

1 塑料材料抗拉强度测量不确定度评定

1. 试验依据

GB/T 1040.1-2006《塑料 拉伸性能的测定 第1部分：总则》

GB/T 1040.2-2006《模塑和挤塑塑料的试验条件》

试验采用 SANS 型万能材料试验机，以 50mm/s 速率加荷直至将试样拉伸至断裂。试样拉断时的最大力所对应的应力即为塑料材料的抗拉强度。

2. 塑料抗拉强度测量的影响因素

根据钢材抗拉强度的计算公式为：

$$\sigma = F/S \quad (1)$$

式中： σ —抗拉强度，单位 MPa (N/mm²)；

F —拉力，单位 N；

S —材料的横截面积，单位 mm²。

对于塑料抗拉强度检测，只要温度在室温（21~25℃）附近变化不大，温度对试验结果的影响就可以忽略不计；另外，只要加荷速率控制在规范允许范围内，加荷速率的影响也可以忽略不计。能够对试验测试结果产生影响的因素主要有：重复测试（同一批试件在相同试验条件下重复测量结果的差异性）、试件截面积变化、荷载测量的精度以及测量结果的数据修约。上述影响因素中，试件材质非均匀性直接表现在测量结果的数据变化上，属于 A 类不确定度评定；其余影响因素都是由于影响量的误差而导致试验测试量的偏差，均属 B 类不确定度评定。塑料材料抗拉强度测量不确定度影响因素汇总于表 1 中。

表 1 影响塑料材料抗拉强度测量准确性的主要因素

序号	影 响 因 素	代号	单位	不确定度类型
1	重复测试	R	—	A 类
2	试件尺寸偏差	D	mm ²	B 类
3	荷载测量偏差	Q	N	
4	强度测量值数据修约	δ	N	

3. 标准不确定度评定

3.1 样品不均匀性引起的标准不确定度 u_R

从同一种塑料制样中选取 10 个试件的抗拉强度 σ 的测试结果如表 2 所示。

表 2 同一根钢材的不同试件抗拉强度 σ 测试结果（单位：MPa）

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
σ	27.23	27.39	28.04	28.11	27.81	28.26	28.16	28.38	28.36	28.38	28.012

根据这 10 个测试数据进行材料抗拉强度测量不确定度的评定，属于 A 类不确定度评定，相应的测量不确定度称为重复测量不确定度 u_R ，可采用贝塞尔法按（2）式进行评定：

$$u_R = \sqrt{\frac{1}{m(n-1)} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2} \quad (2)$$

式中： m 表示测试的组数在这里我们取 1； n 为重复测量次数， σ_i 为第 i 次测量的材料强度测量值， $\bar{\sigma}$ 为同一材料的试件强度各次测量结果的平均值。按式（2）计算，重复测量导致的试件抗拉强度测量标准不确定度为：

$$u_R = 0.411 \text{ (MPa)} \quad (3)$$

3.2 试件尺寸导致的测量标准不确定度 u_d

试件横截面积的偏差为 $\pm 1.06 \text{ mm}^2$ 。由于试件横截面积偏差导致的试件抗拉强度测量不确定度属 B 类不确定度。

对于偏差为 $\pm a$ 的影响量 x 的不确定度 $u(x)$ ，可按式（4）进行评定：

$$u(x) = \frac{a}{k} \quad (4)$$

直径尺寸出现在区间 $d \pm 1.06 \text{ mm}^2$ ($a=1.06\text{mm}$) 内各点的概率相等，即直径误差分布为均匀分布，所以其包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。根据

式（4），试件直径 d 的测量不确定度 $u(d)$ 为：

$$u(d) = \frac{a}{k} = \frac{1.06}{\sqrt{3}} = 0.612 \text{ (mm}^2\text{)} \quad (5)$$

试件抗拉强度 σ 对试件尺寸 d 的灵敏系数 $c_d = \frac{\partial \sigma}{\partial d}$ 可以通过对式（1）求偏导数得到：

$$c_d = \left| \frac{\partial \sigma}{\partial S} \right| = \left| -\frac{F}{S^2} \right| = \frac{F}{S^2} \text{ (MPa/mm}^2\text{)} \quad (6)$$

