

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.04.11

引用格式: 唐华,陈永东,魏龙,等. 冈底斯南缘拉隆地区变形花岗岩地质特征及其构造意义[J]. 中国地质调查,2020,7(4): 85-94.

冈底斯南缘拉隆地区变形花岗岩地质特征及其构造意义

唐华¹, 陈永东^{1,2}, 魏龙¹, 李宁¹

(1. 四川省地质矿产勘查开发局川西北地质队, 绵阳 621000;

2. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610000)

摘要: 冈底斯岩浆弧中发育了1条重要的韧性剪切带,为深入了解该韧性剪切带上变形花岗岩的成因、变形作用及其性质,对冈底斯南缘拉隆地区变形花岗岩开展了地球化学、变形构造和锆石 U-Pb 同位素年代学研究。通过对冈底斯南缘拉隆地区出露的变形花岗岩进行实测地质剖面测制及野外地质填图,发现变形花岗岩呈近 EW 向展布,北侧与中生代麻木下组呈断层接触,其余被第四系覆盖。岩石类型主要为英云闪长岩,属于高硅钙碱性系列岩石。SiO₂ 含量为 66.2%~71.0%,平均值为 68.3%,全碱(Na₂O+K₂O)含量、Al₂O₃ 含量和 MgO 含量均较高,轻稀土元素总量(ΣLREE)大于重稀土元素总量(ΣHREE),Rb、Th 等大离子亲石元素富集,Ta、Zr、Nb 等高场强元素亏损,Sr 含量高,Y 含量低,Sr/Y 为 73.02~99.05,整体显示具有埃达克质岩石的特征属性。变形花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(83.56±0.83) Ma,为晚白垩世,代表了其岩浆结晶形成的年龄。变形花岗岩主要为新特提斯洋壳向北俯冲削减背景下,增厚的下地壳部分熔融形成的产物,在中新世 28~13 Ma 遭受了近 EW 向左旋剪切、向北滑覆的韧性剪切变形作用。

关键词: 变形花岗岩; 埃达克质岩石; 锆石 U-Pb 年龄; 剪切变形作用; 新特提斯洋

中图分类号: P588.121

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2020)04-0085-10

0 引言

在新特提斯洋壳向北俯冲消减和印度-欧亚板块碰撞造山过程中,青藏高原发生了强烈的岩浆活动,形成了近 EW 向平行于雅鲁藏布江缝合带分布的巨型岩浆带,即冈底斯岩浆弧^[1-12]。前人对冈底斯岩浆弧构造环境和年代学特征进行了研究,认为南冈底斯岩浆弧由与中生代新特提斯洋壳俯冲和新生代欧亚-印度板块碰撞造山有关的岩浆岩产物构成^[13-26],但以往对岩浆弧叠加的构造变形特征研究较少。冈底斯岩浆弧中叠加了1条重要的谢通门-一曲水韧性剪切带,前人的研究主要集中在运动学、动力学和构造变形特征方面^[27-29],对叠加的岩浆弧尚未开展具体研究。近些年,一些学者

对谢通门-一曲水韧性剪切带的形成时限(23~21 Ma)和变形温度(300~550℃)进行了研究,认为该韧性剪切带形成于新生代地壳快速增厚时期,地壳侧向增厚不均匀导致冈底斯岩浆弧在新生代中期发生 EW 向崩塌,造成 SN 向后碰撞伸展,在冈底斯岩浆弧中叠加了谢通门-一曲水韧性剪切带^[30-35]。尽管对冈底斯岩浆弧和谢通门-一曲水韧性剪切带的研究取得了一些新认识,但是对韧性剪切变形花岗岩的成因、韧性剪切变形时限及其成因等都缺乏系统的研究。本文以尼木县北侧拉隆地区变形花岗岩为研究对象,通过开展实测地质剖面测制和野外地质填图工作,采集岩矿薄片,进行岩石化学全分析、锆石 U-Pb 测年及石英 EBSD 组构测试,从地质特征、岩石矿物学、地球化学、锆石 U-Pb 年龄及构造

收稿日期: 2019-06-23; 修订日期: 2019-10-24。

基金项目: 中国地质调查局“西藏尼木地区 1:5 万区域地质调查(编号: 121201010000150014-07)”项目资助。

第一作者简介: 唐华(1988—),男,工程师,主要从事应用构造地质学研究。Email: 673991740@qq.com。

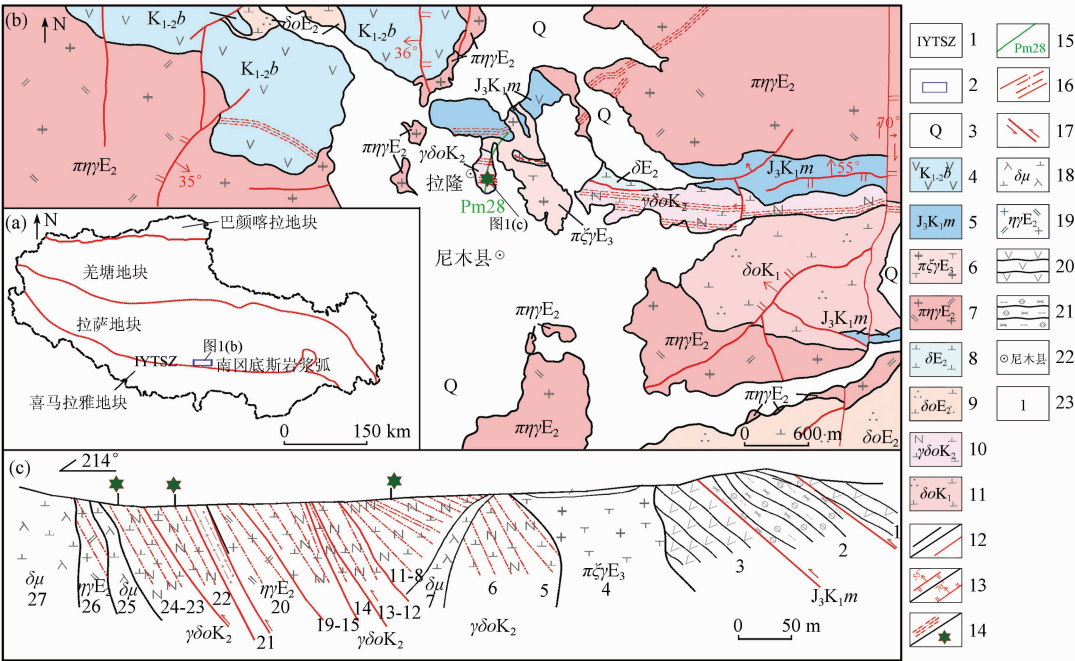
通信作者: 陈永东(1985—),男,硕士研究生,主要从事基础地质研究。Email: 249422986@qq.com。

