

我国火山灾害的主要类型及火山灾害 区划图编制现状探讨¹

许建东

(中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要 本文讨论了与我国大陆火山地区相关的主要火山灾害类型, 即火山空降落物、火山碎屑流、火山泥石流、火山熔岩穹与熔岩流的成灾机制和灾害效应, 并回顾了国际上火山灾害区划的研究现状, 在此基础上, 提出了适合我国具体情况的具有概率含义的火山灾害区划图的编图思路。

关键词: 火山 灾害类型 火山灾害区划图 概率含义

引言

火山活动在赐予人类许多财富(矿产、地热资源、旅游资源)的同时, 也往往给人类带来巨大的灾难。据统计, 全球有近20%的居民生活在火山灾害危险区和影响区范围内。我国的火山监测与研究起源于上世纪90年代, 在中科院院士的提议下, 在中科院地学部、中国地震局相关部门以及国家各相关部门的支持下, 形成了关于加强我国长白山天池火山、腾冲火山及五大连池火山的监测与研究的建议, 拉开了我国活动火山研究的序幕, 开展了对我国主要活动火山的监测与研究。经过十几年的努力, 已对我国大陆7座活动火山进行了不同程度的探查, 结果表明: 长白山天池火山和腾冲火山群存在着潜在的喷发危险。

近年来的工作揭示(刘若新等, 1995, 1998, 2000; 杨清福等, 2003), 长白山天池火山于公元1215(±15)年, 曾发生过一次就其规模和猛烈程度被认为是近2000a来地球上最大的爆炸式喷发之一的大喷发, 喷发物总体积在100km³以上, 喷发柱高达30余公里, 火山灰向东飘落至日本北海道南部一带仍可厚达5cm。通过现今天池火山40km半径范围内, 由大规模喷发所毁灭的森林炭化木遗骸以及在此范围内大量火山碎屑物的分布可以预计, 如果天池火山再次发生公元1215(±15)年那样的大规模喷发, 将摧毁上述范围内的一切生命; 而从二道白河—松花江的火山泥石流的分布及厚度估计, 它们将有可能摧毁位于松花江、鸭绿江水系的一系列大、中、小型水库和水电站, 从而形成全流域泛滥成灾, 酿成极为严重的原生和次生火山灾害。

¹ 中国地震局地震科协联合基金资助(105061)

[收稿日期] 2006-06-15

[作者简介] 许建东, 男, 生于1962年。1998年获美国纽约州立大学布法罗分校构造地质学博士学位, 现为中国地震局地质研究所研究员, 博士生导师。主要从事构造地质学、火山地质学和灾害学研究。E-mail: jdx321@sina.com

我国西南边陲的云南腾冲火山群, 分布于高黎贡山以西, 中缅边界以东地区。在以腾冲西南为圆心, 半径 55km, 面积约 9500km² 的范围内, 分布着约 220 个火山与火山岩。作为我国最年轻的活动火山之一, 腾冲火山群集地震、火山、地热活动为一体, 火山区新生代喷发活动自上新世开始, 一直持续到全新世。有些学者已测定了更新世晚期以来多期火山喷发的时代, 其中最晚喷发的年龄数据为距今 2180a 左右; 历史记载的最新喷发, 如李根源在《烈遗山记》中描述的“腾冲多火山, 志载明成化、正德、嘉靖、万历年间(公元 1465—1620 年)火山爆发多次”, 可见几百年前腾冲火山区确实有过火山喷发, 这也说明了腾冲火山存在着再次喷发的现实危险。

国外火山监测、灾害和风险评估、火山紧急事件管理等方面的研究与实践开始于 20 世纪中叶, 监测和研究较好的是日本、意大利、美国、新西兰、俄罗斯等经济发达或火山灾害严重的国家, 这些国家大都建立了采用高新科技的现代化监测系统, 通过对地震活动、地球物理场、地下水及气体以及大地形变的观测, 不仅多次成功地预报了火山喷发, 而且完成了活火山地区具有概率意义的灾害区划图编制。与火山研究方面先进的国家相比, 我国的火山研究工作起步较晚, 其研究水平亦有不少差距。目前无论是从火山灾害的规模, 还是从火山区迅速增加的人口密度和自然资源以及生态环境保护等方面考虑, 编制具有概率意义的火山灾害区划图, 并制定出针对性的预防对策, 给社会公众提供安全保障, 既是保障社会和谐发展的需求, 也是火山学研究事业发展的需要, 对于推动我国火山灾害学的理论研究和实践均具有重要的意义。

