

# 长白山天池火山喷发物地形地貌特征初步研究\*

栾 鹏<sup>1,2</sup>, 许建东<sup>1</sup>, 潘 波<sup>1</sup>, 于红梅<sup>1</sup>, 赵 波<sup>1</sup>

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 中国国土资源经济研究院, 北京 101149)

**摘要:**借助数字高程模型(简称DEM)的地形分析技术, 得出了能够突出沟谷信息的长白山天池火山锥形立体地形图。利用坡度分析、高程剖面分析、三维透视等DEM技术方法, 对更新世以来的长白山天池火山喷发物空间分布范围进行了地形地貌分析, 并与前人已有的野外地质调查结果进行对比, 总结出了研究区内喷发物的地形地貌特征, 据此推测了前人未涉及地区的喷发物的空间分布范围。这为开展长白山天池火山的大比例尺火山地质填图, 特别是对于某些全新世火山喷发物范围和界限的厘定提供了遥感学依据。

**关键词:**长白山天池; DEM; 地形分析; 坡度; 喷发物

**中图分类号:** P317.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2009)02-0182-06

## 0 引言

长白山天池火山位于中朝边界, 地势复杂, 天池湖2/3的水体和天池火山锥体大约1/4的部分隶属于朝鲜, 因而用常规手段从大区域来研究天池火山喷发物的空间分布一直是较为薄弱的环节。遥感技术具有快速获取大范围数据且受条件限制较少的特点, 可为解决这一问题提供帮助。但因长白山天池火山植被发育好, 对遥感影像影响大, 使利用可见光遥感影像去判别喷发物的空间分布范围存在难度, 因此, 本文中笔者试图借助DEM的地形分析技术, 研究长白山天池火山喷发物的地形地貌学特征。

数字高程模型(Digital Elevation Model, 简称DEM)是地形表面形态属性信息的数字表达, 用于描述地面起伏状况。DEM的地形分析通常是在地形、地质图, 数字图像资料以及详细野外地质调查等基础之上, 结合各种分析方法进行研究, 主要包括坡度坡向分析、高程剖面分析、地形特征提取、可视性分析、三维透视、道路分析以及水系特征分析等。随着DEM研究方法的普及, DEM地形分析也逐渐成为地质、地貌研究的重要手段之一。如李军和黄敬峰(2007)以山区高空间分辨率的DEM数据为主要数据源, 分析了山区日照时间的空间分布特征。李轶平等(2007)利

用龙口市2004年1:10 000等高线地形资料生成的DEM数据进行坡度分析, 再结合龙口市的林地栅格数据, 完成了龙口市林地表面积调查。DEM实现的是地形数字化表达, 但信息隐晦, 地形可读性差。为了更好地理解地形信息, 需对DEM进行可视化(宋秋艳, 陈学工, 2007)处理。日本的千葉達朗(2006)利用DEM做出了赤色立体地图, 着重体现了日本地形的凹凸特征, 为活火山和活断层的研究提供了很好的帮助。

## 1 研究区火山地质概况

研究区位于127°55'~128°10'E、41°56'~42°06'N范围内, 面积约450 km<sup>2</sup>, 海拔超过1 800 m, 涵盖了长白山天池火山的大部分锥体, 本文研究对象为区内的造锥阶段及全新世火山喷发物(图1)。

长白山天池火山是目前我国境内保存最为完整的新生代多成因复合火山, 锥体是由多次火山岩浆喷发物叠加而成。火山活动经历了造盾(2.77~1.203 Ma, 早更新世)、造锥(1.12~0.04 Ma, 中一晚更新世)和全新世喷发3个发展阶段, 3个阶段岩浆成分的演化过程为玄武质→粗面质→碱流质(刘若新等, 1998)。与之对应的长白山区的火山喷发物主要由3部分构成: 造盾阶段形成了盾状熔岩台地的玄武岩; 造锥阶段形成了

\* 收稿日期: 2008-04-29.

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAC01B040102)资助.

