

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.11.026

一种改进自动气象站信号模拟器温度通道的方法*

徐伟 冯晓宇 盛枫 王迪

(南京信息工程大学 江苏省气象探测与信息处理重点实验室 南京 210044)

摘要:针对现有自动气象站信号模拟器温度通道存在误差大、难以兼容不同型号采集器的问题,分析了 CAWS600、ZQZ 系列自动气象站采集器的测温原理,利用不同型号的采集器对 JJQ1 型信号模拟器的温度通道进行了测试,指出了测试数据存在抖动的原因,提出基于采集器的四线制测温原理,以定制的高精度、极低温漂电阻为核心,利用信号继电器构造四线制网络,辅以软件补偿,能适应不同型号的采集器的温度通道改进方法。最后,分别利用采集器和高精度万用表对改进的温度通道进行了测试,数据表明模拟的温度最大误差为 ± 0.03 $^{\circ}\text{C}$, 对应电阻的最大误差为 ± 12 $\text{m}\Omega$, 满足行业标准 QX/T 346—2016《自动气象站信号模拟器》,为自动气象站信号模拟器的优化提供了参考。

关键词:自动气象站信号模拟器;温度;检定;误差

中图分类号: TH811 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510

Method for improving temperature channel of automatic weather station signal simulator

Xu Wei Feng Xiaoyu Sheng Feng Wang Di

(Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Observation and Information Processing,
Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Aiming at the perspectives of big errors and difficult compatibility of existing automatic weather station signal simulator, this paper has analyzed the temperature measurement theory of CAWS600 and the series of ZQZ automatic weather station collectors. In this paper, the temperature channel of JJQ1 signal simulator is tested by using different types of automatic weather station collectors, and the reasons for fluctuations of test data are analyzed. Based on the temperature measurement principle of four-wire system, the high precision and extremely low temperature drift resistance, the four-wire network is constructed by signal relay, and the software compensation is adopted. It can be adapted to the temperature simulation scheme of different collectors. At last, the modified temperature channel is tested by collector and high precision multimeter. The experimental data show that the maximum error of the simulated temperature is ± 0.03 $^{\circ}\text{C}$, the maximum error of the corresponding resistance is ± 12 $\text{m}\Omega$. It meets the industry standard QX / T 346-2016 "automatic weather station signal simulator", and provides reference for the improvement of the automatic weather station signal simulator.

Keywords: automatic weather station signal simulator; temperature; calibration; error

0 引言

自动气象站是一种能自动地观测和存储气象观测数据的电子设备,其气象要素传感器的使用误差和数据采

集设备的系统误差客观存在^[1-2]。特别是长期在野外恶劣环境中使用后,误差明显增大,中国气象局规定自动气象站每两年检定一次。自动气象站的传感器的检定国家已有检定规范,而作为自动气象站核心的数据采集器的检定和校验刚刚起步,校验方法不完善,校验系统与装备

较缺乏^[3,4]。

自动气象站信号模拟器能高精度地输出气象要素对应的电信号,将其接入到数据采集器对应的通道,通过比对采集器的测量值和模拟器的输出值实现对采集器性能的检定。近几年市场上出现了几种型号的信号模拟器,如 ZQZ-JC、CQSSJ-1、JJQ1 等,其中 ZQZ-JC 和 CQSSJ-1 是厂家用于检定特定型号的采集器^[5]。研究组和江苏省无线电科学研究所有限公司联合研制的 JJQ1 型信号模拟器,能模拟输出温度、湿度、风速、风向、气压、雨量、蒸发、辐射等 8 种要素^[6-7]。

自动气象站的温度传感器采用 Pt100 铂电阻,根据阻值随温度变化的原理制成。自动气象站信号模拟器的温度通道输出高精度的电阻来模拟温度。如设置模拟器的温度通道为 -50 ℃ 时,模拟器根据 Pt100 电阻值和温度的函数关系,输出阻值为 80.310 Ω 的电阻信号。数据采集器测量此时的电阻值并换算成温度,将得到的温度值与设定的 -50 ℃ 比对,确定采集器的性能。作为数据采集器的计量检定仪器,要求其输出信号的精度远高于数据采集器的测量精度。行业标准 QX/T 346—2016《自动气象站信号模拟器》中指出,模拟器温度通道输出温度值的最大允许误差为 ±0.03 ℃。

