

# 腾冲地块内早印支期构造事件的厘定： 来自那邦闪长岩锆石 U-Pb 定年和 Lu-Hf 同位素证据

黄志英<sup>1</sup> 戚学祥<sup>2</sup> 唐贯宗<sup>3</sup> 刘金科<sup>4</sup> 朱路华<sup>2</sup> 胡兆初<sup>5</sup> 赵宇浩<sup>2</sup> 张超<sup>2</sup>

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 大陆构造与动力学国家重点实验室, 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 3. 云南黄金矿业集团股份有限公司, 云南 昆明, 650224; 4. 宁夏地质工程院, 宁夏 银川 750021; 5. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**腾冲地块是青藏高原东南缘的重要组成部分,在大地构造位置上与拉萨地块相对应。近年来,松多榴辉岩带的发现揭示拉萨地块内存在晚二叠—早三叠世的俯冲—碰撞事件,与其相对应的腾冲地块是否也经历了相应的构造事件随之成为人们关注的热点。早印支期那邦闪长岩为偏铝质、富钾、钙碱性岩浆岩。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明闪长岩侵位于(245.0±2.9)Ma。锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值变化于+7.8~+14.9,在  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ -U-Pb 年龄图解上所有样品都落在球粒陨石线和亏损地幔线之间,较小的单阶段模式年龄和地壳模式年龄,在 Th/Yb-Ba/La 图解上分布于俯冲板片流体区和 Yb/Hf(<1.2)比值,以及较高的  $Mg^\#$ 值和 Th、U 负异常,说明其来源于幔源物质部分熔融,并有部分壳源物质加入的混合岩浆。LREE 和 LILE 强烈富集、Th、U、Nb、Ta、Ti 明显负异常,以及 La/Yb-Sc/Ni 和 La/Yb-Th/Yb 构造环境判别图解揭示其岛弧型岩浆岩的性质。形成时代与松多榴辉岩带相近、形成于俯冲—碰撞构造环境及腾冲地块内存在类似于拉萨地块内缺失晚二叠—早三叠世地层的区域性角度不整合,说明腾冲地块内也存在与拉萨地块和澳大利亚陆块北部边缘发生俯冲—碰撞相对应的构造事件,早印支期那邦闪长岩是腾冲地块内对这一事件的响应。

**关键词:**早印支期;那邦闪长岩;锆石 U-Pb 定年;Lu-Hf 同位素组成;腾冲地块

**中图分类号:** P542<sup>+</sup>.4; P588.12<sup>+</sup>2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)03-0730-12

腾冲地块位于青藏高原东南缘的怒江缝合带和密支那缝合带之间,是中特提斯洋(怒江洋)<sup>[1-3]</sup>和新特提斯洋(密支那洋)<sup>[3]</sup>相继俯冲消亡,腾冲地块于燕山期与保山地块碰撞拼贴<sup>[4-6]</sup>、印度板块于喜马拉雅早期与腾冲地块发生碰撞<sup>[7-13]</sup>并导致块体发生大规模旋转、逃逸、走滑<sup>[14,15]</sup>形成的青藏高原东南缘大型构造变形域的一部分。在大地构造位置上,怒江缝合带是班公湖—怒江缝合带的南延部分,缅甸东部密支那缝合带向北可与雅鲁藏布江缝合带相连,夹于其间的腾冲地块与拉萨地块相对应<sup>[1,2,8,16-18]</sup>。近年来,人们在拉萨地块中部松多一带发现了形成于晚

二叠世(242~291 Ma,平均 261 Ma)、近东西向展布的高压榴辉岩带<sup>[19-22]</sup>,是以松多大型榴辉岩为代表的古特提斯洋壳在晚二叠世末期(大约 263 Ma)向南俯冲<sup>[19,20]</sup>,拉萨地块南缘与澳大利亚地块北部边缘发生碰撞形成的古缝合带<sup>[23]</sup>,拉萨地块中晚二叠世区域性角度不整合、印支期岩浆侵入体及松多群变质岩系中白云母 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 测年结果(220~230 Ma)表明碰撞作用一直延续至三叠纪<sup>[23,24]</sup>。位于青藏高原东南缘、与拉萨地块相对应的腾冲地块内是否存在记录这一过程的相关信息随之成为人们思考的问题。李化启等<sup>[25]</sup>通过锆石 SHRIMP U-Pb 定年确

收稿日期:2013-01-27;改回日期:2013-04-22

基金项目:科技部深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe-05-03)、国家自然科学基金项目(41272219)和中国地质调查局地质调查项目(1212011121266)资助。

作者简介:黄志英,女,1964年生,副研究员,主要从事矿床地质学研究;E-mail:281601583@qq.com。

通信作者:戚学祥,男,1963年生,博士,研究员,构造地质学专业,主要从事构造与成矿方面的研究;E-mail:qxuex2005@163.com。

认为腾冲地块内存在印支晚期岩浆活动 (219~206 Ma), 并认为是拉萨地块内以松多榴辉岩为代表的海西—印支期构造运动在腾冲地块内的反映。但它们与松多榴辉岩带的形成时代相差甚远, 而且与晚三叠世该区接受浅海相碳酸盐岩沉积展示的构造环境不吻合。为此, 本文将通过锆石 U-Pb 定年及 Lu-Hf 同位素测试, 厘定腾冲地块内早印支期岩浆岩, 为揭示腾冲地块对海西—印支期构造运动的响应及拉萨地块内古特提斯洋闭合、块体碰撞向南东缘的延续提供信息。

### 1 地质背景

在印度板块向北俯冲碰撞过程中, 东构造结北东向强烈挤压导致腾冲地块沿东部的怒江缝合带 (高黎贡) 和西部的那邦韧性剪切带 (Sagaing 断裂的北沿部分) 向南西旋转、挤出, 形成东部以高黎贡弧形韧性剪切带为界, 西部止于密支那缝合带东侧的那邦韧性剪切带, 中部发育大盈江断裂带为特征的构造格局<sup>[20]</sup> (图 1)。腾冲地块主要由绿片岩相—角闪岩相变质岩、晚古生代—中生代沉积岩和岩浆岩