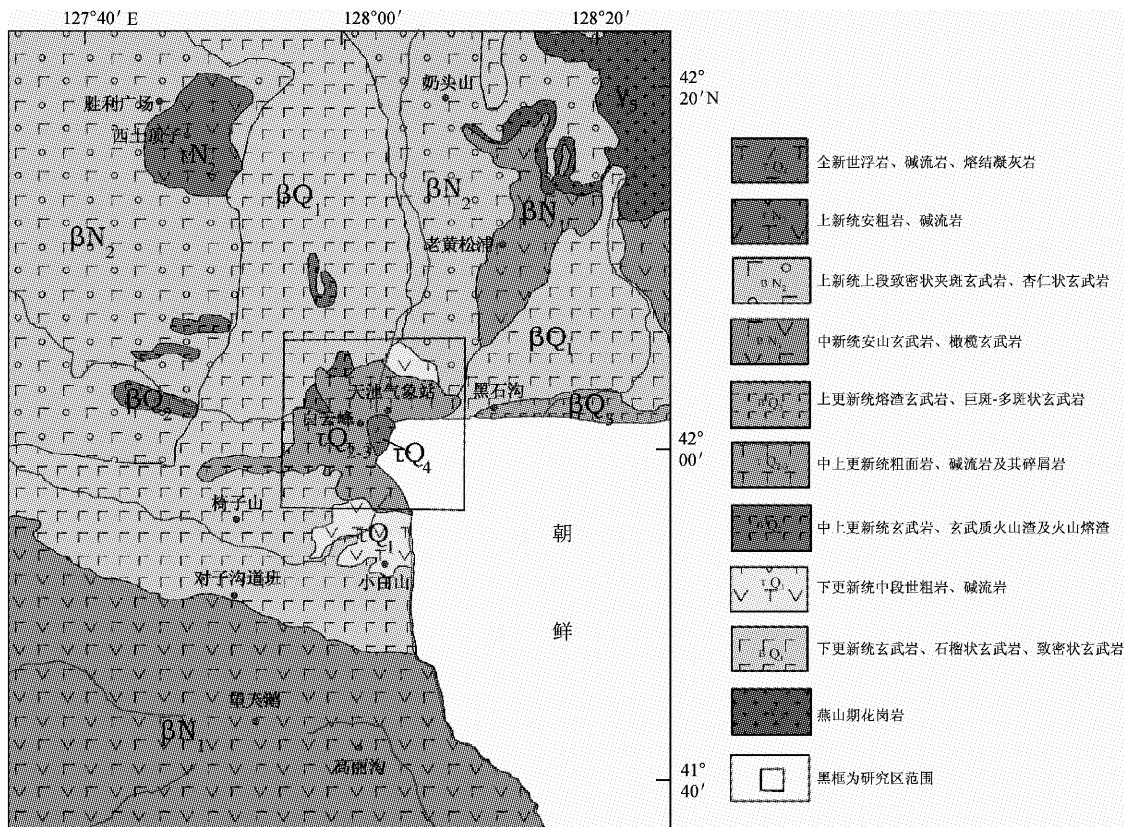


图 1 长白山天池火山地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Tianchi Volcano, Changbai Mountains

层状火山锥的粗面岩、碱流岩熔岩和部分碎屑岩；与造盾阶段和造锥阶段以熔岩喷发为主不同，天池火山全新世喷发物主要为爆炸式喷发形成的空降浮岩堆积和由喷发柱崩塌而形成的火山碎屑流（伊格尼姆岩）（刘若新，2000）。本文研究的对象则是造锥阶段和全新世的喷发物。造锥阶段持续了整个更新世，主要分为 4 个阶段。而天池火山的全新世喷发物按其成因类型，可以分为空降浮岩堆积、火山碎屑流、熔岩流、火山泥石流和次生堆积火山碎屑岩等。

2 DEM 数据的可视化

目前，DEM 可视化从维数上主要分为二维和三维可视化。三维可视化的效果图立体感强，但不易叠加矢量数据，而二维可视化的效果图不但凸显了地势起伏，且易进行矢量数据叠加。目前 DEM 的二维可视化方法较多，但并不适用于本文的地形地貌分析，所以本文提出了新的方法。图 2 给出了本文可视化的详细流程，主要由数据预处理和 DEM 的可视化两部分组成。

