

双翻斗式雨量传感器自动调节检定系统设计

郑俊锦¹, 夏利娜², 陈龙福¹, 李勇波³

(1. 福建省大气探测技术保障中心, 福州 350008; 2. 福建省气象服务中心, 福州 350001;
3. 福建省南平国家农业气象试验站, 福建 建阳 354200)

摘要: 为解决超差双翻斗式雨量传感器在检定校准时精细定量调测问题, 尤其针对在大小雨强 (4 mm/min 和 1 mm/min) 测试时误差值为一正一负, 目前只能通过目测观察法并依靠经验对容量调节螺母和定位螺母进行调节, 这存在着一定的盲目性并且成功率低; 提出了一套检定流程并利用红外光电传感器和步进电机模块, 实现了上翻斗和计量翻斗的左右斗的翻动数据的定量测量以及定位螺母和容量调节螺母的自动调节, 并且可自动记录和上传检定数据到上位机; 结果表明: 该系统能有效地判定和解决翻斗翻动平衡和协调性问题, 并可为业务人员积累检定数据, 以便后续分析处理。

关键词: 雨量传感器; 翻动平衡; 上下翻斗翻动协调性; 检定校准

Design of Automatic Adjustment and Verification System of Double Tipping Bucket Rainfall Sensor

ZHENG Junjin¹, XIA Lina², CHEN Longfu¹, LI Yongbo³

(1. Meteorological Observation and Technical Support Center of Fujian, Fuzhou 350008, China;
2. Fujian Meteorological Service Center, Fuzhou 350001, China;
3. Nanping National Agro-meteorological Experimental Station, Jianyang 354200, China)

Abstract: In order to solve the problem of fine and quantitative adjustment in the verification and calibration of the output by double tipping bucket rain sensor, especially for the fact that the measurement error is positive or negative under the conditions of large or small rain intensity (4 mm/min or 1 mm/min), at present, the capacity adjusting nut and positioning nut can only be adjusted by the visual observation and experience, which has certain blindness and low success rate. A set of verification process is proposed, and the infrared photoelectric sensor and stepping motor module are used to realize the quantitative measurement of the turn-over data of the left and right buckets of upper tipping bucket and metering tipping bucket, as well as the automatic adjustment of the positioning nut and capacity adjusting nut, and the verification data can automatically be recorded and uploaded to the upper computer. The results show that the system can effectively determine and solve the problems of tipping balance and coordination, and the verification data is accumulated, analyzed and processed for the business personnel later.

Keywords: rainfall sensor; tipping balance; coordination of up and down tipping; verification and calibration

0 引言

降水指的是从天空降落到地面上的液态或固态 (经融化后) 的水, 物理特征有 3 种: 固态、液态和混合态。降雨量的观测是地面气象观测的重要组成部分, 为天气预报、气候分析、气象科学研究以及社会生产生活提供基础的数据资料。雨量传感器除了在出厂前要检定, 在业务使用中也需要定时 (周期通常是 1 年) 进行检定或校准^[1-2]。目前气象部门所使用的自动观测降水的仪器中, 业务应用最广的是 SL3-1 型翻斗式雨量传感器^[3-4]。该传感器的降雨强度测量范围为 0~4 mm/min, 分辨率为 0.1 mm, 输出为开关信号。其结构主要包括: 承水器、上翻斗、汇集漏斗、计量翻斗、计数翻斗和干簧管等^[5]。液态降水通过圆形承

水口 (直径为 200 mm) 经承水器进入上翻斗, 上翻斗将汇集的降水通过汇集漏斗转变成近似稳定的大雨强降水 (约 6 mm/min) 进入计量翻斗, 降水量每达到 0.1 mm, 计量翻斗就翻动一次并将计量后的降水倒入计数翻斗, 计数翻斗通过其中部的磁钢作用于干簧管产生一个脉冲信号 (计数翻斗翻动一次, 开关闭合一次), 即表示测得 0.1 mm 的降水量。

根据检定规程^[6]: 翻斗式雨量传感器的测量结果的最大允许误差为: ± 0.4 mm (雨量 ≤ 10 mm, 雨强 ≤ 4 mm/min), $\pm 4\%$ (雨量 > 10 mm, 雨强 ≤ 4 mm/min)。误差值为传感器测量值与标准值的差值。当误差值超过最大允许值 (即超差), 则需要对传感器的定位螺母和容量调节螺母进行调测, 使得上翻斗和计量翻斗翻转的次数合适且比例

收稿日期: 2022-02-23; 修回日期: 2022-03-16。

基金项目: 福建省气象局研究型业务专项 (2020YJ13)。

作者简介: 郑俊锦 (1989-), 男, 福建古田人, 硕士, 工程师, 主要从事气象电子方向的研究。

引用格式: 郑俊锦, 夏利娜, 陈龙福, 等. 双翻斗式雨量传感器自动调节检定系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(8): 56-61.

