

文章编号: 0253-3782(2004)04-0448-06

综 述

从历史记录看地震与火山喷发关系^{*}

陈洪洲¹⁾ 高 峰¹⁾ 吴雪娟²⁾ 孟宪森¹⁾

1) 中国哈尔滨 150090 黑龙江省地震局

2) 中国哈尔滨 150001 黑龙江大学满族语言文化研究中心

摘要 史料记载表明, 五大连池火山 1720~1721 年喷发期间有大量地震活动。本文从描述这些地震活动的文字记录入手, 并结合国际火山地震研究的新成果, 探讨了地震类型及地震与火山喷发关系, 指出震群是火山喷发的重要前兆指标, 强调火山地震的监测对火山喷发预报的意义。

关键词 历史记录 火山地震 火山喷发 五大连池火山

中图分类号: P317.6 **文献标识码:** A

引言

存于清代黑龙江将军衙门满文档案中有关 1720~1721 年火山喷发观测的原始记录近年才被发掘出来(吴雪娟, 1998; 陈洪洲, 吴雪娟, 2003)。史料不仅记载了五大连池老黑山、火烧山火山喷发的具体时间、喷发状态、喷发产物以及喷发规模等史实, 而且也含有大量的地震信息。这些地震具有哪些特征? 它与火山喷发有什么关系? 此项研究对火山监测预报具有重要意义。本文从五大连池火山 1720~1721 年喷发观测记录中记述的地震活动入手, 结合国际火山地震研究的新成果(Gorelchik *et al.*, 1990; McNutt, 1996), 对五大连池火山 1720~1721 年喷发期间(包括火山喷发前后)的地震记录进行分析, 对地震与火山喷发关系进行探讨。

1 有关五大连池老黑山火烧山火山喷发的历史地震记录

通过对新史料研究查明, 五大连池老黑山火山的喷发时间始于公元 1720 年 1 月 14 日, 止于 1721 年 3 月 18 日; 火烧山火山喷发时间始于公元 1721 年 4 月 26 日, 止于 1721 年 5 月 28 日, 喷发共持续一年零 4 个月。而地震根据新史料记载(陈洪洲, 吴雪娟, 2003)持续时间更长, 自 1719 年 10 月 23 日~1722 年 4 月 27 日长达 2 年半。为便于讨论, 现将有关地震资料分析整理如下:

“1719 年 10 月 23 日、11 月 22 日、12 月 31 日讷谟尔河托莫沁屯(今五大连池市团结乡)以北 30 里的乌云和尔冬吉山地方(今五大连池火山区)地震”。这是老黑山火山喷发前

* 地震科学联合基金(100155)资助。

2003-10-14 收到初稿, 2004-06-24 收到最后修改稿并决定采用。

记录到的3次有感地震。在“1720年1月14日，乌云和尔冬吉山地方，地下忽然喷出石头，火、声鸣如雷”，这里“声鸣如雷”描述的是伴随火山喷发出现的地震。接着“1720年2月17日，仍声鸣如雷”，而在“1720年3月27日，响鸣声渐弱”。“1720年4月4日，山内仍有响声”，……类似这样的描述在史料中出现多次，直到“1721年2月12日，山内仍旧有响声”。从时间上看，史料中记述的这些地震都是老黑山火山喷发期间出现的地震。“1721年3月18日，石头和火均已停止蔓延……山内已无响声，也不出石头和火，但还有烟，与以前的情况不同”（至此，说明老黑山火山已终止喷发）。地震也停下了。然而在“1721年4月12日……地却屡屡鸣响”。反映此时出现了频度很高的地震，分析可能为一组震群。之后，“1721年4月26日，在新山（老黑山）东北方6里远、蔓延之石的边缘地带，地又破裂，发出响声，略见火光、烟和石头”（记述的是火烧山火山的喷发状况及伴随喷发产生的地震）。“与上次喷火之山（老黑山）相比，这一次响声、火、烟都比较弱”。反映火烧山火山喷发强度及地震强度，均较老黑山的弱。“1721年5月28日，新山内的响声已停，不再喷出石头和火”，表明火烧山火山喷发至此结束。

