

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.02.10

标准表法明渠流量计在线校准装置的设计

胡博, 冯鑫, 张朋

(河南省计量科学研究院, 河南 郑州 450000)

摘要: 为解决现场评定废水在线自动监测系统中明渠流量计准确度的技术难题, 设计了一套以高精度管道式流量计作为标准表的标准表法明渠流量计在线校准装置, 研制了专用的现场流量信号采集测量系统, 进行了硬件电路设计, 并采用 Qt 开发了配套的上位机操作软件。通过大量不同条件下的现场对比试验, 验证了系统的可靠性和装置的有效性, 为准确实现废水流量在线监测提供了技术基础。

关键词: 标准表法; 明渠流量计; 在线校准; 校准装置

中图分类号: TB937

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)02-0054-05

Design of on-line Calibrating Open Channel Flowmeter Device by the Master Meter Method

HU Bo, FENG Xin, ZHANG Peng

(Henan Institute of Metrology, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to solve the technical problem of evaluating the accuracy of the open channel flowmeter in the on-line wastewater automatic monitoring system, a set of on-line calibration device of the open channel flowmeter with high-precision pipeline flowmeter as the standard meter is designed. A special on-site flow signal acquisition and measurement system is developed, the hardware circuit is designed, and the matching upper computer operation software is developed by QT. Through a large number of field comparative tests under different conditions, the reliability of the system and the effectiveness of the device are verified, providing a technical basis for the accurate online monitoring of wastewater flow.

Key words: the master meter method; open channel flowmeter; on-line calibrating; calibration device

0 引言

近年来, 随着国家对环境监测质量的重视, 明渠流量计作为废水在线自动监测系统中应用最广的流量计, 在各种环境场合下得到了大量的推广和应用。明渠流量计在试验室内的计量性能评价依据及方法在相应的国家计量检定规程中已有详细、明确的规定, 但安装在环境条件复杂的现场后, 由于受到各种影响因素的干扰, 如何评定明渠流量计的准确度成为一个受到广泛关注的技术难题。

针对明渠流量计的现场校准^[1-2], 目前国内常用的测量方法是在被测明渠流量计的特定位置安装比被测明渠流量计精度更高的液位传感器, 测出的数值作为标准液位值, 然后利用各种堰槽的经验公式计算出相应的标准流量值, 与被测明渠流量计的示值进行对比, 得到相应的测量误差。这种方法得到被测流量值和标准流量值的原理是一样的, 但由于现场渠道中相同的位置一般不可能再安装一个标准的堰槽, 因此, 在影响现场流量测量准确度的主要因素中, 此方法仅

解决了液位对测量结果的影响问题, 由堰槽的类型、堰槽几何尺寸不标准引入的测量误差及水流扰动带来的液位测量重复性等均无法解决。

针对上述问题, 本文设计了以高精度管道式超声流量计为标准表的测量装置, 在一定条件下可以对明渠流量计进行现场实流校准。由于管道式流量计和明渠流量计测量原理不同, 因此可以从根本上避免上述因素对误差测量的影响。通过开展大量的现场试验, 验证了该装置的可靠性与准确性。

1 装置原理

基于标准表法的明渠流量计在线校准装置, 参考了国家计量检定规程 JJG771-1990《明渠堰槽流量计试行检定规程》^[3]的要求, 以高精度超声流量计为标准流量计, 将其安装在被测明渠流量计的上游或下游直管段上, 根据流体的连续性原理, 直管段处的流量和经过明渠的流量是相同的, 因此, 可用标准流量计的流量值对明渠流量计进行校准。

装置的原理为：水流由水泵抽取进入封闭的直管段；标准流量计安装在直管段上，安装位置处应符合介质满管的要求，并保证上游直管段的长度满足超声流量计的使用要求^[4]；水流进入安装有被校明渠流量计的明渠渠道中，且应保证明渠流量计正常运行；最后水流由明渠段后端流走。开始校准时，首先将标准

流量计的标准值输出信号及明渠流量计的被测值输出信号接入信号采集测量系统中；然后待水流平稳流动一段时间，流场稳定后，由信号采集测量系统控制开始同时采集标准值及被测值信号；根据相应规范要求的运行时间，采集到足够的信号后，完成整个测量过程。装置原理图如图1所示。