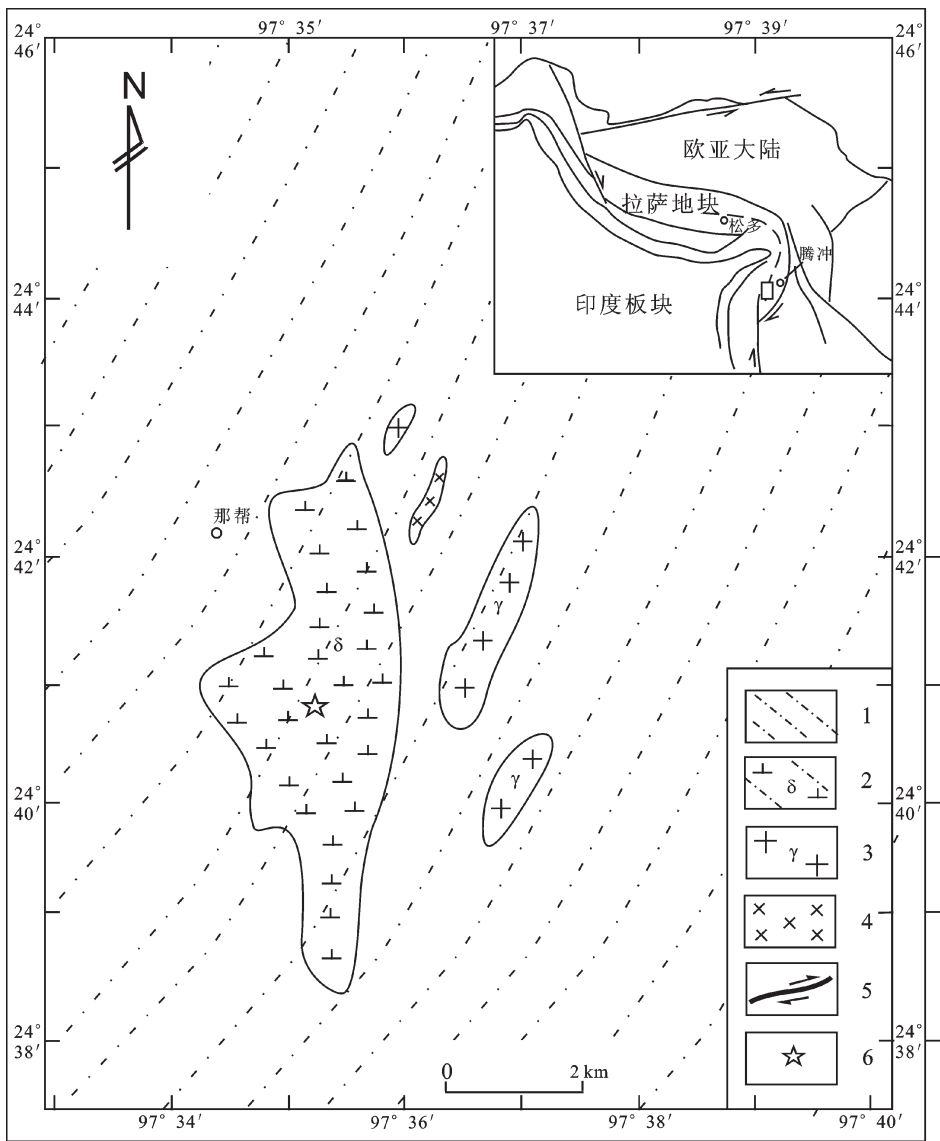


图 1 腾冲地块早印支期那邦闪长岩地质略图

1—高黎贡群变质岩; 2—闪长岩; 3—花岗岩; 4—辉长岩; 5—走滑断层; 6—采样点

Fig.1 Geological sketch map of early Indosinian Nabang diorite in Tengchong block

1—Gaaligong Group metamorphic rocks; 2—Diorite; 3—Granite; 4—Gabbro; 5—Strike-slip fault; 6—Sampling location

组成<sup>①</sup>。绿片岩相-角闪岩相变质岩分布于腾冲地块全境,主要由片麻岩、角闪岩、混合岩、大理岩和片岩组成,动力变质特征明显,构造变形强烈,尤其是在东部的高黎贡右行韧性剪切带和西部那邦韧性剪切带中表现最为清晰。晚古生代-中生代沉积岩零星出露于绿片岩相-角闪岩相变质岩之上,从泥盆纪到二叠纪地层岩性相对稳定,以碳酸盐岩为主,间有碎屑岩沉积,不同时代地层之间呈整合或假整合接触。新生代地层以砂岩、泥质岩、泥质灰岩夹薄煤层为特征。区内侏罗-白垩纪地层的缺失展示出地块在这一时期处于隆升阶段,与怒江洋俯冲、腾冲地块与保山地块碰撞时期相吻合<sup>[29]</sup>。由于经历了古特提斯洋和新特提斯洋的闭合和块体之间的碰撞,致使宽仅 100 km 的腾冲地块内爆发了燕山期和喜马拉雅期两次大规模的岩浆活动,形成出露面积约占全区面积 50% 的中、新生代侵入岩及受大盈江断裂带控制分布于盈江-梁河-腾冲北北东-近南北向盆地中的新生代火山岩。

## 2 测试分析方法

锆石分选在河北省地质调查研究院完成。样品经常规的粉碎和重选,分选出纯度较高的锆石,然后在双目镜下经人工挑选出纯度在 99% 以上的锆石样品。用环氧树脂将锆石样品和标样固定成圆饼状,用不同型号砂纸和磨料将锆石磨去一半并抛光。然后,在北京离子探针中心对抛光好的锆石进行阴极发光成像观察,查明锆石内部生长层的分布和结构。在此基础上,在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室用 GeoLas 2005 ArF 准分子激光剥蚀系统(LA)和 Agilent7500a 四级杆质谱(ICP-MS)进行锆石 U-Pb 同位素定年和锆石成分测试。其中,激光波长 193 nm,能量密度 14 J/cm<sup>2</sup>,频率 8Hz,光斑直径 24~32 μm。锆石 U-Pb 年龄测定采用国际标准锆石 91500 作为外标校正,以 <sup>29</sup>Si(锆石中 SiO<sub>2</sub> 的含量为 32.18%) 作为内标,测定锆石中 U、Th 和 Pb 的含量。每测定 3~5 个点后插入一次标样测定,以便及时校正。以合成硅酸盐玻璃 NIST 610 标示仪器的运行状态。锆石 Lu-Hf 同位素在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成,利用 Thermo Finnigan Neptune 型多接收等离子质

谱和 Newwave UP213 激光剥蚀系统对锆石 Lu-Hf 同位素进行原位测定。测得的 GJ1 和 FM02 锆石标样的 <sup>176</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf 比值分别为:0.282007 ± 0.000007 (2σ, n=36) 和 0.282476 ± 0.000004 (2σ, n=27),详见侯可军<sup>[27]</sup>和 Wu et al.<sup>[28]</sup>。岩石的常量元素、微量元素和稀土元素分析在国家地质实验测试中心完成。其中,常量元素用 X-射线荧光光谱仪(XRF)测定,并用等离子光谱法进行验证;微量元素和稀土元素采用等离子质谱仪(ICP-MS)测定(ICP-MS)。

## 3 岩石地球化学特征

早三叠世侵入岩体多位于腾冲地块东部,规模较小,多呈岩株状。本文以具有代表性的那邦闪长岩岩体为例进行同位素地质学和地球化学研究,采样位置为:北纬 24°40'48",东经 97°35'15"(图 1)。

### 3.1 岩石学特征

那邦闪长岩体侵位于高黎贡群角闪岩相变质岩中,近南北向不规则状展布,长约 6 km,宽 4 km,出露面积约 20 km<sup>2</sup>(图 1),岩体内顺面理侵入的宽 30 cm~2 m 的辉绿岩脉发育(图 2-a)。岩石呈片麻状构造,中粒结构,主要由斜长石(32%)、钾长石(28%)、石英(20%)、角闪石(12%)和少量黑云母(8%),以及磁铁矿、磷灰石、锆石等副矿物组成(图 2-b)。岩石糜棱岩化变形明显。斜长石和钾长石部分构成碎斑,部分与石英等一起构成糜棱岩的基质。角闪石呈团块状定向分布,多以碎斑的形式产出。黑云母呈片状定向分布。石英多呈粒状,与细粒长石一起构成基质,部分呈条带状分布,显示其动态重结晶的特点,主要分布于长石颗粒之间。

### 3.2 地球化学分析

地球化学分析结果(表 1)表明闪长岩中 SiO<sub>2</sub> 含量为 55.26%~61.74%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高,为 16.12%~18.21%,CaO、MgO 和 TFe (FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 分别为 5.10%~6.41%、2.61%~3.70%和 5.77%~7.52%。Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O 为 0.59~0.76,A/CNK 和 A/NK 分别为 0.86~0.95 和 1.72~2.06。里特曼指数多数小于 3.0,在 SiO<sub>2</sub>-A.R 图解上位于钙碱性岩区(图略),显示出偏铝质、富钾、钙碱性岩浆岩的岩石学特征。

岩石的 ΣREE 变化于 72.7×10<sup>-6</sup>~85.4×10<sup>-6</sup>,LREE/HREE 为 5.04~7.06,(La/Sm)<sub>N</sub> 为 2.30~3.36,

① 云南地质局.区域地质调查报告(1:20 万腾冲幅和盈江幅),1982:12-217.

