

滇西腾冲—梁河古近纪花岗岩锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素及地球化学

高永娟¹⁾, 林仕良¹⁾, 丛峰¹⁾, 邹光富¹⁾, 谢韬¹⁾, 唐发伟¹⁾, 李再会¹⁾, 梁婷²⁾

1) 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都, 610081;

2) 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉, 430074

内容提要:滇西腾冲—梁河地区发育古近纪二长花岗岩和钾长花岗岩, 记录了印度-欧亚大陆碰撞的岩浆活动信息。二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 51.4 ± 0.4 Ma, 其 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值为 $0.282554 \sim 0.282592$, $\epsilon_{\text{Hf}}(t) = -6.65 \sim -5.30$, 其二阶段模式年龄为 $1.46 \sim 1.55$ Ga。腾冲—梁河古近纪花岗岩以高 SiO_2 ($68.96\% \sim 78.68\%$)、高 K_2O ($4.56\% \sim 6.29\%$) 和高 Al_2O_3 ($12.40\% \sim 16.42\%$) 为特征, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 $0.93 \sim 7.24$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$, A/CNK 值为 $0.99 \sim 2.31$, 属于富钾钙碱性偏铝—强过铝质花岗岩; 绝大多数样品具有强烈的负 Eu 异常 (Eu/Eu^* 为 $0.19 \sim 0.51$), 富集 Cs、Rb, 亏损 Sr、P、Ti、Ba、Nb、Ta, 具有 Pb 的正异常。元素地球化学特征指示, 其主要源于区域上地壳变质杂砂岩的部分熔融; 结合区域地质, 认为腾梁地区 $62 \sim 51$ Ma 的花岗岩是对印度-欧亚大陆碰撞高峰期的岩浆响应。

关键词: 腾梁花岗岩; 锆石 U-Pb 定年; Hf 同位素; 板块碰撞

近年来, 新特提斯洋俯冲及印度-欧亚大陆的碰撞问题成为地学界研究的热点。西藏冈底斯带、东部察隅及滇西腾冲—梁河(简称腾梁)地区发育大面积中生代岩浆活动, 形成了各种不同类型的花岗岩(Le Fort, 1988), 这些花岗岩的侵位年龄多为 $124 \sim 30$ Ma(吕伯西等, 1993; 董方浏等, 2006; 洪大卫等, 2007; 杨启军等, 2009; 黄玉等, 2010; Xu et al., 2011), 并出现由北向南或由东到西逐渐年轻的变化趋势(吕伯西等, 1993; 洪大卫等, 2007; Xu et al., 2011), 记录了新特提斯洋壳俯冲及印度-欧亚大陆碰撞的复杂地质演化过程。其中以 $65 \sim 41$ Ma 的花岗岩最为集中, 分布面积最广(董国臣等, 2006; 董方浏等, 2006; 喻学惠等, 2008; 谢韬等, 2010; 黄玉等, 2010; 郭丽爽等, 2011), 被认为是印度-欧亚大陆主碰撞阶段的产物(莫宣学等, 2005)。前人对于冈底斯主碰撞期花岗岩的研究已经积累了丰富的年代学和地球化学资料, 为印度-欧亚大陆碰撞的时限及岩浆作用的成因提供了有力的证据(董国臣等, 2006; 黄玉等, 2010; 莫宣学, 2011; 郭丽爽等, 2011; 赵志丹等, 2011)。腾冲岩浆岩带作为青藏高原冈底斯花岗岩带的东南延伸部分(季建清, 1998), 发育不

同岩浆序列和岩石组合的新生代花岗岩(钟大赉等, 1998; 董方浏等, 2006), 前人已对这些花岗岩进行了大量工作, 但主要为花岗岩岩石学和锆石 U-Pb 年代学研究(董方浏等, 2006; 丛峰等, 2010a; 杨启军等, 2009; 谢韬等, 2010; Xu et al., 2011), 未见高精度的锆石 Hf 同位素数据报道。本文首次报道了腾梁地区新生代花岗岩的 Hf 同位素数据, 结合详细的元素地球化学、锆石 U-Pb 年代学, 探讨了新生代花岗岩的成因及其构造意义。

1 地质概况和样品

研究区位于滇西腾冲—梁河地区, 大地构造上属于腾冲地块(图1), 东侧以高黎贡山构造带为界与保山地块相隔, 西侧以葡萄-密支那缝合带为界与西缅地块相隔。研究区主要由元古宙变质基底、中生代花岗岩、新生代火山岩及细碎屑岩组成。元古宙变质基底高黎贡山群主要由黑云母斜长片麻岩、花岗片麻岩、混合岩、云英片岩、斜长角闪岩和变粒岩组成, 变质程度达绿片岩相-角闪岩相。研究区花岗岩面积占一半以上, 主要为与锡矿和稀有金属矿产密切相关的中新生代花岗岩类, 属于腾梁花岗

注: 本文为云南 1:5 万梁河县、江东、帕底幅区域地质调查项目(编号 1212010784007)资助成果。

收稿日期: 2012-12-12; 改回日期: 2013-04-19; 责任编辑: 周健。

作者简介: 高永娟, 女, 1982 年生。工程师, 博士, 主要从事岩石地球化学研究。Email: gaoyongjuan@126.com。

岩的一部分,中新世花岗岩与高黎贡山群呈侵入接触关系,呈 NE—SW 向带状展布,展布方向与喜马拉雅东构造结东南部构造线及龙陵-瑞丽大断裂的延伸方向一致(杨启军等,2009)。

研究区新生代花岗岩主要由二长花岗岩和钾长花岗岩构成。其中二长花岗岩主要为中粗粒变斑状—鳞片粒状变晶结构,矿物组合为钾长石(20%~35%)、斜长石(20%~40%)、黑云母(5%~25%)、石英(25%~45%),副矿物(1%~3%)。钾长花岗岩主要为中粒花岗结构和似斑状结构,矿物组合为钾长石(50%~75%)、斜长石(5%~10%)、石英(20%~40%)、黑云母(5%~8%),副矿物(1%~2%)。本文新生代花岗岩的采样位置见图 1。

