云闪长岩显微矿物特征；e—为花岗闪长岩宏观地质特征；f—为花岗闪长岩显微矿物特征；Q—石英；P—斜长石；Am—一角闪石

图 2 岩石宏观地质特征及显微矿物特征

Fig. 2 Field and photomicrographs of representative samples of the Shiquanhe area, Tibet

测试精度为 5%，小于 10×10^{-6} 的元素精度为 10%。

3 分析结果

3.1 镍石 U-Pb 年龄

挑选出的镍石自形程度较好，大多数呈自形一半自形状，除极个别 $< 50 \mu\text{m}$ 外，其他在 $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 之间，个别 $> 200 \mu\text{m}$ ，发育岩浆结晶特征的震荡环带（见图 3），指示其为岩浆结晶的产物。

镍石的 U-Pb 同位素分析结果（见表 1）显示 Th/U 均大于 0.1，也属岩浆成因镍石^[18]。这与镍石晶体生长特征判断结果一致，说明镍石的结晶年龄。在两件年龄样品中 D3052 测得的 18 个点都相对集中，在镍石 U-Pb 年龄谐和图（见图 4）中均位于谐和线上或附近，说明镍石 U-Pb 年龄在误差范围内是谐和的；D2087 英云闪长岩镍石中 8 个镍石测得的年龄相对集中，在镍石 U-Pb 年龄谐和图（见图 4）中均位于谐和线上或附近，说明镍石 U-Pb

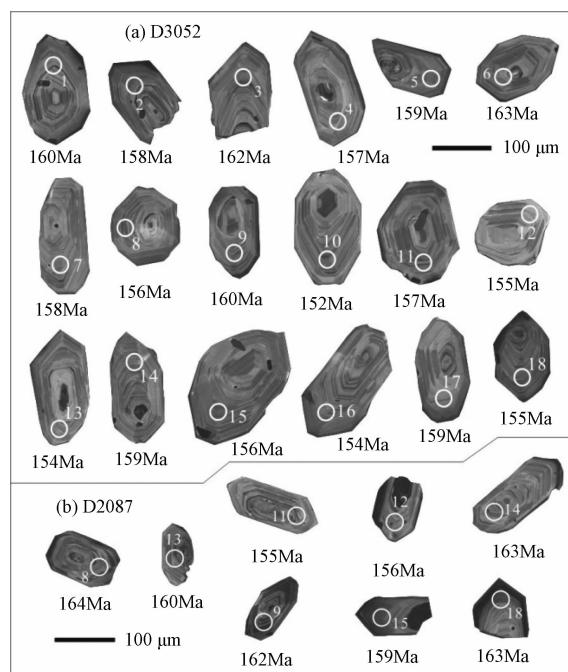


图3 锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 Cathodoluminescence image of zircons from the Shiquanhe area

表1 石英闪长岩(D3052)、英云闪长岩(D2087)LA-ICP-MS锆石U-Pb年代学分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analysis results of quartz diorites (D3052) and tonalities (D2087) from the Shiquanhe area, Tibet

测点号	同位素比值						年龄/Ma		
	W _B /10 ⁻⁶	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb (1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U (1σ)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (1σ)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U (1σ)
D3052-01	120	145	0.83	0.0655 (0.0056)	0.2131 (0.0156)	0.0252 (0.0006)	160 (4)	196 (13)	157 (8)
D3052-02	172	218	0.79	0.0579 (0.0035)	0.1994 (0.0121)	0.0249 (0.0005)	158 (3)	185 (10)	168 (13)
D3052-03	182	192	0.95	0.0684 (0.0059)	0.2394 (0.0237)	0.0255 (0.0005)	162 (3)	218 (19)	162 (7)
D3052-04	66.3	107	0.62	0.1216 (0.0196)	0.4115 (0.0720)	0.0246 (0.0006)	157 (4)	350 (52)	166 (13)
D3052-05	126	160	0.79	0.0646 (0.0057)	0.2144 (0.0190)	0.0250 (0.0005)	159 (3)	197 (16)	145 (8)
D3052-06	190	205	0.92	0.0499 (0.0035)	0.1775 (0.0129)	0.0256 (0.0005)	163 (3)	166 (11)	178 (34)
D3052-07	117	142	0.83	0.0714 (0.0055)	0.2293 (0.0172)	0.0248 (0.0006)	158 (4)	210 (14)	156 (8)
D3052-08	153	197	0.78	0.0662 (0.0055)	0.2186 (0.0174)	0.0245 (0.0005)	156 (3)	201 (14)	147 (7)
D3052-09	156	190	0.82	0.0644 (0.0046)	0.2190 (0.0147)	0.0251 (0.0005)	160 (3)	201 (12)	151 (7)
D3052-10	175	203	0.86	0.0559 (0.0040)	0.1805 (0.0119)	0.0239 (0.0005)	152 (3)	168 (10)	141 (6)
D3052-11	168	212	0.79	0.1036 (0.0396)	0.3467 (0.1374)	0.0246 (0.0005)	157 (3)	302 (104)	157 (7)
D3052-12	110	104	1.06	0.0915 (0.0081)	0.2958 (0.0246)	0.0244 (0.0006)	155 (4)	263 (19)	159 (9)
D3052-13	115	147	0.78	0.0784 (0.0065)	0.2467 (0.0194)	0.0242 (0.0006)	154 (4)	224 (16)	158 (10)
D3052-14	131	169	0.78	0.0692 (0.0052)	0.2293 (0.0157)	0.0250 (0.0006)	159 (4)	210 (13)	148 (8)
D3052-15	137	170	0.80	0.0742 (0.0064)	0.2449 (0.0221)	0.0245 (0.0005)	156 (3)	222 (18)	155 (8)
D3052-16	126	155	0.82	0.0690 (0.0046)	0.2312 (0.0154)	0.0241 (0.0005)	154 (3)	211 (13)	178 (9)
D3052-17	115	120	0.96	0.0822 (0.0057)	0.2797 (0.0181)	0.0250 (0.0006)	159 (4)	250 (14)	167 (8)
D3052-18	161	221	0.73	0.0887 (0.0230)	0.3024 (0.0805)	0.0244 (0.0004)	155 (3)	268 (63)	160 (7)
D2087-08	167	224	0.74	0.0616 (0.0039)	0.2211 (0.0155)	0.0258 (0.0006)	164 (3)	203 (13)	158 (7)
D2087-09	421	598	0.70	0.0614 (0.0033)	0.2186 (0.0123)	0.0255 (0.0004)	162 (2)	201 (10)	187 (9)
D2087-11	129	176	0.73	0.0636 (0.0051)	0.2017 (0.0156)	0.0243 (0.0005)	155 (3)	187 (13)	158 (8)
D2087-12	132	175	0.75	0.0600 (0.0043)	0.1909 (0.0125)	0.0244 (0.0006)	156 (4)	177 (11)	147 (7)
D2087-13	166	201	0.83	0.1096 (0.0089)	0.3746 (0.0304)	0.0252 (0.0006)	160 (4)	323 (22)	255 (14)
D2087-14	117	157	0.74	0.0728 (0.0069)	0.2422 (0.0198)	0.0256 (0.0005)	163 (3)	220 (16)	158 (9)
D2087-15	235	496	0.47	0.0514 (0.0031)	0.1768 (0.0101)	0.0250 (0.0004)	159 (2)	165 (9)	160 (7)
D2087-18	133	180	0.74	0.0612 (0.0046)	0.2090 (0.0153)	0.0255 (0.0006)	163 (3)	193 (13)	161 (8)