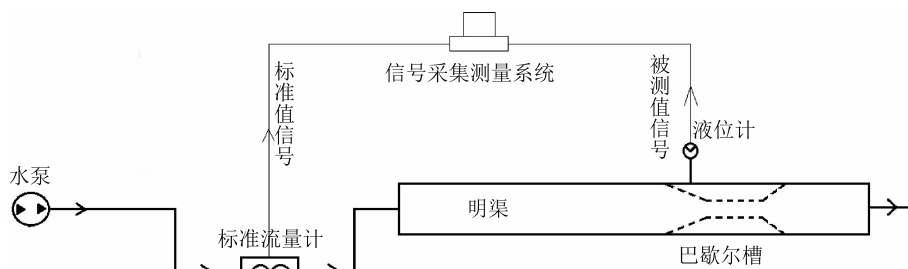


图1 基于标准表法的明渠流量计在线校准装置原理示意图

废水流量在线监测中明渠流量计的最大允许误差范围一般为： $\pm(2\sim6)\%$ ，为了满足量值溯源的要求，标准流量计选择准确度等级为0.5级的超声流量计^[5]。

为了保证测量时间的同步性，且能满足标准表法流量标准装置中对系统计时器的计量要求^[6]，研制了现场流量信号采集测量系统。系统通过专用的板卡采集被测及标准信号，其采集频率满足装置计时器引入的扩展不确定度，并能够在PC端软件上实现程序设定、数据显示、计算存储等相关功能。

2 流量信号采集测量系统

作为在线校准装置的核心，流量信号采集测量系统主要由硬件电路和PC端软件系统两部分组成。硬件电路主要由电源系统、控制系统、信号采集系统、通讯系统等部分组成^[7]；PC端软件系统主要由前端界面、后台数据处理、本地存储等模块组成。

2.1 硬件电路设计

采集电路兼容标准表、被测表通讯协议，支持4~20 mA信号、脉冲信号、RS485标准Modbus采集；内置24位高精度ADC，降低测试误差，满足模拟信号的高精度采集需求；通过PC端后台软件控制采集板卡采集仪表数据，实现数据设定、显示、计算、分析、存储等相关功能。电源系统具有防反接、防过压、防过流等防护设计，通讯模块采用抗干扰设计，提升系统运行的稳定性。

电路采用实时操作系统设计，标准表、被测表满

足同步实时数据采集上传功能，有效解决了数据不同步问题，为实验提供更为精准的数据来源。并且预置了Wi-Fi远程通讯，支持TCP/IP通讯方式，可通过远程电脑端进行命令交互、设备控制、数据采集等操作，实现便捷、高效、远距离的设备操控。

2.1.1 实现方案

测控系统中，PC端后台控制系统采用Qt开发，支持跨平台使用(Windows 32/64位、Linux、Android等)，后期延展性强。板载卡处理器采用ARM公司Cortex-m3架构处理器，处理器片上集成多路串口、定时器、SPI和IIC等，满足本设计需求。采集电路预留模拟量采集接口，采用ADS1231高精度24位ADC片子，满足对高精度小信号的采集需求。采集电路中两路RS485接口分别接被测装置，其中：脉冲信号采集接口，负责采集标准装置脉冲信号；TTL转USB接口与PC端后台软件进行通讯。

采集电路通过USB接口与PC端后台进行数据交互，采集电路收到PC端测试、停止、复位、检测等指令后执行相应的动作，同时将必要的实时数据反馈给PC后台端，后台端依据用户的操作和采集电路反馈的数据进行相应的数据处理，对数据进行解析和计算，然后显示到前端，同时将数据按照一定的格式实时保存到本地指定的路径中。

2.1.2 硬件组成

1) 主处理器采用STM32F103R8T6，处理速度、抗干扰能力等综合性能好，适合本设计需求；

- 2)RS485 模组, RS485 – Modbus 协议, 硬件抗干扰设计;
- 3)模拟信号采集模组, 支持 4 ~20 mA 信号采集;
- 4)频率采集模组, 频率范围为 0 ~7500 Hz, 高电平为 3 ~36 V, 低电平在 1 V 以下;
- 5)电源适配模组, 板卡支持 USB 供电或者外接 12 V DC 供电, 两种供电方式, 具备过压过流等相关防护;
- 6)USB 通讯模组, 采集板与 PC 端采用 USB 直插通讯(串口协议)。

2.2 软件系统设计

软件系统设计主要功能为: 用户通过前端的参数设定框实现系统工作参数设定, 然后系统会自动将用户设定的数据导到后台端, 后台依据用户的设定需求启动采集电路进行数据采集, 同时后台将会按照用户约定的参数格式进行数据处理, 然后在前端的显示界面中显示出来, 并且进行本地存储。

