

doi:10.3969/j.issn.0253-4967.2017.05.014

# 云南腾冲大六冲火山岩岩石结构与岩相特征

张传杰 李 霓\* 樊祺诚 赵勇伟 王佳龙

(中国地震局地质研究所, 活动构造与火山重点实验室, 北京 100029)

**摘 要** 云南腾冲大六冲火山上, 从山腰大丫口至山顶沿途广泛出露 1 套青灰色—紫红色的层状火山岩, 但仅通过野外肉眼观察难以判定其为火山碎屑岩或是熔岩, 而研究火山岩的基质结构可以帮助判断其所属岩相。文中将其基质结构与火山通道相、侵出相及溢流相熔岩的基质结构作对比, 并结合与溢流相熔岩气孔形态的比较结果, 认为它属于爆发相产物, 定名为英安质晶屑熔结凝灰岩。通过对大六冲各火山翼的野外勘查、覆盖式采样及系统的镜下鉴定, 区分了各岩相火山岩的野外和显微特征, 大致划分了各岩相的分布范围: 溢流相应为早期喷发形成的基底, 部分区域被爆发相所覆盖; 爆发相英安质晶屑熔结凝灰岩和火山角砾岩主要分布在火山西翼、南翼和东北翼; 火山通道相位于主峰山顶南侧约 100m 的位置, 直立产出, 直径超过 100m; 侵出相仅在山顶附近有出露。因此, 推测大六冲火山早期经历过较大规模的岩浆溢出, 时隔多年后又发生爆炸式喷发, 最后以岩浆的侵出为标志而停止活动, 火山颈因受长期剥蚀而出露。

**关键词** 大六冲火山 岩相分布 岩石学 显微结构

**中图分类号**: P317.3

**文献标识码**: A

**文章编号**: 0253-4967(2017)05-1066-13

## 0 引言

腾冲地处云南西南边陲, 中缅交界带附近, 西邻缅甸, 东被高黎贡山阻隔。在大地构造上位于印度与欧亚板块碰撞边界, 青藏高原的东南缘。印度板块持续向 N 的俯冲, 导致青藏高原向 EW 两端延伸(图 1a), 造成腾冲地块主要受 EW 向的挤压应力, 使得火山区内的断裂构造以 SN 向为主, 火山分布也受其影响, 呈近 SN 向沿断裂展布(姜朝松等, 1998)。

由于位于印度板块向欧亚板块俯冲形成的喜马拉雅构造结向 E 拐弯处这样特殊的构造背景, 20 世纪 80 年代以来, 国内外学者在腾冲地区相继开展了区域构造、岩石学与地球化学、年代学、地震与地热等多方面的研究工作(梁卓成等, 1985; 穆治国等, 1989; 姜朝松等, 1990; Nakai *et al.*, 1993; 从柏林等, 1994; 樊祺诚等, 1999; 周真恒等, 2000; 楼海等, 2002; 陈廷方, 2003; 贺传松等, 2004; Wang *et al.*, 2004; 上官德树, 2012; Zhou *et al.*, 2012; 李霓等, 2014; 李欣等, 2014; 周新平等, 2015)。穆治国等(1987)、姜朝松(1998b)、樊祺诚等(1999)将腾冲火山时代大致划分为上新世(第 1 期)、早更新世(第 2 期)、晚更新世(第 3 期)和全新世(第 4 期)4 个期次, 其中早更新世的火山活动较强烈, 以爆破式喷发为主, 火山灾害频发,

[收稿日期] 2017-03-28 收稿, 2017-06-30 改回。

[基金项目] 国家自然科学基金(41472305)与中国科学院大陆碰撞和高原隆升重点实验室自然科学基金(LCPU201502)共同资助。

\* 通讯作者: 李霓, 女, 研究员, E-mail: lini67@sina.com。

其产生的火山碎屑岩在腾冲盆地中分布最为广泛, 覆盖了腾冲盆地近一半的区域。因此, 研究早更新世以来爆炸式喷发的火山活动对腾冲地区火山活动趋势与灾害预防具有现实意义。

李霓等(2014)的野外踏勘表明, 大六冲火山是腾冲地区早更新世以来最重要的代表性火山, 它的爆炸喷发属于腾冲火山区第四纪以来规模最大的喷发之一, 且火山机构目前保存完整, 是研究该时期火山活动的最佳样本。岩相学工作主要是在野外地质调查的基础上, 在室内显微镜下对岩石进行系统描述、鉴定和分类命名, 研究火山岩相是火山岩石学、地球化学、火山喷发动力学研究的重要基础, 因而, 在大六冲火山开展系统的岩相学工作对认识火山活动十分必要。

## 1 火山地质背景

腾冲火山区( $98^{\circ}15' \sim 98^{\circ}45'E$ ,  $24^{\circ}40' \sim 25^{\circ}30'N$ )EW 宽 50km、SN 长 90km 的范围内共有 68 座火山, 其火山岩在时代上从盆地东西两侧向中部地区由老逐步变新(姜朝松, 1998a); 在岩性上整体属于高钾钙碱性系列, 并且从老到新依次由玄武岩、粗面玄武岩、玄武质粗安岩过渡到粗安岩, 其中第 2 期次的代表性火山岩是英安质火山碎屑岩(凝灰岩和熔结凝灰岩)(樊祺诚等, 1999; 赵勇伟等, 2010)。根据实地考察, 英安质火山碎屑岩在大六冲、长坡山、芹菜塘、屈家营、阎家冲和老洋河等地一般呈巨厚层状产出, 老洋河地区出露的火山碎屑岩剖面甚至超过 120m, 且未见底。但除大六冲等少数几个火山外, 其他更新世火山的火山机构组成部分严重缺失, 仅存残留的碎屑岩剖面。相比之下, 大六冲火山保存完好, 位于腾冲盆地中部, 具放射状山脊, 最高处海拔 2 763m(李霓等, 2014), 是本区最高和最具代表性的更新世火山。其山体与尖山、小六冲相接, 北邻余家大山, 西侧喷发物被本区全新世规模最大的打鹰山熔岩覆盖(图 1b)。

## 2 火山岩与斑晶(晶屑)成分

### 2.1 火山岩成分

大六冲火山位于腾冲火山区中心部位, 本文共选择了 10 个样品进行全岩主量元素成分分析, 样品分别为熔岩和火山碎屑岩, 分析测试在中国科学院广州地球化学研究所实验室和河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成, 均采用 X-射线荧光光谱法(XRF), 测试结果见表 1, 另引用了曹园园(2014)的 2 个数据。结果显示:  $SiO_2$  (65.27% ~ 67.16%)、 $CaO$  (1.98% ~ 3.69%)、 $MgO$  (1.05% ~ 1.89%)、 $K_2O$  (3.44% ~ 3.98%)、全碱  $Na_2O + K_2O$  (5.94% ~ 7.27%)。将成分投在 TAS 分类图上, 可以看到火山岩的成分落在英安岩的区域(图 2), 属于高钾钙碱性系列, 这也与前人的结论一致(樊祺诚等, 1999; 赵勇伟等, 2010; 李欣等, 2012)。

