



中华人民共和国纺织行业计量技术规范

JJF(纺织) XX—202X

防护手套耐切割性试验仪（圆盘刀法）

校准规范

Calibration Specification for Protective Glove Cut Resistance Testers

(Disc Blade Method)

(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

防护手套耐切割性试验仪
（圆盘刀法）校准规范
Calibration Specification for Protective
Glove Cut Resistance Testers
(Disc Blade Method)

JJF（纺织）XXX—202X

归口单位：中国纺织工业联合会

起草单位：国家纺织计量站上海分站

江苏省纺织产品质量监督检验研究院

福建省纤维检验中心

山东鼎泰检验检测有限公司

浙江省质量科学研究院

本规范委托纺织计量技术委员会负责解释

本规范起草人：

王 峰（国家纺织计量站上海分站）

钟轶弘（国家纺织计量站上海分站）

魏 青（江苏省纺织产品质量监督检验研究院）

邓力生（福建省纤维检验中心）

周 翔（山东鼎泰检验检测有限公司）

叶翔宇（浙江省质量科学研究院）

蔡心淳（国家纺织计量站上海分站）

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)
5 校准条件.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(2)
7 校准结果表达.....	(8)
8 复校时间间隔.....	(8)
附录 A 防护手套耐切割性试验仪 (圆盘刀法) 校准记录参考格式.....	(9)
附录 B 防护手套耐切割性试验仪 (圆盘刀法) 校准证书内页参考格式.....	(11)
附录 C 防护手套耐切割性试验仪 (圆盘刀法) 测量不确定度评定示例.....	(12)

引 言

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》和 JJF 1059.1—2012《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文件。

本规范参考了 GB 24541—2022《手部防护 机械危害防护手套》等文件中有关试验仪器的相关技术指标及试验方法。

本规范为首次发布。

防护手套耐切割性试验仪（圆盘刀法）校准规范

1 范围

本规范适用于防护手套耐切割性试验仪（圆盘刀法）（以下简称“手套切割仪”）的校准。其他原理相同、结构类似的检测仪器校准可参照本规范执行。

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

GB 24541—2022 手部防护 机械危害防护手套

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

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

手套切割仪用于安全手套防护区域的耐切割性能的测试。手套切割仪主要由旋转曲柄、滑块、刀架、齿条和循环圈数计数器等组成，刀架上配有齿轮、圆形刀片和压力加载装置等。工作原理：旋转曲柄带动滑块驱动刀架以一定速度做正弦规律直线往复运动，刀架上圆形刀片在规定负荷下通过齿轮与齿条相互作用以一定正弦旋转速度往复移动切割试样，记录圆形刀片切穿试样循环圈数，计算试样耐切割性指数。

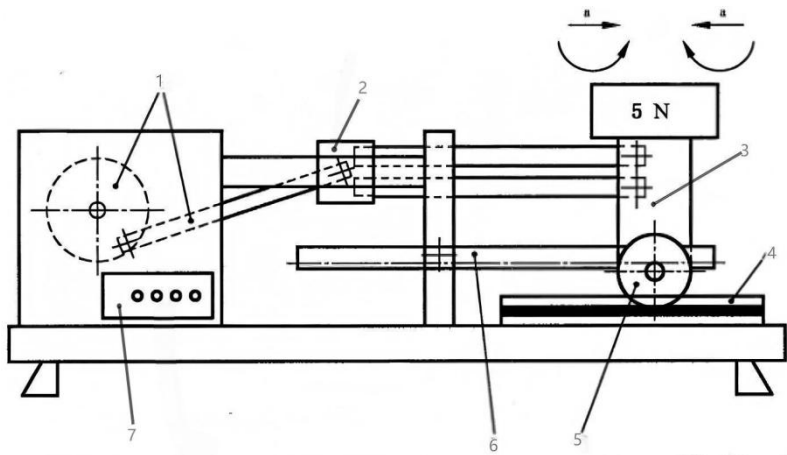


图 1 手套切割仪结构示意图

1—旋转曲柄；2—滑块；3—刀架；4—试样；5—刀片；6—齿条；7—循环圈数计数器

4 计量特性

4.1 施加在刀片的力：(5.0±0.5) N。

4.2 刀架水平移动距离：(50±2) mm。

4.3 刀片对试样最大正弦切割速度：(80±20) mm/s。

4.4 循环圈数示值误差：±(1 %R+0.1) 圈 (R 为循环圈数示值)。

注：以上指标不适用于仪器设备的合格性判定，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度：(5~35) °C。

5.1.2 相对湿度：≤85 %。

5.1.3 其他条件：手套切割仪应水平放置在稳固工作台上，校准环境应清洁，周围无腐蚀性介质，无明显强烈振动，无强烈气流。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 1。

表 1 测量标准及其他设备

序号	测量标准名称	测量范围、分度值或分辨力	不确定度或准确度等级或最大允许误差	数量
1	工作测力仪	测量范围：(0~20) N， 分辨力：0.01 N 传感器厚度：≤20 mm	MPE：±2.0 %	1
2	游标卡尺	测量范围：(0~150) mm 分度值：0.02 mm	MPE：±0.03 mm	1
3	电子秒表	测量范围：(0.01~3600) s 分辨力：0.01 s	MPE：±0.10 s/h	1
注：校准用测量标准可选用本表所列，也可选用测量范围覆盖被校准量的测量范围，其测量结果扩展不确定度 $U(k=2)$ 不大于校准量最大允许误差绝对值 1/3 的测量标准。				

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前准备

校准前须使用目测方法对手套切割仪结构外观及工作状态进行检查，确定没有影响计量特性因素后再进行校准。

6.1.1 手套切割仪在适当部位装有铭牌。铭牌上须标明仪器名称、型号、制造厂、出厂编号等信息。

6.1.2 手套切割仪的工作面应清洁，外表没有影响试验结果的机械损伤。

6.1.3 手套切割仪在工作时应无异常噪声、振动产生，按钮等电器装置应灵敏、安全、可靠。

6.1.4 手套切割仪循环圈数显示分辨力不大于 0.1 圈，显示数字工作正常、完整。

6.1.5 手套切割仪在工作时，用连接底板检测割穿导线瞬间搭碰刀架金属部分，刀架应立即停止运动，循环圈数停止计数，并保留循环圈数示值。

6.1.6 刀片应符合 GB 24541—2022 中 6.2.1c)所规定的要求。

6.1.7 刀片旋转工作状态检查：用笔在刀片表面边缘适当位置沿刀片半径方向绘一条标记线，启动手套切割仪，目测刀架完成移动一个单行程时刀片应能旋转一周。

6.2 校准项目

手套切割仪校准项目对应本规范计量特性条款和校准方法条款见表 2。

表 2 手套切割仪校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	施加在刀片的力	4.1	6.3.1
2	刀架水平移动距离	4.2	6.3.2
3	刀片对试样最大正弦切割速度	4.3	6.3.3
4	循环圈数示值误差	4.4	6.3.4