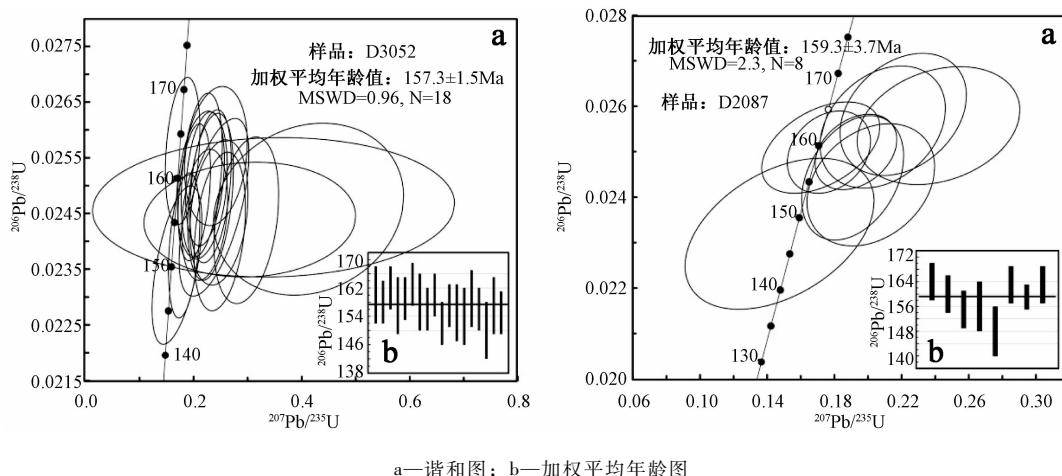


图 4 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 U-Pb Concordia diagrams of zircons from the granodiorites in the Shiquanhe area

年龄在误差范围内是谐和的，其它锆石年龄相差较大，为岩浆在侵位时捕获的继承性锆石。获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄分别为 157.3 ± 1.5 Ma ($\text{MSWD} = 0.96$) 和 159.3 ± 3.7 Ma ($\text{MSWD} = 2.30$) 为岩石形成年龄，属晚侏罗世牛津期。

3.2 主量、微量元素

表 2 中 SiO_2 含量为 $59.65\% \sim 64.57\%$ 之间，以 65% 为界，该类岩石属中性岩范畴； K_2O 为 $1.96\% \sim 2.69\%$ ， Na_2O 含量为 $1.97\% \sim 3.42\%$ ， $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 为 $4.22\% \sim 5.94\%$ ， $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值在 $0.74 \sim 1.29$ ， CaO 为 $3.40\% \sim 6.28\%$ 、 Al_2O_3 为 $13.63\% \sim 15.68\%$ ， P_2O_5 为 $0.085\% \sim 0.139\%$ ， MgO 为 $3.16\% \sim 5.00\%$ ， Mg^* 在 $51.00 \sim 60.15$ 之间，在 TAS 分类图解（见图 5）上，样品落在闪长岩和花岗闪长岩区域，属亚碱性系列，因岩石略微蚀变，使岩石化学定名与室内薄片鉴定存在差异。里特曼指数 δ 在 $0.93 \sim 1.85$ 之间，小于 3.3 ，属钙碱性系列岩石。在 CIPW 标准矿物中，三件样品含刚玉 (Q) 分子 (0.78 ~ 1.27)，其他样品对应含有透辉石 (Di) 分子 (0.38 ~ 3.48)，铝饱和指数 (A/CNK) 介于 $0.89 \sim 1.07$ 之间，为准铝质—弱过铝质花岗岩。

从表 2 中可以看出稀土元素总量 (ΣREE) 为 $107.37 \times 10^{-6} \sim 148.33 \times 10^{-6}$ ，LREE/HREE 为 $6.55 \sim 9.67$ 之间，轻稀土比重稀土分异程度较强， δ_{Eu} 在 $0.63 \sim 0.84$ 之间，具有铕略负异常。稀土元素配分曲线（见图 6a）中轻稀土元素 (LREE) 向右缓倾斜，重稀土元素 (HREE) 接近平坦型曲线，轻稀土明显比重稀土分馏强，属轻稀土元素

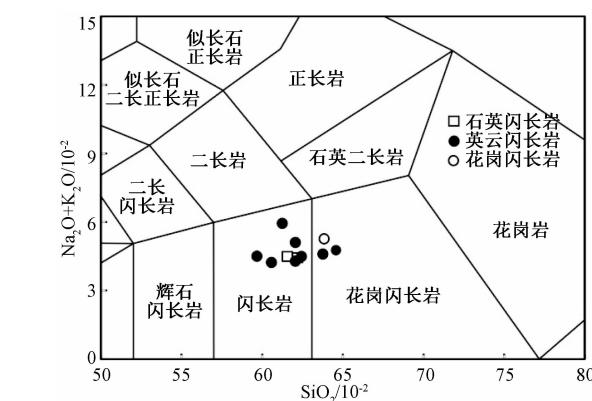


图 5 狮泉河地区中性侵入岩 TAS 分类图解

Fig. 5 TAS classification diagram of the intermediate intrusive rocks in the Shiquanhe area

富集型。稀土元素球粒陨石标准化配分图上显示非常一致的曲线，反映该类岩石具有同源性和构造环境的相似性。在微量元素原始地幔标准化蛛网图（见图 6b）中可以看出，与原始地幔相比，样品普遍富集大离子亲石元素 (LILE) Rb、Th 等，明显亏损高场强元素 (HFSE) Nb、Ta、Ti 和 P 等。

4 讨论

4.1 岩石成因类型

铝饱和指数 (A/CNK) 通常作为划分 I 型和 S 型花岗岩的标志 (I 型花岗岩 $A/\text{CNK} < 1.1$)^[20]，研究中样品 A/CNK ($0.89 \sim 1.07$) < 1.1 ，岩石属于准铝质花岗岩或弱过铝质岩石 I 型花岗岩。研究表明铝饱和指数 (A/CNK) 指标虽然适用于未经

