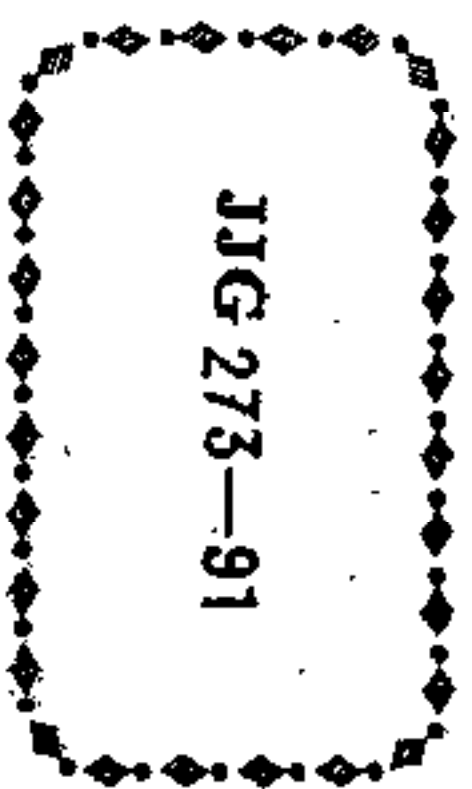


工作基准砝码检定规程

Verification Regulation of
Working Standard Weights



本检定规程经国家技术监督局于1991年5月30日批准，并自
1991年12月1日起施行。

归口单位：中国计量科学研究院

起草单位：中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释。

工作基准砝码检定规程

本规程主要起草人：

孙瑞烟 (中国计量科学研究院)

本规程适用于新生产、使用中 and 修理后的工作基准砝码的检定。

一 技术要求

(一) 砝码的分类

1 国家工作基准砝码可分为：公斤组工作基准砝码，克组工作基准砝码，毫克组工作基准砝码，微克组工作基准砝码，公斤工作基准砝码，克工作基准砝码。

1.1 公斤组工作基准砝码是质量标称值为 1 kg~20 kg 的砝码组，其组合形式为 5、2、2、1。

1.2 克组工作基准砝码是质量标称值为 1 g~500 g 的砝码组，其组合形式为 5、2、2、1。

1.3 毫克组工作基准砝码是质量标称值为 1 mg~500 mg 的砝码组，其组合形式为 5、2、2、1。

1.4 微克组工作基准砝码是质量标称值为 0.1 mg~0.5 mg 的砝码组。

1.5 公斤工作基准砝码是质量标称值为 1 kg 的砝码。

1.6 克工作基准砝码是质量标称值为 1 g 的砝码。

(二) 砝码质量的总不确定度

2 砝码质量的总不确定度是指砝码的检定不确定度和砝码稳定性之和。

2.1 砝码的检定不确定度是指在置信概率为 99.73% 情况下，上级标准误差、质量测量仪器的极限误差、测量方法和计算方法以及环境条件所引起的极限误差的总合。

2.2 砝码的质量总不确定度在附录 1 中给出。

新生产的砝码的负数范围的质量修正值只允许为允差表中相应值的 1/2。

(三) 砝码的形状、材料、密度、稳定性

3 形状

3.1 砝码必须采用整块材料的实心体。
 3.2 公斤工作基准、克工作基准做成直径与高相等的直圆柱体。
 3.3 克组工作基准、公斤组工作基准做成直圆柱体或圆柱带顶的实心砝码体，砝码的上表面应有清晰的编号。

3.4 毫克组工作基准做成片状。

3.5 微克组工作基准做成线状。

4 砝码材料和材料密度

4.1 公斤组、克组、毫克组、克、公斤等工作基准砝码材料均为非磁性不锈钢，磁化率不大于1.0006，材料硬度为40HRC以上。

4.2 微克组砝码，用钛丝制做。

4.3 除微克组工作基准为钛丝外，其它工作基准其材料均为非磁性不锈钢，其密度为 $8000 \pm 8 \text{ kg/m}^3$ 。

5 砝码的稳定性

5.1 在相邻的检定周期内，砝码质量的变化不大于砝码质量的总不确定度。

5.2 新生产的砝码应进行人工时效或自然时效处理，砝码存放期不得少于6个月。采用人工时效处理，必须把砝码依次分别放在温度为 $-40 \pm 5^\circ\text{C}$ 和 $40 \pm 5^\circ\text{C}$ 的恒温箱内存放6h(小时)，然后取出放在检定室内存放7天后检定，两次检定结果不得超过砝码质量的总不确定度。

