



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx—202x

固体材料氧化性试验仪校准规范

Calibration Specification for Oxidizing Property Tester of Solid Materials

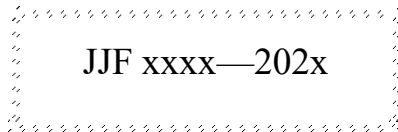
(征求意见稿)

202x—xx—xx 发布

202x—xx—xx 实施

国家市场监督管理总局 发布

固体材料氧化性试验仪 校准规范



Calibration Specification for

Oxidizing Property Tester of Solid Materials

归口单位：全国新材料与纳米计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国新材料与纳米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	(II)
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	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 质量示值误差	(2)
5.2 计时误差	(3)
5.3 燃烧速率示值误差	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果	(6)
9 复校时间间隔	(7)
附录 A 校准原始记录（参考）格式	(8)
附录 B 校准证书结果页（参考）格式	(10)
附录 C 固氧仪校准结果不确定度评定方法及实例	(11)

引言

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》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本校准规范给出了固体材料氧化性试验仪的校准条件、校准项目、校准方法及不确定度评定方法和示例。

本规范为首次发布。

固体材料氧化性试验仪校准规范

1 范围

本规范适用于采用质量实验法的固体材料氧化性试验仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 99 砝码检定规程

JJF 1181 衡器计量名称术语及定义

JJF 1847 电子天平校准规范

JJF 2199 数字式时钟校准规范

GB/T 21617-2023 危险品固体氧化性试验方法

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；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 1181 《衡器计量名称术语及定义》。

3.1.1 固体材料氧化性试验仪 solidmaterials oxidizing propertytester

固体材料氧化性试验仪（以下简称固氧仪）是将被测固体物质在与规定的可燃物质按比例完全混合，加热该混合物使其燃烧，测量其燃烧时质量损失的速率，以确定被测物的氧化性能力的仪器。

3.1.2 总质量损失 totalmass loss

试验前与试验结束时，被测物质量之差。单位为克（g）。

3.1.3 燃烧速率（质量损失速率） burningrate

固氧仪设定比例模式下，规定（混合物所含纤维素的质量值的 60%）质量值的 60% 与质量损失从 20%到 80%的时间之商，单位为克/每秒（g/s）。

3.1.4 计时误差 timing error

固氧仪的计时示值与标准装置同步计时示值的差值。单位为秒（s）。

3.1.5 质量实际分度值 *dactual scale division value of mass*

3.1.6 相邻两个质量示值之差, 单位为克 (g)

3.1.7 控制衡器 *reference balance*

用于确定样品实际质量的非自动衡器。

3.2 计量单位

使用的计量单位: 千克 (kg)、秒 (s)、克 (g)、毫克 (mg)。

4 概述

固氧仪的工作原理是基于样品燃烧时间与样品质量损耗对比, 在样品燃烧过程中, 通过电子天平称重记录混合物随时间的质量变化值, 获得该混合物的燃烧速率, 以确定被测物质的氧化性能力。

固氧仪主要由电子天平、时间计时装置及点火线、低导热板、基板等组成。

如图1: 固氧仪平面示意图; 图2: 固氧仪设备俯视图。

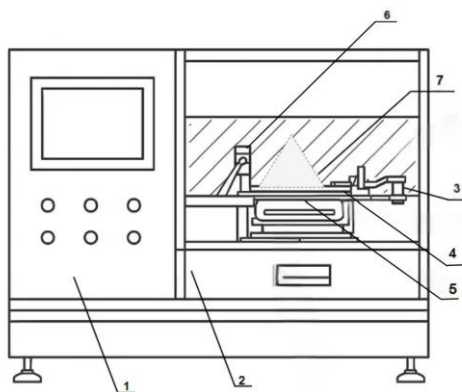
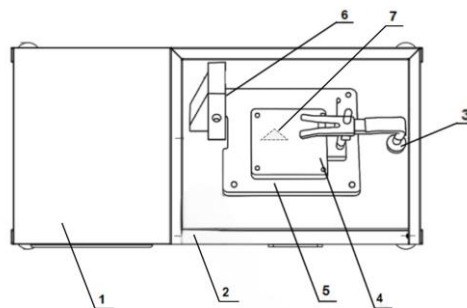