表2 狮泉河地区中性侵入岩主量、微量元素和稀土元素分析结果及部分标准矿物特征参数

Table 2 Analysis results of major elements, REE, trace-elements, and characteristic parameters of some CIPW data of the Shiquanhe intermediate intrusive rocks

样品号	10^{-2}												10^{-2}					
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	总和	Mg [#]	Q	An	Ab	
D3052	62.21	0.55	14.32	1.31	4.39	0.12	4.7	4.94	2.15	2.3	0.096	2.68	99.77	60.07	21.62	23.31	18.74	
D7206	61.58	0.57	13.63	0.83	5.26	0.13	5	5.17	1.97	2.54	0.103	2.96	99.74	59.74	19.92	21.54	17.22	
D0016	62.05	0.54	15.25	1.01	4.3	0.11	3.69	5.76	2.18	2.1	0.1	2.66	99.75	55.81	22.01	26.39	19	
D0017	64.57	0.43	15.2	1.06	3.17	0.08	3.16	5.36	2.3	2.46	0.085	1.9	99.78	57.74	24.82	24.4	19.88	
D1070	59.65	0.62	15.6	1.12	5.01	0.12	4.58	5.66	2.38	2.12	0.139	2.72	99.72	57.57	16.55	26.41	20.76	
D1086	62.04	0.54	14.88	1.34	4.16	0.12	3.92	4.56	2.66	2.44	0.11	3	99.77	56.57	20	22.17	23.26	
D2045	60.56	0.59	15.68	0.88	5.31	0.14	3.56	6.28	2.02	2.2	0.104	2.46	99.77	51.00	19.36	27.97	17.56	
D2087	61.23	0.56	15.37	1.18	4.88	0.14	3.77	3.4	3.42	2.52	0.12	3.17	99.77	53.08	16.35	16.62	29.96	
D3262	62.42	0.56	14.57	0.22	5.2	0.12	4.57	4.26	2.54	1.95	0.105	3.28	99.79	60.15	21.34	21.19	22.27	
D7214	63.75	0.49	14.32	1.05	3.86	0.1	3.77	5.26	2.08	2.51	0.098	2.48	99.77	58.31	24.22	22.95	18.09	
D1281	63.83	0.48	14.77	0.81	4.11	0.11	4.08	3.65	2.57	2.69	0.1	2.57	99.77	60.04	22.75	17.94	22.37	
样品号	10^{-2}												10^{-6}					
	Or	C	Di	A/CNK	σ_{43}	Rb	Ba	Th	U	Ta	Nb	Sr	Zr	Hf	Ni	Cr	La	
D3052	14	0	1.05	0.954	1	84.8	326	12.4	1.07	0.98	10.6	167	110	3.32	33	200	26	
D7206	15.51	0	3.48	0.886	1.05	94.2	374	11.5	0.82	0.8	9.66	150	124	2.78	35.4	161	25.3	
D0016	12.78	0	1.94	0.934	0.93	82.2	386	13.3	1.31	0.97	10.4	214	119	3.44	18.6	64.2	35.3	
D0017	14.85	0	1.78	0.939	1.03	107	376	11.8	1.1	0.88	9.52	176	102	2.86	24.6	114	27.8	
D1070	12.92	0	1.32	0.945	1.16	88.4	480	9.99	1.04	0.9	11	244	120	3.71	27.5	115	30	
D1086	14.9	0	0.38	0.972	1.32	100	414	12.1	2.3	1.02	10.7	194	152	4.46	25.1	74.3	27	
D2045	13.36	0	2.76	0.916	0.98	77.4	346	9.23	1.45	0.95	10.3	217	115	3.73	9.24	41.2	26.4	
D2087	15.42	1.17	0	1.057	1.85	108	493	10.2	1.01	0.92	9.82	280	102	3.02	10.3	45.8	23.2	
D3262	11.94	0.82	0	1.038	1	66.9	338	10	0.87	1	10.9	202	135	4.02	41.1	159	24.2	
D7214	15.25	0	2.62	0.912	0.99	99.6	376	12.7	0.8	0.84	9.28	154	116	3.55	26	118	27.1	
D1281	16.35	1.27	0	1.072	1.29	73.3	364	6.54	0.89	1.07	10.7	204	159	4.75	29.4	159	21.5	
样品号	10^{-6}												LREE/HREE/ δ Eu					
	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE	LREE/HREE	δ Eu	
D3052	52	5.99	21.8	4.14	0.94	4.18	0.76	3.59	0.79	2.53	0.42	2.3	0.37	26.3	125.81	7.42	0.68	
D7206	51.6	5.7	20.4	3.97	0.89	3.93	0.72	4.2	0.85	2.58	0.41	2.5	0.46	23	123.51	6.89	0.68	
D0016	63.4	6.67	23	4.27	1.03	4.27	0.76	3.46	0.76	2.44	0.4	2.21	0.36	27.3	148.33	9.12	0.73	
D0017	50.2	5.19	17.5	3.1	0.86	3.1	0.54	2.54	0.56	1.84	0.3	1.67	0.27	20.3	115.47	9.67	0.84	
D1070	58.8	6.7	24.6	4.62	1.12	4.6	0.82	3.81	0.86	2.68	0.46	2.39	0.4	29.2	141.86	7.86	0.73	
D1086	51	5.81	21	4.16	0.93	4.05	0.72	3.36	0.73	2.36	0.4	2.14	0.34	25.4	124	7.79	0.68	
D2045	52.2	6.16	22.9	4.46	1.05	4.57	0.83	3.98	0.87	2.86	0.49	2.62	0.42	29.5	129.81	6.8	0.7	
D2087	44.7	5.23	19.2	4.05	1.03	4.05	0.78	3.68	0.8	2.62	0.44	2.39	0.39	26.8	112.56	6.43	0.77	
D3262	48.1	5.92	21.8	4.37	0.9	4.22	0.79	3.73	0.81	2.69	0.44	2.48	0.4	27.1	120.85	6.77	0.63	
D7214	52.0	5.53	18.9	3.54	0.88	3.54	0.61	3.71	0.76	2.4	0.36	2.36	0.39	21.1	122.08	7.64	0.75	
D1281	42.4	5.18	19.2	3.91	0.96	3.79	0.73	3.47	0.76	2.44	0.41	2.25	0.37	23.2	107.37	6.55	0.75	

