



DIZHEN ZHENGQI MOXING YU YUBAO

地震蒸汽模型与预报

寿仲浩 方琰 著



DIZHEN ZHENGQI MOXING YU YUBAO

地震蒸汽模型与预报

寿仲浩 方琰 著

图书在版编目(CIP)数据

地震蒸汽模型与预报 / 寿仲浩, 方琰著. —天津:
天津大学出版社, 2018.2

ISBN 978-7-5618-6067-0

I. ①地… II. ①寿… ②方… III. ①地震预报—蒸汽—地震预报模式 IV. ①P315.75

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第032863号

出版发行 天津大学出版社
地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 廊坊市海涛印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 165mm×239mm
印 张 9.75
字 数 210千
版 次 2018年4月第1版
印 次 2018年4月第1次
定 价 58.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

谨此

向伊朗空间局遥感中心遥感专家阿莫里(Abdolreza Ansari Amoli)致谢:他敏锐地从奇特的办姆地震云和办姆地震预测中发现并肯定地震云是可信赖的地震前兆,满腔热情地将这一发现介绍给世界,并将寿仲浩推上了联合国讲台。

向无偿为寿仲浩申请美国专利“地震精确预测与防止神秘空难、海难的方法”(US 8068985B1)的韩明辉律师致谢:

学富四海掌上千秋

义薄云天心中乾坤

本书得以成书付梓,寿文颖和方凌燕进行了大量的文稿修改工作,赖姆·苏里(Sri Ram)做了大量图像收录查找工作,天津大学元英进、姚卫东先生给予了大力的支持与帮助,在编辑过程中付出了大量的时间与精力,在此深深致谢。

另,向发表和报道寿仲浩地震蒸汽论文及预报成就的中外媒体,向以各自方式帮助过地震云学说的李-海兹律师事务所(Lee & Hayes Office)、韩律师事务所(Han Office)、徐承楠、哈林顿·达雷尔(Darrell Harrington)、陈孝坤、夏建军、陈一文、“小黑鸡”、丁国海、叶水珍、托马·莉斯(Liz Thoma)、邵娟娟、朱务民和所有为此进行传播或捐助的个人致谢!

寿仲浩

方 琰

2015-12-22

序

地震给人们带来巨大灾难,人们在观察地震前兆(例如地震的热现象、压力现象、动物反常行为、潮汐、氦异常、前震、地形变化和电磁前兆等)方面已经积累了大量经验,但目前仍没有获得一个机理将这些前兆与地震成功地联系起来,也没能说明这些前兆在地震预报应用中有没有虚报与漏报。地震预报有时间、地点、震级三要素,官方预报大多给出这三要素的明确区间,但无一例成功。民间预报则往往先在空间上给出一个点,在地震发生后通过无限扩大边界、时间以及震级区间来宣告其“成功”,而这种扩大使这些所谓“成功”失去了价值。

1999年,寿仲浩在前人研究成果的基础上,结合自己对地震云前兆的观察与预报实践提出了一个崭新的理论——地震蒸汽理论。该理论可以解释种种奇异的地震现象,利用它可以进行准确的地震预报。该理论认为,当一块巨大的岩石受外力作用(包括人的作用)时,它的薄弱环节首先破裂,水渗入裂缝,膨胀、收缩、摩擦和腐蚀等作用进一步削弱岩石的内聚力。地面运动产生摩擦而生热,加热地下水;水产生的蒸汽逐渐积累,最终产生高温高压;当蒸汽达到一定压力时,它就会冲破裂缝,通过一个喷口喷出地面;蒸汽上升冷却形成地震云,或者蒸汽的热量融化部分已经存在的云导致云中无云区的奇异现象。寿仲浩将此定义为地热喷发。地震云和地震喷发与其他地质和气象现象有根本区别,它们以蒸汽为主,突然从一个固定汽源喷出,并伴有高温和高压。喷口通常预示震中,蒸汽量预示震级,地震一般会发生在一个完全喷发后的几天内。

