



中华人民共和国国家标准

GB/T 4167—2011
代替 GB 4167—1984

砵 码

Weights

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、计量单位 1

4 计量性能的要求 3

5 通用技术要求 5

6 试验方法 12

7 检验规则 15

8 标志、包装、运输、贮存 15

附录 A（资料性附录） 不同形状和尺寸砝码的图例 17

附录 B（规范性附录） 磁性测量方法 21

附录 C（规范性附录） 密度（体积）测量方法 24

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 4167—1984《1~5 等砝码》，与 GB/T 4167—1984 相比较，主要修订的内容有：

- a) 本标准是采用国际法制计量组织 OIML 国际建议 R111(2004)中砝码的准确度等级及其主要技术指标，并用折算质量表述砝码质量值；
- b) 标准名称改为《砝码》，以便适应 OIML 国际建议 R111 的要求，与产品分类相对应，并扩大了本标准适用的范围；
- c) 增加砝码磁化率要求；
- d) 将原国家工作基准砝码对应改为 E₁ 等级砝码。

本标准由中国轻工业联合会提出。

本标准由全国衡器标准化技术委员会(SAC/TC 97)归口。

本标准负责起草单位：中国测试技术研究院、蓬莱市水玲砝码厂、常州市富月砝码有限公司。

本标准参加起草单位：赛多利斯科学仪器(北京)有限公司、四川省邛崃市四达计量工具有限责任公司、浙江省计量科学研究院、成都理工大学、常熟市金羊砝码仪器有限公司、青岛市计量测试所。

本标准主要起草人：党正强、杨杰斌、于水玲、贺志敏。

本标准参加起草人：王江、陈雪松、薛靓、曾波、陈世建、葛锐、刘思颂、徐涛、郑伯松。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 4167—1984。

砵 码

1 范围

本标准规定了砵码的分类、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。

本标准适用于质量标称值为 1 mg~5 000 kg, 准确度等级为 E₁ 等级、E₂ 等级、F₁ 等级、F₂ 等级、M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等级、M₃ 等级的砵码。

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 13384—2008 机电产品包装通用技术条件

JJG 99—2006 砵码检定规程

3 术语和定义、计量单位

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

砵码 weights

是一种复现质量值的实物量具。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质量值。

3.1.2 砵码准确度等级的定义

3.1.2.1

E₁ 等级砵码(原工作基准砵码) 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和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.2

E₂ 等级砵码 class E₂

用于量传 F₁ 等级及其以下的砵码, 用于量传相应的衡器和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.3

F₁ 等级砵码 class F₁

用于量传 F₂ 等级及其以下的砵码, 用于量传相应的衡器和与相应的衡器配套使用。

3.1.2.4

F₂ 等级砵码 class F₂

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

3.1.2.5

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。

3.1.2.6

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。

3.1.2.7

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。

3.1.2.8

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。

3.1.2.9

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。

3.1.2.10

专用砝码 specific weights

与专用仪器设备配套使用的,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。

3.1.3

折算质量 conventional

即折算质量值: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折算质量。约定温度(t_{ref})为 20 °C,约定的空气密度(ρ_0)为 1.2 kg/m³;砝码折算质量的约定密度(ρ_{ref})为 8 000 kg/m³。折算质量值 m_c 与真空中质量值 m 的关系式:

$$m_c = m + (V_c - V)\rho_0 = \frac{\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)}{0.999\,85} m \quad \dots\dots\dots (1)$$

或

$$m = m_c + (V - V_c)\rho_0 = \frac{0.999\,85}{\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)} m_c \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

 m_c —— 砝码折算质量值; 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 —— 砝码真空中质量值。

3.1.4

物体的密度 density of a body

物质的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能力。

3.1.5.2

真空中磁导率 magnetic constant(μ_0)

砵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,如砵码,在没有外界磁场中磁性状态的参数。(通常,磁性是个矢量,它的梯度和方向在材料的内部不一定恒定)。物体的磁性在其周围的空间产生不均匀的磁场,因此对周围其他的物体会产生磁力。

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。

3.2 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)、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)。

3.2.2 砵码或砵码组的质量标称值应等于 $1 \times 10^n \text{ kg}$ 、或 $2 \times 10^n \text{ kg}$ 、或 $5 \times 10^n \text{ kg}$,其中“ n ”表示一个正的或负的整数或零。

3.2.3 砵码序列

砵码组的序列应由下列之一构成:

- a) $(1;1;2;5) \times 10^n \text{ kg}$;
- b) $(1;1;1;2;5) \times 10^n \text{ kg}$;
- c) $(1;2;2;5) \times 10^n \text{ kg}$ (优先使用);
- d) $(1;1;2;2;5) \times 10^n \text{ kg}$ 。

一组砵码可以包括多个标称值相同的砵码。

4 计量性能的要求

4.1 最大允许误差

4.1.1 砵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 对于专用砵码,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,其折算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三分之一,即:

$$U \leqslant 1/3 | \text{MPE} |$$

表 1 砝码的最大允许误差(|MPE|) 单位为毫克

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	1 600 000	2 500 000
2 000 kg			10 000	30 000	100 000	200 000	300 000	600 000	1 000 000
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
200g	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				
注:表中的最大允许误差适用于出厂检验和使用中检验。									

4.3 折算质量

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,折算质量 m_c 与砝码标称值 m_0 之差的绝对值不能超过最大允许误差的绝对值|MPE|减去扩展不确定度,即:

$$m_0 - (| \text{MPE} | - U) \leq m_c \leq m_0 + (| \text{MPE} | - U)$$

4.3.2 对于新生产的和修理后的增砣(含标准增砣),除符合上述关系外,其折算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,其折算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|。

4.3.4 经修理后的砝码,其修正值的控制范围按照 4.3.1 进行。

5 通用技术要求

5.1 形状

5.1.1 总则

5.1.1.1 为了方便生产,砝码应具有简单的几何形状。砝码的边和角应修圆,表面不应有锐边或锐角和明显的砂眼,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他形状。

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他形状。

5.1.2.2 表 2 中给出了 1 g 及小于 1 g 砝码形状所表明的标称值。

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 三角形 } 或 { 5 段 2 段 1 段
2 mg、20 mg、200 mg	正方形、长方形	
1 mg、10 mg、100 mg、1 000 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,或单独放置时,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,可以在平均直径的四分之三和四分之五之间。

5.1.3.2.2 砝码如带有提钮,提钮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、或其他形状。

5.1.3.4 5 kg~50 kg 的 M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 等级砝码可以是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。 M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 等级砝码可参照附录 A 的 A.3、A.5,尺寸的公差实例见附录 A 的 A.4、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、矩形或其他合适的形状。

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、或其他形状。

5.1.4.3 如果 M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 等级或 M_{12} 等级、 M_{23} 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。

5.2 结构

5.2.1 E_1 等级、 E_2 等级、 F_1 等级砝码

5.2.1.1 1 mg~50 kg 的 E_1 等级、 E_2 等级、 F_1 等级砝码

1 mg~50 kg 的 E_1 等级、 E_2 等级、 F_1 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 E_2 等级、 F_1 等级砝码可以有一个调整腔。 E_2 等级砝码调整腔的体积不应超过砝码总体积的千分之一, F_1 等级砝码不得超过二十分之一。调整腔应密封,防水、防尘。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 E_2 等级、 F_1 等级砝码要求。

5.2.1.2.2 首次调整后,调整腔总体积至少二分之一应为空的。

5.2.2 F_2 等级砝码

5.2.2.1 1 g~50 kg 的 F_2 等级砝码

5.2.2.1.1 1 g~50 kg 的 F_2 等级砝码可以有调整腔,其体积不应超过砝码总体积的四分之一。调整腔应用提钮或其他的方式密封。

5.2.2.1.2 首次调整后,调整腔总体积至少二分之一应为空的。

5.2.2.2 大于 50 kg 的 F_2 等级砝码

大于 50 kg 的 F_2 等级砝码可由多块材料制造。需防水或防尘焊接封闭。砝码可由多种材料构成,其磁性应符合 F_2 等级砝码的要求。

5.2.2.2.1 大于 50 kg 的 F_2 等级砝码可以有一个调整腔,调整腔的体积不应超过总体的二十分之一。调整腔应密封、防水、防尘。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,调整腔总体积至少二分之一应为空的。

5.2.3 M_1 等级、 M_{12} 等级、 M_2 等级、 M_{23} 等级、 M_3 等级砝码

5.2.3.1 1 g~50 kg 的 M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 等级砝码

5.2.3.1.1 1 g~50 g 的 M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 等级砝码是否有调整腔不做强行规定,100 g~50 kg 的

M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 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四分之一。