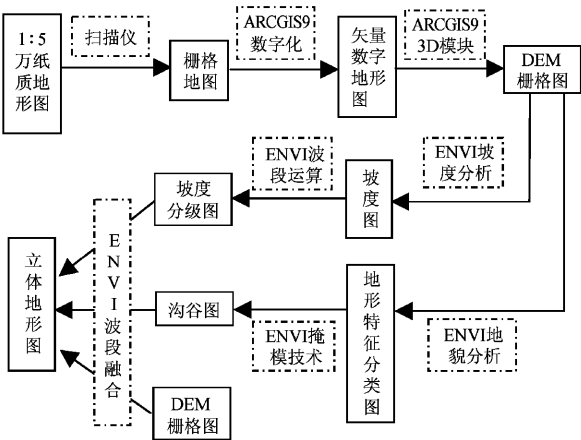


图 2 DEM 可视化步骤流程

Fig. 2 Flow chart of DEM visualization

2.1 数据预处理

首先对长白山天池火山区 1：50 000 地形图进行电子扫描，然后利用 ERSI ARCGIS9 软件对扫描图进行数字化，并统一成 UTM 投影，基准点设置为 WGS84。同时，使用数字化地形图在 ERSI ARCGIS9 3D 模块下生成 DEM，并转换成 ENVI 遥感软件格式。

2.2 DEM 的可视化

利用遥感软件 ENVI 对研究区 DEM 进行坡度分析, 经波段运算后处理成坡度分级图。再用 ENVI 的地貌分析功能对研究区 DEM 进行地形特征分类, 主要包括沟谷、山峰、山脊、平原、位面等, 并对分类图采用掩膜技术提取沟谷信息, 形成沟谷图。最后将坡度图、DEM 图和沟谷图进行波段融合, 形成可视化立体地形图 (图 3)。由于加入了坡度及高程的信息, 此图凸显出了地势的起伏, 利于进行矢量叠加分析。且图中用浅蓝色突出强调了沟谷信息, 对于沟谷内喷发物的边界厘定有较大帮助。

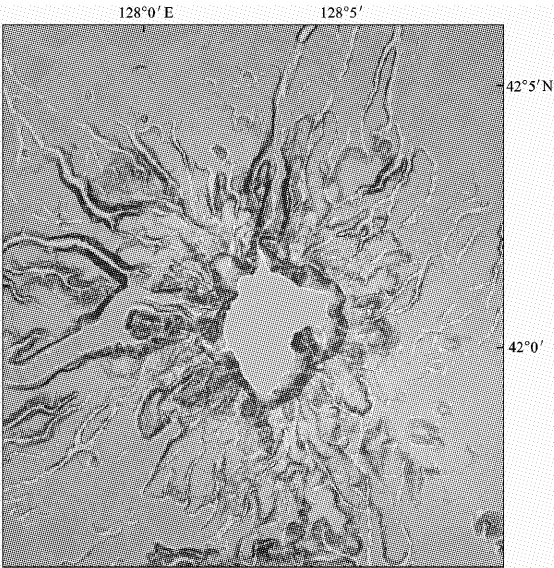


图 3 长白山天池火山锥体立体地形图  
Fig. 3 Three-dimensional topographic map of Tianchi volcanic cone, Changbai Mountains

3 长白山天池火山喷发物 DEM 形貌特征研究

3.1 更新世喷发物形貌与高程分布特征

将长白山天池火山第四纪喷发岩性分布图 (金伯禄, 张希友, 1994) 叠加到立体地形图上, 可以看出, 各期喷发物分布范围与地形符合较好 (图 4)。叠加等高线后, 发现白头山期四期造锥喷发阶段产物在高程上有明显的叠加层次性, 其中, 白头山期第一喷发阶段喷发物范围高度处于 1 700 m 之下; 白头山期第二喷发阶段喷发物范围高度大都处于 1 700 ~ 2 050 m 之间 (图 5a); 白头山期第三喷发阶段喷发物范围高度处于 1 900 ~ 2 200 m 之间 (图 5b); 白头山期第四喷发阶段喷

