

VP 型宽频带潮汐观测仪的研制^①

马武刚, 吴艳霞, 胡国庆

(中国地震局地震研究所地震大地测量重点实验室, 湖北 武汉 430071)

摘要: 摆式潮汐观测仪是记录由天体相互作用力引起的地倾斜固体潮变化的地震前兆观测设备。基于 VP 型宽频带潮汐观测仪的研制过程论述其原理及应用, 得出 VP 型宽频带潮汐观测仪具有频带宽、易操作、采样率高的特点。

关键词: VP 型; 宽频带; 自动调零; VS 型

中图分类号: P315.62

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)03-0873-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.03.0873

Development of VP-type Broadband Tide Meter

MA Wu-gang, WU Yan-xia, HU Guo-qing

(Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, Hubei, China)

Abstract: The VP-type broadband tide meter was developed by improving the circuit system, mechanical system, data acquisition system, and control system on the basis of VS vertical pendulum tiltmeter, a kind of seismological observation instrument used to record earth tides. A good design of the mode of oscillation circuit and zero circuit was needed to improve the circuit system, because it could simplify the instrument circuit, reduce the failure rate caused by electronic circuit, make the continuous operation stable. A reasonable mechanical instrument design, including the design of automatic zero adjustment mechanism and instrument chassis, can simplify the whole structure, make the weight and dimension of the instrument smaller, and easy to be transported and installed. The improvement of data acquisition system includes the improvement of sampling rate, the increase of sampling channel and data storage capacity, and the design of switch control channel. The automatic zero adjustment function was also added. Compared with traditional tiltmeters, VP-type broadband tide meter is easy to install and maintain, for it can store more data and realize remote auto zero. The most obvious advantage of it is that its response to high-frequency signal is sensitive by improving the circuit and mechanical systems, and it can record more seismic information to better service for the earthquake prediction.

Key words: VP; broadband; auto-zeroing; VS

0 引言

竖直摆式潮汐观测仪(亦称垂直摆倾斜仪)^[1]是记录倾斜固体潮的地形变观测设备,是三种洞体倾斜仪(水管倾斜仪、垂直摆倾斜仪、水平摆倾斜仪)中

的一种。与水管倾斜仪和石英水平摆倾斜仪相比,垂直摆倾斜仪在传感器方式、机械结构、电路结构和运行维护等方面更简单实用,因此它作为地形变观测的主要设备在地震系统得到了广泛应用^[2]。VP

① 收稿日期: 2014-07-04

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划攻关项目(XH15030); 中国地震局公益性行业科研专项(201208002); 中国地震局地震科技星火计划攻关项目(XH14034)

作者简介: 马武刚,男,助理研究员,现主要从事宽频带地震仪器(垂直摆倾斜仪和相对重力仪)的研发工作。

E-mail: matianitian123@163.com。

型宽频带倾斜仪是近年新研制的垂直摆倾斜仪,本文主要从仪器的设计原理、电路结构、机械设计和应用等方面对 VP 型宽频带倾斜仪进行论述,并与同类型的传统 VS 型垂直摆倾斜仪进行比较,得出 VP 型宽频带倾斜仪具有设计简单,安装维护方便,记录固体潮信息更多,精度更高的结论。

1 设计原理分析

仪器设计原理:先由高精度差分式电容位移传感器拾取地倾斜固体潮信号(水平而非垂直应变信号)^[5],然后通过放大、滤波、整形等信号调理电路把这种微变信号转变为电压信号,再通过数据采集器记录电压信号,还原成固体潮信息。此设计原理的核心为高精度电容式位移传感器(图 1)。在电容测微器中采用三片式的差动位移传感器,中间为活动板,两边为固定板。由于动板离零位的距离 ΔL 与传感器的输出电压 U_3 成正比,故由 U_3 可以求出动板与零位的距离,即可根据输出电压的变化量求出动板位移的变化量。