### 2.2 斑晶及晶屑成分

大六冲火山熔岩中斑晶和火山碎屑岩中晶屑矿物主要为斜长石、辉石和角闪石, 其成分测试在中国科学院青藏高原研究所电子探针实验室完成。使用的仪器是日本 JEOL JXA-8230 型电子探针仪, 工作条件为加速电压 15kV, 电子束流 20nA, 束斑直径为  $5\mu m$ 。

测试结果显示, 大六冲火山岩中斜长石化学成分:  $CaO$  (8.12% ~ 13.16%)、 $Na_2O$  (3.46% ~ 3.75%)、 $Al_2O_3$  (3.57% ~ 6.36%)、 $SiO_2$  (51.14% ~ 58.92%), An 值 ( $= An \times 100 / (An + Ab + Or)$ ) 范围是 43 ~ 67, 为中长石—拉长石(图 3)。辉石晶体分为单斜辉石和斜方辉石 2 类, 单斜辉石落

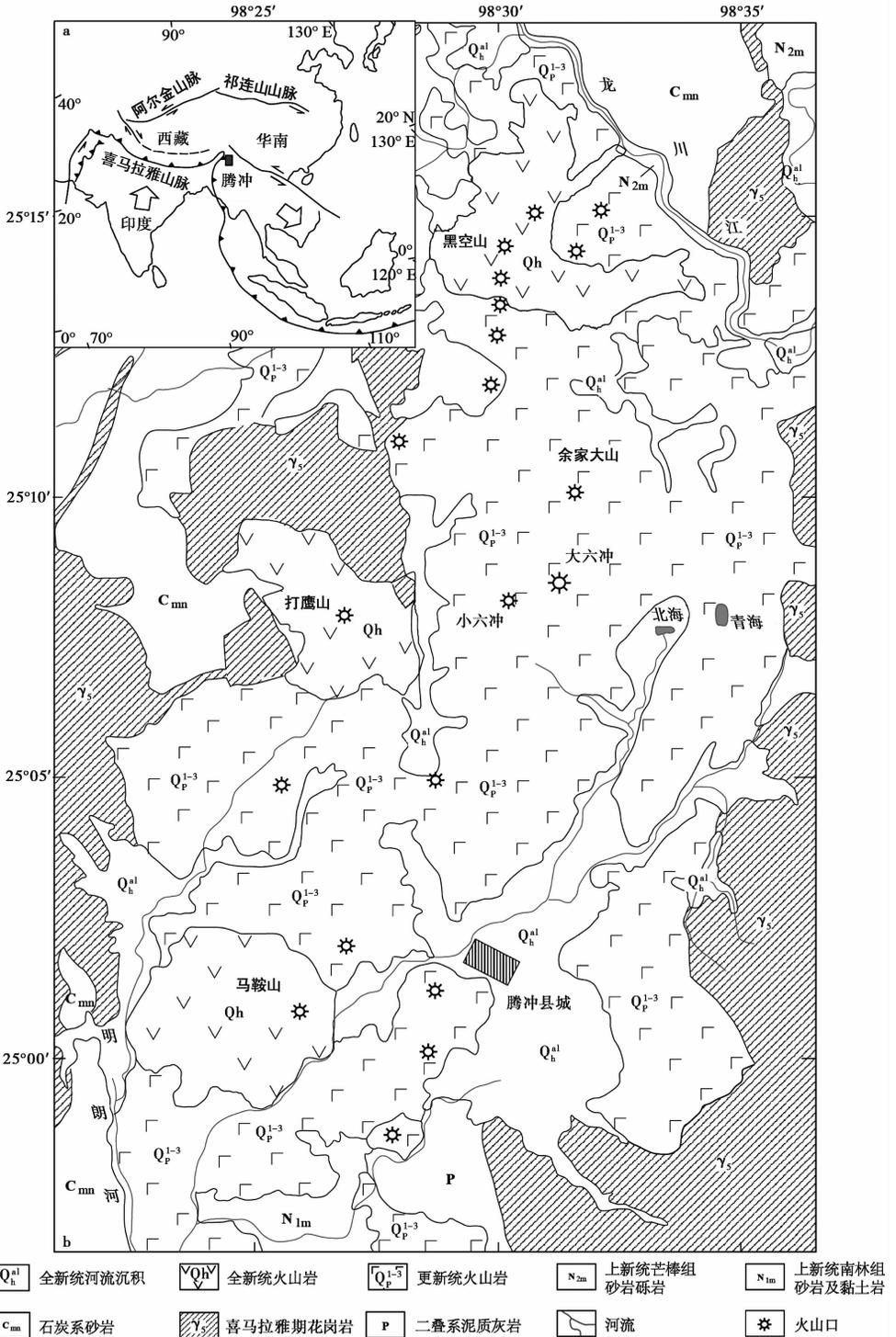


图 1 亚洲主要构造特征简图(a, 据 Tapponnier *et al.*, 1990)与腾冲火山地质简图(b, 据赵勇伟等, 2000 修改)

Fig. 1 Schematic map of major tectonic features in Asia(a, after Tapponnier *et al.*, 1990), Geologic map of Tengchong volcanic field(b, Modified after Zhao Yong-wei *et al.*, 2010).

表 1 大六冲火山全岩成分分析(质量分数/%)  
Table 1 Bulk rock chemical analysis of Daliuchong volcanic rocks

样品号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	烧失量	总和
D6-6-1	65.94	0.58	16.14	3.98	0.07	1.26	2.51	2.77	3.75	0.15	2.16	99.32
D8a-8-1	65.27	0.71	16.22	4.47	0.06	1.31	2.41	3.03	3.70	0.18	2.06	99.41
D4-2-1*	66.17	0.62	16.35	3.35	0.07	1.26	2.01	2.36	3.58	0.15	3.28	99.85
D4-4-1*	65.81	0.70	15.84	2.28	0.07	1.45	3.22	3.12	3.46	0.23	1.74	99.85
D6-3-1	65.38	0.65	17.48	3.98	0.06	1.05	1.98	2.72	3.72	0.15	3.65	100.83
D6-6-1	66.12	0.56	16.36	3.87	0.06	1.37	3.08	3.31	3.44	0.17	1.53	99.86
D15-2-1	66.12	0.55	16.06	3.62	0.05	1.37	3.49	3.58	3.58	0.17	1.47	100.06
D20-1-1	66.72	0.52	15.10	3.58	0.06	1.89	3.19	3.29	3.98	0.17	1.53	100.04
D9b-6-2	67.16	0.56	16.17	1.54	0.06	1.24	2.51	2.96	3.53	0.15	1.94	99.88
D9b-2-1	65.55	0.58	16.09	1.52	0.07	1.43	3.59	3.06	3.58	0.17	2.06	99.86
15TC09	66.12	0.66	15.80	2.16	0.07	1.53	3.69	3.51	3.45	0.21	0.78	99.85
9'	66.59	0.66	15.73	1.92	0.07	1.35	3.65	3.53	3.47	0.20	0.68	99.86

