

具有自检功能的自动气象站系统设计

曾 杨 计博严

(江西省大气探测技术中心 南昌 330096)

摘 要:根据自动气象站各类检测手段的优势与不足,引入当前自动化设备中常用的自检技术,设计了一套集成系统。该系统针对各气象要素的采样需求设计信号源电路及测量电路,并通过定时自检的方式及时获取系统主机自身的运行状况和测量精度,自检流程的时序由定时器及自检变量控制。集成了前端质量控制后,该系统在智能化、集约化方面均有较大提升。对于维护工作而言,该系统能将故障精准定位并及时提示维护人员,使维护工作更具有针对性。

关键词:自检技术;信号源;故障定位

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Design of automatic weather station system with self-checking function

Zeng Yang Ji Boyan

(Jiangxi Provincial Atmospheric Observation Technology Centre, Nanchang 330096, China)

Abstract: According to the strength and weakness of all kinds of detection methods in automatic weather stations, this paper introduces the self-checking technology commonly used in the present automation equipment, and designs an integrated system. The signal source circuit and measuring circuit are designed according to the sampling requirements of various meteorological elements, and the operation status and measuring accuracy of the host computer are obtained by the way of timing self-checking. The timing of the self-testing process is controlled by the timer and the self-testing variables. With the integration of front-end quality control, the system has been greatly improved in intelligence and intensification. For the maintenance work, the system can accurately locate the fault and prompt the maintenance personnel in time, so that the maintenance work can be more targeted.

Keywords: self-checking technology; signal source; fault location

0 引 言

目前,我国地面自动气象观测设备均采用具有高精度、模块化、低功耗、易扩展等特点的自动气象站(自动站),能够实现温度、湿度、雨量、风向、风速等气象要素的自动监测^[1]。

近年来,伴随自动站建设密度和数量的不断增长,其出现故障的频次也呈增加之势,当设备出现故障而没有被及时排除,则会影响设备的测量精度,甚至导致毁坏。因此,如何提升设备修复的及时性和有效性,已经成为地面

气象观测网稳定运行的重要前提之一。针对上述问题,相关研究人员利用电子技术,开发了各类自动站检测设备。其中,杨维发等^[2]和郭宗凯等^[3]研制了一种集成化程度较高的便携式故障检测仪,可针对自动站常见的异常情况进行快速诊断和定位;黄飞龙等^[4]和李成伟^[5]设计的自动站检测仪采用模拟静态信号输入的方式,实现自动站各气象要素测量通道的测试。但该类检测方式均属于被动测试,即维护人员需要通过人工操作的方式进行设备运行状态的测试和分析,判断结果可能受到人为因素的影响。如果在监测数据出现异常的同时,自动站设备自身能够及时告

警并提示出现故障的测量通道,才能真正实现设备的精准监控,进一步提高维护工作的实效。

自检技术是利用硬件系统与软件程序对设备自身的工作状态及输出结果精度进行检查,进而得出设备的整体运行状况的过程^[6]。自检技术包括单个部件故障检测、系统综合自检以及基于人工智能技术等方式^[7-10]。其中,综合自检是指在设备运行过程中,以周期性方式对系统运行状况进行在线检测,具有较高的实用性,是目前普遍采用的自检方法。

基于上述思路,本文提出并设计一套具备自检功能的自动站系统,通过模拟各类气象传感器的输出信号,并制定相应的流程进行检测,最终实现故障模块的精准定位。文章的研究内容对于提高自动站运行的可靠性和提升地面气象观测质量具有借鉴意义。

1 系统设计

1.1 系统整体设计思路

自动气象站属于综合气象观测设备。其中,主采集

模块是核心部件,主要完成对风速、风向、温度、湿度等气象观测数据的测量、存储以及通信传输等功能。气象传感器通过将地温、湿度、雨量、风向、风速等气象要素的物理信号转换为可采样的模拟信号、数字信号、脉冲信号等电气信号^[11-12],从而提供各类气象观测数据。本文对现有自动气象站的结构和原理进行了分析后,分别就每个气象要素设计自检功能,共同构成系统整体功能闭环。

