

区域自动气象站校准关键技术研究

陈城¹ 边泽强² 曾涛¹

(1 湖北省信息技术与技术保障中心, 武汉 430074; 2 中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

摘要: 区域自动气象站在气象预警、环境监测、气候资源利用、应对气候变化和生态文明建设中发挥了重要作用。为保证区域自动气象站观测数据的准确可靠, 需要对观测仪器进行校准。根据区域自动气象站的原理和特点, 以及区域自动气象站校准的现状, 分析了目前区域自动站校准存在的问题, 然后从区域自动站校准自动化、信息化、标准器比对和远程在线校准等4个方面的关键技术, 详细分析和研究每种关键技术的原理和实现方式。提出的区域自动气象站校准关键技术为区域自动气象站的计量校准提供了较为全面和先进的解决方案, 从而保障区域自动气象站观测数据的准确可靠。

关键词: 区域自动气象站, 自动化, 信息化, 计量比对, 远程校准

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.02.004

Research on Key Technologies of Regional Automatic Weather Station Calibration

Chen Cheng¹, Bian Zeqiang², Zeng Tao¹

(1 Hubei Meteorological Information and Technical Support Center, Wuhan 430074

2 Meteorological Observation Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: Regional automatic weather stations play an important role in meteorological early warning, environmental monitoring, and utilization of climatic resources, climate change response and ecological civilization construction. Checking and calibrating the observation instruments is crucial to ensuring high accuracy and reliability of the observation data of regional automatic weather stations (AWSs). According to the principles and characteristics of regional AWSs and the status quo of regional AWS calibration, the existing problems of regional AWS calibration are identified. Then, the key technologies of regional AWS calibration automation, informatization, standard comparisons, and remote online calibration are studied in detail in terms of their principles and implementation of key technologies. The key technologies of regional AWS calibration proposed in this paper provide a more comprehensive and advanced solution for the metrological calibration of regional AWS, thus effectively guaranteeing the accuracy and reliability of the observation data from regional AWSs.

Keywords: regional automatic weather station, automation, informatization, comparison, remote calibration

0 引言

气象灾害是严重威胁国家安全和人民生命财产的自然灾害。提高气象灾害预警能力是国家防灾减灾的有效手段。为此, 在国家级自动气象观测站网的基础上, 全国各地先后建设大量区域地面自动气象观测站用于气象加密观测, 截至2017年, 我国已建成区域自动气象观测站约56000个, 这些区域自动气象站在气象预警、预报和气候监测、应对气候变化和生态文明建设中发挥了重要作用。特别是近年来随着清洁能源的大力发展, 区域自动气象站在能源开发利用上起到

了不可或缺的作用。例如在开发风能资源时, 从风能资源评估到拟建场区灾害性天气评估, 气象数据都尤为重要。但由于区域自动气象站通常是无人值守站, 随着时间的推移, 出现了设备老化和各种故障增多等问题, 以及获取的探测数据的可靠性日益下降等现象, 从而造成应用时的偏差, 迫切需要进行校准和维护^[1]。

为了全面保障区域自动气象站观测数据的准确可靠, 中国气象局开展了地市级移动校准维修系统的建设, 目前地市级移动校准维修系统全面建成, 实现全国340个地市级气象部门全覆盖, 为地市级气象部门开展区域自动站的现场校准提供了基础条件, 有效解决了气象观测站由设备原因引起的观测数据不准确、保障不及时等问题。

目前区域自动气象站的现场校准是将各个气象要

收稿日期: 2018年12月3日; 修回日期: 2019年3月14日
第一作者: 陈城(1989—), Email: 252636271@qq.com
资助信息: 湖北省财政项目“湖北省区域气象观测站升级改造(三期)建设项目”

素的便携式标准设备安装在计量工程车上,在区域自动气象站进行现场校准,基本上是各个区域自动站单个分要素进行现场校准,自动化集成度较低,而且没有形成网络化和信息化,各个移动计量车的标准器在计量周期内量值的稳定性和准确性没有有效的保障。

