

数字指示秤计量检定的不确定度评定及优化研究

□孙成宏

射阳县综合检验检测中心

【摘要】文章概述了数字指示秤计量检定的相关内容，分析了不确定度来源，同时构建示值误差测量模型与不确定度评定体系，以量化示值重复性、标准砝码误差等主要影响因素，并结合多量程设备检定数据验证方法有效性。最后，探讨数字指示秤计量检定的优化措施，以保证检定质量。

【关键词】数字指示秤；计量检定；不确定度评定；示值误差；优化措施

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2026）02-0034-03

Research on Uncertainty Evaluation and Optimization for Metrological Verification of Digital Indicating Weighing Instruments

【Abstract】This paper summarizes the metrological verification content of digital indicating weighing instruments, analyzes the sources of uncertainty, constructs an indication error measurement model and an uncertainty evaluation system to quantify the main influencing factors such as indication repeatability and standard weight error, and verifies the effectiveness of the method by combining verification data of multi-range equipment. Finally, the optimization measures for the metrological verification of digital indicating weighing instruments are discussed to ensure verification quality.

【Keywords】digital indicating weighing instrument; metrological verification; evaluation of uncertainty; indication error; optimization measures

引言

数字指示秤具有计量准确度高、操作便捷等优点，已广泛应用于贸易结算、工业生产等领域，为保持最佳性能，需要定期进行检定。其检定结果的不确定度影响量值传递的可靠性，如果超出允许范围，将引发贸易纠纷与产品生产质量问题。基于数字指示秤的多分辨力特征，计量检定时需要对多个称量点进行校准，但现有方法存在忽略分度值与载荷点耦合影响因子、操作控制不足等问题，需要构建科学的不确定度评定模型并采取可落地的优化方案，保证数字指示秤检定结果可靠。

1 数字指示秤的计量检定设计

1.1 参照依据

参照JJG539-2016《数字指示秤检定规程》，明确检定项目、技术要求与方法。参照JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》（GUM法），规范不确定度计算与表达方式，对于非线性模型，参照JJF1059.2-2012进行验证。结合JJG99-2022《砝码检定规程检定规程》，保证标准砝码量值准确^[1]。

1.2 对象说明

选取市场常用中准确度级Ⅲ与普通准确度级Ⅳ数字指示秤，涵盖计重、计价、计数三类，具体参数如表1所示，所有设备均处于正常使用周期，无明显故障。

表1 被检数字指示秤基本参数表

设备类型	准确度等级	检定分度数 N=Max/e	最小称量 (Min)	最大称量 (Max)	检定分度值 (e)
计重秤	中准确度级 (III)	3000	20e	3000e	0.1 ≤ e ≤ 2g
计价秤	普通准确度级 (III)	100 ≤ n ≤ 1000	10e	1000e	e ≥ 2g
计数秤	中准确度级 (III)	3000	20e	3000e	e ≥ 5g

1.3 方法选取

选用直接比较法+闪变点法进行检定。首先，将设备预热30min后，按照“零点→最小称量→500e→50%最大称量→2000e→最大称量→2000e→50%最大称量→500e→最小称量→零点”的顺序，加（卸）载标准砝码，每个载荷点停留30s读数。其次，通过闪变点法确定化整前示值，载荷下示值为，逐次添加0.1e小砝码至示值变为(I+e)，记录砝码总质量ΔL，并计算化整前的示值：P=I+0.5d-ΔL与示值误差E=P-L；最后，对每个载荷点连续重复测量3次，并取平均值为结果^[2]。该过程中所用的标准砝码为M1等级，具体参数配置如表2所示

表2 M1等级标准砝码最大允许误差表

标称值	最大允许误差 (mg)	标称值	最大允许误差 (g)
100mg	± 0.5	1kg	± 0.05
200mg	± 0.6	2kg	± 0.10
500mg	± 0.8	5kg	± 0.25
100g	± 5.0	10kg	± 0.5

2 数字指示秤计量检定的不确定度评定

结合已有研究和计量检定工作经验，数字指示秤计量检定的不确定度主要源于四大类因素，各因素的影响权重与分布特征如下。

2.1 不确定度的主要来源

(1) 测量重复性误差 (u₁)：该误差由设备自身稳定性、操作一致性等因素导致，表现为同一载荷点多次测量结果的分散性。采用A类评定，通过极差法计算，3次测量对应的极差系数dn=1.69。