这个理论的一个范例,就是著名的伊朗办姆(Bam)地震云。2003年12月20至21日,云突然从办姆喷出,像烟囱一样,不管风向变化而固定在办姆连续喷发了26个小时,利用这条地震云,寿仲浩于12月25日在网

上预报办姆将发生大地震。次日,一个 6.8 级的大地震正好发生在办姆,这是这个无震区 3 000 年来唯一的大地震,震惊世界。寿仲浩为此撰写的论文《办姆地震预报与空间技术》入选联合国 2004 年年鉴,并由联合国作为实用新型技术推荐给所有的成员国。

寿仲浩利用这个理论,曾在 1994—2001 年间向美国地质调查局(U.S. Geological Survey,以下简称 USGS)预测 63 个独立的地震,每次预报都有时间、地点和震级三个明确的区间。这些预测按照美国专家“盯住看”的标准(即地震预报时间、地点、震级三要素丝毫不差),有 60% 以上是正确的。分析差错的原因,主要是由卫星图像、地震数据和作为开拓者的经验三问题造成。寿仲浩还在网上预报了 1 500 多次地震,成功率达到 80%。而一般来讲,随机猜测只有千分之一的概率能达到这样的水平。

2012 年,寿仲浩着手撰写本书。书中分析了各种地震前兆及传统的板块理论,并讨论了它们失败的原因;探讨了地震云的各种形态和外界环境对它的影响以及识别地震蒸汽与一般气象现象的区别;还揭示了地震预报中面临的许多问题。如果能够解决这些问题,世界上所有大地震就都能精确预报震中、震级、时间,地震的防灾与疏散将是完全可能的。这些研究已经申请到美国专利。

之所以写本书,将自己几十年研究成果展示出来,是想呼吁社会各界关心并共同克服卫星数据、温度数据以及地震数据的质量问题,让人们尽早避免灾难性地震的袭击,并以此献给在地震中死难的人们。

寿仲浩

目 录

第 1 章 地震蒸汽模型	1
1.1 水渗透	1
1.2 摩擦源	3
1.3 高温	4
1.4 高压	4
1.5 蒸汽喷发	5
1.6 脱水	6
1.7 地震前兆和地震的几个例子	7
1.8 异常温度的定义	22
1.9 地震蒸汽概要	25
1.10 讨论	26
第 2 章 地震蒸汽形态和预报实例	35
2.1 地热喷发的各种形态	35
2.2 各种各样的地震云	40
2.3 几个特殊的例子	48
2.4 如何预报地震	56
2.5 卫星图像产生的问题	57
2.6 误报与漏报	59
2.7 所有极大破坏性地震的蒸汽前兆	59
2.8 距离与面积的计算	68
第 3 章 地震预报的评估	70
3.1 简介	70
3.2 结论	71
3.3 预报的正确性	82
3.4 计算结合概率	82
3.5 应用统计学证明寿仲浩向美国地质调查局预报的重大价值	84
3.6 不独立的地震预报不影响结论	85
3.7 评价方法的问题	86

3.8 预报失误的原因	86
3.9 蒸汽前兆的价值	87
3.10 其他的预报方法	88
3.11 非蒸汽前兆的共同问题	107
第4章 板块理论剖析	109
4.1 板块理论的历史	109
4.2 大陆漂移说的问题	110
4.3 韦格纳继承者研究的问题	113
附录:寿仲浩地震预报的几个实例	122
参考文献	139
参考网站及网页	145
后记	147

第1章

地震蒸汽模型

1999 年,寿仲浩(Shou, 1999)首次提出地震蒸汽模型假说:巨大岩石的薄弱部分在外力作用下首先破裂,产生裂缝;水通过裂缝渗入,当岩石与水发生相对运动时,摩擦产生的热使地下水蒸气积累而产生高温高压;当压力达到一定强度时,它会通过裂缝喷出地面;蒸汽上升遇冷形成地震云。云尾指向震中,云的大小预示震级,从地震云喷发到地震发生最长时间可经验性地确定为 49 天。于是,地震云能够预报地震。

