

重力加速度式波浪浮标量值溯源体系研究

摘 要

建立一套规范系统的重力加速度式波浪浮标量值溯源体系。探讨波浪浮标在海洋环境工程中的作用，通过使用现代化的精确测量手段，采用可自动控制的双桁架钢结构形式和计算机变频自动控制技术，完成波高和波周期量值溯源与传递检定和校准工作；同时建立行业计量标准或社会公用计量标准，并制定相应的检定规程，实现测量参数量值向国家基准的溯源。依照检定规程使用本测量体系，以把好进口质量关，确保测量数据准确可靠。

关键词： 波浪浮标 量值传递与溯源 计量标准

The research of trace system of wave buoy of acceleration of gravity

Abstract

The trace system of wave buoy of acceleration of gravity to discuss the effect of the wave buoy in the environmental engineering of ocean is set up by using modern and precise metrical method. Adopting the form of two-circle truss steel structure that can auto-control and the technical of the computer frequency conversion that can auto-control, we can accomplish the tracing of the value of a quantity, the transfer verification and calibration of the wave height and the wave period. At the same time, the metrology standers of the vacation or the metrology standers of public for society constitute the corresponding regulations of verification is established, achieving the tracing of measuring parameter to the social benchmarks. According this system of measurement to the regulations of verification, it will be of benefit to the metrology verification of the wave buoy of acceleration of gravity that product in our country or others before using, to the period verification in using, to ensure the quantity of import and to make sure the credibility of the measuring data.

Keywords: wave buoy; the transfer and trace of the value of quantity; the metrology standards.

重力加速度式波浪浮标量值溯源体系研究

引言

我国是一个海洋大国，这片“蓝色海域”为我们提供了适宜的生存环境条件、丰富的海洋资源和潜在的能源。海洋是促进我国经济发展和社会进步的重要基础。我国的可持续发展将越来越多地依赖海洋。但海洋又是一个复杂的水体，具有流动性、连续性、广域性和瞬变性的特点，只有依靠多学科综合、多手段交叉的海洋监测调查工作获得的具有代表性、统一性、准确性和可比性要求的基础数据，才能科学地评价海洋的实际状况，客观地揭示海洋的变化规律。

我们研究海洋就不能不研究海洋中的波浪。波浪是海洋水文观测的六大要素之一，也是海水的重要运动形式之一。波浪资料准确与否，对海洋工程、海上交通、海洋军事活动、海水养殖与捕捞、海洋灾害预报及海洋研究等具有重大影响。重力加速度式波浪浮标是目前使用最广泛的测波浮标之一。改革开放以来，我国有关单位和部门陆续引进了 949、956、波浪骑士等测波浮标，用于海洋调查、监测、防灾减灾、污染防治、海洋研究及军事科学等海洋活动，促进了我国海洋事业的发展。与此同时，我国自行研制的用于监测波浪参数的浮标约有几十台遍布于全国海域。

随着海洋的开发、国际海洋法公约的实施、海洋环境保护工作的开展以及海域使用法制化管理的进行，进口的海洋监测仪器装备和自主研发的海洋监测仪器装备在我国被大量使用。只有对进口的和自主研发的海洋监测仪器装备进行计量检定（量值溯源），才能提供准确、可靠的数据；才能客观地揭示海洋学、海洋环境学规律；才能促进数据资源共享，实现机构、部门、学科以及国际间科技合作；才能为科技成果的鉴定与评价、学术争议的仲裁提供依据。只有重视海洋监测仪器的量值溯源，才能更好的促进海洋科学技术发展，才能更好的为海洋工程及其环境评价建设、工程设计与安全施工、海洋工程验收提供可靠性依据，才能更好的为处理合同和质量争端提供公正性依据。由此可见，海洋监测仪器装备的量值溯源工作是海洋经济建设的重要基础工作，它服务于海洋行政管理、海洋经济发展、海洋环境保护、海洋减灾防灾、海洋军事学和海洋科学研究等活动的全过程，是海洋行政管理和社会公益服务的技术支撑和重要保障。

1 波浪浮标在海洋环境中随波性的探讨

1.1 浮标随浪起伏引起的测波误差

1.1.1 浮标运动方程的推导

浮标随浪起伏的特性将直接影响测波精度,因此,我们先来研究它的运动规律。根据海浪理论,海浪的外部形态可以近似的看作正弦波。在海浪的作用下,水面上的浮标必将运动,为了便于讨论和分析研究,我们先做些假设和规定。我们取无浪时的海平面为 XOY 平面,并规定海平面以上为正,设波浪的振幅为 A,波浪的振动频率为 ω ,浮标的质量为 m。我们又知道速度较小时,处在流体中运动的物体受到水的粘性阻力与物体的运动速度成正比。

在无浪的情况下,浮标的重力等于浮力,浮标处于静态平衡,以此时浮标的吃水线作为浮标位移的参考,当有浪以后,浮标的浮力必定发生变化,这种变化的浮力为: $\Delta f_{\text{浮}} = -\rho s g(z - A \sin \omega t)$;

浮标受到的阻力: $f_{\text{阻}} = -R\left(\frac{dz}{dt}\right) - A\omega \cos \omega t$

式中 ρ -海水的密度;

s -浮标的截面积;

g -重力加速度;

z -浮标的位移;

$(z - A \sin \omega t)$ -浮标相对于水面的位移;

R 与相对速度成正比的阻力系数;

$\frac{dz}{dt} - A\omega \cos \omega t$ 浮标相对于水面的速度;

据牛顿第二定律,有微分方程:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -\rho s g(z - A \sin \omega t) - R\left(\frac{dz}{dt} - A\omega \cos \omega t\right) \quad (1-1)$$

引用符号 $\frac{R}{m} = 2\delta$; $\frac{\rho s g}{m} = \omega_0^2$; $p = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ ($\omega > \delta$)

解方程(1-1)得 $z = A_1 e^{-\delta t} \sin(pt + a) + A A' \sin(\omega t + \varphi)$ (1-2)

式中 $\varphi = \arctg \frac{-2\delta\omega^3}{(2\delta\omega)^2 + \omega_0^2(\omega_0^2 - \omega^2)}$ (1-3)

$$A' = \frac{\sqrt{4\delta^2\omega^2 + \omega_0^4}}{\sqrt{4\delta^2\omega^2 + (\omega_0^2 - \omega^2)^2}} \quad (1-4)$$

方程(1-2)就是浮标的运动方程,其右边的第一项为自由阻尼振动,第二项为受迫振动。在初始阶段,即时间不太长时,浮标的位移总是等于一个等幅振动和一个变幅振动位移的叠加,因此浮标在开始一段时间内波浪的运动比较复杂。但随着时间的加长,在阻尼系数 δ 的作用下,变幅项的振幅越来越小,当时间足够长时,振幅就会趋近于零。这时浮标只随第二项的规律运动,其频率与波浪的频率相同,只是相位差一个常数 ϕ ,其振幅则正比于波浪振幅 A 与 A' 。我们可以看出,此时浮标的最大位移并不等于所希望的波浪的最大位移,其差异的程度与波浪的频率、浮标在水中的自由振动频率及阻尼系数有关。当 $\omega_0 \gg \omega$ 时,即浮标在水中的自由振动频率远大于波浪的频率时,浮标的振幅就等于波浪的振幅,这正是所希望的最佳状况,浮标之所以等于波浪的振幅,这是因为 $\omega_0^2 = \frac{\rho s g}{m}$,

一般可把 ρ, g 看作常量。欲使 ω_0 很大,则要么减小浮标质量,要么增大截面积,浮标的质量减小,会使浮标的惯性减小;浮标的截面积增大,水位稍有变化,则浮标浮力的变化相应加大,因此这两种情况均能使浮标跟踪波浪的性能提高。

1.1.2 浮标随波浪起伏误差计算举例

目前各台站采用的浮标很不统一,现以HAB-1型岸用光学测波仪浮标的参数进行计算。

浮标的最大位移 AA' 与波浪的最大位移 A 的相对误差为:

$$\varepsilon_3 = \frac{AA' - A}{A} = A' - 1 = \frac{\sqrt{4\delta^2\omega^2 + \omega_0^4}}{\sqrt{4\delta^2\omega^2 + (\omega_0^2 - \omega^2)^2}} - 1 \quad (1-5)$$

浮标的阻尼系数为:

$$\delta = \frac{R}{2m} = \frac{6\pi r \eta}{2m} = \frac{3\pi r \eta}{m}$$

式中 η ——水的粘滞系数, 20°C , $\eta = 0.01\text{g/cm}\cdot\text{s}$

r ——浮标的半径。

HAB-1型浮标的等效半径 r 约为44cm,质量 m 约为160kg,等效面积 s 约为0.6m²,海水的密度 ρ 为1.03g/cm³,因观测的波浪周期最短为2s,所以最大的频率 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi$,则(5)式中的 $4\delta^2\omega^2 \approx 2.64 \times 10^{-8}$; $\omega_0^4 \approx 1.44 \times 10^3$ 。显然(1-5)

式中的 $4\delta^2\omega^2$ 可以忽略, 因此误差表达式就变成:

$$\varepsilon_3 = \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} - 1 = \frac{\omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2} = \frac{\omega^2}{\rho s g - \omega^2} \quad (1-6)$$

海水的密度 ρ 和重力加速度 g 一般可看作常数, 因此误差就是 m, s, ω 的函数, 对于 HAB-1 型浮标来说, m, s 也为常量, 则误差随 ω 的变化列于下表 (表 1-1):

浮标的质量 $m=160\text{kg}$		浮标的截面积 $s\approx 0.6\text{m}^2$			
波浪周期(s)	2	3	4	5	6
波浪频率 (rad/s)	π	$\frac{2}{3}\pi$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2}{5}\pi$	$\frac{\pi}{3}$
浮标起伏误差 (%)	35	13	7	4	3
波浪周期 (s)	7	8	9	10	11
波浪频率 (rad/s)	$\frac{2}{7}\pi$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{2}{9}\pi$	$\frac{\pi}{5}$	$\frac{2}{11}\pi$
浮标起伏误差(%)	2	2	1	1	1

从表 1-1 中可以看出, 对一定的浮标, 其引起的误差随着波浪频率的降低而减小, 这表明岸用光学测波仪只适宜测长周期的涌浪。

因为岸用光学测波仪望远镜系统的误差是在 1cm 波高时讨论的, 从各台站测得的资料来看, 1m 波高的波浪周期大都在 5s 左右, 故 HAB-1 型浮标测得的波浪资料会产生 4% 的误差。

1.2 结论

(1) 所有采用浮子原理测浪的仪器 (如船用测波仪、重力测波仪) 均需考虑到浮子引起的测波误差。

(2) 设计浮标时, 必须考虑到浮标在水中的自由振动频率, 在保证坚固性和稳定性的前提下, 应当尽量增大浮标的截面积, 减少浮标的质量, 使其具有跟踪示波的良好性能。

(3) 由于波浪的周期范围较大, 只用一个浮标兼测不同频率下的波高, 必然会产生顾此失彼的情况。因此希望标准化部门给出浮标的标准化、系列化的具体规定。如: 对周期为 2s—5s 的波浪应采用什么样的浮标, 周期为 5s 的波浪应采用什么样的浮标, 以供不同的海区, 不同的季节选用。

2 波浪浮标检定装置系统设计

2.1 综述

自改革开放以来,我国有关单位和部门陆续引进 949、956、波浪骑士等测波浮标,用于海洋调查、监(观)测、开发利用、防灾减灾、污染防治、科学研究以及军事海洋等海洋活动,促进了我国海洋事业的发展。为了保证测量数据的准确可靠,国家海洋局决定由国家海洋标准计量中心承担研制波浪浮标检定装置(以下简称检定装置)的任务。

2.2 研制过程

2.2.1 技术方案的制定

研制波浪浮标检定装置的设想始于八十年代,并收集了有关资料。在作了大量的调研和资料收集的基础上,制定了“波浪浮标检定装置研制方案”。

制定“波浪浮标检定装置研制方案”的依据是:根据波浪理论,海浪是由多个单一正弦波合成的复杂波形,其表面的水质点在其平衡位置附近作周期性振动,在不同时刻有不同的垂直加速度。测出此加速度,经二次积分后即可得到海浪的垂直位移,重力加速度计式测波浮标就是基于这一原理。因此,要检测重力加速度计式测波浮标,就必须在室内模拟波浪运动。采用桁架,当其匀速转动时,任一点(中心点除外)的运动轨迹都作正弦运动。让重力加速度计式测波浮标作正弦运动,从而进行检测,在理论上是可行的。

2.2.2 系统组成与结构原理

课题组将装置分为机械和电气两大部分(如右图所示)。

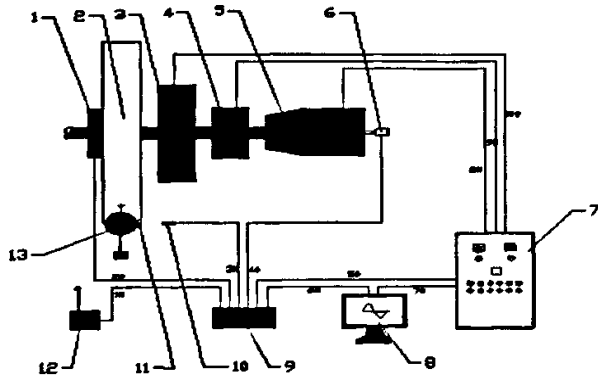
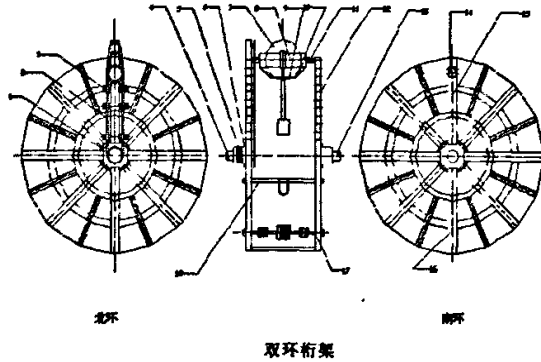


图3 装置组成示意图

- | | | | | |
|---------|------------|-------|---------|---------|
| 1 大钢电环 | 2 双环桁架 | 3 刹车盘 | 4 离合器 | 5 电机减速机 |
| 6 光电编码器 | 7 电控柜 | 8 计算机 | 9 信号分配器 | 10 光电开关 |
| 11 小钢电环 | 12 浮标信号放大器 | 13 浮标 | | |

2.2.2.1 双环桁架与卡具的主体结构

本装置(如下图)采用南北双环桁架、两半轴结构。每环均以四根 12#槽钢呈十字结构作为主臂,用 8#槽钢与扇形板组成幅射状结构;南环半轴直接与八角套刹车盘、离合器、减速机、电机相连,北环则通过轴承套架在固定于地面的半轴之上,两半轴同心误差不大于±1mm;止摆齿轮、止摆链及张紧轮均按装在北环上,两环之间用十字杆交叉连接以提高强度,传递扭力矩。在主臂 A 上从 0.5m 起每隔 0.25m 布置一组卡具安装孔,在主臂 B 上距轴心 2.75m 处安装配重横梁,1m 处留有吊装横梁的安装孔。



1 止摆轮 2 止摆链 3 张紧轮 4 北半环 5 南半环 6 刹车盘 7 减速机
8 离合器 9 托环 10 帆布带 11 托环孔 12 托环安装孔 13 南半轴 14 横梁
15 主臂A 16 主臂B 17 配重及横梁 18 吊钩螺栓(电机轴下)

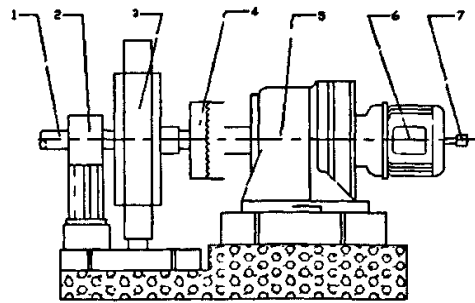
根据浮标的直径不同设计了两套卡具(0.5m~0.8m, 0.8m~

1.0m)。每套卡具均由两个半环组成,每个半环中部连接有滑块,嵌装在主臂 12#槽钢的槽内,南半环上装有集电环,北半环上装有止摆齿轮、止摆链及张紧轮,两半环之间用螺栓紧固,卡具环下方通过六根帆布吊带连接一个φ300mm的托环。

本装置提供 5.89kg 配重盘 20 块, 9.15kg 配重盘 10 块, 19.8kg 配重盘 5 块。每块配重盘盘面上均布 3 个安装鱼轮孔, 3 个 M10 螺孔, 彼此可用内六角螺栓连结在配重横梁上。

2.2.2.2 电机与制动

如右图所示,南环桁架的半轴架在固定于地面的轴承座上,并与刹车盘、离合器的动齿直连;离合器定齿与减速机输出轴直连,电机输出端与减速器输入端同轴,电机轴尾端与光电编码器相连。电机由变频器驱动,离合器由直流电源



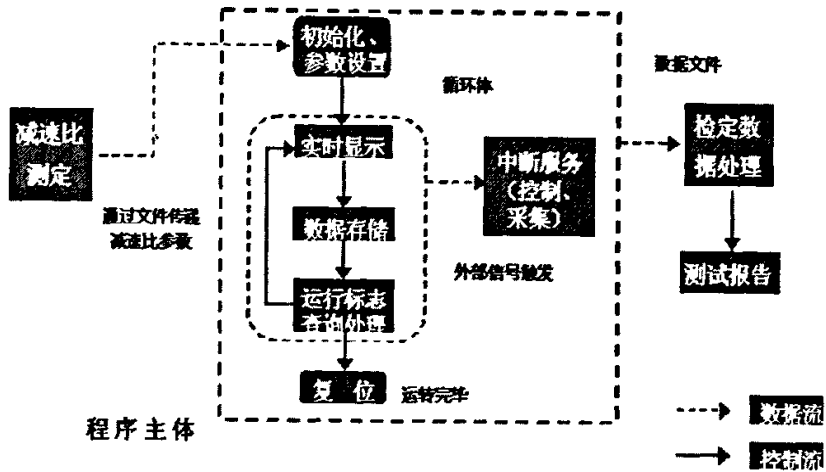
1 主动轴 2 轴承座 3 制动链 4 离合器 5 减速机 6 电机 7 光电编码器 8 底座

(24V) 驱动， 刹车盘由电力液压推动器驱动。

2.2.2.3 信号采集与计算机控制

如下图，当卡具中心经过上跨零点时，光电开关发出一个+12V 的脉冲，作为周期信号；电机每旋转一周，光电编码器输出 360 个+5V 的脉冲，作为角度脉冲，每个脉冲对应于桁架旋转($1^\circ / 47$)。这两个信号进入信号采集器，经光电隔离、滤波、整形后送入计算机，从集电环来的波浪传感器的模拟信号及从浮标信号接受装置来的波高模拟信号均经过分配器，与标准电压信号一起进入计算机，进行 A/D 转换、校准。

在必要时，信号分配器还产生一个同步信号，同时加到计算机及浮标接受装置上。计算机将角度信号 20 分频后，申请中断。在



波浪浮标检定装置程序模块关系图

中断服务程序中，读角度脉冲间隔时间，计算瞬时周期，供显示与控制；采样 A/D 的结果，供显示与计算；通过光电隔离、D/A 转换、调整变频器的输入电流，进行速度控制。在屏幕上同时显示桁架的输出曲线及浮标的波高曲线，由此计算出浮标的幅频响应及相频响应，输出实验数据表格与特性曲线。