6.3 校准方法

6.3.1 施加在刀片的力 F

将刀架抬起并锁定，取下刀片，在刀架的刀片齿轮轴孔底部下方放入测力传感器，使其连接的工作测力计示值清零。用手抓住刀架，打开刀架销钉，将刀架慢慢放下，当刀架的刀片齿轮孔底部正下方部件与测力传感器测力面接触后松开手，使整个刀架重力压在测力传感器上，待工作测力计示值稳定后读取显示数值，重复测量三次，取三次测量结果的算术平均值为施加在刀片的力 F 。

6.3.2 刀架水平移动距离 L_1

取下刀片，剪裁一张长至少 80 mm，宽度小于齿条宽度长条白纸。白纸两端

用双面胶将白纸沿齿条直边对齐、水平、平整粘贴在刀架齿条往复移动范围内。将手套切割仪处于初始状态，在刀架立柱右端标记一条垂直于白纸长边的直线为起始标记线。用细笔尖紧贴刀架立柱右端，启动手套切割仪使刀架往复运动，细笔尖在白纸条绘出刀架运动轨迹线。停止手套切割仪工作，取下白纸，在白纸刀架运动轨迹线右端点绘一条与起始标记线平行线为终止标记线，用游标卡尺测量起始标记线和终止标记线之间同侧边缘之间的水平距离。重复测量三次，取三次测量结果的算术平均值为刀架水平移动距离 L_1 。

6.3.3 刀片对试样最大正弦切割速度 V_{max}

6.3.3.1 刀架往复运动周期时间 T

在齿条上用细笔绘一条垂直标记线，取出试样割穿装置，在无试样条件下启动手套切割仪，刀架至少连续运动2个往复运动周期后，当刀架经过齿条上垂直标记线时同时启动电子秒表，并记录刀架往复运动次数，当刀架往复运动循环次数为 n ($n \geq 5$) 次，且刀架再次经过齿条上垂直标记线时，按停电子秒表，读取电子秒表读数，重复测量2次，按公式(1)计算得到刀架往复运动周期时间。

$$T = \frac{\overline{t_0}}{n} \quad (1)$$

式中：

T —— 刀架往复运动周期时间，s；

$\overline{t_0}$ —— 电子秒表2次测量结果算术平均值，s；

n —— 刀架往复运动循环次数，次

6.3.3.2 刀架最大正弦水平速度 V_{Lmax}

刀架在水平方向的往复移动近似谐振运动，刀架最大正弦水平速度按公式(2)计算。

$$V_{Lmax} = \frac{\pi L_1}{T} \quad (2)$$

式中：

V_{Lmax} —— 刀架最大正弦水平速度，mm/s；

L_1 —— 刀架往复水平移动距离，mm；

T —— 刀架往复运动周期时间，s；

π —— 圆周率， $\pi = 3.1416$ 。

6.3.3.3 齿距 P

在齿条中间段标记出连续齿数 Z_1 ($Z_1 \geq 20$) 个齿距段首末端对应两个齿顶, 用游标卡尺测量这两个齿顶同侧间的距离, 用公式 (3) 计算得到齿条齿距。重复测量三次, 取三次测量结果的算术平均值为齿条齿距。

$$P = \frac{L_2}{Z_1} \quad (3)$$

式中:

P —— 齿条齿距, mm;

L_2 —— 齿条 Z_1 个齿距两端齿顶同侧间的距离, mm;

Z_1 —— 齿条齿数, 个。

6.3.3.4 刀片最大正弦旋转速度 V_{smax}

(1) 齿轮分度圆直径 d

目测测量刀片齿轮齿数。因齿条与刀片齿轮咬合, 齿条齿距与齿轮齿距相等, 按公式 (4) 计算刀片齿轮咬合点分度圆直径 d 。

$$d = \frac{Z_2 \cdot P}{\pi} \quad (4)$$

式中:

d —— 刀片齿轮分度圆直径, mm;

Z_2 —— 刀片齿轮齿数, 个;

P —— 齿条齿距, mm。

(2) 刀片直径 D

取下刀片, 在刀片直径十字方向取 2 个校准点, 用游标卡尺分别测量校准点各一次, 取二次测量结果的算术平均值为刀片直径 D 。

(3) 刀片最大正弦旋转速度 V_{smax}

齿轮分度圆处切线速度与刀架移动速度一致, 刀片与齿轮同步旋转, 刀片边缘切线速度和齿轮分度圆处切线速度与其直径成正比, 按公式 (5) 计算刀片最大正弦旋转速度。

$$V_{smax} = \frac{D}{d} \times V_{Lmax} \quad (5)$$

式中:

V_{smax} —— 刀片最大正弦旋转速度, mm/s;

D —— 刀片直径, mm;

d —— 刀片齿轮分度圆直径, mm;

V_{Lmax} —— 刀架最大正弦水平速度, mm/s。

6.3.3.5 刀片对试样最大正弦切割速度 V_{max}

刀片最大正弦旋转速度与刀架最大正弦水平速度同时出现, 相对于静止的试样的速度为同向叠加, 故刀片对试样最大正弦切割速度为两者绝对值之和, 按公式(6)计算得到刀片对试样最大正弦切割速度。

$$V_{max} = V_{Lmax} + V_{smax} \quad (6)$$

式中:

V_{max} —— 刀片对试样最大正弦切割速度, mm/s;

V_{Lmax} —— 刀架最大正弦水平速度, mm/s;

V_{smax} —— 刀片最大正弦旋转速度, mm/s。

6.3.4 循环圈数示值误差 ΔR

手套切割仪循环圈数显示示值含义分别有: 刀片旋转圈数、刀架往复运动周次数和刀架单行程次数等 3 种方式, 3 种循环圈数显示方式得到的试样切割指数计算结果没有差异。

选取刀架往复运动循环周期次数分别为 10 次、20 次和 30 次三个校准点。使手套切割仪处于初始状态, 用在齿条上用细笔绘一条刀架处于齿条初始位置的垂直标记线, 将手套切割仪刀片旋转圈数示值清零。启动手套切割仪, 目测测量刀架同一方向经过初始位置的垂直标记线往复运动 n 次循环周期后, 用导线人为使刀架与试样割穿装置搭触, 手套切割仪停止运行 (停止运动前, 刀架移动方向与经过初始位置标记线时的方向保持一致), 刀架在齿条停止位置用细笔绘一条终止垂直标记线, 用游标卡尺测量初始位置和终止位置两条垂直标记线之间距离 L_3 。记录手套切割仪显示的循环圈数示值 R 。

