

标准与检测

硫化橡胶拉伸强度测量值的不确定度

苍飞飞,李 静

(北京橡胶工业研究设计院,北京 100143)

摘要:不确定度表征合理地赋予被测量之值的分散性,是与测量结果相联系的参数。针对硫化橡胶拉伸强度测试了不确定度。测量不确定度主要来源于力、宽度和厚度测量值这3个影响量。

关键词:不确定度;拉伸强度;不可靠程度;硫化橡胶;误差

测量不确定度表征合理地赋予被测量之值的分散性,是与测量结果相联系的参数。测量不确定度从词义上理解,意味着对测量结果可信性、有效性的怀疑程度或不肯定程度,是定量说明测量结果质量的一个参数。实际上由于测量技术不完善以及人们的认知不足,所得的被测量值具有分散性,即每次测得的结果不是同一值,而是以一定的概率分散在某个区域内的许多个值。虽然客观存在的系统误差是一个不变值,但由于我们不能完全认知或掌握,只能认为它是以某种概率分布于某个区域内,而这种概率分布本身也具有分散性。测量不确定度就是说明被测量之值分散性的参数,它不说明测量结果是否接近真值。

橡胶物理试验测试结果的可信度有多大,可以用不确定度的方法来确定。因此应该针对检测范围边缘的试验,采用不确定度法来验证其范围数据的可靠性,可以使客户更加深入地了解产品的性能。下面以硫化胶的拉伸强度为例,计算一个样品性能测量值的不确定度。

1 计算公式

拉伸强度计算公式为:

$$T_s = \frac{F}{W \cdot t} \quad (1)$$

式中 T_s ——拉伸强度,MPa;

F ——拉力的最大值,N;

W ——裁刀狭小平行部分宽度,mm;

t ——试验长度部分的厚度,mm。

2 试验设备及器具

T2000E 拉力试验机,测量范围0~500 N;游标卡尺,测量范围0~150 mm;厚度计,测量范围0~10 mm。

3 测量

为评定测量不确定度,本次试验由2名试验人员对同一样品各进行9次平行试验,测试结果见表1。

4 不确定度来源分析

测量不确定度主要来源于力、宽度和厚度测量值这3个影响量。测量力时不确定度主要来源于拉力试验机的示值误差、试验机校准的不确定度、试验力取舍误差、断裂时间、试验机夹具间的距离、样品装夹的同轴度、样品的不均匀性及人员操作误差等;厚度的测量不确定度主要来源于厚度计校准不确定度和读数误差;宽度的测量不确定度主要来源于游标卡尺的不确定度和人员操作误差等。

表 1 拉伸强度测量结果

序 号	F/N	t/mm	T_s/MPa	$V_K=F_K-\bar{F}$	V_K^2
第 1 组					
1	328.68	2.00	27.39	-12.09	146.1681
2	341.54	2.02	28.18	0.77	0.5929
3	329.90	1.99	27.63	-10.87	118.1569
4	334.18	2.01	27.71	-6.59	43.4281
5	338.29	1.97	28.62	-2.48	6.1504
6	355.69	2.04	29.06	14.92	222.6064
7	363.91	2.07	29.30	23.14	535.4596
8	316.20	2.00	26.35	-24.57	603.6849
9	358.55	2.08	28.73	17.78	316.1284
	$\bar{F}_1=340.77$	$\bar{t}_1=2.02$	$\bar{T}_{s1}=28.11$	$\sum V_K^2=1992.3757$	
第 2 组					
1	336.23	2.04	27.47	-5.39	29.0521
2	346.02	2.04	28.27	4.40	19.3600
3	354.93	2.08	28.44	13.31	177.1561
4	334.44	1.99	28.01	-7.18	51.5524
5	345.42	2.03	28.36	3.80	14.4400
6	320.52	1.98	26.98	-21.10	445.2100
7	350.30	2.05	28.48	8.68	75.3424
8	335.19	2.03	27.52	-6.43	41.3449
9	351.53	2.05	28.58	9.91	98.2081
	$\bar{F}_2=341.62$	$\bar{t}_2=2.03$	$\bar{T}_{s2}=28.01$	$\sum V_K^2=951.6660$	

