

老黑山火山碎屑降落堆积物研究^①

刘 祥

(长春地质学院, 长春 130061)

提 要 由中心式喷发形成的老黑山火山碎屑降落堆积物, 主要是玄武质火山渣、火山弹、火山饼和少量岩屑。在火山爆发自身能量和北北西风的影响下, 形成高耸的火山渣锥和向南南东展布的低缓的火山碎屑席地貌景观。区域上系统测量了火山碎屑席中火山碎屑的厚度、最大平均粒径、分选系数和中值粒径, 均呈现规律性变化; 剖面层序则反映老黑山火山经过两个大喷发阶段, 多次脉动式喷发。

经估算, 老黑山火山碎屑席中火山碎屑量比火山渣锥中要少得多, 老黑山火山碎屑属“建造火山锥”火山碎屑沉积。据投点, 老黑山火山喷发属斯通博里型。老黑山、火烧山火山仍有再次爆发的可能。未来火山喷发的潜在危险主要来自火山喷发空落堆积物。老黑山、火烧山火山的南东、东和南, 包括五大连池市在内有必要对未来火山爆发加以防范。

关键词 火山 火山碎屑降落堆积物 火山渣锥 火山碎屑席

分类号 P588° 21

第一作者简介 刘祥 男 54岁 教授 第四纪火山沉积学

老黑山火山是著名的五大连池火山群中的一座火山, 也是我国屈指可数的休眠活火山之一。五大连池火山群位于黑龙江省五大连池市(图 1) 这里有 14 座玄武质火山, 是著名的钾质火山岩带。其中有 12 座属中更新世喷发^[1,2]。这些火山都是在盾形熔岩之上, 又叠加堆积了的火山渣锥^[2]。

另外两座火山就是老黑山、火烧山火山, 它们是五大连池火山群中最年轻的火山。179~1721 年期间形成的老黑山、火烧山火山, 由火山喷发空中降落堆积物组成。玄武质火山渣锥 (scoria cone) 和火山碎屑席 (tephra sheet) 一览无余。这使粒度参数研究、厚度测量成为可能, 并为研究火山碎屑分布特点、扩散能力, 了解喷发强度, 计算喷出量, 确定喷发类型、推断火山活动机制提供了难能可贵的条件。

1 老黑山火山渣锥

老黑山火山渣锥保存完好, 呈截顶圆锥形, 基本未受剥蚀破坏。火山口近圆形, 直径 370~400 m, NW-SE 方向稍宽, 内侧很陡, 漏斗状。据 Maoseng Feng^[3] 火山口底部和锥体基部处于同一标高, 并认为是老黑山火山渣锥形成后, 晚期熔岩流从侧向裂缝溢出, 故而火山口内部未被充填所致。平面位置火山口稍偏向锥体西南侧, 锥体平面形态为不规则圆形, 面积约 1.25 km²。最高点位于火山口南侧偏东, 海拔 515.9 m, 比高 165 m