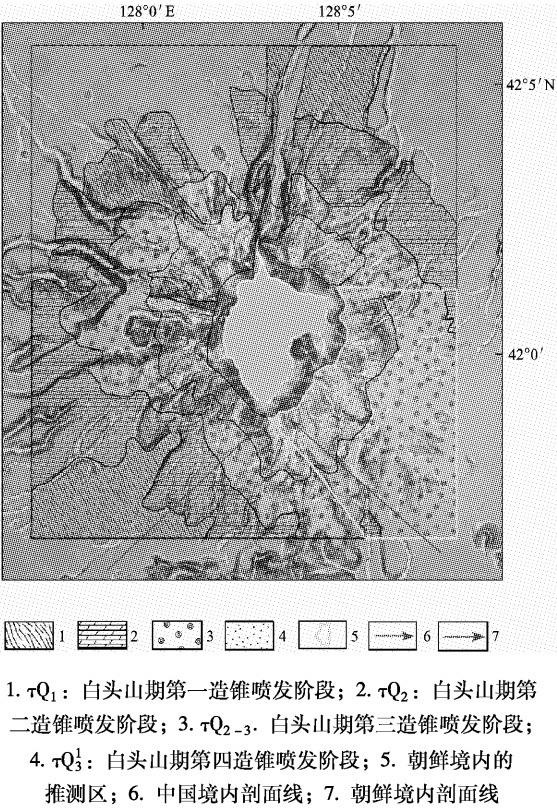


图 4 天池火山四期造锥阶段喷发物空间分布范围  
Fig. 4 The spatial distribution map of eruptive materials in Tianchi cone

发物范围高度处于 2 200 ~ 2 600 m 之间 (图 5c)。

长白山天池火山更新世时期主要处于造锥阶段, 大体分为 4 个阶段 (金伯禄, 张希友, 1994)。由图 4 可以看出, 位于中国境内的四期造锥喷发阶段产物分布范围存在清晰的层次性。白头山期第一造锥喷发阶段产物在最底层, 距离火口沿最远 8.6 km, 也最为平缓, 平均坡度 12° (指未超出长白山天池火山第四纪喷发岩性分布图 (金伯禄, 张希友, 1994) 的最远距离, 以下皆同); 白头山期第二造锥喷发阶段产物距离火口沿最远达 7.4 km, 基本是由一系列的垄组成, 而垄的边界恰恰就是与第一造锥阶段的分界线, 其平均坡度 14°; 白头山期第三造锥喷发阶段产物距离火口沿最远达 5.2 km, 平均坡度 18°, 其与第二造锥阶段的区分不如前者明显, 在北坡才有较明显的垄出现, 可作为分界线; 白头山期第四造锥喷发阶段产物为最新喷发, 其范围位于锥体最上部, 由一系列紧靠火口的垄构成, 平均坡度 25°, 距离火口沿最远达 2.4 km。从距离、坡度分析来看, 这四期喷发物喷发年代越早, 其分布范围就越广、坡度越缓。

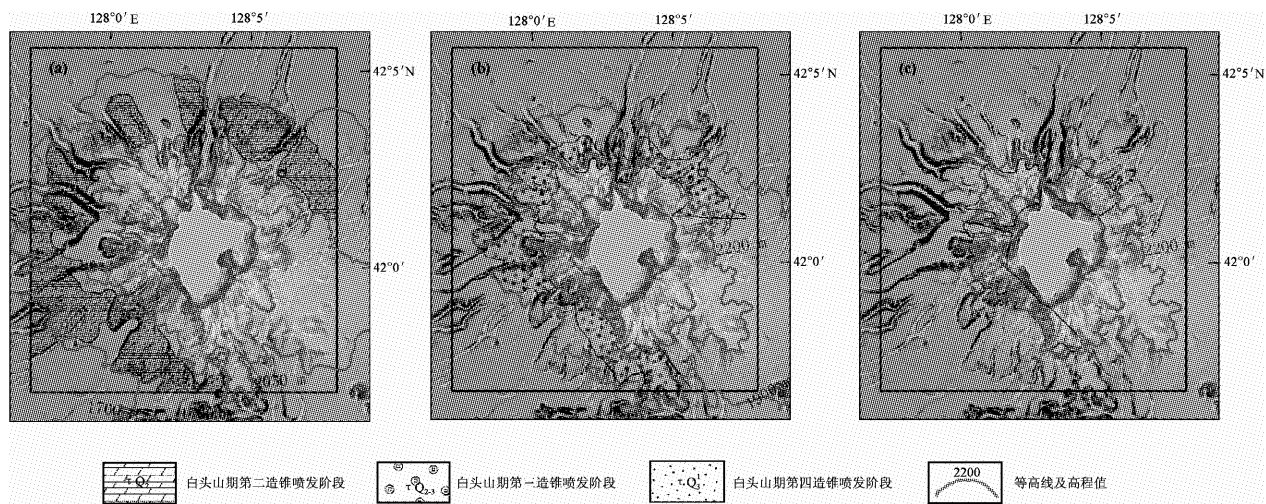


图5 天池火山造锥阶段白头山期第二(a)、第三(b)和第四(c)喷发阶段喷发物高度分布图  
Fig. 5 Height distribution map of different period eruptive materials made the Tianchi cone