2 分析方法

样品的主量元素在中国地质调查局成都地质调查中心用 X 荧光光谱法测定;微量元素在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室 Finnigan MAT ELEMENT ICP-MS 上完成。

锆石挑选在河北省廊坊区域地质调查研究院完成;锆石阴极发光照相在西北大学大陆动力学实验室的阴极荧光光谱仪(型号 Mono CL3+)上完成;锆石 U-Pb 同位素定年在(中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 分析完成,激光剥蚀系统为 GeoLas 2005,束斑直径为 32 μm 。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元

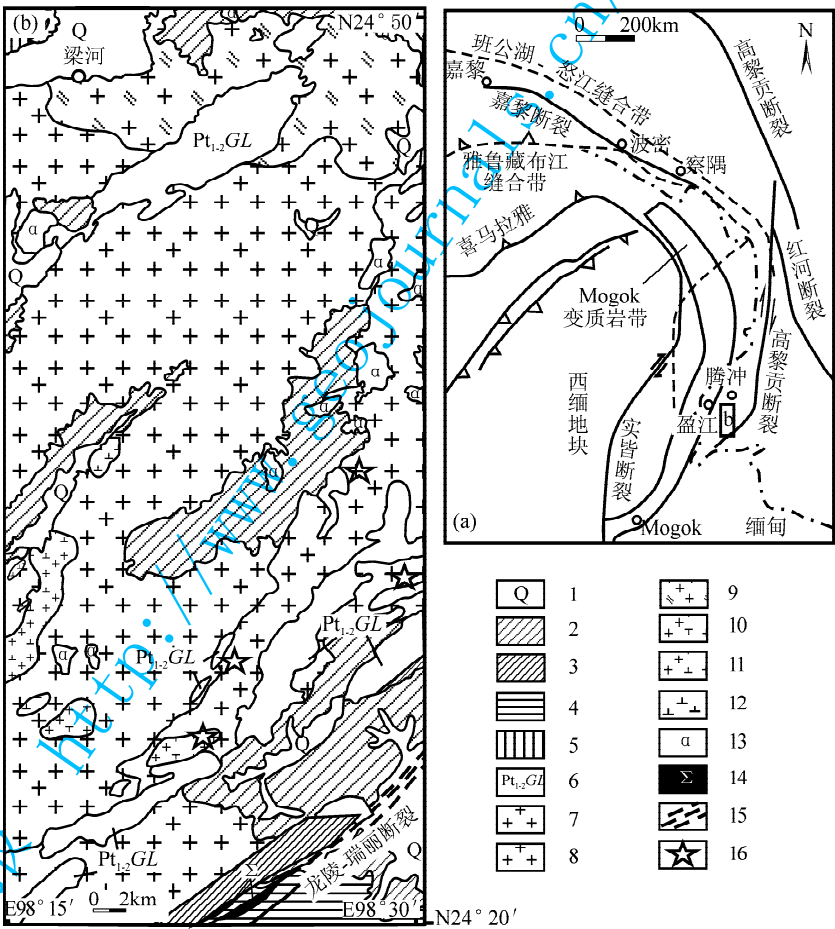


图 1 腾冲—梁河地区地质简图及采样位置

Fig. 1 Geological map of Lianghe area and sampling position

1—第四系;2—新近系;3—白垩纪板岩;4—中生代沉积岩;5—石炭系碎屑岩;6—高黎贡山群;7—古近纪花岗岩;8—早白垩世花岗岩;9—三叠世花岗岩;10—古近纪钾长花岗岩;11—花岗闪长岩;12—闪长岩岩株(脉);13—安山岩;14—橄榄岩;15—断裂;16—采样位置

1—Quaternary;2—Neogene;3—Cretaceous slate;4—Mesozoic sediment;5—Carboniferous elastic;6—Gaoligong Mountains Group;7—Paleogene granites;8—Early Cretaceous granites;9—Triassic granites;10—Paleogene moyites;11—granodiorite;12—diorite strains (dykes);13—andesite;14—peridotite;15—fault;16—sampling position

素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal 完成,详细的仪器操作条件和数据处理方法同 Liu 等(2008,2010)。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3 (Ludwig, 2003)完成。

锆石 Hf 同位素分析是在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室的 MC-ICP-MS 上开展,激光束斑直径 60 μm ,剥蚀频率 10 Hz。详细测试流程和参数见唐红峰等(2008)。在实际分析过程中对国际标准锆石 91500 进行了 Hf 同位素测定,其¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 值为 0.282309 $\pm$ 34(2SD, $n=22$),与文献 Wu 等(2006)报道的数值在误差范围内一致。

3 结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素

本文选择代表性样品 D0137(二长花岗岩)进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素分析。样品 D0137 锆石多为无色透明,半自形到自形,为长柱状、短柱状或粒状,粒径大小在 0.05~0.2 mm 之间,长宽比多在 1.0~2.0 之间。锆石颗粒大都具有典型的岩浆锆石振荡环带,无核边结构,部分锆石阴极发光(CL)图像见图 2。样品 D0137 锆石 Th 含量为 310 $\times 10^{-6}$ ~2982 $\times 10^{-6}$,U 含量为 352 $\times 10^{-6}$ ~5620 $\times 10^{-6}$,Th/U 值为 0.32~2.27,且多数接近于 1,为典型的岩浆成因(表 1)。对 15 颗岩浆锆石 15 个点的分析得出,锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄为 52.3~44.6 Ma,其中 12 个点落在一致线或其附近,它们的加权平均年龄为 51.4 $\pm$ 0.4 Ma,MSWD=1.6,代表了岩浆结晶年龄,说明该二长花岗岩的形成时代为始新世(图 3)。

锆石 Hf 同位素数据如表 2 所示。大多数锆石的¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf 值小于 0.002,说明锆石形成以后具有很少的放射成因 Hf 的积累,所测定的¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 值基本代表了其形成时体系的 Hf 同位素组成。样品 D0137 单颗粒锆石¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 值为 0.282554~0.282592,平均值为 0.282575 $\pm$ 0.000008,对应的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为-6.65~-5.30,亏损地幔模式年龄 T_{DM} 为 0.95~1.01 Ga,平均地壳模式年龄 T_{crust} 为 1.46~1.55 Ga,表明形成腾梁地区始新世花岗岩的初始物质来自于中元古代。