变形等方面进行研究,获得了一些新认识,为冈底斯南缘构造演化研究提供了新依据。

1 构造地质背景

研究区位于南冈底斯岩浆弧中段尼木县,南侧紧邻雅鲁藏布江缝合带(图 1(a)),其地理坐标为 90°00′~90°15′ E,29°20′~29°30′ N。研究区岩石以大规模中—新生代侵入岩为主,局部残留或捕虏与新特提斯洋壳俯冲消减有关的产物,包括由碳酸盐岩建造、岛弧钙碱性正变质岩建造及副变质岩建造组成的变质杂岩体^[36-38]和由碎屑岩、碳酸盐岩、

岛弧型钙碱性火山岩组成的桑日群^[39-40]。变质杂岩体的变质作用时限(85~50 Ma)与新特提斯洋壳俯冲作用形成岩浆弧主峰期(90~50 Ma)^[41]相吻合,表明新特提斯洋壳俯冲消减具有多期性^[42]。研究区地质体是新特提斯洋打开、俯冲消减直至陆陆碰撞的产物^[43],构造组合样式为一系列近 WE 向的断裂被 NE 向和 NW 向的走滑断层切割错移。在保留早期构造形迹的同时叠加了走滑断裂、韧性剪切构造和活动断裂^[44],叠加构造以区域 WE 向谢通门—曲水韧性剪切带和 NS 向当雄—羊八井活动断裂带^[45-46]最为明显。



1. 雅鲁藏布江缝合带; 2. 研究区; 3. 第四系; 4. 下—中白垩统比马组; 5. 中生代麻木下组; 6. 渐新世似斑状正长花岗岩; 7. 始新世似斑状二长花岗岩; 8. 始新世闪长岩; 9. 始新世石英闪长岩; 10. 晚白垩统石英闪长岩; 11. 早白垩统石英闪长岩; 12. 地质界线和断层界线; 13. 逆冲断层和正断层; 14. 糜棱岩化带和采样位置; ; 15. 实测剖面及编号; 16. 断层破碎带; 17. 平移走滑断裂; 18. 闪长玢岩; 19. 始新世二长花岗岩; 20. 片理化安山岩; 21. 黑云阳起片岩; 22. 地名; 23. 层号

图 1 研究区大地构造位置(a)^[2]、地质简图(b)^[37]及实测地质剖面图(c)

Fig.1 Tectonic location(a), geological sketch(b)and measured geological profile(c) of the study area

2 测试方法

在中国地质科学院地质研究所原国土资源部大陆构造与动力学重点实验室 JEOLJSM-5610LV 型扫描电子显微镜下完成石英 EBSD 组构测试工作,加速电压为 20 kV,工作距离为 20 mm。晶格优选方位极密图由 HKL 公司制造的 CHANNEL5 软件完成,对扫描数据按等面积半球赤平投影,得到石英晶

体各主要晶体空间分布结构平面图,许志琴等^[47]对具体的操作方法及实验流程进行了详细阐述。

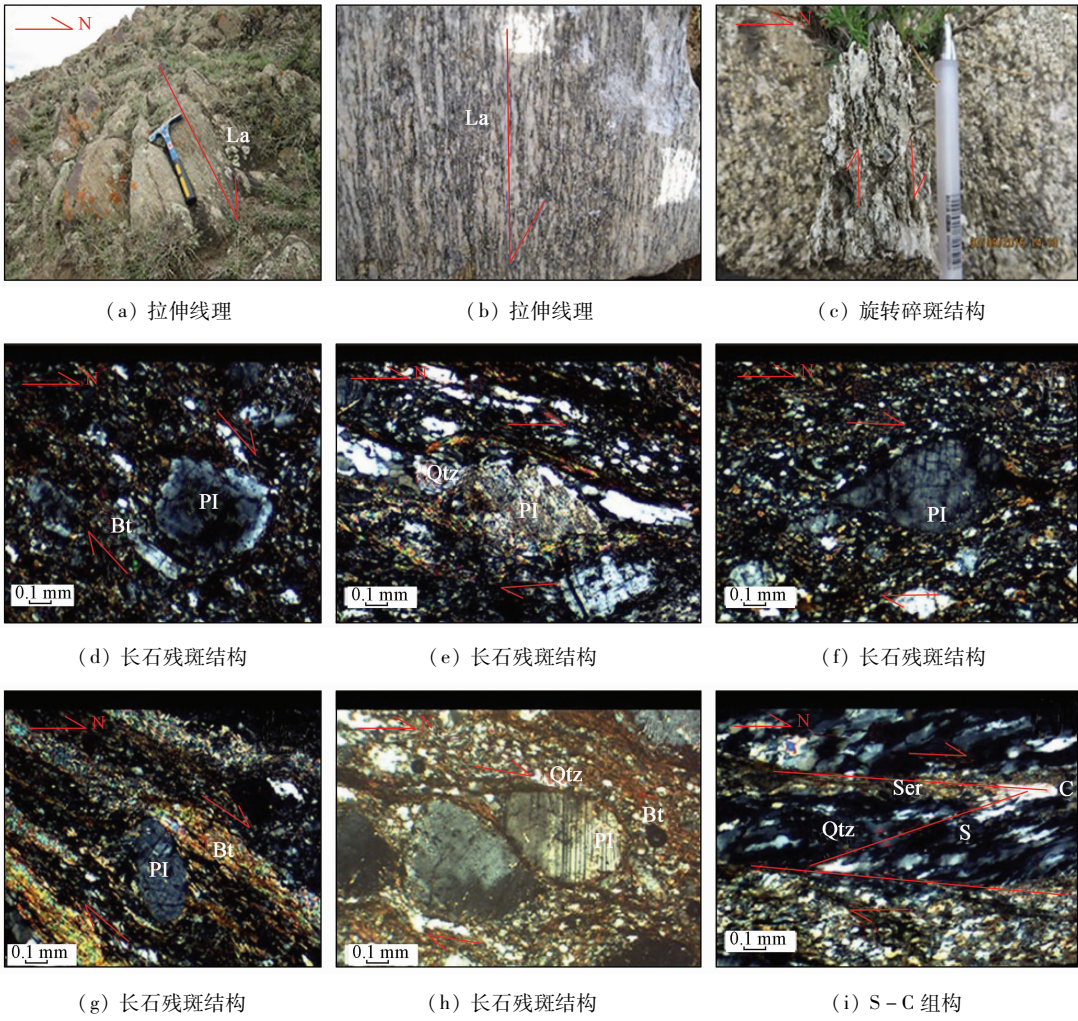
岩石全岩分析在湖北省地质实验测试中心完成。首先将新鲜的岩石样品切割制成岩石薄片,然后将样品粉碎研磨至约 200 目,制成粉末样品后进行主量元素、微量元素及稀土元素含量分析。锆石 U-Pb 同位素测年在北京市地质构造与动力学国家重点实验室完成,实验仪器采用激光等离子质谱技术,分为激光发生装置与等离子质谱(电感耦合)2

