

文章编号: 1009-3850(2013)03-0082-05

## 藏南冈底斯中段大竹卡桥南花岗闪长岩锆石 U-Pb 定年及地质意义

刘维亮<sup>1</sup>, 夏 斌<sup>1,2</sup>, 张玉泉<sup>2</sup>, 钟 云<sup>1</sup>, 刘鸿飞<sup>3</sup>, 蔡周荣<sup>1</sup>, 胡 杨<sup>4</sup>

(1 中山大学海洋学院, 广东 广州 510275; 2 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 3 西藏自治区地质调查院, 西藏 拉萨 850000; 4 南华大学核资源与核燃料工程学院, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:** 冈底斯岩带中各岩体的准确定年对特提斯洋演化和青藏高原隆升研究有重要意义。日喀则大竹卡桥南花岗闪长岩体位于冈底斯岩带中段, 前人曾开展过两次 K-Ar 法定年, 但定年结果差距较大。本文利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 方法对该花岗闪长岩进行了定年。定年所选锆石发育有规律环带结构, Th/U 比值为 0.20~1.69, 为岩浆锆石, 获得  $80.3 \pm 3.6$  Ma (MSWD = 3.2) 的加权平均年龄, 代表花岗闪长岩的结晶年龄。定年结果反映该岩体为新特提斯洋俯冲成因。岩体南侧紧邻雅鲁藏布江缝合带, 其岩浆活动很可能是雅鲁藏布江新特提斯洋向北俯冲所引起的。这一岩体年龄数据的报道为深入探讨晚白垩世雅鲁藏布江洋是否存在平板俯冲提供了新的研究对象。

**关键词:** U-Pb 年代学; 新特提斯洋俯冲; 花岗闪长岩; 冈底斯岩带; 西藏; 大竹卡

中图分类号: P588.12<sup>+2</sup>

文献标识码: A

西藏南部冈底斯岩带受控于雅鲁藏布江断裂构造, 沿冈底斯山脉总体呈近东西向带状分布。岩带全长约 2500 km, 南北宽 100~300 km, 向东南延伸到波密、察隅地区, 面积约八万多平方千米。岩石类型以中酸性岩为主<sup>[1,2]</sup>。中酸性岩浆岩常产于威尔逊旋回的后期, 其岩浆作用可被视为是大洋俯冲和大陆碰撞等过程的深部响应, 是探索深部作用过程的“岩石探针”<sup>[3]</sup>。对中酸性岩浆岩进行同位素定年可为板块俯冲以及陆陆碰撞提供地质年代证据。

藏南地区冈底斯岩带岩石类型多、规模大, 分布广泛。本文研究的日喀则大竹卡桥南花岗闪长岩体位于冈底斯岩浆岩带的中段, 前人对该岩体已做过一些相关的研究工作。1973-1980 年, 中国科学院青藏高原综合科学考察队曾对该岩体进行地

质考察, 并测得花岗闪长岩黑云母体积法 K-Ar 年龄为  $90.2 \pm 4.6$  Ma<sup>[2]</sup>。2002 年 1:25 万日喀则幅区域地质调查也曾对该岩体开展过同位素年代学和地球化学研究, 获得  $73.2 \pm 1.2$  Ma 的黑云母稀释法 K-Ar 年龄。两者所获得的年龄差距较大, 影响了对该岩体形成时代的认识和岩石成因的探讨。由于封闭温度的限制, 云母类矿物的 Ar 封闭温度远远低于花岗岩的结晶温度, 使 K-Ar 法通常不能准确给出花岗岩的“结晶年龄”<sup>[4,5]</sup>。锆石是花岗岩中常见的稳定副矿物, 并且锆石 U-Pb 封闭温度 (650~700℃) 非常接近花岗岩的固相线温度。因此, 锆石 U-Pb 法通常能够给出花岗岩的结晶年龄<sup>[4]</sup>。基于此, 本文对该花岗闪长岩中锆石利用近年来快速发展的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱 (LA-ICP-MS) 技术开展精确定年, 并在此基础上对岩石成因类型

收稿日期: 2012-10-08; 改回日期: 2013-05-20

作者简介: 刘维亮 (1976-) 男, 博士, 讲师, 从事构造地质学研究。通讯作者: 夏斌, E-mail: 310602126@qq.com

资助项目: 中国地质调查局“青藏高原重大关键地质问题研究”计划项目 (1212011121259、1212011221105)

