固氧仪校准结果

测量不确定度评定

1. 概述：

1.1 测量依据

JJF xxxx—202x《固体材料氧化性试验仪校准规范》

1.2 测量标准

名称	型号	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差
砝码	500g~1g(12 件)	500g~1g	E_2 等级
砝码	500mg~1mg	500mg~1mg	E_2 等级
砝码	(1~5)kg(4 件)	(1~5)kg	E_2 等级
控制衡器	UBP223	(0～220)g	级
电子秒表	J9-1	6036（编号）	U=0.01s,k=2±0.05s

1.3 被测对象

固氧仪

2 固氧仪示值误差结果不确定度评定

2.1 测量模型

固氧仪在正常工作条件下按常规程序先行校准，然后在需称量范围内均匀选取试验载荷测量点，按公式（1）计算示值误差。

$$E = I - m_{\mathrm{ref}} \tag{1}$$

式中：

E——示值误差；

I——固氧仪显示值；

m_{ref}——参考质量值。

参考质量值可以是标准砝码的标称值；也可以是约定质量值。

2.2 不确定度来源分析

a) 标准砝码引入的标准不确定度$u(m_{\mathrm{ref}})$

b) 固氧仪引入的标准不确定度$u(I)$

2.3 测量不确定度评定

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

a) 如果标准砝码校准证书中给出了砝码的约定质量、扩展不确定度 U 及包含因子 k，其标准不确定度为：

$$u(m_{\mathrm{ref}}) = \frac{U}{k} \qquad (2)$$

b) 如果标准砝码有检定证书，且在校准过程中仅使用砝码标称值，服从矩形分布，其标准不确定度为：

$$u(m_{\mathrm{ref}}) = \frac{|\mathrm{MPE}|}{\sqrt{3}} \qquad (3)$$

c)如果标准砝码有检定证书，且在校准过程中使用约定质量值，其标准不确定度为：

$$u(m_{\mathrm{ref}}) = \frac{|\mathrm{MPE}|}{6} \qquad (4)$$

d) 如果试验载荷由多个标准砝码组成，其标准不确定度为各个标准砝码的标准不确定度的算术和。

2.3.2 固氧仪引入的标准不确定度$u(I)$

a)分辨率引入的不确定度$u(d)$

由分辨率引入的不确定度$u(d)$按照公式(5)计算。

$$u(d) = \frac{d}{2\sqrt{3}} \qquad (5)$$

b)由重复性引起的不确定度$u(I_{\mathrm{rep}})$

由重复性引起的不确定度$u(I_{\mathrm{rep}})$用标准实验偏差 s 表示，如公式(6)所示，其中 n 为测量次数。

$$u(I_{\mathrm{rep}}) = s \qquad (6)$$

d) 固氧仪示值的引入标准不确定度$u(I)$

重复性引入的标准不确定度和分辨力引入的标准不确定度取大，故示值的标准不确定度为：

$$u(I) = u\,(\delta I_{rep}) \qquad (7)$$

2.3.3 称量示值误差的合成标准不确定度$u_{\mathrm{c}}(E)$

称量示值误差的合成标准不确定度$u_c(E)$按照公式(8)计算.

$$u_{\mathrm{c}}(E) = \sqrt{u(m_{\mathrm{ref}})^2 + u(I)^2} \qquad (8)$$

2..3.4 称量示值误差的扩展不确定度$U(E)$

取包含因子 k =2，则称量示值误差的扩展不确定度公式(10)计算。

$$U(E) = k \cdot u_{\mathrm{c}}(E) \qquad (9)$$

3 燃烧速率示值误差测量结果计时误差测量结果不确定度评定

3.1 测量模型

按公式(10)计算燃烧速率。

$$\Delta BR = BR - \frac{0.6\times m_c}{t_{20-80}} \qquad （10）$$

式中：

ΔBR——固氧仪燃烧速率（质量损失速率）示值误差

BR ——固氧仪所测得的燃烧速率

m_c——固氧仪设定比例模式下，纤维丝的质量值，g；

t_{20-80}——（标准）质量值对应于质量损失 20%和 80% 时刻的计时时间差，s。

3.2 灵敏度系数计算

由式（C10）得方差传播公式：

$$u^2(\Delta BR) = c_1^2u^2(BR) + c_2^2u^2(m_c) + c_3^2u^2(t) \qquad （C11）$$

式中：

$u(\Delta BR)$——示值误差的测量不确定度；

$u(BR)$——被校固氧仪的测定值引入的测量不确定度

$u(t_{20-80})$ ——由校准用电子秒表引入的不确定度，s；

$u(m_c)$——由控制衡器测得值引入的不确定度，mg。

灵敏度系数为：

$$C_1 = 1$$

$$C_2 = \frac{0.6}{t_{20-80}}$$

$$C_3 = \frac{0.6\times m_c}{t_{20-80}^2}$$

3.3 不确定度来源分析

a)被校固氧仪的测定值引入的标准不确定度$u(BR)$:

$$\text{重复性：} S(BR) = \frac{(\Delta BR_{max} - \Delta BR_{min})}{C} \qquad (12)$$

