

便携式浮子式水位计检验 测试装置设计

陈杰中^{1,2}, 吴宁声^{2,3}

(1. 水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京 210012;
2. 水利部水文水资源监控工程技术研究中心, 江苏 南京, 210012; 3. 江苏南水水务科技有限公司, 江苏 南京 210012)

摘要:针对浮子式水位计缺少有效的现场检测手段,并考虑浮子水位计使用环境特点,研制了一种适用于各类安装场合的便携式高精度浮子式水位计检验测试装置。装置在江苏、浙江等地的水文站进行了现场示范应用,通过试验数据分析,结果表明,研制的便携式浮子式水位计检验测试装置的主要技术指标完全满足水文仪器设备现场检验测试技术及装备研发的要求,可用于浮子式水位计的现场检测。

关键词:便携式水位计;浮子式水位计;检验测试装置;编码器

中图分类号:TP212 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2022)01-0023-06

Design of inspection and testing device for portable float type water level gauge

CHEN Jiezhong^{1,2}, WU Ningsheng^{2,3}

(1. *Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology, Ministry of Water Resources, Nanjing 210012, China*; 2. *Engineering Research Center of Hydrology and Water Resources Monitoring, Ministry of Water Resources, Nanjing 210012, China*; 3. *Jiangsu Nanshui Water Science and Technology Co., Ltd., Nanjing 210012, China*)

Abstract: In view of the lack of effective on-site testing means for float type water level meter, and considering the operating environment characteristics of float type water level meter, a portable high-precision float-type water level gauge suitable for various installation occasions is developed. The device has been demonstrated on-site in hydrological stations in Jiangsu, Zhejiang and other places. By analyzing test data, the results show that the main technical indicators of the developed portable float type water level gauge fully meet the requirements of on-site inspection and test technology and equipment research and development for hydrological instruments and equipment, which can be used for on-site inspection of float-type water level gauges.

Key words: portable water level gauge; float type water level gauge; inspection and testing device; encoder

目前我国水文水资源现场监测设备在出厂前性能测试都符合监测精度要求,但在现场使用一段时间后,监测精度是否仍能够保持出厂时的精度,则缺乏现场检验测试装置进行验证。目前,国内外尚没有成熟的水文仪器现场检验测试技术和手段,

因此研究便携式水文仪器现场检验测试技术符合提高水文测验精度的发展方向。

浮子式水位计作为水资源监测的主要仪器,目前除了与现场水尺进行目测对比之外,缺少科学的现场检测手段。便携式浮子式水位计检验测试装

收稿日期:2021-08-31

作者简介:陈杰中(1980—),男,工程师,本科,主要从事智能仪器仪表产品开发工作。E-mail:25305301@qq.com

置(以下简称检验测试装置)解决了目前大量水位站使用中的浮子式水位计现场无法检验测试的问题,该装置体积小,质量轻,实现了一种水文仪器在使用现场的快速检测^[1]。

1 设计目标

1.1 浮子式水位计测量误差因素的分析

浮子式水位计监测水位时,造成测量误差的影响因素主要有^[2]:

(1)水位计长期运行导致水位轮槽底机械磨损、使得水位轮角位移量与对应的水位变化不一致,造成测量误差;(2)受恶劣环境因素或外力因素导致的水位轮锈蚀或盐蚀、微动开关与码轮位置关系变化、水位轮轴及轴承等关键传动件的变形等;(3)传动钢丝绳弯折或扭曲等。

使用者应定期对浮子式水位计进行检测排查,若出现上述现象,需立即检修并更换相应配件。

1.2 测量内容

被检的浮子式水位计就是在现场使用中的水位计,因此检验测试装置在确定检测方法时应包含:检测点的选择、检测速率的选择、浮子式水位计量程选择、浮子式水位计测量值、标准器采集值、数据记录次数、数据处理方法、检测结果的分析等。

