



R. Scarpa R.I. Tilling 著

刘若新 洪汉净 魏海泉 李 霓 等 译

马胜利 杜建国 吴卫民 卢振恒 等 校

火山监测与减灾

地震出版社

火山监测与减灾

R. Scarpa R. I. Tilling 著

刘若新 洪汉净 魏海泉 李 霓 等译
马胜利 杜建国 吴卫民 卢振恒 等校



地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

火山监测与减灾/ (美) 斯卡佩 (Scarpa, R.) (美) 蒂林 (Tilling, R. I.) 著;
刘若新等译. —北京: 地震出版社, 2001.9

书名原文: Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards

ISBN 7-5028-1959-2

I. 火山... II. ①斯...②蒂...③刘... III. ①火山—监测
②火山灾害—减灾 IV. P317

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 065463 号

Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards

Scarpa·Tilling (Eds.)

本书版权归 Licenser 所有。©Springer – Verlag Berlin Heidelberg 1996.

本书中文版由著作权人授权地震出版社独家出版发行, 2001.

火山监测与减灾

R. Scarpa R. I. Tilling 著

刘若新 洪汉净 魏海泉 李 霓 等译

马胜利 杜建国 吴卫民 卢振恒 等校

责任编辑: 李 玲

特约编辑: 卢振恒

责任校对: 王花芝

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 68423031

门市部: 68467991

传真: 68467972

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京市金鼎彩色印刷有限公司

版 (印) 次: 2001 年 9 月第一版 2001 年 9 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 1040 千字

印张: 40.625

印数: 0001 ~ 1000

书号: ISBN 7-5028-1959-2/P·1091 (2510)

定价: 80.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前言

对火山学家来说,通过监测活火山来预报主要的火山爆炸喷发事件仍是一个重要的问题(Tilling, 1995)。早在 20 年前,人们就不断观察到火山喷发前兆,这使得许多火山学家相信人们应该能获得预测即将发生的火山喷发事件的简要规律。有利的信息是在许多火山喷发前,人们确实观察到可测量的地球物理和地球化学行为的变化;不利的信息却是从火山学家目前所收集的资料和数据看,还无法得出一个简单的、惟一的预报规律。目前,我们对导致喷发的物理、化学过程的了解仍然非常有限,其原因是我们只对世界上极少量的活火山及潜在的活火山进行了适当的监测。对于大型的破火山口系统的喷发预报问题更为困难,这种火山的喷发活动次数少,相应的喷发历史记录也稀少(Newhall and Dzurisin, 1988)。总之,如何根据前兆监测对即将喷发的火山进行预报、评估火山灾害,并由紧急事务当局采取有效的减灾措施,是对火山学和社会学提出的一个难以应付的挑战(Kagoshima 会议, 1988; Latter, 1989; Chester, 1993)。

尽管还存在上述问题,但我们在了解火山结构和喷发动力学方面已经取得许多进展。人们已经把更多的注意力集中到地震和地球物理层析成像方面,已能提供一种有关地下火山根及其岩浆房轮廓的动态图像。今天,地震层析成像正朝着高分辨率方向发展,以便查明深部纵向细结构,而不仅仅局限于浅部(Gaspani et al., 1992)。而且,由于在仪器和理论两方面都有了很大发展,因而近年来震源研究和应力应变模型的建立也取得了长足进展(Linde et al., 1993; Chouet, 本书)。

地球物理学家研究火山的最常用的模型是基于十分简单的假设和方法,即在一塑性介质中使用传统的力学方法和线性方程组。这种方法已经成功应用于一些领域,特别是在预报与波动有关的地震学方面。尽管以概率模型为基础而建立的能准确预报火山喷发的理论框架已取得重要成果,但是在火山学方面建立根据前兆信号的时空变化来预报火山喷发的确定性理论的目标还没有实现。