2.2.2.4 供配电系统

引入五线制动力电，经开关控制后分别供给变频器、刹车盘及起吊装置，同时转换成直流电，供离合器。单独引入照明市电，经滤波后供计算机及信号分配器。各装置的供电开关之间有互锁或连锁，以避免误操作，造成人身伤害及设备受损。

3 技术指标

3.1 波浪浮标检定装置设计技术指标和实测技术指标对照表

表 3-1

	最大波高	周期范围及误差	最大负载	可测浮标直径	特性曲线	检测对象
设计指标	6m, ±0.2%F.S.	2s~40s, ±0.5%F.S.	180 kg	0.5m~ 0.8m	幅频 相频	整体浮标
实测指标	6m, ±0.072%F.S	2s~40s, ±0.14%F.S. 40s~1000s, ±0.5%F.S	180 kg	0.5m~ 1.0m	幅频 相频	整体浮标 及传感器

3.2 国内外波浪浮标检定装置概况

我们专门组织了人力查阅大量资料, 查找范围:《水科学与渔业文摘》(Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts) 中的第二大类海洋技术、政策与非生物资源 (ASFA2: Ocean Technology, Policy and Non-living Resources)

《海洋文摘》(Oceanic Abstracts)。主题词: Wave measurement, Wave measuring equipment, Wave measurement Calibration and standards, 此外选用了 Wave rider Buoy, Wave crest 等。

查找到的有关文献共 23 篇。

迄今为止, 见诸文献记载的波浪浮标检定装置有以下几种:

(1) 滑轮—绳索组合校准系统

如图 3-1 所示。用人工方法维持有限周期的垂直运动, 以模拟波浪运动。由于弹性系统的阻尼作用和有效高度的限制, 这种方法只适用于指示浮标是否工作, 很难精确定量校准。

(2) 摆锤校准法

如图 3-2 所示。在滚筒上嵌固一个摆锤, 滚筒两边悬吊浮标和平衡物, 通过滚筒将摆锤的摆动转换成浮标的垂直正弦运动。此种方法

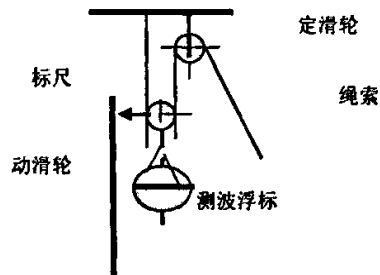


图 3-1 滑轮—绳索组合校准系统

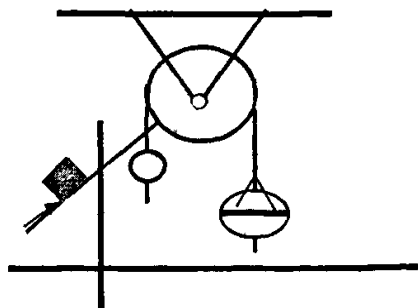


图 3-2 摆锤校准法

周期、幅度均可调整,但校准范围小,阻尼仍存在。

(3) 垂直升降式正弦模拟校准装置

将电机的转动,经过特定的传动机构,转换成链轮的直线正弦运动,带动被校准浮标或加速度计作垂直正弦运动。

如委内瑞拉 INTEVEP 研究所、美国海洋大气局资料浮标中心(NOAA、NDBC)建有类似的装置。

此类装置的优点是:被校准物可作无阻尼的垂直正弦振动,无水平加速度干扰,振幅及周期都可以调整和控制。缺点是:结构复杂,活动部件多,磨损严重,电机负载不均衡,维修费用高。

(4) NOAA 采用的浮标校准装置

将被校准浮标安装在一个绕水平轴旋转的刚性臂上,旋转直径即为波高(可在臂上调整),旋转周期即为波浪周期。

美国海洋大气局工程支援处(NOAA ESO 华盛顿海军码头)用悬臂梁式桁架结构,装置简单,波高模拟范围 4m, 6m, 周期范围 4 s ~ 40 s, 无幅频、相频分析。

(5) NMI 采用的浮标校准装置

美国海事研究所(NMI 南安普顿 Hy-the 基地)用双环式桁架结构,波高模拟范围 1m, 2m, 3m, 周期 2.4s~40s, 可作幅频相频分析。如图 5 所示。

挪威水工实验室(NHL)用双臂旋转架结构,波高模拟范围 4m, 周期 2s~40s, 无幅频相频分析。

(6) 单臂吊挂旋转式校准装置

该装置是美国 ENDECO 公司近年来,为扩展原校准装置的周期而设计的一种比较简易的装置。该装置采用木质梁,用步进电机控制,旋转半径 1m,重力加速度计和配重悬挂在梁的两端,周期范围 4s~11s,数据由记录纸记录。(见 1996 年 Ocean Engineering, Vol23, No.6 “A Submarine Launched Wave Measuring buoy”)目前,国际上公认的仍然是旋转式正弦模拟校准方法,具有代表性的有以下几家。(见表 3-2)

表 3-2

	结构形式	波高范围	周期范围	负载能力	可检浮标直径	特性分析
美国国家海洋大气局(NOAA)	悬臂梁式桁架结构	4m, 6m	4s~40s	166Kg	0.7m~0.9m	幅频
英国国家海事研究所(NMI)	双臂式旋转架	1m, 2m, 3m	2.4s~40s	40Kg	0.6m~1.0m	相频、幅频

挪威水实验室 (NAL)	双臂式 旋转架	4m	2s~40s	166Kg	0.7m~0.9m	幅频
山东科学院 青岛仪器仪表 所	单环式 桁架结 构	4m	2s~40s	10Kg	只检传感器	无
国家海洋 标准计量中心	双环式 桁架结 构	1m~6m以 0.5m为间 隔共11点	2s~100s	大于 180Kg	0.5m~1.0m 可检传感器	相频、幅频

4 检定装置的关键技术特色

波浪是海洋水文观测的六大要素之一。无论是从理论上还是从实践上波浪观测技术均不如温盐深技术那样成熟、完善。由于种种原因，人们对波浪浮标校准技术的研究更显得欠缺。先后有橡皮绳系统、滑轮绳索系统、摆锤校准系统、垂直升降系统、杠杆叩头系统，直至目前世界上比较公认的旋转式正弦模拟校正系统。该系统中，将被检浮标安装在一个绕水平轴旋转的刚性臂上，旋转直径即为波高，旋转周期即为波浪周期。这种校正系统结构简单、维修方便、波高及周期容易调整，模拟运动形式接近海浪理论要求，因而，被海洋界及生产厂家普遍接受。但这类校准系统存在以下几个问题：

(1) 由于传感器的安装位置、传感器的摆动等造成传感器的实际波高（即输入波高）与卡具中心的旋转直径不符，而这种不符又不能通过简单测量予以校正。

(2) 由于浮标在旋转中的附加运动（摆动、振动等）使波浪传感器在向心加速度的垂直分量之外又承受了一些附加加速度，从而影响传感器的二次积分输出值（即输出波高）。在目前流行的阻尼摆式传感器中，此类影响更显著。

(3) 此类系统一般为一个周期采样一次，无法测知桁架的瞬时速度，因而，只能作稳态校准，不具备动态校准能力。

(4) 由于此类装置一般都比较庞大，转速相对不高（控速较困难），也不可能完全平衡，造成浮标在一周内旋转速率不能完全相等，从而破坏了稳态校准条件，此时把被检浮标的输出仍看作单一频率下的响应就不尽合理了。

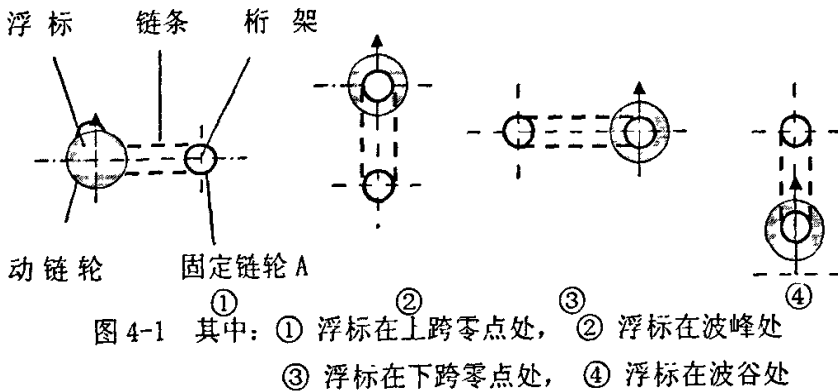
本装置在解决上述问题中有较大突破。与国内外同类装置相比有如下技术特色：

4.1 浮标的平动

使物体在旋转中保持平动的方法很多，如常平架法、同步自旋法等等。这些方法或结构复杂、加工精度高、或控制困难、成本较高。如果简单加挂重锤，只

能减少摆动并不能完全消除摆动，而且也增加了桁架的承载，此法显然不可取。经课题组全体人员的共同努力，终于解决了这一问题。简述如下：在链轮传动中，当A、B两链轮的节距、齿数完全相同，传动链节距的变化可忽略时，相对于任一惯性系，不论A、B两轮空间相对位置如何变化，任一时刻两轮的旋转速度，旋转方向均相同（见图4-1）。我们将北环桁架通过轴承套架在固定于地面上的从动轴上，在此从动轴的末端（桁架内侧）固定链轮A。在浮标卡具的北侧也安装一链轮B，A、B位于同一平面内，用链条连接A、B。当桁架旋转时，B轮将随桁架绕A轮旋转（公转），如果A轮相对于地面无转动，则B轮相对于地面必定也无转动（即无自转），这就使得卡具平面的方向相对于地面始终保持不变，即浮标保持了平动。

为克服链轮垂直转动中的弊端，我们在传动链两侧设置3对张紧轮，使传动链在桁架旋转的任意位置上都能保持合理张紧。



4.2 相频分析

由于浮标相频响应的不同，浮标输出的波迹与实际波迹有较大出入，这正是目前国内外浮标研制中尚未引起足够重视的问题。我们加大了采样密度、精确确定上跨零点，完备地解决标准信号与待测信号的同步问题，使得本装置可对不同类型的浮标输出作相频分析，分析精度达 $(20/47)^\circ$ ，明显优于英国 NMI。为我国波浪浮标的研制、改进提供了有力的手段。

4.3 桁架瞬时速度的测量

我们在装置中增加了一个光电编码器，并将它安装在电机减速之前，这样，桁架每旋转 $(1/47)^\circ$ ，便可得到一个光脉冲，用计算机测量两个脉冲之间的间隔时间，可算出桁架每转过 $(1/47)^\circ$ 的平均速度，近似将它作为桁架在该点的

瞬时速度。

桁架瞬时速度测量的实现，一方面，为变频器的控制提供了更密集的采样数据，提高了控制质量；另一方面，为通过数学计算消除桁架转速不均匀对校准结果的影响提供了条件，也为今后深入开展浮标动态响应的研究、快速傅立叶分析提供了基础。

4.4 周期信号的获取

一般来说，周期信号的采样点可以安排在任何方便之处，均不影响周期测量。我们刻意将采样点安排在浮标的上跨零点处，而且用水平仪精确定位，误差小于 $\pm 2\text{mm}$ 。使桁架输出校准曲线的理论零点与实际水平零点相吻合，减少各点波高计算及相移计算的角度误差，也为同步信号的产生提供了基础。小信号输入时，A/D转换的相对误差较大。由于我们有了较准确的水平零点，因而，我们可以将相位比较点安排在 $\pi/2$ 处，这样使用同样的A/D转换，可得到较高的相移测量精度。

4.5 大变速比

在低频时，变频器输出功率、电机输出扭矩均急剧下降，电机散热也较困难。如果采用特种电机，则设备成本大大增加；若增加一级或二级机械变速，则结构复杂，操作、安装均困难。因而，欧美各国此类装置的变速比均局限在1:20以内，即最大周期范围为2s~40s。可以满足一般风浪的监测检定要求，但对涌浪则略显不够。

我们经过反复努力，成功地将本装置变速比扩至1:50，甚至更高，周期范围达2s~100s。

4.6 动平衡

桁架及负载总重量约3100Kg，直径约6.4m。在高速旋转($T=2\text{s}$)时，如果没有很好的动平衡，必然会对驱动设备、房屋地基产生巨大的破坏作用，并发生强大噪声，扰乱环境。通常均采用对称平衡法解决动平衡问题，即对不平衡物体(如负载)在轴对称位置上配以相同重量。采用这种方法，即使在桁架完全均衡的状况下，改变波高时，必须等距离移动配重块。加工、安装精度要求高，操作繁琐。我们采用重径积法解决动平衡问题，即配重位置不变，通过增减配重盘，保持重径积相等，从而达到动平衡。这样简化了操作，提高了平衡精度。

4.7 干扰问题

变频器所产生的尖峰干扰,是变频器原理性干扰,且随变频器功率加大而急剧加大。由于我们操作间的相对狭小,变频器的尖峰干扰曾一度使我们整个工作陷入瘫痪。变频器工作时,计算机程序一片混乱,屏幕上充满大量不可读符号,并经常死机,采集的信号全被噪声淹没,几乎无法分辨。国内山东省科学院青岛仪器仪表所在改造此类设备过程中也遇到了相同问题。我们采取了一系列措施,使这些问题基本得到了解决。

4.8 电器连锁

本装置驱动系统由变频器电机、减速机、离合器、刹车盘等设备组成,这些设备联合工作时,彼此有许多制约条件:如在刹车盘未松开时不允许驱动电机,否则,传动轴将扭曲,甚至烧毁电机、变频器;在桁架转动时,不允许离合器吸合,否则,将发生打齿、损坏离合器……等等。如果完全依靠操作规程来限定操作,操作员即使进行大量的记忆,仍难免会出现疏忽。我们在电气设计时,采取了一系列连锁互锁措施,使设备的制约条件自动得到满足。从根本上避免了事故的发生。

5 社会经济效益分析和存在的问题

5.1 社会经济效益分析

波浪浮标检定装置经国家质量技术监督局考核认证,可作为计量标准或社会公用计量标准;同时,制定相应的检定规程。依照检定规程对进口和国产重力加速度计式波浪浮标进行投入使用前的计量检定,使用过程中的周期检定,以把好进口质量关,确保测量数据准确可靠。

我国从八十年代开始陆续进口重力加速度计式波浪浮标十余套。由于没有计量标准,到目前为止能够正常运行的不足5套;这些波浪浮标急需进行计量检定。2001年我国沿海将布放30余套重力加速度计式波浪浮标,这是海洋863任务和《中国海洋环境监测系统—海洋站和志愿船观测系统》建设项目所确定的内容,其中也包括一定数量的进口浮标。随着国产波浪浮标的产业化,还会有更多的波浪浮标布放在我国沿海海区。如果对其投入使用前逐台检定,使用中周期检定,将会产生较大的社会效益和经济效益。

此外,该装置可给重力加速度计传感器和重力加速度计式波浪浮标的研制工

作提供定量测试服务,对于改进设计、提高质量、缩短工期,从而为加快我国的波浪浮标研制工作、尽快形成产业化起到促进作用。

5.2 存在的问题

浮标或传感器的装卸、波高的调整、配重的增减等工序,采用人工操作,比较笨重、复杂;如有足够的经费支持,波高和配重的调整可以设计成自动操作。

在程序设计方面,将控制程序直接置于DOS下运行,保证了实时性;而将生成特性曲线、测试报告程序置于Windows下,虽然直观,且易读、易改,但程序总体就显得不够连贯,增加了中间转换操作。

6 综合性能指标测试

国家海洋局下达的波浪浮标检定装置研制《计划任务书》规定本装置主要技术性能指标为:

最大波高: 6m 误差: $\pm 0.2\%$ F.S.

周期范围: 2s~40s 误差: $\pm 0.5\%$ F.S.

最大静负荷: $\leq 180\text{kg}$

可测浮标直径: 0.5m~0.8m

可给出幅频、相频特性曲线

围绕上述技术性能指标,波浪浮标检定装置研制课题组先后组织、安排了12个不同目的的技术性能测试实验,力争能严谨、客观地反映出本装置的主要技术性能。12项技术性能测试的标题为:

- (1) 时钟准确度测定
- (2) 信号发生器示值误差测定
- (3) 计算机时间测量误差测定
- (4) 测量桁架旋转的匀速性能
- (5) 浮标旋转半径的测定
- (6) 校验浮标的旋转半径
- (7) 转动轴扭曲形变估测
- (8) 浮标上跨零点确定
- (9) 基准电压测量
- (10) A/D 转换精度测定
- (11) 传输线电阻测定
- (12) 装置负载能力估测

以下主要针对周期、波高、负载能力三项主要技术性能进行相关分析与综述。

6.1 周期测量

在波浪浮标检定装置的桁架旋转时，每当浮标卡具经过上跨零点即发出一个脉冲作为周期信号，桁架转过 $(1/47)^\circ$ 即发出一个脉冲作为角度信号。本装置将角度信号 20 分频后作为中断信号，向计算机提出中断申请。计算机以 16×2 位计数器记录插卡 PC-6313 的晶振脉冲（时钟脉冲）在两次中断申请之间的个数，作为桁架转过 $(20/47)^\circ$ 所需要的时间，计算桁架在该位置的旋转瞬时速度；以两个周期信号之间晶振脉冲的累加数计算桁架周期。这种测时方法测量桁架的旋转周期时，周期测量误差应当包含测时方法综合误差及周期读数误差。

我们在测试 1 中，以 E312A 频率计为基准，测量了 PC-6313 时钟脉冲的准确度 δ_1 和稳定性 δ_2 ；在测试 2、3 中，用 GFG-8016 型信号发生器输出信号取代桁架角度信号，确定计算机的时间测量误差 δ_3 。根据测试 7.1、7.2、7.3 可得本装置测时方法综合误差 δ_0 。

当桁架的负载为传感器（约 10Kg）或 956 浮标模型（约 180Kg）时，使桁架在 2 s~40 s 内的各个设定点上匀速旋转 10 周。用上述方法记录每周的周期值，从而计算周期的平均值与均方差。同时，用两块秒表人工记时来佐证计算机对桁架旋转 10 周的时间测量值，两者相差不大于 0.1s（见测试 4）。

测试结果如下：

6.1.1 时钟准确度

时钟准确度 δ_1 优于 1.3×10^{-5} （相对误差），稳定性 δ_2 优于 $2.0 \times 10^{-7}/7$ 天（相对误差）（见测试 7.1）

计算机时间测量误差 $\delta_3 \leq 6.0 \times 10^{-4}$ （见测试 7.2、7.3）

测时方法标准合成误差 $\delta_0 = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} = 6.0 \times 10^{-4}$

极限合成误差 $\delta_{0max} = |\delta_1| + |\delta_2| + |\delta_3| < 6.2 \times 10^{-4}$

6.1.2 周期相对标准偏差

在 2s~40s 内各个设定点 (T_i) 上

$$\delta_i = \sigma_i \sqrt{T_i}$$

其中

δ_i 周期相对标准偏差

σ_i 周期测量均方差

\bar{T}_i 周期平均值

则

$$\delta_{\max} \leq 0.13\% \quad (\text{见测试 7.4})$$

6.1.3 周期误差

$$\delta_{\text{sum}} = \pm \sqrt{\delta_{\max}^2 + \delta_{0\max}^2} = \pm 0.14\%$$

