1000-0569/2008/024(11)-2621-30 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

吉林省龙岗火山群南龙湾第四纪火山碎屑颗粒特征研究*

于红梅 许建东 林传勇 赵波
YU HongMei, XU JianDong, LIN ChuanYong and ZHAO Bo

中国地震局地质研究所,北京 100029
Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, *China*
2008-09-12 收稿, 2008-11-03 改回.

Yu HM, Xu JD, Lin CY and Zhao B. 2008. Study on the characteristics of Quaternary volcanic pyroclasts from Nanlongwan volcano, Longgang volcanic cluster, Jilin Province. *Acta Petrologica Sinica*, 24(11):2621-2630

Abstract The particle size, separation, surface texture, and internal structure of pyroclasts produced by explosive volcanic eruption bear a close relation to the mechanism of volcanic eruption, the reaction degree between the magma and water, the emplacement processes, and so on. In the light of this recognition, a profile of Nanlongwan volcano, Longgang volcanic cluster was studied in this paper to gain an insight into the eruptive type of the volcano. Samples of pyroclasts from each layer of this profile have been collected, and microscopic observation of pyroclastic morphology, analysis of particle size, and scanning electron microscopic (SEM) observation of pyroclastic surface textures have been carried out on all these samples. Microscopic observation makes clear that the pyroclasts from phreatic, phreatomagmatic and magmatic explosive eruption have different compositions and morphology. Particle size analysis indicates that particle size distribution feature bears a good relation to eruptive type, and different eruptive type has different fractal dimension scope. SEM analysis may provide information on the effect of the characteristics of the volcanic eruption on the features of pyroclasts. The results of this study show that the eruption of Nanlongwan volcano can be assigned to explosive volcanic eruption, which includes the early phreatomagmatic eruption advancing to magmatic eruption, and the late phreatomagmatic eruption, but dominated mainly by phreatic eruption. The reaction degree between the magma and water is different at different eruptive stages.
Key words Pyroclasts; Micro-morphology observation; Particle size analysis; SEM observation; Eruption type

摘 要 爆炸性火山喷发形成的碎屑颗粒的粒度、分选性、表面结构和内部结构等特征与火山喷发的机制、岩浆与水作用的程度、搬运过程等有着重要的联系。本文以此为线索,研究了龙岗火山群南龙湾火山的一个剖面,以探讨其喷发类型和特征。在该剖面上采集了不同层位火山碎屑颗粒样品,然后进行显微形貌观测、粒度分析和扫描电镜形貌观测。显微镜下观测表明,射汽爆发、射汽岩浆爆发和岩浆爆发的碎屑颗粒具有不同的成分和形貌特征。粒度分析结果显示,粒度与喷发类型之间存在很好的对应关系,不同的爆发类型具有不同的分维值 D 范围。SEM 分析可以提供有关火山喷发特征对火山碎屑颗粒的影响。本文的研究结果表明,南龙湾火山喷发为爆炸式喷发,包括早期的射汽岩浆爆发,到岩浆爆发至晚期以射汽爆发为主的射汽岩浆爆发的不同阶段,该区火山喷发的不同时期,水参与喷发的程度不同。
关键词 火山碎屑; 显微形貌观测; 粒度分析; SEM 分析; 喷发类型
中图法分类号 P588.211

爆炸性火山喷发形成的碎屑颗粒集中了有关喷发之前岩浆体中物理、化学过程的信息、喷发作用的爆炸程度、岩浆与地下水的相互关系、以及在地表的堆积定位方式(如火山灰空降或火山碎屑流)等有关信息(Heiken and Wohletz, 1985;Marshall,1987)。因此,对火山碎屑的形貌、粒度、分选性和表面结构等各方面的研究具有十分重要的意义。

火山碎屑颗粒的粒度分析,前人已开展较多的工作。Walker(1971, 1983)根据粒度分析资料,建立了火山碎屑堆积物的成因类型判别投点图,并已被广泛引用(Druitt and Bacon,1986;Giannetti and Casa,2000;Belousov *et al.*,2002)。

* 地震行业科研专项(200708-27)资助.
第一作者简介: 于红梅,女,1981 年生,在读博士,从事火山岩石学研究,E-mail:yuhongmei188@163.com

在国内,刘祥和向天元(1997)、刘若新等(1998)、杨清福等(2007)对长白山火山碎屑的粒度进行过研究,得到碎屑粒度特征与成因类型的关系。火山碎屑物的表面结构蕴含着火山的喷发类型、喷发强度和喷发时的物理化学环境等大量信息。自20世纪八十年代以来,尤其是随着扫描电镜的应用,国外在该领域的研究取得了长足的进展,如Wohletz and Krinsley(1982)根据火山碎屑形貌特征与喷发机制、搬运过程以及蚀变过程的关系将其划分了19种类型。Heiken and Wohletz(1985)研究了不同成因的火山碎屑颗粒的形貌特征。Marshall(1987)提出颗粒形貌的观察有助于理解岩浆气泡和水的加入对火山颗粒形成的作用,而火山口附近火山碎屑颗粒运移时磨损的程度可以显示喷发的能量。Büttner *et al.*(1999)提出火山碎屑的龟裂是射汽岩浆喷发的标志之一,岩浆喷发决不可能使碎屑产生龟裂。Dellino *et al.*(2001)根据火山碎屑颗粒形态、外形、表面结构、气泡形态、气泡含量等将火山碎屑分为5类,并提出它可以作为区分碎屑不同成因的标志。相对来说,国内在该领域的研究较晚,但也取得一系列重要成果,魏海泉和任锦章(1995)、刘若新(1998)等研究了我国东北某些火山碎屑的显微形貌特征,确定了碎屑的喷发类型和运移过程。白志达等(2006)根据碎屑物的堆积构造、组成、显微形貌和粒度特征推断龙岗火山群第四纪爆破式火山作用包括岩浆爆发、射汽—岩浆爆发和射汽爆发等三种类型。

龙岗火山群以爆破式喷发为主,形成大量的射汽、射汽岩浆和岩浆喷发物,本文在前人工作的基础上,对龙岗火山群中南龙湾火山的一个剖面的碎屑颗粒进行详细的显微形貌观测、粒度分析及颗粒表面结构的扫描电镜(SEM)观测,来探索南龙湾火山喷发类型、堆积过程及堆积后环境变化等信息。

1 剖面和采样概况

龙岗火山群位于吉林省东南部,辉南县和靖宇县境内的龙岗山脉中段。火山群东西长约70km,南北宽约40km,范围约2500km^2(白志达等,2006)。火山活动始于新近纪(刘嘉麒,1987;王雨钧和孙建中,1980),第四纪为鼎盛期,休眠于距今约1600年左右(刘祥等,1989),是中国近代活动火山区之一(刘祥和向天元,1997;刘若新,2000)。第四纪以来分布着100多座粗面玄武质火山(Fan and Hooper, 1991;隋建立等,1999)。南龙湾火山位于龙岗火山群的中部,表现为近东西向延伸的葫芦状湖泊。本次研究选择的剖面位于南龙湾西边的公路边,地理坐标为:42°24′39″N,126°28′05″E。具体的剖面及采样位置如图1所示。

