



中华人民共和国工业和信息化部
有色金属计量技术规范

JJF（有色金属）XXXX—20XX

摩擦、磨损和磨耗试验机校准规范
(报批稿)

Calibration Specification for
Friction, Wear and Abrasion Testing Machines

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

摩擦、磨损和磨耗试验机 校准规范

Calibration Specification for
Friction, Wear and Abrasion Testing
Machines

JJF（有色金属）XXXX—
20xx

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：国标（北京）检验认证有限公司

参加起草单位：广东省科学院工业分析检测中心

国合通用（青岛）测试评价有限公司

有色金属技术经济研究院有限责任公司

西安汉唐分析检测有限公司

东北轻合金有限责任公司

中国船舶集团有限公司第七二五研究所

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

李 成（国标（北京）检验认证有限公司）

侯文茹（国标（北京）检验认证有限公司）

张文梅（国标（北京）检验认证有限公司）

吴承骏（国标（北京）检验认证有限公司）

樊志罡（国标（北京）检验认证有限公司）

参加起草人：

杨 勇（广东省科学院工业分析检测中心）

李铸铁（国合通用（青岛）测试评价有限公司）

闫雁楠（有色金属技术经济研究院有限责任公司）

余泽利（西安汉唐分析检测有限公司）

周桂平（东北轻合金有限责任公司）

王 欢（东北轻合金有限责任公司）

曹梦圆（中国船舶集团有限公司第七二五研究所）

目录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 摩擦、磨损试验机计量特性	(2)
4.2 磨耗试验机计量特性	(3)
5 校准条件	(3)
5.1 环境条件	(3)
5.2 测量标准	(3)
6 校准项目和校准方法	(4)
6.1 校准项目	(4)
6.2 校准方法	(4)
7 校准结果表达	(7)
8 复校时间间隔	(8)
附录 A 校准原始记录参考格式	(9)
附录 B 校准证书内页参考格式	(122)
附录 C 摩擦、磨损试验机试验力示值误差的测量不确定度评定示例	(144)
附录 D 摩擦、磨损试验机转速示值误差的测量不确定度评定示例	(177)
附录 E 摩擦、磨损试验机温度示值误差的测量不确定度评定示例	(200)
附录 F 磨耗试验机负荷砝码质量测量不确定度评定示例	(244)

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》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范的制定参考了GB/T 16825.1 《金属材料 静力单轴试验机的检验与校准 第1部分：拉力和（或）压力试验机 测力系统的检验与校准》和GB/T 12444 《金属材料 磨损试验方法 试环-试块滑动磨损试验》。

本规范为首次发布。

摩擦、磨损和磨耗试验机校准规范

1 范围

本规范适用于摩擦、磨损试验机和磨耗试验机等（以下简称试验机）的校准。

2 引用文件

本规范没有引用文件。

3 概述

摩擦、磨损试验机工作原理：摩擦试样在力学传感器的作用下，以规定的速度进行摩擦，通过测量摩擦系数来评定材料的耐磨性能。当试验样品需要在高温环境下进行试验时，需配备高温炉对试样进行加热并同时开展摩擦、磨损试验。根据试验机摩擦运动方式可分为环块旋转试验机、线性往复试验机、旋转试验机、销盘或球盘摩擦、磨损试验机等，环块旋转试验机结构示意图见图 1。

