

西藏错龙错晚三叠世粗粒巨斑二长花岗岩 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征

马昭雄, 张 彤, 黄 波, 汤 晶, 杨 蕻

MA Zhaoxiong, ZHANG Tong, HUANG Bo, TANG Jing, YANG Hong

四川省地质调查院, 四川 成都 610081

Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China

摘要: 对出露于冈底斯中带偏西部错龙错地区原划为早白垩世的粗粒巨斑二长花岗岩进行了较系统的岩石学、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学研究。结果表明, 该地区粗粒巨斑二长花岗岩的成岩年龄为 212.6 ± 2.7 Ma, 属晚三叠世。岩石为高钾钙碱性-钾玄岩系列, 具高 SiO_2 、 K_2O 的特征。 Al_2O_3 含量为 13.18%~16.26%, 铝饱和指数 A/CNK 为 0.96~1.33 (平均值为 1.11), 为准铝质-过铝质花岗岩。稀土元素总量在 182.99×10^{-6} ~ 324.34×10^{-6} 之间, 轻稀土元素明显富集, 重稀土元素相对亏损, δEu 值变化于 0.38~0.57 之间, 具明显的负 Eu 异常。微量元素富集 K、Rb、Th 和相对亏损 Ba、Nb、Sr、P、Ti, 具有类似造山后花岗岩的微量元素特征。该类岩石的地球动力学背景应为班公湖-怒江洋壳南向俯冲有关的由挤压向伸展转变的同碰撞向后碰撞的过渡阶段。

关键词: 粗粒巨斑二长花岗岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 后碰撞; 错龙错; 西藏

中图分类号: P534.41; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2018)07-1202-11

Ma Z X, Zhang T, Huang B, Tang J, Yang H. Zircon U-Pb geochronology and petro-geochemistry of the Late Triassic coarse grained porphyaceous monzonitic granite in Cuolong Co, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(7):1202-1212

Abstract: Lithology, LA-ICP-MS zircon U-Pb age, and geochemistry of coarse grained porphyaceous monzonitic granite from Lower Cretaceous Cuolong Co area in the west of the middle Gangdise granitoid belt were studied in detail in this paper. The results show that magma zircons from coarse grained porphyaceous monzonitic granite yielded a weighted mean age of 212.6 ± 2.7 Ma, indicating Late Triassic. The rock is shoshonitic or high K calc-alkaline and relatively rich in SiO_2 and K_2O . Al_2O_3 content is between 13.18% and 16.26%, A/CNK ratios vary from 0.96 to 1.33 (1.11 on average), displaying peraluminous characteristics. Total rare earth element values are between 182.99×10^{-6} and 324.34×10^{-6} . Trace element ratio spider diagram displays apparent enrichment of light rare earth elements, depletion of heavy rare earth elements, δEu variation between 0.38 and 0.57, and sharp negative Eu anomalies. Trace elements are characterized by enrichment of K, Rb, Th and depletion of Ba, Nb, Sr, P, Ti, similar to features of orogenesis granite. Geodynamic analysis of rock background shows that it was most likely associated with a back-arc setting in response to conversion from compression to stretching related to the southward subduction of the Bangong Co-Nujiang oceanic lithosphere.

Key words: coarse grained porphyaceous monzonitic granite; LA-ICP-MS zircon U-Pb age; geochemistry; post-collision; Cuolong Co; Tibet

冈底斯构造-岩浆岩带是一条东西长约 2500km、南北宽约 300km 的巨型岩浆岩带, 其中岩浆岩的分布面积占青藏高原岩浆岩总面积的 80% 以

上^[1], 该带岩浆岩是研究古特提斯洋、新特提斯洋、印度板块和欧亚板块碰撞及其后碰撞地球动力学过程的重要部分^[2-7]。近年来, 对冈底斯带印支期岩

收稿日期: 2017-04-27; 修订日期: 2017-06-15

资助项目: 中国地质调查局项目《西藏措丁地区地质矿产综合调查》(编号: DD20160015、12120115023601)

作者简介: 马昭雄(1987-), 男, 本科, 工程师, 从事区域地质调查研究。E-mail: mzx0120@163.com

浆岩的研究越来越重视,该带岩浆岩的研究对重新认识冈底斯带在印支期的构造-岩浆作用具有重要意义。目前研究局限于冈底斯中带、南带的东部和中部地区^[8-13],从东部的工布江达、尼西地区到中部的南木林、罗扎地区均发现有印支期的岩浆作用,且对印支期岩浆岩形成的构造环境存在不同的见解。例如,王程等^[8]认为,冈底斯中带达布地区分布有印支期的花岗岩体,为澳大利亚大陆北缘与拉萨地块汇聚碰撞触发的班公湖-怒江洋壳岩石圈南向俯冲背景下,在后碰撞伸展阶段由幔源岩浆底侵引发冈底斯成熟地壳物质部分熔融形成的;李化启等^[9]认为,拉萨地体内存在与印支期造山事件相关的同碰撞或后碰撞花岗岩,拉萨地体中印支造山带的初步确定,使青藏高原印支山链的范围从过去认为的羌塘地体南界向南扩大到拉萨地体,对研究古特提斯构造域的形成有重要意义;张宏飞等^[10]认为,冈底斯洛扎南部地区存在印支晚期过铝质花岗岩,冈底斯印支期早期存在造山事件,冈底斯经历了多期造山作用的演化;和钟铎等^[11]认为,门巴地区晚三叠世花岗岩出露在西藏冈底斯构造带的弧背断隆上,形成于岛弧环境,是新特提斯洋早期俯冲作用的产物,并暗示冈底斯岩浆弧带在晚三叠世就已成雏形;李才等^[12]认为,晚三叠世冈底斯大部分地区已上升成陆并遭受剥蚀,有强烈的岩浆活动,成为藏南晚三叠世沉积物源区的一部分。最新研究表明,在冈底斯南带西部打加错地区亦存在印支期的岩浆活动。宋绍玮等^[13]认为,打加错地区和南部拉萨地体的晚三叠世岩浆活动形成于与班公湖-怒江洋壳南向俯冲有关的弧后环境,且将南部冈底斯带晚三叠世岩浆活动从东部工布江达向西延伸到打加错一带,东西延伸约 800km。然而在冈底斯北带和中带的偏西部地区研究较少,仅在西部邦多岩体获得了晚三叠世锆石 U-Pb 年龄^[14],但未对该地区晚三叠世岩浆岩的地球化学特征和构造意义进行详细研究。本文对冈底斯中带偏西部错龙错地区的粗粒巨斑二长花岗岩开展 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学等研究,对冈底斯中带偏西部地区印支期花岗岩的地球化学特征及地球动力学背景进行初步探讨,为冈底斯带在印支期的构造-岩浆演化提供新的证据;并将冈底斯中带晚三叠世岩浆活动的空间分布范围从中部的罗扎地区延伸到偏西部的错龙错地区。