图6为中国境内天池火山锥体高程剖面分析结果图,剖面的高程位于1 630~2 400 m之间,穿越了白头山期不同喷发期次的分界线。可以看出,白头山期第一喷发阶段与第二喷发阶段之间有明显地势起伏的区别;第二喷发阶段与第三喷发阶段之间地势起伏缓和,但第二喷发阶段剖面线凸起、第三喷发阶段剖面线凹陷,则后者坡度要比前者陡;第三喷发阶段与第四喷发阶段之间也有明显地势起伏的区别。由此可见,各个喷发期次在地势起伏上有较大区别。朝鲜境内的情况亦是如此。图7描述了位于朝鲜境内的高程范围为1 889~2 580 m的剖面线,在高程2 166 m处有突变,可以作为两期喷发物的分界线。由此可见,地势起伏随着不同喷发阶段有较明显的变化,那么地势起伏的边界线就可以推测作为四个造锥阶

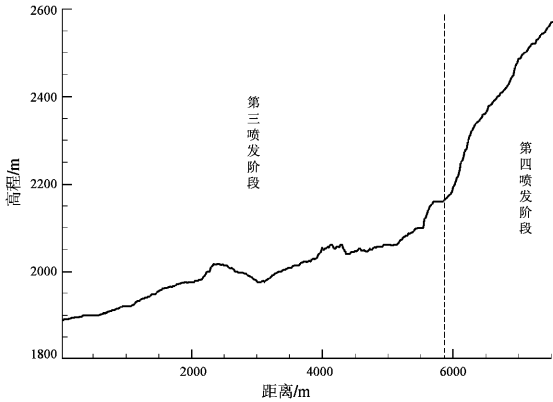


图7 朝鲜境内天池火山锥体高程剖面分析图  
Fig. 7 Analysis chart of height section of Tianchi volcano cone within D. P. R Korean territory

段喷发物范围的分界线。

根据以上造锥喷发物的地形地貌特征,我们可以推测朝鲜境内的造锥喷发物分布范围。首先朝鲜境内的第四喷发阶段产物也是由一系列的陇组成,都在2 200~2 600 m之间,平均坡度17.5°;第三喷发阶段产物则比较平缓,平均坡度9.5°,高度位于1 900~2 300 m之间;由于图幅面积所限,朝鲜境内的第二喷发阶段范围只有一点,平均坡度为7°。朝鲜境内的各个喷发阶段喷发物分布范围之所以较中国境内的大,主要是因为天地火山东南坡的平均坡度比其它坡更小。

3.2 全新世喷发物在地形地貌上的特征

3.2.1 气象站期碱流质碎成熔岩

主要分布于天池气象站附近的北部山脊和朝鲜境内的东南部山脊上(图8),岩性为碱流岩质

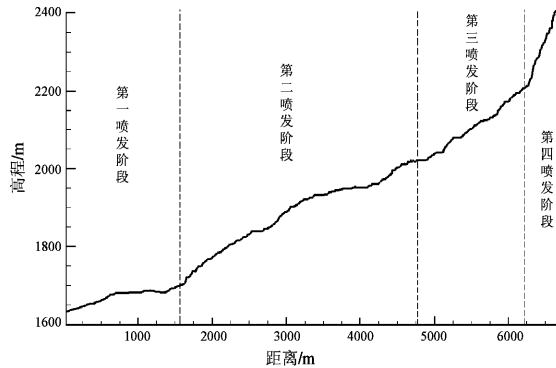
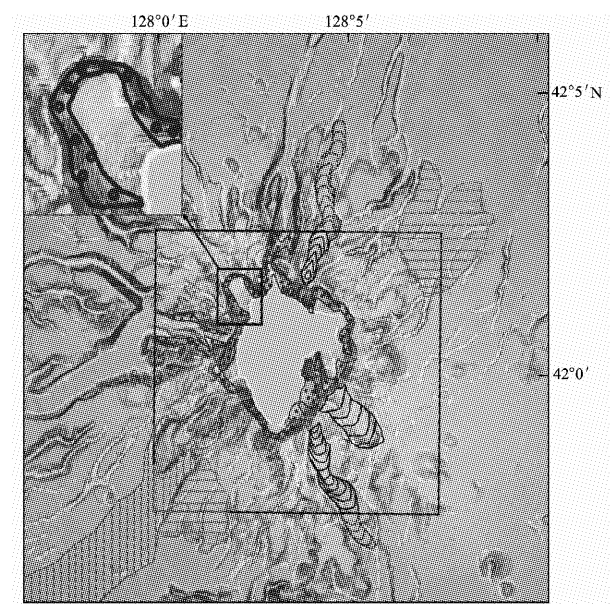