随着地震蒸汽模型的进一步发展,寿仲浩与哈林顿(Shou, Harrington, 2005)提出一种被称为地热喷发的地震蒸汽新前兆。与地震云一样,地热喷发是由地震蒸汽突然喷发形成,且地震蒸汽伴有高温高压。与地震云不同的是,地震蒸汽的热量融化了部分已经存在的云,产生了一个云中无云区。根据更多的预报实例摸索、观察和分析,新的发展扩大了时间窗口:最长时间窗口从 49 天扩展到 104 天。但这个模型始终还存在两个难点:一是如何将时间窗口从几个月缩短到一个星期;二是如何在温热季节把预报的地点窗口缩小到一个点。

寿仲浩(Shou, 2011)在美国专利 US 8068985B1“地震精确预测与防止神秘空难、海难的方法”中从理论上解决了这两个问题。

本书采取国际时间(UTC),在某些特殊情况下用地方时间(LT);温度单位用摄氏度($^{\circ}\text{C}$);压力单位用兆帕(MPa)或标准大气压(atm);坐标则按照美国地质调查局(USGS)的习惯用法,纬度放在经度前面,并用“+”表示北纬和东经,“-”表示南纬和西经,例如办姆(28.99, 58.29)表示北纬 28.99°,东经 58.29°,里约热内卢(-22.54, -43.12)表示南纬 22.54°,西经 43.12°。

1.1 水渗透

地震蒸汽模型的关键是,地下水如何能够渗入几千米、几十千米甚至几百千米的地球深处?下面笔者将阐述这个原理。在外力作用下岩石的薄弱部分首先破裂,表 1 展示了美国南加利福尼亚州 1980—2012 年所有的大地震(震级大于或等于 6 级),还展示了这些大地震周围 10 km 范围内大量的小前震。因为大地震产生了巨大的裂缝,因此推断这些小前震必产生小裂缝。这些小裂缝不但减小了岩石的内聚力,还让

水渗入裂缝。水的热胀、冷缩、腐蚀和摩擦进一步减小了岩石的内聚力。图 1 展示了北岭(Northridge)地震震源周围小前震的垂直分布。点 A 展示了 1991 年 3 月 21 日在北岭地震震源正下方 0.2 km 处发生的一个小地震。这证明了水不但能够渗透到震源而且能够渗透到更深处。

表 1 美国南加利福尼亚州 1980—2012 年大地震(≥ 6 级)和 10 km 范围内的小前震

序	日期	时间	纬度	经度	震级	深度 / km	10 km 范围内小前震	
							总数	震源深于大地震的数量
1	19830502	23:42	36.23°	-120.32°	6.1	10.2	22	1
2	19871124	1:54	33.09°	-115.80°	6.2	10.8	138	10
3	19871124	13:15	33.01°	-115.86°	6.6	11.2	558	33
4	19920423	4:50	33.96°	-116.32°	6.1	12.3	1 602	14
5	19920628	11:57	34.20°	-116.44°	7.3	1.0	520	461
6	19920628	15:05	34.20°	-116.83°	6.3	5.4	345	256
7	19940117	12:30	34.21°	-118.54°	6.7	18.4	79	5
8	19991016	9:46	34.59°	-116.28°	7.4	0.0	430	373
9	20031222	19:15	35.70°	-121.11°	6.5	7.0	37	7
10	20040928	17:15	35.81°	-120.38°	6.0	5.5	90	79

注: (1) 上述数据来自美国地质调查局的南加利福尼亚州地震数据中心(<http://www.data.scec.org/ftp/catalogs/SCSN/>)。

(2) 第一个大地震的小前震从 1932 年开始计算, 其余的从 1980 年开始。最后一列显示震源深于大地震的小前震数。序号 7、8 分别表示北岭地震(Northridge)和赫克托矿地震(Hector Mine)。