近年来地球物理和地球化学家们一直在尝试改进监测技术中参数的数量和它们的分辨率。尽管数据采集的质量有了改进,但这个目标还远未达到令人满意的结果。

有关材料破裂的岩石力学概念的最新应用,已给喷发预报提供了另一个更定量的依据,并已成功地应用于(事后认识到)一些发生在基拉韦厄和瑞道特火山的喷发幕中(Voight, 1988; Voight and Corheliuss, 1991)。也有一些派生于统计力学的概念,如确定性混沌理论,也已应用到某些地球物理前兆研究上(Shaw and Chouet, 1991)。

岩浆运移机制及与之相关的围岩破裂是一个缓慢的过程,要全面认识这一过程,需要使用自 DC 到几赫兹的大范围频率内有响应的仪器。为了模拟与喷发过程有关的流体动力学演化,需要使用连续监测深部应力的宽频带地震台阵。由于经费原因,在火山领域这些仪器的应

用仍然有限,但是它们的广泛运用无疑将使我们更好地了解火山的活动机理。

大约 20 年前,联合国教科文组织(UNESCO)出版了一本很有价值的论文集(UNESCO, 1972)并由此而发起了关于火山监测方法的综合评述活动。在国际火山学与地球内部化学学会(IAVCEI)内部,我们认识到需要一本新的论文集。在 IAVCEI 执委会和三个 IAVCEI 委员会(火山地球物理、气体地球化学和火山灾害减轻)的推动下,有关这本书的设想和计划于 1993 年初定形。

本书的初衷是提供火山监测和火山灾害研究的理论与方法的综合概述及有关经验和模型。本书中未涵盖或仅粗略概述的有关火山学内容,请有兴趣的读者参阅 Kilburn 和 Luongo (1993)以及 McGuire 等(1995)的文集。

本书共分为相互联系的四部分,由几个不同国家的作者编写而成。第一部分为火山监测方法和应用事例,第二部分为监测资料和一些喷发过程的模拟研究,第三和第四部分包含有一组与火山灾害及减灾有关的论文。近年来,如 1985 年内华德路易兹(哥伦比亚)火山悲剧所表明,我们在技术上取得的进步和对火山现象的了解虽然在科学上具有重要的意义,但还不能给减轻火山危险提供灵丹妙药,除非火山学家、当地政府和受灾民众能相互沟通、协调行动,否则无助于最大限度地减轻火山灾害造成的人员和财产损失(Tilling, 1989; Chester, 1993; Peterson and Tilling, 1993)。

本书着重研究火山监测技术。这其中的许多技术要利用复杂的、价格昂贵的仪器,需要训练有素的科研人员获取、处理和解释资料。因而在许多有火山的发展中国家可能缺乏必要的资金和科学资源来应用这些高科技含量的技术,而世界上大多数活火山或潜在活动火山又恰好位于这些国家。幸运的是仍有一些可用且简单的火山监测方法,尽管精度不够,但价格低廉且有效(Stoiber and Williams, 1990; Swanson, 1992)。我们极力主张使用这样的方法,直到他们能够被更精密的现代方法所补充或替代。目前,更重要的任务是要监测更多的火山,而不是只监测世界上 550 座活火山中的一小部分。

我们希望本书对科学界和各国政府在全球范围内加强火山监测和火山灾害评估起指导和促进作用。我们也希望,在下世纪初再有相似的综述文集发表时,所有的火山——活动的或潜在活动的,都已进行了灾害评估,并处在某种程度的监测之下。也许今后的几十年里,我们对火山喷发的长期和短期预报将更精确、更常规和更可靠。