图6 中国境内天池火山锥体高程剖面分析图  
Fig. 6 Analysis chart of height section of Tianchi volcano cone within Chinese territory

火山碎屑岩。按其成因可分为下部块灰流和上部熔岩状火山碎屑流堆积,厚度大于 14 m。尹功明等(1999)的研究结果表明,气象站期的碱流质岩石的年龄为距今 4 000 a 左右。从图 3 和图 8 中可以看出,气象站期的碱流质碎成熔岩的地貌特征十分明显,沿着流动方向呈舌状分布,空间上局限在一条条狭长的垅的范围内,由此我们可以较为准确地推测出其全部范围。如图 8 所示,方框中的实线部分为野外实测的气象站期的碱流质碎成熔岩分布范围,方框之外的虚线部分则代表了推测的范围,黑框内喷发物分布范围源自天池火山锥体顶部火山结构与灾害分布图(魏海泉等,2004)。



1. 锥体外坡滑坡堆积(虚线为推测区域); 2. 锥体外坡灰黑色火山泥石流(虚线为推测区域); 3. 气象站期的碱流质碎成熔岩(虚线为推测区域); 4. 破火山口内壁、外坡垮塌堆积物

图 8 天池火山全新世不同喷发物空间分布范围  
Fig. 8 Spatial distribution scope chart of Holocene different eruptive material by Tianchi volcano

### 3.2.2 锥体附近的滑坡堆积

天池火山锥体附近全新世的滑坡堆积主要分布于火山口内壁和火山口外坡(图 8)。其中,火山口内壁和峡谷内壁的垮塌堆积物平均坡度为 33.7°,大都在坡度陡的地方;锥体外坡滑坡堆积主要分布在天池火山口的东北部和东南部地区(图 8),相对于火口内壁的垮塌堆积物来说,锥体外坡滑坡堆积物坡度较缓,平均坡度 8°,一般都是位于垄的上面,具有明显的地貌特征,据此我

们可以在图上推测出更广的范围。

### 3.2.3 全新世泥石流

火山泥石流是天池火山重要的灾害类型之一,它包括由火山喷发物与水体混合(雨水、雪水及冰的融化)而形成的大体积快速流动的高密度流体及松散火山碎屑物被雨水冲刷、多次搬运的火山泥石流。火山泥石流灾害主要限于河谷低洼地带,快速大体积淤积的火山泥石流堆积物会使河床改道,堤坝淤积和破坏,造成一系列灾难性后果(杨清福等,2003)。图 8 中的全新世不同期泥石流的分布范围有主要位于火山口内壁和大峡谷内的各期泥石流,其平均坡度为 16°;有位于火口西南方向的锥体外坡灰黑色火山泥石流,其平均坡度为 5°。位于火山口内壁和大峡谷内的泥石流相对来说范围小,都是在坡度比较陡的小沟谷内;位于锥体外坡的泥石流则范围较大,且坡度也比较缓。图 9 为利用 DEM 做出的三维透视图,由图中可以看出锥体外坡的泥石流流向,结合等高线走向,可以推测锥体外坡灰黑色火山泥石流的范围。

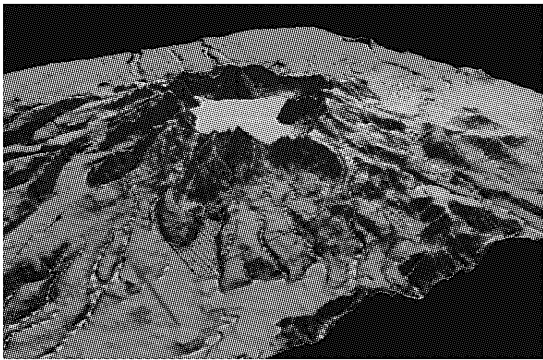


图 9 长白山天池火山三维透视图  
Fig. 9 Three-dimensional perspective of Tianchi volcano, Changbai Mountains

## 4 结论与讨论

笔者利用 DEM 的地形分析技术,得到了长白山天池火山锥体附近范围地区的立体地形图。通过对天池火山锥体地区更新世粗面岩的高程分布和全新世喷发物地貌特征进行分析,我们得出了以下初步结论:

