

马善磊, 丁善文, 袁超, 等. 称重式降水传感器现场校准软件设计与应用[J]. 陕西气象, 2026(1): 87-92.

文章编号: 1006-4354(2026)01-0087-06

称重式降水传感器现场校准软件设计与应用

马善磊, 丁善文, 袁超, 翟恒志

(泰安市气象局, 山东泰安 271000)

摘要:为实现不同型号称重式降水传感器现场校准数据的自动处理,依据山东省气象工程中心编写的全省称重式降水传感器校准规范,开发了称重式降水传感器现场校准软件。该软件以上位机输出控制指令,连接称重式降水传感器的数据采集模块进行数据交互,当对校准过程中筛选的数据记录采用滑动平均法求算数据记录间的最大差值绝对值小于软件预设阈值,便可自动挑取校准数据,并生成校准记录表及测试报告。相较于人工校准方式,采用该软件自动校准中判识设备稳定状态更准确,筛选的数据更稳定,可有效提升现场校准效率。

关键词:称重式降水传感器;现场校准;数据筛选

中图分类号:P414

文献标识码:A

称重式降水传感器是基于载荷测量技术原理设计,通过对质量变化的快速响应测量降水量的智能化装置。称重式降水传感器实现了固态、液态和混合性降水的自动化观测,能够克服目前气象台站固态降水人工观测造成的时效性差、观测频次低等弊端,有利于提高固态降水观测的准确性和效率,减轻观测人员的工作量。对称重式降水传感器定期进行校准是保障设备性能稳定、数据准确的重要手段,对保障降水观测资料的代表性、准确性、比较性有重要意义。

目前,气象台站降水称重测量技术主要有两种,分别是基于电阻应变技术(如DSC1型)和振弦技术(如DSC2型)^[1]。在实际现场校准工作中,基于上述两种技术制造的称重式降水测量仪在校准流程、通讯设置和分钟数据输出格式等方面均不同,人工操作过程繁琐、易错性强。2018年山东省气象工程中心编写了《称重式降水传感器校准规范》,规定山东省国家气象观测站所属称重式降水传感器校准项目包括外观、灵敏阈、最大称量范围、示值误差等^[2]。随后在全省开展了该

类设备的现场校准工作。称重式降水传感器校准中的数据测量、数据读取、质量控制、数据筛选、计算、制表等环节均未实现自动化,存在人为因素干扰、效率低、易出错、工作量大等缺点。为排除人工校准可能产生的主观因素影响,实现校准工作自动化,提升工作效率和校准质量,泰安市气象局研制开发了“称重式降水传感器现场校准软件”。该软件以上位机输出控制指令,与称重式降水测量仪的数据采集模块连接并进行交互、响应,采用滑动平均算法计算数据筛选阈值,自动判识设备稳定状态并进行数据筛选,实现对称重式降水传感器的现场校准自动化,保证了校准结果的客观、规范。

1 总体设计

1.1 设计思路

采用Visual Basic 6.0可视化编程工具,以模块化方法设计软件。在综合考虑称重式降水传感器校准工作中各种需求的基础上设置功能模块,用户可根据工作需要单独运行不同模块,模块间数据交互均以后台读取加密文件方式实现。该软

收稿日期:2024-12-02

作者简介:马善磊(1981—),男,汉族,山东泰安人,学士,工程师,主要从事气象仪器设备保障与计量技术研究工作。

基金项目:泰安市气象局科学技术研究项目(TA2022-05)

件不仅设计了自动实现校准数据记录筛选与计算、形成校准记录表和测试报告功能,还设计了对校准数据的自动分析、授权编辑、文件加密与输出、测试报告补制、电子签名等相关功能,全面考虑了称重式降水传感器现场核查全流程工作节点自动化处理需求。

设计数据加密机制。以各型号设备配置的运行参数灵活控制软件运行,实现自动校准过程,以串口通讯编程实现上位机与数据采集模块的正常交互,并采用对应的解析和质控方法实现数据筛选和质控等流程^[3]。获取的质控后的校准数据自动存入数据文件,所有数据文件以加密后的特殊格式保存,禁止人为改写数据。

