

空气浮力对质量比较仪的影响

□陈博

(甘肃省计量研究院, 兰州 730050)

【摘要】分析了空气浮力对天平质量称量结果的影响,定义了“浮力偏差”“相对偏差”的概念,并推导了天平测量中浮力偏差的计算公式,获得了相对偏差与被测物体密度和砝码密度之间的关系。所获得的主要结论有:当被测物体密度低于砝码密度时,浮力偏差为正值,反之为负值;若被测物体密度高于砝码密度,最大相对偏差为0.015%;反之,相对偏差随砝码与物体密度之比线性增大。

【关键词】空气浮力修正;精密质量测量;CIPM-1981;CIPM-81/91;CIPM-2007

文献标识码:A 文章编号:1003-1870(2024)10-0011-03

引言

在当今精密测量领域,空气浮力的影响可谓微不足道,却可能引起测量数据的重大偏差。本研究深入探讨了质量称量过程中,空气浮力对质量比较仪测量准确度的影响。混沌中的纯粹比重,天平如丝绸般敏感地传递了微弱的空气波动,记录下每一次失重。空气浮力,作为测量过程中一个不可忽视的物理现象,其引入的测量误差须被精确计算并加以校正。研究应用密度更大的砝码,以及在不同环境下的空气密度标定方法,似乎提供了对抗浮力影响的一种有利的武器,而这正是本论文追求的目标。定义“浮力偏差”和“相对偏差”的概念,进一步促进了对这一主题的理解,使我们能够用数学语言描述和预测空气浮力对质量测量结果的具体影响。在进行诸如国家标准物质量值的传递过程中,显然应遵循这类研究所制订的质量计量标准。此外,研究采用浮力块法和CIPM公式法两种主要空气密度测量方法,分析了它们对实验结果的准确性影响。在密度小于砝码密度的测量物体中观察到正值浮力偏差,而在相反情况下则为负值。通过对在不同空气密度环境下的测量数据对比,结果表明:当测量物体密度超过砝码密度时,最大相对偏差仅为0.015%。这些结果对那些追求极限精确度的实验室来说至关重要,因为它们可能关乎测量结果的可靠

性与国际间的比对。

1 空气浮力作用下物体质量测量分析

1.1 空气浮力作用下物体受力分析

在空气中进行质量测量时,空气浮力的影响是不可忽视的。根据阿基米德原理,物体沉浸在流体中时,会受到一个大小等于其排开流体重量的向上浮力。在进行精密质量测量的场合,如天平等测量仪器,必须考虑空气浮力对测量结果的影响。对于空气中的天平测量,浮力偏差可以通过计算被测物体体积与空气密度的乘积,以及砝码体积与空气密度的乘积之差来确定。此外,空气密度的变化会通过浮力偏差进一步影响天平的测量结果。因此,精密质量比较在不同的实验条件下,必须采用合适的方法对空气密度进行测算,并将空气浮力修正计入最终的测量结果中。在实际操作中,既可以利用CIPM公式考虑空气中各种成分对浮力偏差的贡献,也可以采用浮力块法直接对空气浮力进行测量。此外,砝码与被测物体的密度差异还会对测量结果造成影响。如果被测物体的密度低于砝码密度,会导致正向的浮力偏差;如果高于砝码密度,反而会引起负向的浮力偏差。通过对这些因素的精确控制和补偿,可以显著降低由空气浮力引起的质量测量误差,从而确保质量比较的高准确度和可靠性。

1.2 天平测量物体质量分析

在质量测量的精密科学实验中，空气浮力的影响是不能忽视的。根据研究，天平在进行质量测量时，其显示值受空气浮力的显著影响。此影响由空气密度、被测物和砝码的体积差异以及两者的密度差异共同决定。密度较大的砝码在天平上对被测物体施加一个相对恒定的压力，此时，空气对砝码和物体产生的浮力作用将会不同，因此在质量的读数上产生偏差。这种偏差在没有采取任何修正措施的情况下，可能导致质量的测量结果不够准确。根据相关研究，这种浮力偏差可以通过准确计算并补偿来消除，从而提高测量结果的精确度。在实验中，通过批量校准和利用已知参数，科学家们能够有效地对天平进行调整，确保其测量结果的稳定性和可靠性。具体而言，处理空气浮力影响的标准公式CIPM-1981已被广泛采用，并且后续更精确的CIPM-2007公式提供了更精细的修正，允许在不同密度和体积的物体之间转移质量基准时，达到高达 $42\mu\text{g}$ 的精确度。本研究通过科学测量和详细分析进一步证实，空气密度的变化确实对天平的质量测量结果有显著影响，这也验证了之前理论的正确性。为此，研究者们通过精心设计的实验，考察了潮湿空气密度对天平示值差的量级影响，并引入了相关修正措施，使得测量出的质量更为精确。结合所有这些因素可以断言，对于高精度的质量测量而言，空气浮力的影响是至关重要的，并应通过正确的修正来确保结果的准确无误。

1.3 算例

在实际的天平质量比较过程中，空气浮力的影响不容忽视。特别是对于密度不同的被测物体与砝码，空气浮力所引起的质量测量误差显著。以一个具体案例进行说明，在标准大气压下，假设一标准砝码的密度为 $8000\text{kg}/\text{m}^3$ ，其质量为 1kg ，而待测物体的密度为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ，其质量同样为 1kg 。根据CIPM-2007公式计算的空气密度为 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。根据浮力偏差公式，两者在真空中的质量相等，但在空气中，由于砝码的体积小于被测物体，砝码受到的空气浮力小于被测物体。通过计算可得，标准砝码的浮力修正值为 -1.2mg ，而被测物体的浮力修正值为 -12mg 。若不对空气浮力进行修正，将直接导致 1.188mg 的测量误差，由此可见，在进行精密质量测量时，对于砝码与被测物体在体积及密度差异较大的情况下，