本文从区域自动气象站校准的自动化、信息化、计量比对和远程校准等方面,对区域站校准面临的关键技术进行了研究和分析,目的是提高区域自动气象站校准的效率,提高信息化水平,从而保障区域站观测数据的准确可靠。

1 区域自动气象站的原理

区域自动气象站主要由传感器、采集器、通信接口等电子单元,系统电源,以及机箱、防护罩、避雷装置等安装和配套设施组成^[2],如图1所示。

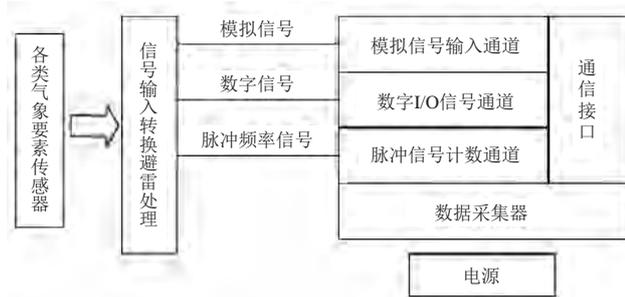


图1 区域自动气象站的工作原理

Fig. 1 The working principle of regional AWS

自动气象站各传感器的感应元件输出的信号产生变化,这种变量被CPU实时控制的数据采集器所采集,经过线性化和定量化处理,实现信号到气象要素量的转换,经过质量控制,对数据进行筛选,得出各个气象要素值,并按一定的格式存储在采集器中。现用自动气象站主要采用集散式和总线式两种体系结构。集散式是通过以CPU为核心集中采集和处理分散配置的各个传感器信号;总线式则是通过总线挂接各种功能模块来采集和处理分散配置的各个传感器信号^[3]。

目前区域自动气象站的校准主要是现场校准,按气象要素进行分类,将单要素观测设备分别与对应的标准装置通过比较法进行现场校准,参照自动气象站检定规程等方法或规范进行判断,及时更换超出最大允许误差的传感器,确保观测数据的准确可靠。

2 区域自动气象站校准的自动化

目前区域自动气象站的校准,通常采用单只传感器独立进行现场校准,由于野外环境等客观因素制约,还达不到自动化和批量化校准。如果将区域自动气象站放在实验室进行校准,可实现批量自动化校准,可以显著提高校准效率,减少检定人员的工作

量,从而实现区域自动站的及时有效的校准,保证区域站观测数据的准确可靠^[4]。

以气压传感器校准为例,气压自动化检定系统主要由气压标准设备与标准器组成,共同完成气压测量仪器的测试和检定,其框图见图2。气压标准设备是提供大气压力测试条件的装置,有压力控制设备,温度系数测试设备和压力-温度测试设备等,用于产生可变、稳定的压力测试条件或被试仪器的试验环境条件,配置多路压力转换器,系统利用计算机进行数据采集与处理,能同时进行10个大气压力传感器的自动检测,并自动输出检定结果。

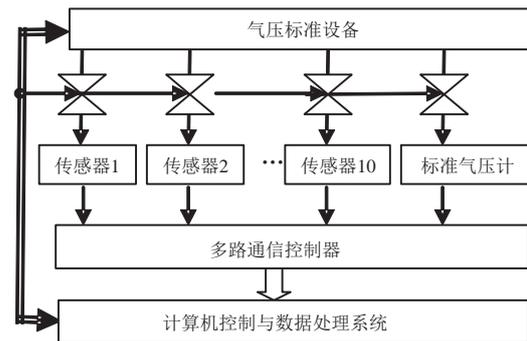


图2 气压自动化检定

Fig. 2 Auto calibration of air pressure

3 区域自动气象站校准的信息化

区域自动气象站校准的信息化是满足省级业务主管部门对区域站各要素观测仪器信息、标准的掌控和分析,包括区域自动气象站移动计量车的基本情况,移动标准器送检情况,区域站仪器检定情况,以及实现校准结果及原始记录查询等。