取 $\sigma = \bar{\sigma}$ ， d 取标称尺寸，代入上式中得：

$$c_d = 0.7003 \text{ (MPa/mm}^2\text{)} \quad (7)$$

由试件直径偏差引起的试件抗拉强度测量标准不确定度 u_d 为：

$$u_d = c_d \cdot u(d) = 0.7003 \times 0.612 = 0.428 \text{ (MPa)} \quad (8)$$

3.3 试验机拉力误差引起的试件抗拉强度测量标准不确定度 u_F

根据仪器检定结果，SANS 万能试验机力值测定的最大示值误差为 $\pm 1\%FS$ （满量程）。在本次试验的 10 个试件中，测量得到的最大抗拉强度 $\sigma_{\max} = 28.36\text{MPa}$ ，将 $\sigma_{\max}$ 和试件标准横截面积 $S=40 \text{ mm}^2$ 代入式（1）得到本次试验的试验机最大出力量值 $F_{\max} = 1134.4 \text{ N}$ ，从而试验力的不准确度为：

$$a = 1\% \cdot F_{\max} = 11.34 \text{ (N)}$$

将 $a = 11.34 \text{ N}$ ， $k = \sqrt{3}$ （均匀分布）代入式（4）得到试验力的测量标准不确定度 $u(F)$ 为：

$$u(F) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{11.34}{\sqrt{3}} = 6.547 \text{ (N)} \quad (9)$$

试件抗拉强度 σ 对试验力 F 的灵敏系数 $c_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F}$ 可以通过对式（1）求偏导数得到：

$$c_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F} = \frac{1}{S} \text{ (mm}^{-2}\text{)} \quad (10)$$

将试件横截面积代入上式得： $c_F = 0.025 \text{ (mm}^{-2}\text{)}$ 。从而，由试验力偏差引入的试件抗拉强度测量标准不确定度 u_F 为：

$$u_F = c_F \cdot u(F) = 0.025 \times 6.547 = 0.164 \text{ (MPa)} \quad (11)$$

3.4 数值修约的标准不确定度 $u_{\delta\sigma}$

根据塑料抗拉强度修约规则，其修约间隔为 $\delta\sigma = 0.1\text{MPa}$ 。对试件抗拉强度测量数据进行修约引起的抗拉强度测量标准不确定度 $u_{\delta\sigma}$ 为：

$$u_{\delta\sigma} = \frac{\delta\sigma}{2\sqrt{3}} = 0.29\delta\sigma = 0.29 \times 0.1 = 0.029(\text{MPa}) \tag{12}$$

4. 不确定度分量汇总

以上对重复测量、试件直径偏差、试验力偏差和数据修约四种因素引起的钢材试件抗拉强度测量不确定度分量进行了分析评定，各个因素导致的钢材试件抗拉强度测量不确定度分量汇总于表 3 中。

表 3 金属材料试件抗拉强度测量不确定度分量汇总表（单位：MPa）

u_R	u_d	u_F	$u_{\delta\sigma}$
0.411（Mpa）	0.428（Mpa）	0.164（Mpa）	0.029（Mpa）

5. 合成标准不确定度 u_c

由于上述四个不确定度分量 u_R 、 u_d 、 u_F 、 $u_{\delta\sigma}$ 彼此独立，所以可按式（13）计算塑料材料抗拉强度测量合成标准不确定度 u_c ：

$$u_c = \sqrt{u_R^2 + u_d^2 + u_F^2 + u_{\delta\sigma}^2} \tag{13}$$

把表 3 中所列的各个不确定度分量代入式（13），得到：

$$u_c = 0.693(\text{MPa}) \tag{14}$$

6. 扩展不确定度 U

扩展不确定度 U 与合成不确定度 u_c 之间的关系为：

$$U = k \cdot u_c \tag{15}$$

式中： k 为包含因子， k 值与被测量 y 的分布有关，一般取 2~3，在大多数情况下取 $k=2$ ，当取其他值时应说明其来源。取 $k=2$ ，把式（14）代入式（15），最后得到塑料材料抗拉强度测量扩展不确定度为：

$$U = 1.4(\text{MPa}) \quad \text{相对不确定度} \quad U/\sigma = \frac{U}{\sigma} = \frac{1.39}{28.012} \times 100\% = 5.0\% \tag{16}$$