

力学计量器具准确度控制中重力加速度的影响及应对方法

华伟锋 唐 佳 胡云飞

浙江蓝剑检测技术有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】力学计量器具作为工业生产与科学研究的基石，其测量精准度至关重要，而重力加速度的复杂变化常引发测量偏差。基于此，文章首先介绍了力学计量与重力加速度理论基础，然后分析了重力加速度对主要计量器具的影响，最后针对性地提出了应对力学计量器具准确度控制中重力加速度影响的方法，旨在有效削弱重力加速度干扰，全面提升力学计量器具在复杂环境下的测量准确性，为力学计量领域的持续创新与广泛应用筑牢根基。

【关键词】力学计量器具；重力加速度；准确度控制

引言

力学计量器具在工业与科研中有着重要的基础性作用，而重力加速度作为一个关键的物理参数，并非恒定不变，其数值受到地球纬度、海拔高度以及地质构造等多种因素的显著影响。在质量测量方面，无论是传统的机械天平还是先进的电子天平，其测量原理都与重力加速度密切相关。当使用天平测量物体质量时，若在不同重力加速度环境下使用同一套砝码，由于砝码所受重力的改变，会导致测量结果出现偏差。在力值测量中，标准测力机和称重传感器等设备的力值复现精度同样受到重力加速度的制约。

1 力学计量与重力加速度理论基础

1.1 重力加速度的物理特性

首先，重力加速度是一个与地球引力场密切相关的物理量，其在地球表面的分布呈现出明显的规律性，主要受到纬度和海拔高度的影响。一方面，从赤道到两极重力加速度逐渐增大，使得在不同纬度地区进行力学计量时，如质量、力值和压力的测量，必须考虑重力加速度的差异对测量结果的影响。另一方面，海拔高度对重力加速度的影响也十分显著。根据万有引力定律，物体所受的引力与物体到地心的距离的平方成反比。随着海拔高度的增加，物体与地心的距离增大，地球对物体的引力减小，从而导致重力加速度减小。此外，为了准确计算地球上不同地理位置的重力加速度，国际上采用了国际标准重力公式，其中较为常用的是IGSN71 (International Gravity Standardization Net 1971) 模型。该模型基于地球的物理

特性和大地测量数据，通过数学公式来描述重力加速度与纬度和海拔高度之间的关系。

1.2 力学计量基本原理

力值的定义在国际单位制中是以牛顿(N)为单位，根据牛顿第二定律 $F=ma$ 来定义，即1牛顿等于使1千克质量的物体产生1米每二次方秒加速度的力。力值的测量通常通过各种力传感器来实现，而力传感器的测量原理往往与重力加速度密切相关。应变式力传感器是利用弹性元件在力的作用下产生应变，通过测量应变来计算力值。在重力场中，弹性元件不仅受到被测力的作用，还受到自身重力的影响，而自身重力与重力加速度成正比。因此，重力加速度的变化会导致力传感器测量结果的偏差。此外，杠杆原理也是力学中的基本原理之一，但杠杆原理在实际应用中对重力加速度具有一定的敏感性。由于重力加速度 G 在不同地理位置会发生变化，当在不同重力加速度环境下使用同一套杠杆式计量器具时，会导致测量结果出现偏差。

2 重力加速度对主要计量器具的影响分析

2.1 质量测量仪器

电子天平是现代质量测量中广泛使用的仪器，其核心部件是电磁力补偿系统，该系统通过产生与被测物体重力相平衡的电磁力来实现质量测量。电子天平的工作原理基于电磁力平衡原理，当平衡状态达到时，动圈产生的电磁力与被测物的重力相等，即 $F=G=mg$ ，其中 m 为被测物体的质量， g 为重力加速度。然而，重力加速度的变化会与电磁力补偿系统产生耦合，从而影响电子天平的测量准确性。

在不同重力加速度环境下，由于物体所受重力发生变化，为了保持平衡，电磁力补偿系统需要产生不同大小的电磁力，这就要求系统输出的电流发生相应改变。但在实际的电子天平中，由于传感器、电路等部件的特性并非完全理想，当重力加速度变化时，电磁力补偿系统并不能精确地调整到与重力变化相匹配的状态，从而导致测量误差。