6.2 波高测量

本装置通过止摆链、轮，使浮标卡具（含浮标）在桁架旋转过程中始终处于平动状态。在匀速旋转时，卡具、浮标的形变均可忽略不计，则卡具（含浮标）上各点的运动轨迹都相同。因而准确测量卡具中心孔的圆心至桁架旋转轴轴心的距离（即旋转半径 R）即可表示浮标运动的半波高。

6.2.1 旋转半径 R 的测量

在测量中：

钢卷尺刻线误差： $\Delta_1 \leq \pm 0.8\text{mm}$

钢卷尺读数误差： $\Delta_2 \leq \pm 0.41\text{mm}$

两臂不等长误差（机加工）： $\Delta_3 \leq 0.5\text{mm}$

两臂不平行半径修正值： $\Delta_4 \leq \pm 0.25\text{mm}$

孔心、轴心标记误差： $\Delta_5 \leq \pm 0.5\text{mm}$

位置示值误差： $\Delta_6 \leq \pm 0.8\text{mm}$

因此，半径 R 的标准合成误差：

$$|\Delta R| \leq \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2} \leq 1.4\text{mm}$$

半径 R 的极限合成误差：

$$|\Delta R_{\max}| \leq |\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + |\Delta_4| + |\Delta_5| + |\Delta_6| \leq 3.3\text{mm}$$

（以上见测试 7.5）

在 R=3m 处，我们又用水平仪测量了浮标实际运动高度，与上述测量相比，两者相差不大于 1.5mm（见测试 7.6）。

6.2.2 高度 $h(t)$ 桁架旋转过程中浮标在任意时刻的高度 $h(t)$

由下式给出:

$$h(t) = R \sin \theta(t)$$

θ 为旋转角度

位置误差

$$\Delta h = \sin \theta \cdot \Delta R + R \cos \theta \cdot \Delta \theta + \Delta h_0$$

ΔR 、 ΔR_{\max} 为标准合成误差及极限合成误差

$$\Delta R = \pm 1.4 \text{ mm}$$

$$\Delta R_{\max} \leq 3.3 \text{ mm}$$

$\Delta \theta$ 为旋转角度误差, $\Delta \theta = (1/47)^\circ$ Δh_0 、 $\Delta h_{0\max}$ 为水平零点测量标准误差及极限误差

$\Delta h_0 < 1.2 \text{ mm}$ $\Delta h_{0\max} < 2.0 \text{ mm}$ (见测试 7.8)

因而, 波高标准合成误差 $\Delta h = \pm \sqrt{\Delta R^2 + (R \cdot \Delta \theta)^2 + (\Delta h_0)^2} \leq \pm 2.15$

波高标准满度误差 = $(\Delta h \times 2) / 6000 \leq 0.08\% \text{ F.S.}$

波高极限合成误差 $|\Delta h_{\max}| \leq |\Delta R| + |R \cdot \Delta \theta| + |\Delta h_0|$

$$\leq 3.3 + 3000 \times (1/47) \times (\pi/180) + 2.0 \approx 6.0 \text{ mm}$$

波高极限满度误差 = $\Delta h_{\max} \times 2 / 6000 = \pm 0.2\% \text{ F.S.}$

6.2.3 A/D 转换

由于本机 A/D 转换的相对误差小于 3.8×10^{-4} , 标准电压 VS 的稳定性为 1.8×10^{-4} (见测试 7.9、7.10、7.11)。因而, 当被检浮标波高输出为模拟电压时, A/D 转换误差可忽略。

6.3 负载能力测试

装置的负载能力主要取决于桁架及主轴所能承受的扭曲形变。

据《机械零件设计手册(修订版)》规定, 圆截面轴每米允许扭角

$\phi_0 = 0.5^\circ \sim 1.0^\circ$ (P950), 本装置从电机尾端至桁架平面长: 2167 mm,

因而允许扭角 $\phi = 1.1^\circ \sim 2.2^\circ$ 。

我们在浮标模型内装填铁块, 使浮标总重量达 180kg。桁架先以低速旋转, 稳定后阶跃至给定速度, 记录桁架主轴扭角。给定速度值由低到高直至极限 ($T=6.4\text{s}$, $H=6\text{m}$), 发现所有扭角均不大于 1.1° (见测试 7.12), 显然如不以阶

跃方式升速，升速速率越低，桁架及主轴的扭角将越小。

上述测量结果表明桁架负载能力大于 180Kg。因浮标模型体积有限，未能作进一步测试。

6.4 其它

我们设计了两套浮标卡具，可装载浮标直径最小为 0.5 m，最大为 1.0m。我们已经给中科院海洋所、青岛海洋大学等用户出具了被检浮标的幅频和相频特性曲线。

7 测试实验报告

7.1 时钟准确度测定

7.1.1 测试目的

测量计算机插卡 PC-6313 计数时钟的准确度，确定它对波浪浮标检定装置性能测试的影响。

7.1.2 使用仪器

E312A 型频率计 编号：P136

7.1.3 测试方法

在波浪浮标检定装置的计算机中插入 PC-6313 卡，将 PC-6313 卡中 KJ9-1（时钟信号）及地引入 E312A 频率计的输入端。开机稳定半小时后，使 E312A 频率计分别处于周期测量档和频率测量档，每 30 秒记录 1 次，连续记录 10 次，取平均。用示波器监视测量过程。七天后，再重复上述过程。接线如图 7.1-1：

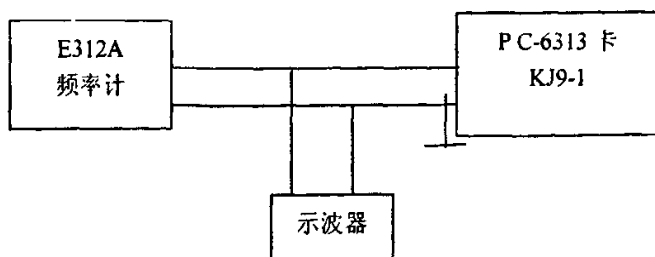


图 7.1-1

7.1.4 测试记录

第一组

(表 7.1-1)

	PC-6313 标称值	测量值				
测量序号	-----	1	2	3	4	5
周期 (μ s)	1.0	1.0000	1.0000	0.9999	1.0000	0.9999
频率 (KHz)	1000	1000.012 9	1000.013 0	1000.012 9	1000.013 0	1000.012 8
测量序号	-----	6	7	8	9	10
周期 (μ s)	1.0	0.9999	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999
频率 (KHz)	1000	1000.013 0	1000.013 1	1000.013 1	1000.013 0	1000.013 2
周期 (μ s)	平均值	1.0000	标称误差 (测量值平均值-标称 值)		0.0000	
频率 (KHz)		1000.013 0			0.0130	

第二组

(表 7.1-2)

	PC-6313 标称值	测量值				
测量序号	-----	1	2	3	4	5
周期 (μ s)	1.0	1.0000	0.9999	1.0000	0.9999	1.0000
频率 (KHz)	1000	1000.013 2	1000.013 0	1000.013 1	1000.013 2	1000.013 2

测量序号	——	6	7	8	9	10
周期 (μs)	1.0	0.9999	1.0000	0.9999	1.0000	0.9999
频率 (KHz)	1000	1000.013 2	1000.013 3	1000.013 4	1000.013 2	1000.013 3
周期 (μs)	平均值	1.0000	标称误差 (平均测量值-标称 值)		0.0000	
频率 (KHz)		1000.013 2			0.0132	

7.1.5 测试结果

(1) 由于 PC-6313 计数时钟周期较短, 约 $1\mu\text{s}$ 左右, 准确度优于 1×10^{-5} 。对于如此小的周期, E312A 频率计处于周期测量档时, 只能提供 4 位有效数字, 因而不足以判定 PC-6313 计数时钟的周期准确度。

(2) E312A 频率计处于频率测量档时, 提供了 8 位有效数字, 据此判定 PC-6313 计数时钟稳定性优于 $1.0\times 10^{-7}/7$ 天, 示值相对误差为 1.3×10^{-5} 。

(3) E312A 频率计检定证书指出其稳定性优于 $1.0\times 10^{-8}/\text{日}$, 远远小于 PC-6313 计数时钟误差, 可忽略不计。

7.2 信号发生器示值误差测定

7.2.1 测试目的

测定 GFG-8016G 型信号发生器的示值误差, 确定它对波浪浮标检定装置性能测试影响。

7.2.2 使用仪器

E312A 频率计 编号: P136 稳定性优于 $1.0\times 10^{-8}/\text{日}$ 。

DS-90406 型示波器 编号: 1065

GFG-8016G 型信号发生器

7.2.3 测试方法

开机稳定半小时后, 根据测定波浪浮标幅频特性的需要, 设定 10 个频率值, 将 GFG-8016G 型信号发生器频率调至设定点上, 输出幅度为 4v 的方波信号至 E312A 频率计输入端。往返调节 2 次, 用示波器监视测量过程。

计算信号发生器输出信号的频率误差。

信号发生器输出信号频率误差 = 信号发生器输出值 - 频率计测量值

接线 如图 7.2-1:

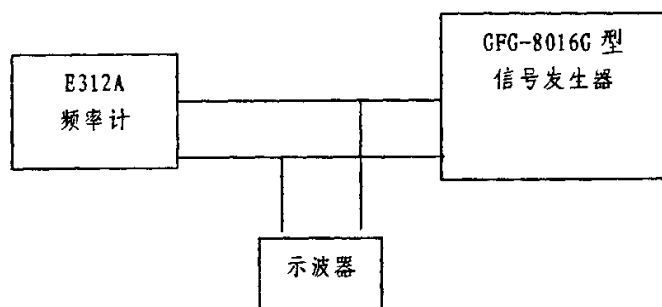


图 7.2-1

7.2.4 测试记录

(表 7.2-1)

频率递增序号	1	2	3	4	5
设定值(Hz)	423	1319	2216	3096	3993
GFG-8016G(KHz)	0.424	1.32	2.21	3.10	3.99
E312A(Hz)	424	1321	2207	3102	3993
误差(Hz)	0	1	3	-2	-3
频率递增序号	6	7	8	9	10
设定值(Hz)	4890	5787	6666	7563	8460
GFG-8016G(KHz)	4.90	5.78	6.66	7.56	8.47
E312A	4901	5777	6665	7559	8471
误差(Hz)	-1	-3	5	-1	-1
频率递减序号	1	2	3	4	5
设定值(Hz)	8460	7563	6666	5787	4890
GFG-8016G(KHz)	8.47	7.56	6.66	5.77	4.90
E312A	8470	7560	6660	5772	4901

误差 (Hz)	0	0	0	-2	-1
	6	7	8	9	10
设定值 (Hz)	3993	3096	2216	1319	423
GFG-8016G (KHz)	3.99	3.09	2.20	1.32	0.424
E312A	3990	3086	2203	1318	424
误差 (Hz)	0	4	-3	2	0

7.2.5 测试结果

1. 在设定的各个频率点上, GFG-8016G 型信号发生器输出示值在其精度(1×10^{-3})范围内与 E312A 频率计的测量值完全吻合。
2. 在波浪浮标检定装置性能测试中, GFG-8016G 型信号发生器输出的方波, 可作标准信号使用, 频率误差可忽略。

7.3 计算机时间测量误差测定

7.3.1 测试目的

确定计算机时间测量程序的测量误差。

7.3.2 使用仪器

E312A 型频率计	编号: P136
GFG-8016G 型信号发生器	出厂编号: 1700510
DS-9040b 型示波器	编号: 1065
波浪浮标检定装置信号分配器	计算机

7.3.3 测试方法

联接信号分配器与计算机, 拔去分配器的角度输入信号插头。将 GFG-8016G 型信号发生器频率调至设定点上, 输出幅度为 4v 的方波信号, 接到分配器的 J2-3, J2-1。运行时间测量程序测量标准信号的周期, 并转换成相应的频率值输出, 以便于比对。每个频率点测量 10 次, 每次测 30 秒, 输出平均值与均方差。测量时 PC-6313 卡中 8253 计数器预置数为 20, 中断累加值为 18。

用示波器、频率计监视测量过程。

测试程序文件名: TEST_PER. EXE PRODATA. EXE

接线 如图 7.3-1:

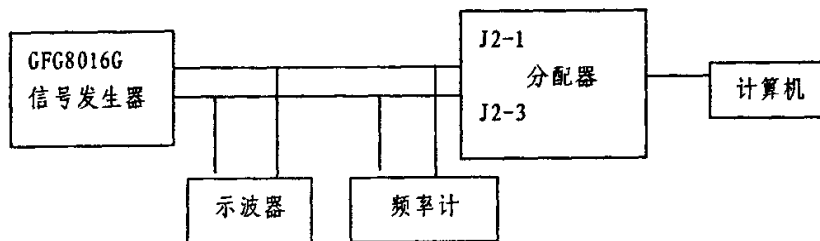


图 7.3-1

7.3.4 测试记录

数据记录见文件: condata. val

表 7.3-1

	GFG-8016G 输出示值 (KHz)	E312A 测量值 (KHz)	程序测量平均 值 (Hz)	均方差 (Hz) (min—max)
1	0.0430	0.0430	430.1	0.0083-0.0107
2	1.324	1.324	1323.9	0.0909-0.1310
3	2.24	2.240	2240.1	0.1820-0.3104
4	3.09	3.092	3091.0	0.3379-0.6254
5	4.08	4.080	4080.0	0.5200-0.9468
6	4.97	4.971	4970.0	1.1838-4.4168
7	5.79	5.787	5787.0	1.1848-1.8363
8	6.61	6.606	6606.0	1.8706-2.9208
9	7.54	7.545	7545.0	2.3015-4.3457
10	8.48	8.481	8481.0	3.7527-5.3483

7.3.5 测试结果

程序的测量值与 GFG-8016G 信号发生器的示值、E312A 频率计的测量值完全吻合。查数据记录文件, 单次测量的最大均方差为 5.348Hz (发生在输入频率

$f=8480\text{Hz}$ 处), 最大相对标准误差 $\delta=0.06\%$, 即本装置时间测量最大相对标准误差不大于 6×10^{-4} 。

计算公式为: $\delta = \text{均方差} / \text{平均值}$ 。

7.4 测量桁架旋转的匀速性能

7.4.1 测试目的

运用时间测试程序, 在设定的频率点上测量桁架旋转的匀速性能。

7.4.2 使用仪器

波浪浮标检定装置(含: 桁架, 传感器, 驱动机构, 计算机, 信号分配器) 秒表两块(上海秒表厂生产, 钻石牌。最小分度 0.1s , 1号表: 467077, 2号表: 565291)

7.4.3 测试方法

在桁架 $R=3\text{m}$ 处, 固定加速度传感器(约 10kg), 仔细调整动平衡。将操作柜旋钮 k_1 置于联动、 k_2 置于自动状态下, 打开刹车盘, 分别给计算机 D/A 转换器输入不同的数值, 通过变频器驱动桁架旋转。当变频器输出稳定后, 令桁架旋转 10 周; 启动计算机时间测试程序, 记录桁架每转过 $(360/47)^\circ$ 、1 周、10 周所需要的时间, 分别计算平均值与均方差, 分析桁架旋转的匀速性及周期稳定性。同时, 由两人分别用秒表计测桁架旋转 10 周的时间与计算机测量结果相比较。

在桁架 $R=3\text{m}$ 处固定 956 浮标模型(约 100kg), 给计算机输入相应周期值, 调用控制程序, 不断修正 D/A 输入数值。重复上述实验。

测试程序文件名: TEST_TM . EXE

7.4.4 测试记录

负载为山仪所加速度传感器(约 10kg)

表 7.4-1 人工计时与计算机测量比对

计算机 D/A 输入	计算机 10 周测量值 (s)	变频器 输出值 (Hz)	秒 表 读 数			误差
			1#	2#	平均值 (s)	

1	300	340.8065	2.8	5' 40"6	-----	340.60	+0.2
2	600	143.2301 0	6.6	2' 23"25	2' 23"2	143.23	+0.0
3	1000	80.92116	11.6	1' 20"80	-----	80.80	-0.1
4	1400	56.41894	16.7	56"4	56"5	56.45	-0.0
5	1800	43.27754	21.7	43"15	43"45	43.30	-0.0
6	2200	35.11746	26.8	-----	35"1	35.10	+0.0
7	2600	29.53009	31.9	-----	29"65	29.65	-0.1
8	3100	24.64098	38.2	24"7	24"75	24.70	-0.1
9	3500	21.77093	43.3	21"8	21"88	21.80	-0.1
10	3900	19.48706	48.3	19"5	19"45	19.50	+0.0
11	270	401.4236 1	2.43	6' 41"25	-----	401.30	+0.1
12	400	234.8494 4	4.03	3' 54"7	-----	234.70	+0.1

数据文件: Data0.val-Data10.val(1-11)

表 7.4-2 周期稳定性测量

D/A 输入	计算机周期测量值(s)					平均值 T (s)	均方 差σ (s)	σ / T (%)
270	40.1612	40.108 4	40.155 5	40.148 0	40.080 4	40.142 4	0.015 35	0.003
	40.1972	40.133 9	40.154 2	40.110 2	40.174 5			
300	34.0645	34.090 4	34.090 7	34.129 3	34.057 3	34.080 1	0.010 34	0.003
	34.0920	34.072 6	34.070 9	34.087 3	34.045 7			
400	23.4821	23.484 6	23.481 3	23.488 2	23.483 2	23.484 9	0.001 10	0.005
	23.4876	23.483 3	23.484 7	23.486 7	23.487 8			
600	14.3247	14.322 7	14.323 3	14.323 9	14.324 2	14.323 0	0.000 42	0.003

	14.3223	14.322 5	14.322 4	14.322 1	14.322 0			
1000	8.0922	8.0923	8.0921	8.0925	8.0916	8.0921	0.000 12	0.001
	8.0923	8.0919	8.0922	8.0922	8.0918			
1400	5.6442	5.6416	5.6425	5.6422	5.6417	5.6419	0.000 44	0.007
	5.6420	5.6410	5.6413	5.6407	5.6417			
1800	4.3279	4.3278	4.3277	4.3278	4.3279	4.3278	0.000 04	0.001
	4.3277	4.3277	4.3277	4.3278	4.3277			
2200	3.5114	3.5119	3.5120	3.5115	3.5117	3.5117	0.000 16	0.004
	3.5114	3.5126	3.5116	3.5117	3.5117			
2600	2.9540	2.9537	2.9536	2.9539	2.9537	2.9538	0.000 11	0.004
	2.9541	2.9535	2.9542	2.9538	2.9536			
3100	2.4640	2.4642	2.4640	2.4642	2.4641	2.4641	0.000 04	0.002
	2.4641	2.4642	2.4640	2.4642	2.4640			
3500	2.1793	2.1773	2.1763	2.1747	2.1796	2.1771	0.000 79	0.036
	2.1766	2.1742	2.1789	2.1769	2.1772			
3900	1.9489	1.9487	1.9488	1.9487	1.9485	1.9487	0.000 05	0.003
	1.9488	1.9487	1.9487	1.9486	1.9486			

2. 负载为 956 浮标模型 (100kg)