1 地质背景

冈底斯构造-岩浆带是夹持于班公湖-怒江结合带(BNSZ)与雅鲁藏布江结合带(YZSZ)之间的强烈挤压造山带。莫宣学等^[14]认为,冈底斯带从南往北可划分为南带、中带和北带 3 个亚带。潘桂棠等^[15]将冈底斯带从南往北进一步划分为冈底斯-下察隅晚燕山期-喜山期岩浆弧带(I-1)、隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带(I-2)、革吉-申扎弧后盆地带(I-3)和它日错-班戈-那曲前陆盆地(I-4)。在革吉-申扎弧后盆地带(I-3)偏西部的错龙错地区,分布较广泛的花岗岩,1:25 万区域地质研究结果显示(邦多幅)^①,该地区花岗岩形成时代为晚侏罗世-始新世。基于正在进行的西藏腊丁地区地质矿产综合调查项目,对该地区花岗岩开展了更详细的研究,通过调查发现,该地区原划为早白垩世的粗粒巨斑二长花岗岩应形成于晚三叠世,与前人认识存在较大的差异。

研究区位于尼玛县来多乡错龙错地区,构造位置上大致位于冈底斯中带的革吉-申扎弧后盆地带(I-3)西部(图 1-a)。粗粒巨斑二长花岗岩为一大型岩基的组成部分,出露面积大于 133km²,在粗粒巨斑二长花岗岩边部,存在不规则状断续展布的灰白色中细粒(含斑)二长花岗岩(图 1-b)。

南侧中细粒(含斑)二长花岗岩侵位于下二叠统拉嘎组(C₂P₁)中,地层主要岩性为深灰色中-中厚层状砾岩、厚层状含砾岩屑粗砂岩、中厚层状细粉砂岩构成的不等厚韵律互层的岩石组合,三者之间的比例在 2:7:1 左右。围岩多发生接触变质作用,但变质程度较弱,均为角岩化。北侧粗粒巨斑二长花岗岩则与古近纪牛堡组(E_{2-3n})呈断层接触关系。东、西两侧由于受调查范围限制,接触地层及关系不详。

岩体与围岩侵入接触面呈不规则波状弯曲,波动范围较小,倾角为 55°~70°(图 2),局部可见岩体呈枝状穿插入地层,靠近侵入接触面附近,岩体卷入了较多的围岩捕虏体,捕虏体多呈棱角状,大小不一,分布较杂乱。靠近岩体一侧可见明显的细粒化带,宽 1~2m。

2 岩相学特征

粗粒巨斑二长花岗岩新鲜面呈灰白色-浅肉红色,似斑状结构,基质为粗粒结构,块状构造(图版

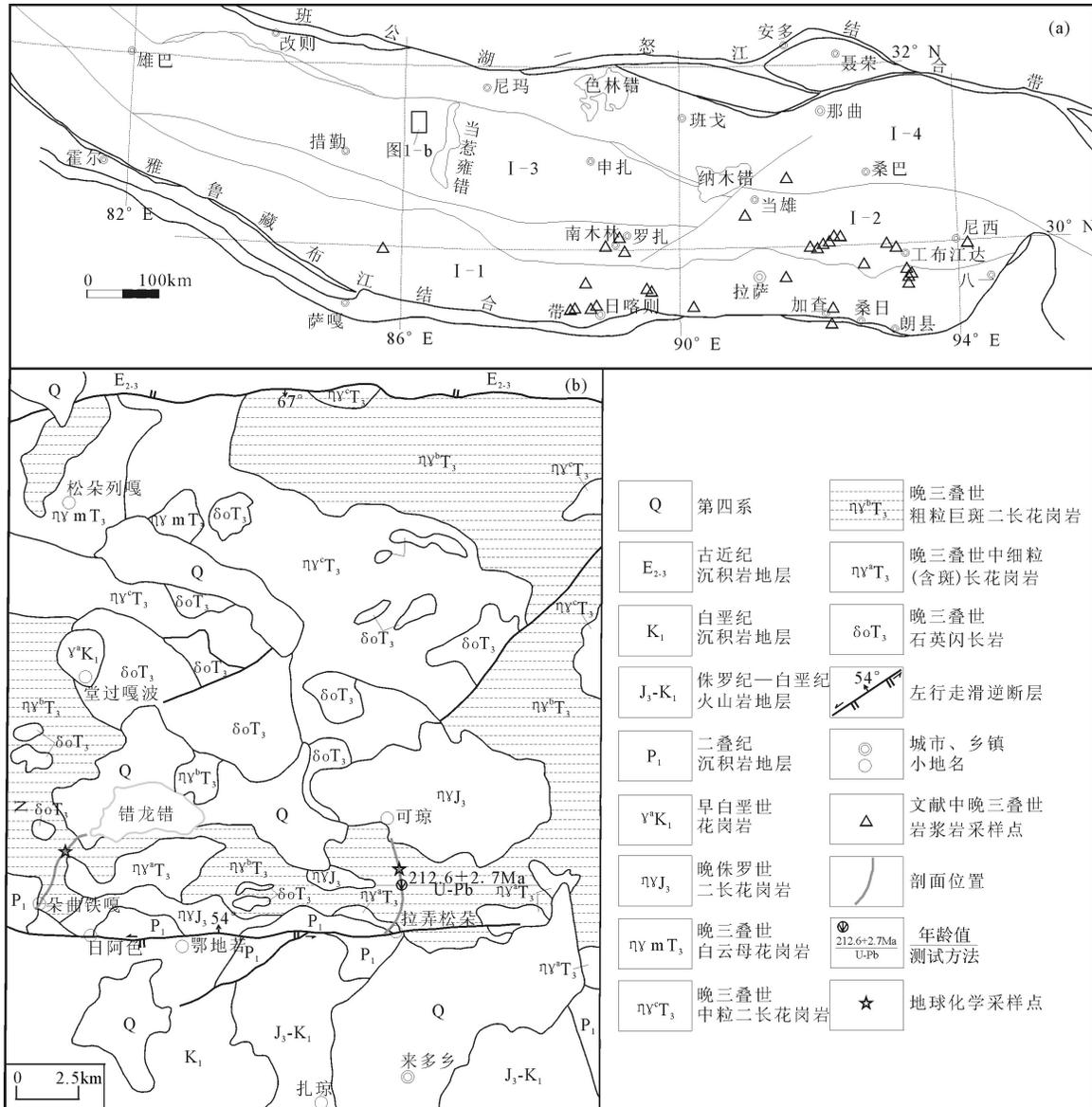


图1 研究区地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of the study area

a—青藏高原冈底斯带构造单元划分;b—错龙错地区地质简图。

I-1—冈底斯-下察隅晚燕山-喜山期岩浆弧带; I-2—隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带;

I-3—革吉-申扎弧后盆地带; I-4—它日错-班戈-那曲前陆盆地

I-a)。斑晶主要为斜长石,灰白色,自形结构,呈宽板状,粒度为1.5~3cm,含量10%~20%(图3-b)。基质主要成分为石英(30%~35%)、斜长石(26%~35%)、钾长石(32%~36%)、黑云母(3%~5%)(图版I-c、d)。其中石英为他形粒状,结晶大小与长石相近,部分交代钾长石,形成孔状;斜长石为更长石,呈半自形板状,晶体有弱的绢云母、粘土蚀变;