L'Aquila, Italy
Memlo Park, CA, USA
June 1996

Roberto Scarpa
Robert I Tilling

参 考 文 献

- Chester D (1993) *Volcanoes and society*. Edward Arnold (Division of Hodder & Stoughton Publishers), Sevenoaks, Kent, 351 pp
- Gasparini P, Scarpa R, Aki K (eds) (1992) *Volcanic seismology*. IAVCEI Proceedings in Volcanology, vol 3. Springer, Berlin Heidelberg New York, 572 pp
- Kagoshima Conference (1988) *Proc Kagoshima Int Conf on Volcanoes, 1988*. National Institute for Research Advancement, Tokyo, 923 pp
- Klein FW (1984) Eruption forecasting at Kilauea volcano, Hawaii. *J Geophys Res* 89: 3059–3073
- Kilburn CRJ, Luongo G (eds) (1993) *Active lavas: monitoring and modelling*. UCL Press, London, pp 73–106
- Latter JH (ed) (1989) *Volcanic hazards: assessment and monitoring*. IAVCEI Proceedings in Volcanology, vol 1. Springer, Berlin Heidelberg New York, 625 pp
- Linde AT, Agustsson K, Sacks IS, Stefansson R (1993) Mechanism of the Hekla Iceland 1991 eruption from continuous borehole strain monitoring. *Nature* 365: 737–740
- McGuire WJ, Kilburn CRJ, Murray JB (eds) (1995) *Monitoring active volcanoes: strategies, procedures and techniques*. University College London (UCL) Press, London, 420 pp
- Newhall CG, Dzurisin D (1988) Historical unrest at large calderas of the world US Geological Survey Bulletin 1855, vol 1 (pp 1–598) and vol 2 (pp 599–1108)
- Peterson DW, Tilling RI (1993) Interactions between scientists, civil authorities and the public at hazardous volcanoes. In: Kilburn CRJ, Luongo G (eds) *Active lavas*. UCL Press, London, pp 339–365
- Stoiber RE, Williams SN (1990) Monitoring active volcanoes and mitigating volcanic hazards: the case for including simple approaches. *J Volcanol Geotherm Res* 42: pp 129–149
- Shaw HR, Chouet B (1991) Fractal hierarchies of magma transport in Hawaii and critical self-organization of tremor. *J Geophys Res* 96: 10191–10207
- Swanson DA (1992) The importance of field observations for monitoring volcanoes, and the approach of “keeping monitoring as simple as practical”. In: Ewert JJ, Swanson DA (eds) *Monitoring volcanoes: techniques and strategies used by the staff of the Cascades Volcano Observatory 1980–1990*. US Geological Survey Bulletin 1966, pp 219–223
- Tilling RI (1989) Volcanic hazards and their mitigation: progress and problems. *Rev Geophys* 27: 237–269

Tilling RI (1995) The role of monitoring in forecasting volcanic events. In: McGuire WJ, Kilburn CRJ, Murray JB (eds) *Monitoring active volcanoes: strategies, procedures and techniques*. University College London (UCL) Press, London, pp 369–401

UNESCO (1972) *The surveillance and prediction of volcanic activity: a review of methods and techniques*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, 166 pp

Voight B (1988) A method for prediction of volcanic eruptions. *Nature* 332: 125–130

Voight B, Cornelius RR (1991) Prospects for eruption prediction in near real-time. *Nature* 350: 695–698

目 录

I 火山监测:技术方法与演变历史

火山地球物理和火山监测方法概评	R. Scarpa P. Gasparini (3)
火山监测的地震学新方法及展望	B.A. Chouet (21)
火山的地震监测和喷发预报:最新进展和历史事件综述	S.R. McNutt (79)
地形变的方法与结果	R. Van der Laat (118)
微重力观测	H. Rymer (135)
火山活动不同阶段气相化学特性:前兆与火山活动	M. Martini (157)
火山气体化学组成	W. F. Giggenbach (174)
火山的卫星监测	P.W. Francis G. Wadge P. J. Mougini - Mark (201)
利用同步气象卫星(GMS)探测火山爆破式喷发以及对火山灰云的跟踪	Y. Sawada (232)
应用于火山灾害援助计划(VDAP)的综合流动火山监测系统	T. L. Murray J. W. Ewert A. B. Lockhart R. G. LaHusen (245)

II 监测数据模拟和喷发现象

对火山区地面变形的模拟	G. De Natale F. Pingue (285)
塌陷火山喷发柱和火山碎屑流的物理模拟	A. Neri G. Macedonio (304)
爆破性喷发中火山碎屑空降物的模拟	S. N. Carey (333)
喷发现象的物理模拟:火山泥流	M. T. Pareschi (358)
陆地熔岩流及熔岩流区侵位的形式和预测	C. R. J. Kilburn (379)

