

压力式波潮仪检定校准装置研究

田为民,冯兵,何勇,周磊

(国家海洋局东海标准计量中心 上海 201306)

摘要:文章基于压力式波潮仪的应用需求,根据压力式波潮仪的工作原理和量值溯源的基本方法,结合水位计(验潮仪)检定装置已有的技术和实践基础,通过对检定校准装置波浪垂向运动模拟方式、关键技术参数控制、建设工程设计和不确定度等主要内容进行分析,提出具有可行性的压力式波潮仪检定校准装置技术方案。

关键词:压力式波潮仪;检定校准;海洋标准计量;海洋观测;工程技术

中图分类号:P7 文献标志码:A 文章编号:1005—9857(2018)02—0098—05

Research on Verification and Calibration Device for Pressure Wave Tide Gauge

TIAN Weimin, FENG Bing, HE Yong, ZHOU Lei

(East China Sea Center of Standard and Metrology, SOA, Shanghai 201306, China)

Abstract:Based on the working principle and the demand of application of the Device for Verification and Calibration of Pressure Wave Tide Gauge and the elementary approach of traceability of metrological verification, combining with the existing technology and practice of device for measuring water level, and through the analysis of the simulation of vertical wave motion, key technological parameter control, design for construction and the uncertainty analysis of calibration device, a feasible technical plan for the construction of the Device for Verification and Calibration of Pressure Wave Tide Gauge were proposed in this paper.

Key words: Pressure Wave Tide Gauge, Verification and calibration, Ocean standard and metrology, Ocean observation, Engineering technology

1 研究背景

压力式波潮仪是可同时观测潮位和波浪的新型海洋仪器,在我国海洋环境监测、海洋工程环境参数测量和海洋防灾减灾中应用较多,具有较大优势。①适应性强,能在各种深度和复杂海况的海区

作业。如,南极潮汐观测的最大障碍是海冰,其他波潮仪很难应用,而压力式波潮仪不受海冰影响,成为南极永久验潮站的首选仪器^[1]。②使用方便、回收简单,在水深较浅的海区可自动按照设定的时间工作并存储数据,在水深较深的海区可在接收声

学信号指令后脱钩上浮至水面。③压力测量精度较高,为0.1%FS,可满足大部分海洋调查和研究的需要^[2]。此外,压力式波潮仪因安装简便,在人工验潮较困难或基础条件较差的地区实现连续验潮,在降低人力成本的同时提高观测的连续有效性。尤其是对于短期和临时验潮站以及海上定点验潮站,压力式波潮仪的使用已越来越广泛。

目前可查询到的压力式波潮仪技术规范是2006年1月1日起实施的、由中国科学院南海海洋研究所制定的海洋行业推荐性标准——《压力式波潮仪》(HY/T090—2005)。该标准规范了压力式波潮仪产品的定型生产和型式检验,为该类产品标准化和质量控制提供科学依据。随着科学技术的进步,压力式波潮仪的生产技术日趋成熟,但目前我国还未制定对压力式波潮仪进行检定或校准的计量标准。为保证压力式波潮仪观测数据的准确性、可靠性和稳定性,亟须研发检定校准装置,进而建立量传标准。

2 压力式波潮仪的工作原理

压力式波潮仪通常分为表压型和绝压型,但基本工作原理大致相同,都是通过测量压力值来计算海水深度,即利用压力传感器检测海水的静压力,之后将静压力转换为水位,计算公式为^[3]:

$$H = \frac{P - P_a}{\rho \times g}$$

式中: H 为仪器所处位置至海面的高度; P 为仪器测量的压力; P_a 为仪器正上方海平面大气压力(一般用仪器布放点附近海平面大气压力代替); ρ 为仪器所处位置至海面水柱的平均密度; g 为仪器安装点的重力加速度。基本工作原理如图1所示。