在研制自动气象站信号模拟器的过程中,尝试采用有源或无源电阻辅以四线制测量等方法来模拟温度,并采用抗干扰措施来提高输出精度^[8-10]。但测试发现,这些方法存在与部分采集器不匹配、输出电阻不固定等问题。本文针对这些问题,提出一种自动气象站信号模拟器的温度通道的优化方法。

1 采集器温度通道的测量原理

自动气象站数据采集器采用四线制方法测量温度,不同厂家在实现电路上有一定的区别^[11-14]。四线法也称开尔文法,其原理如图 1 所示。

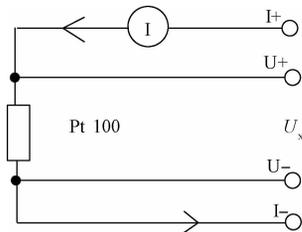


图 1 开尔文法测电阻电路

Fig. 1 Kelvin resistance measurement circuit

用一对导线(激励线) I + 和 I - 接电流源 I,另一对导线(检测线) U + 和 U - 把被测电阻上电压降 U_x 引入系统进行测量,对于每个测试点都有 1 条激励线和 1 条

检测线,二者严格分开,各自构成独立回路;同时要求检测线必须接到一个有极高输入阻抗的测试回路上,使流过检测线的电流极小,近似为 0。激励线 I + 和 I - 即是电流供给回路,检测线 U + 和 U - 即是电压测定回路,电流、电压两回路各自独立。检测线测得的电压即为电阻两端的压降,根据电流计算电阻值即为 R_x 的准确阻值。避免了两线法测电阻中导线阻值对测量值的影响。通过四线法能够精确的得到 R_x 的电阻值。

CAWS600 系列自动气象站采集器为澳大利亚 DataTaker 公司的采集器,其测量原理如图 2 所示。

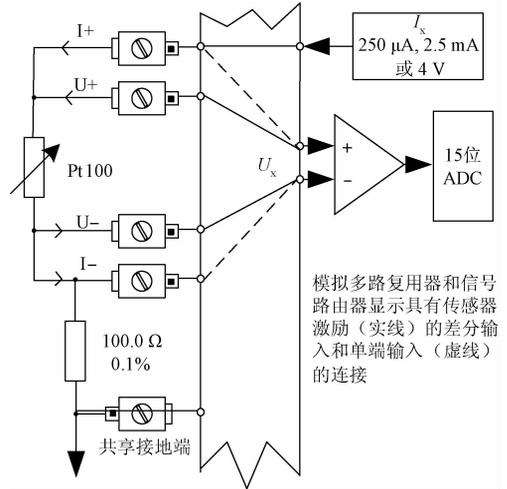


图 2 DT500 采集器测量温度原理

Fig. 2 The principle of DT500 collector temperature measurement

图 2 中 I + 是激励信号输入端, I - 是激励信号的输出端, U + 、 U - 是感知回路输入输出端。采集器发送 250 μA 或 2.5 mA 的电流激励信号,检测线两端电压 U_x 经过调理放大后,通过 15 位的模数转换器转换成数字信号。则测得的电阻为:

$$R_x = \frac{U_x}{I} \tag{1}$$

江苏省无线电科学研究所有限公司研发的 ZQZ-A、ZQZ-BH 等型号的采集器测量温度原理如图 3 所示。利用 24 位的数模转换器 AD7793 自带电流源作为激励信号,被测电阻 Pt100 与 125 Ω 的高精度标准电阻串联,利用标准电阻 R_{ref} 上的电压 U_{ref} 作为模数转换器的参考电压。这种测量方法可减小电流 I 对测量精度的影响。

设 AD7793 提供的电流为 I,被测电阻 Pt100 上的电压降为 U_x,标准电阻 R_{ref} 上的压降为 U_{ref},则:

$$U_x = I \cdot R_x \tag{2}$$

$$U_{ref} = I \cdot R_{ref} \tag{3}$$

由式(2)和(3)得:

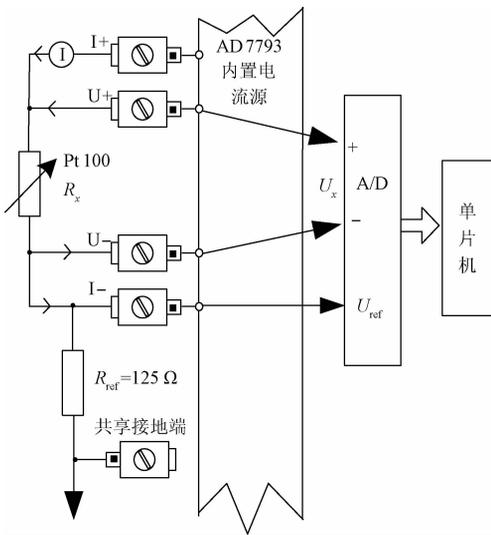


图 3 ZQZ 系列采集器测量温度原理

Fig. 3 The principle of ZQZ series collector temperature measurement

$$\frac{U_x}{U_{ref}} = \frac{I \cdot R_x}{I \cdot R_{ref}} = \frac{R_x}{R_{ref}} = \frac{R_x}{125} \quad (4)$$

24 位 ADC 器件 AD7793 的参考电压为 U_{ref} ，若 AD7793 对输入差分电压 U_x 进行模数转换后的数字量为 D_x ，则：

$$U_x = \frac{D_x}{2^{24}} \cdot U_{ref} \quad (5)$$

由式(4)和(5)得：

$$\frac{D_x}{2^{24}} = \frac{R_x}{125} \quad (6)$$

即：

$$R_x = \frac{125}{2^{24}} \cdot D_x \quad (7)$$

根据式(7)计算出电阻值后，根据 Pt100 电阻和温度的函数关系，计算对应的温度值。

2 传统型模拟器温度通道的实验测试

根据上面分析的采集器测量温度的原理，利用 JJQ1 型自动气象站信号模拟器提供温度信号，采用四线制接入采集器测量，将测量值和模拟器的设定值进行比对对采集器的校准补偿。

JJQ1 型自动气象站信号模拟器的温度通道采用有源电阻来模拟温度信号，温度输出范围是 $-50 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ [15]，对应电阻范围为 $80.31 \sim 119.40 \text{ } \Omega$ ，最大允许误差为 $\pm 10 \text{ m}\Omega$ ，对应温度约 $\pm 0.025 \text{ }^\circ\text{C}$ 。利用采集器测试模拟器的温度通道前，先使用六位半安捷伦 34411A 型万用表以四线制方法对模拟器的输出电阻进行测量，确保其精度。再用 3 种采集器对其输出不同档位的温度信号进行采集，3 种采集器分别是中国华云技术开发公司的数据采集器 DT50、江苏省无线电科学研究所有限公司的 ZQZ-A 型和 ZQZ-F 型，数据如表 1 所示。

表 1 采集器测量自动气象站信号模拟器的温度信号

Table 1 Temperature signal of automatic weather station signal simulator measured by collector

模拟器设置温度/ $^\circ\text{C}$	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
对应阻值/ Ω	80.310	84.270	88.220	92.160	96.090	100.000	103.900	107.79	111.670	115.54	119.400
万用表测量值/ Ω	80.310	84.271	88.220	92.160	96.088	100.001	103.898	107.798	111.670	115.542	119.399
DT50 采集数据/ $^\circ\text{C}$	-49.74	-40.43	-30.28	-20.24	-10.11	-0.29	9.59	19.57	29.67	39.57	49.55
ZQZ-A 采集数据/ $^\circ\text{C}$	-49.9	-39.8	-29.9	-19.9	-9.9	0.1	10.1	20.1	29.9	40.2	49.8
ZQZ-F 采集数据/ $^\circ\text{C}$	-49.9	-39.8	-29.9	-19.9	-9.9	0.1	10.1	20.1	29.9	40.2	49.8

不同厂商的采集器，由于测量电路的不同，每个点测得的误差不同。进一步测试发现，模拟器输出的电阻不变，采集器每次测量的值却不同，测量值存在抖动。其中 ZQZ-A、ZQZ-F 测得的误差较小，而 DT 系列采集器测得的误差较大。这是由于模拟器的有源电阻和采集器存在不同程度的匹配。不同厂家的采集器输出的激励电流持续时间不同，即电流脉冲波形不同，加在模拟器的有源电阻上时，其响应不同。DT 系列采集器输出电流激励的时间相对较短，直接导致了测量值和设定值存在一定的偏差。

