

腾冲—冈底斯新生代造山带的垮塌及陆间裂谷的形成

张 虎¹, 吴中海², 叶培盛², 陈光艳¹, 田素梅¹, 姚 雪^{1,3}
ZHANG Hu¹, WU Zhonghai², YE Peisheng², CHEN Guangyan¹,
TIAN Sumei¹, YAO Xue^{1,3}

1. 云南省地质调查院, 云南 昆明 650216;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093

1. *Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650051, Yunnan, China;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

3. *Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China*

摘要: 腾冲新生代中酸性火山岩以往研究较为薄弱, 通过中酸性火山岩岩石地球化学研究, 将腾冲新生代中酸性火山岩划分为高Sr、低Yb的埃达克型英安岩和低Sr、中Yb的浙闽型英安岩, 其时限分别为上新世(2.78~4.04Ma)和早更新世(0.73~1.19Ma), 为腾冲冈底斯带造山隆升后, 由稳定至垮塌过程中形成的中酸性火山岩。中新世, 腾冲冈底斯高原应力由东西向挤压为主转变为南北向走滑, 造山带开始裂解。受路西—保山地块阻挡, 走滑方向偏转, 在转折端轴向断片间滑脱形成裂谷盆地。裂谷形成初期, 地幔减压上侵, 下地壳高压部分熔融形成埃达克型花岗质岩浆; 至早更新世, 随着裂谷加剧, 地壳厚度进一步减薄, 在低压条件下下地壳部分熔融形成浙闽型花岗质岩浆。

关键词: 腾冲; 上新世—更新世; 英安岩; 埃达克型; 浙闽型; 造山带垮塌; 陆间裂谷

中图分类号: P534.62⁺2; P542⁺.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2015)01-0171-12

Zhang H, Wu Z H, Ye P S, Chen G Y, Tian S M, Yao X. The collapse of Tengchong–Gangdise Cenozoic orogenic belt and the formation of intercontinental rift: Petrological records of Pliocene–Pleistocene dacite in Tengchong. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(1):171–182

Abstract: The study of Cenozoic intermediate–acidic volcanic rocks in Tengchong has been very insufficient in the past. Based on geochemical studies of intermediate–acidic volcanic rocks, the authors divided the Cenozoic volcanic rocks into Sr–high, Yb–low Adak–type dacite and Sr–low, Yb–medium Zhe–Min (Zhejiang–Fujian) type dacite, with the time limit being N₂(2.78~4.04Ma) and Q₁(0.73~1.19Ma) respectively. These intermediate–acidic volcanic rocks were formed during the transform process from stability to collapse after the orogenic uplift of the Tengchong–Gangdise belt. In Miocene, the stress of Tengchong–Gangdise plateau was transformed from the domination of EW–trending compression to NS–trending strike–slip, and the orogenic belt began break–up. Blocked by the Luxi–Baoshan land mass, the direction of the strike–slip was deflected and resulted in the detachment and formation of rift basin among axial fault slices at the turning end in the early period of the formation of rift, the mantle was decompressed and intruded upward, and the high–pressure part of the lower crust was partly melted to form Adak–type granitic magma. In early Pleistocene, with the intensification of the rifting, the crust became further thinner, and the lower crust was partly melted under the condition of low pressure to form Zhe–Min type granitic magma.

Key words: Tengchong; Pliocene–Pleistocene; dacite; adak–type; Zhe–Min type; orogenic collapse; continental rift

收稿日期: 2014–10–14; 修订日期: 2014–12–01

资助项目: 中国地质科学院项目(编号: 1212011120166)、中国地质调查局项目(编号: 1212011120163、1212010814054)

作者简介: 张虎(1969–), 男, 在读博士生, 高级工程师, 从事区域地质调查方面研究。E-mail: ynddzhanghu@126.com

腾冲冈底斯新生代造山带位于泸水—龙陵—瑞丽断裂以西,是中国境内喜马拉雅造山带的一部分,也是研究新构造运动的天然实验场所,并因腾冲新生代火山岩群而闻名(图1)。由于特殊的大地构造位置,许多地质学者从不同角度对腾冲新生代火山岩进行了研究,对火山岩产出环境存在2种观点:①印度板块与欧亚板块边界碰撞带^[1-2];②滞后型岛弧成因或迟于消减作用的岛弧^[3-7]。腾冲地块上新世—全新世为陆内环境^[4,6],腾冲上新世以来的火山活动与岩石圈拆沉作用有关^[8]。Wang等^[9]也认为,腾冲地区不存在真正意义上的成熟岛弧构造环境,火山活动与早期板块的俯冲没有动力或成因上的关系,不是大陆边缘板块俯冲作用的产物。以往研究更多偏向于板块构造的观点,使用的样品多为玄武岩、玄武安山岩、安山岩,而对腾冲火山岩中分布广泛的英安岩类极少涉及。本次重点研究腾冲新生代火山岩中上新世和早更新世英安岩,从岩相学及岩石地球化学角度,将腾冲火山岩中的英安岩分为上新世埃达克型英安岩和早更新世晚期浙闽型英安岩两大类,认为该英安岩形成于大陆构造背景下造山带造山后拉张环境—造山带裂谷(陆间裂谷),阐述了腾冲冈底斯造山带造山作用结束由高原向裂谷转变过程中的构造—岩浆作用。

1 区域地质概况

腾冲新生代火山群位于印度板块与欧亚板块碰撞带以东,至高黎贡山西侧龙川江弧形断裂带以西的广大区域,新生代以来火山作用强烈,主要为上新世和第四纪火山活动的产物。上新世火山岩以梁河盆地为中心呈北西—南东向对称分布,残留分布于中高山区或被第四系覆盖,喷发不整合于下伏中新世或上新世碎屑沉积岩之上,或直接喷发不整合于盆地基底的中元古代变质岩、晚古生代沉积岩、中生代及新生代花岗岩上,火山盆地的形态多被改造。第四纪火山岩主要分布于固东、腾冲第四纪盆地内,面积和规模急剧缩小,喷发不整合于上新世地层、火山岩或晚古生代地层、中生代花岗岩上。腾冲火山活动共划分为4期^[10-11],上新世、早更新世、晚更新世和全新世。本次研究主要针对腾冲火山岩中分布较广、但研究程度偏低的上新世和早更新世英安岩。

2 英安岩产状及岩相学特征

上新世英安岩和早更新世英安岩是腾冲火山第一喷发旋回的酸性火山岩组合,构成上新世—早更新世造山带裂谷高钾钙碱性双峰式火山岩的酸性火山岩端元。上新世英安岩主要分布于槟榔江两岸勐外、木瓜塘、干河、油竹坝和龙江沿岸上营、芒棒、勐柳、清凉山、尖山寺、大尖山等地,可分为槟榔江英安岩带和龙江英安岩带,是腾冲新生代火山岩中柱状节理最发育的层位(图2)。早更新世英安岩主要分布于瓦窑坡—板壁坡—青龙坡—打直街—象塘—大坪山一带,呈长45km、宽3~5km的狭长带状分布(图3),为裂隙式喷发形成,少数分布于干河、仗刀、来凤山等地,统称为腾冲英安岩带。按岩石矿物分类,槟榔江英安岩带主要为辉石英安岩、角闪英安岩;龙江英安岩带主要为角闪英安岩、角闪玻基英安岩、辉石英安岩;腾冲英安岩带主要为角闪英安岩。

辉石英安岩:为槟榔江英安岩带木瓜塘火山体和龙江英安岩带清凉山火山体的主体岩性。岩石呈深灰色,具含斑结构,致密块状或气孔状构造。斑晶由中长石(1%~6%)和普通辉石(1%~3%)组成。斑晶粒径0.4~2.5mm,中长石呈半自形板状,发育肖卡钠联晶及环带构造;辉石呈自形短柱状,柱面解理发育, $\text{Ng}\wedge\text{C}=41\sim 43^\circ$ 。基质具玻晶交织结构,主要由 $d\leq 0.1\text{mm}$ 的微晶斜长石(55%~75%)和浅绿—浅褐色均质体玻璃质(23%~40%)组成。

角闪玻基安山岩:分布于勐柳火山体和清凉山火山体上部,灰色,斑状结构,块状构造。斑晶由中长石(5%~15%)和普通角闪石(5%~15%)组成,斑晶粒径0.3~2mm,中长石可见环带构造,部分普通角闪石蚀变成褐铁矿集合体。基质具玻晶交织结构,主要由微晶斜长石(30%~54%)、隐晶玻璃质(30%~40%)和少量微粒角闪石(3%~5%)组成,含少量磷灰石、白钛石、褐铁矿等。

