

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—202X

电子固体密度天平校准规范

Calibration Specification for Electronic Solid Density Balances

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

电子固体密度天平校准规范

Calibration Specification for

Electronic Solid Density Balances

JJF XXXX-202X

本规范经国家质量监督检验检疫总局 XXXX 年 XX 月 XX 日批准,并自
XXXX 年 XX 月 XX 日起施行。

归 口 单 位: 全国质量密度计量技术委员会

主要起草单位: 浙江省计量科学研究院

参加起草单位:

本规范委托全国质量密度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	V
1 范围	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位	1
3.1 术语.....	1
3.2 计量单位.....	1
4 概述	1
5 计量特性.....	2
5.1 称量示值误差.....	2
5.2 称量重复性.....	2
5.3 称量偏载误差.....	2
5.4 密度示值误差.....	2
5.3 密度重复性.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 校准标准及其它设备.....	2
6.2.1 砝码.....	2
6.2.2 密度标准.....	2
6.2.3 校准用液体.....	2
6.2.4 其它有关测量用计量器具.....	3
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 校准方法.....	3
7.2.1 校准范围.....	3
7.2.2 校准前的准备	3
7.2.3 称量示值误差	3
7.2.4 称量重复性.....	3
7.2.5 称量偏载误差	3
7.2.6 密度示值误差	4
7.2.7 密度重复性.....	5
8 校准结果表达	5
9 复校时间间隔.....	6
附录 A 电子固体密度天平校准记录.....	7
A.1 称量示值误差	7

A.2	称量重复性	7
A.3	称量偏载误差	8
A.4	密度示值误差及重复性	8
附录 B 电子固体密度天平校准证书内页格式		9
B.1	称量示值误差校准结果	9
B.2	密度示值误差校准结果	9
附录 C 电子固体密度天平校准结果不确定度评定方法及实例		10
C.1	概述	10
C.2	称量示值误差测量结果的不确定度评定	10
C.3	密度示值误差测量结果的不确定度评定	12
C.4	称量示值误差测量结果的不确定度评定实例	14
C.5	密度示值误差测量结果的不确定度评定实例	16

引 言

本规范根据 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》规定的规则编写。

本校准规范给出了电子固体密度天平的校准条件、校准项目和校准方法及不确定度评定方法和示例。

本规范系首次发布。

电子固体密度天平校准规范

1 范围

本校准规范适用于电子固体密度天平（以下简称天平）的校准。

2 引用文件

本校准规范引用下列技术条件

JJG 99 砝码

JJG 1847 电子天平

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

JJF 1229 质量密度计量名词术语及定义

欧盟校准指南第 18 号 非自动衡器校准指南（Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本校准规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本校准规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

相关术语参照 JJF 1001 《通用计量术语及定义》、JJF 1229 《质量密度计量名词术语及定义》。

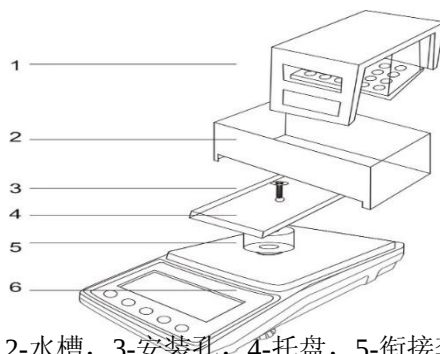
3.2 计量单位

使用的单位：毫克（mg）、克（g）、公斤（kg）和克每立方厘米（ g/cm^3 ）、公斤每立方米（ kg/m^3 ）。

4 概述

电子固体密度天平的测量原理是依据阿基米德定律，先通过电子天平测量固体在空气中的质量示值，再将该固体放置在已知密度值的液体介质（如：纯水）中进行示值测量，即可在其显示屏上直接得到此固体的密度值。