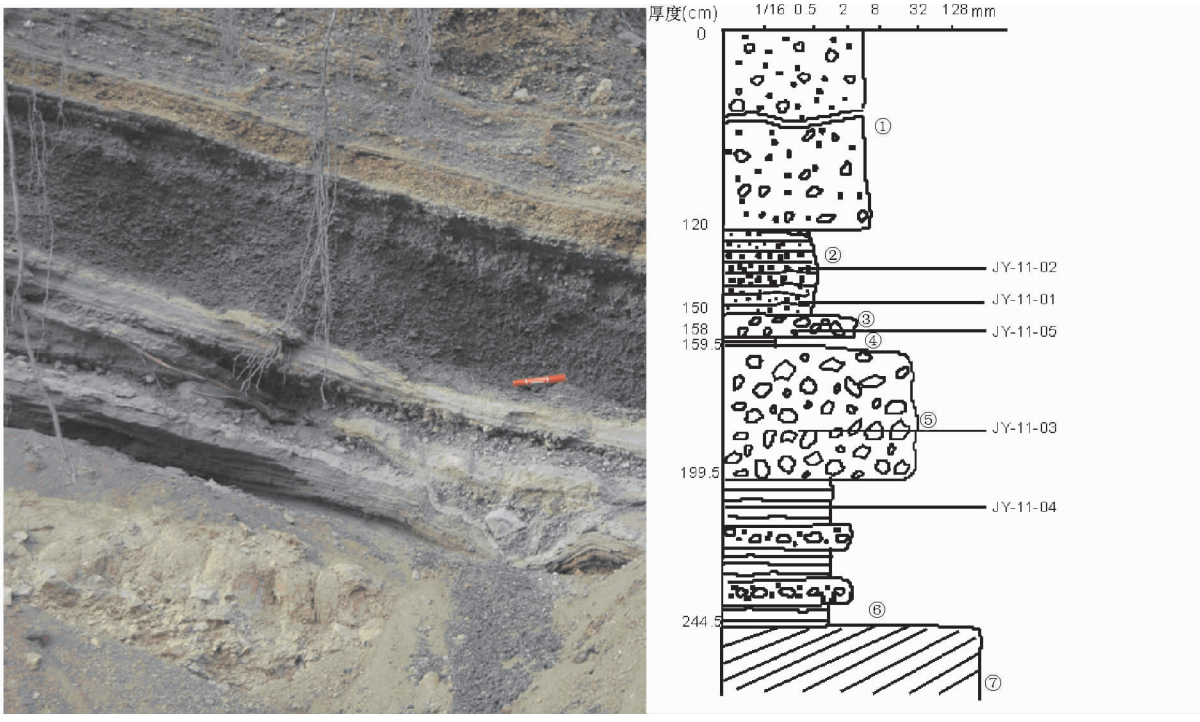

图1 南龙湾西公路边(42°24′39″N,126°28′05″E)火山碎屑剖面图

①-风化壳及火山砾层;②-层理发育的粗粒和细粒火山灰层;③-土黄色火山砾层;④-细粒火山灰层;⑤-灰黑色火山渣层;⑥-粗粒、细粒火山灰互层;⑦-基岩,未见底

Fig. 1 Profile of pyroclastic deposits near a road in the west of Nanlongwan(42°24′39″N,126°28′05″E)

①-Weathering crust and volcanic lapillus layer; ②-Well bedding coarse- and fine-grained ash layer; ③-Khaki-colored volcanic lapillus layer; ④-Fine-grained ash layer; ⑤-Grayish black volcanic scoria layer; ⑥-Interbedded coarse- and fine-grained volcanic ash layer; ⑦-Base rock, the bottom is unreachable

由图 1 可见,该剖面自上而下分别为:

① 风化壳及火山砾层,厚度 1.2m。其中上部 70cm 为风化壳,灰白色,土壤化。下部为火山砾层,土黄色,含岩屑、浆屑,少量大块玄武质碎屑镶嵌在该层,呈正粒序层理,0.5cm ~1cm 的颗粒占 50%,小于 0.5cm 的颗粒占 40%,>1cm 的颗粒占 10%。两层之间无明显界限。

② 灰色火山灰层,厚度 30cm。主要成份为岩屑,磨圆较好。平行薄层理发育,可分辨 9 个平行的薄层,颗粒直径上下细中间粗。在该层底部采集品 JY-11-01,在中部采集样品 JY-11-02。

③ 土黄色火山砾层,厚度 8cm。主要成份为火山渣,含少量的岩屑和晶屑,分选好,磨圆差,取样 JY-11-05。

④ 灰白色细粒火山灰层,厚度 1.5cm,含岩屑、晶屑,磨圆较好。

⑤ 灰黑色火山渣层,厚度 40cm。主要成份为玄武质火山渣,还含有橄榄岩碎屑、长英质碎屑,磨圆较差,无基质。粒径在 1.5cm ~ 0.5cm 的颗粒占 60%,<0.5cm 的颗粒占 30%,>1.5cm 的颗粒占 10%。在该层取采集样品 JY-11-03。

⑥ 灰白色细粒和黑灰色粗粒火山灰互层,由 3 层细粒火山灰层夹 2 层粗粒火山灰层组成,厚度 45cm。细粒火山灰层固结较好,含岩屑、晶屑,在其中采集样品 JY-11-04。粗粒层相对细粒层黑灰色火山渣较多。

⑦ 基岩,太古宙片麻岩,未见底。

2 碎屑颗粒的显微形貌特征

首先,在室内将采集的样品磨制成薄片,以便在显微镜下进行详细观察。由于所采集的是分散的火山碎屑,因此需要将经过筛析后的不同粒级的碎屑颗粒先用环氧树脂进行胶结,然后磨制成薄片。这次工作中,共磨制了不同粒级碎屑颗粒的 37 件薄片。显微镜下观测的重点是碎屑颗粒的物质组成和形貌特征,并对不同样品进行分析对比。

显微镜下观测结果表明,JY-11-04 样品为已经固结的火山碎屑堆积,由碎屑颗粒和基质组成。碎屑颗粒成分较为复杂,主要为长石、石英,其次还有辉石和少量的岩浆碎屑等。长石碎屑溶蚀成港湾状,颗粒大小不等,形态不一,次棱角状,表面常有蚀变现象。石英碎屑表面较洁净,多呈近等轴状,次棱角状为主。辉石碎屑形态不一,裂纹发育,也多为次棱角状。少量岩浆碎屑多为火山渣和火山灰,但大多尖棱角已消失,气泡不十分发育(以上见图 2a)。基质主要为玻质及火山粉尘,单偏光为黄褐色,正交偏光下可见一定程度的脱玻化(图 2b)。根据上述特征,该样品应为凝灰岩,由火山碎屑堆积压实固结而成。而根据火山碎屑的组成及显微形貌特征,有可能是射汽-岩浆爆发的产物(白志达等,2006)。

JY-11-03 样品:碎屑颗粒主要为岩浆碎屑,此外还有很少量的斜长石、辉石和橄榄石晶屑。岩浆碎屑为玄武质火山渣和火山灰,多呈棱角状、尖角状、渣状、蜂窝状等。气泡很发育,多呈圆形和卵形,有的相互拼合构成不规则状气泡。火山渣中本身也包含有很少量的辉石和橄榄石碎屑,个体均在 1mm 左右,较自形,多发育裂纹。独立的斜长石、辉石和橄榄石碎屑多见于 1mm 粒级以下的碎屑中。形态以次棱角状为主,有的呈不规则状,破裂较为发育,有的边缘还有火山渣物质的环绕,表明来源于爆炸喷发的斑状岩浆(McPhie *et al.*,1993)(以上见图 2c)。根据火山碎屑的组成和形貌特征,应是岩浆爆发的产物(白志达等,2006)。