在锥体北东翼尚有一小火山口, 直径约 80 m,

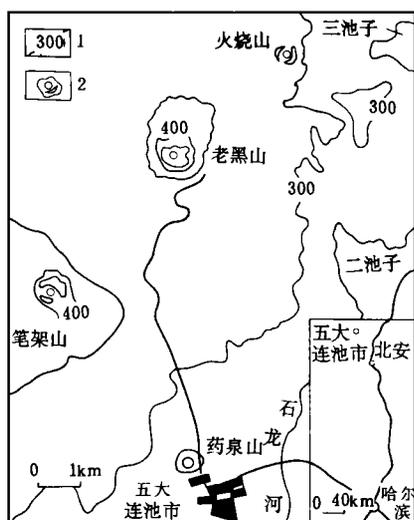


图 1 老黑山火山位置图

Fig. 1 Location map of the Laoheishan volcano

① 地质矿产部地质行业科学技术发展基金 (项目编号: 88099) 和国家自然科学基金 (批准号: 49372127) 资助项目

深 20 m Maoseng Feng^[3]等认为是塌陷造成,因没有喷出物被鉴别出是来源于该小火山口。

锥体北西翼有两条深裂缝,野外观察,地形上十分醒目,长 350 m 以上,是玄武质熔岩晚期溢流的涌出口。

老黑山火山渣锥由半固结-固结的火山碎屑岩和疏松的火山碎屑组成。前者主要见于火山锥的东北侧,出露在锥体下部。比如,在火山口 NE 10° 方向,沟西侧见到露头,成陡坝,高 8~10 m,为褐紫色含火山弹角砾岩,含火山弹集块岩。在露头剖面上单层厚 20~100 m 不等。含完整未破碎的火山弹、火山 10% 以上,火山弹长 20~100 m 者居多,巨大的火山饼可长达 1.5 m,宽 0.7 m。在含火山弹角砾岩中,玄武质火山渣粒径 > 6.4 cm 的,含量 10% 左右,0.2~6.4 cm 的,为 70% 左右,小于 2 mm 的,10% 左右。而在含火山弹集块岩中,大于 6.4 cm 的渣屑含量 60% 以上。这些渣屑多为火山爆发时崩碎、落地撞碎或压裂的火山弹的内核或外壳,其中气孔大小、含量各异。这些半固结-固结的火山碎屑岩是火山爆发过程中的粘结、水化学、压胶胶结和熔结(高温碎屑焊接)而成^[2]。

组成锥体的疏松成层的火山碎屑均在南翼、西翼和北翼清晰出露,无植被或很少。火山碎屑层产状与锥体表面坡度基本一致。

这里火山渣是主要成分。多为黑色、褐及红色,棱角一次棱角状。气孔普遍发育。一些气孔表面积在 70% 以上,气孔密集、贯通,气孔圆形,多 1~4 mm,无填充物,故火山渣质轻,呈“浮岩”状。镜下鉴定为橄榄白榴岩火山渣,含橄榄石 20%,辉石 5%,白榴石 3%。基质为半玻璃质结构。另有一些气孔少而小,致密,熔渣表面有扭曲、抽丝拉长成纤维状,这些多为碎裂火山弹的外壳。镜下鉴定为玻基辉橄玄武岩,橄榄石 10%,辉石 1%~2%,基质为玻璃质结构。一些红色的火山渣,镜下鉴定也为玻基辉橄玄武岩。在南翼从锥体坡角至火山口 4 个点量得火山渣最大平均粒径(三个最大粒径平均值)分别为 11.3 cm, 19.7 cm, 12.3 cm 和 22.3 cm,岩屑最大平均粒径分别是 1.8 cm, 3.2 cm, 3.8 cm。显而易见,比锥体外围碎屑席中的粒径(见后)要大得多,反映它们的降落受不同的动力机制控制。在锥体中,火山碎屑主要受火山爆发时,火山自身能量的影响,大的火山渣、火山弹、岩屑被抛出以后,遵循弹道轨迹搬运,很快在火山口周围堆积起来,形成高耸的火山渣锥,受风的影响很小。

在锥体和碎屑席中含少量白色浮岩碎屑,一般小于 1 cm,它们是同化花岗岩的岩浆所形成的纤维状火山渣^[2]。

火山弹和火山饼,一般 0.2~2 m 粒径,另外一些最大直径可达 3 m 的巨大火山弹和火山饼星散在锥体斜坡和坡角,给人留下深刻印象。黑色、黑褐色。有的含内核,如花岗岩内核。无核者有的内部气孔多且大,气孔表面积可达 50%~70%,气孔直径 2~8 mm,且有十几至几十厘米的空洞,由内核向外,气孔变少变小,出现致密的冷却边;有的内部则是致密状玄武质熔岩。火山弹有明显的旋转痕迹,具绳状表面和扭曲现象,成卵形、纺锤形、麻花状等。它们是火山口抛出的熔浆在空中旋转、固结,落地后基本不再变形。表面具有不规则裂纹。火山饼则不同,顶面浑圆,面包状、牛粪状等,底面形态则与下伏表面一致,随地而异。野外在锥体坡角见到,落到先期喷溢的枕状、蛇状、绳状熔岩(石龙岩)表面的火山饼,底面形态与之一样弯曲,纹丝不动地爬在岩枕和岩蛇上面,说明这些被抛出的熔浆滴(driblet),抛出不高,落地尚未固结。完整的火山弹、火山饼含量粗略估计 10% 以上,大部分已经撞碎、崩裂,而成火山渣块和渣屑的组成部分。