1 火山灾害类型分析

当前国际火山学界特别注意以火山喷发物理学为指导的火山灾害研究工作, 这就需要在火山区开展全面的、以喷发历史(序列)、喷发规模与喷发物理过程为目标的火山调查工作, 增强对我国大陆火山喷发过程与灾害程度的了解, 这是开展火山灾害预测的前提, 也是减轻火山区内包括水热爆炸活动在内的火山灾害的基础工作。参照目前国际火山灾害学的最新研究成果, 结合我国主要火山地区的具体情况, 我国大陆火山活动可能产生的主要灾害类型有 4 种。

1.1 火山空降物灾害

火山空降物的灾害, 主要是近火山口距离的碎屑回落冲撞作用、堆积掩埋垮塌作用、高温灼烧作用和远离火山口距离上的堆积掩埋作用、管道设施堵塞作用等。颗粒较粗的岩屑的灾害范围主要集中在喷发口附近数公里范围之内; 而细颗粒的火山灰物质则可以顺风扩散至数百公里之外的地区, 大量火山灰的降落可导致建筑物的垮塌, 即使是少量的火山灰亦可对农作物、电力设备和机械设备带来严重危害。Suzuki (1983) 提出了火山空降碎屑灾害数值模型, 该方法以大气中火山物质扩散的微分方程为数学基础, 通过选择合理参数, 模拟火山在不同规模的喷发事件中空降物的沉积分布情况。之后, 又有不少火山学者对该方法进行了改进, 使得预测结果的精度大大提高, 而模型参数和环境参数的选取也更加符合实际。赵谊等(2003)用改进后的模型, 对 1980 年 5 月 18 日美国圣海伦斯火山喷发的空降物碎屑分布进行了模拟, 同时把计算结果与实际观测数据进行了对比, 获得了二者之间良好的对应性, 也使改进后的模型的正确性得到了验证。我国长白山天池火山 1215 (±15) 年的大喷发堆积物体积为 120km³, 喷发高峰期布里尼喷发柱高度达 25km, 柱体宽度半径 12—13km, 喷出的火山灰降落到远至日本海及日本北部, 其空降物灾害之重、影响范围之广, 令人触目惊心, 因此, 对长白山天池火山碎屑空降物灾害的研究具有重要的社会价值和科学意义。

1.2 火山碎屑流灾害

高速运动的火山碎屑流是造成火山灾难的最直接因素之一,运动着的火山碎屑流根据其运动状态的不同可分为头部、主体和尾部三部分。三个部分具有不同的流体化状态,从而控制着火山碎屑流堆积物的分层与分相。火山碎屑流头部的流体化程度最强,侵蚀作用很明显。火山碎屑流的灾害包括浮岩流的高速冲撞作用、高温灼烧作用、掩埋淤积作用等,其分布严重受地形的控制。由于喷发时碎屑物通常都保持着几百度的高温状态,加上快速的流动将使沿途所有生物难以逃脱灾难性后果(Nunziante 等,2003)。1980年5月18日美国圣海伦斯火山喷发产生的火山碎屑流,沿途摧毁了近 600km^2 范围内的原始森林和一切生物,直径6英尺(约1.8m)的树木以每小时近百公里的速度被移动到了距离火山口24km远的地方。火山碎屑流是爆炸式火山喷发的主要产物,Neri等(2001)提出了一套完整的数学方法,用以模拟火山喷发时的火山碎屑物的动态过程和分布特征,通过改变碎屑流的特征参数,如密度、速度、温度、动态压力、扰动压力等,定量研究不同状态下火山碎屑流对周围环境的破坏情况和灾害范围。我国长白山天池火山,火山碎屑流的堆积物也十分发育,分布半径40—60km,最大厚度100m左右,见于鸭绿江上游峡谷两岸,二道白河上游地下森林一带,如此广大的分布范围,其未来喷发可能引起的火山碎屑流灾害不可忽视。

