



中华人民共和国工业和信息化部
石油和化工计量技术规范

JJF（石化）0XX-20XX

汽车同步带疲劳试验机
校准规范

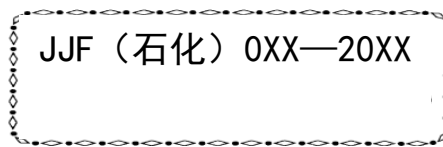
Calibration Specification for Automobile Synchronous Belt Fatigue
Testing Machines
(报批稿)

20**-**-**发布

20**-**-**实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

汽车同步带疲劳试验机 校准规范



Calibration Specification for Automobile

Synchronous BeltFatigue Testing Machines

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：青岛中化新材料实验室

青岛中化新材料实验室检测技术有限公司

参加起草单位：青岛市计量技术研究院

青岛北橡计量检测技术有限公司

青岛奥博森新材料科技有限公司

本规范委托全国石油和化工行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

吴 康（青岛中化新材料实验室）

张 倩（青岛中化新材料实验室）

吴香迪（青岛中化新材料实验室检测技术有限公司）

纪禄文（青岛中化新材料实验室检测技术有限公司）

参加起草人：

郭沈辉（青岛市计量技术研究院）

盛晓磊（青岛北橡计量检测技术有限公司）

李宗洋（青岛北橡计量检测技术有限公司）

田新月（青岛奥博森新材料科技有限公司）

目录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和定义	(1)
3.1 疲劳寿命	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
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	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
8 校准结果	(6)
8.1 校准记录	(6)
8.2 校准证书	(6)
8.3 不确定度	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 汽车同步带疲劳试验机校准记录格式	(7)
附录 B 汽车同步带疲劳试验机校准证书内页格式	(9)
附录 C 主动轮及从动轮转速示值误差测量结果不确定度评定示例	(10)
附录 D 试验箱温度示值误差测量结果不确定度评定示例	(14)
附录 E 力值示值误差测量结果不确定度评定示例	(17)
附录 F 时间示值误差测量结果不确定度评定示例	(20)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》等基础性系列规范进行编制。

本校准规范主要参考 GB/T 18183-2017《汽车同步带疲劳试验方法》制定。

本规范为首次发布。

汽车同步带疲劳试验机校准规范

1 范围

本规范适用于测试汽车同步带疲劳性能的试验机的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

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 术语和定义

3.1 张紧力 tension force

静态时施加在张紧轮上、使汽车同步带拉紧的作用力。

4 概述

汽车同步带疲劳试验机（以下简称疲劳试验机），是用于评价汽车同步带疲劳寿命的试验设备。在试验过程中，主动轮按规定的转速运转，在从动轮上施加一定扭矩。张紧力是通过张紧装置、张紧轮以及负载（或砝码）作用到被测试样上，试验时张紧轮位置锁定。疲劳试验机主要包括以下几部分：一个主动轮和驱动它的装置；一个从动轮和与其相联的加载装置，加载装置能提供准确、稳定的试验扭矩；一个可以对被测试汽车同步带施加张紧力的张紧轮和张紧装置，疲劳试验机示意图见图 1。