含有少量花岗岩和较早期玄武岩的岩块和岩屑。

2 老黑山火山碎屑席

颗粒较细较轻的火山碎屑,环绕火山碎屑锥分布,形成低缓的火山碎屑席。火山碎屑席中火山碎屑的扩散、降落主要受风的影响,越远离火山口,风的影响越大。

为研究火山碎屑席的特点,我们从火山渣锥基部开始,向外辐射状在火山碎屑席中测制实测剖面 9 条。在 70 余个点,实测火山碎屑厚度,测量火山渣、岩屑的最大平均粒径,并取 80 余个样在室内筛析。

火山碎屑席中火山碎屑的扩散和分布由火山碎屑堆积物的等厚图、火山渣屑、外来岩屑最大粒径和中值粒径的等值线图反映出来。在实际测量中,最大粒径是在每个观察点,求出三个最大粒径的平均值,以避免偶然过大碎屑造成的不可靠性。中值粒径和分选系数则从筛析样品的累积求得。至于每点的厚度测量,鉴于火山碎屑下伏表面相当凹凸不平,是由于火山碎屑直接覆盖在先期喷溢的绳状、波状、蛇状、渣状玄武岩表面所致。因此,在每一厚度测量点,在 4 m² 范围内,测量 3~5 个厚度,然后求

其平均值

由 (图 2) 所展示的火山碎屑分布特点基本吻合。火山碎屑主要沉降在火山口 SEE 方向上, 成扇形, 扇的顶点在火山口, 反映火山爆发时, NNW 单向风为主的吹拂。火山碎屑分布在 16 km² 面积内

从等厚图看出, 远离锥体向外, 厚度迅速变薄, 火山碎屑扩散不远, 范围不大, 反映喷发柱不很高, 因为火山碎屑扩散范围大小主要取决于喷发柱的高度, 而风的强度决定碎屑席的形状, 对扩散范围大小有很小影响, 除非更细的火山碎屑^[4]。

