

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.02.045

基于 PLC 的雨量传感器自动检定装置

茆文杰^{1,2}, 曹子聪^{1,2}, 方毅^{1,2}, 张亚^{1,2}, 蒋东近^{1,2}

(1. 水利部交通运输部国家能源局 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029;

2. 水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京 210012)

摘要: 为了保证测量降水量的精确和一致, 需要有一套能够准确校正和检定雨量传感器的设备, 故研制一种基于 PLC 的雨量表传感器自动检定装置。该装置采用西门子 S7-200 系列 PLC 进行控制程序编程设计及结合 Smart 1000 IE V4 触摸屏作为人机界面, 实时监控和操控整个流程, 并完成数据的采集和分析。它可以同时对多台翻斗式雨量传感器或称质量式雨量传感器进行检测校准, 校准过程无需人工干预。测试结果表明: 该装置可以自动进行检定, 以确保所有传感器的读数与实际降雨量相符合。

关键词: 降水量; 自动检定装置; 西门子 S7-200 PLC; 人机界面; 雨量传感器

中图分类号: TP212.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2026)02-0237-04

Automatic Verification Device of Rainfall Sensor Based on PLC

MAO Wenjie^{1,2}, CAO Zicong^{1,2}, FANG Yi^{1,2}, ZHANG Ya^{1,2}, JIANG Dongjin^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Ministry of Water Resources, Ministry of Transport and National Energy

Administration, Nanjing 210029, China;

2. Nanjing Hydraulic and Hydrological Automation Research Institute, Ministry of Water Resources, Nanjing 210012, China)

Abstract: In order to acquire a set of accurate callibration and detection equipment for rainfall sensors ensuring the accuracy and consistency of measuring precipitation, this paper develops an automatic calibration device for rainfall sensors based on PLC, which adopts Siemens S7-200 series PLC to design control program programming, monitors and controls the entire process in real time by combining with Smart 1000 IE V4 touch screen as the human-machine interface, and accomplishes data collection and analysis. The developed device can simultaneously detect and calibrate multiple tipping bucket or weighing rain gauges, without requiring manual intervention in the process. The test results indicate that the device can automatically calibrate, ensuring the consistency of readings of all sensors with actual rainfall.

Keywords: precipitation; automatic calibration device; Siemens S7-200 PLC; man-machine interface; rain gauge

0 引言

随着气候变化对全球造成越来越大的影响, 对雨量传感器的检验要求也随之日益增高。准确的降水数据不仅可以提高洪水和其他天气相关灾害的预测准确性, 同时对提前预警和规划紧急响应措施也非常关键; 另外还可以为城市排水系统的设计和管理提供精准的数据支持, 有助于预防和减少由极端降雨事件引起的城市洪水^[1]。

目前, 对水文系统地面站的雨量传感器质量缺乏有效控制。首先, 缺乏统一的检定方法, 这直接影响了检定数据的准确性、一致性、溯源性和法制性。其次, 在检定过程中, 雨强大小控制、信号采集、总量计量和出厂精度检验等环节都需要依

赖人工操作, 导致生产效率低、成本高、可靠性差的现象^[2]。为此本文研制了一种基于 PLC 的雨量表传感器自动检定装置, 该装置可以通过触摸屏设定检定参数和流程, 实现自动化的检定任务。它可以实时查看检定数据, 并进行必要的分析和记录。一旦发现异常情况, 可以通过触摸屏提示用户, 帮助快速诊断问题并采取应对措施。

1 检定原理

本文使用的检定方法为人工模拟法, 即模拟降雨条件, 手动控制雨量传感器接收水滴, 根据实验数据来评估传感器的性能和准确性。

具体方法是通过恒压容器向下注水来实现对雨量传感器进行检定或测试。恒压容器通常具有

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(Y524015)

第一作者简介: 茆文杰(1988—), 男, 江苏盐城人, 工程师, 硕士, 研究方向为水质自动监测技术, 379764634@qq.com。

稳定的水压输出,可以通过控制阀门来调节水流量,从而实现对雨量传感器的注水过程^[3]。这种方法具有以下优点:1)利用恒压容器往下注水可以保持一个恒定的水压,确保注水过程中水流稳定,以提高注水的精度和稳定性;2)通过调节恒压容器的阀门,可以精确控制水的流量和流速,满足不同情况下的注水需求,从而提高检定的准确性;3)恒压容器注水方法相对简单易行,只需控制阀门即可实现注水过程,无需复杂的设备和操作步骤;4)恒压容器往下注水方法适用于各种类型的雨量传感器,且可以在不同环境条件下进行使用。