主采集模块的功能结构如图1所示,包含主处理器(MCU)、各类信号源以及相应测量电路等。系统运行分为常规测量和状态自检两类工作模式,其中,系统采用与现行自动站相同的测量方式,而状态自检是根据实际需求增加的功能组件,由上述内容介绍的测量电路和标准信号源构成。在自检控制过程中,将标准信号值与实际测量值之间的平均误差作为系统运行状态和测量误差的判断依据,这是目前投入业务运行的自动站所不具备的。两类工作模式共用测量模块,运行时相互协同,其工作时序由系统时钟控制。

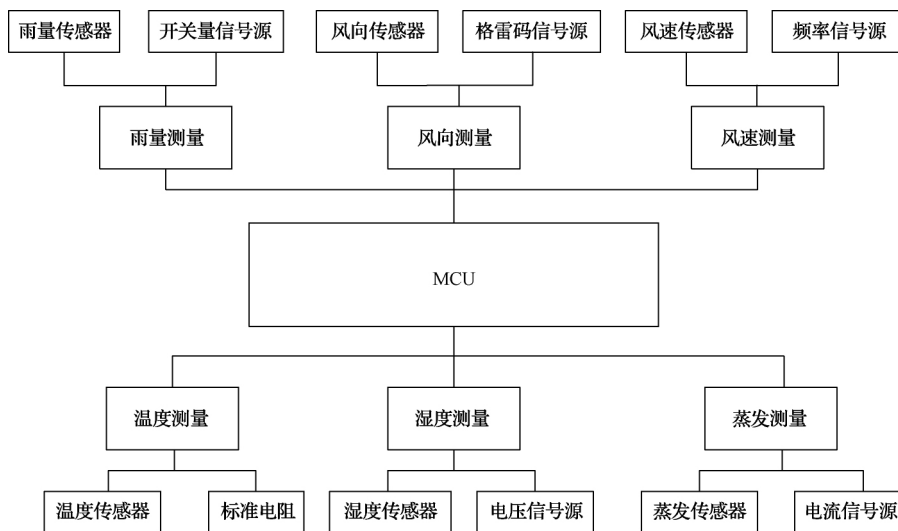


图1 主采集模块功能

1.2 标准信号源

信号源是实现自检功能的重要部件之一,其主要作用是模拟各类气象传感器的标准输出信号,相当于整个系统中的基准。其设计思路紧紧围绕各类气象要素传感器输

出信号的电气特性,包含电阻信号、电流信号、电压信号、格雷码信号、频率信号以及开关信号等,具体如表1所示。由于设计思路大体相同,本文选取温度和蒸发两类要素对应信号源的具体设计过程进行详细介绍。

表1 各类传感器信号电气特性

测量要素	温度	湿度	风向	风速	降水量	蒸发量
信号类型	电阻	直流电压	7位格雷码	频率	开关信号	电流

1) 蒸发量信号源

蒸发量信号的模拟过程是将0~5 V的电压信号转换

为4~20 mA的电流信号,具体电路如图2所示。

由图2可知,在满足 $R_{18}/R_{19} = R_{15}/R_{14}$ 以及负载(此

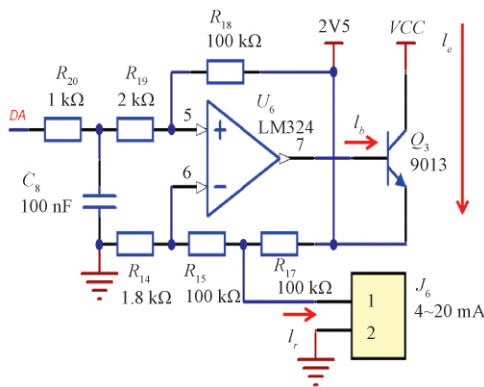


图2 蒸发量信号源

负载即为采样电路的输入端)电阻远小于 R_{15} 的情况下,流过负载的输出电流为 $I_r = U_{in} \times R_{18} / R_{19} \times R_{17}$,其大小与负载变化无关,即为恒流源。该电路主要由运算放大器 LM324、三极管及其他辅助元件构成。2.5 V 为电路的偏置电压。DA 为脉冲宽度调制(PWM)信号输入,经 R_{20} 和 C_8 构成的积分电路得到相应的电压值,将其作为待转换电压, J_6 为负载接口。

