



天津市地方计量技术规范

JJF（津）XX-2025

轮碾成型机校准规范

Calibration Specifications for Rolling Forming Machine

（报批稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

轮碾成型机校准规范校准规范

Calibration Specifications for Rolling
Forming Machine

JJF(津) XX-202X

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市交通科学研究院

天津交科检测科技有限公司

天津市排水管理事务中心第七排水管理所

本规范委托天津市交通科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

王思丹（天津市交通科学研究院）

范文皓（天津交科检测科技有限公司）

于太伏（天津市交通科学研究院）

周 婧（天津交科检测科技有限公司）

李 金（天津市排水管理事务中心第七排水管理所）

参加起草人：

战蕾宇（天津市交通科学研究院）

姜翰臣（天津交科检测科技有限公司）

李玉波（天津交科检测科技有限公司）

户伟华（天津交科检测科技有限公司）

杨佳伟（天津市交通科学研究院）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 概述.....	(1)
3 计量特性.....	(1)
4 校准条件.....	(2)
4.1 环境条件.....	(2)
4.2 校准用计量器具及技术要求.....	(2)
5 校准项目及校准方法.....	(3)
5.1 外观检查.....	(3)
5.2 扇形轮碾尺寸.....	(3)
5.3 试模尺寸.....	(3)
5.4 扇形轮碾表面温度.....	(4)
5.5 扇形轮碾荷载.....	(4)
5.6 轮碾运动次数.....	(6)
5.7 轮碾运动频率.....	(5)
6 校准结果表达.....	(5)
7 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 轮碾成型机校准记录参考格式.....	(7)
附录 B 校准证书内页格式.....	(9)
附录 C 测量不确定度评定方法及示例.....	(10)

引 言

本规范以 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》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》为基础性系列规范进行编写。

本规范的制定参考了 JT/T 1084-2016《沥青混合料轮碾成型机》、JTG 3410-2025《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》。

本规范为首次发布。

轮碾成型机校准规范

1 范围

本校准规范适用于液压加压式轮碾成型机的校准。

2 概述

液压加压式轮碾成型机（以下简称轮碾成型机）是通过轮碾成型法制作沥青混合料试件的仪器。

轮碾成型机的原理是通过带加热层的扇形轮碾模拟压路机的圆弧形碾压轮，在一定频率和压力下对沥青混合料进行碾压，以得到相应密度的沥青混合料试件。

轮碾成型机由轮碾台、导轨轮碾承载板、带加热层的扇形轮碾、承载板牵引装置、液压加压装置、控制面板等组成。轮碾成型机如图 1 所示。

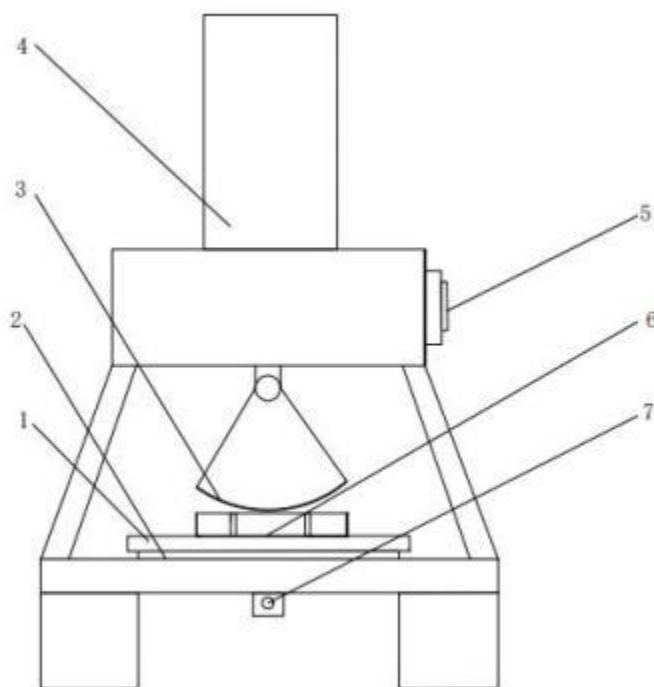


图 1 液压加压式轮碾成型机结构示意图

1—轮碾台；2—导轨轮碾承载板；3—带加热层的扇形轮碾；4—液压加压装置；5—控制面板；6—试模；

7—承载板牵引装置

3 计量特性

3.1 扇形轮碾尺寸

- a) 轮宽：标称值 ± 2 mm；
- b) 圆弧弧长：(550 $\pm$ 50)mm；
- c) 圆弧面至轴心距离：(500 $\pm$ 50)mm。

3.2 试模尺寸

表 1 轮碾成型机试模校准项目一览表

校准项目	试模类别	
	用于车辙、弯曲、渗水及构造深度试验	用于四点弯曲疲劳试验
长	(300 $\pm$ 2)mm	(300 $\pm$ 2)mm
宽	(300 $\pm$ 2)mm	(400 $\pm$ 2)mm
高	(50 $\pm$ 2)mm~(150 $\pm$ 2)mm	(75 $\pm$ 2)mm