“1721年10月27日，像以前一样，处处有烟，石头已不再蔓延，偶尔有地震。1722年4月27日佐领毕西勒图到喷火之山查看后报告，山内略微有烟，偶尔有响声，所有的地方都不冒烟了”。从这段文字看，火烧山火山喷发结束后地震并没有终止，而是偶有发生，说明地震频度在减弱。

2 火山地震类型分析

传统上将发生在火山地区与火山作用有关的地震称为火山地震（McNutt, 1996）。上述史料中记述的地震均发生在五大连池火山地区，并伴随老黑山、火烧山火山喷发的整个过程，显然这些地震与火山作用有关，因此它们应属于火山地震。

火山地震依据其震相特征、主要频段、震源深度及成因等划分为4种主要类型：高频或A型地震、低频或B型地震、爆炸地震和火山颤动（McNutt, 1996）（表1）。

表1 火山地震类型划分一览表

火山地震类型	震相特征	主要频段/Hz	震源深度	地震成因
高频或A型地震	P波、S波震相清楚	5~15	深	剪切或滑动
低频或B型地震	缺乏S波	1~5	浅	流体增压
爆炸地震	多以出现空气震相为特征		极浅	爆炸喷发
火山颤动	持续数分钟、数天或更长时间	1~5	浅	水热活动

上述4种火山地震类型各有其特征，表现如下：高频地震或A型地震的主要特点是，在地震波形上有清楚的P波和S波，主要频段为5~15 Hz。其成因主要是由岩层破裂或断层滑动引起。如果仅从波形上它与构造地震很难区别，但两者的序列却有明显的不同。火山地震一般表现为震群，而构造地震多为主震-余震序列；低频地震事件经常有大量的P波，而缺乏S波，其主要频段是1~5 Hz，震源深度浅。其成因主要是通过流体增压过程引起；爆炸地震伴随着爆炸喷发，多以出现空气震相为特征；火山颤动是一种持续数分钟、数天或更长时间的连续信号，其主要频段也是1~5 Hz，与低频地震事件类似（图1）。

以上的分类揭示了火山地震活动的本质特征，但它主要是依据波形记录。如果文字记

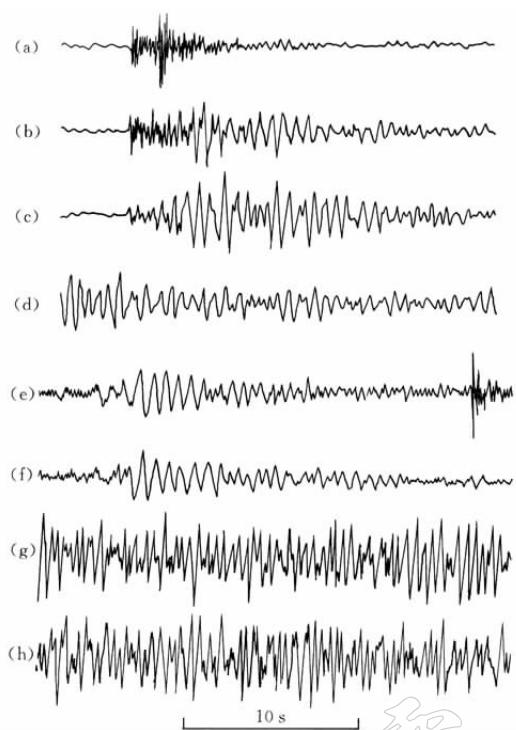


图 1 火山地震的典型波形(McNutt, 1996)

(a) 高频或 A 型火山构造地震, 瑞道特火山, 6.8 km 深度, 距火山口 8 km 的 RED 台记录; (b) 混合频事件——0.6 km 深(海平面以上 0.61 m), 瑞道特火山, RED 台记录; (c) 低频或长周期事件——4 km 深, 瑞道特火山, RED 台记录; (d) 火山颤动, 瑞道特火山, RED 台记录; (e) 爆炸震动, Pavlof 火山, PVV 台记录, 距火山 8.5 km(注意, 突出的空气波到达); (f) 低频或 B 型事件, Pavlof 火山, PVV 台记录; (g) 喷发前的火山颤动, Spurr 山火山, CRP 台记录, 距火山 4.8 km; (h) 火山喷发时的火山颤动, Pavlof 火山, PVV 台记录

23 日~1720 年 1 月 14 日), 震群结束至它喷发的时间间隔为 14 天(从 1719 年 12 月 31 日~1720 年 1 月 14 日). 震群恰恰出现在火山喷发之前, 这说明老黑山火山喷发是有前兆的. 从前兆出现的时间段(114 天~14 天)来看, 此震群可作为此次火山喷发预报的中期前兆指标.