被检浮子式水位计为 WFH-2A 型浮子式水位计,检验精度为 3 级精度,该款水位计技术指标如下:浮子直径:Φ150 mm;水位轮工作周长:320 mm;平衡锤直径:Φ20 mm;测量范围:0~40 m;分辨力:1 cm;水位变率:≤1 m/min;测量误差:量程≤10 m 时,±2 cm;量程>10 m 时,±0.2%;输出形式:12 bit 格雷码(负逻辑输出);显示方式:5 位机械数字显示;工作环境:温度为-10~+50℃(水体不结冰);湿度:≤95% RH(40℃无凝露)。

1.3 检测原理

检验测试装置由高精度角位移编码器以及测量码盘直径计算钢丝线性位移;步进电机驱动系统可设置标准要求的检测速率模拟水位升降;数据处理与控制系统可同时分别采集被检水位计与测量

系统标准值,进而计算出被检水位计在各检测点的测量误差。检测方法的示意图如图 1 所示。

1.4 测量模型

$$\Delta h = h_m - h_b \quad (1)$$

式中: Δh 为被检浮子式水位计的水位误差值; h_m 为被检浮子式水位计水位读值; h_b 为水位的标准值(即高精度编码器读值)。

2 仪器研制

2.1 结构设计

检验测试装置总体主要由高精度编码器(轴端固定从动轮)、驱动电机(轴端固定绕线轮)、测控模块、驱动模块、供电模块、触控模块、导向轮和传动钢丝绳等组成,总体结构如图 2 所示。

2.1.1 设计思路

检验测试装置的设计思路是:将现场被检测浮子式水位计使用的钢丝绳连接浮子的一端去掉浮子后直接绕在驱动电机的绕线轮上,固定平衡锤的一端仍绕在被检浮子式水位计的水位轮上,如图 2 所示,钢丝绳通过导向轮分别压在被检浮子式水位计水位轮和高精度编码器从动轮绳槽里,检测时,钢丝绳的移动会驱使水位轮和高精度编码器从动轮同时转动,如果不出现钢丝绳在轮上的打滑现象,则水位轮和高精度编码器从动轮记录的钢丝绳位移量应该是一致的。通过设计,高精度编码器记录绳长的分辨力可以达到 0.1 mm,能确保 1 mm 的水位检测分辨力。

在仪器检测范围(0~10 m)内,驱动电机经减速器驱动绕线轮,通过收放线模拟水位的升降。收放线速度可选择,设计时设定了 40 cm/min 和 60 cm/min 两种水位变率。图 2 中箭头方向表示模拟水位下降时钢丝绳运动方向,当水位上升时方向相反。

为了达到便携的要求,检验测试装置将所有模块和器件集成化为一体式的机箱,外形尺寸为 350 mm×220 mm×260 mm,质量为 10 kg,同时机箱上配有提手,方便携带至现场。