钾长石为正长石、条纹长石、微斜长石,呈他形粒状,部分晶体包含斜长石、黑云母,形成包含结构,晶体有弱的粘土蚀变;黑云母为褐色片状,多绿泥石蚀变、点状绿帘石蚀变,呈残余状分布,析出铁质。

3 分析方法

同位素年龄测试在中国地质科学院国家地质

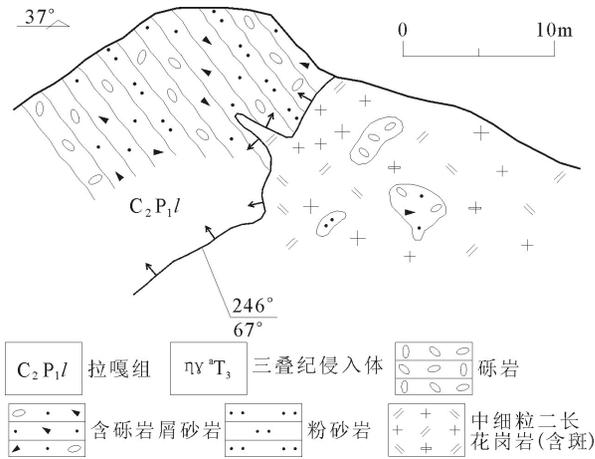


图2 侵入接触关系素描图

Fig. 2 Sketch of intrusive contact relationship

实验测试中心完成,测试仪器为 LA-ICP-MS,其激光剥蚀系统为 Newwave UP213,使用 213nm 的紫外光,束斑直径约 30 μ m,剥蚀载气为氦气。多接收等 离子质谱仪型号为 Thermo Element II。具体的实 验测试流程可参见侯可军等^[16]。锆石年龄采用标准 锆石 GJ-1 和 Plesovice 进行校正,实验数据采用 glit- ter 进行处理,年龄数据采用 Isoplot^[17]处理。锆石采 用重液分离和磁选的方式挑选。将挑选出的锆石 粘于环氧树脂表面,固化抛光后成靶。

粗粒巨斑二长花岗岩的主量、稀土和微量元素

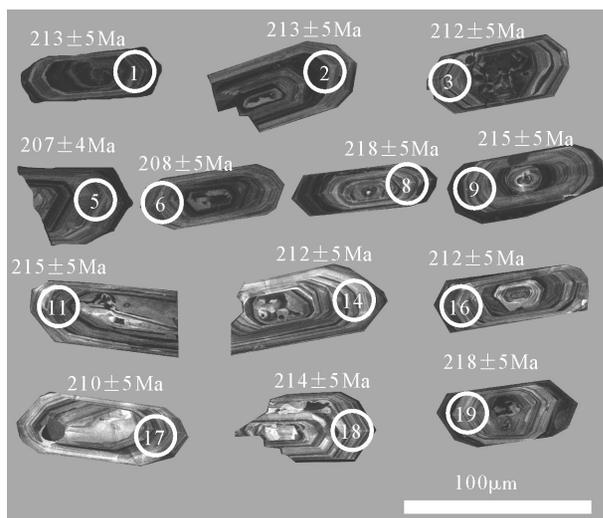


图3 粗粒巨斑二长花岗岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 CL image of zircon from coarse grained porphyaceous monzonitic granite

分析由湖北省地质实验测试中心完成。挑选的样 品新鲜、微弱蚀变。主量元素测试仪器为 X 荧光光 谱仪(型号为 XRF-1800 编号为 27-HY-2009- 001),分析误差小于 1%,其中 FeO、H₂O⁺和 CO₂采用 湿化学分析法测定。稀土、微量元素分别采用阳离 子交换分离-电感耦合等离子体原子发射光谱仪 (ICP-AES)和电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)完 成,分析精度优于 6%。

4 测试结果

4.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

样品 PM401-16U-Pb1 中锆石颜色多为淡黄 色,透明,以长柱状为主;大小均匀,长轴长度在 70~200 μ m 之间,短轴长度在 30~90 μ m 之间;锆 石中可见细小的包裹体,裂纹不发育;阴极发光 (CL)图像显示明显的振荡环带(图 3)。测试结果 见表 1。

PM401-16U-Pb1 测试的点数为 19 点,排除 6 个不谐和的测点(可能为混合年龄值),13 个测点 的 Th/U 值介于 0.18~0.41 之间,高于变质成因锆石 (通常小于 0.1),与岩浆成因锆石特征(大于 0.1^[18]) 较一致。13 个测点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄范围为 207~ 218Ma,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 212.6±2.7Ma (MSWD=0.5)(图 4),时代属晚三叠世。

4.2 主量元素

主量元素分析结果见表 2。粗粒巨斑二长花 岗岩的 SiO₂ 含量为 69.63%~72.11%,平均 70.69%;

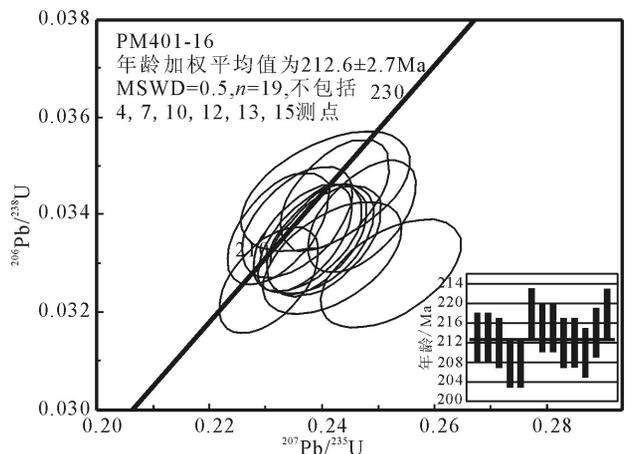
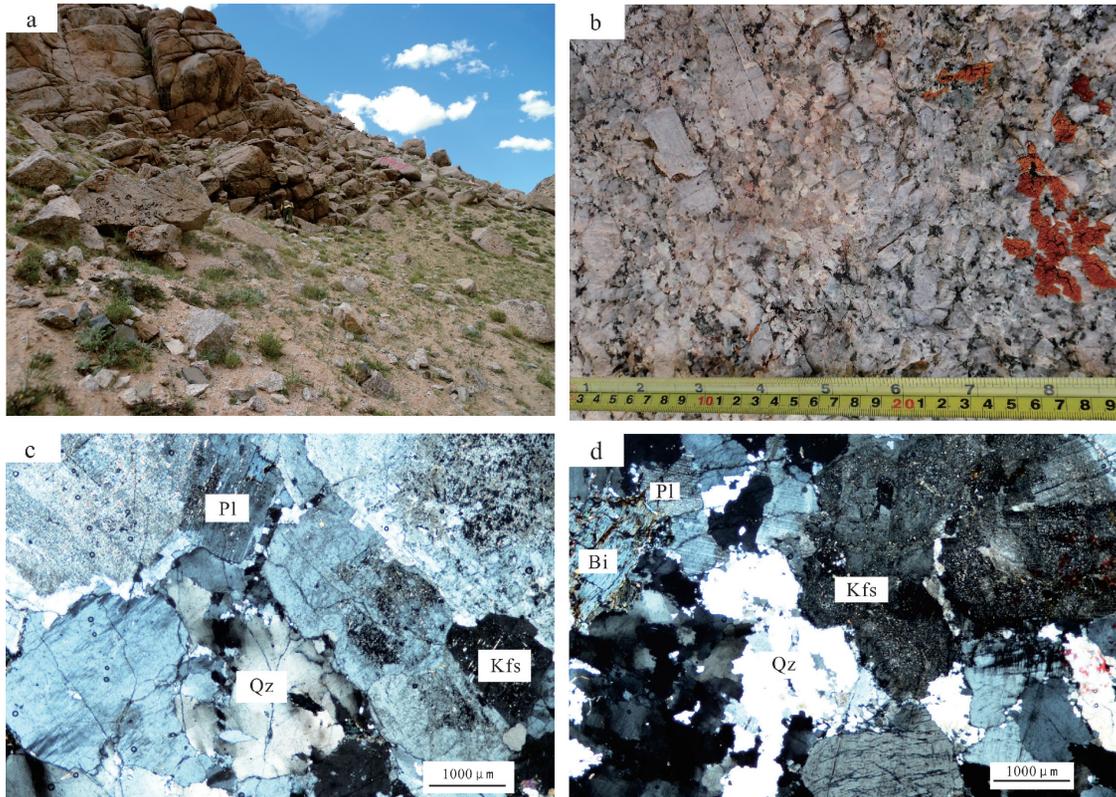