综上所述,使用恒压容器注水能够实现稳定的水压输出,通过控制阀门可以精确调节水的流量和流速,从而提高了检定和测试的准确性。同时,这种方法操作简便,适用范围广泛,对各种类型的雨量传感器都具有较好的适用性。

2 系统设计

本系统主要由恒压容器、进水控制球阀、电磁阀、电子天平、PLC、触摸屏、交换机、集线器、计算机等组成^[4]。

在雨量传感器的注入过程中,恒压容器排水管通过不同口径的接头连接到雨量传感器上。每个接头上方都安装有一个电磁阀,PLC 控制这些电磁阀根据需要自动切换不同雨强下的注水量,通过控制电磁阀的开关状态,可以调节水的流速和流量,从而模拟不同的降雨情况。当恒压容器中的水量不足时,液位开关会发送信号给 PLC,并触发报警机制,启动进水球阀,向恒压容器内注入适量的水。使用以太网实现 PLC、触摸屏和计算机之间高速、灵活的信息交互^[5]。

PLC 负责采集电子天平数据、翻斗信号数、计算每斗时间以及总流程时间等。通过触控屏可以显示 PLC 采集和处理的数据信息以及报警信息等,也可以设置雨强大小、所需检测的雨量传感器的分辨率以及雨滴消抖信号的时间等参数。计算机将数据进行整理和计算分析,以生成相关结果或报警信息。这些信息可以通过无线通信方式发送给相关人员或设备,也可以通过连接的打印机打印出来^[6]。系统整体框图如图 1 所示。

3 PLC 硬件以及自动化程序设计

S7-200 系列 PLC 是西门子公司推出的一款中小型的可编程逻辑器,具有紧凑的外形设计,具有性价比高、抗电磁干扰性能强和易于建立分布

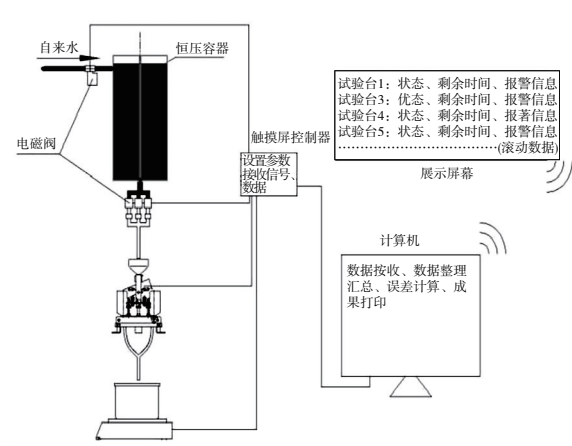


图 1 系统整体框图

从站的特点^[7]。使用 STEP 7-Micro/WIN 软件作为图形化编程工具,可以直观地创建和编辑梯形图(ladder diagram)和功能块图(function block diagram)等程序。支持多种通信协议,如 MODBUS RTU、MPI 和 PPI 等。此外,它还具有网络通信模块,可以实现以太网通信,并支持标准的以太网和 PROFINET 协议^[8]。

3.1 PLC 的 I/O 分配

检定装置的输入信号主要包括雨量传感器的翻斗信号和恒压容器上、下限的液位传感信号等,输出信号主要包括进水控制球阀和大、中、小雨强控制电磁阀等^[9],PLC 的单套检定系统的部分 I/O 地址分配如表 1 所示。

表 1 部分 I/O 地址分配表

地址	功能解释
I0.0	雨量传感器的翻斗信号
I0.1	恒压容器上限液位传感器信号
I0.2	恒压容器下限液位传感器信号
Q0.0	控制进水球阀
Q0.1	控制大雨强控制电磁阀
Q0.2	控制中雨强控制电磁阀
Q0.3	控制小雨强控制电磁阀

3.2 PLC 程序设计

在系统初始化后,每次运行前都要通过液位传感器判断恒压容器的水量是否充足,开启所需校准的雨强对应的电动阀,水体通过电动阀开关注入雨量传感器中,当 PLC 收到 2 次雨量传感器信号后,关闭电磁阀,并在 10 s 后,获取电子天平数值作为 t_1 ;再次开启电磁阀,PLC 接收(0.1 mm

