

文章编号: 0253-3782(2001)05-0536-05

# 声波与表层土壤水分含量变化的实验研究<sup>\*</sup>

郭子祺<sup>1)</sup> 钱书清<sup>2)</sup>

1) 中国北京 100101 中国科学院遥感应用研究所

2) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所

**摘要** 为研究地面表层土壤中水分含量变化与震前记录到微震和极微震的关系,进行了声波与表层土壤含水量变化的实验.实验的目的是探讨震前微破裂引起的声波能否改变土壤表层的水分含量,从而建立起遥感图像中的热异常信息与孕震关系.通过实验发现,声波对土壤作用使得原本自然蒸发呈降低趋势的湿度值呈上升趋势,而土壤表面的温度呈下降趋势.

**关键词** 声波 遥感 土壤水分含量 微破裂

**中图分类号**: P315.72<sup>+3</sup>

**文献标识码**: A

## 引言

地震不是一个孤立事件,震源区也不是一个封闭的系统,它与区外的介质随时都可能具有能量和物质的交换,利用航天遥感技术来捕获地震前兆信息已成为可能.目前许多卫星都具有接收地表面发射的长波红外辐射的能力.已有学者(强祖基等,1990;耿乃光等,1992;徐秀登等,1995)对出现在震前遥感图像的热红外异常现象进行了初步的机理探讨和实验研究.卫星传感器探测的是地表的热红外辐射.从地表辐射能量来说,除个别的地热点外,太阳辐射能量的影响要大于地热流量.研究发现(Elachi, 1995; 马蔼乃, 1997),地表物质的热惯量与物质的含水量关系极为密切,每一细微的变化,都能引起热惯量的变化.在地表物质的日温度(辐射)中,热惯量起着决定的作用.在同等周日辐射值下,地表物质含水量的变化,能导致地表物质热惯量的改变进而引起地表温度的异常.因此,孕震过程中地表土壤水分含量的变化,有可能是引起震前地表热异常的一个原因.

震前记录到微震和极微震事件表明(徐永林等,1989),在主破裂发生前,已有不同幅度的声波传至地表.对于震前观测到的这种现象,在理论和实验方面都已进行了广泛的研究,普遍认为这是观测点附近岩石微破裂的结果.记录到的声波信号中,有较低频率的长周期,同时还叠加有高频信号.刘万琴等(1999)针对震前记录的这种现象,用弹性波理论和地震破裂成核理论进行研究,结果表明,震前亚临界扩展不是一次完成的,而是间歇性的,要经历多次反复才进入失稳阶段.在整个过程中将释放出声波.上述情况表明,震前已有声波作用于传播途径的介质中.区域应力场改变是引起对地表物质作用过程的主要原

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(49801014)资助项目.

2001-04-02 收到初稿, 2001-07-10 收到修改稿, 2001-08-02 决定采用.

因. 震源动力过程中产生的声波能量作用于地表的土壤中, 能否改变其含水量, 进而使温度产生变化, 是证实上述遥感热异常机制的关键. 为此目的, 进行了以下实验研究.

1 实验

实验系统由 16 TH 多通道温湿采集仪、SYC-3 声发射仪和声发射换能器组成. 温湿采集仪采用 12 位 AD 卡, 共有 16 个通道能同步采集多点的温湿度. 最高单通道采样频率是 100 kHz. 温湿度传感器精度分别为  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  和  $\pm 3\%$ . 该仪器在设计时采用单通道电流环, 采样点和主机间的传输线长度不会影响数据采集精度. SYC-3 声波多参数仪由声发射和声接收两部分组成. 声发射仪有 300 V 和 1 000 V 两种电压输出. 换能器采用大直径( $\phi 500\text{ mm}$ )P 波换能器, 其工作谐振频率是 100 kHz~1 kHz, 放置于土壤容器底部的中心. 图 1 为实验装置示意图.

土壤样品采自北京朝阳区大屯地下 2 m 左右深属中壤的黄褐土. 土壤颗粒与水分含量均匀. 均匀撒入 56 cm $\times$ 35 cm $\times$ 30 cm 的塑料容器中并压实, 让其内部的水分平衡并自然蒸散几天, 当表面土壤的水分含量(相对水分含量)小于 70% 时, 可进行实验.

