

西藏那曲地区流纹岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄和地球化学特征

彭智敏, 耿全如, 张 璋, 丛 峰

PENG Zhi-min, GENG Quan-ru, ZHANG Zhang, CONG Feng

中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081

Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China

摘要:对西藏那曲地区的中—晚侏罗世拉贡塘组流纹岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 得出该流纹岩的时代为 $116.6\text{Ma} \pm 0.81\text{Ma}$, 属早白垩世, 与区域上多尼组 and 则弄群的时代一致, 属同一地质事件的产物, 说明该火山岩不属拉贡塘组, 应不整合于拉贡塘组之上。流纹岩 SiO_2 含量均值为 71.01%, 富集 Rb、Th 元素, 亏损 P、Eu、Ti 元素, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值集中在 $-0.030 \sim 2.277$ 之间, 平均值为 0.75, 对应的两阶段模式年龄为 682~782Ma 和 1015~1175Ma, 大于流纹岩的形成时代。流纹岩具同碰撞型火山岩的特征, 不具传统岛弧环境的特征, 构造环境可能存在两种可能: 班公湖—怒江特提斯洋俯冲已经结束, 进入陆—陆碰撞阶段, 羌塘地块和拉萨地块开始碰撞; 班公湖—怒江洋还未完全关闭, 残留洋与拉萨地块发生碰撞。在碰撞的过程中, 下地壳不断加厚并发生部分熔融形成酸性流纹岩。

关键词: 西藏那曲地区; 班公湖—怒江洋; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; Hf 同位素

中图分类号: P588.14⁺1; P597⁺.3; P595 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2011)07-1050-10

Peng Z M, Geng Q R, Zhang Z, Cong F. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages and geochemical characteristics of rhyolite in Nagqu area, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(7): 1050-1059

Abstract: This paper reports LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of rhyolite from Middle-Late Jurassic Lagongtang Formation in Nagqu area, Tibet. The age of rhyolite is $116.6 \pm 0.81\text{Ma}$, regionally consistent with the age of Early Cretaceous Duoni Formation and Zelong Group, which indicates products of the same geological event and suggests that this volcanic rock does not belong to Lagongtang Formation, and should unconformably overlie Lagongtang Formation. The average SiO_2 content of rhyolite is 71.01%, with the enrichment of Rb and Th and the depletion of P, Eu and Ti. The $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ values are concentrated on $-0.030 \sim 2.277$, 0.75 on average, with the corresponding T_{DM2} crustal model ages being 682~782Ma and 1015~1175Ma, larger than the formation age of the rhyolite. The rhyolite is characterized by syncollision volcanic rock instead of by traditional island-arc volcanic rock. The authors hold that there exist two kinds of possible tectonic environments: The Bangong Co-Nujiang Tethys subduction had ended and entered into the continent-continent collision stage, and the collision between Qiangtang massif and Lhasa block began; the Bangong Co-Nujiang Ocean had not been completely closed, the collision between residual ocean and Lhasa block occurred, and during the collision, the lower crust continuously thickened and experienced partial melting to form acid rhyolite.

Key words: Nagqu area, Tibet; Bangong Co-Nujiang Ocean; zircon LA-ICP-MS U-Pb age; geochemistry; Hf isotopic composition

收稿日期: 2010-04-23; 修订日期: 2011-05-09

资助项目: 中国地调局青藏专项项目《西藏班公湖—怒江构造带基础地质综合研究》(编号: 1212010818017)、《班公湖—怒江成矿带基础地质综合研究》(编号: 1212011086068)和国家自然科学基金项目《喜马拉雅东构造结地区雅鲁藏布江蛇绿岩地质年代学研究》(编号: 40773001)

作者简介: 彭智敏(1978-), 男, 工程师, 从事区域地质调查工作。E-mail: pzm20022002@163.com

冈底斯带出露大量的白垩纪火山岩, 火山岩呈近东西向带状展布。冈底斯带是指位于南侧的印度河-雅鲁藏布江缝合带(IYSZ)与北部的班公湖-怒江缝合带(BNSZ)之间的狭长地域, 东西长逾2500km, 南北宽达150~450km, 面积达 $45 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的巨型构造-岩浆带(图1)。近年来对冈底斯北带早白垩世火山岩进行了大量的研究工作, 早白垩世火山岩主要赋存在多尼组、则弄群等之中。对于冈底斯中北部火山岩的认识主要有2种观点, 即认为与特提斯洋壳北向俯冲有关^[1-3]和与班公湖-怒江特提斯洋壳的南向俯冲作用有关^[4-6]。这2种截然相反的观点主要是由于北带的早白垩世火山岩的年代学和地球化学资料的缺乏。随着地质工作的深入, 最近几年出现了大量高质量的年代学和地球化学数据。本文主要报道1:25万区域地质调查在冈底斯北带那曲地区圈定的拉贡塘组($J_{2-3}l$)(图1)流纹岩的年代学数据, 并对岩石地球化学和锆石Hf同位素进行了研究, 同时进行区域对比, 简要地讨论了岩石成因和构造环境。

1 地质背景和样品描述

拉贡塘组($J_{2-3}l$)主要分布在冈底斯的中北部一带, 呈带状近东西向展布, 岩性主要以黑板岩为主, 夹有岩屑石英砂岩、长石杂砂岩、长石石英杂砂岩、铁质砂质结核等。该组总体上为板岩夹砂岩的一套韵律型基本层序, 属远离源区的末端浊流沉积, 沉积环境应为浅海—半深海相。该组在局部地区夹有火山岩, 火山岩主要为安山岩、火山角砾岩、火山角砾凝灰岩及英安岩, 东西向延伸不远, 南北向出露宽窄不一。本次采集的流纹岩样品(BD09-66)位于那曲南东方向约90km处, 地理坐标: $N31^{\circ}16'16''$ 、 $E92^{\circ}30'36''$, 位于北冈底斯带(图1)^①。露头出露一般, 风化较严重, 产状不清, 从野外观察来看, 该火山岩明显不整合于拉贡塘组之上, 二者之间应为不整合接触关系。火山岩新鲜面呈浅紫色, 斑状结构, 块状构造。斑晶以钾长石为主(约占30%), 少量的石英, 自形柱状, 粒径1~3.5mm。基质为隐晶质或玻璃质, 交织结构, 以长石为主, 含量约50%, 石英含量约10%,