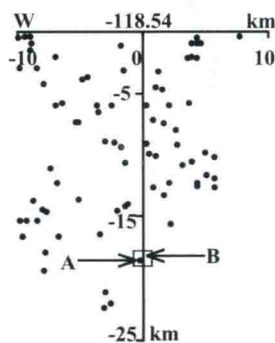


图 1 北岭地震震源附近小前震垂直分布图

注: 这张东西向垂直剖面图穿过 1994 年 1 月 17 日北岭地震震中(34.21, -118.54)。B 指向的黑方框表示震源深度 18.4 km。1980 年 1 月 1 日至 1994 年 1 月 17 日, 北岭震源 10 km 范围内发生的所有地震都用黑点投射到剖面上。A 指向一个在 1991 年 3 月 21 日发生的比北岭地震震源还深 0.2 km 的小震。上述数据来自于南加利福尼亚州地震数据中心。

钻石的形成提供了水渗透的另一个证据。一方面,化学理论和人造钻石的工艺过程展示了钻石的形成需要温度超过 $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, 压力超过 $4\,500\text{ MPa}$, 这就意味着在自然条件下深度超过 150 km 。另一方面, 钻石能够通过金伯利岩(Kimberlite)管从超过 150 km 深处到达地表(Cox, 1978)。由此可知, 水也能够达到这种深度。

除地震外, 局部的气候变化(如风、雨、雪、冰、洪水、旱灾等)、地球物理运动(如火山、地面隆起、滑坡、地陷、洋流、地球转速变化、地球太阳月亮间引力变化、太阳黑子、陨石等)和人类活动(如钻井、爆破、采矿、运输、水坝建筑等)也可能导致裂缝。

博伊特(Boit, 1978)强调了岩石中水与地震的关系。他描述了美国地质调查局1969年在西科罗拉多的兰奇利(Rangely)油田实验, 水定期输入油井和从油井抽出。结果表明, 水输入量与地震活动有紧密联系。他进一步提出, 岩石中如果没有水的话就不可能有构造地震。

1.2 摩擦源

地震蒸汽模型认为, 摩擦热蒸发地下水, 形成前兆。许多过程都能产生岩石分子之间、水分子之间以及水与岩石分子之间的摩擦。有些是定期且有规则的, 如太阳与月亮的相互作用产生固体潮、江海潮和大气潮, 于是它们也能够产生裂缝内的地下水潮, 固体潮与地下水潮能够引起上述摩擦。由地极摇晃和日长度以每世纪 $1\sim 2\text{ ms}$ 的变化(Landeck, 1980)引起的地球转速的变化也能导致地球分子间的摩擦。

其他产生摩擦的物理过程是不规则的。气象过程(包括降水、温度变化、台风、龙卷风、洋流、干旱、洪水等)都能通过地球质量分布变化产生摩擦。例如1975年7月31日至8月1日, 中国沈阳一场暴雨使倾斜仪产生了大变动(Haicheng Earthquake Study Delegation, 1977)。地震与火山也能导致摩擦。霍普金(Hopkin, 2004)指出, 大地震能引起地球自转速率的变化, 这种变化反过来引起摩擦。地震所产生的破裂、振动、滑坡、海啸等都能直接导致岩石与岩石、岩石与地下水、地下水与地下水之间的摩擦。

一些人类活动, 如钻孔、钻探、爆炸、采矿、运输和建坝等, 改变了地球的质量分布。由美国航天局和地质调查局科学家组成的地震研究小组发现, 1996—2001年洛杉矶地表的变化主要是由自来水公司储存和抽取地下饮用水所致(Clarke, 2001)。这些人类活动也产生了岩石分子之间、岩石和裂缝中水分子之间以及裂缝中水分子间的摩擦。