火烧山火山 1721 年 4 月 26 日开始喷发, 喷发前 14 天, 即 4 月 12 日出现一组较弱的震群, 它很可能是火烧山火山喷发的中短期前兆指标.

从五大连池火山 1720~1721 年喷发史料看, 表现出有明确的前兆指标. 这对研究火山喷发预报具有重要借鉴意义.

3.2 国外火山地震与火山喷发关系实例

为了深入讨论地震与火山喷发关系, 现将国外著名火山活动区的火山地震研究成果概

载详尽, 那也是有助于地震类型划分的. 如前所述, 五大连池火山 1720~1721 年喷发期间(包括喷发前、后)相继出现多次地震. 由于无波形记录, 显然要完全划分出上述 4 种类型是困难的, 但依据文字记录至少有两种火山地震类型可以确定: 一种是高频地震; 另一种是爆炸地震. 首先分析 1719 年 10 月 23 日、11 月 22 日和 12 月 31 日出现的 3 次地震. 发现它们有如下特点: ① 发震地点是在火山喷发区; ② 从强度上看, 由于史料对地震的破坏性没有做进一步描述, 说明地震震级不大(一般小于 5 级); ③ 3 次地震的间隔时间为 30~40 天, 其地震大小大致相当, 没有主震. 因此, 从地震序列上分析, 它们不是主震-余震型的构造地震, 而是火山地震中的火山构造地震群, 属于高频地震. 在火烧山火山喷发前 14 天, 即 1721 年 4 月 12 日听到“地仍屡屡鸣响”, 如前面指出的, 可能是一组震群. 这些地震也属于高频地震类型.

伴随火山喷发时出现的种种爆炸声, 这些地震显然属于爆炸地震类型.

3 地震与火山喷发关系

3.1 从历史记录看地震与火山喷发关系

就五大连池火山 1720~1721 年喷发而言, 自震群开始出现至老黑山火山喷发的时间间隔为 114 天(从 1719 年 10 月

述如下。

3.2.1 堪察加的火山地震

勘察加半岛是俄罗斯活火山的主要分布地区。近几十年来有过多次喷发活动，如1955~1956年别济米扬内火山喷发、1965年什维卢奇火山喷发、1974~1987年克柳切夫火山喷发及托尔巴奇克火山1975~1976年大裂隙喷发等。Gorelchik等(1990)通过对这些活火山的监测研究，总结出该区火山地震有如下特征：火山地震活动具有局部性，并以震群为主；火山地震震级不高（最高为5.5~6级）；与构造地震相比火山地震震源有较长周期变化；地震重复曲线斜率值较高。通过对火山地震的震群做进一步研究，划分出4种主要类型：Ⅰ类震群发生在安山岩火山中央喷发前，主要为浅源地震，震中距火山口3~5 km，震源位于火山体内，深度10~15 km，最大地震能级 $K_{\max} = 12 \pm 0.5$ ($K = 4.6 + 1.5 M$, M 为面波震级)。震群持续时间从7~10天至3~5周。在震群活动阶段，总能量(E_N)、频率(N)和最大地震能级(K_{\max})连续上升，到火山喷发时刻达最大值；Ⅱ类震群发生在玄武岩和安山岩火山侧翼喷发前。震群以甚浅源地震为主。震中距新火山口形成处3~10 km。震源深度一般0~5 km，震群持续时间1~10天。 $K_{\max} = 11 \pm 0.5$ 。在这些震群中， E_N 与 K_{\max} 最初急剧增加，达到最大值后逐步下降。喷发前数小时后 $K \geq 6.0$ 的地震活动平息。由于以上两种类型震群中的地震活动特征相当规则，故可用来预报火山喷发；Ⅲ类震群伴随着火山喷发，它们包括爆炸地震在内，震源深度距火山口底部不到500 m。震中位于火山口内。 E_N 、 N 、 K_{\max} 随各次火山爆发的喷发强度和功率而变化；Ⅳ类震群发生在喷发期间和结束时，也有发生在喷发结束后的。这类火山地震震源深度为0~20 km，震中距火山口10~20 km或更远。反映了岩浆运移和喷发期间累积应力的逐步释放。 E_N 、 N 、 K_{\max} 从震群开始时的最大值随时间逐步下降。震群活动持续数小时~数月(Gorelchik *et al.*, 1990)。可见，震群的时空发展为成功预报喷发开始和其后过程提供了良好基础。