部分。实验主要流程包括清洁样靶、测试载气量(仪器中)、配备补偿气、样品点打点测试及数据处理。

3 岩石学特征

变形花岗岩分布在拉隆地区(图 1(b))^[36],呈近 EW 向展布,出露面积约 4 km²。由 Pm28 实测地质剖面图(图 1(c))可知: 1~3 层为桑日群麻木下组灰绿色片理化安山岩和片岩; 第 4 层为侵入的渐

新世似斑状正长花岗岩; 5~6 层和 8~24 层为变形花岗岩(糜棱岩化英云闪长岩); 第 7 层、25 层和 27 层为后期侵入的闪长玢岩; 第 20 层、26 层为变形花岗岩(糜棱岩化二长花岗岩)。变形花岗岩以糜棱面理、南北向拉伸线理(图 2(a)、(b))及旋转碎斑(图 2(c))为特征,呈糜棱结构,面状构造,显微镜下见矿物破碎、变形,发育长石残斑结构(图 2(d)、(e)、(f)、(g)、(h)) 和 S-C 组构(图 2(i))等典型韧性变形结构,运动方向均指示向北滑覆,与野外观察的宏观特征一致。



Pl.斜长石; Qtz.石英; Bt.黑云母; Ser.绢云母; La.拉伸线理; S.糜棱面理; C.剪切面理; 应力方向

图 2 变形花岗岩野外及显微镜下特征照片

Fig. 2 Field and microscopic characteristics of the deformed granite in the study area

糜棱岩化英云闪长岩为绿灰色,呈粒状结构和糜棱结构,面状构造。主要矿物成分及含量为: 斜长石 0~65%, 石英 20%~25%, 黑云母 20%~25%, 普通角闪石 15%。斜长石边缘颗粒破碎,石

英颗粒动态重结晶,黑云母发生弯曲变形,可见有斜长角闪片岩捕虏体。

糜棱岩化二长花岗岩为灰色,呈粒状结构和糜棱结构,块状构造。主要矿物成分及含量为: 钾长

石 50% ,斜长石 30% ,石英 24% ,黑云母 5% 。

4 岩石电子背散射衍射(EBSD)组构特征

采集了 EBSD 组构分析样品糜棱岩化英云闪长岩,矿物拉伸线理方向为 12°,糜棱面理产状为 78°~57°。对 200 颗重结晶石英颗粒进行晶格优选,制作优选方位极密图(图 3)。石英颗粒为它形粒状结构,粒径大小一般为 0.1~0.2 mm,部分大小为 0.05~0.1 mm 或 0.2~0.5 mm,呈定向分布。极密图的坐标轴设置为 *a* 轴平行于拉伸线理方向,*ab* 切面为糜棱面理面,*c* 轴垂直面理方向。

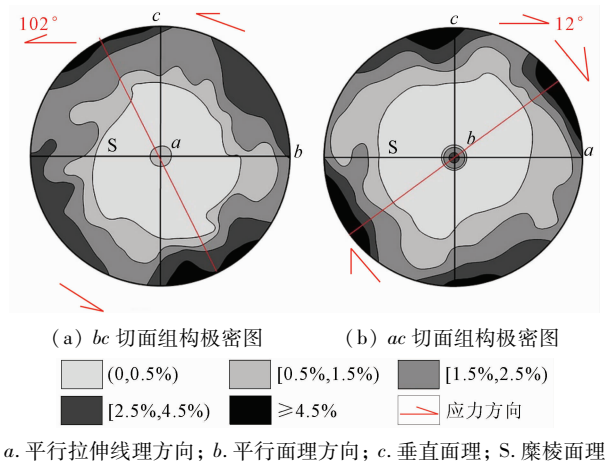


图 3 变形花岗岩组构极密图

Fig.3 Section structure density map of the deformed granite

由 *bc* 切面组构极密图(图 3(a))可知,最高极密值为 6.5%,为单斜对称型,属中低温组构,极密位于第二、四象限的环带内,显示岩石走向上受到了左旋剪切运动;由 *ac* 切面组构极密图(图 3(b))可知,最高极密值为 6.5%,为单斜对称型,主极密位于第一、三象限的环带内,属高中温组构,显示向北滑覆,次极密位于第二、四象限的环带内,近于 *c* 轴,属中低温组构。以上表明其变形以左旋剪切、向北滑覆为主,与宏观及镜下观察一致。

5 岩石地球化学特征

5.1 主量元素

变形花岗岩主量元素含量及特征参数见表 1。变形花岗岩 SiO₂ 含量为 66.2%~71.0%,平均值为 68.3%,属于酸性岩; Al₂O₃ 含量为 14.7%~15.5%,平均值为 15.1%; 全碱(Na₂O+K₂O)含量为 6.2%~7.3%,平均值为 6.83%; MgO 含量为 1.0%~3.3%,平均值为 1.93%; TiO₂ 含量为 0.3%~0.7%,平均值为 0.5%; (FeO+Fe₂O₃) 含量为 2.3%~5.5%,平均值为 3.7%。变形花岗岩的铝饱和指数 A/CNK 均>1,属于强过铝质岩石; 里特曼指数 σ 为 1.9~2.0,平均值为 1.98,属于钙碱性系列; 分异指数 DI 为 63.1~82.9,平均值为 74.11。

表 1 变形花岗岩主量元素、稀土元素和微量元素含量及特征参数

Tab.1 Content and characteristic parameters of main elements, rare earth elements and trace elements of the deformed granite																
样品编号	主量元素含量/%													特征参数		
	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	H ₂ O ⁺	烧失量	σ	AR	
Pm28-10	67.7	0.5	15.2	2.3	1.0	0.1	1.5	3.2	3.7	3.3	0.1	1.1	1.1	2.0	2.3	
Pm28-22	66.2	0.7	15.5	2.6	2.9	0.1	3.3	4.8	3.7	2.5	0.2	1.3	1.0	2.0	1.9	
Pm28-24	71.0	0.3	14.7	0.9	1.4	0.0	1.0	2.2	4.0	3.3	0.1	0.8	0.1	1.9	2.5	
样品编号	特征参数				微量元素及稀土元素含量/10 ⁻⁶											
	DI	SI	A/CNK	N/K	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	
Pm28-10	76.4	12.6	1.5	1.1	15.2	28.1	3.7	13.8	2.6	0.7	1.8	0.3	1.4	0.3	0.7	
Pm28-22	63.1	21.8	1.4	1.5	15.6	30.0	4.1	15.5	3.0	0.9	2.3	0.3	1.7	0.3	0.8	
Pm28-24	82.9	9.4	1.5	1.2	13.7	25.6	3.3	12.4	2.3	0.6	1.7	0.3	1.1	0.2	0.5	
样品编号	微量元素及稀土元素含量/10 ⁻⁶															
	Tm	Yb	Lu	Y	Cs	Rb	Sr	Ba	Nb	Ta	Zr	Hf	Th	V	Cr	
Pm28-10	0.1	0.6	0.1	7.4	6.9	134.8	547.3	791.5	5.0	0.6	146.8	5.0	9.7	73.6	25.6	
Pm28-22	0.1	0.7	0.1	8.5	4.0	90.8	620.7	679.8	5.3	0.7	118.6	4.1	4.2	128.2	92.4	
Pm28-24	0.1	0.5	0.1	6.1	6.8	103.1	604.2	785.3	4.1	0.6	115.6	4.3	9.3	52.1	11.5	
样品编号	微量元素及稀土元素含量/10 ⁻⁶						特征参数									
	Li	Sc	U	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	δEu	δCe	(La/Yb) _N	(Ce/Yb) _N	(Sm/Eu) _N	Sr/Y			
Pm28-10	18.4	6.7	2.2	76.8	64.1	5.3	12.1	0.9	0.9	16.0	11.4	1.4	73.96			
Pm28-22	20.2	11.6	1.6	83.8	69.0	6.4	10.8	1.0	0.9	14.2	10.2	1.2	73.02			
Pm28-24	10.4	5.1	3.0	68.3	57.8	4.4	13.3	0.9	0.9	20.0	14.4	1.4	99.05			