为 100 个信号、0.2 mm 为 50 个信号、0.5 mm 为 20 个信号、1 mm 为 10 个信号)后,再次关闭电磁阀,并在 20 s 后,获取电子天平数值作为 t_2 。例如分辨率选择为 1 mm 时,根据 GB/T 21978.2-2014《降水量观测仪器第 2 部分:翻斗式雨量传感器》承雨面积为 $S=\pi r^2$ 即 314 cm^2 ,每一个信号按照体积公式推算, $0.1\times 314=31.4\text{ mL}$,此分辨率需要采集 10 个信号,所以在此分辨率下的传感器所测的体积应为 314 mL。而 t_2-t_1 的值为 312.7 g,根据水密度常温状态约为 1 g/mL ,传感器所测的实际体积为 312.7 mL。

通过 t_1 、 t_2 ,可以计算出排水量和雨量传感器误差。PLC 还可以按照需求,进行手动的单次检测,也可以进行自动连续的不同雨强之间的切换和不同次数的检测^[10],PLC 程序控制流程如图 2 所示。

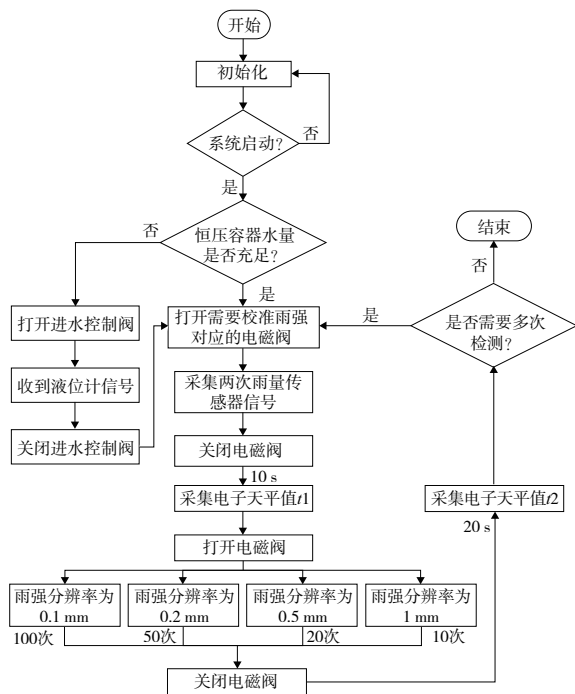


图 2 PLC 程序控制流程图

串口通讯程序:该子程序用于 PLC 采集电子天平的称质量数据。通过指令 MBUS_CTRL 设置通信协议为 Modbus 模式,波特率为 9600、无奇偶校验位、1 位停止、8 位数据位等参数。通过指令 MBUS_MSG 设置电子天平从站的地址,读取数据的起始地址为 40001,连续读取 3 个地址位的数据(32 位质量数据高 16 位、32 位质量数据低 16 位、小数点位置),设置 &VB300 为用于存储从 Modbus 从站读取的数据的第一个 CPU 存储单元^[11]。

检测次数以及雨强自动切换程序:该子程序主要实现可以设置大、中、小这 3 种雨强分别需要检定的次数,以及电磁阀不仅仅在读取质量数据前自动关闭,延时后读完质量数据自动开启,手动检定模式下可以自由开关,还可以在自动模式中按照大、中、小雨强分别设定的次数,自动切换雨强进行检定,并且以防误碰,在检定的过程中,屏蔽对电磁阀的控制。部分检测次数以及雨强自动切换的梯形图程序如图 3 所示。

