

# 滇西腾-梁地块印支造山事件 ——花岗岩的锆石 U-Pb 年代学和岩石学证据

李再会 林仕良 丛峰 邹光富 谢韬

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

**摘要:**滇西腾冲-梁和地区分布大量的花岗岩,对其中的二云母花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、锆石 Hf 同位素组成和地球化学的测定。结果表明,岩石属于过强铝质花岗岩,  $A/CNK = 1.11 \sim 1.20$ ,  $K_2O/Na_2O$  为  $1.87 \sim 2.20$ 。岩石富 Rb、Th 和 U 等元素,  $Eu/Eu^* = 0.25 \sim 0.47$  ( $La/Yb)_N = 6.53 \sim 34.06$ 。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果表明:二云母花岗岩体存在  $256.0 \pm 5.6$  Ma ( $2\sigma$ , MSWD = 4.1) 和  $234.1 \pm 3.1$  Ma ( $2\sigma$ , MSWD = 5.6) 两个岩浆作用幕。根据花岗岩的地球化学特征和 Hf 同位素组成,二云母花岗岩岩浆来源于古老地壳中含粘土质变质硬砂岩的部分熔融。腾-梁地块晚二叠世-中三叠世碰撞型过强铝花岗岩的确定表明,三江古特提斯洋在印支早期曾发生碰撞造山,三江印支早期造山事件与古特提斯洋的闭合与随后的造山作用存在密切联系。

**关键词:**印支期花岗岩类;锆石 U-Pb 年龄;Hf 同位素;地球化学;腾-梁地块;滇西

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1; P596

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)03-0298-15

## Indosinian orogenesis of the Tengchong-Lianghe block, Western Yunnan: evidence from zircon U-Pb dating and petrogenesis of granitoids

LI Zai-hui, LIN Shi-liang, CONG Feng, ZOU Guang-fu and XIE Tao

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Lots of granitoids are distributed in Tengchong-Lianghe area, western Yunnan Province. According to data available, the ages of these granitoids are mostly concentrates in the Late Mesozoic-Cenozoic period. In this paper, ages of Late Permian-Middle Triassic peraluminous granites in this area were obtained for the first time. Granitoid bodies are distributed near southeastern Lianghe County. The major rock types include mainly grayish medium-grained two-mica granite and subordinately gray fine-grained two-mica granite in the form of bosses or dikes one to several meters in width scattered in medium-grained two-mica granite. The medium-grained two-mica granite exhibits hypidiomorphic granular texture and is mainly composed of K-feldspar (perthite,  $\pm 40\%$ ), quartz ( $\pm 30\%$ ), plagioclase (oligoclase,  $\pm 15\%$ ), biotite and muscovite ( $\pm 15\%$ ), with accessory minerals comprising zircon and iron oxides. The fine-grained two-mica granite exhibits hypidiomorphic granular texture too and is mainly composed of K-feldspars (perthite and microcline,  $\pm 30\%$ ), quartz ( $\pm 25\%$ ), plagioclase (oligoclase,  $\pm 25\%$ ), biotite and muscovite ( $\pm 20\%$ ), with accessory minerals being zircon and magnetite. The two-mica granites have the following geochemical characteristics:  $SiO_2 = 69.74\% \sim 74.44\%$ ,  $Al_2O_3 = 13.91\% \sim 14.52\%$ ,  $MgO = 0.26\% \sim 0.87\%$ ,  $CaO = 0.72\% \sim 1.36\%$ ,  $K_2O = 5.24\% \sim 5.78\%$ ,  $Na_2O = 2.63\% \sim 2.82\%$ ,  $K_2O/Na_2O = 1.87 \sim 2.20$ , and Al index ( $A/CNK$ ) =  $1.11 \sim 1.20$ . Moreover,

收稿日期: 2009-09-01; 修订日期: 2010-02-01

基金项目: 云南 1:5 万梁河县、江东、帕底幅区域地质调查项目(1212010784007)

作者简介: 李再会(1967- )男,高级工程师,从事岩石学、区域地质研究, E-mail: lizaihui00@163.com.

corundum can be found in the CIPW norm minerals, which possesses some features of strongly peraluminous granites. The two-mica granites composed of medium-grained and fine-grained granite are characterized by the enrichment of Rb( $315 \times 10^{-6} \sim 452 \times 10^{-6}$ ), U( $7.68 \times 10^{-6} \sim 11.2 \times 10^{-6}$ ) and Th( $15.2 \times 10^{-6} \sim 111 \times 10^{-6}$ ). Primitive mantle-normalized element concentration patterns of both granites show remarkable negative anomalies of Ba, Nb, Sr, P, Ti. Likewise, both of the granites display similar REE patterns:  $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.25 \sim 0.47$  and  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 6.53 \sim 34.06$ . Most of the zircons from the sample show oscillatory zoning in CL images with Th/U ratios from 0.1 to 1.8, indicative of magmatic zircon in genesis. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating from the same sample yielded concordant ages of  $256.0 \pm 5.6$  Ma (MSWD = 4.1) and  $234.2 \pm 3.1$  Ma (MSWD = 5.6), which respectively indicate the early (i. e. Late Permian) and late (i. e. Middle Triassic) magmatic episodes during the early Indosinian period in this area. An inherited zircon age (ca. 596 Ma) was also obtained. In-situ Hf isotopic analyses yielded  $\epsilon \text{Hf}(t)$  values of  $-8.5$  to  $+1.3$ , corresponding to the Hf isotopic crustal modal ages ( $t_{\text{DM}}^{\text{C}}$ ) of  $1\ 195 \sim 1\ 815$  Ma. The geochemical signatures and zircon Hf isotopic compositions suggest that the magma of the two-mica granites was dominantly derived from partial melting of clay-rich psammitic in the older crust. These two-mica granites were formed in a continental collision environment. Combined with available data, it is held that the generation of the collisional strongly-peraluminous granite in the Late Permian-Middle Triassic period suggests an orogenic event during early Indosinian in the Sanjiang Paleo-Tethys Sea. The Sanjiang early Indosinian orogenesis was intimately related to the closure of the Paleo-Tethys Sea and the subsequent orogenic events.

**Key words:** Indosinian granitoids; U-Pb zircon dating; Hf isotope; geochemistry; Tengchong-Lianghe block; western Yunnan

云南西部三江地区作为青藏高原东延部分,其大地构造格局和对全球特提斯演化研究的意义长期以来是众多研究者关注的热点(钟大赉, 1998; Zhang and Schärer, 1999; 钟大赉等, 2000, 2001)。滇西特提斯构造域(包括川西南部分)是由多个地块和地块之间的构造带组成,如腾冲地块、保山地块及它们之间属新特提斯构造带的高黎贡碰撞带和属古特提斯带的昌宁-孟连结合带等。受晚古生代-早中生代古特提斯和中生代-新生代新特提斯造山作用的影响,该地区经历了复杂的变质变形过程(钟大赉, 1998)。根据各地体基底岩系的原岩建造、变质变形序列和古生物特征,可将其变质基底划分为亲冈瓦那大陆和亲扬子大陆两种类型(钟大赉, 1998; Wang *et al.*, 2001; Jin, 2002)。

腾冲-梁河(简称腾-梁)地区作为冈底斯-腾冲火山弧的东缘,发育大量的花岗岩,前人对它们的年龄做了大量研究(陈吉琛, 1987; 陈吉琛等, 1991; 吕伯西等, 1993; 陈福坤等, 2006; 杨启军等, 2006, 2009; 丛峰等, 2009)。这些年龄大多集中在晚中生代-新生代。本次工作在该地区获得了晚二叠世-中三叠世花岗岩年龄,为滇西三江造山带造山作用过程以及古特提斯构造演化提供了新的年代学信息。

## 1 地质背景及样品特征

位于云南西南部的腾冲-保山地区,包括腾冲地块、保山地块和其间的高黎贡山变质带属于缅甸马微陆块的北部。在三叠纪期间,该地块处于东部古特提斯主洋盆,即昌宁-孟连古特提斯洋封闭时的前陆部位。部分学者认为,在新特提斯洋扩张时期,形成属于班公湖-怒江洋盆的东延分支海槽,该海槽在早侏罗世闭合,并导致腾冲地块和保山地块的碰撞,其间形成高黎贡碰撞构造带(钟大赉, 1998)。

以沪水-龙陵-瑞丽大断裂为界,腾冲-保山地块出露于地表的基底岩石类型有明显的差别。东南部以公养河群为代表,时代可能是早古生代,其上为上寒武统-中生界碎屑岩、碳酸盐岩和玄武岩构成的沉积盖层,西北部以高黎贡山群为代表,混合岩化显著,时代可能是新元古代-早古生代(资料待刊),上部主要为弱变形的石炭系-三叠系碳酸盐岩与碎屑岩沉积、古近系-第四系陆相火山岩、河湖相碎屑沉积等构成的沉积盖层。该地区出露大量的晚中生代-新生代花岗岩类和混合岩化花岗岩,新生代火山作用强烈。根据现有资料,高黎贡群由一套角闪岩相



滴状石英嵌晶,白云母、白云母呈叶片状、细片状集合体,一般以不规则状分布于长英质矿物颗粒之间,以白云母为主。细粒二云母花岗岩具细粒半自形粒状结构,主要由石英( $\pm 25\%$ )、钾长石(条纹长石和微斜长石, $\pm 30\%$ )、斜长石(更长石为主, $20\% \sim 25\%$ )、黑云母及白云母( $15\% \sim 20\%$ )组成。斜长石(更长石为主)呈柱状、柱粒状,含细密钠长石双晶;钾长石(条纹长石、微斜长石)呈板柱状、不规则状,自形程度较斜长石差,大者呈斑晶,内含雨滴状细小石英嵌晶;石英呈他形粒状,填隙粒状集合体,粒度 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ ;黑云母与白云母共生,呈细片状、鳞片状集合体。副矿物为磁铁矿、锆石等。

