

中华人民共和国工业和信息化部
建材计量技术规范

JJF(建材)147—2018

小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机
校准规范

Calibration Standard for Small Sample Shrinkage Inertia Friction and Wear
Performance Testing Machines

2018-10-22 发布

2018-12-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布



小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机

校准规范

Calibration Standard for Small Sample Shrinkage

Inertia Friction and Wear Performance Testing

Machines

JJF(建材)147—2018

归口单位:中国建筑材料联合会

主要起草单位:咸阳非金属矿研究设计院有限公司

参加起草单位:国家非金属矿制品质量监督检验中心

本规范委托全国建材计量技术委员会负责解释

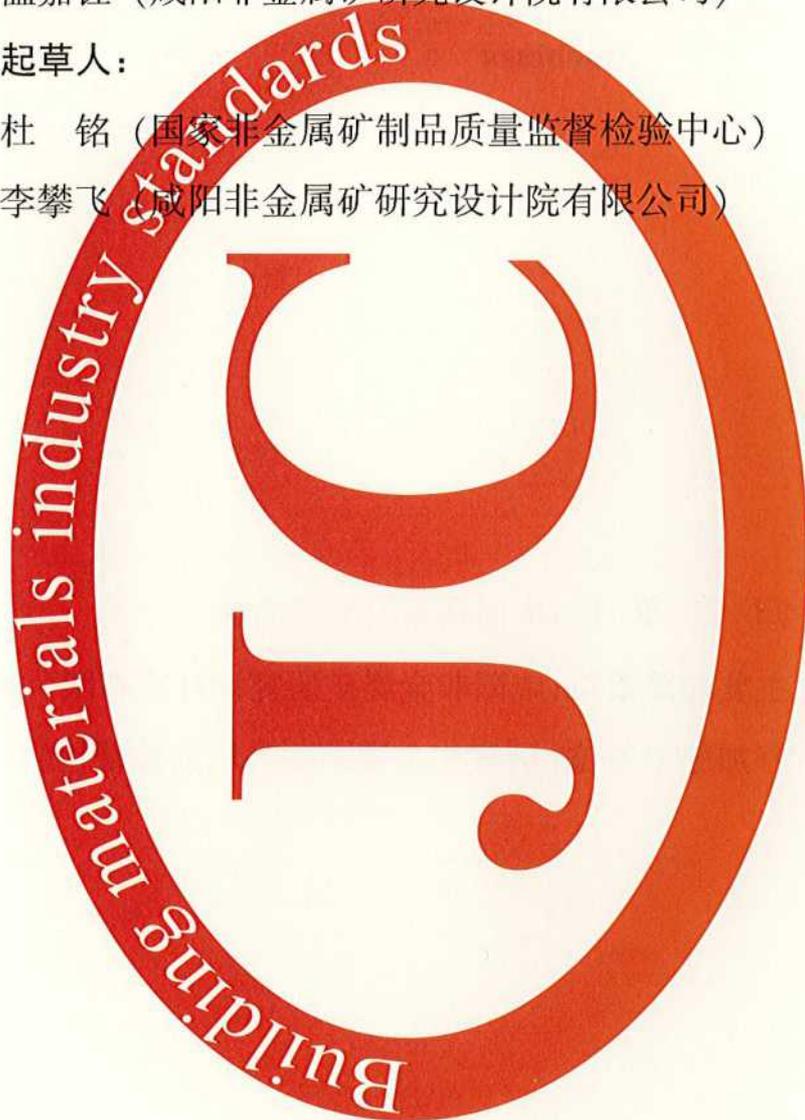
本规范主要起草人：

温嘉钰（咸阳非金属矿研究设计院有限公司）

参加起草人：

杜 铭（国家非金属矿制品质量监督检验中心）

李攀飞（咸阳非金属矿研究设计院有限公司）



目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
3.1 用途.....	(1)
3.2 原理与构成.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
4.1 试验机的计量性能要求.....	(2)
4.2 摩擦系数不确定度评定.....	(2)
5 校准条件和校准仪器.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 校准用仪器设备.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(2)
6.1 校准项目.....	(2)
6.2 校准方法.....	(3)
6.3 摩擦系数的不确定度评定.....	(6)
7 校准结果.....	(7)
8 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 校准记录及校准证书内页格式.....	(8)
附录 B 试验机转速的测量不确定评定实例.....	(10)
附录 C 试验用油温度的测量不确定度评定实例.....	(13)
附录 D 试验机扭矩的测量不确定评定实例.....	(15)
附录 E 试验机制动管路压力的测量不确定评定实例.....	(17)
附录 F 试验用油流量的测量不确定评定实例.....	(19)
附录 G 试验机摩擦系数检测结果不确定度计算示例.....	(22)

引 言

本规范以 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》为基础性规范进行编写。

本规范为首次发布。



小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机校准规范

1 范围

本规范适用于小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机(以下简称为试验机)校准。本规范规定了小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机的计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果的不确定度和复校时间间隔。

2 引用文件

本规范引用下列文件:

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

GB/T 13826—2008 湿式(非金属)摩擦材料

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 概述

3.1 用途

小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机主要是测试湿式摩擦材料的摩擦磨损性能。

3.2 原理与构成

小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机是由以下部分组成:主机体系统、主电机、调频调速器、机械惯量装置、离合装置、测速装置、测温装置、施压装置、测压装置、测扭装置、施力装置。通过试验机的自动化控制程序,驱动主轴转速达到设定值,汽缸活塞加载设定压力,使试样与对偶面接触,并产生制动力,从而测量试样的动摩擦系数、静摩擦系数、磨损率等试验指标。其原理示意如图1。

