

气象传感器计量检定的准确性研究

都本湖^{1,2} 刘海龙¹ 韩莹¹ 刘恩泽¹

1. 辽宁省气象数据中心 辽宁 沈阳 110002

2. 中国气象局大气探测重点开放实验室 四川 成都 610225

摘要: 气象传感器是气象观测系统的核心部件,其测量准确性直接决定气象数据质量。计量检定作为保证传感器准确性的关键手段,在实际工作中受多种因素影响,检定结果的不确定度控制仍有待优化。本文从计量学角度出发,系统分析影响气象传感器检定准确性的四大类因素,包括标准器性能、环境条件、检定方法及被检传感器自身特性。针对温度、湿度、气压、风速等主要气象传感器,分别分析其检定方法及准确性控制要点,并从标准装置优化、环境控制、方法改进、人员保障四个方面提出提高检定准确性的技术措施,为提升气象传感器计量保障能力提供参考。

关键词: 气象传感器; 计量检定; 准确性; 不确定度; 校准

引言: 气象传感器广泛应用于地面气象观测、探空探测、机场气象保障、环境监测等领域,其测量准确性直接关系到天气预报精度、气候研究可靠性和灾害预警有效性。随着气象观测自动化程度不断提高,传感器类型日益增多,使用环境日趋复杂,对计量检定的准确性提出了更高要求。目前,气象传感器计量检定工作中仍存在标准装置不确定度控制不足、环境条件影响修正不完善、检定周期与使用工况匹配度差等问题。本文系统分析影响气象传感器检定准确性的关键因素,探讨优化检定方法和管理体系的途径,为提升气象传感器检定质量提供参考。

1 气象传感器计量检定概述

1.1 气象传感器的主要类型与应用

气象传感器是将大气中的物理量或化学量转换为可测量信号的装置。按测量参数分类,温度传感器主要采用铂电阻和热电偶,用于测量空气和地表温度,精度要求 ± 0.1 至 ± 0.2 摄氏度。湿度传感器包括电容式和电阻式,用于测量相对湿度,精度要求 $\pm 2\%$ 至 $\pm 5\%$ 。气压传感器有振筒式和电容式,用于测量大气压力,精度要求 ± 0.1 至 ± 0.3 百帕。风速风向传感器包括风杯式和超声式,用于测量风速风向,风速精度要求 ± 0.5 米每秒。降水传感器有翻斗式和称重式,用于测量降雨量。辐射传感器用于测量太阳辐射各分量。这些传感器广泛部署于自动气象站、探空仪、机场气象系统及环境监测网络中,其准确性直接影响数据应用价值。随着气象现代化推进,传感器网络密度不断增加,对检定工作提出了更高要求。

“中国气象局大气探测重点开放实验室(Key Laboratory of Atmosphere Sounding, China Meteorological Administration)”开放课题资助。

1.2 计量检定的基本概念

计量检定是指评定计量器具的计量性能,确定其是否合格所进行的全部工作。对于气象传感器而言,检定是通过将传感器与更高准确度的标准器进行比较,确定其示值误差并判定是否满足技术要求的活动。检定与校准有所区别:校准是确定示值与标准值之间关系的操作,通常给出修正值;而检定是包含评价和合格判定的完整过程,具有法制性。气象传感器的量值溯源通过逐级比较形成不间断的链条,最终追溯到国家基准或国际单位制^[1]。我国气象传感器检定主要依据国家计量检定规程,如温度传感器检定规程、风速传感器检定规程等,规程规定了检定项目、方法、条件及判定准则。检定周期的确定需综合考虑传感器稳定性、使用频率和环境条件等因素。

1.3 检定准确性的评价指标

检定准确性通常用测量不确定度定量表达。测量不确定度是表征被测量值分散性的参数,反映检定结果的可信程度,来源包括标准器、环境条件、重复测量及读数分辨力等。最大允许误差是技术规范规定的误差极限值,检定合格的传感器其误差应在允许范围内。重复性反映相同条件下多次测量结果的一致性,体现检定过程的随机效应。稳定性是传感器计量特性随时间变化的能力,对确定检定周期具有重要参考价值。复现性反映不同条件下测量结果的一致性。这些指标共同构成评价检定准确性的完整体系。