区域自动气象站校准信息系统结构示意图如图3所示。其业务管理系统软件,主要负责仪器收发、器具

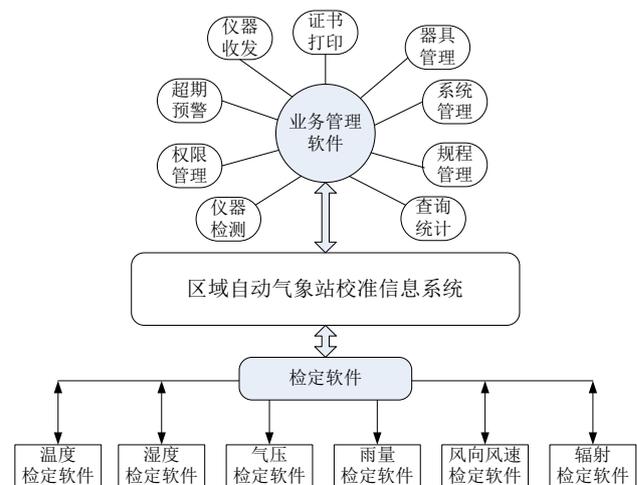


图3 区域自动气象站校准信息系统

Fig. 3 Calibration information system of regional AWS

管理、证书打印、超期预警、查询统计等业务管理。检定业务软件，包括温度检定软件、湿度检定软件、压力检定软件等。

区域自动气象站计量信息网络采用类似B/S架构设计，在省级设置中心服务器，地市级移动计量车的检定信息管理和检定业务通过气象VPN网络实时与中心服务器交互，网络结构如图4所示。

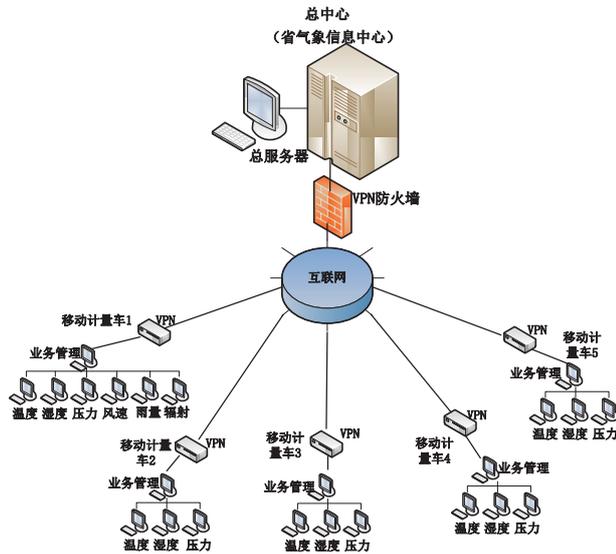


图4 区域自动气象站校准信息网络结构

Fig. 4 The network structure of regional AWS calibration

4 区域自动气象站校准标准的计量比对

为了检验、考察区域自动气象站现场移动校准设备的实际运行情况和移动检定人员水平，确保量值的准确、一致、可靠，组织开展区域自动气象站现场移动标准量值比对工作是非常必要的，同时由于区域自动气象站现场移动标准设备的使用频次高，日常维护和保存环境不尽相同，对现场移动标准设备如何进行量值比对也是需要研究和探讨的课题，因此开展区域自动气象站现场移动校准设备的量值比对工作对现场移动计量标准量值比对具有探索和示范意义^[5]。

移动气象标准计量比对是指两个或两个以上移动气象标准设备，在一定时间范围内，按照预先规定的条件，测量同一个性能稳定的传递标准器，通过分析测量结果的量值，确定量值的一致程度，确定该标准设备的测量结果是否在规定的范围内，从而判断该标准设备量值传递的准确性的活动。