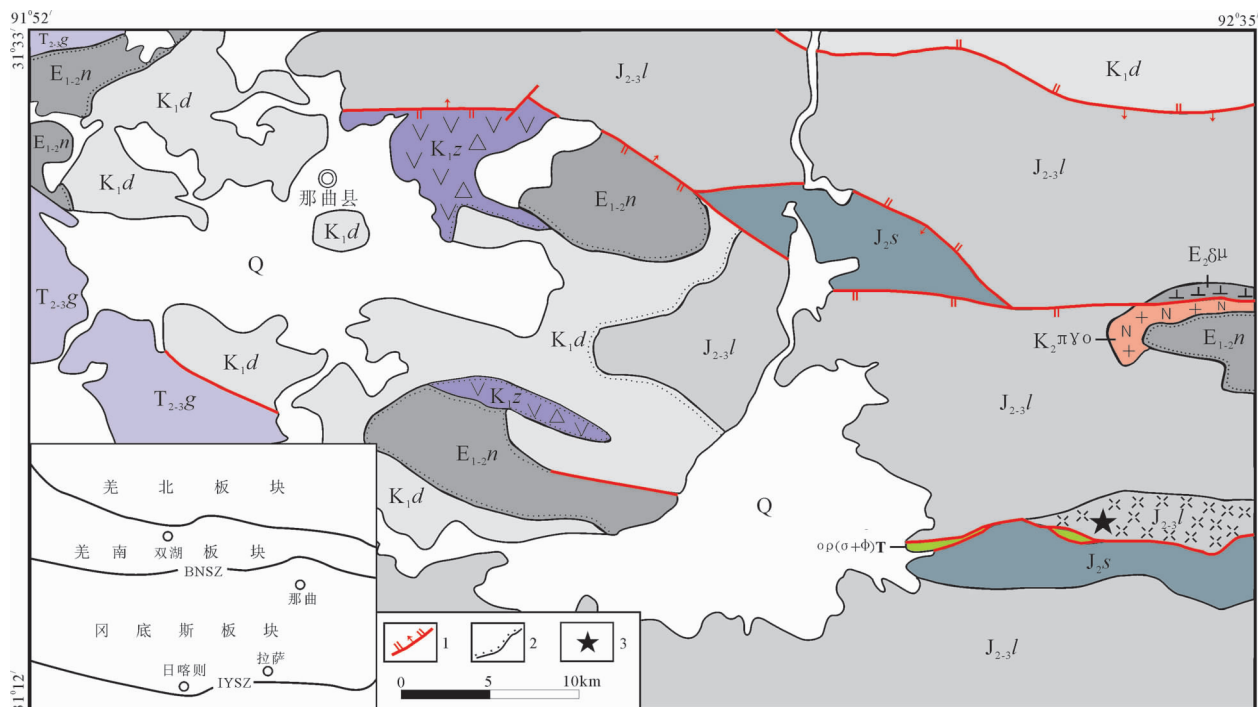


图1 西藏冈底斯带那曲地区地质图

Fig. 1 Geological map of Nagqu area in Gangdese belt, Tibet

1—主要断层; 2—角度不整合界线; 3—同位素定年样品采样位置; Q—第四系; $E_{1-2}n$ —牛堡组; K_{1z} —宗给组; K_{1d} —多尼组;
 J_{2s} —桑卡组; $J_{2-3}l$ —拉贡塘组; $T_{2-3}g$ —嘎加组; $E_{2\delta\mu}$ —古近纪闪长玢岩; $K_{2\pi\gamma o}$ —晚白垩世斜长花岗岩;
 $op(\sigma+\phi)T$ —三叠纪蛇绿岩; IYSZ—印度河-雅鲁藏布江缝合带; BNSZ—班公湖-怒江缝合带

它形粒状,局部可见不同程度的熔蚀现象,其间隙充填少量的褐铁矿和赤铁矿,含少量的绢云母(5%),呈鳞片状,不均匀分布,副矿物为磷灰石、褐铁矿。

2 分析方法

所采集的流纹岩样品(BD09-66)锆石挑选在河北省廊坊市区域地质调查研究院实验室完成,采用常规方法粉碎至80~100目,按常规方法分选后在双目镜下分类挑选,挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象。将待测的锆石颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定。待环氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部暴露,然后进行锆石显微(反射光和透射光照相)、阴极发光(CL)图像研究,在此基础上选择合适的锆石颗粒或区域进行锆石U-Pb年龄测定。锆石的阴极发光(CL)显微结构照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室配备有Gatan CL3+型CL探头的Quanta 400FEG

型场发射扫描电镜上完成。分析电压15kV,电流为19nA。

LA-ICP-MS 锆石原位微区 U-Pb 定年分析在中国地质大学(武汉)国家重点实验室完成。ICP-MS 为 Agilent 7500a, 激光剥蚀系统为配备有 193 nm ArF 准分子(Excimer)激光器的 GeoLas 2005。分析中采用的激光斑束直径为 32 μ m, 以氦气作为剥蚀物质的载气,分析流程见参考文献[7]。锆石 91500 作为外部标准来校正分析过程中的同位素分馏, NIST610 作为外部标准来获得分析点的 Th 和 U 的含量, Zr 作内标进行校正, 普通 Pb 的校正采用 Andersen^[8]的方法进行。锆石加权平均年龄的计算和谐和图的绘制采用 ISOPLOT 3.0 程序^[9]。锆石的 Lu-Hf 同位素分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室 Neptune 型 MC-ICPMS 上进行, 激光为 193 nm ArF 准分子激光。计算 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值时, Hf 模式年龄 (T_{DM}) 计算所采用的参数见参考文献[10-11]。



图2 西藏那曲地区流纹岩锆石 CL 图像和测点位置、年龄

Fig. 2 CL images of zircon and analytical spots and ages of rhyolite in Nagqu area, Tibet

样品主量元素分析由国土资源部西南矿产资源
监督检测中心完成, 微量元素分析由核工业北京地
质研究院分析测试研究中心完成。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄

样品 BD09-66 中锆石为长、短柱状, 半自形—
自形的晶形。由 CL 图像可以看出, 多数锆石具有明
显的震荡环带, 部分锆石具有边-核结构(图 2)。锆
石 Th/U 比值为 0.42~2.40(>0.1), 均值为 0.96。24 个
测点显示的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄变化范围在 106~120Ma
之间(表 1, 其中测点 23.1 的 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄及误差