(四) 砝码外观质量

6 砝码表面均应光滑、平整、洁净，砝码表面不得有显见的孔、裂纹、毛刺等缺陷，并且有良好的抛光外观，表面(上表面及侧面)粗糙度优于 $R_{a0.050} \mu\text{m}$ 。

二 检定条件

7 检定砝码时，其温度应与室温相一致，砝码精洗后存放时间不得少于48h。

8 检定室不允许有容易察觉的振动和气流，检定室尽量远离振

源和磁源。

9 工作基准砝码恒温室的温度应保持恒定，其温度波动每4h不大于 0.2°C 。

10 为了测定室内空气密度，室内安装分度值为 0.1°C 二等水银温度计，精度为1hPa的水银气压计，相对精度为百分之二的通风式湿度计，检定室相对湿度应控制在40%~70%范围内。

11 砝码检定采用国家公斤副基准，在相应精度的天平上，进行组合检定或一对一逐个检定。为了能够平衡测量过程中的微小质量差值及测定天平的分度值，应配备毫克组砝码。在检定过程中采用多次衡量法提高其测量精度。

三 检定项目和检定方法

12 用观察方法检查砝码外观质量应符合要求。

13 用乙醚、苯、无水酒精、航空汽油清洗砝码，然后放在天平室内晾干，存放时间不得少于48h。

14 用替代法或交换法测定其质量值。见附录1的表1、表2、表3和表4。

15 公斤工作基准砝码、克工作基准砝码的检定，可用二种方法进行。

15.1 单个直接对比法，由二人以上进行，取其算术平均值为最终结果。

15.2 四个以上砝码也可以用全组对比，用矩阵最小二乘法处理，数据见附录3表5。

16 克组工作基准砝码、毫克组工作基准砝码，微克组工作基准砝码采用组合比较法进行检定。

其平衡方程式为：

$$[1000] = \Sigma[500] + b_1$$

$$[500] = \Sigma[200] + b_2$$

$$[200] = \Sigma[100] + b_3$$

$$[200] = \Sigma[100] + b_4$$

$$\begin{aligned} [100] &= \Sigma [50] + b_5 \\ [50] &= \Sigma [20] + b_6 \\ [20] &= \Sigma [10] + b_7 \\ [20] &= \Sigma [10] + b_8 \\ [10] &= \Sigma [5] + b_8 \\ [5] &= \Sigma [2] + b_{10} \\ [2] &= [1] + [1] + b_{11} \\ [2] &= [1] + [1] + b_{12} \\ [1] &= [1] + b_{13} \end{aligned}$$

解以上方程组得以下各个被检砝码的真空质量修正值公式:

$$\begin{aligned} [K 500] &= \frac{[K 1000] - b_1 + b_2}{2} \\ [K 200] &= \frac{2[K 500] - 2b_2 + 3b_3 - 2b_4 - b_5}{5} \\ [K 200] &= \frac{2[K 500] - 2b_2 - 2b_3 + 3b_4 - b_5}{5} \\ [K 100] &= \frac{[K 200] - b_5 + b_6}{2} \\ [K 50] &= \frac{[K 100] - b_6 + b_7}{2} \\ [K 20] &= \frac{2[K 50] - 2b_6 + 3b_7 - 2b_8 - b_9}{5} \\ [K 20] &= \frac{2[K 50] - 2b_6 - 2b_7 + 3b_8 - b_9}{5} \\ [K 10] &= \frac{[K 20] - b_7 + b_8}{2} \\ [K 5] &= \frac{[K 10] - b_8 + b_{10}}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [K 2] &= \frac{2[K 5] - 2b_{10} + 3b_{11} - 2b_{12} - b_{13}}{5} \\ [K 2] &= \frac{2[K 5] - 2b_{10} - 2b_{11} + 3b_{12} - b_{13}}{5} \\ [K 1] &= \frac{[K 2] - b_{11} + b_{13}}{2} \\ [K 1] &= \frac{[K 2] - b_{11} - b_{13}}{2} \end{aligned}$$

17 公斤组工作基准砝码的检定, 以副基准为基准依法向上累
计, 组合传递, 其平衡方程式如下:

$$\begin{aligned} [1 \text{ kg}] &= [1 \text{ kg}] + a_1 \\ [2 \text{ kg}] &= [1 \text{ kg}] + [1 \text{ kg}] + a_2 \\ [2 \text{ kg}] &= [1 \text{ kg}] + [1 \text{ kg}] + a_3 \\ [5 \text{ kg}] &= \Sigma [2 \text{ kg}] + a_4 \\ [10 \text{ kg}] &= \Sigma [5 \text{ kg}] + a_5 \\ [20 \text{ kg}] &= \Sigma [10 \text{ kg}] + a_6 \end{aligned}$$