注 带 \* 号数据引自曹园园, 2014。

在普通辉石范围内(图 4), 氧化物的质量分数范围是 CaO (19.67% ~ 21.22%)、MgO (15.26% ~ 16.04%)、FeO (7.41% ~ 8.24%)、SiO<sub>2</sub> (50.96% ~ 52.59%); 斜方辉石以古铜辉石为主, 紫苏辉石次之, 化学成分是 CaO (1.15% ~ 1.45%)、MgO (19.78% ~ 27.00%)、FeO (14.91% ~ 22.88%)、SiO<sub>2</sub> (50.96% ~ 54.46%)。角闪石的化学成分为 SiO<sub>2</sub> (42.29% ~ 44.60%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8.46% ~ 9.58%)、FeO (11.42% ~ 17.62%)、MgO (10.84% ~ 14.69%)、CaO (10.47% ~ 11.09%)、Na<sub>2</sub>O (10.63% ~ 11.09%)、K<sub>2</sub>O (0.70% ~ 1.35%), 据国际矿物协会和矿物名称委员会的角闪石命名法, 大六冲火山岩中角闪石的  $(Ca + Na)_B \geq 1.00$ ,  $Na_B < 0.50$ ,  $Ca_B \geq 1.50$ , 属于钙角闪石类。

### 3 岩相分布与显微结构特征

大六冲火山植被茂密, 岩层多被覆盖, 仅在山路旁、采石场等地有所出露, 少见连贯剖面, 难以形成宏观的火山岩相认识。此外, 虽然前人对此地有过初步的踏勘, 但对大六冲火山喷发产物的岩相(溢流相或爆发相)认识仍有争议(姜朝松, 1998b, 向才英等, 2000; 陈廷方, 2003), 而不同的岩相所代表的火山喷发类型则完全不同, 其火山学意义也大相径庭。因此, 本研究在大六冲火山进行了覆盖式采样, 采样点遍布各火山翼, 希望通过总结各岩相的野外及镜下特征, 提出对以上问题的看法。如图 5 所示, 溢流相分布广泛, 部分区域被火山西翼、南翼和东北翼的爆发相所覆盖。大六冲火山的火山通道相位于山顶南侧约 100m 的位置, 侵入相

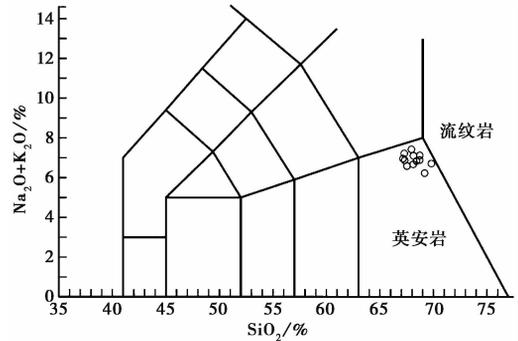


图 2 大六冲火山岩全岩成分 TAS 分类图  
(底图据 Le Maitre *et al.*, 1989;  
部分数据来自曹园园, 2014)

Fig. 2 TAS diagram (after Le Maitre *et al.*, 1989) for bulk composition of Daliuchong volcanic rocks, part of the data are from Cao Yuan-yuan, 2014.

基本围绕火山通道产出。

### 3.1 溢流相

野外勘查中发现，大六冲溢流相熔岩在火山各翼皆有分布，平面上其分布范围自锥体顶部向西南至打鹰山下(6km)，北与余家大山相接(2km)，南至腾冲县城(9km)，向东延伸至 S238 公路边(5km)；纵向上，大六冲山顶东南侧 2km 处双海采石场出露的熔岩剖面高达约 50m，且并未见底。多数熔岩出露位置在锥体四周(图 5)，锥体表面大部分被火山碎屑岩覆盖，部分区域由于剥蚀作用而露出熔岩。因此，从熔岩的覆盖范围和厚度来看，大六冲火山喷发早期应经历了规模较大的熔岩溢流活动。

大六冲溢流相火山岩在结构和构造上并不均一，具斑状结构或玻基斑状结构，有些岩石致密，有些气孔的体积分数较高。本文选

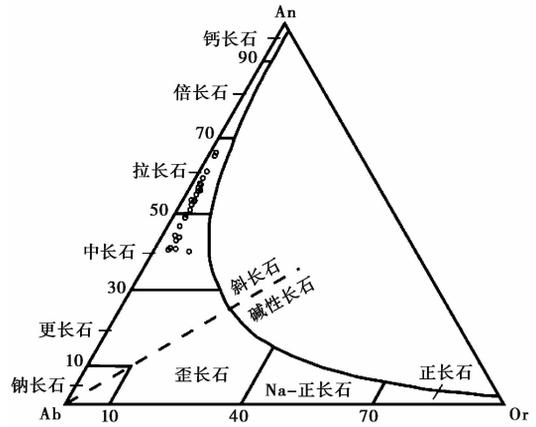


图 3 大六冲火山岩斜长石 Ab-Or-An 图 (底图据 Smith, 1974)

Fig. 3 Ab-Or-An plots of plagioclase phenocrysts in Daliuchong volcanic rocks(after Smith, 1974).

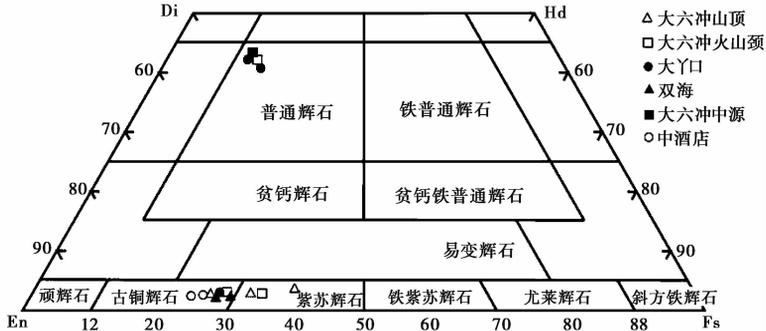


图 4 大六冲火山岩辉石分类图(底图据 Morimoto et al., 1988)

Fig. 4 Plot of pyroxene classification of Daliuchong volcanic rocks(after Morimoto et al., 1988).