(1) 当循环圈数示值为刀片旋转圈数时循环圈数示值误差计算

按公式(7)计算刀片旋转循环圈数示值误差:

$$\Delta R_1 = R - \frac{2n \cdot L_1 + L_3}{\pi \cdot d} \quad (7)$$

式中:

ΔR_1 —— 刀片旋转循环圈数示值误差, 圈;

R —— 手套切割仪显示的循环圈数示值, 圈;

n —— 刀架往复运动循环次数, 次;

L_1 —— 刀架往复水平移动距离, mm;

L_3 —— 刀架初始位置和终止位置两条垂直标记线之间距离, mm;

d —— 刀片齿轮分度圆直径, mm;

π —— 圆周率, $\pi = 3.1416$ 。

(2) 当循环圈数示值为刀架往复运动周期次数时循环圈数示值误差计算按公式(8)计算刀架往复运动循环圈数示值误差:

$$\Delta R_2 = R - (n + \frac{L_3}{2L_1}) \quad (8)$$

式中:

ΔR_2 —— 刀架往复运动循环圈数示值误差, 圈;

R —— 手套切割仪显示的循环圈数示值, 圈;

n —— 刀架往复运动循环次数, 次;

L_1 —— 刀架往复水平移动距离, mm;

L_3 —— 刀架初始位置和终止位置两条垂直标记线之间距离, mm;

(3) 当循环圈数示值为刀架单行程次数时循环圈数示值误差计算按公式(9)计算刀架单行程循环圈数示值误差:

$$\Delta R_3 = R - (2n + \frac{L_3}{L_1}) \quad (9)$$

式中:

ΔR_3 —— 刀架单行程循环圈数示值误差, 圈;

R —— 手套切割仪显示的循环圈数示值, 圈;

n —— 刀架往复运动循环次数, 次;

L_1 —— 刀架往复水平移动距离, mm;

L_3 —— 刀架初始位置和终止位置两条垂直标记线之间距离, mm;

(4) 按上述步骤(1)或(2)或(3)重复测量2次, 取2次循环圈数示值误差测量结果的算术平均值为该校准点循环圈数示值误差。取示值误差绝对值最大者对应的校准点循环圈数示值误差为手套切割仪循环圈数示值误差。

7 校准结果表达

7.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果。数据修约按 GB/T 8170 执行, 末位数修约到手套防切割测试仪各参数最大允许误差绝对值的 1/10 位。推荐防护手套耐切割性试验仪(圆盘刀法)的校准记录格式见附录 A。

7.2 校准证书

经校准的防护手套耐切割性试验仪（圆盘刀法）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。

7.3 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。

8 复校时间间隔

在定期进行期间核查的条件下，建议复校时间间隔一般不超过 1 年。

注：由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器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。

附录 A

防护手套耐切割性试验仪（圆盘刀法）校准记录参考格式

委托方： 设备编号： 原始记录号：
 型号规格： 产品编号： 校准证书编号：
 制造厂： 环境温度： ℃ 环境湿度： %RH
 校准日期： 年 月 日 校准地点：

校准依据： JJF（纺织）XXX—202X 防护手套耐切割性试验仪（圆盘刀法）校准规范

使用主要测量标准：

名称	型号规格	编号	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差	证书编号/有效期	溯源机构

一、 校准前准备： ☐ 工作正常 ☐ 工作不正常，不正常情况：

二、计量特性校准：

序号	校准项目	技术要求	实测值						U $k=2$		
1	施加在刀片的力 F (N)	5.0 ± 0.5	1	2	3	平均值					
2	刀架水平移动距离 L_1 (mm)	50 ± 2	1	2	3	平均值					
3	刀片对试样最大正弦切割速度 (mm /s)	80 ± 20	刀架往复运动周期 T (s)	循环次数 n				T 平均值			
				时间 t_0							
			刀架最大正弦水平移动速度 $V_{Lmax} = \frac{\pi L_1}{T}$								
			齿条齿距	齿距数 Z_1 (≥ 20)						平均值	
				齿距数两端顶距离 L_2 (mm)							
				齿距 P (mm)							
			刀片齿轮	齿轮齿数 Z_2							
				分度圆直径 d (mm)							
			刀片直径 D (mm)				1	2	平均值		
			刀片最大正弦旋转速度								

			V_{smax}										
			刀片对试样最大正弦切割速度 $V_{max} = V_{Lmax} + V_{smax}$										
4	循环圈数示值误差 (圈)	$\pm$ (1 % R+0.1)	校准点（刀架往复运动周期数）n		10		20		30				
					1	2	1	2	1	2			
			循环圈数示值 R										
			刀架初始与终止距离 L_3 (mm)										
			圈数 实测 值	旋转□ R_1 往复□ R_2 单行程 □ R_3									
				圈数 示值 误差	旋转 □ ΔR_1 往复 □ ΔR_2 单行程 □ ΔR_3								
			圈数示值误差：										
5	备注												

校准单位:

校准员:

审核员:

附录 B

防护手套耐切割性试验仪（圆盘刀法）
校准证书内页格式参考

校 准 结 果

证书编号：

原始记录编号：

第×页，共×页

校准项目	技术要求	校准结果	测量结果扩展不确定度 U ($k=2$)
施加在刀片的力	(5.0 ± 0.5) N		
刀架水平移动距离	(50 ± 2) mm		
刀片对试样最大正弦切割速度	(80 ± 20) mm/s		
循环圈数示值误差	$\pm(1 \%R+0.1)$ 圈	循环圈数示值： ☐ 刀片旋转圈数 ☐ 刀架往复运动圈数 ☐ 刀架单行程运动圈数	

以下空白

附录 C

防护手套耐切割性试验仪（圆盘刀法）测量不确定度评定示例

C.1 施加在刀片的力测量不确定度评定

C.1.1 被测对象

施加在刀片的力：（5.0±0.5）N

C.1.2 测量标准

工作测力仪，测量范围：（0~20）N，分辨力：0.01 N，MPE：±2.0 %。

C.1.3 测量方法

将刀架抬起并锁定，取下刀片，在刀架的刀片齿轮轴孔底部下方放入测力传感器，使其连接的工作测力计示值清零。用手抓住刀架，打开刀架销钉，将刀架慢慢放下，当刀架的刀片齿轮孔底部正下方部件与测力传感器测力面接触后松开手，使整个刀架重力压在测力传感器上，待工作测力计示值稳定后读取显示数值，重复测量三次，取三次测量结果的算术平均值为施加在刀片的力 F 。