本文的二云母花岗岩样品采自梁河县城东约 5 km 处(图 1a)。地理坐标:东经  $98^{\circ}20'21''$ ,北纬  $22^{\circ}47'46''$ 。

## 2 分析方法

用于主量元素和微量元素测定的样品,无污染,粉碎至 200 目以下。样品主量元素在国土资源部西南矿产资源监督检测中心用 XRF 方法测定,分析的准确度优于 5%。样品微量元素在国家地质测试分析中心用 ICP-MS 方法测定,分析的准确度优于 10% (详见 Zhang 等(2002))。

用来定年的花岗岩样品比较新鲜,无变形。锆石分离在廊坊地质服务有限公司进行。锆石样品利用标准重矿物分离技术分选,然后在双目镜下挑选出不同晶形、不同颜色、无明显包裹体和透明度好的锆石,在玻璃板上用环氧树脂固定,并抛光至锆石中心。然后进行透射光和反射光照相,并进行阴极发光(CL)照相,详细研究锆石的晶体形貌和内部结构特征,以选择同位素分析的最佳点。制靶后的阴极发光(CL)照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室的扫描电镜+Gatan 阴极发光 MonoCL3+上完成。LA-ICP-MS 锆石原位 U-Pb 定年在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年分析所使用的 ICP-MS 为 E-lan6100DRC 型,激光剥蚀系统为德国 Lamda Physik 公司的 GeoLas 200M 深紫外(DUV)193 nm ArF 准分子(excimer)激光剥蚀系统。分析采用的激光斑束直径为  $30 \mu\text{m}$ 。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气。U、Pb 含量分析以  $^{29}\text{Si}$  作为外标,哈佛大学标准锆石 91500 作为外标校正。同位素比值数据处理采

用 GLITTER(4.0 版)软件,采用 Andersen(2002)的方法对普通 Pb 进行校正,采用 ISOPLOT(3.0 版)(Ludwig, 2003)进行锆石加权平均年龄计算及谐和图的绘制。具体仪器参数及数据处理方法见文献(Yuan *et al.*, 2004)。

锆石原位 Lu-Hf 同位素测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,仪器为 193 nm ArF 激光器的 Nu plasma 型 MC-ICP-MS,分析方法见 Wu 等(2006)。激光束斑直径为  $44 \mu\text{m}$ ,剥蚀频率为 10 Hz。分析点与 LA-ICP-MS U-Pb 定年分析点为同一位置。用  $^{176}\text{Lu}/^{175}\text{Lu} = 0.02669$ (Wu *et al.*, 2006)和  $^{176}\text{Yb}/^{172}\text{Yb} = 0.5886$ (DeBievre and Taylor, 1993)进行同量异位干扰校正计算测定样品的  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  和  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值。在样品测定期间,获得锆石 91500 的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.2822952 \pm 0.0000056$ ( $n = 111, 2\sigma$ )。  $\epsilon_{\text{Hf}}$  计算采用的  $^{176}\text{Lu}$  衰变常数为  $1.867 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ (Soderlund *et al.*, 2004),球粒陨石现今的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.282772$  和  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0332$ (Blichert and Albarede, 1997);Hf 亏损地幔模式年龄( $t_{\text{DM1}}$ )的计算采用现今的亏损地幔  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.28325$  和  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0384$ (Vervoort and Blichert, 1999)。Hf 同位素两个阶段模式年龄( $t_{\text{DM2}}$ )采用平均大陆壳的  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.015$ (Griffin *et al.*, 2002)。

## 3 结果

### 3.1 主量元素与微量元素

两类花岗岩的主量元素和微量元素测定结构列于表 1。由表 1 可见,中粒二云母花岗岩  $\text{SiO}_2 = 74.06\% \sim 74.44\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.91\% \sim 14.07\%$ ,  $\text{MgO} = 0.26\% \sim 0.34\%$ ,  $\text{CaO} = 0.72\% \sim 0.99\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  分别为  $5.24\% \sim 5.64\%$ 、 $2.64\% \sim 2.82\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  为  $1.87 \sim 2.20$ ,  $\text{A}/\text{CNK} = 1.14 \sim 1.20$ , 为强过铝质。细粒二云母花岗岩  $\text{SiO}_2 = 69.74\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.52\%$ ,  $\text{MgO} = 0.87\%$ ,  $\text{CaO} = 1.36\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  分别为  $5.78\%$ 、 $2.63\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  为  $2.20$ ,  $\text{A}/\text{CNK} = 1.11$ 。CIPW 计算结果二者均出现标准矿物刚玉分子。属 Barbarin(1990, 1999)花岗岩分类中的含白云母过铝花岗岩类(MPG)。

在微量元素组成上,中粒花岗岩与细粒花岗岩类似于喜马拉雅淡色花岗岩(Zhang Hongfei *et al.*,

表1 腾-梁地块二云母花岗岩主量元素( $w_B/\%$ )  
微量元素( $w_B/10^{-6}$ )组成

Table 1 Major elements( $w_B/\%$ ), trace elements( $w_B/10^{-6}$ )  
analyses of two-mica granite from Tengchong-Lianghe block

岩石类型	中粒二云母花岗岩				细粒二云母花岗岩
	D0030	D0030-1	D0030-2	D0030-3	D0030-4
样品编号	D0030	D0030-1	D0030-2	D0030-3	D0030-4
SiO <sub>2</sub>	74.06	74.44	74.21	74.14	69.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.07	13.91	13.96	14.06	14.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.86	1.06	0.96	1.48
FeO	0.98	0.32	0.16	0.15	1.64
CaO	0.72	0.90	0.99	0.95	1.36
MgO	0.31	0.34	0.32	0.26	0.87
K <sub>2</sub> O	5.64	5.24	5.26	5.51	5.78
Na <sub>2</sub> O	2.64	2.78	2.82	2.82	2.63
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.18	0.17	0.16	0.55
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.15	0.14	0.16	0.20
烧失量	0.85	0.78	0.82	0.78	0.96
总量	99.81	99.92	99.93	99.97	99.76
A/CNK	1.20	1.17	1.15	1.14	1.11
Rb	383.00	366.00	315.00	371.00	452.00
Sr	78.70	55.20	46.30	59.40	119.00
Ba	268.00	201.00	178.00	212.00	555.00
Y	22.60	14.30	12.50	17.80	25.90
Th	21.40	15.50	18.20	15.20	111.00
U	8.85	7.82	11.20	8.79	7.68
Ta	2.69	3.10	3.24	2.97	1.62
Nb	14.80	13.20	13.40	12.20	21.80
Zr	90.60	72.10	81.70	76.60	462.00
Hf	2.75	2.28	2.58	2.47	9.94
La	25.10	15.00	16.90	15.10	97.50
Ce	50.90	27.90	29.20	28.40	223.00
Pr	5.92	3.62	4.06	3.63	24.80
Nd	21.70	13.30	15.10	13.20	91.10
Sm	5.15	3.25	3.62	3.26	16.80
Eu	0.62	0.49	0.46	0.52	1.17
Gd	4.58	3.24	3.27	3.51	12.00
Tb	0.78	0.53	0.51	0.60	1.56
Dy	4.06	2.88	2.77	3.36	6.83
Ho	0.79	0.55	0.48	0.66	1.13
Er	2.10	1.46	1.22	1.84	2.63
Tm	0.28	0.20	0.16	0.26	0.33
Yb	1.71	1.32	1.05	1.56	1.93
Lu	0.24	0.17	0.15	0.22	0.28
Y	22.60	14.30	12.50	17.80	25.90
ΣREE	123.93	73.91	78.95	76.12	481.06
(La/Yb) <sub>N</sub>	9.90	7.66	10.85	6.53	34.06
δEu	0.39	0.46	0.41	0.47	0.25

二云母花岗岩与细粒二云母花岗岩具有相似的元素分配型式,它们均具有 Ba、Nb、Sr、P 和 Ti 的亏损。稀土元素除细粒花岗岩含量略高于中粒花岗岩含量外,二者同样表现出相似的稀土元素分配型式(图3)轻稀土元素富集的右倾分配型式,并存在中等程度的负 Eu 异常,其中中粒二云母花岗岩  $Eu/Eu^* = 0.39 \sim 0.47$  ( $La/Yb$ )<sub>N</sub> = 6.53~10.85,细粒二云母花岗岩的  $Eu/Eu^* = 0.25$  ( $La/Yb$ )<sub>N</sub> = 34.06。相似的微量元素特征,表明二者由同源岩浆演化而来。

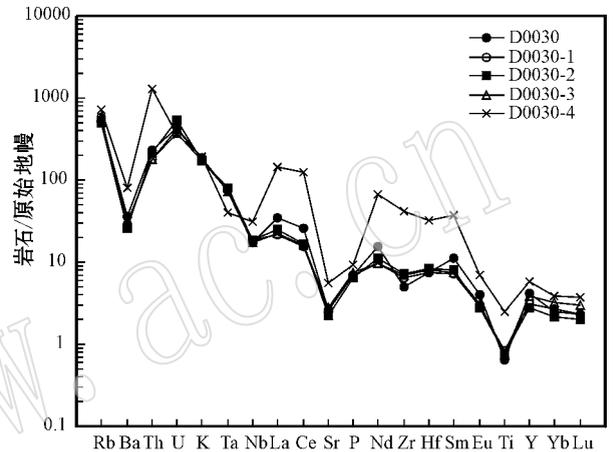


图2 原始地幔标准化的元素组成模式(原始地幔标准化值据 McDonough, 1992)

Fig. 2 Primitive mantle-normalized element compositional patterns of two-mica granite (primitive mantle values after McDonough, 1992)