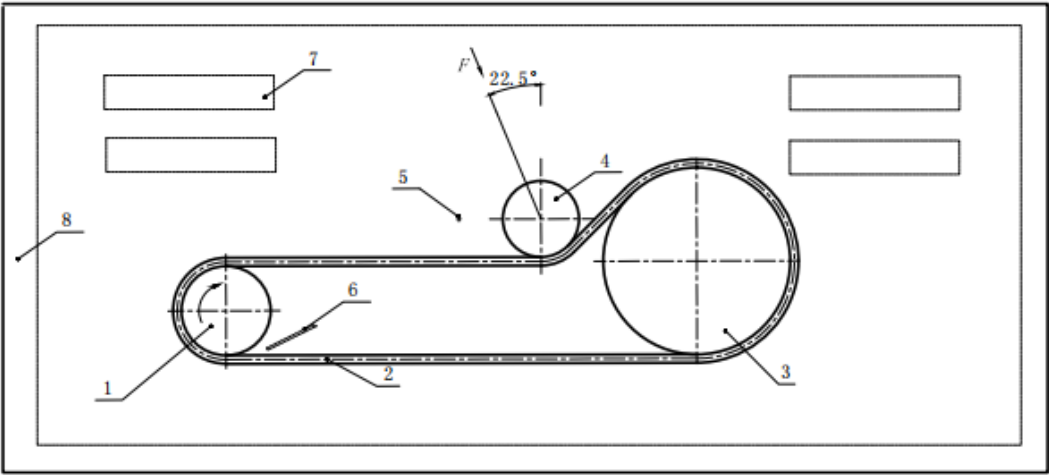


图 1 两轮疲劳试验机示意图

1—主动轮（可调节、可固定）；2—被测试同步带；3—从动轮；4—张紧轮；5—测温点；6—滴水装置；
7—加热管；8—试验机箱体； F —张紧力

5 计量特性

具体计量特性见表 1。

表 1 疲劳试验机计量特性一览表

序号	项目		技术要求
1	主动轮及从动轮转速示值误差/（r/min）		6000±120
			5000±100
			3000±100
2	试验箱温度示值误差/℃	室温～200	MPE：±5
3	力值示值误差/%	（0～500）N	MPE：±1
4	时间示值误差/s		300±15
注：以上指标不适用于合格性判别，仅作参考			

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度条件

环境温度：（18～32）℃。

6.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 85%。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准名称及技术要求
1	主动轮及从动轮转速示值误差	转速表（0～10000）r/min；0.1 级
2	试验箱温度示值误差	测温仪：（0～200）℃；MPE：±1℃
3	力值示值误差	标准测力仪：（10～1000）N；0.3 级
4	时间示值误差	秒表：（0～3600）s；MPE：±0.1s

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

疲劳试验机的校准项目见表 2。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

7.2.1.1 仪器和设备

钢直尺：测量范围为（0～1000）mm，分度值为 0.5mm；

量筒：（0～25）mL；MPE：±0.25mL。

上述仪器应通过检定或校准符合要求。

7.2.1.2 外观检查

目测检查试验机外观，应维护良好，能正常运转；所用带轮应符合要求。

7.2.1.3 试验扭矩检查

a. 首先测量用于施加扭矩的杠杆长度，用钢直尺确认所标定 1000 mm 的刻度误差小于±1mm；

b. 确认 10 N、20 N、30 N 砝码应符合要求（砝码送检合格或由使用单位自行核查确认符合要求）；

c. 将疲劳试验机的扭矩标定装置杠杆安装在从动轮上，通过调整杠杆的平衡完成扭矩零点的调节；

d. 在扭矩标定装置的砝码盘上，分别依次加上设备自带的 10 N、20 N、30 N 的砝码，确认扭矩显示值分别为 10 Nm、20 Nm、30 Nm，相对误差不超过 $\pm 2\%$ ；

7.2.1.3 出水流量检查

在设备水箱中加入适量自来水，调整出水速率，待出水稳定后，将量筒放在出水口正下方，用秒表计时，收集一定时间内流出的总水量，用总水量除以相应时间，计算出水流量，应能调节到 17mL/min。

7.2.2 主动轮和从动轮转速示值误差

首先在带轮上安装汽车同步带，施加与安装的汽车同步带型号相对应的标准张紧力，调整带轮转速，疲劳试验机上主动轮转速示值稳定时，记录疲劳试验机上主、从动轮转速表所显示的转速值 N 、 n ，再用标准转速表分别测量主、从动轮转速 N_1 、 n_1 ，按式（1）和式（2）计算疲劳试验机主、从动轮转速表的转速示值误差 ΔN 、 Δn 。重复测量 3 次，结果取 3 次测量的算术平均值，保留到 1 r/min。

$$\Delta N = N - N_1 \quad (1)$$

式中：

ΔN —— 主动轮转速示值误差，r/min；

N —— 主动轮转速设备示值，r/min；

N_1 —— 主动轮转速的实测值，r/min。

疲劳试验机从动轮转速表的转速示值误差 Δn 为：

$$\Delta n = n - n_1 \quad (2)$$

式中：

Δn —— 从动轮转速示值误差，r/min；

n —— 从动轮转速设备示值，r/min；

n_1 ——从动轮转速的实测值, r/min。

7.2.3 试验箱温度示值误差

将测温仪温度探头放置在设备温度传感器旁边, 可将二者并排固定, 然后关上设备试验箱, 设定温度, 开始升温, 当设备显示温度较为稳定后, 每隔约 2 分钟分别记录设备及测温仪显示温度 T 和 T_1 , 按式 (3) 计算温度示值误差 ΔT , 重复测量 3 次, 结果取 3 次测量的算术平均值, 保留到 0.1℃。

$$\Delta T = T - T_1 \quad (3)$$

式中:

ΔT —— 试验箱温度示值误差, ℃;

T —— 设备显示温度, ℃;

T_1 —— 测温仪显示温度, ℃。

7.2.4 力值示值误差

因张紧轮实际加载力值方向非水平、垂直方向, 所以, 需要适当的装置来保证标准测力仪受力方向与张紧力加载方向相同。安装好标准测力仪并通电预热后清零, 依次增加砝码, 记录砝码力值 F 及标准测力仪显示值 F_1 , 按式 (4) 计算力值示值误差 ΔF , 重复测量 3 次, 结果取 3 次测量的算术平均值, 保留到 0.1%。

$$\Delta F = \frac{F - F_1}{F_1} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

ΔF ——力值示值误差, %;

F —— 砝码力值, N;

F_1 —— 标准测力仪上的显示值, N。

7.2.5 时间示值误差

首先在带轮上安装汽车同步带, 施加与安装的汽车同步带型号相对应的标准张紧力, 设定运行时间 t , 用秒表计录实际运行时间 t_1 , 按式 (5) 计算时间示值误差, 重复测量 3 次, 结果取 3 次测量的算术平均值, 保留到 1s。

$$\Delta t = t - t_1 \quad (5)$$

式中:

Δt —— 时间示值误差, s;

t —— 设备显示时间, s;

t_1 —— 秒表显示时间, s。

8 校准结果

8.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽记录测量数据和计算结果, 推荐的校准记录格式见附录 A。

8.2 校准证书

经校准的疲劳试验机应出具校准证书, 校准结果应在校准证书上反映。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071—2010 中 5.12 的要求, 推荐的校准证书内页格式见附录 B。

8.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度, 评定示例见附录 C、附录 D、附录 E、附录 F。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由疲劳试验机的使用情况、使用者、疲劳试验机本身质量等诸因素所决定的, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔, 建议一般不超过 1 年。

附录 A

汽车同步带疲劳试验机校准记录格式

基本信息											
委托单位			原始记录号			校准证书号					
仪器名称			规格型号			设备编号					
制造厂商			环境温度			℃			相对湿度		
校准前检查:											
出水流量						外观					
试验扭矩			杠杆长度/mm:			10 N 砝码		20 N 砝码		30 N 砝码	
			扭矩/Nm								
校准结果											
主、从动轮转速示值误差/ (r/min)						扩展不确定度					
主动轮转速设备示值 N			主动轮转速实测值 N_1			主动轮转速的示值误差 ΔN_1			示值误差平均值		
1	2	3	1	2	3	1	2	3			
从动轮转速设备示值 n_0			从动轮转速实测值 n_1			从动轮转速的示值误差 Δn_1			示值误差平均值		
1	2	3	1	2	3	1	2	3			
试验箱温度示值误差/℃											
校准点	设备显示温度			测温仪显示温度			示值误差平均值		扩展不确定度		
	1	2	3	1	2	3					
100											
130											
校准点	砝码力值			测力仪显示力值			示值误差平均值		扩展不确定度		
	1	2	3	1	2	3					

校准员:

核验员:

时间示值误差/s								
校准点	设备显示值			秒表显示值			示值平均误差	扩展不确定度
	1	2	3	1	2	3		
300								
标准器								
名称	编号	证书号	测量范围	有效期	不确定度或准确度等级或最大允许误差			
技术依据								
校准地点					校准日期年月日			
备注								