电子固体密度天平主要由电子天平、托盘、水槽、密度架、吊篮、支架和挂钩等几部分组成，有上置式和下挂式两种情况，如图 1 和图 2 所示。



1-密度架，2-水槽，3-安装孔，4-托盘，5-衔接套，6-电子天平

图 1 上置式电子固体密度天平示意图

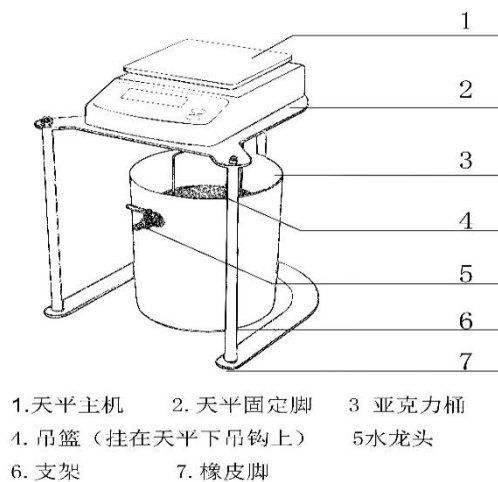


图 2 下挂式电子固体密度天平示意图

5 计量特性

5.1 称量示值误差

质量测量示值与加载砝码的质量参考值之差。

5.2 称量重复性

质量重复测量所得示值间的一致程度。

5.3 称量偏载误差

偏离中心点的质量示值与中心点质量示值之差。

5.4 密度示值误差

密度测量示值与密度标准的参考值之差。

5.5 密度重复性

密度重复测量所得示值间的一致程度。

6 校准条件

6.1 环境条件

校准应在稳定的环境下进行，须满足如下要求：

- a) 环境温度： $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，变化不大于 2°C ；
- b) 相对湿度： $\leq 85\%$ ，变化不大于 15%
- c) 液温与室温之差不大于 2°C ；
- d) 其它条件：校准时不得有影响校准结果的干扰源。

6.2 校准标准及其它设备

6.2.1 砝码

采用砝码进行天平质量称量示值误差校准，砝码应符合 JJG99 的计量要求，其准确度等级为 E_2 等级或以上等级。

6.2.2 密度标准

采用密度值已知的固体密度标准，如 E_2 等级及以上等级砝码，进行密度示值误差校准。

密度标准的质量值应包括：1/4 最大称量、1/2 最大称量及最大称量等附近的三个点，选择单只密度标准。

6.2.3 校准用液体

采用纯水作为介质。

6.2.4 其它有关测量用计量器具

- a) 分度值不大于 0.2℃ 的温度计；
- b) 相对准确度不低于 5%RH 湿度计。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

- a) 称量示值误差；
- b) 密度示值误差。

7.2 校准方法

7.2.1 校准范围

- a) 质量：校准范围为天平的空载至最大称量，或依据客户要求；
- b) 密度：校准范围选择密度标准提供的校准点。

7.2.2 校准前的准备

- a) 调整天平水平；
- b) 天平通电、开机、预热；
- c) 校正天平。

7.2.3 称量示值误差

应在称量范围内均匀地选择测量点，测量点不少于 6 点。测量时，应从零载荷开始直至天平的最大称量，每次加载完成后记录天平示值，称量示值误差用公式 (1) 计算。

$$E=I-L \quad (1)$$

式中：

- E — 示值误差；
- I — 天平的示值；
- L — 载荷质量值。

7.2.4 称量示值重复性

7.2.4.1 重复性测量步骤如下：

- a) 选择 50%~100% 最大称量的单个砝码，测量次数不少于 10 次；
- b) 测量中每次加载前可以置零；
- c) 具有自动置零或零点跟踪装置，应处于运行状态；
- d) 加载所选砝码放至天平秤盘上，待显示稳定后读取示值并记录。