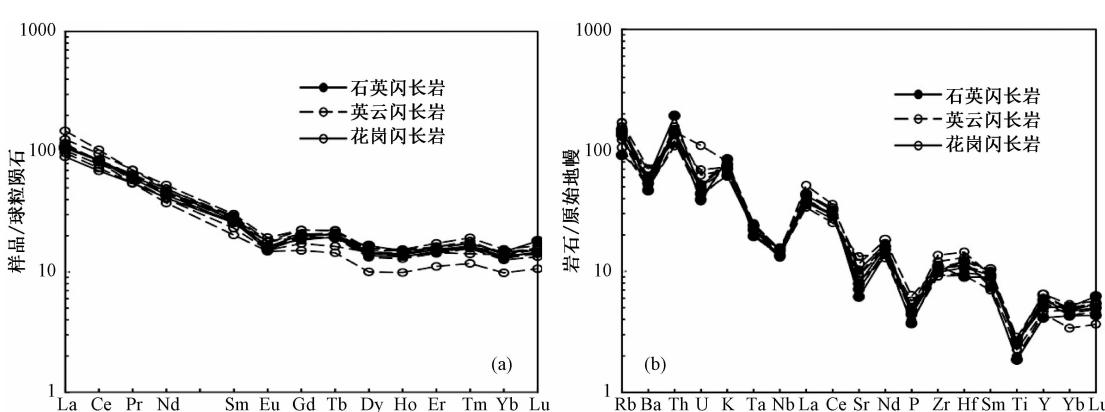


图6 狮泉河地区中性侵入岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)(球粒陨石及原始地幔标准值据文献^[19])

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagrams (b) of the Shiquanhe intermediate intrusive rocks (Chondrite values and primitive mantle after Sun and Donough, 1989)

强烈结晶分异的花岗岩，但在高分异的花岗岩判别中失效^[21]。据前人研究成果^[22]表明 I 型花岗岩中 SiO_2 与 P_2O_5 具明显负相关性，而 S 型花岗岩中 P_2O_5 随着 SiO_2 的增加而增加或基本不变的趋势。文中侵入岩的 P_2O_5 含量介于 0.085% ~ 0.139% 之间，在 P_2O_5 - SiO_2 图解（见图 7）中显示 P_2O_5 随着 SiO_2 含量增加而降低，同时结合矿物组成及地球化学特征来综合考虑，该类岩石中都含有 I 型花岗岩的特征性矿物角闪石（见图 2c、2d），含量在 10% ~ 30% 之间；在地球化学特征方面，样品在 K_2O - SiO_2 图解（见图 8）上主体落于高钾钙碱性—中钾钙碱性系列界线附近。LREE/HREE 为 6.77 ~ 9.67 之间，具轻稀土元素富集， δEu 均 > 0.6 (0.63 ~ 0.84)，具有弱负 Eu 异常。微量元素中大离子亲石元素 (LILE) Rb、Th、K、U 等富集，高场强元素 (HFSE) Nb、Ta 和 Ti 等明显亏损，具有 I 型花岗岩特征。综合以上分析，研究区中性侵入岩为准铝质—弱过铝质高钾—中钾钙碱性 I 型花岗岩。

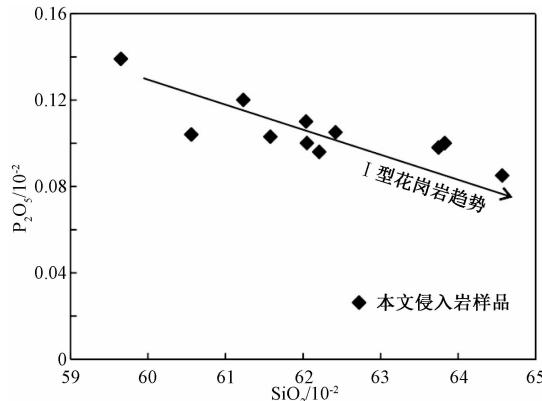


图 7 狮泉河地区中性侵入岩 P_2O_5 - SiO_2 图解

Fig. 7 P_2O_5 - SiO_2 diagram of the Shiquanhe intermediate intrusive rocks

4.2 岩石形成时代及构造意义

从狮泉河一带中性侵入岩（石英闪长岩和英云闪长岩）获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 157.3 ± 1.5 Ma ($\text{MSWD} = 0.96$) 和 159.3 ± 3.7 Ma ($\text{MSWD} = 2.30$)，属晚侏罗世牛津期，其代表了该岩石的形成或结晶年龄。

钙碱性 I 型花岗岩大量出现在与板块俯冲相关的陆缘弧中^[23]，通常被当作大陆弧或岛弧存在的指标，近年来的大量研究表明^[24]，大量的钙碱性 I 型花岗岩也属于后碰撞花岗岩类，后碰撞花岗岩类存在多样性及复杂性，也就是说，钙碱性 I 型花

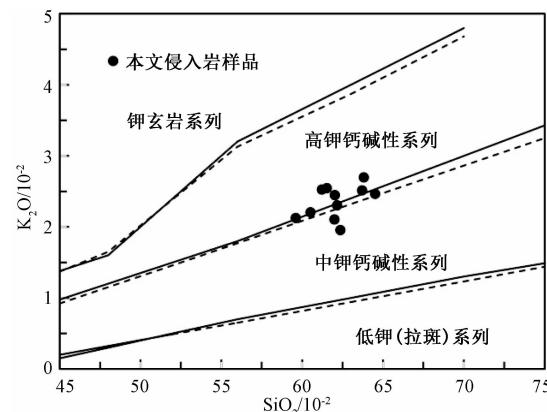


图 8 狮泉河地区中性侵入岩 K_2O - SiO_2 图解

Fig. 8 K_2O - SiO_2 diagram of the Shiquanhe intermediate intrusive rocks

岗岩类主要在两种构造背景下产出：即可以形成于板块俯冲阶段，也可以出现在后碰撞阶段^[25]。

在微量元素 $\text{Rb}-\text{Yb} + \text{Ta}$ 和 $\text{Yb}-\text{Ta}$ 图解（见图 9）中样品落入火山弧花岗岩区，表明形成于岛弧或活动大陆边缘环境；在稀土元素 $\text{Yb}_{\text{N}} - (\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 和 $\text{Y}-\text{Sr}/\text{Y}$ 图解（见图 10）中都落入经典岛弧岩石区。但据前人大量的研究表明^[24~27]，简单运用微量元素图解不能有效地划分岩石形成的构造背景，而应该结合当时大地构造背景。在狮泉河北亚带采获的放射虫硅质岩形成时代为晚侏罗世^[7]，说明晚侏罗世狮泉河结合带北缘还存在残余洋盆，此时，侵位于狮泉河结合带南缘及中冈底斯带的中性岩，不可能是狮泉河结合带碰撞或后碰撞的产物，暗示晚侏罗世狮泉河一带不存在碰撞或后碰撞花岗岩形成的背景，说明该时代的中性侵入岩是在俯冲背景下的产物。