3 改进模拟器温度通道的方法

根据上面的测试分析可知，模拟器的温度通道采用有源电阻时，难以兼容不同激励电流的采集器。

针对此问题，曾提出采用无源电阻并结合高精度测量的方案，原理如图 4 所示 [8]。主控制器通过控制信号继电器的通断构造四线制输出和测量网络。虚线为模拟器内部电路，若要输出某个温度对应电阻值 R_1 时， K_1 闭合， $K_2 \sim K_8$ 都断开，若此时闭合 K_{11} 和 K_{12} ，采集器以四线

制测量此时的电阻值,得到的电阻值并不是 R_1 ,而包括了 K_1 的接触电阻。为此,模拟器引入四线制测量电路,在输出电阻之前先进行测量。 K_9 和 K_{10} 闭合,模拟器的测量值为电阻 R_1 和 K_1 的接触电阻之和,以模拟器的测量值作为标准值。再断开 K_9 和 K_{10} ,闭合 K_{11} 和 K_{12} ,以四线制形式输出,供采集器测量。将采集器的测量值和模拟器的测量值进行对比,即可判断采集器的测量性能。

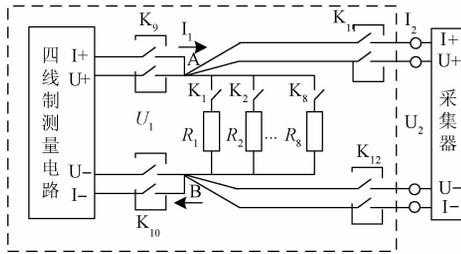
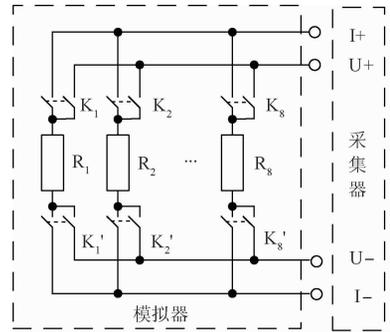


图4 模拟器温度通道采用无源电阻方案
Fig.4 Simulator temperature channel using passive resistance scheme

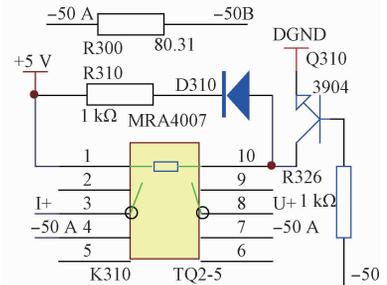
图4 的方案是利用无源电阻来模拟温度的。为了克服继电器的接触电阻,在构造四线制输出的同时,自身先进行测量。该方案是以模拟器自身的测量值作为标准,其输出信号的精度主要取决于四线制测量的精度。但由于每次 K_1 的通断,接触电阻都是变化的,故这个标准值是不断变化的,不便于采集器的对比分析。

现对上面无源电阻的方案进行优化。如图5(a)所示,利用单稳态双刀双掷继电器直接去控制四线制测量电路中四根导线的通断,这样继电器的接触电阻不会计入到测量回路中,模拟器每次输出前就不再需要先测量。电阻 $R_1 \sim R_8$ 采用高精度、低温漂电阻,电阻功率 $1/8 \text{ W}$ 、精度 $\pm 0.01\%$ 、温漂 $\pm 1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,阻值分别为 80.31 、 88.22 、 96.09Ω 等,对应的温度分别为 -50°C 、 -30°C 、 -10°C 等。模拟器要输出温度 T_1 对应的电阻 R_1 时,继电器 K_1 和 K_1' 的双刀闭合,使 R_1 接入到四线制电路中,继电器的接触电阻只影响到4根线的线阻,不影响采集器的测量值,测集器的测量值即为 R_1 。

图5(b)所示为该方案实现的部分具体电路,其中 $R300$ 为 80.31Ω 的高精度、低温漂电阻,该电阻对应温度值为 -50°C 。 $K310$ 为信号继电器, $Q310$ 为继电器的驱动三极管, $R310$ 和 $D310$ 构成继电器的续流保护电路。网络标号 -50A 、 -50B 为电阻 $R300$ 的两端点,网络标号 $I+$ 为采集器的电流激励输入端,网络标号 $U+$ 为采集器的差分电压高电平测量端。网络标号 -50 为主控制器的 I/O 端口。当网络标号 -50 为低电平时,三极管截止,继电器断开,采集器的电流激励 $I+$ 和电压测量端 $U+$ 与电阻 $R300$ 断开。反之, $R300$ 的 -50A 端同时接入到采集器的 $I+$ 和 $U+$ 。同理,用另一个继电器控制采集