图1 固氧仪平面示意图



2固氧仪设备俯视图

1—电控箱; 2—化危品组件; 3—导线柱; 4—低导热板; 5—定位板; 6—燃烧控制组件; 7—圆锥堆垛

固氧仪用于确定固体材料的氧化性能力, 区分危险货物运输包装类别分类, 广泛用于民航、海关、化工、出入境检验检疫、安全防护、科学研究、第三方检测等领域。

5 计量特性

5.1 质量示值误差:

固氧仪任何单次质量测量的示值与对应输入的砝码参考量值之差。

5.2 计时误差:

固氧仪的计时示值与标准装置同步计时示值之差。测量间隔时间 1min、3min、5min。

5.3 燃烧速率示值误差：

固氧仪所测量的燃烧速率与通过控制衡器和标准秒表所测得质量损失速率之差，单位为克每秒（g/s）。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 校准应在稳定的环境条件下进行，环境温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度低于 60%。

6.1.2 实验室避免振动。

6.1.3 固氧仪应安装在具有一定程度的通风，但气流速度为 0.5m/s 或更小的通风橱或其他性质的通风区。同时排烟系统应适合于排放有毒的烟气。

6.1.4 实验室应避免阳光直射或处于风口位置。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 标准砝码：

校准使用的标准砝码应符合 JJG99 的要求，并具有有效的溯源证书。建议使用准确度等级不低于 F₁ 等级，或具有相应不确定度的砝码进行校准。

6.2.2 电子秒表：显示分辨力优于被校固氧仪时间显示一个数量级。最大允许误差不超过 $\pm 0.05\text{s}$ 。

6.2.3 控制衡器：实际分度值 d 不大于 0.001g；准确度等级不低于 级；采样频率不小于 20Hz。

6.2.4 其他有关测量用计量器具。

6.2.4.1 分度值不大于 0.2℃ 的温度计；

6.2.4.2 最大允许误差不超过 $\pm 5\%\text{RH}$ 的湿度计；

6.2.5 其他用具

6.2.5.1 纯净水约 500mL~1L；

6.2.5.2 直径不小于 12cm，高度不低于 10cm 的盛水容器两个；

6.2.5.3 齿轮泵或电动抽水器：流量不大于 0.3 mL/转，连接管路外径不大于 4mm；

6.2.5.4 高速摄像机：拍摄帧率不低于 120 帧/秒。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

7.1.1 计时误差。

7.1.2 质量示值误差

7.1.3 燃烧速率示值误差

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备工作

7.2.1.1 检查固氧仪装置是否有铭牌或产品标识，是否标明型号、编号、制造厂等信息。

7.2.1.2 称量装置应保持水平状态，并保证衡量仪器水平泡处于中央位置。

7.2.1.3 若称量装置说明书或用户有规定，则称量装置在校准之前应按规定的时间进行通电预热。若无规定，则称量装置预热时间不少于 0.5 小时。

7.2.1.4 确保使用环境的整洁，远离震源。

7.2.1.5 齿轮泵设置转速和时间：60s，50 转；

将电子秒表与控制衡器显示屏置于高速摄像设备的同一视场内；

7.2.2 质量示值误差的测量

7.2.2.1 先将仪器示值置零，按照从零载荷逐渐增加到最大秤量的称量顺序，依次测量仪器的示值 I 。每次卸载后检查零点，如果零点示值不为零，应将其设置为零。

7.2.2.2 固氧仪应在需校准的称量范围内均匀选择测量点，至少需有 6 个不同的试验载荷测量点，其中需包括零点、10g、15g、30g、90g、最大秤量或接近最大秤量。根据用户的需求可调整试验载荷测量点。衡量仪器示值只有在稳定的情况下才可读取和记录。