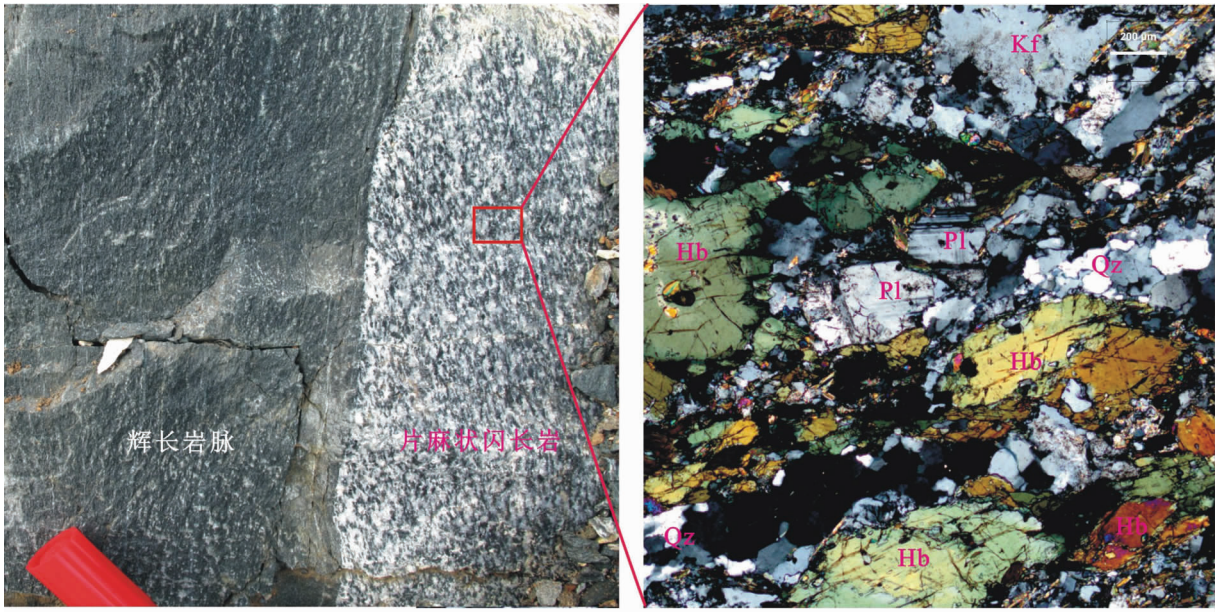


图 2 那邦闪长岩岩石学特征

a—闪长岩中辉长岩脉(黑色);b—闪长岩矿物组成(正交):Pl—斜长石;Kf—钾长石;Qz—石英;Hb—角闪石

Fig.2 Petrological features of Nabang diorite

a—Gabbro vein (black) in diorite;b—Microphotograph of diorite;Pl—Plagioclase;Kf—K-feldspar;Qz—Quartz;Hb—Hornblende

(Gd/Yb)<sub>N</sub> 为 1.28~1.64,  $\delta$  Eu 为 0.80~0.92, 显示出轻稀土富集、分馏程度高、重稀土相对亏损、Eu 无明显异常的特点。稀土元素球粒陨石标准化结果表明, 所有样品呈基本一致的向右倾斜、较为光滑的稀土配分模式(图 3-a)。微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 3-b)呈现出向右倾斜的“M”型多峰谷模式, 大离子亲石元素 (LILE)K、Rb、Ba 和放射性生热元素 Th 和 U 相对原始地幔强烈富集, K、Sm 和 Sr 为正异常, Th、U、Nb、Ta 和 Ti 为明显的负异常。

总体来看, 那邦闪长岩稀土元素配分模式展现出无明显的 Eu 负异常, 轻稀土富集、分馏程度高, LILE 和放射性生热元素相对原始地幔强烈富集, Th、U、Nb、Ta、和 Ti 强烈负异常的特征, 类似于俯冲碰撞环境下形成的岩浆岩<sup>[29-32]</sup>。

## 4 锆石特征及同位素组成

### 4.1 锆石形态和内部结构

闪长岩中的锆石大部分呈自形-半自形的柱状, 晶面整洁光滑, 粒度为  $80\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}\times 200\mu\text{m}$ , 长宽比一般为 1.5:1。锆石阴极发光图像显示锆石韵律环带清晰, 少量锆石存在宽约  $15\mu\text{m}$  新生变质锆石边(图 4)。锆石的 U 含量为

$136\times 10^{-6}\sim 468\times 10^{-6}$ , Th 含量为  $70\times 10^{-6}\sim 551\times 10^{-6}$ 。Th/U 为 0.5~1.3(表 2), 具有典型的岩浆锆石特点, 少量锆石边部发育的变质边与后期角闪岩相变质作用和糜棱岩化作用有关。

### 4.2 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年

锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年测试结果表明(表 2), 闪长岩(10QTN-15)锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄集中分布于 235~255 Ma, 在谐和图上集中于 245 Ma 区域, 其加权平均年龄值为  $(245.0\pm 2.9)\text{Ma}$  (MSWD=4.1), 置信度为 95%(图 5)。少数测试点年龄小于该年龄区间, 可能与后期变质作用导致 Pb 丢失或均一化有关。阴极发光图像显示锆石韵律环带清晰, 具有典型的岩浆结晶锆石特征, 结合其 Th/U>0.5 和测试点都分布于谐和线上的特点, 说明其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄  $(245.0\pm 2.9)\text{Ma}$  代表了闪长岩的结晶年龄; 少量测试点年龄分布于该区间之外, 以及岩石经历了后期角闪岩相变质作用和锆石变质边的存在, 说明这些年龄可能为后期变质年龄或混合年龄。

### 4.3 锆石 Lu-Hf 同位素组成

锆石 Lu-Hf 同位素是在锆石 U-Pb 定年的同一颗锆石的相同部位或相同结构的临近部位进行测

表 1 腾冲那邦早印支期闪长岩常量元素(%)、稀土元素和微量元素( $10^{-6}$ )含量  
 Table 1 Major elements(%), rare earth elements and trace elements( $10^{-6}$ ) compositions of early Indosinian Nabang diorite in Tengchong block

