

影响液体相对密度天平检定结果的综合因素

□王睿雪¹ 党永鸣² 潘梓锋³

1. 中检西北计量检测有限公司
2. 中检西北计量检测有限公司
3. 北京市朝阳区计量检测所

【摘要】液体相对密度天平的检定是一项对环境、配套设备、检定前准备工作、检定过程中的影响和设备自身等因素要求严格的工作，因此，在其检定工作中应严格控制各影响因素，以提高液体相对密度天平检定结果的准确度。

【关键词】液体相对密度天平；结构组成；检定特点；影响因素

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2026）03-0032-04

Comprehensive Factors Affecting the Verification Results of Liquid Relative Density Balances

【Abstract】 The verification of a liquid relative density balance is a task that has strict requirements on factors such as the environment, supporting equipment, pre-verification preparations, factors influencing the verification process, and the equipment itself. Therefore, all influencing factors should be strictly controlled in the verification work to improve the accuracy of the verification results of the liquid relative density balance.

【Keywords】 liquid relative density balance; structural composition; verification characteristics; influencing factors

引言

液体相对密度天平检定是一项对细节要求严格的精密操作。其检定结果的准确度不仅取决于环境因素、标准器与辅助设备、检定前准备工作等，更与人员操作与设备自身等因素密切相关。为确保其检定结果的准确可靠，应从液体相对密度天平的作用原理、测量方法、结构组成和检定特点等方面，系统地分析影响其检定结果准确度的综合因素。

1 液体相对密度天平的作用原理和测量方法

1.1 作用原理

其基于阿基米德定律和杠杆原理：浸在液体中的

物体受到向上的浮力，浮力的大小等于物体排开的液体所受的重力。

数学表达式： $F_{浮}=G_{排}=\rho_{液(气)} \cdot g \cdot V_{排}$

单位： $F_{浮}$ ——N；

$\rho_{液}$ —— kg/m^3 ；

g ——N/kg；

$V_{排}$ —— m^3 。

1.2 液体密度测量方法

在20℃时，分别测定测锤在水和样品中的浮力。由于测锤所排开的水的体积与所排开的样品的体积相同，所以根据水的密度及测锤在水与样品中

的浮力，即可计算出样品的密度。

待测样品的密度 ρ ，以“g/mL”表示，按以下公式计算：

$$\rho = \frac{m_2}{m_1} \times \rho_0$$

式中：

m_2 ——测锤浸于样品中时骑码的读数；

m_1 ——测锤浸于水中时骑码的读数；

ρ_0 ——20℃时蒸馏水的密度，为0.99820 g/mL。

2 液体相对密度天平的结构组成

2.1 测量系统

2.1.1 横梁与刀口系统

2.1.2 等臂横梁：由轻质刚性材料制成，中央和一端装有坚硬的玛瑙刀口。等臂横梁是液体相对密度天平的“心脏”，其灵敏度取决于刀口的锋利度和光洁度。

2.1.3 中央刀口（支点刀）：向下，支撑在玛瑙刀承上，是整个横梁的平衡支点。

2.1.4 一端刀口（承重刀）：向上，通过钩砵悬挂测锤。

2.2 测锤与悬挂系统

2.2.1 测锤：由相对固定体积和质量的玻璃棒构成。在20℃时测锤体积为5cm³[1]。

2.2.2 玻璃量筒：盛放待测液体，内径足够大，确保测锤不接触玻璃量筒内壁。

2.2.3 悬线金属丝：直径为(0.15~0.20)mm的白金丝或是由不亲水、不易折断和耐腐蚀的材料制成。上端悬挂于天平的挂钩上，下端悬挂测锤。其作用是传递力，同时要求本身极细，以减小其在液体中产生的附加浮力的影响。

2.3 平衡锤系统

2.3.1 平衡锤：位于天平的横梁一侧，用于初始调节空载平衡。

2.3.2 弯头温度计：通常使用温度计夹置于液体中，用于精密测量液体的温度。

2.4 平衡与读数系统

2.4.1 骑码系统：骑码系统是液体相对密度天平特有的读数装置。其配置一组专用砵码，规格有：5g（2个），500mg（2个），50mg（2个），5mg（2个）。

2.4.2 横梁分度：天平横梁上均匀分布10个V

形凹槽，专门放置骑码。天平的任意相邻两个槽口之间的相对密度差值即为密度分度值。天平1分度相当于0.0001（相对密度值）。分度值应以 1×10^k ， 2×10^k 或 5×10^k 形式表示，指数k为正整数、负整数或等于零。根据骑码放置的数量读取密度值，再用其除以水的密度值计算出相对密度值。当测锤浸入液体中受到浮力作用时，通过向横梁右侧的特定槽口上放置相应质量的骑码，使横梁恢复平衡。

2.4.3 指针与平衡调节器：横梁带动指针，使横梁上的平衡指针尖与立柱架上固定的指针尖保持在同一水平轴线上，针尖间距不应超过1 mm，以判断横梁的平衡状态。

2.5 稳定与辅助系统

2.5.1 水平调节装置：底座配有可调水平螺钉，将15g钩码挂在天平挂钩上，把5mg骑码放在横梁上的第5号槽口上，调整天平底座的水平螺钉，使横梁处于平衡位置，确保天平在水平状态下工作。