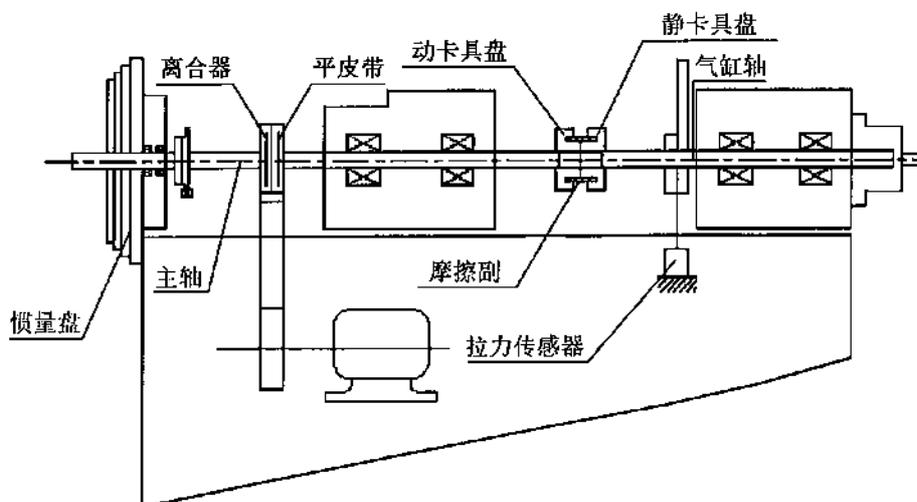


图1 小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机结构示意图

4 计量特性

4.1 试验机的计量性能要求

试验机的计量性能要求见表1。

表1 试验机的计量性能指标

序号	项目	测量范围	示值误差
1	主轴转速	500 rpm~9 000 rpm	±10 rpm
2	试验用油温度	50℃~200℃	±5℃
3	扭矩	0 N·m~150 N·m	±1.0 N·m
4	管路压力	0 MPa~2 MPa	±0.02 MPa
5	试验用油流量	0 L/min~1.5 L/min	±0.05 L/min

4.2 摩擦系数不确定度评定

通过试验方法的要求及计算公式,并对影响摩擦系数测试值的分量不确定度进行合成。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度: $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 相对湿度: $(50 \pm 10)\%$ 。

5.1.3 电源电压波动值在额定电压的±10%范围内。

5.1.4 校准现场周围应无强烈的振动源和高频信号干扰。

5.2 校准用仪器设备

5.2.1 设备运转时制动盘的径向跳动和轴向跳动均不得超过 0.08 mm。

5.2.2 计量标准器和设备见表2。

表2 校准设备一览表

序号	设备名称	测量范围	准确度等级
1	转速测量仪	500 rpm~9 000 rpm	MPE: ±0.1%
2	温度校准仪	0℃~200℃	MPE: ±0.1℃
3	扭矩校准装置(砝码)	-	M_2
4	压力校准仪	0 MPa~2 MPa	0.05 级
5	液体容积式流量计	0 L/min~1.5 L/min	MPE: ±1%

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表3。

表3 校准项目

序号	校准项目
1	主轴转速
2	试验用油温度
3	扭矩
4	管路压力
5	试验用油流量

6.2 校准方法

6.2.1 外观检查

试验机外形结构应完好,设备标牌(名称、规格型号、使用范围、制造厂及出厂编号)应齐全,所配备的电器控制系统和测试元件应能正常工作。

用目测方法进行检查,接通电源,检查设备各个控制部分运行情况是否正常。

6.2.2 主轴转速

6.2.2.1 选取转速值 1 000 rpm、2 000 rpm、4 000 rpm、5 000 rpm 作为校准点。

6.2.2.2 将作为旋转标记的反射薄膜贴在主轴上,转速测量仪对准反射标记,固定好转速测量仪的位置,确保不会出现松动和移位,安装示意图如图 2。

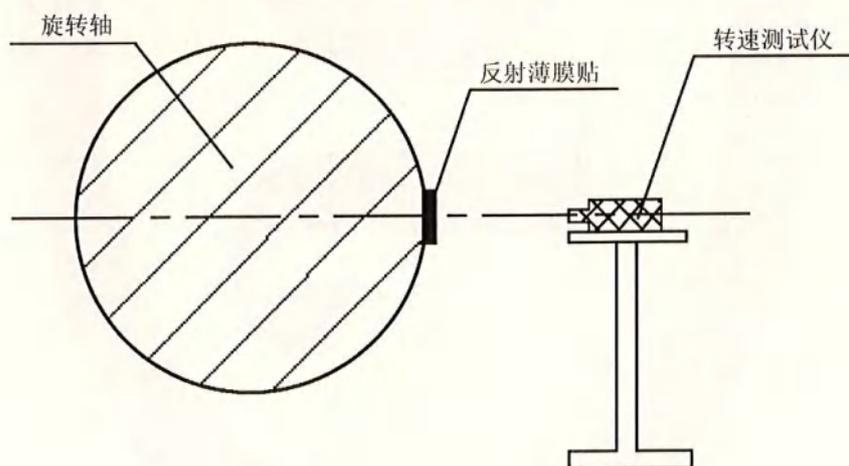


图2 转速测量仪安装示意图

6.2.2.3 转速测量仪安装完成后,开启试验机,待主轴转速稳定后,连续 5 次记录各校准点转速测量仪的转速示值和试验机主轴转速示值,按公式(1)、(2)计算示值误差和相对示值误差。

$$n_0 = \overline{n_2} - \overline{n_1} \quad (1)$$

$$\delta_n = \left(\frac{\overline{n_2} - \overline{n_1}}{\overline{n_1}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

n_0 ——转速示值误差, rpm;

\bar{n}_1 ——5次转速测量仪显示的转速平均示值, rpm;

\bar{n}_2 ——5次试验机显示的转速平均示值, rpm;