3.2 元素地球化学特征

9 件古近纪花岗岩样品的全岩主量和微量元素分析结果列于表 3。样品具有较高的 SiO₂ 含量

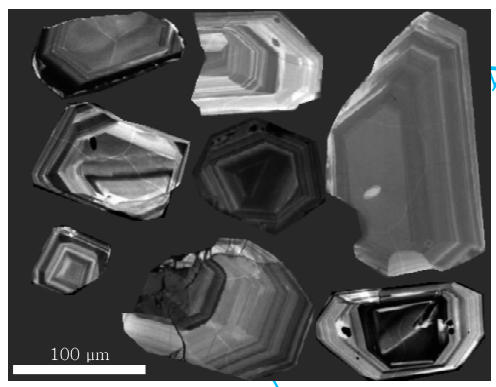


图 2 腾冲—梁河地区古近纪花岗岩样品 D0137 锆石 CL 图像
Fig. 2 CL images of zircons from Tengchong-Lianghe Paleogene granite

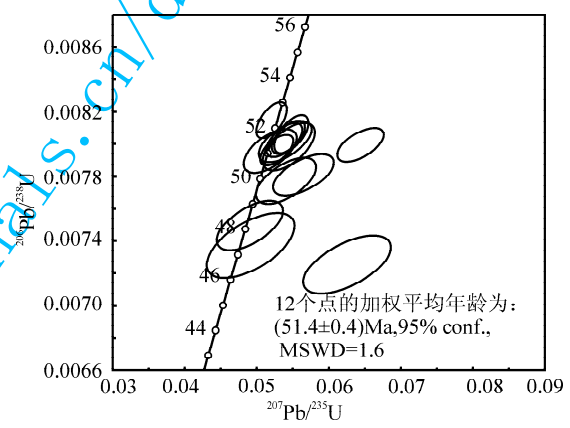


图 3 腾冲—梁河地区古近纪花岗岩样品 D0137 锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig. 3 The U-Pb ages of zircons from Tengchong-Lianghe Paleogene granite

(68.96%~78.68%) 和 K₂O 含量 (4.56%~6.29%),K₂O/Na₂O 值多变化于在 0.93~7.24; Al₂O₃ 含量为 12.40%~16.42%,A/CNK 值变化于 0.99~2.31,Al₂O₃>(K₂O+Na₂O),属于偏铝—强过铝质富钾钙碱性花岗岩。

球粒陨石标准化稀土配分曲线显示(图 4a),样品具有一致的轻稀土富集的右倾型分布模式,(La/Yb)_N 比值为 3.6~19.4,绝大多数样品具有强烈的负 Eu 异常,Eu/Eu* 为 0.19~0.51。在原始地幔标准化多元蛛网图中(图 4b),样品均表现出富集 Cs、Rb 等大离子亲石元素,不同程度亏损 Sr、P、Ti、Ba、Nb、Ta 的特征,具有 Pb 的正异常,Sr 的亏损和负 Eu 异常可能指示源区有斜长石的残留。相似的稀土和微量元素分布特征表明,本区古近纪花岗岩由同源岩浆演化而来。

表 1 腾冲—梁河地区古近纪花岗岩样品 D0137 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of Tengchong-Lianghe Paleogene granite

点号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	同位素比值						年龄 (Ma)			
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
01	1438	4426	0.32	0.0463	0.0013	0.0520	0.0014	0.0081	0.0001	51.5	1.3	52.3	0.5
02	310	352	0.88	0.0635	0.0044	0.0698	0.0051	0.0081	0.0002	68.6	4.9	52.0	1.0
03	2982	5620	0.53	0.0488	0.0014	0.0544	0.0015	0.0080	0.0001	53.8	1.3	51.7	0.4
04	1778	1808	0.98	0.0485	0.0021	0.0539	0.0024	0.0080	0.0001	53.3	2.3	51.5	0.5
05	1887	2512	0.75	0.0584	0.0020	0.0644	0.0021	0.0080	0.0001	63.4	2.0	51.4	0.4
06	1289	1163	1.11	0.0508	0.0027	0.0540	0.0028	0.0078	0.0001	53.4	2.7	49.9	0.6
07	1019	930	1.10	0.0489	0.0042	0.0491	0.0040	0.0074	0.0001	48.7	3.9	47.4	0.8
08	2420	4092	0.59	0.0491	0.0014	0.0548	0.0016	0.0081	0.0001	54.2	1.5	51.8	0.5
09	2722	3062	0.89	0.0486	0.0015	0.0538	0.0016	0.0080	0.0001	53.2	1.6	51.6	0.4
10	609	560	1.09	0.0643	0.0045	0.0625	0.0040	0.0073	0.0001	61.6	3.8	46.6	0.8
11	1000	1774	0.56	0.0472	0.0022	0.0519	0.0024	0.0080	0.0001	51.3	2.3	51.1	0.6
12	984	920	1.07	0.0527	0.0027	0.0565	0.0028	0.0078	0.0001	55.8	2.7	50.2	0.5
13	2497	4248	0.59	0.0478	0.0014	0.0527	0.0015	0.0080	0.0001	52.2	1.5	51.2	0.4
14	815	794	1.03	0.0484	0.0033	0.0490	0.0031	0.0075	0.0001	48.6	3.0	48.2	0.6
15	2464	1087	2.27	0.0493	0.0022	0.0544	0.0024	0.0080	0.0001	53.8	2.3	51.3	0.6

表 2 腾冲—梁河地区古近纪花岗岩样品 D0137 的锆石 Hf 同位素分析结果

Table 2 Zircon Hf isotopic data of sample D0137 from Tengchong-Lianghe Paleogene granite