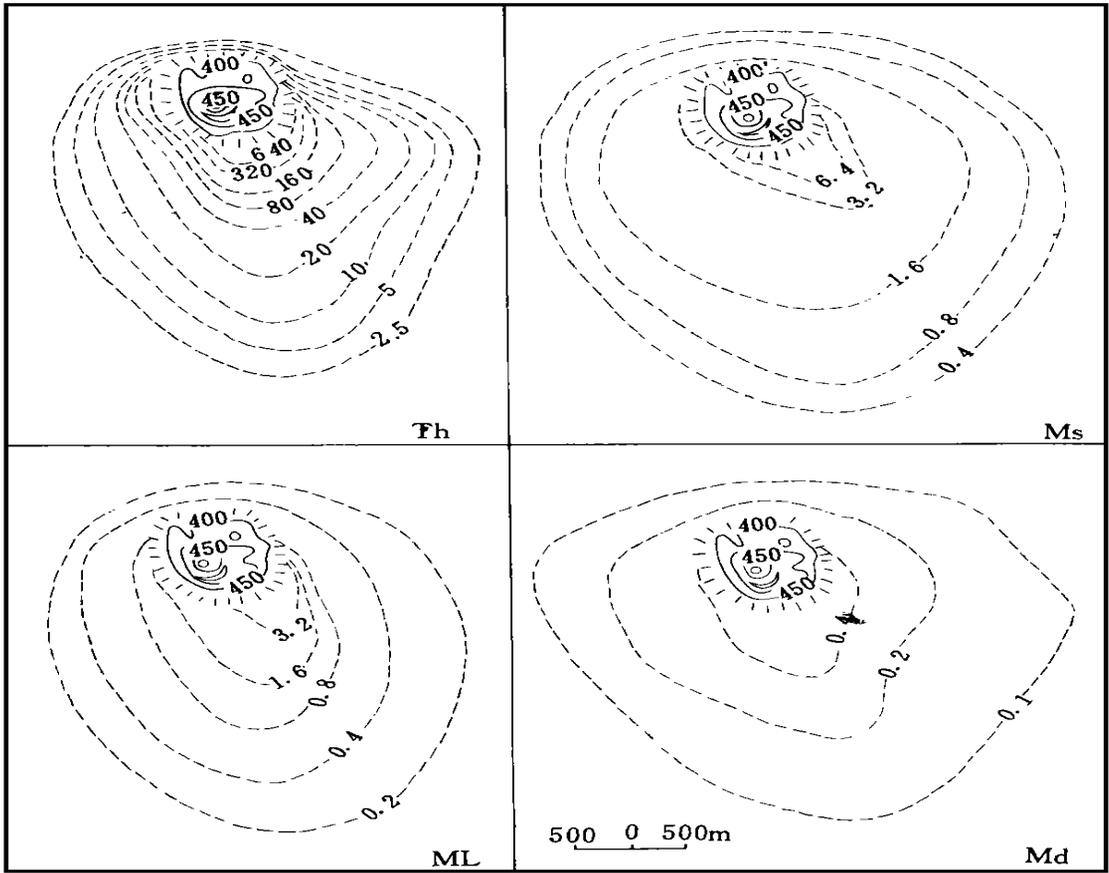


图 2 老黑山火山碎屑等厚线图 (Th, cm), 火山渣最大平均粒径 (MS, cm), 岩屑最大平均粒径 (ML, cm), 中值粒径 (Md, cm) 等值线图 (图中实线为等高线)

Fig. 2 Isopach maps of the Laoheishan scoria deposits (Th, in cm), average maximum diameter of scoria (MS, in cm), average maximum diameter of lithoclasts (ML, in cm), median diameter (Md, in cm) (solid isolines are contour)

火山渣、岩屑的最大平均粒径和中值粒径也是在某种程度上随着远离火山口而呈幂指数减小^[5] (图 3)。在筛析的火山碎屑席中的 82 个样品中, 分选系数 > 2 的只有 1 个, < 1 的 12 个, 84% 介于 1 和 2 之间, 这与世界其他地区空落堆积物分选系数主要介于 1 和 2 之间吻合^[6]。且在 G-r 图中^[2], 也落入空落堆积物区。均反映老黑山火山碎屑的火山喷发空中降落堆积物 (airfall tephra) 性质。

在火山口 SE135° 方向, 距火山锥基部 450 m 处, 测得碎屑席纵剖面 (图 4), 用锹一直挖到下伏基岩 (石龙岩), 划分 17 层, 厚 1.81 m, 层序如下:

- 17 发黄的褐黑色粗粒火山渣层, 顶部具土壤化 25 cm
- 16 褐黑色细粒火山渣层 2 cm
- 15 黄褐色粗粒火山渣层 15 cm
- 14 褐黑色细粒火山渣层 1 cm
- 13 紫褐色细粒火山渣层 8 cm
- 12 黑色细粒火山渣层 2 cm
- 11 黄褐色中粒火山渣层 14 cm
- 10 紫色岩屑层 8 cm
- 9 紫褐色细粒火山砂层 8 cm
- 8 紫色粗粒岩屑层 12 cm