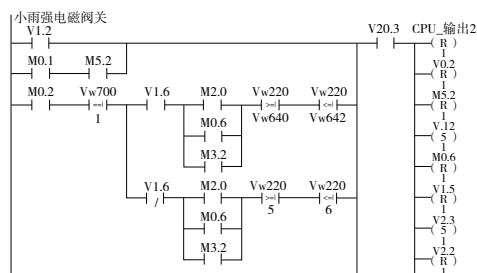


图 3 部分控制的梯形程序图

采集雨量传感器信号数程序:该子程序主要实现对 0.1 mm、0.2 mm、0.5 mm、1 mm 这 4 种分辨率的雨量传感器信号的抓取、计数和计时,在采集到两次雨量传感器信号后,会关闭电磁阀,在此期间,屏蔽雨量传感器信号,再次开启电磁阀后,0.1 mm 分辨率的雨量传感器需要再次采集 100 次信号,0.2 mm 分辨率的雨量传感器需要再次采集 50 次信号,0.5 mm 分辨率的雨量传感器需要再次采集 20 次信号,1 mm 分辨率的雨量传感器需要再次采集 10 次信号,再次关闭电磁阀等待质量数据的读取。由于关闭电磁阀是一个过程,在此过程中水管里有液体残留,这些残液由于惯性的作用,会滴落在下方的雨量传感器内,这些残液量不足以让 0.2 mm、0.5 mm、1 mm 分辨率的雨量传感器的翻斗进行翻转,但是会使 0.1 mm 分辨率的翻斗进行翻转,从而产生电信号,所以在其产生 100 次信号后,继续判断 5 s 内是否还会有电信号,直到无信号产生并记录最后的信号数。在记录信号数的同时,计算出每斗之间间隔的时间以及采集完所有翻斗信号所需要的时间。

信号抗干扰程序:该子程序主要解决由于不同材质的翻斗在翻转到位后,回弹的幅度不一样,可能有误信号产生^[12]。抑制回弹误信号是滤除因机械回弹产生的短时抖动脉冲。为了避免这种误信号对本系统产生影响,本系统使用时间窗口滤波的方法,其原理是当检测到有效脉冲时,启动静默定时器(如 200 ms),在静默窗口内,屏蔽所

有新脉冲,窗口结束后,重新允许检测。通过示波器可以测出回弹脉冲信号的上升沿和下降沿,计算出脉冲宽度 T_{width} ,若 T_{width} 均小于 30 ms,设定时间窗口阈值 T_{min} 应该大于 30 ms。

报警程序:该子程序主要实现恒压容器的下液位产生信号时,产生一个缺水报警信号;采集翻斗信号的时间超出设定值,产生一个超时信号;读取的质量数据超出设定值,产生一个超质量信号;读不到电子天平的质量数据,通信连接失败信号等。

4 组态软件设计

组态软件是工业自动化系统提供可视化界面,使操作人员能够直观、方便地监控和控制设备^[13]。本系统选用西门子公司开发的 WINCC 对 S7-200PLC 进行组态编程,通过组态软件,可以实时获取翻斗次数、时间以及称质量等数据,并将其显示在界面上。还可以通过设置窗口对雨强、自动检定的模式和次数、所要检定雨量传感器的分辨率、以及信号抗干扰的时间;也可以提供异常处理功能,如设备通信故障、缺水、超时、超重等。操作人员可以通过软件界面轻松找到异常所在,并采取相应措施解决问题;还可以将检定数据进行存储和记录,形成历史数据,这些数据可以用于后续的分析和统计。WINCC 运行图如图 4 所示。



图 4 WINCC 运行界面图

5 系统性能测试与实验数据分析

确保雨量传感器自动检定装置的技术参数准确可靠,为雨量传感器的校准提供依据。根据国家计量检定规程 JJG 524—2016《雨量传感器检定规程》,对本系统进行性能测试。

5.1 检测参数

根据规程要对以下 4 个参数进行检测:计数

误差、计数重复性、计数线性度、计数稳定性^[14]。计数误差是使用不同分辨率的标准雨量传感器进行测试,记录装置计数与实际雨量的差值;计数重复性是使用同一雨量的标准量筒进行多次测试,记录装置计数;计数线性度是使用多个不同雨量的标准量筒进行测试,记录装置计数与实际雨量的关系曲线;计数稳定性是装置连续工作一段时间后,重复上述参数检测。

5.2 检测结果

装置计数与实际雨量的偏差为+0.27%,小于合格标准($\leq \pm 1\%$)。装置在相同条件下进行 3 次独立的重复性测试,得出平均的相对标准偏差 RSD 值为 0.3%,低于合格标准($\leq 0.5\%$)。装置在不同雨量下的计数与实际雨量的线性关系为 0.999 5,高于合格标准(≥ 0.999)。装置在长时间工作后计数参数的变化为+0.63%,低于合格标准($\leq 1\%$)。检测结果如表 2 所示,满足行业标准。

表 2 数据记录表

测试参数	测试数值 1	测试数值 2	测试数值 3	平均值
计数误差/%	+0.24	-0.19	+0.3	+0.12
计数重复性/%	0.2	0.4	0.3	0.3
计数线性度	0.999 7	0.999 5	0.999 4	0.999 5
计数稳定性/%	+0.71	+0.52	+0.66	+0.63

6 结语

此装置通过 PLC 程序设计与触摸屏画面组态设计,完成了自动化控制系统的创建,并满足主要技术考核指标,实现可支持翻斗式、称质量式在内等多种雨量传感器的检定测试。从而提高了检定效率、准确性和故障检测能力,达到了节省时间和人力资源、提高生产效率和设备稳定性的要求,降低了成本并取得了经济效益。

参考文献:

- [1] 崔志美,黄维,黄志都,等. 微博数据与地理信息数据结合的洪涝淹没概率估计方法[J]. 水力发电,2024,50(9):22-29,43.
- [2] 刘金苓,李婉文,刘京,等. 庭院人工湿地在农村污水处理中的应用及前景[J]. 水处理技术,2020,46(4):16-19,25.