不论摩擦来自于自然或人类活动, 都会产生热量。在一个敞开的空间, 例如大地、洋面, 这些热量会散发到大气中。但在一个封闭的空间, 例如在岩石裂缝中, 地下

水与种种摩擦所产生的热量就会逐渐积累导致高温。

1.3 高温

地震蒸汽理论认为,高温常常伴随地震。杨成双(1982)在文献中指出,1975年中国海城地震前的严冬,阳光照不到的冻结水库冰面竟有部分融化。又如,2003年12月20至21日,在伊朗办姆地震云喷发期间,克尔曼(Kerman)机场在19:00—20:00记录了地表温度从12℃到24℃的脉冲,这与办姆地震云喷发的时间吻合。2004年12月15日傍晚,这个机场还记录了另一个141℃的温度脉冲(Shou, et al., 2010),又与克尔曼地震群蒸汽喷发相吻合(Shou, 2006a)。

1976年7月28日,唐山大地震提供了震前震后高温的大量例子。石慧馨等(1980)在文献中指出,在地震产生时,高热的喷发物烫伤一人;在离唐山150 km的北京万泉庄一口7.8 m深枯井产生“汽笛”,大量的气体喷发从7月26日一直持续到唐山大地震前5小时。震后枯井继续喷发蒸汽,气柱高度达到2.5 m,速度达到38 m/s,声响达到94 dB,200 m外就能听到声音。9小时后一次7.1级地震在滦县发生。之后气柱又出现在8月8日和8月9日两次6级地震前。气体分析的结果表明,12.9%是二氧化碳,而正常大气中二氧化碳的含量仅为0.04%。而石灰岩分解可以生成二氧化碳和生石灰,其中联系不言而喻。因为纯粹的碳酸钙和碳酸镁分解的温度分别为848℃和360℃,所以震中的温度应该在360~480℃。四次“汽笛”预报四次地震这一事实,表明这些地震都是独立的。因此,前震、后震是一种误解。这种奇异的现象和地震之间的遥远距离暗示了用地球化学作为一个通用前兆的困难。

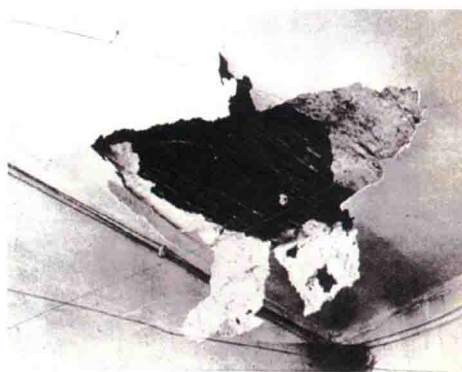
科学家用显微镜调查研究震中附近岩石的结构,发现了熔融、结晶和化学组成的突然变化(Koch and Masch, 1992; Maddock, 1992; Magloughlin, 1992; O' Hara, 1992; Spray, 1992; Swanson, 1992; Techmer, et al, 1992),用摩擦焊接法、热染色法和二氧化硅玻璃成分分析法,可进一步得出它们的熔融温度为300~1 520℃(Bowen and Aourousseau, 1923; Killick, 1990; Maddock, 1983; Passchier, 1982; Sibson, 1975; Spray, 1987; Tuefel and Logan, 1978; Wenk and Weiss, 1982; Winkler, 1979),因此震源的温度也在上述范围之内。哈斯(Haas, 1971)发现,水在86 atm压力下300℃就能沸腾,因此300~1 520℃能够使地下水沸腾。

1.4 高压

地震蒸汽模型假定在地下封闭空间内的高热蒸汽必然产生高压,而高压将伴随

地震。石慧馨等(1980)在文献中指出,在唐山大地震前11天,一口封闭的油井喷出20 m高的油柱;莱恩和沃格(Lane, Waag, 1985)指出,1983年10月28日在美国爱达荷州博勒峰(Borah Peak, Idaho)7.3级地震期间,水柱以 $11\text{ m}^3/\text{s}$ 的速度喷到35 m高。1999年9月20日中国台湾7.7级地震喷出巨大的岩石,形成了一个4 m宽、40 m深的洞(Huang, et al, 2003)。图2显示了在唐山大地震期间水汽喷发在房屋无损的情况下冲破天花板的情形。