- | | | | |
|---|-------------------|-------|-------------------------------------|
| 7 | 灰紫色细粒火山砂层, 含少量火山渣 | 6 cm | 块达 30 cm, 足以说明这一点 |
| 6 | 紫褐色粗粒火山渣层, 含岩屑多 | 6 cm | 第一阶段爆发之后, 老黑山火山暂短休眠, 火山通道坍塌, 火山口陷落, |
| 5 | 细粒紫褐色含火山渣岩屑层 | 10 cm | 再次爆发时, 出现第 7 层的细粒火山砂层, 含少量 |
| 4 | 黑色粗粒火山渣层 | 20 cm | 火山渣, 多为粗火山灰级的玄武岩屑、花岗岩屑和 |
| 3 | 紫红色粗粒火山渣层 | 20 cm | 长石碎屑 第 8 层岩层明显变粗, 和第 2 层情形类 |
| 2 | 灰紫色巨粒岩屑层 | 20 cm | 似。另外第 16 层细粒火山渣层, 虽厚仅 2 cm, 但在 |
| 1 | 灰紫色中粒岩屑层 | 5 cm | 大面积上很稳定, 某种意义上起标志层作用 |

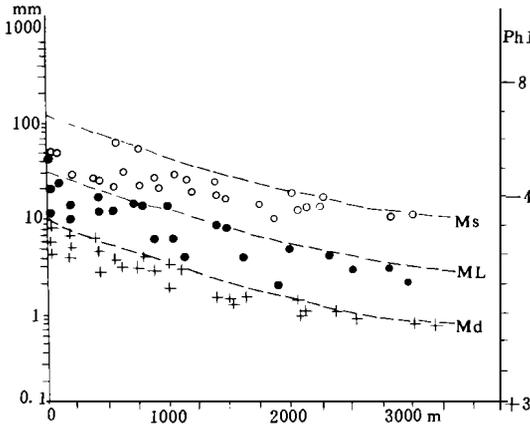


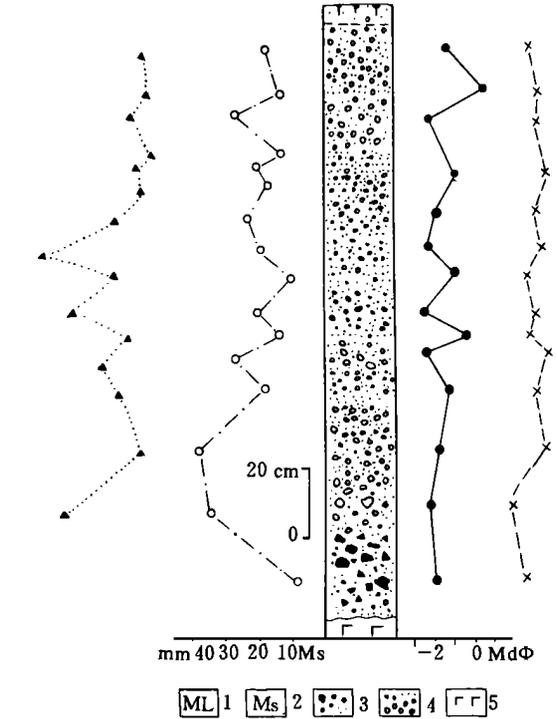
图 3 沿老黑山火山碎屑主轴, 火山渣最大平均粒径 (Ms), 岩屑最大平均粒径 (ML), 中值粒径 (Md) 距离火山远近的变化

Fig. 3 variations of the average maximum diameter of scoria (Ms) and lithic clasts (ML), and median diameter (Md) against distance from vent along dispersal axis of Laoheishan tephra sheet

下伏地层: 黑灰色绳状玄武岩

剖面处已见不到完整的火山弹、火山饼, 各层均由火山渣或以岩屑为主含少量火山渣组成。各层中值粒径 (Md), 分选系数 ($\sigma\phi$), 火山渣、岩屑最大平均粒径示于图 4 中。各层中的中、粗、细粒只是为了区别各层进行的描述, 无严格界限。示明火山锥和碎屑席是多次喷发铸成的。各层反映喷发强弱是有变化的, 脉动的, 鉴于此, 越近火山口, 可能发现更多的喷发次数, 越远离火山口, 发现的喷发层序会越来越少。各层间发育面状平行层理, 这是识别空落火山碎屑的重要特征^[6]。