协调。

李锐锋等^[7]通过加液法得出, 上翻斗和计量翻斗的左右斗最大承水量分别调节到 3.1 mL 和 2.6 mL 时实测误差较小, 并且上翻斗与计量翻斗翻动协调性好才会使测量误差小 (并非最大承水量调节合理就一定会使测量误差小)。王卫东^[8]认为在大雨强 (4 mm/min) 测试时, 上翻斗与计量翻斗的最佳翻转次数比值为 0.86, 上翻斗的翻转频率和计量翻斗的翻转比例偏高或偏低均会造成偏差增大, 甚至超差。刘宗庆等^[9]在通过加液法确定计量翻斗的容量调节螺母处于合适位置后, 经过设置和微调上翻斗的定位螺母, 认为上翻斗和计量翻斗翻动次数的比例关系为 9:10 最合适。但是未结出具体的调节方法, 而且在实际调测中通常需要同时调整定位螺母和容量调节螺母。

经查阅以上及相关文献, 我们发现存在如下的问题:

1) 对于翻斗左右斗的“大小斗”问题 (即当翻斗的左右斗承水量不同时且相差较大时, 会造成翻斗的翻动不平衡从而增加测量误差) 的判断和解决, 只能通过目测或者游标卡尺测量螺母长度等方法来大致确定。然而由于仪器制造误差或者传感器长时间使用等原因会造成螺母长度即使一致, 承水量也可能不同的现象。相关论文一般都是同时往里或者往外调节螺母, 当左右调节螺母需要调整的幅度不同时, 只能依靠经验调节并且无法定量调节; 2) 翻斗的翻动数据的测量不精细且需要人工计数, 效率低且易出错。例如通过加液法往传感器中倒入固定容量的水量, 将加液量除以翻转次数求出翻斗承水量平均值; 3) 当雨量误差值在大小雨强 (即降雨强度为 4 mm/min 和 1 mm/min) 测试时的数值为一正一负时 (此时需要同时调整定位螺母和容量调节螺母), 调节方法不明确, 只能通过目测观察法并且依靠经验进行调节, 具有一定的盲目性并且成功率低。

因此, 本文设计了一套检定流程并研制了双翻斗式雨量传感器自动调节检定系统, 通过利用光电传感器对上翻斗和计量翻斗的状态进行采集, 并通过计时以实现翻斗翻动数据的定量精细采集以及翻动平衡问题的判断和解决。同时利用步进电机有针对性地对定位螺母和容量调节螺母进行调节, 以提高双翻斗式雨量传感器的检定效率。

1 系统总体设计

考虑到双翻斗式雨量传感器翻斗的特点: 材质为白色不透明和动作为上下翻动。因此通过红外光电传感器即可识别翻斗的工作状态 (即处于承水或放水状态), 从识别到翻斗状态变化并计时, 就可求出上翻斗和计量翻斗的左右斗的蓄放水时间。通过测量蓄放水时间, 即可判断是否有“大小斗”现象, 通过统计上翻斗和计量翻斗的翻动次数, 即可判断上下翻斗是否存在不协调的现象。最后通过驱动步进电机来控制定位螺母和容量调节螺母的拧进和旋出。如此往复, 直到雨量传感器观测精度满足计量检定规程的要求。本文系统结构框图如图 1 所示。

其中, 红外光电模块 1~4 的红外发光二极管和红外接

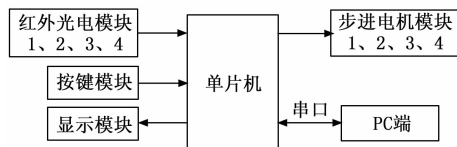


图 1 系统结构框图

收管分别放置于上翻斗和计量翻斗的左右斗的前后方。步进电机模块 1~4 分别连接定位螺母和容量调节螺母, 用于调整螺母位置。系统可通过按键模块和显示屏模块, 实现人机交互, 并可通过串口与电脑通讯, 实现发送检定数据和接收控制指令的功能。系统结构设计如图 2 所示。