(a) 原理图
(a) Schematic diagram



(b) 实现电路
(b) Implementation circuit

图5 模拟器温度通道采用无源电阻的优化方法
Fig.5 Simulator temperature channel using passive resistance optimization method

器的 $I-$ 和 $U-$ 同时接入到电阻 $R300$ 的另一端 -50B 。这样,利用两个双刀继电器构成了四线制的电阻网络。利用主控制器控制继电器的通断,实现不同的电阻输出,克服了导线的电阻对输出精度的影响。

4 实验测试

采用上面优化的方案来设计模拟器的温度通道。利用 CPLD 的 I/O 口作为继电器的驱动信号。将其模拟的温度信号(电阻)分别接入到六位半万用表和 DT50、ZQZ-A、ZQZ-F 等不同型号的采集器进行测量,表2为测试数据。根据实测数据,得到如下结论。

1) 采用四线制无源电阻来模拟温度信号,能与不同型号的采集器匹配,克服了现有模拟器采用有源电阻对采集器的激励电流持续时间要求较高的问题;

2) 信号继电器在切换四线制网络时的接触电阻只存在于激励电流或电压测量的导线上,根据四线制测温原理可知,其接触电阻不会引入到采集器的测量值中,保障了系统的高精度;

3) 采用的电阻精度达到万分之一,温漂仅有 $1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,使得系统输出信号的精度和稳定性得到了保证。

表 2 优化的自动气象站信号模拟器温度通道的测试数据

Table 2 Test data for temperature channel of optimized automatic weather station signal simulator

标准温度/℃	-50	-30	-10	0	10	30	50	80
标准阻值/ Ω	80.310	88.220	96.090	100.000	103.900	111.670	119.400	130.900
安捷伦万用表测试数据/ Ω	80.310	88.220	96.088	100.001	103.898	111.670	119.399	130.899
DT50 采集数据/℃	-50.0	-30.0	-10.0	0.0	10.0	30.0	50.0	80.0
ZQZ-A 采集数据/℃	-50.0	-30.0	-10.0	0.0	10.0	30.0	50.0	80.0
ZQZ-F 采集数据/℃	-50.0	-30.0	-10.0	0.0	10.0	30.0	50.0	80.0

5 结 论

研究组经两年的测试观察,发现电阻的温漂与标称值一致。两年内电阻阻值的误差不会超过最大允许误差。经测试,优化方案的模拟温度最大误差为 $\pm 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$,对应电阻的最大误差为 $\pm 12\text{ m}\Omega$,满足行业标准 QX/T 346—2016《自动气象站信号模拟器》的要求,为自动气象站采集器的检定提供了一种方法。

改进方法中采用的电阻的温漂只有 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,两年内温度通道的误差小,若长时间使用后温漂和年漂带来的误差超过行业标准的要求,可引入 EEPROM 存储器,利用万用表四线制测量输出的准确值,将该值通过串口写入到模拟器中作为新的标准。采集器的测量值与新的标准值进行比对即可实现采集器的检定。

参考文献

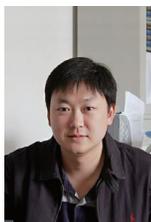
- [1] 李黄. 自动气象站实用手册[M]. 北京:气象出版社,2007.
LI H. AWS Practical Handbook [M]. Beijing: Meteorological Press,2007: 306-307.
- [2] 朱乐坤,郑丽春. 自动气象站各要素传感器检定结果的不确定度分析[J]. 应用气象学报,2006,17(5): 635-642.
ZHU L K, ZH L CH. Uncertainty Analysis of various sensors calibration results for AWS [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2006,17(5):635-642.
- [3] 彭基伟,吕文华,行鸿彦,等. 基于改进 GA-BP 神经网络的湿度传感器的温度补偿[J]. 仪器仪表学报,2013,34(1):153-160.
PENG J W, LV W H, XING H Y, et al. Temperature compensation for humidity sensor based on improved GA-BP neural network [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013,34(1):153-160.
- [4] 行鸿彦,于祥,邹水平,等. 风杯式风速传感器启动风速校准实验箱的分析与设计[J]. 仪器仪表学报,2015,36(9):1996-2004.
XING H Y, YU X, ZOU SH P, et al. Analysis and design of the experiment box for the starting wind velocity

threshold calibration of cup anemometer [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36 (9): 1996-2004.