1.3 火山泥石流灾害

火山泥石流是火山的另一重要灾害类型。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、多次搬运形成火山泥石流。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。火山泥石流是最主要的火山次生灾害,泥石流灾害既可能发生在火山喷发过程中,也可能发生在火山喷发停止之后。我国长白山天池火山是一著名的火山湖,湖水储量达20亿 km^3 ,火山一旦发生活动,将很可能产生泥石流灾害,对三江流域下游的建筑物和生命财产造成巨大的威胁,必须引起足够的重视。目前,火山泥石流灾害研究主要是从火山泥石流启动和堆积机理分析入手,分析火山泥石流的成份、物理性质、含水量、流容重、地形坡度等诸多因素的影响,建立相应的数学模型,探索火山泥石流的形成机理、运动规律、力学特性和冲淤过程。在GIS(地理信息系统)平台下,利用给定的火山区地形空间数据,模拟不同火山喷发规模下泥石流的形成以及运动学和动力学过程,并对可能导致的灾害进行评估和预测。在我国长白山天池火山附近地区主要水系的两岸,甚至远在300km以外的吉林市以下的松花江两岸,均发现有较大规模的泥石流堆积,最大厚度达15m左右。可以推测,未来的火山泥石流灾害,将可能沿着火山锥体周围呈放射状的沟谷地带发生,影响范围达数百公里之远。

1.4 火山熔岩穹与熔岩流灾害

火山熔岩穹与熔岩流的灾害主要限于火山锥体部分和熔岩流溢流区范围内,酸性粘度大的熔岩流流动速度较缓慢,但会摧毁沿途设施并引起火灾。如1783年冰岛拉基火山喷发,岩浆沿着16km长的裂隙喷出,淹没了周围的村庄,覆盖面积达 565km^2 。造成冰岛人口减少五分之一,家畜死亡一半。对于火山熔岩穹与熔岩流灾害的研究,目前主要是以Rowland(2005)提出的FLOWGO热流变学模型为基础,结合实验模拟数据和地形空间数据DEM模型,研究在不同的喷发规模下,熔岩流的喷涌速率、流动方式、流动量、地形DEM模型等诸多相关因素,对熔岩流运动过程和冷凝过程及熔岩穹塌陷灾害过程的影响,并对可能产生的灾害进

行定量评估。相对爆炸式喷发来说, 熔岩流由于流动速度较慢, 给了人们足够的反应时间, 因而对人员的伤亡危害性较小。但是, 由于喷发过程中往往产生巨大体积的熔岩流, 对于环境的破坏力是难以抵御的, 如位于美国夏威夷岛的 Kalapana 镇, 在 1990 年的火山喷发中被埋在了数米深的熔岩流之下, 整个城镇在一个月内几乎完全消失。我国黑龙江省的镜泊湖火山群地区发育有大量的全新世玄武岩熔岩流, 自海拔 900 多米的火山口流出, 顺沟谷而下, 流程达 60 多公里, 对于沿途的破坏力是毁灭性的。因此, 火山熔岩流灾害也是我们在进行火山灾害区划中必须要考虑的灾种之一。

2 具有概率含义的火山灾害区划图编制的基本原则

2.1 火山灾害区划图的基本内容

火山灾害区划图是减轻和防御火山灾害的基础, 它是通过对火山及其周围地区的火山学综合研究实现的。各种类型的火山喷发活动以各种不同的方式威胁着人民生命财产的安全, 每种灾害都构成不同类型的危害, 产出不同类型的物质, 在火山灾害区划图上也就表现为不同的工作内容。引起直接火山灾害的基本类型除了上述的 4 种主要类型(火山空降物、火山碎屑流、火山泥石流、火山熔岩穹与熔岩流)之外, 还包括火山碎屑浪、侧向火山爆发、火山碎屑崩塌、岩浆蒸气喷发和火山气体等, 此外, 还有与火山活动相关的间接灾害, 包括海啸、地块的缺位、结构的倒塌, 大雨降落在未固结的火山碎屑沉积物上引发的泥石流等。火山灾害区划图所要表现的内容, 主要就是对上述各类灾害覆盖的区域、活动类型和规模的综合表达。灾害区划图与所附的对灾害区划图的解释和描述就构成了火山灾害评价。人文特征如城市和城镇、交通路线、工厂、大坝、林场等也被标在图上, 说明遭受灾害地区的价值和脆弱性, 经过恰当的分析, 划分出各类火山灾害危险区。