5.2.3.1.2 首次调整后,调整腔总体积至少三分之一应为空的。

5.2.3.2 1 g~50 kg 的 M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 等级圆柱形砝码,调整腔与砝码的垂直轴线同轴,并加宽入口直径。调整腔的设计应考虑密封和易于开启,进行调整。

5.3 材料

5.3.1 总则

砝码通常应采用金属或合金制造,砝码应为耐腐蚀的。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 E_1 等级、 E_2 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奥氏体不锈钢。

5.3.3 F_1 等级、 F_2 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 F_1 等级、 F_2 等级砝码的表面应选用适当的金属铸造或者具有适当的金属镀层,其硬度和脆度应至少优于拉制黄铜。

5.3.3.1 对于等于或大于 1 g 的砝码,用于生产 F_1 等级、 F_2 等级砝码材料的硬度和脆度应至少等于铜合金的要求。

5.3.3.2 对于大于 50 kg 的砝码,用于生产 F_1 等级、 F_2 等级砝码体或外表面的材料的硬度和脆度应至少等于不锈钢的要求。

5.3.4 小于或等于 50 kg 的 M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 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,或硬度和抗腐蚀性与铜合金相类似的金属制造。灰口铸铁不应用于制造 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口铸铁的材料制造。它的脆度不应超过灰口铸铁。

5.3.4.4 矩形砝码的提钮应用无缝钢管制造,砝码体整体用铸铁铸造。

5.3.4.5 戥秤的秤砣应由铸黄铜制造。

5.3.5 大于 50 kg 的 M_1 等级、 M_{12} 等级、 M_2 等级、 M_{23} 等级、 M_3 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口铸铁。

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

砝码的磁性 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 $\mu_0 M(\mu T)$	2.5	8	25	80	250	500	800	1 600	2 500
(A/m)	2	6.4	20	64	200	400	640	1 280	2 000

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这些极限值,则可以认为由于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:天平称量盘处所存在的磁场和磁场梯度所引起的被测砝码的折算质量值的改变不应超过其最大允许误差的十分之一。

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/m³)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四分之一。

表 5 密度的最小和最大极限值[$\rho_{\min}, \rho_{\max}/(10^3 \text{ kg/m}^3)$]

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
$\geq 100 \text{ g}$	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 满足下述条件:

如果 $|MPE/m_0| < 6 \times 10^{-5}$, 则

$$8\,000 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{1 + 10^5 \left(\frac{|MPE|}{m_0} \right)} \leq \rho \leq 8\,000 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{1 - 10^5 \left(\frac{|MPE|}{m_0} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

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

$$8\,000 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{1 + 10^5 \left(\frac{\frac{MPE}{m_0}}{6} \right)} \leq \rho \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中, m_0 为砝码的标称值。

注2: 除表5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 $8\,000 \text{ kg/m}^3$ 。

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%, 砝码密度 ρ_t 偏离折算值 $8\,000 \text{ kg/m}^3$, 折算质量可按式(5)和式(6)进行修正:

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

其中,

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

式中:

m_{ct} ——被测砝码折算质量;

ΔI ——天平的指示差;

m_{cs} ——灵敏度砝码折算质量;

ρ_0 ——约定空气密度;

ρ_t ——被测砝码密度;

m_{cr} ——标准砝码折算质量;

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折算质量;

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九分之一, 可不进行空气浮力修正。

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)应为平滑的, 所有棱边和棱角应修圆。

5.6.1.2 E_1 等级、 E_2 等级、 F_1 等级和 F_2 等级砝码的表面不应有砂眼; 用目视检查时, 表面应有光泽。大于或等于 1 g 的 F_2 等级砝码, 其表面可具有适当的金属镀层或涂层。

5.6.1.3 M_1 等级、 M_{12} 等级、 M_2 等级、 M_{23} 等级、 M_3 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。

5.6.1.3.2 M_1 等级、 M_2 等级、 M_3 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 M_1 等级、 M_{12} 等级、 M_2 等级、 M_{23} 等级、 M_3 等级砝码, 视需要可以有镀层或涂层。表面镀层或涂层应为平滑的; 目力检查时, 不应有砂眼。

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 单位为微米

等级	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂
R _s	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折算质量值应满足 4.3 的要求。

5.7.1 E₁ 等级、E₂ 等级、F₁ 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 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~1 000 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不应对其质量和形状有任何改变。

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:8 000 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。其他情况下,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 F₂ 等级、M₁ 等级、M₁₂ 等级、M₂ 等级、M₂₃ 等