JY-11-05 样品:由岩浆碎屑和少量的长石、辉石、橄榄石碎屑组成。岩浆碎屑为玄武质火山渣和火山灰,多呈棱角状、尖角状、渣状、蜂窝状和不规则状等。其中含有很少量、大小不一的辉石和橄榄石晶体,小的在 0.5mm 左右,大的可达 4mm,较自形,有的裂纹发育。火山渣中气泡发育,但其形态常为不规则状,很少呈圆形或卵形。次棱角状,岩浆碎屑较多。独立的斜长石、辉石和橄榄石晶体见于 1mm 粒级以下的碎屑颗粒中。次棱角状或不规则状等都有,裂纹发育,有的边缘还有火山渣物质的环绕,表明来源爆炸喷发的斑状岩浆(McPhie *et al.*,1993)(以上见图 2d)。根据火山碎屑的组成和形貌特征,应是岩浆爆发的产物(白志达等,2006)。

JY-11-01 样品:粗粒的碎屑(>1mm)以岩屑为主,没有独立的矿物碎屑。岩屑成分较为复杂,有长英质岩石、片麻岩、早期的火山岩如凝灰岩、固结的火山碎屑堆积物碎片等,应是来自基底岩石和火山通道周围的岩石碎片。形态不一,多为近等轴状和不规则状,边缘常呈曲折状。独立的矿物碎屑见于粒级 <1mm 的碎屑中,主要为长石、石英,其次还有少量的辉石、橄榄石等,近等轴状为多,也有次棱角状和不规则状。在这些粒级的碎屑中,也仍有岩屑出现,其组成和粗粒岩屑一样(见图 2e)。根据上述特征,表明是射汽爆发的产物,至少还没有很多岩浆参与爆发过程。

JY-11-02 样品:与上一样品特征较接近,粗粒碎屑以来自基底岩石和火山通道附近岩石的碎片为主,成分较复杂,形态多为近等轴状,棱角度则以次棱角状为主。独立的矿物碎屑多出现在 1mm 以下粒级的碎屑中。多为长石、石英,少量为辉石、橄榄石等,形态多为近等轴状,棱角度多为次棱角状(图 2f)。根据上述特征,表明是射汽爆发的产物,至少还没有很多岩浆参与爆发过程。

综上所述,碎屑颗粒的组成及显微形貌特征,确实与喷发类型有密切的关系(白志达等,2006)。根据上面的观测结果,并结合野外观测到的火山碎屑堆积剖面的特征,可以粗略地确定该火山喷发初期为射汽岩浆爆发,细粒层以射汽爆发为主,粗粒层以射汽岩浆为主,之后转变为岩浆爆发,然后在少量的射汽爆发之后又转为岩浆爆发,最后是以射汽爆发为主的射汽岩浆爆发。

3 碎屑颗粒的粒度分析

在火山碎屑的研究中,粒度分析具有十分重要的意义,

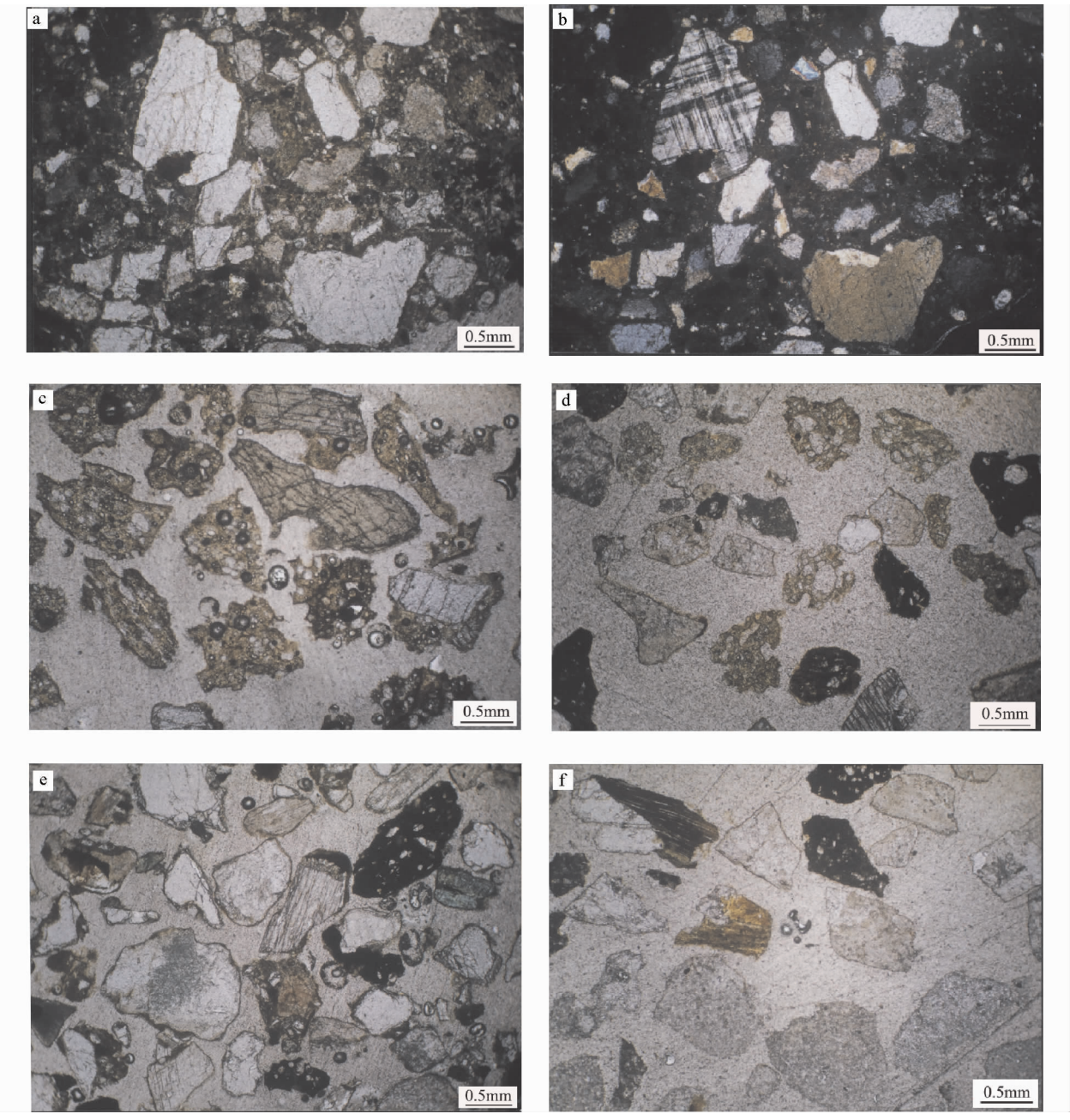

图 2 南龙湾火山碎屑的显微形貌特征

a-JY-11-04 样品,单偏光;b-JY-11-04 样品,正交偏光;c-JY-11-03 样品,单偏光;d-JY-11-05 样品,单偏光;e-JY-11-01 样品,单偏光;f-JY-11-02 样品,单偏光

Fig. 2 Micro- morphology of the pyroclasts from Nanlongwan volcano

a-Sample JY-11-04, plane polarized light; b-Sample JY-11-04, crossed polarized light; c-Sample JY-11-03, plane polarized light; d-Sample JY-11-05, plane polarized light; e-Sample JY-11-01, plane polarized light; f-Sample JY-11-02, plane polarized light