为 2469Ma±48.6Ma), 通过数据分析, 选择 11 个测
点数据进行加权平均年龄计算(114~118Ma), 获
得锆石 U-Pb 加权平均年龄为 116.6Ma±0.81Ma
(MSWD=1.1)(图 3), 置信度为 95%, 代表了该流纹岩
的形成时代。测点 1.1、3.1、5.1、11.1、13.1 锆石震荡环
带较差, 无法确定是否为岩浆锆石; 20.1 测点为核部;
4 个测点(4.1、14.1、19.1、21.1)的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄变化范
围在 106~108Ma 之间, 由于与加权平均年龄计算的
最大值 118Ma 误差超过了 10%, 故均未参与加权平
均年龄的计算。测点 23.1 位于核部, ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄
为 2469Ma, 可能是岩浆在上侵过程中捕获了古元古
代的物质, 也有可能是异地搬运来的碎屑锆石。

表 1 西藏那曲地区流纹岩(BD09-66)锆石 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果
Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Th-Pb isotope dating results of rhyolite in Nagqu area, Tibet

测点	Th /10 ⁻⁶ U /10 ⁻⁶		Th/U	同 位 素 比 值			年 龄 及 误 差 /Ma		
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
1.1	44.6	54.6	0.8167	0.2020±0.0264	0.4456±0.0480	0.0185±0.0007	374±33.7	118±4.0	2842±214.8
2.1	2811	3510	0.8009	0.0501±0.0012	0.1279±0.0029	0.0184±0.0001	122±2.6	118±0.9	211±53.7
3.1	118	125	0.9461	0.1161±0.0089	0.2927±0.0236	0.0188±0.0004	260±18.6	120±2.5	1898±138.9
4.1	2288	952	2.4032	0.0452±0.0017	0.1062±0.0040	0.0170±0.0002	103±3.7	108±1.1	
5.1	1632	2187	0.7462	0.0992±0.0031	0.2561±0.0084	0.0185±0.0002	232±6.8	118±1.2	1610±63.4
6.1	498	508	0.9805	0.0522±0.0043	0.1298±0.0095	0.0183±0.0002	124±8.5	117±1.5	300±186.1
7.1	402	690	0.5828	0.0503±0.0027	0.1230±0.0063	0.0178±0.0002	118±5.7	114±1.4	209±124.1
8.1	630	1059	0.5951	0.0514±0.0018	0.1312±0.0048	0.0184±0.0002	125±4.3	117±1.2	257±83.3
9.1	445	350	1.2714	0.0492±0.0035	0.1229±0.0099	0.0178±0.0003	118±9.0	114±2.0	167±155.5
10.1	483	727	0.6640	0.0503±0.0024	0.1270±0.0061	0.0182±0.0002	121±5.5	116±1.6	209±111.1
11.1	621	537	1.1569	0.1102±0.0080	0.3026±0.0247	0.0184±0.0003	268±19.2	117±2.0	1803±131.8
12.1	586	413	1.4186	0.0467±0.0025	0.1118±0.0059	0.0174±0.0002	108±5.3	111±1.4	35.3±131.5
13.1	15.2	26.1	0.5821	0.4188±0.1861	0.6138±0.0629	0.0179±0.0011	486±39.6	115±6.9	3989±723.7
14.1	396	646	0.6123	0.0491±0.0026	0.1125±0.0058	0.0165±0.0002	108±5.3	106±1.5	154±119.4
15.1	380	649	0.5856	0.0504±0.0023	0.1278±0.0057	0.0184±0.0002	122±5.1	118±1.4	213±108.3
16.1	386	451	0.8559	0.0486±0.0024	0.1237±0.0061	0.0183±0.0002	118±5.5	117±1.4	128±114.8
17.1	637	625	1.0194	0.0447±0.0026	0.1118±0.0063	0.0183±0.0003	108±5.8	117±1.6	
18.1	681	613	1.1097	0.0525±0.003	0.1327±0.0075	0.0183±0.0003	127±6.8	117±1.9	306±131.5
19.1	358	629	0.5687	0.0478±0.0028	0.1113±0.0066	0.0168±0.0002	107±6.0	107±1.5	100±133.5
20.1	147	182	0.8041	0.0656±0.0057	0.1596±0.0134	0.0182±0.0004	150±11.7	116±2.3	794±176.8
21.1	489	364	1.3439	0.0548±0.0038	0.1252±0.0085	0.0169±0.0003	120±7.6	108±1.7	467±157.4
22.1	287	235	1.2245	0.0573±0.0043	0.1423±0.0105	0.0183±0.0004	135±9.4	117±2.7	502±162.9
23.1	132	148	0.8920	0.1613±0.0047	0.1000±0.3099	0.4520±0.0033	2444±28.4	2404±14.6	2469±48.6
24.1	1137	766	1.4852	0.0458±0.0022	0.1137±0.0057	0.0179±0.0002	109±5.2	115±1.3	
25.1	264	627	0.4207	0.0574±0.0042	0.1473±0.0107	0.0186±0.0003	140±9.5	119±2.1	506±156.5

3.2 锆石 Hf 同位素

本文对流纹岩样品(BD09-66)具有明显震荡环带的锆石原位 Hf 同位素进行测试, 获得了 14 个分析点的 Lu 和 Hf 同位素组成, 数据见表 2。 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值为 0.282703~0.282773, 加权平均比值为 0.282729 ± 0.000017 (MSWD=0.37); $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -0.030~2.277, t 分别对应为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的年龄值。第一阶段 Hf 的模式年龄为 682~782Ma, 平均值为 749Ma; 第二阶段 Hf 的模式年龄为 1015~1175Ma, 平均值为 1105Ma。两阶段模式年龄远远大于火山岩的结晶时代。

3.3 主量、稀土和微量元素

主量、稀土和微量元素分析结果见表 3。 SiO_2 含量为 69.82%~72.76%, 平均为 71.01%; $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 含量为 8.77%~9.57%, 平均为 9.16%。从 $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 图 (TAS 分类图) (图 4-a) 中可以看出, 该火山岩为酸性的流纹岩, 在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 判别图 (图 4-b) 中样品投点落在钾玄系列区域, A/CNK 比值为 1.06~1.14, 平均为 1.11, 表明为过铝质岩石。这些特征与多尼组、则弄群的酸性火山岩极为