样品	10QTN-11	10QTN-12	10QTN-13	10QTN-14	10QTN-15
SiO <sub>2</sub>	55.26	60.47	58.18	61.44	61.74
TiO <sub>2</sub>	0.6	0.42	0.45	0.42	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.21	16.27	17.62	16.12	16.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.1	2.16	2.49	2.53	2.54
FeO	4.42	3.66	3.72	3.34	3.23
MnO	0.14	0.12	0.13	0.13	0.12
MgO	3.7	2.83	3.06	2.82	2.61
CaO	5.19	5.57	6.41	5.1	5.46
Na <sub>2</sub> O	2.91	2.71	2.82	2.69	2.42
K <sub>2</sub> O	4.63	4.04	3.7	4.58	3.75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.26	0.19	0.21	0.18	0.18
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.72	0.62	0.62	0.5	0.66
CO <sub>2</sub>	0.17	0.26	0.17	0.26	0.69
LOI	0.65	0.56	0.66	0.53	0.76
A/CNK	0.95	0.86	0.87	0.86	0.92
Mg <sup>#</sup>	53.1	52.1	53.0	52.9	51.5
La	16.9	14.3	12.6	12.1	14.4
Ce	33.4	31.6	26	26.9	29
Pr	4	3.96	3.47	3.48	3.54
Nd	16.3	16.4	15.1	14.9	14.5
Sm	3.25	3.43	3.53	3.35	3.02
Eu	0.97	0.94	0.97	0.84	0.82
Gd	3.1	3.3	3.51	2.92	2.91
Tb	0.45	0.48	0.54	0.45	0.41
Dy	2.76	3.08	3.27	2.99	2.54
Ho	0.56	0.64	0.64	0.59	0.53
Er	1.66	2.07	1.97	1.84	1.69
Tm	0.22	0.29	0.26	0.25	0.25
Yb	1.59	2.13	1.77	1.76	1.57
Lu	0.26	0.32	0.28	0.29	0.26
ΣREE	85.4	82.9	73.9	72.7	75.4
LREE/HREE	7.06	5.74	5.04	5.55	6.43
δEu	0.92	0.84	0.83	0.80	0.83
(La/Sm)N	3.36	2.69	2.30	2.33	3.08
(Gd/Yb)N	1.61	1.28	1.64	1.37	1.53
Rb	131	142	94.4	125	120
Ba	662	569	431	532	484
Th	2.65	4.73	1.88	4.47	4.14
U	0.93	2.25	0.7	1.26	1.23
Nb	2.96	3.24	3.06	2.91	2.71
Ta	0.18	0.26	0.16	0.22	0.18
Sr	697	772	707	693	609
Zr	51.1	56.1	55.7	51.2	79.7
Hf	1.46	1.78	1.5	1.56	2.25
Y	15.2	18.2	17.9	16.8	15.3
Ni	8.47	8.02	9.27	6.62	8.58
Sc	26.9	24.7	29.8	24.6	23.3
Yb/Hf	1.09	1.20	1.18	1.13	0.70

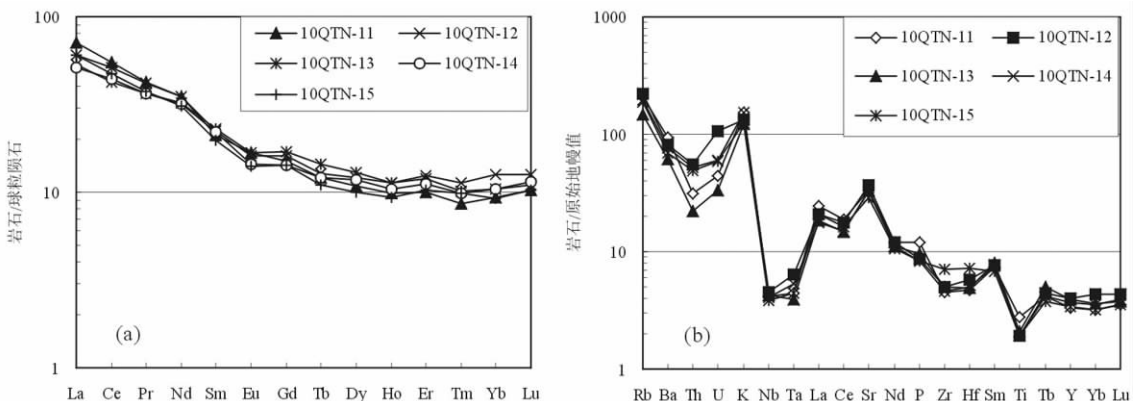


图 3 腾冲那邦早印支期闪长岩球粒陨石标准化稀土配分模式(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)(球粒陨石标准化值和原始地幔标准化值据 Sun and McDonough<sup>[33]</sup>)

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive-mantle-normalized trace element spider diagrams (b) for early Indosinian Nabang diorite in Tengchong(chondrite and primitive mantle data after Sun and McDonough<sup>[33]</sup>)

表 2 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年数据  
Table 2 LA-ICP-MS U-Pb data of zircons

测试点	Pb	Th	U	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1 σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 σ	age/Ma	
	/10 <sup>-6</sup>										<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 σ
1.1	10.2	134	193	0.7	0.0569	0.0025	0.3040	0.0129	0.0391	0.0005	247.1	2.8
2.1	5.0	111	195	0.6	0.0544	0.0037	0.1407	0.0092	0.0193	0.0004	123.0	2.2
3.2	15.8	276	290	0.9	0.0526	0.0020	0.2834	0.0104	0.0391	0.0004	247.2	2.6
4.2	6.8	91	136	0.7	0.0583	0.0030	0.3013	0.0154	0.0387	0.0007	244.9	4.5
6.2	10.6	208	308	0.7	0.0506	0.0022	0.1808	0.0078	0.0262	0.0004	166.7	2.3
8.1	5.0	283	458	0.6	0.0592	0.0038	0.0663	0.0038	0.0086	0.0002	55.2	1.0
9.1	11.7	133	256	0.5	0.0523	0.0020	0.2686	0.0105	0.0375	0.0006	237.0	3.8
11.2	8.0	98	157	0.6	0.0681	0.0040	0.3661	0.0207	0.0395	0.0006	249.6	3.5
13.2	17.1	356	311	1.1	0.0531	0.0019	0.2847	0.0107	0.0386	0.0004	244.3	2.5
15.2	6.8	70	137	0.5	0.0577	0.0033	0.3154	0.0170	0.0403	0.0006	254.9	3.7
16.2	13.2	238	251	1.0	0.0569	0.0033	0.2981	0.0163	0.0386	0.0005	244.1	2.9
17.2	14.2	178	304	0.6	0.0501	0.0023	0.2621	0.0118	0.0382	0.0006	241.9	3.8
18.2	9.7	136	290	0.5	0.0539	0.0030	0.2081	0.0116	0.0281	0.0005	178.9	3.3
19.2	9.6	108	208	0.5	0.0525	0.0029	0.2706	0.0142	0.0377	0.0006	238.6	3.7
20.1	3.8	200	381	0.5	0.0584	0.0039	0.0607	0.0036	0.0080	0.0001	51.2	0.9
21.2	11.5	209	213	1.0	0.0495	0.0024	0.2694	0.0131	0.0397	0.0005	251.0	3.0
22.2	6.6	81	128	0.6	0.0506	0.0028	0.2785	0.0148	0.0404	0.0006	255.2	3.6
23.2	25.1	586	468	1.3	0.0486	0.0020	0.2497	0.0096	0.0373	0.0004	235.9	2.5
24.1	2.3	107	204	0.5	0.0796	0.0050	0.0901	0.0056	0.0086	0.0002	54.9	1.2
25.2	10.7	167	204	0.8	0.0530	0.0024	0.2938	0.0133	0.0404	0.0005	255.2	3.2
26.2	8.4	137	157	0.9	0.0501	0.0029	0.2766	0.0151	0.0403	0.0007	254.5	4.5
27.2	6.0	79	122	0.7	0.0503	0.0035	0.2637	0.0175	0.0387	0.0009	245.0	5.3
28.2	12.6	213	232	0.9	0.0515	0.0025	0.2831	0.0133	0.0401	0.0005	253.2	3.4
29.2	25.7	551	465	1.2	0.0495	0.0016	0.2623	0.0085	0.0383	0.0004	242.4	2.4
30.2	20.1	420	381	1.1	0.0513	0.0022	0.2621	0.0109	0.0372	0.0005	235.4	3.0
31.2	21.3	494	382	1.3	0.0491	0.0016	0.2593	0.0086	0.0383	0.0004	242.4	2.4

