



中华人民共和国国家标准

GB/T ××××—××××
代替GB/T 4167—2011

砝码

weights

(征求意见稿 2023. 8. 10)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

| | |
|-------------------------------|----|
| 前 言 | I |
| 引 言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 4 计量性能要求 | 4 |
| 4.1 最大允许误差 | 4 |
| 4.2 扩展不确定度 | 4 |
| 4.3 约定质量 | 5 |
| 5 技术要求 | 5 |
| 5.1 形状 | 5 |
| 5.2 结构 | 6 |
| 5.3 材料 | 7 |
| 5.4 磁性 | 8 |
| 5.5 密度 | 8 |
| 5.6 表面状况 | 10 |
| 5.7 调整 | 10 |
| 5.8 标记 | 11 |
| 5.9 稳定性 | 12 |
| 6 试验方法 | 13 |
| 6.1 环境条件 | 13 |
| 6.2 检验用标准器 | 13 |
| 6.3 测试方法 | 13 |
| 7 检验规则 | 15 |
| 8 标志、包装、运输、贮存 | 15 |
| 8.1 砝码盒及砝码标牌 | 15 |
| 8.2 包装 | 16 |
| 8.3 运输 | 16 |
| 8.4 贮存 | 16 |
| 附录 A（资料性附录）不同形状与尺寸砝码的图例 | 17 |
| A.1 圆柱体砝码的图例 | 17 |
| A.2 圆柱体砝码的尺寸表 | 17 |
| A.3 平行六面体砝码的图例（1型） | 18 |
| A.4 平行六面体砝码尺寸表 | 18 |
| A.5 平行六面体砝码的图例（2型） | 18 |
| A.6 平行六面体砝码尺寸表 | 19 |
| 附录 B（规范性附录）磁性测量方法 | 20 |
| B.1 磁化强度和磁化率—磁化率计法 | 20 |
| B.2 极化强度的测量—磁强计法 | 21 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 附录 C (规范性附录) 密度 (体积) 测量方法 | 23 |
| C.1 总则 | 23 |
| C.2 注意事项 | 23 |
| C.3 测量方法一(体积比较法—两个不同砝码在空气中称量) | 24 |
| C.4 测量方法二 (标准砝码在空气中和在液体中称量) | 25 |
| C.5 测量方法三 (直接衡量法) | 25 |
| C.6 测量方法四 (声学体积计法) | 26 |
| C.7 测量方法五 (合金成分法) | 28 |
| C.8 测量方法六 (几何测量) | 28 |
| 附录 D (规范性附录) 约定真值测量方法 | 30 |
| D.1 测量循环 | 30 |
| D.2 测量模式 | 31 |
| | |
| 图 B.1 磁性测量示意图 | 22 |
| 图 C.1 密度 (体积) 测量方法示意图 方法一 | 26 |
| 图 C.2 密度 (体积) 测量方法示意图 方法二 | 27 |
| 表 1 砝码的最大允许误差 | 4 |
| 表 2 1 g 及小于 1 g 砝码的形状 | 5 |
| 表 3 最大极化强度 | 7 |
| 表 4 最大磁化率 | 7 |
| 表 5 密度的最小和最大极限值 | 7 |
| 表 6 表面粗糙度的最大值 | 9 |
| 表 7 标记的最多数字 | 1 |
| 表 8 测试各准确度等级砝码时的环境状况 | 11 |
| 表 9 实验室内配备气象参数测量设备的准确度 | 12 |
| 表 10 清洗后的稳定时间 | 12 |
| 表 11 温度稳定时间 | 13 |
| 表 12 出厂检验的测试项目 | 14 |
| 表 B.1 磁强计法适用的砝码准确度等级 | 24 |
| 表 C.1 水密度 | 25 |
| 表 C.2 砝码最通常使用的合金表 | 27 |
| 表 D.1 最少测量循环次数 | 29 |
| 表 D.2 5、2、2•、1 典型的测量模式 | 30 |
| 表 D.3 5、3、2、1 典型的测量模式 | 30 |
| 表 D.4 5、2、2•、1 倍量砝码典型的测量模式 | 31 |

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 4167-2011《砝码》，与GB/T 4167-2011相比较，除编辑性改动外，主要变化如下：

- a) 标准的范围增加了适用于某些测试设备的专用砝码；
- b) 将“折算质量”修改为“约定质量”（3.1.3）；
- c) 增加了砝码最低准确度等级的要求（3.1.2.11）；
- d) 补充、完善了砝码组的定义（3.1.2.13）；
- e) 修改了砝码形状方面的要求，以适应于专用砝码（5.1.1.4，5.1.5）；
- f) 修改了砝码的结构，大于 50 kg 的 F₂ 等级砝码可包含由几个部分拼成的盒子组成（5.2.2.2）；增加了平行六面体砝码调整腔的要求（5.2.3.3）；
- g) 增加了砝码可有一个或多个调整腔的要求（5.2.3.4.1）；
- h) 增加了出厂标记的要求（5.8.4）；
- i) 增加了磁强计法测量砝码的极化强度的方法（B.2）
- j) 密度（体积）测量法中，将液体静力比较法改为体积比较法（C.3）；
- k) 密度（体积）测量法中，增加了标准砝码在空气中和在液体中称量法 C.4、直接衡量法（C.5）、声学体积计法（C.6）和几何测量法 C.8 等四种方法；

本文件参考国际法制计量组织第 111 号国际建议 OIML R 111-1：（2004E）《E₁、E₂、F₁、F₂、M₁、M₁₋₂、M₂、M₂₋₃、M₃ 等级砝码第一部分：计量和技术要求》起草，一致性程度为非等效。

本文件由中国轻工业联合会提出。

本文件由全国衡器标准化技术委员会（SAC/TC 97）归口。

本文件负责起草单位：蓬莱市水玲砝码厂、中国测试技术研究院、常州市富月砝码有限公司、中国计量科学研究院、常熟市金羊砝码仪器有限公司、浙江省计量科学研究院。

本文件主要起草人：于水玲、王婧璇、党正强、何志敏、吴頔、徐虹、葛锐。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1984 年首次发布为 GB/T 4167—1984
- 2011 年第一次修订为 GB/T 4167—2011
- 本次为第二次修订

引 言

质量检测技术在经济发展中担负着越来越重要的作用，而砝码是质量检测中被广泛使用的标准器具。通常砝码是作为检定、校准衡器的标准器来使用。目前，国内外砝码生产厂家众多，技术水平高低不一，各省、市级计量院、大型厂矿企业的计量室、大专院校以及科研院所的力学计量室等，对各个等级砝码的使用需求呈现逐年增长趋势，同时，随着国内各类衡器产品的快速发展，检定机构和衡器用户对砝码的使用需求庞大并呈现增长趋势。

2019年5月21日，质量的单位开始采用国际计量委员会给予千克的新定义：采用普朗克常数的固定值作为质量单位。各国正在展开质量量值复现装置小型化、溯源方法扁平化的研究，以实现各个质量量级可直接溯源至物理常数。砝码作为质量量值复现的重要载体，需要结合质量单位重新定义后的新形势来制定国家标准，以满足长远的市场需求。

砵 码

1 范围

本文件规定了砵码的分类、计量要求、技术要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输、贮存。本文件适用于质量标称值为 1 mg~5000 kg 的 E₁、E₂、F₁、F₂、M₁、M₁₂、M₂、M₂₃、M₃ 等级的砵码。与测量仪器一起使用的专用砵码或砵码组也适用于本标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2040 铜及铜合金板材
GB/T 4423 铜及铜合金拉制棒
GB/T 5231 加工铜及铜合金牌号和化学成分
GB/T 6060.1 表面粗糙度比较样块 铸造表面
GB/T 6414 铸件 尺寸公差与机械加工余量
GB/T 9439 灰铸铁件
GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
GB/T 14250 衡器术语
GB/T 20878 不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分
QB/T 1588.4 轻工机械 涂漆通用技术条件
JJF 1229 质量密度计量名词术语及定义

3 术语、定义和计量单位

3.1 术语和定义

JJF 1229界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

砵码 weights

是一种复现约定质量值的实物量具。它具有一定的物理特性和计量特性：形状、尺寸、材料、表面状况、密度、磁性、质量标称值和最大允许误差等。

注：对于一个砵码，它可以单独复现某一固定的约定质量值。对于砵码组，它不仅可以单独单个使用，而且也可将不同的单个砵码组合在一起使用，用以复现若干个大小不同的一组约定质量值。

3.1.2 准确度等级

3.1.2.1

准确度等级

满足规定的计量要求、将重量值保持在规定误差极限内的砵码或砵码组的等级名称。

3.1.2.2

E₁ 等级砵码 class E₁:

溯源于国家基准、副基准，用于量传 E₂ 等级砵码、用于量传相应的衡器（天平）和与相应的衡器（天平）配套使用。

3.1.2.3

E₂ 等级砝码 class E₂

用于量传F₁等级及其以下的砝码,用于量传相应的衡器(天平)和与相应的衡器(天平)配套使用。

3.1.2.4

F₁ 等级砝码 class F₁

用于量传F₂等级及其以下的砝码,用于量传相应的衡器(天平)和与相应的衡器(天平)配套使用。

3.1.2.5

F₂ 等级砝码 class F₂

用于量传 M₁ 等级、M₁₂ 等级及其以下的砝码,用于量传相应的衡器和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.6

M₁ 等级砝码 class M₁

用于量传 M₂ 等级、M₂₃ 等级及其以下的砝码,用于量传相应的衡器和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.7

M₂ 等级砝码 class M₂

用于量传 M₃ 等级砝码,用于量传相应的衡器和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.8

M₃ 等级砝码 class M₃

用于量传相应的衡器和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.9

M₁₂ 等级砝码 class M₁₂:

用于量传相应的衡器和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.10

M₂₃ 等级砝码 class M₂₃:

用于量传相应的衡器和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.11

砝码的最低准确度等级 minimum accuracy class of weights

砝码或衡器检定用的标准砝码的准确度等级应符合本标准的要求。

3.1.2.12

专用砝码 specific weights

与专用仪器设备配套使用的,其结构和形状由设计确定。亦指由质量单位导出的其他量值单位的砝码。其计量技术要求等由企业标准等其他技术文件另行规定。

3.1.2.13

砝码组 weight group

系列或成组砝码,可以实现最小标称值的砝码质量和此系列(组)的所有砝码质量总和之间的所有负荷的任何称重。其中最小标称值的砝码质量构成最小的测试值,这些砝码有类似的计量特性以及相同或不同的标称值,它们按照本标准的规定,属于相同的准确度等级。

3.1.3

约定质量 conventional mass m_c

即约定质量值,指一物体在约定温度和约定密度的空气中,与一约定密度的标准器达到平衡,则标准器的质量即为该物体的约定质量。约定温度(t_{ref})为 20 °C,约定的空气密度(ρ_0)为 1.2 kg/m³;砝码约定质量的约定密度 (ρ_{ref}) 为 8000 kg/m³。

约定质量值 m_c 与真空中质量值 m 的关系式:

$$m_c = m + (V_c - V)\rho_0 = \frac{1 - \rho_0}{0.99985} m \quad (1)$$

$$m = m_c + (V - V_c)\rho_0 = \frac{0.99985}{1 - \frac{\rho_0}{\rho}} m_c \quad (2)$$

式中:

m_c —砝码约定质量值;

V_c —砝码的约定体积;

V —砝码真空中体积;

ρ_0 —空气密度;

ρ —砝码密度;

m —砝码真空中约定值。

3.1.4

物体的密度 density of a body

物质的真空质量除以其体积的商, 公式为 $\rho = \frac{m}{V}$ 。

3.1.5

磁性 magnetism

一种产生吸引或排斥力的效应。

3.1.5.1

磁导率 magnetic permeability (μ)

一种介质改变磁场的的能力。

3.1.5.2

真空中磁导率 magnetic constant (μ_0)

砝码在真空中吸收磁通量的程度, 通常 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ 。

3.1.5.3

(体积)磁化率 (volume) magnetic susceptibility (χ)

一种介质改变磁场的的能力, 与体积有关。它与磁导率(μ)的关系为: $\mu/\mu_0 = 1 + \chi$ 。 μ/μ_0 值有时也称为相对磁导率 (μ_r)。

3.1.5.4

(永久)磁化强度 (permanent) magnetization (M)

表述材料物体, 如砝码, 在没有外界磁场中磁性状态的参数。(通常, 磁化强度是个矢量, 它的梯度和方向在材料的内部不一定恒定)。物体的磁化强度在其周围的空间产生不均匀的磁场, 因此对周围其它的物体会产生磁力。

3.1.6

粗糙度参数或 R-参数 roughness parameter or R-parameter (R_a 或 R_z)

描述样块侧表面粗糙度的参数。字母 R 表示所评估的侧表面类型, 在这种情况下, R 为表面粗糙度。样块的表面有不同的类型: 粗糙度表面 R 参数, 主表面 P 参数, 曲表面 W 参数。

3.1.7

灵敏度砝码 sensitivity weight

用于确定衡量仪器灵敏度的砝码。

3.1.8

灵敏度 sensitivity

将灵敏度砝码（其质量为 m_s ），与放在衡量仪器上所获得的相应的指示差 ΔI_s 的比率，即 $m_s/\Delta I_s$ 。

3.2 计量单位

3.2.1 使用的单位

质量：微克（ μg ）、毫克（ mg ）、克（ g ）、千克（ kg ）和吨（ t ）。

密度：千克每立方米（ kg/m^3 ）、克每立方厘米（ g/cm^3 ）、毫克每立方厘米（ mg/cm^3 ）。

体积：立方米（ m^3 ）、立方厘米（ cm^3 ）。

3.2.2 砝码或砝码组的质量标称值应为 1×10^n kg、或 2×10^n kg、或 5×10^n kg，其中“ n ”表示一个正的或负的整数或零。

3.2.3 砝码序列

砝码组的序列应由下列之一构成（ n 为正、负整数或 0）：

- a) $(1; 1; 2; 5)\times 10^n$ kg;
- b) $(1; 1; 1; 2; 5)\times 10^n$ kg;
- c) $(1; 2; 2; 5)\times 10^n$ kg(优先使用);
- d) $(1; 2; 3; 5)\times 10^n$ kg (仅适用于使用中的砝码)
- e) $(1; 1; 2; 2; 5)\times 10^n$ kg