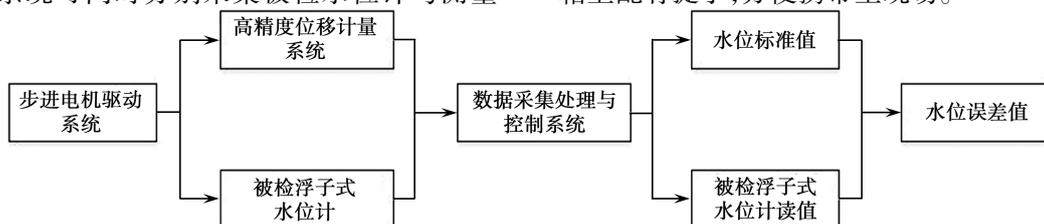


图 1 检测方法

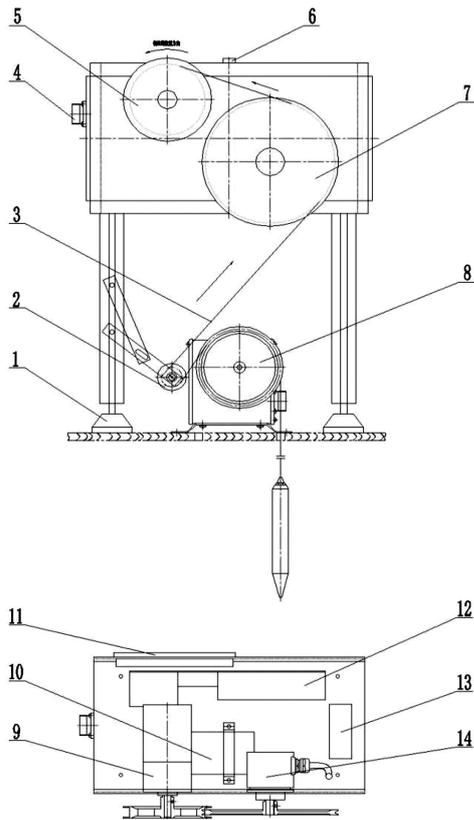


图 2 总体结构

1 - 调平底脚 2 - 导向轮 3 - 钢丝绳 4 - 被检水位计接口 5 - 绕线轮 6 - 圆水泡 7 - 从动轮 8 - 被检水位计 9 - 驱动电机 10 - 供电模块 11 - 触控模块 12 - 测控模块 13 - 驱动器 14 - 高精度编码器

2.1.2 应用操作方法

使用检验测试装置的目的是通过对比安装在现场的浮子式水位计的测量值与装置中高精度编码器的测量值,比较两者的误差是否超过允许误差范围,如果是,则将该水位计进行校准后再投入使用,达到消除测量误差的目的。

由图 2 可以看出,图示 1 调平底脚与图示 6 圆水泡为一套调平装置,在检测工作开始前要做好调平;图示 3 即现场的水位计所用的钢丝绳,根据现场的浮子式水位计实际安装位置,通过图示 2 导向轮调整好相对位置与钢丝绳包角,引入到图示 7 从动轮,经过从动轮后最终接入并固定与图示 5 绕线轮周上。

由剖视图可以看出,从动轮固定于图示 14 高精度编码器的轴端,绕线轮固定于图示 9 驱动电机的轴端,当检测装置启动工作模拟水位下降或上升时,电源控制单元驱动电机轴转动,绕线轮作圆周运动将钢丝绳收放,收放过程中带动从动轮转动,此时高精度编码器能够记录下该位移量。

驱动模块控制电机进行不同速率的转动来模拟不同的水位变率,但在一个上升和下降的过程中通常保持变率一致。

图示 12 测控模块中的数据处理单元可以同时采集高精度编码器记录的钢丝绳位移量和图示 8 被检水位计的测量值,并进行对比处理。如果不出现钢丝绳在轮上打滑的现象,则被检水位计所测得的水位数值和高精度编码器记录的钢丝绳位移量应该是在允许误差范围内的。

2.2 控制装置

控制装置是检验测试装置的核心组件之一,控制装置主要功能包括采集浮子式水位计和高精度编码器读值、计算水位计误差、控制驱动电机转速和实现人机交互等。

控制装置主要包括单片机、数据采集、电机驱动、串口通讯及电源管理等部分组成。其中以 STC89C58RD + 芯片为核心,该芯片具有高速、低功耗、抗干扰强等特点,指令代码完全兼容传统 8051。

当控制装置收到测试指令后,控制装置随即启动驱动电机,采集浮子式水位计读值作为检测初始值,将浮子式水位计的格雷码读值转换为二进制数;高精度编码器读值通过 RS485 通讯采集,并将读值根据相应系数转换成驱动轮行径值;当到达对应的测试点后控制装置发出停止指令,计算出浮子式水位计水位值与高精度编码器读值误差。