- [5] 刘军,王力,胡林宏,等. CQSSJ-1 标准信号发生器在 DYYZII 型采集器校准中的应用[J]. 气象水文海洋仪器,2012(2):81-83.
LIU J, WANG L, HU L H, et al. Application of CQSSJ-1 standard signal generator in the calibration of DYYZ II collector [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments,2012(2):81-83.
- [6] 张一波,行鸿彦,徐伟. 模块化多通道通用气象数据采集系统设计[J]. 中国测试,2006,42(8):68-72.
ZHANG Y B, XING H Y, XU W. The design of modular multi-channel general meteorological data acquisition system[J]. China Measurement & Test, 2006,42(8): 68-72.
- [7] 徐伟,裴晓芳,季鑫源,等. 高精度多通道自动气象站气压检测仪的设计[J]. 仪表技术与传感器,2016(2): 34-38.
XU W, PEI X F, JI X Y, et al. Design of multi-channel air pressure calibrators of high-precision for automatic meteorological station [J]. Instrument Technique and Sensor,2016(2):34-38.
- [8] 徐伟,行鸿彦. 自动气象站采集器的温度通道检定仪[J]. 仪表技术与传感器,2014(10):40-43.
XU W, XING H Y. Design of calibration instrument for temperature channel of data-acquisition unit of automatic meteorological station [J]. Instrument Technique and Sensor,2014(10): 40-43.
- [9] 行鸿彦,赵晨,余炳莹,等. JFET 高精度可变电阻器的设计及其应用[J]. 仪器仪表学报,2015,36(8): 1884-1891.
XING H Y, ZHAO CH, YU B Y, et al. Design of voltage-controlled resistor based on JFET and its application in automatic weather station signal simulator [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36 (8): 1884-1891.
- [10] 邹应全. 一种自动气象站采集器温度测量通道检定装

- 置:中国, 201120208292. X[P]. 2012-01-04.
ZOU Y Q. Calibrating device for temperature measuring passage of collector of automatic weather station; China, 201120208292. X[P]. 2012-01-04.
- [11] 张莉莉,沙奕卓,行鸿彦. 自动气象站高精度温度校准系统[J]. 电子测量技术,2012,35(6):5-10.
ZHANG L L, SHA Y ZH, XING H Y. High precision temperature calibration system for automatic weather stations[J]. Electronic Measurement Technology, 2012, 35(6):5-10.
- [12] 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.
WU Q SH, HUA L SH, CHEN B. Application of the principle of four-wire measuring temperature in meteorological soil temperature observation [J]. Electronic Measurement Technology, 2010, 33(8):86-88.
- [13] 吕海堂,周明华. 电阻在线精密测量方法的研究与实现[J]. 电测与仪表,2014(1):71-74.
LV H T, ZHOU M H. Research and implementation of online precision resistance measurement method [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014(1):71-74.
- [14] 罗毅,杨昆,董麟,等. 开关触点接触电阻动态测量方法研究[J]. 仪器仪表学报,2015,36(1):49-55.
LUO Y, YANG K, DONG L, et al. Research on dynamic measurement method for button contact resistance [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(1):49-55.
- [15] 行鸿彦,武向娟,吕文华,等. 自动气象站数据采集器温度通道的环境温度补偿[J]. 仪器仪表学报,2012,33(8):1868-1875.
XING H Y, WU X J, LV W H, et al. Environmental temperature compensation for the temperature channel of data-acquisition unit in automatic weather station [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(8):1868-1875.

作者简介



徐伟,分别在2004、2007年于南京信息工程大学获得学士学位和硕士学位,博士在读,现为南京信息工程大学高级实验师,主要研究方向为气象观测方法及仪器。

E-mail: xw@nuist.edu.cn

Xu Wei received B. Sc. and M. Sc. from Nanjing University of Information Science & Technology in 2004 and 2007, respectively. Now he is a Ph. D. candidate and senior experimentalist in Nanjing University of Information Science & Technology. His main research interest includes meteorological observation method and instruments.