及地质意义进行探讨。

### 1 地质概况和岩石特征

大竹卡桥南花岗闪长岩体出露于日喀则大竹卡一带,沿雅鲁藏布江呈东西向展布。岩体在江北与早白垩世比马组( $K_1b$ )地层呈断层接触,南侧紧邻雅鲁藏布江缝合带蛇绿岩,局部被古近系大竹卡组( $E_3N_1d$ )砂砾岩沉积覆盖。采样位置位于大竹卡大桥南侧的公路边(图1)。

花岗闪长岩为中细粒等粒结构,块状构造。主要造岩矿物有石英、斜长石、角闪石、黑云母等,副矿物主要有锆石、钛铁矿、榍石和磷灰石。主量元素分析结果为:  $SiO_2$  58.39% ,  $TiO_2$  0.66% ,  $Al_2O_3$  18.38% ,  $Fe_2O_3$  2.78% ,  $FeO$  3.31% ,  $MnO$  0.13% ,  $MgO$  2.48% ,  $CaO$  5.42% ,  $Na_2O$  4.49% ,  $K_2O$  2.75% ,

$P_2O_5$  0.14% ,总体来看,铝、铁、钙、钠、钾等含量较高,硅较低<sup>[2]</sup>。

### 2 锆石 LA-ICP-MS 定年

#### 2.1 锆石单矿物分选

定年样品编号为 74-106,岩性为花岗闪长岩。锆石单矿物分选首先将 0.5kg 左右的样品破碎成约  $1cm^3$  的小块,放入直径为 20cm 的不锈钢钵中,在 XZW100 型振动磨样机(1.1/0.75kW)中研磨 3~5s 后取出,此过程反复进行,直到样品全部通过 0.3mm 孔径筛。然后洗去粉尘,经铝制淘沙盘富集重矿物。对富集重矿物进行磁选、电磁选,剩下非电磁部分,再淘洗获得锆石精矿。最后,在双目镜下挑选出用于定年的锆石。

#### 2.2 分析方法

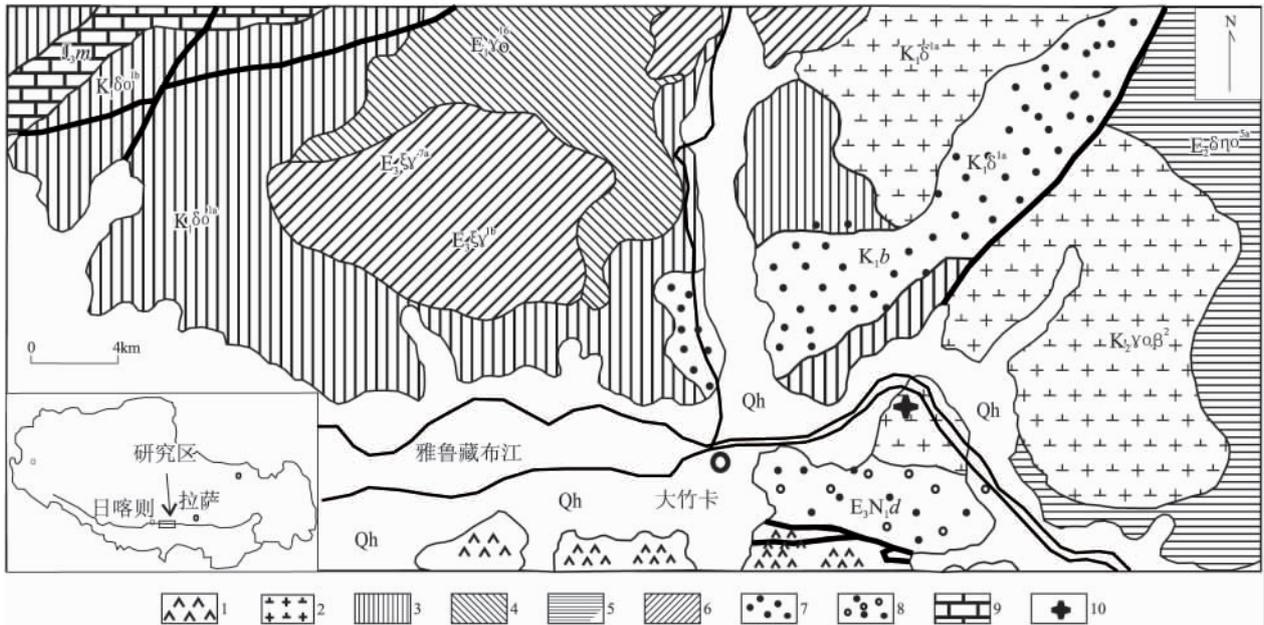


图 1 大竹卡附近地质简图(据西藏自治区地质调查院 2002)