2.3 驱动装置

驱动装置是由步进电机驱动器、步进电机和收线轮组成。驱动装置是用于驱动驱动轮和浮子式水位计码轮,从而模拟水位的变化。

步进电机不能直接接到直流或交流电源上工作,必须使用专用的步进电动机驱动器。控制器(脉冲信号发生器)可以通过控制脉冲的个数来控制角位移量,从而达到准确定位的目的;同时可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度,从而达到调速的目的。脉冲的个数和频率通过控制装置进行控制。驱动装置结构见图 3。

2.4 高精度编码器

高精度编码器是整套装备的核心组件之一,其精度的高低直接决定了检验测试装置的精度。通过选型确定的该款编码器具有以下特点:

(1)兼容 RS485/ASCII 码自由协议、Modbus - RTU 协议、同时带有模拟量 4 - 20 mA 或 0 - 20 mA 输出;

(2)可软件智能编程设定内部参数,波特率地

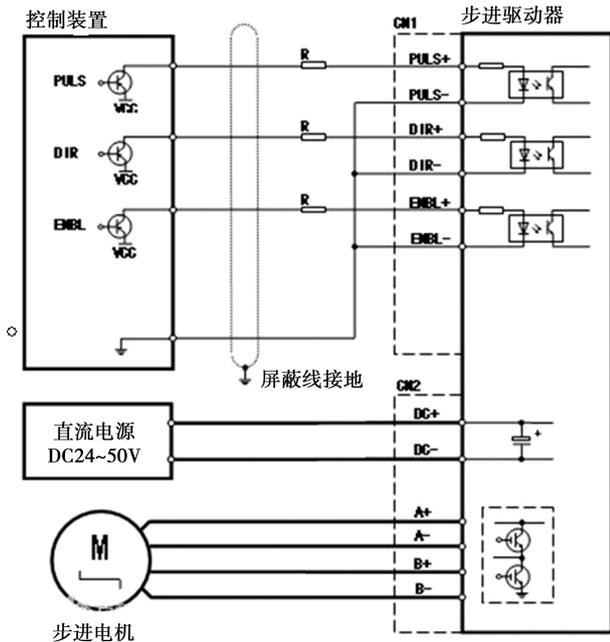


图3 驱动装置

址任意设定,CRC 校验方式、更方便连接;

(3)欧系标准安装尺寸,轴型安装或盲孔型安装,安装方便;

(4)通过 RS485 串口,更方便连接,可以匹配任何控制器跟 PLC 从而节省控制器成本;

(5)防护等级最高达 IP68,工作温度可达 $-40^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$,可完美应用与长时间水下工作

(6)具有安全锁式轴承设计,可防止大尺寸优质轴承组在运行和安装期间由于轴向载荷较大而造成的不对心。

(7)可选择不锈钢防爆型重载编码器,具有欧盟防爆等级认证,为石油化工以及防爆设备保驾护航。

2.5 触摸屏设计

检验测试装置的数据展示、参数设置等功能均通过触摸屏完成。触摸屏采用 5.6 英寸 640×480 点阵串口指令屏,利用 DGUS 软件对触摸屏进行系统开发,该开发软件配套基于 K600 + 内核的 DGUS 屏使用,用户可以通过电脑端的 DGUS 开发软件对 DGUS 屏进行功能的开发与设计。其中仪器编号、检测量程、检测速度等参数通过在触摸屏上设置后通过 RS232 串口发送给控制装置;控制装置将水位计读值、高精度编码器读值、水位计误差等结果发送给触摸屏。设计界面见图 4。

2.6 程序设计

软件部分采用模块化编程思想,采用 C 语言编程,开发环境是 Keil uVision2。Keil uVision2 是单片机应用开发软件,支持众多不同公司的 MCS -