C.1.4 测量模型

$$F = F_0 \quad (\text{C.1})$$

式中：

F —— 施加在刀片的力，N；

F_0 —— 工作测力仪实测值，N。

由于工作测力仪与手套切割仪彼此独立，互不相关，施加在刀片的力合成标准不确定度可由式（C.2）计算：

$$u_c^2(F) = C^2(F_0)u^2(F_0) \quad (\text{C.2})$$

灵敏系数： $C(F_0) = \frac{\partial F}{\partial F_0} = 1$ ，则施加在刀片的力合成标准不确定度可简化为公式（C.3）：

$$u_c(F) = u(F_0) \quad (\text{C.3})$$

C.1.5 标准不确定度分量分析

不确定度来源：施加在刀片的力测量重复性引入的标准不确定度分量，工作测力仪分辨力引入的标准不确定度分量，工作测力仪最大允许误差引入的标准不

确定度分量。

C.1.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

采用 A 类方法进行评定，用工作测力仪在重复性条件下按 C.1.3 测量方法测量施加在刀片的力，重复测量 10 次，测量结果见表 C.1。数据分析结果见表 C.2。

表 C.1 施加在刀片的力重复性测量结果

测量次数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
施加在刀片的力 F_0 (N)	1	4.67	4.62	4.65	4.63	4.61	4.65	4.66	4.62	4.63	4.64
	2	4.62	4.60	4.63	4.65	4.65	4.60	4.65	4.65	4.64	4.66
	3	4.61	4.65	4.66	4.62	4.62	4.62	4.68	4.63	4.61	4.62
	平均	4.633	4.623	4.647	4.633	4.627	4.623	4.663	4.633	4.627	4.640

表 C.2 施加在刀片的力重复性测量数据分析结果

测量项目	平均值 (N)	标准差 (N)	标准不确定度(N)
施加在刀片的力 F_0	4.635	0.012	$u_1(F_0)= 0.007$

C.1.5.2 工作测力仪测量标准分辨力引入的标准不确定度分量评定

测量标准工作测力仪分辨力为 0.01 N，区间半宽为 $a_1=0.005$ N，服从均匀分布，则分辨力引入的标准不确定度分量：

$$u_2(F_0) = \frac{a_1}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ N} \quad (\text{C.4})$$

根据以上测量重复性引入的标准不确定度分量与分辨力引入的标准不确定度分量的计算结果，分辨力引入的标准不确定度分量小于测量重复性引入的标准不确定度分量，故工作测力仪分辨力引入的标准不确定度分量可忽略不计。

C.1.5.3 工作测力仪最大允许误差引入的标准不确定分量评定

工作测力仪测量范围（0~20）N，分辨力 0.01 N，MPE：±2.0%，在 4.635 N 测量点处最大允许误差±0.093 N，区间半宽 $a_2=0.093$ N，服从均匀分布，工作测力仪最大允许误差引入标准不确定度分量：

$$u_3(F_0) = \frac{a_2}{k} = \frac{0.093}{\sqrt{3}} = 0.054 \text{ N} \quad (\text{C.5})$$

C.1.6 标准不确定度分量汇总

施加在刀片的力测量结果标准不确定度分量汇总如表 C.3 所示。

表 C.3 标准不确定度分量汇总一览表

不确定度来源	标准不确定度分量符号	灵敏系数 C_i	标准不确定度 $u(x)$ (N)	$ C_i u(x)$	备注
施加在刀片的力测量重复性	$u_1(F_0)$	1	0.007	0.007	
工作测力仪分辨力	$u_2(F_0)$	1	0.003	0.003	可忽略
工作测力仪最大允许误差	$u_3(F_0)$	1	0.054	0.054	

C.1.7 合成标准不确定度的计算

施加在刀片的力合成标准不确定度 $u_c(F)$ 按公式 (C.6) 计算得到：

$$u_c(F) = u(F_0) = \sqrt{u_1^2(F_0) + u_3^2(F_0)} = 0.054 \text{ N} \quad (\text{C.6})$$

C.1.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，施加在刀片的力测量结果扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(F) = 2 \times 0.054 = 0.109 \text{ N} \approx 0.11 \text{ N} \quad (\text{C.7})$$

C.1.9 测量结果不确定度报告与表示

施加在刀片的力测量结果扩展不确定度为：

$$U = 0.11 \text{ N} \quad k = 2$$

C.2 刀架水平移动距离测量不确定度的评定

C.2.1 被测对象

刀架水平移动距离：(50±2) mm

C.2.2 测量标准

游标卡尺，测量范围：(0~150) mm，分度值：0.02 mm，MPE：±0.03 mm。

C.2.3 测量方法

取下刀片，剪裁一张长至少 80 mm，宽度小于齿条宽度长条白纸。白纸两端用双面胶将白纸沿齿条直边对齐、水平、平整粘贴在刀架齿条往复移动范围内。将手套切割仪处于初始状态，在刀架立柱右端标记一条垂直于白纸长边的直线为

起始标记线。用细笔尖紧贴刀架立柱右端，启动手套切割仪使刀架往复运动，细笔尖在白纸条绘出刀架运动轨迹线。停止手套切割仪工作，取下白纸，在白纸刀架运动轨迹线右端点绘一条与起始标记线平行线为终止标记线，用游标卡尺测量起始标记线和终止标记线之间同侧边缘之间的水平距离。重复测量三次，取三次测量结果的算术平均值为刀架水平移动距离 L_1 。

C.2.4 测量模型

$$L_1 = L_0 \quad (\text{C.8})$$

式中：

L_1 —— 刀架水平移动距离，mm；

L_0 —— 游标卡尺实测值，mm。

由于游标卡尺与手套切割仪彼此独立，互不相关，刀架水平移动距离合成标准不确定度可由式（C.9）计算：

$$u_c^2(L_1) = C^2(L_0)u^2(L_0) \quad (\text{C.9})$$

灵敏系数： $C(L_0) = \frac{\partial L_1}{\partial L_0} = 1$ ，则刀架水平移动距离合成标准不确定度可简化为

公式（C.10）：

$$u_c(L_1) = u(L_0) \quad (\text{C.10})$$

C.2.5 标准不确定度分量分析

不确定度来源：刀架水平移动距离测量重复性引入的标准不确定度分量，游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量，游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量。

C.2.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

采用 A 类方法进行评定，用游标卡尺在重复性条件下按 C.2.3 测量方法测量刀架水平移动距离，重复测量 10 次，测量结果见表 C.4。数据分析结果见表 C.5。

表 C.4 刀架水平移动距离重复性测量结果

测量次数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
刀架水平移动距离实测	1	51.48	50.70	51.50	51.34	51.62	51.28	51.52	50.94	51.32	50.86
	2	51.56	50.92	51.42	51.44	51.54	51.32	51.28	51.22	51.18	51.14
	3	51.52	50.88	51.38	51.28	51.46	51.44	51.36	51.16	51.24	51.26