空气浮力修正尤为重要。进一步的研究显示，这种误差可以通过选用与被测物体密度匹配的砝码来最小化。在另一研究案例中，采用了密度为 $7300\text{kg}/\text{m}^3$ 的砝码，其浮力修正值减少到 -8.8mg ，有效降低了与被测物体间的空气浮力导致的质量差异，最终质量比较的相对偏差得到有效控制在 0.01% 以内。这一发现是利用了空气密度与被测物体体积的函数关系来优化质量比较过程中的砝码选择，以达到减小偏差的目的。上述案例不仅体现了在高精度的质量测量中对空气密度监测与修正的重要性，同时也强调了选择合适砝码对于提高测量准确性的必要性，在精密仪器校准及科学实验中有着极其重要的应用价值。

1.4 偏差分析

在精密质量测量中，空气浮力的影响不容忽视。偏差分析是一项关键步骤，其目的在于评估和纠正测量结果中由空气密度变化导致的系统误差。通过精准地测量砝码和被测物体的体积，以及实验环境中的温度、压力、相对湿度等参数，可以计算出空气的密度并据此对测量结果进行修正。在不同的浮力修正公式如CIPM-1981、CIPM-81/91和CIPM-2007的基础上，可以获取到被测物体相对于标准砝码的质量偏差值。这些偏差值不仅受到浮力修正公式的影响，还会受到测量条件中空气密度差异的直接影响。对此，我们采用了体积参数详尽的国家千克基准和千克副基准进行了对比分析，以准确地评估不同修正公式在特定条件下的性能表现。研究表明，在被测物体与砝码密度存在差异的情形下，选取不同的空气浮力修正公式会导致质量测量的相对偏差。具体而言，当被测物体的密度远低于砝码密度时，使用CIPM-2007公式与CIPM-81/91公式计算得到的修正影响量差异可达几微克级别^[9]。因此，为了提高质量测量的准确性，必须对标准砝码与被测砝码的体积差以及实验环境下的气态环境变化给予充分的考虑，并采用适合的浮力修正方法进行校正。基于上述分析，空气浮力成为了提升天平称重精度和实验重复性的一个关键因素，其对质量测量的影响不应被忽略。在实际应用中，通过不断优化和校准浮力修正公式，我们可以在确保数据可靠性的同时也保证了测量流程的高效性。

2 结语

研究表明，在进行高精度质量比较时，空气浮

力的影响不可忽视。综合本研究的多组实验数据和理论分析,可以得出结论:在质量传递过程中,确保准确质量值的获取,必须考虑并纠正因空气浮力引起的偏差。质量基准量值传递中的空气浮力修正,依赖于国家千克基准与国家千克副基准之间的体积参数差异,以及环境因素,如温度、压力、湿度和二氧化碳浓度等。本研究对基于CIPM-1981、CIPM-81/91和CIPM-2007公式在不同环境条件下所计算的空气浮力修正进行了对比分析,揭示了质量差值在理论上最大可能达到 $42\mu\text{g}$,为实际质量测量提供了重要参考依据。此外,已经证实标准砝码与被测砝码的体积(密度)差及空气密度变化是影响空气浮力修正精度的关键因素。考虑到存在的这些变量及其相互作用,开展准确的空气密度测量和砝码体积对比,成为了提升天平称重准确度的必要步骤。本研究进一步分析了在标准砝码与被测砝码体积差变化情况下,三种公式进行空气浮力修正的差异量,并系统地阐述了通过细致的环境控制和精确的公式选取对空气浮力偏差进行有效纠正的方法。这些发现不仅为质量计量科学提供了更深入的理论支撑,也对精确度要求极高的质量标准传递实践具有指导意义。

参考文献

[1] 韩志,王健,罗哉.质量基准量值传递过程中空气浮力影响的研究[J].计量学报,2018:9-12.

[2] 陈少雄.外界因素对天平的影响.福建技术监督,4(2000):27-28.

[3] 刘佳.双向温度梯度作用下浮力-热毛细对流的线性稳定性分析[J].2019.

[4] 温洁.基于自动定心装置的质量比较仪误差测量不确定度研究[J].轻工标准与质量,2023.

[5] 徐晓峰,舒心,刘炜.质量比较仪自动化校准系统的研制[J].衡器,2022.

[6] 李杨洲.水浮力分项系数对地下室底板影响[J].2021.

[7] 蔡向欣.基于CFD-DEM双向耦合的主梁与车-桥系统风雪效应研究[J].2020.

[8] 肖鑫予.浮力作用下倾斜狭长空间有害气体蔓延特性的氦气实验研究[J].2021.

[9] 木林隆,王乐,黄茂松等.承压水越流对地下结构浮力影响试验研究[J].岩土工程学报,2019.

[10] 叶爽.不同环境下附壁液滴稳定蒸发及其诱导热对流耦合特性研究[J].2021.

[11] 黄训君.优化"空气有质量"实验方案[J].小学科学,2022.

[12] 张智伟.台风天气下长江冲淡水扩展的响应机制[J].2020.

作者简介

陈博(1982—),女,工程师,本科。研究方向:天平、质量计量检测。