常常与火山碎屑微结构的研究结合进行。本研究粒度分析的前期工作是对每个样品进行手工筛分,换算成 Φ 值($\Phi = -\log_2 d$,d 是以 mm 为单位的碎屑粒度),并对每一粒级进行称重,然后做出粒度分布直方图(图 3)。由图 3 可见,各个样品的粒度分布直方图均为单峰分布,推测可能反映堆积的成因单一。

利用粒度筛分数据建立粒度分布累积曲线,确定 Inman (Inman,1952)指数:

$$Md_{\Phi} = \Phi_{50}, \sigma_{\Phi} = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/2$$

得到的结果见表 1。粒度分布中的 Md_{Φ} 和 σ_{Φ} 具有重要意义。其中,Md_{Φ} 是粒度分布中以 Φ 为单位的的中值粒度,反映碎屑中间粒度大小;σ_{Φ} 是粒度分布中,以 Φ 为单位的标

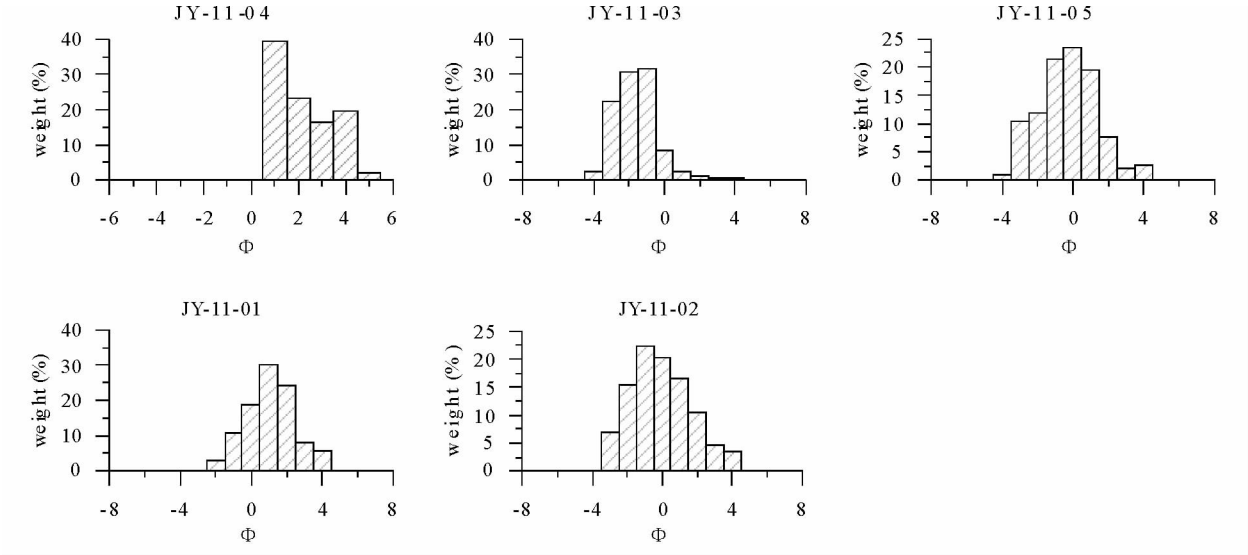

图 3 南龙湾火山碎屑粒度(Φ)分布直方图

Fig. 3 Particle size distribution histogram of Nanlongwan pyroclasts (Φ)

表 1 南龙湾火山碎屑颗粒粒级分布统计表

Table 1 Particle size distribution table of Nanlongwan pyroclasts

样品号	质量(g)	Md_{Φ}(mm)	σ_{Φ}	D	R
JY-11-02	480.2	-0.73 (1.66)	1.83	2.20	0.975
JY-11-01	132.5	0.58 (0.67)	1.39	2.15	0.952
JY-11-05	204.4	-0.78 (1.72)	1.71	1.97	0.989
JY-11-03	663.1	-2.17 (4.50)	1.15	1.84	0.992
JY-11-04	119.7	1.46 (0.36)	1.43	—	—

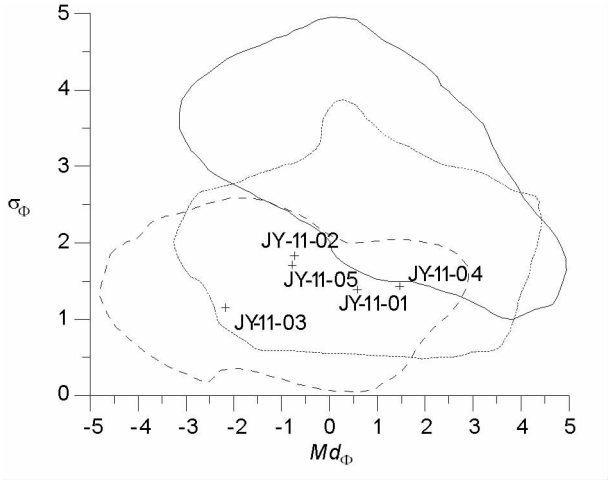

图 4 粒度中值(Md_{ϕ})与分选(σ_{ϕ})关系图

虚线为空降堆积,点线为涌浪堆积,实线为火山碎屑流堆积

Fig. 4 Relationship between the median grain diameter (Md_{ϕ}) and separation (σ_{ϕ})

Dashed line represents fallout deposits, dotted line represents surge deposits, solid line represents pyroclastic flow deposits

准偏差,它可以反映碎屑颗粒分选性的高低:$\sigma_{\Phi}<2$,分选性好;$\sigma_{\Phi}>2$,分选性差(Cas and Wright,1987)。以 Md_{Φ} 作横坐标,σ_{Φ} 作纵坐标作图 4,并给出空降、涌流和碎屑流堆积的界限,投点结果与地层剖面各层次样品所反映的堆积类型相吻合。

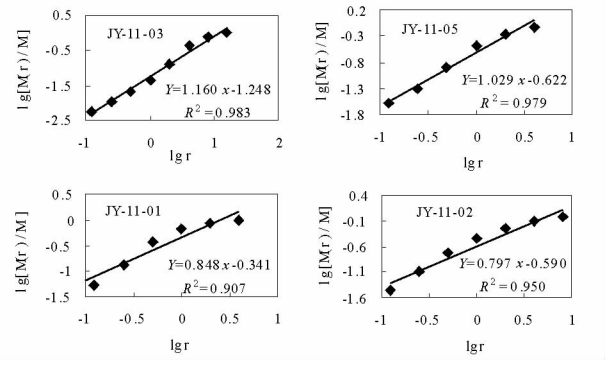

图 5 南龙湾火山碎屑颗粒的粒度分布特征

Fig. 5 Particle size distribution of pyroclasts from Nanlongwan volcano

此外,上述结果还表明:岩浆爆发的产生的降落堆积的碎屑粒度较大,JY-11-03 样品和 JY-11-05 样品大部分颗粒粒度≤2Φ。JY-11-01 和 JY-11-02 图形相似,但后者的粒度明显要大于前者(表 1),前者粒度中值为 0.58Φ,后者粒度中值为 -0.73Φ。由表 1 可知,研究剖面上的样品分选性均为好($\sigma_{\Phi}=1\sim2$),但分选值相差很多:射汽岩浆爆发的粒度小,分选较差,而岩浆爆发的粒度大,分选较好。一般认为,粒度的大小与火山喷发时爆炸程度有关,爆炸程度越高,粒度越小。Walker(1971)的研究表明,射汽岩浆爆发的碎屑化程度要高于岩浆爆发的碎屑化程度。由此看来,射汽岩浆爆发爆炸得更为充分。