设计数据纠错机制。为便于审核发现、处理数据质量问题,软件设计了校准过程中原始数据自动保存功能,可在数据处理菜单调取校准过程中的原始数据进行自动分析、复核,以进一步验证校准结果的正确性。如发现校准记录数据需要修正,校准记录文件在授权后可进行人工编辑修改。

设计自动读写机制。测试报告是校准结果文件,测试报告中所需数据均从加密的校准数据记录表中自动读取,在测试报告子模块中,软件能自动完成测试报告中相关数据计算需求,并写入测试报告。

设计权责明晰机制。为明晰责任,实现校准记录表、测试报告等无纸化,测试、复核等过程相关人员均采用电子签名^[4]。

1.2 安全设计

该软件是系统内部业务应用软件,为保障相关过程数据及输出结果数据安全,设计时充分考虑了安全因素。一是授权安装和使用:软件安装需提供安装密码,软件安装成功后,要成功注册才能应用。依照业务应用上位机硬件信息唯一性,经过设计的算法生成注册码,一机一码,软件移机不可用,只允许在指定的计量单位业务用机上运行;二是采用数据加密算法和特殊格式(专用软件打开)存储数据文件,过程中未经审核授权均无法改写数据文件。在经授权并由软件解密后,可进行数据编辑,数据文件存盘时会自动再次加密。

1.3 数据筛选算法设计

基于设备稳定性是否符合数据读取要求,数据筛选算法分两个步骤,一是按数据筛选规则进行数据记录集的筛选;二是以滑动平均法^[5]外推稳定性趋势,计算筛选数据集,得到本次数据读取的阈值。

数据筛选按以下规则进行:以最近一次采集器返回的分钟数据记录前推 n ($n > 5$) 条数据记录,且所有记录的质控码不能为“错误”、“可疑”等非“正确”状态^[3]。所有记录两两之间的分钟数据值之差须符合最大允许误差范围要求(± 0.4 mm,校准值小于等于 10 mm 时; $\pm 4\%$,校准值大于 10 mm 时)。

计算本次数据读取阈值(滑动平均法):

$$\bar{Y}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

式中: \bar{Y}_n 为第 n 次计算的平均值; y_i 为第 i 个样本值; n 是平均值计算区间内所取样本总数,即筛选记录数。

完成所有筛选记录计算后,当 Y_1 分别与 Y_2 、 Y_3 ... Y_n 之间的最大差值绝对值 $< \delta$,则判定为数据符合读取要求, Y_1 作为该次读取值。其中 δ 视为阈值,该阈值可视数据稳定性要求的高低在软件中调整,一般当校准值 ≤ 10 mm 时取值为 0.1~0.2、校准值 > 10 mm 时取值 1%~2%即可取得较好的效果。

1.4 软件结构

图 1 为软件结构图,包括参数设置、现场校准、数据处理和系统帮助 4 个模块及对应的 13 个二级子模块。正式进行现场核查前,首先要设置基础参数和校准参数,以正确控制软件运行;现场校准是采集校准结果的过程,数据处理是对现场校准采集的数据进行解析验证,对测试报告打印、输出以及软件用户电子签名设计等,主要用在现场校准模块完成核查之后。