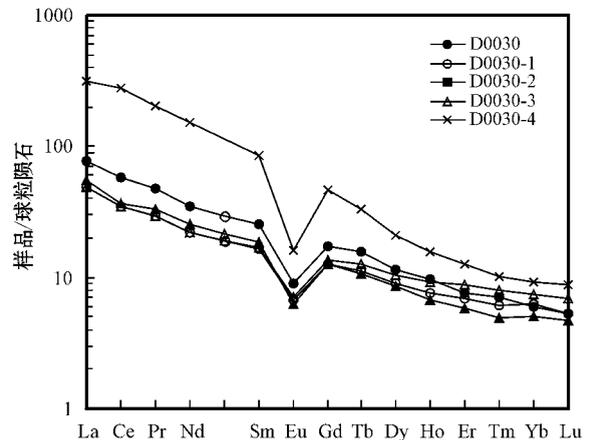


图3 稀土元素组成模式(球粒陨石标准化值据 Boynton, 1984)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of two-mica granite (chondrite values after Boynton, 1984)

2004;张宏飞等 2005)和冈底斯印支期二云母花岗岩(张宏飞等 2007),岩石以明显富 Rb( $315 \times 10^{-6} \sim 452 \times 10^{-6}$ ) U( $7.68 \times 10^{-6} \sim 11.2 \times 10^{-6}$ ) Th( $15.2 \times 10^{-6} \sim 111 \times 10^{-6}$ )为特征。在图2中,中粒

### 3.2 锆石 U-Pb 年龄

样品 D0030 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果列于表2。样品D0030中的锆石多为长柱状或

表 2 腾-梁地块二云母花岗岩(样品 D0030)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果  
Table 2 Zircon (sample D0030) LA-ICP-MS data of two-mica granite from Tengchong-Lianghe block

分析点号	Pb	Th	U	Th/U	同位素比值						年龄/Ma							
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s
D0030-01	466	1 351	2 681	0.50	0.052 95	0.000 70	0.261 40	0.003 37	0.035 79	0.000 36	0.011 17	0.000 13	327	14	236	3	227	2
D0030-02	280	1 338	1 508	0.89	0.051 58	0.000 70	0.259 18	0.003 41	0.036 43	0.000 37	0.011 35	0.000 13	267	14	234	3	231	2
D0030-03	417	1 589	2 473	0.64	0.053 08	0.000 74	0.248 61	0.003 39	0.033 97	0.000 34	0.011 12	0.000 13	192	77	213	6	214	2
D0030-04	468	395	2 737	0.14	0.051 76	0.000 69	0.265 15	0.003 45	0.037 15	0.000 38	0.011 60	0.000 14	275	14	239	3	235	2
D0030-05	411	2 075	2 352	0.88	0.050 09	0.000 68	0.239 50	0.003 20	0.034 68	0.000 35	0.010 35	0.000 12	199	15	218	3	220	2
D0030-06	416	1 007	2 625	0.38	0.050 78	0.000 71	0.234 96	0.003 24	0.033 55	0.000 34	0.009 87	0.000 12	231	15	214	3	213	2
D0030-07	371	1 118	2 066	0.54	0.050 28	0.000 75	0.257 04	0.003 77	0.037 08	0.000 38	0.012 05	0.000 15	208	17	232	3	235	2
D0030-08	444	1 433	2 492	0.58	0.057 37	0.000 80	0.288 02	0.003 98	0.036 41	0.000 38	0.012 07	0.000 15	331	73	239	6	229	2
D0030-09	427	622	2 439	0.26	0.051 44	0.000 75	0.267 90	0.003 84	0.037 77	0.000 39	0.011 55	0.000 15	261	16	241	3	239	2
D0030-10	523	4 477	2 490	1.80	0.051 55	0.000 74	0.268 31	0.003 82	0.037 75	0.000 39	0.011 26	0.000 14	266	16	241	3	239	2
D0030-11	412	492	879	0.56	0.059 77	0.000 89	0.797 73	0.011 79	0.096 79	0.001 02	0.029 74	0.000 39	595	16	596	7	596	6
D0030-12	625	1 419	3 484	0.41	0.050 48	0.000 75	0.266 57	0.003 96	0.038 30	0.000 40	0.011 52	0.000 15	217	17	240	3	242	2
D0030-13	300	469	1 805	0.26	0.065 49	0.001 01	0.317 44	0.004 87	0.035 15	0.000 37	0.014 85	0.000 20	381	62	234	5	220	2
D0030-14	1 400	958	7 899	0.12	0.052 42	0.000 80	0.283 68	0.004 36	0.039 25	0.000 42	0.012 57	0.000 18	304	17	254	3	248	3
D0030-15	408	227	2 245	0.10	0.052 70	0.000 84	0.293 35	0.004 71	0.040 37	0.000 43	0.013 72	0.000 21	273	48	257	4	255	3
D0030-16	406	705	2 079	0.34	0.065 17	0.001 06	0.370 71	0.006 07	0.041 25	0.000 45	0.015 33	0.000 22	491	64	282	6	258	3
D0030-17	481	2 942	2 604	1.13	0.050 91	0.000 83	0.255 98	0.004 23	0.036 46	0.000 40	0.010 62	0.000 15	237	19	231	3	231	2
D0030-18	300	1 087	1 638	0.66	0.051 85	0.000 88	0.273 57	0.004 70	0.038 26	0.000 42	0.010 98	0.000 16	279	20	246	4	242	3
D0030-19	182	457	1 040	0.44	0.051 32	0.000 90	0.265 58	0.004 68	0.037 53	0.000 41	0.011 03	0.000 17	255	21	239	4	238	3
D0030-20	815	2 722	4 792	0.57	0.051 24	0.000 87	0.255 23	0.004 40	0.036 12	0.000 40	0.010 34	0.000 16	252	21	231	4	229	2
D0030-21	319	2 077	1 634	1.27	0.052 69	0.000 67	0.306 07	0.004 20	0.042 16	0.000 50	0.012 67	0.000 15	315	14	271	3	266	3
D0030-22	480	335	3 080	0.11	0.047 98	0.000 60	0.261 64	0.003 52	0.039 58	0.000 47	0.011 06	0.000 13	98	14	236	3	250	3
D0030-23	325	1 500	1 868	0.80	0.051 97	0.000 66	0.289 21	0.003 94	0.040 39	0.000 48	0.009 69	0.000 11	284	14	258	3	255	3
D0030-24	545	1 597	3 514	0.45	0.052 04	0.000 68	0.266 35	0.003 68	0.037 14	0.000 44	0.009 26	0.000 11	287	14	240	3	235	3
D0030-25	850	965	5 087	0.19	0.050 25	0.000 66	0.284 57	0.003 92	0.041 09	0.000 49	0.012 30	0.000 14	207	14	254	3	260	3

短柱状晶形,其粒度在  $50 \sim 150 \mu\text{m}$  之间,长宽比值为  $1:1.5 \sim 1:2$ ,基本为无色透明。在阴极发光图像显示所有测定的锆石在形态上可分为 3 类(图 4),第 1 类为具有震荡环带的岩浆锆石核部(如分析点 8 和 2),第 2 类为既无震荡环带也无典型岩浆锆石形态的锆石(如分析点 11),第 3 类为具有长柱状形态并

具有震荡环带的岩浆锆石(如分析点 4 和 13)。锆石 Th/U 比值变化于  $0.10 \sim 1.8$ ,绝大多数大于 0.4,对于花岗质岩石可以解释为岩浆锆石(吴元保等, 2004)。继承性锆石 Th/U 比值为 0.56,无明显的振荡环带,其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄 596 Ma 代表了捕虏晶的最小年龄。

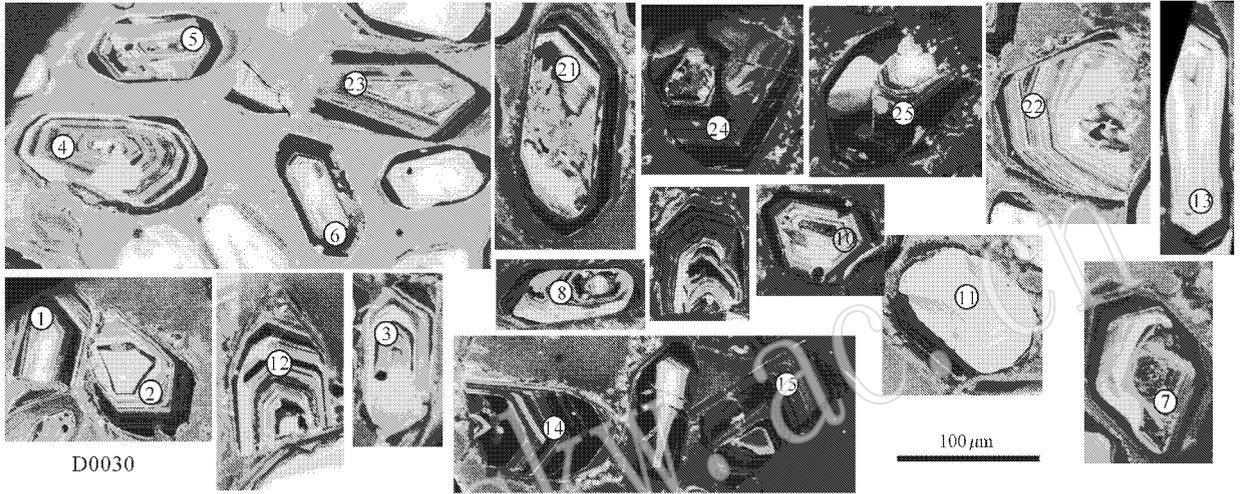


图 4 二云母花岗岩中锆石 CL 图像以及 LA-ICP-MS 分析点

Fig. 4 CL images of zircons from two-mica granite and LA-ICP-MS analytic spots

对该样品 25 颗锆石分析了 25 个点,所有分析点都沿着谐和线或附近分布(图 5a)。除一个磨圆锆石核部的分析点(分析点 D0030-11)给出了大约 596 Ma 的年龄值外,其余 24 个点给出的年龄在  $213 \sim 266 \text{ Ma}$  之间。需要指出的是上述 24 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄概率分布图显示了 2 个明显年龄峰值(图 5b),大致以 245 Ma 分界,以  $>245 \text{ Ma}$  的 7 个测点加权平均获得  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $256.0 \pm 5.6 \text{ Ma}$  ( $2\sigma$ , MSWD = 4.1); 以  $<245 \text{ Ma}$  的 17 个测点除去远离加权平均值的 4 个点后,其余 13 个锆石分析点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $234.1 \pm 3.1 \text{ Ma}$  ( $2\sigma$ , MSWD = 5.6)。研究显示,一个花岗岩体在侵位以后,经冷却、结晶到固结和产生裂隙一般不超过 17 Ma(章邦桐等 2007)。而本文中同一样品获得岩浆锆石两组年龄跨度达 22 Ma,显然不能将其理解为一岩浆过程。较为合理的解释是该岩体存在两个岩浆作用幕:  $256.0 \pm 5.6 \text{ Ma}$  代表了岩浆早期结晶相的年龄,形成中粒二云母花岗岩;  $234.1 \pm 3.1 \text{ Ma}$  代表了二云母花岗岩晚期结晶年龄,形成细粒二云母花岗岩。另外 1 颗锆石显示  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  596 Ma