值 L_1 (mm)	平均	51.52 0	50.83 3	51.43 3	51.35 3	51.54 0	51.34 7	51.38 7	51.10 7	51.24 7	51.08 7
-----------------	----	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

表 C.5 刀架水平移动距离重复性测量数据分析结果

测量项目	平均值 (mm)	标准差 (mm)	标准不确定度 (mm)
刀架水平移动距离实测值 L_1	51.285	0.221	$u_1(L_0)= 0.128$

C.2.5.2 游标卡尺测量标准分度值引入的标准不确定度分量评定

测量标准游标卡尺分度值为 0.02 mm，区间半宽为 $a_3=0.01$ mm，服从均匀分布，则分度值引入的标准不确定度分量：

$$u_2(L_0) = \frac{a_3}{k} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ mm} \quad (\text{C.11})$$

根据以上测量重复性引入的标准不确定度分量与分度值引入的标准不确定度分量的计算结果，分度值引入的标准不确定度分量小于测量重复性引入的标准不确定度分量，故游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量可忽略不计。

C.2.5.3 游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量评定

游标卡尺测量范围(0~150)mm，分度值 0.02 mm，最大允许误差 ± 0.03 mm，区间半宽 $a_4=0.03$ mm，服从均匀分布，游标卡尺最大允许误差引入标准不确定度分量：

$$u_3(L_0) = \frac{a_4}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.017 \text{ mm} \quad (\text{C.12})$$

C.2.6 标准不确定度分量汇总

刀架水平移动距离测量结果标准不确定度分量汇总如表 C.6 所示。

表 C.6 标准不确定度分量汇总一览表

单位：mm

不确定度来源	标准不确定度分量符号	灵敏系数 C_i	标准不确定度 $u(x)$	$ C_i u(x)$	备注
刀架水平移动距离测量重复性	$u_1(L_0)$	1	0.128	0.128	
游标卡尺分度值	$u_2(L_0)$	1	0.006	0.006	可忽略
游标卡尺最大允许误差	$u_3(L_0)$	1	0.017	0.017	

C.2.7 合成标准不确定度的计算

$$u_c(L_1) = u(L_0) = \sqrt{u_1^2(L_0) + u_3^2(L_0)} = 0.129 \text{ mm} \quad (\text{C.13})$$

C.2.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，刀架水平移动距离测量结果扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(L_1) = 2 \times 0.129 = 0.258 \text{ mm} \approx 0.3 \text{ mm} \quad (\text{C.14})$$

C.2.9 测量结果不确定度报告与表示

刀架水平移动距离测量结果扩展不确定度为：

$$U = 0.3 \text{ mm} \quad k = 2$$

C.3 刀片对试样最大正弦切割速度测量不确定度的评定

C.3.1 被测对象

刀片对试样最大正弦切割速度：（80±20）mm/s。

C.3.2 测量标准

序号	测量标准名称	测量范围、分度值或分辨力	不确定度或准确度等级或最大允许误差
1	游标卡尺	测量范围：（0～150）mm 分度值：0.02 mm	MPE：±0.03 mm
2	电子秒表	测量范围：（0.01～3600）s 分辨力：0.01 s	MPE：±0.10 s/h

C.3.3 测量方法

C.3.3.1 齿轮分度圆直径 d

（1）齿条齿距 P 测量

在齿条中间段标记出连续齿距数 Z_1 （ $Z_1=20$ ）个齿距段首末端对应两个齿顶，用游标卡尺测量这两个齿顶同侧间的距离，用公式（C.15）计算得到齿条齿距。重复测量三次，取三次测量结果的算术平均值为齿条齿距。

$$P = \frac{L_2}{Z_1} \quad (\text{C.15})$$

式中：

P —— 齿条齿距, mm;

L_2 —— 齿条 Z_1 个齿距数两端齿顶同侧间的距离, mm;

Z_1 —— 齿条齿数, $Z_1=20$ 个。

(2) 齿轮分度圆直径 d 测量

目测测量刀片齿轮齿数。因齿条与刀片齿轮咬合, 齿条齿距与齿轮齿距相等, 按公式 (C. 16) 计算刀片齿轮咬合点分度圆直径 d 。

$$d = \frac{Z_2 \cdot P}{\pi} = \frac{Z_2 \cdot L_2}{\pi \cdot Z_1} \quad (\text{C. 16})$$

式中:

d —— 刀片齿轮分度圆直径, mm;

Z_2 —— 刀片齿轮齿数, $Z_2=18$ 个;

P —— 齿条齿距, mm。

C. 3. 3. 2 刀片直径 D

取下刀片, 在刀片直径十字方向取 2 个校准点, 用游标卡尺分别测量校准点各一次, 取二次测量结果的算术平均值为刀片直径 D 。

$$D = D_0 \quad (\text{C. 17})$$

式中:

D —— 刀片直径, mm;

D_0 —— 游标卡尺实测值, mm。

C. 3. 3. 3 刀架最大正弦水平速度 V_{Lmax}

刀架在水平方向的往复移动近似谐振运动, 刀架最大正弦水平速度按公式 (C. 18) 计算。

$$V_{Lmax} = \frac{\pi L_1}{T} = \frac{\pi \cdot n \cdot L_1}{t_0} \quad (\text{C. 18})$$

式中:

V_{Lmax} —— 刀架最大正弦水平速度, mm/s;

L_1 —— 刀架往复水平移动距离, mm;

T —— 刀架往复运动周期时间, s;

π —— 圆周率, $\pi = 3.1416$ 。

C. 3. 3. 4 刀片对试样最大正弦切割速度 V_{max}

(1) 刀架往复运动周期时间 T

在齿条上用细笔绘一条垂直标记线，启动手套切割仪，刀架至少连接运动 2 个往复运动周期后，当刀架经过齿条上垂直标记线时同时启动电子秒表，并记录刀架往复运动次数，当刀架往复运动循环次数为 n ($n=5$) 次，且刀架再次经过齿条上垂直标记线时，按停电子秒表，读取电子秒表读数，重复测量 3 次，按公式 (C. 19) 计算得到刀架往复运动周期时间。

$$T = \frac{\bar{t}_0}{n} \quad (\text{C. 19})$$

式中：

T —— 刀架往复运动周期时间，s；

$\bar{t}_0$ —— 电子秒表 3 次测量结果算术平均值，s；

n —— 刀架往复运动循环次数， $n=5$ 次。

(2) 刀架最大正弦旋转速度 V_{smax}

齿轮分度圆处切线速度与刀架移动速度一致，刀片与齿轮同步旋转，刀片边缘切线速度与齿轮分度圆处切线速度与其直径成正比，按公式 (C. 20) 计算刀片最大正弦旋转速度。

$$V_{smax} = \frac{D}{d} \times V_{Lmax} = \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot D_0 \cdot L_1}{Z_2 \cdot L_2 \cdot \bar{t}_0} \quad (\text{C. 20})$$

