

熊先保, 黄晓华, 杨 婕, 等. 施工振动对水管倾斜仪观测干扰的定量分析[J]. 华南地震, 2018, 38 (1): 91-94. [XIONG Xianbao, HUANG Xiaohua, YANG Jie, et al Quantitative Analysis of Construction Vibration for Observed Interference of Water Tube Tilt Meter[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(1): 91-94.]

## 施工振动对水管倾斜仪观测干扰的定量分析

熊先保, 黄晓华, 杨 婕, 徐智明, 林立峰

(福建省地震局厦门地震台, 福建 厦门 361003)

**摘要:** 从理想流体的欧拉动力学方程出发, 通过建立水管倾斜仪一端钵体受施工干扰的理论模型, 计算钵体中液面因施工带来的高差变化, 并与实际观测资料进行比较。结果表明: 施工干扰的力源是直接通过基岩传递到水管倾斜仪基座与位移传感器上而非通过钵体中液体; 施工振动干扰只表现在幅度上。

**关键词:** 施工振动; 水管倾斜仪; 观测干扰; 定量分析; 理论模型

中图分类号: P315.75      文献标志码: A      文章编号: 1001-8662 (2018) 01-0091-04

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.01.012

## Quantitative Analysis of Construction Vibration for Observed Interference of Water Tube Tilt Meter

XIONG Xianbao, HUANG Xiaohua, YANG Jie, XU Zhiming, LIN Lifeng

(Xiamen Seismic Station, Fujian Earthquake Agency, Xiamen 361003, China)

**Abstract:** Starting from the euler dynamic equation of ideal fluid, the paper calculates water surface altitude difference change in the pot body due to construction through establishing theory model of water tube tilt meter that one end of the pot body is disturbed by construction, and compares with the actual observed data. The results showed that: the force source of construction disturbance passed on the water tube tilt meter base and displacement sensors through the bedrock directly, rather than through the liquid in the pot body; construction vibration interference displays only on the amplitude.

**Keywords:** Construction vibration; Water tube tilt meter; Observed interference; Quantitative Analysis; Theory model

收稿日期: 2017-12-08

基金项目: 中国地震局监测、预测、科研三结合课题(CEA-JC/3JH-161303)

作者简介: 熊先保(1963-), 男, 高级工程师, 主要从事地形变观测与研究工作。

E-mail: xxb1963@163.com.

## 0 引言

地震台站在进行定点地形变观测时,仪器所受到的环境干扰往往有两种:一是动态(高频)干扰,其特点是荷载的快速移动,如人员的快速走动、车辆的高速行驶等;另一种则为非静态或准静态的(低频)干扰,其特点是荷载量缓慢增减或移动缓慢,如海潮涨落、大型仓储场地装卸等。硐室改造过程中的施工振动是对仪器观测的一种最为直接、最为强烈的动态干扰,其特点是距离近、强度大。目前,国内涉及到定点地形变观测干扰的研究主要集中在如下几个方面:一是从理论上对静态或准静态干扰进行探讨(如荷载形式的干扰)<sup>[1-2]</sup>;二是有涉及到动态干扰,但基本上是从现象到现象、从观测数据到观测数据进行相关分析与研究(如降雨、气压等因素的干扰)等<sup>[3-5]</sup>;三是设计有关模型,通过模型的理论计算对仪器能产生多大的干扰<sup>[6]</sup>。本文试图从观测理论出发,对水管仪观测过程中受到的施工振动(高频干扰)进行分析和探讨,以期能说明施工振动对仪器观测干扰的实质,为后续观测和其它台站遇到类似问题能提供一定的理论指导,这对于台站提高观测资料质量和地震预测预报水平具有一定的实践意义。

## 1 振动干扰分析的理论基础

水管倾斜仪在正常工作时,一般都认为两端钵体中液面随时都处于静平衡状态之中,这是我们观测固体潮汐的理论基础。根据理想流体的欧拉动力学方程,此时液面在水管倾斜仪中的运动方程为<sup>[7]</sup>:

$$\frac{d^2 h(t)}{dt^2} + 2\beta\omega_0 \frac{dh(t)}{dt} + \omega_0^2 h(t) = 0 \quad (1)$$

式(1)中,  $h(t)$  为偏离平衡位置的距离,  $\beta$  为液面运动的阻尼系数,一般仪器工作在  $\beta=1$  状态,并由此确定仪器的各种指标,  $\omega_0$  为液面振动的固有频率,它和水管仪钵体的内圆面积  $A$ 、细管内截面积  $a$  及管长  $l$  有关。