依岩屑层—火山渣层次序, 可分出两个大的喷发阶段。第一阶段, 1—6 层, 厚 0.81 m; 第二阶段, 7—8 层, 厚 1.0 m。两阶段间火山喷发曾有过短暂休眠。1—2 层岩屑层成分主要是紫色、灰紫色中更新世玄武岩的岩屑, 1—2 层间的递变粒序层。火山口喷发通道一旦打开, 能量迅速释放, 火山碎屑就会被喷发柱带入更高的空中, 2 层中最大玄武岩



1. 岩屑最大平均粒径 2. 火山渣最大平均粒径
3. 岩屑 4. 火山渣 5. 玄武岩

图 4 老黑山火山锥 SE135°, 450 处火山碎屑层序

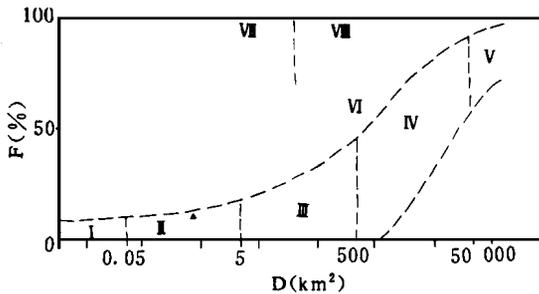
Fig. 4 Sequence of the Laoheishan tephra sheet deposits at 450 m from scoria cone in SE 135°

耐人寻味的是, 老黑山火山这两个阶段的喷发, 是否与历史记载相吻合? 如《黑龙江外记》^[7]中记载“墨尔根东南一日地中忽出火, 石块飞腾, 声震四野, 越数日火熄, 其地遂成池沼。此康熙五十八年事”。在《宁古塔记》^[7]中记述“城外东北五十里有水荡, 于康熙五十九年六、七月间, 忽然烟火冲天, 其声如雷, 昼夜不绝, 声闻五、六十里。其飞出者皆黑石、硫黄之类, 经年不息, 竟成一山, 直至城郭, 热气逼人三十余里, 只可登山而望。”康熙五十八年 (1719 年) 的喷发溢流可能出现大规模熔岩 (石龙岩) 堵塞白河, 而成五个堰塞湖—五大连池, 并形成老黑山火山第一阶段喷发, 出现老黑山火山锥雏形。康熙五十九 (1920 年) 的喷发则形成老黑山火山的第二阶段喷发, 最终形成老黑山火山。

3 喷发量和喷发类型的确定

根据等厚图, 用 Froggatt^[8] Volume-thickness plot方法, 求得老黑山火山碎屑席中火山碎屑量为 0.006 km^3 , 即 600 万 m^3 。锥体中火山碎屑量约 0.069 km^3 , 所以老黑山火山碎屑总量约 0.075 km^3 , 碎屑席中火山碎屑量只占总量的 8% 左右, 很小一部分, 所以老黑山火山碎屑属于建造火山锥火山碎屑沉积 (cone-building deposits)^[4]

采用 Walker^[4] 和 Fisher^[6] 的方法, 通过投点, 老黑山火山落在 Strombolian (斯通博里) 型火山内 (图 5)。图中 $F\%$ 是沿扩散轴, 被最大厚度 10% (0.1 max) 的等厚线穿过点的比 1 mm 细的沉积物的重量百分比 D 是被 (0.01 max) 等厚线圈定的面积投点位置表明, 火山碎屑扩散能力不强 (D 值不高), 同样说明喷发柱不很高; 然而火山碎屑破碎程度 ($F\%$ 值) 较高, 有很强的爆炸力, “其声如雷”、“声闻五、六十里”原因即在于此