在 $\text{La}/\text{Yb}-\text{La}$ 和 $\text{La}/\text{Sm}-\text{La}$ 图解（见图 11a、11b）中显示部分熔融的特征，在 $\text{Mg}^{\#}-\text{Ni}$ 和 $\text{Cr}-\text{Ni}$ 图解（图 11c、11d）^[28~30] 中 3 件样品落于增厚下地壳熔融区域，其他样品落到靠近俯冲板块熔融区域，因此岩源区是玄武质洋壳及俯冲板块沉积物部分熔融，也就是板块俯冲阶段引发增厚地壳熔融的产物。狮泉河蛇绿混杂岩带从上世纪 70 年代被发现以来，引起了国内外很多地质学家的高度关注。从区域地质成果资料表明狮泉河洋盆扩张背景存在各种观点，争议较大。（1）狮泉河一旦坎蛇绿岩具有非大洋特征，属于岩石圈内部新生裂盆性质的板内构造^[31]；（2）噶尔蛇绿岩产于雅鲁藏布江缝合带向北消减过程中，在冈底斯岛

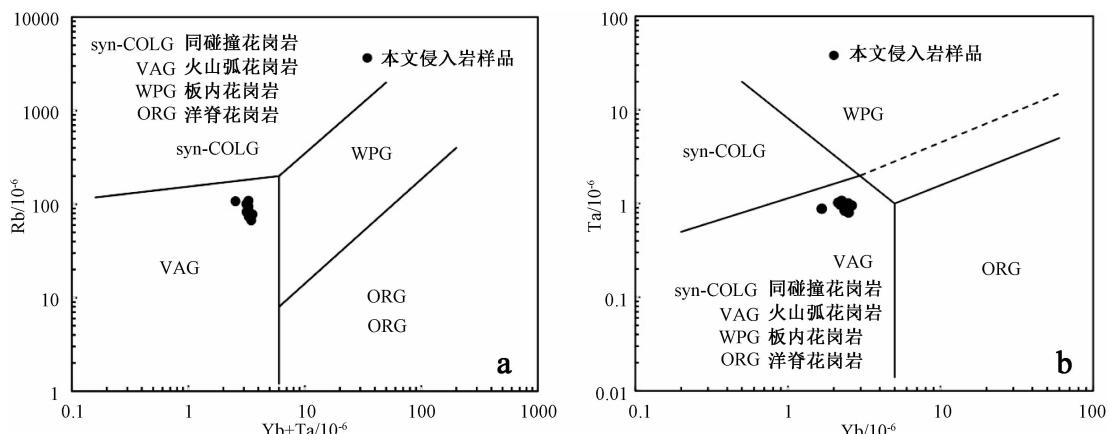
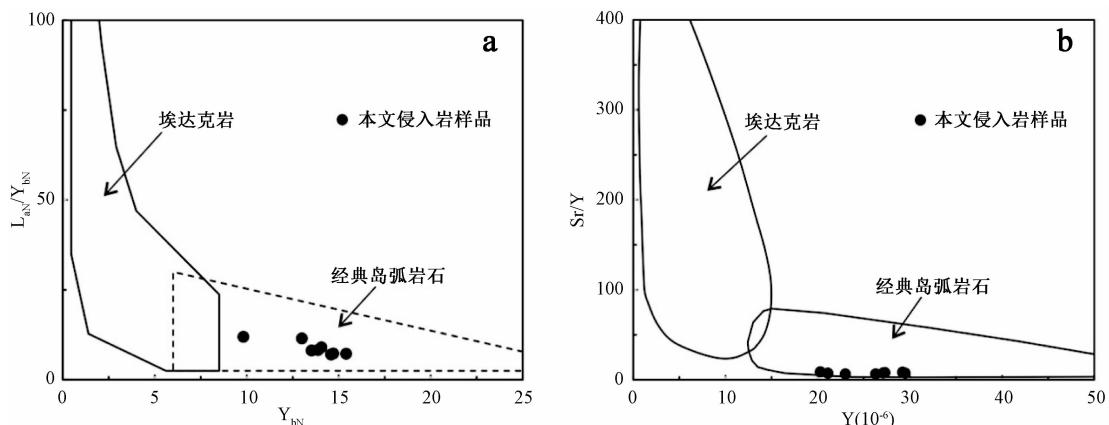


图 9 狮泉河地区中性侵入岩 Rb-Yb + Ta 图解 (a) 和 Yb-Ta 图解 (b) (据 Pearce et al. [23])

Fig. 9 Rb vs. Yb + Ta diagram (a) and Yb vs. Ta diagram (b) of the Shiquanhe intermediate intrusive rocks

图 10 狮泉河地区中性侵入岩 Yb_N- (La/Yb)_N 图解 (a) 和 Y-Sr/Y 图解 (b) (据 Defant and Drummond, 1990^[25])Fig. 10 Y_{bN} vs. (La/Yb)_N diagram (a) and Y vs. Sr/Y diagram (b) of the Shiquanhe intermediate intrusive rocks (modified after Defant and Drummond, 1990)

弧顶上产生的弧内裂谷盆地^[32]; (3) 狮泉河蛇绿岩带属于班公湖—怒江结合带的一个组成部分, 是班公湖—怒江结合带的一个分支^[33]; (4) 狮泉河—古昌—永珠洋是班公错—怒江洋南向俯冲的弧后小洋盆^[34~35]; (5) 狮泉河洋盆是一个多岛弧盆系统, 不是冈底斯火山弧的弧后盆地^[36]; (6) 狮泉河混杂带是在弧间裂谷的基础上发展起来的一系列藕断丝连的小洋盆^[4]; (7) 狮泉河结合带西段的拉果错蛇绿岩是在岛弧基底上裂离导致的弧间盆地构造环境中形成的^[37]等。对于狮泉河结合带扩张或形成的时代到目前为止, 获得的最老年龄为 193.1 ± 3.2 Ma, 指示早侏罗世拉开形成洋壳^[38]。狮泉河结合带南缘(南亚带)内岩块或岩片除蛇绿岩肢解单元外, 其他都为晚三叠世之前的地层, 由拉嘎组(C_2P_1l)、昂杰组(P_1a)、下拉组(P_2x)和左左组($T_{1-2}z$)组成, 中—晚侏罗