注: $W = 6.00\text{ mm}$ 。

5 不确定度分量评定

5.1 不确定度传播律 $u_{rel}^2|R|$

测量不确定度传播律为:

$$u_{rel}^2|R| = P_1^2 u_{rel}^2|F_m| + P_2^2 u_{rel}^2|W| + P_3^2 u_{rel}^2|t| \tag{2}$$

5.2 拉力 F_m 的测量不确定度 $u_{rel}|F|$

5.2.1 试验机的示值误差引入的测量不确定度 $u_{1rel}|F|$ (B 类评定)

试验机的示值误差 a 为 1%,按均匀分布,因子 $k = \sqrt{3}$ 。

$$u_{1rel}|F| = a/k = 1\%/\sqrt{3} = 0.58\%$$

不可靠程度为 0,则自由度 $v_{F_1} = \infty$

5.2.2 试验机校准的不确定度 $u_{2rel}|F|$ (B 类评定)

试验机的不确定度取 0.5% (校准证书没有

给出不确定度,0.5%根据经验给出),且取 $k = 2$,则 $u_{2rel}|F| = 0.5\%/k = 0.5\%/2 = 0.25\%$

不可靠程度可估计为 10%,自由度为 $v_{F_2} = 50$ 。

5.2.3 试验力取舍误差的不确定度 $u_{3rel}|F|$ (B 类评定)

所用试验机的试验力,试验记录只记录到小数点后 2 位,对小数点后第 3 位的数值,采用四舍六入五成双,按均匀分布,取 $k = \sqrt{3}$,则

$$u_3|F| = a/k = 0.005/\sqrt{3} = 0.003\text{ N}$$

$$u_{3rel}|F| = u_3|F|/\bar{F} = 0.0010\%$$

不可靠程度为 0,则自由度 $v_{F_3} = \infty$

5.2.4 重复性的影响 $u_{4rel}|F|$ (A 类评定)

重复性的影响是通过多次独立重复测量来评定的,包括断裂时间、试验机夹具间的距离、样品装夹的同轴度、样品的不均匀性及人员的操作误

差等因素。本试验中重复次数 $n=9$, 组别 $m=2$ 。

2 个样本合并的标准偏差:

$$S_P | F | = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n |F_{jk} - \bar{F}|^2}{m(n-1)}} = 13.57 \text{ N}$$

平均值的标准偏差:

$$S_P | \bar{F} | = \frac{S_P | F |}{\sqrt{mn}} = 3.20 \text{ N}$$

平均值的标准不确定度:

$$u_4(\bar{F}) = S_P | \bar{F} | = 3.20 \text{ N}$$

$$u_{4\text{rel}} | \bar{F} | = u_4 | \bar{F} | / \bar{F} = 3.20 / 341.20 = 0.94\%$$

$$\text{自由度: } v_{F_4} = m(n-1) = 2 \times (9-1) = 16$$

5.2.5 拉力 F 的测量不确定度 $u_{\text{rel}} | F |$

以上 4 个分量合成:

$$u_{\text{rel}} | F | = \sqrt{0.58\%^2 + 0.25\%^2 + 0.0010\%^2 + 0.94\%^2} = 1.13\%$$

自由度:

$$v_F = \frac{u_r^4 | F |}{\sum \frac{P_i^4 u_v^4 | F |}{v_i f}} = \frac{1.13^4}{\frac{0.58^4}{\infty} + \frac{0.25^4}{50} + \frac{0.0010^4}{\infty} + \frac{0.94^4}{\infty}} = 33$$