吴起林和刘安建(1983)指出,在1975年2月4日中国海城7.3级地震前,10号油井在1974年11月加压日产量为4~17 t,到1974年12月自喷日产达80~90 t;1974年10月8日新5号油井的井底油压为11.8 MPa,1974年10月11日则上升到13.9 MPa。张德元和赵根模(1983)指出,在1976年7月28日唐山地震前,8号油井产量和4月份相比增加了6倍,和6月份的压力相比增加了2~5 MPa。石慧馨等(1980)指出,在唐山地震前5小时,气流从离震中165 km以外的北京附近一口枯井中喷发。寿仲浩(Shou, 2006b)从苏门答腊9级海啸地震16.1 km的深度产生地震云推测,震中的压力至少达到155 MPa。



1—17 丰南盐官庄公社一平房内喷沙冒水,冲破了房屋顶棚(10度区)。
In the area of intensity 10, sand boiling and water spouting occurred to a house in Yizhuang Commune in Fengnan County and spoiled the ceiling.

图2 唐山大地震期间水汽喷发
冲破平房天花板

注:照片来自于中国建筑研究所(1986)。

1.5 蒸汽喷发

地震蒸汽具有高温高压,因此一旦蒸汽压力超过主裂缝的阻力,蒸汽就会突然从震源通过主裂缝在地表的某个喷口喷发(图3)。蒸汽上升遇冷成云,这就是地震云(Shou, 1999)。有时热蒸汽碰到已经存在的云,它就会融化其中一部分而产生云中无云区,寿仲浩将这种现象定义为地热喷发(Harrington, Shou, 2005)。这两种情况下,蒸汽不但包含气体状态的水,也包含不同大小的液滴。这种液滴含有热量并能形成地震雾,从而使地面升温(图3)。有时少量的蒸汽能够通过小裂缝升到地面,形成震中和喷口之间的一个热带(图3)。在地震蒸汽完全喷发后,一个地震立即发生;在一个不完全的喷发后,剩余的水与蒸汽在积累到足够能量的时候会再次喷发,紧接着地震就会发生。



1.6 脱水

寿仲浩推测岩石的断裂强度会随着温度的升高下降,并有一个从量的渐变到质的突变的过程。1997年4月,他根据自己的推想画了如图4a所示草图,在美国加州理工学院图书管理员的帮助下,在《岩石与矿物物理特性实用手册》(Kirby, McCormick, 1990)中找到由测量得到的曲线,证实了寿仲浩的推想。这一手册中所用词汇“脱水”(dehydration)与寿仲浩的假说完全相同。

经过漫长的数据积累,寿仲浩发现从地震蒸汽喷发到地震发生最长时间间隔约为 112 天,而有 10% 左右的地震都发生在蒸汽喷发后几天内。

寿仲浩(Shou, 2011)分析了从地震蒸汽喷发到地震发生期间温度变化的许多实例,发现时间间隔较长的地震在间隔时间内有二次或多次温度峰值,且最后一个峰值都发生在震前几天内,于是推测蒸汽的喷发有完全与不完全之别。蒸汽的完全喷发(图 4a)和不完全喷发(图 4b)之间有巨大区别。在完全喷发后岩石的裂缝内接近真空,也就是说岩石里面几乎没有蒸汽来承受外界的压力,甚至高温使岩石强度剧烈下降,达到一个断裂极限,这个过程称为脱水(Kirby, McCormick, 1990)。10% 的地震产生在一个完全的蒸汽喷发后约 3 天内。这叫做完全喷发。有 90% 是不完全的,它们将会在 112 天内第二次喷发,而地震发生在第二次喷发后约 3 天内(图 4b)。由此地震预报的时间窗口最终可以缩短到一星期。