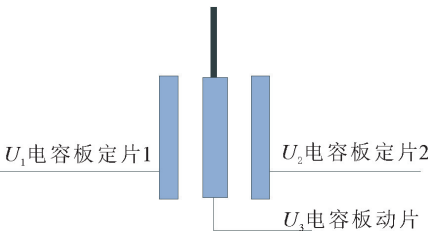


图 1 电容传感器结构图
Fig.1 Structure of capacitance sensor

基于此设计原理,结合 VS 垂直摆倾斜仪使用过程中出现的问题,VP 型宽频带倾斜仪对仪器的机械和电路等方面进行了设计,具体表现在以下四个方面。

1.1 机械设计

(1) 电容位移传感器机械设计

电容传感器设计包括:①稳定的垂直摆悬挂机构主题支架;②高度平行的定片;③可垂直方向自由摆动的动片;④可靠的锁摆机构。其中柔丝由两根 $0.02\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 3J53 衡弹性合金制成。加厚的传感器外屏蔽罩和双层(高强度 AB 胶和 703 防水硅橡胶)密封胶的方式,使得仪器的气密性得到显著改善。具体结构如图 2 所示。

(2) 仪器底盘设计。底盘作为垂直摆倾斜仪传感器的承载体,一方面决定了传感器的基线长度,另一方面也决定了传感器自身结构的稳定性。对于基

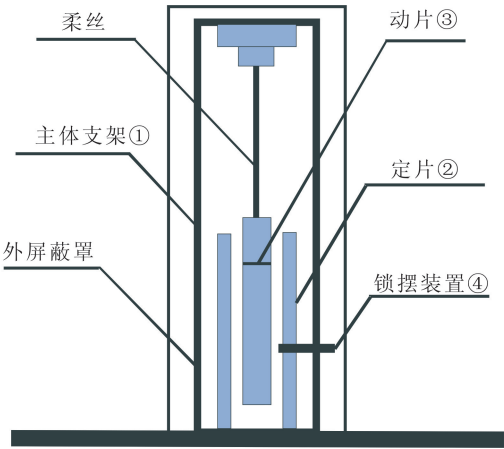


图 2 垂直摆机械结构图
Fig.2 Mechanical structure of the vertical pendulum

线式观测设备,基线越长信噪比越高,所以底盘的设计要兼顾仪器的稳定性和信噪比。VP 型宽频带倾斜仪的底盘采取了与 VS 型垂直摆倾斜仪不同的形状^[3],即等腰直角三角形。这种形状使其获得了比等边三角形更长的基线,但降低了少许稳定性,对此等腰直角三角形底盘通过加厚来进行弥补。图 3 为投入实际观测的 VP 型宽频带倾斜仪外观。



图 3 VP 型宽频带倾斜仪本体
Fig.3 VP vertical pendulum tiltmeter

1.2 电路设计

(1) 信号调理端振荡电路设计。

振荡电路通常包括正弦振荡电路和方波振荡电路。在垂直摆倾斜仪中,它的主要作用是既为电容传感器的定片提供激励信号又为同步检波电路提供同步信号。

VS 型垂直摆倾斜仪采用正弦波振荡电路,具体原理如图 4 所示:首先启动程控时钟信号发生器,送出时钟频率 f , f 推动一个顺序地址发生器,产生连续变化的地址,将 EPROM 中存储的正弦信号编码内容顺序读出,然后通过锁存器及 DAC 输出正弦波形中的一个电压点;循环进行产生一个波形

输出。其优势在于正弦波是频率单纯的波,无高次谐波成分,因此抗干扰能力优于方波电路。

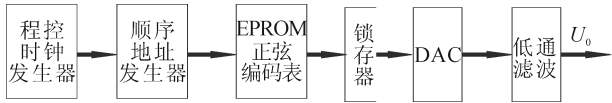


图 4 正弦波发生器
Fig.4 Sine wave generator

VP 型宽频带倾斜仪采用方波振荡电路,由运放和 RC 构成方波电路,并由 4069 芯片进行整形和反向,空比为 1 : 1 的两路大小相等、相位相反的方波。方波电路简单,调试方便,易起振,方波形态较好,但是方波信号较容易受到干扰,不能接感性负载。

图 5 中 R_1 和 C_1 及 U_1 构成 RC 振荡电路,振荡信号通过芯片 CD4069(图中 U2A)进行整形输出,得到稳定的时间常数为 RC 的方波振荡信号。