共有 3 对温湿同点的传感器, 放置在离开土壤表层 1 cm 高度. 其中, 1 号探头放置在容器的中心点, 2 号探头位于 1 号探头的西侧, 3 号探头位于 1 号探头的北侧(图 1). 4 号探头放置之于容器外, 记录容器外环境温湿度信号, 可与容器中其它 3 个探头信号对比. 实验前先把 4 组探头置于同一点, 观测和测量同一点温湿度. 观测结果证明, 这 4 组探头的观测数据达到它们的精度.

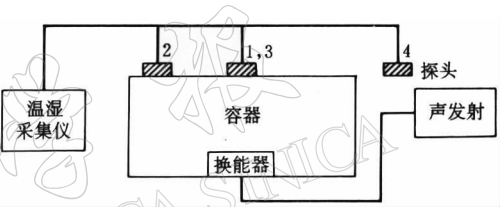


图 1 实验装置侧视示意图

实验环境对该实验影响至关重要, 良好的实验环境应是温湿度变化小的空间. 选择地下室进行该实验是我们采取的方案. 经测定, 地下室的温度波动范围小于  $0.5^{\circ}\text{C}$ , 而湿度波动范围小于 2%. 实验期间, 采用 1~3 号探头得到的数据减去 4 号探头同步观测的实验环境温度和湿度数据, 从而取得容器表面 3 个观测点的温度和湿度的相对值, 减少了环境温湿度波动的影响.

1.1 实验步骤

实验进行时, 是在打开声发射仪前, 让温湿数据采集仪记录土壤表层的自然蒸发状态, 进行不振动时的背景温湿度采集. 待到实验环境的温湿度变化不大, 达到基本稳定后, 再启动换能器(300 V 电压输出), 同时不间断记录温湿度值.

数据记录格式以文本方式保留, 采样的时间间隔和次数可以人为设定. 由于温湿传感器本身的响应时间因素, 本次实验设定采样次数为 120 次, 采样间隔为 10 分钟. 观测发现, 容器中土壤样品表层的水分在自然蒸发状态时, 以先快后慢的递减方式快速变化. 当采样数为 58、观测湿度值接近 70% 时, 再打开声发射仪.

1.2 实验结果

实验记录的数据在经过每个传感器的系统误差校正后, 温度和湿度的值各减去环境(探头位置 4)的对应值, 得出消除环境扰动的相对值. 数据经邻域平均法平滑处理后, 得到实验结果(图 2).

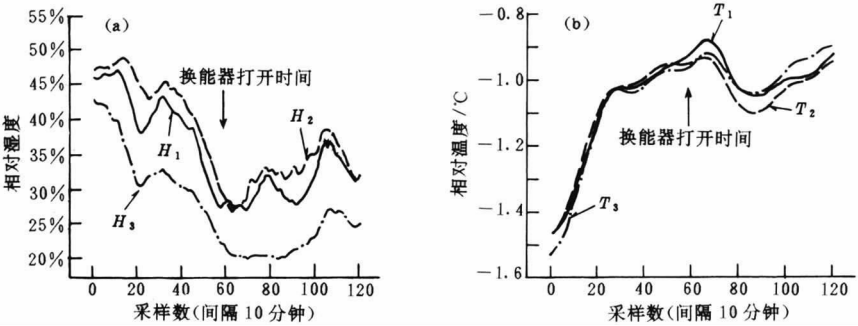


图 2 土壤表面水分含量相对湿度和温度值

初始时,各湿度传感器由于所处的位置不同,略有差异.其中,位置 3 偏离较大,其余两个位置上的值较为接近(图 2a).在未打开声波换能器之前,湿度相对值下降,温度相对值上升.打开之后,相对湿度的响应很快由下降转为上升.相对温度的上升势头保持一段时间后,才开始下降(图 2 b).三点测量的相对温湿度值,在整个过程中的变化趋势基本一致.