7.2.2.3 对于每个试验载荷，按公式（1）计算示值误差：

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

式中：

E ——示值误差；kg、g 或 mg；

I ——衡量仪器示值；kg、g 或 mg；

m_{ref} ——砝码的参考质量值；kg、g 或 mg。

7.2.2.4 重复性

通常试验载荷为 80%~100%最大秤量，试验载荷应尽可能选择单个砝码。如用户有特殊需求，可调整试验载荷点。

在每次测量之前，将衡量仪器示值置零，加载试验载荷至少 10 次。每次加载载荷时，待衡量仪器示值稳定后记录示值。根据试验载荷的重复性示值，用公式（2）计算实验标

准偏差 $s(I)$ 作为重复性的表征。

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

式中：

$S(I)$ ——实验标准偏差；kg、g 或 mg；

I_i ——施加第 i 个载荷时衡量仪器的示值；kg、g 或 mg；

$\bar{I}$ ——衡量仪器 n 个示值的平均值；kg、g 或 mg

n ——加载次数

7.2.3 计时误差的测量。

7.2.3.1 将电子秒表与固氧仪的计时显示屏置于高速摄像机的同一视场内。

7.2.3.2 开启固氧仪计时和电子秒表计时。拍摄录制包含被校计时末位跳变时刻与电子秒表标准时间的清晰视频，通过回放软件查找被校数字时刻末位跳变时的 1 帧图像，该图像中被校时刻与标准时间均能清晰显示。

7.2.3.3 分别记录开始、1 分钟、3 分钟、5 分钟固氧仪的计时显示值 t_{01} 、 t_{02i} ，电子秒表的计时显示值 T_{01} 、 T_{02i} 。

7.2.3.4 固氧仪计时误差按公式 (3) 计算：

$$\Delta T = (t_{02i} - t_{01}) - (T_{02i} - T_{01}) \quad (3)$$

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，s；

t_{02i} ——固氧仪计时显示屏第 1 分钟、3 分钟、5 分钟时显示值，s ($i=1、2、3$)；

T_{01} ——电子秒表开始显示值，s；

T_{02i} ——电子秒表第 1 分钟、3 分钟、5 分钟时显示值，s ($i=1、2、3$)。

7.2.4 燃烧速率(质量损失速率)示值误差的测量

7.2.4.1 取两个盛水容器分别放置于固氧仪导热板中央和控制衡器称量盘中央，并分别注入纯水。将齿轮泵两端吸管分别悬浮于盛水容器中不小于 5cm；启动齿轮泵工作一次或多次至其管路中充满水，并且连接齿轮泵的软管中无明显气泡。

7.2.4.2 固氧仪选择自定义模式，选择待测物质与纤维素 1:1 的模式，去皮；在控制衡器上称量出 $30g \pm 0.10g$ 的纯水加入固氧仪盛水容器中。

7.2.4.3 将电子秒表与衡量仪器的显示屏置于高速摄像机的同一视场内。

7.2.4.4 将放有盛水容器的控制衡器置零，先开启电子秒表再开启摄像机。

7.2.4.5 固氧仪先开始工作，再启动齿轮泵。

7.2.4.6 录制的视频通过回放软件查找质量值对应于质量损失 20%和 80% 时刻的计时时间差。

7.2.4.7 燃烧速率示值误差：按公式（4）计算

$$\Delta BR = BR - \frac{0.6 \times m_c}{t_{20-80}} \quad (4)$$

式中：

ΔBR ——固氧仪燃烧速率（质量损失速率）示值误差，g/s；

BR ——固氧仪所测得的燃烧速率，g/s；

m_c ——固氧仪设定比例 1:1 模式下， $m_c=15\text{g}$ ；

t_{20-80} ——固氧仪盛水容器中水的质量损失从 20%到 80%的时间，s。

7.2.4.8 重复上述操作三次，取三次结果的算术平均值作为燃烧速率示值误差。

7.2.4.9 若客户有特殊需求，可选择自定义设定比例 4:1 模式，，重复 7.2.4.1 至 7.2.4.6 的操作，此时公式（4）中， $m_c=6\text{g}$ 。