一组砝码可以包括多个标称值相同的砝码。

4 计量性能要求

4.1 最大允许误差

4.1.1 砝码的最大允许误差不应大于表 1 中相应准确度等级的要求。

4.1.2 对于专用砝码，可根据其技术资料规定的相对或绝对准确度要求，与表 1 中相应的准确度等级相对应。若其质量标称值在表 1 中没有，可用表 1 中已有的质量标称值累计得到；其质量最大允许误差的绝对值亦为对应的最大允许误差绝对值之和。

4.2 扩展不确定度

在规定的准确度等级内，任何一个质量标称值为 m_0 的单个砝码，其约定质量的扩展不确定度 $U(k=2)$ ，应不大于表1中相应准确度等级的最大允许误差绝对值的1/3。即：

$$U \leq 1/3 |MPE|$$

表1 砝码的最大允许误差(|MPE|) 单位：mg

| 标称值 | E ₁ | E ₂ | F ₁ | F ₂ | M ₁ | M ₁₂ | M ₂ | M ₂₃ | M ₃ |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 5 000 kg | | | 25 000 | 80 000 | 250 000 | 500 000 | 800 000 | 1600 000 | 2500 000 |
| 2 000 kg | | | 10 000 | 30 000 | 100 000 | 200 000 | 300 000 | 600 000 | 1000 000 |
| 1 000 kg | | 1 600 | 5 000 | 16 000 | 50 000 | 100 000 | 160 000 | 300 000 | 500 000 |
| 500 kg | | 800 | 2 500 | 8 000 | 25 000 | 50 000 | 80 000 | 160 000 | 250 000 |
| 200 kg | | 300 | 1 000 | 3 000 | 10 000 | 20 000 | 30 000 | 60 000 | 100 000 |

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 100 kg | | 160 | 500 | 1 600 | 5 000 | 10 000 | 16 000 | 30 000 | 50 000 |
| 50 kg | 25 | 80 | 250 | 800 | 2 500 | 5 000 | 8 000 | 16 000 | 25 000 |
| 20 kg | 10 | 30 | 100 | 300 | 1 000 | | 3 000 | | 10 000 |
| 10 kg | 5.0 | 16 | 50 | 160 | 500 | | 1 600 | | 5 000 |
| 5 kg | 2.5 | 8.0 | 25 | 80 | 250 | | 800 | | 2 500 |
| 2 kg | 1.0 | 3.0 | 10 | 30 | 100 | | 300 | | 1 000 |
| 1 kg | 0.5 | 1.6 | 5.0 | 16 | 50 | | 160 | | 500 |
| 500 g | 0.25 | 0.8 | 2.5 | 8.0 | 25 | | 80 | | 250 |
| 200 g | 0.10 | 0.3 | 1.0 | 3.0 | 10 | | 30 | | 100 |
| 100 g | 0.05 | 0.16 | 0.5 | 1.6 | 5.0 | | 16 | | 50 |
| 50 g | 0.03 | 0.10 | 0.3 | 1.0 | 3.0 | | 10 | | 30 |
| 20 g | 0.025 | 0.08 | 0.25 | 0.8 | 2.5 | | 8.0 | | 25 |
| 10 g | 0.020 | 0.06 | 0.20 | 0.6 | 2.0 | | 6.0 | | 20 |
| 5 g | 0.016 | 0.05 | 0.16 | 0.5 | 1.6 | | 5.0 | | 16 |
| 2 g | 0.012 | 0.04 | 0.12 | 0.4 | 1.2 | | 4.0 | | 12 |
| 1 g | 0.010 | 0.03 | 0.10 | 0.3 | 1.0 | | 3.0 | | 10 |
| 500 mg | 0.008 | 0.025 | 0.08 | 0.25 | 0.8 | | 2.5 | | |
| 200 mg | 0.006 | 0.020 | 0.06 | 0.20 | 0.6 | | 2.0 | | |
| 100 mg | 0.005 | 0.016 | 0.05 | 0.16 | 0.5 | | 1.6 | | |
| 50 mg | 0.004 | 0.012 | 0.04 | 0.12 | 0.4 | | | | |
| 20 mg | 0.003 | 0.010 | 0.03 | 0.10 | 0.3 | | | | |
| 10 mg | 0.003 | 0.008 | 0.025 | 0.08 | 0.25 | | | | |
| 5 mg | 0.003 | 0.006 | 0.020 | 0.06 | 0.20 | | | | |
| 2 mg | 0.003 | 0.006 | 0.020 | 0.06 | 0.20 | | | | |
| 1 mg | 0.003 | 0.006 | 0.020 | 0.06 | 0.20 | | | | |

4.3 约定质量

4.3.1 在规定的准确度等级(E₁等级砝码除外)内,任何一个质量标称值为 m_0 的单个砝码,进行检验时,约定质量 m_c 与砝码标称值 m_0 之差,正值不能超过最大允许误差的绝对值|MPE|的 2/3,负值的绝对值不能超过最大允许误差绝对值|MPE|的 1/3。

$$m_0 - \frac{1}{3}|\text{MPE}| \leq m_c \leq m_0 + \frac{2}{3}|\text{MPE}|$$

4.3.2 对于标准增砣,除符合上述关系外,其约定质量还应符合下述关系式:

$$m_c - m_0 \geq 0$$

4.3.3 对于 E₁ 等级砝码,其约定质量值与标称值的差的绝对值 $|m_c - m_0|$,不得超过最大允许误差值的绝对值|MPE|。

5 技术要求

5.1 形状

5.1.1 总则

5.1.1.1 为了方便生产与识别,砝码应具有简单的几何形状。砝码的边和角应为圆角,表面不应有锐边、锐角和明显的砂眼,以防止磨损和积灰。

5.1.1.2 砝码组中的砝码，除了 1 g 或小于 1 g 的砝码，应具有相同的形状。

5.1.1.3 在砝码其磁性、质量量值已证实稳定的前提下，允许具有区别于本标准所规定的其它形状。

5.1.1.4 与测量仪器配套使用的砝码，或为专门用途而特殊设计的砝码，允许具有区别于本标准所规定的其它形状。

5.1.2 小于或等于 1 g 的砝码。

5.1.2.1 小于或等于 1 g 的砝码应为有适当形状的多边形片状或丝状砝码，易于夹取。在标称值的一个序列中，不应插入与本序列形状不同的其它形状的砝码。

5.1.2.2 表 2 中给出了 1 g 及小于 1 g 砝码形状所对应的标称值。

表 2 1 g 及小于 1 g 砝码的形状

| 标称值 | 多边形片状 | 线形 |
|---------------------------|---------|---|
| 5 mg、50 mg、500 mg | 五边形 | 五边形 } 正方形、长方形 } 或 { 三角形 } 5 段 2 段 1 段 |
| 2 mg、20 mg、200 mg | 正方形、长方形 | |
| 1 mg、10 mg、100 mg、1000 mg | 三角形 | |

5.1.3 1 g ~ 50 kg 的砝码

5.1.3.1 1 g 砝码当与其倍量砝码放置或单独放置，可以是 1 g 砝码倍量的形状；当与其分量砝码放置时，可以是 1 g 砝码分量的形状。

5.1.3.2 从 1 g ~ 50 kg 标称值的砝码可参照附录 A 的图 A.1，外部尺寸见表 A.2。

5.1.3.2.1 砝码可为直圆柱体或圆锥台体，参见图 A.1。砝码体(不含提钮)的高度应约等于直径的平均值，可以在平均直径的 3/4 和 5/4 之间。

5.1.3.2.2 砝码如带有提钮，其高度在砝码的平均直径和半径之间。

5.1.3.3 5 kg~50 kg 砝码也可以采用适于抓取的不同形状，如：轴、钩、环或其它形状。

5.1.3.4 5 kg~50 kg 的 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级砝码可以有圆形边角和坚固提钮的倒置正六棱台或平行六面体结构。M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级砝码可参照附录 A 的图 A.3、图 A.5，尺寸公差的实例见附录 A 表 A.4、表 A.6。

5.1.3.5 砝码形状也可视需要为扁圆柱体(如增砣砝码)、圆盘，可以沿圆心或半径开上下贯通的孔或槽，以便取放。

5.1.4 大于 50 kg 的砝码

5.1.4.1 大于 50 kg 的砝码可以是圆柱形、矩形或其它合适的形状。

5.1.4.2 大于 50 kg 的砝码可以采用适于抓取的不同形状，如：轴、钩、环或其它形状。

5.1.4.3 如果 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级或 M₁₂ 等级、M₂₃ 等级砝码在平坦的地面(或轨道)使用，可以配备限制范围的滑轨或沟槽使用。

5.1.5 其它砝码的形状

装在仪器内，且作为仪器中配套使用的砝码、或根据其它特定的仪器结构、使用要求配备的砝码，为确保砝码的测量目的和测量准确度，砝码可作成与仪器结构或使用条件相适应的其他相应的形状。

5.2 结构

5.2.1 E₁ 等级、E₂ 等级、F₁ 等级砝码

5.2.1.1 1 mg~50 kg 的 E₁ 等级、E₂ 等级、F₁ 等级砝码

1 mg~50 kg 的 E₁ 等级、E₂ 等级、F₁ 等级砝码应为实心整体结构，由整块材料构成，不带调整腔。

5.2.1.2 大于 50 kg 的砝码

5.2.1.2.1 大于 50 kg 的 E₂ 等级、F₁ 等级砝码可以有一个调整腔。E₂ 等级砝码调整腔的体积不应超过砝码总体积的 1/1000，F₁ 等级砝码不得超过 1/20。调整腔应密封，防水、防气。带有螺纹的螺栓、提钮或类似的部件可以封闭调整腔，其材料应与砝码材料相同，其表面状况应符合 E₂ 等级、F₁ 等级砝码要求。

5.2.1.2.2 首次调整后，调整腔总体积至少 1/2 应为空的。

5.2.2 F₂ 等级砝码

5.2.2.1 1 g~50 kg 的 F₂ 等级砝码

5.2.2.1.1 1 g~50 kg 的 F₂ 等级砝码可以有调整腔，其体积不应超过砝码总体积的 1/4。调整腔应用提钮或其它的方式密封。

5.2.2.1.2 首次调整后，调整腔总体积至少 1/2 应为空的。

5.2.2.2 大于 50 kg 的 F₂ 等级砝码

大于 50 kg 的 F₂ 等级砝码也可以是由多件组成的一个箱体，焊接气密且防水。此箱体内的材料可以采用不同于箱体材料的材料，并且应满足 F₂ 等级砝码的磁性要求。此箱壁应足够坚固，不能发生因环境气压变化、操作、振动等引起的变形。质量与体积的比率应符合表 5 的密度要求。

5.2.2.2.1 大于 50 kg 的 F₂ 等级砝码可以有一个调整腔，调整腔的体积不应超过总体积的 1/20。调整腔应密封，防水、防气。带有螺纹的螺栓、提钮或类似的部件可以封闭调整腔。

5.2.2.2.2 首次调整后，调整腔总体积至少 1/2 应为空的。

5.2.3 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码

5.2.3.1 1 g 到 50 kg 的 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级砝码

5.2.3.1.1 1 g~50 g 的 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级砝码是否有调整腔不做强制规定，100 g~50 kg 的 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级砝码应有调整腔。调整腔应有可靠的腔盖，避免外界物质进入。允许将调整腔打开加入调整物。调整腔的体积不应大于砝码总体积的 1/4。

5.2.3.1.2 首次调整后，调整腔总体积至少 1/3 应为空的。

5.2.3.2 1 g~50 kg 的 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级圆柱形砝码，调整腔与砝码的垂直轴线同轴，开口在砝码提钮上方，并加宽入口直径。调整腔的设计应考虑密封和易于进行开启调整。

5.2.3.3 5 kg~50 kg 的 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级平行六面体砝码，调整腔可以在管形提钮内，如果提钮是实心的，应在砝码正上方，开口在砝码侧面或上表面（见附录 A.3 或 A.5）

5.2.3.3.1 如果调整腔在管状提钮内（见 A.3），调整腔可以用螺纹塞子或带有中央提钮的盘盖封闭。塞子或盘盖可由铜合金或其他适当的金属材料制成，应由铅塞（或其他材料）塞入内部的螺孔或条形管中封闭。

5.2.3.3.2 如果调整腔是在上方浇铸的，开口在砝码的侧面或上表面（见 A.5），调整腔应由软钢或其他适当材料制成的盘关闭，由铅塞或适当的材料导入锥形孔中密封。

5.2.3.4 大于 50 kg 的 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码，砝码不应有任何导致积灰的腔体。

5.2.3.4.1 砝码可有一个或多个调整腔，所有调整腔的总体积不应超过砝码总体积的 1/10。腔体应密封、防水、防尘。调整腔可用带螺纹的塞子或提钮密封。

5.2.3.4.2 首次调整后，调整腔内至少 1/3 的体积是空的。

5.3 材料

5.3.1 总则

砝码通常应采用耐腐蚀的金属或合金制造。在通常条件下或为了某种目的使用砝码时，砝码质量值的改变与该准确度等级的最大允许误差（见表 1）比较应该小到可以忽略不计。

5.3.2 E₁ 等级、E₂ 等级砝码

大于或等于 1 g 的砝码，其材料硬度和表面的抗腐蚀性应优于或类似于 GB/T 20878 规定的奥氏体不锈钢。

5.3.3 F₁ 等级、F₂ 等级砝码

为了提高砝码的抗腐蚀性和硬度，对于大于或等于 1 g 的 F₁ 等级、F₂ 等级砝码的表面应选用适当的金属制造或者具有适当的金属镀层，其硬度和脆度应至少优于 GB/T 4423 规定的控制黄铜。