3.3 扇形轮碾表面温度

扇形轮碾表面温度：(100 $\pm$ 10) $^{\circ}$ C。

3.4 扇形轮碾荷载

扇形轮碾荷载：(9 $\pm$ 0.45)kN。

3.5 轮碾运动次数

轮碾运动次数最大允许误差： ± 1 次。

3.6 轮碾运动频率

每分钟(15~20)次。

注：上述计量特性不用于合格性判定，仅供参考。

4 校准条件

4.1 环境条件

环境温度：(23 $\pm$ 5) $^{\circ}$ C；相对湿度： $\leq 85\%$ 。

4.2 校准用计量器具及技术要求

4.2.1 辐射温度计

覆盖量程为(0~120) $^{\circ}$ C，100 $^{\circ}$ C温度点的最大允许误差 $\pm 1.0^{\circ}$ C。

4.2.2 平板测力仪

量程为(2~20)kN, 准确度等级 0.5 级。

4.2.3 纤维卷尺

覆盖量程为(0~1000) mm, 准确度等级 1 级。

4.2.4 数显卡尺

量程为(0~500) mm, 最大允许误差 ± 0.05 mm。

4.2.5 数显深度卡尺

量程为(0~200) mm, 最大允许误差 ± 0.03 mm。

4.2.6 电子秒表

量程为(1~3600) s, 最大允许误差为 ± 0.10 s/h。

4.2.7 辅助设备

发射率矫正贴, 发射率 0.94。

注: 允许使用其他满足上述要求的测量器具。

5 校准项目及校准方法

5.1 外观检查

通过目测和手感检查轮碾成型机的外观和铭牌。轮碾成型机外形结构应完好, 标志清晰明确, 外漏件不应该有松动和机械损伤。外壳上应标明其名称、制造单位、型号、出厂编号等信息。

5.2 扇形轮碾尺寸

5.2.1 轮宽

使用数显卡尺分别在轮碾圆弧底面的两端和中间测量轮宽, 取最大值作为轮宽的校准结果。

5.2.2 圆弧弧长

使用纤维卷尺分别在轮碾圆弧底面两端和中间测量弧长, 取最大值作为圆弧弧长的校准结果。

5.2.3 圆弧面至轴心距离

使用纤维卷尺在轮碾圆弧一侧, 分别测量圆弧底面两端、中间至中心轴的长度, 取最大值作为圆弧面至轴心距离的校准结果。

5.3 试模尺寸

5.3.1 内部尺寸

采用数显卡尺测量试模内部长度和宽度, 分别在两端和中间位置进行测量, 每个位置

测量一次，按照公式（1）进行计算，得到试模内部尺寸的校准结果。

$$q = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n q_i \quad (1)$$

式中：

q_i ($i = 1, 2, 3$) — 第*i*位置试模内部尺寸的测量值，mm；

q — 试模内部尺寸的校准值，mm。

5.3.2 高度

采用数显深度卡尺测量试模高度，在两侧宽度侧板的中间位置进行测量，每个位置测量一次，根据公式（2）进行计算，得到试模高度的校准结果。

$$h = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n h_i \quad (2)$$

式中：

h_i ($i=1, 2$) — 第*i*位置试模高度测量值，mm；

h — 试模高度校准值，mm。

5.4 扇形轮碾表面温度

在轮碾中心位置贴上发射率矫正贴，将辐射温度计的发射率调节到0.94。启动轮碾成型机，当机器显示温度稳定在100℃时，采用辐射温度计在轮碾弧形底面中心位置测量温度，测量方向垂直于测量点切面，重复测量3次，按照公式（3）进行计算，得到扇形轮碾表面温度的校准结果。