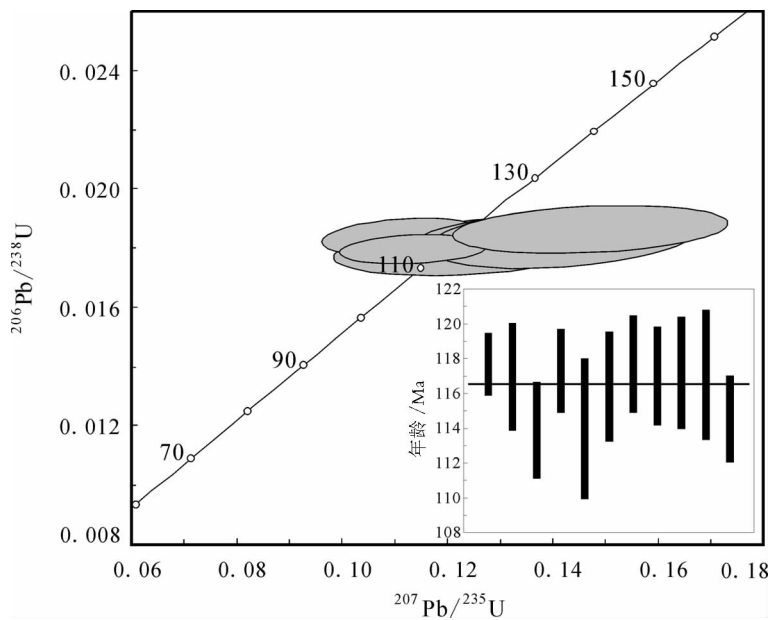


图 3 西藏那曲地区流纹岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄图
Fig. 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram of rhyolite in Nagqu area, Tibet

相似, 表明地壳物质对于岩浆的贡献较为明显, 钾玄岩系列岩石的出现是拉萨地块上陆内岩浆作用的重要标志^[12-13]。

表 2 西藏那曲地区流纹岩(BD09-66)锆石 Hf 同位素数据
Table 2 Hf Isotopic data of zircons from rhyolite in Nagqu area, Tibet

分析点	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	2σ	年龄/Ma	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	T_{DM1}	T_{DM2}	f_{LuHf}
1.1	0.282764	0.000049	0.021173	0.000076	0.000797	0.000002	118±4.0	-0.284	2.249	688	1034	-0.976
2.1	0.282714	0.000030	0.043280	0.000530	0.001581	0.000018	118±0.9	-2.052	0.419	774	1150	-0.952
3.1	0.282743	0.000025	0.050449	0.001422	0.001817	0.000049	120±2.5	-1.026	1.449	737	1086	-0.945
4.1	0.282703	0.000028	0.046359	0.000425	0.001717	0.000015	117±1.5	-2.441	-0.003	793	1176	-0.948
5.1	0.282731	0.000029	0.078453	0.000865	0.002693	0.000032	114±1.4	-1.451	0.848	773	1117	-0.919
6.1	0.282736	0.000034	0.036347	0.000130	0.001302	0.000005	117±1.2	-1.274	1.197	737	1099	-0.961
7.1	0.282709	0.000022	0.037717	0.000218	0.001384	0.000008	116±1.6	-2.229	0.213	777	1161	-0.958
8.1	0.282773	0.000045	0.032645	0.000086	0.001186	0.000004	106±1.5	0.035	2.277	682	1015	-0.964
9.1	0.282737	0.000039	0.078896	0.000419	0.002783	0.000011	118±1.4	-1.238	1.139	766	1104	-0.916
10.1	0.282731	0.000030	0.029039	0.000096	0.001061	0.000003	117±1.4	-1.451	1.039	739	1110	-0.968
11.1	0.282731	0.000036	0.034373	0.000254	0.001273	0.000009	117±1.9	-1.451	1.022	744	1111	-0.962
12.1	0.282708	0.000044	0.043874	0.000179	0.001615	0.000006	107±1.5	-2.264	-0.030	783	1164	-0.951
13.1	0.282735	0.000039	0.057061	0.000293	0.002035	0.000011	108±1.7	-1.309	0.917	753	1105	-0.939
14.1	0.282763	0.000039	0.107323	0.000780	0.003812	0.000027	115±1.3	-0.319	1.916	749	1051	-0.885

注: $\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$ 、 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 、 T_{DM1} 、 T_{DM2} 、 f_{LuHf} 值根据吴福元等^[1]给出的公式计算出



表 3 西藏那曲地区流纹岩(BD09-66)的主量、稀土、微量元素分析测试结果

Table 3 Composition of major elements, REE and trace elements for rhyolite in Nagqu area, Tibet