2.2 力值测量系统

称重传感器作为力值测量系统中的常用元件，广泛应用于工业生产、商业称重等领域。重力加速度的变化会导致称重传感器的灵敏度发生漂移，从而影响测量的准确性。称重传感器通常采用应变片式结构，其工作原理是基于金属的应变效应。当外力作用于传感器的弹性元件时，弹性元件发生形变，粘贴在其上的应变片电阻值随之改变，通过测量电阻变化来检测力值。在重力场中，弹性元件不仅受到被测力的作用，还受到自身重力的影响，而自身重力与重力加速度成正比。当重力加速度发生变化时，弹性元件所受的重力改变，导致其应变状态发生变化，进而影响应变片的电阻变化，最终使传感器的输出信号发生改变，即灵敏度发生漂移。

2.3 其他相关仪器

材料试验机是用于测试材料力学性能的关键设备，通过对材料施加不同的载荷，测量其应力-应变关系，从而评估材料的强度、韧性等性能指标。重力加速度的变化会对材料试验机的载荷测量产生偏差，进而影响对材料性能的准确评估。通过对不同材料试验机在不同重力加速度环境下的大量实验数据进行分析，发现重力加速度变化与载荷测量偏差之间存在一定的规律。随着重力加速度的减小，载荷测量结果偏小；重力加速度增大，载荷测量结果偏大。这种偏差还与材料试验机的类型、传感器的灵敏度以及测量量程等因素有关。对于灵敏度较高的传感器，重力加速度变化对载荷测量的影响更为明显；在大量程测量时，由于传感器的非线性特性，重力加速度变化引起的相对偏差可能会更大。

3 应对力学计量器具准确度控制中重力加速度影响的方法

3.1 重力补偿校准技术

3.1.1 现场绝对重力测量方法

激光干涉绝对重力仪是一种高精度的重力测量设备，其工作原理基于自由落体定律和激光干涉测距技术。在测

量过程中，一个角锥棱镜在真空中自由下落，利用激光干涉仪测量角锥棱镜下落过程中的位移信息。每当角锥棱镜下落半个激光波长的距离时，激光干涉仪就会产生一个干涉条纹变化，通过精确测量干涉条纹的变化数量和时间间隔，结合原子频标技术提供的高精度计时，就可以精确计算出角锥棱镜在重力作用下的加速度，从而得到当地的绝对重力加速度值。以美国Micro-g LaCoste公司生产的A-10绝对重力仪为例，它在重力基准点观测、重力网精度控制、地震监测等领域有着广泛的应用。A-10绝对重力仪采用激光干涉测距技术，同时利用原子频标技术（铷钟）进行精确计时。例如，在某地区进行重力测量时，A-10绝对重力仪通过测量自由下落的角锥棱镜的运动轨迹，精确计算出该地区的重力加速度值，为该地区的地质勘探、地球物理研究等提供了重要的数据支持。

3.1.2 基于GNSS的地理位置修正系统

应对力学计量器具准确度控制中重力加速度影响，还可以采用全球导航卫星系统（GNSS），如GPS、北斗卫星导航系统等，能够通过卫星信号精确确定测量地点的地理位置信息，包括经纬度和海拔高度。基于GNSS的地理位置修正系统正是利用这一特性，结合国际标准重力公式（如IGSN71模型），实现对重力加速度的精确修正，从而减小其对力学计量器具测量结果的影响。同时，GNSS的定位原理基于空间后方交会。以北斗卫星导航系统为例，地面上的接收机通过接收多颗北斗卫星发射的信号，测量卫星与接收机之间的距离（伪距）。由于卫星的位置是已知的，通过测量至少四颗卫星的伪距，利用空间后方交会原理就可以解算出接收机的三维坐标。

3.2 仪器设计改进方案

可调配重系统的设计原理基于力的平衡原理，通过调整配重的位置或质量，使力学计量器具在不同重力加速度环境下能够自动保持平衡，从而减小重力加速度对测量结果的影响。其结构通常包括一个可移动的配重块、驱动装置以及控制系统。配重块通过导轨或其他机械结构与计量器具的主体相连，驱动装置可以是电机、气缸等，用于控制配重块的移动。控制系统则根据测量地点的重力加速度信息，以及计量器具的测量需求，精确控制驱动装置，调整配重块的位置或质量。以某高精度电子天平的可调配重系统为例，当电子天平在不同地区使用时，首先通过内置的重力传感器或与外部