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{(\frac{A}{2a})l}} \quad (2)$$

式(2)中,  $g$  为重力加速度。

施工振动时,力源  $P$  虽然没有直接作用在水管倾斜仪中的液体上,但可以通过地下介质传递到水管倾斜仪的液体上。本文中就假设将这种作

用认为是在液面上施加了一个随时间作周期性变化的策动力,从而使得管中的液体作受迫振动。为简化起见,认为该策动力是按正弦周期变化的,此时方程(1)的右端应加上一项而变为方程(3)。

$$\frac{d^2 h(t)}{dt^2} + 2\beta\omega_0 \frac{dh(t)}{dt} + \omega_0^2 h(t) = \kappa \sin \omega t \quad (3)$$

其中,  $\kappa$  是与振动力源  $P$  的大小、施工周围介质的性质以及施工方位有关的常数,  $\omega$  为策动力频率。当  $\beta=1$  时,方程(3)的解<sup>[8]</sup>为:

$$h(t) = h_0(1 + \omega_0 t) e^{-\omega_0 t} - \frac{(\omega^2 - \omega_0^2)k}{\omega^4 + \omega_0^4} \sin \omega t - \frac{2\omega\omega_0 k}{\omega^4 + \omega_0^4} \cos \omega t \quad (4)$$

$$\cos \omega t = h_1(t) + h_2(t) + h_3(t) \quad (4)$$

$$h_1(t) = h_0(1 + \omega_0 t) e^{-\omega_0 t} \quad (5)$$

$$h_2(t) = -\frac{(\omega^2 - \omega_0^2)k}{\omega^4 + \omega_0^4} \sin \omega t \quad (6)$$

$$h_3(t) = -\frac{2\omega\omega_0 k}{\omega^4 + \omega_0^4} \cos \omega t \quad (7)$$

式中,  $h_0$  为液面偏离平衡位置的最大距离。 $h_1(t)$  为阻尼系数  $\beta=1$  时的本征解,它所反映的是仪器日常固体潮观测的准静态变化,  $h_2(t)$ 、 $h_3(t)$  就是振动力源  $P$  对水管倾斜仪的干扰项。

## 2 应用实例

2011年3月11日至7月31日,厦门台水管仪南北分量仪器槽内源源不断向外渗水,日出水量大约在 400 kg 左右,水位基本上与仪器墩高度齐平。为了保证观测仪器的正常运行,观测人员必须每天定时下地洞抽水,以保障观测仪器不被水淹,同时也对山洞排水系统进行改造。施工点位于水管仪钵体端垂直于基线 0.5 m 处,施工机器为重约 300 kg 的切割机切开基岩,由此可以假定上述式(3)中的基本常数  $\kappa$  与  $\omega$  分别为<sup>[9]</sup>:

$\omega = 2\pi f$ , 即市电频率,亦即干扰源频率。

$$\kappa = \frac{P(1+\gamma)(1-\gamma)}{\pi E} \left( \frac{1}{0.5} - \frac{l}{\sqrt{0.5^2 + l^2}} \right) \quad (8)$$

厦门台山洞内,  $\gamma=0.232\ 06$ ,  $E=8.695\ 2 \times 10^{10}$  Pa,  $P=300 \times 9.8$  N,  $l=16.78$  m,  $h_0=2.083\ 8 \times 10^{-7}$  m, 将涉及到的有关数据代入(4)、(8)式,得到  $h(t)$  随时间变化的图像,如图 1 所示,结果与其本征解  $h_1(t)$  图像极为相似。 $h_2(t)$ 、 $h_3(t)$  中变化的最大幅度约为  $10^{-13}$  m 量级,基本上不对  $h_1(t)$  造成影响,相比之下,  $h_2(t)$ 、 $h_3(t)$  可以忽略不计。