目前国际上较为流行的火山灾害区划图主要有两类: 第一类是针对某个特定类型的火山灾害进行区划, 从而形成了某种灾害类型的灾害区划图。美国夏威夷岛的火山灾害区划图给我们提供了这样一个比较典型的例子(图 1)。在这张区划图中, 以熔岩流的覆盖概率为指标, 整个地区被划分为 9 个不同的危险级别的危险带, “1”带危险程度最高, “2”带次之, 依此类推, “9”带最低。尽管夏威夷地区也存在着一定程度的火山空降物灾害, 但考虑到熔岩流是该地区最主要的灾害类型, 因此, 其它灾害类型的程度和效应在区划图上没有进行专门的标注, 但一般认为, 熔岩流灾害程度高的地区, 其它类型的灾害程度也相应较高。第二类为综合性的火山灾害区划图。这种区划图是将一个火山的各种火山灾害区叠加在一起, 综合各种类型火山灾害的程度, 重新划分灾害程度区。这类区划图既可以表示火山灾害轻重程度和范围, 也能表达灾害的类型。日本富士山火山灾害区划图就是这种类型的代表(图 2)。在这张区划图中, 第 1 级划定的是未来可能喷发的地区, 这也是最危险的地区; 第 2 级是火山即将喷发前或喷发时的疏散地区, 由 3 种可能的灾害范围叠加而成, 即火山碎屑流灾害范围, 火山空降物灾害范围和 3 小时内火山熔岩流的覆盖范围; 第 3 级则是火山连续喷发 1 天后的疏散地区, 这一地区代表的是 24 小时连续的火山熔岩流可能的覆盖范围; 第 4 级为由于积雪的熔化而产生的火山泥石流灾害的可能分布范围。

值得注意的是, 如果将富士山火山灾害区划图(图 2)与同一地区 3200a 以来的历史火山灾害分布图(图 3)相比较, 可以发现无论是灾害类型或是灾害分布范围, 二者之间均表现出很大的差别, 这主要是由于后期的地质作用和人类活动限制了历史喷发产物的完整保存。

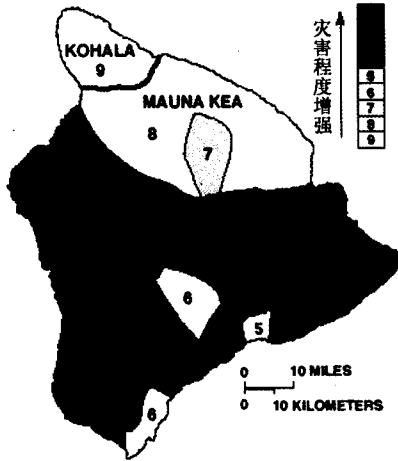


图1 夏威夷岛火山灾害区划图 (USGS, 1997年)

Fig. 1 Map of volcanic hazard zones of Hawaii (USGS, 1997)

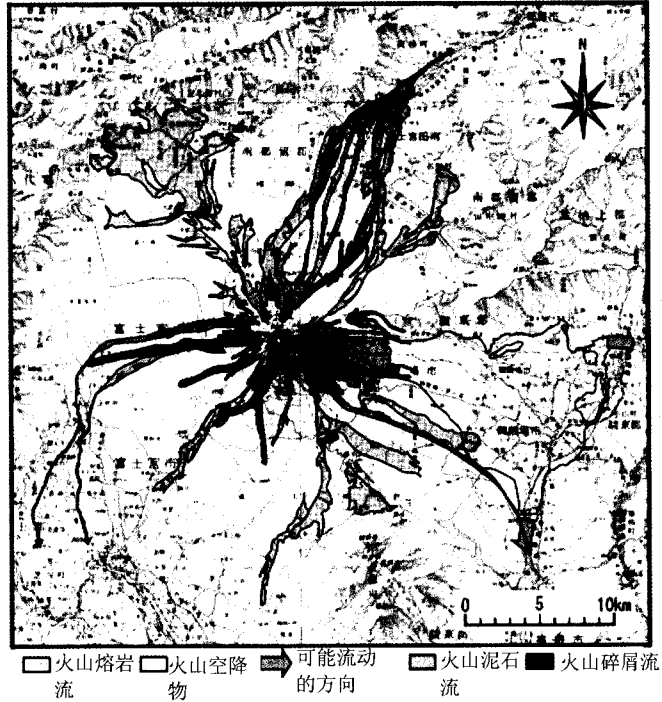


图3 日本富士山火山灾害区划图 (富士山防灾协会, 2004)

Fig. 3 Map of hazard zone of Fuji volcano (Fuji Anti-hazard Association, 2004)