(下转第 268 页)

- [11] 栾亨淳. 风电—光伏—光热互补发电系统运行特性仿真研究[D]. 北京:华北电力大学,2023.
- [12] 许昌良. 基于混合储能的风光互补发电系统控制研究[C]//上海筱虞文化传播有限公司.Proceedings of 2023 Seminar on New Engineering Technologies and Methods(SNETM 2023). 贵阳:贵州元龙综合能源产业务服有限公司,2023: 65-67.
- [13] KUMAR R, Shivam, PATIL V. Performance analysis of energy storage unit with lead-acid and lithium iron phosphate battery [C]//2022 4th International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE). Shillong, India: IEEE, 2022: 1-6.
- [14] 管雅鹏. 风光互补充电桩供电系统控制策略仿真分析[J]. 今日制造与升级, 2024(6): 80-82.
- [15] 彭金银, 朱香瑾. 风光互补发电系统蓄电池充放电控制研究[J]. 电器工业, 2023(12): 24-26, 32.
- [16] 李巍. 死区效应对风光互补单元逆变器串联发电系统的影响[D]. 兰州:兰州理工大学, 2017.
- [17] BUBALO M, BAŠIĆ M, VUKADINOVIĆ D, et al. Hybrid wind-solar power system with a battery-assisted quasi-Z-source inverter: optimal power generation by deploying minimum sensors [J]. Energies, 2023, 16(3): 1488.
- [18] 曹晓雅. 单级光伏并网高频隔离逆变器及其精确控制技术[D]. 青岛:青岛理工大学, 2023.
- [19] 潘泽铎, 钟炜. 风光互补发电制氢储能系统多目标优化研究[J]. 天津理工大学学报, 2024, 40(1): 37-43.
- 收稿日期: 2024-10-16

(上接第 240 页)

- [3] 王敏, 魏根宝, 王毛翠, 等. SL3 型雨量传感器示值误差测量不确定度评定方法[J]. 气象科技, 2015, 43(1): 65-69.
- [4] 吴枝国, 薛程, 盛益, 等. 基于 PLC 技术的钻井管柱自动输送系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2024, 53(3): 172-176.
- [5] 高桑田, 毛朝斌, 戴科峰, 等. 碳化硅外延设备干扰问题与解决方案[J]. 机电工程技术, 2023, 52(8): 280-283.
- [6] 马利芳. 基于 ARM Cortex 微控制器的便携式无线票据打印机设计[J]. 电子设计工程, 2022, 30(8): 152-155, 160.
- [7] 丁振兴, 刘丽花, 秦国富, 等. 基于 PLC 的大型泵站设备及自动化改造[J]. 电气自动化, 2024, 46(4): 37-40.
- [8] 李飞. 西门子 S7-1200 在安检系统中的设计与应用[J]. 机电产品开发与创新, 2023, 36(5): 27-29.
- [9] 黄飞龙, 邹庆彪, 曾慧明. 高精度电阻应变称重降雨传感器设计[J]. 现代电子技术, 2023, 46(6): 39-43.
- [10] 黄朝干, 黄莲花, 黄显昆, 等. 浅谈基于 PLC 与交互技术的智能电梯综合实训装置的设计与实现[J]. 中国设备工程, 2024(17): 31-33.
- [11] 赵佳萌. S7-200 smart 与三菱 F700 变频器的 Modbus RTU 通信控制实例[J]. 自动化应用, 2024(14): 250-253, 257.
- [12] 施宇豪, 张雄, 周郅杰. 数字电路信号传输抗干扰技术研究[J]. 通信电源技术, 2023, 40(8): 208-210.
- [13] 龚斌. 基于 MCGS 矿用带式输送机监控系统设计[J]. 建井技术, 2023, 44(1): 43-46, 55.
- [14] 魏邦宪, 王晓雷, 杨云芸, 等. 称重式降水传感器现场校准方法研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2021, 38(1): 60-62.
- 收稿日期: 2025-03-05