南龙湾火山碎屑颗粒粒度分布特征如图 5 所示。由图

可见,碎屑颗粒接近线性分布,表明粒度分布具有分形结构,可计算其分维值,计算结果也列于表 1 中。应当说明的是,JY-11-04 样品固结较好,不具分形结构,所以没有计算该样品的分维值。前人工作表明,火山碎屑粒度的分维与喷发类型也具有一定的关系。张秉良等(2005)和白志达等(2006)曾分别计算了龙岗地区不同火山喷发类型的碎屑颗粒的分维值。张秉良等(2005)得出射汽爆发碎屑物分维值 >2.12,射汽岩浆爆发碎屑物分维值为 2.12 ~ 2.30,岩浆爆发碎屑物分维值 <2.13。白志达等(2006)得出的射汽爆发碎屑物分维值较高,为 2.23 ~ 2.38,射汽岩浆爆发碎屑物分维值为 2.13 ~ 2.20,而岩浆爆发碎屑物分维值为 1.55 ~ 2.11。两者得到的结果对比,除张秉良等(2005)未给出射汽爆发和岩浆爆发的具体范围外,其余数值还是较为接近的。由表 1 可见,本文得到的结果,JY-01-01 和 JY-01-02 样品分维值 D 分别为 2.15 和 2.20,根据白志达等得到的数值,应是射汽岩浆爆发的产物,这与碎屑颗粒显微形貌观测结果是一致的。其他 2 件样品分维值分别为 1.97 和 1.84,应是岩浆爆发的产物,同样这也与碎屑颗粒显微形貌观测结果很好的一致。由此可见,本文得出的分维结果与前人研究结果基本一致。此外,由表 1 还可以看出碎屑颗粒粒度的分维值与中值之间存在对应关系,中值越大分维值越小。

4 碎屑颗粒表面结构特征

火山碎屑的表面结构的研究常常是与粒度分析以及光学显微镜下的研究相结合进行的。我们对筛分出的样品 JY-11-03、JY-11-05、JY-11-01、JY-11-02 进行了扫描电镜(SEM)分析。首先在双目立体显微镜下选择粒度在 0.25mm ~ 0.5mm 之间的颗粒,选择该范围是因为粒度如果太大的话,容易产生后期的磨损和破裂,但太小的颗粒在双目立体显微镜下不易选择。然后将这些碎屑颗粒放置在扫描电镜的样品桩上。其做法是:(1)在样品桩上涂上一层专用的胶水,或者贴上双面胶带;(2)将碎屑颗粒分散固定在胶水或胶带上;(3)将贴有碎屑颗粒的样品装在真空蒸发器中镀上炭膜。最后进行扫描电镜观察。

SEM 观测发现了以下的现象:

JY-11-03 样品:碎屑颗粒主要为火山渣。形态多呈长条状、块状等,边缘常呈尖棱角状。气孔很发育,有的大气孔中还有小气孔发育(图 6a)。气孔截面多呈圆形、卵形、管形和

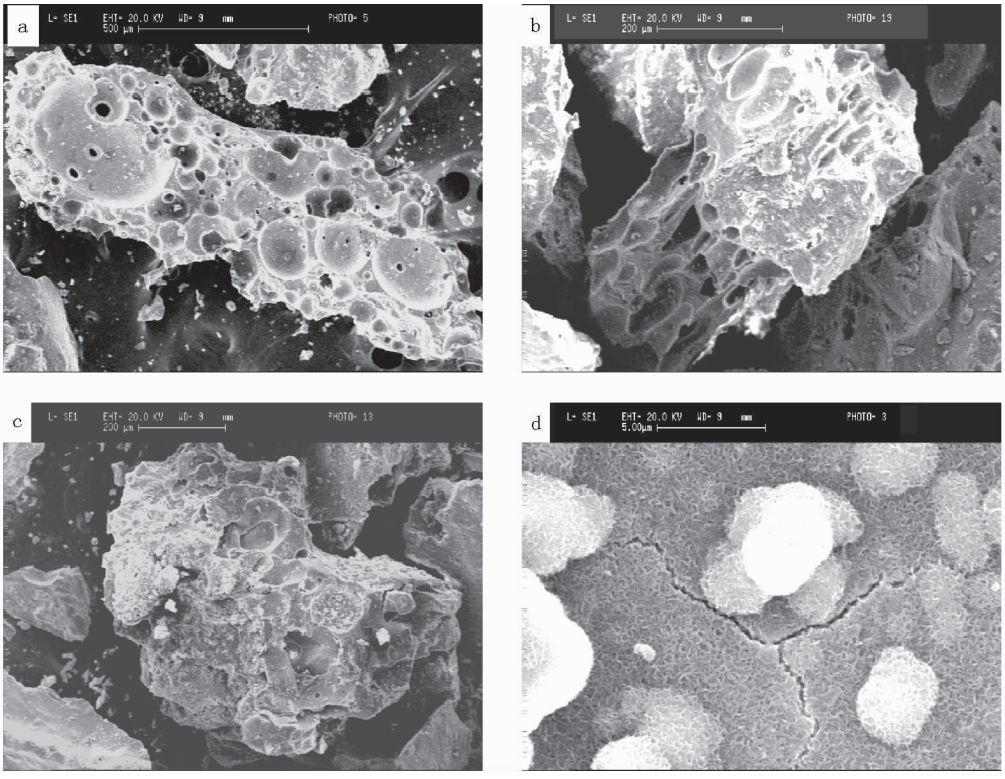

图 6 JY-11-03 样品火山碎屑颗粒的 SEM 照片

a-长条状火山渣,圆形、卵形气孔发育,大气孔中有小气孔;b-块状火山渣,管形气孔发育,有的有附着物;c-块状火山渣,气孔多为不规则状,表面有附着物;d-碎屑颗粒中发育的裂纹及细小气孔

Fig. 6 SEM photomicrographs of the pyroclasts from JY-11-03 sample

a-Long striped volcanic scoria with well-developed round and oval vesicles; small vesicles are developed in large vesicles; b-Blocky volcanic scoria with well-developed tube-shaped vesicles, and there are some attachments on the surface; c-Blocky volcanic scoria with irregularly shaped vesicles, and there are attachments on the surface; d-Pyroclast with well-developed small cracks and vesicles