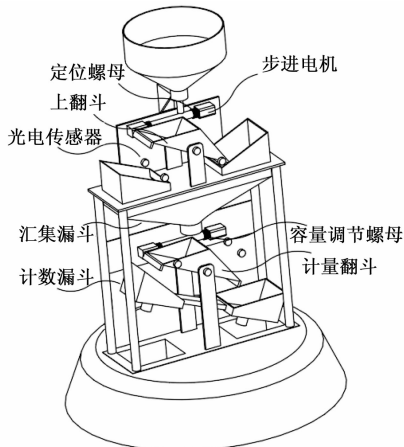


图 2 系统结构设计示意图

2 系统电路原理设计

2.1 控制系统电路设计

在控制电路的设计中, 系统核心选用国产单片机 STC15F2K60S2^[10-11]。STC15F2K60S2 是宏晶科技生产的单时钟/机器周期的新一代 8051 单片机。速度比普通 8051 快 8~12 倍; 工作电压为 4.5~5.5 V。其片内 EEPROM 为 1 K, Flash 程序存储器为 60 K, 可擦写次数均达 10 万次以上; 在系统可编程, 无需编程器, 无需仿真器; 可彻底省掉外部复位电路, 内置高可靠复位, ISP 编程时 8 级复位门槛电压可选; 其工作频率范围: 0~28 MHz; 内部高精度 R/C 时钟, ISP 编程时内部时钟从 5~28 MHz 可设 (5.529 6 MHz / 11.059 2 MHz / 22.118 4 MHz); 不需外部晶振和外部复位, 还可对外输出时钟和低电平复位信号; 可进行设置为低功耗设计模式: 低速模式, 空闲模式和掉电模式/停机模式。

翻斗动作检测采用红外光电传感器, 通过检测红外发射管和接收管之间的光路是否被遮挡, 来识别判断翻斗的状态及动作。对于定位螺母和容量调节螺母的调节, 采用可精确控制旋转角度的步进电机来控制。

系统通过按键和显示模块进行人机交互。其中, 显示模块选用 0.96 寸的分辨率为 128 * 64 的 OLED 显示屏^[12-13], 即有机电激光显示 (OLED, organic electrolumi-

nesence display)。具有响应速度快（响应时间可以达到微秒级别，较高的响应速度更好地实现了运动的图像）、较宽的视角（由于 OLED 是主动发光的，所以在很大视角范围内画面是不会显示失真的，其上下左右的视角宽度超过 170°）、成品的质量比较轻、宽温度特性（温度在 -40~80℃ 都是可以正常运行的）和省电（与 LCD 相比，OLED 不需要背光源）等特性。

2.2 红外光电传感器

采用 TCRT5000 红外反射传感器^[14-15]，该光电传感器集发射与接收于一体（包括一个高发射功率的红外发光二极管和一个高灵敏度光电三极管组成）。发射的红外光波长为 950 nm。具有日光过滤功能。可通过调节发射管的工作电流来调节控制 TCRT5000 的红外发射二极管发射红外线的功率，从而调节检测距离。

由于 TCRT5000 的发射管和接收管是一体的且平行排列，在设计初期考虑将分别其放置于翻斗的左右侧。但是经过试验发现：在雨量传感器工作时，即上翻斗的左右斗在翻倒时，其左右侧会有水流经过，而水流会对红外光线产生折射等作用，从而影响到接收管的检测。同时，由于计数翻斗位于计量翻斗下方且体积较大，将 TCRT5000 放置于侧边时无法直接检测计量翻斗的动作，只能通过检测计数翻斗的动作来近似检测计量翻斗的动作，然而计数翻斗的动作是在计量翻斗翻转时带动的，因此这会产生较大的误差。综合以上两个原因，本设计不将 TCRT5000 放置于翻斗的左右侧，而是将其外壳去除后，将发射管和接收管分别放置于翻斗的前后侧。

根据雨量传感器的结构特点：上翻斗翻转到最高时，侧边有是定位螺母结构件，无法同时安装发射管和接收管；计量翻斗翻转到最低时，侧边是计数翻斗，无法安装发射管和接收管。因此，检测上翻斗动作的光电对管须安装于翻斗下方；计量翻斗下方位置由于无法安装光电对管，因此将其安装在计量翻斗的上方，系统结构设计如图 2 所示。

由于系统需要 4 对红外光电传感器进行检测，因此选用 4 路电压比较器 LM339^[16]，电路图如图 3 所示。LM339 内部集成有 4 个独立的电压比较器，具有电源电压范围宽、失调电压小和对比较信号源的内阻限制较宽等特点。每个比较器有 2 个输入端和 1 个输出端。2 个输入端包括同相输入端（用“+”表示）和反相输入端（用“-”表示）。在应用于电压比较时，固定的参考电压可加在任意输入端（即门限电平，可选择 LM339 输入共模范围的任何一点），待比较的信号电压则施加于另一输入端。当“+”端电压高于“-”端时，输出管截止，相当于输出端开路。当“-”端电压高于“+”端时，输出管饱和，相当于输出端接低电位。两个输入端电压差别大于 10 mV 就能确保输出能从一种状态可靠地切换到另一种状态，因此 LM339 可用于弱信号检测等场合。