校准员：

核验员：

附录 B

汽车同步带疲劳试验机校准证书内页格式

证书编号					
校准机构授权说明					
校准的技术依据 JJF (石化) 0**20**汽车同步带疲劳试验机校准规范					
校准环境条件及地点					
地点					
环境温度	℃	相对湿度	%	其他	
校准使用的计量 (基) 标准装置					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量 (基) 标准证书编号	有效期至	
校准结果					
校准项目	技术要求		校准值	扩展不确定度 ($k=2$)	
主动轮转速示值误差/%	3000 \pm 100				
	5000 \pm 100				
	6000 \pm 120				
从动轮转速示值误差/%	3000 \pm 100				
	5000 \pm 100				
	6000 \pm 120				
试验箱温度示值误差/℃	100	MPE: ± 5			
	130				
力值示值误差/%		MPE: $\pm 1\%$			
时间示值误差/s	300 \pm 15				
备注					

附录 C

主动轮及从动轮转速示值误差测量结果不确定度评定示例

C.1 校准方法

校准方法如本规范 7.2.2。

C.2 建立测量模型

主动轮及从动轮转速示值误差测量模型见式 (C.1) 和式 (C.2)：

$$\Delta N = N - N_1 \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔN ——主动轮转速示值误差，r/min；

N ——主动轮转速设备示值，r/min；

N_1 ——主动轮转速的实测值，r/min。

$$\Delta n = n - n_1 \quad (\text{C.2})$$

式中：

Δn ——从动轮转速示值误差，r/min；

n ——从动轮转速设备示值，r/min；

n_1 ——从动轮转速的实测值，r/min。

方差和灵敏系数：

由式 (C.1) 得方差传播公式：

$$u^2(\Delta N) = c_1^2 u^2(N) + c_2^2 u^2(N_1) \quad (\text{C.3})$$

式中：

$u(\Delta N)$ ——主动轮转速示值误差的测量不确定度；

$u(N)$ ——被检设备引入的不确定度分量；

$u(N_1)$ ——标准转速表引入的不确定度分量。

$$c_1 = \frac{\partial \Delta N}{\partial N} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta N}{\partial N_1} = -1$$

所以式 (C.3) 简化为

$$u^2(\Delta N) = u^2(N) + u^2(N_1) \quad (\text{C.4})$$

由式 (C.2) 得方差传播公式:

$$u^2(\Delta n) = c_3^2 u^2(n) + c_4^2 u^2(n_1) \quad (\text{C.5})$$

式中:

$u(\Delta n)$ ——主动轮转速示值误差的测量不确定度;

$u(n)$ ——被检设备引入的不确定度分量;

$u(n_1)$ ——标准转速表引入的不确定度分量。

$$c_3 = \frac{\partial \Delta n}{\partial n} = 1 \quad c_4 = \frac{\partial \Delta n}{\partial n_1} = -1$$

所以式 (C.5) 简化为

$$u^2(\Delta n) = u^2(n) + u^2(n_1) \quad (\text{C.6})$$

C.3 主动轮和从动轮转速示值误差测量结果不确定度的评定

C.3.1 不确定度来源

主动轮和从动轮转速示值误差测量结果不确定度来源有: 疲劳试验机引入的不确定度分量, 和标准转速表最大允许误差引入的不确定度分量。

C.3.2 疲劳试验引入的不确定度分量

C.3.2.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(N)$ 和 $u_1(n)$

按照本规范 7.2.2 步骤进行操作, 启动疲劳试验机, 调整带轮转速使设备上主动轮转速显示值在 5000r/min 并稳定时, 记录主动轮及从动轮设备显示值, 再用标准转速表测量主动轮和从动轮转速, 重复测量 10 次, 测量结果见表 C.1 和表 C.2。

表 C.1 主动轮转速测量结果

单位: r/min

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
主动轮转速设备示值	5000	5001	5000	5000	5000	5002	5001	5000	5002	5000
主动轮转速实测值	4994	4996	4998	4996	4994	4998	4995	4992	4998	4995
示值误差 / Δn_{1i}	6	5	2	4	6	4	6	8	4	5

表 C.2 从动轮转速测量结果

单位: r/min

第 <i>i</i> 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
从动轮转速设备示值	2496	2496	2495	2494	2496	2497	2495	2493	2497	2495
从动轮转速实测值	2495	2494	2492	2488	2489	2491	2490	2488	2496	2493
示值误差/ Δn_{li}	1	2	3	6	7	6	5	5	1	2

计算主动轮转速示值误差的算术平均值:

$$\overline{\Delta N_1} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta N_{li} = 5 \text{ r/min} \quad (\text{C.7})$$