图4 粗粒巨斑二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of coarse grained porphyaceous monzonitic granite

图版 I Plate I



a.粗粒巨斑二长花岗岩野外特征;b.粗粒巨斑二长花岗岩钾长石斑晶;
c、d.粗粒巨斑二长花岗岩显微结构特征。Qz—石英;Pl—斜长石;Kfs—钾长石;Bi—黑云母

Al_2O_3 为 13.18% ~ 16.26%, 平均 14.40%; MgO 为 0.47% ~ 0.86%, 平均 0.69%; CaO 为 0.45% ~ 2.34%, 平均 1.34%; Na_2O 为 2.55% ~ 3.29%, 平均 2.81%; K_2O 为 4.97% ~ 6.57%, 平均 5.53%; $TFeO$ 为 1.43% ~ 2.79%, 平均 2.33%。分异指数 DI 为 83.52 ~ 90.40, 平均值为 84.56, 表明经历了不同程度的结晶分异作用。在岩石分类 $Q-A-P$ 图解中, 除 1 个样品点落入碱长花岗岩区外, 其余均落入花岗岩区 (图 5-a), 与实际情况较符合。在花岗岩 $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ 图解中, 样品点均落入亚碱性系列 (图 5-b)。在 SiO_2-K_2O 图解中, 样品点落入高钾钙碱性系列—钾玄岩系列 (图 5-c)。岩石的 A/CNK 值为 0.96 ~ 1.33 (平均值为 1.11), 在 $A/CNK-A/NK$ 图解中, 样品点落入准铝质—过铝质之间 (图 5-d)。综上, 错龙错地区粗粒巨斑二长花岗岩应属高钾钙碱性—钾玄岩系列的准铝质—过铝质花岗岩^[22]。

4.3 稀土元素

稀土元素分析结果见表 2。粗粒巨斑二长花岗岩稀土元素总量 ΣREE 变化于 182.99×10^{-6} ~ 324.34×10^{-6} 之间, 平均 272.24×10^{-6} 。 $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 值为 9.69 ~ 14.42, 轻、重稀土分异程度较高, 具有轻稀土元素明显富集, 重稀土元素相对亏损的特征。 δEu 值变化于 0.38 ~ 0.57 之间, 平均 0.43, 表现出明显的负 Eu 异常, 暗示源区可能存在斜长石残留。球粒陨石比值标准化稀土元素配分模式图显示较一致的右倾, 且曲线较协调 (图 6-a)。

4.4 微量元素

微量元素分析结果见表 2。粗粒巨斑二长花岗岩相对于维氏^[24]微量元素平均值 (酸性岩类), 具有总体贫 Sr 、 Zr 、 Cr 、 Ni 、 Co 、 V 、 Cu 、 Zn 、 Mo , 相对富 Rb 、 Ta 、 Hf 、 W 、 Pb 、 Th 、 U , 其他元素如 Nb 、 Sb 、 As 、 Ba 等变化不大的特征。

表 1 粗粒巨斑二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb data of coarse grained porphyaceous monzonitic granite

序号	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		年龄/Ma						Th/U		
	比值	$\pm 1\sigma$	比值	$\pm 1\sigma$	比值	$\pm 1\sigma$	比值	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$\pm 1\sigma$
1	0.05266	0.00115	0.2367	0.0058	0.03352	0.00073	0.01076	0.00021	314	51	216	5	213	5	216	4	0.19
2	0.05140	0.00124	0.2375	0.0064	0.03353	0.00073	0.01107	0.00024	259	57	216	5	213	5	223	5	0.18
3	0.05135	0.00122	0.2397	0.0064	0.03347	0.00073	0.01030	0.00022	257	56	218	5	212	5	207	4	0.19
4	0.05616	0.00121	0.2806	0.0067	0.03857	0.00084	0.0106	0.00021	459	49	251	5	244	5	213	4	0.17
5	0.05222	0.00119	0.2306	0.0058	0.03266	0.00072	0.01092	0.00022	295	53	211	5	207	4	220	4	0.23
6	0.05149	0.00147	0.2522	0.0083	0.03279	0.00073	0.01028	0.00025	263	67	228	7	208	5	207	5	0.21
7	0.06011	0.00146	0.2989	0.0082	0.03557	0.00079	0.01138	0.00022	608	54	266	6	225	5	229	4	0.68
8	0.05206	0.00123	0.2425	0.0064	0.03440	0.00076	0.01094	0.00022	288	55	220	5	218	5	220	4	0.26
9	0.05058	0.00123	0.2356	0.0065	0.03385	0.00075	0.01117	0.00024	222	58	215	5	215	5	225	5	0.19
10	0.05380	0.00112	0.2605	0.0061	0.04132	0.00091	0.00923	0.00018	363	48	235	5	261	6	186	4	0.16
11	0.05205	0.00119	0.2471	0.0064	0.03397	0.00076	0.01157	0.00024	288	53	224	5	215	5	233	5	0.18
12	0.05126	0.00116	0.2447	0.0063	0.03706	0.00083	0.00971	0.00022	253	53	222	5	235	5	195	4	0.12
13	0.05254	0.0011	0.2500	0.0059	0.03918	0.00087	0.01157	0.00022	309	49	227	5	248	5	233	4	0.16
14	0.05181	0.00122	0.2384	0.0064	0.03344	0.00075	0.01061	0.00022	277	55	217	5	212	5	213	4	0.22
15	0.05446	0.00117	0.2656	0.0064	0.03785	0.00084	0.01083	0.00021	390	49	239	5	239	5	218	4	0.15
16	0.05144	0.00124	0.2405	0.0066	0.03345	0.00075	0.00593	0.00012	261	57	219	5	212	5	120	2	0.41
17	0.05333	0.00157	0.2419	0.0082	0.03311	0.00076	0.01042	0.00024	343	68	220	7	210	5	210	5	0.31
18	0.05096	0.00116	0.2322	0.0060	0.03372	0.00076	0.01093	0.00022	239	54	212	5	214	5	220	4	0.18
19	0.05150	0.00185	0.2407	0.0099	0.03447	0.00081	0.01023	0.00033	263	84	219	8	218	5	206	7	0.18