δ_2 ——转速示值相对误差。

6.2.2.4 各校准点中示值相对误差绝对值最大者, 作为转速校准结果。

6.2.3 试验用油温度

6.2.3.1 选取温度值 50℃、100℃、140℃、180℃ 的温度作为校准点。

6.2.3.2 将温度校准仪探头的接线端接在试验机温度测试模块的端口, 将探头的另一端直接插入温度校准仪的测试接口, 固定温度校准仪, 通过温度校准仪的设置键设置校准点温度值。温度校准仪的工作原理是将温度值转换为标称电量值, 以模拟电信号的方式输送至试验机温度测试模块, 温度校准仪原理图如图 3。

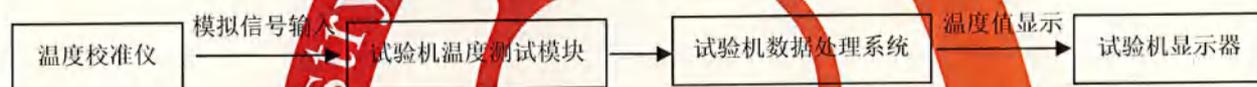


图3 温度校准仪校准原理图

6.2.3.3 连续 5 次记录各校准点试验机的温度示值, 按公式 (3)、(4) 分别计算示值误差和相对示值误差。

$$t_0 = \bar{t}_1 - t_2 \quad (3)$$

$$\delta_t = \frac{\bar{t}_1 - t_2}{t_2} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

t_0 ——温度示值误差, °C;

\bar{t}_1 ——5次试验机显示的温度平均示值, °C;

t_2 ——温度校准仪显示的温度示值, °C;

δ_t ——温度示值相对误差。

6.2.3.4 各校准点中示值相对误差绝对值最大者, 作为温度校准结果。

6.2.4 扭矩

6.2.4.1 同类型不同型号的试验机电力臂不同, 在校准不同型号试验机时, 需采用不同的力臂值进行计算。扭力在校准时, 必须在扭力加载端设计专用工装, 工装必须有悬置端, 便于加载砝码, 同类型不同规格的试验机的校准工装存在尺寸差异。

6.2.4.2 选取扭矩值为: 9.8N·m、29.4N·m、49.0N·m、98.0N·m 的扭矩作为校准点, 选择砝码时要选取与校准点最接近的砝码。

6.2.4.3 将试验机指示装置调零, 在规定的测量范围内, 在设备力臂另一端逐步加载砝码, 当加载负荷达到校准点的数值后, 停止加载, 安装示意图如图 4。

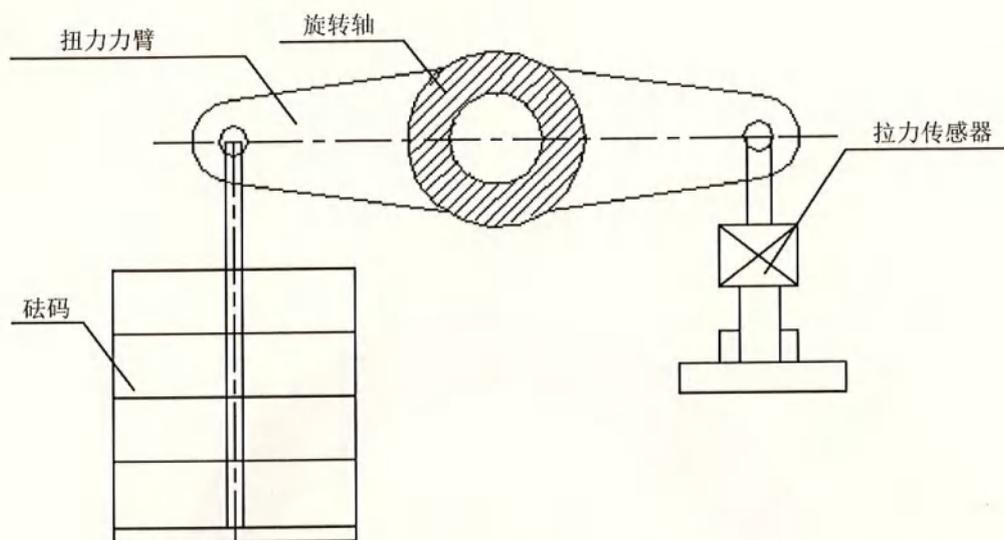


图4 扭矩校准安装示意图

6.2.4.4 待试验机扭矩显示稳定后,开始记录试验机显示的扭矩示值,此过程重复进行5次,每次校准后指示装置应清零。按公式(5)、公式(6)分别计算示值误差和相对示值误差。

$$M_0 = \overline{M_1} - M_2 \quad (5)$$

$$\delta_M = \frac{\overline{M_1} - M_2}{M_2} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

M_0 ——扭矩示值误差;

$\overline{M_1}$ ——5次试验机显示扭矩示值的平均值;

M_2 ——砝码加载达到的设定扭矩值;

δ_M ——扭矩示值相对误差。

6.2.4.5 各校准点中示值相对误差绝对值最大者,作为扭矩校准结果。

6.2.5 管路压力

6.2.5.1 选取管路压力值 0.20 MPa、0.40 MPa、0.80 MPa、1.60 MPa 的管路压力作为校准点,计算各校准点的示值误差。

6.2.5.2 应选择内置压力源或外置压力源的壓力校准儀。校准时,首先将压力校准仪与压力管路对接,固定好压力校准仪位置,确保测试过程不会有泄露现象,然后通过压力校准仪从零点开始均匀缓慢的为制动管路加压至校准点,安装示意图如图5。

