

# 数显外径千分尺对于塞尺厚度测量结果的不确定度分析

周丽飞

(上汽通用五菱汽车股份有限公司青岛分公司 山东 青岛 266550)

摘要: 依据 JJG 62-2017《塞尺检定规程》以标称值为 0.075mm、0.295mm、0.8mm 的塞尺为例, 选用 0 ~ 25mm 数显外径千分尺测量并进行不确定度分析, 判断测量方法的适宜性。

关键词: 塞尺; 数显外径千分尺; 不确定度

## 0 引言

塞尺是测量间隙的常用量具, 需根据使用情况定期进行检定。JJG 62-2017《塞尺检定规程》推荐使用测长仪进行塞尺厚度检定, 测长仪操作复杂耗时较长, 数显外径千分尺操作更加便捷, 那么可以用数显外径千分尺进行塞尺厚度检定吗? 下面使用数显外径千分尺测量标称值为 0.075mm、0.295mm、0.8mm 的塞尺进行不确定度分析, 判断其适宜性。

### 1 测量结果的不确定度分析

#### 1.1 测量方法

环境条件: 20±8℃;

测量器具: 0 ~ 25mm 数显外径千分尺 (下文简称: 千分尺);

被测塞尺规格: 0.075mm, 0.295mm, 0.8mm;

测量方法: 直接测量。

#### 1.2 建立数学模型

依据 JJG 62-2017《塞尺检定规程》的测量方法, 参考温度为 20℃ 时被测塞尺的厚度 L

$$L = Li + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4$$

式中:  $Li$  ——塞尺厚度测量第  $i$  点的读数, mm;

$\delta_1$  ——测长仪示值误差的影响;

$\delta_2$  ——测力造成的压陷变形对测量结果的影响;

$\delta_3$  ——千分尺测帽的平面度对测量结果的影响;

$\delta_4$  ——塞尺厚度不均匀对测量结果的影响;

#### 1.3 不确定度分量的评定

1.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 A 类评定

对被测塞尺进行 10 次重复性测量, 根据贝塞尔公式计算得标准偏差

$$S_p(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

表 1 塞尺重复 10 次测量结果

塞尺	测量结果 (mm)										标准差 (μm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.075mm	0.075	0.075	0.076	0.076	0.075	0.076	0.075	0.076	0.075	0.075	0.52
0.295mm	0.294	0.294	0.295	0.295	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294	0.294	0.42
0.8mm	0.797	0.797	0.796	0.797	0.796	0.797	0.797	0.796	0.797	0.797	0.48

千分尺分辨力为 0.001mm, 则分辨力引入的标准不确定度  $u_{RA} = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.29\mu\text{m}$

取两者中较大者, 则

0.075mm 塞尺:  $u_1 = 0.52\mu\text{m}$

0.295mm 塞尺:  $u_1 = 0.42\mu\text{m}$

0.8mm 塞尺:  $u_1 = 0.48\mu\text{m}$

1.3.2 数显外径千分尺示值误差引入的标准不确定度分量 B 类评定

数显外径千分尺示值误差 ±2 μm, 直接测量, 假定为矩形分布, 包含因子为, 则

$$u_2 = 2\mu\text{m}/\sqrt{3} = 1.16\mu\text{m}$$

1.3.3 测力造成的压陷变形引入的标准不确定度分量 B 类评定

测量时, 按 JJG 62-2017《塞尺检定规程》测量方法, 选用球形测帽和平面测帽进行测量。平面测帽与塞片接触为平面对平面, 变形量可忽略; 球形测帽与塞尺接触, 变形量计算公式:

$$f = K_1 \sqrt{\frac{p^2}{d}}$$

式中:

$f$  ——变形量, μm;

$k$  ——测量力, N;

$p$  ——球形测量头直径, mm;

$d_1$  ——不同情况下的材料系数。

数显外径千分尺球形测帽直径为 5mm, 测量力为 5N, 塞尺和测帽材料都是钢, 则  $\mu = 0.415$ , 按反正弦分布估算, 包含因子为  $\sqrt{2}$ , 则:

$$u_3 = f/\sqrt{2} = K_1 \sqrt{\frac{p^2}{d}} / \sqrt{2} = 0.415 \times \sqrt{\frac{5^2}{5}} / \sqrt{2} = 0.50\mu\text{m}$$