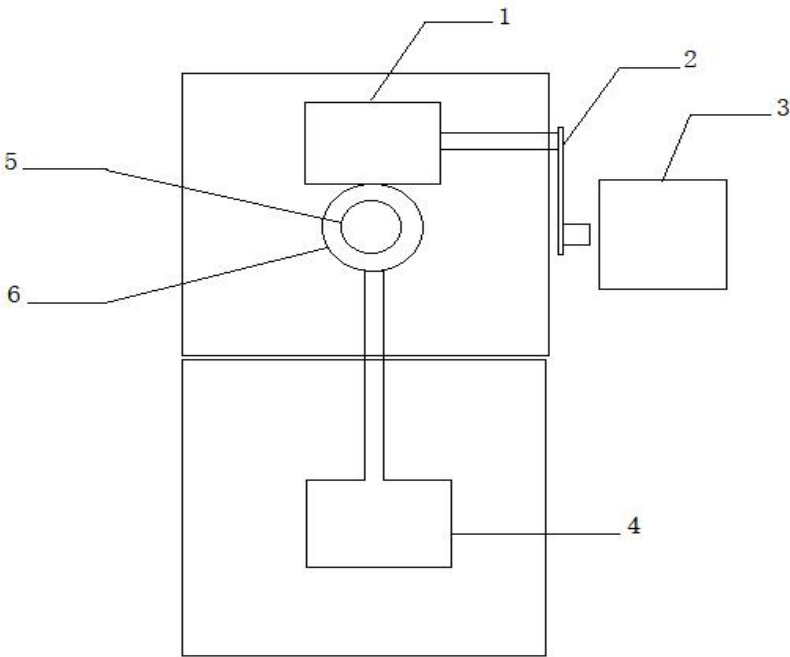


图 1 环块旋转试验机结构示意图

1—试样；2—传动杆；3—摩擦力传感器；4—载荷传感器；5—转动电机；6—标准圆环

磨耗试验机工作原理：将试样固定在旋转台上，摩擦轮（一般为砂轮）在荷重的作用下压在试样表面，旋转台以规定速度旋转，使试样和摩擦轮相对运动产生摩擦，经过一定转数的摩擦后评价试样的耐磨耗性。常见磨耗试验机有线性磨耗仪、往复式磨耗机和振荡

磨耗仪等。磨耗试验机结构示意图如图 2 所示。

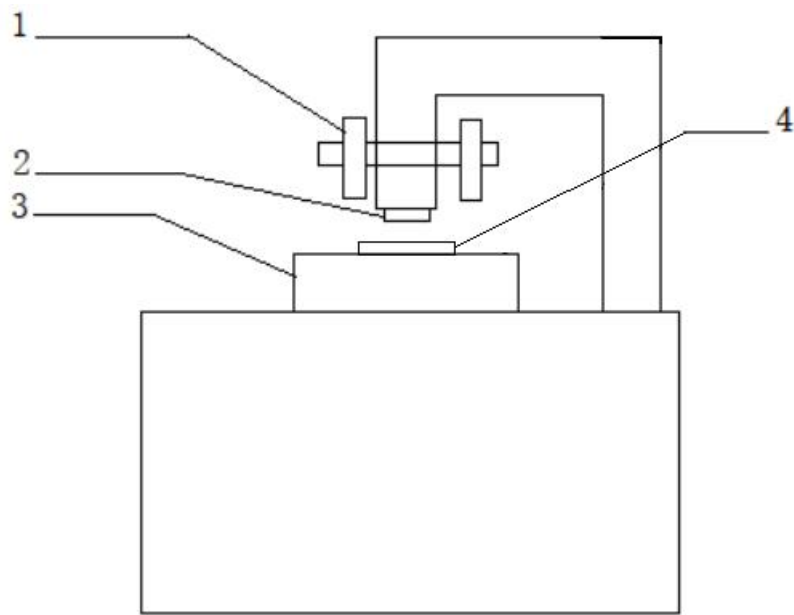


图 2 磨耗试验机结构示意图

1—配重砝码；2—摩擦轮；3—转动盘；4—试样

4 计量特性

4.1 摩擦、磨损试验机计量特性

4.1.1 试验力

摩擦、磨损试验机试验力分为载荷试验力和摩擦力，其最大允许误差见表 1。

表1 摩擦、磨损试验机试验力最大允许误差

试验力	最大允许误差/%	
	示值相对误差	示值重复性相对误差
载荷试验力	±1.0	1.0
摩擦力	±3.0	3.0

4.1.2 温度

4.1.2.1 温度测量仪器的分辨力不大于0.5℃。

4.1.2.2 温度控制及加热装置应保证试验期间内的温度稳定。温度示值的最大允许误差见表 2。

表2 温度示值的最大允许误差

试验温度/℃	温度示值的最大允许误差/℃
$t \leq 600$	± 3
$600 < t \leq 800$	± 4
$800 < t \leq 1000$	± 5
$1000 < t \leq 1100$	± 6
注：1. 温度示值应包括对热电偶及测量仪表误差的修正。 2. 对于超过 1100℃的试验温度，根据用户及试验方法标准的要求确定温度示值的最大允许误差。	