取了典型的气孔状熔岩(图 6a, b)作为溢流相的代表进行镜下鉴定和描述，斑晶的体积分数约为 16%，以斜长石和辉石为主，角闪石次之。其中，斜长石斑晶的体积分数约为 10%，多呈长板状或短柱状，自形程度极好，部分长石内部被熔蚀；单个斑晶长度在 100~1 000 $\mu\text{m}$  之间，个别可达 2mm；常与辉石生长在一起，形成联斑结构，这样的斑晶聚集体直径最大可达 4mm。辉石斑晶的体积分数约为 4%，大小也在 50~300 $\mu\text{m}$  之间，半自形至它形，与斜长石组成联斑结构。角闪石的体积分数为 2%，大小 100~500 $\mu\text{m}$ ，呈菱形，2 组解理清晰可见，暗化边发育。基质发育玻晶交织结构(图 6c)，内含更为细小的斜长石微晶和磁铁矿等副矿物。气孔的体积分数约为 5%，孔径在 200 $\mu\text{m}$  至 5mm 之间，个别可达 1cm。石英和碱性长石颗粒细小，多存于基质中，根据电子探针结果，碱性长石为 Na-正长石。

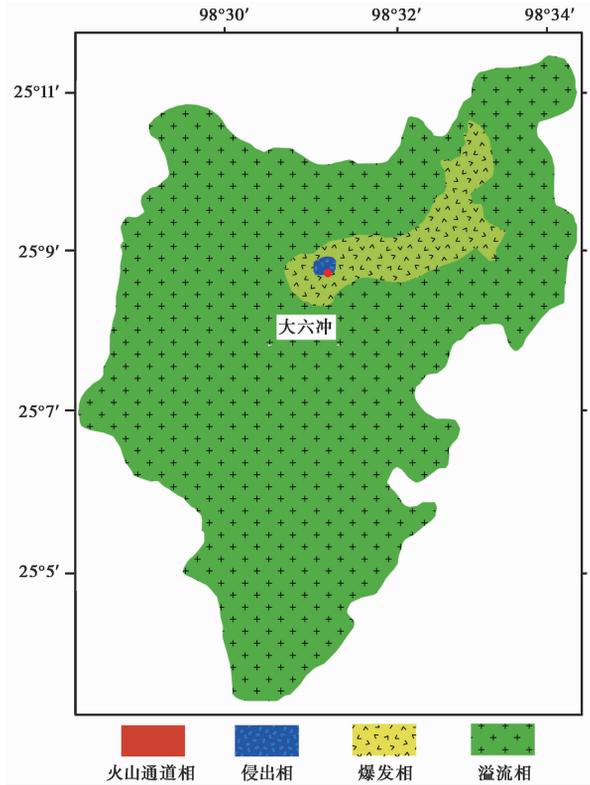


图 5 大六冲火山岩相分布示意图(底图据 Google Earth)

Fig. 5 The distribution of Daliuchong volcanic facies(modified from Google Earth).

### 3.2 爆发相

文中提到前人对大六冲喷发产物的岩相认识存在争议,姜朝松(1998b)和向才英等(2000)认为大六冲火山以溢流活动为主,李霓等(2014)和曹园园(2014)认为大六冲火山经历了大规模的爆炸式喷发,而本文经过详细的镜下鉴定,认为大六冲火山早期经历过规模较大的溢流活动,但后来又发生了一定规模的爆炸式喷发。大六冲火山从山腰大丫口至山顶沿途广泛出露 1 套青灰色—紫红色的层状火山岩,根据野外考察结果,其在火山南翼及东北翼也有分布。这些岩石致密程度不一,斑晶(或晶屑)丰富,极似熔岩,但其新鲜面呈青灰至紫灰色,风化后为灰白色,颗粒之间的胶结感强,又似凝灰岩,但无肉眼可见的岩屑颗粒。此外,在镜下基本不见岩屑和玻屑等特征性的火山碎屑物,但也不排除其碎屑物主要由晶屑构成的可能。因此,在经过肉眼和镜下斑晶观察都难以判别的情况下,应对其基质结构进行专门鉴别。

大六冲的英安质火山岩,无论是溢流相、火山通道相还是侵出相(图 6c, f, i),其基质都发育玻晶交织结构或霏细-交织结构,即斜长石的细小微晶大致定向分布于玻璃质中。而通过对之前所提的层状火山岩薄片的镜下观察发现,其基质基本为全消光,无交织结构(图 7a, b)。虽然火山熔岩也可以具有玻基结构,且在显微镜下为全消光,但两者在扫描电镜下的微观形貌却相差极大:该层状火山岩的基质不均匀,有大量形态不一的微孔隙(图 7e),而玻基熔岩的基质却非常均匀,孔洞极少,并有少量雏晶生长(图 7f)。

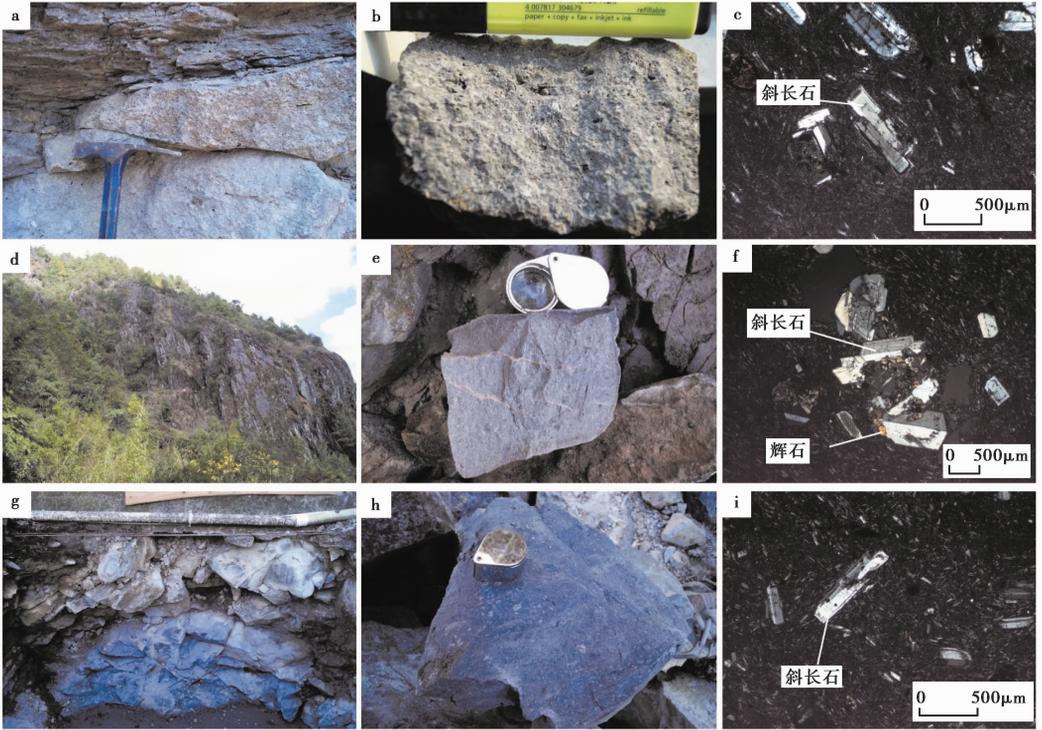


图 6 大六冲火山通道相、侵入相和溢流相熔岩野外剖面、手标本和镜下显微照片

Fig. 6 The outcrops, rock samples and microphotographs of volcanic vent facies, extrusion facies and effusive facies lava.