定的,结果见表 3。<sup>176</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf 初始值和 ε<sub>Hf</sub>(t)值是根据同一锆石 U-Pb 定年数据计算的。单阶段模式年龄(TDM1)和地壳模式年龄(TDMC)是根据亏损幔源计算的<sup>[34]</sup>。

闪长岩样品(10QTN-15)中 10 颗锆石测定结果表明,同位素 <sup>176</sup>Lu/<sup>177</sup>Hf 比值变化较大(0.0018~0.0052),同位素 <sup>176</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf 值相对稳定,为 0.2823~0.2831,ε<sub>Hf</sub>(t)值分布于+7.8~+14.9 范围内(表 3),平均+9.8~1.4(图 6),对应的单阶段模式年龄为 298~590 Ma(表 3)。

## 5 讨论

### 5.1 岩浆成因

那邦闪长岩是以长石为主要矿物组分、石英含量较低、含有角闪石和黑云母为特征。化学分析结果表明他们都有较高的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、Na<sub>2</sub>O 和 K<sub>2</sub>O 含量和较高 Mg<sup>#</sup> 值 (Mg<sup>#</sup>=100×Molar Mg<sup>2+</sup>/(Mg<sup>2+</sup>+total Fe<sup>2+</sup>)),以及 A/CNK 值都小于 1.0 和岩石中未出现过铝质花岗岩的标志性矿物,如白云母等<sup>[35]</sup>,显示其 I 型岩浆岩的属性<sup>[36]</sup>。岩石中较高的锆石 <sup>176</sup>Hf/

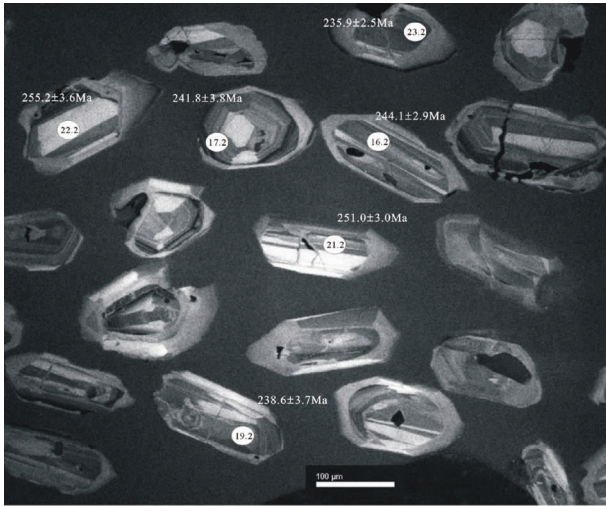


图 4 锆石阴极发光图像

Fig.4 Cathodoluminescence images of zircons

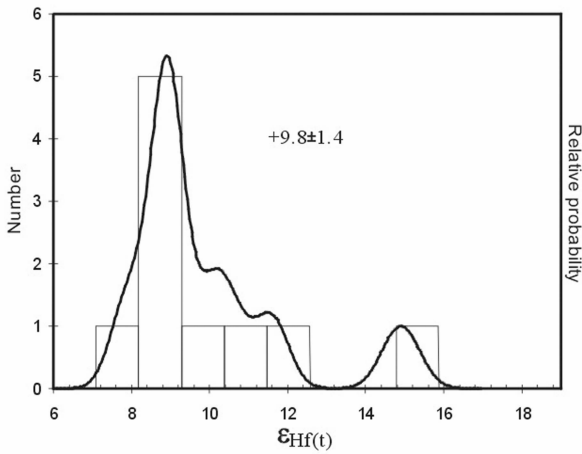


图 6 锆石  $\epsilon_{Hf}(t)$  值柱状图

Fig.6 Histogram of  $\epsilon_{Hf}(t)$  data for zircons

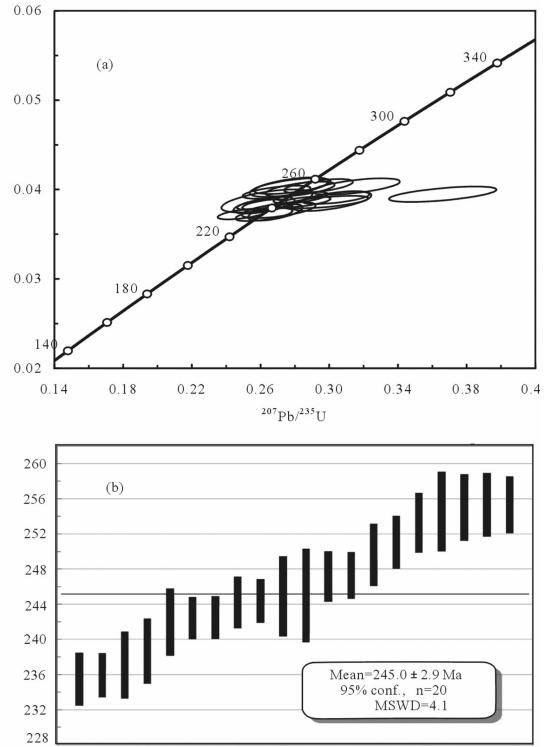


图 5 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年谐和图

Fig.5 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram

$^{177}\text{Hf}$  初始比值、正的  $\epsilon_{Hf}(t)$  值及其对应的单阶段模式年龄 (298~590 Ma) 和地壳模式年龄 (320~773 Ma), 以及在  $\epsilon_{Hf}(t)$ -U-Pb 年龄图解上所有样品都落在球粒陨石线和地幔亏损线之间 (图 7), 揭示其新生地壳或幔源的特征 [37]。岩石中 LILE 强烈富集, HFSE 相对亏损, 与前者的活动性相对较大有关 [38], 反映源区有流体的存在, Th/Yb-Ba/La 图解 (图 8)

表 3 锆石 LA-ICP-MS Lu-Hf 同位素组成  
Table 3 Zircon LA-ICP-MS Lu-Hf isotope data

测试点	$^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ Age/Ma	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$2\sigma$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$2\sigma$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$2\sigma$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}(t)$	$\epsilon_{Hf}(t)$	$2\sigma$	TDM1/Ma	TDMC/Ma
1.1	247	0.283065	0.000027	0.005191	0.000070	0.306101	0.003290	0.283041	14.9	1.0	298	320
3.2	247	0.282887	0.000026	0.002407	0.000024	0.133511	0.001136	0.282876	9.1	0.9	537	694
4.2	245	0.282957	0.000025	0.002095	0.000022	0.108124	0.000837	0.282948	11.6	0.9	430	533
6.2	245	0.282935	0.000028	0.003800	0.000147	0.217979	0.007683	0.282917	10.5	1.0	486	601
9.1	237	0.282913	0.000025	0.001843	0.000028	0.099918	0.001262	0.282904	10.1	0.9	492	630
11.1	250	0.282886	0.000026	0.002316	0.000023	0.127349	0.001068	0.282875	9.0	0.9	538	697
13.2	244	0.282871	0.000027	0.002271	0.000005	0.120479	0.000407	0.282860	8.5	1.0	559	731
15.2	255	0.282884	0.000021	0.002417	0.000079	0.102191	0.000524	0.282873	9.0	0.7	542	702
16.2	244	0.282853	0.000024	0.002626	0.000042	0.149057	0.002750	0.282841	7.8	0.8	590	773
17.2	242	0.282880	0.000021	0.002305	0.000024	0.115201	0.000696	0.282869	8.8	0.8	546	710