编号	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1σ	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	T_{DM}	T_{crust}	$f_{\text{Lu/Hf}}$
1	0.034758	0.000623	0.282571	0.000015	-6.00	0.95	1.51	-0.98
2	0.076835	0.001406	0.282577	0.000016	-5.82	0.97	1.50	-0.96
3	0.083485	0.001673	0.282592	0.000017	-5.30	0.95	1.46	-0.95
4	0.115368	0.002246	0.282565	0.000014	-6.27	1.01	1.53	-0.93
5	0.058913	0.001095	0.282580	0.000015	-5.70	0.95	1.49	-0.97
6	0.079873	0.001711	0.282573	0.000014	-5.97	0.98	1.51	-0.95
7	0.093456	0.001852	0.282580	0.000011	-5.73	0.97	1.49	-0.94
8	0.099891	0.001948	0.282554	0.000016	-6.65	1.01	1.55	-0.94
9	0.082972	0.001642	0.282569	0.000013	-6.11	0.98	1.52	-0.95
10	0.079189	0.001523	0.282588	0.000017	-5.43	0.95	1.47	-0.95

注: Hf 同位素组成按 $t=51.4\text{ Ma}$ 计算; $\lambda=1.867\times 10^{-11}\text{ a}^{-1}$ (Soderlund et al., 2004); $(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{CHUR}}=0.0332$, $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{CHUR},0}=0.282772$ (Blichert et al., 1997); $(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}=0.0384$, $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{DM}}=0.28325$ (Griffin et al., 2000); $(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{平均地壳}}=0.015$ (Griffin et al., 2002)。

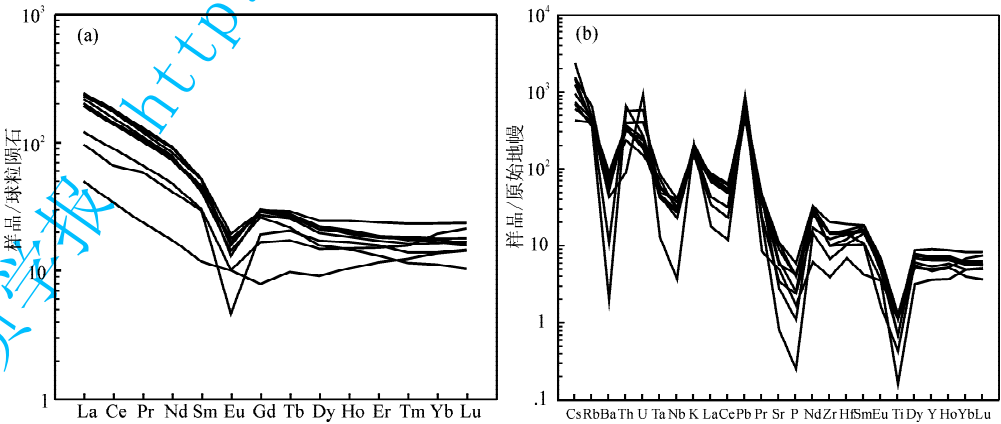


图 4 腾冲—梁河地区古近纪花岗岩全岩稀土(a)和微量元素(b)分布特征(标准化值引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4 The REE (a) and trace element (b) patterns of Paleogene granite in Tengchong-Lianghe area (data of chondrite and PM are from Sun and McDonough, 1989)

表 3 腾冲—梁河地区古近纪花岗岩主量元素(%)和微量元素($\times 10^{-6}$)组成

Table 3 Major (%) and trace ($\times 10^{-6}$) elements of Paleogene granite in Tengchong-Lianghe area, western Yunnan

样品号	D0031	D0137	D4160	PM02-9	PM02-11	PM02-17	PM11-9	PM15-5-1	PM15-5-2
SiO ₂	76.70	78.68	68.96	70.96	73.50	71.02	72.86	75.20	69.97
TiO ₂	0.15	0.09	0.24	0.24	0.15	0.28	0.27	0.04	0.25
Al ₂ O ₃	12.53	12.40	16.42	14.26	13.68	14.42	13.96	13.35	14.87
TFe ₂ O ₃	1.24	0.61	2.22	2.45	1.67	2.45	2.12	0.37	1.80
MnO	0.06	0.03	0.07	0.07	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04
MgO	0.20	0.06	0.42	0.90	0.30	0.60	0.39	0.06	0.29
CaO	0.80	0.56	0.27	2.13	1.29	1.99	1.70	1.11	1.06
Na ₂ O	3.03	3.24	0.49	3.07	2.73	3.05	2.68	2.80	3.35
K ₂ O	5.22	4.56	5.38	4.65	5.53	4.94	5.04	6.28	6.29
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.05	0.09	0.06	0.13	0.69	0.04	0.09
LOI	0.27	0.55	5.08	0.62	0.66	0.57	0.74	0.69	1.91
Total	100.23	100.79	99.60	99.44	99.61	99.51	99.89	99.96	99.93
K ₂ O/Na ₂ O	1.14	0.93	7.24	1.00	1.34	1.07	1.24	1.48	1.24
A/CNK	1.04	1.10	2.31	1.02	1.07	1.03	1.08	0.99	1.04
Sc	4.19	3.95	5.79	7.49	5.80	6.48	5.01	1.35	3.91
V	5.59	1.36	20.9	33.8	11.4	27.3	21.5	1.50	15.8
Cr	9.88	2.84	12.1	24.0	8.58	9.28	5.25	2.12	9.06
Ni	3.75	1.38	6.65	13.2	3.99	4.10	2.40	1.99	2.68
Cu	4.48	8.22	3.01	36.7	36.0	22.6	3.23	5.22	5.03
Zn	34.0	20.2	52.8	52.9	48.4	53.5	41.1	8.42	41.4
Rb	262	226	409	287	290	267	254	253	295
Sr	59.5	17.3	73.2	227	132	232	189	105	121
Y	30.7	24.5	22.6	41.0	32.8	33.0	29.5	16.5	21.1
Zr	112	76.0	138	166	161	226	161	43.6	111
Nb	26.2	29.0	29.3	22.6	20.5	19.6	16.5	2.6	20.4
Cs	4.74	5.45	12.0	5.72	7.52	9.78	3.40	11.5	18.8
Ba	76.9	14.1	365	465	498	633	585	300	559
La	56.0	23.5	29.3	48.9	57.6	58.9	46.6	12.1	53.0
Ce	109	41.6	56.2	90.4	109	114	87.2	21.4	97.9
Pr	11.7	5.71	6.48	10.4	12.2	12.7	9.92	2.32	10.8
Nd	40.1	19.9	23.1	36.3	43.5	44.6	35.0	8.37	37.8
Sm	8.03	4.63	4.75	7.20	8.04	8.18	6.81	1.86	6.51
Eu	0.777	0.275	0.604	1.00	0.940	1.15	1.07	0.597	0.85
Gd	6.11	4.06	3.51	6.27	6.34	6.09	5.75	1.67	5.51
Tb	1.05	0.788	0.665	1.12	1.07	1.02	0.982	0.374	0.833
Dy	5.73	4.50	3.86	6.42	5.78	5.46	5.14	2.37	4.10
Ho	1.13	0.970	0.867	1.43	1.20	1.17	1.07	0.606	0.855
Er	3.09	2.68	2.56	4.03	3.19	3.18	2.92	1.98	2.23
Tm	0.467	0.363	0.410	0.608	0.456	0.481	0.425	0.325	0.302
Yb	2.90	2.42	3.39	4.06	3.08	3.12	2.85	2.39	1.96
Lu	0.413	0.379	0.555	0.612	0.425	0.467	0.441	0.373	0.271
Hf	3.81	3.14	4.38	4.55	4.91	5.88	4.39	2.16	3.25
Ta	2.30	2.02	3.43	2.46	1.88	1.69	1.81	0.530	3.02
Pb	30.6	33.9	62.2	40.6	44.3	36.9	44.7	47.2	39.6
Th	55.3	47.9	33.4	26.4	28.8	30.5	28.2	7.62	20.1
U	5.66	12.2	8.44	5.02	4.29	5.37	3.87	19.3	3.15
(La/Yb) _N	13.9	7.0	6.2	8.6	13.4	13.5	11.7	3.6	19.4
Eu/Eu*	0.33	0.19	0.43	0.45	0.39	0.48	0.51	1.01	0.42
Ce/Ce*	0.96	0.85	0.93	0.90	0.92	0.94	0.91	0.87	0.91