[1 kg]为公斤工作基准砝码在真空中的实际质量值。

由上述方程组, 可得出各个被检砝码在真空中的质量修正值公式
如下:

$$\begin{aligned} [K 1 \text{ kg}] &= [K 1 \text{ kg}] + a_1 \\ [K 2 \text{ kg}] &= [K 1 \text{ kg}] + [K 1 \text{ kg}] + a_2 \\ [K 2 \text{ kg}] &= [K 1 \text{ kg}] + [K 1 \text{ kg}] + a_3 \\ [K 5 \text{ kg}] &= \Sigma [K 2 \text{ kg}] + a_4 \\ [K 10 \text{ kg}] &= \Sigma [K 5 \text{ kg}] + a_5 \\ [K 20 \text{ kg}] &= \Sigma [K 10 \text{ kg}] + a_6 \end{aligned}$$

18 所有砝码的检定均需二人以上进行, 检定次数不得少于二
次, 取其算术平均值为最终结果, 其质量的总的不确定度不得超过附
录1的规定。

19 检定砝码时, 由于空气浮力所引入的误差不得超过该砝码的

总不确定度的五分之一，否则，必须对空气浮力进行修正。

空气密度计算公式如下：

$$\rho_k = \frac{1.29305}{1 + 0.00367t} \times \frac{p - 0.3779h}{1013.25}$$

式中： ρ_k ——检定室的空气密度（单位 mg/cm^3 ）；

p ——检定室内大气压（单位 hPa ）；

h ——检定室内绝对湿度（单位 hPa ）；

t ——检定室内空气温度（单位 $^{\circ}\text{C}$ ）。

D 、 h 的计算根据中央气象局编的“气象常用表”直接查表计算。

20 实心克组、公斤组砝码体积的测定，应在液体静力天平上用替代法由二人分别进行，其测定次数不得少于三次，取其结果的算术平均值为最终结果。

砝码体积的测定应在砝码首次检定时进行，以后周期检定中不需再测体积值。

砝码体积的测定不确定度见附录 2，其具体操作及装置同砝码检定规程——等砝码。

四 检定结果处理和检定周期

21 砝码检定合格后，发给检定证书。新生产的砝码不符合本规程要求者视为不合格，不发给检定证书；使用中的砝码，质量修正值允许超差，并按实际质量使用。

22 公斤工作基准、克工作基准检定周期为 2 年，毫克组工作基准、公斤组工作基准、微克组工作基准、克组工作基准检定周期为 5 年。

附录

附录 1

工作基准砝码允差表

标 称 值	砝码修正值	质量总不确定度
kg	±mg	±mg
20	10	5
10	5	3
6	2.5	0.8
2	1	0.3
1	0.5	0.12
g		
500	0.25	0.08
200	0.10	0.03
100	0.05	0.02
50	0.03	0.01
20	0.025	0.008
10	0.020	0.007
5	0.015	0.003
2	0.012	0.002
1	0.010	0.0015
mg		
500	0.008	0.0027
200	0.006	0.0020
100	0.005	0.0017
50	0.004	0.0013
20	0.003	0.0010
10	0.002	0.0007
5	0.002	0.0007
2	0.002	0.0007
1	0.002	0.0007
0.5	0.002	0.0007
0.2	0.002	0.0007
0.1	0.002	0.0007

注：使用中的单个公斤工作基准砝码修正值，可放宽到±1mg

附录 2

工作基准砝码体积测定精度表

标称质量	砝码体积测定不确定度
kg	—cm ³
20	0.6
10	0.3
6	0.2
2	0.08
1	0.02
g	
500	0.01
200	0.003
100	0.002
50	0.0015
20	0.0010

