

温度仪表测试中不确定度评定方法研究

邓海燕

新疆兵天绿诚检测有限公司 新疆 石河子 832000

摘要：温度仪表测试过程中，多类计量偏差来源交织叠加，不确定度评定为量化测量可信范围提供了系统路径。本文围绕温度测试不确定度的数学建模机理展开，剖析环境工况、仪表结构、操作流程及信号传输等关键影响因素的偏差生成规律。在此基础上，梳理A类与B类评定方法的运算逻辑，阐明合成标准不确定度与扩展不确定度的计算体系，并针对传统评定模式的固有不足提出改进方向，探讨不同仪表类型与复杂工况下的方法适配策略，为温度计量领域的不确定度分析提供理论参考。

关键词：温度仪表；不确定度评定；A类评定；B类评定；量值传递

引言：温度计量作为精密测量的基础分支，其测试数据的可信度直接关系到工业生产与科学实验的质量底线。然而，测温过程中环境波动、设备性能漂移、操作偏差及信号传输损耗等因素持续向计量系统引入不确定性，单一误差指标已难以完整刻画测量数据的离散特征。不确定度评定方法通过量化各类偏差分量并实现科学合成，能够系统表征温度测试结果的可信区间，已成为温度仪表计量工作中不可或缺的分析工具。

1 温度仪表测试不确定度基础理论

1.1 温度仪表测试不确定度基本内涵

温度仪表测试工作围绕温度量值的精准获取展开，测量过程中各类客观因素会造成量值存在浮动区间。不确定度用于表征温度测试量值的离散程度，能够客观反映温度测量数据的可信层级。温度测试属于精密计量范畴，外界环境与计量条件的细微变动，都会对温度数值的采集精度产生影响^[1]。不确定度的研究聚焦于量化温度测试过程中的各类误差波动，依托计量学底层逻辑界定温度测量数据的可信范围，为温度仪表计量工作提供理论支撑。

1.2 温度量值传递与不确定度关联逻辑

温度计量体系依托完整的量值传递体系实现量值统一，各级计量标准逐级传递温度基准数值，保障各类温度仪表测试数据的统一性。量值传递的层级流转会伴随计量偏差的逐层累积，偏差的累积程度直接影响不确定度的形成与变化。

1.3 温度仪表测试不确定度主要分量分类

温度仪表测试产生的不确定度可依据计量成因划分为不同分量类型，各类分量对应测试过程中不同的影响因素。计量设备自身的精度偏差会形成设备类不确定度分量，环境要素的动态变动会形成环境类不确定度分

量。数据采集阶段的数值浮动会形成采样类不确定度分量，计量操作过程中的状态波动会形成操作类不确定度分量。不同类型的不确定度分量具备独立的变化规律与影响权重，区分各类分量的核心特征，可实现对温度测试不确定度的精细化拆解与针对性研究。

1.4 温度参数不确定度传播底层原理

温度仪表测试的各类计量参数存在相互关联的变化规律，单一参数的数值波动会通过计量链路传导至最终测试结果。不确定度传播遵循计量学微分推演逻辑，依托参数之间的函数关联实现偏差量的逐层传导。温度计量过程中的各类偏差分量会按照固定的数学规律叠加扩散，改变最终测量数据的离散范围。掌握不确定度传播的底层逻辑，能够精准梳理温度测试链路中偏差的生成与扩散规律，为不确定度的科学评定提供核心理论支撑，提升温度仪表计量分析的严谨性。

2 温度仪表测试不确定度关键影响因素分析

2.1 环境工况对温度测试不确定度的影响

温度测试开展的空间环境存在多样的动态变化条件，各类环境参数的波动会直接干预温度量值采集的完整过程，改变计量数据的离散特征。空气温湿度的持续波动会改变测温设备感应区域的热交换效率，让采集得到的测温数值产生无规律的小幅浮动^[2]。空气流动速率的变化与空间范围内的热辐射扰动，会打破测温探头与被测介质之间的热量传递平衡，降低测温数据的整体稳定性。环境状态的非稳态波动会持续向测温系统引入计量偏差，逐步改变温度测试的离散特性，对不确定度的生成与波动形成直接干预。维持测试环境的稳定状态能够有效削弱外界干扰带来的计量偏差，大幅缩减温度测试不确定度的浮动区间，提升测温计量的整体稳定水平。

2.2 仪表自身结构与性能的不确定度影响

温度仪表出厂设计的内部构造与长期运行形成的性能状态,决定测温工作的基础精度基准,结构设计自带的固有属性会衍生出稳定的计量偏差来源。传感感应元件的灵敏响应能力、内置电路的信号处理状态以及机械结构的装配精密程度,都会左右测温设备捕捉温度微弱信号的精准程度。元件长期运行过程中产生的性能衰减、测温响应速率的偏移以及全量程范围内的精度偏移,会持续改变测温数据的偏差浮动范围。仪表整机运行的稳定程度直接决定温度计量的基础误差量级,是构成测试不确定度的核心内部诱因,深刻影响各类温度计量数据的可信层级与可用价值。