8 校准结果

经校准的固氧仪发给校准证书（内页格式见附录 B）。

校准证书应至少包括以下信息：

- 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) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- h) 本次校准所用试验载荷的溯源性及有效性说明；
- i) 校准环境的描述；
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- k) 校准证书签发人的签名或等效标识；
- l) 校准结果仅对被校对象有效的声明。

9 复校时间间隔

客户应根据校准结果、使用频次、使用条件等情况自行确定复校时间间隔。

建议复校时间间隔不超过1年。

附录 A

校准原始记录（参考）格式

委托单位			校准依据	
器具名称			型号规格	
最大秤量 Max			实际分度值 d	
制造厂商			出厂编号	
温度			相对湿度	
证书编号			校准日期	
校准员			核验员	
校准地点				
送校单位地址				
校准所使用的主要计量器具	名称	编号	证书号/有效期/溯源单位	不确定度/准确度等级/最大允许误差

一、计时误差单位：s

固氧仪示值 t_{01}	固氧仪示值 t_{02}	电子秒表示值 T_{01}	电子秒表示值 T_{02}	示值误差 ΔT	扩展不确定度 $U(k=2)$

二、质量示值误差

单位：g

试验载荷 L	示值 I	示值误差 E	扩展不确定度 $U(k=2)$

三、燃烧速率示值误差单位：g/s

序号	m_c	固 氧 仪 示 值	控 制 衡 器 质 量 变 化 值	t_{20}	t_{80}	示值误差	示值误差 平均值	扩展不确 定 度 U ($k=2$)
1								
2								
3								

 t_{20} : 控制衡器质量变化 20%对应时间 t_{80} : 控制衡器质量变化 80%对应时间

四、质量示值重复性误差

试验载荷	序号	1	2	3	4	5
	示值					
	序号	6	7	8	9	10
	示值					

附录 B

校准证书结果页（参考）格式

一、计时误差：

计时装置分辨力：s

时间测量间隔	固氧仪计时装置示值	电子秒表示值	计时示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$
1min				
3min				
5min				

二、质量示值误差

最大称量 $Max=$ ；实际分度值 $d=$

试验载荷	质量示值	质量示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$

三、燃烧速率示值误差

固氧仪混合模式	固氧仪示值	示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$

（以下空白）

附录 C

固氧仪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、电子秒表、控制衡器。

C.1.2 校准依据：JJF XXXX-202X 《固体材料氧化性试验仪校准规范》。

C.1.3 环境条件：温度：(20±5)°C，变化不大于 2°C；

相对湿度：≤60%，变化不大于 15%。

C.1.4 测量对象：固体材料氧化性试验仪。

C.1.5 测量过程：按照校准规范要求，用电子秒表测量固氧仪的计时误差，用 E₂ 等级标准砝码测量固氧仪的称量示值误差，用控制衡器（ $d=0.01\text{g}$ ）和电子秒表（分度值 0.01s）测量固氧仪的燃烧速率示值误差。

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（C1）。

$$E=I-m_{\text{ref}} \quad (\text{C1})$$

式中：

E —质量示值误差；kg、g 或 mg；

I —天平质量示值；kg、g 或 mg；

m_{ref} —质量标准的参考质量值；kg、g 或 mg。

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 $u(I)$ 。

由于各称量点不确定度来源和评定方法相同，因此本文仅以 10g 为例进行不确定度评定。

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 与包含因子($k=2$)的商，按照

公式（C2）计算。E₂ 等级 10g 标准砝码， $U=0.02\text{mg}$

$$u(\delta m_c) = \frac{U}{2} = 0.01\text{mg} \quad (\text{C2})$$

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（C3）计算。

$$u(\delta m_B) \approx \frac{|MPE|}{4\sqrt{3}} = 0.009\text{mg} \quad (\text{C3})$$