4.1 移动气象标准计量比对的方式

根据比对所选择的传递标准的特性、比对不确定度需求或专业特点，比对方式通常有环式比对、星型式比对和花瓣式比对三种方式（图5~图7）。

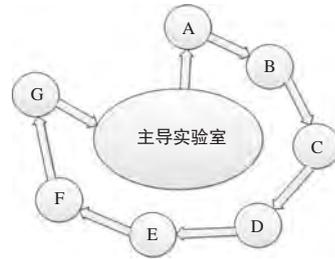


图5 环式比对

Fig. 5 Ring comparison

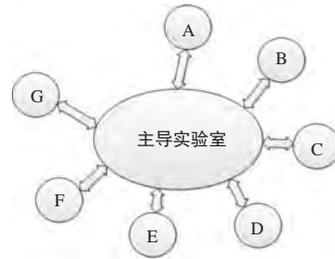


图6 星型比对

Fig. 6 Star comparison

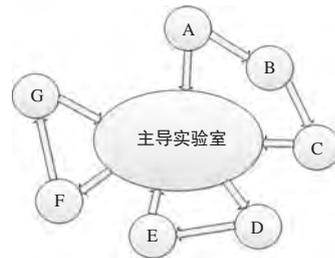


图7 花瓣式比对

Fig. 7 Petal comparison

移动校准维修系统是由各地市气象部门负责维护并开展现场校准工作，计量标准设备相同且互相独立，最后数据汇总到省级气象机构，因此，省内移动气象计量标准最佳的计量比对方式是环式比对。即首先由省级气象计量机构将传递标准在本实验室进行校准，得出校准数据后，将传递标准传送到A市，经A市移动计量车按照比对实施方案规定的程序校准后，将传递标准传送到B市，再经B市的移动计量车校准后，将传递标准传送到C市，依次类推，最后将传递标准返回到省局主导实验室，由主导实验室进行复校，以验证传递标准示值变化是否正常。

4.2 比对结果的评价方法

移动气象标准计量比对属于量值比对方案，根据量值比对通用能力验证评价原则中归一化偏差值 E_n 进行评价，归一化偏差公式如下所示：

$$E_{ni} = \frac{y_i - y_{ri}}{\sqrt{U_i^2 + U_{ri}^2}}, \quad (1)$$

式中， E_{ni} 为第*i*个移动计量车在某个测量点上的 E_n 值；

y_i 为第*i*个移动计量车在某个测量点的测量值； y_{ri} 为第*i*个移动计量车在某个测量点的参考值； U_i^2 为第*i*个移动计量车在某个测量点上的扩展不确定度； U_{ri}^2 为第*i*个移动计量车在某个测量点的参考值的扩展不确定度。

当 $|E_n| \leq 1$ ，则该移动计量车在该测量点的测量结果满意。

当 $|E_n| > 1$ ，则该移动计量车在该测量点的测量结果不满意。

当参考值的扩展不确定度 $U_{ri} \leq \frac{U_i}{3}$ 时， U_{ri} 可以忽略不计。

5 区域自动气象站远程校准的探讨

区域自动气象站远程校准可以让台站观测仪器直接溯源到国家级计量机构或省级气象计量标准，大大缩短了校准时间，观测仪器设备在正常业务工作环境下校准，避免了送校送检带来的不确定度变化，也可以根据量值变化情况适时校准。

目前远程校准主要有两种方式，一是上级计量标准拿到被检仪器现场，在现场进行校准，上级计量实验室实行远程监控；二是测量仪器自带标准器，实行定期在线自校准。其中第一种方式是目前主要的远程校准模式，主要是通过远程控制的方式，实现校准过程的在线控制与操作。第二种方式由于自带标准器本身对环境要求比较苛刻，通常只是在实验室仪器中使用，区域自动站由于环境条件和成本考虑，无法实现自带标准器的实时校准，而且自带标准器本身也需要定期检定，反而会带来工作量的增加。