该电路中将运算放大器作为比较器使用,将正相端电压输入信号 U^+ 与反相端电压 U^- 进行比较,经运算放大器放大后,再经三极管 Q_3 放大,使其发射极电流 I_e 作用在电阻 R_{14} 上,由运放性质可知:

$$U^- = I_e \times R_{14} = (1+k) \times I_b \times R_{14} \quad (1)$$

式中: k 为 Q_3 的放大倍数。流经负载的电流可由式(2)表述。

$$I_r \approx I_e = k \times I_b \quad (2)$$

令 $R_{18} = R_{19}$, 则有:

$$U_0 + U_m = (1+k) \times I_b \times R_{14} = \left(1 + \frac{1}{k}\right) \times I_r \times R_{14} \quad (3)$$

其中 $k \gg 1$, 由此可得:

$$I_r \approx \frac{(U_0 + U_m)}{R_{14}} \quad (4)$$

由式(4)可知,在偏置电压和反馈电阻 R_{14} 为定值时,输出电流 I_r 的大小与输入电压 U_{in} 成正比,而与负载电阻 R 的大小无关,从而验证了该电路具有良好的恒流特性。改变 U_0 的大小,可在 $U_{in}=0$ 时改变 I_r 的输出。在 U_0 一定时改变 R_{14} 的大小,可以改变 U_{in} 与 I_r 之间的比例关系。由式(4)也可以看出,当确定了 U_{in} 和 I_r 之间的比例关系后,即可确定偏置电压 U_0 和反馈电阻 R_{14} 。将 0~5 V 电压转换成 0~5 mA 的电流信号,可令 $U_0=0$, $R_{14}=2.8 \text{ k}\Omega$,相当于将其直接接地。若将 0~5 V 电压信号转换成 1~20 mA 电流信号,则确定 $U_0=1.25 \text{ V}$, $R_{14}=3.05 \text{ k}\Omega$;若将 4~20 mA 电流信号转换成 1~5 mA 电流信号,只需将 4~20 mA 转换成电压,即可按上述关系确定 U_0 和 R_{14}

的参数大小,其他转换可依次类推。

为了使输入及输出信号具有良好的线性关系,要特别注意元器件的选择。如输入电阻 R_{18} 、 R_{19} 及反馈电阻 R_{14} ,需选用低温漂的精密电阻,相关元器件需要精确测量并经过相应调试,才能保证该电路的最佳性能。本文通过多次测试,得出该转换电路的最大非线性失真一般小于 0.03%。

2) 温度信号源

气象中关于温度的监测主要是利用 PT100 热电阻采集周围环境温度。温度每升高或降低 1 °C,阻值便随之增大或减小约 0.385 Ω 。

本文采用一个数字电位器 X9C102 和一个 200 Ω 电阻并联的方式模拟温度对应的 PT100 阻值。例如将数字电位器设定为 200 Ω ,则该电路的等效阻值为 100 Ω 。根据 PT100 热电阻的阻值与其对应温度值之间的函数关系^[13]可知,此时温度值应为 0 °C;当数字电位器为 190 Ω 时,温度值变为 -6.5 °C。X9C102 有 100 个档位,即可以对应输出 100 个电阻值。硬件电路如图 3 所示。

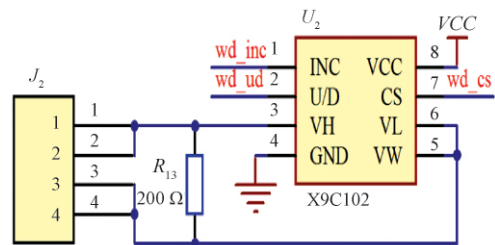


图3 温度信号源

图 3 中, U_2 是数字电位器芯片 X9C102。其中第 5 脚是电位器的动作端,相当于电位器的旋钮。另外,3 和 6 脚是电位器固定电阻的两端,第 1、2、7 脚与 MCU 连接,MCU 通过这 3 个引脚来控制电位器 5 脚的动作,从而实现数字式电位器的功能。