注:Eu/Eu* = $Eu_N / (0.5 Sm_N + 0.5 Gd_N)$; Ce/Ce* = $Ce_N / (2/3 La_N + 1/3 Nd_N)$; N 表示球粒陨石标准化后的值(Sun and McDonough, 1989)。

4 讨论

4.1 源区及岩石成因

本文古近纪二长花岗岩(D0137)具有负的锆石

$\epsilon_{Hf}(t)$ 值($-6.65 \sim -5.30$), Hf 模式年龄 T_{crust} 为 $1.55 \sim 1.46$ Ga, 指示其源区主要为古老的地壳物质。此外,对研究区古近纪不同花岗岩体的 Nd 同位素研究显示,其 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值变化于 $-11.2 \sim -7.7$,

亏损地幔 Nd 模式年龄为 1.8~1.5 Ga,远大于花岗岩结晶年龄^①,而与研究区中生代花岗岩锆石 Hf 模式年龄(1.8~1.5 Ga)(丛峰等,2010b;2011)及腾冲地块东侧龙陵混合岩的亏损地幔 Nd 模式年龄(1.9~1.5 Ga)和锆石 Hf 模式年龄(1.8~1.5 Ga)一致(陈福坤等,2006),并接近于研究区高黎贡山群的锆石 Hf 模式年龄(~1.7 Ga)(Cong et al., 2011),表明古中元古代结晶基底是形成腾梁地区中新生代花岗岩的主要物质源区。

本文古近纪花岗岩的 A/CNK 值多大于 1,属于过铝质花岗岩,而过铝质花岗岩很可能是由沉积岩或副变质岩部分熔融形成。腾冲—梁河古近纪花岗岩的 CaO/Na₂O 值为 0.19~0.77,且绝大多数大于 0.3,在 CaO/(MgO + FeO)-Al₂O₃/(MgO + FeO)图解中(图 5a),多数样品分布于变质杂砂岩区域,指示其源区成分以变质杂砂岩为主,含少量泥质岩。样品的 Rb/Sr 值为 1.2~13.1,Rb/Ba 值为 0.42~16.0,Rb/Sr-Rb/Ba 关系图(图 5b)显示其源岩为富黏土的源岩。腾冲—梁河古近纪花岗岩显示 Rb、Cs、Th、U、K、Pb 的富集和 Ba、P、Ti、Sr 的亏损以及强烈的负 Eu 异常(图 4),具有极高的 Th($20.1 \times 10^{-6} \sim 55.3 \times 10^{-6}$,仅 1 件样品为 7.62×10^{-6})、U($3.15 \times 10^{-6} \sim 19.3 \times 10^{-6}$)和 Pb($30.6 \times 10^{-6} \sim 62.2 \times 10^{-6}$)含量及强烈的负 Eu 异常($Eu/Eu^* = 0.19 \sim 0.51$,仅 1 件样品为 1.01),揭示其源岩为典型的土地壳岩石(Rudnick and Fountain, 1995)。为此我们初步认为,腾冲—梁河地区古近纪富钾钙碱性过铝质花岗岩是以富黏土变质杂砂岩夹少量泥质岩的地壳岩石部分熔融的产物。

4.2 腾梁地区新生代岩浆作用

锆石 U-Pb 定年结果显示,研究区新生代花岗岩的岩浆结晶年龄集中在 62~55 Ma^①。本文对区内二长花岗岩的锆石 U-Pb 定年,得出其岩浆结晶年龄为 51 Ma,指示本区存在早始新世岩浆活动。研究区新生代花岗岩的年龄(62~51 Ma)与腾冲地块西部槟榔江岩带花岗岩的年龄(66~50 Ma)基本一致(董方浏等,2006),侵位时代集中于古新世—早始新世。此外,本区高黎贡山群变粒岩中还获得 55 Ma 的变质年龄(李再会等,2012a);高黎贡山群延伸至西缅甸内 Mogoke 变质岩带,发现了~59 Ma 变质事件(Searle et al., 2007)。最近的研究在本区高黎贡剪切带获得始新世中期的岩浆结晶年龄(42 Ma)(李再会等,2012b),该年龄的花岗岩在腾梁花岗岩带西部的古永岩带见有出露(43~41 Ma)(董方浏等,2006),而腾梁—高黎贡地区还广泛分布 40 Ma 的基性岩墙(Xu et al., 2008)。以上年龄信息表明,腾梁地区古新世—始新世构造岩浆活动较为集中。