5.3 宽度 W 的测量不确定度 $u_{\text{rel}} | W |$

5.3.1 游标卡尺示值误差导致的不确定度 $u_1 | W |$

游标卡尺的示值误差为 $\pm 0.005 \text{ mm}$, 以均匀分布估计 $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_1 | W | = 0.005 / \sqrt{3} = 0.003 \text{ mm}$$

$$u_{1\text{rel}} | W | = u_1 | W | / \bar{W} = 0.003 / 6.00 = 0.05\%$$

不可靠程度为 0, 则自由度 $v_{w1} = \infty$

5.3.2 读数误差引起的不确定度 $u_2 | W |$

测量时, 一般估读至 0.005 mm (最小分度值为 0.01 mm), 以均匀分布估计 $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_2 | W | = 0.005 / \sqrt{3} = 0.003 \text{ mm}$$

$$u_{2\text{rel}} | W | = u_2 | W | / \bar{W} = 0.003 / 6.00 = 0.05\%$$

不可靠程度可估计为 10%, 自由度 $v_{w2} = 50$

5.3.3 W 的测量不确定度 $u_{\text{rel}} | W |$

$u_1 | W |$ 和 $u_2 | W |$ 两者合成:

$$u_{\text{rel}} | W | = \sqrt{0.05\%^2 + 0.05\%^2} = 0.07\%$$

自由度:

$$v_W = \frac{u_r^4 | W |}{\sum \frac{P_i^4 u_v^4 | W |}{v_i f}} = \frac{0.07^4}{\frac{0.05^4}{50} + \frac{0.05^4}{\infty}} = 192$$

5.4 厚度 t 的测量不确定度 $u_{\text{rel}} | t |$

5.4.1 测厚计的示值误差导致的不确定度 $u_1 | t |$

测厚计示值误差为 $\pm 0.01 \text{ mm}$, 以均匀分布估计 $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_1 | t | = 0.01 / \sqrt{3} = 0.006 \text{ mm}$$

$$u_{1\text{rel}} | t | = u_1 | t | / \bar{t} = 0.006 / 2.00 = 0.3\%$$

不可靠程度为 0, 则自由度 $v_{t1} = \infty$

5.4.2 读数误差引起的不确定度 $u_2 | t |$

测量时, 一般估读至 0.005 mm (最小分度值为 0.01 mm), 以均匀分布估计 $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_2 | t | = 0.005 / \sqrt{3} = 0.003 \text{ mm}$$

$$u_{2\text{rel}} | t | = u_2 | t | / \bar{t} = 0.003 / 2.02 = 0.15\%$$

不可靠程度可估计为 10%, 自由度 $v_{w2} = 50$

5.4.3 厚度的测量不确定度 $u_{\text{rel}} | t |$

以上两者合成:

$$u_{\text{rel}} | t | = \sqrt{0.3\%^2 + 0.15\%^2} = 0.34\%$$

自由度:

$$v_t = \frac{u_r^4 | t |}{\sum \frac{P_i^4 u_v^4 | t |}{v_i f}} = \frac{0.34^4}{\frac{0.15^4}{50} + \frac{0.3^4}{\infty}} = 1320$$

6 合成标准不确定度 $u_{\text{rel}} | R |$

根据(2)式, 由于 $P_1 = P_2 = P_3$, 则合成标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}} | R | = \sqrt{1.13\%^2 + 0.07\%^2 + 0.34\%^2} = 1.2\%$$

7 扩展不确定度的评定

7.1 合成标准不确定度的有效自由度 v_{eff}

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_{\text{rel}}^4}{\frac{P_1^4 u_{\text{rel}}^4 | F |}{v_F} + \frac{P_2^4 u_{\text{rel}}^4 | W |}{v_W} + \frac{P_3^4 u_{\text{rel}}^4 | t |}{v_t}} = \frac{1.2^4}{\frac{1^4 \times 1.13^4}{33} + \frac{1^4 \times 0.07^4}{192} + \frac{1^4 \times 0.34^4}{1320}} = 42$$