注: Pb*代表放射成因铅

特征值 Rb/Sr 值为 1.82 ~ 3.90, 平均 2.63; Th/U 值为 12.60 ~ 19.92, 平均 16.39; K/Rb 值为 143.61 ~ 164.09, 平均 152.1。

在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 6-b)上,表现出 K、Rb、Th 元素的富集, Ba、Nb、Sr、P、Ti 元素亏损, Sr 和 Ti 强烈亏损暗示,花岗岩源区可能存在斜长石或富钛物质的残留;曲线相似性较好,整体向右缓倾,分布范围集中,反映同源岩浆演化的特点,具有类似造山后花岗岩的微量元素特征。

5 讨论

5.1 构造环境

花岗岩的岩石地球化学成分可大致反演其形成的构造环境^[25],利用微量和稀土元素特征值进行构造环境判别投图。

在 Batchelor 等^[26]的 R_1 - R_2 构造环境判别图解

(图 7-a)中,粗粒巨斑二长花岗岩的成分投点落入同碰撞区内,表现出同碰撞花岗岩的特征。

在 Pearce 等^[27]的构造环境判别图的 Y-Nb 图解(图 7-b)中,样品点投入岛弧和同碰撞花岗岩附近,具岛弧和碰撞花岗岩双重特点;在 (Y+Nb)-Rb 图解(图 7-c)中,样品点投入同碰撞花岗岩与岛弧花岗岩附近,显示岛弧和碰撞花岗岩双重特点;在 Rb/10-Hf-3Ta 图解(图 7-d)中,样品点投入碰撞大地构造背景环境。

Liegeois^[28]认为,花岗岩的同碰撞环境与板内环境之间的界线并不是截然的,它们之间存在连续的、发展的谱系,也就是后碰撞构造环境。总体来说,后碰撞表示了一种构造松弛的伸展环境。

粗粒巨斑二长花岗岩的微量元素特征亦显示其具造山后花岗岩的特点,因此,该类岩石应形成于同碰撞向后碰撞过渡的构造环境。

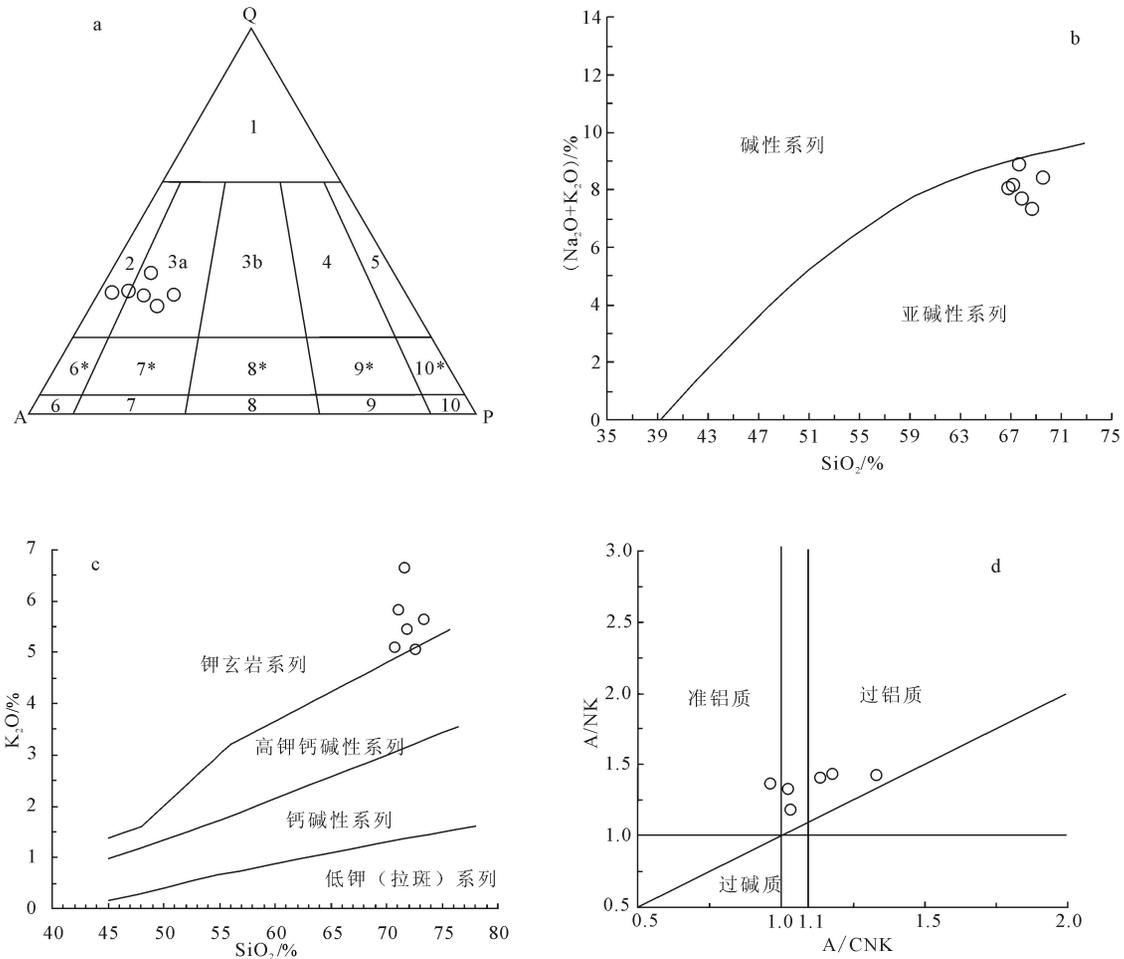


图5 Q-A-P(a)^[19]、SiO₂-Na₂O+K₂O(b)、SiO₂-K₂O^[20](c)和A/CNK-A/NK^[21](d)图解

Fig. 5 Diagrams of Q-A-P(a), SiO₂-(Na₂O+K₂O) (b), SiO₂-K₂O (c) and A/CNK-A/NK (d)