a 层状溢流相熔岩(双海村); b 溢流相气孔状熔岩; c 交织结构(溢流相), 正交偏光; d 产状近直立的火山通道相熔岩颈(大六冲山顶南侧约 100m 处); e 火山通道相灰褐色致密块状熔岩; f 交织结构(火山通道相), 正交偏光; g 顶峰露出的侵入相熔岩(大六冲山顶), 具同心构造; h 侵入相青灰色致密块状熔岩; i 交织结构(侵入相), 正交偏光

除基质结构外, 气孔(或孔隙)的形态也是鉴定火山碎屑岩的重要标志(Maria *et al.*, 2007)。熔岩中的孔洞被称为气孔, 是岩浆在喷出地表时, 由于压力突然降低, 挥发份从中逸出形成的, 一般以圆形和椭圆形为主。而孔隙是火山碎屑岩中孔洞的名称, 是指碎屑颗粒之间未被填充的空间, 形状不定。由图 8a 和图 8c 可见, 溢流相熔岩的气孔呈近等轴状, 有大段弧边; 相比之下, 图 8b 和图 8c 所示的爆发相火山岩内孔隙边缘极不规则, 其狭长的形态表明其应经历过压实作用。晶屑凝灰岩具有凝灰结构, 岩石中一半以上的火山碎屑物粒径  $< 2\text{mm}$ , 且火山碎屑物可以基本由晶屑组成, 再被火山尘胶结而成, 野外也常以层状产出。火山尘是颗粒极小的火山碎屑物, 粒径  $< 1/6\text{mm}$ , 为凝灰岩基质的主要组成部分, 在正交偏光下呈全消光, 这与之前的描述对应。因此, 通过基质结构与孔隙形态的对比, 本文认为大六冲火山西翼、南翼和东北翼出露的层状火山岩应属于爆发相而非溢流相; 此外, 虽然熔结凝灰岩的典型特征是具假流纹构造, 表现为塑性玻屑和塑性浆屑被压扁拉长而定向(Koralay *et al.*, 2011; Boyce *et al.*, 2012), 但分布于大六冲火山的爆发相产物于镜下几乎不见塑性浆屑与玻屑, 而以晶屑和火山尘为主, 若其发生熔结, 也难以观察到典型的假流纹构造, 而事实上, 斜长石的定向性、几乎全部暗化的角闪石以及圆化的矿物边(图 7a, b)已经说明岩石经历了一定程度的熔结作用, 所

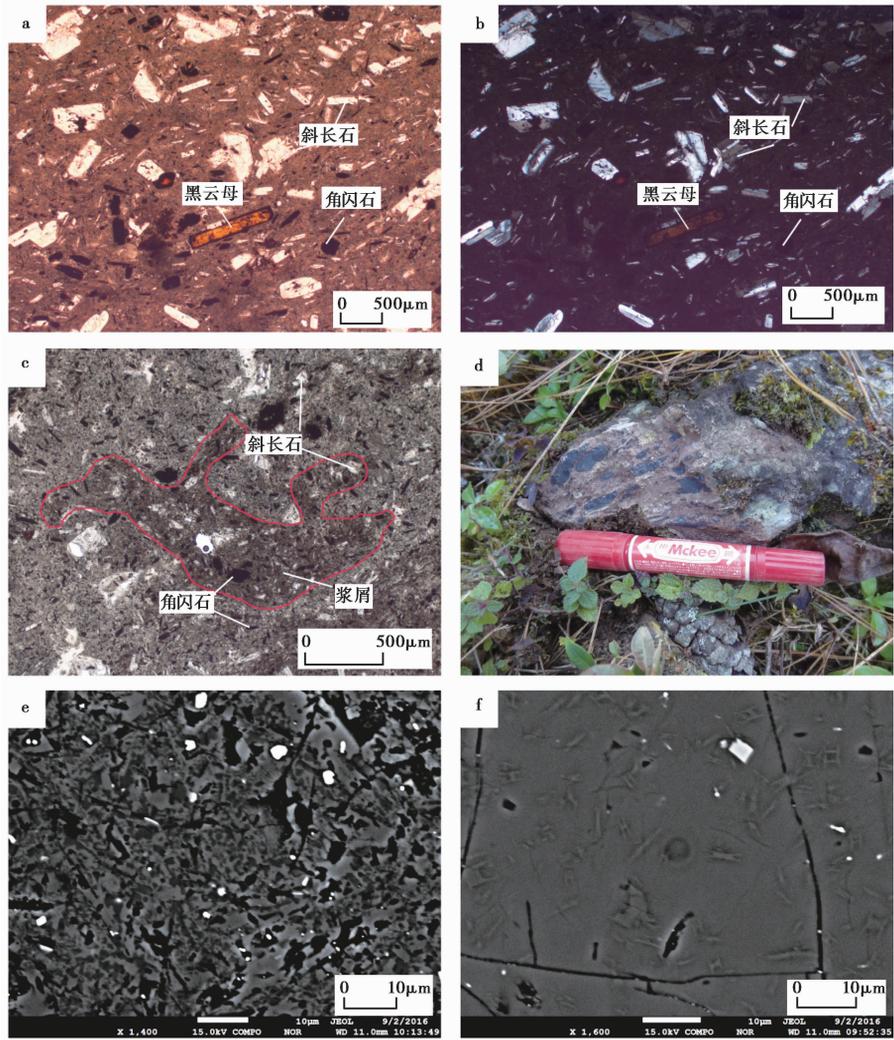


图 7 爆发相火山喷发物手标本与显微结构照片

Fig. 7 The microphotographs and hand samples of eruptive facies rocks.