5.3.3.1 对于等于或大于 1 g 的砝码,用于生产 F₁ 等级、F₂ 等级砝码材料的硬度和脆度应至少等于 GB/T 2040 规定的铜合金的要求。

5.3.3.2 对于大于 50 kg 的砝码,用于生产 F₁ 等级、F₂ 等级砝码体或外表面的材料的硬度和脆度应至少等于 GB/T 20878 规定的不锈钢的要求。

5.3.4 小于或等于 50 kg 的 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级砝码

5.3.4.1 用于生产小于 1 g 的砝码材料应用抗腐蚀和抗氧化的金属材料制造。

5.3.4.2 1 g~50 kg 的圆柱体砝码应用铜合金或硬度和抗腐蚀性同铜合金相类似的金属制造。灰铸铁不应用于制造 100 g 以下的砝码。

5.3.4.3 5 kg~50 kg 的矩形六面体砝码应用抗腐蚀性至少等于灰铸铁的材料制造。它的脆度不应超过灰铸铁。

5.3.4.4 矩形砝码的提钮应用无缝钢管或灰铸铁制造,应与砝码体整体铸造。

5.3.4.5 戥秤的秤砣应由铸造黄铜制造。

5.3.5 大于 50 kg 的 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码

5.3.5.1 砝码应由一块或多块材料制造,材料的抗腐蚀性要等于或优于灰铸铁。

5.3.5.2 在正常使用的条件下,材料的硬度和强度应能承受加载和冲击。

5.4 磁性

5.4.1 极化强度的极限

砝码的磁化强度 M 通过极化强度 $\mu_0 M$ 表示,不得超过表 3 中的最大值。

表 3 最大极化强度 $\mu_0 M$

| 砝码等级 | | E ₁ | E ₂ | F ₁ | F ₂ | M ₁ | M ₁₂ | M ₂ | M ₂₃ | M ₃ |
|------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 最大极化强度 $\mu_0 M$ | (μT) | 2.5 | 8 | 25 | 80 | 250 | 500 | 800 | 1600 | 2500 |
| 最大磁化强度 M | (A/m) | 2 | 6.4 | 20 | 64 | 200 | 400 | 640 | 1280 | 2000 |

5.4.2 磁化率的极限

表 4 中给出了砝码磁化率不得超过的最大值。

表 4 最大磁化率 χ

| 砝码等级 | E ₁ | E ₂ | F ₁ | F ₂ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $m \leq 1 \text{ g}$ | 0.25 | 0.9 | 10 | - |
| $2 \text{ g} \leq m \leq 10 \text{ g}$ | 0.06 | 0.18 | 0.7 | 4 |
| $m \geq 20 \text{ g}$ | 0.02 | 0.07 | 0.2 | 0.8 |

5.4.3 如果测量砝码极化强度和磁化率的所有数值小于相应准确度等级的极限值,则可以认为由于该砝码磁性所引起的不确定度分量可忽略不计。表 3 和表 4 中给出的极化强度和磁化率的最大值是这样来的:衡量仪器称量盘处所存在的磁场和磁场梯度所引起的被测砝码的约定质量值的改变不应超过其最大允许误差的 1/10。

5.5 密度

5.5.1 总则

砝码的材料密度应满足表 5 的规定,并应满足空气密度 (1.2 kg/m^3) 的变化量在 10% 的情况下所引起的误差不应超过表 1 中给出的最大允许误差的 1/4。

表5 密度的最小和最大极限值 (ρ_{\min} , ρ_{\max}) 单位: (10^3 kg/m^3)

| 标称值 | 砝码等级(对M ₃ 等级砝码没有指标要求) | | | | | | | |
|--------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | E ₁ | E ₂ | F ₁ | F ₂ | M ₁ | M ₁₂ | M ₂ | M ₂₃ |
| ≥100 g | 7.934, 8.067 | 7.81, 8.21 | 7.39, 8.73 | 6.4, 10.7 | ≥4.4 | >3.0 | ≥2.3 | ≥1.5 |
| 50 g | 7.92, 8.08 | 7.74, 8.28 | 7.27, 8.89 | 6.0, 12.0 | ≥4.0 | | | |
| 20 g | 7.84, 8.17 | 7.50, 8.57 | 6.6, 10.1 | 4.8, 24.0 | ≥2.6 | | | |
| 10 g | 7.74, 8.28 | 7.27, 8.89 | 6.0, 12.0 | ≥4.0 | ≥2.0 | | | |
| 5 g | 7.62, 8.42 | 6.9, 9.6 | 5.3, 16.0 | ≥3.0 | | | | |
| 2 g | 7.27, 8.89 | 6.0, 12.0 | ≥4.0 | ≥2.0 | | | | |
| 1 g | 6.9, 9.6 | 5.3, 16.0 | ≥3.0 | | | | | |
| 500 mg | 6.3, 10.9 | ≥4.4 | ≥2.2 | | | | | |
| 200 mg | 5.3, 16.0 | ≥3.0 | | | | | | |
| 100 mg | ≥4.4 | | | | | | | |
| 50 mg | ≥3.4 | | | | | | | |
| 20 mg | ≥2.3 | | | | | | | |

注1: 这是有关砝码密度的规则。令 $|MPE/m_0|$ 为砝码最大允许相对误差值。砝码密度 ρ 应满足下述条件:
如果 $|MPE/m_0| < 6 \times 10^{-5}$, 则

$$8000 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{1+10^5 \left(\frac{|MPE/m_0|}{6} \right)} \leq \rho \leq 8000 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{1-10^5 \left(\frac{|MPE/m_0|}{6} \right)} \quad (3)$$

如果 $|MPE/m_0| \geq 6 \times 10^{-5}$, 则,

$$8000 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{1+10^5 \left(\frac{|MPE/m_0|}{6} \right)} \leq \rho \quad (4)$$

其中, m_0 为砝码的标称值。

注2: 除上表要求外, 对于标准砝码或大标称值的砝码, 其密度要求相对独立, 理想的密度值为 8000 kg/m^3 。

5.5.2 空气密度偏移量的修正

如果空气密度相对于 $\rho_0=1.2 \text{ kg/m}^3$ 的偏移量超过 10%, 并且被测砝码密度 ρ_t 偏离约定值 8000 kg/m^3 , 约定质量可按下面公式进行修正:

$$\begin{aligned} m_{ct} &= m_{cr} + m_{cr} C \pm \Delta I \times \frac{m_{cs}}{\Delta I_s} \pm m_{cw} \\ &= m_{cr} + (V_t - V_r) \times (\rho_a - \rho_0) \pm \Delta I \times \frac{m_{cs}}{\Delta I_s} \pm m_{cw} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{其中: } C = (\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right) \quad (6)$$

式中:

m_{ct} —被测砝码约定质量

ΔI —天平的指示差

m_{cs} —灵敏度砝码约定质量
 ρ_0 —约定空气密度
 ρ_t —被测砝码密度
 m_{cr} —标准砝码约定质量
 ΔI_s —由于灵敏度砝码引起的天平示值的改变
 m_{cw} —为取得天平平衡位置所添加小砝码的约定质量
 ρ_a —实际空气密度
 ρ_r —标准砝码密度

如果 $m_0|C|$ 小于该砝码最大允许误差的1/9, 可不进行空气浮力修正, 而将此部分误差放入空气浮力不确定度进行计算(见附录C.3.1)。

5.6 表面状况

5.6.1 总则

砝码的表面状况应使得在正常使用条件下, 砝码质量的变化相对于最大允许误差而言是可以忽略不计的。

5.6.1.1 砝码的表面(包括底面和边角)应平滑, 所有棱边和棱角应为圆角。

5.6.1.2 E₁ 等级、E₂ 等级、F₁ 等级和 F₂ 等级砝码的表面不应有砂眼; 用目力检查时, 表面应有光泽。

大于或等于1 g的F₂等级砝码, 其表面可具有适当的金属镀层或涂层。

5.6.1.3 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码

5.6.1.3.1 为了提高砝码的抗腐蚀性和硬度, 对于大于或等于1 g的砝码的表面应有适当的金属镀层或涂层。表面镀层或涂层应平滑, 目力检查时不应有砂眼。

5.6.1.3.2 M₁ 等级、M₂ 等级、M₃ 等级的毫克组砝码不应有镀层或涂层。

5.6.1.3.3 除中药戥秤的黄铜秤砣不应有镀层外, 对于其余 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码, 视需要可以有镀层或涂层。

5.6.1.3.4 对于有镀层或涂层的砝码, 其镀层或涂层应能起到提高砝码表面品质的作用; 在通常情况下, 应能承受正常的冲击、磨损、污染、腐蚀和大气环境等影响, 应有一定的牢固度。

5.6.1.4 表面粗糙度

采用表6中给出的数值。对于大于50 kg的所有等级砝码表面粗糙度最大值可以采用表6中数值的两倍。

表6 表面粗糙度的最大值 单位: μm

| 等级 | E ₁ | E ₂ | F ₁ | F ₂ |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| R_z | 0.5 | 1 | 2 | 5 |
| R_a | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 1 |

5.7 调整

给定标称值的砝码应这样调整: 在空气中测量结果的约定质量值应满足本标准中4.3的要求。不确定度满足4.2的要求。

5.7.1 E₁ 等级、E₂ 等级砝码

砝码应采用打磨、研磨或适当的方法调整。调整后应满足5.6的要求。

5.7.2 F₁ 等级、F₂ 等级砝码

砝码应采用打磨、研磨或适当的方法调整, 不应改变表面状况。带有调整腔的砝码应用生产砝码的同种材料或锡、钼、钨调整。

5.7.3 1 g 及其以上的 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码

5.7.3.1 100 g 及其以上的砝码应用如铅片等金属材料调整。

5.7.3.2 1 g~50 g 的没有调整腔的圆柱体砝码应用打磨、研磨、切削等方法进行调整。如果这些砝码有调整腔，砝码应用如铅片等金属材料调整。

5.7.3.3 1 mg~1000 mg 的薄片和丝状砝码应用剪切、打磨或研磨来调整。

5.7.3.4 用于调整的材料应为可以保持其质量和结构的任何固体材料。调整材料在砝码体内其质量和形状不应有任何改变。

5.7.4 参考条件

适用于标准砝码调整的参考条件如下：

——标准参考密度：8000 kg/m³；

——大气空气密度：1.2 kg/m³；

——在 20 °C 的空气中平衡，无需进行空气浮力修正。

5.8 标记

5.8.1 总则

如果砝码的表面状况和稳定性不受标记和标记过程的影响，在可能造成砝码混用，或砝码作为贸易结算的计量器具而使用时，砝码体上应清晰的标记其质量标称值。其它情况下，不做强制性规定。

在其标记和标记过程中，砝码的表面状况和稳定性不受影响的条件下，对于准确度等级在 F₂ 等级以上的砝码，如在使用中有可能导致错误使用砝码时，100 mg 及其以上的砝码可采用研磨或雕刻的方式，清晰地标记其砝码器号和该砝码的准确度等级。对于 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码不做强制性规定。

各准确度等级线状毫克组砝码、50 mg 及其以下的各准确度等级片状砝码、链码以及仪器中作为其零部件配套使用的砝码可不标记质量标称值、砝码器号及准确度等级。

对于使用中的砝码，砝码体上的标记不得涂抹、修改。

5.8.1.1 砝码质量标称值的数字表示：

1 kg~1000 kg (不含 1000 kg) 的砝码：以千克“kg”为单位的标称值；

1000 kg 及其以上的砝码：以吨“t”、千克“kg”为单位的标称值；

克组砝码—以克“g”为单位的标称值；

毫克组砝码—以毫克“mg”为单位的标称值。

5.8.1.2 砝码准确度等级的表示：

砝码体的上表面用“E₁”、“E₂”、“F₁”、“F₂”、“M₁”、“M₁₂”、“M₂”、“M₂₃”、“M₃”标记其准确度等级。

5.8.1.3 砝码器号的数字表示：

砝码的器号用阿拉伯数字和/或英文大写字母表示，并且相同准确度等级内的砝码器号为唯一的。

E₁ 等级砝码的器号为三位阿拉伯数字或英文大写字母；E₂ 等级砝码的器号为四位阿拉伯数字或英文大写字母；F 等级砝码器号不做强制性规定，但需标记砝码的标称值。

5.8.1.4 一组砝码中如果有两个或三个同一标称值的砝码，应用一个或两个星形或点或数字给予区别；如果是线状砝码，应用一个或两个钩给予区别。

5.8.2 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码

5.8.2.1 50 kg~5000 kg 的矩形砝码应在砝码体上用凸或凹的字体标记其标称值和“kg”或“t”(见附录 A.3 和 A.5)。

5.8.2.2 1 g~5000 kg 的圆柱体砝码应在提钮上用凸或凹的字体标记其标称值和“g”或“kg”或“t”(见附录 A.1)。500 g~5000 kg 的圆柱体砝码可在砝码体的侧表面上标记。

5.8.2.3 M₁ 等级砝码可用凸或凹的字体标记 M₁ 或 M 及其标称值(见附录 A.3 和 A.5)。矩形的 M₁ 等级砝码可标记生产厂的商标。在这种情况下，生产厂商标应用凸或凹的字体标记在矩形砝码的中间部分(见附录 A.3 和 A.5)。