级、 M_3 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~1 000 kg(不含 1 000 kg)的砝码：以千克“kg”为单位的标称值；

1 000 kg 及其以上的砝码：以吨“t”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“ E_1 ”、“ E_2 ”、“ F_1 ”、“ F_2 ”、“ M_1 ”、“ M_{12} ”、“ M_2 ”、“ M_{23} ”、“ M_3 ”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表示，并且相同准确度等级内的砝码器号为唯一的。

E_1 等级砝码的器号为三位阿拉伯数字或英文大写字母； E_2 等级砝码的器号为四位阿拉伯数字或英文大写字母；F 等级砝码标记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 M_1 等级、 M_{12} 等级、 M_2 等级、 M_{23} 等级、 M_3 等级砝码

5.8.2.1 50 kg~5 000 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 的 A.3 和 A.5)。

5.8.2.2 1 g~5 000 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 的 A.1)。500 g~5 000 kg 的圆柱体砝码标记可在砝码体的侧表面上。

5.8.2.3 M_1 等级砝码可用凸或凹的字体标记 M_1 或 M 及其标称值(见附录 A 的 A.3 和 A.5)。矩形的 M_1 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显示在矩形砝码的中间部分(见附录 A 的 A.3 和 A.5)。

5.8.2.4 M_2 等级砝码可用凸或凹的字体标记其标称值和 M_2 ，或不做等级标记(见附录 A 的 A.3 和 A.5)。

5.8.2.5 M_3 等级砝码可用凸或凹的字体标记其标称值和 M_3 (见附录 A 的 A.3 和 A.5)。

5.8.2.6 M_2 等级和 M_3 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 M_3 等级圆柱体砝码的上表面或侧表面(见附录 A 的 A.1、A.3 和 A.5)。

5.8.2.7 等于或大于 50 kg 的 M_3 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 M_{12} 等级、 M_{23} 等级砝码

M_{12} 等级、 M_{23} 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。

5.9 稳定性

5.9.1 材料的稳定性

F_1 等级及其以上砝码材料在生产前必须进行自然时效处理。

F_1 等级及 E_2 等级砝码的材料在购置后应放置半年再投入生产。

E₁ 等级砝码的材料在购置后应放置 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半年；

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℃±5℃和－50℃±5℃的条件下各放 6 h，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三分之一。

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下，其温度接近室温。表 7 给出了测试各准确度等级砝码时的环境。

表 7 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	砝码等级	空气的相对湿度应在的范围
E ₁	每 4 h 最大变化 0.5℃	E ₁	40%~60%，每 4 h 最大变化 5%
E ₂	每 4 h 最大变化 1℃	E ₂	30%~70%，每 4 h 最大变化 10%
F ₁	每 4 h 最大变化 2℃	F	30%~70%，每 4 h 最大变化 15%
F ₂	每 4 h 最大变化 3.5℃		
M ₁	每 4 h 最大变化 5℃		

6.1.1 对于 E₁ 等级、E₂ 等级砝码，实验室温度应在 18℃~23℃。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，应尽量远离振源和磁源。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/m³ 变化超过 10%时，被检砝码的计算应采用真空质量值，折算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的温度计、湿度计和压力计，以测量实验室内空气密度，见表 8。

表 8 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 ℃	湿度计(相对湿度) %	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 衡器

6.2.1 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六分之一;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九分之一。

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九分之一。

6.3 测试方法

6.3.1 准备工作

测试砝码过程中,准备工作需按如下顺序进行:

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。砝码在抓取和贮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 9 中给出了砝码用溶液清洗之后的稳定时间。

表 9 清洗后的稳定时间 单位为小时

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 10 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 10 温度稳定时间

单位为小时

ΔT^*	标称值	E ₁ 等级	E ₂ 等级	F ₁ 等级	F ₂ 等级
$\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	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
	<10 g	1			0.5
$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	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			
$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	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
	<100 g	2	1		0.5
$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 000 kg,2 000 kg,5 000 kg	—	—	—	—
	100 kg,200 kg,500 kg	—	1	0.5	0.5
	10 kg,20 kg,50 kg	11	1	0.5	0.5
	1 kg,2 kg,5 kg	7	1	0.5	0.5
	100 g,200 g,500 g	3	1	0.5	0.5
	<100 g	1	0.5		
* 为砝码温度与实验室温度的差。					