(2) 偏载效应误差 (u₂)：砝码放置位置偏离秤盘中心导致的示值偏差，与秤盘尺寸、传感器分

布相关。通常取最大偏载误差的1/10作为区间半宽，服从均匀分布。

(3) 分辨力误差 (u₃)：由于实际采用化整前的示值，服从均匀分布，因此数字指示秤区间半宽为0.1d/2，u₃=0.1d/2√3。

(4) 砝码不确定度 (u₄)：该不确定度是由砝码自身质量偏差所引起，根据JJG99-2022规定的最大允许误差，采用B类评定。对于M1等级砝码，当标称值≥100g时，最大允许误差与标称值呈线性关系：e = L / (2×10⁴)；不确定度计算公式为：u₄ = L / (2√3×10⁴)；

当标称值<100g时，u₄ = e / √3 (e为砝码最大允许误差)。

2.2 不确定度的评定模型

基于直接比较法的测量原理，构建关于数字指示秤示值误差的测量模型：

$$E = P - L = I + 0.5e - \Delta L - L$$

其中，E为化整前示值误差 (g)；P为化整前的示值 (g)；I指的是数字指示秤显示示值 (g)；e代表检定分度值 (g)；ΔL为小砝码总质量 (g)；L为标准砝码标称质量 (g)。

由于各输入量之间相互独立，根据方差传播定律，合成标准不确定度的计算模型表示为：

$$u_c^2(E) = c_1^2 u^2(I) + c_2^2 u^2(e) + c_3^2 u^2(\Delta L)$$

其中，u(ΔL)按0.1d小砝码的M1等级误差计算 (d为显示分度值)。

灵敏度系数分别为：

$$c_1 = \frac{\partial E}{\partial I} = 1$$

c₂ = ∂E / ∂e = 0.5 (当e恒定且分辨率不变时成立，其不确定度分量u(e) ≈ 0)

$$c_3 = \frac{\partial E}{\partial \Delta L} = -1$$

$$c_4 = \frac{\partial E}{\partial L} = -1$$

另外，考虑到可能存在的附加砝码不确定度 $u(\Delta L)$ 和检定分度值不确定度 $U(e)$ 影响较小，可将其简化为：

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(I) + u^2(L)}$$

式中， $u(I) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$ 为示值相关不确定度合成值； $u(L)=u_4$ ，为标准砝码不确定度。

扩展不确定度取包含因子 $k=2$ （置信概率约 95%），计算公式为：

$$U=2u_c(E)$$

2.3 不确定度的评定实践

以 6kg ($e=2g$) 数字指示秤为例，结合 A 类评定与 B 类评定方法，按“分量评定→合成计算→结果验证”三个步骤完成最终评定^[3]。

(1) 分量评定

分别选取 1kg、4kg、6kg 三个载荷点各进行 3 次重复测量。

第一步，评定重复性不确定度 u_1 ：在同一载荷点重复测量 3 次，计算极差 R 的实验标准偏差 $S = \frac{R}{d_n} = u_1$ 。如，在 1kg 载荷点的 3 次测量值分别

为：1000.2g、1000.2g、1000.0g，极差 $R=0.2g$ ，可算得 $u_1=0.12g$ 。

第二步，评定偏载不确定度 u_2 ：选取最大称量 1/3 载荷点，在秤盘中心及四个角进行偏载测试，计算最大偏载误差 ($|\Delta Pe|_{max}$)， $u_2 = P \times \frac{|\Delta Pe|_{max}}{2P_e\sqrt{3}}$ ，其中， P 为被测载荷， P_e 为偏载测试载荷。

如，在 1kg 载荷点，测得最大 u_2 的偏载误差为 0.2g，算得 $u_2=0.029g$ 。

第三步，评定分辨力不确定度 u_3 ，1kg 载荷点

$$u_3 = \frac{0.1d}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1 \times 2}{2\sqrt{3}} \approx 0.058 g$$

第四步，评定砝码不确定度 u_4 ：根据砝码标称值和等级，按 B 类评定公式计算；测得 1kgM1，砝码最大允许误差 0.05g， $u_4=0.028g$ 。

(2) 合成计算

1kg 载荷点：

$$u(I) = \sqrt{0.12^2 + 0.029^2 + 0.058^2} = 0.136 g$$

$$u_c(E) = \sqrt{0.136^2 + 0.028^2} = 0.139 g$$

$$U = 2 \times 0.139 = 0.28 g$$

若最大偏载误差 $|\Delta Pe|_{max}=0.2g$ ，按以上公式算得： $u_2=0.2/\sqrt{3}=0.115g$ ，数字指示秤在各载荷点的不确定度分量评定结果详见表 3。