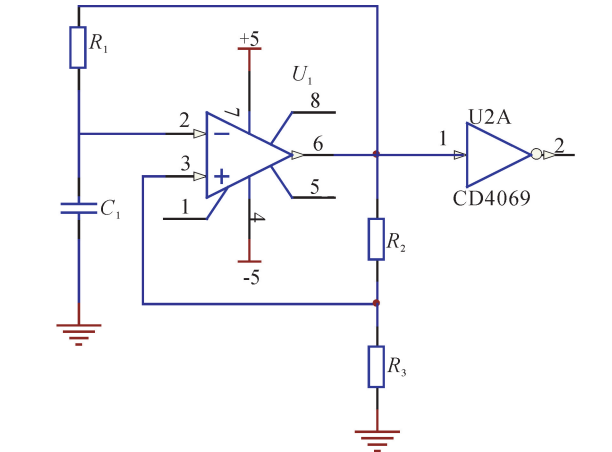


图 5 振荡电路
Fig.5 Oscillating circuit

由以上分析可知:VP 型宽频带倾斜仪的设计采用方波振荡信号,该方波震荡信号的有效值远大于采用正弦波振荡的 VS 垂直摆倾斜仪。由于振荡信号幅度增强,所以传感器输出信号幅度也得到加强,从而可以降低后端放大电路的放大倍数,使得仪器的滤波常数得到降低,使仪器的频带宽度得到拓展。同时 VP 宽频带倾斜仪采用比例放大电路,提高了放大器的增益稳定性,减小了噪声,提高了信噪比,也拓展了仪器的频带宽度。

(2) 数据采集器设计。
采样率是指仪器提取记录原始数据的速率。VP 型采样率为 1 次/秒,比 VS 型采样率提高了 60 倍,并且相应的数据存储空间增大为原有的 30 倍。通过如此改进,VP 型宽频带倾斜仪能够比 VS 型垂

直摆倾斜仪记录更多的地震信息和存储更多的固体潮数据。

此外,VP 型宽频带倾斜仪数据采集器增加了以下新的功能:远程格值修改,单分量调零,单分量标定,单分量记录数据屏蔽等。表 1 给出了 VP 型宽频带倾斜仪数据采集器性能参数表。

表 1 VP 型垂直摆倾斜仪数据采集器性能参数
Table 1 Performance parameters for data acquisition unit of VP vertical pendulum tiltmeter

参数	指标
电源	直流:7~40 V;交流:100~240 V,自动切换。
功耗	<1.5 W 8 通道,单端或差分输入;AD 位数:4 位
采集通道	半(相当于 14 位)/5 位半(相当于 17 位)/24 位
采样率	1 分钟
控制通道	4~8 路开关量输出(继电器输出),3 路步进电机输出
支持协议	指令控制协议(符合《规程》),HTTP,SNTP,TCP,UDP,ARP,ICMP
通信速率	不低于 10 Mbps
存储器空间	网页:128 k;数据:512 k~16 M;内存:128 k,掉电保存储器:32~96 k
时钟	有,精度 18/天,手动或 SNTP 自动对时
RS232 串行口	有,2 个
看门狗自复位功能	有
防静电、雷击措施	有

1.3 自动调零设计

由于仪器所处观测环境等外因和仪器自身电子元件、机械结构等内因两方面的综合影响,高精度地形变观测仪器本身都存在“零漂”现象。为了减小“零漂”对观测数据的影响,需要人工干预把地形变观测仪器的传感器调整至观测的初始状态。

VP 型垂直摆倾斜仪具有远程自动调零功能(通过网络指令),能对仪器的“零位”进行远程调整,并达到 200 mV 以内的调整精度;而传统的 VS 型垂直摆倾斜仪采取人工调零的方式,需要工作人员进入山洞现场对仪器进行操作。这样工作人员本身的重量和其操作熟练程度都会对仪器的调零精度产生影响,也会增加工作量。

图 6 为 VP 型宽频带倾斜仪自动调零结果,并给出了 VS 垂直摆倾斜仪手工调零结果。由图可以看出:VP 型宽频带倾斜仪的调零未产生往复动作,并且东西方向仪器调零操作未影响到南北方向仪器的记录;VS 型垂直摆倾斜仪的调零产生了往复动作,南北向仪器调零操作使得东西向仪器记录产生了异常。