图 2 为软件主控界面,上位机软件启动后,首先加载预设的参数集,然后根据菜单选项,由参数值控制执行对应模块及其子模块运行。

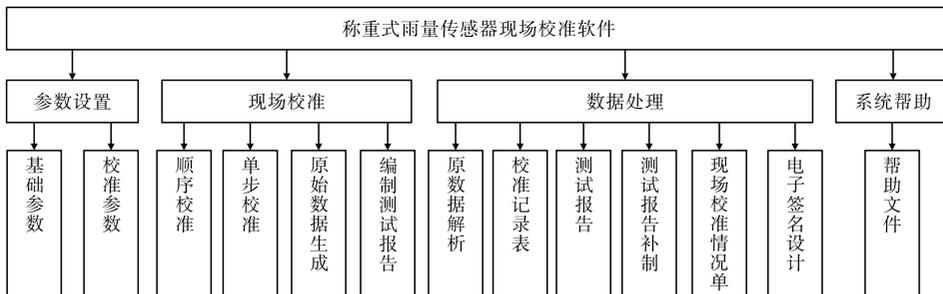


图1 软件结构图



图2 软件主控界面

2 主要功能简介

2.1 参数设置

参数设置分为基础参数和校准参数两部分,主要用来控制软件运行和输出。基础参数包括标准器参数、校准点、操作人员信息、测试依据、稳定时间、初始化时间、数据读取频次、质控参数等,是相对少变的参数集;校准参数主要包括被校准设备型号、名称、出厂编号、所属站点等信息,可根据每次校准任务批量导入,校准时自动读入对应校准记录表,无需人工逐项输入。

2.2 现场校准

现场校准是软件的核心功能模块,主要用来完成“最大称量范围”、“示值误差”等校准项目。除运行软件外,还要用到串口线、标准 F1 级砝码

组(标准器)等硬件组合完成现场校准^[6]。依照需校准设备型号,软件自动启用对应参数集控制软件条件分支代码运行,实现上位机与数据采集模块的正常交互,并采用对应的解析和质控方法实现数据筛选、数据质控等,完成现场校准过程的数据自动处理,并将质控后的数据写入校准记录表。现场校准流程如图 3 所示。

一次性完成校准全过程,可选择“顺序校准”功能,软件会自动按照校准流程顺序完成各校准点的校准工作;另外,软件还支持选定某步骤后执行“单步校准”,该功能对自动校准过程中出现错误或人工中断情况下进行延续校准提供了解决方案。校准过程自动保存与数据采集器交互而来的原始数据。

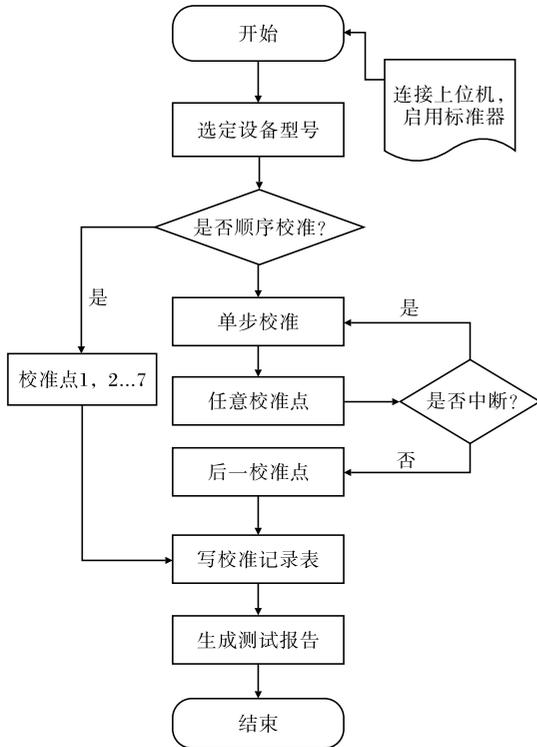


图3 现场校准流程

在完成校准流程后,软件会自动处理数据并填写到测试报告中(自动填写的测试报告各项信息会自动形成二维码文件^[7]并自动保存,可以据此还原生成测试报告),并进行电子签名,最终完成测试报告。

该模块还提供了手动发送交互命令^[8]进行硬件调试以及文件打印、文件转成 PDF、Excel 文档等功能。

2.3 数据处理

数据处理包括了原数据解析、校准记录表及测试报告、测试报告补制、现场校准情况单、电子签名设计等功能。“原数据解析”功能用于软件自动识别并加载不同型号设备原始数据(格式不同)进行自动分析,便于离开现场后对校准结果的验证;“校准记录表”及“测试报告”功能用于加载对应表格,提供浏览、打印输出等;因基层台站需要提供纸质测试报告备查,当纸质测试报告损毁或丢失,“测试报告补制”功能可提供基于校准记录表或测试报告二维码文件补制功能;现场校准完成后,要填写“现场校准情况单”,校准人员和被校准单位人员签名存档,内容包括校准项目、站点、