III 火山灾害和风险评价

大体积火山碎屑崩落物灾害及有关喷发现象	L. Siebert (419)
灾害性火口湖	M. Kusakabe (446)
爆炸式喷发预测的长期概率分析	S. De La Cruz - Reyna (465)
近代火山活动的定量重建:对未来火山喷发预报的贡献	M. Rosi (489)
火山灾害危害性评价	B. J. Blong (520)

IV 火山紧急事态管理

火山紧急事件的缓解措施和准备计划	D. W. Peterson (541)
------------------------	----------------------

火山紧急事件的管理:以内华德路易兹火山为例 B.Voight (553)

火山不稳定性问题:以坎皮弗雷格里不稳定史为例 F.Barberi M.L.Carapezza (590)

日本的火山应急管理:以伊豆-大岛和云仙岳的历史为例
..... D.Shimozuru (603)

提高有效减轻火山危险的水平 C.G.Newhall R.S.Punongbayan (618)

I 火山监测:技术方法与演变历史

火山地球物理和火山监测方法概评

R. Scarpa P. Gasparini

【摘要】过去 20 年中以火山为目的的地球物理研究，在源区过程的解释、岩浆补给系统的模拟、喷发动力学的了解以及对喷发开始时间的预报及演化研究等方面已取得了相当的进展，地震活动方式和通过倾斜仪、伸缩仪与微重力仪对异常应变的监测是现今火山监测时常用的技术，并广泛应用于监测火山前兆变化和用于模拟某些火山过程。低成本 PC 数据采集系统现在已可以用于获得实时的动态监测资料。

一般说来，要监测火山出现的大量地球物理信号，需要几种类型的监测系统。其中最可靠的技术是使用密集排列的数字化宽频带地震仪，它提供了获得高分辨流体动力活动地震层析成像的机会。这种技术与高灵敏性钻孔排列应变计以及传统的应力-应变测量相结合，似乎是提高火山喷发前兆信号监测的一种有效方法。

此外，使用非线性力学模型，包括材料和流体渗透非弹性性质的夹杂物模型，在理论上能够提供火山模拟和喷发预报的方法。

1. 引言

大约有 550 座火山在历史时期喷发过，许多火山喷发历史的恢复表明，两次喷发之间的间歇期长达上千年并不罕见，尤其对于高爆炸性火山更是如此，这些高爆炸性火山属于危险性火山。因而可以认为所有在全新世（最近 10000 年）喷发过的火山都是潜在活动性的火山，估计大约有 1300 座（Simkin et al., 1981, Simkin and Siebert, 1994）。在这些潜在喷发火山区只建有近 20 个具备精良设备和高素质人员的火山监测站（图 1），另外大约 150 座火山布设了某些类型的地球物理仪器（大多数是地震仪和水准形变网）（表 1）。

火山地球物理观测最常规的是地震活动性观测和地形变观测（图 2）。这些技术已经成功运用于预报喷发事件，如基拉维厄火山（夏威夷）和樱岛火山（日本）等频繁发生喷发的火山。但是这些火山总的特征是低爆炸性的（VEI 指数介于 0 到 2 之间）。喷发频度随 VEI 的上升而急剧下降。事实上，VEI=3 的喷发每年都有，VEI=5 的喷发每 10 年发生一次，VEI=7 的喷发每 100 年发生一次。关于这些喷发的前兆形式资料非常稀少，因此我们的预报能力还很低。爆炸性火山的临喷预报对火山学家来说仍是一个主要挑战（Kagoshima 1988 会议，Latter 1989）。而对长期休眠后的近代喷发火山所观测到的前兆形式是十分不同的（例如：圣海伦斯火山、皮纳图博火山、云仙岳火山、埃尔奇琼火山）。然而同一火山的不同次喷发能观测到明显不同的前兆形式，如在有珠火山（Usu）最近三次喷发时所观测到的前兆

表 1 火山观测站和实施火山监测的主要研究机构
(资料来源: WOVO, 1994)