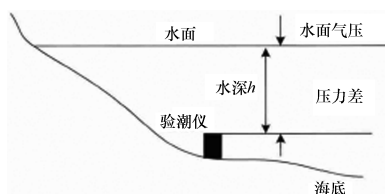


图1 压力式波潮仪工作原理

由计算公式和图1可以看出,压力式波潮仪的测量精度受测量压力、大气压力、海水密度和重力

加速度等误差的影响。由于海水密度随温度变化而变化,还要考虑海水温度的影响^[4]。

3 压力式波潮仪的量值溯源和检定校准

3.1 潮位观测

压力式波潮仪的潮位量值溯源路线应参照水位计(验潮仪)的量值溯源路线。以钢瓦尺为本级计量标准,在实验室中设置模拟验潮井的装置,将被测仪器安装在装置井筒底部,通过在井筒内设定不同水位/潮位(钢瓦尺复现),对被测仪器的测量数据进行直接比较,具体检定项目参见《压力验潮仪检定规程》(JJG 946—1999);除上述长度量值溯源技术路线外,也可采用压力量值溯源技术路线,即使用测量准确度等级更高的压力测量仪器作为该装置的计量标准器,直接用压力比较被测仪器的压力值。

压力式波潮仪潮位观测的检定装置与水位计(验潮仪)检定装置原理基本相同,计量标准器为钢瓦尺,水位控制范围为0~8 m,水位控制准确度为±0.01 m。标准水位以与井筒底部连通的透明管道的水位表示,通过摄像头自动跟踪水位,并读取与水位相对应的钢瓦尺刻度值来获得标准水位值。

3.2 波浪观测

在目前实际应用领域,压力式波潮仪波浪观测主要测量的参数是波高和波周期,并根据足够数量的观测数据进行波浪形态的反演。由于压力式波潮仪不能测量波浪的另外2个要素即波长和波向,对其进行检定校准就是对其压力和压力变化周期数据进行量传。

压力式波潮仪对波高的测量主要通过测量压力并结合现场环境条件进行换算,获取最高水位和最低水位,计算求得有效波高和最大波高。通过测量给定波高和周期的模拟波浪过程中的不同时点的连续压力值,当连续间距满足一定条件,依据波浪基本理论代入公式,对所测数据进行计算,完成对波浪形态的测定。

3.2.1 压力测定和量传

在实验室条件下给定准确的水深条件,在可测定给定水质密度和大气压力的条件下,可得到准确的水压压力值,据此可对压力式波潮仪的压力值进

行测定。水深通过钢瓦尺进行测量,水深的压力通过水密度进行测量换算,大气压力通过气压标准器进行测量。

3.2.2 周期测定和量传

波周期是通过水体液位或水压周期性变化进行测定的。在实验室条件下,通过给定周期的水位往复变化,模拟标准波浪(正弦波形)运动。给定的周期由电机提供动力,通过液压系统提供压力的变化,在装置中形成水位规律性周期运动。电机的转速与水位的周期具备关联,电机的转速由数码角速度码盘进行测量。

3.2.3 检定校准的关键参数和控制方法

压力式波潮仪波浪观测的检定校准主要包括实验室环境参数控制和测量设备技术参数控制 2 个方面。

(1)实验室环境参数主要是温度、空气湿度和大气环境稳定性(气流),这些参数的变化将影响大气压力的变化,是检定校准过程中必须考虑和控制的参数。此外,实验室的海拔高度和空气组成也会影响大气压力的变化,但实验室一旦建设完成不会频繁调整变化,其海拔高度的细微变化影响可忽略;空气组成在某一地区也是相对固定的,其细微变化影响也可忽略。空气环境参数控制主要通过在实验室建设时安装相应的温度/湿度控制仪器等进行硬件控制和连续跟踪环境温湿度测量,将结果代入相关影响参数,通过计算消除误差。实验室内大气稳定性较易控制,不会产生明显影响。

(2)测量设备技术参数主要包括提供动力的电力控制参数,电能、动能和势能之间转换产生影响的机械效能控制参数和水体质量控制参数。电力控制参数主要包括电压和电流的稳定性控制,以保证水柱液面周期性变化的准确性;机械效能控制参数主要包括液压冲程变向效率、水柱容器器壁摩擦系数和光滑程度,以减小模拟波浪运动的迟滞效应;水体质量控制参数主要是防止水体杂质含量变化影响水体密度,进而影响压力标准值的准确性。技术参数主要通过技术保障措施和不确定度分析等进行控制。