1. 蛇绿岩; 2. 花岗闪长岩; 3. 早白垩世岩浆岩; 4. 古新世岩浆岩; 5. 始新世岩浆岩; 6. 渐新世岩浆岩; 7. 比马组; 8. 大竹卡组; 9. 麻木下组; 10. 采样点

Fig. 1 Simplified geological map of the Dazhuka region in Xizang

1 = ophiolite; 2 = granodiorite; 3 = Early Cretaceous magmatic rocks; 4 = Palaeocene magmatic rocks; 5 = Eocene magmatic rocks; 6 = Oligocene magmatic rocks; 7 = Bima Formation; 8 = Dazhuka Formation; 9 = Mamuxia Formation; 10 = sampling site

锆石 LA-ICP-MS 定年在中科院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室完成。将锆石样品和标样锆石(TEM 417Ma)一起放在玻璃板上用环氧树脂固定,压平烘干后,抛光到暴露出锆石的中心面,用反射光和透射光照相。然后喷碳,拍摄阴极发光(CL)图像(图2)。根据锆石的成因类型和研究目的,确定要测定的点。测定时尽量

避开裂纹和包裹体。实验仪器为美国 Resonetics 公司生产的 RESOLUTIONM-50 激光剥蚀系统和 Agilent 7500a 型的 ICP-MS 联机,激光剥蚀斑直径为  $31\mu m$ ,频率为 8Hz,采用单点剥蚀的方法。元素含量外标采用 NIST610,内标采用  $^{29}Si$ ,锆石年龄外标采用 Temora(417Ma)。详细实验流程见文献<sup>[6]</sup>。数据处理见文献<sup>[7,8]</sup>,锆石年龄计算采用

Isplot3 程序。单个数据点的误差均为  $1\sigma$  ,采用年龄为  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄,其加权平均值为 95% 的置信度。

### 2.3 分析结果

锆石晶体为短柱状自形晶,无色透明,长宽比为 2:1~4:1。从阴极发光图像看到,锆石发育有规律韵律环带结构(图 2),表现出岩浆锆石的特点。12 个样品点 U、Th 含量变化范围较大。Th 含量变化范围为  $47 \times 10^{-6} \sim 1128 \times 10^{-6}$ ,U 含量变化范围为  $91 \times 10^{-6} \sim 688 \times 10^{-6}$ ,Th/U 比值变化范围为 0.20~1.69,显示出岩浆结晶锆石的特征<sup>[9-11]</sup>。对于小于 1000Ma 的锆石, $^{207}\text{Pb}$  具有较低的测量精度,所以通常采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄作为可靠年龄<sup>[12]</sup>。在上机测试过程中,12 个测点中有 3 个测点(01、06、07)在测试中信号不好,数据可信度较低。这可能与锆石中包裹体发育, $^{207}\text{Pb}$  难以准确测定以及微量普通铅的存在有关。这 3 个分析点的数据在谐和图中也表现为偏离其它数据点(图 3),所以不参与年龄计算。参与计算的 9 个分析点位于谐和线上或附近,在谐和图上成群集中分布,有较好的一致性, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $80.3 \pm 3.6\text{Ma}$  (MSWD = 3.2, 95%

置信度),代表了花岗闪长岩的结晶年龄。

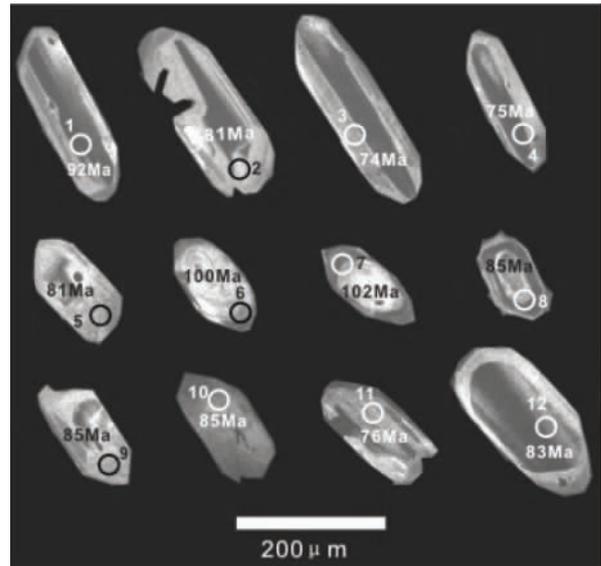


图 2 大竹卡桥南花岗闪长岩锆石 CL 图像、点号及  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄

Fig. 2 Cathodoluminescence images, spots and  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages of the zircons in the granodiorites south of the Dazhuka Bridge

表 1 大竹卡桥南花岗闪长岩锆石 U-Pb 分析数据

Table 1 Zircon U-Pb age determinations of the granodiorites south of the Dazhuka Bridge

测点	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	$w_B/10^{-6}$				比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	年龄 (Ma)	$1\sigma$	年龄 (Ma)	$1\sigma$
74-160-01	5	313	246	1.27	0.0655	0.0067	0.1240	0.0126	0.0145	0.0006	790.7	212	92.9	3.5
74-160-02	2	95	116	0.82	0.0823	0.0118	0.1338	0.0178	0.0127	0.0005	1253.7	283.8	81.6	3.4
74-160-03	13	1128	688	1.64	0.0503	0.0083	0.0812	0.0130	0.0115	0.0003	209.3	340.7	74	2.2
74-160-04	12	1034	613	1.69	0.0481	0.0046	0.0770	0.0072	0.0118	0.0003	101.9	220.3	75.3	2.1
74-160-05	2	97	136	0.71	0.0484	0.0088	0.0836	0.0150	0.0128	0.0005	120.5	377.7	81.9	2.9
74-160-06	2	52	120	0.43	0.0662	0.0147	0.1330	0.0229	0.0157	0.0007	813	477.7	100.6	4.4
74-160-07	4	47	233	0.20	0.0535	0.0063	0.1139	0.0124	0.016	0.0004	350.1	266.6	102.4	2.7
74-160-08	5	263	274	0.96	0.0515	0.0069	0.0929	0.0126	0.0133	0.0004	261.2	281.5	85.4	2.6
74-160-09	2	68	91	0.75	0.1095	0.0146	0.1909	0.0238	0.0134	0.0006	1790.4	244.4	85.8	3.8
74-160-10	3	117	181	0.65	0.0555	0.0105	0.0966	0.0168	0.0133	0.0005	431.5	374	85.1	2.9
74-160-11	2	185	139	1.33	0.0839	0.0202	0.1207	0.0238	0.012	0.0006	1300	483.5	76.7	4
74-160-12	12	985	596	1.65	0.0523	0.0048	0.0912	0.0083	0.013	0.0003	298.2	211.1	83.1	2

## 3 讨论

冈底斯岩带岩浆岩成因同新特提斯洋俯冲、关闭以及印度-欧亚板块碰撞有密切的成因联系。莫宣学(2011)综合前人资料将青藏高原中-新生代构造-岩浆活动划分为 3 个阶段并对应相应的大地构造动力环境:(1)碰撞前新特提斯洋板块俯冲阶段( $\sim 70/65\text{Ma}$  以前);(2)同碰撞阶段( $70/65 \sim 40$

Ma);(3)后碰撞阶段( $\sim 40\text{Ma}$  至今)<sup>[3]</sup>。虽然关于印度-欧亚板块主碰撞的时间仍存在不同的认识<sup>[2,3,6,17-21]</sup>,但一般认为不早于 70 Ma。本文所获得的年龄无疑属于新特提斯洋板块俯冲阶段,是俯冲成因的花岗闪长岩。

俯冲阶段火成岩形成的具体原因前人认为有雅鲁藏布江新特提斯洋板片北向俯冲和班公湖-怒江洋板片南向俯冲两种解释<sup>[15,27-30]</sup>。本文报道的花