表 7.4-3 人工计时与计算机测量比对

	计算机 D/A 输入	计算机 10 周测 量值 (s)	变频器 输出值 (Hz)	秒 表 读 数			误差
				1#	2#	平均值 (s)	
1	270	401.547 8	2.43	6' 41" 55	6' 41" 3	401.40	+0.1
2	300	339.73	2.82	5' 39" 8	-----	339.80	-0.1
3	400	234.903 4	4.03	3' 55" 1	3' 55"	235.00	-0.1
4	600	143.183 3	6.60	2' 23" 3	2' 23" 1	143.20	-0.0
5	1000	80.9075	11.6	1' 21" 2	1' 20" 5	80.90	+0.0
6	1400	56.4058	16.7	56" 7	56" 5	56.60	-0.2
7	1800	43.2751	21.7	43" 2	43" 3	43.20	+0.0

数据文件名: Tm1.val—Tm7.val

表 7.4-4 周期稳定性测量

D/A 输入	计算机周期测量值 (s)					平均值 T (s)	均方差 σ (s)	σ / T (%)
270	40.244	40.214	40.196	40.110	40.142	40.154	0.022	0.055
	5	1	9	9	6			
	40.105	40.091	40.160	40.136	40.144	8	01	
	2	9	6	8	4			
300	33.975	33.969	33.968	33.975	33.963	33.973	0.003	0.010
	9	0	9	0	9			
	33.985	33.972	33.987	33.969	33.965	3	56	
	5	0	9	2	1			
400	23.492	23.489	23.492	23.491	23.490	23.490	0.001	0.005
	5	3	3	7	4			
	23.488	23.494	23.488	23.489	23.486	3	10	
	2	6	7	7	0			
600	14.319	14.317	14.319	14.316	14.319	14.318	0.000	0.003
	6	3	3	5	0			
	14.317	14.318	14.318	14.318	14.318	3	42	
	8	0	8	5	5			
1000	8.0906	8.0911	8.0908	8.0909	8.0906	8.0908	0.000	0.001
	8.0911	8.0904	8.0908	8.0904	8.0908			
1400	5.6349	5.6382	5.6405	5.6423	5.6401	5.6406	0.001	0.025
	5.6417	5.6400	5.6419	5.6388	5.6412			
1800	4.3275	4.3275	4.3281	4.3271	4.3275	4.3275	0.000	0.003
	4.3276	4.3275	4.3276	4.3275	4.3273			

3. 负载为 956 浮标模型 加控制程序

表 7.4-5 人工计时与计算机测量比对

	周期设定值 (s)	计算机 10 周测量值 (s)	变频器 输出值 (Hz)	秒表读数			误差
				1#	2#	平均值 (s)	
1	40"	401.8851	2.43	6' 41"8	6' 41"5	401.70	+0.1
2	34"	339.8826	2.82	5' 40"05	5' 39"6	339.60	+0.2
3	23"	230.7511	4.10	3' 50"85	3' 50"9	230.90	-0.1

4	14"	140.0709	6.73	2' 20"1	2' 20"	140.10	-0.1
5	8"1	81.0627	11.6	1' 21"1	1' 20"9	81.00	+0.0
6	5"6	56.0370	16.7	56"0	56"0	56.00	+0.0
7	4"3	43.0025	21.9	43"0	42"7	42.90	+0.1

数据文件名: Tmcon1.val—Tmcon7.val

表 7.4-6 周期稳定性测量

周期设定值 (s)	计算机周期测量值 (s)					平均值 T (s)	均方差 σ (s)	σ / T (%)																																																																																
40	40.15 81	40.263 4	39.951 0	40.309 4	40.362 8	40.18 85	0.051 56	0.128																																																																																
	40.171 0	40.146 6	40.255 2	40.163 7	40.103 4				34	34.040 1	34.017 1	34.020 7	33.973 7	33.965 8	33.98 83	0.011 95	0.035	33.972 4	33.980 0	33.969 5	33.977 2	33.966 2	23	23.101 9	23.080 3	23.076 0	23.072 2	23.082 1	23.07 51	0.007 51	0.033	23.047 5	23.045 2	23.082 6	23.081 1	23.082 0	14	14.001 5	14.008 2	14.008 4	14.001 9	14.026 1	14.00 71	0.003 24	0.023	14.005 9	14.004 8	14.004 3	14.000 6	14.009 3	8.1	8.1102	8.1001	8.1073	8.1101	8.1032	8.106 3	0.001 59	0.020	8.1024	8.1079	8.1040	8.1095	8.1082	5.6	5.6076	5.6031	5.6043	5.6048	5.6079	5.603 7	0.001 57	0.028	5.5957	5.6052	5.6043	5.6037	5.6004	4.3	4.3011	4.3014	4.3006	4.2981	4.3013	4.300 2	0.000 52	0.012	4.2982
34	34.040 1	34.017 1	34.020 7	33.973 7	33.965 8	33.98 83	0.011 95	0.035																																																																																
	33.972 4	33.980 0	33.969 5	33.977 2	33.966 2				23	23.101 9	23.080 3	23.076 0	23.072 2	23.082 1	23.07 51	0.007 51	0.033	23.047 5	23.045 2	23.082 6	23.081 1	23.082 0	14	14.001 5	14.008 2	14.008 4	14.001 9	14.026 1	14.00 71	0.003 24	0.023	14.005 9	14.004 8	14.004 3	14.000 6	14.009 3	8.1	8.1102	8.1001	8.1073	8.1101	8.1032	8.106 3	0.001 59	0.020	8.1024	8.1079	8.1040	8.1095	8.1082	5.6	5.6076	5.6031	5.6043	5.6048	5.6079	5.603 7	0.001 57	0.028	5.5957	5.6052	5.6043	5.6037	5.6004	4.3	4.3011	4.3014	4.3006	4.2981	4.3013	4.300 2	0.000 52	0.012	4.2982	4.3008	4.3001	4.3003	4.3006										
23	23.101 9	23.080 3	23.076 0	23.072 2	23.082 1	23.07 51	0.007 51	0.033																																																																																
	23.047 5	23.045 2	23.082 6	23.081 1	23.082 0				14	14.001 5	14.008 2	14.008 4	14.001 9	14.026 1	14.00 71	0.003 24	0.023	14.005 9	14.004 8	14.004 3	14.000 6	14.009 3	8.1	8.1102	8.1001	8.1073	8.1101	8.1032	8.106 3	0.001 59	0.020	8.1024	8.1079	8.1040	8.1095	8.1082	5.6	5.6076	5.6031	5.6043	5.6048	5.6079	5.603 7	0.001 57	0.028	5.5957	5.6052	5.6043	5.6037	5.6004	4.3	4.3011	4.3014	4.3006	4.2981	4.3013	4.300 2	0.000 52	0.012	4.2982	4.3008	4.3001	4.3003	4.3006																								
14	14.001 5	14.008 2	14.008 4	14.001 9	14.026 1	14.00 71	0.003 24	0.023																																																																																
	14.005 9	14.004 8	14.004 3	14.000 6	14.009 3				8.1	8.1102	8.1001	8.1073	8.1101	8.1032	8.106 3	0.001 59	0.020	8.1024	8.1079	8.1040	8.1095	8.1082	5.6	5.6076	5.6031	5.6043	5.6048	5.6079	5.603 7	0.001 57	0.028	5.5957	5.6052	5.6043	5.6037	5.6004	4.3	4.3011	4.3014	4.3006	4.2981	4.3013	4.300 2	0.000 52	0.012	4.2982	4.3008	4.3001	4.3003	4.3006																																						
8.1	8.1102	8.1001	8.1073	8.1101	8.1032	8.106 3	0.001 59	0.020																																																																																
	8.1024	8.1079	8.1040	8.1095	8.1082				5.6	5.6076	5.6031	5.6043	5.6048	5.6079	5.603 7	0.001 57	0.028	5.5957	5.6052	5.6043	5.6037	5.6004	4.3	4.3011	4.3014	4.3006	4.2981	4.3013	4.300 2	0.000 52	0.012	4.2982	4.3008	4.3001	4.3003	4.3006																																																				
5.6	5.6076	5.6031	5.6043	5.6048	5.6079	5.603 7	0.001 57	0.028																																																																																
	5.5957	5.6052	5.6043	5.6037	5.6004				4.3	4.3011	4.3014	4.3006	4.2981	4.3013	4.300 2	0.000 52	0.012	4.2982	4.3008	4.3001	4.3003	4.3006																																																																		
4.3	4.3011	4.3014	4.3006	4.2981	4.3013	4.300 2	0.000 52	0.012																																																																																
	4.2982	4.3008	4.3001	4.3003	4.3006																																																																																			

7.4.5 测试结果

1. 桁架运行 10 周, 分别运用计算机时间测试程序计时与秒表计时, 两者数值基本相符, 所有测数误差均与秒表最小分度值相当。计算机时间测量数据可信。

2. 在周期为 2s~40s 内的各个设定点上, 桁架连续运转 10 周时, 周期的相对标准偏差 (σ/T) 最大为 0.13% ($t=40s$), 极大部分均小于 0.05%, 亦即桁架在匀速运转时每周的平均速度误差不大于 0.13%。远远优于计划任务书所规定指标。

3. 在周期 2s~34s 内的各个设定点上, 桁架连续运转 10 周时, 每转过 $(360/47)^\circ$ 所需时间的相对偏差小于 0.5%, 即桁架“瞬时速度”误差小于 0.5%, 达到任务书所规定的指标。

4. 在周期 $t=40s$ (或 $D=270$) 负载为传感器时, “瞬时速度”的相对标准偏差在 0.75%~0.94%。当负载为 956 浮标模型时, “瞬时速度”的相对标准偏差在 1.09%~1.27%之间。

7.5 浮标旋转半径的测定

7.5.1 测试目的

测量浮标的旋转半径, 以计算实际波高。

对计算机中波高的标称值赋予实际测量值。

7.5.2 使用器具

雄狮牌普通钢卷尺 3 把 (0~50m 2 把, 0~5m 1 把)

0.5kg 铅垂 2 个, 5kg 砝码 1 个

游标卡尺 (0.02mm, 0~250mm)

DSZ30 型水准仪 (出厂编号: 882504, 往返测量误差小于 2.5mm/km)

7.5.3 测试方法

用游标卡尺找出卡具转轴中心。将卡具分别固定在桁架的不同波高位置上, 以卡具转轴中心为准, 在桁架的南半臂上作出相应标记。用水准仪使浮标处于水平位置, 刹车, 固定桁架位置。悬挂铅垂线, 使之通过桁架转轴轴心。将钢卷尺与南半臂平行, 并尽可能靠近旋转臂。一端固定, 另一端通过滑轮悬挂 5kg 砝码。

读出铅垂线及南半臂上各个标记在钢卷尺上的刻度值, 表 7.5-1。用铅垂线在卷尺上的刻度值 L_0 (即转轴轴心) 减去卡具中心标记在卷尺上的刻度值 L_1 得到卡具中心的旋转半径 $R = L_0 - L_1$ 。移动钢卷尺, 重复上述过程, 3 次读数取平均值。记录卡具处于不同波高位置时桁架南北两臂在桁架轴心处及距轴心 3.2m 处的距离 (表 7.5-3), 按下式作半径修正 $R_0 = R + \Delta R$ $R = R \cos(\arcsin[(d_2 - d_1)/3000]) - R$ 其中

R_0 --- 实际的旋转

R --- 在南半臂上的测量值

d_2 --- 在半径为 3.2m 处两臂距离

d_1 --- 在半径为 0.2m 处两臂距离

7.5.4 测试记录

表 7.5-1 南臂半径测量

	半径测点	铅垂线 L_0	0.5m 点	0.75m 点	1.00m 点	1.25m 点
1	卷尺刻度值 L_1 (mm)	4594.5	4095.0	----	3595.5	3345.0
	半径 R (mm)	0.0	499.5	----	999.0	1249.5
2	卷尺刻度值 L_1 (mm)	4948.5	4449.5	4219.0	3949.5	3699.0
	半径 R (mm)	0.0	499.0	749.5	999.0	1249.5
3	卷尺刻度值 L_1 (mm)	4943.5	4444.0	4194.0	3944.0	3693.5
	半径 R (mm)	0.0	499.5	749.5	999.5	1250.0
	R 平均值 (mm)		499.3	749.5	999.2	1249.7
	读数误差 (mm)		0.24	0.0	0.24	0.24
	半径测点	1.50m 点	1.75m 点	2.00m 点	2.25m 点	2.50m 点
1	卷尺刻度值 L_1 (mm)	3095.0	2844.5	2594.5	2345.0	2095.5
	半径 R (mm)	1499.5	1750.0	2000.0	2249.5	2499.0

2	卷尺刻度值 L_i (mm)	3449.5	3199.0	2949.0	2699.5	2449.0
	半径 R(mm)	1499.0	1749.5	1999.5	2249.0	2499.5
3	卷尺刻度值 L_i (mm)	3443.5	3193.5	2943.0	2693.5	2444.0
	半径 R(mm)	1500.0	1750.0	2000.5	2250.0	2499.5
	R 平均值(mm)	1499.5	1749.8	2000.0	2249.5	2499.3
	读数误差(mm)	0.41	0.24	0.41	0.41	0.24
	半径测点	2.75m 点	3.00m 点			
1	卷尺刻度值 L_i (mm)	1845.0	1595.5			
	半径 R(mm)	2749.5	2999.0			
2	卷尺刻度值 L_i (mm)	2219.0	1949.0			
	半径 R(mm)	2749.5	2999.5			
3	卷尺刻度值 L_i (mm)	2193.5	1935.0			
	半径 R(mm)	2750.0	2999.5			
	R 平均值(mm)	2749.7	2999.3			
	读数误差(mm)	0.24	0.25			

表 7.5-2 示值误差

半径示值(mm)	500	750	1000	1250	1500	1750
测量平均值 (mm)	499.3	749.5	999.2	1249.7	1499.5	1749.8
示值误差(mm)	0.7	0.5	0.8	0.3	0.5	0.2
半径示值(mm)	2000	2250	2500	2750	3000	
测量平均值 (mm)	2000.0	2249.5	2499.7	2749.7	2999.3	
示值误差(mm)	0.0	0.5	0.3	0.3	0.7	

注：示值误差 = 示值 - 测量值

表 7.5-3 两臂不平行测量

卡具位置(m)	1.00	1.25	1.75	2.25	3.00
轴心处两臂距离 d_1 (mm)	1412	1412	1412	1412	1412
3.2m 处两臂距离 d_2 (mm)	1350	1350	1365	1374	1393
半径修正值	-0.20	-0.25	-0.20	-0.16	-0.05

7.5.5 测试结果

1. 普通钢卷尺的刻线误差为 $(0.2+0.2 \times L)$ mm (《钢卷尺检定规程》JJG4-1999), 其中, L 为以 m 为单位的长度值。实验前, 我们将 3 把钢卷尺两两悬挂起来, 在 5m 内发现其刻线差别均不大于 1mm。因此, 可以认为上述刻线误差公式在此适用。本次测试中, 钢卷尺刻线误差 $\leq 0.2 + 0.2 \times 3 = 0.8$ mm

2. 旋转半径综合误差:

由表 7.5-1 可得钢卷尺读数误差 $\leq \pm 0.41$ mm。

由表 7.5-2 可得半径示值误差 $\leq \pm 0.8$ mm。

由表 7.5-3 可得两臂不平行引起的半径误差 $\leq \pm 0.25$ mm。

两臂的卡具固定孔加工为配打, 机加工误差 $\leq \pm 0.5$ mm (两臂不等长误差)。

轴心等位置标记误差 $\leq \pm 0.5$ mm。

钢卷尺刻线误差 $\leq \pm 0.8$ mm。

旋转半径 R 的综合误差应当由以上各部分组成:

$$\Delta R = \pm \sqrt{\sum \Delta_i^2} \quad \Delta R_{\max} = \pm \sum |\Delta_i|$$

因而, 半径 R 的标准合成误差 $\Delta R \leq \pm 1.4$ mm

半径 R 的极限合成误差 $\Delta R_{\max} \leq \pm 3.26$ mm

7.6 校验浮标的旋转半径

7.6.1 测试目的

通过对浮标位于最高点与最低点的位置测量, 校验测试 5 所得数据。

7.6.2 使用器具

雄师牌钢卷尺 1 把 (0~50m)

钢板尺 1 把、直角尺 1 把、电动葫芦

DSZ30 型水准仪 (厂编号 882504, 往返测量误差 2.5mm/km), 0.5kg 铅垂 2 个、5kg 砝码 1 个

7.6.3 测试方法

把钢卷尺 (A) 一端固定在电动葫芦吊钩上, 另一端悬挂 5kg 砝码, 使之静止铅直, 把钢板尺 (B) 垂直固定在浮标模型的顶部 (浮标始终处于水平状态); 旋转桁架, 使桁架主梁与铅垂线平行, 此时浮标处于最高点或最低点。在浮标分别处于最高点或最低点时, 用水准仪读取钢卷尺、钢板尺的读数 (A_1, A_2, B_1, B_2) 如图所示, 重复 3 次取平均, 而后根据下式计算浮标旋转直径 D, 以校验测试 5 所得数据。 $D=|A_1-A_2| \pm |B_1-B_2|$ (由 A_1, A_2, B_1, B_2 读数方向确定 “+” 或 “-”。)

7.6.4 测试记录

表 7.6-1

	A_1	B_1	A_2	B_2
1	-944.5	967.5	5966.0	995.5
2	-944.5	967.5	5966.5	995.7
3	-944.2	967.5	5966.5	995.5
平均值	-944.3	967.5	5966.3	995.6
误差	0.24	0.0	0.24	0.09