1—富石英花岗岩;2—碱长花岗岩;3a—花岗岩;3b—花岗岩(二长花岗岩);4—花岗闪长岩;5—英云闪长岩、斜长花岗岩;
6*—碱长石英正长岩;7*—石英正长岩;8*—石英二长岩;9*—石英二长闪长岩;10*—石英闪长岩、石英辉长岩、石英斜长岩

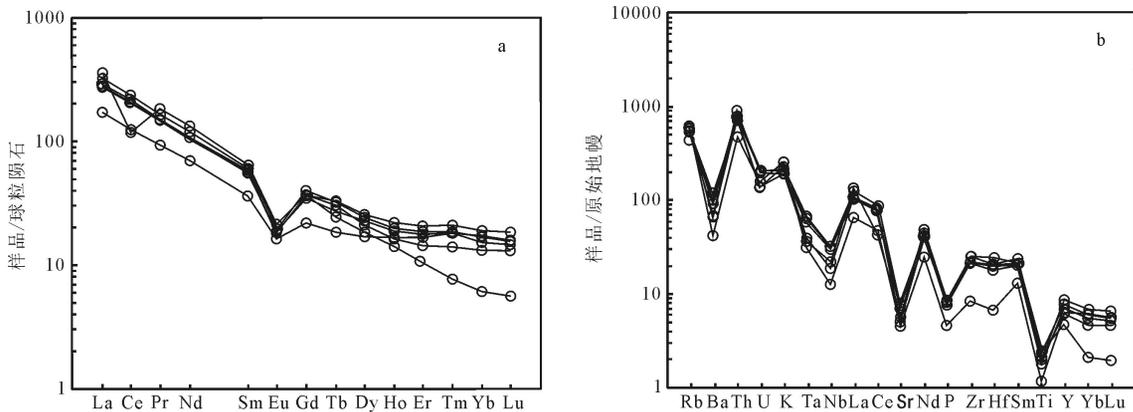


图6 粗粒巨斑二长花岗岩稀土元素配分图(a)和微量元素蛛网图(b)^[23]

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns(a) and primitive mantle-normalized trace element spidergram(b) of coarse grained porphyaceous monzonitic granite

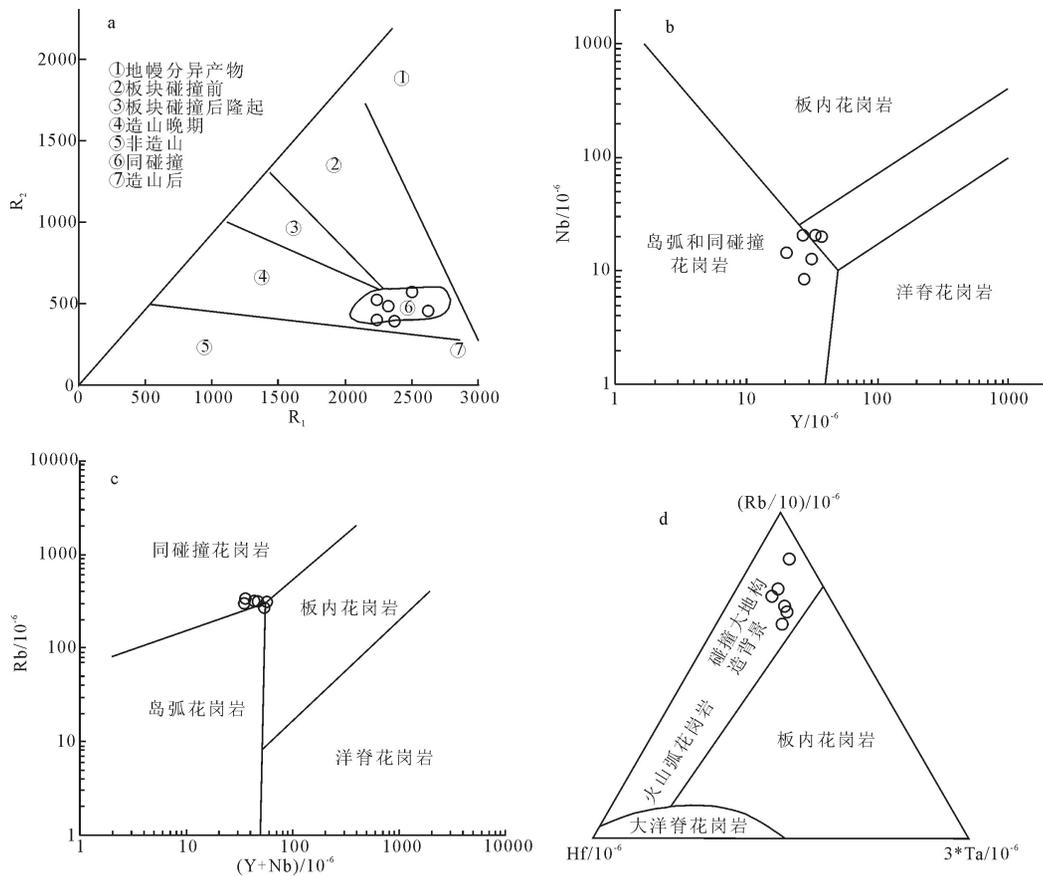


图 7 粗粒巨斑二长花岗岩 R_1-R_2 (a)、 $Y-Nb$ (b)、 $(Y+Nb)-Rb$ (c)、 $Rb/10-Hf-3Ta$ (d)构造环境判别

(a图据参考文献[26];b,c,d图据参考文献[27])

Fig. 7 R_1-R_2 (a), $Y-Nb$ (b), $(Y+Nb)-Rb$ (c) and $Rb/10-Hf-3Ta$ (d) tectonic setting discrimination of coarse grained porphyaceous monzonitic granite

5.2 岩石成因

从主量元素特征看,标准矿物中可见刚玉分子,所有样品 A/CNK 值为 0.96 ~ 1.33 (平均值为 1.11),表现出准铝质-过铝质的特点。

在 $Rb/Sr-Rb/Ba$ 图解^[29]中,粗粒巨斑二长花岗岩的成分投影点大部分落在富粘土的砂屑岩和泥质岩交界部位(图 8),指示其源区主要为富粘土的砂屑岩和泥质岩类。粗粒巨斑二长花岗岩母岩浆应为来自成熟地壳中富铝质的砂屑岩和粘土岩的部分熔融。

稀土和微量元素地球化学特征显示,相对富集 K、Rb、Th 元素,明显亏损 Ba、Nb、Sr、P、Ti 元素,稀土和微量元素曲线相似性较好,分布范围集中,反映具同源岩浆演化的特点。Eu、Sr 亏损与斜长石和钾长石的分离结晶有关,证明其母岩浆经历了分离结晶作用;Nb 和 Ti 的亏损与角闪石等富 Ti 矿物的残余有关。