采用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 $s(\Delta N_{li})$

$$s(\Delta N_{li}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\Delta N_{li} - \overline{\Delta N_1})^2}{m-1}} = 1.6 \text{ r/min} \quad (\text{C.8})$$

式中:

ΔN_{li} —— 第*i*次测量结果, r/min;

$\overline{\Delta N_1}$ —— 10次测量结果的平均值, r/min;

m —— 测量次数。

实际测量以3次测量值的平均值作为测量结果, 故标准不确定度:

$$u_1(N) = \frac{s(\Delta N_{li})}{\sqrt{3}} = 0.9 \text{ r/min} \quad (\text{C.9})$$

$$\text{同理, } u_1(n) = \frac{s(\Delta n_{li})}{\sqrt{3}} = 1.3 \text{ r/min} \quad (\text{C.10})$$

C.3.2.2 设备的显示分辨力引入的不确定度分量 $u_2(N)$ 和 $u_2(n)$

疲劳试验机主、从动轮转速的显示分辨力为 1r/min, 区间半宽 $a=0.5\text{r/min}$,

估计服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 故:

$$u_2(N) = u_2(n) = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{ r/min} = 0.3 \text{ r/min} \quad (\text{C.11})$$

因测量重复性和分辨力引入的不确定度分量中取较大值, 故:

$$u(N) = 0.9 \text{ r/min} ; u(n) = 1.3 \text{ r/min} \quad (\text{C. 12})$$

C.3.3 标准转速表最大允许误差引入的不确定度分量 $u(N_1)$ 和 $u(n_1)$

标准转速表给出的准确度等级为 0.1 级, 转速示值取 5000 r/min 和 2500r/min

计算区间半宽, 估计服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 故:

$$u(N_1) = \frac{5000 \times 0.001}{\sqrt{3}} \text{ r/min} = 2.9 \text{ r/min} \quad (\text{C. 13})$$

$$u(n_1) = \frac{2500 \times 0.001}{\sqrt{3}} \text{ r/min} = 1.4 \text{ r/min} \quad (\text{C. 14})$$

C.3.4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 C.3

表 C.3 标准不确定度分量表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值/ (r/min)
$u(N)$	疲劳试验机引入的不确定度	0.9
$u(n)$	疲劳试验机引入的不确定度	1.3
$u(N_1)$	标准转速表最大允许误差引入的不确定度	2.9
$u(n_1)$	标准转速表最大允许误差引入的不确定度	1.4

C.3.5 合成标准不确定度

$$u(\Delta N) = \sqrt{u(N)^2 + u(N_1)^2} = \sqrt{0.9^2 + 2.9^2} \text{ r/min} = 3.1 \text{ r/min} \quad (\text{C. 15})$$

$$u(\Delta n) = \sqrt{u(n)^2 + u(n_1)^2} = \sqrt{1.3^2 + 1.4^2} \text{ r/min} = 1.9 \text{ r/min} \quad (\text{C. 16})$$

C.3.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$, 取包含因子 $k = 2$, u_c 取主动轮和从动轮转速示值误差测量结果的合成标准不确定度值中的较大值, 即:

$$u_c = u(\Delta N) = 3.1 \text{ r/min} \quad (\text{C. 17})$$

扩展不确定度:

$$U = ku_c = 2 \times 3.1 \text{ r/min} = 6.2 \text{ r/min} \approx 7 \text{ r/min} (k = 2) \quad (\text{C. 18})$$