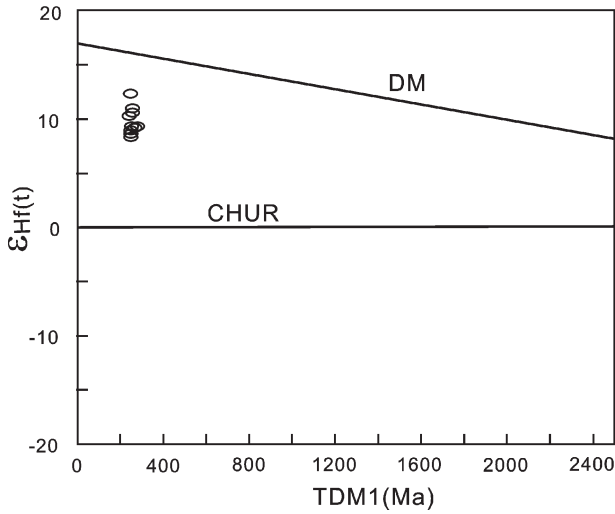


图 7 锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ -U-Pb 年龄图解  
Fig.7 Plots of  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  versus U-Pb ages

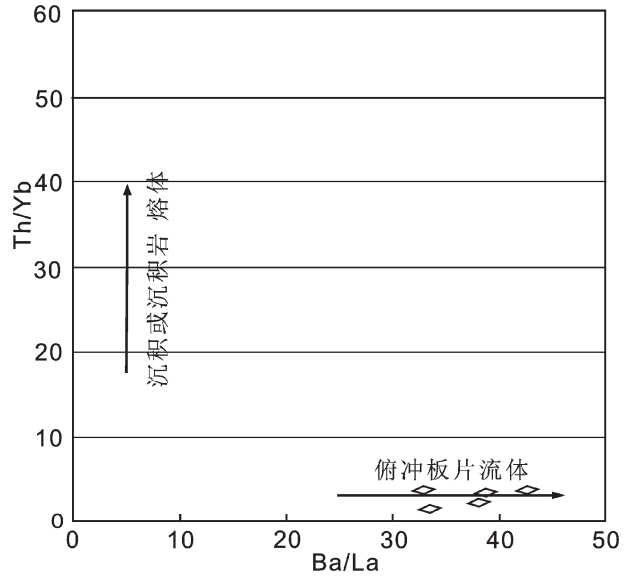


图 8 Ba/La-Th/Yb 图解 (Woodhead et al. [40])  
Fig.8 Th/Yb versus Ba/La discrimination diagram (after Woodhead et al. [40])

和 Yb/Hf (<1.2) 比值, 以及较高  $Mg^\#$  值和 Th、U 的强烈负异常进一步说明闪长岩岩浆的形成与俯冲板片携带的流体有关, 并有幔源组分的特征 [37, 39-44]。由此可以推测那邦闪长岩岩浆为壳-幔混合岩浆, 即在洋壳向下俯冲过程中, 流体或从洋壳上部存在含水沉积物层和蚀变洋壳形成的含水矿物 (蛇纹石、绿泥石等) 层中挤出或因含水矿物发生脱水反应而析出, 在压力梯度作用下进入俯冲板片上部的地幔楔形区, 促使交代地幔橄榄岩部分熔融, 形成基性-超基性岩浆 [39, 45-47]。当这种幔源岩浆在上升过程中与其引起地壳物质部分熔融形成的壳源岩浆混合后形成具有幔-壳混合地球化学和 Lu-Hf 同位素特征的混

合岩浆 [48-52]。

### 5.2 早印支期构造事件响应

那邦闪长岩以偏铝质、富钾、钙碱性为特征, 其微量元素组成, 如 LREE 和 LILE 强烈富集、Th、U、Nb、Ta、Ti 明显负异常, 尤其是 Nb、Ta 和 Ti 的负异常揭示其岛弧型岩浆岩的性质 [29, 31, 32]。在 Sc/Ni-La/Yb 和 Th/Yb-La/Yb 构造环境判别图解上 (图 9-a, b), 样品都落在大陆岛弧或大陆岛弧与演化的洋弧叠加区 [53, 54], 揭示那邦闪长岩形成于俯冲-碰撞的构造环境。腾冲地块内晚二叠-早三叠世地层缺失,

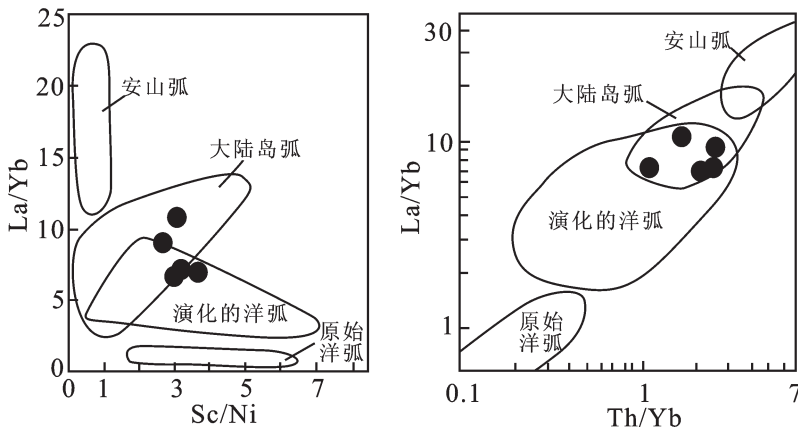


图 9 那邦闪长岩构造环境判别图解 (底图据 Bailey [52] 和 Condie [53])  
Fig.9 Discriminant diagrams of tectonic settings for Nabang diorite in Tengchong block (base map after Bailey [52] and Condie [53])



中—上三叠统与下伏晚石炭世和早二叠世地层角度不整合接触<sup>①</sup>,与拉萨地块一致,表明腾冲地块和拉萨地块在晚二叠—早三叠世都发生地壳隆升。拉萨地块内这一时期地壳隆升、松多榴辉岩带及其相对应的岩浆活动是二叠纪末期(约 263 Ma)拉萨地块与澳大利亚陆块北部边缘发生俯冲—碰撞的产物<sup>[23]</sup>。腾冲地块内虽然至今仍未发现这一时期的榴辉岩带,但分布于地块中部的那邦闪长岩侵位时代(245 Ma)与松多榴辉岩形成时代<sup>[19-22]</sup>及拉萨地块碰撞时间(220~230 Ma)<sup>[24]</sup>相近,形成于俯冲—碰撞构造环境,以及晚二叠—早三叠世地壳隆升都是腾冲地块内对拉萨地块与澳大利亚陆块北部边缘发生俯冲—碰撞的响应,说明腾冲地块在晚二叠世—早三叠世之间也经历了类似的构造事件。那邦闪长岩的发现,为揭示腾冲地块内这一事件的存在打开了一个窗口,相信随着研究工作的深入,会有更多反映这一事件的岩浆岩,甚至榴辉岩将被发现,为研究腾冲地块与拉萨地块的关系,以及特提斯演化提供重要依据。

## 6 结 论

(1)那邦闪长岩为偏铝质、富钾、钙碱性岩浆岩,锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明闪长岩锆石结晶年龄为(245.0±2.9)Ma,是早印支期岩浆活动的产物。

(2)闪长岩锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为+7.8~+14.9,在  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ -U-Pb 年龄图解上所有样品都落在球粒陨石线和地幔亏损线之间、较小的单阶段模式年龄和地壳模式年龄,在 Th/Yb-Ba/La 图解上分布于俯冲板片流体区和 Yb/Hf(<1.2)比值,以及较高  $\text{Mg}^\#$  值和 Th、U 的强烈负异常反映其岩浆来源于上地幔,并有部分壳源物质的加入。