天池火山更新世造锥时期不同阶段的粗面岩呈垄状分布,4 个喷发阶段的分布范围有明显的层



次性, 后一阶段的造锥喷发物往往堆积在前一阶段喷发物之上。总体来说, 喷发年代越早, 喷发物分布距火口越远, 坡度越缓, 高程也越低。我们根据中国境内造锥粗面岩的上述分布特点, 推测了研究区内位于朝鲜境内的造锥喷发物的分布范围。

天池火山全新世喷发物有着显著的地形地貌特征, 如气象站期的碱流质碎成熔岩呈长垄状分布, 流动单元的整体特征明显; 锥体附近全新世的滑坡堆积, 其分布范围主要受控于地形坡度; 火山泥石流主要限于河谷低洼地带, 其流动方向在由 DEM 所生成的三维透视图表现明显。

长白山天池火山地区地势复杂且植被覆盖多, 仅利用地质或可见光遥感手段往往较难从大区域准确确定火山喷发物的空间分布范围, 结合 DEM 的地形分析会在一定程度上弥补这一缺陷。利用这一技术得到的更新世以来喷发物的地形地貌特征, 为火山喷发物的空间分布范围边界确定提供了辅助依据。在今后的工作中, 还需要进一步加强不同类型喷发物地形地貌特征的野外调查和复核, 使其真正成为编制火山地质图和进行火山灾

害危险性评价的重要工具之一。

### 参考文献:

- 金伯禄, 张希友. 1994. 长白山火山地质研究 [M]. 沈阳: 东北朝鲜民族教育出版社.
- 李军, 黄敬峰. 2007. 基于 DEM 的山地日照时间的空间分布 [J]. 浙江大学学报 (理学版), 34 (3): 346-350.
- 李铁平, 吴泉源, 邹敏, 等. 2007. 基于 DEM 的龙口市林地表面积调查 [J]. 遥感信息, (3): 67-70.
- 刘若新, 樊祺诚, 郑祥身, 等. 1998. 长白山天池火山的岩浆演化 [J]. 中国科学 (D 辑), 28 (3): 226-231.
- 刘若新. 2000. 中国的活火山 [M]. 北京: 地震出版社.
- 千葉達朗. 2006. 活火山 活断層 赤色立体地図でみる 日本の凸凹 [M]. 日本: 技術評論社.
- 宋秋艳, 陈学工. 2007. 利用 DEM 制作彩色晕渲图 [J]. 湖南科技学院学报, 28 (9): 104-105.
- 魏海泉, 金伯禄, 刘永顺. 2004. 长白山天池火山地质学研究的若干进展与灾害分析 [J]. 岩石矿物学杂志, 23 (4): 305-312.
- 杨清福, 刘若新, 魏海泉, 等. 2003. 长白山天池火山减灾对策初探 [J]. 地震研究, 26 (2): 183-190.
- 尹功明, 业淦光, 万京林, 等. 1999. 长白山地区近代火山岩的 ESR 测年研究 [J]. 地质论评, 45 (增刊): 287-293.

## Preliminary Study on Geomorphic Characteristics of Eruptive Products of Tianchi Volcano, Changbai Mountains

LUAN Peng<sup>1,2</sup>, XU Jian-dong<sup>1</sup>, PAN Bo<sup>1</sup>, YU Hong-mei<sup>1</sup>, ZHAO Bo<sup>1</sup>

(1. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China)

(2. Chinese Academy of Land and Resource Economics, Beijing 101149, China)

### Abstract

In this paper, using DEM terrain analysis technology, we acquired a three-dimensional topographic map, which can give prominence to the valley information. By the DEM technology, such as slope analysis, elevation profiles analysis, three-dimensional perspective, we analyzed the landform of the spatial distribution of the eruptive products that were from the eruption of Tianchi volcano in Changbai Mountains since Pleistocene. The results were compared with that of the Predecessors' filed geological survey. The topography features of eruptive products in the study area were summarized, by which the spatial distribution of the eruptive products that was uninvolved by predecessors was speculated. These results can provide a remote sensing basis for making the large-scale volcanic geological maps of the Tianchi volcano, in Changbai Mountains, and especially for determining the scope and limits of some Holocene volcanic eruptive products.

**Key words:** Tianchi in Changbai Mountains; DEM; geomorphic analysis; slope; eruptive products