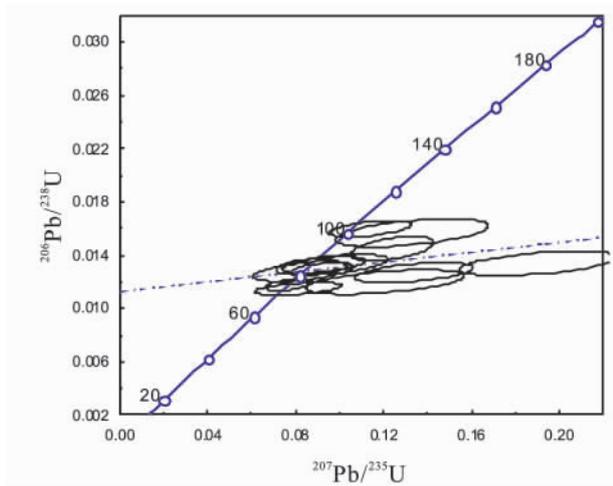


图3 大竹卡桥南花岗闪长岩锆石 U-Pb 谐和年龄图

Fig. 3 Concordia plot for the zircon U-Pb ages of the granodiorites south of the Dazhuka Bridge

岗闪长岩南侧紧邻雅鲁藏布江缝合带,距北面的班公湖-怒江缝合带较远,因此很有可能形成于雅鲁藏布江新特提斯洋板片北向俯冲所引起的岩浆活动。

目前,同碰撞期及碰撞后冈底斯火成岩发表的年代学及地球化学数据较多,研究程度较高,俯冲期火成岩年代学数据较少,研究程度相对较低。本文获得的  $80.3 \pm 3.6$  Ma 的年龄充实了俯冲期岩浆活动的年代学数据。关于 80 Ma 左右这一时期特提斯洋的俯冲特点和岩浆活动特征近几年来存在争论, Wen 等(2008)根据冈底斯岩带东段(朗县-里龙地区)的研究认为 83 ~ 80 Ma 间特提斯洋为平板俯冲,并认为晚白垩世埃达克质花岗闪长岩是板片平板俯冲成因,并强调由于平板俯冲使其后 80 ~ 68 Ma 间冈底斯岩基停止了岩浆活动<sup>[31,32]</sup>。而纪伟强(2009)则认为平板俯冲模式证据不足,并认为冈底斯岩带并不存在 80 ~ 68 Ma 岩浆活动的宁静期<sup>[13]</sup>。造成这种争论的原因是多方面的,笔者认为其中的一个原因就是对整个冈底斯岩带这一时期岩体的发现和报道较少,制约了对这一时期火山岩浆活动及对应的大地构造动力更深入、更全面的研究。本文报道的这一时期的岩体位于冈底斯岩带中段,不同于 Wen 等所论述的东段,为深入探讨上述争议提供了新的研究对象。

#### 参考文献:

[1] 张玉泉,戴檀谟,洪阿实. 青藏高原南部花岗岩类同位素地质年代学[J]. 地球化学, 1981 (1): 8-18.  
[2] 涂光炽, 张玉泉, 王中刚. 西藏南部花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 1-179.

[3] 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.  
[4] HARRISON T M, ARMSTRONG R L, NAESER C et al. Geochronology and thermal history of the coast plutonic complex, near Prince Rupert, British Columbia[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1979, 16(3): 400-410.  
[5] 李献华, 桂训唐. 花岗岩的定年方法学初论[J]. 地球化学, 1990 (4): 303-311.  
[6] 夏斌, 林清茶, 张玉泉等. 印度与欧亚两大陆块碰撞时间的厘定: 来自锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的证据[J]. 地质学报, 2009, 83(3): 347-352.  
[7] 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.  
[8] LIU Y, HU Z, 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.  
[9] VAVRA G, SCHMID R, GEBAUER D. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps) [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1999, 134(4): 380-404.  
[10] HOSKIN P, BLACK L. Metamorphic zircon formation by solid state recrystallization of protolith igneous zircon [J]. Journal of Metamorphic Geology 2000, 18(4): 423-439.  
[11] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.  
[12] COMPSTON W, WILLIAMS I, KIRSCHVINK J et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale [J]. Journal of the Geological Society, 1992, 149(2): 171-184.  
[13] 纪伟强, 吴福元, 鍾孙霖等. 西藏南部冈底斯岩基花岗岩时代与岩石成因[J]. 中国科学: D 辑, 2009 (7): 849-871.  
[14] QUIDELLEUR X, GROVE M, LOVERA O M et al. Thermal evolution and slip history of the Renbu Zedong Thrust, southeastern Tibet [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 1997, 102(B2): 2659-2679.  
[15] 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]. Chemical Geology 2009, 262(3-4): 229-245.  
[16] 黄玉, 赵志丹, 张凤琴, 等. 西藏冈底斯仁布-拉萨一带花岗岩基的地球化学及其意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(10): 3134-3142.  
[17] PATRIAT P, ACHACHE J. India-Eurasia collision chronology has implications for crustal shortening and driving mechanism of plates [J]. Nature, 1984, 311: 621-629.  
[18] BESSE J, COUTILLOT V, POZZI J. Palaeomagnetic estimates of crustal shortening in the Himalayan thrusts and Zangbo suture [J]. Nature, 1984, 311-317.  
[19] 王成善, 李祥辉. 再论印度-亚洲大陆碰撞的启动时间[J]. 地