角闪英安岩:构成腾冲新生代火山岩的主要岩石类型,分为上新世角闪英安岩和早更新世角闪英安岩。岩石呈深灰或浅灰色,斑状结构,块状构造。斑晶由中长石(10%~30%)和普通角闪石(5%~9%)组成,有时含少量普通辉石(0~3%)或黑云母(0~3%)。斑晶自形,粒径0.5~2mm,中长石具有环带构造;普通角闪石具暗化边,偶见定向微细柱状浅色闪石反应边;普通辉石有暗化边。基质具交织结构或微晶

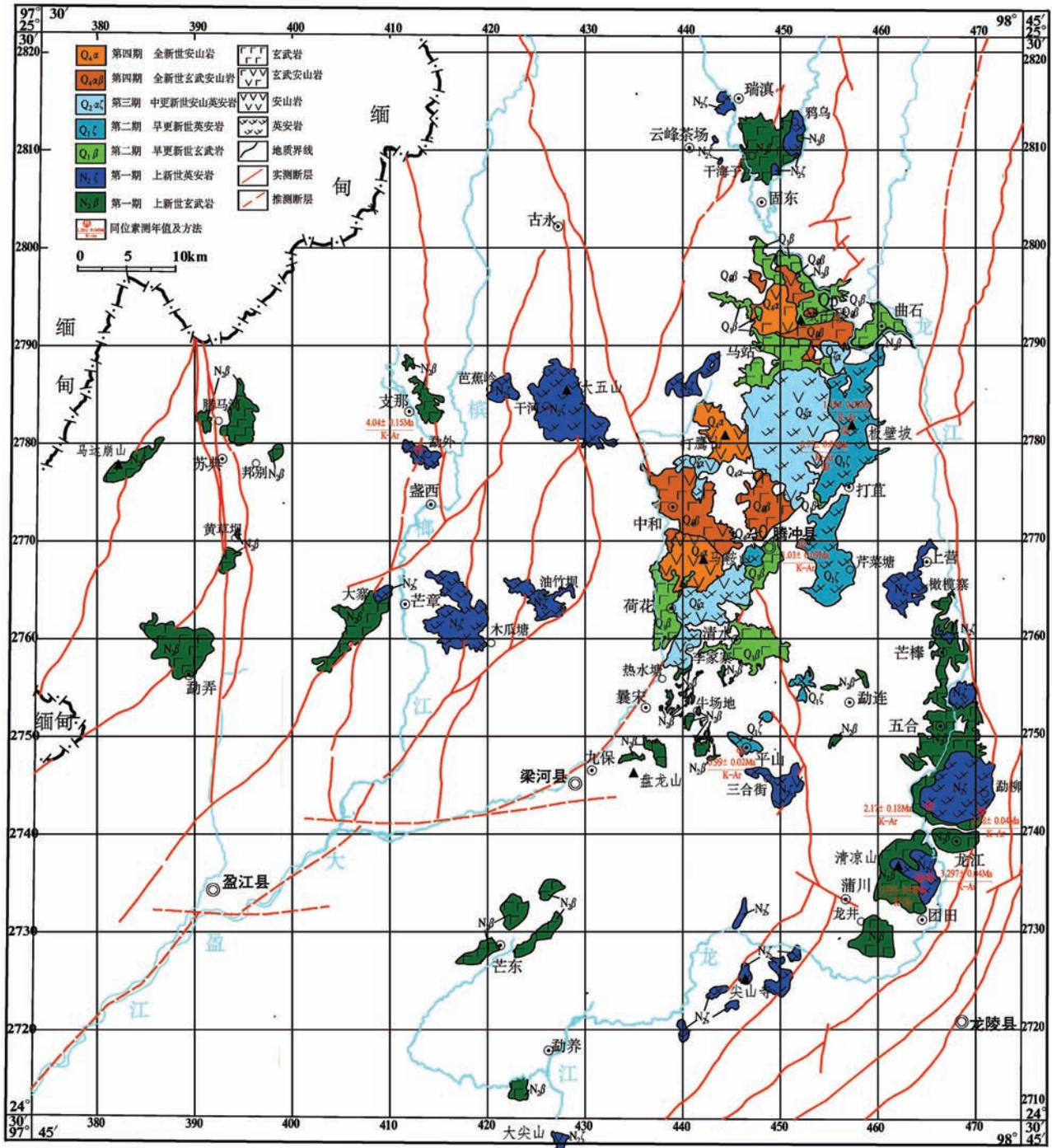


图1 腾冲新生代火山岩地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Tengchong Cenozoic volcanic rocks

结构,由玻璃质(10%~60%)或准晶长英质微粒(59%~76%,龙江英安岩带)与微晶斜长石(10%~65%)、微晶闪石(0~9%)组成,矿物粒径 $d \leq 0.1\text{mm}$,仅微晶斜长石粒径 $d \leq 0.25\text{mm}$,玻璃质为浅绿—浅褐色,低突起,均质体。基质中含粒径 $d \leq 0.01\text{mm}$ 的金属副矿

物,自形立方体—他形粒状,不透明。

上新世角闪英安岩分布于西带(槟榔江英安岩带)的烂泥箐、干河、油竹坝和东带(龙江英安岩带)的五岔路大尖山、那太山、邦麦、番家山、尖山寺等火山体,为分布最广的英安岩。而早更新世



图2 上新世英安岩形成的柱状节理(腾冲猴桥镇邵家营,镜头向南西)

Fig. 2 Columnar joints formed by Pliocene dacite

角闪英安岩分布于瓦窑坡—板壁坡—打直街—象塘一带及大坪山、干河、仗刀等地,是早更新世英安岩的主体岩性。与上新世角闪英安岩相比,岩石基质具玻晶交织结构,基质中玻璃质含量高达44%~66%,其余为微晶斜长石(20%~35%)。大坪山的英安岩具流纹构造,且斑晶除中长石和角闪石外,还出现少量辉石和黑云母。仗刀英安岩中含1%~2%的黑云母斑晶。

3 岩石地球化学特征

3.1 主量元素

上新世和早更新世英安岩主量元素分析结果列于表1。从岩石化学成分看,上新世槟榔火山岩带英安岩 SiO_2 含量为63.20%~67.02%,平均值为65.59%; Al_2O_3 含量为15.54%~16.75%,平均值为16.28%,较高; TiO_2 含量为0.45%~0.78%,平均值为0.60%; Na_2O 含量为2.94%~3.78%,平均值为3.47%;

K_2O 含量为2.61%~3.68%,平均值为2.91%; TFeO 含量为1.10%~3.25%,平均值为3.67%; MgO 含量为0.95%~2.16%,平均值为1.42%。龙江火山岩带英安岩 SiO_2 含量为61.54%~66.31%,平均值为64.32%; Al_2O_3 含量为14.85%~16.64%,平均值为15.77%; TiO_2 含量为0.59%~0.95%,平均值为0.83%; Na_2O 含量为2.57%~3.72%,平均值为3.20%; K_2O 含量为3.12%~4.16%,平均值为3.50%; TFeO 含量变化大,在3.39%~5.34%间,平均值为4.92%; MgO 含量为0.72%~2.64%,平均值为1.59%。早更新世腾冲英安岩带英安岩 SiO_2 含量为62.48%~68.78%,平均值为65.69%; Al_2O_3 含量为15.77%~18.35%,平均值为16.84%; TiO_2 含量为0.51%~0.82%,平均值为0.65%; Na_2O 含量为1.69%~3.12%,平均值为2.45%; K_2O 含量为3.36%~4.35%,平均值为3.79%,最高; TFeO 含量在3.04%~4.33%间,平均值为3.78%; MgO 含量0.79%~1.71%,平均值为1.16%。



图3 板壁坡—青龙坡早更新世角闪英安岩的宏观产状(腾冲北海东,镜头向东)

Fig. 3 Macroscopic attitude of Early Pleistocene hornblende dacite in Banbipo-Qinglongpo area

表 1 上新世—早更新世英安岩主量、微量和稀土元素分析结果
**Table 1 Major, trace and rare earth element analyses of Pliocene–
 Early Pleistocene dacite in Tengchong area**