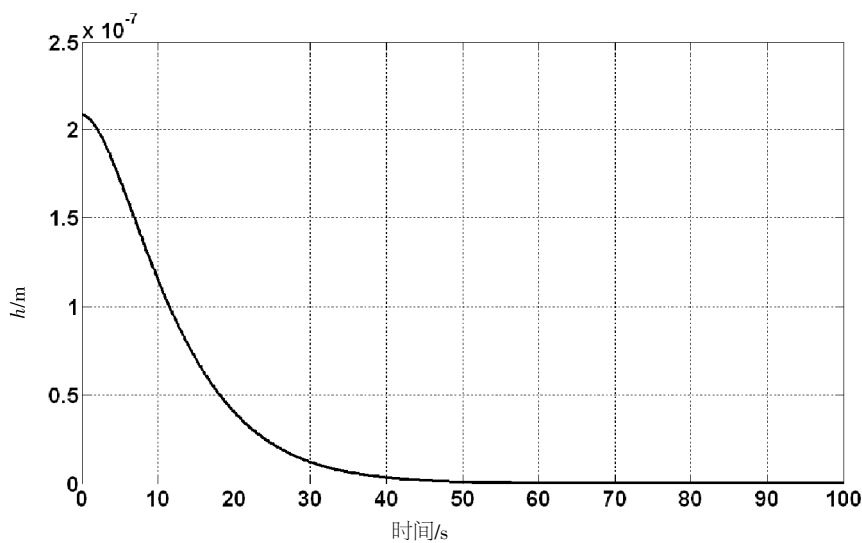


图 1 施工振动时钵体液面位置随时间变化的关系

Fig.1 Variation relationship between position of liquid level in the pot body and time while construction vibration

然而，在原始数据图像上，水管倾斜仪却记录到了很大的干扰，其幅度堪比固体潮日变化值，图 2 为数据归零后，水管倾斜仪实际记录到的施工振动干扰图像。由图 2 可知，施工振动造成的

干扰幅度约在 150 毫角秒左右，换算成钵体液面变化的最大幅度约为  $1.22\times10^{-5}$  m，远大于上述  $h_2(t)$ 、 $h_3(t)$  中最大振幅，可见，力源 P 通过地下介质的传递，在液面上施加了一个随时间作周期性变化的策动力的推测是不正确的。

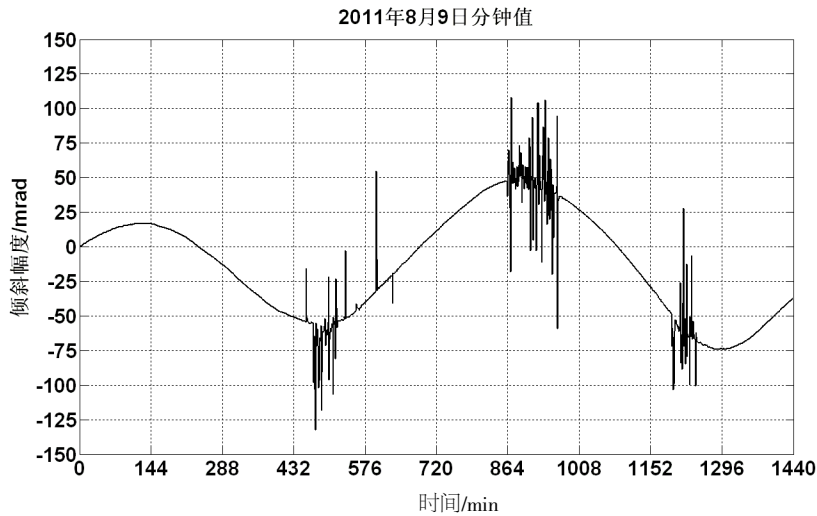


图 2 水管倾斜仪记录到的施工振动干扰(全天资料)

Fig.2 Construction vibration interference recorded by water tube tilt meter(all data)

3 施工振动干扰和一般荷载干扰的区别

施工振动干扰的力源强度小但振动频率高，距离观测仪器近，其典型特征为叠加在固体潮曲线之上的高频干扰，如图 2 所示，强度大并且衰减快，一旦停止施工，水管仪便能立即投入到正常的观测之中，无滞后效应，不会造成固体潮曲线整体形态的畸变。图 3 是在图 2 的基础上画出

了施工振动对观测干扰的局部放大细节，从而较为清晰地看到这种干扰的特点。而一般荷载干扰的力源是强度大但变化速度缓慢，基本上处于准静态平衡中，对观测所造成的影响是能引起固体潮曲线形态发生畸变。图 4 为海潮荷载对垂直摆倾斜仪观测造成的干扰，图中明显地看到固体潮曲线发生了畸变<sup>[10]</sup>。

