

# 温度对长度计量检定的影响分析

任继来

内蒙古自治区计量测试研究院 内蒙古呼和浩特 010050

**摘要:** 长度计量是工业制造、科学研究与工程建设等领域的重要基础,其精度直接影响产品质量和工程安全。在长度计量过程中,温度作为一个关键环境因子,对测量结果具有显著影响。本文通过分析温度变化对长度计量检定的直接影响,探讨了材料热膨胀、测量环境稳定性、检定设备校准误差等方面的关系,并进一步从标准器具误差、环境温控、操作规程等角度进行细化研究。最后结合某实际检定案例,揭示温度影响在长度计量检定工作中的具体表现与控制手段,旨在为提高计量检定结果的准确性和一致性提供理论支持与实践参考。

**关键词:** 温度影响;长度计量;热膨胀;检定误差;测量不确定度

## 引言

长度计量是计量体系中的基础内容,其准确性关系到整个产品生命周期中的设计、制造、检测与维修等环节。在实际工作中,无论是静态测量还是动态监测,温度变化都可能引起被测物体或测量工具的热膨胀或收缩,从而导致测量值的偏离。在高精度的计量工作中,哪怕是微小的热膨胀系数差异也会带来明显的测量误差。因此,系统分析温度对长度计量检定的影响具有重要意义。本文拟从理论和实践两个层面出发,深入分析温度变化对长度计量结果的干扰机理,并提出合理的应对措施,以提升计量工作的科学性和可靠性。

## 一、温度对长度计量结果的基本影响机制

长度计量是计量体系中最基本、最关键的组成部分之一,其准确性直接关系到工业产品的尺寸控制、科学研究的精度保障以及工程项目的质量与安全。在整个产品生命周期中,从前期的设计、制造到中期的装配、调试,再到后期的检测、维护和报废回收,每一个环节都离不开对长度的准确计量。因此,确保长度测量结果的可靠性和一致性,是推动现代工业高质量发展的重要基础。在实际计量检定工作中,温度作为一项核心环境变量,对长度测量结果有着显著的影响。无论是进行静态几何尺寸的测量,还是动态结构响应的监测,温度变化都可能导致被测物体、测量仪器或参考标准发生热膨胀或热收缩,从而造成实际测量值的偏移。这种因温度变化引起的微小尺寸变化,在高精度测量中尤为敏感,往往成为限制测量不确定度进一步降低的主要因素之一。尤其是在不同材料热膨胀系数存在差异的条件下,即便

是极小的温度波动,也可能对检定结果产生累积误差。鉴于此,本文将从理论分析与实际操作两个层面出发,深入研究温度变化对长度计量检定结果产生影响的机理,探讨其在计量误差形成中的作用机制,并进一步提出针对性的温控策略与补偿方法,以提升计量工作的科学性、规范性和可重复性。

## 二、温度对长度计量各环节的具体影响

### 1. 对标准器具的影响

标准器具作为长度计量体系中的核心基准,其几何尺寸的稳定性直接决定了检定与校准结果的准确性与一致性。在高精度计量活动中,哪怕是微小的长度变化,都可能在数据传递过程中被无限放大,从而影响后续测量链条的可靠性。然而,在实际检定过程中,标准器具不可避免地受到环境温度波动的影响。当存放或使用环境中的温度控制不到位,或存在局部温升现象时,即便标准器本身具有较低的热膨胀系数,仍可能因微小的温度变化而引发尺寸偏移。例如,块规是最常见的长度标准器之一,尽管其热膨胀系数较小,但在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的温度波动范围内,其长度变化仍可达数微米,对于微米级检定工作而言已属重大误差。此外,若未能在恒温实验室环境中完成检定,或在温度变化后未给予足够的热稳定时间,使标准器与环境充分热平衡,测量结果就可能受到滞后热变形的干扰。更复杂的情况出现在多材料标准器之间的比对检定中,不同材料热膨胀特性的差异会造成系统性误差,尤其在进行国际或跨单位计量比对时,必须严控这类偏差。因此,针对标准器具,不仅要实施恒温室内操作,还需设定明确的恒温时长,确保其在测量前达到热稳定状态,同时对标准器进行周期性的温度灵