的新元古代年龄,与该区高黎贡山群花岗质片麻岩年龄(数据待刊)相当,为岩浆上升或就位过程中捕获的围岩中的锆石。

### 3.3 Hf 同位素组成

锆石 Hf 同位素分析结果列于表 3。表中还给出了 Hf 同位素一阶段模式年龄  $t_{\text{DM}}$  和二阶段模式年龄  $t_{\text{DM}}^{\text{C}}$ 。后者分别用铁镁质地壳 ( $f_{\text{Lu/Hf}} = -0.34$ ; Amelin *et al.*, 1999) 和硅铝质地壳 ( $f_{\text{Lu/Hf}} = -0.72$ ; Vervoort and Blichert, 1999) 的 Lu/Hf 比分别计算。由于锆石的 Lu/Hf 比 ( $f_{\text{Lu/Hf}} = -0.94$ ) 明显小于大陆地壳 Lu/Hf 比,因此二阶段模式年龄能更真实地反映其源区物质从亏损地幔被抽取的时间(或其源区物质在地壳的平均存留年龄)。锆石的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  的比值为  $0.282381 \sim 0.282662$ 。锆石的  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为  $-8.52 \sim 1.31$ ,分析点 D0030-21 相应的  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  为 1.31,同时该分析点的  $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$  和  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  比值均较高(表 3)。观察该锆石 CL 图像,发现该锆石有明显的后期溶蚀现象(图 4)。可能是后期流体作用中 Lu 的带入使锆石的 Lu-Hf 体系受到扰动的缘故。这表明,在进行锆石 Hf 同位素分

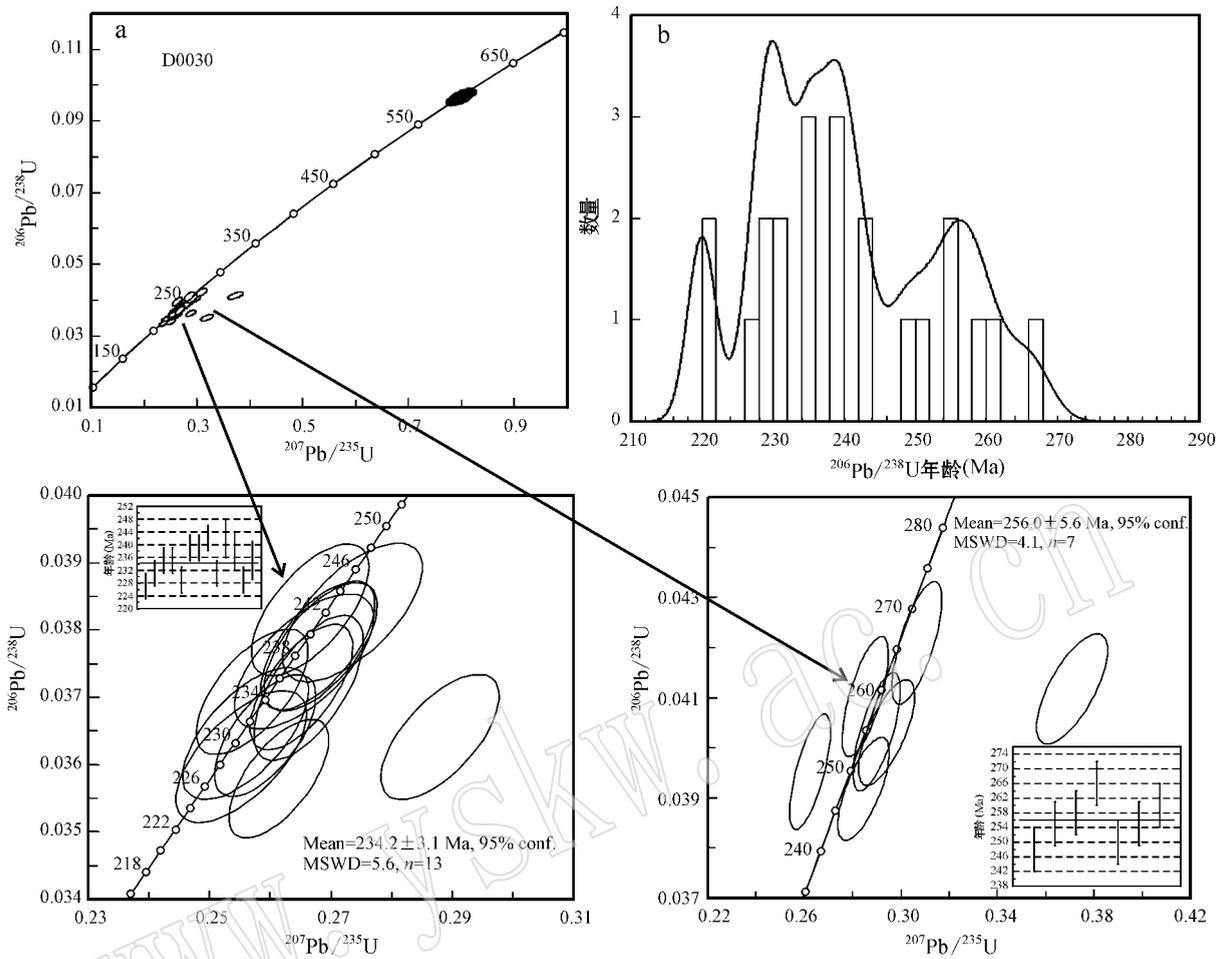


图 5 腾-梁地块二云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄 (a) 和岩浆锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分布概率图 (b)

Fig. 5 Zircon U-Pb ages of two-mica granite from Tengchong-Lianghe block (a); relative probability plot of  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages of igneous zircon (b)

表 3 腾-梁地块二云母花岗岩锆石 Hf 同位素组成

Table 3 Zircon Hf isotopic data of two-mica granite from Tengchong-Lianghe block

点号	$t/\text{Ma}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$2\delta$	$\epsilon\text{Hf}(0)$	$\epsilon\text{Hf}(t)$	$t_{\text{DM}}/\text{Ma}$	$t_{\text{DM}}^{\text{C}}/\text{Ma}$	$f_{\text{Lu/Hf}}$
D0030-24	256	0.046 349	0.001 751	0.282 381	0.000 014	-13.84	-8.52	1 256	1 815	-0.95
D0030-22	256	0.026 147	0.001 019	0.282 493	0.000 008	-9.86	-4.41	1 074	1 557	-0.97
D0030-23	256	0.048 894	0.001 872	0.282 556	0.000 010	-7.63	-2.33	1 008	1 425	-0.94
D0030-25	234	0.073 499	0.002 867	0.282 609	0.000 009	-5.75	-1.05	957	1 327	-0.91
D0030-21	256	0.064 851	0.002 456	0.282 662	0.000 008	-3.90	1.31	870	1 195	-0.93

析时, 必须结合锆石结构图像和锆石年龄, 否则容易把变质锆石得到的 Hf 同位素结果误作为幔源物质参与了岩体的形成证据。单阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM}}$ ) 变化范围为 870~1 256 Ma, 平均值为 1 033 Ma。两阶段模式年龄为 1 195~1 815 Ma, 平均为 1 464 Ma。低的  $\epsilon\text{Hf}(t)$  值和古老的 Hf 模式年龄表明, 二云母花岗岩其源区应为古老的下地壳物质。

## 4 讨论

### 4.1 岩源成分与岩石成因

强过铝质花岗岩的形成需要强过铝的沉积岩源岩局部熔融 (White and Chappell, 1977; Sylvester, 1998; Patino-Douce and Harris, 1998; 邓晋福等 2004)。

实验揭示,花岗岩中  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}/\text{Sr}$  和  $\text{Rb}/\text{Ba}$  比值为强过铝质花岗岩的源岩性质提供了重要的判别标志 (Sylvester, 1998)。具体而言,贫斜长石的泥质岩生成的强过铝质花岗岩  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} < 0.3$ , 而由硬砂岩生成的强过铝质花岗岩  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} > 0.3$ 。腾-梁地块二云母花岗岩  $A/\text{CNK} = 1.11 \sim 1.20$ , 富  $\text{Rb}$ 、 $\text{U}$  和  $\text{Th}$  等元素, 稀土元素组成模式存在明显的负  $\text{Eu}$  异常 ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.25 \sim 0.47$ ) 及锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值 ( $-8.52 \sim 1.31$ ), 与地壳中富铝质沉积物的部分熔融模式一致。  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} > 0.3$ ,  $\text{Rb}/\text{Sr} = 3.80 \sim 6.80$ ,  $\text{Rb}/\text{Ba} = 0.81 \sim 1.82$  指示源岩物质主要为地壳中的富含粘土的变质硬砂岩 (Sylvester, 1998) (图 6)。二云母花岗岩无论在主量元素组成上还是在微量元素组成上与喜马拉雅