a 熔结凝灰岩中斜长石的定向排列，单偏光；b 熔结凝灰岩中斜长石的定向排列，正交偏光；c 塑性浆屑，单偏光；d 灰黑色塑性浆屑被压扁拉长而呈定向排列；e 扫描电镜下大六冲晶屑凝灰岩基质的微观形貌；f 扫描电镜下老洋河玻基安山岩基质的微观形貌

以将其定名为英安质晶屑熔结凝灰岩，而且于手标本与镜下可见，此熔结凝灰岩无大颗粒岩屑和角砾，主要晶屑的颗粒大小基本也不超过 2mm，分选较好，极有可能是降落成因。

大六冲火山上也特征明显的熔结凝灰岩出露，但仅在火山西北翼近山脚处和东北翼上近火口处有所发现，表现为灰黑色塑性浆屑被压扁拉长而定向(图 7d)，镜下也可见浆屑出现塑性变形(图 7e)。沿火山西北翼熔结凝灰岩出露处继续向山下行进，可见火山角砾岩剖面，表面风化严重，角砾粒度不等，大小主要在 3~10cm 之间，也有大块可达 30cm 以上。因此，大六冲火山从顶部至底部的岩石剖面大致可描述为爆发相熔结凝灰岩、火山角砾岩和溢流相

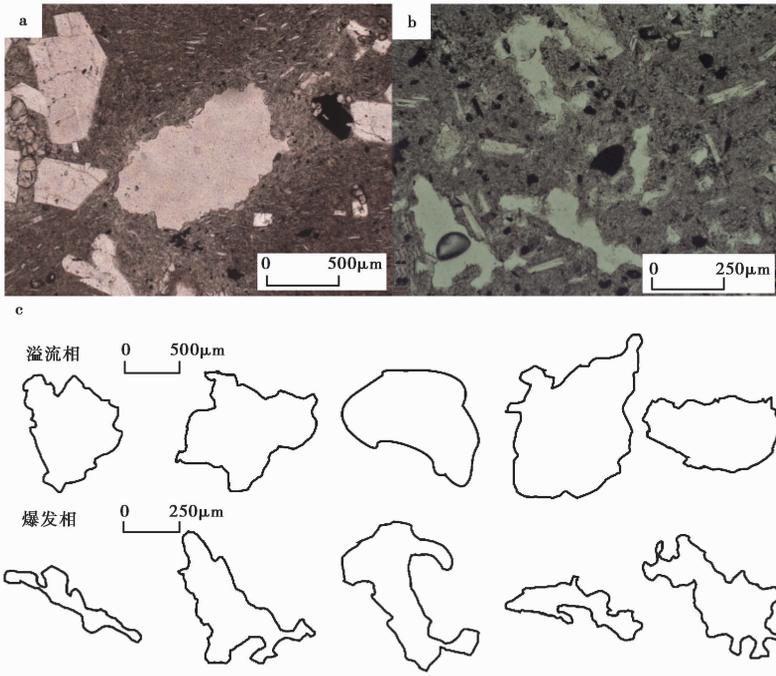


图 8 大六冲火山溢流相与爆发相火山气孔(或孔隙)形态对比

Fig. 8 The shape comparison between the vesicle(or pore) in extrusive facies lava and eruptive facies rocks in Daliuchong volcano.

a 溢流相熔岩气孔形态, 单偏光; b 爆发相孔隙形态, 单偏光; c 多组溢流相与爆发相气孔(或孔隙)形态图

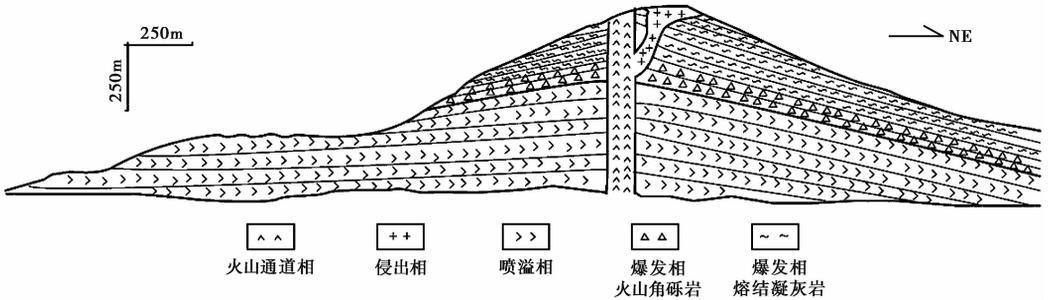


图 9 大六冲火山锥体剖面简图

Fig. 9 Simplified section drawing of Daliuchong volcanic cone.

熔岩(图 9)。

### 3.3 火山通道相

大六冲火山的火山通道位于锥体顶部南侧, 距主峰山顶约 100m。从 Google earth 影像上看, 火山通道的截面为近似等轴状的椭圆形, 长轴方向(NE-SW)约 130m, 短轴方向(NW-SE)在 100m 左右。根据野外实地勘查, 该火山通道相主要由上升的熔岩冷凝形成, 发育产状近竖直的节理(图 6d), 倾角多为 65°~80°(李霓等, 2014); 岩石手标本为灰褐色, 致密块状, 斑晶微小不明显, 有暗红色条带(图 6e), 该条带是因节理面受后期淋滤作用而成。此

外，山顶附近少见近火口相喷发产物，且火山通道也呈正地形产出，说明该处经历了较为强烈的剥蚀作用，原有松散火山碎屑堆积已被搬运至异地。

镜下鉴定，火山通道相火山岩可定名为辉石角闪英安岩，具斑状结构，由斑晶和基质组成，几乎无气孔。斑晶体积分数约为 12%，以斜长石和角闪石为主，辉石极少，石英和碱性长石斑晶多存在于基质中，几乎无斑晶。斜长石斑晶体积分数约为 10%，呈长板状，自形至半自形，按斑晶大小可分为 2 种。第 1 种长度在 300~800 $\mu\text{m}$  之间，熔蚀边发育，少量内部熔蚀；第 2 种长度在 150 $\mu\text{m}$  以下，大致呈定向排列。角闪石斑晶体积分数约为 2%，斑晶大小在 150~300 $\mu\text{m}$  之间，主要呈它形至半自形，少数自形，几乎全部暗化。基质发育霏细-交织结构，即在霏细结构的背景上，散布有一定量的斜长石微晶(图 6f)，内含更为细小的斜长石微晶和磁铁矿等副矿物颗粒。

### 3.4 侵出相

岩浆喷发晚期，由于挥发份的大量逸散，黏度大的岩浆从火山通道上部或火山口旁侧裂隙中挤出地表形成侵出相。大六冲顶峰出露的侵出相熔岩极其致密(图 6h)，几乎无气孔，但并未与火山通道顶部相连，产状也不同，应是由火山口旁侧裂隙中挤出，两者出露位置相距约有 100m。一般来说，以侵出相产出的熔岩穹窿是逐渐生长的，其内部会形成同心构造(图 6g)；其外壳由于内部岩浆的挤压而发生破裂，具有形似角砾岩的外貌，这一现象可在大六冲顶峰微波塔旁剖面中见到。