2 影响气象传感器检定准确性的因素分析

2.1 标准器因素

标准器是检定工作的量值依据,其准确度等级决定了检定能力上限,按量值传递原则,标准器最大允许误

差应不大于被检传感器最大允许误差的三分之一。标准器在使用中会发生量值漂移,如标准铂电阻阻值随时间变化、气压标准器零点受环境影响偏移,稳定性差会引入显著不确定度。溯源周期设定是否合理直接影响量值可靠性,周期过长可能导致超差使用,过短则增加成本。多台标准器比对若存在系统偏差,会导致不同实验室或不同时间的检定结果不一致。因此,标准器的选型、维护、溯源和比对管理是保证检定准确性的基础。

2.2 环境条件因素

检定环境条件对气象传感器检定结果具有显著影响。温度传感器检定时,恒温槽温度均匀性和稳定性直接影响精度,槽内不同位置温差可达0.05至0.1摄氏度。湿度传感器对环境湿度变化极为敏感,湿度波动会使响应滞后造成读数偏差。气压传感器对大气压力和温度变化敏感,气流扰动也会影响稳定性。风速传感器检定时,风洞内气流均匀性和紊流度是关键参数^[2]。此外,环境振动可能使传感器输出异常波动,电磁干扰影响电子类传感器信号质量。实验室环境控制能力决定检定条件是否符合规程要求,环境参数监测记录完整性影响结果可追溯性。

2.3 检定方法与操作因素

检定方法和操作过程是影响检定准确性的重要人为因素。检定点选择与分布直接影响传感器性能评定的全面性,点过少可能遗漏非线性误差较大区域,分布不合理则难以反映全量程性能。采样与读数方式对结果有直接影响,采样时间不足可能导致传感器未达稳定状态,读数次数不够则随机误差未被充分平均。传感器安装必须符合规程要求,浸没深度不足、安装角度偏差都会引入附加误差。

2.4 被检传感器自身因素

被检传感器自身特性也是影响检定准确性的重要因素。传感器制造一致性指同批次产品性能的离散程度,一致性差的传感器即使检定合格,批量使用时数据可比性也难以保证。传感器在使用中会发生老化,敏感元件性能随时间劣化,响应速度变慢、灵敏度下降、零点漂移增大是常见现象。不同类型传感器响应时间不同,若未充分考虑会导致读数与标准值不同步。传感器输出信号包括模拟和数字信号,模拟信号受传输距离和电磁干扰影响较大,数字信号需注意通信协议匹配。了解被检传感器特性,针对性制定检定方案,是提高检定准确性的前提条件。

3 气象传感器检定方法及其准确性分析

3.1 温度传感器检定

温度传感器检定主要采用恒温槽比较法,将标准铂电阻温度计与被检传感器同时置于恒温槽内,稳定后比较示值确定误差。检定温度点通常选择量程内均匀分布的多个点。影响检定准确性的主要因素包括恒温槽温场均匀性、温度稳定性及标准器精度。标准铂电阻温度计需定期溯源至国家基准,其检定不确定度优于0.01摄氏度。恒温槽内不同位置温差应控制在0.02摄氏度以内,温度波动度不超过0.01摄氏度每10分钟。被检传感器浸没深度应足够消除导热误差。检定结果不确定度主要来源于标准器、恒温槽温场、重复测量及读数分辨力,合成不确定度通常为0.05至0.1摄氏度。

3.2 湿度传感器检定

湿度传感器检定常用分流式湿度发生器和精密露点仪比对法。分流式湿度发生器通过混合干湿气体产生标准湿度,精密露点仪作为标准器测量露点温度。检定在多个湿度点进行,通常覆盖30%至90%相对湿度范围。影响检定准确性的关键因素包括湿度发生器稳定性、露点仪测量精度及环境温度稳定性。湿度发生器产生的不确定度应优于1%,露点仪测量不确定度通常为0.2至0.3摄氏度露点温度。检定中需特别注意被检传感器响应时间,电容式传感器响应滞后可达数十秒,应给予足够稳定时间^[3]。检定室温度应控制在20至25摄氏度且波动不超过1摄氏度。合成不确定度通常为2%至3%相对湿度。

3.3 气压传感器检定

气压传感器检定采用活塞式压力计或数字式气压标准器。活塞式压力计精度可达0.01级,数字式气压标准器精度一般为0.02%至0.05%满量程。检定时将被检传感器与标准器通过气路连接,在同一压力点稳定后比较示值,压力点覆盖使用范围。影响检定准确性的主要因素包括标准器精度、气路密封性、环境温度和大气压力波动。气压传感器对温度变化敏感,检定时应记录环境温度并进行必要修正。气路泄漏会导致压力不稳,检定前应进行密封性检查。连接管路应尽量短且内径均匀。气压检定合成不确定度通常为0.1至0.3百帕。