4.3 构造背景探讨

中新生代以来,西藏冈底斯带及滇西地区发育大规模岩浆活动,记录了大量印度-欧亚大陆碰撞的时间信息。尽管印度大陆与欧亚大陆初始碰撞的时间仍存在争议,但多数学者认为两大陆强烈碰撞的时间为 55 Ma 前后(Besse et al., 1984; Beck et al., 1995; 王成善等,2003; Ding et al., 2005; 莫宣学,2011),主碰撞期造山阶段为 65~41 Ma(侯增谦等,2006)。在喜马拉雅东构造结,董方浏等(2006)通过对腾冲新生代花岗岩的研究认为主碰撞的时间为 66~59 Ma,古生物数据显示青藏高原东部主碰

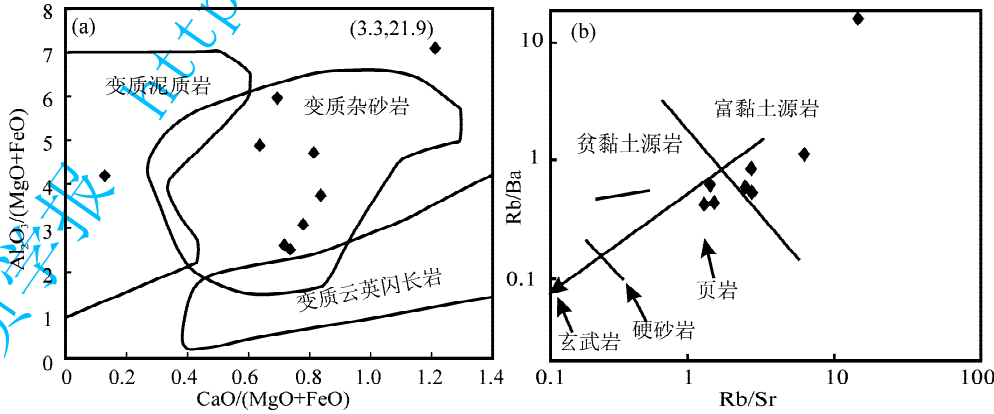


图 5 腾冲—梁河地区古近纪花岗岩 CaO/(MgO+FeO)-Al₂O₃/(MgO+FeO)图解(Altherr et al., 2000)

Fig. 5 Plot of CaO/(MgO+FeO)-Al₂O₃/(MgO+FeO) and Rb/Sr-Rb/Ba (b) for Paleogene granite in Tengchong-Lianghe area (after Altherr et al., 2000)

撞结束时间为 50~41 Ma (Rowley et al., 1996; DeCelles et al., 2004)。

滇西腾梁花岗岩由古永岩群、槟榔江岩群的若干个花岗岩体组成(杨启军等, 2009), 古永花岗岩带位于本文研究区的西侧, 其最早期侵位的晚白垩世强过铝质花岗岩花岗岩(76~68 Ma)分布于该岩带北部(杨启军等, 2009; Xu et al., 2011); 中部则发育准铝质-过铝质的二长花岗岩和白云母花岗岩组合, 年龄为 66~58 Ma(董方浏等, 2006), 南部大规模侵位的准铝质正长花岗岩和二长花岗岩, 其同位素年龄集中在 54~52 Ma 和 43~41 Ma(董方浏等, 2006)。尽管本文花岗岩的年龄相对古永岩带南部新生代花岗岩偏老, 但与之有着相同的岩石组合和极其相似的微量元素组成特征。同时, 位于古永花岗岩带西侧的槟榔江花岗岩带, 发育早始新世(~53 Ma)准铝-过铝质花岗岩(杨启军等, 2009), 而其岩石地球化学特征可与古永岩带中部古新世花岗岩(66~58 Ma)相对比。可见, 腾梁新生代花岗岩不仅在侵位年龄上呈现整体由北向南年轻化趋势, 且具有相同岩石组合及地球化学组成的花岗岩似乎也表现出自东向西随时间逐渐推移的特征, 这一现象与腾梁地区混合岩化作用的时间(80~30 Ma)由东向西逐渐年轻化的趋势一致(范承钧, 1982), 反映了印度与欧亚大陆碰撞不同阶段的地质演化过程(洪大卫等, 2007; 吕伯西等, 1993; 杨启军和徐义刚, 2011)。

如前所述, 研究区新生代富钾的钙碱性过铝质花岗岩(62~51 Ma)主微量元素特征揭示, 其源于区域上地壳变质杂砂岩的深熔作用。另有研究表明, 本区早古生代片麻状花岗岩经历了晚白垩世—古新世地壳深熔事件(丛峰等, 2009); 本区西侧同属腾梁岩浆带的来利山紫苏花岗岩(59.8 Ma)源于地壳深处紫苏麻粒岩的重熔(高子英, 1992); 高黎贡山群副片麻岩被认为是古近纪沉积物(~53 Ma)俯冲到地壳深部经变质深熔作用形成的(Song et al., 2010)。以上这些现象均指示了古新世—始新世强烈的地壳加厚事件(Song et al., 2010), 很可能指示了印度板块与欧亚板块碰撞高峰期。因此, 我们认为研究区 62~51 Ma 的花岗岩是对印度-欧亚大陆碰撞高峰期的岩浆响应, 而此后~40 Ma 的岩浆活动可能指示了特提斯板片的断离(Xu et al., 2008)。

5 结论

(1) 锆石 U-Pb 定年结果显示, 腾冲—梁河新生

代二长花岗岩的岩浆结晶年龄为 51.4 ± 0.4 Ma, 指示研究区存在早始新世岩浆活动。

(2) 研究区古近纪花岗岩以高 SiO_2 、高 K_2O 和高 Al_2O_3 为特征, 属于富钾钙碱性偏铝—强过铝质花岗岩, 元素地球化学特征指示其主要源于区域上地壳变质杂砂岩的深熔作用。