4.1.3 转速

试验机转速范围为（5~5000）r/min，转速示值相对误差为 $\pm 1\%$ 。

4.2 磨耗试验机计量特性

4.2.1 转速

试验机转速范围为（5~100）r/min，转速示值相对误差为 $\pm 1\%$ 。

4.2.2 负荷砝码质量

对于不同质量的负荷砝码，质量示值误差为 $\pm 2\text{g}$ 。

5 校准条件

5.1 环境条件

试验机应在（20 \pm 5）℃，相对湿度不大于 80%的条件下校准，校准过程中温度波动不大于 2℃。

5.2 测量标准

校准用测量标准技术指标见表 3。

表3 测量标准技术指标

设备名称	技术指标	用途
标准测力仪	优于 0.3 级或 $U=0.3\%$ ($k=2$)	校准载荷试验力
	优于 1 级或 $U=1\%$ ($k=2$)	校准摩擦力
温度巡检仪	最大允许误差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，分辨力 0.01°C	校准温度
温度传感器	使用 K 型或 N 型热电偶时，应满足 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.004 t$ (t 为实际温度)；使用 S 型热电偶时，应满足 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$	校准温度
转速表	优于 0.1 级	校准转速
电子天平	称量范围 (0~2000) g，分度值 0.1g；也可采用同等精度等级的其他称重装置	校准负荷砝码质量

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

6.1.1 摩擦、磨损试验机校准项目见表4。

表4 摩擦、磨损试验机校准项目

序号	校准项目
1	载荷试验力
2	摩擦力
3	温度
4	转速

6.1.2 磨耗试验机校准项目见表5。

表5 磨耗试验机校准项目

序号	校准项目
1	转速
2	负荷砝码质量

6.2 校准方法

6.2.1 校准前的准备工作

根据被校对象选择对应标准测力仪，且标准测力仪应在试验机上放置2h以上使其达到稳定温度。

6.2.2 摩擦、磨损试验机试验力校准

6.2.2.1 校准点的选择

试验力示值误差校准点的选择建议不少于 5 点，一般按照量程的 20%、40%、60%、80%、100%选择校准点，也可按照客户需求进行取点。

6.2.2.2 校准方法

试验机在连接安装好的标准测力仪时，将标准测力仪与被校试验机力值传感器垂直放置。应从零开始至少施加 3 次最大试验力，通过试验机控制逐步进行加载，重复测量 3 次。

6.2.2.3 示值相对误差和示值重复性相对误差计算

计算每个校准点 3 次测量的算术平均值，并计算示值相对误差和示值重复性相对误差。

以试验机的指示装置为准在标准测力仪上读数时，示值相对误差按公式（1）计算，示值重复性相对误差按公式（2）计算。

$$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

q ——试验机测力系统的示值相对误差；

F_i ——被校试验机力值标称值，N；

\bar{F} ——标准测力仪指示的 3 次测量值的算术平均值，N。

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

b ——试验机测力系统的示值重复性相对误差；

F_{\max} ——校准点 i 在 3 次测量中的最大值，N；

F_{\min} ——校准点 i 在 3 次测量中的最小值，N。

以标准测力仪为准在试验机的指示装置上读数时，示值相对误差和示值重复性相对误差按公式（3）和公式（4）计算。

$$q = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \times 100\% \quad (3)$$

$$b = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{\bar{F}_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

F ——标准测力仪的标称力值，N；

\bar{F}_i ——试验机力指示装置多次测量示值的算术平均值，N；

$F_{i\max}$ ——校准点 i 在 n 次测量中的最大值，N；

$F_{i\min}$ ——校准点 i 在 n 次测量中的最小值，N。

6.2.3 摩擦、磨损试验机温度测控系统校准

根据温度测控系统量程进行选点，应包含 300℃、600℃、900℃、1100℃ 四个温度点，也可根据试验要求进行选点校准。

将温度传感器固定在试样放置位置进行温度校准。将温度设定为所需校准温度后，按试验机相关要求进行升温，当温度到达设定值并保温 30min 后开始测温。读取温度巡检仪的数据，每 2min 测量一次，共测量 15 次。测量结果应通过溯源证书对温度传感器和温度巡检仪的修正值进行补偿，最佳估算值应为实测温度加修正值。