在本系统中，可通过调节电路中的可调电阻来控制参考电压使得：当发射管和接收管之间无遮挡时，发射出的

红外线可被红外接收管接收且强度足够大，红外接收管饱和，此时电压比较器的输出端为低电平，指示 LED 灯点亮；当发射管和接收管之间有遮挡时，红外接收管一直处于关断状态，此时电压比较器的输出端为高电平，指示 LED 灯熄灭。然后将电压比较器的输出端与单片机 IO 口相连，单片机通过识别 IO 的高低电平，即可知道翻斗状态，即左右斗分别处于承水状态还是放水状态。

本文通过判断翻斗左右斗状态，进而通过计时器统计出承水时间，最后通过数据对比来判断和解决“大小斗”问题。承水时间的统计方法可近似地认为：上翻斗的左右斗的承水时间是其自身两侧光电对管的从“遮挡取消”，到“无遮挡”，再到“再次遮挡”的时间（即从翻斗开始往上翻，承水，再到翻斗翻到最下的时间）。由于计量翻斗光电对管的安装位置（安装于翻斗的上方）与上翻斗的相反，因此，计量翻斗的左右斗的承水时间为其相反斗（即右左斗）的光电对管从“遮挡取消”，到“无遮挡”，再到“再次遮挡”的时间。

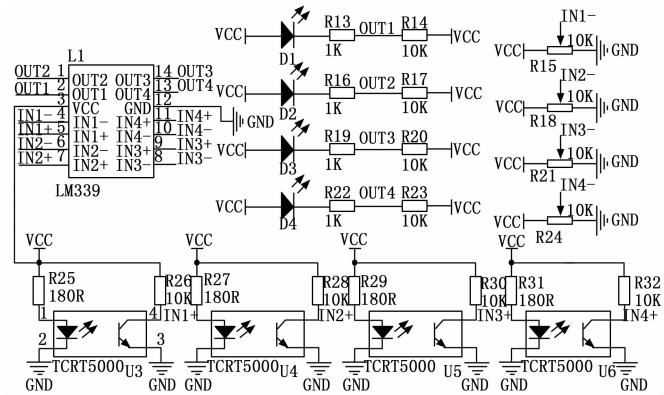


图 3 红外光电模块电路图

2.3 步进电机模块

选用 4 相步进电机 24BYJ48^[17-18]控制调节螺母的转动，其供电电压为 5 V，步距角度为 5.625/64°，减速比为 1 : 64，步进角为 5.625（即一个脉冲转动 5.625°，转动 1 圈需要 64 个脉冲）。正转表如表 1 所示。正转次序和反转次序分别为：AB-BC-CD-DA（1 个脉冲，正转 5.625°）和 AB-AD-CD-CB（1 个脉冲，反转 5.625°）。

表 1 正转表

步数	端口 A	端口 B	端口 C	端口 D
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

本系统有 4 个螺母（2 个定位螺母和 2 个容量调节螺母）需要调节，因此需要使用 4 个步进电机来控制。每个步进电机 24BYJ48 有 4 个端口，因此需要 16 个单片机 IO 口来控制。由于单片机 IO 的驱动能力有限，因此选用 2 片达林顿三极管驱动器 ULN2803^[19]进行驱动。每个

ULN2803 内含 8 路 NPN 达林顿管, 具有集电极开路输出和续流钳位二极管, 并有高耐压和大电流的特点。其输入电压为 5 V, 输出总电流为 500 mA, 输出击穿电压为 50 V, 工作温度范围为: $-40 \sim +85 \text{ }^\circ\text{C}$ 。步进电机驱动电路图如图 4 所示。

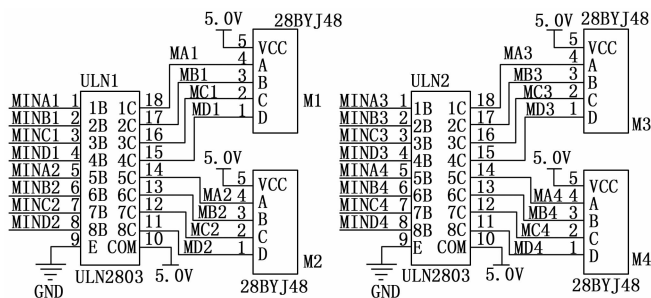


图 4 步进电机驱动电路图

3 系统软件设计

本系统的软件设计主要为单片机端的程序设计, PC 端的接收控制软件可使用通用的串口助手软件进行接收存储数据和发送控制指令。单片机端的程序设计主要包括了单片机内部资源的初始化和使用以及超差雨量传感器的检定调测方法。以下着重说明检定调测流程及算法。根据雨量传感器在大雨强（即降雨强度为 4 mm/min）和小雨强（1 mm/min）的模拟降雨测量的误差值（测量值 - 标准值）的正负情况, 可分为如下 2 种情况: 误差值同向和误差值异向。