附录 3

工作基准砝码检定记录格式

i 砝码

表 1

被检砝码 A		标准砝码 B			$V_A - V_B =$ cm ³
器号:	材料:	器号:	材料:		
标称值: ()	体积: (cm ³)	标称值: ()	修正值: (mg)	体积: (cm ³)	$\rho_K =$ mg/cm ³
$\Sigma:$	$\Sigma: (=V_A)$	$\Sigma:$	$\Sigma: (=K_B)$	$\Sigma: (=V_B)$	$(V_A - V_B)\rho_K$ mg

ii 天平平衡位置读数

观测顺序	左盘	右盘	读 数		平衡位置 L	相 差 格 数	天平盘上添加的小砝码值(mg)	
			l_1	l_2			左 盘	右 盘
1	T	A	l_1	l_2	L_{A_1}	$L_{A_1} - L_{B_1}$		
			l_3	l_4				
2	T	B	l_1	l_2	L_{B_1}			
			l_3	l_4				
3	T	B	l_1	l_2	L_{B_2}	$L_{A_2} - L_{B_2}$		
			l_3	l_4				
4	T	A	l_1	l_2	L_{A_2}			
			l_3	l_4				
5	T	A+r	l_1	l_2	L_{A_r}	$ L_{A_r} - L_{A_2} $		$m_r =$
			l_3	l_4				

$$a = (V_A - V_B)\rho_K \pm \frac{1}{2}((L_{A_1} - L_{B_1}) + (L_{A_2} - L_{B_2}))D_S \pm m_w \quad (\text{mg})$$

$$D_S = \frac{m_r}{|L_{A_r} - L_{A_2}|}$$

$$(K_A) = (K_B) + a = \quad (\text{mg}) \quad m_A = m_{A_{\text{标}}} + (K_A) = \quad (\text{mg}) \quad b = -a = \quad (\text{mg})$$

表中:

- T——配衡物;
- A——被检砝码;
- B——标准砝码;
- m_A ——A的真空质量;
- $[K_A]$ ——A的真空质量修正值;
- $[K_B]$ ——B的真空质量修正值;
- V_A ——A的体积;
- V_B ——B的体积;
- ρ_A ——检定室内的空气密度;
- m_r ——测定天平分度值用的标准小砝码真空中质量;
- D_s ——天平实际分度值;
- m_w ——在第二次部分称量时,为使天平平衡而在较轻的天平盘上添加的标准小砝码真空中质量;
- a—— m_A 减去 m_B 的差;
- b—— m_B 减去 m_A 的差。

表 2

被检砝码 A		标准砝码 B			$V_A - V_B =$
器号:	材料:	器号:	材料:		cm ³
标称值: ()	体积: (cm ³)	标准值: ()	修正值: (mg)	体积: (cm ³)	$\rho_K =$ mg/cm ³
Σ_1	$\Sigma_1 (=V_A)$	Σ_2	$\Sigma_2 (=K_B)$	$\Sigma_1 (=V_B)$	$(V_A - V_B)\rho_K$
					mg

ii 天平不平衡位置读数

观测顺序	左盘	右盘	读 数		平衡位置 L	相差格数	天平盘上添加的小砝码(mg)	
			l_1	l_2			左 盘	右 盘
1	T	A	l_1	l_2	L_A	$L_A - L_B$		
2	T	B	l_1	l_2	L_B	$ L_{B_r} - L_B $		
3	T	B+r	l_1	l_2	L_{B_r}			$m_r =$
4	T	A+r	l_1	l_2	L_{A_r}	$L_{A_r} - L_{B_r}$		$m_r =$ 同上
						(mg)	$D_s = \frac{m_r}{ L_{B_r} - L_B } =$	
$a = (V_A - V_B)\rho_K \pm \frac{1}{2}((L_A - L_B) + (L_{A_r} - L_{B_r}))D_s \pm m_w$						(mg)		$b = -a =$ (mg)
$[K_A] - [K_B] + a =$ (mg)						$m_A = m_{A_r} + [K_A] =$ ()		

表 3

被检砝码 A		标准砝码 B			$V_A - V_B$
器号:	材料:	器号:	材料:		= cm^3
标称值: ()	体积: (cm^3)	标称值: ()	修正值: (mg)	体积: (cm^3)	$\rho_K = \text{mg/cm}^3$
$\Sigma:$	$\Sigma: (=V_A)$	$\Sigma:$	$\Sigma: (=K_B)$	$\Sigma: (=V_B)$	$(V_A - V_B)\rho_K$
					= (mg)

ii 天平平衡位置读数						天平盘上添加的小砝码值 (mg)			
观测顺序	左盘	右盘	读 数		平衡位置 L	相差格数	左 盘	右 盘	
1	B	A	l_1	l_2	L_{BA_1}	$L_{BA_1} - L_{AB_1}$	=		
			l_3	l_4					
2	A	B	l_1	l_2	L_{AB_1}				
			l_3	l_4					
3	A	B	l_1	l_2	L_{AB_2}				
			l_3	l_4					
4	B	A	$-l_1$	$-l_2$	L_{BA_2}	$-L_{AB_2} - L_{AB_2}$	=		
			l_3	l_4					
5	B	A+r	l_1	l_2	L_{BAr}	$ L_{BAr} - L_{BA_2} $	=	$m_r =$	
			l_3	l_4					
$a = (V_A - V_B)\rho_K \pm \frac{1}{4}((L_{BA_1} - L_{AB_1}) + (L_{BA_2} - L_{AB_2}))D_s + m_r \pm \frac{m_w}{2}$					$D_s = \frac{m_r}{ L_{BAr} - L_{BA_2} } =$				
$(K_A) = (K_B) + a = \text{ (mg)}$					$m_A = m_{A_{标}} + (K_A) = \text{ ()}$			$b = -a = \text{ (mg)}$	