代入公式: $D = [5966.3 + (1000 - 944.3)] - [995.6 - 967.5] = 5.6$

极限误差 $\pm 0.57, R = D/2 \approx 2997.8 \pm 0.29$

7.6.5 测试结果

这种方法实施时比较困难，因而没有对各个半径进行校验，仅对 $R=3m$ 进行了校验。两种方法所得数据基本相符，测试 5 数据可信。

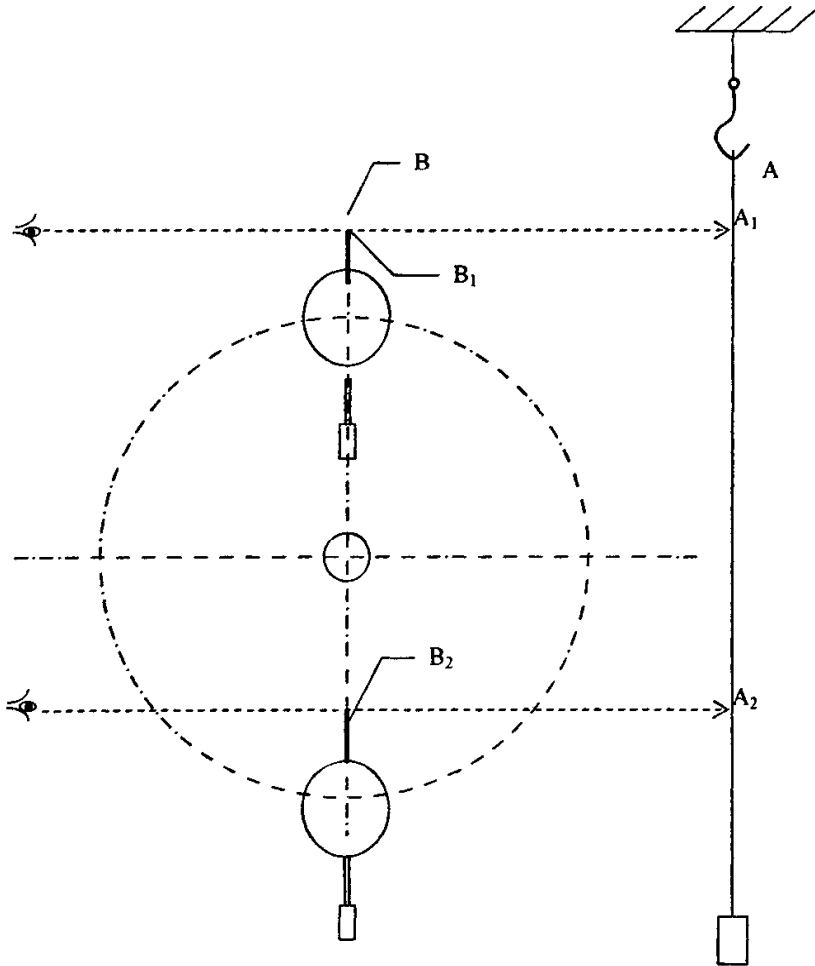


图 7.6-1

7.7 转动轴扭曲形变估测

7.7.1 测试目的

估测转动轴扭曲形变，以判断光电编码器所示角度与桁架实际旋转角度的误差。

7.7.2 测试仪器

波浪浮标检定装置

7.7.3 测试方法

在桁架半径 3m 处安装 956 浮标模型 (100kg) 调整动平衡。将操作柜旋钮 k_1 置于联动、 k_2 置于自动状态下打开刹车盘。以周期信号上升沿出现的位置为桁架旋转角度的零点。将桁架置于角度零点处。给计算机 D/A 输入一个阶跃值, 记录桁架在升速、匀速、降速过程中, 每周光电编码器输出脉冲个数。改变阶跃值, 重复上述实验。

当传动轴无形变时, 桁架每转 1 周, 光电编码器输出 $360 \times 47 = 16920$ 个脉冲。在计算机中, 二分频后计数为 8460, 每个计数代表 $(2/47)^\circ$ 。在升速时, 电机扭动桁架, 计数应高于 8460, 降速时, 桁架扭动电机计数应低于 8460, 随着扭矩升降, 计数应有相应变化。

7.7.4 测试记录

表 7.7-1 数据文件: shp0.val—shp8.val

D/A 输入 D	变频器输出 (Hz)	桁架旋转周期 (s)	2 周期信号间角度脉冲个数			最大差 Δ_{\max}	扭角 $\Delta\phi$
			升速	匀速	降速		
300	2.82	34.3	8460	8460	8448	12	0.51
600	6.6	14.6	8462	8460	8446	14	0.60
800	9.16	10.5	8461	8460	8441	19	0.81
1000	11.6	8.3	8466	8460	8445	15	0.64
1200	14.6	6.6	8464	8460	8443	17	0.72
1400	16.7	5.8	8470	8460	8442	18	0.77
1600	19.2	5.0	8464	8460	8443	17	0.72
1800	21.7	4.5	8465	8460	8449	11	0.47
2200	26.8	3.6	8463	8460	8443	17	0.72

7.7.5 测试结果

1. 在阶跃输入时, 桁架作非匀加速运动, 最大扭矩应发生在阶跃输入瞬间, 即第一周内。然后扭矩将逐渐释放, 直至匀速运动。测试数据表明: 在输入阶跃较大时, 进入匀速状态前, 每周内脉冲计数增加与减少大体相当; 而且, 当输入

阶跃较小时 ($D=300$), 升速与匀速时脉冲计数无变化。因而, 可以认为在匀速旋转时, 传动轴扭曲形变不应大于 $(2/47)^\circ$ 。即光电编码器所示角度与桁架实际旋转角度误差不应大于 $(2/47)^\circ$ 。

2. 在加速过程中, 每周内最大形变 $\leq (20/47)^\circ$ ($D=1400$)。

3. 在减速过程中每周内最大形变 $\leq (40/47)^\circ$ ($D=1400$)。由于变频器有吸收电阻, 负阶跃输入时降速时间较短, 因而, 扭矩较大, 相应形变也大。

7.8 浮标上跨零点确定

7.8.1 测试目的

确定桁架水平零点, 作为桁架旋转角度计算的起始点。

7.8.2 使用器具

DSZ30 型水准仪 (出厂编号: 882504, 往返测量误差小于 $2.5\text{mm}/\text{Km}$)
钢板尺 ($0\sim 1000\text{mm}$, 1mm)

7.8.3 测试方法

将钢板尺分别放在桁架旋转臂上 3m 点, 及旋转轴八角套、刹车轴、电机轴尾端上。用水准仪瞄视钢板尺读数, 使旋转臂的中心线与旋转轴的轴心线处于同一水平面内。在地面上固定一指针, 记下桁架此时位置。定为桁架水平零点。

让桁架由下而上缓慢通过水平零点, 调整周期信号传感器的位置, 使周期信号的前沿与水平零点相吻合。反复三次。调整完毕后锁紧传感器定位螺钉。再观测一次。

7.8.4 测试记录

信号前沿与零点重合误差: 0.5mm , 1.0mm , 1.0mm , 1.0mm , 平均: $0.88\text{mm} \pm 0.22\text{mm}$

7.8.5 测试结果

轴心线与旋转臂中心线标示误差为 0.5mm , 水准仪观察误差为 0.5mm 。信号前沿与零点重合误差为 0.88mm , 因而, 计算机记录的桁架水平零点综合误差

$$\Delta h_0 = \pm\sqrt{0.5^2 + 0.88^2 + 0.5^2} \leq \pm 1.2\text{mm}$$

$$\text{极限误差 } \Delta h_{\text{max}} < |0.5| + |0.88| + |0.5| \leq 2.0\text{mm}$$

7.9 基准电压测量

7.9.1 测试目的

测量信号分配器中基准电压的准确值及稳定性，以校准 A/D 转换器。

7.9.2 使用仪器

3468A 型 6 位半数字电压表 技术所编号 D313 信号分配器

7.9.3 测试方法

开机预热半小时，短路数字电压表输入端，读取零点；连接数字电压表输入端与信号分配器 J9-11(+2.5v) 与 J9-14(地)，每隔半小时读取一次基准电压数值与电压表零点值，连续 8 小时。7 天后重复上述测量。

按以下方法计算：电压表上基准电压读数减去零点读数为基准电压的测量值，两次算术平均值为 V_{s1} 、 V_{s2} ，对应的均方差为 σ_{vs1} 、 σ_{vs2} ，两次加权后的平均值为 V_s ，均方差为 σ_{vs} ，7 天稳定性： $\delta = |V_{s1} - V_{s2}| / V_s$ 。

7.9.4 测试记录

表 7.9-1 第一次

时间	9: 00	9: 30	10: 00	10: 30	11: 00	11: 30
基准电压(v)	2.48929	2.48985	2.48980	2.48965	2.48905	2.49001
零点	+0.0000 00	-0.0000 00	+0.0000 00	-0.0000 00	+0.0000 00	+0.0000 01
时间	12: 00	14: 00	14: 30	15: 00	15: 30	16: 00
基准电压(v)	2.49035	2.49000	2.49001	2.49011	2.49013	2.49012

零点	+0.0000 01	+0.0000 01	+0.0000 02	+0.0000 002	+0.0000 03	+0.0000 03
时间	16: 30	17: 00	17: 30	-----	-----	-----
基准电 压(v)	2.49001	2.48985	2.49001	-----	-----	-----
零点	+0.0000 03	+0.0000 03	+0.0000 03	-----	-----	-----

$$V_{s1}=2.48988$$

$$\sigma_{v_{s1}}=\pm 0.000324$$

表 7.9-2 第二次

时间	9: 30	10: 00	10: 30	11: 00	11: 30	12: 00
基准电 压(v)	2.48915	2.48916	2.48951	2.48946	2.48974	2.48972
零点	-0.0000 00	+0.0000 00	-0.0000 00	+0.0000 00	-0.0000 00	+0.0000 01
时间	12:30	13: 00	13: 30	14: 00	14: 30	15: 00
基准电 压(v)	2.48932	2.48937	2.48942	2.48937	2.48930	2.48938
零点	+0.0000 0	+0.0000 00	+0.0000 01	+0.0000 001	+0.0000 01	+0.0000 01
时间	15: 30	16: 00	16: 30	17: 10	17: 30	-----
基准电 压(v)	2.48935	2.48938	2.48935	2.48936	2.48998	-----
零点	+0.0000 01	+0.0000 01	+0.0000 02	+0.0000 02	+0.0000 01	-----

$$V_{s2}=2.48944$$

$$\sigma_{v_{s2}}=\pm 0.00020$$

7.9.5 测试结果

两次连续测量读数平均值可以相互符合，加权平均后

$$V_s = 2.48965$$

$$\sigma_{v_s}=\pm 0.00025$$

7 天稳定性为: $\delta = 1.8 \times 10^{-4}$

7.10 A/D 转换精度测定

7.10.1 测试目的

测定 A/D 转换精度, 以确定 A/D 转换对浮标波高测量的影响。

7.10.2 使用仪器

3468A 型 6 位半数字电压表 技术所编号: D313

WQI 型晶体管稳压电源 技术所编号: W-264

计算机

7.10.3 测试方法

开机预热半小时后, 将稳压电源输出端并联一电容 ($220 \mu / 50v$), 然后连接到信号分配器 J9-6(+), 及 J9-14(地), 分配器上 k7 开关拨至共地状态, 计算机 PC-6313 板上 KJ1、KJ2 开关拨至单端输入。用数字电压表监测稳压电源的输出电压 V_i 。计算机 A/D 板首先采样信号分配器中基准电压 V_s , 测得 D_s , 然后采样输入电压 V_i , 测得 D_i , 每次采样 30 次计算平均值得出 V_o , $V_o = (V_s/D_s) \times D_i$ 。调节电源输出, 以 0.5v 为间隔, 从 0.5v 变化到 9.5v。重复上述测量。

7.10.4 测试数据

表 7.10-1 记录见数据文件 Addatal.val

电压表测量值	0.7346 0	1.0051 5	1.5149 0	2.0157 5	2.5008 0	3.0411 0	3.4981 0
计算机测量值 V_o	0.7345 7	1.0050 4	1.5150 5	2.0158 6	2.5031 6	3.0414 6	3.5000 6
Δ	0.0000 3	0.0001 1	0.0001 5	0.0001 1	0.0023 6	0.0003 6	0.0019 6
δ (%)	0.004	0.011	0.010	0.005	0.094	0.012	0.056

电压表测量 值	4.0371 0	4.5325 0	5.0222 0	5.5123 0	6.0376 0	6.5403 0	7.0607 0
计算机测量 值 V_0	4.0379 1	4.5337 5	5.0241 4	5.5144 6	6.0397 7	6.5426 1	7.0633 6
Δ	0.0008 1	0.0012 5	0.0019 4	0.0021 5	0.0021 7	0.0023 1	0.0026 6
δ (%)	0.020	0.028	0.039	0.039	0.036	0.035	0.038
电压表测量 值	7.5113 0	8.0601 0	8.5084 0	-----	-----	-----	-----
计算机测量 值 V_0	7.5150 1	8.0627 1	8.5115 1	-----	-----	-----	-----
Δ	0.0037 1	0.0026 1	0.0031 1	-----	-----	-----	-----
δ (%)	0.049	0.032	0.037	---	---	---	---

7.10.5 测试结果

数据表明由多次 A/D 转换的平均值,得出的电压数值 V_0 与数字电压表测得的输入电压数值 V_i 非常接近。在 $0 \sim 5.0\text{v}$ 时,相对误差小于 5.4×10^{-5} ;

在 $5.0\text{v} \sim 9.5\text{v}$ 时,相对误差小于 3.8×10^{-4} ,亦即计算波高时 A/D 的误差可忽略。

在测量中发现 A/D 转换的离散性较大,相对标准偏差高达 $\pm 0.42\%$ 。因此,对同一输入电压应多次采样转换后取平均值。

7.11 传输线电阻测定

7.11.1 测试目的

测定传输线电阻,以确定传感器模拟电压输出在传输线上的损耗。

7.11.2 使用仪器

3468A 型 6 位半数字电压表 技术所编号: D313

7.11.3 测试方法

拔去夹具上浮标传感器插头, 分别短接 5#与 1#滑环, 5#与 2#滑环, 5#与 3#滑环, 5#与 4#滑环, 5#与 6#滑环, 5#与 7#滑环。在控制室内用数字电压表测量传输缆末端相应线号间电阻, 记录相应阻值, 重复测量 3 次。在桁架旋转时, 再重复上述测量。记录数字电压表测量电阻前后零点的变化, 计算 1#至 7#传输线的阻值 $R_1 \sim R_7$ 。

7.11.4 测试记录

1. 静态, 测量前输入端短路电阻值: 0.225Ω , 测量后输入端短路电阻值: 0.220Ω 。

表 7.11-1

测量	5#与 1# (Ω)	5#与 2# (Ω)	5#与 3# (Ω)	5#与 4# (Ω)	5#与 6# (Ω)	5#与 7# (Ω)
1	4.257	4.239	4.245	4.383	3.125	3.214
2	4.250	4.232	4.231	4.280	3.131	3.208
3	4.254	4.236	4.238	4.333	3.128	3.211
平均值	4.254	4.236	4.238	4.332	3.128	3.211
误差	0.003	0.003	0.0006	0.042	0.002	0.002

所以 $R_1=2.558 \Omega$ $R_2=2.540 \Omega$ $R_3=2.542 \Omega$ $R_4=2.636 \Omega$
 $R_5=1.474 \Omega$ $R_6=1.432 \Omega$ $R_7=1.515 \Omega$

2. 动态 变频器输出: 3.00Hz

表 7.11-2

桁架位置	5#与 1# (Ω)	5#与 2# (Ω)	5#与 3# (Ω)	5#与 4# (Ω)	5#与 6# (Ω)	5#与 7# (Ω)
0°	4.169	3.923	3.965	3.971	2.849	2.833
90°	4.277	3.910	3.949	3.950	2.830	2.775
180°	6.145	3.967	3.956	3.975	2.851	3.644
270°	5.117	4.474	3.921	3.985	2.856	2.971
Max	7.300	4.474	3.970	3.950	2.878	3.644
Min	3.999	3.900	3.920	4.015	2.821	2.775

3. 变频器输出: 16.0Hz

表 7.11-3

桁架位置	5#与 1# (Ω)	5#与 2# (Ω)	5#与 3# (Ω)	5#与 4# (Ω)	5#与 6# (Ω)	5#与 7# (Ω)
0°	4.037	3.925	3.931	3.952	2.829	2.793
90°	3.987	4.067	3.944	3.964	2.837	2.836
180°	4.103	3.969	3.937	3.948	2.818	2.796
270°	4.055	4.083	3.940	3.967	2.839	2.828
Max	3.970	4.083	3.944	3.972	2.818	2.836
Min	4.120	3.920	3.923	3.948	2.839	2.793

7.11.5 测试结果

A/D 转换器输入阻抗 $\geq 10M\Omega$, 传输线电阻 $\leq 5\Omega$, 当输入缓慢变化电压信号时, 传输线交流分布参数不起作用, 则传输线上电压损失 $\leq 5.0 \times 10^{-7}$ 可以忽略。

在桁架旋转时, 涂抹导电膏后, 线阻虽然有变化, 但不出现跳跃。上述结论仍成立。

7.12 装置负载能力估测

7.12.1 测试目的

估测转动轴的扭曲形变, 定性判断装置最大负载能力。

7.12.2 测试设备

台称: 最大称量 100Kg, 最小称量 50g

配重盘: 20Kg 5 盘, 9.2Kg 7 盘, 5.89Kg 19 盘, 956 浮标模型, 浮球内填充铁块, 总重量 180Kg

7.12.3 测试方法

在桁架与传动轴无形变时, 桁架每转 1 周, 光电编码器输出 $360 \times 47 = 16920$ 个脉冲。在计算机中, 2 分频后计数为 8460, 每个计数代表桁架旋转 $(2/47)^\circ$;

当桁架作匀速转动时，传动轴的扭曲形变稳定且不大于 $(2/47)^\circ$ （见测试7），即两个周期信号之间，角度脉冲的计数稳定，在 8460 ± 1 上，当桁架升速或降速时，传动轴发生扭曲形变，两个周期信号之间角度脉冲的计数应有相应变化，这个变化值反映了传动轴的扭曲形变。

据《机械零件设计手册（修改版）》，圆截面轴每米允许扭角 $\phi_0 = 0.5^\circ \sim 1.0^\circ$ (P950)，本装置从电机尾端至桁架平面全长 2176mm，因而允许扭角 $\phi = 1.1^\circ \sim 2.2^\circ$ 。将 956 浮标模型（总重量 180Kg）安装在 R=3m 点上。在计算机内，给 A/D 转换以初值 $D_0 = 150$ ，通过变频器驱动桁架缓慢旋转（转动周期约 120s），转速稳定后，在周期信号到达时，给 D 一个阶跃值 ΔD ，使 $D = D_0 + \Delta D$ ，桁架立即升速，记录各周期信号之间的角度脉冲个数；至第 12 周时，再给 D 一个负阶跃 ΔD ，使 $D = D_0$ ，桁架立即降速直至稳定。比较升速、匀速、降速过程中每个周期信号之间的角度脉冲的计数，计算计数最大变化值 Δ_{\max} ，对应的传动轴扭角 $\Delta \phi$ ，按上述条件判断本装置的负载能力。按下式计算：

$$\Delta \phi = \Delta_{\max} \times (2/47)^\circ$$

7.12.4 测试记录

表 7.12-1 $D_0 = 150$ ，对应于变频器输出频率 0.83Hz，桁架旋转周期 116s

ΔD	变频器输出 (Hz)	桁架 旋转 周期 (s)	两周期信号间角度脉冲的个数							最大 差 Δ max	扭角 $\Delta \phi$
			8479	8460	8460	8460	8459	8461	8459		
450	6.6	14.6	8479	8460	8460	8460	8459	8461	8459	24	1.021
			8461	8460	8460	8459	8461	8460	8436		
650	9.16	10.5	8463	8461	8460	8460	8460	8459	8461	3	0.128
			8460	8460	8461	8461	8460	8461	8458		
850	11.6	8.3	8482	8459	8460	8460	8460	8460	8459	22	0.936
			8461	8460	8460	8460	8460	8458	8454		
1250	16.6	5.8	8482	8459	8460	8459	8459	8460	8460	22	0.936
			8460	8460	8460	8460	8460	8460	8458		
1350	17.9	5.3	8468	8455	8457	8463	8460	8460	8463	8	0.340
			8460	8459	8461	8460	8460	8461	8459		