3.1 误差值同向的调测方法

当传感器在大小雨强（雨强分别为 4 mm/min 和 1 mm/min）的模拟降雨测试时的误差值均为正值或负值时, 只需调节容量调节螺母即可。根据雨量传感器厂家提供的说明书可进行如下操作:

若误差值均为正值时, 说明测量值偏大, 将可左右容量调节螺母同时往外调节以增大每斗的承水量, 从而减少测量值。每同时调节 1 圈, 则差值变动量为 6%。例如在模拟降雨量为 10 mm 时, 左右容量调节螺母同时调节 1 圈, 差值变动量为 0.6 mm（即 $10 \text{ mm} \times 6\%$ ）; 若误差值为 +0.6 mm, 即表示测量值偏大 0.6 mm, 需要将左右容量调节螺母同时往外旋转 1 圈（即 360° ）; 若误差值为 +0.1 mm, 则需要将左右容量调节螺母同时往外旋转 60° （即 $360^\circ/6$ ）即可。

若误差值均为负值时, 也可按照上述方法, 将容量调节螺母“往外调节”改成“往里调节”即可。

3.2 误差值异向的调测方法

当雨量传感器在大小雨强的模拟降雨测试时的误差值为一正一负时, 则需要同时调节定位螺母和容量调节螺母。此情况暂无有效的操作方法, 调节难度较大。本文提出如下调测方法（共 4 个步骤）, 具体如下:

1) 解决“大小斗”问题: 存在误差值异向的雨量传感器通常都存在“大小斗”现象。双翻斗式雨量传感器的上翻斗和计量翻斗是对称分布, 其承水量应相近。因此, 需要先分别对上翻斗的定位螺母和计量翻斗的容量调节螺母

进行调节, 使其承水量相近（即无“大小斗”现象）。

由于承水量等于承水时间与水流流速的乘积。当注入雨量传感器的水流是匀速, 翻斗左右斗的承水与时间成正比, 因此, 通过左右斗的承水时间即可用来判断其承水量是否相同。本系统选择在“雨强 4 mm/min, 降雨量 10 mm”的模拟降水下进行承水时间测量。

在进行承水时间测量时, 校准仪的模拟降水是直接注入上翻斗的（无其他影响水流流速的结构）, 因此上翻斗的左右斗的承水时间可以直接测量。然而注入计量翻斗的降水, 由于流经上翻斗会使得水流呈间歇浪涌状。虽然有经过汇集漏斗的调节（汇集漏斗有调节水流使其匀速的作用）, 但是其流速还是受到较大的影响, 严格意义上不是匀速的。所以在测量计量翻斗的承水时间（承水量）时需要并使用水管直接从漏斗下方接水, 并绕过上翻斗, 直接将匀速的模拟降水经由汇集漏斗注入计量翻斗, 使得计量翻斗就得到一个匀速的水流。

上翻斗定位螺母的调节流程如图 5 所示, 其中: t_1 、 t_2 分别为上翻斗左斗、右斗的瞬时承水时间值、 T_1 、 T_2 分别为上翻斗左斗、右斗在一次模拟降雨（雨强为 4 mm/min、降雨量为 10 mm）的平均承水时间值; T 为上翻斗左右斗平均承水时间差值的阈值（取经验值 100 ms）。虽然在理想状态下, t_1 与 t_2 应该相同或者极其相近, 但是由于双翻斗式雨量传感器为机械结构（存在机械误差）且校准仪的模拟降水的流速随着液面下降会有所变化。因此, 结合上述原因并根据试验测试得出: 当 $|T_1 - T_2| < 100 \text{ ms}$ 且检测过程中相邻的 $|t_1 - t_2| < 300 \text{ ms}$ 时, 认为左右斗不存在“大小斗”现象, 即实现了翻斗平衡。然后则可以进行计量翻斗的调测, 其方法与定位螺母的调测方法相同。

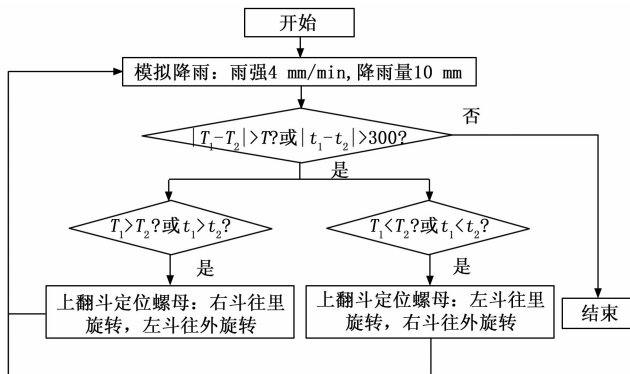


图 5 调节定位螺母解决“大小斗”流程图

2) 确定定位螺母位置（同时往里或者往外调节左右定位螺母, 调节幅度应保持一致）: 根据传感器厂家出厂仪器的调试比例: 在雨强为 2 mm/min 的模拟降雨时, 上翻斗翻倒 5~6 次, 计量翻斗翻倒 6~7 次。也就是说上翻斗翻倒一斗的水量要比计量翻斗翻倒一斗的水量要多, 其承水量的比约为 0.12 比 0.1。因此可计算得出: 在雨强为 2 mm/min、降雨量为 10 mm 时, 计量翻斗和上翻斗的理想翻动次数分别为 100 和 83.3。考虑到传感器的机械误差、传感器