以上为模拟蒸发量及温度信号的具体实现过程,其他信号源的设计思路基本相同。

1.3 信号测量

本文参考目前自动站所采用的比较成熟的技术路线进行测量功能模块的设计。由于该系统具有自检功能,接入其测量通道分为两路信号,分别为传感器和信号源的输出信号。这两路信号相互独立,切换时序由 MCU 的定时器控制。

测量模块的设计思路与自动站现用的技术体制基本相同,将气象传感器输出信号接入 MCU 的相应 I/O 测量端口。其中,电压信号接入 A/D 端口,频率信号接入外中断接口等。以蒸发量测量为例,蒸发量信号为 4~20 mA 电流信号,检测此类信号需要一个电流取样电阻 R_{16} ,利用其将电流信号转换为电压信号,其中, R_{16} 的阻值不宜太大。转换后的电压信号经 R_{15} 、 C_7 、 C_8 构成 II 形滤波,然后

经 C_9 滤波输出到放大电路。其中, Q_1 为钳位二极管, U_7 为 TLE2142 运算放大器, 内部自带两组独立的运放, 利用其将微弱的电压信号放大 1092 倍后送至 A/D 测量电路。这里应采用 10 位或以上转换精度的 A/D 芯片, 具体电路设计如图 4 所示。其中, MCU 采用 STC15W4K 56S4, 其具有内置资源比较丰富, 外围电路构建相对简单等优点^[14-15]。

将各要素测量电路的输入端与对应信号源的输出端对接, 就构成了系统自检的完整功能闭环。

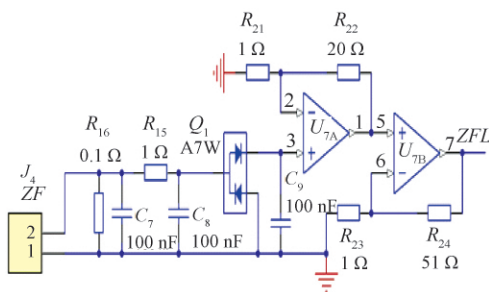


图4 信号测量电路

2 系统运行

该系统将自检过程与常规业务充分融合, 通过 MCU 的硬件资源将各个功能模块进行对接, 并利用内置时钟基准控制系统的工作时序。

1) 系统初始化

系统启动时, 首先对硬件进行初始化, 包括 I/O 口、定时器、串口、外部中断等硬件资源, 并将故障标志位、自检变量清零。

2) 主程序

初始化完成之后进入主程序, 也叫主循环。主程序分为两部分, 分别是常规工作流程和系统自检过程。

常规工作状态下, 根据气象监测业务的基本需求, 在整分和整点时进行信号测量、资料存储以及通信等系统流程。其中, 信号测量采用中断方式, 以保证运行的可靠性。

3) 自检流程

自检使能采用定时方式, 当系统时间为整点时, 定时器启动。如到达设定时间, 且确定无传感器信号输入时, 启动自检程序, 具体流程如图 5 所示。自检程序占用主程序的时间带宽必须尽量小, 如自检过程中有传感器信号输入时, 触发相应中断, 使系统立即跳出自检程序以保证系统运行时序的稳定性。

系统自检流程采用轮巡方式进行, 根据自检变量值确定相应测量通道的检测顺序。以湿度测量模块自检为例, 介绍系统自检的完成过程: 湿度信号源属于电压源, 在自检过程中运行在加压测压模式下。自检程序首先自动断开与湿度传感器的硬件连接, 与此同时, 根据设置值 V_{set} 将标准电压信号提供给湿度测量模块, 并读回实际电压值