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（C4）计算。

$$u(\delta m_D) = \frac{|MPE|}{3\sqrt{3}} = 0.012\text{mg} \quad (\text{C4})$$

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（C5）计算。

$$u(m_{\text{ref}}) = \sqrt{u(\delta m_c)^2 + u(\delta m_B)^2 + u(\delta m_D)^2} = 0.018\text{mg} = 0.000018\text{g} \quad (\text{C5})$$

C.2.3.2 固氧仪示值 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（C6）计算。本例： $d=0.1\text{g}$

$$u(\delta I) = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.029\text{g} \quad (\text{C6})$$

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，对固氧仪质量值进行 10 次重复性测量，测量值见表 C.1。按照公式（C7）和公式（8）计算。

表 C.1 重复性测量结果

测量序号 n=10	1	2	3	4	5
测量值/g	10.0	10.0	9.9	10.0	10.0
测量序号 n=10	6	7	8	9	10
测量值/g	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (\text{C7})$$

$$s(I) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad (C8)$$

规范中测量一次，故其标准不确定度为： $u(\delta I_{rep}) = s(I) = 0.03g$

C.2.3.2.3 固氧仪示值的标准不确定度 $u(I)$

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：

$$u(I) = u(\delta I_{rep}) = 0.03g \quad (C9)$$

C.2.3.3 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 (C10) 计算

$$u_c(E) = \sqrt{u(I)^2 + u(m_{ref})^2} = 0.03g \quad (C10)$$

C.2.3.4 称量示值误差的扩展不确定度 $U(E)$ 评定

取包含因子 $k=2$ ，则称量示值误差的扩展不确定度按式 (C11) 计算。

$$U(E) = k \times u_c(E) = 2 \times 0.03 = 0.06g \quad (C11)$$

C.3 计时误差测量结果的不确定度评定

C.3.1 数学模型

计时误差按照公式 (C12) 计算：

$$\Delta T = (t_{02i} - t_{01}) - (T_{02i} - T_{01}) \quad (C12)$$

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； $i=1\sim3$

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； $i=1\sim3$

C.3.2 不确定度来源分析

a) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(t)$ ；

b) 电子秒表时间间隔测量误差引入的标准不确定度 $u_2(t)$ ；

c) 拍摄帧率引入的标准不确定度 $u_3(t)$ ；

由于第 1 分钟、3 分钟、5 分钟不确定度来源相同，因此本文仅以第 1 分钟为例进行不确定度评定。

C.3.3 测量不确定度评定

C.3.3.1 重复性测量引入的标准不确定度 $u_1(t)$

对被校时间连续测量 10 次，测量结果见表 C.2。

表 C.2 显示时间误差测量结果

测量序号 n=10	1	2	3	4	5
测量值/s	0.10	0.14	0.08	0.12	0.10
测量序号 n=10	6	7	8	9	10
测量值/s	0.12	0.10	-0.09	-0.10	0.08

用贝塞尔法计算实验标准偏差为：

$$s(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} \quad (\text{C13})$$

故其标准不确定度为： $u_1(t) = s(t) = 0.07s$

C.3.3.2 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 $\pm 0.05s$ ，按均匀分布计算，包含因子 $k=\sqrt{3}$

$$u_2(t) = \frac{0.05s}{\sqrt{3}} = 0.0289s \quad (\text{C14})$$

C.3.3.3 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 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 $k=\sqrt{3}$ ，：

$$u_3(t) = \frac{0.0042s}{\sqrt{3}} = 0.0024s \quad (\text{C15})$$

C.3.4 合成不确定度评定

合成不确定度按式（C16）计算。

$$u_t = \sqrt{u_1(t)^2 + u_2(t)^2 + u_3(t)^2} = 0.076s \quad (\text{C16})$$

C.3.5 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$ ，则计时误差的扩展不确定度按式（C17）计算。

$$U(t) = k \times u_t = 2 \times u_t = 0.16s \quad (C17)$$

C.4 燃烧速率(质量损失速率)示值误差测量结果的不确定度评定

C.4.1 数学模型

燃烧速率示值误差按照公式 (C18) 计算;

$$\Delta BR = BR - \frac{0.6 \times m_c}{t_{20-80}} \quad (C18)$$

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} ——质量值对应于质量损失 20% 和 80% 时刻的计时时间差, s。