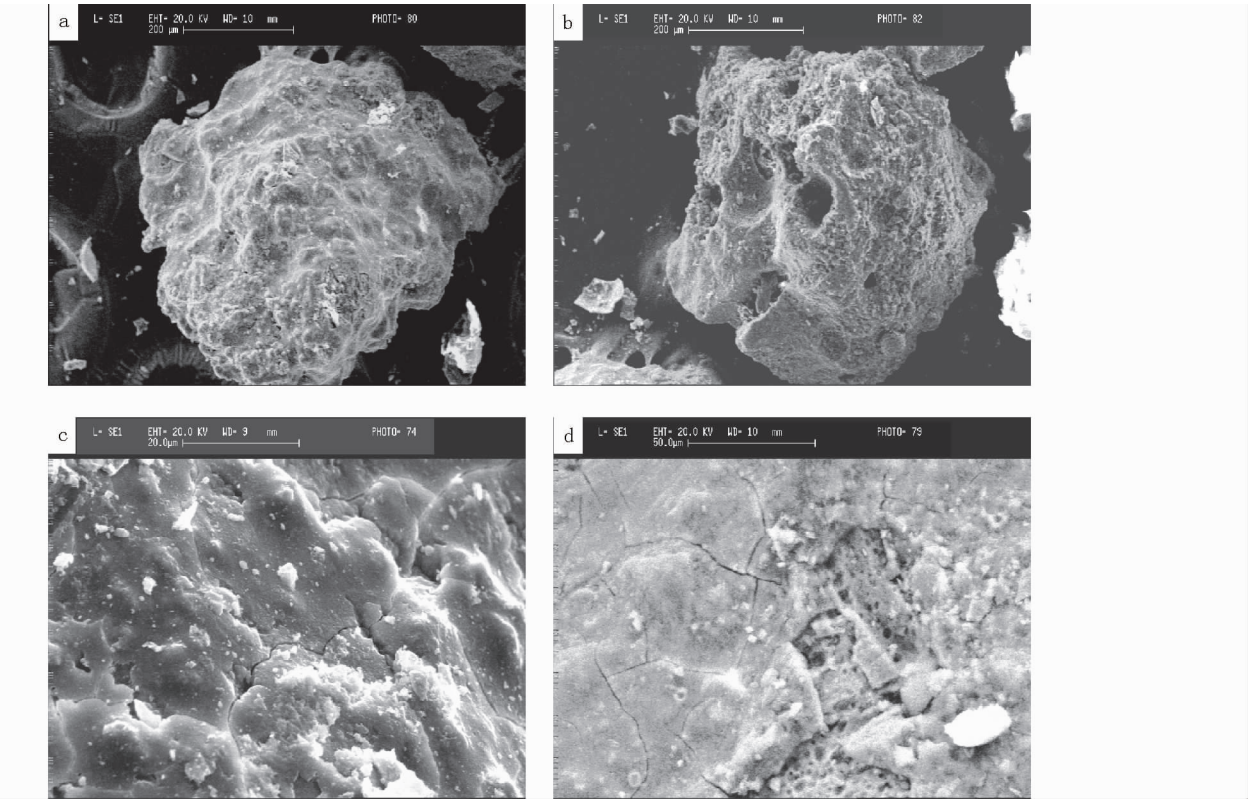

图 7 JY-11-05 样品火山碎屑颗粒的 SEM 照片

a-面包皮结构,磨圆度中等;b-多孔块状火山颗粒,气孔圆状,表面粗糙;c-裂纹以及光滑表面,d-脱水作用产生的裂纹,面包皮结构,破碎的表皮下可见较多气孔

Fig. 7 SEM photomicrographs of the pyroclasts from JY-11-05 sample

a-Bread-crusted structure, mid-roundness; b-Vesicular, blocky pyroclast with round vesicles and rough surface; c-Cracks and smooth surface; d-Cracks produced by dehydration, bread-crusted structure, more vesicles can be seen under the broken skin

不规则状等,未见充填物,但有的表面有细小附着物(图 6a, b, c)。碎屑颗粒常发育裂纹,放大后可见到明显的小气孔(图 6d)。这些特征说明岩浆中挥发份很多,碎屑颗粒是岩浆爆发的产物。

JY-11-05 样品:碎屑颗粒多呈近等轴块状,磨圆一般,呈次棱角状。多数含气孔,但气孔度中等,形态呈圆形或不太规则(图 7a, b)。碎屑颗粒有光滑表面或面包皮状结构(图 7a, c),以及由脱水作用产生的龟裂现象(图 7c, d)。上述特征表明,岩浆中脱溶的挥发份较多,同时也表明一些含水喷发特征,因此这些碎屑颗粒反映射汽岩浆爆发,但仍以岩浆爆发为主。

JY-11-01 样品:碎屑颗粒多呈块状、椭球状、近等轴状等,磨圆较好(图 8a, b)。气孔不发育,有的有少量不规则状气孔(图 8b, c);有的具有花椰菜状外表(图 8c),龟裂和面包皮结构清晰可见(图 8d)。这些特征均说明了喷发时有水的参与(Büttner,1999)。

JY-11-02 样品:碎屑颗粒以块状居多,磨圆度较好,多呈次圆状,气孔不很发育(图 9a)。参差不齐的断口(图 9b)、阶状断口(图 9c)以及裂纹(图 9d)均较为常见。上述特征表明,火山喷发过程中有水的参与,为射汽岩浆爆发的产物(Büttner *et al.*, 1999)。

上述样品中常发育有裂纹,裂纹的产生有不同的原因:贯穿颗粒的裂纹可能是由快速淬火作用产生的热应力造成的,或是由颗粒之间的碰撞产生的;颗粒表皮的裂纹,则可能是在形成脆性的表面后,颗粒膨胀或含水表面收缩作用所产生的,经常伴随着蚀变矿物的堆积物(Wohletz and Krinsley, 1982)。不同成因的裂纹,具有不同的形态:图 6d 的裂纹为碰撞产生的裂纹,这种裂纹一般发生在较脆性的颗粒上。由膨胀和收缩作用造成的颗粒表面的裂纹一般比较浅,例如图 7c、d,和图 8d 中的裂纹。这种表皮的裂纹即为 Büttner (1999)提出的龟裂,可作为含水喷发的证据。面包皮结构为热的火山碎屑遇水发生淬火作用形成。阶梯状断口是由于岩浆的变形速率很高,应力松弛还没发生时,热的岩浆遇水,冷却收缩产生脆性破裂形成的(Büttner *et al.*, 1999;Dellino *et al.* 2001)。

由以上的 SEM 分析可以看出,南龙湾火山喷发的不同阶段,水参与的程度有所不同。在 JY-11-03 样品所在的堆积层中,气孔较多,岩浆内挥发份脱溶程度强烈,所以即使在无