数据文件 shpdata.val

7.12.5 测试结果

(1)测试表明,在上述各种情况下,传动轴扭角均不大于 1.1° ,在允许值之内。

(2)根据斯托克斯波陡限制,在波高为 6m 时,波周期不应大于 6.4s。我们在测试中最小周期为 5.4s,这意味着传动轴所受扭矩已大于正常测试时所受的扭矩。

(3)显然,如不以阶跃方式升速,升速速率越低,传动轴所受扭矩越小,扭角也越小。

综上所述,可以认为本装置的实际负载能力已大于 180Kg,因浮标模型体积有限,不能进一步加载,故未作进一步测试。

8 波浪浮标检定装置计量标准的建立

8.1 计量标准的概念

8.1.1 测量标准

计量标准

为了定义、实现、保存或复现量的单位或一个或多个量值,用作参考的实物量具、测量仪器、参考(标准)物质或测量系统。

参考标准

最高计量标准

在给定地区或在给定组织内,通常具有最高计量学特性的测量标准,在该处所做的测量均从它导出。

工作标准

用于日常检定/校准或核查实物量具、测量仪器或参考(标准)物质的测量标准。

8.1.2 计量标准的稳定性

计量标准保持其计量特性随时恒定的能力。

8.1.3 计量标准的测量重复性

在相同测量条件下，重复测量同一被测量，计量标准提供相近示值（或复现值）的能力。

8.1.4 [测量仪器的]最大允许偏差

对给定的测量仪器，规范、规程等允许的误差极限值。

注：有时也称测量仪器的允许误差限。

8.1.5 比对

在规定条件下，对相同准确度等级的同种计量基准、计量标准或工作计量器具的量值进行的比较。

8.2 计量标准考核

8.2.1 申请计量标准考核前的准备

申请单位在提交《计量标准考核（复查）申请书》之前，必须完成以下准备工作：

- 1) 选用的计量标准，其计量技术指标应满足相应的国家计量检定系统表和计量检定规程（或计量技术规范）的要求，具有有效检定证书；
- 2) 计量标准器和配套设备，应当试运行足够的时间；
- 3) 完成《计量标准技术报告》的撰写。
- 4) 实验室环境条件必须符合开展检定/校准工作的要求，并按要求配备对环境条件进行有效监测、控制的设施；
- 5) 配备至少2名持本项目计量检定员证的人员（校准要配备具有校准资格的人员）；
- 6) 具有完善的管理制度（或程序文件）；
- 7) 建立计量标准技术档案。

8.2.2 计量标准考核的申请

8.2.2.1

县级以上计量行政部门建立本行政区域内各项最高等级的社会公用计量标准，应当向上一级计量行政部门申请考核；其他等级的社会公用计量标准，应当向当地计量行政部门申请考核。

8.2.2.2

国务院有关主管部门和省、自治区、直辖市人民政府有关主管部门建立部门的各项最高计量标准，应当向同级计量行政部门申请考核。

8.2.2.3

企业、事业单位建立本单位各项最高计量标准，应当向与其主管部门同级的计量行政部门申请考核。

8.2.2.4

无主管部门的单位建立本单位各项最高计量标准，应当向当地计量行政部门申请考核。

8.2.2.5

申请建立非社会公用计量标准，需对社会开展强制检定、非强制检定或对内部执行强制检定，应当向受理计量授权的计量行政部门申请考核。

8.3 重力加速度式波浪浮标检定装置计量标准考核(复查)申请(见附件一)

8.4 重力加速度式波浪浮标检定装置计量标准技术报告书(见附件二)

8.5 重力加速度式波浪浮标检定规程(见附件三)

8.6 重力加速度式波浪浮标检定规程编写说明(见附件四)

9 结束语

海洋监测调查工作是获取海洋基础数据的主要手段。在海洋监测调查工作中,必须加强海洋监测调查全过程、全要素的计量管理工作,除了应加强对监测调查人员、工作环境条件和规章制度的监督管理外,重点要强化对产生基础数据的海洋监测调查仪器设备的计量管理工作。特别要加强和重视海洋计量基标准体系及计量、检测技术支撑体系的建设和维护,开展量值传递与溯源的研究,建立统一的量值比较链,规范数据处理与表述方法,才能确保获得的海洋基础数据的质量。不难看出,作为海洋计量基标准体系及计量、检测技术支撑体系虽然不直接提供海洋基础数据,但却是确保数据质量的重要基础和保障。

致谢:

本论文研究承蒙中国海洋大学海洋魏皓教授和国家海洋标准计量中心李明钊研究员的悉心指导,此外还得到课题组成员陈华秋研究员、赵维三研究员的大力帮助,在此一并表示衷心感谢。

参考文献

- [1] 陈华秋, 隋军等. JBY1-1 型波浪浮标检定装置. [J]海洋技术. 2001; , No. 4:18~25
- [2] 李明钊, 岸用光学测波仪精度分析, [J]海洋测量技术与测量仪器. 论文集 1983, 132~135
- [3] 侍茂崇, 高郭平, 鲍献文等. 海浪观测. [M] 海洋调查方法. 青岛: 青岛海洋大学出版社 127~130
- [4] 褚同金, 曹恒永, 王军成, 胡翔. 现代海洋开发和海洋资料浮标. [M]中国海洋资料浮标, 北京:海洋出版社. 2004, 3
- [5] 冯士筭, 李凤岐, 李少菁, 海洋波动现象[M] 海洋科学导论. 北京: 高等教育出版社 181~205
- [6] Wave Orbital Following Buoy (Directional Wave-Trak Buoy). Oceans' 80 Wahington. DC. P. 89-92.
- [7] Procedures and Problems Associated with the Calibration of Wave Sensors Adv. Underw. Tech. Offs. Eng. Vol. 4 P. 55-82.
- [8] Magoon DT. Hemley JM. Ocean Wave Measurement and Analysis PP. 1054, 1994.
- [9] The Calibration of Wave Bouys. Hydrographic Society Special Publicatiaon No. 31 P. 31-37, 1999.

说 明

1.根据《中华人民共和国计量法》的有关规定，凡建立社会公用计量标准或部门、企事业最高计量标准的单位，应向有关计量部门申请考核和复查。

2.《计量标准考核（复查）申请书》由申请建标单位填写，一式两份。

3.《计量标准考核（复查）申请书》用计算机打印或墨水笔填写，要求字迹工整清晰。

计量标准名称	JBY1-1 型波浪浮标检定装置					
存放地点	国家海洋标准计量中心	计量标准考核证书号*	_____			
何时经何部门主持考核*	_____	计量标准类别	社会公用计量标准			
测量范围	波高: 1m~6m 周期: 2s~40s					
不确定度或准确度等级或最大允许误差	波高误差: $\pm 0.2\% F.S$ 周期误差: $\pm 0.2s$					
计量标准器	名称	型号	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差	制造厂及出厂编号	检定单位及检定证书号
	频率计	SP-100A	10Hz ~ 100MHz	2.3×10^{-4}	南京盛普仪器科技有限公司	天津市计量技术研究所 DCp1 字 020042号
	钢卷尺		0m~15m	二级	200101124	天津市计量技术研究所 CD1j 字 025666号
	电子秒表	SW-328	0s ~ 3600s	$\pm 0.1s$	中银港经贸公司	证书号: 020834
主要配套设备	波浪浮标检定装置	JBY1-1	波高: 1m~6m 周期: 2s~40s	波高误差: $\pm 0.2\% F.S$ 周期误差: $\pm 0.2s$	国家海洋标准计量中心	_____
开展检定所依据的计量检定规程(或开展校准所依据的计量技术规范)代号及名称	国海环字[2004]66号《JJG(海洋)重力加速度式波浪浮标检定规程》					

*申请复查时填写

拟开展的检定及校准项目	名称	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差		
	重力加速度 · 式波浪浮标	波高: 1m~6m 波周期: 2s~40s	$\pm 3\% \times \text{测量值}$ $\pm 0.5s$		
技术资料登记	序号	名称	是否具备		
	1	计量标准器使用说明书	具备		
	2	计量标准履历表	具备		
	3	计量标准稳定性考核记录	具备		
	4	计量标准重复性考核记录	具备		
	5	计量器具检定证书	具备		
	6	计量标准操作程序	具备		
	7	计量标准技术报告	具备		
	8	计量检定规程及计量技术规范	具备		
9	国家计量检定系统表	具备			
管理制度	序号	名称			
	1	实验室岗位责任制	具备		
	2	计量标准使用维护制度	具备		
	3	周期检定制度	具备		
	4	检定记录及检定证书核验制度	具备		
	5	事故报告制度	具备		
6	计量标准技术档案管理制度	具备			
环境条件	序号	项目	要求	实际情况	结论
	1	温度	15℃~35℃	15℃~35℃	
	2	湿度	<85%RH	<85%RH	
	3				
4					

计量 检定/ 校准 人员	姓名	性别	年龄	从事本 项目年限	文化 程度	核准 检定/校准 项目	检定员 证号	发证 单位
	隋军	男	38	2	大本	波浪	[2003] 计检 证海洋字第 0003号	国家 海洋局 环保司
	高占科	男	26	2	大本	波浪	[2003] 计检 证海洋字第 0006号	国家 海洋局 环保司
	张艳圃	女	48	2	大专	波浪	[2003] 计检 证海洋字第 0007号	国家 海洋局 环保司
申请单位意见		<p style="text-align: right;">负责人签字: (公章)</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>						
申请单位主管 部门意见		<p style="text-align: right;">(公章)</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>						
主持考核(复 查)意见		<p style="text-align: right;">(公章)</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>						
组织考核(复 查)单位意见		<p style="text-align: right;">(公章)</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>						

考核意见:

评审结论: 合格 不合格 需要现场复查

建议有效期:

计量标准考评员签字:

年 月 日

承担考核
(复查)
单位意见

负责人签字: (公章)

年 月 日

组织考核
(复查)
单位意见

(公章)

年 月 日

主持考核
(复查)
单位意见

(公章)

年 月 日

附件二

计量标准技术报告

计量标准名称: 波浪浮标检定装置

建立计量标准单位: 国家海洋标准计量中心

计量标准负责人: 隋 军

筹建起止日期: _____

一、计量标准的工作原理及组成

JBY1-1 型波浪浮标检定装置是一套建立在实验室内的旋转桁架式正弦模拟机构。在检定过程中，我们将被检浮标（传感器）安装在一个绕水平轴旋转的钢性主臂上，主臂从 0.5m 处起每隔 0.25m 布置一安装浮标固定孔，共十组，最大旋转直径为 6m 即最大波高 6m。双环桁架旋转一周的时间即为波浪周期。我们通过使用现代化测量技术精确测定了装置的模拟波高和周期，其测量不确定度远高于测波浮标或重力加速度计传感器的准确度，以此作为计量标准，用来检定测波浮标和重力加速度计传感器。

旋转桁架式正弦模拟检定装置主要由双环桁架旋转系统 (①)、动力刹车系统 (②)、信号采集与计算机控制系统 (③)、变频调速与供电系统 (④) 等四大部分组成。具体结构如下图所示

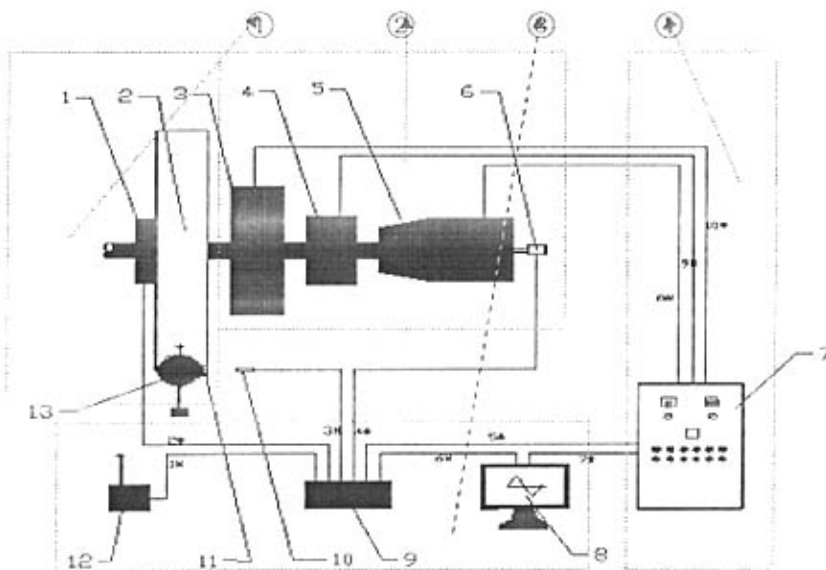


图3 装置组成示意图

- | | | | | |
|----------|-------------|--------|----------|----------|
| 1. 大集电环 | 2. 双环桁架 | 3. 刹车盘 | 4. 离合器 | 5. 电机减速机 |
| 6. 光电编码器 | 7. 电控柜 | 8. 计算机 | 9. 信号分配器 | 10. 光电开关 |
| 11. 小集电环 | 12. 浮标信号接收器 | 13. 浮标 | | |

二、选用计量标准器及主要配套设备

	名称	型号	测量范围	不确定度或准确度等级或或最大误差范围	制造厂及出厂编号	检定证书号
计 量 标 准 器	频率计	SP-100A	10Hz~100MHz	2.3×10^{-6}	南京盛普 仪器科技 有限公司 200101124	DCpl 字 020042 号
	电子 秒表	SW-328	0s~3600s	$\pm 0.1s$	中银港经贸 公司	020834
	钢卷尺	-----	0m~15m	一级	天津南华工 具有限公司	CD1j 字 025666 号
主 要 配 套 设 备	波浪浮 标波高、 波周期 检测系 统	JBY1-1	波高： 1m~6m	波高误差： $\pm 0.2\%F.S$	国家海洋标 准计量中心	-----
			周期： 2s~40s	周期误差： $\pm 0.2s$		

三、计量标准的主要技术指标

1、SP-100A 频率计:

测量范围: 10Hz~100MHz

周期范围: 10ns/100ns~0.1s,

频率重现性: 2.0×10^{-7}

频率准确度: 2.3×10^{-6}

2、电子秒表

测量范围: 0s~3600s, 测量误差: $\pm 0.1s$

3、钢卷尺:

测量范围: 0m~15m, 测量误差: $\pm (0.3+0.2L) \text{ mm}$, (L为整米数)。

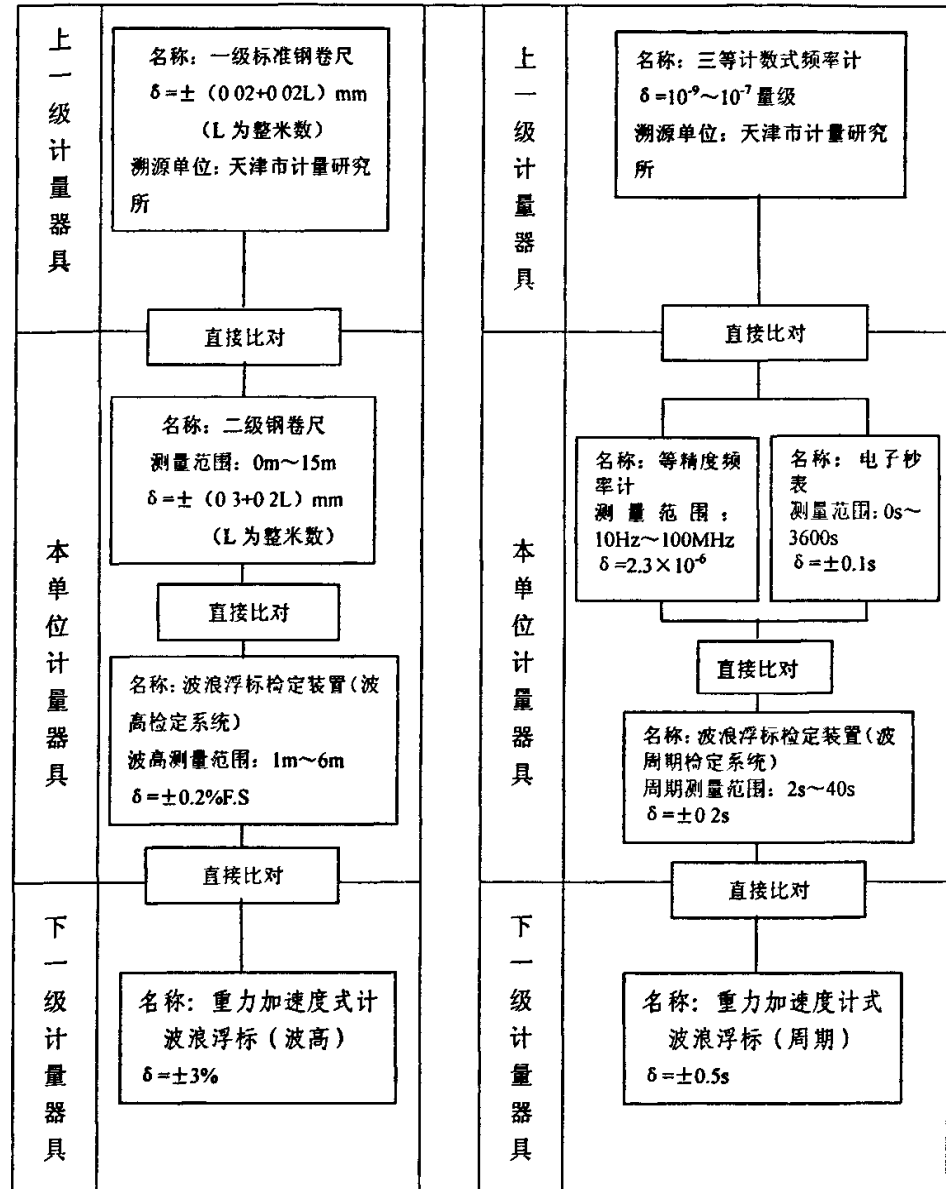
四、环境条件

项 目	要 求	实际情况	结 论
温 度	15℃~35℃	15℃~35℃	实际情况 符合要求
湿 度	$\leq 85\% \text{ RH}$	$\leq 85\% \text{ RH}$	实际情况 符合要求

五、计量标准的量值溯源和传递框图

1、波高量值溯源和传递框图

2、波周期量值溯源和传递框图



六、计量标准的测量重复性考核

1、周期测量重复性考核：

将被测仪器安装在波浪浮标检定装置的桁架 $R=3m$ (波高为 $6m$) 处，在 $2s\sim 40s$ 内选取 7 个周期设定点，每个周期设定点桁架重复运转 10 周，考核周期测量值的相对标准偏差 (S/T) 最大为 0.166% ($t=40s$)，极大部分均远远优于计划任务书所规定指标。测量重复性考核见下表。

周期设定值 (s)	周期测量值 (s)					平均值 T (s)	标准差 S (s)	S/ T (%)
40	40.1581	40.1634	39.9510	40.1094	40.1628	40.1285	0.06655	0.166
	40.1710	40.1466	40.1552	40.1637	40.1034			
34	34.0401	34.0171	34.0207	33.9737	33.9658	33.9883	0.02702	0.079
	33.9724	33.9800	33.9695	33.9772	33.9662			
23	23.1019	23.0803	23.0760	23.0722	23.0821	23.0751	0.01699	0.074
	23.0475	23.0452	23.0826	23.0811	23.0820			
14	14.0015	14.0082	14.0084	14.0019	14.0261	14.0071	0.00733	0.052
	14.0059	14.0048	14.0043	14.0006	14.0093			
8.1	8.1102	8.1001	8.1073	8.1101	8.1032	8.1063	0.00358	0.044
	8.1024	8.1079	8.1040	8.1095	8.1082			
5.6	5.6076	5.6031	5.6043	5.6048	5.6079	5.6037	0.00353	0.063
	5.5957	5.6052	5.6043	5.6037	5.6004			
4.3	4.3011	4.3014	4.3006	4.2981	4.3013	4.3002	0.00118	0.027
	4.2982	4.3008	4.3001	4.3003	4.3006			