万方数据

注:测试单位为湖北省地质实验测试中心。

5.2 稀土元素

变形花岗岩稀土元素含量及特征参数见表1。变形花岗岩稀土元素(ΣREE)总含量为(68.3~83.8)×10⁻⁶,平均值为76.3×10⁻⁶;轻稀土元素含量与重稀土元素含量比值(LREE/HREE)为10.8~13.3,均值为12.0,表明轻稀土元素总量(ΣLREE)大于重稀土元素总量(ΣHREE);δEu平均值为0.95,显示极弱的铕负异常。在球粒陨石标准稀土元素配分曲线图(图4)上,曲线呈右倾形态,与岛弧花岗岩的稀土元素配分曲线相似。

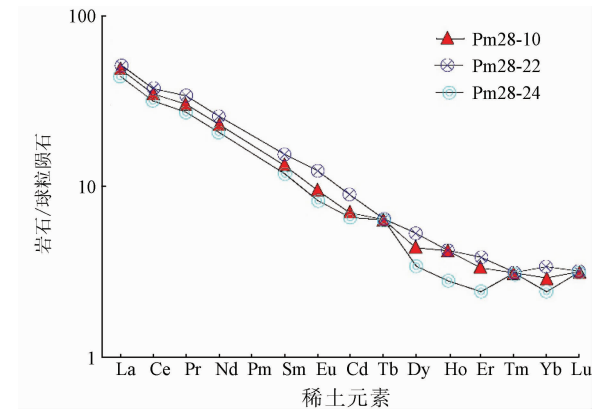


图4 变形花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图^[48]
Fig.4 Chondrite – normalized REE patterns of the deformed granite^[48]

5.3 微量元素

变形花岗岩微量元素含量及特征参数见表1。

变形花岗岩的Rb含量为(90.8~134.8)×10⁻⁶;Th含量为(4.2~9.7)×10⁻⁶;Nb含量为(4.1~5.3)×10⁻⁶;Hf含量为(4.1~5.0)×10⁻⁶。岩石富集Rb、Th等大离子亲石元素,亏损Ta、Zr、Nb等高场强元素,Cr等相容元素含量偏低,Sr含量高,Y含量低,Sr/Y为73.02~99.05,具有埃达克质岩石的特征属性。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图5)上,整体呈M型。

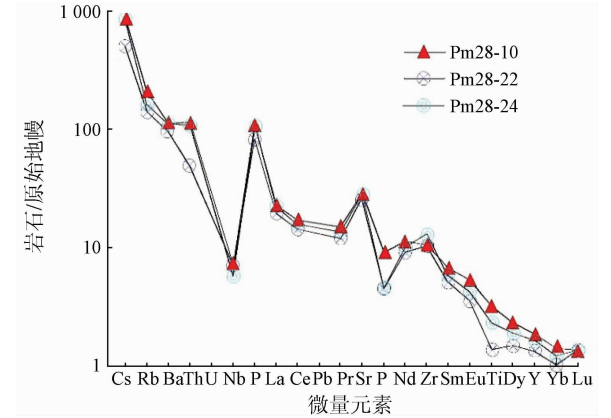


图5 变形花岗岩原始地幔标准化微量元素蛛网图^[49]
Fig.5 Primitive mantle – normalized trace elements spider diagram of the deformed granite^[49]