共15页 第12页

134

JJG 273-91

表 4

被检砝码 A		标准砝码 B			$V_A - V_B$
器号:	材料:	器号:	材料:		= cm^3
标称值: ()	体积: (cm^3)	标称值: ()	修正值: (mg)	体积: (cm^3)	$\rho_K = \text{mg/cm}^3$
$\Sigma:$	$\Sigma: (=V_A)$	$\Sigma:$	$\Sigma: (=K_B)$	$\Sigma: (=V_B)$	$(V_A - V_B)\rho_K$
					= mg

ii 天平平衡位置读数							天平盘上添加的小砝码值 (mg)		
观测顺序	左盘	右盘	读 数		平衡位置 L	相差格数			
1	B	A	l_1	l_2	L_{BA}	$L_{BA} - L_{AB}$	=		
			l_3	l_4					
2	A	B	l_1	l_2	L_{AB}	$ L_{BAr} - L_{AB} $	=		
			l_3	l_4					
3	A	B+r	l_1	l_2	L_{ABr}	=		$m_r =$	
			l_3	l_4					
4	B	A+r	l_1	l_2	L_{BAr}	$L_{BAr} - L_{ABr}$	=	$m_r = \text{同上}$	
			l_3	l_4					
$a = (V_A - V_B)\rho_K \pm \frac{1}{4}((L_{BA} - L_{AB}) + (L_{BAr} - L_{ABr}))D_s + m_r \pm \frac{m_w}{2}$					$D_s = \frac{m_r}{ L_{BAr} - L_{AB} } =$				
$(K_A) = (K_B) + a = \text{ (mg)}$					$m_A = \text{ ()}$			$b = -a = \text{ (mg)}$	

JJG 273-91

135

共15页 第13页

表 3 和 4 中:

m_u ——交换前为使天平平衡添加到天平盘上的标准小砝码真空中质量, 在以后的交换过程中该砝码随着所在盘的砝码一起交换。

m_w ——在砝码交换后, 为使天平平衡, 在较轻的天平上所添加的标准小砝码真空中质量; 其它符号的意义同前。

表 5

i	1	2	3	4	备注
x_{i1}	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	
l_{i1}	0	l_{21}	l_{31}	l_{41}	
x_{i2}	l_{12}	0	l_{32}	l_{42}	
x_{i3}	l_{13}	l_{23}	0	l_{43}	
x_{i4}	l_{14}	l_{24}	l_{34}	0	
$\sum_{j=1}^i l_{ij}$					
r_i					
$\xi_i = \frac{r_i}{t} - \frac{r_1}{t}$					
$x_i = w + \xi_i$					

计算程序:

- 1 将各 l_{ij} 值依次填入表 5 中零线左方
- 2 以零线为对称轴, 将各 l_{ij} 反号填入零线右方
- 3 求各列之和, 即 $r_i = \sum_{j=1}^i l_{ij}$, 这里 $i=4$ 。
- 4 计算 $\xi_i = \frac{r_i}{t} - \frac{r_1}{t}$, $x_i = w + \xi_i$ 。

5 计算 $x_{ij} = x_i - x_j = \xi_i - \xi_j = \frac{r_i}{t} - \frac{r_j}{t}$, 并将该值列入表 5 中零线左边, l_{ij} 的上面。

6 计算 $U_{ij} = x_{ij} - l_{ij}$ 。

7 计算 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum U_{ij}^2}{n-t+r}}$ 这里 $r=1, n$ 为测量总数, 即方程数,

t 为未知量个数, r 为已知量个数。

8 计算 $\sigma_i = \sigma L_i \sqrt{\frac{2}{t}}$, $\sigma_2 = \sigma_{i_0}$ 。

9 计算 $t_{ij} = \frac{1}{2}$ (ξ_i 和 ξ_j 的相关系数)

10 计算总的不确定度 $\sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_i^2}$