7.2.4.2 重复性以标准偏差表示，按照公式 (2) 计算。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中：

s —标准偏差；

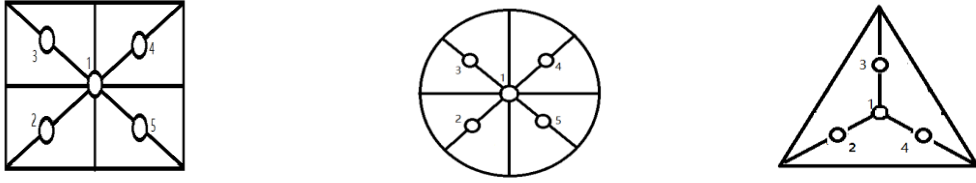
I_i —第 i 次称量示值；

$\bar{I}$ — n 次称量示值的平均值；

n —重复测量次数。

7.2.5 称量偏载误差

- a) 进行偏载误差测量时，按照秤盘的形状，将载荷加放在距离秤盘边缘 1/2 处，位置如下图所示；



1. 中心 2. 左下 3. 左上 4. 右上 5. 右下

图 3 载荷位置示意图

- b) 选择试验载荷不小于 1/3 最大秤量的单个砝码；
c) 偏载误差按照公式 (3) 计算。

$$\delta_{\text{ecc}i} = I_{Li} - I_{L1} \quad (3)$$

式中：

$\delta_{\text{ecc}i}$ —称量偏载误差；

I_{Li} —位置 i 的称量示值；

I_{L1} ——中心位置的称量示值。

7.2.6 密度示值误差

- a) 每个载荷点测量 3 次密度值，密度示值误差为密度示值与密度标准参考值之差的平均值，按照公式 (4) 和公式 (5) 计算。

$$E_{\rho i} = \rho_i - \rho \quad (4)$$

$$E_{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{E_{\rho i}}{n} \quad (5)$$

式中：

E_{ρ} —密度示值误差；

$E_{\rho i}$ —第 i 次测量密度示值误差；

ρ_i —第 i 次测量密度示值；

ρ_r —密度标准参考值；

n —测量次数。

纯水温度不在 20℃时，应对密度标准参考值进行修正。如果体膨胀系数 γ 不确定，不锈钢采用 $\gamma=50\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，JF1 不锈钢采用 $\gamma=35\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。温度修正按照公式 (6) 计算。

$$\rho_r = \frac{\rho(t_{\text{ref}})}{1 + \gamma(t_{\text{meas}} - t_{\text{ref}})} \quad (6)$$

式中：

$\rho(t_{\text{ref}})$ — 参考温度 20℃ 的标准密度；

γ — 密度标准的体膨胀系数；

t_{meas} — 纯水的温度；

t_{ref} — 参考温度 20℃。

7.2.7 密度重复性

密度重复性为密度测量点示值误差绝对值的最大值与最小值之差，按照公式 (7) 计算。

$$\delta\rho_{\text{repi}} = |E_{\rho_i}|_{\text{max}} - |E_{\rho_i}|_{\text{min}} \quad (7)$$

式中：

$\delta\rho_{\text{repi}}$ — 密度测量重复性。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或报告应至少包括如下信息：

- a) 标题，“校准证书”；
 - b) 实验室名称和地址；
 - c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
 - d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
 - e) 送校单位的名称和地址；
 - f) 被校对象的描述和明确标识；
 - g) 进行校准的日期，若与校准结果的有效性及应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
 - h) 如果与校准结果的有效性及应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
 - i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
 - j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
 - k) 校准环境的描述；
 - l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
 - m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
 - n) 校准结果仅是对被校对象有效的声明；
 - o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。
- 经校准的电子固体密度天平，发给校准证书或校准报告，加盖校准印章。

9 复校时间间隔

客户根据校准结果、使用频次和使用条件等情况确定复校时间间隔。

附录 A

电子固体密度天平校准记录

委托单位: _____ 证书编号: _____
委托单位地址: _____ 校准地点: _____
型号/规格: _____ 编号: _____ 最大称量(Max) _____ 实际分度值(d) _____
制造厂商: _____ 温度: _____ °C 相对湿度: _____ %
校准员: _____ 核验员: _____ 受理日期: _____ 校准日期: _____ 批准日期: _____
校准依据: JJF XXXX-20XX 《电子固体天平校准规范》

校准所用主要测量设备					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源机构	证书编号	有效期至

A.1 称量示值误差

试验载荷 L	示值 I	示值误差 E	扩展不确定度 U ($k=2$)

A.2 称量示值重复性

试验载荷 L	序号	1	2	3	4	5
	示值 I					
	序号	6	7	8	9	10
	示值 I					
	标准偏差 s :					