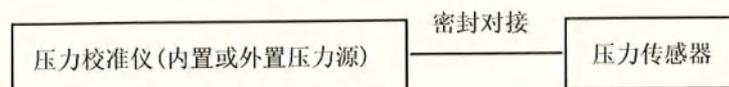


图5 压力校准仪安装示意图

6.2.5.3 待管路压力稳定后,连续5次记录各校准点试验机管路压力示值和压力校准仪的压力示值,通过公式(7)、(8)计算示值误差和相对示值误差。

$$p_0 = \bar{p}_1 - p_2 \quad (7)$$

$$\delta_p = \frac{\bar{p}_1 - p_2}{p_2} \times 100\% \quad (8)$$

式中:

p_0 ——管路压力示值误差,MPa;

\bar{p}_1 ——5次试验机显示的管路压力平均示值,MPa;

p_2 ——压力校准仪显示的管路压力示值,MPa;

δ_p ——管路压力示值相对误差。

6.2.5.4 各校准点中示值相对误差绝对值最大者,作为管路压力校准结果。

6.2.6 试验用油流量

6.2.6.1 选取油流量0.3 L/min、0.5 L/min、0.9 L/min、1.5 L/min作为校准点。

6.2.6.2 校准时,首先将液体容积式流量计和试验机喷油口对接,固定好液体容积式流量计位置,确保测试过程不会有泄露现象,然后将油流量调整到校准点,安装示意图如图6。



图6 压力校准仪安装示意图

6.2.6.3 待油流量稳定后,连续记录5次试验机试验用油流量的示值和液体容积式流量计的示值,按公式(9)、(10)分别计算示值误差和相对示值误差。

$$Q_0 = \bar{Q}_2 - \bar{Q}_1 \quad (9)$$

$$\delta_Q = \frac{\bar{Q}_2 - \bar{Q}_1}{\bar{Q}_1} \times 100\% \quad (10)$$

式中:

Q_0 ——试验用油流量的示值误差,L/min;

\bar{Q}_1 ——五次液体容积式流量计的示值平均值,L/min;

\bar{Q}_2 ——五次试验机显示试验用油流量的示值平均值,L/min;

δ_Q ——流量示值相对误差。

6.2.6.4 各校准点中示值相对误差绝对值最大者,作为试验用油流量的校准结果。

6.3 摩擦系数的不确定度评定

摩擦系数的计算公式见公式(11),具体不确定度评定结果见附录G。

$$\mu = \frac{M}{p \cdot A \cdot R_{cp}} \quad (11)$$

式中:

μ ——摩擦系数;

M ——摩擦力矩, $N \cdot m$;

p ——作用于摩擦副端面的压力, MPa ;

A ——摩擦副端面的接触面积, mm^2 ;

R_{cp} ——试样摩擦面的有效半径, cm 。

7 校准结果

7.1 校准记录应详尽记录测量数据和计算结果。试验机校准后发给校准证书, 校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 A。

7.2 试验机校准结果的不确定度按照 JJF 1056—1999 的要求评定, 具体计算实例见附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G。

7.3 校准证书应至少包括以下信息:

- a) 标题, 如“校准证书”或“校准报告”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点(如果不是在校准单位的实验室内进行校准);
- d) 证书或报告的唯一性标识(如编号), 每页及总页数标识;
- 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;
- h) 对校准所用依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- j) 校准环境的描述;
- k) 校准结果及测量不确定度的说明;
- l) 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;
- m) 校准结果仅对被校对象有效的说明;
- n) 未经校准实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

试验机复校时间间隔的长短是由仪器本身的质量、使用情况和环境等诸因素所决定。建议试验机复校间隔(有效期)为一年。

附录 A

校准记录及校准证书内页格式

校准记录

委托单位: _____ 证书编号: _____
 设备名称: _____ 型号: _____ 出厂编号: _____
 生产厂家: _____ 环境温度: _____ 相对湿度: _____
 校准日期: _____ 校准地点: _____
 校准依据: _____
 校准设备: _____

1. 校准前检查: _____
 2. 主轴转速示值误差: _____

表 A.1 主轴转速示值误差记录计算表

单位: rpm

设定值	试验机主轴转速示值					平均值	主轴转速实测值					平均值	误差	相对误差	
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5				

3. 试验用油温度的示值误差: _____

表 A.2 试验用油温度示值误差记录计算表

单位: °C

标准值	试验机试验用油温度示值					平均值	误差	相对误差
	1	2	3	4	5			

4. 扭矩示值误差: _____

表 A.3 扭矩示值误差记录计算表

单位: N·m

标准值	试验机扭矩示值					平均值	误差	相对误差
	1	2	3	4	5			

5. 管路压力示值误差:

表 A.4 管路压力示值误差记录计算表

单位: MPa

标准值	试验机管路压力示值					平均值	误差	相对误差
	1	2	3	4	5			

6. 试验用油流量示值误差:

表 A.5 试验用油流量示值误差记录计算表

单位: L/min

设定值	试验机试验用油流量示值					平均值	试验用油流量实测值					平均值	误差	相对误差	
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5				

校准员:

核验员:

校准日期:

校准证书内页推荐格式

序号	校准项目	校准结果	
1	外观检查		
2	主轴转速	示值误差:	示值相对误差:
3	管路压力	示值误差:	示值相对误差:
4	试验用油温度	示值误差:	示值相对误差:
5	扭矩	示值误差:	示值相对误差:
6	试验用油流量	示值误差:	示值相对误差:
校准结果测量不确定度		主轴转速	
		试验用油温度	
		制动扭矩	
		管路压力	
		试验用油流量	
校准依据			
校准环境要求		温度: °C, 相对湿度: %	

校准员:

核验员:

校准日期:

附录 B

试验机转速的测量不确定评定实例

B.1 校准方法

本次以转速 1000 rpm 为标称值, 测试的数值给出测量不确定度评定。当速度达到稳定状态时进行数据测量并记录, 其他校准的不确定度评定可参考本方法。

B.2 测量模型

$$n_0 = \bar{n}_2 - \bar{n}_1 \quad (\text{B.1})$$

式中:

n_0 ——转速示值误差, rpm;