敏度标定，以提高整体计量系统的温度适应能力和精度保障水平。

## 2. 对测量环境的影响

测量环境的温度稳定性在长度计量中具有基础性和决定性的重要作用。由于长度计量对尺寸变化极为敏感，任何微小的温度波动都可能导致被测对象或测量仪器发生热膨胀或收缩，从而引入系统性偏差。理想的长度测量实验室应将室温控制在  $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$  的标准范围内，并保持日波动不超过  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，这是国际计量组织和多项国家标准中明确提出的要求。此外，实验室还应具备良好的空气流通性、热源隔离性和温湿度双控能力。若空调出风口直接对准测量工作区，或因设备发热及人员集中操作造成局部热源积聚，就会形成局部温升或热梯度效应，使被测物体不同部位的热膨胀程度不一致，从而在同一测量过程中产生尺寸漂移或重复性下降的现象。更进一步，温度波动常常伴随湿度变化发生，而高湿环境会加剧金属器具表面氧化或腐蚀的风险，尤其对于高精度的光滑基准器表面而言，极易在长期使用中引入微观不规则性，间接影响测量的稳定性与准确性。因此，为了保证长度计量检定的结果具有良好的可重复性和可比性，必须建立一套响应迅速、分布均匀的环境温控系统，不仅要控制温度绝对值，还需关注温度变化速率和空间温差。同时，配合恒温培养时间和操作流程规范，可进一步降低环境温度对测量结果的不利影响，实现高精度检定工作的稳定开展。

## 3. 对操作流程的影响

在长度计量的实际操作流程中，温度因素的影响往往被从属地对待甚至被忽略，然而这类隐性变量对最终检定质量却具有深远的潜在影响。特别是在高精度计量任务中，任何微小的温度扰动都有可能引发不可忽视的系统性误差。例如，检定人员在作业过程中若长时间手持金属标准器具，人体散发的热量将通过接触传导至器具本体，造成其局部热膨胀，从而引起长度变化，最终影响测量值的准确性。类似地，如果在未完成恒温适应的状态下急于开展比对操作，被测器件与标准器具之间的热平衡尚未建立，此时参与测量的对象仍处于热态变化中，极易导致结果产生漂移，造成测量不确定度增加。此外，对于某些高灵敏度测量仪器如激光干涉仪、光栅尺和电感测微仪等，其内部光学、电路与机械结构对温度变化极为敏感。在仪器刚开机时，内部热源尚未均匀分布，如未经过规定时间的预热与稳定阶段即开始使用，仪器系统本身可能处于热漂移过程之中，直接影响初期

测量的重复性与可信度。为规避此类问题，操作规程中应明确提出与温度相关的控制措施，包括操作前的充分预热、标准器具的恒温适应时间、避免直接手触金属部件、限制人员聚集在测量区等，同时设置合理的缓冲时间窗口，确保所有测量组件达到热稳定状态后再进行检定，从而实现长度计量数据的稳定性、可比性与高可信度。

## 4. 人员操作过程中的温升干扰

在高精度长度计量检定过程中，操作人员本身也可能成为温度干扰的重要来源。除直接接触引起的热传导外，操作者体温辐射会持续影响周边设备，尤其在密闭测量舱或小型恒温箱内，人体散发的红外辐射可能改变局部热平衡状态。人体温度通常维持在  $36^\circ\text{C}$  以上，在接触被测件或标准器具时，手部或身体散发的热量可能通过导热或辐射传递至测量对象，导致局部温度升高，进而引发微小但不可忽视的热膨胀现象。特别是在长时间手动调整、对准或反复读数过程中，温升效应会在金属标准器上逐渐积累，从而引起尺寸偏移。此外，操作人员活动带来的气流扰动也可能影响恒温环境的局部稳定性。实验表明，在无手套操作下的 10 分钟内，不锈钢基准器表面温度可上升  $1^\circ\text{C}$  以上，造成约  $10\mu\text{m}$  的长度变化。因此，在实际检定过程中应严格限制裸手接触金属标准器，必要时应使用隔热手套、非接触式对准装置，并缩短连续操作时间，以减少人员温升对测量结果的影响，保障检定精度的一致性与可控性。

## 三、不同测量方式下的温度敏感性分析

### 1. 比较法测量的温度误差源

比较法测量中，标准器与被测件的材料热膨胀特性差异是主要误差来源。若两者材质不同，温度波动会因膨胀程度不一致直接导致比对基准失准。即使材质相同，若未达到充分热平衡，局部温度梯度可能引发形变，破坏测量基准的统一性。此外，测量过程中外部热源的瞬时干扰（如人员走动带来的气流变化）可能通过传导或辐射影响设备，在微米级精度下此类微小扰动会被放大为可观测量误差。因此，高精度比较测量需建立严格的温度缓冲环境，通过热屏蔽装置减少外界干扰，并通过恒温系统延长设备与被测物的温度平衡时间，确保两者处于热力学稳态后再进行数据采集。

### 2. 绝对测量法的温度补偿挑战

绝对测量法依赖设备自身的标定基准，而温度变化会同时作用于测量工具的结构件与标定参数。例如，机械结构的膨胀会改变测量探头的实际位置，而光学系统的折射率变化则影响光路计算基准。虽然现代系统普遍