(3) 结合区域地质, 认为腾梁地区 62~51 Ma 的花岗岩是对印度-欧亚大陆碰撞高峰期的岩浆响应。

致谢: 锆石 U-Pb 定年测试得到了中国地质大学(武汉)胡兆初教授的帮助, Hf 同位素测试得到了西北大学张红老师的帮助, 成文过程与刘函、张士贞、王冬兵、唐渊工程师等进行了有益讨论, 审稿专家对本文提出了宝贵的修改意见, 在此一并表示感谢。

注 释

① 中国地质调查局成都地质调查中心. 2011. 云南 1:5 万梁河幅、江东幅、帕底幅区域地质调查报告。

参 考 文 献

- 陈福坤, 李秋立, 王秀丽, 李向辉. 2006. 滇西地区腾冲地块东侧混合岩锆石年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素组成. 岩石学报, 22(2): 439~448.
- 丛峰, 林仕良, 李再会, 等. 2009. 滇西腾冲地块片麻状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄. 地质学报, 83(5): 651~658.
- 丛峰, 林仕良, 谢韬, 李再会. 2010a. 滇西腾冲—梁河地区花岗岩锆石稀土元素组成和 U-Pb 同位素年龄. 吉林大学学报(地球科学版), 40(3): 573~580.
- 丛峰, 林仕良, 唐红峰, 谢韬, 李再会, 邹光富, 彭智敏, 梁婷. 2010b. 滇西梁河三叠纪花岗岩的锆石微量元素、U-Pb 和 Hf 同位素组成. 地质学报, 84(8): 1155~1164.
- 丛峰, 林仕良, 邹光富, 李再会, 谢韬, 彭智敏, 梁婷. 2011. 梁河花岗岩岩浆混合作用. 中国科学(D 辑: 地球科学), 41(4): 468~481.
- 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 朱弟成, 王亮亮, 陈涛, 李冰. 2006. 冈底斯岩浆带中段岩浆混合作用——来自花岗杂岩的证据. 岩石学报, 22(4): 835~844.
- 董方浏, 侯增谦, 高永丰, 曾普胜, 蒋成兴. 2006. 滇西腾冲新生代花岗岩: 成因类型与构造意义. 岩石学报, 22(4): 927~937.
- 范承钧. 1982. 滇西区域地质特征. 云南地质, 1(4): 323~336.
- 高子英. 1992. 腾冲—梁河间来利山紫苏花岗岩的特征及成因. 云南地质, 11(1): 9~14.
- 郭丽爽, 刘玉琳, 刘鸿飞, 梁婷, 王政华, 陈磊. 2011. 冈底斯岩浆带南部桑耶寺北莫郎侵入体年代学和岩石成因. 岩石学报, 27(12): 3545~3556.
- 黄玉, 赵志丹, 张凤琴, 朱弟成, 董国臣, 周肃, 莫宣学. 2010. 西藏冈底斯仁布—拉萨一带花岗岩基的地球化学及其意义. 岩石学报, 26(10): 3131~3142.
- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 杨志明, 董国臣, 丁林. 2006. 印度大陆与亚