I. Hawaiian型 II. Strombolian型 III. sub-Plinian型
IV. Plinian型 V. ultra-Plinian型 VI. Vulcanian型
VII. Surtseyan型 VIII. Phreatoplilian型

图 5 以降落沉积确立的老黑山火山喷发类型图^[4,6]

Fig. 5 Eruption type of the Laoheishan volcano by the classification of pyroclastic fall deposits

火烧山火山位于老黑山火山 $\text{NE}48^\circ$, 3.7 km 规模比老黑山小。火烧山火山最高点海拔 389 m , 比高 50 m 。火山基底面积 0.375 km^2 。火山碎屑总量约 0.009 km^3 。火山口平面上呈 NE 向的纺锤形。Maoseng Feng^[3] 等认为, 火烧山火山口比典型的 Strombolian 型火山口大, 与火山后期猛烈的爆炸式喷发有关

4 未来火山爆发灾害预测

老黑山、火烧山是休眠火山。五大连池火山分布区微震、小震频繁, 且震中由火山区外围向内部迁移, 频度高, 震源深度由深变浅^[9]。火山、地震是有密切联系的地球内部的地球物理、地质过程, 而且老黑山、火烧山恰位于五大连池火山群的中央部

位, 所以老黑山、火烧山火山仍有再次爆发的可能。火山一旦再次爆发, 造成生命财产损失的最大可能性将来自火山喷发空落堆积物, 因其分布面较广, 降落快。其次才是熔岩流, 平原地区, 熔岩流不会很快。在火山喷发空落堆积物影响范围内, 火山碎屑铺天盖地而降, 可以造成建筑物、庄稼、蔬菜被掩埋, 屋顶坍塌, 造成供电、供水、通讯中断, 一片漆黑, 交通破坏和有毒气候毒害人、畜等等。

从老黑山、火烧山火山碎屑分布范围看, 并不很广, 如果再有类似规模的喷发, 破坏性不会很大。但从五大连池火山群活动规律来看, 从老到新, 火山爆发强度增大^[2], 故也不能排除有更大规模火山爆发的可能。从老黑山火山碎屑分布方位看, 单向风来自 NNW , 火山碎屑被吹向 SSE 。长白山火山 1000 年前的爆发, 火山灰向东飘浮, 直达日本^[10,11]。因此, 从我国东北大气环流特点看, 火山碎屑向 SE 和 S 扩散的机率最大。当火山爆发时, 应立刻找到躲避的方向。五大连池市刚好在老黑山火山碎屑散布方向和范围内, 这就更有必要对未来火山爆发加以防范

参 考 文 献

- [1] 刘嘉麒. 中国东北地区新生代火山岩的年代学研究. 岩石学报, 1987, (4): 21-31.
- [2] 邱家骥, 吴志勤, 杜向荣. 黑龙江省富钾火山岩带的板块构造环境及火山喷发特征. 地质论评, 1989, 35(3): 211-220.
- [3] Maoseng Feng, Whitfordo—stark J.K. The 1719-1721 eruptions of potassium-rich lavas at wudaolianchi, China. J Volcanol Geotherm Res. 1986, 30: 131-148.
- [4] Walker G P L. Explosive volcanic eruption - a new classification scheme. Geol Rundsch, 1973, 62: 431-446.
- [5] Walker G P L. The Taupo Pumice Product of the Most Powerful Known (Ultraplinian) Eruption? J. Volcanol Geotherm Res, 1980, 8: 69-94.
- [6] Fisher R V and Schmincke H V. Pyroclastic rocks, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, printed in Germany, 1984, 137-153.
- [7] 李方正, 郭克毅. 五大连池火山. 北京: 地质出版社, 1986, 4-5.
- [8] Froggatt P C. Review of methods of estimating rhyolitic tephra volumes; Applications to the Taupo volcanic zone. New Zealand J. Volcanol Geotherm Res, 1982, 14: 301-318.
- [9] 潘玉林, 吕宗文. 五大连池地震火山监测站工作方案. 火山研究与发展, 北京: 地震出版社, 1990, 77-83.
- [10] Hiroshi Marchida and Fusao Arai. Extensive ash fall in and around the sea of Japan from Large Late Quaternary Eruptions. J Volcanol Geotherm Res, 1983, 18: 151-164.
- [11] 刘祥, 向天元, 王锡魁. 长白山地区新生代火山活动分期. 吉林地质, 1989, (1): 30-41.