样品号	LN1	LN2	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	GH3	GH4	GH5	YZ2	WP0
采样地点	勐外烂泥箐		盈江木瓜塘西				干河			油竹坝	瓦窑坡	
岩石名称	(辉石)角闪英安岩		辉石英安岩				(辉石)角闪英安岩			角闪英安岩	辉石英安岩	
SiO ₂	64.50	66.24	67.02	65.38	64.99	64.46	64.74	67.60	67.75	67.16	63.20	64.08
TiO ₂	0.542	0.537	0.544	0.628	0.68	0.713	0.696	0.446	0.449	0.481	0.755	0.728
Al ₂ O ₃	16.41	16.22	15.54	16.09	16.75	16.93	16.24	16.05	15.98	16.65	16.17	16.32
Fe ₂ O ₃	0.35	2.68	1.39	1.44	3.07	3.03	2.68	1.96	1.89	2.40	1.93	1.46
FeO	3.25	1.10	2.24	2.67	1.36	1.54	1.78	1.24	1.34	1.02	2.49	2.16
MnO	0.07	0.042	0.074	0.077	0.071	0.063	0.073	0.057	0.059	0.059	0.087	0.061
MgO	1.60	1.19	1.58	1.89	0.892	1.10	1.57	1.22	1.25	0.952	2.16	1.66
CaO	4.57	4.04	4.01	4.71	3.94	3.28	4.17	4.12	4.04	3.26	4.67	4.26
Na ₂ O	3.38	3.78	3.57	3.65	3.42	3.15	3.58	3.8	3.76	3.28	3.38	2.94
K ₂ O	2.88	2.71	3.26	2.73	2.78	2.92	2.93	2.64	2.61	2.61	3.14	3.68
P ₂ O ₅	0.182	0.187	0.203	0.224	0.241	0.268	0.278	0.146	0.146	0.148	0.329	0.228
H ₂ O ⁺	1.05	0.79	0.219	0.135	1.25	2.7	1.15	0.208	0.075	1.14	0.94	1.76
LOI	1.72	0.972	0.15	0.031	1.44	2.16	0.86	0.423	0.423	1.7	1.22	2.01
Total	98.96	99.79	99.74	99.77	99.60	100.24	99.95	99.67	99.43	99.25	99.58	99.60
Mg [#]	0.46	0.44	0.50	0.50	0.33	0.37	0.46	0.49	0.49	0.41	0.53	0.51
La	52.00	63.90	63.10	53.30	59.40	99.70	63.90	38.40	38.60	43.40	61.10	72.60
Ce	78.6	118	127	106	111	121	117	73.80	74	79	118	146
Pr	8.74	13	11.9	10.4	11.2	17.9	12.4	7.26	7.30	8.22	11.60	14.60
Nd	32.6	51.8	42.3	38	40.7	67.1	44.7	26.10	26.70	30.00	42.00	52.50
Sm	5.38	9.55	6.66	6.06	6.46	10.8	7.1	4.34	4.43	4.88	6.79	8.21
Eu	1.37	2.8	1.3	1.32	1.5	2.45	1.63	1.03	1.04	1.18	1.58	1.57
Gd	4.98	8.67	5.42	4.94	5.27	8.94	5.8	3.47	3.54	3.98	5.56	6.48
Tb	0.72	1.3	0.69	0.64	0.68	1.21	0.76	0.46	0.47	0.54	0.75	0.81
Dy	4.1	7.42	3.53	3.38	3.6	6.42	4.09	2.54	2.53	2.86	4.07	4.13
Ho	0.86	1.46	0.69	0.65	0.7	1.25	0.78	0.48	0.49	0.55	0.79	0.79
Er	2.39	3.84	1.92	1.78	1.89	3.26	2.1	1.31	1.35	1.48	2.13	2.19
Tm	0.36	0.6	0.28	0.27	0.28	0.47	0.32	0.20	0.20	0.22	0.32	0.33
Yb	2.38	3.88	1.94	1.81	1.88	3.04	2.13	1.35	1.35	1.43	2.15	2.18
Lu	0.36	0.54	0.27	0.26	0.27	0.44	0.3	0.19	0.19	0.20	0.32	0.31
Y	24.6	36.7	17.6	15.8	16.8	34.8	19	12	12.10	14.20	19	19.20
Rb	70.7	76.1	123	97.3	88.2	101	93.5	84.40	80	77.80	44.80	134
Sr	491	472	422	493	496	369	467	415	408	385	536	454
Ba	638	684	747	664	737	920	783	585	561	796	753	690
U	1.91	1.91	2.78	2.36	2.34	2.68	2.2	12.40	11.60	11.80	15.30	27.00
Th	11.5	12	19	16.5	15	16.8	14.8	2.09	1.89	1.78	2.28	3.42
Nb	9.58	9.76	13	11.7	13	13.3	15.1	7.34	6.99	7.12	17.20	16.10
Ta	0.7	0.7	0.93	0.78	0.86	0.9	1.01	0.58	0.54	0.54	1.11	1.25
Zr	153	157	229	209	224	220	230	140	142	156	237	216
Hf	4.41	4.49	6.39	5.74	6.2	6.31	6.41	4.27	4.26	4.72	6.29	6.51
Ga	16.4	16.8	18.1	18.5	17	18.7	18	16.90	16.40	16.60	18.50	17.10
Sc	8.8	8.62	8.23	9.82	8.97	9.79	9.57	8.11	7.77	7.60	10.70	9.39
V	65.9	65.5	58.5	72.9	68.2	69	68.5	53.00	52.30	56.20	78.80	62.20
Cr	18.2	20	13.9	14.8	12.9	15.9	32.3	10.50	9.26	9.51	25.20	14.70
Co	7.58	5.82	6.66	7.86	7.56	6.62	8.05	6.02	5.88	6.18	9.96	8.43
Ni	11	9.74	4.7	5.67	4.46	4.72	8.52	5.79	5.38	5.44	11.80	7.30
Cu	12.3	12.9	9.22	13.2	10.8	10.6	14.4	10.50	10.30	9.75	13.50	22.90