附录 D

试验箱温度示值误差测量结果不确定度评定示例

D.1. 校准方法

校准方法如本规范 7.2.3。

D.2 建立测量模型

试验箱温度测量模型见式 (D.1)：

$$\Delta T = T - T_1 \quad (\text{D.1})$$

式中：

ΔT ——试验箱温度示值误差，℃；

T ——设备显示温度，℃；

T_1 ——测温仪显示温度，℃。

方差和灵敏系数

由式 (D.1) 得方差传播公式：

$$u^2(\Delta T) = c_1^2 u^2(T) + c_2^2 u^2(T_1) \quad (\text{D.2})$$

式中：

$u(\Delta T)$ ——温度示值误差的测量不确定度；

$u(T)$ ——被检设备测温装置引入的不确定度分量；

$u(T_1)$ ——测温仪引入的不确定度分量。

$$c_1 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_1} = -1$$

所以 (D.2) 式简化为：

$$u^2(\Delta T) = u^2(T) + u^2(T_1) \quad (\text{D.3})$$

令 $u_c = u(\Delta T)$ ； $u_1 = u(T)$ ； $u_2 = u(T_1)$ ，则 (D.3) 式化为：

$$u_c^2 = u_1^2 + u_2^2 \quad (\text{D.4})$$

式中：

u_c ——温度示值误差的测量不确定度；

u_1 ——被检设备测温装置引入的不确定度分量；

u_2 ——测温仪引入的不确定度分量。

D.3 测量结果不确定度的评定

D.3.1 不确定度来源

试验箱温度示值误差测量结果不确定度来源主要有：被检设备测温装置引入的不确定度分量 u_1 ，和测温仪最大允许误差引入的不确定度分量 u_2 。

D.3.2 被检设备引入的不确定度分量 u_1

D.3.2.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_{11}

调整设备试验箱温度为 100℃，安装好测温仪探头，关闭试验箱开始升温，待温度稳定后，每隔 2 分钟分别记录设备测温装置及测温仪显示温度，作 10 次重复测量，测量结果见表 D.1。

表 D.1 保温容器内温度测量结果单位：℃

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
设备显示值	102	100	103	101	103	101	100	103	100	101
测温仪显示值	100.22	98.92	101.63	100.28	101.47	99.87	99.63	101.91	99.92	99.34
示值误差	1.78	1.08	1.37	3.72	1.53	1.13	-0.63	1.09	0.08	1.66

计算示值误差的算术平均值：

$$\overline{\Delta T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta T_i = 1.3^\circ\text{C} \quad (\text{D.5})$$

采用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 $s(\Delta T_i)$

$$s(\Delta T_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta T_i - \overline{\Delta T})^2}{n-1}} = 1.1^\circ\text{C} \quad (\text{D.6})$$

式中：

ΔT_i ——第 i 次测量结果，℃；

$\overline{\Delta T}$ ——10 次测量结果的平均值，℃；

n ——测量次数。

实际测量以 3 次测量值的平均值作为测量结果，故标准不确定度

$$u_{11} = \frac{s(\Delta T_i)}{\sqrt{3}} = 0.7^\circ\text{C} \quad (\text{D. 7})$$

D. 3. 2. 2 设备测温装置分辨力引入的不确定度分量 u_{12}

设备测温装置的分辨力为 1°C ，区间半宽 $a=0.5^\circ\text{C}$ ，估计为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，故：

$$u_{12} = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}}^\circ\text{C} = 0.3^\circ\text{C} \quad (\text{D. 8})$$

因重复性和分辨力引入的标准不确定度分量中取较大值，故：

$$u_1 = u_{12} = 0.7^\circ\text{C} \quad (\text{D. 9})$$

D. 3. 3 由测温仪最大允许误差引入的不确定度分量 u_2

所用测温仪的扩展不确定度为 $U=0.06^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 故：

$$u_2 = \frac{U}{k} = \frac{0.06}{2}^\circ\text{C} = 0.03^\circ\text{C} \quad (\text{D. 10})$$

D. 3. 4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 D. 2。

表 D. 2 标准不确定度分量表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值/ $^\circ\text{C}$
u_1	被检设备测温装置引入的不确定度	0.7
u_2	测温仪引入的不确定度	0.03

D. 3. 5 合成标准不确定度

各输入量之间相互独立，互不相关，因此：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.7^2 + 0.03^2}^\circ\text{C} = 0.7^\circ\text{C} \quad (\text{D. 11})$$

D. 3. 6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U=ku_c$ ，取包含因子 $k=2$ ，试验箱温度示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.7^\circ\text{C} = 1.4^\circ\text{C} \quad (\text{D. 12})$$

附录 E

力值示值误差测量结果不确定度评定示例

E.1 校准方法

校准方法如本规范 7.2.4。

E.2 建立测量模型

力值示值误差的测量模型见式 (E.1)：

$$\Delta F = \frac{F - F_1}{F_1} \times 100\% \quad (\text{E.1})$$

式中：

ΔF —— 力值示值误差, %;