$$t = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n t_i \quad (3)$$

式中：

t_i ($i = 1, 2, 3$) — 第*i*次扇形轮碾表面温度测量值，℃；

t — 扇形轮碾表面温度校准值，℃。

5.5 扇形轮碾荷载

将平板式测力仪的压力传感器放置在导轨轮碾承载板的几何中心位置，启动轮碾成型机，使扇形轮碾落下，使其平稳压在压力传感器上，待平板式测力仪示值稳定后，读取该示值并记录，每次测量后抬起轮碾，使传感器力值归零，重复测量3次，按照公式（4）进行计算，得到扇形轮碾荷载的校准结果。

$$k = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n k_i \quad (4)$$

式中:

k_i ($i = 1, 2, 3$) —第*i*次扇形轮碾荷载测量值, kN;

k —扇形轮碾荷载校准值, kN。

5.6 轮碾运动次数

设定轮碾运动次数, 启动仪器, 通过人工计数记录轮碾往返的次数作为轮碾运动次数的校准结果。

5.7 轮碾运动频率

设定轮碾运动次数, 启动仪器, 在人工计数的同时, 采用电子秒表记录所需要的时间, 按照公式(5)计算1min的轮碾实际运动频率, 重复测量3次。取三次测量结果的算术平均值作为最后的校准结果。

$$Y = \frac{m}{T} \quad (5)$$

式中:

Y — 轮碾运动频率值, 次/min;

m —轮碾运动往返次数人工计数值, 次;

T —电子秒表记录时间, min。

6 校准结果表达

经校准后, 出具校准证书, 校准证书内容应至少包含:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 进行校准的地点;
- c) 证书的唯一性标识(如编号), 每页及总页数的标识;
- d) 委托方名称和地址;
- e) 被校对象的描述和明确标识;
- f) 收样、校准及证书签发日期;
- g) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称和代号;
- h) 校准环境的描述;
- i) 本次校准用设备的溯源性及有效性说明;

- j) 校准项目、校准结果以及测量不确定度的说明；
- k) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- l) 校准人员及核验人员的签名或其他有效标识。

7 复校时间间隔

建议校准时间间隔不超过 12 个月。

由于复校时间的间隔是由轮碾成型机的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素决定，因此用户可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

轮碾成型机校准记录参考格式

证书编号: _____

控制编号: _____

样品 信息	委托单位								
	样品名称				出厂编号				
	准确度等级				型号/规格				
	样品来源		☐ 送样 ☐ 现场 ☐ 其他		测量范围				
	样品接收时间		年 月 日		生产厂家				
校准依据									
本次校准所使用的主要计量器具									
名称	型号规格	出厂 编号	测量 范围	生产 厂家	不确定 度/准确 度等级/ 最大允 许误差	计量器具 证书编号	有效期至	溯源机构	
☐									
☐									
☐									
☐									
☐									
☐									
☐									
环境 条件	测量地点								
	测量时间		年 月 日		温度(℃)				
	其 他				湿度(%RH)				
校准项目			技术要求	校准结果					$U, k=2$
外观									
扇形轮碾 尺寸 (mm)	轮宽	标称值±2	测量值						
			最大值						
	圆弧弧长	(550±50)	测量值						
			最大值						
	圆弧面至轴心 距离	(500±50)	测量值						
			最大值						

试模尺寸 (mm)	用于车辙、弯曲、渗水及构造深度试验的试模	长	(300±2)	测量值				
				平均值				
		宽	(300±2)	测量值				
				平均值				
		高	(50±2)~ (150±2)	测量值				
				平均值				
	用于四点弯曲疲劳试验的试模	长	(300±2)	测量值				
				平均值				
		宽	(400±2)	测量值				
				平均值				
		高	(75±2)	测量值				
				平均值				
扇形轮碾表面温度 (°C)		(100±10)	测量值					
			平均值					
扇形轮碾荷载 (kN)		(9±0.45)	测量值					
			平均值					
轮碾运动次数 (次)		±1	设定值					
			测量值					
轮碾运动频率 (次/min)		(15~20)	测量值					
			平均值					
备注								
校准人员				核验人员				

附录 B

校准证书内页格式

校准项目		校准结果	$U, k=2$
外观			
扇形轮碾尺寸（mm）		轮宽	
		圆弧弧长	
		圆弧面至轴心距离	
试模尺寸（mm）	用于车辙、弯曲、渗水及构造深度试验的试模	长	
		宽	
		高	
	用于四点弯曲疲劳试验的试模	长	
		宽	
		高	
扇形轮碾表面温度（℃）			
扇形轮碾荷载（kN）			
轮碾运动次数（次）		设定值：	
		测量值：	
轮碾运动频率（次/min）			