A.3 称量偏载误差

试验载荷 L	位置	1	2	3	4	5
	示值 I					
	偏载误差 δ_{ecci} :					

A.4 密度示值误差及重复性

载荷 L	测量次数	密度标准		密度天平			
		参考值	修正值	示值	示值误差	重复性	不确定度 $U(k=2)$
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						

附录 B

电子固体密度天平校准证书内页格式

B.1 称量示值误差校准结果

表 B.1 称量示值误差校准结果

实际分度值 (d) =

最大称量 (Max) =

载荷	示值	示值误差	不确定度 $U(k=2)$

B.2 密度示值误差校准结果

表 B.2 密度示值误差校准结果

载荷	标准值	显示值	示值误差	不确定度 $U(k=2)$

附录 C

电子固体密度天平校准结果不确定度评定方法及实例

C.1 概述

C.1.1 测量标准：E₂ 等级标准砝码、固体密度标准。

C.1.2 校准依据：JJF XXXX-20 XX 《电子固体密度天平校准规范》。

C.1.3 环境条件：温度：(20±5)℃，变化不大于 2℃；

相对湿度：≤85%，变化不大于 15%。

C.1.4 测量对象：电子固体密度天平

C.1.5 测量过程：按照校准规范要求，用质量标准测量天平的称量示值误差，用固体密度标准测量天平的密度测量示值误差。

C.2 称量示值误差测量结果的不确定度评定

C.2.1 数学模型

测量模型按公式 (1)。

$$E = I - m_{\text{ref}} \quad (1)$$

式中：

E —质量示值误差；

I —天平质量示值；

m_{ref} —质量标准的参考质量值。

C.2.2 不确定度来源分析

a) 标准砝码引入的标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$ ；

b) 天平示值引入的标准不确定度 $u(I)$ 。

C.2.3 测量不确定度评定

C.2.3.1 m_{ref} 标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$

C.2.3.1.1 标准砝码参考值的标准不确定度 $u(\delta m_c)$

标准砝码参考值的标准不确定度为其扩展不确定度 U 与覆盖因子($k=2$)的商，按照公式 (2) 计算。

$$u(\delta m_c) = \frac{U}{2} \quad (2)$$

C.2.3.1.2 空气浮力引起的标准不确定度 $u(\delta m_B)$

天平已进行了校正，空气浮力引起的标准不确定度按照公式（3）计算。

$$u(\delta m_B) \approx |MPE|/4\sqrt{3} \quad (3)$$

C.2.3.1.3 标准砝码的稳定性引起的标准不确定度 $u(\delta m_D)$

标准砝码的稳定性取其最大允许误差的三分之一，且服从矩形分布，按照公式（4）计算。

$$u(\delta m_D) = |MPE|/3\sqrt{3} \quad (4)$$

C.2.3.1.4 标准砝码 m_{ref} 的标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$

标准砝码参考质量的标准不确定度按照公式（5）计算。

$$u(m_{\text{ref}}) = \sqrt{u(\delta m_c)^2 + u(\delta m_B)^2 + u(\delta m_D)^2} \quad (5)$$

C.2.3.2 天平示值 I 的标准不确定度 $u(I)$ 评定

C.2.3.2.1 由分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta I)$

分辨力引入的标准不确定度按照公式（6）计算。

$$u(\delta I) = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}}\right) \times \sqrt{2} \quad (6)$$

C.2.3.2.2 重复性引起的标准不确定度 $u(\delta I_{\text{rep}})$

重复性的标准不确定度用标准偏差 $s(I)$ 来表示，对天平进行 10 次重复性测量，按照公式（7）和公式（8）计算。

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (7)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad (8)$$

故其标准不确定度为： $u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I)$

C.2.3.2.3 偏载误差引起的标准不确定度 $u(\delta I_{\text{ecc}})$

载荷在不同位置的误差 $\Delta I_{ecc_i} = I_{Li} - I_{L1}$ ，其值与载荷重心到承载器中心的距离成比例，与载荷值成比例，服从矩形分布，其标准不确定度按照公式（9）计算。

$$u(\delta I_{ecc}) = I |\Delta I_{ecc}|_{\max} / (2L_{ecc} \sqrt{3}) \quad (9)$$