- 洲大陆早期碰撞过程与动力学模型——来自西藏冈底斯新生代火成岩证据. 地质学报, 80(9): 1234~1248.
- 洪大卫, 王涛, 童英. 2007. 中国花岗岩概述. 地质评论, 53(增刊): 9~17.
- 季建清. 1998. 腾冲—孟连—那邦地区岩石学与新生代岩石圈构造演化. 中国科学院地质研究所博士学位论文.
- 李再会, 林仕良, 丛峰, 谢韬, 邹光富. 2012a. 滇西高黎贡山群变质岩的锆石年龄及其构造意义. 岩石学报, 28(5): 1529~1541.
- 李再会, 王立全, 林仕良, 丛峰, 谢韬, 邹光富. 2012b. 滇西高黎贡剪切带内花岗岩类糜棱岩的锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 地质通报, 31(8): 1287~1295.
- 吕伯西, 王增, 张能德, 段建中. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性. 北京: 地质出版社, 1~328.
- 莫宣学. 2011. 岩浆作用与青藏高原演化. 高校地质学报, 17(3): 351~367.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 周肃, 王亮亮, 邱瑞照, 张风琴. 2005. 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. 高校地质学报, 11(3): 281~290.
- 唐红峰, 赵志琦, 黄荣生, 韩宇捷, 苏玉平. 2008. 新疆东准噶尔 A 型花岗岩的锆石 Hf 同位素初步研究. 矿物学报, 28: 335~342.
- 王成善, 李祥辉, 胡修棉. 2003. 再论印度—亚洲大陆碰撞的启动时间. 地质学报, 77(1): 16~24.
- 杨启军, 徐义刚, 黄小龙, 罗震宇, 石玉若. 2009. 滇西腾冲—梁河地区花岗岩的年代学、地球化学及其构造意义. 岩石学报, 25: 1092~1104.
- 杨启军, 徐义刚. 2011. 滇西怒江—高黎贡构造带内花岗岩的侵位过程及其对特提斯演化过程的响应. 吉林大学学报(地球科学版), 41(5): 1353~1361.
- 谢韬, 林仕良, 丛峰, 李再会, 邹光富, 李军敏. 2010. 滇西梁河地区钾长花岗岩锆石 LAICPMS+UPb 定年及其地质意义. 大地构造与成矿学, 34(3): 419~428.
- 喻学惠, 肖晓牛, 杨贵来, 莫宣学, 曾善胜, 王晋璐. 2008. 滇西三江南段几个花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报, 24(2): 377~383.
- 赵志丹, 朱弟成, 董国臣, 莫宣学, Don Depaolo, 贾黎黎, 胡兆初, 袁洪林. 2011. 西藏当雄南部约 54 Ma 辉长岩—花岗岩杂岩的岩石成因及意义. 岩石学报, 27(12): 3513~3524.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社, 1~232.
- Altherr R, Holl A, Hegner E, Langer C, Kreuzer H. 2000. High-potassium, calcalkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany). Lithos, 50, 51~73.
- Beck R A, Burbank D W, Sercombe W J, Riley G W, Barndt J K, Shafique N A, Lawrence R D, Khan M A. 1995. Stratigraphic evidence for an early collision between northwest India and Asia. Nature, 373: 55~58.
- Besse J, Courtillot V, Possi J P, Westphal M, Zhou X Y. 1984. Paleomagnetic estimates of crustal shortening in the Himalayan thrusts and Zangbo suture. Nature, 311: 621~626.
- Blichert J, Albarede F. 1997. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system. Earth Planet Science Letters, 148: 243~258.
- Cong F, Lin S L, Zou G F, et al. 2011. Geochronology and Petrogenesis for the Protolith of Biotite Plagioclase Gneiss at Lianghe, Western Yunnan. Acta Geologica Sinica, 85(4): 870~880.
- Ding L, Kapp P, Zhong D, Deng W. 2005. Paleocene-Eocene record of ophiolite obduction and initial India-Asian collision, south central Tibet. Tectonics, 24: 1~18.
- DeCelles P G, Gehrels G E, Najman Y, Martin A J, Carter A, Garzanti E. 2004. Detrital geochronology and geochemistry of Cretaceous-Early Miocene strata of Nepal: Implications for timing and diachroneity of initial Himalayan orogenies. Earth and Planetary Science Letters, 227: 313~330.
- Griffin W L, Pearson N J, Belousova E, Jackson S E, van Acherbergh E, Reilly S Y, Shee S R. 2000. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LA-MC-ICP-MS analysis of zircon megacrysts in kimberlites. Geochimica et Cosmochimica Acta, 64: 133~147.
- Griffin W L, Wang X, Jackson S E, Pearson N J, O'Reilly S Y, Xu X S, Zhou X M. 2002. Zircon chemistry and magma mixing, SE China: In situ analysis of Hf isotopes, Tonglu and Pingtan igneous complexes. Lithos, 61: 237~269.
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q, Wang D B. 2010. 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 of mantle xenoliths. Journal of Petrology, 51: 537~571.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Genthner D, Xu J, Gao C G, Chen H H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 257: 34~43.
- Le Fort P. 1988. Granites in the tectonic evolution of the Himalaya, Karakoram and southern Tibet. Phil. Transactions Research Society, London 326 (A), 281~299.
- Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California.
- Rowley D B. 1996. Age of initiation of collision between India and Asia: A review of stratigraphic data. Earth and Planetary Science Letters, 145: 1~3.
- Rudnick R L, Fountain D M. 1995. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective. Reviews of Geophysics, 33: 267~309.
- Searle M P, Noble S R, Cottle J M, Waters D J, Mitchell A H G, Hlaing T, Horstwood M S A. 2007. Tectonic evolution of the Mogoke metamorphic belt, Burma (Myanmar) constrained by U-Th-Pb dating of metamorphic and magmatic rocks. Tectonics, 26, TC3014. Doi: 10.1029/2006TC002083.
- Soderlund U, Patchett P J, Vervoort J D, Isachsen C E. 2004. The ¹⁷⁶Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions. Earth Planet Science Letters, 219: 311~324.
- Song S G, Niu Y L, Wei C J, Ji J Q, Su L. 2010. Metamorphism,

anatexis, zircon ages and tectonic evolution of the Gongshan block in the northern Indochina continent: An eastern extension of the Lhasa Block. *Lithos*, 120: 327~346

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J, eds. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, 42: 313~345.

Wu F Y, Yang Y H, Xie L W, Yang J H, Xu P. 2006. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 234: 105~126

Xu YG, Lan JB, Yang QJ, Huang XL, Qiu HN, 2008. Eocene break-off of the Neo-Tethyan slab as inferred from intraplate-type basaltic dykes in the Gaoligong Belt, eastern Tibet. *Chemical geology*, 255:439~453

Xu Y G, Yang Q J, Lan J B, et al. 2012. Temporal-spatial distribution and tectonic implications of the batholiths in the Gaoligong-Tengliang-Yingjiang area, western Yunnan: Constraints from zircon U-Pb ages and Hf isotopes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53:151~175.

Zircon U-Pb Geochronology, Zircon Hf Isotope and Bulk Geochemistry of Paleogene Granite in the Tengchong-Lianghe Area, Western Yunan

GAO Yongjuan¹⁾, LIN Shiliang¹⁾, CONG Feng¹⁾, ZOU Guangfu¹⁾,
XIE Tao¹⁾, TANG Fawei¹⁾, LI Zhaihui¹⁾, LIANG Ting²⁾

1) *Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu, 610081;*

2) *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan, 430074*

Abstract

Paleogene adamellite and feldspar granite developed in the Tengchong-Lianghe area, Western Yunnan, records magmatism information during the collision between Indian and Asian continents. The LA-ICP-MS zircon U-Pb age of typical adamellite is 51.4 ± 0.4 Ma, with $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ ratio of $0.282554 \sim 0.282592$ and $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values of -6.65 to -5.30 , and Hf modal ages are $1.46 \sim 1.55\text{Ga}$. Major elements of Paleogene granite from the Tengchong-Lianghe area are characterized by high SiO_2 ($68.96\% \sim 78.68\%$), K_2O ($4.56\% \sim 6.29\%$) and Al_2O_3 ($12.40\% \sim 16.42\%$), and have $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratios of $0.93 \sim 7.24$, A/CNK values of 0.99 to 2.31 with $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$. These features suggest that the granite belongs to metaluminous-strongly peraluminous high K calc-alkaline granite. Most samples show strong negative Eu anomalies with Eu/Eu^* values of 0.49 to 0.51 , enrichment of Cs, Rb, Pb and depletion of Sr, P, Ti, Ba, Nb and Ta. Elements geochemical features signify that the granites might be generated from upper crust by partial melting of metagraywacke. Basing on the regional geology, we suggest the Tengliang granites ($62 \sim 51$ Ma) might respond to the magmatic events at the peak period of India-Asia collision.

Key words: Tengchong-Lianghe granite; zircon U-Pb age; Hf isotope; continent-continent collision