续表1-1

样品号	LJ1	LJ2	LJ3	LJ4	LJ5	JD1	JD2	JD3	JD4	JD5	JD6	QH1	QH2	QH3	QH8
采样地点	芒—梁公路大尖山					尖山脚	番家山	芒麦村	那太山	夺产山	大尖山	大坪子		清凉山	三锅腔
岩石名称	黑云角闪英安岩				角闪英安岩	英安岩					玻基英安岩		辉石英安岩		
SiO ₂	63.90	64.02	63.23	64.42	64.17	64.36	65.38	64.31	64.99	65.16	63.46	66.23	66.31	61.54	63.26
TiO ₂	0.913	0.932	0.94	0.938	0.915	0.76	0.72	0.79	0.59	0.71	0.92	0.63	0.78	0.95	0.95
Al ₂ O ₃	15.42	15.78	15.63	15.67	15.61	15.94	15.24	16.58	15.88	15.05	15.54	14.85	16.34	16.33	16.64
Fe ₂ O ₃	3.22	3.21	3.2	3.58	3.38										
FeO	1.62	1.65	1.58	1.32	1.46	4.28	4.00	4.54	3.93	3.97	5.25	1.43	3.72	1.43	3.46
MnO	0.058	0.056	0.068	0.051	0.046	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.06	0.07	0.1	0.05
MgO	2.1	1.61	1.8	1.27	1.63	1.76	1.44	1.20	1.58	1.67	1.49	1.64	0.72	2.64	1.36
CaO	3.77	3.82	4.6	3.95	3.86	4.40	3.82	3.71	4.06	3.80	3.60	3.79	2.12	5.09	4.11
Na ₂ O	2.88	3.11	3.2	3.37	3.17	3.72	2.92	3.47	3.56	3.03	3.44	2.71	2.57	3.58	3.3
K ₂ O	3.3	3.4	3.35	3.43	3.33	3.39	4.16	3.30	2.76	4.15	3.59	4.07	3.73	3.02	3.51
P ₂ O ₅	0.352	0.357	0.37	0.373	0.362	0.25	0.25	0.26	0.20	0.25	0.38	0.21	0.24	0.35	0.37
H ₂ O ⁺	2.12	1.73	1.28	1.16	1.88							1.3	2.22	0.51	1.21
LOI	2.06	1.64	1.61	1.25	1.68	0.72	1.63	1.52	2.20	1.73	2.30	1.9	2.51	0.12	1.07
Total	99.84	99.80	99.89	99.70	99.97	98.93	97.99	98.22	97.62	97.86	97.75	99.72	99.72	99.72	99.70
Mg ^d	0.52	0.45	0.48	0.39	0.46	0.52	0.48	0.41	0.51	0.52	0.42	0.52	0.29	0.50	0.49
La	88.80	90.70	91.10	89.70	87.20	68.40	73.30	92.50	57.40	75.30	101.00	109.80	100.10	66.37	76.53
Ce	173.00	173.00	177.00	172.00	168.00	113.00	128.00	113.00	102.00	132.00	173.00	179.28	145.30	119.00	131.80
Pr	17.00	17.40	17.50	17.10	16.80	13.20	13.90	18.00	11.20	13.80	19.40	21.35	21.36	13.50	15.59
Nd	61.70	62.60	63.20	61.80	59.90	46.90	48.10	64.40	39.10	48.50	67.70	73.45	73.10	48.03	51.31
Sm	9.86	9.98	9.97	9.88	9.59	7.62	7.66	10.20	6.19	7.63	11.10	11.74	12.07	8.23	8.72
Eu	1.94	2.02	1.97	2.00	1.96	1.54	1.52	2.26	1.36	1.50	2.09	1.97	2.49	1.79	1.84
Gd	8.02	8.30	8.28	7.98	7.77	6.02	5.83	7.04	4.55	6.05	7.72	8.90	9.58	6.71	6.27
Tb	1.06	1.10	1.09	1.08	1.04	0.89	0.92	1.10	0.72	0.94	1.23	1.31	1.33	0.94	0.92
Dy	5.43	5.78	5.72	5.75	5.39	4.40	4.50	5.08	3.62	4.69	6.17	6.50	7.34	4.80	4.67
Ho	1.00	1.07	1.06	1.09	0.98	0.91	0.94	0.98	0.76	0.96	1.29	1.19	1.55	0.94	0.98
Er	2.55	2.79	2.87	2.82	2.53	2.45	2.55	2.65	2.00	2.63	3.51	2.98	3.81	2.69	2.37
Tm	0.34	0.39	0.42	0.40	0.35	0.33	0.37	0.34	0.28	0.36	0.46	0.44	0.56	0.39	0.36
Yb	2.18	2.44	2.57	2.55	2.17	2.06	2.39	2.17	1.83	2.35	3.07	2.58	3.31	2.47	2.20
Lu	0.28	0.32	0.35	0.34	0.29	0.30	0.34	0.29	0.28	0.34	0.44	0.42	0.53	0.37	0.36
Y	23.20	26.00	26.00	25.50	23.40	24.20	24.50	25.30	20.00	26.50	35.20	27.91	35.50	25.05	23.14
Rb	87.60	90.40	90.10	88.00	42.00	105.00	118.00	111.00	87.00	112.00	111.00	134.60	125.20	98.58	99.30
Sr	376	417	453	469	435	453	445	429	572	416	489	361.40	286.70	497	554.50
Ba	927	994	944	987	960	846	983	902	964	1010	1190	1087	1539	1131	1161
U	13.00	14.40	16.00	15.90	14.90	21.60	23.40	22.70	17.00	21.60	23.50	19.55	18.19	20.12	19.86
Th	0.88	1.25	1.96	1.92	1.32	2.42	2.85	2.49	2.37	2.56	2.86	2.55	2.48	2.48	2.30
Nb	21.20	21.10	22.10	22.20	21.60	16.60	17.30	16.60	11.80	16.90	25.90	17.41	18.59	24.67	24.81
Ta	1.33	1.33	1.38	1.40	1.35	1.00	1.09	0.99	0.68	1.04	1.42	0.93	1.08	1.85	1.30
Zr	350	374	339	363	366	208	298	210	245	273	338	304	349.40	305.70	311.70
Hf	9.30	9.87	9.02	9.64	9.60	5.16	7.03	5.50	5.57	6.37	7.57	9.60	10.60	8.13	8.70
Ga	16.50	16.90	17.00	16.50	17.40	18.10	18.40	19.10	19.70	18.30	22.20				
Sc	9.26	9.21	9.29	9.10	9.47	8.00	7.77	9.84	8.52	8.52	11.70	7.51	7.99	14.60	11.52
V	70.80	73.30	71.70	68.90	68.70	75.30	66.00	78.00	72.70	64.70	78.10	60.26	64.90	101.10	94.30
Cr	32.80	29.20	29.60	29.50	28.50	21.90	44.80	21.90	32.60	40.40	43.80	27.90	33.50	42.17	51.50
Co	7.76	7.96	8.33	7.83	7.91	10.40	8.80	10.20	8.70	8.50	9.51	13.81	11.13	22.45	22.14
Ni	8.29	9.68	8.50	8.33	8.68	13.10	10.60	10.90	9.90	11.30	12.50	11.11	9.65	18.36	25.91
Cu	9.68	9.68	10.00	10.60	10.70	14.20	11.30	14.90	11.00	15.40	17.90	11.04	11.73	18.39	19.15

续表 1-2

样品号	SJ1	SJ2	PS1	PS3	BH1	BH2	LM1	XT1	XT2	WY1	WP9	LF1	ZD1	ZD2	GH7
采样地点	上酒店		大坪山		板壁坡		龙门	象塘		瓦窑坡		来凤山	仗刀		干河
岩石名称	角闪英安岩		角闪英安岩		英安岩		角闪英安岩			辉石 英安岩	角闪 英安岩	英安岩	黑云角闪 玻基英安岩		角闪 英安岩
SiO ₂	65.05	65.13	68.78	65.79	67.76	66.59	64.87	67.01	63.77	64.57	67.19	64.79	65.02	66.5	62.48
TiO ₂	0.632	0.621	0.514	0.625	0.515	0.633	0.714	0.634	0.742	0.764	0.575	0.701	0.633	0.582	0.823
Al ₂ O ₃	16.69	16.69	15.77	17.04	16.35	16.71	17.96	16.03	18.18	16.34	15.93	17.02	17.17	16.43	18.35
Fe ₂ O ₃	3.86	2.93	2.46	3.34	2.76	3.25	3.9	2.35	3.00	2.4	3.31	2.48	2.85	2.56	4.21
FeO	0.278	1.05	0.826	0.733	0.655	0.695	0.699	1.31	1.26	2.17	0.703	1.83	1.29	1.24	0.962
MnO	0.073	0.069	0.048	0.068	0.057	0.058	0.072	0.062	0.039	0.06	0.033	0.075	0.069	0.064	0.067
MgO	1.71	1.65	0.836	1.25	0.897	1.12	0.504	0.805	1.05	1.64	0.785	1.27	1.55	1.18	1.10
CaO	1.73	1.81	1.82	1.35	1.67	1.13	1.05	3.45	1.1	3.73	3.28	2.2	2.17	2.51	1.43
Na ₂ O	2.36	2.43	2.7	2.01	2.43	1.83	2.14	3.25	1.81	3.12	3.09	2.93	2.23	2.76	1.69
K ₂ O	3.55	3.54	4.12	4.03	3.91	4.32	4.35	3.55	3.78	3.55	3.36	3.86	3.5	3.56	3.8
P ₂ O ₅	0.181	0.175	0.072	0.141	0.132	0.126	0.157	0.215	0.202	0.236	0.165	0.202	0.144	0.167	0.27
H ₂ O ⁺	3.90	3.88	1.58	3.39	2.6	3.03	2.72	0.795	4.44	0.926	0.991	2.73	3.13	2.17	4.87
LOI	3.71	3.66	1.79	3.39	2.65	3.32	3.31	1.02	4.76	0.977	1.36	2.27	3.08	2.13	4.49
Total	100.08	100.03	99.70	99.85	99.79	99.54	99.24	99.66	99.60	99.69	99.55	100.14	99.83	99.82	100.11
Mg [#]	0.51	0.51	0.39	0.44	0.40	0.42	0.22	0.35	0.38	0.47	0.33	0.60	0.48	0.44	0.34
La	57.70	66.50	112.00	100.00	136.00	98.80	134.00	70.40	98.00	98.90	113.00	94.00	123.00	103.00	139.00
Ce	122.00	129.00	153.00	160.00	141.00	167.00	182.00	136.00	165.00	155.00	130.00	136.00	137	156	212.00
Pr	12.70	14.00	26.00	19.60	26.30	20.60	28.70	14.30	21.30	20.50	16.90	19.70	24.8	21.8	24.10
Nd	46.40	50.40	93.00	72.40	97.60	76.30	108.00	51.80	78.80	75.60	56.90	66.10	85.6	83.3	85.30
Sm	7.58	8.10	14.30	11.60	15.40	12.30	17.70	8.39	12.70	11.80	8.44	10.10	12.4	13	12.70
Eu	1.17	1.31	2.51	2.02	2.59	1.68	3.10	1.41	2.17	2.14	1.42	1.62	2.36	2.78	2.78
Gd	5.76	6.13	10.20	9.04	12.20	9.11	13.80	6.55	10.10	9.15	6.36	8.15	8.55	10.1	10.40
Tb	0.75	0.76	1.32	1.18	1.52	1.15	1.89	0.84	1.33	1.18	0.79	1.03	1.02	1.3	1.30
Dy	3.79	3.76	6.45	5.96	7.48	5.58	10.10	4.24	6.55	6.08	3.96	4.98	4.5	6.46	6.46
Ho	0.69	0.71	1.16	1.14	1.43	1.03	1.92	0.78	1.21	1.18	0.72	0.90	0.78	1.24	1.23
Er	1.87	1.86	3.09	3.04	3.71	2.80	5.33	2.09	3.10	3.16	1.91	2.44	2.03	3.29	3.31
Tm	0.28	0.27	0.45	0.44	0.51	0.40	0.81	0.31	0.42	0.46	0.27	0.37	0.27	0.48	0.48
Yb	1.81	1.72	2.89	2.86	3.12	2.54	5.34	1.97	2.66	2.95	1.77	2.39	1.71	2.96	3.06
Lu	0.24	0.23	0.39	0.40	0.45	0.36	0.78	0.28	0.35	0.42	0.25	0.33	0.22	0.41	0.44
Y	16.20	16.90	27.30	27.80	43.20	27.00	50.50	19.20	30.50	30.00	16.30	24.60	17.4	32.3	31.40
Rb	138	133	83.20	168	188	199	166	144	160	136	140	64.40	94.4	184	149
Sr	181	176	193	165	211	158	268	307	196	406	310	228	187	228	295
Ba	581	539	865	766	694	677	891	603	772	843	603	720	746	772	1180
U	27.30	25.70	30.90	29.80	30.30	38.00	31.70	22.80	27.80	27.40	26.00	33.40	3.12	3.26	29.10
Th	2.35	2.62	3.62	3.02	4.20	3.83	3.84	2.64	2.85	3.28	2.65	3.40	28.2	28.9	3.43
Nb	15.00	14.40	16.80	16.10	14.90	18.70	20.40	15.50	17.20	16.80	13.00	16.50	14	13.1	18.10
Ta	1.22	1.17	1.47	1.38	1.40	1.53	1.50	1.20	1.39	1.31	1.05	1.28	1.11	1.04	1.27
Zr	213	215	233	233	204	264	286	224	236	226	187	197	182	193	263
Hf	6.73	6.76	7.34	7.29	6.59	8.28	8.43	6.73	7.32	6.90	5.93	6.47	5.68	5.86	7.80
Ga	16.00	16.20	17.10	17.80	17.90	18.00	19.00	16.90	19.30	17.20	16.40	25.40	21.5	21.5	22.00
Sc	8.80	8.40	7.12	8.78	7.78	8.45	9.16	7.86	10.10	9.48	7.84	11.40	9.96	9.62	11.10
V	45.60	60.20	45.50	59.00	48.20	51.90	55.60	55.20	76.60	80.80	52.70	64.60	68.4	61.6	80.20
Cr	14.50	15.10	16.60	23.20	20.50	29.50	20.20	11.00	33.70	18.60	16.50	15.80	13.4	11.6	21.30
Co	7.55	7.44	5.63	7.76	6.57	7.39	7.99	6.01	8.43	9.34	4.58	7.80	7.49	6.47	8.94
Ni	6.86	6.09	7.27	11.00	12.30	17.90	8.60	4.03	13.50	11.20	4.25	8.76	7.16	4.49	10.20
Cu	14.40	9.70	6.78	9.62	11.00	13.20	10.60	8.35	13.70	15.80	9.07	15.80	11.7	8.99	11.60