3.3 压力式波潮仪检定校准装置的技术方案

3.3.1 系统组成

压力式波潮仪的检定校准装置主要由液压系统、管道系统和密闭容器比测系统 3 个部分组成。其中,液压系统是核心,主要提供装置模拟标准波浪垂向运动的动力和控制运动周期;管道系统的重点是高度达 12 m 的内径为 10 cm 的小井筒,其水位高度通过连通器与钢瓦尺示数相关联,以准确读取标高示数;密闭容器比测系统主要用于不同型式压力式波潮仪的比测,以充分发挥检定校准装置的效用。

3.3.2 工作原理

检定校准装置利用等深等压的原理,向井筒内注排水,使装置模拟较慢的潮汐变化和较快的波浪变化,潮汐和波浪的变化规律由计算机模拟产生。待检校仪器安装于检校装置井筒底部固定位置,且保持同一高度,系统可进行静态水位检测和动态浪潮检测。动态浪潮检测时,由控制计算机控制活塞式装置以提供规定的液位变化来模拟浪潮运动;控制计算机按照波浪和潮汐的运动规律模拟出波浪和潮汐的叠加高度信息(水位应到达的设计高度 H_0),高精度校正压力传感器测量获得液位的实时高度(H_1);控制计算机驱动控制器通过 PID 算法追踪该高度误差即 $H_0 - H_1$,控制器驱动变频器对水泵转速进行控制,改变水头压力差进而控制流量和调节水位变化;控制计算机同时控制调节阀的开度,使用算法对流量进行精确控制,进而精确控制水面高度。同时,控制器输出同步采样信号,同步采样待检测传感器以获得待检测传感器的动态性能。

动态潮位由液压活塞装置按照正弦波方式在实验室内模仿动态海浪,并通过压力式波潮仪检测。装置可检测在半月潮、全日潮和不规则潮变化下的海浪变化和潮位变化,可检测的参数包括独立潮位、独立波高、波周期以及浪潮共同作用下的潮位和波浪。

3.3.3 环境要求设置

实验室环境相对于周边环境保持封闭和气流稳定;实验室内无污染,无异常空气杂质;水体保持

稳定,在每个换水周期内对水质和水体密度进行测试,确保控制在规定范围内;环境温度控制在 0℃~45℃,环境湿度控制在 30%~80%。

3.3.4 技术控制

(1)连通器水位控制原理为,通过控制活塞井筒水位动作参数来控制目标井筒水位运动模拟。连通器左侧井筒和动力设备成套,由厂家定做。小井筒水位控制目标主要包括:①水位变化范围为 0~10 m;②水位变化过程匀速;③水位变化速率范围为 0~3 m/s;④水位上升至指定水位回落连续误差时间不大于 0.1 s;⑤指定水位高度范围为 0~10 m;⑥大小管连通器控制,活塞位于大管侧;⑦水

位误差为±5 mm;⑧周期误差为±0.5 s。

(2)波浪控制目标主要包括:①波高范围为 1~10 m;②波高准确度为±(0.1±1.6%×测量值)m;③波周期范围为 4~25 s。

(3) $D1$ 、 $V1$ 、 $H1$ 和 $\Delta S1$ 为右侧小井筒 J-1 参数, $D2$ 、 $V2$ 、 $H2$ 和 $\Delta S2$ 为左侧活塞井筒 H-1 参数,参数对照如表 1 所示。活塞运动控制实现目标主要包括输入周期时间 t 、水位位置 $h1$ 和 $h2$ 以及自动控制,活塞在 $h1\sim h2$ 区间内做周期为 t 的匀速运动,位移范围为 $0\sim H2$,位移精度为小于 $H2$ 对应 $\Delta S2$ 值,位移速率为 $V2_{\min}\leq V\leq V2_{\max}$ 。