侵出相火山岩也定名为辉石角闪英安岩，与火山通道相岩石基本相同，具斑状结构，由斑晶和基质组成，几乎无气孔。斑晶的体积分数约为 15%，以斜长石和角闪石为主，辉石极少，石英和碱性长石斑晶也多存在于基质中。斜长石斑晶的体积分数约为 12%，整体呈板状，半自形，按斑晶大小也可分为 2 种。第 1 种长度在 150~600 $\mu\text{m}$  之间，熔蚀边发育，斑晶内部也多被熔蚀；常见碎斑，碎斑呈棱角状或裂纹状，与碎屑岩中棱角状的晶屑不同，这里是由于岩浆不断向外挤出，已凝固或近凝固的表壳受到内部压力而发生破碎造成的；另一种长度在 150 $\mu\text{m}$  以下的长条状长石微晶，自形程度好，呈定向排列。角闪石斑晶的体积分数约为 3%，斑晶长度范围也在 150~300 $\mu\text{m}$  之间，自形程度与火山通道相的类似，几乎全部暗化。基质也发育玻晶交织结构(图 6i)，内含更为细小的斜长石微晶和磁铁矿等副矿物颗粒。

## 4 结论

从野外勘查和镜下鉴定的结果看，大六冲火山早期应发生过溢流式喷发，后期也经历了较大规模的爆炸式喷发。通过对火山喷发物的基质结构与孔隙形态的对比和研究，也进一步证明爆炸式喷发产物的存在，并以此将其定名为英安质晶屑熔结凝灰岩。而爆发相主要分布于大六冲火山西翼、南翼和东北翼，覆盖在先期的溢流相熔岩之上。在爆炸式喷发后期，由于喷发后挥发组分大量逸散，黏度极大的英安质岩浆从山顶南侧的火山通道壁裂隙挤出，在山顶附近以侵出相产出，而沿火山通道上升的岩浆因失去喷发动力而在通道中冷凝，形成了火山通道相，并因受长期剥蚀而出露地表。

## 参 考 文 献

- CAO Yuan-yuan. 2014. A study on the tuff in the Tengchong volcanic area, Yunnan Province [D]. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing: 1—64 (in Chinese).
- 陈廷方. 2003. 云南腾冲火山岩岩石学特征 [J]. 沉积与特提斯地质, 23(4): 56—61.
- CHEN Ting-fang. 2003. The petrology of the volcanic rocks in Tengchong, Yunnan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 23(4): 56—61 (in Chinese).
- 从柏林, 陈秋媛, 张儒瑗, 等. 1994. 中国滇西腾冲新生代火山岩的成因 [J]. 中国科学(B辑), 24(4): 441—448.
- CONG Bo-lin, CHEN Qiu-yuan, ZHANG Ru-yuan, *et al.* 1994. Petrogenesis of Cenozoic volcanic rocks in Tengchong region of western Yunnan Province, China [J]. Science in China (Ser B), 37(10): 1264—1271.
- 樊祺诚, 刘若新, 魏海泉, 等. 1999. 腾冲活火山的岩浆演化 [J]. 地质论评, 45(S1): 895—904.
- FAN Qi-cheng, LIU Ruo-xin, WEI Hai-quan, *et al.* 1999. The magmatic evolution of the active volcano in the Tengchong area [J]. Geological Review, 45(S1): 895—904 (in Chinese).
- 贺传松, 王椿镛, 吴建平. 2004. 腾冲火山区 S 波速度结构接收函数反演 [J]. 地震学报, 26(1): 11—18.
- HE Chuan-song, WANG Chun-yong, WU Jian-ping. 2004. S-wave velocity structure inferred from receiver function inversion in Tengchong volcanic area [J]. Acta Seismologica Sinica, 26(1): 11—18 (in Chinese).
- 姜朝松. 1998a. 腾冲新生代火山分布特征 [J]. 地震研究, 21(4): 309—319.
- JIANG Chao-song. 1998a. Distribution characteristics of Tengchong volcano in the Cenozoic era [J]. Journal of Seismological Research, 21(4): 309—319 (in Chinese).
- 姜朝松. 1998b. 腾冲地区新生代火山活动分期 [J]. 地震研究, 21(4): 320—329.
- JIANG Chao-song. 1998b. Period division of volcano activities in the Cenozoic era of Tengchong [J]. Journal of Seismological Research, 21(4): 320—329 (in Chinese).
- 姜朝松, 梁秀英. 1990. 火山地震波动特征: 以腾冲火山地震为例 [J]. 东北地震研究, 6(1): 55—62.
- JIANG Chao-song, LIANG Xiu-ying. 1990. Wave motion features of volcanic earthquake: Taking Tengchong event as an example [J]. Northeastern Seismological Research, 6(1): 55—62 (in Chinese).
- 姜朝松, 周瑞琦, 姚孝执. 1998. 腾冲火山断裂构造 [J]. 地震研究, 21(4): 330—336.
- JIANG Chao-song, ZHOU Rui-qi, YAO Xiao-zhi. 1998. Fault structure of Tengchong volcano [J]. Journal of Seismological Research, 21(4): 330—336 (in Chinese).
- 李霓, 魏海泉, 张柳毅, 等. 2014. 云南腾冲大六冲火山机构的发现及意义 [J]. 岩石学报, 30(12): 3627—3634.
- LI Ni, WEI Hai-quan, ZHANG Liu-yi, *et al.* 2014. Discovery of Daliuchong volcanic edifice in Tengchong, Yunnan Province and its significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 30(12): 3627—3634 (in Chinese).
- 李欣, 刘嘉麒. 2012. 云南腾冲全新世火山岩地球化学特征及其成因 [J]. 岩石学报, 28(5): 1507—1516.
- LI Xin, LIU Jia-qi. 2012. A study on the geochemical characteristics and petrogenesis of Holocene volcanic rocks in the Tengchong volcanic eruption field, Yunnan Province, SW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 28(5): 1507—1516 (in Chinese).
- 梁卓成, 周秀云. 1985. 铀系等时线法测定腾冲地区火山岩的年龄 [J]. 地球化学, (3): 227—325.
- LIANG Zhuo-cheng, ZHOU Xiu-yun. 1985. Uranium-series dating of young volcanic rocks from Tengchong region, southwestern China [J]. Geochimica, (3): 227—325 (in Chinese).
- 楼海, 王椿镛, 皇甫岗, 等. 2002. 云南腾冲火山区上部地壳三维地震速度层析成像 [J]. 地震学报, 24(3): 243—251.
- LOU Hai, WANG Chun-yong, HUANGFU Gang, *et al.* 2002. Three-dimensional seismic velocity tomography of the upper crust in Tengchong volcanic area, Yunnan Province [J]. Acta Seismologica Sinica, 24(3): 243—251 (in Chinese).