式中：

V_{smax} —— 刀片最大正弦旋转速度，mm/s；

D —— 刀片直径，mm；

d —— 刀片齿轮分度圆直径，mm；

V_{Lmax} —— 刀架最大正弦水平速度，mm/s。

(3) 刀片最大正弦切割速度 V_{max}

刀片最大正弦旋转速度与刀架最大正弦水平速度同时出现，相对于静止的试样的速度为同向叠加，故刀片对试样最大正弦切割速度为两者绝对值之和，按公式 (C. 21) 计算得到刀片对试样最大切割速度。

C. 3. 4 测量模型

刀片对试样最大正弦切割速度：

$$V_{max} = V_{Lmax} + V_{smax} = \frac{\pi \cdot n \cdot L_1}{\bar{t}_0} + \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot D_0 \cdot L_1}{Z_2 \cdot L_2 \cdot \bar{t}_0} \quad (\text{C. 21})$$

式中：

V_{max} —— 刀片对试样最大正弦切割速度, mm/s;

$\overline{t_0}$ —— 刀架往复运动 n 个周期所需时间测量结果算术平均值, s;

Z_1 —— 齿条齿数, $Z_1=20$ 个;

Z_2 —— 刀片齿轮齿数, $Z_2=18$ 个;

D_0 —— 刀片直径实测值, mm ;

L_1 —— 刀架往复水平移动距离实测值, mm;

L_2 —— 齿条 Z_1 个齿距两端齿顶同侧间的距离, mm;

n —— 刀架往复运动循环次数, $n = 5$ 次

π —— 圆周率, $\pi = 3.1416$ 。

由于电子秒表、游标卡尺与手套切割仪彼此独立, 互不相关, 刀架往复运动循环次数 $n = 5$ 次、齿条齿数 $Z_1=20$ 个、刀片齿轮齿数 $Z_2=18$ 个和圆周率 $\pi = 3.1416$ 均为常数, 刀片对试样最大正弦切割速度合成相对标准不确定度可由式 (C. 22) 计算。

$$u_c^2(V_{max}) = C^2(L_1)u^2(L_1) + C^2(L_2)u^2(L_2) + C^2(D_0)u^2(D_0) + C^2(\overline{t_0})u^2(\overline{t_0}) \quad (C. 22)$$

灵敏系数:

$$C(\overline{t_0}) = \frac{\partial V_{max}}{\partial \overline{t_0}} = - \left(\frac{\pi \cdot n \cdot L_1}{\overline{t_0}^2} + \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot D_0 \cdot L_1}{Z_2 \cdot L_2 \cdot \overline{t_0}^2} \right), \quad C(L_1) = \frac{\partial V_{max}}{\partial L_1} = \frac{\pi \cdot n}{\overline{t_0}} + \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot D_0}{Z_2 \cdot L_2 \cdot \overline{t_0}},$$

$$C(D_0) = \frac{\partial V_{max}}{\partial D_0} = \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot L_1}{Z_2 \cdot L_2 \cdot \overline{t_0}}, \quad C(L_2) = \frac{\partial V_{max}}{\partial L_2} = - \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot D_0 \cdot L_1}{Z_2 \cdot \overline{t_0} \cdot L_2^2} \quad (C. 23)$$

C. 3. 5 标准不确定度分量分析

不确定度来源: 测量重复性引入的标准不确定度分量, 测量标准分度值或分辨力引入的标准不确定度分量, 测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量。

C. 3. 5. 1 测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

采用 A 类方法进行评定, 用电子秒表在重复性条件下 C. 3. 3. 4 (1) 测量方法测量刀架往复运动 $n=5$ 个周期时间 $\overline{t_0}$ 。用游标卡尺在重复性条件下分别按 C. 2. 3、C. 3. 3. 1 (1) 和 C. 3. 3. 2 测量方法分别测量刀架水平移动距离 L_1 、齿条中 $Z_1=20$ 个齿距两端齿顶同侧间的距离 L_2 和刀片直径 D , 分别按公式 (C. 21) 计算刀片对试样最大正弦切割速度, 重复测量 10 次, 测量结果见表 C. 7。数据分析结果见表 C. 8。

表 C. 7 刀片对试样最大正弦切割速度重复性测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

刀架往复运动 n 个周期时间 (s)	n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1	35.93	36.22	35.81	36.12	35.86	36.56	36.26	35.82	36.36	35.78
	2	36.34	35.82	35.98	35.82	36.46	35.86	35.78	36.44	36.12	36.14
	3	36.50	36.38	36.32	36.36	36.14	36.32	36.36	36.28	36.58	36.42
	平均	36.257	36.140	36.037	36.100	36.153	36.247	36.133	36.180	36.353	36.113
刀架水平移动距离实测值 L_1 (mm)	1	51.48	50.70	51.50	51.34	51.62	51.28	51.52	50.94	51.32	50.86
	2	51.56	50.92	51.42	51.44	51.54	51.32	51.28	51.22	51.18	51.14
	3	51.52	50.88	51.38	51.28	51.46	51.44	51.36	51.16	51.24	51.26
	平均	51.520	50.833	51.433	51.353	51.540	51.347	51.387	51.107	51.247	51.087
刀片直径 D (mm)	1	44.58	44.56	44.58	44.58	44.60	44.56	44.60	44.54	44.56	44.58
	2	44.60	44.58	44.58	44.60	44.56	44.56	44.58	44.56	44.60	44.56
	平均	44.590	44.57	44.58	44.59	44.58	44.56	44.59	44.55	44.58	44.57
齿条 Z_1 个齿距两端齿顶同侧间的距离 L_2 (mm)	Z_1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	1	63.66	63.22	62.72	63.12	62.86	62.56	63.26	62.82	63.36	63.78
	2	63.28	63.78	62.96	63.90	63.48	62.88	62.98	63.42	63.02	63.24
	3	62.88	63.48	63.34	63.26	63.24	63.36	63.26	63.30	63.48	63.40
	平均	63.273	63.493	63.007	63.427	63.193	62.933	63.167	63.180	63.287	63.473
齿轮齿数 Z_2		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
刀片对试样最大正弦切削速度 V_{max} (mm/s)		77.229	76.233	77.790	77.180	77.537	77.249	77.384	76.803	76.591	76.686

表 C.8 刀架最大正弦水平速度重复性测量数据分析结果

测量项目	平均值	标准差	标准不确定度
刀架往复运动 $n=5$ 个周期时间实测值 $\bar{t}_0$ (s)	36.171	0.092	$u_1(\bar{t}_0) = 0.053$ s
刀架水平移动距离实测值 L_1 (mm)	51.285	0.221	$u_1(L_1) = 0.156$ mm
刀片直径 D (mm)	44.578	0.013	$u_1(D) = 0.010$ mm