3.2.2 圣海伦斯火山1980年喷发

美国华盛顿州圣海伦斯火山在1980年5月发生大的爆炸性喷发，包括火山侧向爆炸。它是在59天地震活动增强之后发生的。3月20日发生 $M=4$ 地震，随后有许多小的事件。3月25日地震活动增加到每小时8次 $M \geq 4$ 地震，3月27日射气喷发开始，地震序列实际上超过10 000次地震，包括高频和低频事件及火山颤动。大多数事件位于火山北侧地下3~7 km，实际上这正是火山喷发口所在地。在高潮喷发前数小时，没有直接的前兆。但由一个 $M=5.1$ 地震掀掉火山覆盖物造成扇形塌陷，开始喷发。在喷发之后不久出现了震源深度为5~20 km的深地震，并持续数天，随后为小的喷发。小喷发前通常都有持续数小时~数天的小震群(Malone *et al.*, 1981; Swanson *et al.*, 1983)。

3.2.3 皮纳图博火山1991年喷发

菲律宾皮纳图博火山原本不知名，1991年6月15日发生全球79年来最大的布里尼式爆炸式喷发——英安质破火山口喷发，才使其成名。喷发前两个月或更长时间地震活动增加。地震活动准确的开始时间不清楚，因为地震仪直到1991年4月2日蒸汽爆炸之后才开始安装。5月下旬及6月初，地震活动逐渐增强。震源深度一般都较浅。6月3日之前震中位于山顶北西侧大约5 km，之后地震活动转移到火山顶附近的地下。火山颤动始于6月3日，并于6月7日有一个小的岩穹侵位。于6月12日第一次英安质布里尼式爆炸式喷发之前数小时发生两期较强的火山颤动。随后有一个低频强震群事件和火山颤动。破火山口喷

发高潮期出现于 6 月 15 日, 使顶部下降 200 m。这之后火山进入较小喷发事件, 时间持续大约 3 周。大的较深地震震级高达 $M=5.7$, 震源深度 25 km。它们发生于火山顶部 20 km 范围内, 都是自喷发高潮时开始的(Mori *et al.*, 1996)。

皮纳图博火山喷发前根据地震活动水平、气体及地形变等变化作出了较成功的预报, 取得了很好的减灾实效。

4 讨论和结论

以上实例表明, 地震与火山喷发关系密切。火山喷发前, 地震活动性明显增强, 并有震群出现。故地震监测是火山喷发预报的最有力的手段之一。绝大多数地震位于活火山口或未来新喷发口的周围, 故利用震中分布可预报火山喷发位置。此外, 如前所述, 利用火山地震也可预报火山喷发的时间。需指出, 虽有预报成功的实例, 但误报也时有发生。一般来说, 高频地震群持续时间较长, 易发生误报。而低频事件群和火山颤动持续时间较短, 更经常导致喷发(McNutt, 1996)。每个特定火山都具有与地震活动特征对应的休眠、孕育和发展周期。这是由复杂的火山结构、岩浆性质等因素决定的。

分析表明, 历史上记载的五大连池火山区 1719 年 10 月~1722 年 4 月的地震属于火山地震。其中 1719 年 10 月 23 日、11 月 22 日、12 月 31 日的震群是火山构造地震群, 属于高频地震。此震群为老黑山火山喷发预报的中期前兆指标。出现这一预警标志对减轻火山灾害意义重大。因为从该震群结束至火山喷发有 14 天的间隔时间, 足以使附近地区的居民撤离, 进而实现减灾的目的。