C.2.3.2.4 电子天平示值的标准不确定度 $u(I)$

示值的标准不确定度按照公式（10）计算。

$$u(I) = \sqrt{u(\delta I)^2 + u(\delta I_{rep})^2 + u(\delta I_{ecc})^2} \quad (10)$$

C.2.3.4 称量示值误差的合成标准不确定度 $u_c(E)$ 评定

重复性不确定度分量评定属于 A 类评定，其余的不确定度分量评定均属于 B 类评定。不确定度分量互不相关，合成标准不确定度按照公式（11）计算

$$u_c(E) = \sqrt{u(I)^2 + u(m_{ref})^2} \quad (11)$$

C.2.3.5 称量示值误差的扩展不确定度 $U(E)$ 评定

取包含因子 $k=2$ ，则称量示值误差的扩展不确定度按式（12）计算。

$$U = k \times u_c = 2 \times u_c \quad (12)$$

C.3 密度示值误差测量结果的不确定度评定

C.3.1 数学模型

密度示值误差按照公式（13）计算；

$$E_\rho = \rho_t - \rho_r \quad (13)$$

式中：

E_ρ —密度测量示值误差；

ρ_t —密度测量示值；

ρ_r —密度标准参考值。

C.3.2 不确定度来源分析

- 密度天平重复性测量引入的标准不确定度 u_1 ；
- 密度标准引入的标准不确定度 u_2 ；
- 密度显示分辨力引入的标准不确定度 u_3 ；
- 温度变化引入的标准不确定度 u_4 。

C.3.3 测量不确定度评定

C.3.3.1 密度重复性测量引入的标准不确定度 u_1 按式（14）计算。

$$u_1 = \frac{|\rho_{\max} - \rho_{\min}|}{1.6\sqrt{n}} \quad (14)$$

式中：

n —试验次数；

$\rho_{\max}$ —某载荷下密度测量最大值；

$\rho_{\min}$ —某载荷下密度测量最小值。

C.3.3.2 密度标准参考值的标准不确定度为其扩展不确定度 U 与覆盖因子($k=2$)的商，按照公式（15）计算。

$$u_2 = \frac{U}{2} \quad (15)$$

C.3.3.3 密度显示分辨力引入的标准不确定度 u_3 按式（16）计算。

$$u_3 = \frac{d_\rho}{2\sqrt{3}} \quad (16)$$

式中：

d_ρ —密度示值分辨力。

C.3.3.4 温度变化引入的标准不确定度 u_4 某按式（17）计算。

$$u_4 = \frac{\Delta t \times \beta}{2\sqrt{3}} \quad (17)$$

式中：

Δt —温度变化值；

β —密度的温度变化系数。

C.3.4 合成不确定度评定

合成不确定度按式（18）计算。

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (18)$$

C.3.5 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$ ，则密度示值误差的扩展不确定度按式（19）计算。

$$U = k \times u_c = 2 \times u_c \quad (19)$$

C.4 质量称量示值误差测量不确定度评定实例

C.4.1 采用砝码标准对一台电子固体密度天平进行测量，得到的试验数据如表 C.1 所示。

电子固体密度天平、砝码标准信息如下：

- a) 固体密度天平质量测量范围：（0~210）g；
- b) 固体密度天平质量测量分辨力： 1mg；
- c) 砝码标准的质量范围：（1~500）g；
- d) 砝码标准的准确度等级：E₂ 等级。

表 C.1 称量示值误差不确定评定实例数据

试验载荷 L (g)	示值 I (g)			示值误差 E (mg)		
0.000	0.000			0		
50.000	50.001			1		
100.000	100.003			3		
150.000	150.000			0		
200.000	199.998			-2		
210.000	209.998			-2		
试验载荷 L (g)	序号	1	2	3	4	5
200	示值 (g)	199.999	200.003	200.003	200.005	200.004
	序号	6	7	8	9	10
	示值 (g)	200.003	200.007	200.005	200.004	200.002
	标准偏差 s : 2.1 mg					
试验载荷 L (g)	位置	1	2	3	4	5
100	示值 (g)	100.005	100.004	100.002	100.006	100.009
	偏载误差 δ_{ecci} : 4 mg					