齿条 $Z_1=20$ 个齿距两端齿顶同侧间的距离 L_2 （mm）	63.243	0.187	$u_1(L_2)=0.108$ mm
刀片对试样最大正弦切割速度 V_{max} （mm/s）	77.068	0.478	$u_1(V_{max})=0.276$ mm/s

C.3.5.2 电子秒表分辨力和游标卡尺分度引入的标准不确定度分量评定

电子秒表分辨力 0.01 s，区间半宽为 $a_5=0.005$ s，服从均匀分布，则电子秒表分辨力引入的标准不确定度分量：

$$u_2(t_0) = \frac{a_5}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ s} \quad (\text{C.24})$$

游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量见 C.2.5.2 评定得 $u_2(L_0)=0.006$ mm。

根据以上测量重复性引入的标准不确定度分量与分辨力或分度值引入的标准不确定度分量的计算结果，分辨力或分度值引入的标准不确定度分量小于测量重复性引入的标准不确定度分量，故电子秒表分辨力和游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量可忽略不计。

C.3.5.3 电子秒表和游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量评定

电子秒表测量范围（0.01~3600）s，分辨力 0.01 s，最大允许误差 ± 0.10 s/h，区间半宽 $a_6=0.10$ s，服从均匀分布，电子秒表最大允许误差引入标准不确定度分量：

$$u_3(t_0) = \frac{a_6}{k} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ s} \quad (\text{C.25})$$

游标卡尺最大允许误差引入标准不确定度分量评定详见 C.2.5.3，

$$u_3(D) = u_3(L_0) = 0.017 \text{ mm}。$$

C.3.6 标准不确定度分量汇总

刀片对试样最大正弦切割速度测量结果标准不确定度分量汇总如表 C.9 所示。

表 C.9 标准不确定度分量汇总一览表

不确定度来源	标准不确定度分量符号	灵敏系数 $ C_i $	标准不确定度 $u(x)$	$ C_i u(x)$	备注
刀片对试样最大正弦切割速度测量重复性	$u_1(V_{max})$	1	0.276 mm/s	0.276 mm/s	
电子秒表分辨力	$u_2(t_0)$	$ C(\bar{t}_0) = 2.131$	0.003 s	0.006 mm/s	可忽略
游标卡尺分度值	$u_2(L_1)$	$ C(L_1) = 1.502$	0.006 mm	0.009 mm/s	可忽略

	$u_2(L_2)$	$ C(L_2) = 0.866$		0.005 mm/s	可忽略
	$u_2(D_0)$	$ C(D_0) = 1.229$		0.007 mm/s	可忽略
电子秒表 最大允许误差	$u_3(t_0)$	$ C(\overline{t_0}) = 2.131$	0.058 s	0.124 mm/s	
游标卡尺 最大允许误差	$u_3(L_1)$	$ C(L_1) = 1.503$	0.017 mm	0.026 mm/s	
	$u_3(L_2)$	$ C(L_2) = 0.866$		0.015 mm/s	
	$u_3(D_0)$	$ C(D_0) = 1.229$		0.021 mm/s	

灵敏系数：

$$|C(L_1)| = \frac{\pi \cdot n}{\overline{t_0}} + \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot D_0}{Z_2 \cdot L_2 \cdot \overline{t_0}} = \frac{3.1416 \times 5}{36.171} + \frac{3.1416^2 \times 5 \times 20 \times 44.576}{18 \times 63.294 \times 36.171} = 1.503$$

$$|C(L_2)| = \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot D_0 \cdot L_1}{Z_2 \cdot \overline{t_0} \cdot L_2^2} = \frac{3.1416^2 \times 5 \times 20 \times 44.576 \times 51.285}{18 \times 36.171 \times 63.243^2} = 0.866$$

$$|C(D_0)| = \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot L_1}{Z_2 \cdot L_2 \cdot \overline{t_0}} = \frac{3.1416^2 \times 5 \times 20 \times 51.285}{18 \times 63.243 \times 36.171} = 1.229$$

$$|C(\overline{t_0})| = \frac{\pi \cdot n \cdot L_1}{\overline{t_0}^2} + \frac{\pi^2 \cdot n \cdot Z_1 \cdot D_0 \cdot L_1}{Z_2 \cdot L_2 \cdot \overline{t_0}^2}$$

$$= \frac{3.1416 \times 5 \times 51.285}{36.171^2} + \frac{3.1416^2 \times 5 \times 20 \times 44.576 \times 51.285}{18 \times 63.243 \times 36.171^2} = 2.131$$

C.3.7 合成标准不确定度的计算

由公式（C.22）可得：

$$u_c(V_{max}) = \sqrt{C^2(V_{max})u_1^2(V_{max}) + C^2(L_1)u^2(L_1) + C^2(L_2)u^2(L_2) + C^2(D_0)u^2(D_0) + C^2(\overline{t_0})u^2(\overline{t_0})}$$

（C.26）

$$= \sqrt{0.276^2 + 0.026^2 + 0.015^2 + 0.021^2 + 0.124^2}$$

$$= 0.305 \text{ mm/s}$$

C.3.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，刀片对试样最大正弦切割速度测量结果扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(V_{max}) = 2 \times 0.305 = 0.610 \text{ mm/s} \quad , \quad \text{取 } U=1\text{mm/s} \quad .$$

C.3.9 测量结果不确定度报告与表示

刀片对试样最大正弦切割速度测量结果扩展不确定度为：

$$U = 1 \text{ mm/s} , k = 2$$

C.4 循环圈数示值误差测量不确定度的评定

C.4.1 被测对象

循环圈数示值为刀架单行程次数，分辨力为 0.1 圈。

循环圈数示值误差：±（1 %R+0.1）圈（R 为循环圈数示值）

C.4.2 测量标准

序号	测量标准名称	测量范围、分度值或分辨力	不确定度或准确度等级或最大允许误差
1	游标卡尺	测量范围：（0~150）mm 分度值：0.02 mm	MPE：±0.03 mm

C.4.3 测量方法

选取刀架往复运动循环周期次数分别为 10 次、20 次和 30 次三个校准点。使手套切割仪处于初始状态，用在齿条上用细笔绘一条刀架处于齿条初始位置的垂直标记线，将手套切割仪刀片旋转圈数示值清零。启动手套切割仪，目测测量刀架同一方向经过初始位置的垂直标记线往复运动 $n=10$ 次循环周期后，用导线人为使刀架与试样割穿装置搭触，手套切割仪停止运行（停止运动前，刀架移动方向与经过初始位置标记线时的方向保持一致），刀架在齿条停止位置用细笔绘一条终止垂直标记线，用游标卡尺测量初始位置和终止位置两条垂直标记线之间距离 L_3 。记录手套切割仪显示的循环圈数示值 R 。