允许误差范围和经验值，因此在中雨测试（即雨强 2 mm/min、降雨量 10 mm）时，上翻斗的翻动次数在 83~85 次的范围内即可。

借助 JJS2 校准仪^[20]（其内部标准球为 314.16 mL，即模拟降雨量为 10 mm）进行模拟中雨测试，通过统计上翻斗的翻动次数，对定位螺母进行相应的调节：当翻动次数太小（即小于 83 次）时，将左右定位螺母同时往里调节，可减少每斗的承水量，从而增加翻动次数；当翻动次数太大（即大于 85 次）时，将左右定位螺母同时往外调节，可增加每斗的承水量，从而减小翻动次数。

3) 确定容量调节螺母位置（同时往里或者往外调节左右容量调节螺母，调节幅度一致），其中对容量调节螺母的调节方法与 3.1 相同。步骤 2) 和步骤 3) 的流程如图 6 所示。

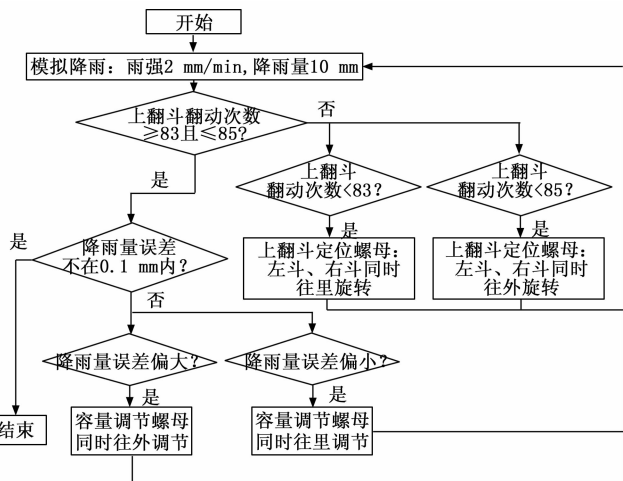


图 6 同时调节定位螺母和容量调节螺母流程图

4) 大小雨强检定校准：分别进行 3 次雨强为 1 mm/min 和 4 mm/min（降雨量为 10 mm）的模拟降雨测试并求平均值。此时只需要对容量调节螺母进行调节，调节方法与 3.1 相同。

4 系统测试与分析

目前该系统的原型机已经应用于福建省气象计量检定所的雨量传感器检定工作中，以其中一次检定为例说明。2021 年 01 月收到一台送检的 SL3-1 双翻斗式雨量传感器（仪器编号：201303556），存在超差现象。经检查传感器内部无泥沙、虫网等杂物，翻斗翻动性能正常且干簧管工作无异常。校准人员在实验室根据经验进行长时间反复调测，能使传感器达到的最佳状态为：小雨强误差 +0.4 mm，大雨强误差 -0.4 mm。虽然误差值在规程的误差允许范围内，但是已处于临界状态，若直接投入业务应用可能效果不佳，会影响到观测数据。因此尝试使用本系统再次校准。

首先解决“大小斗”问题：按照模拟降水测试过程中测得数据的先后顺序，将相邻左右斗的承水时间求差值（单位：ms），即可判断是否存在“大小斗”现象。将调测前后模拟降雨（雨强 4 mm/min，降雨量 10 mm）测试下，

上翻斗左右斗承水时间差（ $t_1 - t_2$ ）和计量翻斗左右斗承水时间差（ $t_3 - t_4$ ）的数值分别按测得数据的先后顺序绘制折线图如下。由于本系统使用 JJS2 校准仪模拟降雨，其内部的标准球液面高度在检定过程中会逐渐变低，当液面较低时，水流流速太慢会导致误差大大增加，因此图中去除了最后几个数值。