注:由国土资源部中南矿产资源监督检测中心应用化学分析法(SiO₂-P₂O₅)和X荧光光谱法(La-Cu)分析。表中主量元素含量单位为%,微量和稀土元素为10⁻⁶。JD1-6数据据参考文献①和[12];QH1-3和QH 8数据据参考文献②

上新世英安岩和早更新世英安岩均为钙碱性系列火山岩(图4、图5)^[13],岩石无富铁趋势。2期英安岩相比,TiO₂、TFeO、MnO、P₂O₅含量相近,上新世英安岩Al₂O₃低而CaO、MgO高,早更新世英安岩Al₂O₃高而CaO、MgO低。岩石全碱(Na₂O+K₂O)含量为5.78%~7.35%,平均值为6.61%;全碱含量相近,但榔榔江上新世英安岩K₂O含量最低(平均值2.91%)而Na₂O含量最高(平均值为3.47%),K₂O/Na₂O值为0.85;腾冲早更新世英安岩K₂O含量最高(3.79%)而Na₂O含量最低(2.41%),K₂O/Na₂O值为1.58(图6)。上新世英安岩里特曼指数σ在1.67~2.35之间,平均值为1.95,A/CNK值除1件样品大于1.1外,其余均小于1.1,平均值为0.99,Mg[#]值为0.46,Fe₂O₃/FeO值为2.80;早更新世英安岩里特曼指数σ在1.43~2.06之间,平均值为1.70,A/CNK值除1件样品小于1.1外,其余均大于1.1,平均值为1.43,Mg[#]值为0.42,Fe₂O₃/FeO值为3.58。由K₂O与SiO₂的关系及K₂O含量高可知,上新世和早更新世英安岩均属高钾钙碱性系列火山岩(图7)^[14]。

3.2 微量和稀土元素特征

上新世和早更新世英安岩的主量、微量和稀土元素分析结果见表1。上新世英安岩稀土元素总量ΣREE为160.93×10⁻⁶~421.90×10⁻⁶,平均值为294.89×10⁻⁶,ΣCe/ΣYb值主要在7.87~18.00之间,平均为14.77;δEu为0.64~0.92,平均值为0.71,具负异常;δCe为0.63~1.02,平均值为0.92,具有较弱的负异常。早更新世英安岩稀土元素总量ΣREE

为256.38×10⁻⁶~513.47×10⁻⁶,平均值378.13×10⁻⁶;ΣCe/ΣYb值主要介于8.82~20.72之间,平均值为15.45;δEu为0.47~0.93,平均值为0.60,具中等负异常;δCe为0.53~1.04,平均值为0.79,具负异常。稀土元素配分曲线(图8,标准化球粒陨石数据据参考文献[15])表现为右倾的轻稀土元素富集模式,较平滑。但早更新世英安岩比上新世英安岩稀土元素更富集,Eu亏损更明显,源区有斜长石结晶分离。

上新世英安岩Rb/Sr值为0.08~0.44,平均值为0.22,比大陆壳Rb/Sr值(0.24)略小;Sr/Yb值为121~272,平均值为212(QH2样品除外);K/Rb值为111~336,平均值为152;Sr/Ba值在0.19~0.77之间,平均值为0.52;Nb/Ta值在12.66~19.16之间,平均值为15.47;Th/U值集中在5.93~14.77之间,平均值为7.95。早更新世英安岩Rb/Sr值为0.33~1.12,平均值为0.63,比大陆壳Rb/Sr值(0.24)高;Sr/Yb值为50~156,平均值为93;K/Rb值为82~255,平均值为124;Sr/Ba值在0.22~0.51之间,平均值为0.33;Nb/Ta值为10.64~13.60,平均值为12.44;Th/U值集中在7.21~11.62之间,平均值为9.10。早更新世英安岩较上新世英安岩分异程度更高,大离子亲石元素更富集。在微量元素蛛网图(图9,标准化原始地幔数据据参考文献[17])中,大离子亲石元素Rb、Ba、Th、U相对富集,Rb、Th表现出不同程度的正异常,而Sr呈现出明显的负异常。高场强元素Nb、P、Ti等呈负异常,具有明显的Th、La、Nd、Sm、Tb峰和Nb、P、Ti谷。早更新世英安岩较上新世英安岩Sr、P负异常更强,且

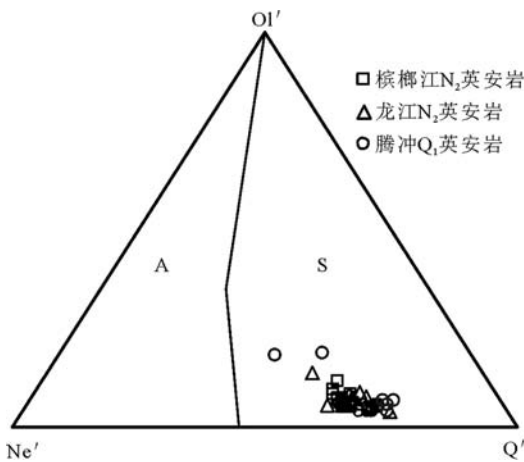


图4 上新世—早更新世英安岩 Ol'-Ne'-Q'图^[13]

Fig. 4 Ol'-Ne'-Q' diagram of Pliocene-Early Pleistocene dacite in Tengchong area
A—碱性系列;S—亚碱性系列