表 3 6kg 数字指示秤各载荷点的不确定度评定结果

载荷点 (kg)	u_1 (g)	u_2 (g)	u_3 (g)	u_4 (g)	$u_c(E)$ (g)	U (g)
1	0.12	0.115	0.058	0.028	0.126	0.25
4	0.12	0.115	0.058	0.115	0.201	0.40
6	0.24	0.173	0.058	0.173	0.342	0.68

(3) 结果验证

将评定结果与 JJG 539-2016 规定的最大允许误差 (MPE) 进行对比，要求扩展不确定度满足 (MPE 为最大允许误差)。结果显示，6kg 数字指示秤在 1kg、4kg、6kg 载荷点对应的 1/3MPE 分别为 0.33g、1.0g、1.0g，评定得到的 U 值均满足要求，表明模型合理。

3 数字指示秤计量检定的优化措施

3.1 设备与标准器具优化

一方面，优选砝码并加强维护。优先选用 F2 等级标准砝码进行检定 (F2 等级砝码 MPE 约为 M1 等

级的 0.3 倍，可使 u_4 分量降低 70%)，降低砝码不确定度影响。同时，建立砝码定期检定制度，每年送上级计量机构校准，日常存放于干燥、无腐蚀环境中，避免碰撞、磨损导致质量偏差。另一方面，升级检定设备。配备高精度电子天平对小砝码进行校准，确保闪变点法中 0.1e 小砝码的质量准确性。

3.2 操作流程规范化

一方面，强化测量重复性控制。需要制定标准化操作手册，明确砝码加载/卸载速度 ($\leq 0.5kg/s$)、停留时间 ($\geq 30s$)，以及操作人员的培训要求。可

增加对每个载荷点的重复测量次数，并采用贝塞尔公式计算试验标准偏差，进一步降低重复性不确定度。另一方面，需要控制偏载效应。在检定前应调整数字指示秤水平气泡至中心位置，砝码放置时确保重心与秤盘中心重合，对于秤盘尺寸 $\geq 30\text{cm}$ 的设备，可增加偏载测试点，并取最大偏载误差的1/15作为区间半宽，从而实现有效控制^[4]。

3.3 环境与过程控制

一方面，加强环境条件管控。如建立恒温恒湿检定实验室，将温度控制在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度控制在 $(50 \pm 10)\% \text{RH}$ ，温度变化率 $\leq 2^\circ\text{C/h}$ 。在实验室安装防震台，减少外界振动对传感器的影响，可使环境引入的不确定度降低。另一方面，优化数据处理并加强期间核查与维护。可以采用 Origin 软件进行不确定度计算，自动完成分量合成、扩展不确定度求解及结果验证，避免人工计算导致的误差。同时，建立检定数据追溯系统，记录每台设备的检定环境、标准器具编号、操作人员等信息，以便于后续质量追溯与问题排查^[5]。另外，还需每三个月进行一次示值误差测试，发现偏差超过最大允许误差的 1/2 时及时进行校准或维修。

4 结语

经过分析发现，示值重复性、标准砝码误差、

分辨力是导致数字指示秤计量检定不确定度的主要因素。为此，需要构建科学的测量模型与评定方法，在大量实践应用中进行验证并优化，以保证模型的合理性与通用性，从而提升计量检定效果。

参考文献

- [1] 谢少锋. 数字指示秤不确定度评定研究[J]. 设备管理与维修,2020,(18):111-112.
- [2] 唐秋晨. 数字指示秤的误差来源与检定方法研究[J]. 大众标准化,2024,(05):184-186.
- [3] 贾小俊, 王小凯, 叶建鑫. 数字指示秤检定结果测量不确定度评定[J]. 衡器,2021,50(10):16-19.
- [4] 易平安, 盘小艳, 周伟等. 数字指示秤计量检定最大允许误差的设定[J]. 大众标准化,2025,(06):187-189.
- [5] 钱福颖. 数字指示秤检定误差要素和减小措施[J]. 计量与测试技术,2024,51(05):84-86.

作者简介

孙成宏(1979—)，男，江苏射阳，汉族，本科学历，中级经济师，一级注册计量师，江苏省计量标准二级考评员，射阳县综合检验检测中心副主任。研究方向：衡器检定或计量标准建标等。