\bar{n}_1 ——5 次转速测量仪显示的转速平均示值, rpm;

\bar{n}_2 ——5 次试验机显示的转速平均示值, rpm。

B.3 计算转速仪测试转速的不确定度

B.3.1 输入量 n_1 、 n_2 引入的不确定度 $u(n_1)$ 、 $u(n_2)$ B.3.1.1 输入量 n_1 重复测量引入的不确定度 $u(n_1)$

在试验设备校准点转速 1000 rpm 时, 转速测量仪测试的转速值, 共计 5 次, 分别为: n_{11} 、 n_{12} 、 n_{13} 、 n_{14} 、 n_{15} , 其平均值为 \bar{n}_1 , 测量值及计算结果见表 B.1, 属 A 类不确定度分量。

表 B.1 测量值及计算结果

单位: rpm

组数	1	2	3	4	5
测量值	1 000.8	998.9	1 001.8	1 001.9	998.6
平均值	1 000.40				
	$s(\bar{n}_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_{1i} - \bar{n}_1)^2}{n-1}} = 1.570$				

平均值的标准不确定度: $u(n_1) = s(n_1) \div \sqrt{5} = 0.70 \text{ rpm}$

B.3.1.2 输入量 n_2 重复测量引入的不确定度 $u(n_2)$

在试验设备校准点转速 1000 rpm 时, 试验机显示的转速值, 共计 5 次, 分别为: n_{21} 、 n_{22} 、 n_{23} 、 n_{24} 、 n_{25} , 其平均值为 \bar{n}_2 , 测量值及计算结果见表 B.1, 属 A 类不确定度分量。

表 B.2 测量值及计算结果

单位: rpm

组数	1	2	3	4	5
测量值	1009.6	991.7	994.3	1001.4	999.8
平均值	999.36				
$s(\bar{n}_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_{2i} - \bar{n}_2)^2}{n-1}} = 6.955$					

平均值的标准不确定度: $u(n_2) = s(\bar{n}_2) / \sqrt{5} = 3.11 \text{ rpm}$

B.3.1.3 转速校准装置修正值引入的不确定度 $u(n_x)$

输入量 n_x 的不确定度主要来源于转速校准装置的测量不确定度, 可根据最大允许示值误差进行评定, 因此采用 B 类方法进行评定。

转速测控仪校准装置的示值误差为: $\pm 0.1\%$, 当标称示值为 1 000 rpm 时, 校准装置输出误差为: $\pm 1 \text{ rpm}$, 该误差服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 标准不确定度为:

$$u(n_x) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58 \text{ rpm}$$

B.4 合成标准不确定度的评定

B.4.1 灵敏系数

数学模型:

$$n_0 = \bar{n}_2 - \bar{n}_1$$

灵敏系数 $c_1 = \partial n_0 / \partial n_1 = 1$, $c_2 = \partial n_0 / \partial n_2 = -1$ 。

B.4.2 标准不确定度汇总表

表 B.3 标准不确定度汇总表

单位: rpm

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
$u(n_1)$	转速 n_1 测量重复性	0.70
$u(n_2)$	转速 n_2 测量重复性	3.11
$u(n_x)$	校准装置输出不确定度	0.58

B.4.3 合成不确定度的计算

输入量 n_1 和 n_2 彼此独立, 互不相关, 因此合成标准不确定度可按下式得到:

$$u(c)^2 = [c_1 u(n_1)]^2 + [c_2 u(n_2)]^2 + [u(n_x)]^2$$

$$u(c) = \sqrt{u^2(n_1) + u^2(n_2) + u^2(n_x)} = 3.24 \text{ rpm}$$

B.4.4 扩展不确定度的评定

取置信率 $P=95\%$ ，查 t 分布表得：

$$k_p=2.01$$

试验机转速测试结果的扩展不确定度：

取 $k=2$ ，则：

$$U=k_p \cdot u(c)=6.48 \text{ rpm}$$

附录 C

试验用油温度的测量不确定度评定实例

C.1 校准方法

本次以温度 100℃为标称值,测试的数值给出测量不确定度评定。当温度达到温定状态时进行数据测量并记录,其他温度点的不确定度评定可参考本方法。

C.2 测量模型

$$t_0 = \bar{t}_1 - t_2 \quad (\text{C.1})$$

式中:

- t_0 ——温度示值误差,℃;
 \bar{t}_1 ——5次试验机显示的温度平均示值,℃;
 t_2 ——温度校准仪显示的温度示值,℃。

C.3 计算温度校准仪测试温度的不确定度

C.3.1 输入量 t_1 引入的不确定度 $u(t_1)$ C.3.1.1 输入量 t_1 重复测量引入的不确定度 $u(t_1)$

在试验设备校准点温度为 100℃时,温度校准仪测试的温度值,共计 5 次,分别为: t_{11} 、 t_{12} 、 t_{13} 、 t_{14} 、 t_{15} ,其平均值为 \bar{t}_1 ,测量值及计算结果见表 C.1,属 A 类不确定度分量。

表 C.1 测量值及计算结果

单位:℃

组数	1	2	3	4	5
测量值	97.1	96.6	103.7	97.4	98.1
平均值	98.6				
$s(\bar{t}_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{1i} - \bar{t}_1)^2}{n-1}} = 2.91$					