不管哪种远程校准方式，仍然需要标准设备和被测设备在校准现场连接在一起，能否实现标准器和被测仪器在校准过程中分隔开来，即标准量值在传递，而标准设备与被测仪器相互分离，这样既具有现场校准的优点，又能克服计量标准仪器直接进入校准现场可能出现的准确度下降问题。下面针对区域自动气象站的数据采集器和传感器，讨论远程校准实现方式。

5.1 区域自动站采集器的远程校准

区域自动气象站数据采集器主要包括数字量和模拟量，数字量有脉冲频率等数字信号，模拟量有直流电压、直流电流、电阻等。目前数字量和频率量都可以实现在线远程无损传输，GPS还可以远程实时授时。因此区域自动气象站采集器的时钟和频率量可以完全实现在线的远程校准^[6]。

区域自动气象站数据采集器的模拟信号主要包括直流电压、直流电流、电阻等。通常数据采集器是送到计量实验室进行校准，或者使用便携信号模拟器在

现场进行校准。

依据约瑟夫森效应，可以将电压量值转换成频率量，从而实现直流电压在线传输。约瑟夫森V/变换公式如式(2)所示^[7]：

$$Y_n = \frac{n \cdot f \cdot h}{2e} = \frac{n \cdot f}{K_{J-90}}, \quad (2)$$

式中： h 为普朗克常数； e 为电子电荷； n 为整数； $K_{J-90} = 483\,597.90 \text{ GHz/V}$ 称为约瑟夫森常数； f 为微波辐射频率，一般取值70~76 GHz； Y_n 为第*n*个台阶输出的电压值。

通过约瑟夫森效应，上级计量实验室的标准电压源产生直流电压，经过V/F（电压/频率）变换器将直流电压信号转换成脉冲频率信号进行光纤传输，接收端经过F/V转换器，将脉冲频率信号还原成标准模拟直流电压信号，可用于现场校准。

5.2 区域自动站传感器的远程校准

区域自动气象站的传感器通常是用便携式标准器在现场进行校准，由于自动气象站传感器和相关标准装置的智能化程度不高，无法实现双方数据交互，不能将上级实验室的标准值远程传递到台站现场进行在线校准。但是随着量子技术的发展，在量子纠缠的帮助下，微观上量子态可以“瞬间移动”和“瞬间复制”^[8]。如果能够实现宏观上的“瞬间复制”，那么区域自动气象站传感器的远程校准将变成现实。

6 结论

为了保证区域自动气象站观测数据的准确可靠，需要对观测仪器进行校准。本文从区域自动气象站校准的自动化、信息化、计量比对和远程校准等方面，对区域站校准面临的关键技术进行了研究和分析，目的是提高区域自动气象站校准的效率，提高信息化水平，从而保障区域站观测数据的准确可靠。后续需要针对区域站的自动化批量化检定、全国区域站信息化系统建设、区域站标准设备量值保障方法以及区域站远程校准技术，进行进一步的研究和试验。

参考文献

- [1] 陈裕, 董德保, 陈进, 等. 马鞍山区域气象站常见故障分析及保障建议. 陕西气象, 2017, (6): 41-44.
- [2] 李黄. 自动气象站实用手册. 北京: 气象出版社, 2007.
- [3] 中国气象局. 自动气象站观测规范 (GB/T33703-2017). 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2017.
- [4] 敖振浪, 伍光胜, 周钦强, 等. 基于GPRS技术的自动气象站数据采集系统. 广东气象, 2007, 29(4): 1-4.
- [5] 周钦强, 李源鸿, 李建勇, 等. 自动气象站探测网实时监控关键技术. 气象科技, 2011, 39(4): 478-483.
- [6] 曾令儒, 刘民, 王立琼, 等. 远程计量校准技术. 电子测量与仪器学报, 2005, 19(6): 6-11.
- [7] 刘民, 李继东, 严明, 等. 一种可控约瑟夫森直流电压标准装置. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(10): 9-14.
- [8] 刘世右, 郑凯敏. 单-双模组合压缩热态的纠缠性质及在量子隐形传态中的应用. 物理学报, 2014, 63(14): 140302-140302.