2.3 测试操作过程的不确定度影响机制

温度仪表完整测试流程涵盖多类精细化操作环节,不同操作环节呈现的执行状态差异会持续向计量系统引入偏差。测温点位的空间布设方式、仪表固定姿态的微调状态以及整套测试流程的执行规范程度,都会直接改变温度信号的采集质量与完整度。操作环节中细微的状态偏差会造成测温元件与被测对象接触状态出现偏差,促使测温数据产生随机性或规律性的数值浮动。标准化的流程执行模式可以有效管控操作偏差的生成幅度,各类操作状态催生的计量偏差会融入整体测温数据体系,促使测试不确定度产生对应动态浮动。

2.4 温度信号采集与传输的不确定度影响

温度仪表依托感应元件捕捉热信号后,需要借助专用采集模块与传输链路完成信号转换和数据传递工作。信号采集模块具备的分辨能力、模数转换过程的精度水平,直接决定原始测温数据的完整度与精准度。信号传输链路运行过程中产生的电磁干扰与线路损耗,会对温度转化的电信号造成影响,引发有效信号出现小幅偏移。数据采集频率的合理设定、传输链路的损耗控制以及数据转换算法的精密程度,都会对最终输出的测温数值产生直接影响。信号采集与传输环节衍生的各类偏差会逐层叠加至整体计量体系,成为温度测试不确定度构成体系中不可或缺的重要部分。

3 温度仪表测试不确定度主流评定方法梳理

3.1 A类不确定度评定适配方法与运算逻辑

A类评定方式依托多次重复测温数据开展数理统计分析,依靠数据分布特征完成不确定度的量化处理。该类评定手段适配温度仪表重复性测试场景,针对短时间内连续采集的多组测温数据开展统计运算^[1]。以某温度校准实验为例,对同一温度点进行10次重复测量,所得数据的实验标准偏差为 0.08°C ,则单次测量的A类标准不确定度为 $u_A = 0.08/\sqrt{10} \approx 0.025^{\circ}\text{C}$ 。通过对测温数据集的离

散特征开展分析,挖掘测量过程中随机扰动带来的计量波动。运算流程依托统计学分布规律完成数据处理,通过测算多次测量结果的标准差刻画数据离散水平,以此反映随机因素对温度测试计量的影响程度。整套运算逻辑依托实测数据本身的统计特性建立计量评价标准,能够真实反映温度测试过程中随机误差的分布规律,适配各类可开展重复观测的温度计量场景。

3.2 B类不确定度评定适配方法与运算逻辑

B类评定方式脱离重复性统计运算框架,依托现有计量信息完成不确定度的量化界定。可用的计量信息包含设备计量参数、仪器技术指标以及计量过程中的限定条件等固定资料。该类评定方式适配无法开展大量重复测试的温度计量场景,弥补A类评定模式的应用局限。例如,某标准铂电阻温度计的校准证书给出扩展不确定度 $U = 0.05^{\circ}\text{C}$,包含因子 $k = 2$,则对应的B类标准不确定度为 $u_B = 0.05/2 = 0.025^{\circ}\text{C}$ 。运算逻辑依托既定计量条件判定误差分布形态,结合计量允许的误差区间完成标准偏差的换算推导。整套评定体系依托客观计量参数完成运算,能够有效量化系统偏差带来的计量影响,覆盖温度测试中非随机性偏差的评定需求。

3.3 合成标准不确定度的通用计算体系

温度仪表测试会同时存在多类不确定度分量,单一分量无法完整反映整体计量偏差水平,需要依托合成运算体系整合各类偏差指标。合成计算依托各不确定度分量的独立属性搭建运算模型,按照计量学误差合成规则完成分量整合。以某热电偶测温场景为例,A类分量 $u_A = 0.025^{\circ}\text{C}$,B类分量包含标准器引入 $u_{B1} = 0.025^{\circ}\text{C}$ 、补偿导线引入 $u_{B2} = 0.015^{\circ}\text{C}$ 、冰点槽引入 $u_{B3} = 0.010^{\circ}\text{C}$,则合成标准不确定度为 $u_c = \sqrt{(0.025^2 + 0.025^2 + 0.015^2 + 0.010^2)} \approx 0.039^{\circ}\text{C}$ 。各类分量的贡献程度通过对应权重纳入计算体系,结合温度测量函数的关联特征完成偏差传递运算。整套计算体系能够统筹随机偏差与系统偏差的综合影响,实现多源不确定度分量的科学融合,输出能够完整覆盖测温全过程偏差特征的标准计量指标,适配各类温度仪表测试的计量评定需求。