附录 C

测量不确定度评定方法及实例

C.1 概述

C.1.1 测量标准器

辐射温度计：量程(-30~350)℃，100℃温度点的最大允许误差±1.0℃。

平板测力仪：量程为(2~25) kN, 准确度等级 0.5 级。

纤维卷尺：覆盖量程为(0~20) m，准确度等级 1 级。

数显卡尺：量程(0~600) mm，最大允许误差±0.05mm。

数显深度卡尺：量程(0~500) mm，最大示值误差±0.03mm。

电子秒表：(1~3600) s，最大允许误差为±0.10s/h。

辅助设备：发射率矫正贴，发射率 0.94。

C.1.2 环境条件

环境温度：(23±5)℃；相对湿度：≤85%。

C.1.3 测量对象

液压加压式轮碾成型机。

C.1.4 测量方法

使用数显卡尺分别在轮碾圆弧底面的两端和中间测量轮宽；使用纤维卷尺分别在轮碾圆弧底面两端和中间测量弧长；使用纤维卷尺在轮碾圆弧一侧，分别测量圆弧底面两端、中间至轴心距离的长度，可以得到扇形轮碾尺寸的校准结果

使用数显卡尺取均匀分布的三个校准点，测量试模内部长度和宽度；采用数显深度卡尺在宽度侧板的中间位置测量试模高度；

在轮碾中心位置贴上发射率矫正贴，将辐射温度计的发射率调节到0.94。采用辐射温度计在轮碾弧形底面中心位置测量温度，测量方向垂直于测量点切面，可以得到扇形轮碾表面温度的校准结果。

使用平板式测力仪，将平板式测力仪的压力传感器置于导轨轮碾承载板的中心位置，启动轮碾成型机施加荷载至9kN，测量扇形轮碾的荷载，可以得到扇形轮碾压力的校准结

果。

使用电子秒表计时，通过人工计数记录轮碾往返次数，可以得到轮碾运动频率的校准结果。

C.2 轮碾成型机扇形轮碾尺寸的不确定度评定

C.2.1 测量模型

轮碾成型机扇形轮碾尺寸的测量模型：

$$L = l \quad (\text{C.1})$$

式中：

L —校准轮碾成型机扇形轮碾的尺寸值，mm；

l —纤维卷尺测得的轮碾成型机扇形轮碾的最大尺寸值，mm。

C.2.2 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2(L) = C^2 u^2(l) \quad (\text{C.2})$$

灵敏系数：

$$c = \frac{\partial L}{\partial l} = 1$$

C.2.3 不确定度评定

C.2.3.1 测得值重复性引入的标准不确定度 u_1

以扇形轮碾尺寸的圆弧弧长为示例。在相同条件下对某轮碾成型机的扇形轮碾圆弧弧长进行 10 次重复测量，测量数据见表 C.1。

表 C.1 轮碾成型机扇形轮碾尺寸圆弧弧长的测量数据

校准次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (mm)	550	550	550	549	550	549	550	550	550	549

由测量数据计算单次试验标准差为试验的标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n-1}} = 0.483 \text{ mm}$$

实际工作时以单次测量值作为校准结果，故实测值重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = S = 0.483\text{mm}$$

C.2.3.2 纤维卷尺最大允许误差引入的标准不确定度 u_2

纤维卷尺的最大允许误差为 $\pm 1\text{mm}$ ，按均匀分布处理，取包含因子 $k=3$ ，则标准不确定度 u_2 为：

$$u_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577\text{mm}$$

C.2.3.3 标准不确定度汇总

表 C.2 轮碾成型机扇形轮碾尺寸圆弧弧长的不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度/mm
u_1	测量重复性引入	0.483
u_2	纤维卷尺的最大允许误差引入	0.577

C.2.4 合成标准不确定度 u_c

输入量 u_1 、 u_2 彼此独立不相关，故轮碾成型机扇形轮碾尺寸圆弧弧长的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.483^2 + 0.577^2} = 0.816\text{mm}$$

C.2.5 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.816 = 1.632 \approx 2\text{mm}$$

C.3 轮碾成型机试模尺寸的不确定度评定

C.3.1 测量模型

轮碾成型机试模尺寸的测量模型：

$$K = k \quad (\text{C.3})$$

式中：

K —校准轮碾成型机试模的尺寸值，mm；

k —数显卡尺测得的轮碾成型机试模的尺寸值，mm。

C.3.2 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2(K) = C^2 u^2(k) \quad (\text{C.4})$$