- 穆治国, 佟伟, Curtis G H. 1987. 腾冲火山活动的时代和岩浆来源问题 [J]. 地球物理学报, 30(3): 261—270.
- MU Zhi-guo, TONG Wei, Curtis G H. 1987. Times of volcanic activity and origin of magma in Tengchong geothermal area, West Yunnan Province [J]. Acta Geophysica Sinica, 30(3): 261—270(in Chinese).
- 上官德树. 2012. 腾冲火山岩年龄问题评述 [J]. 云南地质, 31(3): 391—394.
- SHANGGUAN De-shu. 2012. The review of chronology of Tengchong volcanic rock [J]. Yunnan Geology, 31(3): 391—394(in Chinese).
- 向才英, 周真恒, 姜朝松. 2000. 腾冲火山岩岩石化学研究 [J]. 云南地质, 19(2): 134—151.
- XIANG Cai-ying, ZHOU Zhen-heng, JIANG Chao-song. 2000. The petrochemistry of the volcanic rocks in Tengchong [J]. Yunnan Geology, 19(2): 134—151(in Chinese).
- 赵勇伟, 樊祺诚. 2010. 腾冲马鞍山、打鹰山、黑空山火山岩浆来源与演化 [J]. 岩石学报, 26(4): 1133—1140.
- ZHAO Yong-wei, FAN Qi-cheng. 2010. Magma origin and evolution of Maanshan volcano, and Heikongshan volcano in Tengchong area [J]. Acta Petrologica Sinica, 26(4): 1133—1140(in Chinese).
- 周新平, 戚华文, 胡瑞忠, 等. 2015. 滇西腾冲新歧花岗岩年代学、地球化学及其构造意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 34(1): 139—148.
- ZHOU Xin-ping, QI Hua-wen, HU Rui-zhong, *et al.* 2015. Geochronology and geochemistry of granites in the Tengchong Xinqi area, western Yunnan and their tectonic implication [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 34(1): 139—148(in Chinese).
- 周真恒, 向才英, 姜朝松. 2000. 腾冲火山岩稀土和微量元素地球化学研究 [J]. 地震研究, 23(2): 215—230.
- ZHOU Zhen-heng, XIANG Cai-ying, JIANG Chao-song. 2000. Geochemistry of the rare earth and trace elements in the volcanic rocks in Tengchong, China [J]. Journal of Seismological Research, 23(2): 215—230(in Chinese).
- Boyce J A, Gertisser R. 2012. Variations in welding characteristics within the Plinian air-fall deposit of the Middle Pumice eruption, Santorini, Greece [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 221—222: 71—82.
- Koralay T, Özkul M, Kumsar H, *et al.* 2011. The effect of welding degree on geotechnical properties of an ignimbrite flow unit: The Bitlis castle case(eastern Turkey) [J]. Environmental Earth Sciences, 64(3): 869—881.
- Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, *et al.* 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks [M]. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK: 1—193.
- Maria A, Carey S. 2007. Quantitative discrimination of magma fragmentation and pyroclastic transport processes using the fractal spectrum technique [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 161(3): 234—246.
- Morimoto N. 1988. Nomenclature of pyroxenes [J]. Mineralogy and Petrology, 39(1): 55—76.
- Nakai S, Xu S, Wakita H, *et al.* 1993. K—Ar ages of young volcanic rocks from Tengchong area, western Yunnan, China [J]. Bulletin of the Volcanological Society of Japan, 38(5): 167—171.
- Smith J V. 1974. Feldspar Minerals [M]. Springer-Verlag, New York: 447.
- Tapponnier P, Lacassin R, Leloup P H, *et al.* 1990. The Ailao Shan/Red River metamorphic belt: Tertiary left-lateral shear between IndoChina and South China [J]. Nature, 343(6257): 431—437.
- Wang C Y, Huangfu G. 2004. Crustal structure in Tengchong volcano-geothermal area, western Yunnan, China [J]. Tectonophysics, 380(1—2): 69—87.
- Zhou M F, Robinson P T, Wang C Y, *et al.* 2012. Heterogeneous mantle source and magma differentiation of Quaternary arc-like volcanic rocks from Tengchong, SE margin of the Tibetan plateau [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 163(5): 841—860.

# THE CHARACTERISTICS OF VOLCANIC ROCKS STRUCTURE AND LITHOFACIES OF DALIUCHONG VOLCANO IN THE TENGCHONG VOLCANIC FIELD, YUNNAN PROVINCE

ZHANG Chuan-jie LI Ni FAN Qi-cheng ZHAO Yong-wei WANG Jia-long

*Key Laboratory of Active Tectonics and Volcano, Institute of Geology,  
China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*

## Abstract

A set of grey-purple layered volcanic rocks are found widely distributed from the mountain flank to the main peak of Daliuchong volcano, but it's difficult to identify whether they are volcanoclastic rock or lava rock just by field investigation and the crystal structure observation under microscope. The study of matrix microstructure of the volcanic rocks can help to identify the volcanic facies. We recognize the eruptive facies rocks through observation of the matrix microstructure and pore shape with comparison to those of the volcanic vent facies, extrusive facies and effusive facies rocks under microscope, thus the mentioned layered volcanic rocks could be named as dacitic crystal fragment tuff. Combining the joint work of field investigation, systematic sampling, chemical analyzing and microscopic observation, we summary the Daliuchong volcanic facies as follows:

1. The effusive facies lava constitutes the base of Daliuchong volcano and was produced by early eruption.
2. The explosive facies is composed of dacite crystal fragment welded tuff and volcanic breccia and mainly distributes on the W, S and NE flank of the volcanic cone.
3. The volcanic conduit with its diameter more than one hundred meters is located about 100 meters south of the main peak of the Daliuchong volcano.
4. The extrusive facies rock is only exposed near the peak of Daliuchong volcano.

Therefore, the volcanism of Daliuchong volcano can be speculated as: Large-scale lava overflowing occurred in the early eruption period; then explosive eruptions happened; at last, the volcanisms ceased marked with magma extrusion as lava dome and plug.

**Key words** Daliuchong volcano, volcanic facies distribution, petrology, microscopic structure

---

[作者简介] 张传杰,男,1991年生,2017年于中国地震局地质研究所获构造地质学硕士学位,火山岩岩石学与地球化学专业,E-mail: 18255188226@163.com。