样品号	BD09-66-1	BD09-66-2	BD09-66-3	BD09-66-4	BD09-66-5	BD09-66-6	BD09-66-7	BD09-66-8	BD09-66-9
SiO ₂	72.76	69.82	70.70	71.40	71.76	72.69	70.66	69.48	69.82
Al ₂ O ₃	13.01	12.68	13.65	13.61	13.16	13.20	13.33	11.95	13.63
Fe ₂ O ₃	3.00	6.86	3.85	3.90	3.75	3.00	3.82	7.88	4.30
FeO	0.31	0.50	0.29	0.34	0.39	0.24	0.51	0.49	0.47
CaO	0.13	0.12	0.24	0.12	0.25	0.18	0.19	0.12	0.12
MgO	0.16	0.21	0.26	0.22	0.21	0.22	0.26	0.15	0.27
K ₂ O	5.80	6.52	6.12	6.79	5.05	6.40	6.98	6.40	5.99
Na ₂ O	3.17	2.42	3.01	2.78	3.94	3.00	2.47	2.37	3.27
TiO ₂	0.23	0.23	0.31	0.23	0.28	0.25	0.27	0.18	0.30
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.04	0.04	0.02	0.05
MnO	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
LOI	0.60	0.62	0.99	0.72	0.67	0.74	0.85	0.56	1.01
Total	99.20	100.02	99.47	100.15	99.52	99.96	99.38	99.61	99.24
Mg [#]	8.65	5.31	10.99	9.24	9.04	11.77	10.51	3.41	9.98
TFeO	3.01	6.67	3.76	3.85	3.77	2.94	3.95	7.58	4.34
La	78.10	92.80	91.40	78.20	64.20	75.20	67.80	98.70	111.00
Ce	153.00	178.00	155.00	152.00	131.00	148.00	132.00	171.00	200.00
Pr	18.20	20.50	19.70	17.80	14.50	18.00	15.50	24.10	24.80
Nd	66.30	72.30	71.80	63.50	52.30	65.20	56.50	86.70	90.60
Sm	11.80	11.80	12.30	11.50	9.49	11.70	10.50	14.50	15.80
Eu	0.39	0.41	0.49	0.39	0.34	0.39	0.39	0.36	0.53
Gd	9.85	8.53	10.80	9.53	7.98	9.98	9.70	10.70	13.00
Tb	1.52	1.09	1.92	1.52	1.31	1.66	1.87	1.65	2.00
Dy	7.90	5.07	11.20	8.09	7.16	9.25	10.90	8.44	11.00
Ho	1.40	0.90	2.23	1.47	1.31	1.76	2.19	1.54	2.13
Er	4.54	2.75	6.62	4.81	4.10	5.52	6.58	4.57	6.52
Tm	0.69	0.47	1.11	0.75	0.65	0.85	1.06	0.74	1.03
Yb	4.55	3.40	7.04	5.10	4.28	5.72	6.98	4.61	6.84
Lu	0.70	0.54	1.10	0.79	0.68	0.92	1.09	0.74	1.10
δEu	0.11	0.12	0.13	0.11	0.11	0.11	0.12	0.08	0.11
(La/Yb) _N	11.60	18.44	8.77	10.36	10.14	8.88	6.56	14.47	10.97
ΣREE	358.95	398.56	392.71	355.45	299.29	354.15	323.06	428.34	486.35
LREE/HREE	10.52	16.52	8.35	10.09	9.90	8.93	7.00	11.99	10.15
Li	32.50	27.30	30.00	34.20	23.70	30.70	45.50	17.50	33.90
Bc	3.82	2.57	7.61	2.25	1.62	3.04	4.07	3.10	2.01
Sc	4.22	4.36	5.52	4.35	3.93	4.10	5.09	3.06	5.68
V	21.20	18.30	21.90	17.40	21.00	14.50	19.40	19.50	24.20
Ni	4.36	4.97	3.41	3.01	4.86	2.98	5.20	5.36	6.06
Ga	22.00	21.60	22.50	23.30	20.90	23.30	25.00	17.60	22.40
Rb	335.00	381.00	329.00	365.00	269.00	380.00	381.00	347.00	340.00
Y	39.20	23.10	64.00	44.50	38.30	49.70	62.00	42.60	62.00
Nb	36.40	25.30	34.40	27.30	32.30	38.60	36.70	29.60	35.30
Ba	293.00	308.00	320.00	348.00	306.00	586.00	349.00	373.00	280.00
Hf	12.00	14.20	15.80	11.70	14.80	12.20	15.60	14.30	14.10
Ta	2.68	2.44	2.52	2.22	2.52	2.89	2.72	2.42	2.50
Th	45.40	42.60	42.40	37.60	40.20	44.40	42.40	41.40	41.10
U	3.17	4.25	3.75	3.76	3.14	3.77	4.51	4.47	4.64

注:氧化物含量单位为%,稀土和微量元素为 10⁻⁶

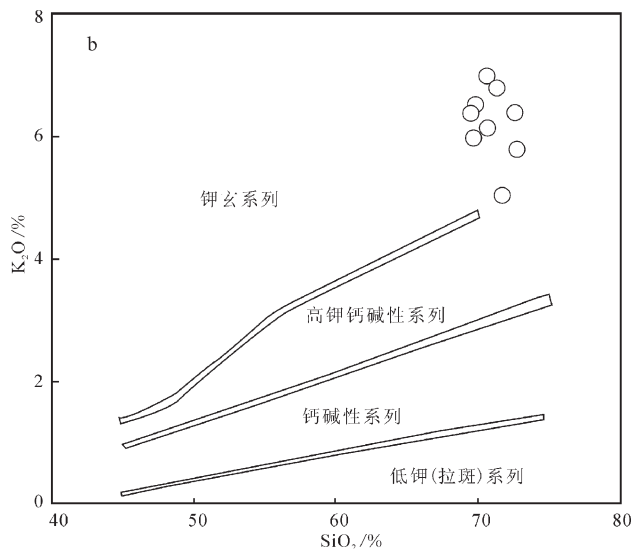
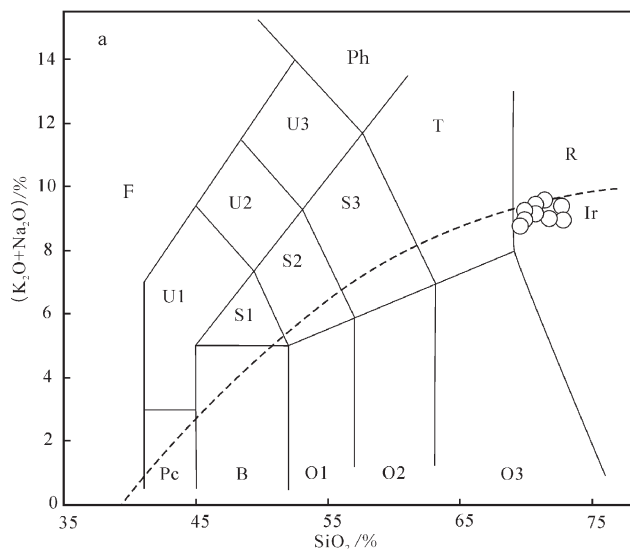


图 4 西藏那曲地区流纹岩 TAS 分类图解(a)和 SiO_2 - K_2O 判别图(b)

Fig. 4 TAS diagram of rhyolite and SiO_2 versus K_2O diagram of rhyolite in Nagqu area, Tibet
Pc—苦橄玄武岩; B—玄武岩; O1—玄武安山岩; O2—安山岩; O3—英安岩; R—流纹岩; S1—粗面玄武岩;
S2—玄武质粗面安山岩; S3—粗面安山岩; T—粗面岩、粗面英安岩; F—副长石岩; U1—碱玄岩、碧玄岩;
U2—响岩质碱玄岩; U3—碱玄质响岩; Ph—响岩; Ir—分界线, 上方为碱性, 下方为亚碱性