6.3.2 砝码质量测试

砝码质量值的测试方法参照 JJG 99—2006 规定执行。允差范围应符合 4.1 的要求。

6.3.3 表面状况

砝码的表面状况除表面粗糙度外，一般用目视检查。

砝码的表面粗糙度，用表面粗糙比较样块测试。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。

6.3.4 磁性

使用磁化率计测试砝码的磁化率及磁化强度。测试方法参见附录 B。
测试结果应符合 5.4.1 和 5.4.2 给出的极化强度和磁化率的极限。

6.3.5 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。

7 检验规则

这里的检验是指砝码的出厂检验。

- 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 11。所有测试项目合格后方能出具产品合格证书。

表 11 出厂检验的测试项目

序号	项目	计量、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内容:
- a) 名称;
 - b) 准确度等级;
 - c) 生产厂;
 - d) 砝码器号;
 - e) 质量范围;
 - 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。

8.1.2 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,或其他适宜的材料制成的、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。

8.1.3 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

8.2.1 砝码的包装应符合 GB/T 13384—2008 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。

8.2.2 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)

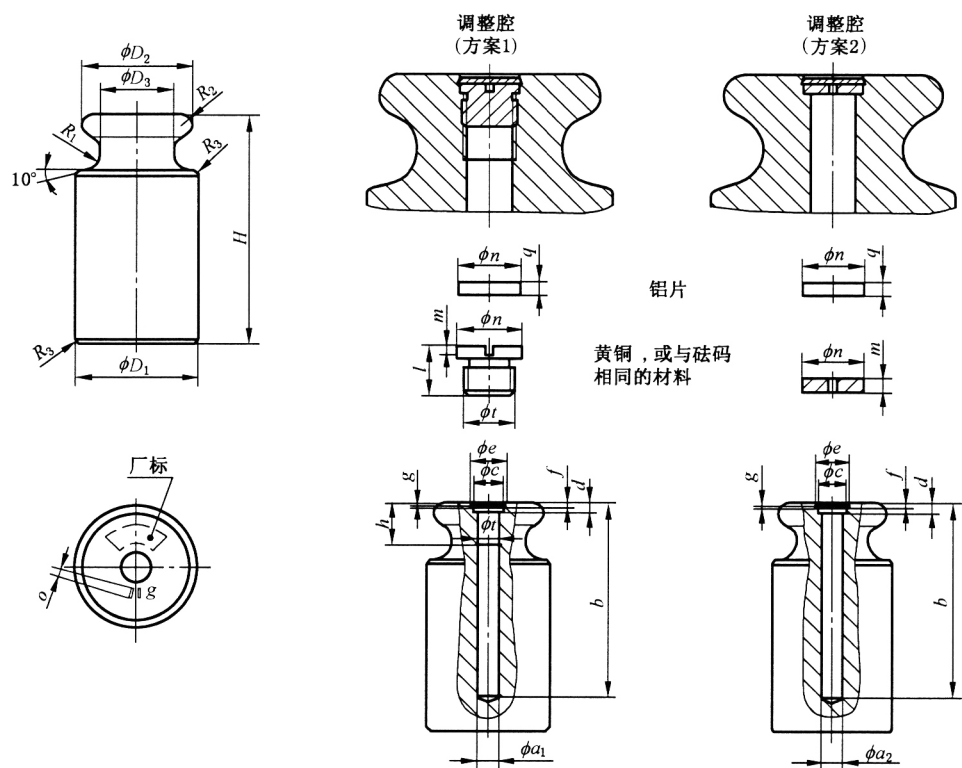


图 A.1 圆柱体砝码的图例

A.2 圆柱体砝码的尺寸表(见表 A.1)

表 A.1 圆柱体砝码的尺寸表 单位为毫米

标称值	D_1	D_2	D_3	H	R_1	R_2	R_3	o	a_1	a_2	b^*	c	d	e	f	g	h	l	m	n	q	t
1 g	6	5.5	3		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														

表 A.1 (续)

单位为毫米

标称值	D_1	D_2	D_3	H	R_1	R_2	R_3	o	a_1	a_2	b^*	c	d	e	f	g	h	l	m	n	q	t
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	M4×0.5
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	M6×0.5
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	M6×0.5
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	M8×1
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	M8×1
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	M14×1.5
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	M14×1.5
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	M20×1.5
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	M20×1.5
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	M20×1.5
* 调整腔的深度和位置仅作为一个参考值。																						

A.3 平行六面体砝码的图例(见图 A.2)(1 型)