淡色花岗岩和冈底斯印支期二云母花岗岩具有较好的可比性 (Inger and Harris, 1993; Searle *et al.*, 1997; Visona and Lombardo, 2002; Zhang Hongfei *et al.*, 2004 张宏飞等, 2005, 2007), 因此, 它们有着类似的岩石成因机制。在喜马拉雅淡色花岗岩的成因模式中, 淡色花岗岩归因于地壳中泥质岩系在无外来流体的条件下云母类矿物脱水反应所诱发部分熔融作用的产物 (Harris and Inger, 1992; Inger and Harris, 1993; Harris *et al.*, 1995; Harrison *et al.*, 1997; Patino-Douce and Harris, 1998; Zhang Hongfei *et al.*, 2004 张宏飞等, 2005, 2007), 这一岩石形成机制同样也能适用于本文所研究的腾-梁地块二云母花岗岩的岩石形成机制。

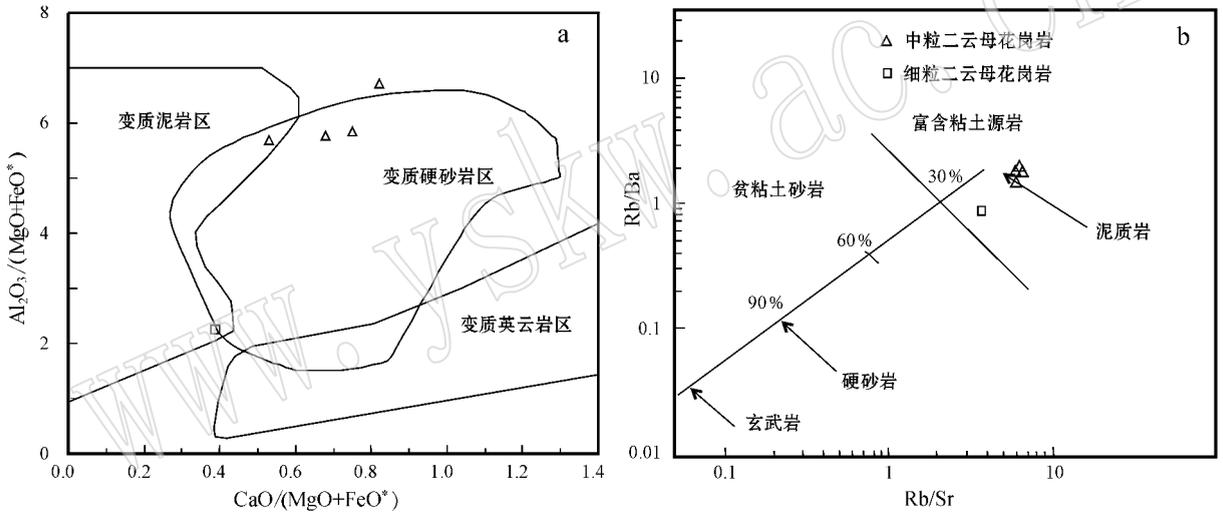


图 6 二云母花岗岩主量元素 (a 据 Alther 和 Hegner, 2000) 和微量元素源岩判别图 (b 据 Sylvester, 1998) a—部分熔融实验所揭示的不同源岩部分熔融产生的花岗岩成分范围,  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO} + \text{FeO}^*)$  和  $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{FeO}^*)$  均为分子比; b—展示了根据不同岩石部分熔融实验及部分熔融的微量元素模型计算结果反推二云母花岗岩的源岩成分, 百分比表示变质表壳在粘土-碎屑二元组成中碎屑的质量分数

ig. 6 Discrimination diagram for the source of Tengchong-Lianghe granites in terms of major (a, after Alther and Hegner, 2000) and trace elements composition (b, after Sylvester, 1998)

a—outlined areas denoting the composition of partial melts obtained in experimental studies by dehydration melting of various compositions;

b— $\text{Rb}/\text{Sr}$  and  $\text{Rb}/\text{Ba}$  ratios of post-collisional granite intrusions subdivided on the basis of high  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  ratios

### 4.2 环境判别

强过铝质花岗岩的成因往往与碰撞、深俯冲作用有关 (Sylvester, 1998; Barbarin, 1999), 微量元素  $\text{Rb}/10 - \text{Hf} - 3\text{Ta}$  图解 (图 7a) 和  $\text{Rb} - (\text{Y} + \text{Nb})$  图解 (图 7b) 显示二云母花岗岩形成于同碰撞的大地构造背景, 在 Maniar 和 Piccoli (1989) 的主元素构造环境判别图解中 (图 8) 揭示了二云母花岗岩主体为大陆

碰撞型花岗岩。在腾-梁地块东侧的云县发育同时期的碰撞型 S 型花岗岩 (刘德利等, 2008)。目前的研究认为, 造山带中大量的各种类型的岩浆都是在后碰撞阶段产生的 (Liegeois, 1998; Sylvester, 1998), 它们形成于造山作用导致地壳增厚之后的构造减压过程 (Sylvester, 1998)。研究表明, 印支早期是东亚地区一次广泛的造山事件, 起因于东特提斯

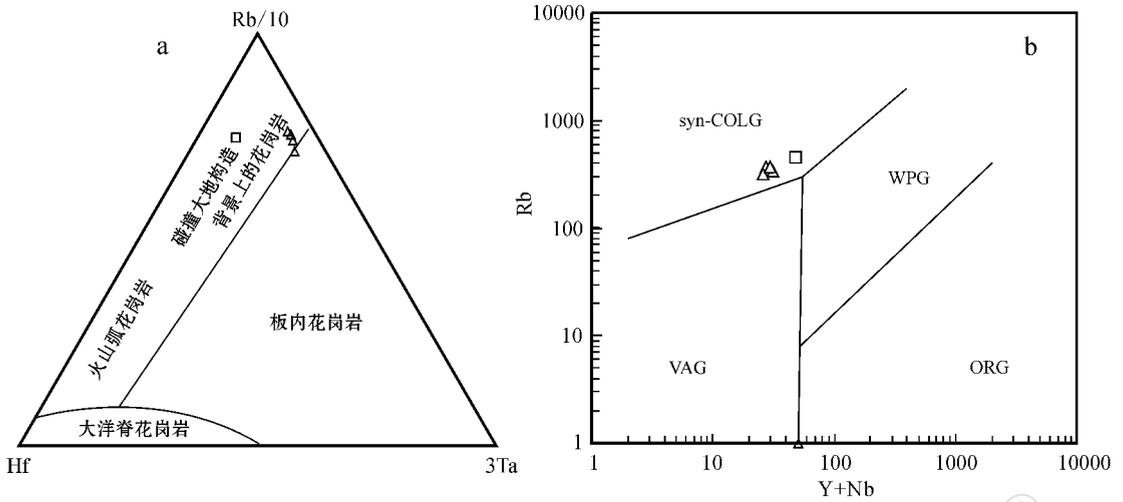


图 7 二云母花岗岩微量元素构造判别图解 (a 据 Harris 等, 1986; b 据 Pearce 等, 1984)

Fig. 7 Tectonic discrimination diagram of two-mica granites by trace elements (a after Harris *et al.*, 1986; b after Pearce *et al.*, 1984)

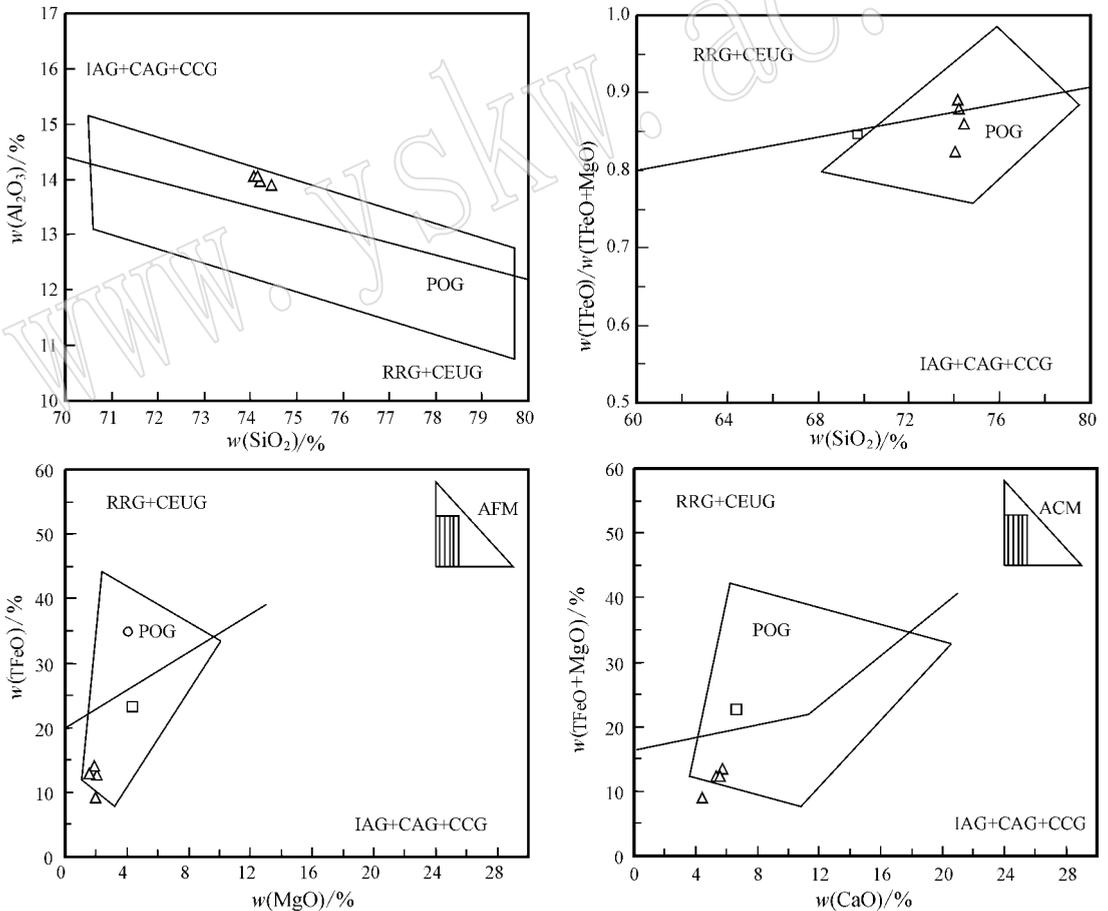


图 8 二云母花岗岩主量元素构造环境判别图 (仿 Maniar 和 Piccoli, 1989)