由式 (C18) 得方差传播公式:

$$u^2(\Delta BR) = c_1^2 u^2(BR) + c_2^2 u^2(m_c) + c_3^2 u^2(t) \quad (C19)$$

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:

$$\begin{aligned} C_1 &= 1 \\ C_2 &= \frac{0.6}{t_{20-80}} \\ C_3 &= \frac{0.6 \times m_c}{t_{20-80}^2} \end{aligned}$$

C.4.2 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 $u(BR)$;

b) 控制衡器测量误差引入的标准不确定度 $u(m_c)$;

c) 电子秒表引入的标准不确定度 $u(t_{20-80})$;

由于固氧仪不同设定比例模式下燃烧速率示值误差测量不确定度来源和评定方法相同, 因此本文仅以设定比例 1: 1 为例进行不确定度评定。

C.4.3 测量不确定度评定

C.4.3.1 被校固氧仪的测定值引入的标准不确定度 $u(BR)$

对燃烧速率进行了 6 次重复性测量，测量结果见表 C.3。

表 C.3 重复性测量结果

次数	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	平均值
m_c : g	15	15	15	15	15	15	15
t_{20-80} : s	36.10	36.41	36.10	36.10	36.00	36.10	36.10
$0.6 \cdot m_c / t_{20-80}$: g/s	0.249	0.247	0.249	0.249	0.250	0.249	0.249
固氧仪测试燃烧速率: g/s	0.256	0.248	0.254	0.250	0.250	0.245	0.251
燃烧速率误差: g/s	-0.007	-0.001	-0.005	-0.001	0.000	0.004	-0.002

按照公式 (C20) 计算。

$$\text{故其重复性为: } S(BR) = \frac{(\Delta BR_{\max} - \Delta BR_{\min})}{c} = 0.0043 \text{ g/s} \quad (\text{C20})$$

c ——极差系数。见表 C.4。

表 C.4 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： $u(BR) = \frac{0.0043}{\sqrt{3}} = 0.00238 \text{ g/s}$

C.4.3.2 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 $\pm 0.005 \text{ g}$ ，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：

$$u(m_c) = \frac{0.005 \text{ g}}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ g} \quad (\text{C21})$$

C.4.3.3 电子秒表引入的标准不确定度 $u(t)$ C.4.3.3.1 电子秒表测量误差引入的标准不确定度 u_2

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

$$u_1 = \frac{0.05 \text{ s}}{\sqrt{3}} = 0.0289 \text{ s} \quad (\text{C22})$$

C.4.3.3.2 高速摄像机拍摄帧率引入的标准不确定度 u_3

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 $k=\sqrt{3}$ ，：

$$u_2 = \frac{0.0042s}{\sqrt{3}} = 0.0024s \quad (C23)$$

C.4.3.3.3 电子秒表引入的合成标准不确定度 u_3

$$u(t) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.029s \quad (C24)$$

C. 4. 4 合成不确定度评定

$$C_1 = 1 \quad C_2 = \frac{0.6}{t_{20-80}} = 0.0166s \quad C_3 = \frac{0.6 \times m_c}{t_{20-80}^2} = 0.0069g/s^2$$

合成不确定度按公式 (C25) 计算。

$$u(\Delta BR) = \sqrt{c_1^2 u^2(BR) + c_2^2 u^2(m_c) + c_3^2 u^2(t)} = 0.00244g/s \quad (C25)$$

C. 4. 5 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$ ，则燃烧速率示值误差的扩展不确定度按式 (C26) 计算。

$$U(\Delta BR) = k \times u(\Delta BR) = 2 \times u(\Delta BR) = 0.0049 g/s \quad (C26)$$