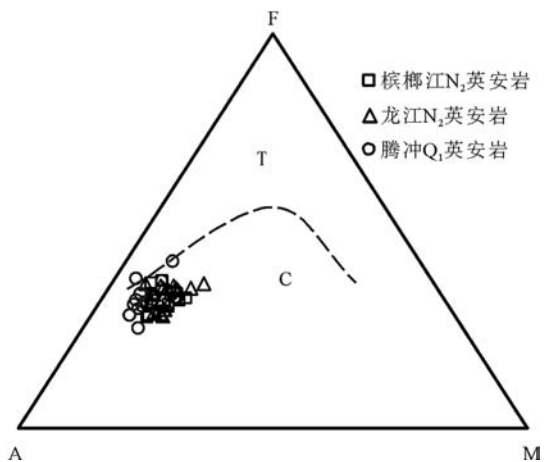


图5 上新世—早更新世英安岩 AFM图^[13]

Fig. 5 AFM diagram of Pliocene-Early Pleistocene dacite in Tengchong area
T—拉斑玄武岩系列;C—钙碱性系列

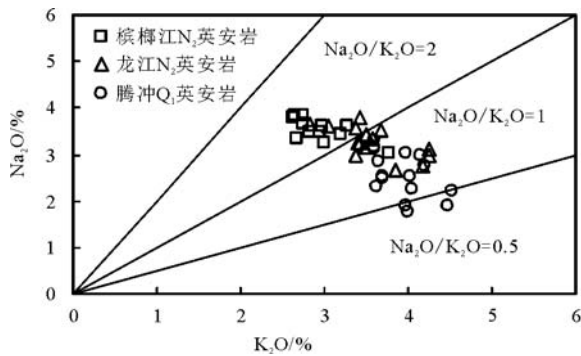


图 6 腾冲地区英安岩 K_2O-Na_2O 图

Fig. 6 K_2O-Na_2O diagram of dacite in Tengchong area

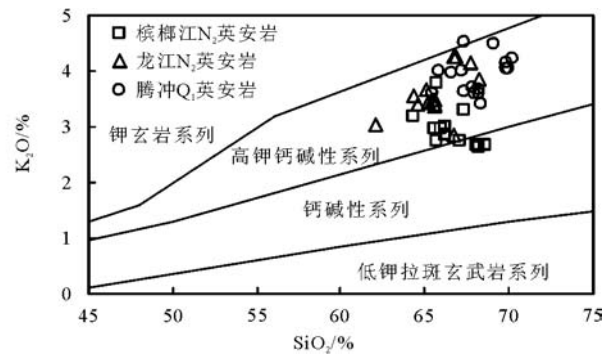


图 7 腾冲地区英安岩 SiO_2-K_2O 图^[14]

Fig. 7 SiO_2-K_2O diagram of dacite in Tengchong area

Ba 具负异常, Yb 更高, Sr/Yb 值(平均值为 93)明显低于上新世英安岩(平均值为 212)。

4 岩浆成因

上新世英安岩与早更新世英安岩均为高钾钙碱性系列火山岩, 富集轻稀土元素和大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta 等高场强元素, 具高 Al、K, 低 Ti、P 等特点。上新世英安岩 Al_2O_3 低而 CaO、MgO 高, 早更新世英安岩 Al_2O_3 高而 CaO、MgO 低。上新世英安岩 K_2O 低而 Na_2O 高, K_2O/Na_2O 值为 0.99; 早更新世英安岩 K_2O 高而 Na_2O 低, K_2O/Na_2O 值为 1.58。根据上新世火山岩的最新研究, 认为上新世火山岩为高钾钙碱性系列异源双峰式火山岩, 形成于造山带造山后伸展环境—造山带裂谷(陆间裂谷)^[18]。上新世英安岩是双峰式火山岩的酸性端元, 为伸展环境下的产物。早更新世英安岩或喷发覆于上新世火山岩或沉

积岩之上, 或喷发覆于中生代花岗岩之上, 与上新统之间在火山—沉积上并没有明显的间断, 是一个持续伸展的过程(图 10)^[19]。

从大陆构造的角度, 张旗^[20]将广义的花岗岩划分为埃达克型、喜马拉雅型、浙闽型和南岭型四大类, 认为埃达克型花岗岩富 Sr、贫 Y 和 Yb, 其源区有石榴子石, 无长石, 为高压($p > 1.2 GPa$)下形成; 喜马拉雅型花岗岩贫 Sr 和 Yb, 源区有石榴子石和斜长石, 形成于高压($p = 0.8 \sim 1.5 GPa$)麻粒岩相地壳^[21]; 浙闽型花岗岩贫 Sr、富 Yb, 具有中等的 Eu 负异常, 源区大量斜长石残留而无石榴子石; 南岭型花岗岩低 Sr、高 Yb, 形成压力很低($p < 0.8 GPa$), 源区残留斜长石和斜方辉石。

腾冲上新世英安岩为埃达克型英安岩, 岩石富 Sr、贫 Y 和 Yb, Sr 含量为 $361 \times 10^{-6} \sim 572 \times 10^{-6}$, 平均值为 447×10^{-6} , Y 含量为 $12 \times 10^{-6} \sim 36.7 \times 10^{-6}$, 平均值为 23.45×10^{-6} , Yb 含量为 $1.35 \times 10^{-6} \sim 3.88 \times 10^{-6}$, 平均值

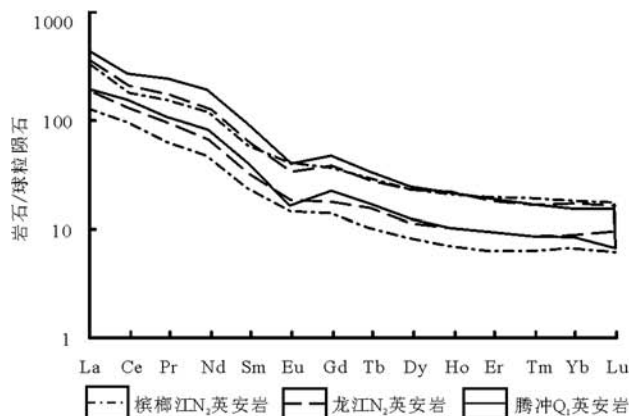


图 8 腾冲地区上新世—早更新世英安岩稀土元素配分曲线

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns of N_2-Q_1 dacite in Tengchong area

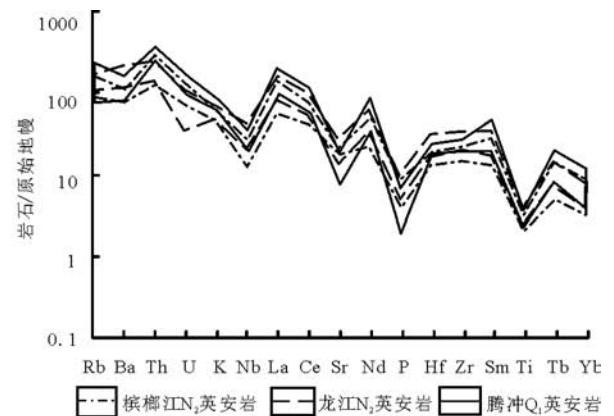


图 9 腾冲地区上新世—早更新世英安岩微量元素蛛网图^[16]

Fig. 9 Trace elements spidergrams of N_2-Q_1 dacite in Tengchong area

为 2.29×10^{-6} , Sr/Yb 平均值为 212; 早更新世英安岩为浙闽型英安岩, 岩石贫 Sr, 富 Yb, Sr 含量为 $181 \times 10^{-6} \sim 406 \times 10^{-6}$, 平均值为 233.93×10^{-6} , Y 含量为 $16.2 \times 10^{-6} \sim 50.5 \times 10^{-6}$, 平均值为 27.37×10^{-6} , Yb 含量为 $1.71 \times 10^{-6} \sim 3.12 \times 10^{-6}$ (5.34×10^{-6} 外), 平均值为 2.65×10^{-6} , Sr/Yb 平均值为 93 (图 11)^[20]。

英安岩的同位素 $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$ 为 $-10.3 \sim -8.72$, Nd 同位素模式年龄 t_{DM} 为 1.26~1.35 Ga, 表明岩浆源于古老地壳的部分熔融^[12]。