五大连池火山地震与勘察加火山地震对比, 前者震群相当于后者中的Ⅱ类震群, 它们都是由玄武质岩浆造成岩层破裂或断层错动产生的。喷发前地震活动强烈, 而临近喷发, 却表现为平静。这一现象有规则的出现对火山喷发具有重要预报意义。

火山地震震级较低, 一般 $M < 5$ 。这与火山地震震源的构成有关, 这些震源往往都靠近岩浆房或火山通道, 限制了它有更高的震级。但也有少数火山地震震级达到 5 级以上。这种情况的发生常与破火山口(如皮纳图博火山)或扇形塌陷(如圣海伦斯火山)的形成有关(McNutt, 1996)。

据近年来火山观测研究结果发现, 火山喷发后常出现较深地震(10~40 km), 这是深部岩浆转移引起应力变化的响应。五大连池火山 1720~1721 年喷发后出现的地震很可能也是由岩浆运移造成的。这也再次提醒人们: 即使火山喷发结束, 地震监测工作也不能停止, 仍需长期坚持, 因为深部的岩浆仍可引发地震活动, 有的甚至会引起新的喷发。

本项研究表明人类虽已进入地震仪器的数字记录时代, 但历史文字记录仍具有无可替代的作用, 尤其是对于历史地震。因此, 开展火山与地震史料的发掘与研究是十分必要的。

参 考 文 献

- 陈洪洲, 吴雪娟. 2003. 五大连池火山 1720~1721 年喷发观测记录[J]. 地震地质, 25(3): 349~358
 吴雪娟. 1998. 有关五大连池火山喷发历史的满文档案[J]. 北方文物, 54(2): 90~91
 McNutt S R. 1996. 火山的地震监测和喷发预报: 最新进展和历史事件综述[A]. 见: Scarpa R, Tilling R I 编著. 1996;
 刘若新, 魏海泉, 李霓, 等译, 2001. 火山监测与减灾[C]. 北京: 地震出版社, 79~112
 Gorelchik V I, Zobin V M, Tokarev P I. 1990. Volcanic earthquakes of Kamchatka: Classification, nature of source and spatio-temporal distribution[J]. Tectonophysics, 180(2-4): 255~271

- Malone S D, Endo E T, Weaver C S, et al. 1981. *Seismic Monitoring for Eruption Prediction*[M]. Washington, D C: US Geol Surv Prof Pap 1250 US Govt. Printing Office, 803~813
- Mori J, White R, Harlow D, et al. 1996. Volcanic earthquakes following the 1991 climactic eruption of Mount Pinatubo Philippines: strong seismicity during a waning eruption[A]. In: Newhall C G, Punongbayan R S eds. *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*[M]. Quezon City: Philippine Institute of Volcanology and Seismology, 1130
- Swanson D A, Casadevall T J, Dzurisin D, et al. 1983. Predicting eruptions at Mount St Helens June 1980 through December 1982[J]. *Science*, 221: 1 369~1 376

RELATIONSHIP BETWEEN EARTHQUAKE AND VOLCANIC ERUPTION INFERRED FROM HISTORICAL RECORDS

Chen Hongzhou¹⁾ Go Feng¹⁾ Wu Xuejuan²⁾ Meng Xiansen¹⁾

1) Earthquake Administration of Heilongjiang Province, Harbin 150090, China

2) Research Center for Man Ethnic Group Language, Heilongjiang University, Harbin 150001, China

Abstract: Historical material records show there were a large number of seismicities in Wudalianchi volcano during 1720~1721, which provides us with abundant volcanic earthquake information. Considering from the written records, integrating the achievements in volcanic research in the world, the relationship between earthquake and volcanic eruption is discussed in the paper. Also it is pointed earthquake swarm is an important indication of volcanic eruption. Therefore, monitoring volcanic earthquakes is of great significance for forecasting volcanic eruption.

Key words: historical record; volcanic earthquake; volcanic eruption; Wudalianchi volcano group