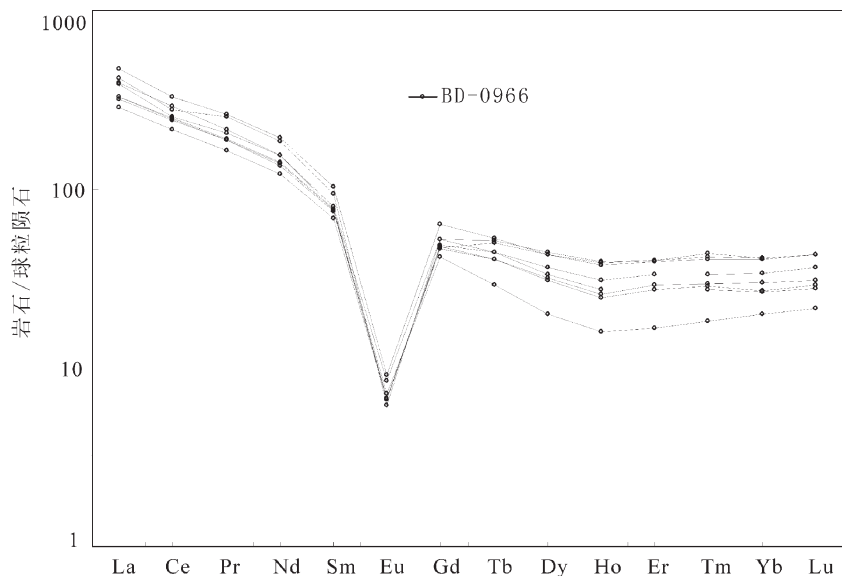


图 5 西藏那曲地区流纹岩球粒陨石标准化稀土元素配分图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of rhyolite in Nagqu area, Tibet

球粒陨石标准化 REE 配分图(图5)表现为轻稀土元素富集型,而 ΣREE 含量较高,平均为 377.43×10^{-6} 。具有明显的 Eu 负异常, Eu 在 0.34~0.53 之间。通常认为在分馏结晶作用中长石从长英质岩浆中分离出来或者在部分熔融作用中长石残留在源区,从而引起熔浆中 Eu 的负异常。该流纹岩 Eu 负异常有

可能是地壳熔融过程中留下的斜长石作为难熔残余所致^[13-14]。

从原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 6)可以看出,微量元素有不同程度的富集,大离子亲石元素 Rb、放射性元素 Th 和高场强元素 Nb 富集最为明显。P、Eu、Ti 亏损最为明显。亏损高场强元素 P、Ti

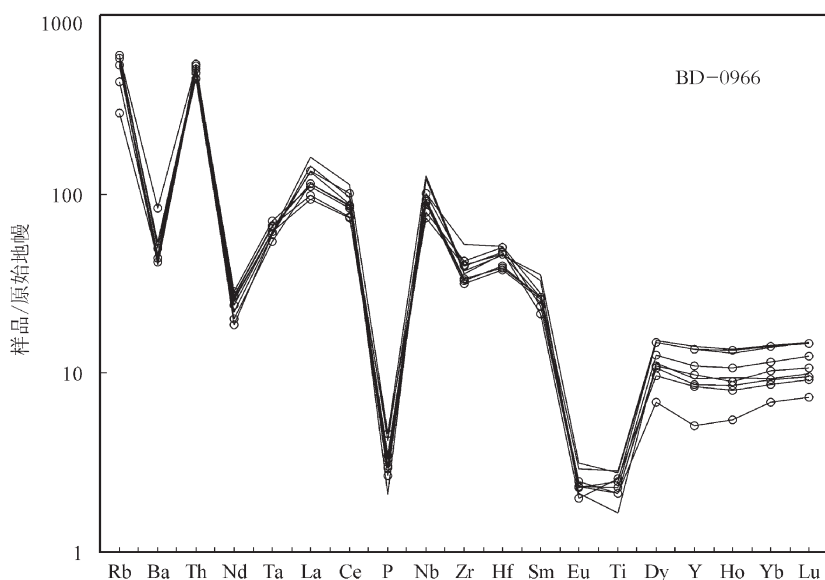


图 6 西藏那曲地区流纹岩原始地幔标准化微量元素蛛网图

Fig. 6 Primitive mantle-normalized spidergrams of rhyolite in Nagqu area, Tibet

一般表明与俯冲作用有关。这些特点与区域上的多尼组酸性火山岩极为相似^[15]。P、Ti 亏损可能与岩浆中富 P、Ti 的副矿物和长石的分离结晶作用有关。

4 讨 论

4.1 火山岩的时代

从班戈县且果村早白垩世多尼组底部流纹质晶屑熔岩中获得了 112.43Ma 的 K-Ar 年龄^②;袁四化^③在雄梅镇西南早白垩世多尼组英安岩中获得了 115.7~114.3Ma 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄;康志强等^[13]在达过村和尼玛县马跃乡的早白垩世多尼组中分别获得了 116Ma 和 115Ma 的锆石 LA-ICP-MS 年龄;从措勤县夏东英安岩中获得的 Rb-Sr 年龄为 111~114Ma^④;从措勤南西部则弄群流纹岩中获得的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 111Ma±Ma^[15]。上述这些年龄与本文研究的那曲地区流纹岩的年龄 116.6Ma±0.81Ma 一致,表明 1:25 万那曲幅区域地质调查所谓的“中—晚侏罗世拉贡塘组火山岩”应为早白垩世流纹岩。该流纹岩应不整合于中—晚侏罗世拉贡塘组之上,同时也表明大约在 110Ma 左右北冈底斯存在大规模的岩浆作用。