统接奴群($J_{2-3}JN$)沉火山砾岩超覆于狮泉河结合带南缘(南亚带)蛇绿岩之上, 说明中—晚侏罗世狮泉河结合带南缘已经闭合, 并接受沉积。研究区内缺失晚三叠世—早侏罗世地层, 暗示狮泉河结合带扩张的时代可能在晚三叠世—早侏罗世。狮泉河洋中脊持续扩张, 同时向南持续俯冲, 在南缘发育构造肢解残存的早期(T_3-J_1)蛇绿岩残块, 北缘还在扩张或存在残余洋盆(发育晚侏罗放射虫), 至早白垩世晚期闭合^[7]。研究认为中性侵入岩是晚侏罗世狮泉河结合带北缘扩张的同时, 向南俯冲背景下形成的产物。

5 结论

(1) 狮泉河一带发育的中性侵入岩(石英闪长岩和英云闪长岩)的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权

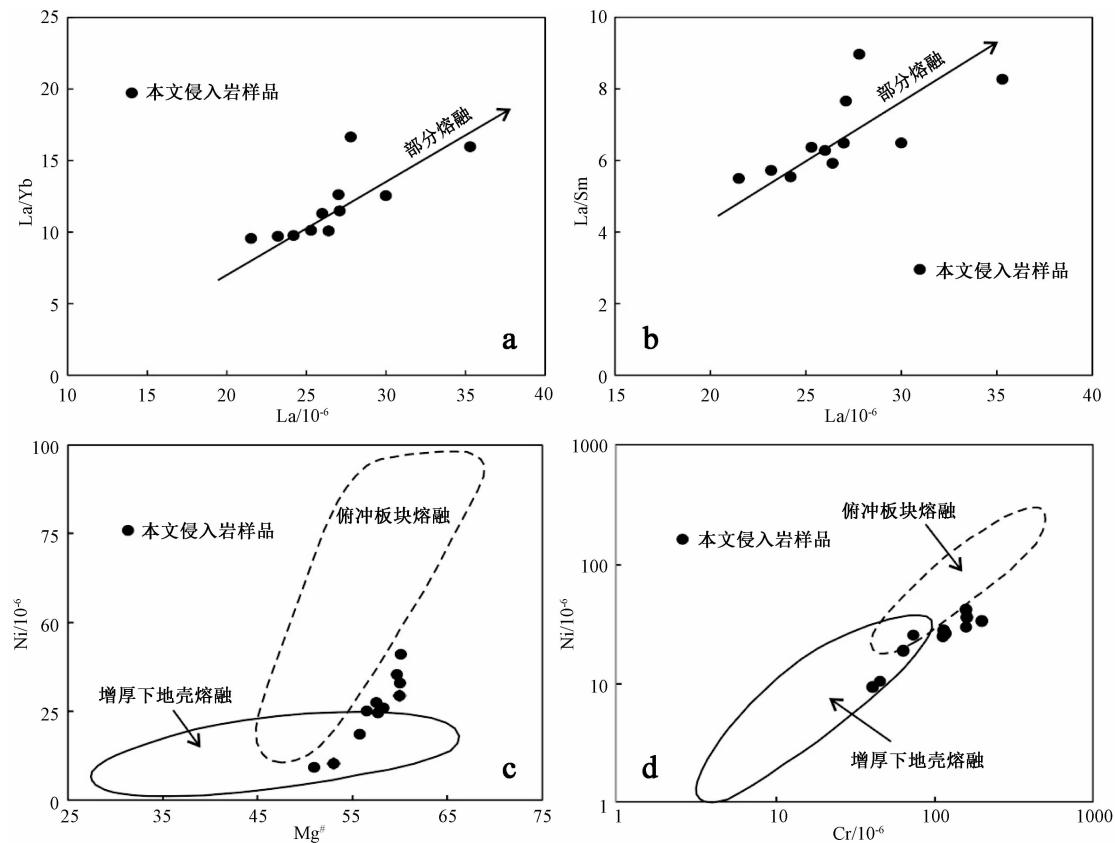


图 11 狮泉河地区中性侵入岩 La/Yb-La、La/Sm-La、Mg[#]-Ni 及 Cr-Ni 图解

(图中俯冲板片熔融范围据 Guan et al. [26] 和张连昌等 [27] ; 增厚下地壳熔融范围据 Guan et al. [26] 和 Hou et al. [28])

Fig. 11 Diagrams of La/Yb vs. La, La/Sm vs. La, Mg[#] vs. Ni, and Cr vs. Ni of the Shiquanhe intermediate intrusive rocks (Field of subducted oceanic slab derived adakites is from Guan et al. (2012)^[26] and Zhang et al. (2004)^[27]; field of thickened lower crust derived adakites is from Guan et al. (2012)^[26] and Hou et al. (2013)^[28])

平均年龄为 157.3 ± 1.5 Ma (MSWD = 0.96) 和 159.3 ± 3.7 Ma (MSWD = 2.30), 表明该类岩石在晚侏罗世牛津期岩浆活动的产物。

(2) 狮泉河一带发育的晚侏罗世中性侵入岩属准铝质—弱过铝质高钾—中钾钙碱性 I 型花岗岩, 富集大离子亲石元素 (Rb、Ba、Th 等元素), 相对亏损高场强元素 (Nb、Ta 和 Ti 等), 具有与岛弧型岩浆岩相似的地球化学特征, 形成与俯冲消减有关的岛弧构造环境。

(3) 分析表明狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎结合带在狮泉河一带虽存在两个时代的蛇绿岩套, 但这两个时代代表了狮泉河结合带的演化阶段, 不代表存在两个洋盆。南缘扩张的时代代表了狮泉河结合带早期扩张的时代 (T_3-J_1), 洋盆持续扩张的同时, 向南俯冲、消减, 在南缘先发育的蛇绿构造混杂岩上接受中—晚侏罗世沉积物, 北缘还在扩张或存在残余洋盆, 同时持续向南俯冲,

至早白垩世晚期闭合。研究区中性侵入岩是晚侏罗世狮泉河结合带北缘 (北亚带) 扩张的同时, 向南俯冲背景下形成的岩浆弧, 是板块俯冲引发增厚地壳熔融的产物。

致谢 在成文过程中得到成都地质矿产研究所王保弟副研究员、中国科学院地质力学所江万研究员、中国地质大学 (北京) 朱弟成教授和王根厚教授等老师的许多宝贵建议, 中国地质大学 (北京) 赵志丹教授和成都地质矿产研究所耿全如研究员对论文进行了详细审阅和悉心指导, 并提出了许多宝贵的修改意见和建议, 在此表示衷心的感谢。

参考文献/References

- [1] 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 等. 西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境 [J]. 地质通报, 2008, 27 (4):