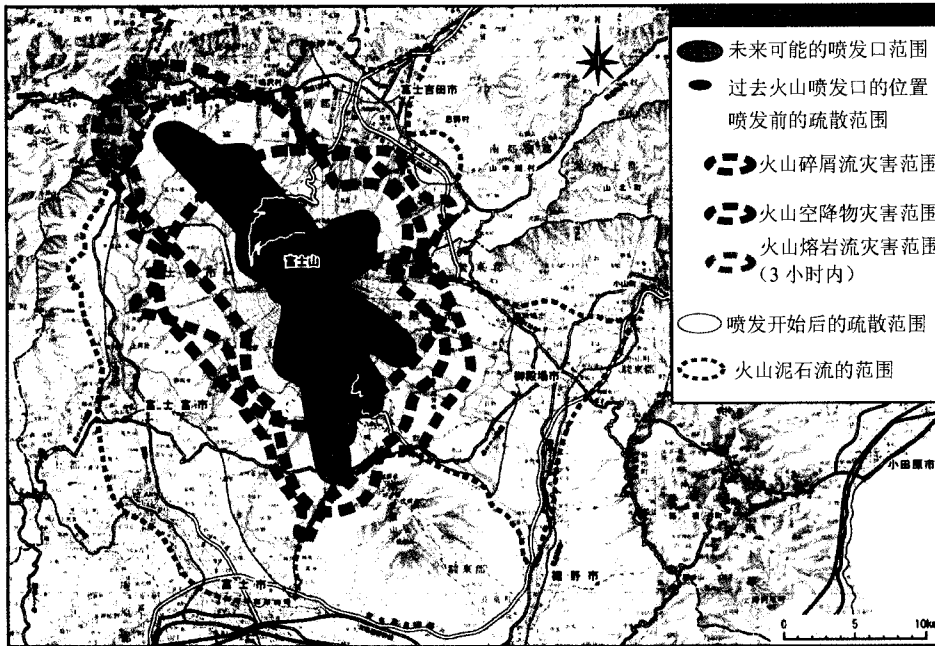


图2 日本富士山历史火山灾害区划图 (富士山防灾协会, 2004)

Fig. 2 Historical hazard map of Fuji volcano (Fuji Anti-hazard Association, 2004)

但是，历史火山灾害分布图可以为研究区未来可能的喷发类型、灾害规模、灾害效应等方面提供客观而有效的依据。

2.2 具有概率含义的火山灾害区划图的编图原则

火山危险性评价的基本原则是“以古论今”，也就是说，在火山区内的同一个地区都可能受到与过去周期相近、类型相似、规模相同的未来喷发事件的影响（Orsi 等，2004）。火山灾害危险性（risk）主要由某种灾害的可能性（likelihood）、灾害的范围（extent）、灾害效应（effect）决定，即：

$$\text{火山灾害危险性} = \text{灾害的可能性} \times \text{范围} \times \text{灾害效应}$$

此外，在危险性分析中还必须考虑两个因素：即发生火山喷发事件的概率（probability）和某种灾害所导致的损失的重要性（importance）。这样，火山灾害危险性的就变成了：

$$\text{火山灾害危险性} = \text{灾害的可能性} \times \text{范围} \times \text{灾害效应} \times \text{喷发概率} \times \text{重要性}$$

如果一次火山喷发事件会带来 n 种火山灾害危险，则一次喷发事件的总的危险性（Total Risk）为：

$$\text{Total Risk} = \sum_n \text{risk}_n$$

因此，编制具有概率含义的火山灾害区划图涉及到对上述各个相关因素的综合定量研究。要解决的关键问题之一是研究区火山喷发历史的恢复和重建。重建过去喷发行为所涉及的时间间隔越长，过去喷发频率越准确，所得出的评估结果的可信度就越高。所以，编制火山灾害区划图的首要基础工作是对火山区进行详细的野外地质观测，根据岩相的成因组合关系，划分不同的喷发期次，建立火山喷发序列；其次，对各期次喷发物详细划分成因类型，测量堆积物的粒度、厚度，确定分布范围；最后，采用适当的测年方法进行年代测定，并进一步确定喷发类型、爆发强度。

此外，对史料记载的火山喷发事件的查阅，也是恢复火山喷发历史的一个重要方面。根据史料记载的火山喷发现象，可以得到喷发年代、分布范围、喷发物类型、爆发强度、灾害程度等信息。