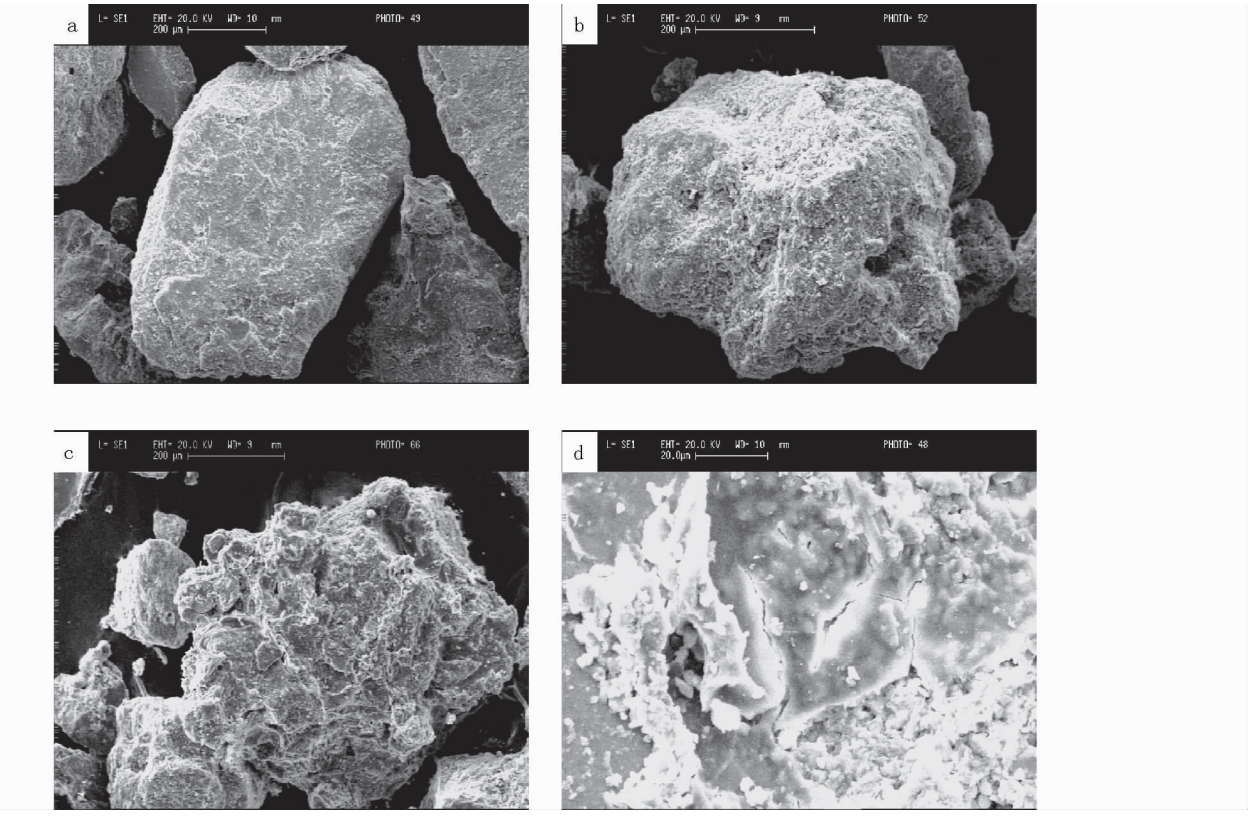

图 8 JY-11-01 样品碎屑颗粒的 SEM 照片

a-椭球状碎屑颗粒,气孔不发育;b-近等轴状颗粒,含少量大气孔,表面粗糙;c-近等轴状颗粒,外表呈花椰菜状;d-清晰的龟裂及面包皮结构

Fig. 8 SEM photomicrographs of the pyroclasts from JY-11-01 sample

a-Ellipsoidal pyroclast with a few vesicles; b-Nearly equant clast with a few large vesicles and rough surface; c-Nearly equant clast with cauliflower-shaped surface; d-Distinct quenched cracks and bread-crusted structure

水参与的情况下,大量的脱溶气体促使了岩浆的爆发。JY-11-05 样品所在的堆积层中,碎屑颗粒的气孔少于 JY-11-03 样品;但由于水的参与增多,所以即使挥发份的出溶不是很强烈,高温的岩浆遇到冷的水也可促使火山的爆炸性喷发。JY-11-01 和 JY-11-02 样品碎屑颗粒表面的龟裂和面包皮结构及阶梯状断口,明显说明岩浆与水发生了强烈的反应作用,水蒸汽是爆炸性喷发的主要动力。但是,碎屑颗粒中还发育有少量的气孔,这可能表明不是单纯的射汽爆发。因此,单从野外特征和粒度分析有时并不能准确地确定火山喷发的类型,应该从各个方面进行综合分析。

5 结论

本文选择龙岗火山群中的南龙湾火山进行野外地质考察,对一标准剖面进行了取样分析,确定了该火山喷发的序列,得到了一些有意义的新认识:

(1)南龙湾火山碎屑颗粒的显微镜下观测表明,不同的爆炸性喷发类型,其所产生的碎屑颗粒具有不同的物质组成和显微形貌特征。因此,对火山碎屑颗粒开展显微镜下研究具有重要的意义。

(2)南龙湾火山碎屑颗粒的粒度分析表明,射汽岩浆爆发的粒度小,分选差,而岩浆爆发的粒度大,分选好,粒度的大小可能跟火山爆发时岩浆的爆炸程度有关。本文得到的不同爆炸喷发类型碎屑颗粒粒度分维值(D),与前人得到的结果(张秉良等,2005;白志达等,2006)基本上一致。

(3)南龙湾火山碎屑颗粒的扫描电镜分析,清晰的表明在南龙湾火山喷发的不同阶段,水参与的程度不同。气体脱溶和水的参与均可产生爆炸性的喷发,火山颗粒棱角尖锐并为多孔状,说明脱溶作用促使了火山喷发;龟裂、面包皮结构、花椰菜形状及阶梯状断口等特征则表明岩浆与水发生了强烈的反应作用,水蒸汽为爆炸性喷发的主要动力。

(4)上述研究结果表明,南龙湾火山喷发为爆炸式喷发,包括早期的射汽岩浆爆发,到岩浆爆发至晚期以射汽爆发为主的射汽岩浆爆发的不同阶段。

所以,显微形貌观测、粒度分析和 SEM 分析均具有重要意义,可以提供有关火山喷发的信息。下一步要努力的工作

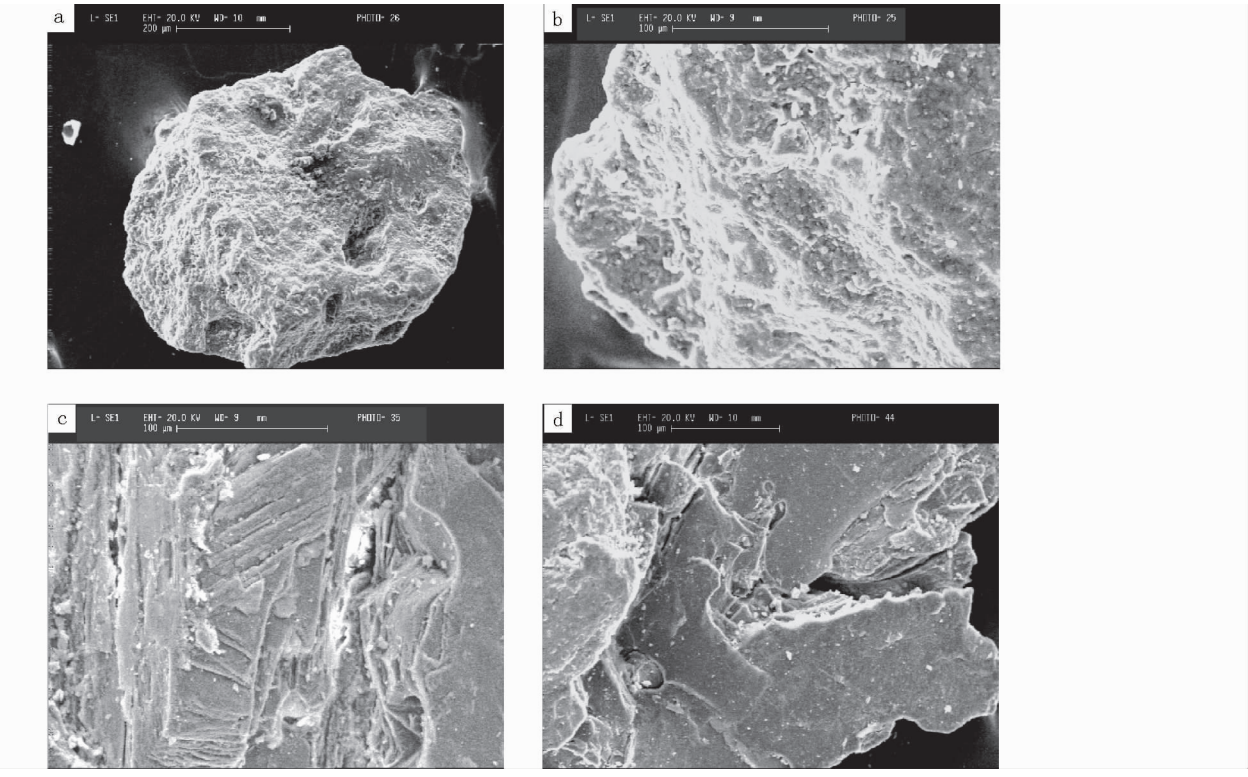

图 9 JY-11-02 样品碎屑颗粒的 SEM 照片

a-等轴状碎屑颗粒,含少量气孔,表面不平整;b-颗粒的断口和裂纹;c-碎屑颗粒的阶状断口,气孔不发育;d-阶梯状表面,基本无气孔

Fig. 9 SEM photomicrographs of the pyroclasts from JY-11-02 sample

a-Equant and poorly vesiculated clast with uneven surface; b-Fracture and crack in the clast; c-Poorly vesiculated clast showing stepped fracture; d-Stepped surface with a few vesicles