进一步的研究发现,第二次温度峰值伴随着第二次蒸汽喷发,如果它们之间有多于两个的温度峰值,那么它们应由邻近地区的蒸汽喷发所造成。

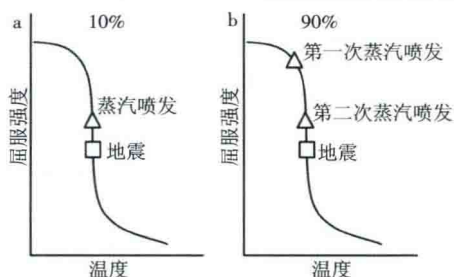


图4 脱水

1.7 地震前兆和地震的几个例子

(1) 1994年1月17日南加利福尼亚州北岭地震(6.7级)

图5为寿仲浩于1994年1月8日早晨当地时间7:30从美国南加利福尼亚州帕萨迪纳(Pasadena: 34.22, -118.54)的格林街(Green)和切斯特街(Chester)的交叉路口用地面建筑作为地标向西北方向拍摄的北岭地震云的照片。此云在7:15像火箭发射一样突然升起然后迅速向东北飘去,在7:50消失。气象学无法解释这种突然升起的云和它独特的形成与形态。据此,寿仲浩在1994年1月15日向美国地质调查局预报“在帕萨迪纳西北100 km范围、25天时间内将发生一次6级以上地震”。没想到美国机关周末无人值班,寿仲浩必须等待到1月17日周一上午9:30开门。寿仲浩不禁想起他的家乡中国杭州,尽管没有地震,但地震办每天都有人值班。1月17日早晨当地时间4:30一个6.7级地震发生在北岭(34.22, -118.54),即帕萨迪纳西北37 km的地方。这个预报的时间、地点、震级三要素全部正确。这个地震是在他预报地点和震级范围内从1971年2月10日以来唯一发生的大地震。寿仲浩曾持照片请教加州大学洛杉矶分校气象学特殊云专业教授,教授说这不是气象云,因为它看起来像升空的火箭。气象学无法解释这种突然垂直升起的云(图5)的事实和云与地震之间的高度吻合,展示了地震蒸汽是从震源18.4 km的深处喷出来的。图5中用黑圈标出了地震雾。

图6展示了1994年1月8日北岭地震云出现后,震中周围温度的变化。A(桑德贝格, Sandberg)、B(贝克斯菲尔德, Bakersfield Meadows Field)、C(波特维尔, Porterville)三地的温度分别升高了7.8℃、3.9℃和3.4℃,尽管它们的海拔很高。作为对比,其他地方温度没有多大变化,有的地方甚至降低。在此期间,南加利福尼亚州没有发生火灾。这说明北岭地震云含有巨大热量。云向东北方向飘移,A、B和C三个城市沿着内华达山处在下风向,并且离震中的距离依次是62 km、144 km和208 km,