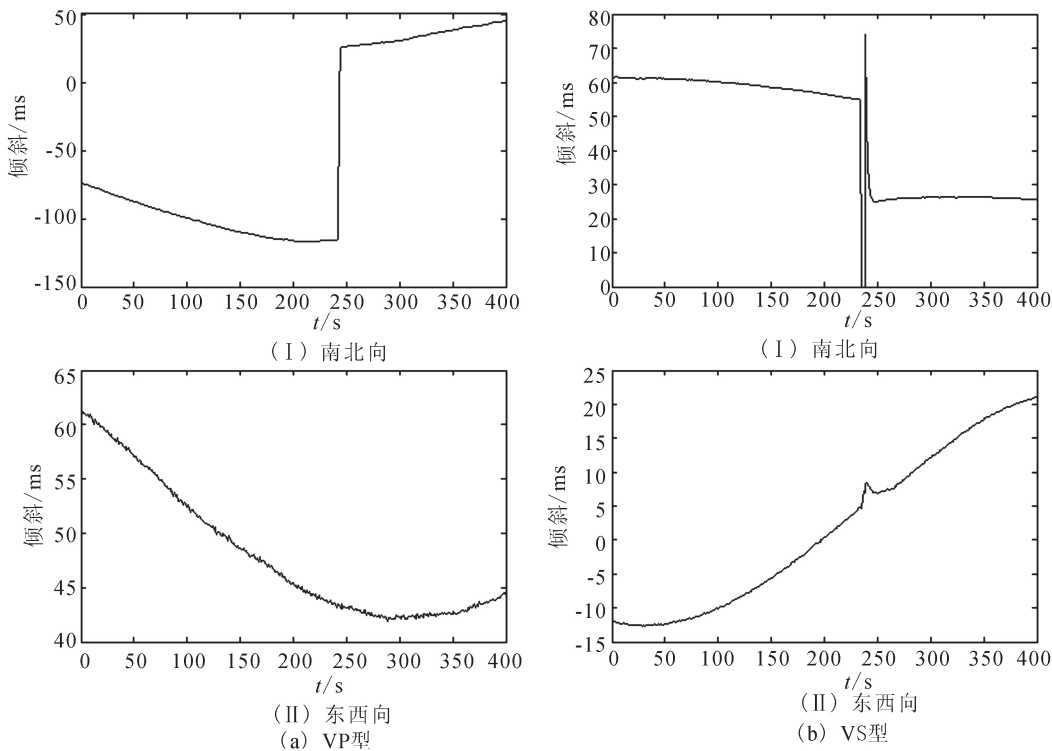


图 6 调零曲线比较图

Fig.6 Zeroing curves comparison between VP and VS

2 应用分析

根据中国地震局前兆台网入网仪器规范要求，VP 型宽频带倾斜仪建立了包括出厂平台校准和现场静电校准等在内的完善的测试方案，因此能够提供格值、分辨率、校准重复性等技术参数^[4]，使得仪器更加规范、更适合产业化。目前该仪器已在国内 50 多个地震前兆台网布设安装，并运行良好。以下是其应用实例：

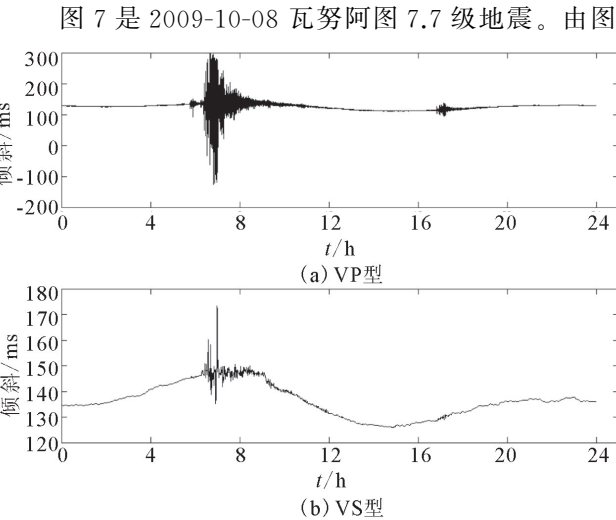


图 7 仪器记录曲线

Fig.7 Comparison of the recording curves

可见，两种仪器同一方向的记录曲线对比，VP 型比 VS 型记录到了更多的地震信息，同震响应更加明显^[7]，而且记录的地震幅度也明显较大。

表 2 为湖北省宜昌地震台三种倾斜观测设备 2009 年倾斜观测 EW 向潮汐因子中误差统计。从表 2 中可以看出，VP 型宽频带倾斜仪观测的潮汐因子中误差优于 VS 型垂直摆倾斜仪、水管倾斜仪，该仪器受环境干扰影响小于同类倾斜仪，稳定性较高。