温度示值误差按公式（5）计算。

$$\delta_t = \bar{T} - T \quad (5)$$

式中：

δ_t ——温度示值误差，℃；

\bar{T} ——温度巡检仪实测温度的算术平均值，℃；

T ——温度测控系统的标称温度，℃。

6.2.4 摩擦、磨损试验机和磨耗试验机转速校准

6.2.4.1 转速校准点的选择

在被校试验机可设定的转速最大值内选定至少 3 个校准点或根据试验要求进行选点，摩擦、磨损试验机选点宜包含 50r/min、2500r/min、5000r/min。磨耗试验机选点宜包含 10r/min、50r/min、100r/min。

6.2.4.2 转速示值相对误差

将反光片固定在旋转圆盘上，将非接触转速表与旋转圆盘上的反光片相垂直，当转速达到设定值稳定 5min 后开始测量，每隔 1min 测量一次，共测量 3 次。

转速示值误差按公式（6）计算。

$$\delta_n = \frac{n_0 - \bar{n}}{\bar{n}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

δ_n ——转速示值相对误差；

n_0 ——转速标称值，r/min；

\bar{n} ——转速实测平均值，r/min。

6.2.5 磨耗试验机负荷砝码质量校准

用电子天平称量试验机配置的所有负荷砝码的质量，每个砝码重复测量3次并计算平均值，结果保留到0.1g。

砝码质量示值误差按公式（7）计算。

$$\Delta m = m - \bar{m} \quad (7)$$

式中：

Δm ——砝码质量示值误差，g；

m ——砝码质量标称值，g；

\bar{m} ——砝码质量实测平均值，g。

7 校准结果表达

经校准的试验机出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室的名称和地址；
- c) 实施校准活动的地点，包括客户设施、实验室固定设施以外的地点；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和联络信息；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准活动的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期和证书发布日期；
- h) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用的测量标准和溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；

k) 校准结果及其测量不确定度的说明（给出整个测量范围校准结果测量不确定度的最大值）；

l) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；

m) 校准人和核验人签名；

n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；

o) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

校准原始记录参考格式见附录 A，校准证书内页参考格式见附录 B。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间，建议复校时间间隔为1年。

附录A

校准原始记录参考格式

摩擦、磨损试验机校准原始记录参考格式

证书编号：接收日期：校准日期：发布日期：
委托单位：校准依据：

被校设备信息						
器具名称				出厂编号		
型号/规格				设备编号		
制造厂				环境条件	℃	%RH
校准地点						
测量标准信息						
名称	型号	证书编号	编号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	有效期	
校准结果						
1 加载试验力/N						
校准点	1	2	3	平均值	示值相对误差/%	示值重复性相对误差/%
扩展不确定度：						
2 摩擦力/N						
校准点	1	2	3	平均值	示值相对误差/%	示值重复性相对误差/%
扩展不确定度：						
3 温度/℃						

设定值	次数	实测值		温度示值误差	
	1				
				
	15				
	1				
				
	15				
	1				
				
	15				
	1				
				
	15				
扩展不确定度：					
4 转速/（r/min）					
设定值	1	2	3	平均值	示值相对误差 /%
扩展不确定度：					

磨耗试验机校准原始记录参考格式

证书编号: 接收日期: 校准日期: 发布日期:
 委托单位: 校准依据:

被校设备信息					
器具名称			出厂编号		
型号/规格			设备编号		
制造厂			环境条件	°C	%RH
校准地点					
测量标准信息					
名称	型号	证书编号	编号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	有效期
校准结果					
1 转速/ (r/min)					
设定值	1	2	3	平均值	示值相对误差 /%
2 负荷砝码质量/g					
校准点	1	2	3	平均值	
扩展不确定度:					

附录 B

校准证书内页参考格式

摩擦、磨损试验机校准证书内页参考格式

证书编号:

校准结果

1 加载试验力/N						
校准点	1	2	3	平均值	示值 相对误差/%	示值重复性 相对误差/%
扩展不确定度:						
2 摩擦力/N						
校准点	1	2	3	平均值	示值 相对误差/%	示值重复性 相对误差/%
扩展不确定度:						
3 温度/℃						
设定值			温度示值误差			
扩展不确定度:						
4 转速/(r/min)						
设定值	1	2	3	平均值	示值相对误差/%	
扩展不确定度:						

磨耗试验机校准证书内页参考格式

证书编号:

校准结果					
1 转速/（r/min）					
设定值	1	2	3	平均值	示值相对误差/%
扩展不确定度：					
2 负荷砝码质量/g					
校准点	1	2	3	平均值	
扩展不确定度：					

附录 C

摩擦、磨损试验机

试验力示值误差的测量不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 评定依据

本规范。

C.1.2 测量标准

标准测力仪：测量范围（1~1000）N，准确度等级 0.1 级。

C.1.3 被测对象

多功能摩擦磨损试验机。

C.1.4 测量方法

试验机在连接安装好的标准测力仪时，将标准测力仪与被测试验机力值传感器垂直放置。应从零开始至少施加3次最大试验力，通过试验机控制逐步进行加载，重复测量3次，计算平均值。

C.2 测量模型

试验力示值误差的测量模型为见公式（C.1）。

$$\Delta F = F_i - \bar{F} \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔF —被校试验机的示值误差，N；

F_i —被校试验机力值标称值，N；

\bar{F} —标准测力仪指示的多次测量值的算术平均值，N。

该模型的灵敏系数 c_1 、 c_2 见公式（C.2）、（C.3）。

$$c_1 = \frac{\partial \Delta F}{\partial F_i} = 1 \quad (\text{C.2})$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta F}{\partial \bar{F}} = -1 \quad (\text{C.3})$$

C.3 测量不确定度的来源

根据测量模型，摩擦、磨损试验机试验力示值误差的测量不确定度来源主要是：

- 1) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(F)$;
- 2) 分辨力引入的标准不确定度 $u(F_{\text{分辨力}})$;
- 3) 标准测力仪精度引入的标准不确定度 $u(\bar{F})$ 。

C.4 测量不确定评定

C.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u(F)$

选择被校对象试验机量程为200N，选取50N作为测量点，连续测量10次，得到测量列见表C.1。

表C.1 50N点测量列

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (N)	50.17	50.16	50.12	50.12	50.15	50.16	50.18	50.15	50.19	50.16

由表C.1计算得出，平均值为：

$$\bar{F} = 50.16 \text{ N}$$

标准偏差为：

$$s(n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.023 \text{ N}$$

根据6.2.2得知，每次校准均对试验力进行3次测量，取 $n=3$ ，则

$$u(F) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.023}{\sqrt{3}} = 0.013 \text{ N}$$

C.4.2 分辨力引入的标准不确定度 $u(F_{\text{分辨力}})$

已知试验机分辨力为0.01N，则其区间半宽 $a=0.01/2$ ，假设为均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u(F_{\text{分辨力}}) = \frac{a}{k} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ N}$$

C.4.3 标准测力仪精度引入的标准不确定度 $u(\bar{F})$

输入量 $u(\bar{F})$ 的标准不确定度主要由标准测力仪的精度引入，根据标准测力仪的检定证书可知，该标准测力仪校准精度为0.1级，即全量程误差范围均满足 $\pm 0.1\%$ 。则50N校准点

的区间半宽 $a=0.1\%$ ，假设为均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u(\bar{F}) = \frac{a}{k} \times 50 = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} \times 50 = 0.029\text{N}$$

C.5 合成标准不确定度

考虑到 $u(F_{\text{分辨力}}) < u(F)$ ，因此不考虑分辨力引入的标准不确定度，即

$$u(F_{\text{分辨力}}) = 0$$

以上两个分量 F 和 \bar{F} 相互独立，相关系数为0，所以：

$$u_c(\Delta F) = \sqrt{c_1^2 u^2(F) + c_2^2 u^2(\bar{F})} = 0.032\text{N} \quad (\text{C.4})$$

C.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta F) = 2 \times 0.032 = 0.06\text{N} \quad (k=2)$$

C.7 相对扩展不确定度

由于在校准试验机时，判断试验机示值误差和示值重复性时，均使用相对误差对试验机计量特性进行校准，则50N校准点的相对扩展不确定度 U_{rel} 为：

$$U_{\text{rel}} = \frac{U}{50} \times 100\% = \frac{0.064}{50} \times 100\% = 0.13\% \quad (k=2)$$