4.2 火山岩源区讨论

Hf 同位素的示踪也广泛用于一些重要地球化学方面的源区判别。不同的地球化学储源库的 Hf

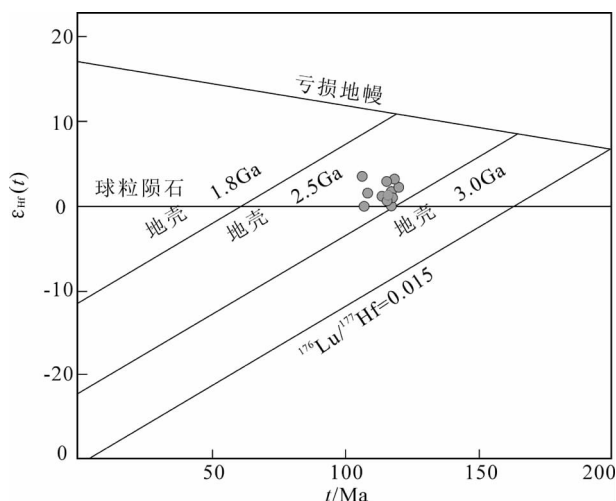


图 7 西藏那曲地区流纹岩锆石年龄-Hf 同位素相关图

Fig. 7 U-Pb ages versus Hf isotope for rhyolite zircons in Nagqu area, Tibet

同位素组成明显不同,如球粒陨石和亏损地幔的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值较大(≥ 0.282772), $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为零或正值;不同类型富集地幔和地壳的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值较小, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为负值^[11]。具有低的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 和 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值的岩石往往指示其源区为地壳或经过了地壳的混染;而具有较高的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 和 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值的岩石直接来自地幔或幔源物质分异的新生壳源物质,如现代大洋玄武岩 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 高达 +23^[16]。获得的锆石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$

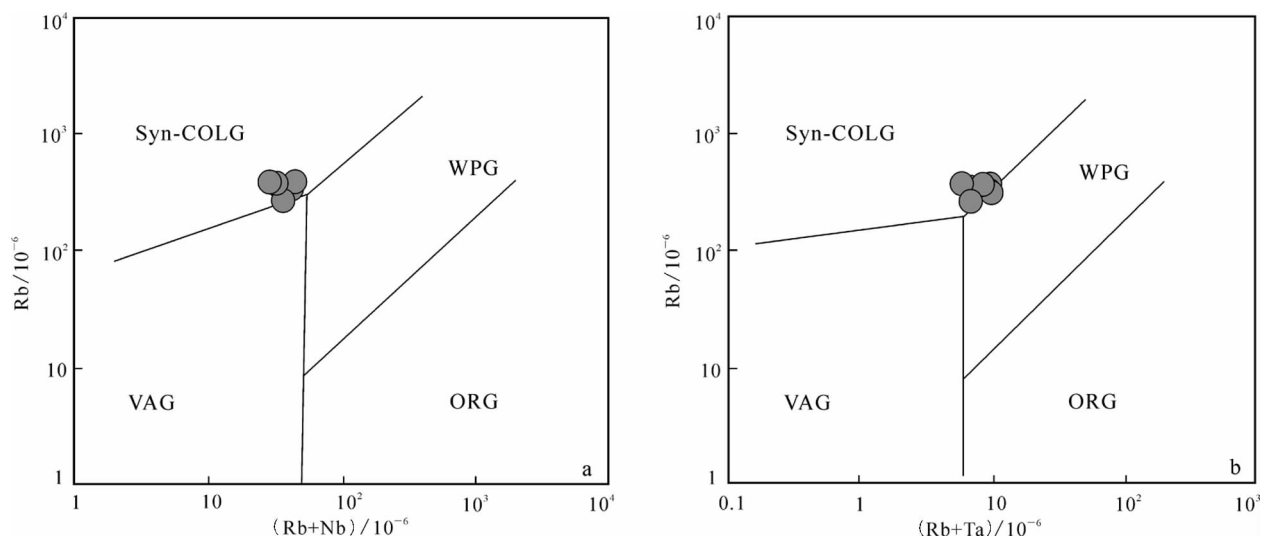


图 8 西藏那曲地区流纹岩(Rb+Nb)-Rb(a)和 Rb-(Rb+Ta)(b)判别图解

Fig. 8 (Rb+Nb)-Rb(a) and Rb-(Rb+Ta)(b) diagrams for rhyolite in Nagqu area, Tibet
VAG 为火山弧花岗岩, Syn-COLG 为同碰撞花岗岩, WPG 为板内花岗岩, ORG 为洋脊花岗岩

加权平均比值为 0.282729 ± 0.000017 , 稍低于球粒陨石的比值, 但是明显高于上地壳的比值 ($^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值较低, 小于 0.002); 两阶段的模式年龄平均值分别为 749Ma 和 1105Ma, 远远大于流纹岩的形成时代 ($116.6\text{Ma} \pm 0.81\text{Ma}$), 暗示可能存在 2 种不同的岩浆岩区, 曾发生过岩浆混合作用。 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值集中在 $-0.030 \sim 2.277$ 之间, 平均值为 0.75。在 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)-t$ 图解(图7)上, 样品投点基本集中在球粒陨石演化线之上、亏损地幔演化线之下, 只有 2 个点位于球粒陨石演化线之下, 但都无限接近于球粒陨石演化线, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 正值占绝对优势, 仅 2 个点为负值, 样品投点都位于 2.5Ga 平均地壳演化线附近。该流纹岩有较高的 SiO_2 含量 (均值 71.01%)、非常低的 $\text{Mg}^\#$ 值 (最大值为 11.77), 综合分析认为岩浆来源于地壳物质的部分熔融, 可能还发生过岩浆混合作用。富集大离子亲石元素, 亏损高场强元素 P、Ti, 说明与俯冲作用有关。在中生代, 整个拉萨地块都处于班公湖-怒江新特提斯洋向南和雅鲁藏布江新特提斯洋向北的双向俯冲的背景中, 从而形成大量的弧火山岩和弧盆体系, 同时也导致了整个拉萨地块陆壳的缩短与增厚^[17-19]。该流纹岩的岩浆应来自于地壳不断增厚背景下地壳物质的部分熔融。

4.3 构造环境分析

对所采集的流纹岩样品利用 Rb-Yb+Ta、Yb+

Nb-Rb 图解(图 8)来判别火山岩的构造环境, 该图解能较为有效地将火山弧花岗岩和同碰撞花岗岩区分开来。从图 8 可以看出, 火山岩样品投点位于同碰撞花岗岩区, 说明该流纹岩具有同碰撞型火山岩的特点。