C——极差系数。

表 C.3　极差系数

n	2	3	4	5	6	7	8	9
C	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97

规范中取三次平均值，故其标准不确定度为： $u(BR) = \frac{S(BR)}{\sqrt{3}}$

b）控制衡器示值误差引入的标准不确定度$u(m_c)$

所用控制衡器示值最大允许误差为 MPE，采用 B 类方法评定。按均匀分布计算，包含因子 k=$\sqrt{3}$，控制衡器示值误差引入的标准不确定度为：

$$u(m_c) = \frac{|MPE|}{\sqrt{3}} \qquad (13)$$

c) 电子秒表引入的标准不确定度$u(t)$

c.1 电子秒表测量误差引入的标准不确定度$u_1(t)$

电子秒表时间间隔最大允许误差为±0.05s，按均匀分布计算，包含因子 k=$\sqrt{3}$

$$u_1(t) = \frac{0.05s}{\sqrt{3}} \qquad (14)$$

c.2 高速摄像机拍摄帧率引入的标准不确定度$u_2(t)$

高速摄像机拍摄帧率设置为每秒 120 帧，每帧图像 0.0083 秒。区间半宽度为 0.0042s，按均匀分布计算，包含因子 k=$\sqrt{3}$，：

$$u_2(t) = \frac{0.0042s}{\sqrt{3}} \qquad （15）$$

c.3 合成不确定度评定

合成不确定度按式（C16）计算。

$$u_t = \sqrt{u_1(t)^2 + u_2(t)^2} \qquad (16)$$

3.4 燃烧速率合成标准不确定度$u(\Delta BR)$

燃烧速率合成标准不确定度$u(\Delta BR)$为：

$$u(\Delta BR) = \sqrt{c_1^2u^2(BR) + c_2^2u^2(m_c) + c_3^2u^2(t)} \qquad (17)$$

3.5 燃烧速率扩展不确定度$U(\Delta BR)$

取包含因子 k =2，则燃烧速率的扩展不确定度按公式(18)计算。

$$U(\Delta BR) = k \times u(\Delta BR) \qquad (18)$$

4 计时误差测量结果不确定度评定

4.1 按公式(19)计算计时误差。

$$\Delta T = (t_{02i} - t_{01}) - (T_{02i} - T_{01}) \qquad (19)$$

式中：

ΔT——计时误差误差；s；

t_{01}——固氧仪计时显示屏开始显示值；

t_{02i}—固氧仪计时显示屏第 1 分钟、 3 分钟、5 分钟时显示值；i=1~3

T_{01}——电子秒表开始显示值；

T_{02i}——电子秒表第 1 分钟、 3 分钟、5 分钟时显示值；i=1~3

4.2 不确定度来源分析

a)重复性测量引入的标准不确定度$u_1(t)$ 用贝塞尔法计算实验标准偏差为：

$$s(t)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i-\bar{t})^2}{n-1}} \qquad (20)$$

故其标准不确定度为：$u_1(t)=s(t)$

b）电子秒表测量误差引入的标准不确定度$u_2(t)$

电子秒表时间间隔最大允许误差为±0.05s，按均匀分布计算，包含因子 $k=\sqrt{3}$

$$u_2(t)=\frac{0.05s}{\sqrt{3}} \qquad (21)$$

c) 高速摄像机拍摄帧率引入的标准不确定度$u_3(t)$

高速摄像机拍摄帧率设置为每秒 30 帧，每帧图像 0.03 秒。区间半宽度为 0.015s，按均匀分布计算，包含因子 $k=\sqrt{3}$，：

$$u_3(t)=\frac{0.0015s}{\sqrt{3}} \qquad （22）$$

4.3 计时误差合成标准不确定度$u(t)$

计时误差合成标准不确定度$u(t)$为：

$$u_t=\sqrt{u_1(t)^2+u_2(t)^2+u_3(t)^2} \qquad (23)$$

4.4 计时误差扩展不确定度$U(t)$

取包含因子 k =2，则计时误差的扩展不确定度为：

$$U(t)=k\times u_t \qquad （24）$$