- 质学报 2003, 77(1): 16-24.
- [20] 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, 2004, 10(3): 135-148.
- [21] 莫宣学, 赵志丹, 周肃, 等. 印度-亚洲大陆碰撞的时限[J]. 地质通报, 2007, 26(10): 1240-1244.
- [22] 管琪, 朱弟成, 赵志丹, 等. 西藏南部冈底斯带东段晚白垩世埃克岩: 新特提斯洋脊俯冲的产物[J]? 岩石学报, 2010, 26(7): 2165-2179.
- [23] MURPHY M, YIN A, HARRISON T et al. Did the Indo-Asian collision alone create the Tibetan plateau [J]? *Geology*, 1997, 25(8): 719-722.
- [24] 丁林, 来庆洲. 冈底斯地壳碰撞前增厚及隆升的地质证据: 岛弧拼贴对青藏高原隆升及扩展历史的制约[J]. 科学通报, 2003, 48(8): 836-842.
- [25] 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.
- [26] 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): 1535-1536.
- [27] CHU M F, CHUNG S L, SONG B et al. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on the Mesozoic tectonics and crustal evolution of southern Tibet [J]. *Geology*, 2006, 34(9): 745-758.
- [28] 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 等. 冈底斯南缘变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成: 新特提斯洋早侏罗世俯冲作用的证据[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1347-1353.
- [29] 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.
- [30] 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等. 西藏冈底斯带叶巴组火山岩同位素地质年代[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(1): 1-7.
- [31] WEN D R, CHUNG S L, SONG B et al. Late Cretaceous Gangdise intrusions of adakitic geochemical characteristics, SE Tibet: petrogenesis and tectonic implications [J]. *Lithos*, 2008a, 105(1): 1-11.
- [32] WEN D R, LIU D, CHUNG S L et al. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the Gangdise Batholith and implications for Neotethyan subduction in southern Tibet [J]. *Chemical Geology*, 2008b, 252(3): 191-201.

## Zircon U-Pb dating and geological implications for the granodiorites from the Dazhuka region in Xizang

LIU Wei-liang<sup>1</sup>, XIA Bin<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu-quan<sup>2</sup>, ZHONG Yun<sup>1</sup>, LIU Hong-fei<sup>3</sup>, CAI Zhou-rong<sup>1</sup>, HU Yang<sup>4</sup>

(1. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3. Xizang Institute of Geological Survey, Lhasa 850000, Xizang, China; 4. School of Nuclear Resources and Nuclear Fuel Engineering, University of South China, Hengyang 421001, Hunan, China)

**Abstract:** The precise dating for the granodiorites from the Gangdise zone in Xizang is of great importance to the research of the Tethyan evolution and Qinghai-Xizang Plateau uplift. The granodiorite masses south of Dazhuka Bridge occur in the central part of the Gangdise zone in Xizang. There is the large discrepancy between the preexisting K-Ar age determinations given by the previous workers. The present paper deals with the zircon U-Pb re-dating of the granodiorite masses south of the Dazhuka Bridge with the aid of LA-ICP-MS method. The selected zircons for dating show regular oscillatory zonal structures. The Th/U ratios vary from 0.20 to 1.69. These characteristics suggest a magmatic origin of the zircons. The weighted average age of  $80.3 \pm 6$  Ma (MSWD = 3.2) may represent the crystallization age of the granodiorites. Since the granodiorite masses are very close to the southern Yarlung Zangbo suture zone, the granodiorites may well be originated from the magmatism caused by the northward subduction of the Yarlung Zangbo Neo-Tethys oceanic plate.

**Key words:** U-Pb dating; subduction of the Neo-Tethys oceanic plate; granodiorite; Gangdise zone; Dazhuka; Xizang