附录 D

摩擦、磨损试验机

转速示值相对误差的测量不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 评定依据

本规范。

D.1.2 测量标准

转速表：（20~30000）r/min，示值误差优于 0.1 级。

D.1.3 被测对象

摩擦、磨损试验机。

D.1.4 测量方法

将反光片固定在旋转圆盘上，将非接触转速表与旋转圆盘上的反光片相垂直，当转速达到设定值并稳定5min后开始测量，每隔1min测量一次，共测量3次。

D.2 测量模型

转速示值相对误差的测量模型为：

$$\delta_n = \frac{n_0 - \bar{n}}{\bar{n}} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中：

δ_n ——转速示值相对误差；

n_0 ——转速标称值，r/min；

\bar{n} ——转速实测平均值，r/min。

D.3 测量不确定度的来源

转速示值相对误差的测量不确定度来源有：

- 1) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 2) 转速表分辨力引入的标准不确定度 u_2 ；
- 3) 转速表示值误差引入的标准不确定度 u_3 。

D.4 测量不确定度评定

D.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

对被校试验机转速1000r/min点进行10次独立重复测量，测量列见表D.1。

表D.1 转速测量列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
转速 (r/min)	1001.4	1002.3	1001.5	1002.6	1001.7	1001.9	1002.0	1002.0	1002.2	1003.4

按贝塞尔公式，单次测量标准偏差为：

$$s(n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.6 \text{ r/min}$$

根据6.2.4.2可知，每次校准均对转速进行3次测量，则：

$$u_1 = \frac{s(n)}{\sqrt{n}} = \frac{0.6}{\sqrt{3}} = 0.4 \text{ r/min}$$

D.4.2 转速表分辨力引入的标准不确定度 u_2

转速表分辨力为0.1r/min，取其区间半宽 $a=0.1/2$ ，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029 \text{ r/min}$$

D.4.3 转速表示值误差引入的标准不确定度 u_3

经查询证书可知，校准所用转速表的示值误差应不超过 $\pm 0.01\%$ ，采用B类不确定度评定方法，假设为均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则转速1000r/min点的相对标准不确定度 $u_{3\text{rel}}$ 和标准不确定度 u_3 分别为：

$$u_{3\text{rel}} = \frac{a}{k} = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.006\%$$

$$u_3 = 0.006\% \times 1000 = 0.06 \text{ r/min}$$

D.5 合成标准不确定度

考虑到 $u_2 < u_1$ ，所以不考虑分辨力引入的不确定分量，则

$$u_2 = 0$$

试验机转速示值测量结果的各项影响因素互不相关，因此其合成标准不确定度为：

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.4 \text{r/min}$$

D.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u = 2 \times 0.4 = 0.8 \text{r/min} \quad (k=2)$$

附录E

摩擦、磨损试验机

温度示值误差的测量不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 评定依据

本规范。

E.1.2 测量标准

温度巡回检测仪配 K 型热电偶，测量范围（300～1100）℃，不确定度 $U=1.1^{\circ}\text{C}$ （ $k=2$ ）。

E.1.3 被校对象

摩擦、磨损试验机高温炉。

E.1.4 测量方法

将温度传感器固定在试样放置位置进行温度校准。到达设定温度之后，保温 30min 后开始测温。读取温度巡检仪的数据，每 2min 测量一次，共测量 15 次。本规范应包含 300℃、600℃、900℃、1100℃ 四个温度点或试验要求进行选点校准，本实例仅选取 300℃、800℃、1100℃ 三个温度点为例。

E.2 测量模型

试验机温度示值误差的测量模型为：

$$\Delta t = t_b - t_p \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δt ——被校高温炉的示值误差，℃；

t_p ——温度巡回检测仪显示的测温点的实际温度，℃；

t_b ——被校高温炉的标称温度，℃。

E.3 测量不确定度的来源

测量不确定度的来源如下：

- 1) 被校高温炉测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 2) 被校高温炉分辨力引入的标准不确定度 u_2 ；
- 3) 温度校准装置不确定度引入的标准不确定度 u_3 。

E.4 测量不确定评定

E.4.1 被测高温炉测量重复性引入的标准不确定度 u_1

选择高温炉300℃、800℃、1100℃测量点，在重复性条件下连续测量15次，得到测量列见表E.1。

表E.1 300℃、800℃、1100℃测量列

序号	300(°C)	800(°C)	1100(°C)
1	302.9	805.6	1110
2	301.2	807.9	1113
3	304.5	806.2	1111
4	303.7	808.2	1114
5	302.1	806.8	1110
6	301.5	804.1	1110
7	301.2	807.6	1111
8	304.9	807.9	1112
9	302.2	806.2	1110
10	302.3	807.5	1111
11	302.9	805.6	1110
12	301.2	807.9	1113
13	304.5	803.2	1111
14	302.0	809.4	1114
15	302.1	806.8	1110
平均值 $\overline{t_{p1}}$	302.7	806.8	1110.8
单次实验标准差 s	1.33	1.29	1.40