5.8.2.4 M₂等级砝码可用凸或凹的字体标记其标称值和 M₂，或不做等级标记（见附录 A.3 和 A.5）。

5.8.2.5 M₃等级砝码可用凸或凹的字体标记其标称值和 M₃（见附录 A.3 和 A.5）。

5.8.2.6 M₂等级和 M₃等级（线状砝码除外）可标记生产厂的商标。在这种情况下，生产厂商标应用凸或凹的字体显示在矩形砝码的中间部分、矩形砝码提钮的上表面或侧表面、有固定提钮的 M₃等级圆柱体砝码的上表面或侧表面（见附录 A.3 和 A.5）。

5.8.2.7 等于或大于 50 kg 的 M₃等级砝码

砝码应带有以数字标记的标称值和单位符号。

5.8.3 大于 50 kg 的 M₁₂等级、M₂₃等级砝码。

M₁₂等级、M₂₃等级砝码可用凸或凹的字体标记其标称值和其相应的准确度等级，M₁₂或M₂₃。

5.8.4 出厂标记

对于新生产的砝码，要清晰地标记每一个砝码，以便将砝码与溯源文件相结合。表7中给出了新生产砝码体上标记可接受的最多数字。

表7 标记的最多数目

| 砝码等级 | 标称值 | 字体高度mm | 符号、数字或字母的最多数目 |
|--------------------------------|-------------|--------|---------------|
| E ₁ | ≥1 g | 2~5 | 6 |
| E ₂ | ≥1 g | 2~5 | 7 |
| F ₁ 到M ₂ | 1 g~100 g | 3 | 8 |
| F ₁ 到M ₂ | 200 g~10 kg | 5 | 8 |
| F ₁ 到M ₂ | ≥20 kg | 7 | 8 |

在任何标称值或等级的标记不会产生混淆的情况下，出厂标志应由符号、数字或字母组成。

5.9 稳定性

5.9.1 材料的稳定性

F₁等级及其以上砝码材料在生产前必须进行自然时效处理。

F₁等级及E₂等级砝码的材料在购置后应自然时效放置6个月再投入生产。

E₁等级砝码的材料在购置后应自然时效放置1年再投入生产。

5.9.2 成品的稳定性

E₁等级及E₂等级砝码在出厂检验前必须进行自然时效或人工时效处理。

E₁等级砝码：

自然时效处理：千克组砝码存放期不少于1年；

克组砝码存放期不少于6个月；

毫克组砝码存放期不少于4个月。

人工时效处理：砝码分别在温度为 50 ℃±5 ℃和-50 ℃±5 ℃的条件下各放 12 h,然后在常温下放置 48 h。

E₂等级砝码：

自然时效处理：千克组砝码存放期不少于6个月；

克组砝码存放期不少于3个月；

毫克组砝码存放期不少于2个月。

人工时效处理:砝码分别在温度为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下各放 6h,然后在常温下放置 48 h。

经时效处理后的砝码,其质量变化不得大于该砝码的质量允差的1/3。

6 试验方法

6.1 环境条件

砝码的出厂测试应在稳定的环境状况下,砝码的温度接近室温¹。表8给出了测试各准确度等级砝码时的环境状况。

表 8 测试各准确度等级砝码时的环境状况

| 砝码等级 | 测试时的温度变化 ² | 砝码等级 | 空气的相对湿度应在的范围 ³ |
|----------------|-----------------------|----------------|---------------------------|
| E ₁ | 每 4 小时最大变化 0.5 °C | E ₁ | 40%~60%, 每4小时最大变化5% |
| E ₂ | 每 4 小时最大变化 1 °C | E ₂ | 30%~70%, 每4小时最大变化10% |
| F ₁ | 每 4 小时最大变化 2 °C | F | 30%~70%, 每4小时最大变化15% |
| F ₂ | 每 4 小时最大变化 3.5 °C | | |
| M ₁ | 每 4 小时最大变化 5 °C | | |

6.1.1 对于 E₁ 等级、E₂ 等级砝码,实验室温度应在 18 °C~23 °C。环境条件应满足衡器的要求。

6.1.2 测试实验室不允许有容易察觉的振动和气流,应尽量远离振源、磁源和电离辐射的影响。实验室内的天平和砝码应避免阳光直接照射。

6.1.3 当空气密度相对于 1.2 kg/m^3 变化超过 10%时,被检砝码应采用真空质量值计算,约定质量值由真空质量值计算而来。

6.1.4 实验室气象参数测试条件

实验室内需配备相应准确度级的温度计、湿度计和压力计,以测量实验室内空气密度,见表9。

表 9 实验室内配备气象参数测量设备的准确度

| 被测砝码等级 | 温度计 (°C) | 湿度计 (%RH) | 气压计 (hPa) |
|--------|-------------------|-----------|-----------|
| E | ≤0.1 | ≤5 | ≤0.6 |
| F | ≤0.1 | ≤6 | ≤2 |
| M | 较 F等级砝码稍低的温度计、湿度计 | | |

注: 1 hPa=0.1 kPa。

6.2 检验用标准器

6.2.1 砝码检验用衡器的计量特性在进行测量之前要已知。如果被测砝码进行空气浮力修正,则衡器的合成标准不确定度(即重复性、灵敏度、分辨力、偏载等的合成)应不得超过被测砝码质量最大允许误差绝对值的 1/6;如果被测砝码不进行空气浮力修正,则合成标准不确定度不得超过被测砝码质量最大允许误差绝对值的 1/9。

6.2.2 标准砝码

标准砝码至少应比被测砝码高一准确度等级,其质量扩展不确定度应不大于被测砝码质量最大允许误差的1/9。

注1: 砝码和衡量仪器之间的温度差值要尽量的小。在检定前应将标准和被检砝码放在衡量仪器里可减小它们的温度差。

2: 这是实验室的温度变化量。在检定前,相对于24小时内实验室的温度变化,天平和砝码也要求温度稳定。

3: 在存放砝码时,湿度的上限是很重要的。

6.3 测试方法

6.3.1 准备工作

测试砝码过程中，需做好如下准备工作：

6.3.1.1 砝码清洁

在进行任何测试之前，砝码都必须清洁。清洁过程不能去除任何一块砝码材料。砝码在抓取和储存时都必须保持其清洁。清洁时不得改变砝码的表面特性（如：划伤砝码）。

如果砝码上有灰尘，可以用干净的无水乙醇清洁砝码或局部。带有调整腔的砝码不得浸入溶液中，以免液体浸入腔体。

表10给出了砝码用溶液清洗之后的稳定时间。

表 10 清洗后的稳定时间 单位：h

| 砝码等级 | E ₁ | E ₂ | F ₁ | F ₂ 到 M ₃ |
|----------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| 用无水乙醇清洗后 | 48~72 | 24~48 | 12~24 | >1 |
| 用蒸馏水清洗后 | 24~48 | 12~24 | >12 | >1 |

6.3.1.2 温度稳定

在进行任何测试之前，砝码都需要恒温以达到实验室的大气状况。特别对于E₁等级、E₂等级、F₁等级砝码，温度应与测量室内的温度接近。

表 11 中给出了强制的温度恒定最短时间（根据砝码尺寸、等级和本身的温度与实验室内温度的差）。一般情况，推荐的稳定时间为24 h。

表 11 温度稳定时间 单位：h

| ΔT^* | 标称值 | E ₁ 等级 | E ₂ 等级 | F ₁ 等级 | F ₂ 等级 |
|--------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ±20 °C | 1 000 kg, 2 000 kg, 5 000 kg | - | - | 79 | 5 |
| | 100 kg, 200 kg, 500 kg | - | 70 | 33 | 4 |
| | 10 kg, 20 kg, 50 kg | 45 | 27 | 12 | 3 |
| | 1 kg, 2 kg, 5 kg | 18 | 12 | 6 | 2 |
| | 100 g, 200 g, 500 g | 8 | 5 | 3 | 1 |
| | 10 g, 20 g, 50 g | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | <10g | 1 | | | 0.5 |
| ±5 °C | 1 000 kg, 2 000 kg, 5 000 kg | - | - | 1 | 1 |
| | 100 kg, 200 kg, 500 kg | - | 40 | 2 | 1 |
| | 10 kg, 20 kg, 50 kg | 36 | 18 | 4 | 1 |
| | 1 kg, 2 kg, 5 kg | 15 | 8 | 3 | 1 |
| | 100 g, 200 g, 500 g | 6 | 4 | 2 | 0.5 |
| | 10 g, 20 g, 50 g | 2 | 1 | 1 | 0.5 |
| | <10 g | 0.5 | | | |
| ±2 °C | 1 000 kg, 2 000 kg, 5 000 kg | - | - | 1 | 0.5 |
| | 100 kg, 200 kg, 500 kg | - | 16 | 1 | 0.5 |
| | 10 kg, 20 kg, 50 kg | 27 | 10 | 1 | 0.5 |
| | 1 kg, 2 kg, 5 kg | 12 | 5 | 1 | 0.5 |
| | 100 g, 200 g, 500 g | 5 | 3 | 1 | 0.5 |
| | <100g | 2 | 1 | | |
| ±0.5 °C | 1000 kg, 2000 kg, 5000 kg | - | - | - | - |
| | 1000 kg, 2000 kg, 5000 kg | - | 1 | 0.5 | 0.5 |
| | 100 kg, 200 kg, 500 kg | 11 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| | 10 kg, 20 kg, 50 kg | 7 | 1 | 0.5 | 0.5 |

| | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---|-----|-----|-----|
| | 100 g, 200 g, 500 g | 3 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| | <100g | 2 | 0.5 | | |
| ΔT^* 为砝码温度与实验室温度的差。 | | | | | |

6.3.2 表面状况

砝码的表面状况除表面粗糙度外，一般用目力检查。检查时，砝码表面需保持清洁。

砝码的表面粗糙度，用表面粗糙比较样块测试。表面的斑痕，如划痕，不应作为表面粗糙度测量结果。如有怀疑和争议，则使用粗糙度仪进行测试，测试结果应符合5.6.1.4的要求。表面粗糙度的评估仅适用于大于或等于1 g的E₁等级、E₂等级、F₁等级和F₂等级砝码。

6.3.3 磁性

使用磁化率计测试砝码的磁化率及极化强度；也可以使用磁强计测试砝码的极化强度。测试方法参见附录B。

测试结果应符合5.4.1条和5.4.2条给出的极化强度和磁化率的极限。

6.3.4 密度(体积)

密度测试方法参见附录C。

砝码密度(体积)的测试结果应符合5.5.1的规定。

6.3.5 约定质量

砝码质量值的测试方法见附录D。

允差范围应符合4.1的要求。

7 检验规则

7.1 砝码在出厂前应作出厂检验，合格后方可入库和出厂。出厂检验应逐个进行。出厂产品应有产品合格证书。

7.2 出厂检验的测试项目见表12。所有测试项目合格后方可出具产品合格证书。

表12 出厂检验的测试项目

| 序号 | 项目 | 计量要求、技术要求 | 试验方法 |
|----|--------|-----------|-----------------------------------|
| 1 | 最大允许误差 | 4.1 | 6.1, 6.2, 6.3.1.1, 6.3.1.2, 6.3.2 |
| 2 | 磁性 | 5.4 | 6.3.4 |
| 3 | 密度 | 5.5 | 6.3.5 |
| 4 | 表面状况 | 5.6 | 6.3.3 |

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 砝码盒及砝码标牌

8.1.1 总则

除了M₂等级、M₃等级砝码，砝码的标牌应与下述要求相一致。

属于同组的砝码应有相同的准确度等级。

砝码盒的上表面应有永久性标记铭牌，标记铭牌应记录以下主要内容：

- a) 名称；
- b) 准确度等级；
- c) 生产厂；
- d) 砝码器号（无器号时，不设此标记）；
- e) 质量范围（套装砝码，质量值从大至小标注）；
- f) 砝码个数；
- g) 砝码材料密度范围；

- h) 砝码材料;
- i) 出厂日期;
- j) 磁性参数;

8.1.1 E₁ 等级、E₂ 等级、F₁ 等级、F₂ 等级砝码

单个砝码和砝码组应避免由于冲击或振动引起的磨损或损坏。它们应被装在用木材、塑料、或其它适宜的材料制成的有单独穴的盒子中。

E₁ 等级、E₂ 等级、F₁ 等级、F₂ 等级砝码应用对砝码表面不会造成划伤或损坏的工具抓取。

砝码盒应足够坚固，不易变形。

8.1.2 M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级砝码是否配备砝码盒，不做强制性规定。

8.2 包装

8.1.3 砝码的包装应符合 GB/T 13384 的要求。包装箱中应有可靠的防尘、防震措施，以保证产品在运输中不致损坏。

8.1.4 随同产品应提供的技术资料：

- a) 使用说明书;
- b) 产品出厂合格证;
- c) 装箱单;
- d) 产品出厂检定证书。

8.3 运输

装卸砝码时应小心轻放，禁止抛、扔。运输中应避免碰撞、雨淋受潮。

8.4 贮存

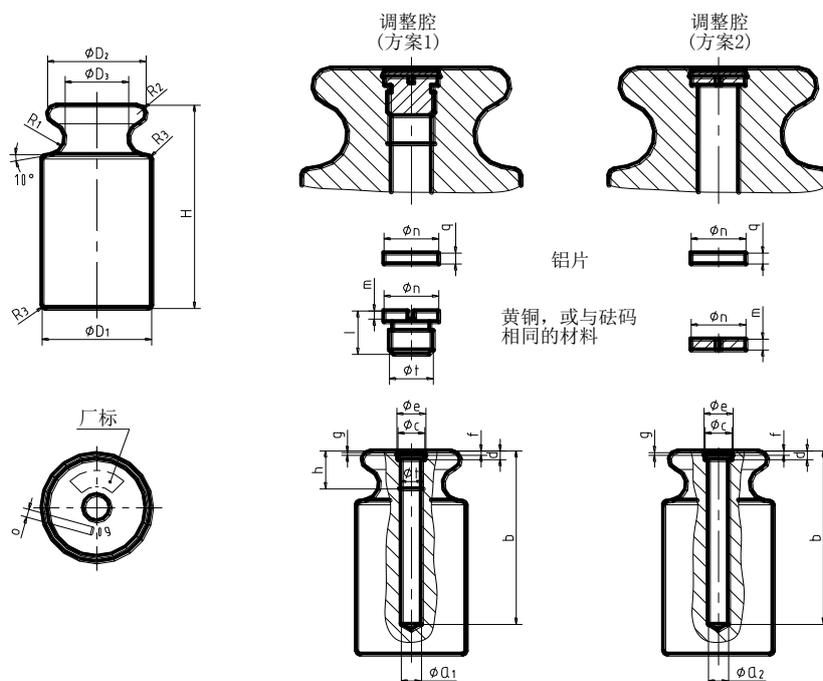
8.4.1 总则

产品应贮存在通风良好、干燥的室内，存放温度不低于-10 ℃，不高于+55 ℃，相对湿度不大于 85%。周围空气中应无腐蚀性气体。

8.4.2 E₂ 等级及其以上砝码应放置在温度为 20 ℃±5 ℃，相对湿度为 50%~70%的环境中。

附录 A
(资料性附录)
不同形状和尺寸砝码的图例

A.1 圆柱体砝码的图例 (见图 A.1) :