表 2 观测精度比较

Table 2 Comparison of the observation accuracy

月份	VP 宽频带摆倾斜仪	水管倾斜仪	VS 型垂直摆倾斜仪
1	0.001 7	0.018 7	0.008 9
2	0.001 5	0.002 5	0.003 1
3	0.001 3	0.002	0.002 9
4	0.007 1	0.002	0.002 6
5	0.004 0	0.004 7	0.004 7
6	0.006 1	0.003 1	0.016 1
7	0.003 8	0.010 2	0.008 6
8	0.003 7	0.002 7	0.007 4
9	0.006 7	0.005 3	0.008 9
均值	0.004 0	0.005 7	0.007 0

3 结论

结合 VP 宽频带倾斜仪的研制过程，论述其设计原理、机械电路结构、应用状况等。与传统垂直摆倾斜仪相比，新型的 VP 型宽频带倾斜仪的频带宽

度可达 84 s 到直流频段,能够记录到更多的地震前兆信息;机械电路设计合理规范使得其安装调试方便快捷,运行维护亦可实现远程自动调零控制功能;数据采集器采集存储速率更快,存储容量更大。所以该仪器具有良好的使用前景,但目前只停留在记录固体潮层面,与实现监测预报地震还有很大距离,所以发展新型传感器^[6]、创新设计思想应该成为广大地震仪器工作者努力的方向。

参考文献(References)

[1] 马武刚,胡国庆,谭业春.新型宽频带垂直摆倾斜仪设计与应用[J].测绘信息与工程,2010(5):28-30.
MA Wu-gang, HU Guo-qing, TAN Ye-chun. Design & Application of New Wide Frequency Band Vertical Pendulum Tiltmeter[J]. Journal of Geomatics, 2010(5): 28-30. (in Chinese)

[2] 肖峻,莫易敏,胡国庆.基于固体潮观测的高精度垂直摆倾斜仪[J].武汉大学学报:信息科学版,2004,29(11):973-976.
XIAO Jun, MO Yi-min, HU Guo-qing. High Precision Vertical Pendulum Tiltmeter for Measuring Earth Tide[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29(11): 973-976. (in Chinese)

[3] 胡国新,李树德,杜瑞林,等.倾斜仪调平平台的误差分析[J].大地测量与地球动力学,2012,32(4):156-159.

HU Guo-xin, LI Shu-de, DU Rui-lin. Error Analysis of Tiltmeter Level Platform[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(4): 156-159. (in Chinese)

[4] 马武刚,卢海燕,胡国庆,等.VP 型垂直摆倾斜仪校准装置的设计[J].大地测量与地球动力学,2012,32(4):152-155.
MA Wu-gang, LU Hai-yan, HU Guo-qing, et al. Design of Calibration Device for VP Vertical Pendulum Tiltmeter[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(4): 152-155. (in Chinese)

[5] 杨江,杜为民.垂直应变的研究意义及模型分析[J].西北地震学报,2012,34(4):355-358.
YANG Jiang, DU Wei-ming. The Research Significance and Model Analysis of Vertical Strain[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(4): 355-358. (in Chinese)

[6] 杨江,王平.基于 CCD 的高精度水管倾斜仪研制[J].西北地震学报,2011,33(4):359-362.
YANG Jiang, WANG Ping. Development of High Precision Water Pipe Inclinator Based on CCD[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(4): 359-362. (in Chinese)

[7] 方燕勋,卞根发,惠若愚.湖州台高采样率倾斜仪同震响应初析[J].地震工程学报,2014,36(1):628-633.
FANG Yan-xun, BIAN Geng-fa, HUI Ruo-yu. Preliminary Analysis of Coseismic Response of Tiltmeters with High Sampling Rate Used at Huzhou Seismostation[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(1): 628-633. (in Chinese)