3.4 扩展不确定度的规范化计算方式

扩展不确定度基于合成标准不确定度开展深度运算,用于界定温度测量量值的合理覆盖区间。规范化计算流程依托既定的包含因子选取规则开展数值换算,结合温度计量的精度需求匹配对应运算参数。包含因子的选取依托测量数据的分布特征与计量置信需求确定,保障最终区间具备合理的覆盖水平。沿用上述合成结果,若取包含因子 $k = 2$ (置信概率约95%),则扩展不确定度

为 $U = 2 \times 0.039 = 0.078^\circ\text{C}$ 。经过规范化运算得到的区间范围，能够有效反映温度测试量值的可信覆盖范围，让温度仪表的计量评定结果具备更强的实用性，完善温度量值不确定度的完整评定流程，形成标准化的计量输出依据。

4 温度仪表测试不确定度评定方法优化与适配

4.1 传统评定方法的固有限制剖析

常规不确定度评定模式依托固定数理模型开展计量分析，适配场景集中于稳态与理想化的测温环境。传统运算体系对测温过程中的动态参数变化缺乏识别能力，难以捕捉工况波动带来的偏差动态变化规律。固有运算框架多采用静态化分量拆分模式，对多类偏差因素的耦合作用缺乏深度解析能力，弱化计量评定的精细程度^[4]。传统评定流程对不同测温设备的性能差异缺少区分机制，统一化的运算标准无法匹配差异化的测温计量场景。老旧评定体系的运算逻辑较为固化，难以适配高精度测温设备与复杂作业环境的计量评定需求，逐步显现应用层面的滞后性。

4.2 基于温度测试特性的评定方法改进思路

温度测试过程具备动态性与连续性的核心特征，计量偏差的生成与演变具备专属的行业规律。改进工作需要围绕温度量值传递的动态特征调整运算框架，打破静态评定模式带来的局限性。结合温度参数连续变化的运行特点，优化偏差分量的拆分与整合模式，强化对动态偏差信号的捕捉能力。针对温度计量过程中各类干扰因素的耦合特征，调整数理运算模型的内部结构，提升多源偏差分析的精准程度。依托温度测试专属的计量特性完善评定逻辑，让评定流程贴合真实测温场景的运行状态，提升计量分析的贴合程度与精准层级。

4.3 不同类型温度仪表的评定方法适配策略

各类温度仪表的传感原理与运行机制存在明显区别，偏差生成来源与波动规律具备差异化特征。接触式测温设备的偏差多集中于接触换热与结构损耗层面，非接触式测温设备的偏差重点来源于辐射信号捕捉与环境干扰层面。评定体系需要针对设备的运行原理调整分量筛选标准，结合设备量程精度与响应特性优化运算权

重分配。依据不同测温设备的计量特性调整评定流程，搭建针对性的分量计算模式，摒弃统一化的固定评定标准。差异化的适配调整可以精准匹配各类设备的计量偏差特征，提升不同品类温度仪表计量评定的专业程度。

4.4 复杂工况下温度不确定度评定方法完善路径

工业实际测温场景普遍存在参数波动与多因素干扰的复杂条件，常规评定模式难以覆盖非稳态工况的计量需求。复杂工况下的测温过程存在多类干扰因素的交叉作用，偏差演化规律呈现非线性变化特征。完善工作需要优化多因素耦合偏差的计算逻辑，强化动态工况下偏差分量的实时解析能力。结合现场工况的波动特征调整分量合成模式，完善非稳态测温数据的评定机制。通过细化复杂场景下的偏差判定标准，优化数理模型的适配性能，实现极端工况与复杂作业环境下温度不确定度的精准评定，拓宽评定方法的应用覆盖范围。

结束语

温度仪表测试不确定度评定是一项融合计量学理论与工程实践的系统性工作。从偏差分量的精细拆解到合成运算的规范执行，每一环节均对最终计量结论的可靠性产生直接作用。传统评定模式在面对动态工况与差异化设备时暴露出适配性不足的短板，有必要结合温度测试的专属特性调整运算框架与分量权重。针对不同测温原理的仪表类型与复杂现场条件，构建差异化的评定路径，是提升温度计量分析严谨程度的可行方向，也是完善温度量值传递体系的重要支撑。

参考文献

- [1]尹跃,梁兴忠,陈杰,等.基于ISOGUM法的温度巡检仪测量不确定度的研究[J].计量科学与技术,2023,67(1):60-67.
- [2]程东旭,王瑞珍,周君洋,等.卷烟加热棒测温仪的设计和不确定度分析[J].电子测量技术,2024,47(6):137-142.
- [3]杨彦.基于虚拟仪表的网络化电缆温度实时监测装置探究[J].仪器仪表用户,2025,32(5):62-64.
- [4]张琼.温度二次仪表校准方法的改进探究[J].仪器仪表标准化与计量,2022(5):46-48.