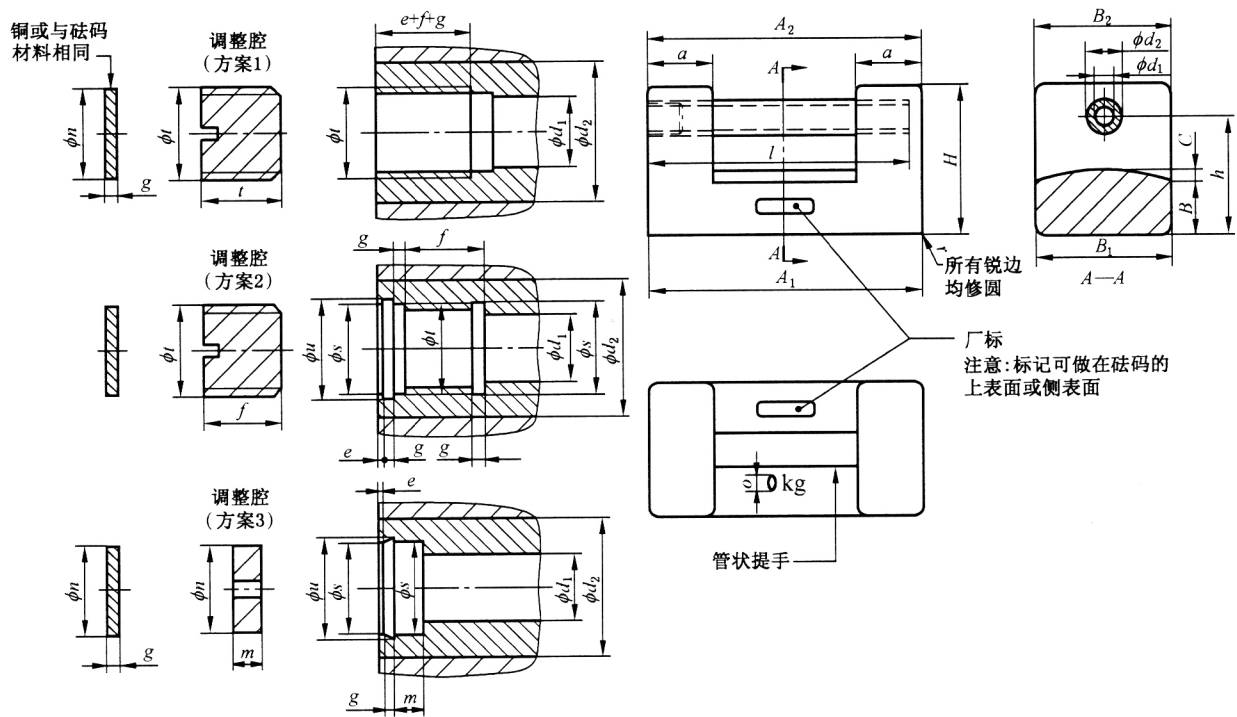


图 A.2 平行六面体砝码的图例

A.4 平行六面体砝码尺寸表(见表 A.2)

表 A.2 平行六面体砝码尺寸表 单位为毫米

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	M16×1.5	18
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	12	25	1	14	2	84	185	5	16	16	6	16.5	M16×1.5	18
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	24	29	2	21	3	109	220	8	27	20	8	27.5	M27×1.5	30
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	24	40	2	21	3	152	300	8	27	25	10	27.5	M27×1.5	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)(见图 A.3)