The Study on Fallout Tephra Deposits in the Laoheishan Volcano

Liu Xiang

(Changchun University of Earth Sciences, Changchun 130061)

Abstract

Wudalianchi volcanic group is located in Heilongjiang Province in northeastern China. There are 14 volcanoes, 12 of which erupted in the Middle Pleistocene and another two, the Laoheishan volcano and Huoshaoshan volcano, erupted between 1 719 and 1 721 in historic record. Both Laoheishan volcano and Huoshaoshan volcano consist of airfall tephra which is mainly composed of basaltic scoria, bomb, volcanic cake and a few and lithic fragments.

Based on the authors' study, the Laoheishan airborne tephra forms a scoria cone and a fallout sheet, respectively.

1) The Laoheishan basaltic scoria cone is a round-shaped cone with oil top, its altitude is 515.9 m, higher than surrounding ground (162 m), and its base area is 1.25 km^2 , the diameter of crater taking a funnel shape is 370~400 m. The Laoheishan scoria cone consists of loose, semiconsolidated to consolidated tephra. The grain size of the scoria cone is much bigger than that of the tephra sheet. The average maximum diameter of basaltic scoria is 11.3~22.3 cm at different points on the scoria cone. The grain size of basaltic bomb and driblet, in general, ranges from 0.2 to 2 m, the diameter of the biggest one is over 3 m and the average maximum diameter of lithic clasts including the granite and basalt fragments effused at the early stage is 1.8~3.8 cm at different points on the scoria cone.

2) The distribution pattern of fallout tephra of the tephra sheet is fan-shaped. the apex of the fan is located at the crater of the Laoheishan volcano. The airfall tephra is mainly settled down in SSE of the scoria cone, which reveals a strong NNW wind while the Laoheishan volcano erupted. The dispersal of the fallout tephra is not far away from the source, the distribution area of the tephra is limited, only 16 km^2 , which shows the eruption column is not too high. The thickness of the tephra decreases rapidly outwards from the source and the average maximum scoria size, the average maximum lithic size and the median diameter of tephra within the tephra sheet deposit decrease exponentially away from the eruptive source.

The airfall tephra deposits of the tephra sheet can be divided into two parts, either of which has stratigraphical sequences from the layer of lithic fragments to the layer of scoria upwards, and 17 layers have been recognized and the total thickness is 1.81 m at the site in SE 135 of the crater and 450 m away from the base of the Laoheishan scoria cone, which shows a pulsating eruption of the Laoheishan volcano. Meanwhile, it is supposed that the two-stage explosions of the Laoheishan volcano are in accordance with 1 719 and 1 720 eruptions, respectively.

3) According to the isopach map of the Laoheishan tephra sheet deposit, and by the Froggatt volume-thickness plot method^[8], the volume 0.0063 km^3 of the tephra sheet deposit is calculated. and it is much less than that of the scoria cone of the Laoheishan volcano (0.68 km^3), showing the tephra of the Laoheishan volcano belongs to a cone-building deposit. with the aid of the Walker^[4] and Fisher^[6] plot methods, the Laoheishan volcanic eruption is considered to belong to the Strombolian type, and based on a higher value of $F\%$, the author suggests that the Laoheishan volcano erupts with strong explosive force.

4) The Laoheishan volcano and Huoshaoshan volcano are dormant ones and there is a possibility for both of them to erupt again, for there are frequent microseisms and small seisms in the Wudalianchi area nowadays.

Key Words volcano fallout tephra deposit scoria cone tephra sheet