图A.1 圆柱体砝码的图例

A.2 圆柱体砝码的尺寸表 (见表 A.1) :

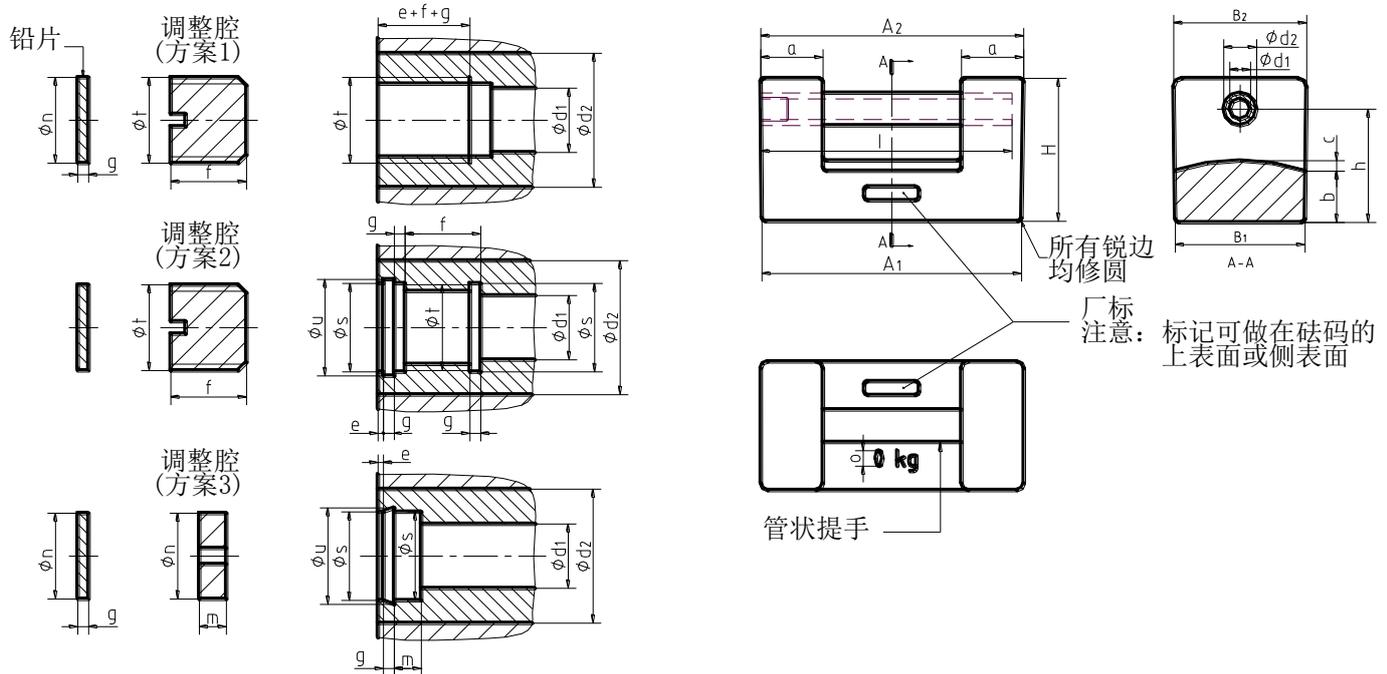
表 A.1 圆柱体砝码尺寸表

单位: 毫米

| 标称值 | D_1 | D_2 | D_3 | H | R_1 | R_2 | R_3 | o | a_1 | a_2 | $b_{\text{①}}$ | c | d | e | f | g | h | l | m | n | q | t |
|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|----------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|
| 1 g | 6 | 5.5 | 3 | 取 决 于 材 料 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 1 | 没有调整腔 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 g | 6 | 5.5 | 3 | | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 g | 8 | 7 | 4.5 | | 1.25 | 0.7 | 0.5 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 g | 10 | 9 | 6 | | 1.5 | 0.8 | 0.5 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 g | 13 | 11.5 | 7.5 | | 1.8 | 1 | 0.5 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 g | 18 | 16 | 10 | | 2.5 | 1.5 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 g | 13 | 11.5 | 7.5 | 1.8 | 1 | 0.5 | 1.5 | 3.5 | 3 | 18 | 5.5 | 2.5 | 6.5 | 1.5 | 1 | 9 | 5 | 1 | 5 | 1 | M4x0.5 | |
| 50 g | 18 | 16 | 10 | 2.5 | 1.5 | 1 | 2 | 5.5 | 4.5 | 25 | 7.5 | 3.5 | 9 | 2 | 1 | 10 | 5 | 1.5 | 7 | 1.5 | M6x0.5 | |
| 100 g | 22 | 20 | 13 | 3.5 | 2 | 1 | 2 | 5.5 | 4.5 | 30 | 7.5 | 3.5 | 9 | 2 | 1 | 10 | 5 | 1.5 | 7 | 1.5 | M6x0.5 | |
| 200 g | 28 | 25 | 16 | 4 | 2.25 | 1.5 | 3.2 | 6.9 | 7 | 40 | 10.5 | 4.5 | 12 | 2.5 | 1.5 | 15 | 8 | 2 | 10 | 2 | M8x1 | |
| 500 g | 38 | 34 | 22 | 5.5 | 3 | 1.5 | 3.2 | 6.9 | 7 | 50 | 10.5 | 4.5 | 12 | 2.5 | 1.5 | 15 | 8 | 2 | 10 | 2 | M8x1 | |
| 1 kg | 48 | 43 | 27 | 7 | 4 | 2 | 5 | 12.4 | 12 | 65 | 18.5 | 7 | 20 | 4 | 2.5 | 20 | 13 | 3 | 18 | 3 | M14x1.5 | |
| 2 kg | 60 | 54 | 36 | 9 | 5 | 2 | 5 | 12.4 | 12 | 80 | 18.5 | 7 | 20 | 4 | 2.5 | 20 | 13 | 3 | 18 | 3 | M14x1.5 | |
| 5 kg | 80 | 72 | 46 | 12 | 6.5 | 2 | 10 | 18.4 | 18 | 120 | 24.5 | 8 | 26.5 | 4 | 2.5 | 35 | 18 | 4 | 24 | 3 | M20x1.5 | |
| 10 kg | 100 | 90 | 58 | 15 | 8.5 | 3 | 10 | 18.4 | 18 | 160 | 24.5 | 8 | 26.5 | 4 | 2.5 | 35 | 18 | 4 | 24 | 3 | M20x1.5 | |
| 20 kg | 128 | 112 | 74 | 18 | 11 | 3 | 10 | 18.4 | 18 | 160 | 24.5 | 8 | 26.5 | 4 | 2.5 | 35 | 18 | 4 | 24 | 3 | M20x1.5 | |

调整腔的深度仅作为一个参考值。

A.3 平行六面体砝码的图例（1型）



图A.2 平行六面体砝码的图例（1型）

A.4 平行六面体砝码尺寸表

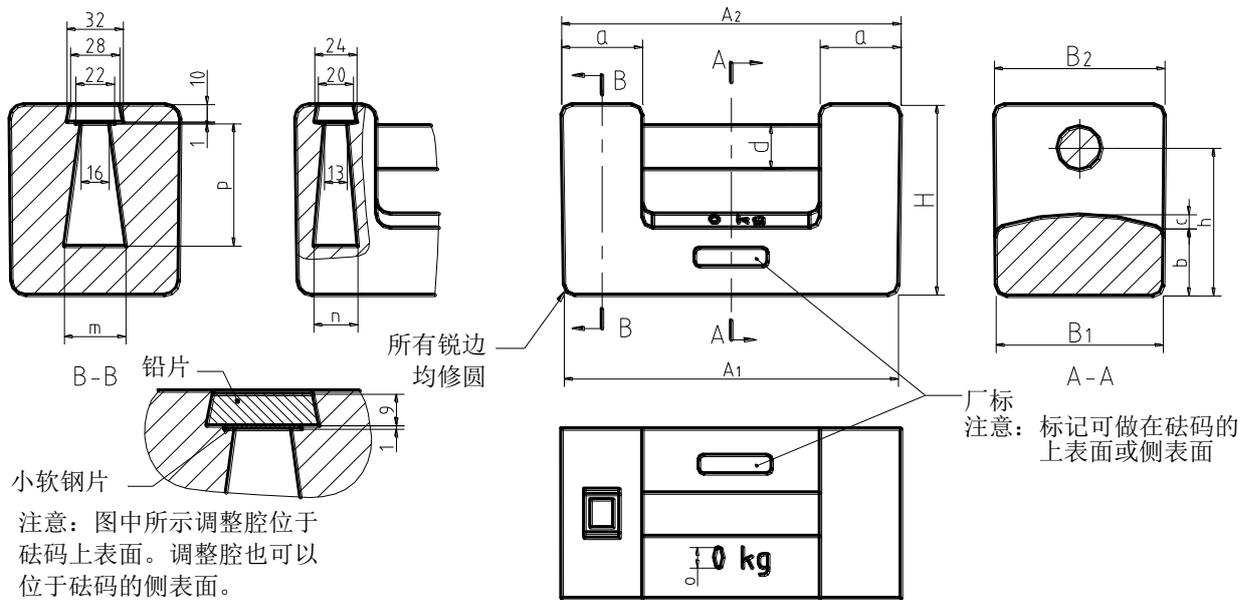
表 A.2 平行六面体砝码尺寸表

单位: 毫米

| 标称值 | A_1 | A_2 | B_1 | B_2 | H | a | b | c | d_1 | d_2 | e | f | g | h | l | m | n | o | r | s | t | u |
|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------|-----|
| 5 kg | 150 | 152 | 75 | 77 | 84 | 36 | 30 | 6 | 12 | 19 | 1 | 14 | 2 | 66 | 145 | 5 | 16 | 12 | 5 | 16.5 | M16x1.5 | 18 |
| 10 kg | 190 | 193 | 95 | 97 | 109 | 46 | 38 | 8 | 12 | 25 | 1 | 14 | 2 | 84 | 185 | 5 | 16 | 16 | 6 | 16.5 | M16x1.5 | 18 |
| 20 kg | 230 | 234 | 115 | 117 | 139 | 61 | 52 | 12 | 24 | 29 | 2 | 21 | 3 | 109 | 220 | 8 | 27 | 20 | 8 | 27.5 | M27x1.5 | 30 |
| 50 kg | 310 | 314 | 155 | 157 | 192 | 83 | 74 | 16 | 24 | 40 | 2 | 21 | 3 | 152 | 300 | 8 | 27 | 25 | 10 | 27.5 | M27x1.5 | 30 |

A_1 和 A_2 、 B_1 和 B_2 的尺寸可以互换。

A.5 平行六面体砝码的图例（2型）



图A.3 平行六面体砝码的图例（2型）

A.6 平行六面体砝码尺寸表（见表 A.3）

表A.3 平行六面体砝码尺寸表

单位：mm

| 标称值 | A_1 | A_2 | B_1 | B_2 | H | a | b | c | d | h | m | n | o | p | r |
|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 kg | 150 | 152 | 75 | 77 | 84 | 36 | 30 | 6 | 19 | 66 | 16 | 13 | 12 | 55 | 5 |
| 10 kg | 190 | 193 | 95 | 97 | 109 | 46 | 38 | 8 | 25 | 84 | 35 | 25 | 16 | 70 | 6 |
| 20 kg | 230 | 234 | 115 | 117 | 139 | 61 | 52 | 12 | 29 | 109 | 50 | 30 | 20 | 95 | 8 |
| 50 kg | 310 | 314 | 155 | 157 | 192 | 83 | 74 | 16 | 40 | 152 | 70 | 40 | 25 | 148 | 10 |

A_1 和 A_2 、 B_1 和 B_2 的尺寸可以互换。表中给出调整腔的内部尺寸 m ， n ， p 可作为参考使用。

附录 B (规范性附录) 磁性测量方法

B.1 磁化强度和磁化率—磁化率计法

此方法可以通过测量弱磁砝码在由永久强磁铁产生的磁场梯度中所受的力，来确定砝码的磁化率 ($\chi < 1$) 和极化强度 (见图 B.1)。采用这种方法，磁化率计的测量体积限制在磁铁附近垂直上方工作面的一定范围内，约 10 cm^3 。对于大一些的砝码 ($> 2 \text{ kg}$)，有必要在砝码底面多个位置上测量。在测量过程中，砝码一般是直立的。