平均值的标准不确定度: $u(t_1) = s(\bar{t}_1) / \sqrt{5} = 1.30^\circ\text{C}$ 。

C.3.1.2 温度校准仪修正值引入的不确定度 $u(t_2)$

输入量 t_2 的不确定度主要来源与温度校准仪的测量不确定度,可根据最大允许示值误差进行评定,因此采用 B 类方法进行评定。

温度校准仪校准装置的示值误差为: $\pm 0.1^\circ\text{C}$,当标称示值为 100℃时,校准装置输出误差为: $\pm 0.1^\circ\text{C}$,该误差服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$,标准不确定度为:

$$u(t_2) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06^\circ\text{C}$$

C.4 合成标准不确定度的评定

C.4.1 灵敏系数

数学模型:

$$t_0 = \bar{t}_1 - t_2$$

灵敏系数 $c_1 = \partial t_0 / \partial t_1 = 1$, $c_2 = \partial t_0 / \partial t_2 = -1$ 。

C.4.2 标准不确定度汇总表

表 C.2 测量值及计算结果

单位: °C

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
$u(t_1)$	温度 t_1 测量重复性	1.30
$u(t_2)$	校准装置输出不确定度	0.06

C.4.3 合成不确定度的计算

输入量 t_1 和 t_2 彼此独立, 互不相关, 因此合成标准不确定度可按下式得到:

$$u(c)^2 = [c_1 u(t_1)]^2 + [c_2 u(t_2)]^2$$

$$u(c) = \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_2)} = 1.30 \text{ °C}$$

C.4.4 扩展不确定度的评定

取置信率 $P=95\%$, 查 t 分布表得:

$$k_p = 2.01$$

试验机温度测试结果的扩展不确定度:

取 $k=2$, 则:

$$U = k_p \cdot u(c) = 2.61 \text{ °C}$$

附录 D

试验机扭矩的测量不确定度评定实例

D.1 校准方法

本次以扭矩为 $49 \text{ N} \cdot \text{m}$ 作为设定值, 测试的数值给出测量不确定度评定。其他校准点的不确定度评定可参考本方法。

D.2 测量模型

$$M_0 = \bar{M}_1 - M_2 \quad (\text{D.1})$$

式中:

M_0 —— 扭矩示值误差;

\bar{M}_1 —— 5 次试验机显示扭矩示值的平均值;

M_2 —— 砝码加载达到的设定扭矩值。

D.3 计算扭矩校准装置测试扭矩的不确定度

D.3.1 输入量 M_1 引入的不确定度 $u(M_1)$ D.3.1.1 输入量 M_1 重复测量引入的不确定度 $u(M_1)$

在试验设备校准点扭矩为 $49 \text{ N} \cdot \text{m}$ 时, 加载砝码直至达到校准点要求值, 共计 3 次, 分别为: M_{11} 、 M_{12} 、 M_{13} 、 M_{14} 、 M_{15} , 其平均值为 \bar{M}_1 , 测量值及计算结果见表 D.1, 属 A 类不确定度分量。

表 D.1 测量值及计算结果

单位: $\text{N} \cdot \text{m}$

组数	1	2	3	4	5
测量值	49.2	50.6	49.4	50	49.7
平均值	49.8				
	$s(\bar{M}_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{1i} - \bar{M}_1)^2}{n-1}} = 0.55$				

平均值的标准不确定度: $u(M_1) = s(\bar{M}_1) \div \sqrt{5} = 0.25 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

D.3.1.2 扭矩校准装置修正值引入的不确定度 $u(M_2)$

输入量 M_2 的不确定度主要来源于扭矩测试装置砝码的不确定度, 可根据最大允许示值误差进行评定, 因此采用 B 类方法进行评定。

当力臂为 1 m 时, 砝码的误差为: $\pm 800 \text{ mg}$, 扭矩的误差为: $0.00784 \text{ N} \cdot \text{m}$ 该误差服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 标准不确定度为:

$$u(M_2) = \frac{0.00784}{\sqrt{3}} = 0.005 \text{ N} \cdot \text{m}$$

D.4 合成标准不确定度的评定

D.4.1 灵敏系数

数学模型:

$$M_0 = \overline{M_1} - M_2$$

灵敏系数 $c_1 = \partial M_0 / \partial M_1 = 1$, $c_2 = \partial M_0 / \partial M_2 = -1$ 。

D.4.2 标准不确定度汇总表

表 D.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度 (N·m)
$u(M_1)$	测量重复性	0.55
$u(M_2)$	校准装置输出不确定度	0.005

D.4.3 合成不确定度的计算

输入量 M_1 和 M_2 彼此独立, 互不相关, 因此合成标准不确定度可按式得到:

$$u(c)^2 = [c_1 u(M_1)]^2 + [c_2 u(M_2)]^2$$

$$u(c) = \sqrt{u^2(M_1) + u^2(M_2)} = 0.26 \text{ N} \cdot \text{m}$$

D.4.4 扩展不确定度的评定

取置信率 $P=95\%$, 查 t 分布表得:

$$k_p = 2.01$$

试验机扭矩测试结果的扩展不确定度

取 $k_p=2$, 则:

$$U = k_p \cdot u(c) = 0.51 \text{ N} \cdot \text{m}$$

附录 E

试验机制动管路压力的测量不确定度评定实例

E.1 校准方法

本次以管路压力 0.5 MPa 为标称值, 测试的数值给出测量不确定度评定。当管路压力达到稳定状态时进行数据测量并记录, 其他校准点的不确定度评定可参考本方法。

E.2 测量模型

$$p_0 = \bar{p}_1 - p_2 \quad (\text{E.1})$$

式中:

p_0 ——管路压力示值误差, MPa;

\bar{p}_1 ——5 次试验机显示的管路压力平均示值, MPa;

p_2 ——压力校准仪显示的管路压力示值, MPa。

E.3 计算气体压力传感器测试压力的不确定度

E.3.1 输入量引入的不确定度 $u(p_1)$ 、 $u(p_2)$ E.3.1.1 输入量 p_1 重复测量引入的不确定度 $u(p_1)$

在试验设备校准点管路压力 0.40 MPa 时, 压力测试仪测试的压力值, 共计 5 次, 分别为: p_{11} 、 p_{12} 、 p_{13} 、 p_{14} 、 p_{15} , 其平均值为 \bar{p}_1 , 测量值及计算结果见表 E.1, 属 A 类不确定度分量。