F —— 砝码力值, N;

F_1 —— 标准测力仪上的显示值, N。

方差和灵敏系数

由式 (E.1) 得方差传播公式：

$$u^2(\Delta F) = c_1^2 u^2(F) + c_2^2 u^2(F_1) \quad (\text{E.2})$$

式中：

$u(\Delta F)$ —— 力值示值误差的测量不确定度；

$u(F)$ —— 被检设备引入的不确定度；

$u(F_1)$ —— 标准测力仪引入的不确定度。

$$c_1 = \frac{\partial \Delta F}{\partial F} = \frac{1}{F_1}; \quad c_2 = \frac{\partial \Delta F}{\partial F_1} = -\frac{F}{F_1^2}$$

令 $u_c = u(\Delta F)$; $u_1 = u(F)$; $u_2 = u(F_1)$, 则式 (E.2) 化为：

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 \quad (\text{E.3})$$

式中：

u_c —— 力值示值误差的测量不确定度；

u_1 —— 被检设备引入的不确定度；

u_2 ——标准测力仪引入的不确定度。

E.3 力值示值误差测量结果不确定度的评定

E.3.1 不确定度来源

力值示值误差测量结果不确定度来源主要有：被检设备引入的不确定度分量和标准测力仪最大允许误差引入的不确定度分量。

E.3.2 被检设备引入的不确定度分量 u_1

对疲劳试验机 237N 点作 10 次重复测量，记录标准测力仪显示值，结果见表 E.1。

表 E.1 重复 10 次测量结果

第 i 次测量	1	2	3	4	5
砝码示值/N	237	237	237	237	237
标准测力仪示值/N	235.4	235.8	236.4	236.2	235.7
力值示值误差/N	1.6	1.2	0.6	0.8	1.3
第 i 次测量	6	7	8	9	10
砝码示值/N	237	237	237	237	237
标准测力仪示值/N	235.9	235.0	236.4	235.8	235.6
力值示值误差/N	1.1	2.0	0.6	1.2	1.4

其算术平均值：

$$\overline{\Delta F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta F_i = 1.2 \text{ N} \quad (\text{E. 4})$$

采用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 $s(\Delta F_i)$ ：

$$s(\Delta F_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta F_i - \overline{\Delta F})^2}{n-1}} = 0.44 \text{ N} \quad (\text{E. 5})$$

式中：

ΔF_i —— 第 i 次测量结果，N；

$\overline{\Delta F}$ —— 10 次测量结果的平均值，N；

n —— 测量次数。

实际测量以 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，故标准不确定度：

$$u_1 = \frac{s(\Delta F_i)}{\sqrt{3}} = 0.25\text{N} \quad (\text{E. 6})$$

E. 3.3 标准测力仪最大允许误差引入的不确定度分量 u_2

标准测力仪的准确度等级为 0.3 级，区间半宽 $a=0.3\%$, 估计为均匀分布，

$k = \sqrt{3}$, 故：

$$u_2 = \frac{0.3\% \times 235.6\text{N}}{\sqrt{3}} = 0.41\text{N} \quad (\text{E. 7})$$

E. 3.4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 E. 2。

表 E. 2 标准不确定度分量表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值/N	灵敏系数
u_1	被检设备引入的不确定度	0.25	0.0042N^{-1}
u_2	标准测力仪最大允许误差引入的不确定度	0.41	-0.0043N^{-1}

E. 3.5 合成标准不确定度

各输入量之间相互独立，互不相关，因此：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = \sqrt{0.25^2 \times 0.0042^2 + 0.42^2 \times 0.0043^2} = 0.002 \quad (\text{E. 8})$$

E. 3.6 相对扩展不确定度

力值示值误差测量结果的相对扩展不确定度：

$$U_r = k u_c = 2 \times 0.002 = 0.004 \times 100\% = 0.4\% \quad (k = 2) \quad (\text{E. 9})$$