2 讨论

以位置 2 温湿度相对值实验结果为例(图 3),将整个实验过程分成 5 个阶段.在阶段 I,土壤内部水分呈自然平衡状态,土壤表层相对湿度在未打开换能器之前,呈下降趋势,相对温度却逐步递增;阶段 II,相对湿度有一个微小的调整后,下降态势加快,受环境温

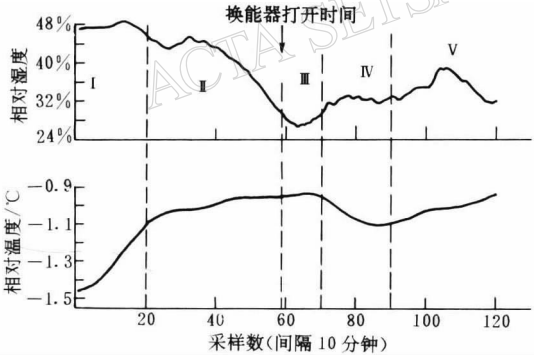


图 3 位置 2 温湿度变化量实验结果

度的控制,相对温度的变化却趋缓;阶段 III,在换能器打开之后,温湿度改变各自的变化趋势,但注意到,相对温度的改变要滞后于湿度;阶段 IV,是一个明显的湿度上升而温度下降的过程,可能是土壤表层的温湿度对声波作用 的响应;阶段 V,湿度上升加快一段时间后,开始下降,而温度却在上升.

上述实验结果明显表明(阶段 III, IV),土壤底部在受到震动源声波的作用后,土壤内部的水分受到激发,湿气上涌,使土壤表层的湿度增加,并在滞后一段时间后,造成土壤表层的温度下降.当湿度上涌维持一段时间后(阶段 V),土壤内部的水分含量减少,即使有声波作用,但仍呈现出下降的趋势,实验只能结束.

3 结论

震前孕震区的地表土壤含水量变化是一个复杂的过程,不是单一的作用过程.在区域

应力作用的过程中,地壳应力不断改变着地表土壤的压力势,疏密不同部位,引起地表土壤含水量的增减.密的地方,压力势大,水分运移能力强,地表的土壤水分含量增大;反之则减小.地表土壤水分含量与应力作用的过程是相对应的,在整个孕震区并不是呈单一的现象出现.声波作用过程是伴随区域应力作用过程进行的.这两种作用的结果叠加在同一个地区,是一个较复杂的过程,会有多种结果.

尽管有许多震前地温增高的记录,不少学者对这种征兆产生的机理进行了研究(蔡永恩等,1987;王庆良等,1998;黄广思,1993),但是同时也应注意到,在一些地面台站并没有记录到明显的地震热前兆,甚至记录的是震前地温下降.张北地震前的地温(地下深井温度测量),总体呈下降趋势,平均日变幅为 $-0.0001^{\circ}\text{C}$ (简春林等,1999).如延庆五里营地温测点在张北地震前,记录到测值从1997年11月25日开始缓慢下降,幅度为 $0.005^{\circ}\text{C}$ ,直到发震前一天,测值开始升高,幅度为 $0.004^{\circ}\text{C}$ .笔者利用 NOAA/AVHRR 卫星数据,反演出张北地震前后孕震区( $200\text{ km}\times 200\text{ km}$ )的地面温度(夜间)(图4).数据表明在震前20天,地面温度一直是下降的,只是到了震前3天,地面温度才开始升高.整个温度变化趋势呈下降态.煤岩破裂实验研究结果(吴立新,王金庄,1998)也表明,红外辐射温度除有先降后升外,同样也存在先升后降的现象.

综上所述,震前地表的温度变化过程并不一定是单一的升温过程,可能升,也可能降.

这取决于多种因素的综合作用结果.造成热信息异常的因素可以有多种,单纯用出现在 NOAA 卫星遥感影像热红外增温现象是无法确定一定与孕震过程相关.即使震前地温增高,地下微弱增温的效果反映到地表,但能否被星载红外传感器探测到也是个问题(注: NOAA 卫星传感器灵敏度大于  $0.5^{\circ}\text{C}$ ).通过这次实验研究,说明在孕震过程中也有可能引起地表土壤含水量的变化,导致地表物质热惯量的改变,从而引起地表温度的异常.这可能是震前热现象异常的一种机制.通过遥感热通道