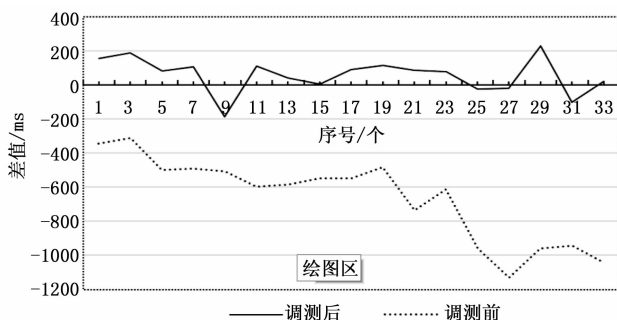


图 7 调测前后 ($t_1 - t_2$) 对比图

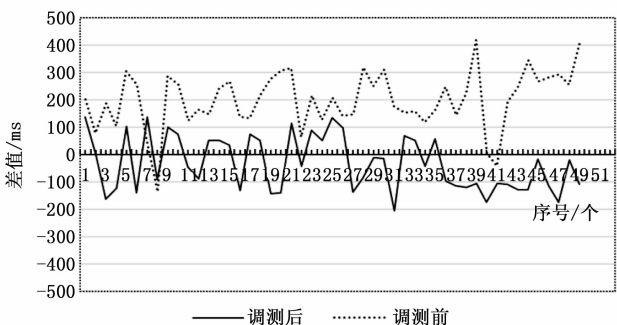


图 8 调测前后 ($t_3 - t_4$) 对比图

从图 7 和图 8 中可以看出，调测前：上翻斗左右斗承水时间差较大（均为负值且 $t_1 < t_2$ ），存在明显的“大小斗”现象（即翻动不平衡），需要将左右定位螺母分别往里和往外旋转；计量翻斗左右斗承水时间差较大（均为正值且数值在 250 左右，并且 $t_3 > t_4$ ），也存在“大小斗”现象，需要将左右容量调节螺母分别往外和往里旋转。调测后：上翻斗和计量翻斗的承水时间差值在 0 刻度附近（差值平均值均小于 100）并且差值数值均小于 300。因此本系统可较好地解决了“大小斗”现象。

随后进行雨强为 2 mm/min 的模拟降水，分别测得上翻斗翻动次数为 84 次，满足 3.2 第 2) 步的要求。最后进行大小雨强检定校准测得：雨强为 4 mm/min 时的示值分别为：10.0 mm、9.8 mm、10.0 mm，平均值为 9.9 mm，误差值 -0.1 mm；雨强为 1 mm/min 时的示值分别为：10.1 mm、10.2 mm、10.1 mm，三次平均为 10.1 mm，误差值 +0.1 mm。传感器示值检定校准误差满足规程要求，至此调测结束。

5 结束语

1) 双翻斗式雨量传感器改善了单翻斗雨量传感器的降水损失问题，在地面气象观测中得到广泛的应用。但是由

于其自身的机械结构和长时间在野外工作的特点, 可能会产生“大小斗”和协调性等问题, 因此为了保证降雨量数据的准确性, 需要定期严格地按照规程进行检定校准。

2) 为了更高效精细地完成双翻斗雨量传感器的检定工作, 尤其针对存在误差值异向的雨量传感器(通过人工依靠经验调测往往耗时长并且成功率低)。本文归纳总结出了一套行之有效的检定流程, 并研制了双翻斗式雨量传感器自动调节检定系统, 实现了上翻斗和计量翻斗的承水时间的定量测量, 通过测量数据可快速有效地判断“大小斗”现象和上下翻斗协调性等问题, 并利用步进电机模块实现定位螺母和容量调节螺母的自动调节。

3) 双翻斗式雨量传感器自动调节检定系统研制完成后, 在福建省气象检定所得到了应用。通过利用此系统, 很好地完成了福建省内气象部门和中国辐射防护研究院等单位送检的雨量传感器的检定校准工作, 提高了检定校准的合格率, 避免了因误差值无法调整使得雨量传感器被淘汰所造成的浪费。同时通过本系统将检定数据进行记录, 为今后优化调整雨量传感器的检定校准流程, 提供了数据资料。

参考文献:

[1] 中国气象局. 地面气象自动观测规范(第一版) [M]. 北京: 气象出版社, 2020.

[2] 陈龙福, 郑道淮, 蒋文欣, 等. SL3-1 翻斗式雨量传感器测量不确定度的评定 [J]. 海峡科学, 2020 (6): 23-25.

[3] 上海气象仪器厂有限公司. SL3-1 型翻斗式雨量传感器使用说明书 [Z]. 上海气象仪器厂有限公司, 2018.

[4] 黄飞龙, 黄海莹, 何艳丽. 基于 STM32 的气象数据在线监测仪设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (11): 288-292.

[5] 黄鹏良, 周自忠, 姚静远, 等. SL3-1 型双翻斗雨量计测量协调性研究 [J]. 水利信息化, 2021 (5): 59-63, 83.

[6] 中国气象局. 自动气象站翻斗式雨量传感器检定规程: JJG 1096-2014 [S]. 北京: 中国气象局, 2014.