6 年代学特征

变形花岗岩(样品编号为Pm28-22)LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析结果见表2。

表 2 变形花岗岩(样品编号为 Pm28-22) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果																
Tab.2 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope analytical result of the deformed granite(Pm28-22)																
点号	同位素含量/10 ⁻⁶			Th/ U	同位素比值及误差						同位素年龄及误差/Ma					
	Pb	Th	U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ
1	8.7	244.8	387.3	0.6	0.013 1	0.000 2	0.080 8	0.002 6	0.045 2	0.001 6	83.863 9	1.342 8	78.937 9	2.416 0	84.340	65.034 0
2	6.8	172.7	306.4	0.6	0.013 3	0.000 3	0.089 2	0.003 7	0.048 6	0.001 8	85.466 3	1.675 9	86.790 4	3.427 8	131.570	87.025 0
3	10.3	290.5	385.2	0.8	0.013 0	0.000 3	0.082 9	0.002 8	0.046 5	0.001 7	83.546 5	1.758 1	80.908 8	2.632 2	33.430	72.215 0
4	11.5	337.0	469.4	0.7	0.013 1	0.000 2	0.092 6	0.002 8	0.051 4	0.001 5	83.914 2	1.298 5	89.893 6	2.582 9	257.470	66.655 0
5	8.6	215.3	385.6	0.6	0.013 1	0.000 2	0.086 4	0.002 8	0.047 9	0.001 4	83.801 9	1.407 8	84.127 3	2.590 6	94.535	65.735 0
6	8.6	236.0	381.2	0.6	0.013 8	0.000 3	0.099 2	0.004 0	0.052 1	0.001 9	88.057 7	1.761 6	96.065 0	3.710 5	300.060	83.322 5
7	10.0	281.5	409.0	0.7	0.013 0	0.000 2	0.093 2	0.003 6	0.051 9	0.001 8	83.492 1	1.529 3	90.472 9	3.304 1	279.690	84.245 0
8*	30.9	471.7	692.4	0.7	0.014 1	0.000 3	0.232 9	0.022 6	0.114 3	0.008 1	90.390 0	1.870 0	212.590 0	18.610 0	1868.210	95.530 0
9	9.9	305.4	406.8	0.8	0.012 7	0.000 3	0.083 6	0.002 5	0.047 9	0.001 4	81.596 7	1.594 3	81.567 4	2.382 3	94.535	72.215 0
10	13.4	393.4	513.6	0.8	0.013 0	0.000 3	0.088 0	0.003 0	0.049 4	0.001 7	83.502 4	1.767 2	85.631 0	2.765 8	168.600	84.245 0
11	12.3	314.3	512.9	0.6	0.012 9	0.000 2	0.092 2	0.003 3	0.051 8	0.002 0	82.545 2	1.576 7	89.530 9	3.070 3	275.990	87.022 5
12	12.8	385.3	506.4	0.8	0.013 1	0.000 3	0.085 4	0.002 8	0.047 6	0.001 4	83.737 1	1.772 1	83.171 6	2.602 9	83.425	70.362 5
13	8.5	263.8	419.0	0.6	0.013 1	0.000 2	0.082 4	0.003 2	0.045 8	0.001 6	83.596 4	1.584 8	80.376 0	3.015 6	83.243	72.431 0
14*	52.8	1761.7	1135.6	1.6	0.012 7	0.000 2	0.100 5	0.002 8	0.057 0	0.001 3	81.660 0	1.560 0	97.200 0	2.610 0	494.490	51.850 0
15	8.5	195.5	352.2	0.6	0.013 0	0.000 3	0.087 6	0.003 0	0.049 0	0.001 5	83.550 1	1.710 4	85.300 5	2.773 5	146.380	72.212 5
16	11.1	298.0	462.2	0.6	0.013 1	0.000 4	0.088 2	0.004 2	0.049 0	0.002 0	83.829 6	2.386 6	85.808 9	3.901 1	150.085	96.282 5
17	11.6	107.2	233.2	0.5	0.015 2	0.000 4	0.317 1	0.028 4	0.142 8	0.009 8	97.120 0	2.760 0	279.680 0	21.910 0	2260.810	118.520 0
18*	8.2	198.3	387.4	0.5	0.013 0	0.000 3	0.087 6	0.005 4	0.049 1	0.002 9	83.036 4	1.979 3	85.263 0	5.044 1	153.790	135.167 5
19	14.0	394.1	555.9	0.7	0.013 1	0.000 3	0.087 0	0.003 1	0.048 2	0.001 3	83.733 5	1.912 9	84.682 4	2.903 0	109.350	64.807 5
20*	15.4	333.7	449.2	0.7	0.012 9	0.000 3	0.139 5	0.007 6	0.079 1	0.004 3	82.780 0	1.870 0	132.570 0	6.780 0	175.930	107.870 0

注:表中所列误差均为1σ,带*号的点号样品未参与²⁰⁶Pb/²³⁸U加权年龄值计算。

糜棱岩化英云闪长岩共测定 20 颗锆石,在锆石阴极发光图像(图 6)上,锆石晶体形态以复多方柱为主,环带结构明显,可见长柱状和短柱状,锆石多为半透明状,部分晶体具熔蚀现象,样品中晶体边部多发育连续环带。20 颗锆石的²³²Th 平均含量为 359.50×10^{-6} , ²³⁸U 平均含量为 467.54×10^{-6} , ²³²Th/²³⁸U 平均值为 0.69。岩石的²³²Th/²³⁸U 值及锆石阴极发光图像均反映其具有岩浆锆石特征^[50],可代表岩浆结晶年龄。由于其中 4 颗锆石的谐和度较低(低于 90%),故不参与加权平均值的计算。因此,另外 16 颗锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 (83.56 ± 0.83) Ma,置信度为 96%,MSWD = 0.26 ($n = 16$),这与谐和曲线图(图 7)上显示的年

龄 (83.59 ± 0.89) Ma 相近。前人在糜棱岩中获得黑云母、绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄分别为 21.81 Ma 和 23.74 Ma^[35],认为其变形时限为 24 ~ 21 Ma,表明本次研究的变形花岗岩形成时代为晚白垩世,剪切变形时代为中新世。

7 讨论

7.1 岩石成因及构造环境

变形花岗岩为钙碱性系列岩石,地球化学特征表现为:SiO₂ 含量 > 56%, Al₂O₃ 含量 > 15%, 轻稀土元素富集,重稀土元素亏损, Yb 含量 < 1×10^{-6} , Y 含量 < 18×10^{-6} , 大离子亲石元素富集,高场强元素亏损。S 含量高, Y 含量低, Sr/Y 为 73.02 ~ 99.05,与原始埃达克质岩石具有相似的地球化学特征。在 Sr/Y - Y 图解(图 8)中,样品投影点全部落入埃达克岩范围内。

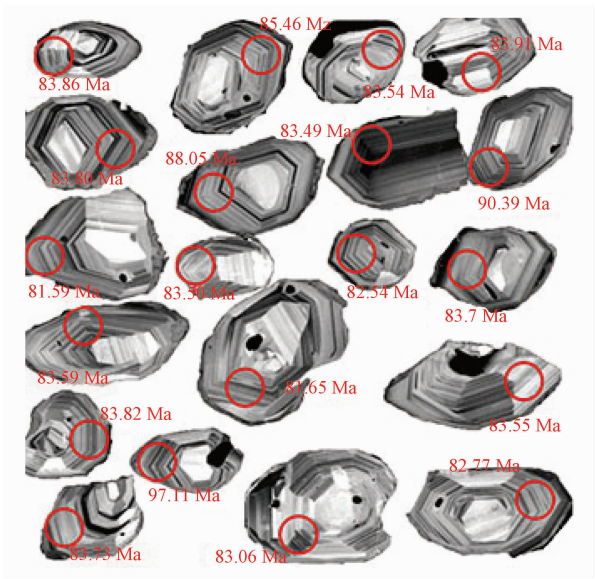


图 6 变形花岗岩锆石阴极发光 (CL) 图像

Fig. 6 CL images of zircons of the deformed granite

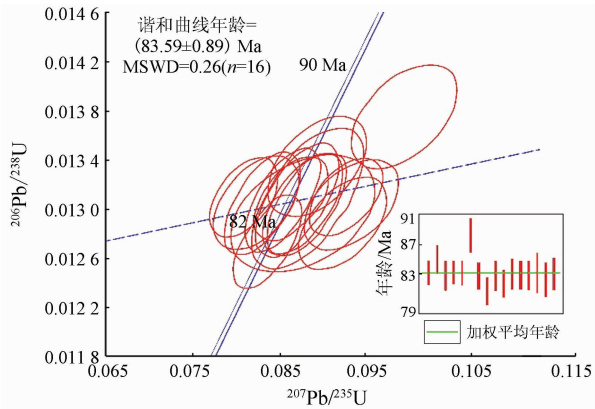


图 7 变形花岗岩锆石 U - Pb 年龄谐和曲线图

Fig. 7 Harmonic diagram of zircon U - Pb age of the deformed granite

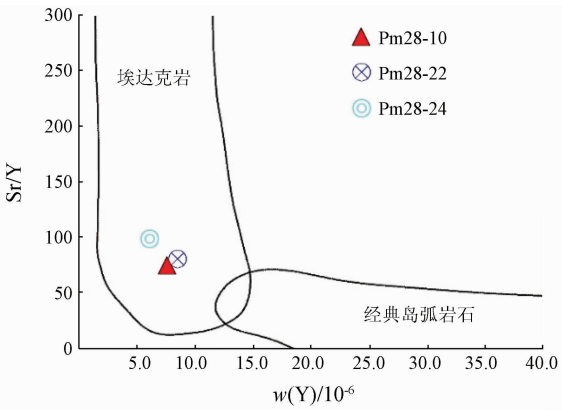


图 8 变形花岗岩 Sr/Y - Y 图解^[51]