表 E.1 测量值及计算结果

单位: MPa

组数	1	2	3	4	5
测量值	0.44	0.42	0.39	0.42	0.39
平均值	0.41				
	$s(p_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_{1i} - \bar{p}_1)^2}{n-1}} = 0.22$				

平均值的标准不确定度: $u(p_1) = s(p_1) \div \sqrt{5} = 0.01 \text{ MPa}$ 。

E.3.1.2 压力校准装置修正值引入的不确定度 $u(p_2)$

输入量 p_2 的不确定度主要来源于压力校准装置的测量不确定度, 可根据最大允许示值误差进行评定, 因此采用 B 类方法进行评定。

压力测控仪校准装置的示值误差为: 0.05%, 当标称示值为 0.4 MPa 时, 校准装置输出误差为: $\pm 0.0002 \text{ MPa}$, 该误差服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 标准不确定度为:

$$u(p_2) = \frac{0.0002}{\sqrt{3}} = 0.0001 \text{ MPa}$$

E.3 合成标准不确定度的评定

E.3.1 灵敏系数

数学模型:

$$p_0 = \bar{p}_1 - p_2$$

灵敏系数 $c_1 = \partial p_0 / \partial p_1 = 1$, $c_2 = \partial p_0 / \partial p_2 = -1$ 。

E.3.2 标准不确定度汇总表

表 E.2 测量值及计算结果

单位: MPa

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
$u(p_1)$	管路压力 p_1 测量重复性	0.022
$u(p_2)$	校准装置输出不确定度	0.0001

E.3.3 合成不确定度的计算

输入量 p_1 和 p_2 彼此独立, 互不相关, 因此合成标准不确定度可按式得到:

$$u(c)^2 = [c_1 u(p_1)]^2 + [c_2 u(p_2)]^2$$

$$u(c) = \sqrt{u^2(p_1) + u^2(p_2)} = 0.01 \text{ MPa}$$

E.3.4 扩展不确定度的评定

取置信率 $P=95\%$, 查 t 分布表得:

$$k_p = 2.01$$

试验机管路压力测试结果的扩展不确定度:

取 $k_p=2$, 则:

$$U = k_p \cdot u(c) = 0.019 \text{ MPa}$$

附录 F

试验用油流量的测量不确定度评定实例

F.1 校准方法

本次以试验用油流量 0.5 L/min 为标称值, 测试的数值给出测量不确定度评定。当速度达到稳定状态时进行数据测量并记录, 其他校准的不确定度评定可参考本方法。

F.2 测量模型

$$Q_0 = \bar{Q}_2 - \bar{Q}_1 \quad (\text{F.1})$$

式中:

Q_0 ——试验用油流量的示值误差, L/min;

\bar{Q}_1 ——五次液体容积式流量计的示值平均值, L/min;

\bar{Q}_2 ——五次试验机显示试验用油流量的示值平均值, L/min。

F.3 计算液体容积式流量计测试试验用油流量的不确定度

F.3.1 输入量 Q_1 、 Q_2 引入的不确定度 $u(Q_1)$ 、 $u(Q_2)$ F.3.1.1 输入量 Q_1 重复测量引入的不确定度 $u(Q_1)$

在试验设备校准点为 0.5 L/min 时, 体容积式流量计显示的流量值, 共计 5 次, 分别为: Q_{11} 、 Q_{12} 、 Q_{13} 、 Q_{14} 、 Q_{15} , 其平均值为 \bar{Q}_1 , 测量值及计算结果见表 F.1, 属 A 类不确定度分量。

表 F.1 测量值及计算结果

单位: L/min

组数		2	3	4	5
测量值	0.503	0.505	0.500	0.504	0.503
平均值		0.503			
$s(\bar{Q}_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_1)^2}{Q-1}} = 0.002$					

平均值的标准不确定度: $u(Q_1) = s(\bar{Q}_1) \div \sqrt{5} = 0.001$ 。

F.3.1.2 输入量 Q_2 重复测量引入的不确定度 $u(Q_2)$

在试验设备校准点为 0.5 L/min 时, 试验机显示的流量值, 共计 5 次, 分别为: Q_{21} 、 Q_{22} 、 Q_{23} 、 Q_{24} 、 Q_{25} , 其平均值为 \bar{Q}_2 , 测量值及计算结果见表 F.1, 属 A 类不确定度分量。

表 F.2 测量值及计算结果

单位: L/min

组数	1	2	3	4	5
测量值	0.554	0.535	0.484	0.494	0.501
平均值	0.514				
$s(\bar{Q}_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{2i} - \bar{Q}_2)^2}{n-1}} = 0.03$					

平均值的标准不确定度: $u(Q_2) = s(\bar{Q}_2) \div \sqrt{5} = 0.013 \text{ L/min}$

F.3.1.3 液体容积式流量计修正值引入的不确定度 $u(Q_x)$

输入量 Q_x 的不确定度主要来源于液体容积式流量计的测量不确定度, 可根据最大允许示值误差进行评定, 因此采用 B 类方法进行评定。

液体容积式流量计的示值误差为: 1%, 当标称示值为 0.5 L/min 时, 液体容积式流量计输出误差为: $\pm 0.005 \text{ L/min}$, 该误差服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 标准不确定度为:

$$u(Q_x) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ L/min}$$

F.4 合成标准不确定度的评定

F.4.1 灵敏系数

数学模型:

$$Q_0 = \bar{Q}_2 - \bar{Q}_1$$

灵敏系数 $c_1 = \partial Q_0 / \partial Q_1 = 1$, $c_2 = \partial Q_0 / \partial Q_2 = -1$ 。