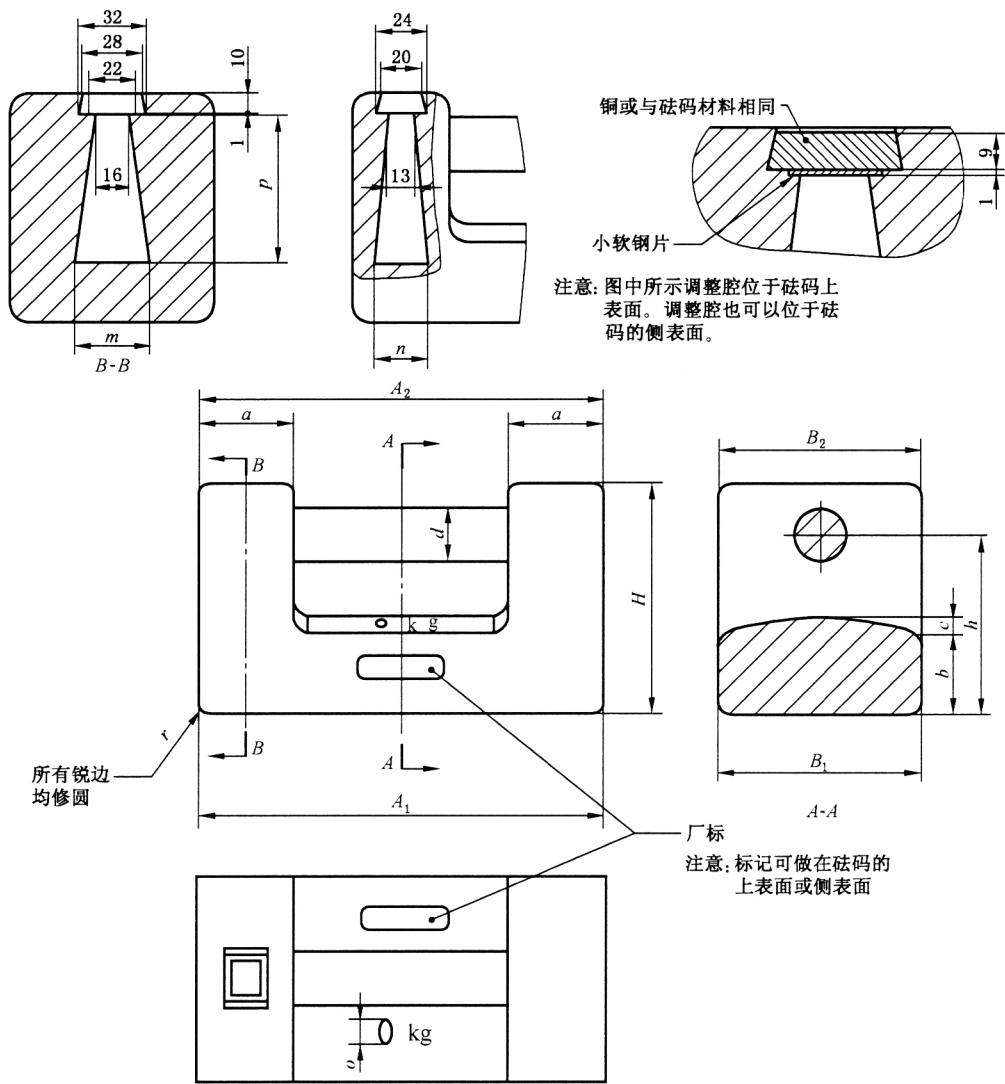


图 A.3 平行六面体砝码的图例

A.6 平行六面体砵码尺寸表(见表 A.3)

表 A.3 平行六面体砵码尺寸表 单位为毫米

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($\chi < 1$)和磁化强度(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_1 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 。

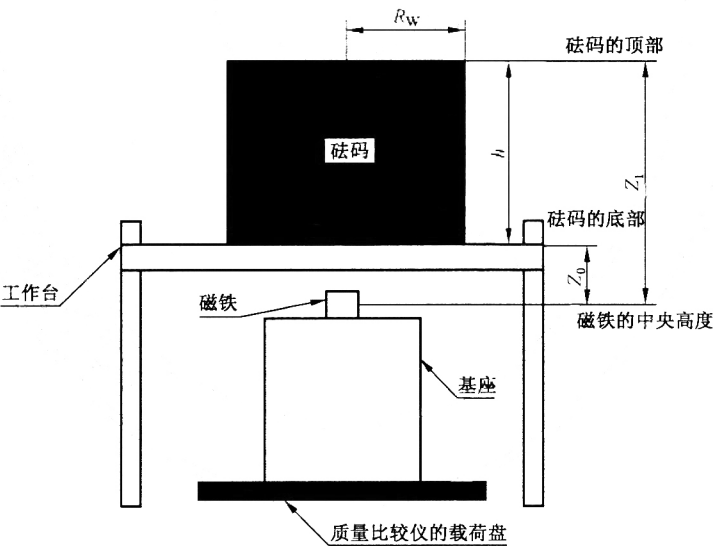
B.1.1 设备

B.1.1.1 标尺分度值不大于 $10\text{ }\mu\text{g}$ 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 磁距 m_d ,在 0.1 Am^2 数量级的圆柱体磁铁(此磁距为钐-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。磁性测量示意图见图 B.1。