(3)那邦闪长岩偏铝质、富钾、钙碱性特征,LREE 和 LILE 强烈富集、Th、U、Nb、Ta、Ti 明显负异常,以及 Sc/Ni-La/Yb 和 Th/Yb-La/Yb 构造环境判别图解揭示其岛弧型岩浆岩的性质,形成于俯冲—碰撞构造环境。其形成时代与松多榴辉岩带相近、腾冲地块与拉萨地块都缺失晚二叠—早三叠世地层的特点,说明腾冲地块内也存在拉萨地块和澳大利亚陆块北部边缘发生俯冲—碰撞相对应的构造事件。

## 参考文献(References):

- [1] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan - Tibetan orogen [J]. Earth and Planetary Sciences, 2000, 28:211-280.
- [2] Kapp P, Yin A, Harrison T M, et al. Cretaceous -Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet [J]. Geological Society of America Bulletin, 2005, 117:865-878.
- [3] 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.  
Mo Xuanxue, Pan Guitang. From the Tethy to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau:constrained by tectono-magmatic events [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(6):43-51 (in Chinese with English abstract).
- [4] 莫宣学,路凤香,沈上越,等.三江特提斯火山作用与成矿[M].北京:地质出版社,1993:178-235.  
Mo Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, et al. Sanjiang Tethyan volcanism and related mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:178-235 (in Chinese with English abstract).
- [5] 钟大赉.滇川西部古特提斯造山带[M].北京:科学出版社,1998:9-215.  
Zhong Dalai. Paleotethysides in western Yunnan and Sichuan, China [M]. Beijing:Science Press, 1998:9-215 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李兴振,刘文均,王义昭,等.西南三江地区特提斯构造演化与成矿[M].北京:地质出版社,1999:12-276.  
Li Xingzhen, Liu Wenjun, Wang Yizhao, et al. Tethyan tectonic evolution and metallogenese in the Niujiang -Lancangjiang - Jinshajiang area, western Yunnan[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999:12-276(in Chinese with English abstract).
- [7] Searle M P. Structural evolution and sequence of thrusting in the High Himalayan, Tibetan -Tethys and Indus Suture zones of Zaskar and Ladakh, Western Himalaya:Reply [J]. Journal of Structural Geology, 1988, 10:130-132.
- [8] Dewey J F, Shackleton R M, Chang C F, et al. The tectonic evolution of the Tibetan plateau. Philosophical transactions of the Royal Society of London (Series A): mathematical and physical [J]. Sciences, 1988, 327:379-413.
- [9] 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等.印度-亚洲大陆碰撞过程的火山作用响应[J].地学前缘,2003,10(3):135-148.  
Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Deng Jinfu, et al. Response of volcanism to the India-Asia collision [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 135-148 (in Chinese with English abstract).
- [10] Mo X X, Hou Z Q, Niu Y L, et al. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision:evidence from

①云南地质局.区域地质调查报告(1:20万腾冲幅和盈江幅).1982:12-217.

- Cenozoic igneous rocks in southern Tibet [J]. *Lithos*, 2007, 96: 225-242.
- [11] Mo X X, Niu Y L, Dong G C, et al. Contribution of syncollisional felsic magmatism to continental crust growth: a case study of the Paleogene Linzizong volcanic succession in southern Tibet [J]. *Chemical Geology*, 2008, 250:49-68.
- [12] Chung S L, Chu M F, Zhang Y Q, et al. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism [J]. *Earth-Science Reviews*, 2005, 68:173-196.
- [13] 王宏, 林方成, 李兴振, 等. 缅甸中北部及邻区构造单元划分及新特提斯构造演化[J]. *中国地质*, 2012, 39(4):912-922.  
Wang Hong, Lin Fangcheng, Li Xingzhen, et al. Tectonic unit division and Neo-Tethys tectonic evolution in north-central Myanmar and its adjacent areas [J]. *Geology in China*, 2012, 39(4): 912-922(in Chinese with English abstract).
- [14] Tapponnier P, Molnar P. Slip-line field theory and large scale continental tectonics [J]. *Nature*, 1976, 264:319-324.
- [15] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine [J]. *Geology*, 1982, 10:611-616.
- [16] Metcalfe I. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20:551-566.
- [17] Kapp P, DeCelles P G, Gehrels G E, et al. Geological records of the Lhasa - Qiangtang and Indo-Asian collisions in the Nima area of central Tibet [J]. *GSA Bulletin*, 2007, 119: 917-932.
- [18] Leier A L, Decelles P G, Kapp P, et al. Lower Cretaceous strata in the Lhasa Terrane, Tibet, with implications for understanding the early tectonic history of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2007, 77:809-825.
- [19] 杨经绥, 许志琴, 李天福, 等. 青藏高原拉萨地块中的大洋俯冲型榴辉岩: 古特提斯洋盆的残留? [J]. *地质通报*, 2007, 26(10): 1277-1287.  
Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Li Tianfu, et al. Oceanic subduction - type eclogite in the Lhasa block, Tibet, China: Remains of the Paleo-Tethys ocean basin? [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(10): 1277-1287(in Chinese with English abstract).
- [20] Yang J S, Xu Z Q, Li Z L, et al. Discovery of an eclogite belt in the Lhasa block, Tibet: A new border for Paleo-Tethys [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34:76-89.
- [21] 徐向珍, 杨经绥, 李天福, 等. 青藏高原拉萨地块松多榴辉岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及锆石中的包裹体 [J]. *地质通报*, 2007, 26(10):1340-1355.  
Xu Xiangzhen, Yang Jingsui, Li Tianfu, et al. SHRIMP U-Pb ages and inclusions of zircons from the Sumdo eclogite in the Lhasa block, Tibet, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26 (10):1340-1355(in Chinese with English abstract).
- [22] 陈松永, 杨经绥, 徐向珍, 等. 西藏拉萨地块松多榴辉岩的锆石 Lu/Hf 同位素研究及 LA-ICPMS U-Pb 定年 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(7):1528-1538.  
Chen Songyong, Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, et al. Study of Lu-Hf geochemical tracing and LA-ICPMS U-Pb isotopic dating of the Sumdo eclogite from the Lhasa block, Tibet [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24 (7):1528-1538 (in Chinese with English abstract).
- [23] 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.  
Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, et al. Permian and Early Cretaceous tectonomagmatism in southern Tibet and Tethyan evolution: New perspective [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16 (2):1-20(in Chinese with English abstract).
- [24] 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[J]. *岩石学报*, 2008, 24(7):1595-2004.  
Li Huaqi, Cai Zhihui, Chen Songyong, et al. The Indosinian orogenesis occurred in Lhasa terrain and the evidence from muscovite  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  geochronology [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(7):1595-1604 (in Chinese with English abstract).
- [25] 李化启, 许志琴, 蔡志慧, 等. 滇西三江构造带西部腾冲地块内印支期岩浆热事件的发现及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2011, 27 (7):2165-2172.  
Li Huaqi, Xu Zhiqin, Cai Zhihui, et al. Indosinian epoch magmatic event and geological significance in the Tengchong block, western Yunnan Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(7):2165-2172 (in Chinese with English abstract).
- [26] 戴学祥, 朱路华, 胡兆初, 等. 青藏高原东南缘腾冲早白垩世岩浆岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和 Lu-Hf 同位素组成及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2011, 27(11):3409-3421.  
Qi Xuexiang, Zhu Luhua, Hu Zhaochu, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating and Lu-Hf isotopic composition for Early Cretaceous plutonic rocks in Tengchong block, Southeastern Tibet, and its tectonic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27 (11): 3409-3421(in Chinese with English abstract).
- [27] 侯可军. LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用[J]. *岩石学报*, 2007, 23(10):2595-2604.  
Hou Kejun. Laser ablation-MC-ICP-MS technique for Hf isotope microanalysis of zircon and its geological applications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23:2595-2604 (in Chinese with English abstract).
- [28] Wu F Y, Yang Y H, Xie L W, et al. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology [J]. *Chemical Geology*, 2006, 234:105-126.
- [29] Briquieu L, Bougault H, Joron J L. Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones: petrogenetic implications [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1984, 68: 297-308.
- [30] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. *Lithos*, 1999, 46: 605-626.
- [31] Crawford A J, Falloon T J, Eggins S. The origin of island arc high-alumina basalts [J]. *Contributions to Mineralogy and*