因手套切割仪循环圈数示值为刀架单行程次数，分辨力为 0.1 圈，按公式(C.26) 计算刀架单行程循环圈数示值误差。重复测量 2 次，取 2 次循环圈数示值误差测量结果算术平均值为该校准点循环圈数示值误差。

C.4.4 测量模型

刀架单行程循环圈数示值误差：

$$\Delta R_3 = R - (2n + \frac{L_3}{L_1}) \quad (\text{C.26})$$

式中：

ΔR_3 —— 刀架单行程循环圈数示值误差，圈；

R —— 手套切割仪显示的循环圈数示值，圈；

n —— 刀架往复运动循环次数， $n = 10$ 次；

L_1 —— 刀架往复水平移动距离，mm；

L_3 —— 刀架初始位置和终止位置两条垂直标记线之间距离，mm；

由于游标卡尺与手套切割仪彼此独立，互不相关，刀架往复运动循环次数 $n = 10$ 次为常数，循环圈数示值误差合成相对标准不确定度可由式（C.27）计算。

$$u_c^2(\Delta R_3) = C^2(R)u^2(R) + C^2(L_1)u^2(L_1) + C^2(L_3)u^2(L_3) \quad (C.27)$$

灵敏系数：

$$C(R) = \frac{\partial \Delta R}{\partial R} = 1, \quad C(L_1) = \frac{\partial \Delta R}{\partial L_1} = \frac{L_3}{L_1^2}, \quad C(L_3) = \frac{\partial \Delta R}{\partial L_3} = -\frac{1}{L_1} \quad (C.28)$$

C.4.5 标准不确定度分量分析

不确定度来源：测量重复性引入的标准不确定度分量，测量标准分度值引入的标准不确定度分量，测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量。

C.4.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

采用 A 类方法进行评定，用游标卡尺在重复性条件下按 C.4.3 测量方法测量循环圈数示值误差，重复测量 10 次，测量结果见表 C.10。数据分析结果见表 C.11。

表 C.10 循环圈数示值绝对误差测量重复性测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
刀架循环周期 n (次)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
循环圈数示值 R (圈)	20.3	20.4	20.2	20.5	20.4	20.6	20.3	20.2	20.4	20.5
刀架往复移动距离 L_1 (mm)	51.52	50.82	51.42	51.34	51.54	51.36	51.40	51.12	51.24	51.10
刀架起始与终止线距离 L_3 (mm)	16.28	22.10	10.76	26.42	21.58	31.64	16.56	10.62	21.36	26.22
循环圈数示值误差 ΔR_3 (圈)	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01

表 C.11 循环圈数示值绝对误差测量重复性测量数据分析结果

测量项目	平均值	标准差	标准不确定度
刀架循环周期 n （次）	10	—	—
刀架往复移动距离 L_1 （mm）	51.285	0.221	$u_1(L_1)=0.156$ mm
循环圈数示值 R （圈）	20.38	—	—
刀架起始与终止线距离 L_3 （mm）	20.354	6.847	$u_1(L_3)=4.842$ mm
循环圈数示值误差 ΔR_3 （圈）	-0.017	0.008	$u_1(\Delta R)=0.005$ 圈

C.4.5.2 循环圈数显示分辨力引入的标准不确定度分量评定

手套切割仪循环圈数显示分辨力 0.1 圈，区间半宽为 $a_7=0.05$ 圈，服从均匀分布，则循环圈数显示分辨力引入的标准不确定度分量：

$$u_2(S) = \frac{a_7}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ 圈}$$

游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量评定见 C.2.5.2 评定得：
 $u_2(L_3)=0.006$ mm。

C.4.5.3 游标卡尺测量标准分辨力引入的标准不确定度分量评定

游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量评定见 C.2.5.2 评定得：
 $u_2(L_3)=0.006$ mm。

根据以上测量重复性引入的标准不确定度分量与分度值引入的标准不确定度分量的计算结果，分度值引入的标准不确定度分量小于测量重复性引入的标准不确定度分量，故游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量可忽略不计。

C.4.5.4 游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量评定

游标卡尺最大允许误差引入标准不确定度分量评定详见 C.2.5.3 评定得：
 $u_3(L_3)=0.017$ mm。

C.4.6 标准不确定度分量汇总

循环圈数示值绝对误差测量结果标准不确定度分量汇总如表 C.12 所示。

表 C.12 标准不确定度分量汇总一览表

不确定度来源	标准不确定度分量符号	灵敏系数 $ C_i $	标准不确定度 $u(x)$	$ C_i u(x)$	备注
循环圈数示值误差测量重复性	$u_1(\Delta S_3)$	1	0.005 圈	0.005 圈	

循环圈数显示 分辨力	$u_2(R)$	$ C(S) = 1$	0.029 圈	0.029 圈	
游标卡尺 分度值	$u_2(L_1)$	$ C(L_1) = 0.008$	0.006 mm	0.00005 圈	可忽略
	$u_2(L_3)$	$ C(L_3) = 0.020$		0.0001 圈	可忽略
游标卡尺 最大允许误差	$u_3(L_1)$	$ C(L_1) = 0.008$	0.017 mm	0.0001 圈	
	$u_3(L_3)$	$ C(L_3) = 0.020$		0.0003 圈	

灵敏系数由公式 (C.28) 计算得到:

$$|C(S)| = 1,$$

$$|C(L_1)| = \frac{L_3}{L_1^2} = \frac{20.354}{51.285^2} = 0.008,$$

$$|C(L_3)| = \frac{1}{L_1} = \frac{1}{51.285} = 0.020$$

C.4.7 合成标准不确定度的计算

由公式 (C.27) 可得:

$$\begin{aligned}
 u_c(\Delta R_3) &= \sqrt{C^2(\Delta R_3)u_1^2(\Delta R_3) + C^2(R)u^2(R) + C^2(L_1)u^2(L_1) + C^2(L_3)u^2(L_3)} \\
 &= \sqrt{0.005^2 + 0.029^2 + 0.0001^2 + 0.0003^2} \\
 &= 0.029 \text{ 圈}
 \end{aligned}$$

C.4.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$, 循环圈数示值误差测量结果扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\Delta R_3) = 2 \times 0.029 = 0.058 \text{ 圈} \approx 0.06 \text{ 圈}$$

C.4.9 测量结果不确定度报告与表示

循环圈数示值误差测量结果扩展不确定度为:

$$U = 0.06 \text{ 圈} \quad k = 2$$