周期测量最大标准差： $S=0.06655s$

2、波高（旋转半径）测量重复性考核：

用二级钢卷尺对波浪浮标检定装置波高测量系统的 3 个旋转半径测量点进行 5 次重复测量，测量重复性考核见下表。

半径 测点	1	2	3	4	5	平均值 R (mm)	标准差 S (mm)
500mm	499.5	499.0	499.5	499.3	499.5	499.36	0.22
1500mm	1499.5	1499.0	1500.0	1499.5	1499.3	1499.46	0.37
3000mm	2999.0	2999.5	2999.0	2999.3	2999.5	2999.26	0.25

波高（旋转半径）测量最大标准差： $S=0.37mm$

七、计量标准的稳定性考核

1、周期稳定性考核:

选取测量周期为 $T=40s$ 时的周期稳定性考核。

测量日期	10次测量值(s)					平均值(s)	标准差(s)
2002.7.24	40.1612	40.1084	40.1555	40.1480	40.0804	40.1424	0.03470
	40.1972	40.1339	40.1542	40.1102	40.1745		
2002.8.16	40.2445	40.2141	40.1969	40.1109	40.1426	40.1548	0.04977
	40.1052	40.0919	40.1606	40.1368	40.1444		
2003.3.12	40.1581	40.1634	39.9510	40.1094	40.1628	40.1285	0.06655
	40.1710	40.1466	40.1552	40.1637	40.1034		

通过测量,测量结果最大值与最小值之差: $40.1548s-40.1285s=0.0263s$,完全小于检定装置波周期测量系统的最大允许误差的绝对值。

2、波高稳定性考核:

选取测量波高(旋转半径) $R=3000mm$ 进行稳定性考核。

测量日期	3次测量值(mm)					平均值(mm)	标准差(mm)
2002.7.24	2999.0	2999.5	2999.0	2999.3	2999.5	2999.26	0.25
2002.8.16	2999.5	2999.0	2999.3	2999.5	2999.5	2999.36	0.22
2003.3.12	2999.4	2999.0	2999.5	2999.3	2999.0	2999.24	0.23

通过测量,测量结果最大值与最小值之差: $2999.36mm-2999.24mm=0.12mm$,完全小于检定装置波高测量系统的最大允许误差的绝对值。

八、测量不确定评定

1、周期测量不确定度评定:

在波浪浮标检定装置的桁架旋转时,每当浮标卡具经过上跨零点即发出一个脉冲作为周期信号,桁架转过 $(1/47)^\circ$ 即发出一个脉冲作为角度信号。本装置将角度信号20分频后作为中断信号,向计算机提出中断申请。以两个周期信号之间晶振脉冲的累加数计算桁架周期。

(1) 测时方法综合误差:

PC-6313 时钟准确度 δ_1 优于 1.3×10^5 (相对误差), 稳定性 δ_2 优于 $2.0 \times 10^7/7$ 天 (相对误差), 计算机时间测量误差 $\delta_3 \leq 6.0 \times 10^{-4}$, 计数式频率计准确度 $\delta_4 = 2.3 \times 10^{-6}$

测时方法标准合成误差

$$\delta_0 = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2} = 6.0 \times 10^{-4}$$

该项误差由于远远小于技术指标的要求,可忽略不计。

(2) 周期测量不确定度:

在 $2s \sim 40s$ 内各个周期设定点 (T_1) 上,取最大实验标准差 S 作为周期测量不确定度, $U=S=0.06655s$,

(3) 周期扩展不确定度 ($k=3$): $U_c=0.06655 \times 3=0.1997s$, 由于技术指标为 $\pm 0.2s$, U_c 小于该值,故周期扩展不确定度满足要求。

2、波高测量不确定度评定:

本装置通过止摆链、轮,使浮标卡具(含浮标)在桁架旋转过程中始终处于平动状态。在匀速旋转时,卡具、浮标的形变均可忽略不计,则卡具(含浮标)上各点的运动轨迹都相同。因而准确测量卡具中心孔的圆心至桁架旋转轴轴心的距离(即旋转半径 R)即可表示浮标运动的半波高。

(1) 钢卷尺测量旋转半径 R , ($k=3$)

在测量中:钢卷尺刻线误差: $\Delta_1 \leq \pm 0.90mm$, 不确定度: $U_1=0.9/3=0.3mm$

钢卷尺读数误差: $\Delta_2 \leq \pm 0.37mm$, 不确定度: $U_2=0.41/3=0.12mm$

两臂不等长误差(机加工): $\Delta_3 \leq \pm 0.50mm$, 不确定度: $U_3=0.5/3=0.17mm$

两臂不平行半径修正值: $\Delta_4 \leq \pm 0.25mm$, 不确定度: $U_4=0.25/3=0.08mm$

孔心、轴心标记误差: $\Delta_5 \leq \pm 0.50mm$, 不确定度: $U_5=0.5/3=0.17mm$

位置示值误差: $\Delta_{6max} \leq \pm 0.80mm$, 不确定度: $U_6=0.8/3=0.27mm$

因此,半径 R 的合成标准不确定度:

$$U_{\Delta R} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 + U_6^2} = 0.49mm$$

(2) 由于本机 A/D 转换的相对误差小于 3.8×10^{-4} , 标准电压 V_s 的稳定性为 1.8×10^{-4} 。因而,当被检浮标波高输出为模拟电压时, A/D 转换误差可忽略。

(3) $\Delta\theta$ 为旋转角度误差, $\Delta\theta = (1/47)^\circ$, $U_{\Delta\theta} = [(1/47) \times (\pi/180)]/3 \times 3000 = 0.37mm$

(4) Δh_0 为水平零点测量标准误差, 经测量 $\Delta h_0 \leq \pm 1.20mm$, $U_{\Delta h_0} = 1.2/3 = 0.4mm$

(5) 波高合成标准不确定度:

$$U = 2 \times \sqrt{U_{\Delta R}^2 + U_{\Delta\theta}^2 + U_{\Delta h_0}^2} = 1.47mm$$

(6) 波高扩展不确定度: $U_c = 1.47 \times 3 = 4.4mm$

九、计量标准的测量不确定度验证

1、周期测量不确定度验证:

在周期 2s~40s 的范围内, 取 7 个测量点。用高精度电子秒表与波浪浮标检定装置的周期测量系统进行比测, 其中被考核的计量标准和高精度电子秒表的测量扩展不确定度 ($k=2$) 分别用 U 和 U_0 表示, 它们测量结果分别用 T 和 T_0 表示。

检定系统测量值 T (s)	高精度秒表测量值 T_0 (s)	$T - T_0$ (s)
40.1	40.140	-0.04
34.0	33.980	+0.02
23.4	23.410	-0.01
14.3	14.320	-0.02
8.1	8.090	+0.01
5.6	5.660	-0.06
4.3	4.320	-0.02

经计算, $|T - T_0| = 0.06s$, ($k=2$ 时) $U = 0.06655 \times 2 = 0.133 s$, 由于 $U_0 \leq U/3$, 因此满足 $|T - T_0| \leq U$, 故周期验证合格。

2、波高测量不确定度验证:

选取 3 个旋转半径测量点, 用一把钢卷尺与波浪浮标检定装置波高测量系统进行比测。其中被考核的计量标准和钢卷尺的测量扩展不确定度 ($k=2$) 分别用 U 和 U_0 表示, 它们测量结果分别用 H 和 H_0 表示。故 $|H - H_0| \leq U$ 则验证合格。

检定系统测量值 H (mm)	钢瓦钢尺测量值 H_0 (mm)	$H - H_0$ (mm)
500	499.0	+1.0
1500	1499.5	+0.5
3000	2999.5	+0.5

经计算, $|H - H_0| = 1.0 mm$, ($k=2$ 时) $U = 1.47 \times 2 = 2.94mm$, 由于 $U_0 \leq U/3$, 因此满足 $|H - H_0| \leq U$, 故波高(旋转半径)验证合格。

附件三

JJG

中华人民共和国海洋计量检定规程

JJG (海洋) 04—2003

重力加速度式波浪浮标

The Gravitational Acceleration Wave Buoy

2004—02—20 发布

2004—03—01 实施

国家海洋局 发布

目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量性能要求	(1)
4 通用技术要求	(1)
4.1 外观检查	(1)
4.2 通电检查	(1)
4.3 晃动实验	(1)
5 检定条件	(2)
5.1 标准器	(2)
5.2 配套设备	(2)
5.3 检定环境条件	(2)
5.4 检定环境配套设备	(2)
6 检定项目	(2)
6.1 波高	(2)
6.2 波周期	(2)
6.3 外观	(2)
7 检定方法	(2)
7.1 检定点设置	(2)
7.2 检定步骤	(3)
7.3 数据处理	(3)
8 检定结果的处理和检定周期	(4)
8.1 检定结果的处理	(4)
8.2 检定周期	(4)
附录 A: 波浪浮标波高、波周期检定数据记录表	(5)
附录 B: 波浪浮标检定幅频特性图表	(6)
附录 C: 检定证书正面格式	(7)
附录 D: 检定证书背面格式	(8)

重力加速度式波浪浮标检定规程

1 范围

本规程适用于新制造、使用中和修理后的重力加速度式波浪浮标计量性能检定；也适用于使用中和修理后的重力加速度式波浪浮标传感器（当浮标壳体对整体浮标计量性能无影响时）的检定。

2 概述

重力加速度式波浪浮标是一种海洋环境监测设备。浮标体内安装有重力加速度传感器、数据采集处理器、信号发射机和电源。当浮标处于工作状态时，在海面波浪的作用下，浮标体将随波浪作起伏运动，重力加速度传感器产生与水质点运动相对应的垂直加速度信号，经二次积分后得到该点水质点运动的垂直位移；在数据采集处理器的控制下，将获得一个测量过程的一系列海面波动数据。浮标的测量数据通过无线通信设备传送到岸站接收处理机，从而得到浮标布放点的表面波高值和波周期值。

重力加速度式波浪浮标主要由海上浮标体及其锚系装置、岸站接收处理机等组成。

3 计量性能要求

重力加速度式波浪浮标的计量性能应符合下列要求：

波高测量范围：1m~6m；波高示值误差： $\pm 3\% \times$ 测量值，m。

周期测量范围：2s~40s；周期示值误差： $\pm 0.5s$ 。

发射工作频率范围：27MHz~175MHz；

可测浮标直径 0.5m~1.0m；浮标体重量： $\leq 180kg$ 。

浮标使用环境：

最大水深：50m；最大流速：2m/s

4 通用技术要求

4.1 外观检查

4.1.1 目测检查：检查浮标壳体表面有无明显撞击痕迹、是否附着海洋生物体；发射天线有无折断、锚灯是否损坏；检查壳体内零部件、电池等是否齐全；仪器编号是否齐全。

4.2 通电检查：同时开启浮标体电源和接收机电源，检查系统工作是否正常。

4.3 晃动试验：在浮标体和接收机电源通电状态下晃动浮标体，检查接收机接收信号有无变化。

经过外观检查确认浮标体和接收机均工作正常后,按照波浪浮标安装操作规程将浮标体安装到桁架规定的检定点上。

5 检定条件

5.1 标准器

5.1.1 II级普通钢卷尺

测量误差: $\pm(0.3+0.2L)$ mm, (L为整米数)

5.1.2 频率计: 频率稳定度优于 $5 \times 10^{-6}/d$ 。

5.1.3 电子秒表

测量误差: ± 0.1 s

5.2 配套设备

5.2.1 波浪浮标检定装置, 该装置应符合下述指标要求:

模拟波高范围: 1m~6m, 示值误差: $\pm 0.2\%$ F.S;

模拟周期范围: 2s~40s, 示值误差: ± 0.2 s;

最大负荷量: 180kg (在模拟波高6m处);

5.3 检定环境条件

5.3.1 室内温度: $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$

5.3.2 室内相对湿度: $\leq 85\%$

5.4 检定环境监测设备

5.4.1 室温: 实验室三用表

5.4.2 相对湿度: 实验室三用表

6 检定项目

6.1 波高

6.2 波周期

6.3 外观

7 检定方法

7.1 检定点设置

7.1.1 波高检定点: 1.0 m、3.0 m、6.0 m;

7.1.2 波周期检定点: 在被检仪器周期范围内按频率点均布原则, 每个波高检定点取7个波周期值, 按(1)式计算取值。

$$T_0(i) = \frac{6T'_{\max} \cdot T'_{\min}}{i \cdot T'_{\max} + (6-i) \cdot T'_{\min}} \quad (1)$$

式中: $T_0(i)$ — 波高检测点对应的波周期值, s;

T'_{\max} — 被检波浪浮标所有波周期示值的最大值, s;

T'_{\min} — 被检波浪浮标所有波周期示值的最小值, s。

$i = 1, 2, 3, \dots, 6$ 。

注:

(1) 计算结果按数字修约规则, 小数点后保留 1 位有效数字。

(2) T'_{\min} 按下式确定:

$$T'_{\min} \geq \sqrt{\frac{21\pi \cdot H_0}{g}}$$

式中, H_0 — 为检定点对应波高值, m;

g — 为当地重力加速度值, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

一般海况下:

当 $H_0 = 1.0\text{m}$ 时, $T'_{\min} = 2.6\text{s}$

当 $H_0 = 3.0\text{m}$ 时, $T'_{\min} = 4.5\text{s}$

当 $H_0 = 6.0\text{m}$ 时, $T'_{\min} = 6.4\text{s}$

7.2 检定步骤

7.2.1 按波高检定点要求, 在检定装置旋臂上准确确定被检浮标安装位置。

7.2.2 将被检波浪浮标固定在检定装置的旋臂浮标卡具上, 并合理地调整张紧链轮, 使链条和齿轮紧密啮合。

7.2.3 增减平衡砝码, 调整桁架平衡。

7.2.4 设定好检定标准周期, 启动桁架运转。

7.2.5 当桁架进入匀速状态后开始测量。

7.2.6 记录检定点标准波高值 H_0 、标准周期值 T_0 和相应的被检波浪浮标波高、周期测量值。

7.3 数据处理

7.3.1 测量误差

7.3.1.1 波高测量误差 ΔH 按 (2) 式计算:

$$\Delta H = H - H_0 \quad (2)$$

式中： H —被检波浪浮标对应 H_0 测得的有效波高值（即附录 A 中的 $H_{1/3}$ ），m。

7.3.1.2 周期测量误差 ΔT 按（3）式计算：

$$\Delta T = T - T_0 \quad (3)$$

式中： T —被检波浪浮标对应 T_0 测得的有效波周期值（即附录 A 中的 $T_{1/3}$ ），s。

7.3.2 幅频特性（根据用户需要给出）

7.3.2.1 以 H/H_0 为纵轴， f 为横轴，用折线连接各测点。给定一个 H_0 ，绘制一幅幅频曲线。 f 为检测点周期值 T_0 的倒数。 H/H_0 、 f 按数字修约规则取小数点后 2 位有效数字。

7.3.2.2 频带不均匀性按（4）式计算：

$$\Delta = \frac{H_{\sigma\max} - H_{\sigma\min}}{H_0} \quad (4)$$

式中： $H_{\sigma\max}$ —被检波浪浮标对应 H_0 测得的有效波高中的最大值，m；

$H_{\sigma\min}$ —被检波浪浮标对应 H_0 测得的有效波高中的最小值，m。

8 检定结果的处理和检定周期

8.1 检定结果的处理

检定完成后合格的发给检定证书；不合格的发给检定结果通知书。

8.2 检定周期

重力加速度式波浪浮标和重力加速度式波浪浮标传感器的检定周期为一年。

附录 A

波浪浮标波高、波周期检定数据记录表

送检单位:

仪器名称型号:

记录表编号:

A	检定 点值	H_0 (m)								备注:	
		T_0 (s)									
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)									
		$T_{1/3}$ (s)									
		$H_{1/10}$ (m)									
		$T_{1/10}$ (s)									
		H_{max} (m)									
		T_{max} (s)									
		H_{min} (m)									
		T_{min} (s)									
	差值	ΔH (m)									
ΔT (s)											
B	检定 点值	H_0 (m)								备注:	
		T_0 (s)									
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)									
		$T_{1/3}$ (s)									
		$H_{1/10}$ (m)									
		$T_{1/10}$ (s)									
		H_{max} (m)									
		T_{max} (s)									
		H_{min} (m)									
		T_{min} (s)									
	差值	ΔH (m)									
ΔT (s)											
C	检定 点值	H_0 (m)								备注:	
		T_0 (s)									
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)									
		$T_{1/3}$ (s)									
		$H_{1/10}$ (m)									
		$T_{1/10}$ (s)									
		H_{max} (m)									
		T_{max} (s)									
		H_{min} (m)									
		T_{min} (s)									
	差值	ΔH (m)									
ΔT (s)											

说明: 1、检测数据按波高分组, 标以 A、B、C; 波高确定后, 每个波周期对应一组被检浮标输出值。

2、 $\Delta H = H_{1/3} - H_0$, $\Delta T = T_{1/3} - T_0$

室温: $^{\circ}\text{C}$ 相对湿度: %

检定:

校对:

年 月 日

附录 B

波浪浮标检定幅频特性图表

本页与数据记录表_____相关联

A	频带不均匀性: _____%
B	频带不均匀性: _____%
C	频带不均匀性: _____%
<p>说明:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 此表与“波浪浮标波高、波周期检定数据记录表”联合使用, 需标明相应的“记录表”号。 2. 幅频特性曲线和“数据记录表”中相同组号(A、B、C)的数据相关。 	

绘制:

校对:

年 月 日

附录 C

检定证书正面格式

单位名称
(单位的英文名称)

单位地址名称
(单位地址英文名称)
电话:
Tel

邮编:
Post Code
传真:
Fax

检定证书

VERIFICATION CERTIFICATE

证书编号: GHJ () 检字 号
Certificate No.

送检单位: _____
Client

计量器具名称: _____
Instrument

制造单位: _____
Manufacturer

型号规格: _____
Type

计量器具编号: _____
Instrument number

检定结论: _____
Verification conclusion

授权签字人: _____
Authorized signature

(检定专用章)
Stamp

检定日期:	年	月	日
Date of verification	Year	Month	Day
有效期至:	年	月	日
Date of expiry	Year	Month	Day

(法定计量检定机构的资质)

附录 D

检定证书背面格式

单位名称
(单位的英文名称)

检定证书
Verification certificate

证书编号
Certificate No.

检定所使用的社会公用计量标准

Public Standards of measurement used for this verification

社会公用计量标准名称:
Name of the public standards of measurement

社会公用计量标准证书编号:
Certificate No of the public standards of measurement

社会公用计量标准证书有效期限:
Date of expiry of the certification of the public standards of measurement

检定时环境条件.