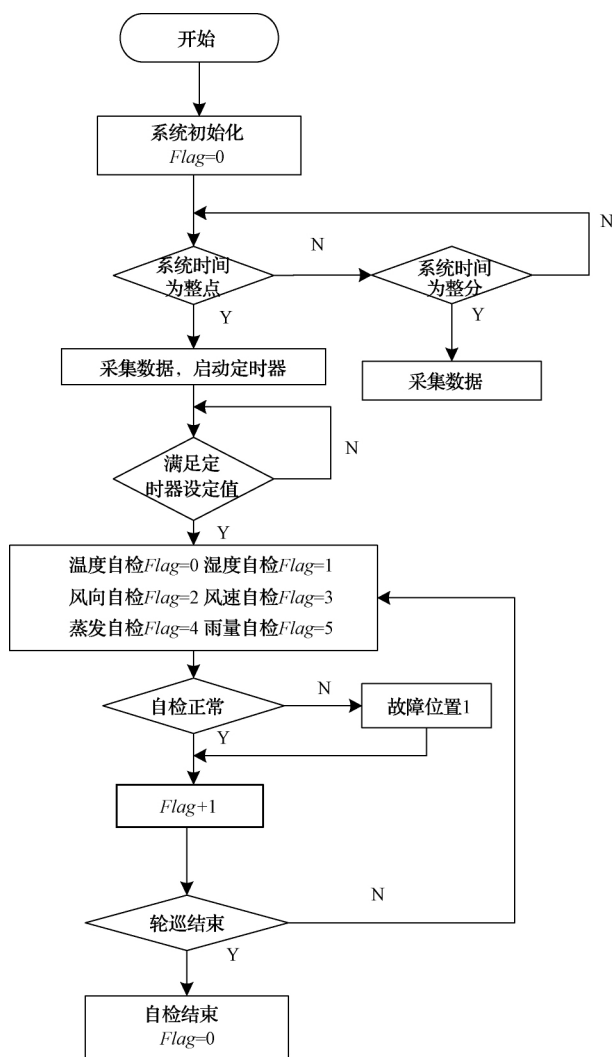


图5 系统自检流程

V_{real} , 这样连续测量 n 组数据, 求取系统湿度测量平均误差如式(5)所示。

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |V_{set-i} - V_{real-i}| \quad (5)$$

如果误差在允许范围之内, 则说明湿度测量通道正常, 否则判定故障, 将相应的故障标志位置 1, 并向上位机发送告警信息, 故障标志在系统恢复正常后清零。当某通道自检完成之后, 自检变量加 1, 当变量值大于 5 时自动清零, 本次自检流程结束。

3 实验数据及分析

对该系统的测量误差进行实验分析, 取其中一次自检过程的实验数据如表 2 所示。由表 2 可知, 系统自检时的测量点为 8 个, 完成一次自检过程后, 将 8 次测量的平均误差值发送至上位机。其中, 湿度、风向和雨量测量误差均为 0; 温度和蒸发分别为 1.15%、0.87%; 而风速误差最大, 为 4.47%, 上述结果均满足气象观测规范中的测量误差要求。

表 2 各要素单次自检过程测量误差表

自检测量要素		自检测量点							
		1	2	3	4	5	6	7	8
湿度	标准值/%	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	70.00
	测量值/%	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	70.00
	测量误差/%	0	0	0	0	0	0	0	0
蒸发	标准值/mm	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	70.00	80.00	90.00
	测量值/mm	20.07	29.86	39.73	50.41	65.62	70.74	81.03	91.19
	测量误差/%	0.35	-0.47	-0.68	0.82	0.95	1.06	1.29	1.32
风速	标准值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	7.00	9.00	11.00
	测量值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1.05	1.93	3.11	4.18	5.25	7.35	8.66	10.40
	测量误差/%	4.94	-3.41	3.55	4.54	5.10	4.98	-3.78	-5.42
温度	标准值/ $^{\circ}\text{C}$	-13.66	-2.56	12.36	23.61	28.86	33.87	38.67	43.29
	测量值/ $^{\circ}\text{C}$	-13.45	-2.55	12.18	23.32	28.60	33.43	38.21	42.75
	测量误差/%	-1.50	-0.39	-1.44	-1.21	-0.91	-1.30	-1.20	-1.24
风向	标准信号/ $^{\circ}$	0.00	45.00	90.00	135.00	180.00	225.00	270.00	315.00
	测量信号/ $^{\circ}$	0.00	45.00	90.00	135.00	180.00	225.00	270.00	315.00
	测量误差/%	0	0	0	0	0	0	0	0
雨量	标准信号/mm	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	1.50	2.00
	测量信号/mm	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	1.50	2.00
	测量误差/%	0	0	0	0	0	0	0	0