温度的降低正好与距离的增加成反比。

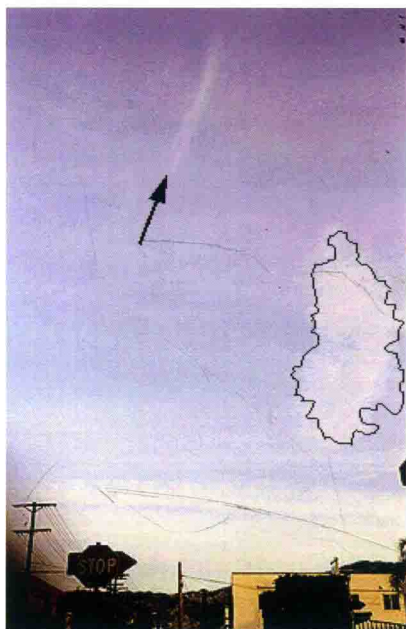


图5 北岭(Northridge)地震云

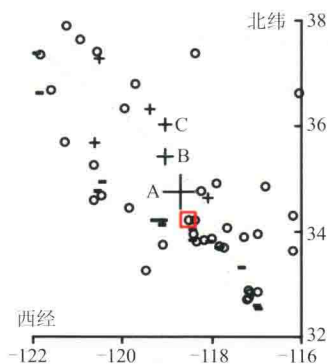


图6 1994年1月7至8日,北岭附近震中日最高温度的变化

注:红方块标绘北岭震中。正号、负号与圆圈依次标绘日最高温度的增加、减小和无显著变化($< \pm 2^\circ\text{C}$)。A—桑德贝格, B—贝克斯菲尔德, C—波特维尔。无标记的正号表示温度升高 $2\sim 3^\circ\text{C}$, 大小负号依次表示温度降低 $3\sim 4^\circ\text{C}$ 和 $2\sim 3^\circ\text{C}$ 。上述地震数据和温度数据依次来自美国地质调查局(<ftp://hazards.cr.usgs.gov/weekly>)和美国气象数据中心(National Climatic Data Center, NCDC) (<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>)。

空气是高绝热的,因此日最高温度在靠近喷口的上风向可以没有什么变化,甚至因为高温高压蒸汽快速上升,上层的冷空气迅速下降,形成一个对流,喷口的最高温度能够达到 $300\sim 1520^\circ\text{C}$,但很遗憾笔者没有查到这个记录。这可能有四个原因:第

一,在很接近喷口的地方没有气象台;第二,高热蒸汽因为高压快速上升;第三,空气是很好的热绝缘体;第四,太异常的高温常常会被气象台认定为差错而删去。图7展示了桑德贝格气象台的记录。这个气象台总是很有规律地按照 UTC 每小时“X:00”“X:08”“X:28”……记录温度,但它跳过了1月8日 UTC 17:00—18:00 和 22:00—22:28 的记录。这几个空白正是地震云喷发后温度快速上升的时刻。

桑德贝格气象站(图6中的A点)是离北岭地震蒸汽源下风向最近的气气象台,它为温度变化的动力学提供了证据。北岭地震云出现在1月8日 UTC 15:15(或者 LT 7:15),在这以后,温度就从 5℃ 上升到 17℃ (图7中的红实心方形)。作为对比,1月7日和1月9日温度没有什么变化。进一步,桑德贝格日最高温度从1月7日的 8.9℃ 上升到1月8日地震云出现日的一个峰值 16.7℃ (图8中的A)。然后日最高温度下降,1月16日又增加到另一个峰值(图8中的峰值B),这正好是北岭地震前一天。第二次峰值的发现为研究地震预报缩小时间窗口带来了希望。

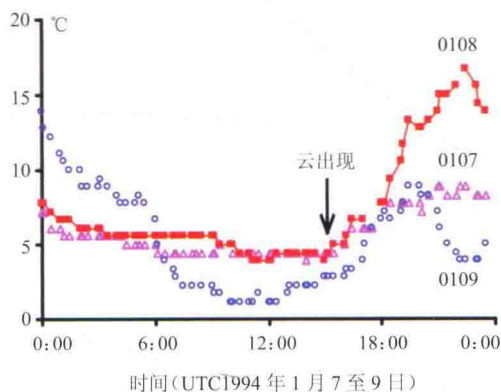


图7 1994年1月7至9日桑德贝格温度变化曲线

注:北岭地震云出现在1994年1月8日7:15或UTC15:15(箭头),数据来自NCDC。

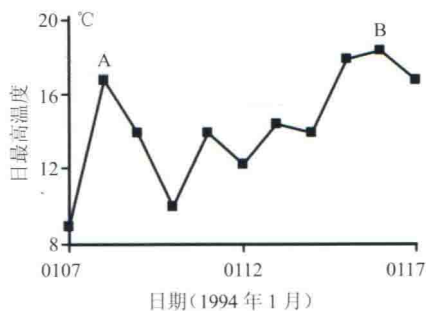


图8 1994年1月7至17日桑德贝格日最高温度记录

注:温度峰值A的日期与北岭地震云相吻合,峰值B在震前1天,温度数据来自NCDC。