综上所述，尽管目前在国际上有关火山灾害区划图还没有形成完全统一的标准，其技术模型、分析方法和火山灾害风险管理方面也有所差异（Cronin 等，2004；Jellinek 和 DePaolo，2003；Magill 和 Blong，2005），但对于我国来说，进行具有概率含义的火山灾害区划图的编图工作，需要对火山空降物、火山碎屑流、火山泥石流、火山熔岩流分别开展成因类型、空间分布与厚度、层序与时代等方面的综合研究，以得出研究区不同时期喷发物形成历史、规模与过程、未来重现周期等与危险性分析相关的信息，深入研究不同灾种的致灾机理和灾害程度，从而为火山灾害评价提供未来喷发可能性、未来喷发中心、喷发时间、类型、喷发的临界条件以及火山喷发概率预测等基础资料，最终完成具有概率意义的火山灾害区划图，并对未来的火山危险性做出综合定量评价和预测。

3 结语

由于我国的火山研究及监测工作起步较晚，其研究与监测水平与活动火山研究水平较高的发达国家有不少差距。总体上来说，我国目前火山灾害区划图的研究处于野外调查和各种喷发物的鉴定、分期等阶段，而火山活动危险性评价则处于定性研究阶段。在继续加强火山监测和

基础研究工作的同时,对于具有较大喷发可能性的火山,还迫切需要开展火山危险性和危害性的定量化评估研究。尽管目前火山灾害区划技术在国际上还没有形成统一的标准,但基本的方法与思路已经成形,我们完全可以借鉴国际上的经验教训,发挥后发优势,开展我国大陆主要活动火山地区的火山灾害评价与编图技术研究,使我国的火山灾害区划研究在不久的将来也能够处在较高的水平上,从而更好地为我国火山灾害的减轻和预警工作提供技术保障和支持。

参考文献

- 刘若新, 卢振恒, 任锦章, 1995. 火山作用与人类环境. 北京: 地震出版社.
- 刘若新, 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.
- 刘若新, 2000. 中国的活火山. 北京: 地震出版社.
- 杨清福, 刘若新, 魏海泉, 张兴科, 2003. 长白山天池火山减灾对策初探. 地震研究, **25** (2): 82—89.
- 赵谊, 马宝君, 施新觉, 2003. 火山空降碎屑灾害预测软件包的研制. 地震地质, **25** (3): 480—490.
- Cronin S., Gaylord D. et al., 2004. Participatory methods of incorporating scientific with traditional knowledge for volcanic hazard management on Ambae Island, Vanuatu. *Bull. Volcanology*, **66**: 652—668.
- Jellinek A.M. and DePaolo D.J., 2003. A model for the origin of large silicic magma chambers precursors of caldera forming eruptions. *Bull. Volcanology*, **65**: 363—381.
- Magill C. and Blong R., 2005. Volcanic risk ranking for Auckland New Zealand I Methodology and hazard investigation. *Bull. Volcanology*, **67**: 331—339.
- Neri A., Macedonio G., Gidaspow D. and Esposti Ongaro T., 2001. Multiparticle simulation of collapsing volcanic columns and pyroclastic flows. *Volcanic Simulation Group Report 2001-2*. ETS, Pisa.
- Nunziante L., Fraldi M. et al., 2003. Risk assessment of the impact of pyroclastic currents on the towns located around Vesuvio a non-linear structural inverse analysis. *Bull. Volcanology*, **65**: 547—561.
- Rowland Scott K., Harold Garbeil, Andrew J. L. Harris, 2005. Lengths and hazards from channel-fed lava flows on Mauna Loa, Hawaii, determined from thermal and down slope modeling with FLOWGO. *Bull. Volcanology*, **67**: 634—647.
- Suzuki T., 1983. A theoretical model for dispersion of tephra, *Arc Volcanism: Physical and Tectonics*. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 95—113.
- Orsi V., Antonio Di Vito M. and Isaia R., 2004. Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera. *Bull. Volcanology*, **66**: 514—530.

The Major Types of Potential Volcanic Hazard of China and Hazard Mapping Technique

Xu Jiandong

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

Abstract This paper discusses the major types of volcanic hazards which are potentially related with the active volcanoes in China, i.e. tephra fallout, pyroclastic flow, lahar, lava flow and domes. After review of the current technology applied in volcanic hazard zonation in the world, the author proposes a preliminary probabilistic method in compiling the volcanic hazard map of China in future.

Key words: Volcano; Hazard type; Volcanic hazard zonation; Probabilistic