实际测量情况以测量 15 次的算术平均值作为测量结果，则

$$u_1 = s / \sqrt{15}$$

由上式可得被测高温炉测量重复性引入的标准不确定度见表 E.2。

表 E.2 测量重复性引入的标准不确定度

测量点(°C)	$u_1(^{\circ}\text{C})$
300	0.34
800	0.33
1100	0.36

E.4.2 被校高温炉分辨力引入的标准不确定度 u_2

高温炉的分辨力为 0.1°C ，则其区间半宽为 $0.1/2$ ，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029^{\circ}\text{C}$$

E.4.3 温度校准装置不确定度引入的标准不确定度 u_3

温度校准装置由温度巡检仪和热电偶组成，并组合使用。查询证书可知其扩展不确定度为 $U=1.1^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ，其区间半宽 $a=U$ ，则

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{U}{k} = \frac{1.1}{2} = 0.55^{\circ}\text{C}$$

E.5 合成标准不确定度

考虑到 $u_2 < u_1$ ，所以不考虑分辨力引入的不确定分量，则：

$$u_2 = 0$$

高温炉示值测量结果的各项影响因素互不相关，因此其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2}$$

表E.3 合成标准不确定度

测量点(°C)	$u_c(^{\circ}\text{C})$
300	0.7
800	0.7
1100	0.7

E.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度公式为：

$$U = k \cdot u_c$$

则其扩展不确定度见表E.4。

表E.4 扩展不确定度

测量点(°C)	$U(^{\circ}\text{C})$
300	1.4
800	1.4
1100	1.4

附录F

磨耗试验机

负荷砝码质量测量不确定度评定示例

F.1 概述

F.1.1 评定依据

本规范。

F.1.2 测量标准

电子天平：测量范围（0～3100）g，分度值为0.001g。

F.1.3 被校对象

磨耗试验机。

F.1.4 测量方法

用电子天平称量试验机所有负荷砝码的质量，每个砝码重复3次，计算出3次测量结果的平均值，结果保留到0.1g。本示例仅以500g负荷砝码的测量为例。

F.2 测量模型

负荷砝码质量的测量模型为：

$$M = m + \Delta m \quad (\text{F.1})$$

式中：

M ——被测负荷砝码的测量结果，g；

m ——电子天平的读数值，g；

Δm ——电子天平的示值误差，g。

F.3 测量不确定度的来源

测量不确定度的来源如下：

- 1) 由测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 2) 电子天平最大允许误差引入的标准不确定度 u_2 。

F.4 测量不确定度评定

F.4.1 由测量重复性引入的标准不确定度 u_1

对500g负荷砝码进行10次测量，测得结果见表F.1。

表F.1 负荷砝码测量列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
负荷砝码质量/g	498.4	498.4	498.5	498.6	498.4	498.4	498.5	498.4	498.5	498.4

负荷砝码质量的平均值为

$$\bar{m} = 498.4\text{g}$$

采用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} = 0.07\text{g} \quad (\text{F.2})$$

式中：

m_i ——第 i 次测量结果，g；

\bar{m} ——测量结果的平均值，g；

n ——测量次数。

实际测量以3次测量的平均值作为测量结果，故标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.07}{\sqrt{3}} = 0.04\text{g}$$

F.3.2 电子天平最大允许误差引入的标准不确定度 u_2

用称量范围（0~3100）g，分辨力为0.001g的电子天平称量负荷砝码的质量，500g称量时电子天平的最大允许误差为 $\pm 0.005\text{g}$ ，区间半宽 $a=0.005\text{g}$ ，假设为均匀分布，取 $k=3$ ，则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{g}$$

F.3.3 合成标准不确定度 u_c

各输入量之间相互独立，互不相关，因此：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.04^2 + 0.0029^2} = 0.04\text{g}$$

F.3.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.04 = 0.08\text{g} \quad (k=2)$$