5.3 地球动力学背景

李才等^[12]确定冈底斯地区存在印支期岩浆活动。之后对冈底斯印支期构造-岩浆活动进行了陆续的报道,并对其形成的地球动力学背景进行了不同层面的讨论,主流观点认为,冈底斯晚古生代-早中生代的构造-岩浆活动与其北部的古特提斯大洋壳向南俯冲的动力学系统密切相关,而与南部的雅鲁藏布江缝合带代表的新特提斯洋洋壳向北俯冲关联较少^[30-33]。朱弟成等^[33]认为,中二叠世末期(约 263Ma),发生于拉萨微陆块南缘的冈底斯带二叠纪碰撞造山事件可能触发新的俯冲,即在拉萨微陆块北部,由于古特提斯洋脊的持续扩展,触发古特提斯洋壳岩石圈在大约 263Ma 时开始向南俯冲于拉萨微陆块之下,形成新的俯冲带,随着俯冲作用持续进行,很可能在拉萨微陆块南部早期碰撞带

表2 粗粒巨斑二长花岗岩主量、微量和稀土元素分析结果

Table 2 Major, trace and rare earth element analyses of coarse grained porphyaceous monzonitic granite

样品号	pm401-18H1	pm401-34H1	pm401-45H1	pm402-91H1	pm402-99H1	pm402-142H1
SiO ₂	70.35	69.9	71.33	69.63	70.84	72.11
TiO ₂	0.42	0.43	0.5	0.48	0.25	0.37
Al ₂ O ₃	13.72	14.93	13.93	14.42	16.26	13.18
Fe ₂ O ₃	0.74	0.59	0.64	0.8	0.5	0.56
FeO	1.7	1.85	2.15	2.07	0.98	1.8
MnO	0.05	0.04	0.05	0.04	0.02	0.03
MgO	0.67	0.73	0.86	0.79	0.47	0.61
CaO	2.34	1.4	1.18	1.75	0.45	0.9
Na ₂ O	2.55	2.67	2.6	3.29	2.59	3.12
K ₂ O	5.35	5.74	4.97	5.03	6.57	5.54
P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.15	0.17	0.09	0.16
H ₂ O ⁺	1.04	1.26	1.36	1.09	0.72	1.16
CO ₂	0.73	0.08	0.08	0.11	0.04	0.11
烧失量	1.61	1.15	1.23	1.05	0.67	1.2
总量	101.41	100.94	101.03	100.73	100.45	100.84
La	64.54	68.05	76.31	76.31	64.54	68.05
Ce	123.26	130.43	143.92	143.92	123.26	130.43
Pr	13.52	14.14	15.46	15.46	13.52	14.14
Nd	47.81	50.18	54.85	54.85	47.81	50.18
Sm	8.68	8.87	9.2	9.2	8.68	8.87
Eu	1.04	1.23	1.11	1.11	1.04	1.23
Gd	7.51	7.57	8.15	8.15	7.51	7.57
Tb	1.24	1.13	1.22	1.22	1.24	1.13
Dy	6.53	5.39	6.16	6.16	6.53	5.39
Ho	1.24	0.92	1.12	1.12	1.24	0.92
Er	3.41	2.37	3.1	3.1	3.41	2.37
Tm	0.53	0.36	0.48	0.48	0.53	0.36
Yb	3.25	2.24	2.87	2.87	3.25	2.24
Lu	0.47	0.33	0.39	0.39	0.47	0.33
Y	37.6	26.69	33.63	33.63	37.6	26.69
ΣREE	283.04	293.21	324.34	324.34	283.04	293.21
(La/Yb) _N	14.22	21.76	19.05	19.05	14.22	21.76
δEu	0.38	0.45	0.38	0.38	0.38	0.45
δCe	0.97	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98
Co	5.15	5.6	5.77	5.76	2.52	4.62
Cu	2.17	3.21	12.07	6.91	5.58	4.43
Zn	56.45	32.96	54.83	55.02	33.31	46.62
Rb	305.1	312.9	271.1	295.2	335.4	317.5
Zr	223.99	231.01	261.14	265.3	90.39	223.9
Nb	19.73	20.5	20.7	14.38	8.52	12.53
Hf	5.83	6.05	7.02	6.1	2	5.2
Ta	2.15	2.49	2.37	1.37	1.2	1.5
Mo	0.39	0.38	0.29	0.59	0.35	0.41
W	2.56	1.29	1.84	1.58	1.22	1.55
Pb	65.41	66.89	57.56	55.38	80.77	68.85
Th	50.35	50.66	51.59	66.58	35.98	55.18
U	3.85	2.54	2.59	3.67	2.86	3.75

续表 2

样品号	pm401-18H1	pm401-34H1	pm401-45H1	pm402-91H1	pm402-99H1	pm402-142H1
Cr	12.67	15.25	15.18	21.26	14.45	14.18
BaO	548	730	604.8	417.8	258.1	400.5
Ni	5.73	5.27	6.51	5.41	3.25	3.93
Sr	140.1	159.2	148.8	111.2	85.96	97.89
V	33.14	36.48	40.66	37.98	13.59	27.91
As	2.46	1.55	1.42	1.47	1.01	0.86
Sb	0.21	0.29	0.23	0.21	0.14	0.16
Sn	8.28	6.76	10.26	4.79	3.66	6.26
Ag	0.052	0.041	0.039	0.045	0.028	0.102
Au	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5	0.3

注:主量元素含量单位为%,稀土和微量元素单位为 10^{-6} ;分析测试单位为湖北省地质实验测试中心

位置形成弧后盆地,该弧后盆地继续发育,将导致拉萨微陆块从澳大利亚北缘分离出来形成新特提斯。在此过程中,与班公湖-怒江洋壳岩石圈南向俯冲有关的地幔源岩浆可能底侵到拉萨微陆块南缘,提供热量促使地壳物质部分熔融,形成晚三叠世粗粒巨斑二长花岗岩、二云母花岗岩、花岗闪长岩^[18-11,13,34-36],此时期拉萨微陆块南缘仍为被动大陆边缘。通过对比,笔者初步认为,粗粒巨斑二长花岗岩类的地球动力学背景应与班公湖-怒江洋壳南向俯冲有关的同碰撞向后碰撞过渡的伸展环境。

6 结 论

(1) 西藏错龙错地区粗粒巨斑二长花岗岩的

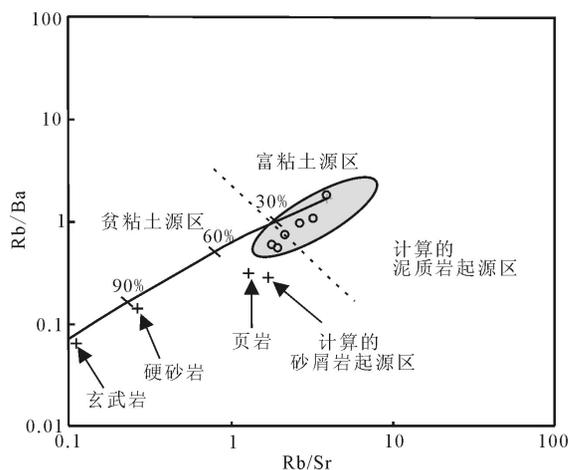


图 8 粗粒巨斑二长花岗岩的 Rb/Sr-Rb/Ba 关系^[29]

