

力值砝码校准中标准砝码选择的探讨

□王洋¹ 高健² 刘恩美³

1. 咸阳市计量测试所
2. 深圳天溯计量检测股份有限公司天津分公司
3. 北京北机机电工业有限责任公司

【摘要】力值砝码作为专用砝码的其中一种，其复现量值和溯源量值存在不一致，导致在其校准的过程中需要把标称力值换算成标称质量，根据其标称质量和准确度等级或最大允许误差选择相应的标准砝码组合。力值砝码的标称质量是经过化整后的近似质量，因此，选择标准器时需要组合规格不同和数量不等的质量砝码，这一操作过程不但增加了工作的繁琐程度，降低了工作效率，同时引入了相对较大的测量不确定度。本文旨在探讨力值砝码校准中标准器的选择方法，以提高工作效率，减小校准过程中引入的误差和测量不确定度。

【关键词】力值砝码；校准；标准器

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2026）03-0011-04

Discussion on Selection of Standard Weights in the Calibration of Force Value Weights

【Abstract】 As a type of special weight, the force value weight has an inconsistency between its reproduced value and its traced value. This leads to the need to convert the nominal force value into a nominal mass during its calibration process, and then select the corresponding combination of standard weights based on its nominal mass and accuracy class or maximum permissible error; the nominal mass of a force value weight is an approximate mass that has been rounded. Therefore, when selecting a standard instrument, it is necessary to combine mass weights of different specifications and quantities. This operation not only makes the work more tedious and reduces work efficiency, but also causes a relatively large measurement uncertainty; this paper aims to explore the method for selecting standard instruments in the calibration of force value weights, so as to improve work efficiency and reduce the errors and measurement uncertainty introduced during the calibration process.

【Keywords】 force value weight; calibration; standard weight

引言

力值砝码主要用于力值测量仪器、材料试验机、发动机推力测试设备、结构强度测试设备等设备的校准，其使用目的是复现“力值”^[1]，而非“质

量”。力值复现的意义在于，它将人类对“力”的主观感知转化为客观、准确、可复现、可追溯的数字信息。在日常工作中，某些设备力值复现结果的准确度需要通过力值砝码进行确认，因此，力值砝码

的准确度是确保力值复现结果准确和可靠的基础，本文通过以下内容分析和探讨力值砝码校准过程中标准器的选择方法。

1 力值砝码的计量性能

准确度等级和最大允许误差是力值砝码的主要计量性能^[2]，但目前没有文件明确对其作出规定，常规表述方式一般为XX级或最大允许误差（MPE）： $\pm XX\%$ ，根据使用需求的不同，制造厂家制造出了多种准确度等级和最大允许误差的力值砝码，如：0.05级（MPE： $\pm 0.05\%$ ）、0.1级（MPE： $\pm 0.1\%$ ）、0.2级（MPE： $\pm 0.2\%$ ）等。

力值砝码的标称值通常表述为 $1 \times 10^n \text{ N}$ 、 $2 \times 10^n \text{ N}$ ，或 $5 \times 10^n \text{ N}$ ，其中“n”表示一个正的或负的整数或零，制造厂家也可根据用户的需求制造其他型号规格的力值砝码。

2 力值砝码量值复现的特点

2.1 基于基本物理定律

力值复现依据牛顿第二定律 $F=m \cdot g$ 。通过高精度砝码的质量(m)和当地重力加速度(g)的乘积，复现其力值。

2.2 无传递链误差

与传感器、杠杆式、液压式等力标准机不同，力值砝码不需要复杂的力值放大和传递机构，避免了因机械结构带来的摩擦、形变、滞后等误差。

2.3 长期稳定性较好

作为实物量具，砝码质量具有极好的时间稳定性，因此复现的力值长期稳定可靠。

3 力值砝码校准依据的文件

目前，力值砝码尚无专用的国家检定规程或技术规范，对其校准可参考JJG 99-2022《砝码检定规程》^[3]、CSMT-YB014-2025《力值砝码校准规范》^[4]等文件，这些文件中关于力值砝码校准过程的规定有较多相同之处，规定使用的标准器均为质量砝码，均通过质量砝码的组合实现力值砝码的校准，均未提及可以参考使用准确度等级更高的力值砝码开展力值砝码的校准工作。