F.4.2 标准不确定度汇总表

表 F.3 测量值及计算结果

单位: L/min

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度 (L/min)
$u(Q_1)$	油流量 Q_1 测量重复性	0.001
$u(Q_2)$	油流量 Q_2 测量重复性	0.013
$u(Q_x)$	校准装置输出不确定度	0.003

F.4.3 合成不确定度的计算

输入量 Q_1 和 Q_2 彼此独立, 互不相关, 因此合成标准不确定度可按下式得到:

$$u(c)^2 = [c_1 u(Q_1)]^2 + [c_2 u(Q_2)]^2 + [u(Q_x)]^2$$

$$u(c) = \sqrt{u^2(Q_1) + u^2(Q_2) + u^2(Q_x)} = 0.014 \text{ L/min}$$

F.4.4 扩展不确定度的评定

取置信率 $P=95\%$, 查 t 分布表得:

$$k_p=2.01$$

试验用油流量测试结果的扩展不确定度:

取 $k_p=2$, 则:

$$U=k_p \cdot u(c)=0.027 \text{ L/min}$$



附录 G

试验机摩擦系数检测结果不确定度计算示例

G.1 校准方法

试验机主要是测试摩擦材料的摩擦系数,按照 GB/T 13826—2008 得知,摩擦系数的计算公式如下:

$$\mu = \frac{M}{p \cdot A \cdot R_{cp}} \quad (\text{G. 1})$$

式中:

μ ——摩擦系数;

M ——摩擦扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

p ——作用于摩擦副端面的压力, MPa ;

A ——摩擦副端面的接触面积, cm^2 ;

R_{cp} ——试样摩擦面的有效半径, cm 。

G.2 合成标准不确定度和灵敏系数

$$u_{(c)} = \sqrt{c_1^2 u^2(M) + c_2^2 u^2(p) + u^2(rep)} \quad (\text{G. 2})$$

由于 M 、 p 彼此独立, 互不相关。

取摩擦副端面的接触面积 A : 43.33 cm^2 , 试样摩擦面有效半径 R_{cp} : 5.650 cm , 制动压力 p : 0.5 MPa , 扭矩 M : $21.739 \text{ N} \cdot \text{m}$, 扭矩 M 和管路压力 p 的灵敏系数为:

$$c_1 = \frac{\partial \mu}{\partial M} = \frac{1}{p \cdot A \cdot R_{(cp)}} = 0.008$$

$$c_2 = \frac{\partial \mu}{\partial p} = -\frac{M}{p^2 \cdot A \cdot R_{(cp)}} = 0.355$$

G.3 输入量的标准不确定度及评定

G.3.1 A 类不确定度的评定

对试样进行测量重复性引起的标准不确定度分项 $u(rep)$ 的评定:

通过对摩擦材料产品进行重复性试验 10 次, 得出的试验结果如下表:

表 G.1

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
摩擦系数	0.178	0.178	0.179	0.179	0.175	0.175	0.178	0.175	0.173	0.174

摩擦系数平均值:

$$\bar{u} = 0.176$$

标准偏差:

$$s(\bar{u}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}{n-1}} = 0.0022$$

$u(rep)$ 的相对标准不确定度为:

$$u(rep) = \frac{0.0022}{0.176 \times \sqrt{10}} \times 100\% = 0.40\%$$

G.3.2 输入量 B 类、合成和扩展不确定度的评定

G.3.2.1 作用于摩擦副端面的压力 p 的相对标准不确定度 $\mu_{rel(p)}$ 的评定

当压力值为 0.5MPa 时, 压力主要由压力传感器的精度引起, 当压力传感器误差为 ± 0.02 MPa, 按均匀分布考虑 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$\mu_{rel(p)} = \frac{0.02}{0.5 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 2.31\%$$

G.3.2.4 扭矩 M 的相对标准不确定度 $\mu_{rel(M)}$ 的评定

当扭矩值为 21.739 N·m 时, 当扭矩传感器误差为 ± 1 N·m, 按均匀分布考虑 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$\mu_{rel(M)} = \frac{1}{21.739 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 2.66\%$$

表 G.2 标准不确定度汇总表

不确定度来源	相对标准不确定度
测量重复性	0.40%
作用于摩擦副端面的压力	2.31%
制动扭矩	2.66%

G.3.2.5 合成相对标准不确定度:

$$u(c) = \sqrt{c_1^2 \mu_{rel(p)}^2 + c_2^2 \mu_{rel(M)}^2 + u^2(rep)} = 1.02\%$$

合成标准不确定度:

$$u(\mu) = 0.176 \times 1.02\% = 0.002$$

G.4 摩擦系数测试结果的扩展不确定度

取置信率 $P=95\%$, 取 $k_p=2$, 则:

$$U = k_p \cdot u(\mu) = 0.004$$

中华人民共和国工业和信息化部
建材计量技术规范
小样缩比惯性摩擦磨损性能试验机校准规范
JJF(建材)147—2018
中华人民共和国工业和信息化部发布

中国建材工业出版社出版
建筑材料工业技术监督研究中心
(原国家建筑材料工业局标准化研究所)发行
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
地矿经研院印刷厂印刷
版权所有 不得翻印

开本880mm×1230mm 1/16 印张2 字数54千字
2018年12月第一版 2018年12月第一次印刷
印数1—800 定价38.00元
书号:155160·1496

编号:1262



JJF(建材)147—2018

网址:www.standardcnjc.com 电话:(010)51164708
地址:北京朝阳区管庄东里建材大院北楼 邮编:100024
本标准如出现印装质量问题,由发行部负责调换。