日期、时间等信息;“电子签名设计”为校准人员变更时提供手动签写姓名电子化功能,以实现在校准记录表、测试报告等相应表格栏实现电子签名功能。

2.4 系统帮助

提供超文本编辑语言制作的软件帮助文件 Help. chm,可依据该帮助文件说明,完成软件各项操作。

3 试用与评估

3.1 试用情况

该软件开发完成后,在泰安市辖区 6 个气象台站称重式降水测量仪年度校准工作中试用,经统计分析两年试用数据表明:该软件有效避免了数据记录稳定状况判别和计算误差等人工因素的影响,在数据筛选、质控和计算等方面更加客观、高效,输出数据的振幅明显减小,取得良好试用效果。

3.2 试用评估

实际现场校准工作中,因 DSC2(5~7 分钟)型比 DSC1(3~5 分钟)型称重传感器稳定时间更长,更易出现在不够稳定的情况下进行筛选、读取数据,因此以 2021 年泰安新泰国家气象观测站 DSC2 型称重传感器现场校准数据进行对比。如表 1,分别是人工测量数据、软件自动测量数据及对应的示值误差分布。对比分析表 1 数据可知:数据筛选和读取方面,在 1 mm、10 mm 小质量校准点,人工测量方式与软件自动测量方式在数值上未表现出明显差异;而在其余较大质量校准点,人工选取的数据点各值最大差值大于等于软件自动筛选、读取的各值最大差值。虽然两种方式得到的示值误差均不超过最大允许误差,但软件自动测量时采用滑动平均方法计算数据筛选阈值,自动判识设备稳定状态更准确,筛选得到的数据更稳定。表 2 是 2020—2021 年泰安辖区称重降水传感器自动与人工现场校准结果对比。由表 2 可以看出:DSC1 型和 DSC2 型称重降水传感器自动校准平均稳定时间、测量误差绝对值均值均明显小于人工校准;以设备型号对比,DSC1 型称重降水传感器较 DSC2 型称重降水传感器需要的稳定时间更短。

表1 2021年新泰国家气象观测站DSC2型称重降水传感器现场校准数据对比(人工/自动)

| F1级 砝码 质量/g | 校准点 /mm | 标准器数据 | | 人工测量值/mm | | | 自动测量值/mm | | | 人工测 量误差 | 自动测 量误差 | 人工相 对误差 /% | 自动相 对误差 /% |
|-------------------|------------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|------------|------------|------------------|------------------|
| | | 修正值 | 标准值 | 读数1 | 读数2 | 读数3 | 读数1 | 读数2 | 读数3 | | | | |
| 31.4 | 1.0 | 0.00 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 314 | 10.0 | 0.00 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.1 | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 942 | 30.0 | 0.00 | 30.0 | 29.9 | 30.0 | 29.9 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | -0.1 | 0.0 | -0.33 | 0.00 |
| 1570 | 50.0 | 0.00 | 50.0 | 50.2 | 49.9 | 49.6 | 49.9 | 49.9 | 49.9 | -0.1 | -0.1 | -0.20 | -0.20 |
| 2512 | 80.0 | 0.00 | 80.0 | 79.9 | 79.9 | 79.6 | 79.9 | 80.2 | 79.9 | -0.1 | -0.1 | -0.13 | -0.13 |
| 7222 | 230.0 | 0.00 | 230.0 | 229.4 | 231.2 | 232.8 | 231.2 | 232.6 | 231.1 | 1.6 | 1.2 | 0.70 | 0.52 |
| 12560 | 400.0 | 0.00 | 400.0 | 399.4 | 399.7 | 400.6 | 399.7 | 398.2 | 399.7 | -0.6 | -0.3 | -0.15 | -0.08 |