表 1 活塞井筒和小井筒参数对照

小井筒 $D1/m$	速度 $V1/$ ($m\cdot s^{-1}$)		有效高度 $H1/m$		误差 $\Delta S1/$ $mm(\pm)$	$D1/D2$	连通管 $D2/m$	速度 $V2/$ ($m\cdot s^{-1}$)		有效高度 $H2/m$		误差 $\Delta S2/$ $mm(\pm)$	活塞行程 选值/ m
	min	max	min	max				min	max	min	max		
0.1	0	3	0	10	5	0.50	0.20	0	0.75	0	2.50	1.250	2.6
0.1	0	3	0	10	5	0.40	0.25	0	0.48	0	1.60	0.800	1.7
0.1	0	3	0	10	5	0.33	0.30	0	0.33	0	1.11	0.556	1.2
0.1	0	3	0	10	5	0.25	0.40	0	0.19	0	0.63	0.313	0.8
0.1	0	3	0	10	5	0.20	0.50	0	0.12	0	0.40	0.200	0.5
0.1	0	3	0	10	5	0.13	0.80	0	0.05	0	0.16	0.078	0.3
0.1	0	3	0	10	5	0.10	1.00	0	0.03	0	0.10	0.050	0.2

(4)控制要求和流程主要包括:①水柱液面变化范围为 1~10 m;②压力测量范围和测点设置为 0~200 KPa,测量频数为 10,上行 5 组,下行 5 组,间隔幅度为 40 KPa;③压力误差为±0.1 KPa;④水位误差为±5 mm;⑤周期误差为±0.5 s

3.3.5 检定校准工作过程

活塞运动过程匀速(理论上有加速过程,加速时间和位移量可忽略),活塞运行速度可控(可设定运行速度值)、行程大小可控、行程位置可控(即活塞停止位置可控,如 $H2=1\text{ m}$,可设置活塞于 $h1=0.5\text{ m}$ 至 $h2=0.8\text{ m}$ 范围内做周期运动,此 $h1$ 值和 $h2$ 值可调)、行程周期可控。具体控制流程为:

(1)接到控制中心指令,井筒内水位在 $h1\sim h2$ 内做速度为 $V1$ 的匀速周期性运动,活塞井筒内位移传感器监测控制活塞在 $h1'\sim h2'$ 内做速度为 $V2$

的匀速周期性运动。

(2)接到控制中心指令,井筒内水位在 $h1\sim h2$ 内做周期为 $T1$ 的匀速周期性运动,活塞井筒内位移传感器监测控制活塞在 $h1'\sim h2'$ 内做周期为 $T2$ 的匀速周期性运动($T1=T2$)。

(3)活塞运行速度由液压系统控制。

(4)活塞运动和井筒水位运动的关系为 $V2=V1(D1/D2)2$

各项参数的设置和选取以及各自对应关系如表 1 所示。

3.3.6 不确定度分析

不确定度分析是压力式波潮仪检定校准过程中十分重要的环节,未来建标过程中将重点研究其不确定度影响要素,并通过技术革新或数学模型分析尽量减少其不确定度的作用和影响。压力式波

潮仪检定校准结果的不确定度主要来源于 7 个方面:①计量标准器钢瓦尺引入的不确定度分量;②钢瓦尺读数摄像头中心与水位液面不水平引入的不确定度分量;③水位液面计算机自动识别误差引入的不确定度分量;④被测波潮仪安装位置引入的不确定度分量;⑤测量重复性引入的不确定度分量;⑥被测波潮仪示值分辨率引入的不确定度分量;⑦直线导轨垂直度引入的不确定度分量^[5]。

4 结语

开展压力式波潮仪检定校准装置的研究是必要且重要的。在现有条件下,结合水位计(验潮仪)检定装置已有的技术和实践基础,通过液压系统提

供动力模拟波浪的垂向运动,可实现对压力式波潮仪的检定校准。

参考文献

[1] 谭争光,郭金运,胡志博,等.TideMaster 验潮仪观测实验分析[J].海洋测绘,2013,33(4):72—74.
[2] 龙小敏,王盛安,蔡树群,等.SZS3—1 型压力式波潮仪[J].热带海洋学报,2005,24(3):81—85.
[3] 阎锡臣,王崇明,张彦昌.压力式自动验潮仪数据处理中相关问题研究[J].气象水文海洋仪器,2013,30(2):18—21.
[4] 张铁军,张晓明.压力式验潮仪观测数据的处理方法研究[J].海洋测绘,2007,27(5):78—80.
[5] 岳明.验潮仪检定装置研究[D].天津:天津大学,2012.