灵敏系数:

$$c = \frac{\partial K}{\partial k} = 1$$

C.3.3 不确定度评定

C.3.3.1 测得值重复性引入的标准不确定度 u_1

下面以试模内部长度为示例。在相同条件下对某轮碾成型机的试模内部长度进行 10 次重复测量, 测量数据见表 C.3。

表 C.3 轮碾成型机试模尺寸内部长度测量数据

校准 次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (mm)	300.45	300.57	300.23	300.15	300.43	300.25	300.43	300.48	300.54	300.16

由测量数据计算单次试验标准差为试验的标准偏差为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k - \bar{k})^2}{n-1}} = 0.156\text{mm}$$

实际工作时以 3 次测量的算术平均值作为校准结果, 故实测值重复性引入的标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.090\text{mm}$$

C.3.3.2 数显卡尺最大允许误差引入的标准不确定度 u_2

数显卡尺的最大允许误差为 $\pm 0.05\text{mm}$, 按均匀分布处理, 取包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则标准不确定度 u_2 为:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\text{mm}$$

C.3.3.3 标准不确定度汇总

表 C.4 轮碾成型机试模尺寸内部长度的不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度/mm
u_1	测量重复性引入	0.090
u_2	数显卡尺的最大允许误差引入	0.029

C.3.4 合成标准不确定度 u_c

输入量 u_1 、 u_2 彼此独立不相关，故轮碾成型机试模尺寸内部长度的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.090^2 + 0.029^2} = 0.094\text{mm}$$

C.3.5 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.094 = 0.188 = 0.19\text{mm}$$

C.4 轮碾成型机扇形轮碾表面温度的不确定度评定

C.4.1 测量模型

轮碾成型机扇形轮碾表面温度的测量模型：

$$T = t \quad (\text{C.5})$$

式中：

T —校准轮碾成型机扇形轮碾表面温度示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t —辐射温度计测得的轮碾成型机扇形轮碾表面温度示值， $^{\circ}\text{C}$ 。

C.4.2 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2(T) = C^2 u^2(t) \quad (\text{C.6})$$

灵敏系数：

$$c = \frac{\partial T}{\partial t} = 1$$

C.4.3 不确定度评定

C.4.3.1 测得值重复性引入的标准不确定度 u_1

在相同条件下对某轮碾成型机的扇形轮碾表面温度进行 10 次重复测量，测量数据见表 C.5。

表 C.5 轮碾成型机扇形轮碾表面温度的测量数据

校准次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 ($^{\circ}\text{C}$)	100.5	101.1	100.8	101	101.4	100.7	100.5	101.3	101.3	100.6

由测量数据计算单次试验标准差为试验的标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = 0.346^\circ\text{C}$$

实际工作时以 3 次测量的算术平均值作为校准结果，故实测值重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.200^\circ\text{C}$$

C.4.3.2 辐射温度计最大允许误差引入的标准不确定度 u_2

辐射温度计的最大允许误差为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，按均匀分布处理，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 u_2 为：

$$u_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577^\circ\text{C}$$

C.4.3.3 发射率引入的标准不确定度 u_3

在测量轮碾温度时，需采用发射率校正贴覆盖于轮碾表面以校正被测物体发射率，从而确保辐射温度计发射率同被测物体相同，进而保证校准数据准确性。然而实际测量过程中，辐射温度计发射率设定值与校正贴发射率理论值必然存在一定偏差，其引入不确定度综合考量后定为 1.5°C ，按均匀分布处理，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 u_3 为：

$$u_3 = \frac{1.5}{\sqrt{3}} = 0.866^\circ\text{C}$$

C.4.3.4 标准不确定度汇总

表 C.6 轮碾成型机扇形轮碾表面温度的不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度/ $^\circ\text{C}$
u_1	测量重复性引入	0.200
u_2	辐射温度计的最大允许误差引入	0.577
u_3	发射率引入	0.866

C.4.4 合成标准不确定度 u_c

输入量 u_1 、 u_2 、 u_3 彼此独立不相关，故轮碾成型机扇形轮碾表面温度合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0.20^2 + 0.577^2 + 0.866^2} \approx 1.059^\circ\text{C}$$

C.4.5 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = kU_c = 2 \times 1.059 = 2.118 \approx 2.2^\circ\text{C}$$