注意：如果砝码放置于高强磁场 (对于生产 E_1 等级砝码的典型合金钢，磁场强度 $> 2 \text{ kA/m}$) 中，测量过程可能导致被测砝码被永久磁化。因此推荐在测量过程中，砝码 (E_i 等级) 底面高度和磁铁中心高度之间的距离 Z_0 最初约为 20 mm 。若样品磁化率太小，对于磁化率计不能产生合理的信号，才减小 Z_0 。

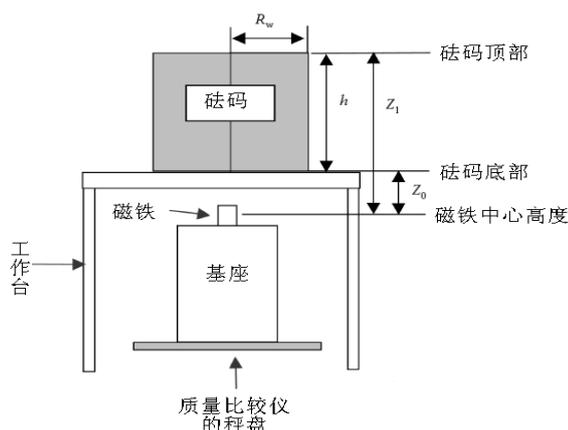
B.1.1 设备

B.1.1.1 分度值不大于 $10 \mu\text{g}$ 的衡器；放置砝码的无磁工作台；放置磁铁的圆柱体；

B.1.1.2 磁矩 m_d 在 0.1 Am^2 数量级的圆柱体磁铁 (此磁矩为钐-钴或钕-铁-硼磁铁在体积为 100 mm^3 的典型值)。

B.1.2 设备示意图

磁铁的高度最好为直径的 0.87 倍，也可采用直径和高相等的磁铁。 Z_0 为磁铁中心高度到砝码底面的距离。



其中： h -- 砝码的高度；
 Z_1 -- 砝码顶部到磁铁中心的距离；
 Z_0 -- 砝码底部到磁铁中心的距离；
 R_w -- 砝码的半径。

图 B.1 磁性测量示意图

B.1.3 测量程序

测量程序如下

- 测量不同的参数 (Z_0 , R_w , h)，见示意图 B.1。
- 需要知道准确度为 1% 的当地重力加速度 g 值；
- 将磁铁的北极向下，测量磁矩 m_d ；磁铁在工作台上表面产生的最大磁场为

$$H = \frac{m_d}{2\pi \times Z_0^3}。$$

式中， H 的单位为 $\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$ ， m_d 为 $\text{A} \cdot \text{m}^2$ ， Z_0 为 m 。

注意：在测量 E_1 等级砝码时， H 不得超过 $2000 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ ；测量 E_2 等级砝码时， H 不得超过 $800 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ ；测量其它等级砝码时， H 不得超过 $200 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ 。如果磁化率计的信号太弱，可减少 Z_0 的高度来增强磁场强度 H 。

- 仪器回零；

- e) 将砝码放在工作台上,且在磁铁的正上方,通常三次,确保砝码放在中心处;
记录加载时间、读数时间和卸载时间;根据重复测量的读数,计算衡量仪器显示的质量变化的平均值, Δm_1 ; 确定力 $F_1 = -\Delta m_1 \times g$;
- f) 如怀疑砝码已被明显磁化,则应翻转磁铁重复测量
距离 Z_0 保持恒定;再一次将砝码放置在工作台上,且在磁铁的正上方,通常三次,确保砝码放在中心处;记录加载时间、读数时间和卸载时间;根据重复测量的读数,计算衡量仪器显示的质量变化的平均值 Δm_2 , 确定力 $F_2 = -\Delta m_2 \times g$;
- g) 重复d)至f)。

B.1.4 计算

a) 把各参数代入式 (B.1) 和式 (B.2), 计算砝码磁化率 χ 和极化强度 $\mu_0 M_z$, 此时假设空气的磁化率可忽略不计。

b) 当测量了 F_1 等级和 F_2 等级时, 则磁化率表示为:

$$\chi = \frac{F_a}{I_a \times F_{\max} - 0.4 \times F_a} \quad (\text{B.1})$$

$$\text{其中: } F_{\max} = \frac{3\mu_0}{64\pi} \times \frac{m_d^2}{Z_0^4}, \quad F_a = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

$$\text{对于极化强度: } \mu_0 M_z = \frac{F_b}{\frac{m_d}{Z_0} \times \frac{1}{4\pi} \times I_b} - \frac{\chi}{1 + 0.23\chi} B_{EZ} \quad (\text{B.2})$$

$$\text{其中 } F_b = \frac{F_1 - F_2}{2}$$

B_{EZ} 是实验室内大气中磁场强度的垂直分量。通常, B_{EZ} 可视为实验室当地的地球磁场强度的垂直分量, 依据海拔的不同, 其范围为: $-48 \mu\text{T} < B_{EZ} < 60 \mu\text{T}$ 。 B_{EZ} 的梯度为地球的赤道上为零, 极点处最大。我国 B_{EZ} 的符号是正号。

c) 在上面的等式中, 给出的几何修正因子 I_a 和 I_b 分别为:

$$I_a = 1 - \left[\frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 - \frac{1 + \frac{(R_w/Z_0)^2}{3}}{\left[1 + (R_w/Z_0)^2 \right]^3} + \left[\frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 \times \frac{1 + \frac{(R_w/Z_1)^2}{3}}{\left[1 + (R_w/Z_1)^2 \right]^3} \quad (\text{B.3})$$

和

$$I_b = 2\pi \left\{ \frac{\frac{(R_w/Z_0)^2}{\left[1 + (R_w/Z_0)^2 \right]^{3/2}} - \frac{(R_w/Z_0)^2 / (Z_1/Z_0)^3}{\left[1 + \left(\frac{R_w/Z_0}{Z_1/Z_0} \right)^2 \right]^{3/2}}}{\left[1 + \left(\frac{R_w/Z_0}{Z_1/Z_0} \right)^2 \right]^{3/2}} \right\} \quad (\text{B.4})$$

空气磁化率对于所有的实际情况都可以忽略不计。

上述的公式用于正圆柱体砝码。如果被测砝码不是理想的正圆柱体砝码, 则需要做进一步的修正, 否则将产生较大的不确定度。

B.1.5 不确定度

此方法测量磁化率的不确定度范围为 10% ~ 20%。但这种方法对小砝码的相对不确定度更大。

B.2 极化强度的测量—磁强计法

B.2.1 砝码的极化强度可通过磁强计测量其附近的磁场来评估。该方法适用于表 B.1 列出的所有准确度等级。

表 B.1 磁强计法适用的砝码准确度等级

| 砝码尺寸 | 准确度等级 |
|--------------|---|
| ≥1 g(霍尔传感器) | E ₁ , E ₂ , F ₁ , F ₂ , M ₁ , M ₁₋₂ , M ₂ , M ₂₋₃ , |
| ≥100 g(磁通量仪) | M ₃ |

B.2.2 主要事项

a) 在开始测试前,应用磁强计检测实验室内的环境磁场方向。在进行检测的周围不得有铁磁性物质。操作者也不得携带铁磁性物质。

b) 如用霍尔传感器(优先采用的仪器)或磁通量闸门仪测量砝码引起的磁场。磁通量闸门仪不得用于测量 100g 以下的砝码,使探针与砝码排成一行,以便使灵敏轴与砝码的表面垂直。

c) 测量应在环境感应磁场接近于零的方向进行;

d) 另外,当有砝码时测量的磁场感应值应减去环境磁场感应值的大小。

B.2.3 设备

a) 磁强计,如霍尔传感器或磁通量闸门仪;

b) 处理砝码的工具(如:实验室手套、无棉绒的布、实验室镊子);

c) 照明良好的房间。

B.2.4 测量步骤

a) 仪器调零;

b) 将探针置于无磁物体表面;

c) 读取探针在某特定方向上的磁场读数,该读数为环境磁场的的数据。砝码上或砝码附近的读数应减去该数据:

d) 保持探针方向不变,把砝码放在探针的上方。砝码底部的中心应放在传感器的上方。通过移动砝码,从底部中心移至底部边缘位置,观察读数的变化,检查磁性的均匀性。如果读数没有缓慢的递减,则表示该砝码可能被不均匀地磁化了;

e) 如果砝码被均匀地磁化,则测量时砝码底部的中心位置应尽量靠近探针,但不接触,并应遵守磁强计的技术要求;

注意:在一些探针,如磁通量闸门仪,传感器距探针末端有一定的距离。这种情况下,其结果通常比将砝码尽量靠近霍尔传感器所获得的磁场强度的梯度要小。如果砝码被不均匀地磁化,则应沿着砝码的中心轴线,对于圆柱体砝码,距离底面至少半个直径;对于矩形砝码,距离为半个最长边的位置进行测量。探针的读数应按照下述的公式进行修正。

f) 读取显示器读数(读数单位可能是 mT),但测试报告应为 μT ;

g) 倒置砝码(仅对于平头砝码)测量顶部,重复上述的 d) 至 f) 的步骤;

h) 按照以下的公式修正探针的读数和评估极化强度 $\mu_0 M$:

$$\mu_0 M = \frac{2B}{\frac{d+h}{\sqrt{R^2+(d+h)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2+d^2}}} - f(B_E) \quad (\text{B.5})$$

并且,对于 M 等级砝码:

$$f(B_E) = 5.4B_E$$

对于 E 和 F 等级砝码:

$$f(B_E) = \frac{\chi}{1+0.23\chi} B_E \quad (\text{B.6})$$

其中: d —砝码表面到灵敏元件(嵌在探针里)中心之间的距离;

h —砝码的高度;

R —圆柱体砝码的半径,或如果砝码是矩形的,则表示与砝码底面具有相同面积的圆的半径。

注意:在很多情况下, B 和 B_E 的符号可能不同。

i) 检测报告中须记录在任何情况下所使用的设备和测量距离。

附录 C
(规范性附录)
密度(体积)测量方法

C.1 总则

本附录中将介绍三类(四种)方法用于确定砝码的密度(体积)。第一类(两种)方法是将所使用的水或其它适宜的液体作为密度标准,该方法适用于准确度等级较高的砝码。第二类(一种)方法是通过声波的方法测量砝码的体积,该方法适用于除 E₁ 等级砝码外的各准确度等级的砝码,尤其是带有调整腔的砝码。第三类(一种)方法,本附录将提供常用合金列表,在列表中给出了各种材料的密度值和相应的不确定度,用户可根据需要使用。此方法适用于准确度等级较低的砝码。

C.2 注意事项

C.2.1 参考温度:

描述密度的参考温度为20 °C。当测量温度不在此温度条件(有些实验室恒温是 18 °C或 23 °C)时,则应采用材料的体膨胀系数 γ ,将其修正到20 °C下的体积。如果不确切知道 γ 的值,则采用不锈钢的砝码, $\gamma=50\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; JF1 不锈钢的砝码, $\gamma=35\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

$$\rho(t_{\text{ref}}) = \rho(t_{\text{meas}}) \times [1 + \gamma(t_{\text{meas}} - t_{\text{ref}})]$$

或

$$V(t_{\text{ref}}) = V(t_{\text{meas}}) \times [1 + \gamma(t_{\text{meas}} - t_{\text{ref}})] \quad (\text{C.1})$$

$$u^2[\rho(t_{\text{ref}})] = u^2[\rho(t_{\text{meas}})] \left[\frac{\rho(t_{\text{ref}})}{\rho(t_{\text{meas}})} \right]^2 + u^2(\gamma)\rho^2(t_{\text{meas}})(t_{\text{meas}} - t_{\text{ref}})^2 + u^2(t_{\text{meas}})\rho^2(t_{\text{meas}})\gamma^2 \quad (\text{C.2})$$

C.2.2 小砝码的测试要求:

对于小于1 g的砝码,在表5中没有限值,可参考生产厂给出的砝码材料密度。

C.2.3 浸没砝码所用的液体:

该液体应对砝码没有影响。优先选用一级水,因为其密度与温度是已知的函数关系,并且它的纯度也容易控制。本节的公式中假设了液体密度是常数。表C.1列出了水的密度值。

表C.1 水密度

| t_1 [°C] | ρ [kg m ⁻³] | $\Delta\rho_1/\Delta t$ [kg m ⁻³ °C ⁻¹] |
|---------------|---------------------------------|---|
| 18.0 | 998.593 | |
| 18.5 | 998.499 | -0.190 |
| 19.0 | 998.402 | |
| 19.5 | 998.303 | -0.201 |
| 20.0 | 998.201 | |
| 20.5 | 998.096 | -0.212 |
| 21.0 | 997.989 | |
| 21.5 | 997.879 | -0.222 |
| 22.0 | 997.767 | |
| 22.5 | 997.652 | -0.232 |
| 23.0 | 997.535 | |
| 23.5 | 997.415 | -0.242 |
| 24.0 | 997.293 | |

C.2.4 水浸没调整腔:

具有调整腔的砝码不应浸没在水中，因为水可能在测量中渗入腔体。这可能会影响砝码的密度和质量稳定性。对于带有调整腔的砝码，推荐采用声学体积测量法，或合金成分计算法。

C.2.5 清除气泡：

对于在水中的精密测量，砝码和砝码支架上的空气泡，将造成密度测量的准确度降低，应清除。

C.2.6 砝码支架和悬挂线：

在水中，将砝码放置到砝码支架上时，可能造成砝码和容器（玻璃）的损坏。选用把砝码和砝码支架一起浸没在水中的方法，砝码支架能防止砝码的掉落。要求吊挂线细直、清洁，而且在经过空气和水的结合面时，要垂直。