7.2 包含因子

在上面的各分量中,重复性及试验机的校准不确定度为 t 分布,其它为均匀分布, t 分布占优,测量结果接近于 t 分布,置信概率设为 95%,则

$$K_{95} = t_{95}(v_{\text{eff}}) = t_{95}(42) = 2.02 \approx 2$$

7.3 扩展不确定度的标准评定

$$U_{95} = K_{95} U_{\text{crel}} = 2 \times 1.2\% = 2.4\%$$

$$U = \overline{T_s} \cdot U_{95} = 28.06 \times 2.4\% = 0.7 \text{ MPa}$$

8 结语

通过以上试验和计算,可以得到拉伸强度测量值的不确定度,确定测量值的可靠性,有利于准确掌握试验结果。

山东轮胎出口逆势大幅增长

2010 年以来,在美国轮胎“特保案”、全球金融危机影响短时期内难以消除的背景下,山东轮胎企业通过调整市场结构和产品结构等方法,主要产区的轮胎出口均实现了大幅增长。其中,青岛地区上半年出口轮胎总货值首次突破 2 亿美元大关,同比大幅增长 78.31%;另一轮胎产业集聚区广饶县上半年实现轮胎出口额 5.31 亿美元,增长 53.3%;2010 年前 5 个月,玲珑集团轮胎出口创汇总额比上年同比增长 57%。

从青岛地区轮胎出口的情况来看,企业经营方式日益呈现多元化,已从过去主要依赖美国市场逐步转变为以欧美市场为主,拉美、非洲和东南亚市场并重的格局。上半年对欧盟的轮胎出口额达 6000 多万美元,占总出口额的 27.41%,超过对美国 5200 余万美元的出口额。同时,企业产品结构调整效果初现端倪。以前以出口斜交轮胎等低端产品为主,2010 年上半年斜交轮胎出口货值占总量不足 10%,而科技含量高、附加值高的高性能低断面轮胎及 SUV 越野轮胎占总量的 40% 以上。

从广饶县反馈的情况看,该县轮胎出口目的地目前已拓展到欧盟、澳洲、加拿大、中东等 100 多个国家和地区,对美出口只占出口总额的 10% 左右。据统计,广饶全县上半年实现轮胎出口额 5.31 亿美元,增长 53.3%,占全县出口总额的 88.6%。永泰集团在调整内外销结构的同时,通过与其在美经销商协商,将提高的成本中的 10% 转给当地消费者,其余部分通过节能降耗等方式内部消化。永泰集团的产品主要面对中高端市场,它是目前国内 3 家可以生产 F1 赛车专用轮胎的企业之一。经过一系列努力,永泰集团目前已基本摆脱“特保案”的影响。

作为世界轮胎 20 强企业,玲珑集团则凭借强大的研发实力,通过增大高技术轮胎比重和品牌轮胎比重,牢牢守住了欧美市场。2010 年前 5 个月,该企业高新技术产品出口同比增长 30%,再创历史新高。值得一提的是,受国际原材料价格上涨等因素影响,玲珑集团虽然在 4 月和 5 月分 2 次对品牌轮胎提价,但品牌轮胎销量不减反增。

阿 枫

玲珑集团成功开发 16.00R20 22PR 重型载重汽车轮胎

玲珑集团特胎设计室根据国内外市场情况,新近开发出 16.00R20 22PR 重型载重汽车轮胎,该规格轮胎主要适用于长期在高速路面上行驶的长途载重汽车轮胎。设计者依据国家标准及使用条件和市场要求,利用有限元分析和 CAD 辅助设计手段对轮胎轮廓及花纹进行了精心设计和优

化。采用独特的胎面胶配方设计,大大提高了轮胎的耐磨性能、抗刺扎性能和牵引性能;花纹采用国内外较流行的块状花纹结构,美观大方;特殊的肩部使轮胎更加强壮,赋予轮胎较大的支撑力和较好的转向性能。该轮胎还具有有良好的抗切割和牵引性能。

刘纯宝