图4 设计界面

51 架构芯片,同时集编辑、编译、仿真等功能于一体,还支持 PLM、汇编和 C 语言程序设计^[3]。程序流程图见图 5。

程序开始后启动系统初始化程序,系统初始化程序主要包括编码器清零指令、电机驱动器和触摸屏初始化程序等;系统初始化后采集浮子式水位计读值,当水位值在 3 000 cm 以下时,步进电机正转,模拟水位上升;当水位值在 3 000 cm 以上时,步进电机反转,模拟水位下降;启动检测程序不断采集高精度编码器和浮子式水位计读值,当达到相应的检测量程后系统发出步进电机停止指令,同时计算出高精度编码器和浮子式水位计读值的误差。

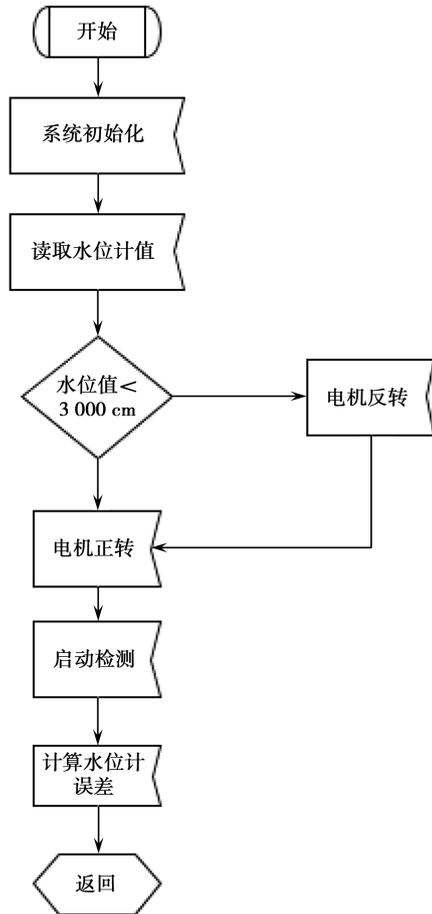


图 5 程序流程

2.7 主要技术指标

检测类型: 格雷码输出水位计; 检测范围: 0 ~ 10 m; 精度: 1 mm; 通讯接口: RS232

显示: LCD 触摸屏; 供电: DC 12V10Ah 锂电池组; 功耗: 静态时小于 80 mA, 工作时小于 2 A; 工作环境: 温度 0 ~ 50℃, 湿度不大于 95%; 整机净质量: 10 kg。

3 最大允许误差检测与示范应用

3.1 装置最大允许误差检测

装置研制完成后在水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心实验室进行最大允许误差检测, 指标要求水位变化范围 0 ~ 10 m 内最大允许误差优于 5 mm^[4]。检测过程如下:

将装置安装在实验室固定位置, 以便于检测过程中样品与标准钢卷尺的数据同步读取。安装位置选择在水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心水位台实验室内, 利用现有的压力式水位计时间漂移检测平台, 将装置固定在平台顶部, 钢丝绳穿过在平台顶部上事先预留好的孔, 以

保证模拟装置正常的工作状态, 等待检测。

检测过程中, 使装置的钢丝绳下端设备运行状态下能够自然悬锤在标准钢卷尺旁, 受检设备在 0 ~ 10 m 范围内, 分别以 40 cm/min 和 60 cm/min 升、降全过程, 比测点 1 个/m, 记录装置人机交互界面上所显示的通过驱动电机带动钢丝绳所产生的位移量, 以及用标准钢卷尺所测量出的钢丝绳实际位移量(即标准位移量), 计算示值误差。检测结果见表 1。