C.2.7 真空质量和约定质量：

在测量砝码密度（体积）时，应采用该砝码的真空质量。

C.2.8 砝码的烘干：

从水中取出砝码后，应用精细布料去除残留的水珠。为确保砝码的稳定性，砝码应放置在适当的盖子下面（如倒置的烧杯，并留有缝隙以便通风）。

C.3 测量方法一（体积比较法—两个不同砝码在空气中称量）

两个不同的砝码均在空气中测量：在空气中比较被测砝码和标准砝码，并且对液体中的砝码和在空气中的另一个标准砝码进行比较；

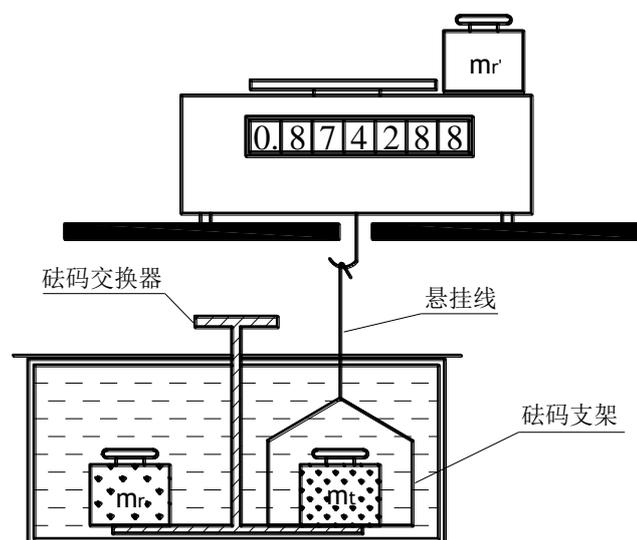


图 C.1 密度（体积）测量方法示意图

C.3.1 设备

C.3.1.1 已知密度的质量标准；细纱手套；无绒棉布；实验室用镊子；照明良好的房间。

C.3.1.2 在水中砝码的机械加载和卸载机构。

C.3.1.3 适用于不同尺寸砝码的悬挂线和支架。

C.3.1.4 控温能力在 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水容器。

C.3.1.5 足够大的测量能力和高分辨力（典型的相对分辨率为 2×10^{-6} ）的实验室天平，天平应备有悬挂或承载测量载荷的装置。

C.3.2 测量程序

C.3.2.1 确定测量时的空气密度 ρ_a 和液体密度 ρ_l 。

C.3.2.2 第一次测量（被测砝码在空气中）：在空气（密度为 ρ_a ）中测量被测砝码（ m_{ta} ），记录示值为（ I_{ta} ）。

C.3.2.3 第二次测量（标准砝码在空气中）：标准砝码（ m_{ra} ）在空气（密度为 ρ_a ）中，被测砝码在液体中测量。

C.3.2.4 第三次测量（被测砝码在液体中）：标准砝码在空气（密度为 ρ_l ）中，被测砝码（ m_{tl} ）在液体中，测量天平的分度值（ I_{tl} ）。必要时测量天平的分度值。

C.3.2.5 第四次测量（第二个标准砝码在空气中）：在空气（密度为 ρ_{al} ）中衡量标准砝码（ m_{al} ）；记录示值

(I_{rl});

第二个标准砝码(m_{rl})通常为—组砝码,它可以使天平的示值接近于浸没砝码时的天平示值。

C.3.3 计算

符号 m_{rl} 表示组合砝码总质量, ρ_{rl} 表示有效密度。有效密度计算如下:

$$\rho_{rl} = \sum_i m_{rli} / \sum_i V_{rli}$$

式中: V_{rli} 为砝码的总体积。

被测砝码的 ρ_t 计算如下:

$$\rho_t = \frac{\rho_l(C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a(C_{al} m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_{al} m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (C.3)$$

式中:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}}$$

$$C_{al} = 1 - \frac{\rho_{al}}{\rho_{rl}}$$

$$\Delta m_{wa} = (I_{ta} - I_{ra})C_s$$

$$\Delta m_{wl} = (I_{tl} - I_{rl})C_s$$

$$C_s = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_s}$$

符号 ρ_s 表示灵敏度砝码的密度, ρ_{as} 表示天平在校准时的空气密度。

C.4 测量方法二 (标准砝码在空气中和在液体中称量)

C.4.1 设备

同 C.3 中的 C.3.1 条款。

C.4.2 测量程序

与 C.3.2 测量程序基本一致, 仅第四次测量不同。

第四次测量 (标准砝码在液体中): 在液体中测量标准砝码 (m_{rl})。

在液体中衡量标准砝码(m_{rl});记录示值(I_{rl});

标准砝码(m_{rl})可以是第二个参考砝码, 也可以是在空气中所用的标准砝码(m_{ra})。

C.4.3 计算

被测砝码的 ρ_t 计算如下:

C.4.3.1 当在空气中和液体中使用同一个标准砝码时, $m_{ra}=m_{rl}=m_r$,且 $\rho_{ra}=\rho_{rl}=\rho_r$,则

$$\rho_t = \frac{\rho_l(C_a m_r + \Delta m_{wa}) - \rho_a(C_l m_r + \Delta m_{wl})}{m_r \frac{\rho_l - \rho_a}{\rho_r} + \Delta m_{wa} - \Delta m_{wl}} \quad (C.4)$$

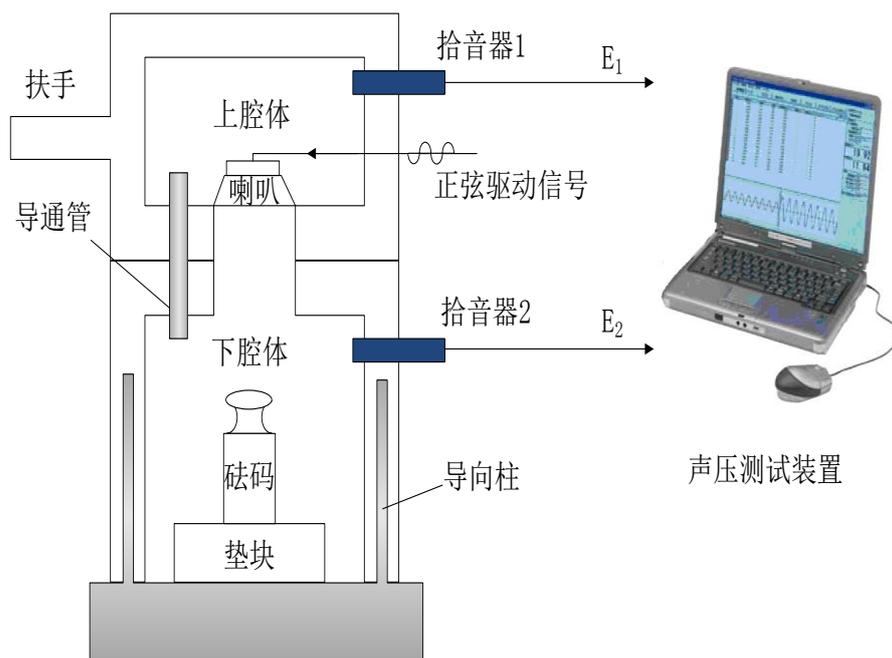
式中:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

$$C_l = 1 - \frac{\rho_l}{\rho_r}$$

Δm_{wa} 和 Δm_{wl} 见 C3.3

C.4.3.2 当在空气中和液体中使用不同的标准砝码时, $m_{ra} \neq m_{rl}$,并且 $\rho_{ra} \neq \rho_{rl}$,则



图C.3 密度（体积）测量示意图

C.6.1 设备

C.6.1.1 足够大的测量能力和高分辨率（典型的相对声压分辨率为 2×10^{-3} ）声压测量装置，包括拾音器、安装有音频（或声压）信号处理卡的计算机等。

C.6.1.2 刚性足够的测量腔体，包括上腔室和测量腔室（下腔体），喇叭等。上下腔体之间有导通管。

C.6.1.3 体积已知的参考砝码组，包括 0.95 倍和 1.05 倍标称体积的砝码。砝码垫块，材质一般为树脂或塑料等，要求刚性较好，其体积在砝码的压力下变化范围在 10^{-6}cm^3 量级以下。

C.6.1.4 其他实验操作工具，如细纱手套；无棉绒的布；实验室用镊子；照明良好的房间。

C.6.2 测量程序（双参考比较法或单参考比较法）

实际测量中，使用稳定度更高的参考砝码的体积值来代替上腔体体积值（ V_1 ），以消除上腔体体积不确定度对测量结果的影响，有单参考比较法和双参考比较法两种，在实际的操作过程中，选择任一种方法进行砝码体积测量即可。

对于每个标称值砝码体积的测量，双标准体积砝码测量方法的不确定度均小于单标准体积砝码的测量方法。

C.6.2.1 如使用双参考比较法进行测量时，需要两组参考砝码，参考砝码一为 0.95 倍标称体积的砝码，其体积已知为 V_{r1} ；参考砝码二为 1.05 倍标称体积的砝码，其体积已知为 V_{r2} 。其测量步骤如下：

- a) 放置参考砝码一（ V_{r1} ）到下腔体内砝码垫块上，测量上下腔体的声压比 R_{r1} ；
- b) 取出参考砝码一（ V_{r1} ），放置被测砝码到下腔体内砝码垫块上，测量上下腔体声压比 R ；
- c) 取出被测砝码，放入参考砝码二（ V_{r2} ），测量上下腔体声压比 R_{r2} ；
- d) 如使用单参考比较法进行测量时，选择参考砝码一（ V_{r1} ）或参考砝码二（ V_{r2} ）的任意一个即可，其测量步骤如下：
 - e) 当下腔体内仅有垫块时，测量上下腔体的声压比 R_0 ；
 - f) 将被测砝码放入下腔体内砝码垫块上，测量上下腔体的声压比 R ；
 - g) 取出被测砝码，放入参考砝码一（ V_{r1} ）或参考砝码二（ V_{r2} ）到下腔体砝码垫块上，测量上下腔体的声压比 R_r 。

C.6.3 计算

C.6.3.1 双参考比较法的体积计算公式：

$$V = (V_{r2} - V_{r1}) \frac{R_{r1} - R}{R_{r1} - R_{r2}} + V_{r1} \quad (\text{C.7})$$

单参考比较法的体积计算公式:

$$V = V_r \frac{R_0 - R}{R_0 - R_r} \quad (\text{C.8})$$

C.7 测量方法五（合金成分法）

C.7.1 大多数砝码是由有限的几种合金制造的，密度的精确值依赖于合金中各成分的相对比例。表C.2中给出了典型的材料密度范围。

表C.2 砝码最通常使用的合金表

| 合金/材料 | 标称密度 | 不确定度 ($k=2$) |
|----------------|-------------------------|-----------------------|
| 铂 | 21400 kg/m ³ | 150 kg/m ³ |
| 镍黄铜 | 8600 kg/m ³ | 170 kg/m ³ |
| 黄铜 | 8400 kg/m ³ | 170 kg/m ³ |
| 不锈钢 | 7950 kg/m ³ | 140 kg/m ³ |
| JF1 不锈钢 | 8000 kg/m ³ | 140 kg/m ³ |
| 1Cr18Ni9Ti 不锈钢 | 7850 kg/m ³ | 140 kg/m ³ |
| 碳钢 | 7700 kg/m ³ | 200 kg/m ³ |
| 铁 | 7800 kg/m ³ | 200 kg/m ³ |
| 铸铁(白) | 7700 kg/m ³ | 400 kg/m ³ |
| 铸铁(灰) | 7100 kg/m ³ | 600 kg/m ³ |
| 铝 | 2700 kg/m ³ | 130 kg/m ³ |

C.7.2 计算

C.7.2.1 有调整腔的砝码密度

砝码调整腔内填充材料可能影响砝码的密度。如果合金X(密度 ρ_X)占百分之 x ,调整材料Y(密度 ρ_Y)占总质量的百分之 y ,则密度 ρ_t 的计算公式为:

$$\rho_t = \frac{100}{\frac{x}{\rho_X} + \frac{y}{\rho_Y}} \quad (\text{C.9})$$

C.7.2.1 合金砝码的密度

如果砝码由两种不同成分组成,或者如果使用两个不同密度的砝码作为参考标准,可以使用相同的公式来确定结果密度。调整砝码的最合适金属是钨(18800 kg/m³ ± 200 kg/m³),铅(11300 kg/m³ ± 150 kg/m³),钼(10000 kg/m³ ± 150 kg/m³)和锡(7300 kg/m³ ± 100 kg/m³)。

C.8 测量方法六（几何测量）

C.8.1 测量原理

砝码的体积可根据其外形和相应的公式计算得到。砝码体积可分为几个可能含有空腔的基本部分。通常砝码的外形满足图 A.1（无调整腔时，见图 C.4）。本标准给出了把手 A、环 B 和主体 C 这三个相对简单的几何外形的体积计算公式。有时砝码底部有凹槽 D。下面给出这些部分的体积计算公式。