- 458~468.
- ZHU Dichen, PAN Guitang, WANG Liqian, et al. Spatial-temporal distribution and tectonic setting of Jurassic magmatism in the Gangdise belt, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27 (4): 458~468 (in Chinese with English abstract).
- [2] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28: 211~280.
- [3] 潘桂棠, 丁俊, 王立全, 等. 青藏高原及邻区地质图 1:1500000 (附说明书) [M]. 成都: 成都地图出版社, 2004.
- PAN Guitang, DING Jun, WANG Liqian, et al. Geological map of Qinghai Tibet Plateau and its adjacent areas (1:1500000, with instructions) [M]. Chengdu: Chengdu Map Publishing House, 2004. (in Chinese)
- [4] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (3): 521~533.
- PAN Guitang, MO Xuanxue, HOU Zengqian, et al. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (3): 521~533. (in Chinese with English abstract)
- [5] 江元生, 徐天德, 赵友年. 冈底斯构造岩浆带中段措勤地区中新生代岩浆岩构造组合分析 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (4): 336~348.
- JIANG YuanSheng, XU Tiande, ZHAO Younian. Mesozoic-Cenozoic tectonic magmatic portfolio analysis in Cuoqin area of the Middle Gangdese [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (4): 336~348. (in Chinese with English abstract)
- [6] 赵珍, 胡道功, 吴珍汉, 等. 西藏冈底斯东段南缘桑布加拉辉钼矿 Re-Os 定年及地质意义 [J]. 地质力学学报, 2012, 18 (2): 178~186.
- ZHAO Zhen, HUDAOGONG, WUZhenhan, et al. Molybdenite Re-Os isotopic dating of Sangbujiala copper deposit in the south margin of the eastern Gangdese section, Tibet, and its geological implications [J]. Journal of Geomechanics, 2012, 18 (2): 178~186. (in Chinese with English abstract)
- [7] 尼玛次仁, 顿都, 次仁央宗, 等. 西藏噶尔地区 (I44E020009、I44E020010、I44E021009、I44E021010、I44E022009、I44E022010) 6 幅 1/5 万区域地质调查报告 [R]. 西藏: 西藏地质调查院, 2014.
- NIMA Ci-ren, DUN Du, CIREN Yang-zong, et al. 1:50000 six regional geological survey in Gar area, Tibet [R]. 2014. (in Chinese)
- [8] 姜昕, 赵志丹, 朱弟成, 等. 西藏冈底斯西部江巴、邦巴和雄巴岩体的锆石 U-Pb 年代学与 Hf 同位素地球化学 [J]. 岩石学报, 2010, 26 (7): 2155~2164.
- JIANG Xin, ZHAO Zhidan, ZHU Dichen, et al. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic geochemistry of Jiangba, Bangba, and Xiongba granitoids in western Gangdese, Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (7): 2155~2164. (in Chinese with English abstract)
- [9] 毛国正, 岳鋆璋, 卢峰峰, 等. 西藏拉果错地区 (I44E024024、I44E024001、H45E001024、H45E001001) 4 幅 1/5 万区域地质调查报告 [R]. 西藏: 西藏地质调查院, 2013.
- MAO Guo-zheng, YUE Yun-zhang, LU Feng-feng, et al. 1:50000 four regional geological survey in LhaguoCuo area, Tibet [R]. 2013. (in Chinese)
- [10] 谢国刚, 邹爱建, 袁建芽, 等. 措麦区幅 H45C002002 1/25 万区域地质调查报告 [R]. 江西: 江西地质调查院, 2003.
- XIE Guo-gang, ZOU Ai-guo, YUAN Jian-ya, et al. 1:250000 regional geological survey report in Cuomaiqu, Tibet [R]. 2003. (in Chinese)
- [11] 卢书炜, 任建德, 白国典, 等. 西藏尼玛县南部中晚侏罗世松木果强过铝花岗岩带的发现及其意义 [J]. 中国地质, 2006, 33 (2): 332~339.
- LU Shuwei, REN Jiande, BAI Guodian, et al. Discovery of the Mid-Late Jurassic Songmuguo strongly Peraluminous granite belt in the southern Part of Nyima County, Tibet, and its significance [J]. Geology in China, 2006, 33 (2): 332~339. (in Chinese with English abstract)
- [12] Hu Z C, Gao S, Liu Y S, et al. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas [J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2008, 23 (8): 1093~1101.
- [13] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chemical Geology, 2008, 257 (1~2): 34~43.
- [14] Liu Y, Gao S, Hu Z, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from Mantle Xenoliths [J]. Journal of Petrology, 2010, 51 (1/2): 537~571.
- [15] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55 (15): 1535~1546.
- [16] Wiedenbeck M, Allé P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 1995, 19 (1): 1~23.
- [17] Ludwig K R. User's manual for isoplot/Ex, Version 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2003.
- [18] Claesson S, Vetrin V, Bayanova T, et al. U-Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: a record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic [J]. Lithos, 2000, 51 (1~2): 95~108.
- [19] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of

- oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. Geological Society, London, Special Publication, 1989, 42: 313 ~ 345.
- [20] Chappell B W, White A J R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt [J]. Geological Society of America Special Papers, 1992, 272: 1 ~ 26.
- [21] 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 花岗岩成因研究的若干问题 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (6): 1217 ~ 1238.
- WU Fuyuan, LI Xianhua, YANG Jinhui, et al. Discussions on the petrogenesis of granites [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (6): 1217 ~ 1238. (in Chinese with English abstract)
- [22] Li X H, Li Z X, Li W X, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I-and A-type granites from central Guangdong, SE China: a major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab? [J]. *Lithos*, 2007, 96 (1/2): 186 ~ 204.
- [23] Pitcher W S. Granites and yet more granites forty years on [J]. *Geologische Rundschau*, 1987, 76 (1): 51 ~ 79.
- [24] 韩宝福. 后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性 [J]. 地学前缘, 2007, 14 (3): 64 ~ 72.
- HAN Baofu. Diverse post-collisional granitoids and their tectonic setting discrimination [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14 (3): 64 ~ 72. (in Chinese with English abstract)
- [25] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25 (4): 956 ~ 983.
- [26] 周建厚, 丰成友, 沈灯亮, 等. 新疆祁漫塔格维宝矿区西北部花岗闪长岩年代学、地球化学及其构造意义 [J]. 地质学报, 2015, 89 (3): 473 ~ 486.
- ZHOU Jianhou, FENG Chengyou, SHEN Dengliang, et al. Geochronology, Geochemistry and Tectonic Implications of Granodiorite in the Northwest of Weibao Deposit, Xinjiang Qimantage [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89 (3): 473 ~ 486. (in Chinese with English abstract)
- [27] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. *Nature*, 1990, 347 (6294): 662 ~ 665.
- [28] Guan Q, Zhu D C, Zhao Z D, et al. Crustal thickening prior to 38 Ma in southern Tibet: evidence from lower crust-derived adakitic magmatism in the Gangdese Batholith [J]. *Gondwana Research*, 2012, 21 (1): 88 ~ 99.
- [29] 张连昌, 秦克章, 英基丰, 等. 东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系 [J]. 岩石学报, 2004, 20 (2): 259 ~ 268.
- ZHANG Lianchang, QIN Kezhang, YING Jifeng, et al. The relationship between ore-forming processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper Metallogenic belt, eastern Tianshan mountains [J]. *Acta petrologica Sinica*, 2004, 20 (2): 259 ~ 268. (in Chinese with English abstract)
- [30] Hou Z Q, Pan X F, Li Q Y, et al. The giant Dexing porphyry Cu-Mo-Au deposit in east China: product of melting of juvenile lower crust in an intracontinental setting [J]. *Mineralium Deposita*, 2013, 48 (8): 1019 ~ 1045.
- [31] 胡承祖. 狮泉河-古昌-永珠蛇绿岩带特征及其地质意义 [J]. 成都地质学院学报, 1990, 17 (1): 23 ~ 30.
- HU Chengzu. Characteristics of Shiquanhe-Guchang ophiolite belt and its geologic significance [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1990, 17 (1): 23 ~ 30. (in Chinese with English abstract)
- [32] 潘裕生, 王毅, Matte P, 等. 青藏高原叶城-狮泉河路线地质特征及区域构造演化 [J]. 地质学报, 1994, 68 (4): 295 ~ 307.
- PAN Yusheng, WANG Yi, Matte P, et al. Tectonic evolution along the Geotraverse from Yecheng to Shiquanhe [J]. *Acta Geological Sinica*, 1994, 68 (4): 295 ~ 307. (in Chinese with English abstract)
- [33] 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, 2000, 37 ~ 190.
- XIAO Xuchang, LI Tingdong. Tectonic evolution and uplift of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [M]. Guangzhou: Guangdong science and Technology Press, 2000, 37 ~ 190. (in Chinese)
- [34] 何来信. 狮泉河蛇绿混杂岩的非史密斯解析 [J]. 甘肃地质学报, 2003, 12 (2): 12 ~ 17.
- HE Laixin. The non-Smith Analysis on the op-mélange in Shiquanhe [J]. *Acta Geologica Gansu*, 2003, 12 (2): 12 ~ 17. (in Chinese with English abstract)
- [35] 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 等. 班公湖-怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化 [J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26 (4): 25 ~ 32.
- CAO Shenghua, DENG Shiquan, XIAO Zhijian, et al. The archipelagic arc tectonic evolution of the Meso-Tethys in the western part of the Bangong Lake-Nujiang suture zone [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2006, 26 (4): 25 ~ 32. (in Chinese with English abstract)
- [36] 郑有业, 许荣科, 何来信, 等. 西藏狮泉河蛇绿混杂岩带——一个新的多岛弧系统的厘定及意义 [J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24 (1): 13 ~ 25.
- ZHENG Youye, XU Rongke, HE Laixin, et al. The Shiquan River ophiolitic mélange zone in Xizang: the delineation and significance of a new archipelagic arc-basin system [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2004, 24 (1): 13 ~ 25. (in Chinese with English abstract)
- [37] 王保弟, 许继峰, 曾庆高, 等. 西藏改则地区拉果错蛇绿岩地球化学特征及成因 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (6): 1521 ~ 1530.
- WANG Baodi, XU Jifeng, ZENG Qinggao, et al. Geochemistry and genesis of Lhaguo Tso ophiolite in south of Gerze area, Genter Tibet [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (6): 1521 ~ 1530. (in Chinese with English abstract)
- [38] 郑有业, 许荣科, 马国桃, 等. 锆石 SHRIMP 测年对狮泉河

蛇绿岩形成和俯冲的时间约束 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (4): 895~904.
ZHENG Youye, XU Rongke, MA Guotao, et al. Ages of

generation and subduction of Shiquan river ophiolite: restriction from SHRIMP zircon dating [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (4): 895~904. (in Chinese with English abstract)

ZIRCON U-PB AGES, GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND TECTONICS IMPLICATIONS OF LATE JURASSIC INTERMEDIATE INTRUSIVE ROCKS IN SHIQUANHE AREA, WESTERN TIBET

NIMA Ciren^{1,2}, WANG Guocan², DU Dun^{1,2}, PU Chi¹, Ciren Yangzong¹, JIAO Wenlong¹, Li Kaiyun¹, YE Qiang¹, LUOSANG Langjie¹, DA Wa¹

(1. Regional Geological Survey Team, Tibet Autonomous Region Geological and Mineral Exploration And Development Bureau, Dulongdeqing 851400, Tibet, China;

2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: A set of intermediate intrusive rocks have been identified from a late Cretaceous pluton which intruded into the Paleozoic stratigraphy along the south of Shiquanhe belt, during the 1:50000 geological survey in the Gaer area. The intrusive rocks are exhibited as stock and apophyse, with the types of quartz diorite, tonalite and granodiorite. The zircon from quartz diorites and tonalites yield U-Pb ages of 157.3 ± 1.5 (MSWD = 0.96) and 159.3 ± 3.7 Ma (MSWD = 2.30) with LA-ICP-MS method, indicating late Jurassic magmatic activities. These intermediate-acid intrusive rocks have a SiO₂ content of 59.65% ~ 64.57%, K₂O of 1.95% ~ 2.54%, Na₂O of 1.97% ~ 2.54%, K₂O/Na₂O of 0.77% ~ 1.29%, P₂O₅ of 0.085% ~ 0.139%, Al₂O₃ of 13.63% ~ 15.68% and A/CNK value of 0.89 ~ 1.04, which could belong to meta-aluminous rocks. The REE content of these rocks range from 107.37×10^{-6} to 148.33×10^{-6} with high grade fractionation of LREE/HREE (6.77 ~ 9.67) and some negative anomaly of Eu (0.63 ~ 0.84). Compared with the primitive mantle, all rocks are enriched in large ion lithophile elements (Rb and Th et al) and depleted in high field strength elements (Nb, Ta, Ti and P et al) with geochemical characteristics of the island arc calc-alkaline magma. Petrological and geochemical characteristics indicate that the rocks have acidic rule of evolution, with the features of comagmatic evolution and typical I-type granite, and they were formed in the island arc environment with plate subduction. This research also indicates that subduction-type granite already existed in the Shiquanhe area during late Jurassic, and the magmatic activities were likely the product of subducted southward from Northern subzone in Shiquanhe area.

Key words: Shiquanhe area; intermediate intrusive rocks; LA-ICP-MS zircon U-Pb; late Jurassic