火山观测站(V.O.) 或研究所	人 员 ^①	活 动 ^②	火 山 ^③
阿拉斯加火山站(美)	30	S, D, GR, O, V, G	Spurr 山 圣奥古斯汀火山 瑞道特 Iliamna
阿莱娜火山站(哥斯达黎加)	8	S, D, M, GR, V, G	阿莱娜
浅间山火山站(日)	4	S, D, O	浅间山
阿苏火山站(日)	6	S, D, M, V	阿苏
加勒比群岛火山系统 (西班牙)	12	S, M, O, G	Teide Timanfaya Teneguia
喀斯克特火山站(美)	30	S, D, M, GR, O, V, G	圣海伦斯火山 贝克山 胡德山 火山口湖 南姐妹山 纽贝瑞 沙斯塔山 药湖 拉森峰
自然科学研究中心 (扎伊尔)	16	S, M, V	尼拉贵戈 尼亚姆拉吉拉
亚索尔火山中心(葡萄牙)	16	S, D, V, G	佛那斯
哥斯达黎加火山站 (哥斯达黎加)	26	S, D, V, G	Rincon de la Vieja 阿雷纳 Poas Irazu Turrialba Platanar
哥伦比亚火山站(哥)	13	S, D, V, G	内华德路易兹
科利玛 CUICT(墨西哥)	7	S, D, O, G	科利玛
欺骗火山站(阿根廷)	8	S, D, M, GR, O, V, G	Deception
Depart. Ciencias Fis. Univ. de La Frontera (智利)	3	S	维拉利卡
波特维拉地质系 (瓦努阿图)	5	S, O	Benbow Marum Yasur
东京地球研究所 (日本)	7	S, D, V, G	富士山 伊豆 Kusatsu—Shirane

火山观测站(V.O.) 或研究所	人 员 ^①	活 动 ^②	火 山 ^③
坎特伯雷大学地质系 (新西兰)	2	V, G	白岛 陶波
惠灵顿维多利亚大学地质系 (新西兰)	3	S, M, V	白岛 埃里伯斯
筑波地质科学中心 (日本)	7	D, G, R, O	伊豆大岛及另外 34 个日本火山
夏威夷火山观测站(美)	24	S, D, M, GR, V, G	基拉维厄 冒纳罗亚
广崎大学火山站(日)	3 5	S, D, V, GR, O, V	岩木 伊豆岛
东京水文部(日)			硫球群岛
INMG(葡萄牙)	16	S, M, GR, O	圣米桂 凯波林霍斯
墨西哥国立大学地球物理 研究所(墨西哥)	4	S, D, M, GR	科利玛 埃尔奇琼
马德里地质所 (西班牙)	4	S, D, M, O, V	泰德 太纳圭亚 拉帕尔玛
秘鲁地球物理研究所(秘鲁)	8	S, O, V, G	内华多萨巴卡亚
EPN 地球物理研究所 (厄瓜多尔)	14	S, D, V, G	科托帕克希 瓜瓜皮钦察 通古拉瓦 安蒂萨纳 埃尔瑞温达多 圣罗托亚 崔可察 钦博拉索 卡亚比 图巴布拉 塞罗尼格罗
埃斯托迪奥斯泰瑞特尼卡拉圭斯 研究所(尼加拉瓜)	7	S, O, V	尼加拉瓜火山
堪察加火山研究所 (俄罗斯)	8	S, D, O, V, G	克柳察维斯基 塞维路克 别兹米扬 阿瓦琴克 库雅克斯基 穆特诺维斯基 国利 埃伯克 池库拉池基 阿莱德