上新世英安岩的地球化学特征类似于 C 型埃达克岩, 低的 Y 和 Yb 表明岩浆源区有石榴子石残留, 高的 Al, Sr 和无 Eu 负异常或 Eu 异常不明显, 暗示斜长石在残留相中不稳定而进入熔体, 推测中酸性岩浆熔出后的残留相由辉石+石榴子石±角闪石组成^[22]。Peacock 等^[23]指出, 底侵的玄武质下地壳熔融可以产生埃达克质岩石, 在水不饱和及加厚地壳(厚度至少大于 40 km)的条件下发生部分熔融时, 斜长石将变得极不稳定, 残留相由辉石+石榴子石±角闪石±斜长石组成, 出熔相形成具埃达克质岩石的岩浆。埃达克质中酸性岩是由加厚的下地壳中基性岩在高压 ($p > 1.2 \text{ GPa}$) 下部分熔融形成的, 形成时地壳厚度在 50 km 以上, 形成的岩浆与残留榴辉岩相矿物平衡^[20]。腾冲上新世埃达克型英安岩的存在, 标志着腾冲冈底斯造山带中新世末期存在加厚地壳, 腾冲高原已经形成。

早更新世英安岩的地球化学特征则类似于浙闽型花岗岩^[20], 为低 Sr、高 Yb 型英安岩, 重稀土元素含量低而 Yb、Y 含量略高, 表明源区可能有石榴子石

和角闪石的存在。稀土元素配分曲线(图 8)中重稀土元素平坦, 略呈右倾分布, Ho_N 略高于 Yb_N , Ho_N/Yb_N 值为 1.19, 暗示石榴子石是重要的残留相, 而岩浆贫 Sr, 有明显的 Eu 负异常, 说明残留相中有富 Ca 的斜长石存在。浙闽型花岗岩形成于正常地壳厚度条件下的下地壳部分熔融, 压力通常小于 1.0 GPa, 岩浆出熔后的残留相为角闪石+斜长石组合^[20]。腾冲浙闽型英安岩的出现, 标志着腾冲冈底斯造山带早更新世较上新世地壳明显减薄, 高原已经垮塌。

从上新世到早更新世, 腾冲冈底斯造山带地区经历了地壳由厚变薄的过程, 上新世埃达克型英安岩和早更新世浙闽型英安岩正是这一过程的岩浆记录。早更新世英安岩具有更低的 Sr/Yb 值, 是伸展环境造山带裂谷拉张程度更大的标志。

5 大陆构造意义

印度板块与欧亚大陆初始碰撞的时间为 56 Ma^[24-25], 新特提斯洋闭合, 两大陆开始碰撞造山, 受大陆碰撞影响, 腾冲冈底斯带开始进入造山阶段。以缅甸中央低地渐新世 Ghizar 磨拉石的出现为标志, 腾冲冈底斯造山带形成, 造山以右旋走滑、逆冲为主, 并形成 24~19 Ma 和 14~1 Ma 两个峰期^[25]。中新世末期, 两大陆进一步汇聚, 腾冲地区岩石圈结构发生重要变化。腾冲地块向南的挤出和顺时针的旋转促成中新世右旋走滑盆地折返, 上新世盆地开始形成并接受沉积, 上新统与中新统之间形成角度不整合, 南北向造山带造山后伸展环境下的青海—平山

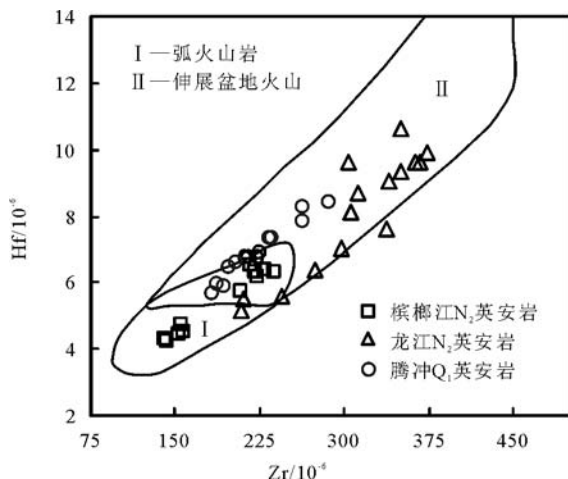


图 10 腾冲地区长英质火山岩 Zr-Hf 图^[19]

Fig. 10 Zr-Hf diagram of felsic volcanic rocks in Tengchong area

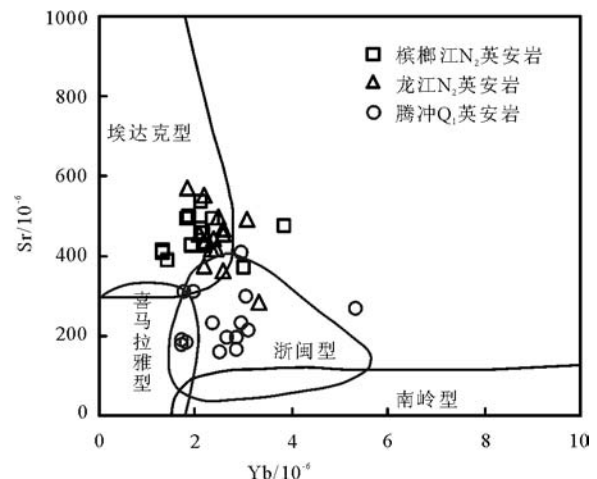


图 11 腾冲地区花岗岩 Sr-Yb 分类图^[20]

Fig. 11 Sr-Yb diagram of granite in Tengchong area

裂谷开始拉张形成;上新世以来是一个持续的伸展作用过程。总体上,滇西地区喜马拉雅运动经历了早期的裂谷盆地(K-E₂)、碰撞造山(E₂³-N₁)和热隆伸展(N₂-Q)3个阶段,形成开、合、开的旋回式演化^[26],造山期后的伸展作用属最末的一个阶段。腾冲新生代火山岩正是造山期后伸展作用的岩浆记录。

腾冲冈底斯带碰撞造山没有形成火山岩,而造山期后热隆伸展阶段则形成腾冲火山的大规模活动,其构造—岩浆演化同样经历了3个阶段(图12)。

(1)造山带(高原)滞胀阶段:由于印度板块向北北东的漂移,至始新世,与欧亚大陆碰撞。腾冲冈底斯带进入造山阶段。造山带在挤压应力作用下,地壳水平缩短,垂向不断增厚,山根生长,变质作用持续加强,形成山系或高原。由于岩石圈壳—幔界面下移,造山带处于冷壳、冷幔状态,岩浆岩很少发育。造山不可能无限进行,随着造山带挤压应力的垂向分量与地幔对上覆地壳的密度差引起的反作用力趋于平衡,地壳垂向加厚减弱,造山带停止生长,地壳厚度达到最大值,进入造山带(高原)滞胀阶段。中新世右旋走滑盆地的形成并接受南林组沉积为本阶段的标志,中新世末右旋走滑盆地折返,形成腾冲地区上新世与中新世地层间普遍发育的角度不整合。

(2)造山带(高原)衰退阶段(造山带裂谷生长期):随着造山带停止生长,地壳厚度达到最大值,山根发育,由于岩石圈在热流作用下持续升温,密度减小,岩石圈均衡重力加强,与地表的风化剥蚀减压共同作用,岩石圈应力反转,由挤压增厚开始伸展减薄,进入热壳、热幔状态,在减压增温双重作用下,岩石圈地幔和下地壳开始部分熔融,岩浆大

规模发育,地幔部分熔融产生的玄武质岩浆底辟上侵,此时地壳仍然巨厚(>50km),下地壳底部岩石高温高压下部分熔融,熔出埃达克型岩浆,残留榴辉岩相矿物组合。岩浆沿龙江、大盈江、槟榔江等走滑断层的拉张部位上侵或喷出地表,形成埃达克型岩浆岩。对上新世玄武岩和埃达克型英安岩进行的K-Ar同位素年代学研究表明,上新世火山岩最早在龙陵县燕寺乡北大鱼塘一带喷发,时间约为5.03±0.49Ma^②,第一个峰期为4.00±0.02~4.50±0.15Ma,出现个别9.01±0.66Ma^②、7.65±2.90Ma等中新世年龄,但结合岩层叠置关系,该年龄可靠性差,即玄武岩最早喷发时期为上新世早期;埃达克型英安岩最早喷发时间为盈江地区支那乡勐外的4.04±0.15Ma,结束于龙陵弄福南2.17±0.18Ma(同一火山体另一年龄为2.78±0.04Ma,更多可能为2.78±0.04Ma),形成区内上新世—早更新世第1个酸性火山喷发活动峰期。