Fig. 8 Setting discrimination diagram of two-mica granites by major elements (after Maniar and Piccoli, 1989)

IAG—岛弧花岗岩类；CAG—大陆弧花岗岩类；CCG—大陆碰撞花岗岩类；POG—后造山花岗岩类；RRG—与裂谷有关的花岗岩类；CEUG—与大陆抬升有关的花岗岩类  
 IAG—*island arc granite*；CAG—*continental arc granite*；CCG—*continental collision granite*；POG—*post-orogenic granite*；RRG—*rift related granite*；CEUG—*continental epirogenic uplift granite*

洋的封闭和随后的造山作用。在我国的松潘-甘孜造山带和中央造山带的不同地区均有该期强烈造山事件的地质记录,并发生多块体的拼合(张国伟等,2004),这一印支早期造山事件已波及到冈底斯地区(张宏飞等,2007)。

#### 4.3 构造背景

自 Suess(1893)提出“特提斯”概念至20世纪70年代初板块构造学说的兴起,对特提斯构造带的研究不断深入,其全球构造内涵也在不断地被拓宽(潘桂棠等,1997;钟大赉,1998)。特提斯洋的闭合和劳亚大陆和冈瓦纳大陆的碰撞,塑造了欧洲的阿尔卑斯到亚洲喜马拉雅全球规模的巨型造山带。然而,对特提斯研究的深入和全球古大陆位置的复原,发现在晚古生代即石炭-二叠纪时,在泛大陆存在一个向东楔形的大洋盆即古特提斯洋(黄汲清等,1987;Sengör and Natalin,1996;潘桂棠等,1997;钟大赉,1998),引发了对特提斯的起源和发展演化的新认识。较为广泛的认识是,在冈瓦纳大陆和劳亚大陆最后的碰撞之前至少有两个大洋盆,即古特提斯和新特提斯闭合,部分学者甚至提出中特提斯洋的存在(Metcalf,1996)。因而,晚古生代以来,在两个超大陆之间不断地有微小陆块,如 Cimmerian 地体(Sengör *et al.*,1988),Sibumasu 地体和拉萨地体等(Sengör *et al.*,1988;Wang *et al.*,2001;Jin,2002),从冈瓦纳北部游离出来,向北漂移,增生到位于北部的古亚洲地体,构成了全球规模的特提斯造山带。随着对东特提斯(以青藏高原地区为主体)地质构造演化认识的深化,特提斯演化、造山作用的解释由两陆(劳亚和冈瓦纳)一洋(特提斯)模式转变为三陆群(劳亚、冈瓦纳、泛华夏)两洋(特提斯和古亚洲)的特提斯多岛弧造山模式(潘桂棠等,1997,2003)。采用同位素地球化学和年代学方法研究这些微小陆块的归属和演化历史将为讨论和理解特提斯构造域的形成和演化提供基础资料。

近年来的地质调查与科研成果,为探讨冈瓦纳大陆北缘晚古生代的构造演化提供了新资料。高精度定年数据证实了冈底斯带印支期花岗岩的存在(李才等,2003;和钟铎等,2006;张宏飞等,2007),并认为在印支期存在造山事件(张宏飞等,2007;李化启等,2008)。在冈底斯带松多乡发现的高压榴辉岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 261.7 Ma,代表了古特提斯洋壳的残留(杨经绥等,2007;徐向珍等,2007)。新近在冈底斯东段工布江达县西约 15 km

处白垩纪花岗岩体中,获得花岗岩残留体的 U-Pb 锆石年龄为 263 Ma(中二叠世晚期),认为是与冈底斯带晚古生代古特提斯洋闭合相关的“二叠纪冈底斯造山运动”的碰撞型花岗岩(Zhu *et al.*,2009),并认为二叠纪花岗岩、松多榴辉岩以及冈底斯中段中二叠统与上二叠统区域角度不整合是同一造山事件的不同产物。王立全等(2008)通过对冈底斯带石炭-二叠纪火山岩的系统研究认为,古特提斯大洋晚古生代向南俯冲消减及向北的增生,导致了冈底斯带石炭-二叠纪岛弧型火山岩浆的喷发、二叠纪花岗岩的侵入和二叠纪大洋俯冲型榴辉岩的形成。通过对青藏高原榴辉岩的研究,认为构成青藏高原的特提斯地体的拼贴和特提斯分支的消亡可能是相当无序的(张开均等,2009)。

锆石 U-Pb 年代学资料表明,在冈底斯-波密火山弧东缘的腾-梁地区发现的晚二叠世-中三叠世强过铝质花岗岩(256~234 Ma),其形成年龄是目前在腾-梁地区所发现的过铝-强过铝质花岗岩中最老的,并与冈底斯东段二叠纪花岗岩(263 Ma)及松多榴辉岩(262 Ma)的年龄在误差范围内一致,表明晚古生代古特提斯洋已涉及到腾-梁地块,具有较明确的构造意义。这些岩石为过铝质-强过铝质,铝饱和指数 ASI 大于 1.1,变化于 1.49~1.56 间,具有含白云母过铝花岗岩的特征(Barbarin,1999)。过铝花岗岩(包括含堇青石及黑云母花岗岩和白云母过铝花岗岩)主要定位于两个大陆岩石圈汇聚使地壳加厚的部位,即大陆碰撞地壳加厚区,其中,含堇青石及黑云母花岗岩分散在山脉地带,白云母过铝花岗岩则沿着横切加厚地壳的剪切逆冲带集中产出(Barbarin,1999)。前面讨论表明,腾-梁地块二云母花岗岩形成于大陆碰撞环境。岩石成因与碰撞和地壳增厚关系密切(Barbarin,1999)。

腾-梁地块位于怒江断裂西侧,怒江断裂绕过喜马拉雅东构造带与近东西走向的班公-怒江缝合带相连。这样,腾-梁地块夹持于雅鲁藏布江缝合带与班公湖-怒江缝合带之间,与冈底斯带的构造位置相对应,因此腾-梁花岗岩及其中间的区域代表了冈底斯带的东延部分(李兴振等,2002;杨启军等,2009)。且腾-梁地块与冈底斯东段都发育晚二叠世的花岗岩,表明腾-梁地块与冈底斯带在晚古生代具有相同或相似的地球动力学背景。

从腾冲地块与保山地块的火山-沉积记录具有明显的区别来看,在晚古生代时腾冲地块与保山地

块是分开的(钟大赉,1998),Nd-Hf 同位素资料也支持二者基底岩石形成时代不同或游离自冈瓦纳大陆北缘的不同地体(陈福坤等,2006)。有限的古地磁数据显示,保山地块在晚石炭世时的古纬度为南纬 $25^{\circ}\sim 34.1^{\circ}$ ,腾冲地块的古纬度为南纬 $20.4^{\circ}$ (李朋武等,2005),二者纬度跨度在 $4.6^{\circ}\sim 13.7^{\circ}$ ,暗示当时保山地块与腾冲地块可能是两个分割开的独立地块,保山地块位于腾冲地块的更南侧。另外对潞西三台山辉橄岩进行了锆石 U-Pb 测年,虽然没有获得较理想的结果,但是仍获得了2个早中二叠世的参考年龄,看来潞西三台山辉橄岩并不是像以前认识的那样形成于 $T_3\sim J_1$ (钟大赉,1998),可能在早二叠世以前就已经存在。上述分析为探讨西南三江古特提斯演化提供了依据。

#### 4.4 滇西三江微陆块拼贴模式

腾冲地块、保山地块及拉萨地块游离自冈瓦纳大陆北缘的不同地体(钟大赉,1998),结合腾冲地块高黎贡山群中花岗质片麻岩 $492\sim 621$  Ma 的岩浆热液事件(未发表数据),认为腾冲地块与冈底斯-喜马拉雅构造带具有550 Ma 左右的泛非基底(梁定益,2004;潘桂棠等,2004,2006)。早古生代时期在泛非基底之上,冈底斯-喜马拉雅地区表现为稳定开阔的浅海台型沉积盖层,构造上属冈瓦纳大陆北缘被动边缘盆地沉积,并一直稳定沉积延续至泥盆纪。自晚古生代石炭纪开始,由于北侧班公湖-怒江古特提斯大洋向南俯冲消减于冈底斯带之下,导致了冈底斯带石炭纪-二叠纪岛弧型火山岩浆的喷发(王立全等,2008),二叠纪花岗岩(Zhu *et al.*, 2009)的侵入和二叠纪大洋俯冲型榴辉岩的形成(杨经绥等,2007)。在三江地区,从晚石炭世开始古特提斯大洋可能表现为双向俯冲。在洋盆东侧依次发育活动陆缘火山沉积、蛇绿混杂岩和碰撞型花岗岩(钟大赉,1998)。在古特提斯大洋双向俯冲的同时,位于腾冲地块南侧的保山地块快速向北漂移(李朋武等,2005),到早中二叠世时,保山地块与思茅-临沧地块基本处于同一纬度。由于两侧板块边界不规则,保山地块与腾冲地块于晚二叠世局部发生初始碰撞,造成地壳物质局部熔融,形成梁河晚二叠世碰撞型