对于北冈底斯白垩纪火山岩构造环境主要的观点有: 冈底斯和羌塘地块碰撞过程中增厚下地壳的重熔^[20-21]; 冈底斯和羌塘地块碰撞后软流圈上涌引起的地壳熔融^[22]; 班公湖-怒江洋壳的南向俯冲^[6, 19, 23-24]。大多数学者认为新特提斯班公湖-怒江洋壳形成于晚三叠世—早侏罗世, 中侏罗世洋壳开始俯冲消减, 在晚侏罗世—早白垩世闭合^[5, 25-26]。潘桂棠等^[19]认为, 班公湖-怒江洋在早白垩世中晚期并没有完全消亡, 还存在洋壳; 在晚白垩世班公湖-怒江洋才最终消亡, 亚洲大陆与冈底斯复合岛弧发生强烈的弧-陆碰撞; 康志强等^[13]认为, 在早白垩世中期拉萨地块的北部由于班公湖-怒江洋俯冲消减的结束而演变成非海相的环境, 多尼组的中基性和酸性火山岩主要是班公湖-怒江洋的关闭和羌塘地块与拉萨地块碰撞的产物。通过构造环境判别分析, 该流纹岩具有同碰撞型火山岩的特征, 不具传统岛弧环境的特征, 有可能是班公湖-怒江特提斯洋俯冲已经结束, 开始进入陆-陆碰撞的阶段, 可能代表了羌塘地块和拉萨地块碰撞的开始, 碰撞的过程中下地壳增厚并部分发生

熔融,该火山岩就是碰撞后部分熔融的产物;也有可能是班公湖-怒江洋还未完全关闭,残留洋壳与拉萨地块碰撞,碰撞的过程中下地壳增厚、部分熔融产生的岩浆;但也不排除与班公湖-怒江洋壳南向的俯冲有关。对于冈底斯北带早白垩世火山作用地球动力学问题,本文限于目前的数据,还不能完全证明这个认识,班公湖-怒江洋何时关闭、碰撞尚有待进一步研究。

5 结 论

(1)原定拉贡塘组酸性流纹岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果为 $116.6\text{Ma} \pm 0.81\text{Ma}$, 属早白垩世火山岩,根据野外观察,该流纹岩应不整合于拉贡塘组之上。该火山岩与区域上多尼组、则弄群的火山岩属同时代的火山岩,是同一构造事件的产物。

(2)酸性流纹岩具有同碰撞的特征,不具传统岛弧环境的特征,形成的构造背景主要有:班公湖-怒江特提斯洋俯冲已经结束,开始发生陆-陆碰撞,即羌塘地块与拉萨地块碰撞的开始;班公湖-怒江洋还未完全关闭,残留洋壳与拉萨地块碰撞。在碰撞的过程中,下地壳不断加厚并发生部分熔融,岩浆来源于下地壳不断加厚物质的部分熔融。

参考文献

- [1]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 and Planetary Science Letters, 1986, 79: 281-302.
- [2]Ding L, Lai Q Z. New geological evidence of crustal thickening in the Gandese block prior to the Indo-Asian collision[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(15): 1604-1610.
- [3]Leier A L, Kapp P, DeCelles P G, et al. Lower Cretaceous strata in the Lhasa terrance, Tibet, with implications for understanding the early tectonic history of the Tibetan plateau[J]. Journal of Sedimentary Research, 2007, 77: 809-825.
- [4]Hsü K J, Pan G T, Sengör A M C. Tectonic evolutions of the Tibetan Plateau: A working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis[J]. International Geology Review, 1995, 37: 473-508.
- [5]潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考[J]. 地质通报, 2004, 23(1): 12-19.
- [6]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.
- [7]Yuan H L, Gao S, Lin X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2004, 28(3): 353-370.
- [8]Andersen T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not

- report ^{238}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192: 59-79.
- [9]Ludwing K R. Isoplot/Ex version 3.00—A Geochronology Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4: 1-70.
 - [10]Wu F Y, Yang Y H, Xie L W. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2006, 234: 105-126.
 - [11]吴福元, 李献华, 郑永飞, 等. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 185-220.
 - [12]莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 135-148.
 - [13]康志强, 许继峰, 王保弟, 等. 拉萨地块北部白垩纪多尼组火山岩的地球化学: 形成的构造环境[J]. 地球科学, 2009, 34(1): 89-104.
 - [14]Hugh R. Rollison 著. 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜译. 岩石地球化学[M]. 安徽: 中国科学技术大学出版社, 2000: 110.
 - [15]朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等. 西藏冈底斯带措勤地区则弄群火山岩锆石 U-Pb 年代学格架及构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 401-412.
 - [16]Corfu F, Stott G M. Age and petrogenesis of two late Archean magmatic suites, northwestern Superior Province, Canada: Zircon U-Pb and Lu-Hf isotopic relations[J]. Journal Petrol., 1993, 34: 817-838.
 - [17]潘桂棠, 王立全, 李兴振, 等. 青藏高原区域构造格局及其多岛弧盆系的空间配置[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(3): 1-26.
 - [18]潘桂棠, 徐强, 王立全. 青藏高原多岛弧-盆系格局机制[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 186-189.
 - [19]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.
 - [20]Xu R H, Scharer U, Allege C J. Magmatism and metamorphism in the Lhasa block (Tibet): A geochronological study[J]. Journal of Geology, 1985, 93: 41-57.
 - [21]Pearce J A, Mei H. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Colmud[J]. Royal Society of London Philosophical Transactions, Series A, 1988, 327: 169-201.
 - [22]Harris N B W, Inger S, Xu R. Cretaceous plutonism in central Tibet: An example of post-collision magmatism[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1990, 44: 21-32.
 - [23]莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等. 青藏高原中新生代火成岩的深部探针意义: 若干新成果与新认识[C]//陈运泰, 滕吉文, 阚荣举, 等. 中国大陆地震学与地球内部物理学研究进展. 北京: 地震出版社, 2004: 449-461.
 - [24]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.
 - [25]肖序常, 李廷栋. 青藏高原的构造演化与升降机制[M]. 广州: 广东科技出版社, 2000: 239-268.
 - [26]邱瑞照, 周肃, 邓晋福, 等. 西藏班公湖-怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定: 兼论班公湖-怒江蛇绿岩带形成时代[J]. 中国地质, 2004, 31(3): 262-268.
- ① 西藏自治区地质调查院. 那曲幅 1:25 万区域地质调查报告. 2002.
 - ② 西藏自治区地质调查院. 班戈幅 1:25 万区域地质调查报告. 2002.
 - ③ 袁四化. 冈底斯带中段北部早白垩世火山岩及其大地构造意义. 中国地质科学院博士学位论文, 2009.
 - ④ 成都理工大学. 措勤县幅 1:25 万区域地质调查报告. 2002.