C.4.2 试验载荷为 200g 的不确定分量的计算

C.4.2.1 参考质量的标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$

(1) 标准砝码参考值的标准不确定度 $u(\delta m_c)$

标准砝码参考值的标准不确定度为其扩展不确定度 U 与覆盖因子($k=2$)的商，其不确

定度为：

$$u(\delta m_c) = \frac{U}{2} = \frac{0.10}{2} = 0.05\text{mg}$$

(2) 标准砝码的稳定性引起的标准不确定度 $u(\delta m_D)$

标准砝码的稳定性取其最大允许误差的三分之一，且服从矩形分布，其不确定度为：

$$u(\delta m_D) = |MPE|/3\sqrt{3} = 0.3/3\sqrt{3} = 0.06 \text{ mg}$$

(3) 空气浮力引起的标准不确定度 $u(\delta m_B)$

天平已进行了校正，空气浮力引起的标准不确定度为：

$$u(\delta m_B) \approx |MPE|/4\sqrt{3} = |0.3|/4\sqrt{3} = 0.04\text{mg}$$

(4) 标准砝码 m_{ref} 的标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$

标准砝码 m_{ref} 的标准不确定度为：

$$\begin{aligned} u(m_{\text{ref}}) &= \sqrt{u(\delta m_c)^2 + u(\delta m_B)^2 + u(\delta m_D)^2} \\ &= \sqrt{0.05^2 + 0.06^2 + 0.04^2} = 0.1\text{mg} \end{aligned}$$

C.4.2.2 天平示值 I 的标准不确定度 $u(I)$ 评定

(1) 由分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta I)$

分辨力引入的标准不确定度为：

$$u(\delta I) = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}}\right) \times \sqrt{2} = \left(\frac{1/2}{\sqrt{3}}\right) \times \sqrt{2} = 0.4\text{mg}$$

(2) 重复性引起的标准不确定度 $u(\delta I_{\text{rep}})$

重复性的标准不确定度用标准偏差 $s(I)$ 来表示，对电子天平进行 10 次重复性测量，其标准不确定度为：

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} = 2.1\text{mg}$$

(3) 偏载误差引起的标准不确定度 $u(\delta I_{\text{ecc}})$

载荷在不同位置的误差 $\Delta I_{\text{ecc}i} = I_{Li} - I_{L1}$ ，其值与载荷重心到承载器中心的距离成比例，

与载荷值成比例，服从矩形分布，其标准不确定度为：

$$u(\delta I_{ecc}) = I |\Delta I_{ecc}|_{\max} / (2L_{ecc} \sqrt{3}) = 199.998 \cdot 0.004 / (2 \cdot 100.005 \cdot \sqrt{3}) \\ = 2.3 \text{mg}$$

(4) 电子天平示值的标准不确定度 $u(I)$

示值的标准不确定度为：

$$u(I) = \sqrt{u(\delta I)^2 + u(\delta I_{rep})^2 + u(\delta I_{ecc})^2} = \sqrt{0.4^2 + 2.1^2 + 2.3^2} = 3.1 \text{mg}$$

C.4.2.3 示值误差的合成标准不确定度 $u_c(E)$ 评定

示值误差合成标准不确定度为：

$$u_c(E) = \sqrt{u(I)^2 + u(m_{ref})^2} = \sqrt{3.1^2 + 0.1^2} = 3.1 \text{ mg}$$

C.4.2.4 称量示值误差的扩展不确定度 $U(E)$ 评定

取包含因子 $k=2$ ，则载荷为 200g 称量示值误差的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times u_c = 2 \times 3.1 = 6 \text{ mg}$$