Fig. 8 Sr/Y - Y diagram of the deformed granite^[51]

此外,变形花岗岩具有较高的 SiO₂ 含量, A/CNK 均 > 1,属于强过铝质岩石, A/NK 平均值为 2.20,普遍偏低, A/NK 与 A/CNK 均 > 1,与大洋地壳来源的埃达克质岩石形成鲜明对比,在 A/NK - A/CNK 图解(图 9)中,样品投影点落在下地壳来源的埃达克岩范围内。

综合研究表明,变形花岗岩属于 C 型埃达克质岩石。变形花岗岩 K₂O 含量较高,基本属于中—高钾范围,而大洋地壳部分熔融的埃达克质岩石 SiO₂ 含量普遍不高, K₂O 含量也普遍偏低。变形花岗岩 MgO 含量和 Mg[#] 值能较好地反映埃达克质岩石来源^[53]。变形花岗岩 MgO 平均值为 1.93%, 普遍偏低,变形花岗岩样品投影点分别落

在洋壳成因和加厚下地壳成因的埃达克质岩石中,表明其成因介于加厚下地壳熔融成因和俯冲洋壳成因之间。

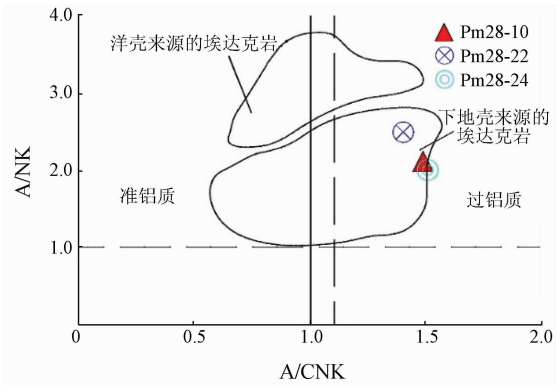
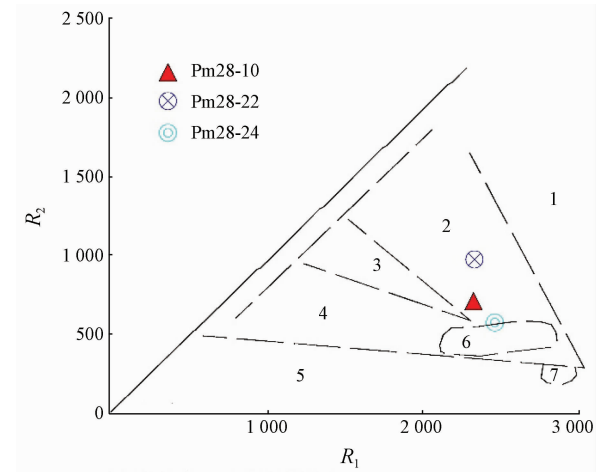


图9 变形花岗岩 A/NK - A/CNK 图解^[52]

Fig.9 A/NK - A/CNK diagram of the deformed granite^[52]

在阳离子 $R_1 - R_2$ 图解(图 10)中,变形花岗岩样品投影点均落入板块碰撞前区域。在前人^[55]

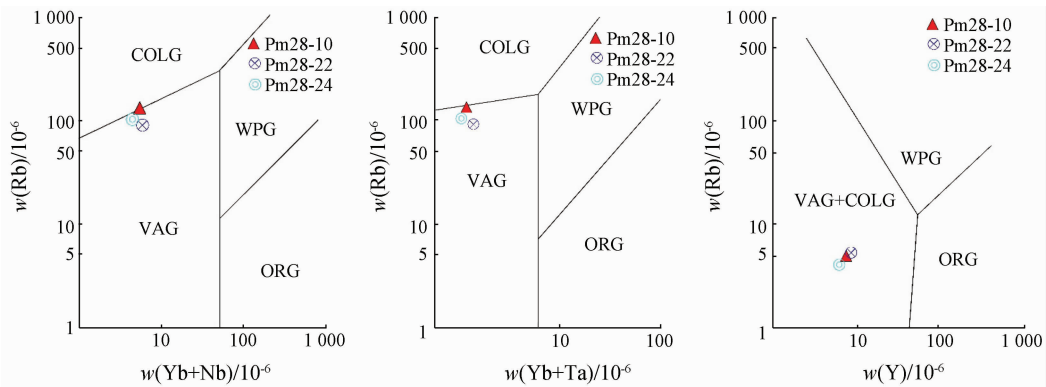
提出的构造环境判别图解(图 11)中,变形花岗岩样品投影点均落入火山弧花岗岩区。



1. 地幔分离; 2. 板块碰撞前; 3. 板块碰撞后抬升; 4. 造山期; 5. 非造山期; 6. 同碰撞期; 7. 造山期后

图10 变形花岗岩阳离子 $R_1 - R_2$ 图解^[54]

Fig.10 Cationic $R_1 - R_2$ diagram of the deformed granite^[54]



(a) Rb - (Yb + Nb) 图解 (b) Rb - (Yb + Ta) 图解 (c) Nb - Y 图解

ORG. 洋脊花岗岩; WPG. 板内花岗岩; VAG. 火山弧花岗岩; COLG. 同碰撞花岗岩

图11 变形花岗岩构造环境判别图解^[55]

Fig.11 Discriminant diagram of the tectonic environment of the deformed granite^[55]

7.2 对新特提斯洋演化时代的约束

变形花岗岩位于冈底斯岩浆弧南缘,其地球化学特征和地质特征反映其为新特提斯洋壳向北俯冲削减背景下增厚的下地壳部分熔融形成的,为俯冲削减形成侵入岩浆的岩石学记录。变形花岗岩锆石 U - Pb 年龄为 (83.56 ± 0.83) Ma,为晚白垩世,与区域上新特提斯洋壳俯冲削减时代一致^[56-58]。与之相应的岩石组合包括北西侧的晚白垩世 (69 ± 1) Ma^[37] 石英闪长岩和早一晚白垩世桑日群比马组 (92 ± 1.5) Ma^[37] 安山岩,共同构成与新特提斯洋壳俯冲有关的埃达克质岩石组合,表明新特提斯洋俯冲消减作用在 83.8 Ma 左右还在继