(3)造山带(高原)死亡阶段(造山带裂谷成熟期):由于岩石圈在热流作用下持续升温,与地表的构造和风化剥蚀减压共同作用,地壳进一步伸展减薄,软流圈物质被动上涌底辟,地幔上隆导致热隆伸展,厚地壳下与埃达克质花岗岩浆平衡的残留榴辉岩相岩石矿物组合,随着地壳变薄压力降低而不稳定,开始拆沉,山根崩塌,地壳表面造山带也开始垮塌。由于地幔上隆、软流圈物质底辟上升,岩石圈地幔和下地壳部分熔融。在减薄的地壳下(约30km),下地壳岩石减压增温部分熔融,熔出浙闽型岩浆,残留角闪岩相矿物组合。早更新世晚期,造山带拉张中心主要集中于曲石—碗窑坡—板壁坡—青海—青龙坡—象塘—大坪山一带,形成青海造山带裂

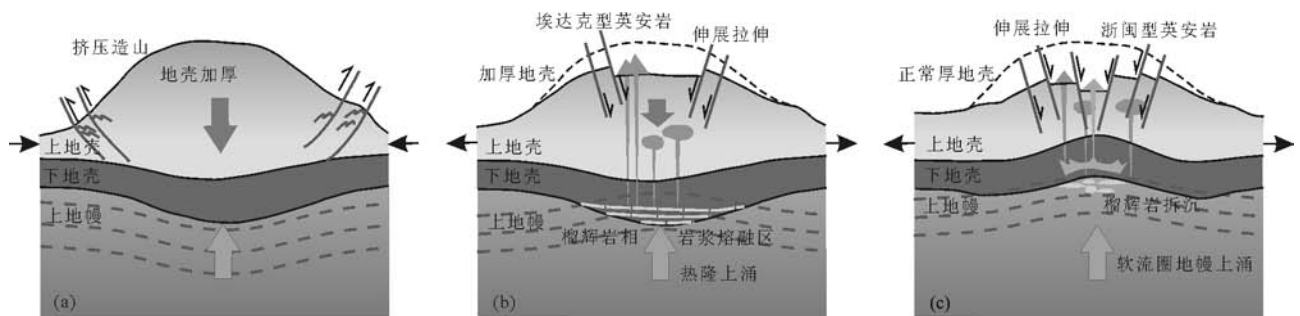


图 12 腾冲冈底斯造山带垮塌及陆间裂谷英安岩成因模式

Fig. 12 Genetic model of the collapse of Gangdise orogenic belt and intercontinental rift dacite in Tengchong

a—造山带(高原)滞胀阶段;b—造山带(高原)衰退阶段(造山带裂谷生长期);
c—造山带(高原)死亡阶段(造山带裂谷成熟期)

谷盆地。该裂谷盆地向北与龙川江断裂相连,向南可能与芒蚌盆地、勐约盆地相连,为古龙川江断裂活动的记录;充填早更新世浙闽型英安岩火山岩序列(腾冲英安岩带),同时还包括部分碎屑沉积岩。根据K-Ar同位素年代学资料,该英安岩带火山活动时期最早为 $1.19 \pm 0.02\text{Ma}$,喷发中心在板壁坡一带。约 $0.73 \pm 0.04\text{Ma}$,本期火山活动在象塘一带喷发后基本结束,腾冲新生代火山活动进入另一喷发时期。

6 结论

(1)腾冲上新世一早更新世中酸性火山岩为高钾钙碱性系列火山岩,形成于腾冲冈底斯新生代造山带造山后伸展环境—造山带裂谷(陆间裂谷),可划分为高Sr、低Yb的上新世埃达克型英安岩和中Sr、中Yb的早更新世晚期浙闽型英安岩。腾冲冈底斯造山带在上新世—早更新世造山带(高原)地壳存在一个由厚减薄的过程,首次从构造—岩浆的角度反演了腾冲冈底斯带新生代造山隆升后地壳由厚减薄、由稳定至垮塌的整个过程。

(2)提出造山带造山后的伸展环境—造山带裂谷,并对其岩浆类型和形成机制进行了初步探讨。中新世末期,腾冲冈底斯高原应力由东西向挤压转变为南北向走滑,造山带开始裂解。受潞西—保山地块阻挡,走滑方向偏转,在转折端轴向断片间滑脱形成裂谷盆地。裂谷形成初期,地幔减压上侵,下地壳高压部分熔融形成埃达克型花岗质岩浆;至早更新世,随着裂谷加剧,地壳厚度进一步减薄,在低压条件下,下地壳部分熔融形成浙闽型花岗质岩浆。

参考文献

- [1]穆治国,佟伟.腾冲火山活动的时代和岩浆来源问题[J].地球物理学报,1989,30(3):261-270.
- [2]Cong B L, Wang Q C, Zhai M G. Ultra-high pressure metamorphic rocks in the Dabie-Su-Lu region, China: Their formation and exhumation[J]. The Island Arc, 1994, 3: 135-150.
- [3]赵崇贺,陈廷方.腾冲新生代火山作用构造—岩浆类型的探讨——一种滞后型的弧火山[J].现代地质,1992,62(2):119-129.
- [4]陈廷方,赵崇贺.腾冲新生代火山岩的构造环境分析[J].西南工学院学报,1994,9(4):52-59.
- [5]陈廷方,赵崇贺.腾冲新生代火山群岩石化学和地球化学特征[J].西南工学院学报,1995,10(4):102-108.
- [6]石玉若,吴忠海,范桃园,等.滇西腾冲地区龙川江河谷上新世火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征[J].地质通报,2012,31(2/3):241-249.
- [7]丛柏林,陈秋媛,张儒媛,等.中国滇西腾冲新生代火山岩的成因[J].中国科学(B辑),1994,24(4):441-448.
- [8]李建清,钟大赉,陈昌勇.滇西南那邦变质基性岩地球化学与俯冲板片拆离[J].岩石学报,2000,16(3):433-442.
- [9]Wang Y, Zhang X M, Jiang C S, et al. Tectonic controls on the late Miocene - Holocene volcanic eruptions of the Tengchong volcanic Weld along the southeastern margin of the Tibetan plateau[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 30(2007): 375-389.
- [10]李大明,李齐,陈文寄.腾冲火山区上新世以来的火山活动[J].岩石学报,2000,16(3):362-370.
- [11]姜朝松.腾冲地区新生代火山活动分期[J].地震研究,1998,21(4):320-329.
- [12]高永娟,林仕良,丛峰.滇西梁河—潞西地区新生代英安岩的源区及成因——来自地球化学的证据[J].地质通报,2012,31(5):726-731.
- [13]Irvine T N, Barager W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8: 523-548.
- [14]Pecceirillo A, Tayloy S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamenu area northern Turkey[J]. Contrib. Miner. Petro., 1976, 58(1):63-81.
- [15]Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[C]//Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry, 1984, Elsevier: 63-114.
- [16]Holm P E. The Geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hygromagmato-ophile element abundances of tholeiitic and basaltic andesites[J]. Chem. Geol., 1985, 97: 261-280.
- [17]Wood D A, Joron J L, Treuil M. A reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1979, 45: 326-336.
- [18]姚雪,张虎,吴中海,等.滇西盈江地区上新世火山岩的地球化学特征及其大陆构造意义[J].地质通报,2015,待刊.
- [19]Condie K C. Geochemistry and tectonic setting of early proterozoic supracrustal rocks in the southwestern united states[J]. Geology, 1986, 94: 845-861.
- [20]张旗,李承东.花岗岩:地球动力学意义[M].北京:海洋出版社,2012.
- [21]李承东,张旗,苗来成,等.冀北中生代高Sr低Y和低Sr低Y型花岗岩:地球化学、成因及其与成矿作用的关系[J].岩石学报,2004,20(2):269-284.
- [22]张旗,王焰,钱青,等.中国东部中生代埃达克质岩的特征及其构造—成矿意义[J].岩石学报,2001,17(2):236-244.
- [23]Peacock S M, Rushmer T, Thompson A B. Partial melting of subducting oceanic crust. Earth Planet. Sci. Lett., 1994, 121:227-244.
- [24]廖志杰.滇缅泰构造域及特殊的新生代火山活动[J].北京大学学报(自然科学版),1988,24(4):494-503.
- [25]李建清,钟大赉,张连生,等.滇西南新生代走滑断裂运动学、年代学及对青藏高原东南部块体运动的意义[J].地质科学,2000,35(3):336-349.
- [26]颜丹平,赵其强,汪新文,等.滇西新构造运动时期陆内伸展作用[J].现代地质,1993,7(3):303-311.
- ①四川省地质调查院.1:5万清河街、龙陵县、镇安街、蚌渺4幅区域地质调查报告.2012.
- ②中国地调局成都地质调查中心.云南1:5万梁河县、江东、帕底3幅区域地质调查报告.2012.