1.3.4 数显外径千分尺测帽平面度引入的标准不确定度分量 B 类评定

数显外径千分尺平面测帽平面度不大于 0.3 μm, 与塞尺平面对平面接触, 按反正弦分布保守估算, 包含因子为  $\sqrt{2}$ , 则

$$u_4 = 0.3\mu\text{m} / \sqrt{2} = 0.22\mu\text{m}$$

1.3.5 测量位置偏离引入的标准不

确定度分量 B 类评定

塞尺厚度不均匀值一般不超过 2 μm，服从矩形分布，包含因子为  $\sqrt{3}$ ，则

$$u_5 = 2\mu\text{m} / \sqrt{3} = 1.16\mu\text{m}$$

表 2 不确定度汇总

符号	不确定度分量名称	类型	0.075mm 塞尺不确定度分量 $u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )	0.295mm 塞尺不确定度分量 $u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )	0.8mm 塞尺不确定度分量 $u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )
$\mu_1$	重复性 / 分辨力	A 类	0.52	0.42	0.48
$\mu_2$	数显外径千分尺示值误差	B 类	1.16	1.16	1.16
$\mu_3$	测力造成的压陷变形	B 类	0.50	0.50	0.50
$\mu_4$	数显外径千分尺测帽平面度	B 类	0.22	0.22	0.22
$\mu_5$	测量位置偏离	B 类	1.16	1.16	1.16
合成标准不确定度			1.81	1.78	1.80
扩展不确定度 $U$ ( $k=2$ )			3.62	3.56	3.60

1.4 合成标准不确定度和扩展不确定度

根据以上分析，各不确定度分量不相关，合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2}$$

代入表 2 中的数值后，得

$$0.075\text{mm 塞尺: } u_c = \sqrt{0.52^2 + 1.16^2 + 0.50^2 + 0.22^2 + 1.16^2} = 1.81 \mu\text{m}$$

$$0.295\text{mm 塞尺: } u_c = \sqrt{0.42^2 + 1.16^2 + 0.50^2 + 0.22^2 + 1.16^2} = 1.78 \mu\text{m}$$

$$0.8\text{mm 塞尺: } u_c = \sqrt{0.48^2 + 1.16^2 + 0.50^2 + 0.22^2 + 1.16^2} = 1.80 \mu\text{m}$$

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$0.075\text{mm 塞尺: } U = u_c \times k = 3.62 \mu\text{m} \approx 3.7 \mu\text{m}$$

$$0.295\text{mm 塞尺: } U = u_c \times k = 3.56 \mu\text{m} \approx 3.6 \mu\text{m}$$

$$0.8\text{mm 塞尺: } U = u_c \times k = 3.6 \mu\text{m}$$

2 结语

标称值 0.075mm 塞尺的最大极限偏差为  $\pm 0.005\text{mm}$ ， $U=3.7 > 0.005\text{mm} \mu\text{m}/3$ ，此测量方法不可行；

标称值 0.295mm 塞尺的最大极限偏差为  $\pm 0.008\text{mm}$ ， $U=3.6 > 0.008\text{mm} \mu\text{m}/3$ ，此测量方法不可行；

标称值 0.8mm 塞尺的最大极限偏差为  $\pm 0.016\text{mm}$ ， $U=3.6 \leq 0.016\text{mm} \mu\text{m}/3$ ，此测量方法可行。

综上所述，数显外径千分尺不适用于所有规格的塞尺检定。对于高精度塞尺需

要用测长仪或其他高精度的测量设备进行测量；对于精度相对较低的塞尺，当测量结果的不确定度满足  $U \leq \text{MPEV}/3$  时可根据实际操作的便捷性和测量的适宜性选用数显外径千分尺进行测量。

参考文献：

[1] JJG 62-1995, 塞尺检定规程 [S].

[2] 倪育才. 实用测量不确定度评定 [M]. 北京：中国质检出版社，2014.

更正

本刊 2021 年 4 月下旬刊（2021 年第 12 期，总第 533 期）“先进材料技术”栏目中，“硅橡胶在复合材料薄壁和表面包裹制品成型中的应用分析”一文中有三处涉及“真空度”的描述均改为“真空度  $\leq -0.85\text{MPa}$ ”，降温型腔温度由“ $\geq 60^\circ\text{C}$ ”改为“ $\leq 60^\circ\text{C}$ ”。

文章作者本着严谨的科研态度，为了避免文章观点存在严重技术问题，作者对此更正做如下分析解释：

(1) 真空度，一般以负数表示，表示真空实际气压力同大气压得差值，也称相对增空度。其数值越小，大气对被抽真空的物体表面施加的压力就越大。如不更改，物体表面压力就达不到文章中要求的“压力： $\geq 0.85\text{MPa}$ ”，会严重影响零件表面质量；

(2) 降温型腔温度通常以低于或等于一个温度值，一般低一些好。如不更改，保持“降温型腔温度  $\geq 60^\circ\text{C}$ ”，则不降温都可以，逻辑上不通，实际中高于指定温度的零件其容易变形。

《中国机械》编辑部