是把这些信息定量化,来更好地了解火山喷发的机制。目前国外学者正在进行形貌特征定量化的研究,我们可以尝试对龙岗地区火山碎屑形貌进行定量化,从而探索火山喷发时水作用的具体程度,搬运方式和搬运距离等定量信息。

References

Bai ZD, Xu DB, Zhang BL, Zhang T and Bu J. 2006. Study on type and phase of Quaternary explosive volcanism in Longgang volcanic cluster. Acta Petrologica Sinica, 22(6): 1473 – 1480 (in Chinese with English abstract)

Belousov A, Voight B, Belousova M *et al.* 2002. Pyroclastic surges and flows from the 8 – 10 May 1997 explosive eruption of Bezymianny volcano, Kamchatka, Russia. Bull. Volcano., 64: 455 – 471

Büttner R, Dellino P and Zimanowski B. 1999. Identifying modes of magma/water interaction from the surface features of ash particles. Nature, 401: 688 – 690

Cas RAF and Wright JV. 1987. Volcanic Successions. Modern and Ancient. London: Allen &Unwin, 471 – 473

Dellino P, Isaia R, La Volpe L *et al.* 2001. Statistical analysis of textural data from complex pyroclastic sequences: Implications for fragmentation processes of the Agnano-Monte Spina Tephra, Phlegraean fields, Southern Italy. Bull. Volcano., 63: 443 – 461

Druitt TH and Bacon CR. 1986. Lithic breccia and ignimbrite erupted during the collapse of Crater Lake caldera, Oregon. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 29: 1 – 32

Fan QC and Hooper PR. 1991. The Cenozoic basaltic rocks of eastern China: Petrology and chemical composition. Journal of Petrology, 32 (4): 765 – 810

Giannetti B and Casa GD. 2000. Stratigraphy, chronology, and sedimentology of ignimbrites from the white trachytic tuff, Roccamonfina Volcano, Italy. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 96: 243 – 295

Heiken G and Wohletz K. 1985. Volcanic Ash. Berkeley: University of California Press, 1 – 246

Inman DL. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. J. Sed. Petrol., 22: 125 – 145

Liu RX, Wei HQ, Li JT *et al.* 1998. The Modern Eruption of Changbaishan Volcano. Beijing: Science Press, 59 – 62 (in Chinese)

Liu RX. 2000. Active Volcanoes in China. Beijing: Seismological Press, 67 – 74 (in Chinese)

Liu JQ. 1987. Studies on the geochronology of the Cenozoic volcanic rocks in Northeastern China. Acta Petrologica Sinica, (4): 21 – 31 (in Chinese with English abstract)

Liu X, Xiang TY and Wang XK. 1989. Episodes of Cenozoic volcanism in the Changbai mountains area. Jilin Geology, (1): 30 – 41 (in Chinese with English abstract)

Liu X and Xiang TY. 1997. Cenozoic Volcanoes and Pyroclastic Deposits in Northeastern China Resources and Hazards. Changchun: Jilin University Publishing House, 28 – 106, 142 (in Chinese)

Marshall JR. 1987. Clastic Particles. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 65 – 135

McPhie J, Doyle MG and Allen RL. 1993. Volcanic Textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Hobart: Center for

Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, 22
Sui JL, Fan QC and Cao J. 1999. A preliminary study of eruption features and petrochemistry of volcanic rocks from the Longgang volcanoes. Geological Review, 45(suppl.): 319 – 324 (in Chinese with English abstract)
Walker GPL. 1971. Grain size characteristics of pyroclastic deposits. J. Geol., 79: 696 – 714
Walker GPL. 1983. Ignimbrite types and ignimbrite problems. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 17: 65 – 88
Wang YJ and Sun JZ. 1980. Episodes of Cenozoic volcanism in Jilin Province. Jilin Geology, (3): 6 – 251 (in Chinese)
Wei HQ and Ren JZ. 1995. A grain size analysis and miro-texture study of the basaltic pyroclasts at the Erkeshan Volcano in Helongjiang Province. In: Liu RX (ed.). Connection of Volcanism and Human Environment. Beijing: Seismological Press, 55 – 62 (in Chinese)
Wohletz K and Krinsley D. 1982. Scanning electron microscopy of basaltic hydromagmatic ash. Los Alamos National Laboratory Report, LA-UR 82 – 1433: 26
Yang QF, Shi LB, Zhang Y, Chen B and Chen XD. 2007. Grain-size characteristics of the millennium Pyroclastic flow deposits of Tianchi volcano and their geological. Seismology and Geology, 39(3): 480 – 491 (in Chinese with English abstract)
Zhang BL, Bai ZD, Hong HJ, Xu DB and Pan XD. 2005. A fractal study on the pyroclasts from the Longgang volcano, Jilin Province. Seismology and Geology, 27(3): 462 – 469 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

白志达，徐德斌，张秉良，张焘，卜景．2006．龙岗火山群第四纪爆破式火山作用类型与期次研究．岩石学报，22(06)：1473 – 1480
刘岩新，魏海泉，李继泰等．1998．长白山天池火山近代喷发．北京:科学出版社，59 – 62
刘若新．2000．中国的活火山．北京：地震出版社，67 – 74
刘嘉麒．1987．中国东北地区新生代火山岩的年代学研究．岩石学报，(4)：21 – 31
刘祥，向天元，王锡魁．1989．长白山地区新生代火山活动分期．吉林地质，(1)：30 – 41
刘祥，向天元．1997．中国东北地区新生代火山和火山碎屑堆积物：资源与灾害．长春:吉林大学出版社，28 – 82
隋建立，樊棋成，曹杰．1999．龙岗火山喷发特征与火山岩化学初步研究．地质论评，45(增刊)：319 – 324
王雨钧，孙建中．1980．吉林省新生代火山活动期次初步划分．吉林地质，(3)：6 – 25
杨清福，史兰斌，张羽，陈波，陈孝德．2007．长白山天池火山千年大喷发火山碎屑流堆积的粒度特征与地质意义．地震地质，29(3)：480 – 491
魏海泉，任锦章．1995．黑龙江二克山火山玄武岩渣粒度分析及显微形貌研究．见：刘若新编．火山作用与人类环境．北京:地震出版社，55 – 62
张秉良，白志达，洪汉净，徐德斌，盘晓东．2005．吉林龙岗火山碎屑分形研究．地震地质，27(3)：462 – 469