二云母花岗岩(256 Ma)。随着中三叠世古特提斯主洋盆沿怒江-昌宁-孟连一线的闭合、碰撞造山(钟大赉等,1989),古特提斯洋西侧腾冲地块与保山地块之间的大洋也随之闭合、碰撞造山,形成潞西三台山的蛇绿岩带,并造成保山地块西侧大陆边缘的蒲满哨群发生变形、变质、褶皱造山。区域上表现为中上三叠统伙马组角度不整合在中三叠统杂多组之上<sup>①</sup>,并形成中三叠世二云母花岗岩浆(234 Ma)的侵入活动。

## 5 结论

(1)腾-梁地块二云母花岗岩包括中粒二云母花岗岩和细粒二云母花岗岩,化学成分上表现为富硅( $SiO_2 = 69.74\% \sim 74.44\%$ )、高钾( $K_2O/Na_2O = 1.87\sim 2.20$ )、强过铝质( $A/CNK = 1.11\sim 1.20$ )、微量元素以明显富 Rb、U、Th 为特征,轻稀土元素富集[( $La/Yb$ ) $_N = 6.53\sim 34.06$ ],存在中等程度的负 Eu 异常( $Eu/Eu^* = 0.25\sim 0.47$ )。

(2)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果表明:二云母花岗岩体存在 $256.0 \pm 5.6$  Ma( $2\sigma$ , MSWD=4.1)和 $234.1 \pm 3.1$  Ma( $2\sigma$ , MSWD=5.6)两个岩浆作用幕, $256.0 \pm 5.6$  Ma 代表了岩浆早期结晶相的年龄,而 $234.1 \pm 3.1$  Ma 代表了晚期二云母花岗岩的结晶年龄。岩体中具有新元古代年龄的捕获锆石。

(3)地球化学、锆石 Hf 同位素组成揭示岩浆来自于古老地壳中含粘土的变质硬砂岩的部分熔融。

(4)腾-梁地块晚二叠世-中三叠世碰撞型强过铝质花岗岩的确定,表明三江古特提斯洋在印支早期曾发生碰撞造山。三江印支早期造山事件与古特提斯洋的闭合与随后的造山事件存在密切联系。

致谢 锆石 U-Pb 年龄测试及 Hf 同位素分析得到了西北大学大陆动力学重点实验室工作人员的帮助,在 CL 图像获取过程中得到了弓虎军博士的帮助,论文撰写过程中,潘桂棠研究员、王立全研究员提出了宝贵的意见,两位匿名审稿专家提出了建设性的指导和修改意见。在此一并致以诚挚的谢意。

① 云南省地质调查院,2008. 腾冲县幅、潞西市幅 1:25 万区域地质调查报告(送审稿)。

## References

- Alther R and Hegner E. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type Plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 50: 51~73.
- Amelin Y, Lee D C, Halliday A N, *et al.* 1999. Nature of the Earth's earliest crust from hafnium isotopes in single detrital zircon [J]. *Nature*, 399: 252~255.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$  [J]. *Chem. Geol.*, 192: 59~79.
- Barbarin B. 1990. Granitoids: main petrogenetic classification in relation to origin and tectonic setting [J]. *Geol. Jour.*, 25: 227~238.
- Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. *Lithos*, 46: 605~626.
- Blichert T J and Albarede F. 1997. The Lu-Hf geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 148: 243~258.
- Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. Henderson P. *Rare Earth Element Geochemistry* [C]. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 63~114.
- Chen Fukun, Li Qiuli, Wang Xiuli, *et al.* 2006. Zircon age and Sr-Nd-Hf isotopic composition of migmatite in the eastern Tengchong block, western Yunnan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(2): 439~448 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jichen. 1987. Discussion on the age division and the selects of isotopic age determination for granitic rock in western yunnan [J]. *Yunnan Geology*, 6(2): 101~112 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jichen, Lin Wenxin and Chen Liangzhong. 1991. Series and unit research on tin-bearing granites of Tengchong-lianghe area [J]. *Yunnan Geology*, 10(3): 241~289 (in Chinese with English abstract).
- Cong Feng, Lin Shiliang, Li Zaihui, *et al.* 2009. Zircon U-Pb Age of Gneissic Granites in the Tengchong Block, Western Yunnan [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 651~658 (in Chinese with English abstract).
- DeBievre P and Taylor P D P. 1993. Table of the isotopic composition of the elements [J]. *Int. J. Mass. Spectrom. Ion Process*, 123: 149.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, *et al.* 2004. Petrogenesis, Tectonic Setting and Metallogenesis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~38 (in Chinese with English abstract).
- Griffin W L, Wang Xiang, Jackson S E, *et al.* 2002. Zircon chemistry and magma mixing, SE China: In-situ analysis of Hf isotopes. Tonglu and Pingtan igneous complexes [J]. *Lithos*, 61: 237~269.
- Harris N, Ayres M and Massey J. 1995. Geochemistry of granitic melt produced during the incongruent melting of muscovite: Implication for the extraction of Himalayan leucogranite magma [J]. *Journal of Geophysical Research*, 100: 15 767~15 777.
- Harris N and Inger S. 1992. Trace element modeling of pelitoid derived granites [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110: 46~56.
- Harris N B W, Pearce J A and Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism [A]. Coward M P and Reis A C. *Collision Tectonics* [C]. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 19: 67~81.
- Harrison T M, Lovera O M and Grove M. 1997. New insights into the origin of two contrasting Himalayan granite belts [J]. *Geology*, 25: 899~902.
- He Zhonghua, Yang Deming, Zheng Changqing, *et al.* 2006. Isotopic dating of the Mamba Granitoid in the Gangdise Tectonic Belt and its constraint on the subduction time of the Neotethys [J]. *Geological Review*, 52: 100~106 (in Chinese with English abstract).
- Huang Jiqing and Chen Bingwei. 1987. Evolution of the Tethyan Ocean in China and the Neighboring Areas [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~109 (in Chinese).
- Inger S and Harris N. 1993. Geochemical constraints on leucogranite magmatism in the Langtang Valley, Nepal Himalaya [J]. *Journal of Petrology*, 34: 345~368.
- Jin Xiaochi. 2002. Permo-Carboniferous sequences of Gondwana affinity in southwest China and their paleogeographic implications [J]. *J. Asian Earth Sci.*, 20: 633~646.
- Li Cai, Wang Tianwu, Li Huimin, *et al.* 2003. Discovery of Indosinian megaporphyritic granodiorite in the Gangdise area: evidence for the existence of Paleo-Gangdise [J]. *Geological Bulletin of China*, 22: 364~366 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaqi, Cai Zihui, Chen Songyong, *et al.* 2008. The Indosinian orogenesis occurred in Lhasa terrain and the evidence from muscovite  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7): 1 595~1 604 (in Chinese with English abstract).
- Li Pengwu, Gao Rui, Cui Junwen, *et al.* 2005. Paleomagnetic results from the Three Rivers Region, SW China: implications for the collisional and accretionary history [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 26(5): 387~404 (in Chinese with English abstract).
- Li Xingzhen, Jiang Xinsheng, Sun Zhiming, *et al.* 2002. The Collisional Orogenic Processes of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area, Southwestern China [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Liang Dingyi. 2004. Several important advances in geological surveys on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geological Bulletin of China*, 23(1): 24~26 (in Chinese with English abstract).
- Liegeois J P. 1998. Some words on the post-collisional magmatism [J]. *Lithos*, 45: 15~19.
- Liu Deli, Liu Jishun, Zhang Caihua, *et al.* 2008. Geological characteristics and tectonic setting of Yunxian granite in the northern part of South Lancangjiang convergent margin, Western Yunnan Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27(1): 23~31 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2003. User's Manual for A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geochronology Center, Spec. Publ., 4.
- Lü Boxi, Wang Zeng and Zhang Nengde. 1993. Granitoids in the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Region and their Metallogenic Specialization [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Maniari P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Am. Bull.*, 101: 635~643.