附录 F

时间示值误差测量结果不确定度评定示例

F.1 校准方法

校准方法如本规范 7.2.5。

F.2 建立测量模型

试验时间的测量模型见式 (F.1)：

$$\Delta t = t - t_1 \quad (\text{F.1})$$

式中：

Δt ——时间示值误差，s；

t ——设备显示时间，s；

t_1 ——秒表显示时间，s。

方差和灵敏系数

由式 (F.1) 得方差传播公式：

$$u^2(\Delta t) = c_1^2 u^2(t) + c_2^2 u^2(t_1) \quad (\text{F.2})$$

式中：

$u(\Delta t)$ ——时间示值误差的测量不确定度；

$u(t)$ ——被检设备引入的不确定度分量；

$u(t_1)$ ——秒表引入的不确定度分量。

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t}{\partial t} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta t}{\partial t_1} = -1$$

所以式 (F.2) 简化为：

$$u^2(\Delta t) = u^2(t) + u^2(t_1) \quad (\text{F.3})$$

令 $u_c = u(\Delta t)$ ； $u_1 = u(t)$ ； $u_2 = u(t_1)$ ，则式 (F.3) 化为：

$$u_c^2 = u_1^2 + u_2^2 \quad (\text{F.4})$$

式中：

u_c ——时间示值误差的测量不确定度；

u_1 ——被检设备引入的不确定度分量；

u_2 ——秒表引入的不确定度分量。

F.3 时间示值误差测量结果不确定度的评定

F.3.1 不确定度来源

时间示值误差测量结果不确定度来源主要有：被检设备引入的不确定度分量 u_1 和秒表引入的不确定度分量 u_2 。

F.3.2 被检设备引入的不确定度分量 u_1

F.3.2.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_{11}

用秒表对设备计时装置进行计时测量，记录秒表及设备计时装置的显示值，重复测量 10 次，测量结果见表 F.1。

表 F.1 试验时间测量结果

第 i 次测量	1	2	3	4	5
设备显示值/s	300	300	300	300	300
秒表显示值/s	300.56	300.22	300.81	299.64	299.87
示值误差 Δt /s	0	-1	0	1	0
第 i 次测量	6	7	8	9	10
设备显示值/s	300	300	300	300	300
秒表显示值/s	299.82	300.61	300.43	300.67	300.29
示值误差 Δt /s	0	1	0	0	0

其算数平均值：

$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta t_i = -0.3 \text{ s} \quad (\text{F.5})$$

采用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 $s(\Delta t_i)$ ：

$$s(\Delta t_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta t_i - \overline{\Delta t})^2}{n-1}} = 0.4 \text{ s} \quad (\text{F.6})$$

式中：

Δt_i ——第*i*次测量结果, s;

$\overline{\Delta t}$ ——10次测量结果的平均值, s;

n——测量次数。

实际测量以3次测量的算术平均值作为测量结果, 故标准不确定度:

$$u_{11} = \frac{s(\Delta t_i)}{\sqrt{3}} = 0.23 \text{ s} \quad (\text{F. 7})$$

F. 3. 2. 1 被检设备分辨力引入的不确定度分量 u_{12}

疲劳试验机计时装置的显示分辨力为1s, 区间半宽 $a=0.5\text{s}$, 估计为均匀分布, 则 $k=\sqrt{3}$, 故:

$$u_{12} = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{ s} = 0.29 \text{ s} \quad (\text{F. 8})$$

因重复性和分辨力引入的标准不确定度分量中取较大值, 故:

$$u_1 = u_{11} = 0.29 \text{ s} \quad (\text{F. 9})$$

F. 3. 3 电子秒表最大允许误差引入的不确定度分量 u_2

电子秒表在290s时的误差可忽略不计, 人为操作带来的误差约为0.2s, 区间半宽 $a=0.1\text{s}$, 估计为均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 故:

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \text{ s} = 0.06 \text{ s} \quad (\text{F. 10})$$

F. 3. 4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 F. 2。

表 F. 2 标准不确定度分量表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值/s
u_1	被检设备引入的不确定度	0.29
u_2	秒表引入的不确定度	0.06

F. 3. 5 合成标准不确定度

各输入量之间相互独立，互不相关，因此

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.29^2 + 0.06^2} \text{ s} = 0.3 \text{ s} \quad (\text{F. 11})$$

F. 3. 6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，时间示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.3 \text{ s} = 0.6 \text{ s} \approx 1 \text{ s} \quad (k = 2) \quad (\text{F. 12})$$