表 1 最大允许误差记录

序号	标准钢卷尺读值/ mm	被检仪器显示值/ mm	标准位移量/ mm	受检仪器位移量/ mm	示值误差/ mm
1	10 812	0	0	0	0
2	9 811	1 000.5	1 001	1 000.5	-0.5
3	8 811	2 000	1 000	999.5	-0.5
4	7 810	3 000.4	1 001	1 000.4	-0.6
5	6 812	4 000.2	998	999.8	1.8
6	5 810	5 000.1	1 002	999.9	-2.1
7	4 811	6 000.5	999	1 000.4	1.4
8	3 810	7 000.5	1 001	1 000	-1.0
9	2 809	8 000.5	1 001	1 000	-1.0
10	1 808	9 000.4	1 001	999.9	-1.1
11	808	10 000	1 000	999.6	-0.4
12	1 810	9 000.5	1 002	999.5	-2.5
13	2 812	8 000.7	1 002	999.8	-2.2
14	3 813	7 001	1 001	999.3	-1.7
15	4 812	6 000.4	999	1 000.6	1.6
16	5 813	5 000.4	1 001	1 000	-1.0
17	6 815	4 000.5	1 002	999.9	-2.1
18	7 812	3000.7	997	999.8	1.8
19	8 812	2 001	10 001	999.3	-1.7
20	9 811	1 000.6	999	1 000.4	1.4
21	10 808	0.8	997	999.8	2.8

通过检测表明,装置在 0~10 m 全过程检测中各个测点均满足最大允许误差优于 5 mm 的要求。

3.2 示范应用

检验测试装置研制完成后太湖流域管理局部分站点进行示范应用,以太师桥水文站为例,该站位于浙江省嘉兴市桐乡市,为国家基本水文站。站内安装的水位计为南水牌 WFH-2A 型浮子式水位计,准确度等级为 3 级,测量范围在 0-10 m 时,最大允许误差为 2 cm。因该站点水位井较浅,因此选用 300 cm 量程进行测试,即当模拟水位上升 300 cm 后模拟水位下降 300 cm,当中每 100 cm 检测一次数据。检测数据见表 2。

表 2 浮子式水位计检测

序号	检测 量程/ cm	水位计 初始值/ cm	被检水位 计水位 值/cm	编码器 标准值/ cm	绝对 误差/ cm
1	300	411	511	100.10	0.10
2	300	411	612	200.08	-0.92
3	300	411	712	300.05	-0.95
4	300	411	612	200.08	-0.92
5	300	411	512	100.11	-0.89
6	300	411	411	0.00	0.00
7	300	1 784	1 884	100.10	0.10
8	300	1 784	1 984	200.07	0.07
9	300	1 784	2 084	300.04	0.04
10	300	1 784	1 984	200.07	0.07
11	300	1 784	1 885	100.11	-0.89
12	300	1 784	1 784	0.00	0.00
13	300	1 890	1 990	100.10	0.10

(续表 2)

序号	检测 量程/ cm	水位计 初始值/ cm	被检水位 计水位 值/cm	编码器 标准值/ cm	绝对 误差/ cm
14	300	1 890	2 090	200.07	0.07
15	300	1 890	2 190	300.04	0.04
16	300	1 890	2 090	200.07	0.07
17	300	1 890	1 990	100.10	0.10
18	300	1 890	1 890	0.00	0.00

经过上升和下降各 300 cm 水位变化的测试,每 100 cm 间隔水位误差均小于 2 cm,因此该浮子式水位计符合规范要求。

4 结 语

本文介绍的便携式高精度浮子式水位计检验测试装置体积小、质量轻、易于携带,技术指标满足设计目标,解决了浮子式水位计现场检测的问题。同时,装置采用模块化设计,检测过程无需人为干预,自动化程度高,改变了原有浮子式水位计的检测模式,填补了国内现场检测装置的空白,保证了现场浮子式水位计监测数据的准确性,提高了水文监测数据的质量,为国家水资源高效开发利用提供了有力的基础支撑。

参考文献:

- [1] 袁维仁. 在线校准技术的发展趋势[J]. 上海计量测试, 2002(3):4-7.
- [2] 水位测量仪器 第一部分:浮子式水位计: GB/T 11828.1-2019[S].
- [3] 张迎新. 单片机原理及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [4] 姚永熙. 水文仪器与水利水文自动化[M]. 南京:河海大学出版社, 2001.