3.4 风速传感器检定

风速传感器检定在风洞中进行,将被检传感器与标准风速计置于风洞工作段同一截面,通过比较测量值确定误差。风洞需能产生稳定可调气流,风速范围覆盖被检传感器量程。影响检定准确性的主要因素包括风洞气流均匀性和稳定性、标准风速计精度及安装条件。风洞工作段截面速度不均匀度应小于0.5%,气流紊流度低于1%。标准风速计不确定度约0.2至0.5米每秒。被检风杯式传感器的启动风速和响应特性对结果有影响,应在多个

风速点测试。安装角度偏差会产生系统误差。合成不确定度一般为0.3至0.8米每秒。

4 提高气象传感器检定准确性的技术措施

4.1 标准装置优化

提高标准装置的性能是提升检定准确性的基础。首先应选用准确度等级高于被检传感器三倍以上的标准器,确保量值传递的不确定度满足要求。标准铂电阻温度计应选用一等或二等标准,湿度标准器推荐使用精密露点仪,气压标准器选用0.01级活塞式压力计或同精度数字标准器。标准装置应建立定期维护保养制度,包括清洁、检查、校准等环节。标准器的溯源周期应根据其稳定性科学确定,对于稳定性较差的应缩短溯源周期。多台标准器应定期进行比对,发现系统偏差及时修正。标准装置自动化改造是提高检定效率和准确性的有效途径,自动控温、自动数据采集、自动处理可减少人为操作误差。建立标准装置档案,记录每次使用情况和性能变化趋势,便于及时发现异常并采取纠正措施^[4]。

4.2 环境控制与修正

检定环境控制是保证检定准确性的重要保障。温度传感器检定实验室应配备精密恒温槽和恒温室,温场均匀性控制在0.02摄氏度以内,温度波动不超过1摄氏度。湿度传感器检定需严格控制环境温湿度,建议建设恒温恒湿实验室,温度控制20至25摄氏度 ± 0.5 摄氏度,相对湿度波动不超过5%。气压传感器检定应避免气流直接吹向传感器,记录环境气压和温度用于修正。风速传感器检定风洞实验室应控制环境温度稳定。所有实验室应建立环境参数实时监测系统,记录温湿度、气压数据作为不确定度评定依据。对于无法完全控制的环境影响,应建立修正模型进行修正。环境监测数据应纳入检定原始记录,确保结果可追溯性。

4.3 检定方法改进

改进检定方法是提高检定准确性的有效途径。增加检定点密度尤其是非线性区域,能更全面反映传感器性

能,避免漏掉较大误差。采用动态检定方法,如连续升温或降温过程中采集数据,可检测传感器动态响应特性。对于多传感器同时检定,应注意电磁干扰和热辐射干扰,合理布置位置以减小交叉影响。数据处理方法优化包括异常值科学剔除、合适滤波算法应用、置信区间计算等。对于响应时间较长的传感器,应适当延长稳定时间判断准则。建立标准化检定操作流程,将每个步骤操作要求明确化、具体化。检定软件应具备数据自动采集、自动判稳、自动计算误差、自动评定不确定度等功能,提高检定的一致性和可靠性。

结束语

气象传感器计量检定的准确性是气象观测数据质量的基石。本文系统分析了影响检定准确性的四大类因素,包括标准器性能、环境条件、检定方法及被检传感器自身特性。针对温度、湿度、气压、风速等主要气象传感器,分别分析了其检定方法及准确性控制要点提高检定准确性需要从标准装置优化、环境控制与修正、检定方法改进、人员与制度保障等多维度综合施策。建议加强计量标准装置建设,完善环境控制设施,推进检定自动化智能化,健全质量管理体系,从而持续提升气象传感器计量检定水平,为气象现代化提供坚实计量保障。

参考文献

- [1]孙哲,邢程,李帅,等.地市级移动气象计量检定系统风传感器核查方法[J].现代化农业,2022(4):85-86.
- [2]王敏,王毛翠,张世国,等.气象用温度传感器检定结果的测量不确定度评定与应用[J].成都信息工程大学学报,2022,37(4):406-411.
- [3]杨涛,黄小静,郑亮.地市级气象计量实验室气压比对结果分析[J].气象水文海洋仪器,2022,39(3):11-14.
- [4]李春杰,高仕杰,刘若旭,等.高速气象传感器网络时钟同步与数据融合精度分析[J].国外电子测量技术,2025,44(12):79-85.