- Petrology, 1987, 97:417-430.
- [32] Unwin, Hyman. //Wilson M (eds). Igneous Petrogenesis: a global tectonic approach, 1989:243-416.
- [33] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotope systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D (eds). Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. Publication, 1989, 42:313-345.
- [34] Griffin W L, Pearson N J, Belousova E, et al. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64:133-147.
- [35] King P L, White A J R, Chappell B W, et al. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold belt, south-eastern Australia [J]. *The Journal of Petrology*, 1997, 38: 371-391.
- [36] Wolf M B, London D. Apatite dissolution into peraluminous haplogranitic melts: an experimental study of solubilities and mechanism [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1994, 58:4127-4145.
- [37] Barry T L, Pearce J A, Leat P T, et al. Hf isotope evidence for selective mobility of high-field-strength elements in a subduction setting: South Sandwich Islands [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 25:223-244.
- [38] Tatsumi Y. Migration of fluid phases and genesis of basalt magmas in subduction zones [J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 1989, 94:4697-4707.
- [39] Kepezhinskas P, Defant M J, Drummond M S. Progressive enrichment of island arc mantle by melt-peridotite interaction inferred from Kamchatka xenoliths [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, 60:1217-1229.
- [40] Kepezhinskas P, McDermott F, Defant M, et al. Trace element and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on a three-component model of Kamchatka Arc petrogenesis [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61:577-600.
- [41] Woodhead J D, Hergt J M, Davidson J P, et al. Hafnium isotope evidence for 'conservative' element mobility during subduction zone processes [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 192: 331-346.
- [42] Bolhar R, Weaver S D, Whitehouse M J, et al. Sources and evolution of arc magmas inferred from coupled O and Hf isotope systematics of plutonic zircons from the Cretaceous Separation Point Suite (New Zealand) [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 268:312-324.
- [43] Gagnevin D, Daly J S, Horstwood M S A, et al. In-situ zircon U-Pb, oxygen and hafnium isotopic evidence for magma mixing and mantle metasomatism in the Tuscan Magmatic Province, Italy [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 305:45-56.
- [44] 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.
- [45] Iwamori H. Transportation of H<sub>2</sub>O and melting in subduction zones [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 160:65-80.
- [46] Iwamori H, Richardson C, Maruyama S. Numerical modeling of thermal structure, circulation of H<sub>2</sub>O, and magmatism-metamorphism in subduction zones: implications for evolution of arcs [J]. *Gondwana Research*, 2007, 11:109-119.
- [47] Nakamura H, Iwamori H. Contribution of slab-fluid in arc magmas beneath the Japan arcs [J]. *Gondwana Research*, 2009, 16: 431-445.
- [48] Leeman W. The influence of crustal structure on subduction-related magmas [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1983, 87:561-588.
- [49] Annen C, Blundy J, Sparks S. The genesis of intermediate and silicic magmas in deep crustal hot zones [J]. *Journal of Petrology*, 2006, 47:505-539.
- [50] Qi X X, Zeng L S, Zhu L H, et al. Zircon U-Pb and Lu-Hf isotopic systematics on the Daping plutonic rocks: implications for the Neoproterozoic tectonic evolution in the northeastern margin of the Indochina block, Southwest China [J]. *Gondwana Research*, 2012, 21: 180-193.
- [51] Richards J. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation [J]. *Economic Geology*, 2003, 98:1515-1533.
- [52] Winter J. An introduction to igneous and metamorphic petrology [M]. Prentice Hall., 2001:1-697.
- [53] Bailey J C. Geochemical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites [J]. *Chemical Geology*, 1981, 32:139-154.
- [54] Condie K C. Geochemistry and tectonic setting of early Proterozoic supracrustal rocks in the southwestern United States [J]. *The Journal of Geology*, 1986, 94:845-861.

## The identification of early Indosinian tectonic movement in Tengchong block, western Yunnan: Evidence of zircon U-Pb dating and Lu-Hf isotope for Nabang diorite

HUANG Zhi-ying<sup>1</sup>, QI Xue-xiang<sup>2</sup>, TANG Guan-zong<sup>3</sup>, LIU Jin-ke<sup>4</sup>,  
ZHU Lu-hua<sup>2</sup>, HU Zhao-chu<sup>5</sup>, ZHAO Yu-hao<sup>2</sup>, ZHANG Cao<sup>2</sup>

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. State Key Laboratory of Continental Tectonics and Dynamics; Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Yunnan Gold Mining Group Co., Ltd., Kunming 650224, Yunnan, China; 4. Ningxia Institute of Geological Engineer, Yinchuan 750021, Ningxia China; 5. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

**Abstract:** The Tengchong block is an important part of the southeastern Tibetan Plateau, corresponding to the Lhasa block. The discovery of the Songduo eclogite belt in recent years proves the existence of the subduction and collision event in Lhasa block, and the problem has cropped up whether the same event existed or not in Tengchong block. The Nabang diorite in Tengchong block is a metaluminous, K-rich and calc-alkalic magmatic rock body. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating shows the diorite was emplaced at  $245.0 \pm 2.9$  Ma. The zircon  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  ( $t$ ) values range from +7.8 to +14.9, with corresponding single-stage model ages ranging from 298 to 590 Ma. All samples fall in the region between meteoritic Hf evolution (CHUR) and depleted mantle (DM) lines in the plot of  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  ( $t$ ) values versus U-Pb ages and in the subduction-related fluid field in the Th/Yb versus Ba/La discriminant diagram. These data, in combination with high  $\text{Mg}^\#$  values, low Yb/Hf ratios ( $< 1.2$ ) and negative anomalies of Th and U, indicate that the materials were derived from mantle-derived magma mixed with a little crust-derived magma. The strong enrichment of large-ion lithophile elements relative to the primordial mantle, the negative anomalies of Th, U, Nd, Ta, and Ti in the primitive mantle-normalized trace element spider diagram, and the La/Yb versus Sc/Ni and La/Yb versus Th/Yb tectonic discriminant diagrams suggest that the diorite was formed in a tectonic setting related to subduction and collision. The emplacement age and tectonic setting of the diorite in Tengchong block is identical with the data of eclogite in the Lhasa block, and regional angular unconformity with the lack of P2 to T1, suggests that the subduction-collision in Tengchong block did happen during early Indosinian, like the event that happened between Lhasa and northern Australia blocks from P2 to T1.

**Key words:** Early Indosinian; Nabang diorite; Zircon U-Pb dating; Lu-Hf isotope; Tengchong block

**About the first author:** HUANG Zhi-ying, female, born in 1963, associated researcher, engages mainly in the study of mineralization; E-mail: 281601583@qq.com.

**About the coresponding author:** QI Xue-xiang, male, born in 1963, senior researcher, engages mainly in the study of tectonics and mineralization; E-mail: qxuex2005@163.com.