4 力值砝码校准过程中存在的特殊问题

4.1 计量单位的换算

力值砝码校准时的被测量均为质量，因此，需

要将标称力值换算为标称质量，换算时需要引入重力加速度的参考值，可根据使用方的需求，选择某一地区重力加速度，一般可选择：力值砝码标称力值定值使用的重力加速度、实验室所在地的重力加速度，或者是力值砝码使用地的重力加速度等，根据牛顿第二定律($F=m \cdot g$)将标称力值转换为标称质量。

4.2 标称质量的化整

根据牛顿第二定律($F=m \cdot g$)将标称力值转换为标称质量以后，数值通常为位数繁多的小数。在校准力值砝码时，最小的标准砝码质量为1mg，因此需要根据校准需求对标称质量进行合理的化整，最终得出化整后的近似质量值，以便于组合标准砝码。例如：当 $g=9.7988\text{m/s}^2$ 时，将2N的标称力值换算为标称质量，其化整后的近似质量值为204.107g。

4.3 标准器的选择

根据化整后的近似质量值和被校力值砝码的准确度等级或最大允许误差，选择不同规格的标准砝码进行组合，最小可以组合至mg组砝码。例如：校准近似质量值为204.107g的力值砝码，需要组合的标准砝码的规格分别为200g、2g、2g、100mg、5mg、2mg，也就是说，需要组合至少6件标准砝码方可开展标称力值为2N的力值砝码的校准工作。

4.4 标准砝码引入的测量不确定度

在校准过程中，因组合标准砝码数量较多，多个型号规格不同的标准砝码放置在电子天平的承载器上，因放置位置和重量的不均衡，导致电子天平的偏载误差增大。同时反复加载砝码，导致电子天平的稳定性变差。在对力值砝码进行测量不确定度评定时，标准砝码的数量、电子天平的偏载和稳定性均需要考虑，从而导致测量不确定度增大，降低了测量结果的准确度^[5]。

5 力值与质量最大允许误差的对应关系

质量最大允许误差通过力值最大允许误差换算得出。力值砝码的型号规格和准确度等级较多，此处仅选择标称力值为1N、2N、5N、10N、20N、50N、100N的力值砝码为例，当 $g=9.7988\text{m/s}^2$ 时，其力值最大允许误差换算为质量最大允许误差后结果如下：

表1 不同准确度等级力值时标称质量的允许误差

标称力值(N)	标称质量(g)	标称质量的允许误差(g)				
		0.05%	0.1%	0.2%	0.5%	1%
1	102.053	0.051	0.102	0.204	0.510	1.021
2	204.107	0.102	0.204	0.408	1.021	2.041
5	510.267	0.255	0.510	1.021	2.551	5.103
10	1020.533	0.510	1.021	2.041	5.103	10.205
20	2041.066	1.021	2.041	4.082	10.205	20.411
50	5102.666	2.551	5.103	10.205	25.513	51.027
100	10205.331	5.103	10.205	20.411	51.027	102.053

6 标准砝码选择的探讨

6.1 标准砝码选择的建议

力值砝码的型号规格和准确度等级较多，在对标称力值和标称质量进行换算时，如果标准器和被校力值砝码的重力加速度使用相同的参考值，可以考虑使用准确度等级更高的力值砝码校准低准确度等级的力值砝码。例如：当标准力值砝码的最大允许误差小于或等于被校力值砝码的最大允许误差的