续进行。

7.3 对碰撞造山运动的约束

韧性剪切带中后侵入岩脉的年龄可代表韧性剪切变形活动的上限年龄,而遭受韧性剪切变形的最新地质体的年龄可代表韧性剪切带活动的下限年龄。本次研究在变形花岗岩中侵入的辉长岩脉中获得锆石 U - Pb 年龄为 13 Ma^[37],为中新世,在变形的最新地质体中获得锆石 U - Pb 年龄为 28 Ma^[37],表明韧性剪切变形活动的上、下限年龄为 28 ~ 13 Ma,与区域上普遍认为的变形活动年龄 24 ~ 20 Ma 相当。该时期正处于碰撞造山作用阶段,表明变形花岗岩见证了新特提斯洋壳俯冲消减

和欧亚-印度板块碰撞造山的构造-岩浆作用。

综上可知,拉隆地区变形花岗岩为新特提斯洋壳在晚白垩世向北俯冲削减的产物,并在新世(28~13 Ma)遭受了左旋剪切和向北滑覆的韧性剪切变形作用。

8 结论

(1)冈底斯南缘拉隆地区变形花岗岩岩石地球化学分析显示,其岩石类型主要为英云闪长岩,属于高硅钙碱性系列岩石。 SiO_2 含量为 66.2%~71.0%;全碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)含量为 6.2%~7.3%; Al_2O_3 含量为 14.7%~15.5%; MgO 含量为 1.0%~3.3%;轻、重稀土元素含量比值(LREE/HREE)为 10.8~13.3; δEu 为 0.9~1,属于铕亏损型; Rb 、 Th 等大离子亲石元素富集, Ta 、 Zr 、 Nb 等高场强元素亏损; Sr 含量为 $(547.3 \sim 620.7) \times 10^{-6}$, Y 含量为 $(6.1 \sim 8.5) \times 10^{-6}$, Sr/Y 为 73.02~99.05。整体显示具有埃达克质岩石的特征属性。

(2)冈底斯南缘拉隆地区变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 (83.56 ± 0.83) Ma,岩石为晚白垩世新特提斯洋壳向北俯冲削减背景下增厚的下地壳部分熔融形成的产物。

(3)冈底斯南缘拉隆地区变形花岗岩在中新世(28~13 Ma)遭受了左旋剪切和向北滑覆的韧性剪切变形作用。

参考文献:

- [1] 莫宣学,赵志丹,朱弟成,等.西藏南部印度-亚洲碰撞带岩石圈:岩石学-地球化学约束[J].地球科学——中国地质大学学报,2009,34(1):17-27.
- [2] 莫宣学.岩浆作用与青藏高原演化[J].高校地质学报,2011,17(3):351-367.
- [3] Coulon C, Maluski H, Bollinger C, et al. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: $^{39}\text{Ar} - ^{40}\text{Ar}$ dating, petrological characteristics and geodynamical significance[J]. Earth Planet Sci Lett, 1986, 79(3/4):281-302.
- [4] Xu R H, Schärer U, Allègre C J. Magmatism and metamorphism in the Lhasa Block (Tibet) [J]. J Geol, 1985, 93(1):41-57.
- [5] 朱弟成,潘桂棠,莫宣学,等.冈底斯中北部晚侏罗世—早白垩世地球动力学环境:火山岩约束[J].岩石学报,2006,22(3):534-546.
- [6] 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.
- [7] 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.

- [8] 董铭淳.南部拉萨地块晚白垩世花岗岩类年代学与地球化学[D].北京:中国地质大学(北京),2017.
- [9] 常承法,郑锡澜.中国西藏南部珠穆朗玛峰地区构造特征[J].地质科学,1973,8(1):1-12.
- [10] 朱利东,李智武,杨文光,等.西藏 1:5 万改则东地区 4 幅区域地质调查主要成果[J].中国地质调查,2017,4(5):31-39.
- [11] 刘振宇,贾海明,黄维平,等.西藏 1:5 万班戈县西南地区四幅区调成果与展望[J].中国地质调查,2015,2(7):8-12.
- [12] 彭头平,杨修明,褚慧力,等.班公湖-怒江结合带改则地区洋岛组构造模式与找矿重大发现——据西藏改则县 1:5 万 I45E021005 等六幅区调[J].中国地质调查,2015,2(2):12-23.
- [13] 金成伟,周云生.喜马拉雅和冈底斯弧形山系中的岩浆岩带及其成因模式[J].地质科学,1978,13(4):297-312.
- [14] 涂光炽,张玉泉,赵振华,等.西藏南部花岗岩类的特征和演化[J].地球化学,1981(1):1-7.
- [15] Maluski H, Proust F, Xiao X C. $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating of the trans-Himalayan calc-alkaline magmatism of southern Tibet [J]. Nature, 1982, 298(5870):152-154.
- [16] Schärer U, Xu R H, Allègre C J. U-Pb geochronology of Gangdese (Transhimalaya) plutonism in the Lhasa-Xigaze region, Tibet [J]. Earth Planet Sci Lett, 1984, 69(2):311-320.
- [17] Harris N B M, Pearce J A, Tindle A G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1986, 19:67-81.
- [18] Debon F, Le Fort P, Sheppard S M F, et al. The four plutonic belts of the Transhimalaya-Himalaya: a chemical, mineralogical, isotopic, and chronological synthesis along a Tibet-Nepal section [J]. J Petrol, 1986, 27(1):219-250.
- [19] 许荣华,金成伟.西藏曲水岩基的时代研究[J].地质科学,1984,19(4):414-422.
- [20] Chung S L, Liu D Y, Ji J Q, et al. Adakites from continental collision zones: melting of thickened lower crust beneath southern Tibet [J]. Geology, 2003, 31(11):1021-1024.
- [21] 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.
- [22] Ji W Q, Wu F Y, Chung S L, et al. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic constraints on petrogenesis of the Gangdese batholith, Southern Tibet [J]. Chem Geol, 2009, 262(3/4):229-245.
- [23] 莫宣学,潘桂棠.从特提斯到青藏高原形成:构造-岩浆事件的约束[J].地学前缘,2006,13(6):43-51.
- [24] Zhu D C, Pan G T, Chung S L, et al. SHRIMP zircon age and geochemical constraints on the origin of Lower Jurassic volcanic rocks from the Yeba Formation, Southern Gangdese, South Tibet [J]. Int Geol Rev, 2008, 50(5):442-471.
- [25] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. The Lhasa Terrane: record of a microcontinent and its histories of drift and growth [J]. Earth Planet Sci Lett, 2011, 301(1/2):241-255.
- [26] Wang R, Richards J P, Zhou L M, et al. The role of Indian and Tibetan lithosphere in spatial distribution of Cenozoic magmatism and porphyry Cu-Mo deposits in the Gangdese belt, Southern Tibet [J]. Earth-Sci Rev, 2015, 150:68-94.