采用上述方法，对测量范围内的其他载荷下的示值误差测量结果的扩展不确定度进行评定如表 C.2。

表 C.2 称量示值误差标准不确定度分量、合成不确定度和扩展不确定度汇总表

载荷(g)	$u(m_{ref})$	$u(I)$	$u_c(E)$	$U(k=2)$
0	0.0mg	2.1mg	2.1mg	4mg
50	0.0mg	2.2mg	2.2mg	4mg
100	0.0mg	2.4mg	2.4mg	5mg
150	0.1mg	2.8mg	2.8mg	6mg
200	0.1mg	3.1mg	3.1mg	6mg
210	0.1mg	3.2mg	3.2mg	6mg

C.5 密度测量不确定度评定实例

C.5.1 采用固体密度标准对一台电子固体密度天平进行测量，得到的试验数据如表 C.3 所示。固体密度天平、密度标准信息如下：

- 固体密度天平质量测量范围：(0~210) g；
- 固体密度天平密度测量分辨力：0.001g/cm³；

- c) 固体密度标准的质量值： 50g、100g、200g；
- d) 固体密度标准的密度值及扩展不确定度：7.9576 g/cm³ ($U=0.0025\text{g/cm}^3$ 、 $k=2$)，
7.9571 g/cm³ ($U=0.0017\text{g/cm}^3$ 、 $k=2$)、7.9664 g/cm³ ($U=0.0014\text{g/cm}^3$ 、 $k=2$)。

表 C.3 密度测量示值误差评定实例数据

载荷 L	测量次数	密度标准(g/cm ³)		密度天平(g/cm ³)		
		参考值	修正值	示值	示值误差	重复性
50g	1	7.9576	7.9576	7.973	0.020	0.012
	2			7.977		
	3			7.985		
100g	1	7.9571	7.9571	7.984	0.025	0.004
	2			7.980		
	3			7.981		
200g	1	7.9664	7.9664	7.975	0.001	0.023
	2			7.964		
	3			7.952		

C.5.2 试验载荷为 200g 的密度测量值不确定分量的计算

C.5.2.1 密度重复性测量引入的标准不确定度 u_1 ：

$$u_1 = \frac{|\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{min}}|}{1.6\sqrt{n}} = \frac{|7.975 - 7.957|}{1.6\sqrt{9}} = 0.0079 \text{ g/cm}^3$$

C.5.2.2 密度标准参考值的标准不确定度为其扩展不确定度 U 与覆盖因子($k=2$)的商，其不确定度为：

$$u_2 = \frac{U}{2} = \frac{0.0014}{2} = 0.0007 \text{ g/cm}^3$$

C.5.2.3 密度显示分辨力引入的标准不确定度 u_3 ：

$$u_3 = \frac{d_\rho}{2\sqrt{3}} = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.0003 \text{ g/cm}^3$$

C.5.2.4 温度变化引入的标准不确定度 u_4 ，实测温度变化值 $\Delta t = 0.3^\circ\text{C}$ ， $\beta = 4 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3\text{C}$ ，其不确定度为：

$$u_4 = \frac{\Delta t \times \beta}{2\sqrt{3}} = \frac{0.3 \times 4 \times 10^{-4}}{2\sqrt{3}} = 0.0000 \text{ g/cm}^3$$

C.5.2.5 密度示值误差的合成标准不确定度 u_c ：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{0.0079^2 + 0.0007^2 + 0.0003^2} = 0.0080$$

C.5.2.6 密度示值误差的扩展不确定度 U 评定

取包含因子 $k=2$ ，则载荷为 200g 的密度示值误差的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times u_c = 2 \times 0.0080 = 0.016 \text{ g/cm}^3$$

采用上述方法，对其它密度示值误差测量结果的扩展不确定度进行评定如表 C.4。

表 C.4 称量示值误差不确定度分量、合成不确定度和扩展不确定度汇总表

载荷(g)	u_1 (g/cm ³)	u_2 (g/cm ³)	u_3 (g/cm ³)	u_4 (g/cm ³)	u_c (g/cm ³)	U ($k=2$)
50	0.0041	0.0012	0.0003	0.0000	0.0043	0.009g/cm ³
100	0.0014	0.0008	0.0003	0.0000	0.0016	0.003g/cm ³
200	0.0079	0.0007	0.0003	0.0000	0.0080	0.016g/cm ³