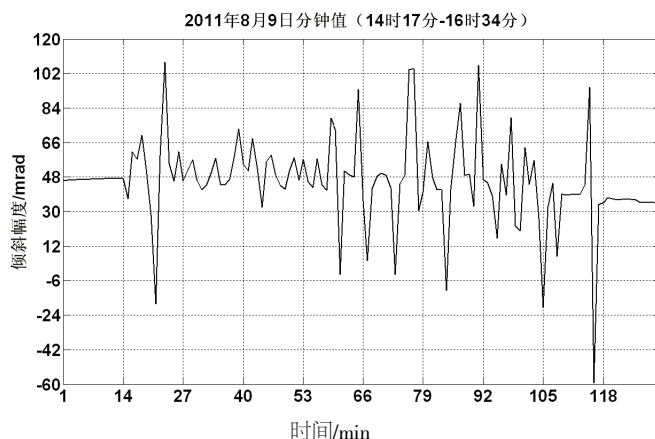


图3 水管倾斜仪记录到的施工振动干扰(局部资料)

Fig.3 Construction vibration interference recorded by water tube tilt meter (local information)

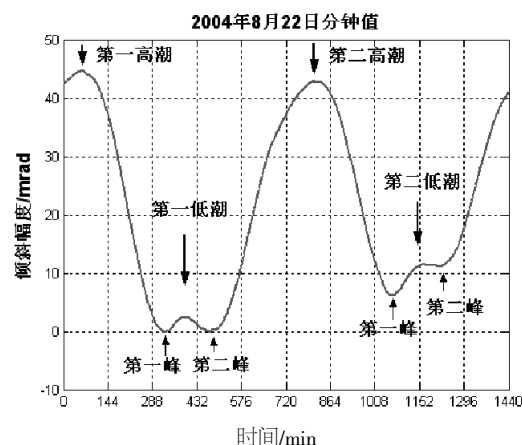


图4 厦门台垂直摆倾斜仪记录到的海潮干扰

Fig.4 Sea tide interference recorded by vertical pendulum tilt meter in Xiamen Seismic Station

## 4 误差分析

上述理论模型是建立在理想流体的欧拉动力学方程基础之上的,这与观测中实际情况存在着较大的误差,这些误差包括:

(1) 实际的力源是作用在固体地面之上的,而非直接作用在钵体液面上。

(2) 力的传导在固-液界面存在边界效应,正是该效应减小了理论计算值远小于实际观测值。虽然该模型的设计不是很理想,但这样的结果恰好从另一角度说明了水管倾斜仪的抗干扰能力、特别是抗高频干扰能力较强,将之应用于监测地下介质结构缓慢变形从而达到地震前兆异常探测的目的是完全可行的<sup>[1]</sup>。

## 5 结语

通过理论计算得到的结论与实际观测结果对比后发现,施工振动对仪器的干扰并非力源通过地下介质作用在钵体液面上的,应该是力源引起周围岩石的振动,再将这种振动直接传递到水管倾斜仪基座与位移传感器上,对观测资料造成了巨大的干扰。

## 参考文献:

- [1] 熊先保,张远城,徐智明,等. 新增大楼对地倾斜观测的影响[J]. 地壳形变与地震,2000,20(4):78-82.
- [2] 金克俭,叶传潜,韩月鹏. 地倾斜干扰因素的典型图象分类与说明[J]. 地壳形变与地震,1986,6(2):131-13.

- [3] 崔庆谷,杨玲英,蔡绍平,等. 系统动态特性对重力、地倾斜仪器抗干扰性能的影响[J]. 地震研究,2008,31(4):394-398.
- [4] 汪翠枝,张磊,刘双庆,等. 定点形变观测的降雨干扰及排除方法研究[J]. 华北地震科学,2010,28(1):42-47.
- [5] 赵爱平,周红艳. 九江地震台观测环境因素引起的洞体应变异常机理探讨[J]. 大地测量与地球动力学,2015,35(3):537-542.
- [6] 周江存,许厚泽,孙和平. 中国台湾地区海洋负荷潮汐对重力、位移、倾斜和应变固体潮观测的影响[J]. 大地测量与地球动力学,2002,22(1):81-86.
- [7] 中国地震局监测预报司. 地壳地形变数字观测技术[M]. 北京:地震出版社,2003:2-6.
- [8] 樊映川. 高等数学讲义[M]. 北京:人民教育出版社,1964:174-226.
- [9] 尹祥础. 固体力学[M]. 北京:地震出版社,2011:210-213.
- [10] 熊先保,黄晓华,杨婕,等. 厦门台地倾斜观测资料中海潮干扰的综合特征[J]. 大地测量与地球动力学,2009,29(2):43-47.
- [11] 熊先保,黄晓华,杨婕,等. 从三次地震来讨论厦门台地形变仪器的监测能力[J]. 地震研究,2009,32(1):31-35.