- McDonough W F, Sun S, Ringwood A E, *et al.* 1992. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle [ J ]. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 56 : 1 001 ~ 1 012.
- Metcalfe I. 1996. Gondwanaland dispersion Asia accretion and evolution of eastern Tethys [ J ]. *Austr. J. Earth Sci.*, 43 : 605 ~ 623.
- Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, *et al.* 1997. Geological-Tectonic Evolution in the Eastern Tethys [ M ]. Beijing : Geological Publishing House ( in Chinese with English abstract ).
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zhengqian, *et al.* 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 22( 3 ): 521 ~ 533 ( in Chinese with English abstract ).
- Pan Guitang, Xu Qiang, Hou Zengqian, *et al.* 2003. Archipelagic Orogenesis, Metallogenic Systems and Assessment of the Mineral Resources along the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area in southwest China [ M ]. Beijing : Geological Publishing House ( in Chinese with English abstract ).
- Pan Guitang, Zhu Dicheng, Wang Liqian, *et al.* 2004. Bangong Lake-Nu River suture zone the northern boundary of Gondwanaland : Evidence from geology and geophysics [ J ]. *Earth Science Frontiers*, 11 ( 4 ): 371 ~ 383 ( in Chinese with English abstract ).
- Patino-Douce A E and Harris N. 1998. Experimental constraints on Himalayan anatexis [ J ]. *Journal of Petrology*, 39 : 689 ~ 710.
- Pearce J A, Harris N B and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [ J ]. *J. Petrol.*, 25 : 956 ~ 983.
- Searle M P, Parrish R R, Hodges K V, *et al.* 1997. Shisha pangma leucogranite, South Tibetan Himalaya : Field relations, geochemistry, age, origin and emplacement [ J ]. *The Journal of Geology*, 105 : 295 ~ 317.
- Sengör A M C, Altmer D, Cin A, *et al.* 1988. Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land [ A ]. *Gondwana and Tethys* [ C ]. Geological Society Special Publication, Oxford, ( 37 ): 119 ~ 181.
- Sengör A M C and Natalin B A. 1996. Palaeotectonics of Asia, fragments of asynthesis [ A ]. Yin A and Harrison T M. *Tectonic Evolution of Asia* [ C ]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 486 ~ 640.
- Soderlund U, Patchett P J, Vervoort J D, *et al.* 2004. The <sup>176</sup>Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions [ J ]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 219 : 311 ~ 324.
- Suess E. 1893. Are great ocean depths permanent [ J ]? *Nat. Sci.*, 2 : 180 ~ 187.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites [ J ]. *Lithos*, 45 : 29 ~ 44.
- Vervoort J D and Blichert T J. 1999. Evolution of the depleted mantle : Hf isotope evidence from juvenile rocks through time [ J ]. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 63 : 533 ~ 556.
- Visona D and Lombardo B. 2002. Two-mica and tourmaline leucogranites from the Everest-Makalu region ( Nepal-Tibet ): Himalayan leucogranite genesis by isobaric heating [ J ]. *Lithos*, 62 : 125 ~ 150.
- Wang Liqian, Pan Guitang, Zhu Dicheng, *et al.* 2008. Carboniferous-Permian island arc Gangdise belt, Tibet, China : evidence from volcanic rocks and geochemistry [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 27 ( 9 ): 1 509 ~ 1 534 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang Xiangdong, Ueno K, Mizuno Y, *et al.* 2001. Late Paleozoic faunal, climatic and Geographic changes in the Baoshan Block as a Gondwana-derived continental fragment in southwest China [ J ]. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 170 : 197 ~ 218.
- White A J R and Chappell B W. 1977. Ultrametamorphism and granitoid genesis [ J ]. *Tectonophysics*, 43 : 7 ~ 22.
- Wu Fuyuan, Yang Yueheng, Xie Liewen, *et al.* 2006. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology [ J ]. *Chem. Geol.*, 234 : 105 ~ 126.
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age [ J ]. *Chinese Sci. Bull.*, 49 ( 16 ): 1 589 ~ 1 604 ( in Chinese ).
- Xu Xiangzhen, Yang Jingsui, Li Tianfu, *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb ages and inclusions of zircons from the Sumdo eclogite in the Lhasa block, Tibet, China [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 26( 10 ): 1 340 ~ 1 353 ( in Chinese with English abstract ).
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Li Tianfu, *et al.* 2007. Oceanic subduction-type eclogite in the Lhasa block, Tibet, China : Remains of the Paleotethys ocean basin ? [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 26( 10 ): 1 277 ~ 1 287 ( in Chinese with English abstract ).
- Yang Qijun, Xu Yigang, Huang Xiaolong, *et al.* 2006. Geochronology and geochemistry of granites in the Gaoligong tectonic belt, western Yunnan ; Tectonic implications [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 22( 4 ): 817 ~ 834 ( in Chinese with English abstract ).
- Yang Qijun, Xu Yigang, Huang Xiaolong, *et al.* 2009. Geochronology and geochemistry of granites in the Tengliang area, western Yunnan : Tectonic implications [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 25( 5 ): 1 092 ~ 1 104 ( in Chinese with English abstract ).
- Yuan Honglin, Gao Shan, Liu Xiaoming, *et al.* 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry [ J ]. *Geostan Geoanal Res*, 28 : 353 ~ 370.
- Zhang Guowei, Guo Anlin and Yao Anping. 2004. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in Chinapans continental tectonics [ J ]. *Earth Science Frontiers*, 11 : 23 ~ 32 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Hongfei, Gao Shan, Zhong Zhengqiu, *et al.* 2002. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of Cretaceous granitoids : Constraints on tectonic framework and crustal structure of the Dabieshan ultrahigh pressure metamorphic belt, China [ J ]. *Chem. Geol.*, 186 : 281 ~ 299.
- Zhang Hongfei, Harris N, Parrish R, *et al.* 2005. Causes and consequences of protracted melting of the mid-crust exposed in the North Himalayan antiform [ J ]. *Earth Planetary Science Letters*, 228 : 195 ~ 212.
- Zhang Hongfei, Xu Wangchun, Guo Jianqiu, *et al.* 2007. Indosinian Orogenesis of the Gangdise Terrane : Evidences from Zircon U-Pb Dating and Petrogenesis of Granitoids [ J ]. *Earth Science*, 32( 2 ): 155 ~ 166 ( in Chinese with English abstract ).

- Zhang Kaijun and Tang Xianchun. 2009. Eclogites in the interior of the Tibetan Plateau and their geodynamic implications[J]. Chinese Science Bulletin, 54(13): 1 804~1 814( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Liangsheng and Schärer U. 1999. Age and origin of magmatism along the Cenozoic Red River shear belt, China[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 134: 67~85.
- Zhong Dalai. 1989. Paleo-Tethyan Orogenic Belt in the Western Parts of the Sichun and Yunnan Provinces[M]. Beijing: Science Press, 231 ( in Chinese ).
- Zhong Dalai, Ding Lin, Ji Jianqing, et al. 2001. Coupling of the lithospheric convergence of west china and dispersion of east china in cenozoic: link with paleoenvironmental changes[J]. Quaternary Sciences, 21: 303~312( in Chinese with English abstract ).
- Zhong Dalai, Ding Lin, Liu Futian, et al. 2000. Multi-oriented and layered structures of lithosphere in erogenic belt and their effects on Cenozoic magmatism—A case study of western Yunnan and Sichuan, China( in Chinese [J]. Science in China, Ser. D, 30: 168~177.
- Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Niu Yaoling, et al. 2009. Zircon U-Pb dating and in-situ Hf isotopic analysis of Permian peraluminous granite in the Lhasa terrane, southern Tibet: Implications for Permian collisional orogeny and paleogeography[J]. Tectonophysics, 469: 48~60.
- ### 附中文参考文献
- 陈福坤, 李秋立, 王秀丽, 等. 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[J]. 岩石学报, 22: 439~448.
- 陈吉琛. 1987. 滇西花岗岩类时代划分及同位素年龄值选用的讨论[J]. 云南地质, 6(2): 101~112.
- 陈吉琛, 林文信, 陈良忠. 1991. 腾冲—梁河地区含锡花岗岩序列-单元研究[J]. 云南地质, 10(3): 241~289.
- 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[J]. 地质学报, 83(5): 651~658.
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1~381.
- 和钟铎, 杨德明, 郑常青, 等. 2006. 冈底斯带门巴花岗岩同位素测年及其对新特提斯洋俯冲时代的约束[J]. 地质论评, 52: 100~106.
- 黄汲清, 陈炳蔚. 1987. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版社, 1~109.
- 李才, 王天武, 李惠民, 等. 2003. 冈底斯地区发现印支期巨斑花岗岩闪长岩: 古冈底斯造山的存在证据[J]. 地质通报, 22: 364~366.
- 李化启, 蔡志慧, 陈松永, 等. 2008. 拉萨地体中的印支造山事件及年代学证据[J]. 岩石学报, 24: 1 595~1 604.
- 李朋武, 高锐, 崔军文, 等. 2005. 西藏和云南三江地区特提斯洋盆演化历史的古地磁分析[J]. 地球学报, 26(5): 387~404.
- 李兴振, 江新胜, 孙志明, 等. 2002. 西南三江地区碰撞造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 148~172.
- 梁定益. 2004. 青藏高原首批 1:25 万区域地质调查地层工作若干进展点评[J]. 地质通报, 23(1): 24~26.
- 刘德利, 刘继顺, 张彩华, 等. 2008. 滇西南澜沧江结合带北段云县花岗岩的地质特征及形成环境[J]. 岩石矿物学杂志, 27(1): 23~31.
- 吕伯西, 王增, 张能德, 等. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 徐强, 侯增谦, 等. 2003. 西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521~533.
- 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 等. 2004. 班公湖-怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据[J]. 地学前缘, 11(4): 371~382.
- 王立全, 潘桂棠, 朱弟成, 等. 2008. 西藏冈底斯带石炭纪-二叠纪岛弧造山作用: 火山岩和地球化学证据[J]. 地质通报, 27(9): 1 509~1 534.
- 章邦桐, 吴俊奇, 凌洪飞, 等. 2007. U-Th-K 放射成因热对花岗岩冷却-结晶过程影响的计算及地质意义[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 37(2): 155~159.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 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, 49(16): 1 589~1 604.
- 徐向珍, 杨经绥, 李天福, 等. 2007. 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, 26(10): 1 340~1 355.
- 杨经绥, 许志琴, 李天福, 等. 2007. 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, 26(10): 1 277~1 287.
- 杨启军, 徐义刚, 黄小龙, 等. 2006. 高黎贡构造带花岗岩的年代学和地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报, 22(4): 817~834.
- 杨启军, 徐义刚, 黄小龙, 等. 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[J]. 岩石学报, 25(5): 1 092~1 104.
- 张国伟, 郭安林, 姚安平. 2004. 中国大陆构造中的西秦岭~松潘大陆构造带[J]. 地学前缘, 11: 23~32.
- 张宏飞, Harris N, Parrish R, 等. 2005. 北喜马拉雅淡色花岗岩地球化学: 区域对比、岩石成因及其构造意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 30(3): 275~288.
- 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 等. 2007. 冈底斯印支期造山事件: 花岗岩类锆石 U-Pb 年代学和岩石成因证据[J]. 地球科学, 32(2): 155~166.
- 张开均, 唐宜春. 2009. 青藏高原腹地榴辉岩研究进展及其地球动力学意义[J]. 科学通报, 54(13): 1 804~1 814.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯构造带[M]. 北京: 科学出版社.
- 钟大赉, 丁林, 季建清, 等. 2001. 中国西部新生代岩石圈汇聚和东部岩石圈离散的耦合关系与古环境格局演变的探讨[J]. 第四纪研究, 21: 303~312.
- 钟大赉, 丁林, 刘福田, 等. 2000. 造山带岩石层多向层架构造及其对新生代岩浆活动制约——以三江及邻区为例[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 30(增刊 I): 168~177.