1/3 时，可以考虑使用标准力值砝码校准被校力值砝码，以解决操作过程繁琐、引入较大的测量不确定度的问题，避免降低测量结果准确度等问题。

示例：校准最大允许误差为 ±0.5% 的被校力值砝码时，可以选择最大允许误差为 ±0.1% 的标准力值砝码作为标准器，两者最大允许误差的对应关系如下：

表2 被校力值砝码和标准力值砝码最大允许误差的对应关系

标称力值(N)	标称质量(g)	被校力值砝码		标准力值砝码	
		力值最大允许误差	质量最大允许误差	力值最大允许误差	质量最大允许误差
1	102.053	± 0.5%	± 0.510g	± 0.1%	± 0.102g
2	204.107	± 0.5%	± 1.021g	± 0.1%	± 0.204g
5	510.267	± 0.5%	± 2.551g	± 0.1%	± 0.510g
10	1020.533	± 0.5%	± 5.103g	± 0.1%	± 1.021g
20	2041.066	± 0.5%	± 10.205g	± 0.1%	± 2.041g
50	5102.666	± 0.5%	± 25.513g	± 0.1%	± 5.103g
100	10205.331	± 0.5%	± 51.027g	± 0.1%	± 10.205g

6.2 标准砝码使用数量的对比

现有力值砝码校准规范中对于标准器选择的规定均为组合式的质量砝码，并未提及可以参考使用

准确度等级更高的力值砝码。现从标准砝码的使用数量方面对两者进行对比，结果如下：

表3 标准砝码使用数量的对比

标称力值	标称质量	力值砝码作为标准器时		质量砝码作为标准器时	
		型号规格	最少使用数量	型号规格	最少使用数量
1N	102.053g	1N	1 件	100g、2g、50mg、2mg、1mg	5 件
2N	204.107g	2N	1 件	200g、4g、100mg、5mg、2mg	5 件
5N	510.267g	5N	1 件	500g、10g、200mg、50mg、10mg、5mg、2mg	7 件
10N	1020.533g	10N	1 件	1000g、20g、500mg、20mg、10mg、2mg、1mg	7 件
20N	2041.066g	20N	1 件	2000g、20g、20g、1g、50mg、10mg、5mg、1mg	8 件
50N	5102.666g	50N	1 件	5000g、100g、2g、500mg、100mg、50mg、10mg、5mg、1mg	9 件
100N	10205.331g	100N	1 件	10kg、200g、5g、200mg、100mg、20mg、10mg、1mg	8 件

从以上对比结果可以看出，使用质量砝码作为标准器时，标准砝码的使用数量较多而使用力值砝码作为标准器时，标准砝码的使用数量会大幅度减少。

6.3 力值砝码作为标准器的实际意义

在力值砝码校准过程中，使用高准确度等级的力值砝码作为标准器，标准砝码的使用数量可以大幅度减少，此方法不但可以简化测量过程，而且可以减少测量过程中引入的测量不确定度，提高测量结果的准确度。

7 结语

力值计量在基础加工、产业升级和科技创新等领域中发挥着重要作用，其意义不仅在于为精密测量提供有力保障，更在于将国家计量基准的“准确性”和“可信度”传递至生产线、实验室、工程现场等场所使用的计量设备，从而为社会的质量、安全与创新等活动奠定不可动摇的基础。在力值砝码校准过程中，选择更加科学合理的标准器，不但能够提高校准结果的准确度和减小校准过程中引入的测量不确定度，更是确保力的量值准确、可靠和一致，并溯源至国际单位制(SI)^[6]。

参考文献

[1] JJF 1011-2006《力值与硬度计量术语及定义》。

[2] JJF 1033-2023《计量标准考核规范》。

[3] JJG 99-2022《砝码检定规程》。

[4] T/CSMT-YB014-2025《力值砝码校准规范》。

[5] JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》。

[6] JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》。

作者简介

王洋，工程师，咸阳市计量测试所总工。

高健，计量工程师，现任职于深圳天溯计量检测股份有限公司天津分公司。

刘恩美，工程师，现任职于北京北机机电工业有限责任公司。研究方向：力学计量。