说明:依规定,1 mm、10 mm 校准点应以绝对误差值表示,为方便与其它校准点比较,均以相对误差给出。

表2 2020-2021年泰安辖区称重降水传感器自动与人工现场校准结果对比

| 设备 型号 | 站点 | 人工测量 | | | | | | 自动测量 | | | | | |
|----------|----|------|------|------------------------|-------|------|------------------------|------|------|------------------------|-------|------|------------------------|
| | | 稳定时间 | | 平均 稳定 时间 /min | 误差绝对值 | | 误差 绝对 值均 值/mm | 稳定时间 | | 平均 稳定 时间 /min | 误差绝对值 | | 误差 绝对 值均 值/mm |
| | | 2020 | 2021 | | 2020 | 2021 | | 2020 | 2021 | | 2020 | 2021 | |
| DSC2 | 肥城 | 7.25 | 7.50 | 7.50 | 0.35 | 0.34 | 0.35 | 5.25 | 5.75 | 5.88 | 0.30 | 0.28 | 0.28 |
| | 新泰 | 7.50 | 7.75 | | 0.33 | 0.36 | | 6.00 | 6.50 | | 0.28 | 0.24 | |
| | 泰山 | 7.75 | 7.50 | | 0.36 | 0.38 | | 4.25 | 5.00 | | 0.28 | 0.24 | |
| DSC1 | 泰安 | 6.25 | 6.50 | 6.75 | 0.40 | 0.39 | 0.37 | 4.00 | 3.25 | 4.03 | 0.24 | 0.22 | 0.26 |
| | 东平 | 6.50 | 6.75 | | 0.36 | 0.35 | | 4.50 | 4.50 | | 0.26 | 0.24 | |
| | 宁阳 | 6.25 | 6.50 | | 0.34 | 0.38 | | 3.25 | 3.50 | | 0.30 | 0.32 | |

4 小结

(1)软件试用表明:DSC1型设备实际稳定时间相对较短,多在4 min左右即可达到稳定状态;而DSC2型设备实际稳定时间相对较长,且实际个例差异较大,在5~7 min之间(主要是风速等周围环境影响),仍不高于人工校准工作中称重传感器5~8 min的稳定时间要求。

(2)软件基于滑动平均计算数据筛选阈值方法,自动判识设备稳定状态更准确,筛选数据更稳定,现场校准效率明显提升。

(3)在软件判识设备状态稳定并进行数据筛选环节,被校准称重式降水传感器因现场风速(如泰山站)、可能的电源干扰^[10]等因素造成的影响,导致数据筛选偶有长时间无法成功的个例,实际

工作中应尽量避免上述干扰因素,选择风速 ≤ 5.0 m/s的晴好天气,并避开电源干扰时段开展现场校准。

参考文献:

- [1] 中国气象局. 降水观测规范——称重式降水传感器[M]. 北京:气象出版社,2011:4,7-8.
- [2] 全国气象仪器与观测方法标准委员会. QX/T 320-2016 称重式降水测量仪[S]. 北京:中国气象局,2016:2.
- [3] 全国气象基本信息标准化委员会. QXT 118-2020 地面观测资料质量控制地面[S]. 北京:中国气象局,2020:2-3.
- [4] CSDN VB与ActiveX控件签名谈[EB/OL].

-
- (2006-02-15)[2025-03-07]. <https://blog.csdn.net/keenx/article/details/599235>.
- [5] 中国气象局. 地面气象观测数据算法[G]. 北京: 2021.
- [6] 全国质量密度计量技术委员会. JJG 99-2022 砝码检定规程[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2022: 1.
- [7] CSDN VB6.0 生成二维条码的方法[EB/OL]. (2023-04-21)[2025-04-02]. <https://blog.csdn.net/syhhj3651/article/details/130278964>.
- [8] 中国气象局综合观测司. 智能称重式降水测量仪功能规格需求书[G]. 北京: 2017.
- [9] 李林, 范雪波, 崔炜, 等. 称重式降水传感器异常降水记录特征分析[J]. 气象科技, 2015, 43(3): 423.
-

更 正

《陕西气象》2025年第1期《秦巴山区2021年一次极端暴雨水汽输送特征及影响系统分析》文中第4页节编号“3.4”应为“2.3”,第5页编号“4”应为“3”。特此更正。