的重力测量设备连接,获取当地的重力加速度值。控制系统将获取到的重力加速度值与标准重力加速度值进行比较,计算出重力加速度的变化量。根据这个变化量,控制系统向驱动装置发送指令,驱动装置通过电机带动丝杠转动,使配重块沿着导轨移动到合适的位置。

3.3 软件修正算法

基于国际重力公式的自动补偿算法是一种通过对测量地点的重力加速度进行精确计算,从而对力学计量器具测量结果进行自动修正的方法。研究人员可以利用GNSS等定位技术获取测量地点的经纬度和海拔高度信息。这些信息是计算重力加速度的关键参数,GNSS能够实时、准确地提供这些数据,为后续的计算奠定基础。将获取到的经纬度和海拔高度信息代入国际标准重力公式,如IGSN71模型,这种自动补偿算法具有诸多优势。它能够实现对重力加速度影响的实时修正,无需人工干预,大大提高了测量效率和准确性。在工业生产线上,使用基于该算法的电子天平进行质量测量时,能够实时根据当地的重力加速度对测量结果进行修正,确保产品质量的一致性。同时,该算法基于国际标准重力公式,具有广泛的适用性和通用性,适用于全球范围内不同地理位置的力学计量。

3.4 优化量值溯源体系

3.4.1 建立区域重力修正数据库

建立区域重力修正数据库是优化量值溯源体系的关键步骤。该数据库的建立方法主要包括以下几个方面。收集大量的重力测量数据,这些数据来源广泛,包括利用绝对重力仪、相对重力仪等设备在不同地理位置进行的实地测量数据,以及从相关的地球物理研究项目、地质勘探数据中获取的重力数据。对收集到的数据进行严格的质量控制和筛选,去除异常数据和噪声干扰,确保数据的准确性和可靠性。对数据进行整理和分类,按照地理位置、测量时间、测量方法等因素进行标注和归档,以便于后续的查询和使用。通过建立这样的区域重力修正数据库,并实施有效的数据更新机制,可以为力学计量器具的校准和量值溯源提供准确、及时的重力修正信息,大大提高力学计量的准确性和可靠性。

3.4.2 动态校准证书的数字化实现

动态校准证书的数字化实现是量值溯源体系优化的重要内容。其实现方式主要依托现代信息技术,利用高精度传

感器实时监测力学计量器具的工作状态和环境参数,包括重力加速度、温度、湿度等。将这些监测数据通过数据采集系统传输到计算机中,利用专门开发的软件对数据进行分析 and 处理。根据测量数据和预先建立的数学模型,实时计算出重力加速度对力学计量器具测量结果的影响,并生成相应的修正系数。动态校准证书数字化具有广阔的应用前景。在工业生产中,生产线上的力学计量器具可以通过与数字化校准证书系统实时连接,自动获取最新的校准信息和修正系数,实现对测量结果的实时修正,提高生产过程的质量控制水平。

3.4.3 跨区域仪器使用的修正规范

为应对力学计量器具准确度控制中重力加速度影响,可以制定跨区域仪器使用时钟,以保障力学计量的准确性。在仪器使用前,操作人员应首先确定仪器的使用地点,利用GNSS设备或其他定位手段获取该地点的经纬度和海拔高度信息。根据获取的地理位置信息,查询区域重力修正数据库,获取当地的重力加速度值以及相应的修正系数。对力学计量器具进行校准,在校准过程中,将查询到的重力加速度值和修正系数输入到校准设备或软件中,按照校准规范进行校准操作,确保仪器在当地重力加速度环境下的准确性。

结束语

本文通过对质量测量仪器、力值测量系统、及其他相关仪器的影响分析,明确了重力加速度干扰计量准确性的关键环节。同时,文章提出了涵盖重力补偿校准技术、仪器设计改进、软件修正算法以及量值溯源体系优化等一系列应对策略,为提升力学计量器具在不同重力环境下的准确度提供了有效途径。然而,本研究在区域重力场复杂变化的精确模拟以及跨区域校准的实时性方面仍存在一定局限。未来,通过多学科交叉融合,研究人员将进一步完善相关理论与技术,推动力学计量领域的持续发展。

参考文献:

- [1]姚彬.探讨重力加速度对力学计量器具精准性的影响[J].中国设备工程,2022(15):242-244.
- [2]杨林.力学计量仪器检定工作的常见问题及措施[J].造纸装备及材料,2022,51(2):183-185.
- [3]张艳.重力加速度对力学计量器具准确度的影响分析[J].轻工标准与质量,2020(5):102-103.