- [27] 孟元库,许志琴,陈希节,等. 冈底斯中段碱长花岗岩锆石 U - Pb - Hf 同位素特征及地质意义[J]. 中国地质,2015,42(5): 1202 - 1213.
- [28] 孟元库,许志琴,陈希节,等. 藏南冈底斯中段谢通门始新世复式岩体锆石 U - Pb 年代学、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学,2015,39(5):933 - 948.
- [29] Meng Y K, Dong H W, Cong Y, et al. The early - stage evolution of the Neo - Tethys ocean: Evidence from granitoids in the middle Gangdese batholith, southern Tibet [J]. Journal of Geodynamics, 2016, 94/95: 34 - 49.
- [30] 熊清华,周良忠,邹赣生,等. 雅鲁藏布江中段发现两条巨大的韧性剪切带[J]. 中国区域地质,1992,11(3):268.
- [31] 熊清华,左祖发. 西藏冈底斯岩带中段南缘韧性剪切带特征[J]. 中国区域地质,1999,18(2):175 - 180.
- [32] 王根厚,曾庆高,普布次仁. 西藏谢通门—乌郁斜滑韧性剪切带研究[J]. 西藏地质,1995(1):93 - 98.
- [33] 蒋光武,郭建慈. 西藏谢通门—拉萨—沃卡韧性剪切带特征及其地质意义[J]. 西藏地质,2002(2):64 - 70.
- [34] 宋鹏飞. 西藏拉萨南谢通门—奴玛韧性剪切带的构造变形特征及其地质意义[D]. 武汉:中国地质大学(武汉),2013.
- [35] 孟元库,许志琴,马士委,等. 藏南冈底斯地体谢通门—曲水韧性剪切带⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学约束[J]. 地质论评,2016,62(4):795 - 806.
- [36] 西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队. 西藏 1:5 万尼木县幅报告[R]. 拉萨:西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队,2018.
- [37] 孙凯. 西藏尼木变质岩形成机制与构造意义[D]. 北京:中国地质大学(北京),2011.
- [38] 耿官升. 青藏高原拉萨地体南部沙达高级变质岩的成因研究[D]. 北京:中国地质科学院,2011.
- [39] Kang Z Q, Xu J F, Feng S A, et al. Geochronology and geochemistry of the Sangri Group volcanic rocks, Southern Lhasa Terrane: Implications for the early subduction history of the Neo - Tethys and Gangdese magmatic arc [J]. Lithos, 2014, 200/201: 157 - 168.
- [40] 许远平. 冈底斯成矿带中段构造活动与成矿规律研究[D]. 成都:成都理工大学,2014.
- [41] 耿全如,潘桂棠,金振民,等. 西藏冈底斯带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.
- [42] 张泽明,丁慧霞,董昕,等. 冈底斯岩浆弧的形成与演化[J]. 岩石学报,2019,35(2):275 - 294.
- [43] 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.
- [44] 李光明,王高明,高大发,等. 西藏冈底斯南缘构造格架与成矿系统[J]. 沉积与特提斯地质,2002,22(2):1 - 7.
- [45] 吴中海,叶培盛,王成敏,等. 藏南安岗地堑的史前大地震遗迹、年龄及其地质意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2015,40(10):1621 - 1642.
- [46] 龚宇,张文甫. 西藏尼木南北向活动构造带的初步研究[J]. 四川地震,1993(1):13 - 19.
- [47] 许志琴,王勤,梁风华,等. 电子背散射衍射(EBSD)技术在大陆动力学研究中的应用[J]. 岩石学报,2009,25(7):1721 - 1736.
- [48] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42:313 - 345.
- [49] Boyton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [C]//Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984:63 - 114.
- [50] Hoskin P W O, Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis [J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, 53(1):27 - 62.
- [51] Defant M J, Drummond M S. Mount St. Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc [J]. Geology, 1993, 21(6):547 - 550.
- [52] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. GSA Bull, 1989, 101(5):635 - 643.
- [53] Defant M J, 许继峰, Kepezshinskas P, 等. 埃达克岩:关于其成因的一些不同观点[J]. 岩石学报,2002,18(2):129 - 142.
- [54] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium - rich magmas from newly underplated basaltic crust [J]. Nature, 1993, 362(6416):144 - 146.
- [55] Pearce 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.
- [56] 西藏自治区地质调查院. 1:25 万拉萨幅区域地质调查报告[R]. 拉萨:西藏自治区地质调查院,2007.
- [57] 西藏自治区地质调查院. 1:25 万日喀则幅区域地质调查报告[R]. 拉萨:西藏自治区地质调查院,2002.
- [58] 四川省地质调查院. 1:5 万奴玛幅区域地质调查报告[R]. 成都:四川省地质调查院,2014.

Geological characteristics and tectonic implications of the deformed granite in Lalong area in the southern margin of Gangdise

TANG Hua¹, CHEN Yongdong^{1,2}, WEI Long¹, LI Ning¹

(1. Northwestern Sichuan Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of Sichuan Province, Mianyang 621000, China; 2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610000, China)

Abstract: In the Gangdise magmatic arc develops an important ductile shear zone. In order to peer deeper into

万方数据

the genesis of the deformed granite and its deformation and properties, the authors studied the whole rock geochemistry, deformation structure and zircon U – Pb geochronology of the deformed granite in Lalong area in the southern margin of Gangdise. It is found that the deformed granite is distributed in nearly EW direction, the north side contacts with Mesozoic Mamuxia Formation along a fault, and the rest is covered by Quaternary system, after the geological profile measurement and field geological mapping of the deformed granite exposed in Lalong area in the southern margin of Gangdise. The main rock type is tonalite, belonging to high silica calc alkaline series. SiO₂ content ranges from 66.2% to 71.0% , with an average of 68.3% . The content of total alkali (Na₂O + K₂O) is higher, so is the content of Al₂O₃ and MgO. The content of light rare earth elements (Σ LREE) is higher than that of heavy rare earth elements (Σ HREE). Rb, Th and other large ion lithophile elements are enriched, while Ta, Zr, Nb and other high field – strength elements are depleted. Sr content is high, Y content is low, and Sr/Y value is 73.02 ~ 99.05. All shows that the rock has the adakitic rock characteristics. The LA – ICP – MS zircon U – Pb age of the deformed granite is (83.56 ± 0.83) Ma, which is the late Cretaceous and represents the magmatic crystallization age. The deformed granite was mainly formed by partial melting of the thickened lower crust under the background of northward subduction and reduction of Neo-Tethys Ocean. During Miocene 28 ~ 13 Ma, the deformed granite underwent nearly EW trending left – lateral shear and northward slip ductile shear deformation.

Keywords: deformed granite; Adakitic rock; Ziron U – Pb; shear deformation; Neo-Tethys Ocean

(责任编辑: 刘丹)