火山观测站(V.O.) 或研究所	人 员 ^①	活 动 ^②	火 山 ^③
堪察加火山、地质和地球化学研究所 (俄罗斯)	30	S, D, O, V, G	克柳察维斯基 塞维路克 别兹米扬
IRGM-ARGV(喀麦隆)	7	S, M, GR	喀麦隆山
国际火山学研究所 (意大利)	20	S, D, M, GR, O, V	埃特纳 武尔卡诺 斯通博利
雾岛火山站(日)	4	S, D, O	雾岛 角藤
草津—白根火山站(日)	3	S, D, O, G	草津—白根及另外 17座日本火山
埃里伯斯火山站(美)	2	S, G	埃里伯斯山
南西—土库火山站	5	S, D, M, V	樱岛火山
鹿儿岛(日)			库池诺拉布几马
诺迪克火山研究所(冰岛)	8	S, D, V, G	克拉弗拉 威斯特曼内加 海克拉 古瑞姆斯弗顿 阿斯基 卡特拉
IPG—巴黎火山观测站 (4个观测站) (法国)	25	S, D, M, GR, O, V, G	皮通德拉弗耐斯 苏弗利尔 培雷山(马提尼克) 卡萨拉(科摩罗)
维苏威火山观测站 (意大利)	50	S, D, M, GR, O, V, G	维苏威 坎皮弗雷格里 伊斯察 乌尔加诺 潘特莱利亚
菲律宾火山和地震研究所 (菲律宾)	44	S, D, M, GR, V, G	塔尔 马荣 卡拉翁 布卢桑 海伯克—海伯克
拉包尔火山站 (巴布亚新几内亚)	25	S, D, V	拉包尔 麦纳姆 卡卡火山

火山观测站(V.O.) 或研究所	人 员 ^①	活 动 ^②	火 山 ^③
樱岛火山站 (日本)	13	S, M, GR, O, G	兰吉拉 由拉乌 伊萨拉 樱岛火山 相良 角藤 琉球群岛
圣地亚桂托火山站 (危地马拉)	10	S, D, V	圣地亚桂托
科学研究所 (冰岛)	3	S	亨吉尔 海克拉 汀德弗加拉乔库 埃加弗加拉乔库 威斯特曼内加 卡特拉 托法乔库 奥伊法乔库 古瑞姆斯弗顿 巴达邦加 弗拉姆里纳墨 弗拉弗拉 塞斯塔雷克
地震研究单位 (特立尼达, 西印度群岛)	8	S, D, V	苏弗利尔(圣文森特) 密苏瑞山 尼维斯峰 苏弗利尔火山 多米尼加 夸利玻 圣凯琴琳山
岛原火山观测站(日本)	5	S, D, M, G	云仙岳
南安第斯火山观测站(智利)	8	S, D, V	维拉利卡 勒莱马
圣巴斯托火山观测站 (哥伦比亚)	10	S, D, G	卡雷拉斯
塔拉纳克火山观测站 (新西兰)	1	S	埃格蒙特
有珠火山站(日)	6	S, D	有珠山 塔鲁迈 北海道-科马 托卡池达克 米坎达克

火山观测站(V.O.) 或研究所	人 员 ^①	活 动 ^②	火 山 ^③
火山学调查所 (印尼)	85	S, D, M, GR, V, G	默拉皮 塔朗 喀拉喀托 巴迪凯特 迪延 拉蒙干 伊杰 拉翁 阿哥苏克 唐古班帕拉湖 加隆贡 克鲁特 塞梅鲁 阿贡 埃波路波 伊阿 凯里木图 伊利伯隆 伊利维隆 洛空 马哈乌 苏普坦 阿乌 卡朗凯唐 班达阿比 加马拉马 克马德克岛 白岛 奥卡泰纳 罗托鲁阿 马鲁阿 陶波 汤加里罗 鲁阿佩胡 尼戈鲁霍 塔拉纳克 埃里伯斯山
维拉克研究中心 (新西兰)	5	S, D, M, O, V, G	白岛 奥卡泰纳 罗托鲁阿 马鲁阿 陶波 汤加里罗 鲁阿佩胡 尼戈鲁霍 塔拉纳克 埃里伯斯山
五大连池(中国)	24	S, M, V, G	五大连池

① 科研人员;

② S. 火山学, D. 地形变, M. 电磁, GR. 重力, O. 热和其它地球物理方法, V. 物理火山学和火山学总称, G. 地球化学;

③ 未全列入名单。