[12] 孟升卫, 冯晓晓, 庞景月, 等. 基于 LS-SVM 和核密度估计的概率性风电功率预测 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (12): 34-38.

[13] 张玉人, 龚志猛. 基于 RNN-LSTM 的船舶位置预测分析 [J]. 计算机与数字工程, 2021, 49 (2): 252-258.

[14] 吴海洋, 缪巍巍, 郭波等. 基于改进决策树的电力通信设备状态预测算法研究 [J]. 计算机与数字工程, 2021, 49 (1): 17-20.

[15] 杜英魁, 张乙芳, 原忠虎. 数据预处理对 LSTM 网络大气污染预测精度分析 [J]. 计算机与数字工程, 2021, 49 (7): 1400-1404.

[16] NAKAMURA A, OKAMOTO K, KOSHIKIYA Y, et al. Potential fault detection in optical cables using OTDR operating in two-modes [C] //2019 24th Op to Electronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC), Fukuoka, 2019.

[17] 赫卫国, 郝向军, 郭雅娟, 等. 基于 ARIMA 和 SVR 的光伏电站超短期功率预测 [J]. 广东电力, 2017, 30 (8): 32-37.

(气象) 005—2015 [S]. 北京: 中国气象局, 2015: 7-8.

[7] 李锐锋, 陈苏婷, 张晋. SL-3 型双翻斗雨量传感器翻斗协调性误差分析 [J]. 气象科技, 2016, 44 (4): 576-580.

[8] 王卫东. SL3-1 型双翻斗雨量传感器翻斗翻转频率比例分析及校准 [J]. 自动化与仪器仪表, 2019 (2): 168-171.

[9] 刘宗庆, 郑亮, 陈涛. SL3-1 型双翻斗雨量传感器测量误差试验分析 [J]. 气象科技, 2020 (5): 635-639.

[10] 胡中南, 樊蓓蓓. 工业废气排放质量监测系统设计 [J]. 自动化仪表, 2021, 42 (9): 14-19.

[11] 徐伟, 田会峰, 常徐. 基于飞行器的环境监测系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2019 (5): 7-9, 14.

[12] 张开宇, 高国伟, 毛浩龙. 基于 MQTT 的机器人集群控制系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (6): 98-102.

[13] 林蔚. 基于 STM32 芯片的 Wi-Fi 语音识别风扇控制系统的设计与实现 [J]. 洛阳师范学院学报, 2022, 41 (2): 31-35.

[14] 罗倩, 邓成中, 王静梅, 等. 基于 STM8S 单片机的档案数字化 [J]. 西华大学学报(自然科学版), 2019, 38 (5): 94-98.

[15] 吴煜霞, 吴宇辉, 杜海英, 等. 基于 STM32 单片机控制的智能导盲手杖设计 [J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2021 (4): 33-37, 63.

[16] 李君科. 半轮足式机器人的设计及研究 [J]. 现代电子技术, 2021, 44 (18): 172-176.

[17] 张弛, 高权. 汽车防追尾报警装置的设计与仿真 [J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2021, 19 (4): 24-30.

[18] 胡景勤. 基于微信和单片机的垃圾分类回收系统 [J]. 自动化与仪器仪表, 2021 (3): 98-100, 104.

[19] 杨琳, 杨化俊, 林成新. 基于 LED 点阵的空间电磁波演示装置的开发 [J]. 商洛学院学报, 2021, 35 (2): 5-13.

[20] 福建省风光物资技术开发公司. JJS2 型雨量校准仪使用说明书 [Z]. 福建省风光物资技术开发公司, 2018.

[18] 李思洋. 电力光纤线路状态预测方法研究 [D]. 吉林: 东北电力大学, 2016.

[19] 梁宏涛, 徐建良. 机器学习算法在光功率预测中的应用 [J]. 激光杂志, 2015, 36 (7): 131-134.

[20] 肖垚. 电力线缆全光纤动静态多参数监测及趋势预测方法 [D]. 成都: 电子科技大学, 2019.

[21] 王峰. 电力光纤故障监测与预警系统研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2021.

[22] 赵嘉, 谢智峰, 吕莉, 等. 深度学习萤火虫算法 [J]. 电子学报, 2018, 46 (11): 2633-2641.

[23] TUBA E, MRKELA L, TUBA M. Support vector machine parameter tuning using firefly algorithm [C] //2016 26th International Conference Radioelektronika, Kosice, Slovakia, 2016.

[24] ZHANG Z. Improved adam optimizer for deep neural networks [C] //2018 IEEE/ACM 26th International Symposium on Quality of Service, Banff, AB, 2018.

[25] ZOU F, SHEN L, JIE Z, et al. A sufficient condition for convergences of Adam and RMSProp [C] //2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Long Beach, CA, 2019.