2.2.1 软件前端

用户通过上位机软件的前端界面可以方便、高效地进行数据交互。前端界面如图 2 所示。

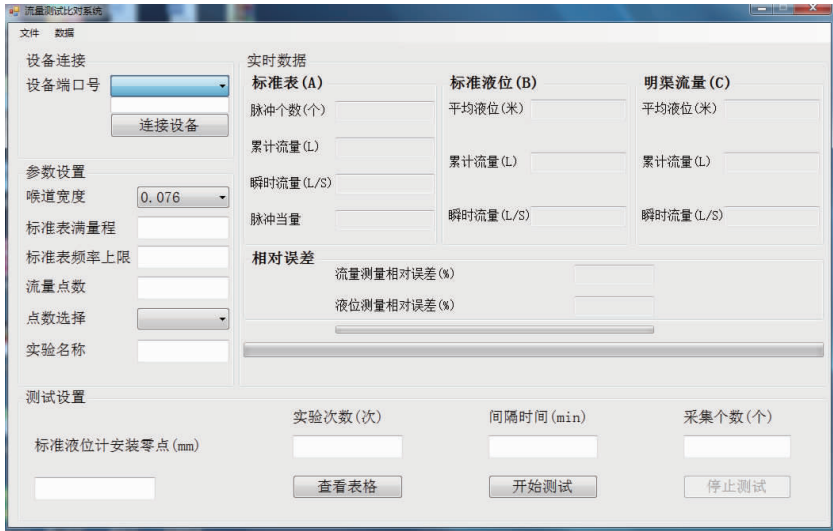


图 2 上位机软件主界面

在开始测试前需要先连接设备(设备连接到电脑端后会自动显示连接成功), 之后设定“参数设置”、“测试设置”栏内的关键参数, 设置完成后即可点击开始测试。如果参数设置不正确或者未设置, 在点击开始测试时系统会自动提示, 并且不允许测试, 直到设置满足正确要求系统才允许进行测试。

2.2.2 设备后台

设备后台用于执行用户需要的动作, 并处理 excel 表格数据, 系统的参数监听、设备连接状态和设备数据都是通过后台的进程进行处理的, 后台会对表格进行创建、读、写、保存等操作。设备后台会根据用户在界面端设置的相应参数进行表格控件类型的选择。

后台设计架构流程图如图 3 所示, 系统初始化完成后会等待用户的前台界面命令, 收到命令后开始执行。如果执行错误, 则在前台界面提示相应的错误。如果执行成功, 系统会依据前台参数进行表格创建, 并向设备下发动作命令, 然后等待设备回应相应数据, 再将数据写入表格, 并刷新界面显示。

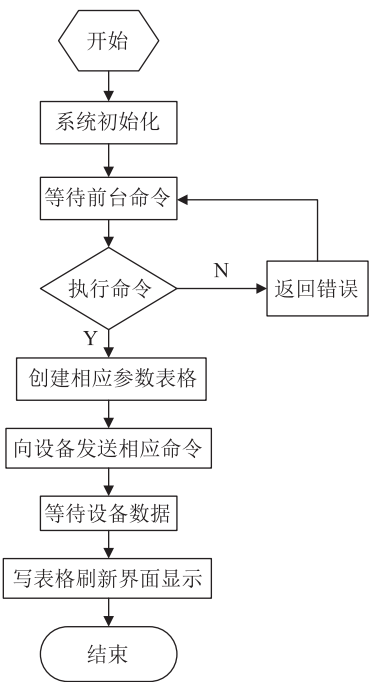


图 3 软件系统设计架构流程图

3 试验验证

为了验证明渠流量计在线校准装置的有效性,设计了一组对比试验。针对同一明渠堰槽(喉道宽度 $b = 152\text{ mm}$),采用两种不同的液位测量方式,安装了两种明渠流量计。一种是在渠道上水位观测断面处用超声波液位计测量渠槽中的水位,另一种是在渠道旁边建静水井,利用连通管使之与渠道水流相通,用磁致伸缩液位计在静水井中测量水位。由于静水井可以有

效地隔离渠道中水流的脉动、漩涡和波浪,因此,安装在静水井中的液位测量会更加稳定和准确^[8]。

明渠流量计安装位置前端的行进渠道长度对流场的稳定性也有影响^[9],根据规程要求,巴歇尔槽的安装条件为前端顺直行进渠道长度应不小于5倍的行进渠道宽度。因此,试验设计了在不同行进渠道长度下的比对试验,验证其对明渠流量计测量误差的影响。试验数据如表1所示,其中 D 为行进渠道宽度。