Fig. 8 Relation of Rb/Sr-Rb/Ba of coarse grained porphyaceous monzonitic granite

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 212.6 ± 2.7 Ma, 形成于晚三叠世。

(2) 首次对冈底斯中带偏西部地区印支期花岗岩的地球化学特征及地球动力学背景进行了探讨,为冈底斯带在印支期的构造-岩浆演化提供新的证据;并将冈底斯中带晚三叠世岩浆活动的空间分布范围从中部的罗扎地区延伸到偏西部的错龙错地区。

(3) 粗粒巨斑二长花岗岩整体属于亚碱性系列中的高钾钙碱性-钾玄岩系列、准铝质-过铝质岩石系列 ($A/CNK=0.96 \sim 1.18$); 稀土元素配分模式为轻稀土元素明显富集、重稀土元素相对亏损的右倾型,且较一致,具有明显的负 Eu 异常;微量元素富集 K、Rb、Th, 相对亏损 Th、Ta、Zr、Nb、Ta、Ti 元素,具有类似于造山后花岗岩的微量元素特征。

(4) 错龙错地区粗粒巨斑二长花岗岩形成于班公湖-怒江洋壳南向俯冲有关的由挤压向伸展转变的同碰撞向后碰撞的过渡阶段。

致谢:感谢中国地质科学院国家地质实验测试中心对锆石 U-Pb 测年工作所作的努力;感谢湖北省地质实验测试中心对本文地球化学数据进行分析;感谢野外工作及论文写作过程中提供指导和帮助的四川省地质调查院贾小川教授级高工、杨学俊和刘卫新高级工程师。

参考文献

[1] 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 281-290.

- [2]Coulon C, Maluski H, Bollinger C, et al. Mesozoic and cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: ^{39}Ar - ^{40}Ar dating, petrological characteristics and geodynamical significance[J]. Annual Review of Earth and Planetary Science Letters, 1986, 79: 281-302.
- [3]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.
- [4]Harris N, Inger S, Xu R H. Cretaceous plutonism in Central Tibet: an example of post-collision magmatism[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1990, 44: 21-32.
- [5]Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, et al. Geochemical investigation of Early Cretaceous igneous rocks along an east-west traverse throughout the central Lhasa Terrane, Tibet[J]. Chemical Geology, 2009, 268: 298-312.
- [6]Zhu D C, Mo X X, Wang L Q, et al. Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the Zayu area of eastern Gangdese, Tibet: Constraints from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes[J]. Science in China (Series D), 2009, 52: 1223-1239.
- [7]Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, et al. Zircon U-Pb dating and in situ Hf isotopic analysis of Permian peraluminous granite in the Lhasa terrane, southern Tibet: Implications for Permian collisional orogeny and paleogeography[J]. Tectonophysics, 2009, 469: 48-60.
- [8]王程, 魏启荣, 刘小念, 等. 冈底斯印支晚期后碰撞花岗岩: 锆石 U-Pb 年代学及岩石地球化学证据[J]. 地球科学, 2014, 39(9): 1277-1300.
- [9]李化启, 蔡志慧, 陈松永, 等. 拉萨地体中的印支造山事件及年代学证据. 岩石学报, 2008, 24(7): 1595-1604.
- [10]张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 等. 冈底斯印支期造山事件: 花岗岩类锆石 U-Pb 年代学和岩石成因证据[J]. 地球科学, 2007, 32(2): 155-166.
- [11]和钟铎, 杨德明, 郑常青, 等. 冈底斯带门巴花岗岩同位素测年及其对新特提斯洋俯冲时代的约束[J]. 地质论评, 2006, 52(1): 100-106.
- [12]李才, 王天武, 李惠民, 等. 冈底斯地区发现印支期巨斑花岗岩闪长岩古冈底斯造山的存在证据[J]. 地质通报, 2003, 22(5): 364-366.
- [13]宋绍玮, 刘泽, 朱弟成, 等. 西藏打加错晚三叠世安山质岩浆作用的锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素[J]. 岩石学报, 2014, 30(10): 3100-3112.
- [14]朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 等. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1535-1550.
- [15]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: 521-533.
- [16]侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 地质矿产, 2009, 28(4): 481-492.
- [17]Ludwig K R. Users manual for isoplot 3. 0: A geochronological toolkit for Microsoft excel. Berkeley[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003: 1-71.
- [18]Hoskin P W O, Schaltegger U. The composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis[J]. Rev. Miner. Geochem., 2003, 53(1): 27-62.
- [19]Maitre R W L. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. Blackwell Scientific Publications, 1989.
- [20]Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. Contrib. Mineral Petrol., 1976, 58: 63-81.
- [21]Maniar P D, Piccolli P M. Tectonic discrimination of granitoid[J]. Geol. Soc. Am. Bull., 1989, 101: 635-643.
- [22]Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. Lithos, 1999, 46: 605-626.
- [23]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society of London Special Publications, 1989, 42(1): 313-345.
- [24]Vinogradov A P. Average content of chemical elements in the chief types of igneous rocks of the crust of the Earth[J]. Geokhimiya, 1962, (7): 555-571 (in Russian with English abstract).
- [25]张旗, 潘国强, 李承东, 等. 花岗岩构造环境问题: 关于花岗岩研究的思考之三[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2683-2698.
- [26]Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters[J]. Chemical Geology, 1985, 48(1/4): 43-55.
- [27]Pearce A J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J. Petrol., 1984, 25(4): 956-983.
- [28]Liegeois J P. Some words on the post-collisional magmatism[J]. Lithos, 1998, 45: X V - X V II.
- [29]Sylvester L. Post-collisional strongly peraluminous granites[J]. Lithos, 1998, 45: 29-44.
- [30]耿全如, 潘桂棠, 金振名, 等. 西藏冈底斯叶巴组火山岩地球化学及成因[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2005, 30(6): 747-760.
- [31]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.
- [32]王立全, 潘桂棠, 朱弟成, 等. 西藏冈底斯带石炭—二叠纪岛弧造山作用: 火山岩及地球化学证据[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1509-1534.
- [33]朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等. 西藏南部二叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化: 新观点[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 1-20.
- [34]李才, 王天武, 李惠民, 等. 冈底斯地区发现印支期巨斑花岗岩闪长岩: 古冈底斯造山的存在证据[J]. 地质通报, 2003, 22(5): 364-366.
- [35]卜涛, 魏启荣, 丁鹏飞, 等. 西藏冈底斯带中段南木林县仁堆侵入体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及岩石成因[J]. 地质通报, 2015, 34(12): 2254-2265.
- [36]廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 等. 初论西藏过铝花岗岩[J]. 地质通报, 2006, 25(7): 812-821.
- ①谢国刚, 郝爱健, 袁建芽, 等. 1:25 万区域地质调查(邦多幅). 江西省地质调查院, 2002.