几何测量无需将砝码浸入液体中，适用于含有空腔的砝码。但是测量时存在刮蹭砝码表面的风险，因此，该方法不用于等级 E 和等级 F 的砝码。

C.8.2 设备

C.8.2.1 游标卡尺，分辨率最好达到 0.01 mm；

C.8.2.2 千分尺（用于小砝码）；

C.8.2.3 半径规（或使用 A.2 给出的数据）；

C.8.2.4 抓取砝码的工具（例如：实验室手套、无绒棉布、实验室镊子）；

C.8.2.5 照明良好的房间。

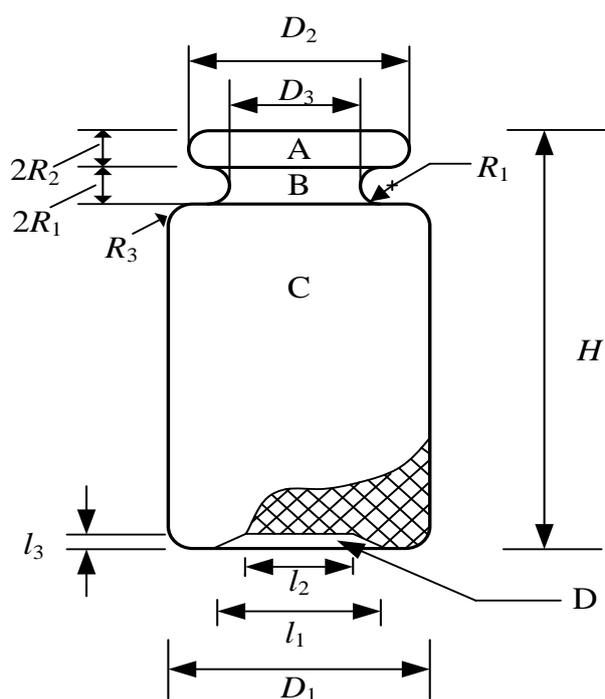


图 C.4圆柱体砝码外形图

C.8.3 测量程序

C.8.3.1 根据图C.4，测量所有高度、直径和半径；

C.8.3.2 按公式C.3~C.7计算A、B、C和D的体积并求和；

C.8.3.3 根据砝码的质量和体积计算密度。

C.8.4 计算

$$V_A = 2\pi R_2 \left(\frac{D_2^2}{4} - R_2 D_2 + R_2^2 + \frac{\pi R_2 D_2}{4} - \frac{\pi R_2^2}{2} + \frac{2R_2^2}{3} \right) \quad (\text{C.10})$$

$$V_B = \pi R_1 \left(\frac{D_3^2}{2} + R_1 D_3 - \frac{\pi R_1 D_3}{2} - \pi R_1^2 + \frac{10R_1^2}{3} \right) \quad (\text{C.11})$$

$$V_C = \pi \frac{D_1^2}{4} \left[H - 2(R_1 + R_2) \right] - \pi R_3^2 \left(2D_1 - \frac{10R_3}{3} - \frac{\pi D_1}{2} + \pi R_3 \right) \quad (\text{C.12})$$

$$V_D = \frac{1}{12} l_3 (l_1^2 + l_1 l_2 + l_2^2) \quad (\text{C.13})$$

$$W_{\text{weight}} = V_A + V_B + V_C - V_D \quad (\text{C.14})$$

附录 D (规范性附录) 约定质量测量方法

本文件给出测定砝码组中各砝码约定质量的方法,为精密衡量法,如双次替代法、单次替代法、连续替代法等。在确定质量前,必须已知被测砝码有足够准确度的密度、环境条件和确定质量所用衡量仪器的计量特性。

D.1 测量循环

在下面的 a) 和 b) 中给出了三种可用于单次比较测量的循环方法(注意:其它的测量循环和过程也可以使用。特别指出,如果采用的测量循环与其它的不独立,如: $A_1B_2A_2$, $A_2B_3A_3$, ..., 在评定不确定度时要考虑相关项, JJG99-2022 附录C.1.2 中所给出的公式要做相应的修改)。在测量循环中,“A”代表参考标准,“B”代表被检砝码。在检定 E 等级和 F 等级砝码时,通常采用 ABBA 和 ABA 循环。

在检定 E 等级和 F 等级砝码时,如果使用的是机械式衡量仪器,则需要实测该衡量仪器的分度值。

在检定各 M 等级砝码时,经常采用 $AB_1...B_nA$ 循环,但对于 E 等级和 F 等级砝码不推荐使用此方法。然而,如果使用的是带有自动交换砝码装置的衡量仪器,而且此装置安装在保护罩内进行直接比较时,则此种循环方式也适用于 E 等级和 F 等级砝码的检定。

在倍量、分量的组合测量中仅可采用 ABBA 和 ABA 循环。

a) 被检砝码和一个标准砝码比对(推荐用于 E 等级和 F 等级砝码)

可采用多种测量循环,对于两个砝码可采用下面的循环,最常用的是 ABBA 和 ABA。这些循环可降低或消除线性漂移对测量结果的影响。

ABBA($r_1t_1t_2r_2$)循环: $I_{r11}, I_{t11}, I_{t21}, \dots, I_{r1n}, I_{t1n}, I_{t2n}, I_{r2n}$

$$\Delta I_i = \frac{I_{ti} - I_{r1i} - I_{r2i} + I_{t2i}}{2}$$

式中: $i=1, \dots, n$ 。

ABA($r_1t_1r_2$)循环: $I_{r11}, I_{t11}, I_{r21}, \dots, I_{r1n}, I_{t1n}, I_{r2n}$

$$\Delta I_i = I_{ti} - \frac{I_{r1i} + I_{r2i}}{2}$$

在 ABBA 和 ABA 循环中, n 是序列的数目。 i 值为放在衡量盘上的砝码顺序号。下角标 r 和 t 分别代表标准砝码和被检砝码。 ΔI_i 表示测量序列 i 的差值。

1) 测量过程中的时间间隔应保持恒定

2) 在测量过程中如果需要确定衡量仪器的灵敏度,则序列 ABBA 可修改成为 $I_r, I_t, I_{t+ms}, I_{r+ms}$

$$\text{即 } \Delta I_s = \frac{|I_{t+ms} - I_t + I_{r+ms} - I_r|}{2}$$

序列 ABA 可修改成 $I_{r1}, I_t, I_{r2}, I_{r2+ms}$, 即

$$\Delta I_s = |I_{r2+ms} - I_{r2}| \text{ 其中 } m_s \text{ 为灵敏度砝码。}$$

(b) 多个同一标称值的被检砝码与一个标准砝码进行比对 ($AB_1...B_nA$ 循环) (推荐用于 M 等级砝码) 如果多个同一标称值的被检砝码 $t(z)$ ($z=1...Z$) 要同时进行检定,则可将 ABA 的测量循环修改为 $AB_1...B_nA$ 循环:

$AB_1...B_nA$ 循环: $I_{r1}, I_{t(1)1}, I_{t(2)1}, \dots, I_{t(Z)1}, I_{r2}, I_{t(1)2}, I_{t(2)2}, \dots, I_{t(Z)2}, I_{r3}, \dots$

$\{I_{r(i-1)}, I_{t(1)(i-1)}, I_{t(2)(i-1)}, \dots, I_{t(Z)(i-1)}, I_{ri}, I_{t(1)i}, I_{t(2)i}, \dots, I_{t(Z)i}, I_{r(i+1)}\}$

$$\Delta I_{i(z)} = I_{t(z)i} - \frac{I_{ri} + I_{r(i+1)}}{2}$$

式中: $i=1, \dots, n$ 。

通常,砝码的个数不能超过 5 个 ($Z \leq 5$)。

测量循环次数

测量循环次数应基于期望的不确定度和测量的重复性和复现性。表 D.1 中分别给出了从 E₁ 等级到 M₃

等级的最少测量循环次数。并且循环次数为 1 的只需一名测试员测试，超过 1 的必须由两名以上的测试员测试。两个测试员的测试结果之差不得超过该砝码最大允许误差的四分之一，否则需要重测。

表 D.1 最少测量循环次数

| 砝码等级 | E ₁ | E ₂ | F ₁ | F ₂ | M ₁ , M ₂ , M ₃ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| ABBA 最少次数 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| ABA 最少次数 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| AB ₁ ...B _i A 最少次数 | — | — | — | — | 1 |

(d) 无论是在一对一的砝码比较、还是组合式的砝码比较中，被检砝码与标准砝码之间的质量差值和约定质量差值的计算公式分别为：

$$\Delta m = (V_t - V_r) \times \rho_a \pm \Delta I \times \frac{m_{cs}}{\Delta I_s} \pm m_{cw}$$

$$\text{和 } \Delta m_c = (V_t - V_r) \times (\rho_a - \rho_0) \pm \Delta I \times \frac{m_{cs}}{\Delta I_s} \pm m_{cw}$$

式中平衡位置项前“±”的确定：若在放置被检砝码的一侧天平盘上添加小砝码后，如能使天平的平衡位置读数相对于添加前的读数代数值增大时，则平衡位置项前取“+”，否则取“-”。

标准小砝码项前“±”的确定：当标准小砝码加在被检砝码的同一天平盘里，或者为使标准砝码与配衡物相平衡，在放配衡物的天平盘里临时添加小砝码时，则标准小砝码项前取“-”；否则，当标准小砝码加在标准砝码的同一天平盘里，或者为使被检砝码与配衡物相平衡，而在放配衡物的天平盘临时添加小砝码时，则标准小砝码项前取“+”。

D.2 测量模式

a) 直接比较法

通常被检砝码与一个或多个标准砝码比较进行检定。在每次比对中，被检砝码的标称值和标准砝码的标称值应相等。

被检砝码的约定质量值为： $m_{ct} = \sum m_{cr} + \Delta m_c$

注意：对于 E 等级毫克组砝码的检定，由于在量程范围内标准砝码的相对不确定度较大，并且衡量仪器的不稳定性和被检砝码表面积较大等因素影响了测量过程中的不确定度分量，故推荐此类砝码的检定采用分量组合比较的方法。

b) 分、倍量组合比较

一整套的砝码与一个或多个标准砝码比较进行检定。这种方法要求对每一个砝码进行多次的测量。这些测量过程中，砝码的组合不同，而其标称值相同的情况下进行比较。这种方法主要适用于需要高准确度等级的 E₁ 等级、E₂ 等级砝码的检定中。采用这种方法，只需要一个标准砝码，测量公式的数目要多于未知砝码的个数，还要选择适当的调整计算公式以避免传递误差。

1) 表 D.2 和表 D.3 分别给出了 5、2、2•、1 和 5、3、2、1 分量砝码组合的典型测量模式是：

表 D.2 5、2、2•、1 典型的测量模式

| | | |
|--------------------------|---|--------------------|
| [1000] + Δm ₁ | = | [500+200+200 +100] |
| [500] + Δm ₂ | = | [200+200 +100] |
| [200] + Δm ₃ | = | [100+50+20+20 +10] |
| [200] + Δm ₄ | = | [100+50+20+20 +10] |
| [100] + Δm ₅ | = | [50+20+20 +10] |
| [50] + Δm ₆ | = | [20+20 +10] |
| [20] + Δm ₇ | = | [10+5+2+2 +1] |
| [20] + Δm ₈ | = | [10+5+2+2 +1] |
| [10] + Δm ₉ | = | [5+2+2 +1] |

| | | |
|-----------------------------|---|------------|
| $[5] + \Delta m_{10}$ | = | $[2+2 +1]$ |
| $[2] + \Delta m_{11}$ | = | $[1+1-]$ |
| $[2 \cdot] + \Delta m_{12}$ | = | $[1+1-]$ |
| $[1] + \Delta m_{13}$ | = | $[1-]$ |

表 D.3 5、3、2、1典型的测量模式

| | | |
|-----------------------|---|------------------|
| $[1000] + \Delta m_1$ | = | $[500+300+200]$ |
| $[500] + \Delta m_2$ | = | $[300+200]$ |
| $[300] + \Delta m_3$ | = | $[200+100]$ |
| $[200] + \Delta m_4$ | = | $[100+50+30+20]$ |
| $[100] + \Delta m_5$ | = | $[50+30+20]$ |
| $[50] + \Delta m_6$ | = | $[30+20]$ |
| $[30] + \Delta m_7$ | = | $[20+10]$ |
| $[20] + \Delta m_8$ | = | $[10+5+3+2]$ |
| $[10] + \Delta m_9$ | = | $[5+3+2]$ |
| $[5] + \Delta m_{10}$ | = | $[3+2]$ |
| $[3] + \Delta m_{11}$ | = | $[2+1]$ |
| $[2] + \Delta m_{12}$ | = | $[1+1-]$ |
| $[1] + \Delta m_{13}$ | = | $[1-]$ |

表中： $[1000]$ 为上级的标准砝码； $[1-]$ 为检定时借用的砝码。

修正值的计算公式（参见JJG 99-2022附录 B）。

注意：在检定小于1 g的E₁等级、E₂等级砝码时，会产生特殊的问题。这主要由于在这个范围内，标准砝码的相对不确定度较大。然而，另一方面，衡量仪器的不稳定性和砝码比较大的表面积都是影响测量不确定度的因素。因而，对于这样的砝码，强力推荐用分量比对的方法。

2) 表D.4 给出了 5、2、2•、1 倍量砝码组合的典型测量模式：

表 D.4 5、2、2•、1 倍量砝码典型测量模式

| | | |
|---|---|--------------|
| $[1\#] + \Delta m_1$ | = | $[1]$ |
| $[1\#] + [1] + \Delta m_2$ | = | $[2]$ |
| $[1\#] + [1] + \Delta m_3$ | = | $[2 \cdot]$ |
| $[1] + [2] + [2 \cdot] + \Delta m_4$ | = | $[5]$ |
| $[1] + [2] + [2 \cdot] + [5] + \Delta m_5$ | = | $[10]$ |
| $[1] + [2] + [2 \cdot] + [5] + [10] + \Delta m_6$ | = | $[20]$ |
| $[1] + [2] + [2 \cdot] + [5] + [10] + \Delta m_7$ | = | $[20 \cdot]$ |
| $[10] + [20] + [20 \cdot] + \Delta m_8$ | = | $[50]$ |

表中： $[1\#]$ 为上级的标准砝码。

修正值的计算公式参见JJG 99-2022的附录 B，不确定度计算参见JJG 99-2022的附录 C。