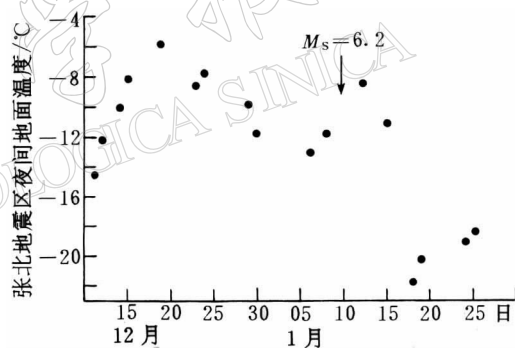


图4 NOAA/AVHRR 反演出张北地震前后孕震区夜间地面温度

信息(NOAA/AVHRR)直接探测土壤表层湿度,则可以间接探测来源于孕震过程中的声发射过程,从而获得震源体破裂过程信息,为地震短临预报提供一种新的前兆信息.

本实验得到中国地震局地球物理研究所李世愚研究员、刘晓红高级工程师和滕台湾研究员在实验仪器和实验环境等诸多方面的大力支持和帮助,在此表示感谢.

## 参 考 文 献

- 蔡永恩,殷有泉,王仁. 1987. 地震前断层蠕动与地温异常的探讨[J]. 地震学报, 9(2):167~175  
耿乃光,崔承禹,邓明德. 1992. 岩石破裂实验中的遥感观测与遥感岩石力学的开端[J]. 地震学报, 14(增刊): 645~652  
国家地震局科技监测司. 1995. 地震地下水手册[M]. 北京:地震出版社, 67~82

- 黄广思. 1993. 地温遥感预报地震的原理和方法[J]. 地壳形变与地震, **13**(1): 23~28
- 简春林, 孙振敖, 聂玉秋. 1999. 张北 6.2 级地震前五里营井水温与水位异常关系初探[J]. 地震, **19**(4): 326~331
- 刘万琴, 李世恩, 郑治真, 等. 1999. 破坏性矿震震前短临阶段震源过程研究[J]. 地震学报, **21**(1): 57~64
- 马蔼乃. 1997. 遥感信息模型[M]. 北京: 北京大学出版社, 57~58
- 潘琴龙, 冯德益. 1983. 孕震断裂的预扩展(亚稳态扩展)及震前长周期波的探讨[J]. 地球物理学报, **20**(增刊): 693~700
- 强祖基, 徐秀登, 赁常恭. 1990. 卫星热红外异常——临震前兆[J]. 科学通报, **35**(12): 1 324~1 327
- 王庆良, 王文萍, 梁伟锋, 等. 1998. 应力-耗散热地温前兆机理研究[J]. 地震学报, **20**(5): 529~534
- 吴立新, 王金庄. 1998. 煤岩受压红外热像与辐射温度特征实验[J]. 中国科学, D 辑, **28**(1): 41~46
- 徐秀登, 徐向民, 马升灯, 等. 1995. 临震大气增温异常成因的初步认识[J]. 地震学报, **17**(1): 123~127
- 徐永林, 沈萍, 郑治真. 1989. 莒县地声台网与地声数据处理系统[J]. 地震学报, **11**(6): 652~656
- Elachi C 著. 1987; 王松皋, 胡蓓欣, 王维和, 等译. 1995. 遥感的物理学和技术概论[M]. 北京: 气象出版社, 90~112

## EXPERIMENTAL STUDY ON THE RELATION BETWEEN THE WATER CONTENT OF SURFACE SOIL AND THE ACOUSTIC WAVE

Guo Ziqi<sup>1)</sup> Qian Shuqing<sup>2)</sup>

1) *The Opening Laboratory of Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*

2) *Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China*

**Abstract:** In order to investigate the relation between the water content changing of surface soil and micro-quake recorded before earthquakes, we carried out a simulation experiment in laboratory. Its purpose is to explore whether the acoustic wave generated by micro-fracturing before earthquake are able to change water content of surface soil, so as to understand the relation between thermal anomaly in the remote sensing image got from the seismogenic area and the coming earthquake. The result of the experiment shows that when the acoustic wave enters into the surface soil the water content here increases on the background of decreasing because of natural evaporation. In the meantime, temperature here decreases.

**Key words:** acoustic wave; remote sensing; water content in soil; micro-fracturing