2.5.2 温度表夹：用于固定弯头温度计，便于弯头温度计准确测量液体温度。

3 液体相对密度天平的检定特点

3.1 检定优点

3.1.1 量值溯源：可以将其量值溯源至质量基本单位。

3.1.2 环境适应性强：仪器本身不需要电源，可在无电源的现场或特定环境中检定。

3.2 检定缺点

3.2.1 操作繁琐：需要恒温、清洁、调平、除泡、调节、读数，步骤多，对操作人员技能要求较高。

3.2.2 检定结果受人为因素影响大：读数视线差、气泡去除是否彻底、横梁是否平衡等，均会引入人为误差。

3.2.3 对环境条件要求较高，需要提前恒温。

4 检定项目及依据文件

4.1 检定项目

本文章主要阐述对液体相对密度天平计量性能检定结果有影响的因素，计量性能检定项目有：

- (1) 测锤系统与15g钩码的质量差值；
- (2) 测锤体积差所引起的相对密度误差；
- (3) 横梁分度的间距差所引起相对密度误差；

- (4) 天平变动性所引起的相对密度误差；
- (5) 以上三项指标之和的相对密度误差。

4.2 依据文件

检定工作依据JJG 171-2016 液体相对密度天平检定规程，本规程适用于液体相对密度不超过2.0000的机械式液体相对密度天平的首次检定、后续检定和使用中检查。

5 影响液体相对密度天平检定的综合因素

5.1 环境因素

5.1.1 温度：液体密度对温度极其敏感，因此，温度是首先要控制的关键因素。绝大多数液体（尤其是油品、化学品）的密度随温度升高而下降。检定前测锤、天平、标准砝码等应在实验室内恒温足够时间（通常2小时以上）。检定时环境温度和蒸馏水温度应控制在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 震动与气流：液体相对密度天平的横梁非常灵敏，微小的震动或气流会引起天平横梁的摆动，不易稳定于平衡状态，从而影响读数的准确度。因此，该天平应放置在稳固、防震的实验台上（如大理石台面），并远离门窗、通风口、风扇等易产生震动和气流区域。

5.2 辅助设备因素

5.2.1 测锤：其表面任何微量的油污、灰尘、气泡附着都会改变其有效体积，从而直接影响阿基米德浮力的计算，是其主要误差来源之一。检定前应使用有机溶剂（如无水乙醇、乙醚）彻底清洗并完全干燥。测锤不得有划痕、凹陷或变形，其体积标值应准确。

5.2.2 检定用液体：通常使用蒸馏水或已知密度的标准液体（如标准密度液）作为参考。水的纯度、标准液体的标准值及其不确定度直接影响检定结果的准确度。

5.2.3 玻璃量筒：玻璃量筒的清洁度与测锤要求相同。量筒内径需足够大，通常要求测锤与筒壁间距不小于5mm，以确保测锤与筒壁无接触。

5.3 检定前准备工作

5.3.1 液体除气：液体中溶解的气体在恒温或搅动后可能形成微小气泡附着在测锤或量筒内壁上，因此，应提前对液体进行除气处理，如超声脱气、加热后冷却等。

5.3.2 消除气泡（核心操作）

先用蒸馏水润洗量筒和测锤2-3次，在玻璃量筒内倒入足量的待测液体，确保测锤能完全浸没，且液面距筒口有一定距离。再将测锤缓慢、倾斜地浸入液体中，可轻轻旋转，帮助附着的气泡逸出。从多个角度仔细观察，确保测锤表面、悬线丝等部位均无微小气泡附着，这些因素均是误差的主要来源。

5.3.3 温度稳定：检定前将蒸馏水倒入玻璃量筒至适当高度，将测锤、天平、玻璃量筒、专用标准砝码等放置在实验室内恒温足够时间（通常2小时以上），确保其温度完全一致。

5.3.4 水平调节：天平底座应严格调至水平，否则横梁无法自由平衡。

5.4 检定过程中的影响因素

5.4.1 检定用液体：应使用蒸馏水。

5.4.2 液体温度：在环境条件满足要求的前提下，在玻璃量筒内插入一支分度值 $\leq 0.2^\circ\text{C}$ 的精密温度计，待5min后读取蒸馏水的温度值。该温度即为密度测量时的实际温度，检定前后蒸馏水的温度差不应超过 0.5°C 。

5.4.3 人员因素

(1) 读数方法：因液体相对密度天平属于机械式，读数存在视觉误差。读数前，首先使横梁上的平衡指针尖与立柱架上固定的指针尖保持在同一水平轴线上，针尖间距不应超过1mm，以判断横梁的平衡状态；读数时，视线应与分度线保持水平。

(2) 熟练程度：操作人员的熟练程度和规范性直接影响上述所有因素的控制效果。熟练的操作员能有效识别并消除气泡，控制温度的影响，并准确地读取数据。

5.4.4 数据处理

(1) 计算公式：应使用正确的计算公式。

(2) 温度修正：检定时，记录的密度值应对应明确的液体温度，若蒸馏水的温度偏离 20°C ，其相对密度值应按规定的公式进行修正。

5.5 设备自身因素

对于机械式液体相对密度天平，玛瑙刀口和刀承的清洁、磨损和锋利度直接影响灵敏度和回程差，应检查其是否完好、清洁。

6 结语

液体相对密度天平是一种常见的密度测量仪器。影响液体相对密度天平检定结果的因素诸多，检定人员应严格控制环境、辅助设备和检定前准备工作等因素，规范检定操作过程，以确保液体相对密度天平检定工作的科学和严谨及其检定结果的准确和可靠。

参考文献

[1] JJG 171-2016 液体相对密度天平检定规程[S].

作者简介

王睿雪，女，助理工程师/技术员，任职于中检西北计量检测有限公司；研究方向：温度，力学计量。

党永鸣，男，助理工程师/技术员，任职于中检西北计量检测有限公司；研究方向：热学，力学，理化计量。

潘梓锋，助理工程师，任职于北京市朝阳区计量检测所；研究方向：非自动衡器。