采用温度传感器进行实时补偿，但补偿模型的建立需假设温度场均匀分布，实际环境中设备各部位的热响应速度差异导致补偿滞后或局部参数失配。此外，温度与材料变形的非线性关系也增加了数学模型简化带来的残余误差。这使得高精度绝对测量必须结合多节点温度监控与动态补偿算法，通过迭代修正提升温度干扰抑制能力。

### 3. 高精密度测量系统中的热漂移问题

热漂移的本质是测量系统各组件因温度变化产生的非均匀形变，这种形变在纳米尺度会累积为显著的测量基准偏移。仪器内部电机、电路等热源的持续散热，会引发机械框架的渐进式膨胀，导致测量零点随时间缓慢偏移。为应对此问题，系统设计需从热对称性入手，通过布局优化使热变形相互抵消，例如采用环形结构分散热应力。同时，主动温控系统需在关键部件建立闭环温度调节，配合材料筛选降低热敏感性。软件层面则需通过空载状态下的基线漂移监测，建立时变误差预测模型，在数据后处理阶段实现动态补偿。

### 4. 室外长度测量的环境适应问题

室外测量的核心矛盾在于无法隔离动态温度场的影响。测量载体（如金属构件）直接暴露于环境中，其温度受日照强度、风速等变量综合作用，导致材料发生非均匀膨胀。长距离测量时，这种膨胀效应会沿测量路径逐段累积，形成宏观尺寸偏差。为此，测量策略需从时间与空间两个维度进行优化：时间上选择昼夜温差较小的时段，空间上通过分段测量缩短单次测量跨度以控制误差积累。同时采用移动式温度监测装置，实时获取被测物表面温度分布数据，结合材料热特性参数进行膨胀量反演计算，从而在数据处理阶段实现温度误差的全局修正。

### 四、某钢制构件长度检定中的温度控制案例分析

在一次针对某钢制结构构件的长度检定任务中，检定对象为一段大型钢制主梁，其理论设计长度具有较高精度要求。检定人员采用标准钢制卷尺对其进行现场比对测量。测量工作原定于实验室恒温状态下开展，但由于当时实验室室温为19.2℃，距离标准20℃尚有偏差，且标准尺与被测钢构件均为从室外运输至实验室的新近器件，未经过充分的恒温预处理即被直接用于比对作业。在第一次比对测量中，记录的实际长度数据比理论设计值偏长0.021mm。根据钢材热膨胀系数计算分析，该偏差量级与1℃左右温差所引起的热膨胀现象基本吻合，初

步判断为热平衡未建立所致。意识到存在潜在温度影响后，检定人员暂停操作，随即调整实验室空调系统，将室内温度稳定控制在 $20.0 \pm 0.2$ ℃范围内，并将标准尺与被测主梁同时平放于实验室中心区域，静置4小时以上，以确保两者充分达到热平衡状态。

在完成上述温控与等温处理后重新开展比对测量，此时所得的实际偏差值仅为0.004mm，明显缩小至设计误差允许范围之内，且测量结果更加稳定且重复性良好，基本排除了因热不均衡所致的干扰误差。该案例清晰表明，在长度计量实践中，若忽略测量对象及标准器具与环境之间的温度均衡，极易造成测量结果出现系统性偏差。通过加强实验环境的温控管理和对器具实施充分的热稳定处理，不仅可以提高检定结果的准确性和一致性，也验证了温度管理在高精度长度检定中的关键控制地位。此类经验对实际工程计量具有重要的参考价值。

### 结束语

温度作为影响长度计量检定精度的关键因素，其干扰效应贯穿于计量体系的各个环节。从标准器具的热膨胀，到测量环境的温控稳定，再到操作流程的规范控制，均需充分考虑温度变量对测量结果的系统性影响。本文通过理论分析与实际案例相结合的方式，系统揭示了温度对长度计量检定工作的干扰机理，并提出了若干控制措施。未来，随着高精度测量需求的不断提升，应进一步研究多物理场协同影响下的温度补偿算法与智能温控技术，以提升我国计量检定水平的国际竞争力与技术稳定性。

### 参考文献

- [1] 赵晓欢. 温度对长度计量检定的影响分析[J]. 实验室检测, 2025, 3(04): 149-151.
- [2] 黄文虎. 长度计量检定中温度的影响及对策[J]. 大众标准化, 2024, (08): 196-198.
- [3] 樊丽娟, 张泽武, 吕利, 等. 关于温度对长度计量检定的影响分析[J]. 产品可靠性报告, 2024, (01): 61-62.
- [4] 吴晓莉. 减小温度对长度计量影响的方法[J]. 中国质量监管, 2024, (03): 82-83.
- [5] 陈楠, 郝世豪, 尹雪. 对温度之余长度计量检定的影响研究[J]. 中国设备工程, 2020, (21): 167-168.