Environmental condition for verification

环境温度: °C
Ambient temperature

相对湿度: %
Relatively humidity

其它:
Others

检定依据:

Reference documents for verification

检定结果:

Result of verification

标准值	H_0 (m)								
	T_0 (s)								
	T (s)								
误差	$\Delta H(m)$								
	$\Delta T(s)$								
标准值	H_0 (m)								
	T_0 (s)								
测量值	H (m)								
	T (s)								
误差	$\Delta H(m)$								
	$\Delta T(s)$								
标准值	H_0 (m)								
	T_0 (s)								
测量值	H (m)								
	T (s)								
误差	$\Delta H(m)$								
	$\Delta T(s)$								

以下空白

核 验 员:
Operator

检 定 员:
Inspector

第 页 共 页
Page of Pages

附件四-1

重力加速度式波浪浮标检定规程

编写说明

国家海洋计量站

一、制定本规程的目的

重力加速度式波浪浮标是一种海洋环境监测设备,它主要用于监测海洋波浪的波高和周期。当浮标在海面处于工作状态时,可以通过体内安装的重力加速度传感器、数据采集器,获得测量过程的一系列海面波动数据。它具有连续、自计等特点。为了确保浮标测量的波高和周期数据准确可靠和量值统一,我们必须制定该项检定规程。

二、本规程是按照中华人民共和国国家计量技术规范《国家计量检定规程编写规则》(JJF1002-1998)编写而成。

三、由于波浪浮标检定装置设计模拟的最大波高为6m,最小波高为1m,所以本规程选取波高测量点时采用了取两端和中间点的方法,即选取6m、3m、1m三个特征点为波高检定点,而且通过对以上三个点检定,在波高模拟范围内是可以判定出被测仪器合格与否的。

四、在每个波高测量点上,按频率点均布的原则,取7个周期检定值,目的是增加检定点数并考核被检仪器的幅频特性。

五、不同的波高检定点对应的最小周期是不同的。因此6m、3m、1m三个波高检定点对应的最小周期分别为6.4s、4.5s、2.6s。

六、考虑到该仪器回收和运输困难,故检定周期暂定为一年。

附件四-2

重力加速度式波浪浮标检定规程

实 验 报 告

国家海洋计量站

一、实验目的：

为了验证本规程是否适用。

二、实验内容：

对(青岛)中科院海洋所提供的三台遥测波浪仪,进行了波高波周期的检定。
通过对检定数据的分析,说明本检定装置技术指标完全达到了作为计量标准要求。

三、实验方法：

按重力加速度式波浪浮标检定规程初稿所规定的检定方法进行检定。

四、实验设备：

国家海洋计量站自行设计地 JBY1—1 型波浪浮标检定装置。

波浪浮标波高、波周期检定数据记录表

送检单位： 东山海洋环境监测站 仪器名称型号： SZF1-2-006 记录表编号： 02-015

A	检定 点值	H_0 (m)	6							备注：
		T_0 (s)	20 00	14 80	11 70	9 70	8.30	7 20	6 40	
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	5 70	5 99	5 87	5 78	5 72	5.69	5.64	
		$T_{1/3}$ (s)	20 50	15 00	12 00	10 00	9 00	7.50	7 00	
		$H_{1/10}$ (m)	5 72	6 00	5.87	5 78	5.73	5 69	5 65	
		$T_{1/10}$ (s)	20 50	15 50	12 00	10 00	9 00	7 50	7 00	
		H_{max} (m)	5 73	6 01	5 88	5.78	5 74	5 70	5 67	
		T_{max} (s)	20 50	15.50	12.00	10.00	9.00	7 50	7 00	
		H_{mean} (m)	5 68	5 97	5 85	5 76	5 69	5 64	5 60	
	T_{mean} (s)	20 50	15 00	12.00	10 00	8.50	7.50	6.50		
差值	ΔH (m)	-0 30	-0.01	-0.13	-0.22	-0 28	-0 31	-0 36		
	ΔT (s)	0 5	0 2	0.3	0 3	0.7	0.3	0 6		
B	检定 点值	H_0 (m)	3							备注：
		T_0 (s)	20 00	12.70	9.30	7.30	6 10	5 20	4.50	
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	2.68	3 00	2 88	2 85	2 86	2 86	2 82	
		$T_{1/3}$ (s)	20.00	13.00	9.50	7.50	6.50	5.50	5.00	
		$H_{1/10}$ (m)	2.86	3.11	2.89	2.86	2.87	2.87	2.83	
		$T_{1/10}$ (s)	20 50	13 50	9 50	7.50	6 50	5 50	5 00	
		H_{max} (m)	2 87	4 10	2 89	2 87	2 87	2 87	2 84	
		T_{max} (s)	20 50	13 50	9.50	7.50	6 50	5.50	5.00	
		H_{mean} (m)	2.85	2 96	2 87	2 84	2 83	2 82	2 80	
	T_{mean} (s)	20 00	13 00	9.50	7 50	6.50	5 50	5 00		
差值	ΔH (m)	-0.14	0.00	-0.12	-0.15	-0.14	-0 14	-0 18		
	ΔT (s)	0 00	0.30	0 20	0 20	0 40	0 30	0 50		
C	检定 点值	H_0 (m)	1							备注：
		T_0 (s)	20.00	9.50	6.20	4.60	3.70	3.00	2.60	
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	0 94	0 95	0 95	0 95	0 96	0 96	0 92	
		$T_{1/3}$ (s)	20 00	10 00	6 50	5 00	4 00	3 50	3 00	
		$H_{1/10}$ (m)	0 95	0 96	0 95	0 95	0 97	0 98	0 95	
		$T_{1/10}$ (s)	20 00	10 00	6 50	5 00	4 00	3 50	3 00	
		H_{max} (m)	0 95	0 96	0 96	0 96	0 97	0 99	0 93	
		T_{max} (s)	20 00	10 00	7 00	5 00	4 00	3 50	3 00	
		H_{mean} (m)	0 94	0 95	0 94	0 94	0 94	0 92	0 92	
	T_{mean} (s)	20 00	10.00	6.50	5.00	4.00	3.50	3.00		
检定 点值	ΔH (m)	-0 06	-0 05	-0 05	-0 05	-0 04	-0 04	-0 08		
	ΔT (s)	0 00	0 50	0 30	0 40	0 30	0 50	0 40		
说明： 1、 检测数据按波高分组， 标以 A、 B、 C； 波高确定后， 每个波周期对应一组输出值。 2、 $\Delta H = H_{1/3} - H_0$, $\Delta T = T_{1/3} - T_0$										

室温： 26℃ 湿度： 64%RH

检测： 张艳圃 校对： 王洪玉

波浪浮标波高、波周期检定数据记录表

送检单位：北碚海洋环境监测站 仪器名称型号：SZF1-2-003 记录表编号：02-014

A	检定 点值	H_0 (m)	6						备注：	
		T_0 (s)	20 00	14 80	11.70	9 70	8 30	7 20		6 40
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	5.75	6 00	5 95	5 86	5 84	5 82		5 79
		$T_{1/3}$ (s)	20 50	15 00	12 00	10 00	9 00	7 50		7 00
		$H_{1/10}$ (m)	5 76	6 00	5.97	5 87	5 85	5 83		5 80
		$T_{1/10}$ (s)	20 50	15 50	12 00	10 00	9 00	7 50		7 00
		H_{max} (m)	5.78	6 02	5 98	5 87	5 86	5 84		5.81
		T_{max} (s)	20.50	15.50	12.00	10.00	9.00	7 50		7.00
		H_{mean} (m)	5 73	5.98	5.92	5 84	5 81	5 78		5 75
	T_{mean} (s)	20 50	15 00	12 00	10 00	8 50	7.50	6 50		
差值	ΔH (m)	-0.25	0 00	-0.05	-0.14	-0.16	-0 18	-0 21		
	ΔT (s)	0 50	0 20	0 30	0 30	0 70	0 30	0 60		
B	检定 点值	H_0 (m)	3						备注：	
		T_0 (s)	20 00	12.70	9.30	7 30	6.10	5.20		4.50
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	2 88	2.98	2 94	2 92	2.93	2 93		2 89
		$T_{1/3}$ (s)	20 00	13 00	9.50	7.50	6.50	5.50		5.00
		$H_{1/10}$ (m)	2.89	2.98	2.94	2.93	2.94	2.94		2 90
		$T_{1/10}$ (s)	20 00	13 00	9 50	7.50	6.50	5.50		5.00
		H_{max} (m)	2 89	2 99	2 95	2 94	2 94	2 95		2 91
		T_{max} (s)	20 00	13 50	9 50	7.50	6 50	5 50		5 00
		H_{mean} (m)	2 87	2 97	2.92	2 91	2.90	2 89		2.87
	T_{mean} (s)	20 00	13 00	9.50	7 50	6 50	5 50	5 00		
差值	ΔH (m)	-0 12	-0.02	-0.06	-0.08	-0.07	-0 07	-0.11		
	ΔT (s)	0 00	0 30	0 20	0 20	0 40	0 30	0 50		
C	检定 点值	H_0 (m)	1						备注：	
		T_0 (s)	20.0	9.5	6.2	4.6	3.7	3.0		2.6
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	0 96	0 99	0 99	0 98	0 98	0 99		0 94
		$T_{1/3}$ (s)	20 50	10 00	6 50	5 00	4 00	3 50		3 00
		$H_{1/10}$ (m)	0 96	0 99	0 99	1 00	0 99	1 00		0 96
		$T_{1/10}$ (s)	20 00	10 00	7 00	5 50	4 00	3 50		3 00
		H_{max} (m)	0 97	0 99	1 00	1 13	1 00	1 01		0 95
		T_{max} (s)	20 00	10 00	7 00	5 50	4 00	3 50		3 00
		H_{mean} (m)	0 95	0 98	0 97	0 97	0 96	0 95		0 94
	T_{mean} (s)	20 00	9 50	6 50	5 00	4 00	3 50	3 00		
检定 点值	ΔH (m)	-0.04	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.06		
	ΔT (s)	0.50	0.50	0.30	0.40	0.30	0.50	0 40		

说明：1、检定数据按波高分组，标以 A、B、C；波高确定后，每个波周期对应一组被检浮标输出值。

2、差值 $\Delta H = H_{1/3} - H_0$ ， $\Delta T = T_{1/3} - T_0$

室温：25℃ 湿度：65%RH

检测：张艳圃 校对：王洪玉

波浪浮标波高、波周期检定数据记录表

送检单位：大连海洋环境监测中心站 仪器名称型号：SZF2-1-003 记录表编号：02-025

A	检定 点值	H_0 (m)	6						备注：	
		T_0 (s)	20 00	14 80	11 70	9 70	8 30	7 20		6 40
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	5 62	5 75	5 83	5 86	5 96	6. 01	6. 03	备注：
		$T_{1/3}$ (s)	20 50	15 00	12 00	10 00	9 00	7 50	7 00	
		$H_{1/10}$ (m)	5.65	5.80	5.87	5.88	5.98	6.02	6.05	
		$T_{1/10}$ (s)	20 50	15 00	12 00	10 00	9 00	7 50	7 00	
		H_{max} (m)	5 73	6.14	6 06	6 01	6 03	6 08	6.22	
		T_{max} (s)	20.50	16 00	12 50	10 50	9.00	8.00	7.00	
		H_{mean} (m)	5 56	5 69	5.78	5 84	5 92	5 96	5.99	
	T_{mean} (s)	20 50	15 00	12 00	10.00	8.50	7.50	6.50		
差值	ΔH (m)	-0 38	-0 25	-0.17	-0.14	-0.04	0.01	0.03		
	ΔT (s)	0 50	0.20	0 30	0 30	0 70	0 30	0 60		
B	检定 点值	H_0 (m)	3						备注：	
		T_0 (s)	20 0	12 7	9.3	7.3	6 1	5.2		4.5
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	2 86	2 90	2.97	3 04	3 08	3.10	3.07	备注：
		$T_{1/3}$ (s)	20 00	13.00	9.50	7 50	6.50	5.50	5.00	
		$H_{1/10}$ (m)	2.88	2.91	2.98	3.05	3.09	3.11	3.08	
		$T_{1/10}$ (s)	20 00	13 00	9 50	7 50	6 50	5 50	5 00	
		H_{max} (m)	2 91	2.92	3 02	3 07	3.23	3.12	3 15	
		T_{max} (s)	20 50	13.50	9.50	8.00	7.00	5.50	5.00	
		H_{mean} (m)	2 82	2 89	2 95	3 02	3 05	3 06	3 06	
	T_{mean} (s)	20 00	13 00	9 50	7.50	6.50	5.50	5.00		
差值	ΔH (m)	-0 14	-0 10	-0.03	0.04	0.08	0.10	0.07		
	ΔT (s)	0 00	0 30	0 20	0 20	0 40	0 30	0 50		
C	检定 点值	H_0 (m)	1						备注：	
		T_0 (s)	20.0	9 5	6.2	4.6	3.7	3 0		2.6
	被检 波浪 浮标 测量 值	$H_{1/3}$ (m)	0 97	0 99	1 03	1 04	1 05	1 06	1 01	备注：
		$T_{1/3}$ (s)	20 00	9 50	6 50	5 00	4 00	3.50	3 00	
		$H_{1/10}$ (m)	0 97	1 00	1 03	1 04	1 06	1 07	1 04	
		$T_{1/10}$ (s)	20 00	9 50	6 50	5 00	4 00	3.50	3 00	
		H_{max} (m)	0.97	1.01	1.05	1.05	1.07	1 08	1.02	
		T_{max} (s)	20 50	10 00	7.00	5 50	4.00	3 50	3 50	
		H_{mean} (m)	0.94	0 98	1.01	1.03	1.03	1.01	1 01	
	T_{mean} (s)	20.00	9.50	6.50	5.00	4.00	3.00	3.00		
检定 点值	ΔH (m)	-0 03	-0 01	0 03	0 04	0 05	0 06	0 01		
	ΔT (s)	0.00	0.00	0.30	0.40	0.30	0.50	0.40		
<p>说明：1、检测数据按波高分组，标以A、B、C；波高确定后，每个波周期对应一组被检浮标输出值。</p> <p>2、$\Delta H = H_{1/3} - H_0$，$\Delta T = T_{1/3} - T_0$</p>										

室温：19℃ 湿度：36%RH

检测：张艳圃 校对：王洪玉

附件四-3

声学测波仪检定规程

不确定度评估报告

国家海洋计量站

一、JBY1-1 型波浪浮标检定装置工作原理

重力加速度式波浪浮标是一种海洋环境监测设备。当浮标处于工作状态时，在海面波浪的作用下，浮标体将随波浪作起伏运动，重力加速度传感器产生与水质点运动相对应的垂直加速度信号，经二次积分后得到该点水质点运动的垂直位移；在数据采集处理器的控制下，将获得一个测量过程的一系列海面波动数据。浮标的测量数据通过无线通信设备传送到岸站接收处理机，从而得到浮标布放点的表面波高值和波周期值。JBY1-1 型波浪浮标检定装置是一套建立在实验室内的旋转桁架式正弦模拟机构。在检定过程中，我们将被检重力加速度式浮标（传感器）安装在一个绕水平轴旋转的刚性主臂上，主臂从 0.5m 处起布置一安装浮标固定孔，最大旋转直径为 6m 即最大波高 6m。双环桁架旋转一周的时间即为波浪周期。我们通过使用现代化测量技术精确测定了装置的模拟波高和周期，其测量准确度远高于测波浮标或重力加速度计传感器的准确度，以此作为计量标准，用来检定测波浮标和重力加速度计传感器。

二、JBY1-1 型波浪浮标检定装置技术指标

1、波高模拟范围：1.0m~6.0m

参考相对误差：±0.2%

2、周期模拟范围：2s~40s

示值误差：±0.2s

三、波高不确定分析

本装置通过止摆链、轮，使浮标夹具（含浮标）在桁架旋转过程中始终处于平动状态。在匀速旋转时，夹具、浮标的形变均可忽略不计，则夹具（含浮标）上各点的运动轨迹都相同。因而准确测量夹具中心孔的圆心至桁架旋转轴轴心的距离（即旋转半径 R）即可表示浮标运动的半波高。引起波高不确定度的主要有以下四个要素，第一是旋转半径的不确定度；第二是旋转角度测量不确定度；第三是水平零点测量不确定度；第四是 A/D 转换带来的不确定度。

1、旋转半径的不确定度

在测量中，当 $k=3$ 时。

钢卷尺刻线误差 Δ_1 ：±0.90mm，不确定度： $U_1=0.9/3=0.3$ mm

钢卷尺读数误差 Δ_2 ：±0.37mm，不确定度： $U_2=0.41/3=0.12$ mm

两臂不等长误差（机加工） Δ_3 ：±0.50mm，不确定度： $U_3=0.5/3=0.17$ mm

两臂不平行半径修正值 Δ_4 ：±0.25mm，不确定度： $U_4=0.25/3=0.08$ mm

孔心、轴心标记误差 Δ_5 ：±0.50mm，不确定度： $U_5=0.5/3=0.17$ mm

位置示值误差 Δ_{\max} ：±0.80mm，不确定度： $U_6=0.8/3=0.27$ mm

因此，半径 R 的合成标准不确定度：

$$U_{\Delta R} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 + U_6^2} = 0.49 \text{ mm}$$

2、 $\Delta\theta$ 为旋转角度误差， $\Delta\theta = (1/47)^\circ$ ，不确定度： $U_{\Delta\theta} = [(1/47) \times (\pi/180)]/3 \times 3000 = 0.37 \text{ mm}$

3、 Δh_0 为水平零点测量标准误差，经测量 $\Delta h_0 \leq \pm 1.20 \text{ mm}$ ，不确定度： $U_{\Delta h_0} = 1.2/3 = 0.4 \text{ mm}$

4、由于本机 A/D 转换的相对误差小于 3.8×10^{-4} ，标准电压 V_s 的稳定性为 1.8×10^{-4} 。因而，当被检浮标波高输出为模拟电压时，A/D 转换误差可忽略。

5、波高（直径）合成标准不确定度：

$$U = 2 \times \sqrt{U_{\Delta R}^2 + U_{\Delta\theta}^2 + U_{\Delta h_0}^2} = 1.47 \text{ mm}$$

6、波高扩展不确定度： $U_c = 1.47 \times 3 = 4.4 \text{ mm}$

四、周期不确定度分析

在波浪浮标检定装置的桁架旋转时，每当浮标卡具经过上跨零点即发出一个脉冲作为周期信号，桁架转过 $(1/47)^\circ$ 即发出一个脉冲作为角度信号。本装置将角度信号 20 分频后作为中断信号，向计算机提出中断申请。以两个周期信号之间晶振脉冲的累加数计算桁架周期。

1、测时方法综合误差：

计算机插卡 PC-6313 时钟准确度 δ_1 优于 1.3×10^{-5} （相对误差），稳定性 δ_2 优于 $2.0 \times 10^{-7}/7$ 天（相对误差），计算机时间测量误差 $\delta_3 \leq 6.0 \times 10^{-4}$ ，计数式频率计准确度 $\delta_4 = 2.3 \times 10^{-6}$ 。

测时方法标准合成误差

$$\delta_0 = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2} = 6.0 \times 10^{-4}$$

该项误差由于远远小于技术指标的要求，可忽略不计。

2、周期测量不确定度：

在 $2\text{s} \sim 40\text{s}$ 内各个周期设定点 (T_i) 上，取最大实验标准差 S 作为周期测量不确定度， $U = S = 0.06655\text{s}$ ，

3、周期扩展不确定度 ($k=3$)： $U_c = 0.06655 \times 3 = 0.1997\text{s}$ ，由于技术指标为 $\pm 0.2\text{s}$ ， U_c 小于该值，故周期扩展不确定度满足要求。