本文系统采用数字电位器和特定电阻并联的方式模拟温度传感器的输出信号,其优点是软硬件设计简单,实现便捷。气象业务规范中关于温度测量的最大允许误差为 0.2°C ,温度信号源的误差主要来自于数字电位器,我们可以通过测试电位器的实际阻值作为标准信号,从而减小系统误差。另外,系统在温度信号源中加入 10 mA 恒流源作为激励信号,通过采样信号源两端的电压值实现温度信号的测量。由温度和信号源阻值的变换关系可知,测量模块中 A/D 转换精度能够满足 0.008 V 的采样精度需求。同理,表征蒸发量的电流测量精度为 0.016 mA ,对应蒸发量测量误差为 0.1 mm ,满足规范要求。

其他气象要素,如雨量、风向和风速的测量对于 MCU 的性能要求不是很高。例如,风速信号为高速脉冲,系统采用 MCU 提供的外中断联合定时器计算脉冲频率,误差能够满足风速信号的测量精度需求。

4 结 论

本文对于目前气象自动站的运行现状和不足进行了分析,将设备自检技术与现有自动站进行对接和融合。在程序指令的控制下,定时对系统运行状况进行自动检测,并制定了完整的自检流程,自检结果通过上位机界面进行监测。对该系统进行相关试验分析,结果表明,系统在自动检测时,对于各类气象要素的测量误差均低于 5% ,能够满足业务需求。与现用自动站设备相比,该系统实现了

故障的精准定位,提升了设备的智能化水平,使维护时效进一步提升。同时,该系统的设计思路对于未来自动站技术体制升级具有一定的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 宋中玲,张静.新型自动气象站传感器工作原理及测试方法研究[J].自动化仪表,2018,39(7):78-81.
- [2] 杨维发,张冰松,秦运龙,等.便携式自动气象站故障检测仪的设计与研发[J].气象科技,2017,45(6):1106-1111.
- [3] 郭宗凯,郭飞,刘旭,等.便携式自动站故障检测仪的研制[J].吉林农业,2018(4):93.
- [4] 黄飞龙,吕玉嫦,汤晶晶.基于静态信号模拟的气象采集器检测仪设计[J].电子测量技术,2018,41(6):99-102.
- [5] 李成伟.自动气象观测站数据采集器检测仪设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2010.
- [6] 周苏怡.基于微型光谱仪的多参数水质检测仪自检系统设计与实验[D].重庆:重庆大学,2016.
- [7] 王震洲,李鑫圆.基于 BP 神经网络的 pH 试纸自动检测系统[J].电子测量与仪器学报,2019,33(10):181-186.
- [8] 董海,徐晓鹏,谢英红,等.无先验知识的仪表自动检测与判读算法[J].仪器仪表学报,2020,41(2):205-217.

- [9] 刘今越,刘浩,贾晓辉,等.基于视觉的非接触呼吸频率自动检测方法[J].仪器仪表学报,2019,40(2):51-58.
- [10] 孙丽娜,刘晓泽,吴晓光,等.智能电表自动化检定流水线运行状态检测技术应用[J].国外电子测量技术,2018,37(8):77-81.
- [11] 赵宝义,钱毅,王科.新型自动气象站的测量通道检测方法及其使用注意事项[J].气象水文海洋仪器,2013,30(2):98-101.
- [12] 陈超.基于ARM的自动气象站手持测试终端的设计与实现[D].哈尔滨:黑龙江大学,2014.
- [13] 吴奇生,华连生,陈斌.4线制测温原理在气象地温数据观测中的应用[J].电子测量技术,2010,33(8):86-88.
- [14] 郭占苗.基于STC15F2K60S2单片机波形发生器设计[J].国外电子测量技术,2017,36(7):98-102.
- [15] 储甜,颜锦奎.基于单片机的USB文件读写[J].电子测量技术,2015,38(8):90-93,98.

作者简介

曾杨,高级工程师,主要研究方向为气象装备保障技术等。

E-mail:zengyang188@126.com