表1 两种明渠流量计在线校准的测量数据

液位 测量方式	流量点 $/(L \cdot s^{-1})$	不同行进渠道长度 L 下的相对测量误差及重复性/%									
		$L = 6D$		$L = 5D$		$L = 4D$		$L = 3D$		$L = 2D$	
		误差	重复性	误差	重复性	误差	重复性	误差	重复性	误差	重复性
超声波 (渠道断面)	90	8.541	0.437	7.729	0.433	7.392	0.497	6.632	0.296	3.154	0.197
	55	5.586	0.514	5.994	0.517	4.451	0.477	4.707	0.379	3.643	0.356
	26	1.261	0.473	2.000	0.654	-0.897	0.752	-0.150	0.010	-1.302	0.339
磁致伸缩 (静水井)	90	1.875	0.066	1.444	0.062	1.692	0.084	1.435	0.062	1.703	0.125
	55	-0.173	0.091	-0.613	0.244	-0.662	0.107	-0.498	0.104	-0.643	0.262
	26	-5.272	0.041	-4.794	0.094	-5.157	0.368	-4.559	0.001	-4.420	0.066

分析上述数据,首先,在同样条件(相同流量及相同行进渠道长度)下,静水井内液位测量的明渠流量计误差及重复性均优于渠道断面液位测量的明渠流量计,验证了静水井稳定液面的作用;其次,同一流量计在不同行进渠道的影响下,测量误差曲线规律基本一致(如图4所示),证明基于标准表法的明渠校准装置可以在现场测量中体现出不同影响量对明渠流量计测量误差的影响。

4 结束语

本文针对废水在线自动监测系统中,如何在现场评定明渠流量计准确度的问题,提出了以高精度管道式流量计为标准表的在线校准装置,简述了装置的基本原理,设计了应用于装置上的流量信号采集测量系统,研制出信号采集系统的硬件电路及应用软件,通过开展现场实验,验证了该装置的有效性和可靠性。利用此在线校准装置,可以方便地在现场实现对废水明渠流量计的校准和溯源^[10],为计量技术机构和环境监测部门保证环境监测数据的真实准确提供了一种有效的技术手段。

参 考 文 献

[1] 桑晓鸣,尹彦臻,檀臻. 明渠堰槽流量计在线校准研究[J]. 中国计量, 2018(3): 91-93.
[2] 史军致. 水污染源在线明渠超声波流量计对比确认方法的探讨[J]. 山西能源与节能, 2010(5): 73-75.
[3] JJG771-1990 明渠堰槽流量计试行检定规程[S]. 1990.
[4] HJ/T355-2007 水污染源在线监测系统运行与考核技术规范(试行)[S]. 2007.
[5] 郭兰兰. 影响水流量标准装置性能的关键问题研究[D]. 济

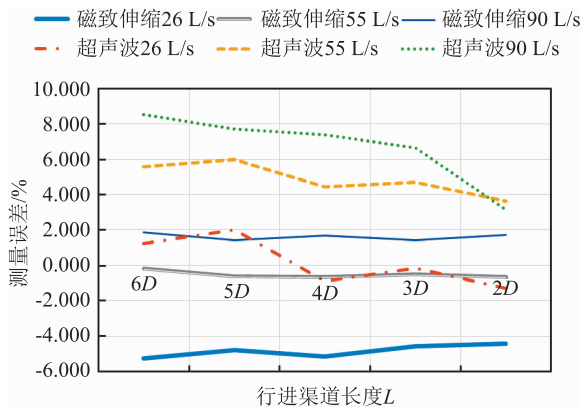


图4 两种不同液位测量方式的明渠流量计在不同行进渠道下的测量误差图

- [6] 刘丁发. 并联式标准表法气体流量标准装置研究[D]. 杭州: 中国计量学院, 2014.
- [7] 韩义中, 何萌, 刘彦军. 标准表法现场流量校准装置数据采集器的研制[J]. 计测技术, 2006, 26(2): 32-34.
- [8] 胡博, 朱永宏, 闫继伟. 基于明渠流量计的污水流量监测数据准确度的技术分析[J]. 计测技术, 2015, 35(S1): 141-144.
- [9] 雒天峰. U形渠道流速分布规律及测流技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [10] 陈汉松, 林建达, 冯嘉明. 浅析明渠流量计溯源中的问题[J]. 科技风, 2015(11): 3.

基金项目：河南省科技攻关计划项目(162102210409)

胡博(1979-),男,河南南阳人,高级工程师,国家一级注册计量师。主要研究方向为计量测控技术及仪器,长期从事流量、容量计量及化学计量工作。主持参与完成河南省科技攻关项目7项,获河南省质量技术监督科技成果一等奖1项、二等奖2项、三等奖2项;作为主要完成人起草编项,河南省地方标准4项,河南省地方规划术论文20余篇,授权专利3项。

(广告)

邮发代号 24-138

地址: 山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编: 250031 电话: (0531)85878132, 85878224, 85878148
E-mail: anameter@126.com 投稿网址: www.cam1992.net

稀土精矿检测方法