C.5 轮碾成型机扇形轮碾荷载的不确定度评定

C.5.1 测量模型

轮碾成型机扇形轮碾荷载的测量模型：

$$P = p \quad (\text{C.7})$$

式中：

P —校准轮碾成型机扇形轮碾荷载示值，kN；

p —平板测力仪测得的轮碾成型机扇形轮碾荷载示值，kN。

C.5.2 方差和灵敏系数

方差：

$$U_c^2(P) = C^2 U^2(p) \quad (\text{C.8})$$

灵敏系数：

$$c = \frac{\partial P}{\partial p} = 1$$

C.5.3 不确定度评定

C.5.3.1 测得值重复性引入的标准不确定度 U_1

因为轮碾成型机扇形轮碾荷载是 3 次测量的算术平均值，故实测值重复性引入了不确定度。在相同条件下对某轮碾成型机的扇形轮碾荷载进行 10 次重复测量，测量数据见表 C.7。

表 C.7 轮碾成型机扇形轮碾荷载测量数据

校准次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (kN)	9.05	9.10	9.05	9.08	9.12	9.15	9.08	9.10	9.06	9.12

由测量数据计算单次试验标准差为试验的标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n-1}} = 0.033 \text{ kN}$$

实际工作时以 3 次测量的算术平均值作为校准结果，故实测值重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.019 \text{ kN}$$

C.5.3.2 平板测力仪最大允许误差引入的标准不确定度 u_2

平板测力仪的最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，按均匀分布处理，取包含因子 $k=3$ ，则标准不确定度 u_2 为：

$$u_2 = \frac{9 \times 0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.026 \text{ kN}$$

C.5.3.3 标准不确定度汇总

表 C.8 轮碾成型机扇形轮碾荷载的不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度/kN
u_1	测量重复性引入	0.019
u_2	平板测力仪的最大允许误差引入	0.026

C.5.4 合成标准不确定度 u_c

输入量 u_1 、 u_2 彼此独立不相关，故轮碾成型机扇形轮碾荷载合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.019^2 + 0.026^2} = 0.032 \text{ kN}$$

C.5.5 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 2 \times 0.032 = 0.064 \approx 0.07 \text{ kN}$$

C.6 轮碾成型机轮碾运动频率的不确定度评定

C.6.1 测量模型

轮碾成型机轮碾运动频率的测量模型：

$$Y = 60 \times \frac{m}{T} \quad (\text{C.9})$$

式中：

Y —校准轮碾成型机运动频率，次/min；

m —轮碾运动往返次数人工计数值，次；

T —电子秒表记录时间值，s。

C.6.2 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2(Y) = C_1^2 u^2(m) + C_2^2 u^2(T) \quad (\text{C.10})$$

灵敏系数:

$$c_m = \frac{\partial(Y)}{\partial m} = \frac{60}{T}, \quad c_T = \frac{\partial(Y)}{\partial S} = -\frac{60 \times m}{T^2}$$

C.6.3 不确定度评定

C.6.3.1 测得值重复性引入的标准不确定度 u_1

因为轮碾成型机轮碾运动频率是 3 次测量的算术平均值, 故实测值重复性引入了不确定度。在相同条件下对某轮碾成型机的轮碾运动频率进行 10 次重复测量, 测量数据见表 C.9。

表 C.9 轮碾成型机运动频率测量数据

校准次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
运动往返次数(次)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
时间(min)	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3
运动频率次/min	20	20	18	20	20	18	18	20	20	18

由测量数据计算单次试验标准差为试验的标准偏差为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2}{n-1}} = 0.966 \text{ 次/min}$$

实际工作时以 3 次测量的算术平均值作为校准结果, 故实测值重复性引入的标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.558 \text{ 次/min}$$

C.6.3.2 电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度 u_2

电子秒表的最大允许误差为 $\pm 0.10\text{s/h}$, 按均匀分布处理, 取包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则标准不确定度 u_2 为:

$$u_2 = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.058\text{s}$$

C.6.3.3 标准不确定度汇总

表 C.10 轮碾成型机运动频率的不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	标准不确定度分量
u_1	测量重复性引入	0.558 次/min	60/120s	0.279 次/min
u_2	电子秒表的最大允许误差引入	0.058s	$-(24 \times 60 / 120^2)$ 次/s ²	0.006 次/min

C.6.4 合成标准不确定度 u_c

输入量 u_1 、 u_2 彼此独立不相关，故轮碾成型机运动频率合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.279^2 + 0.006^2} \approx 0.279 \text{ 次/min}$$

C.6.5 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.279 = 0.558 \approx 1 \text{ 次/min}$$