说明:

h ——砝码高度;

Z_1 ——砝码顶部到磁铁中心的距离;

R_w ——砝码半径;

Z_0 ——砝码底部到磁铁中心的距离。

图 B.1 磁性测量示意图

B.1.3 测量程序

测量程序如下：

- a) 测量不同的参数(Z_0, R_w, h), 见图 B.1;
- b) 需要知道准确度为 1% 的当地重力加速度 g 值;
- c) 将磁铁的北极向下, 测量磁距 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 Am^{-1} , m_d 为 Am^2 , Z_0 为 m 。

注意: 在测量 E_1 等级砝码时 H 不得超过 $2\,000\text{ Am}^{-1}$; 测量 E_2 等级砝码时, H 不得超过 800 Am^{-1} ; 测量其他等级砝码时, H 不得超过 200 Am^{-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 。

- d) 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) 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)~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 和磁化强度 M_z 。此时假设空气的磁化率可忽略不计。
- b) 当测量了 F_1 和 F_2 时, 则磁化率表示为:

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

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

对于极化强度:

$$\mu_0 M_z = \frac{F_b}{\frac{m_d}{Z_0} \times \frac{1}{4\pi} \times I_b} - \frac{\chi}{1 + 0.23\chi} B_{EZ} \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

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

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} 的梯度在地球的赤道上为零, 极点处最大。 B_{EZ} 的符号是: 北半球为正号, 南半球为负号。

- 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:

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

和

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

空气磁化率对于所有的实际情况都可以忽略不计。

B.2 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。

附 录 C
(规范性附录)

密度(体积)测量方法

C.1 本附录中介绍两种方法用于确定砝码的密度(体积)。方法一是将所使用的水或其他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。方法二,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 密度(体积)测量时的注意事项

C.2.1 参考温度

描述密度的参考温度为 20 ℃。当测量温度不在此温度条件(有些实验室恒温是 18 ℃或 23 ℃)时,则应采用材料的体膨胀系数 γ ,将其修正到 20 ℃下的体积。如果 γ 的值不确切知道,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

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

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

$$\dots\dots\dots(\text{C.2})$$

C.2.2 小砝码的测试要求

对于小于 1 g 的砝码,在表 5 中没有限定值,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。本附录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 水的密度值

t_1 ℃	ρ kg/m ³	$\Delta\rho_1/\Delta t$ kg/m ³ ℃ ⁻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、质量和稳定性。对于带有调整腔的砝码,推荐采用几何体积测量法,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 真空质量和折算质量

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(液体静力比较法)

两个不同的标准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第二个标准砝码进行比较。示意图见图 C.1。

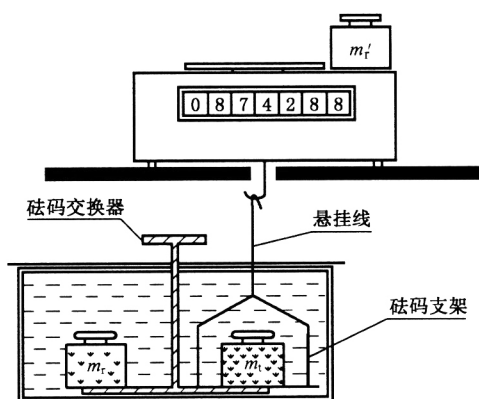


图 C.1 密度(体积)测量方法示意图

C.3.1 设备

C.3.1.1 已知密度的质量标准;细纱手套;无棉绒的布;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):在空气中测量被测砝码(m_{ta})。

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

C.3.2.4 第三次测量(必要时测量天平的分度值):标准砝码在空气中,被测砝码在液体中测量天平的

分度值 $[(m_{ra}, m_{il}) + m_s]$ 。

C.3.2.5 第二次放的标准砝码(m_{ri})通常为—群砝码,目的是使天平的显示值接近于浸没被测砝码之前在空中衡量的天平显示值。

C.4 测试方法二

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 kg/m ³	不确定度($k=2$) kg/m ³	合金/材料	标称密度 kg/m ³	不确定度($k=2$) kg/m ³
铂	21 400	150	碳钢	7 700	200
镍黄铜	8 600	170	铁	7 800	200
黄铜	8 400	170	铸铁(白)	7 700	400
不锈钢	7 950	140	铸铁(灰)	7 100	600
JF1 不锈钢	8 000	140	铝	2 700	130
1Cr18Ni9Ti 不锈钢	7 850	140			