

割口对胶料撕裂性能测定结果的影响

张继川,李 翔,薛兆弘,严瑞芳

(中国科学院化学研究所,北京 100080)

摘要:考察新月形和哑铃形试样及条形试样割口深度对胶料撕裂性能测试结果的影响。试验表明,新月形试样及条形试样小割口阶段(1 mm),胶料撕裂强度测定结果由大到小的顺序为 NR,SBR,BR;哑铃形试样及条形试样中割口阶段(2~5 mm),胶料撕裂强度测定结果由大到小的顺序为 NR,BR,SBR;条形试样大割口阶段(6~9 mm),胶料撕裂强度测定结果由大到小的顺序为 BR,SBR,NR。

关键词:撕裂性能;新月形试样;哑铃形试样;割口深度

中图分类号:TQ330.7⁺3 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-890X(2004)09-0563-04

撕裂强度是胶料的一项重要物理性能,与轮胎配方设计及行驶安全性有直接联系。然而,不同测试方法所得胶料撕裂强度测定结果差异极大。本工作研究了新月形试样(小割口)和哑铃形试样(大割口)以及条形试样割口深度对胶料撕裂性能测定结果的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

NR,二级烟胶片,印度尼西亚产品;SBR,牌号 1500,中国石化齐鲁石化股份有限公司橡胶厂产品;BR,牌号 9000,中国石化北京燕山石油化工集团股份有限公司合成橡胶厂产品。

1.2 试验配方

生胶 100,硬脂酸 4,氧化锌 5,防老剂 4010NA 1.5,炭黑 N220 50,硫黄 2.5,促进剂 CZ 1。配方 1,2 和 3 的生胶分别为 BR,SBR 和 NR。

1.3 试验设备与仪器

XLW-200 型拉伸试验机,广州试验机械厂产品;Y43-10 型压延机,合肥压力机械厂产品;X(S)K 型开炼机,四川亚西机器厂产品。

1.4 试验条件

模压 ≥ 3.5 MPa,硫化温度 150 $^{\circ}\text{C}$,硫化时间 30 min;试验温度 20~30 $^{\circ}\text{C}$,撕裂速率

100 mm $\cdot$ s⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 试样类型的影响

新月形试样撕裂强度测试按 GB/T 529—1999 进行,试样结构如图 1 所示。新月形试样的割口深度仅为 1 mm,加上刀具的偏差,有时还不到 1 mm,因此误差较大。

哑铃形试样结构如图 2 所示。哑铃形试样的割口深度占受试部分的 1/2(新月形试样仅占 1/10),撕裂过程更明显、直观。

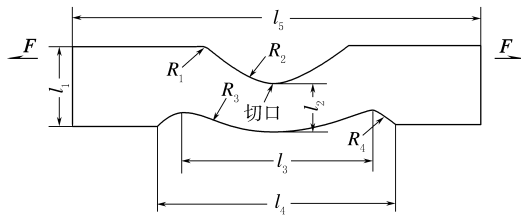


图 1 新月形试样尺寸及负载方向

试样尺寸(mm): R_1 9 $\pm$ 0.2, R_2 12.5 $\pm$ 0.1, R_3 13 $\pm$ 0.2, R_4 7.5 $\pm$ 0.5, l_1 25 $\pm$ 0.5, l_2 10.5 $\pm$ 0.05, l_3 45 $\pm$ 0.2, l_4 68 $\pm$ 1.5, l_5 110(最小值)。割口深度为 1 mm。

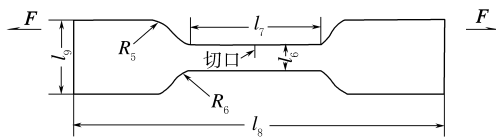


图 2 哑铃形试样尺寸及负载方向

试样尺寸(mm): R_5 12.5 $\pm$ 1, R_6 8.0 $\pm$ 0.5, l_6 4.0 $\pm$ 0.1, l_7 25 $\pm$ 1, l_8 75, l_9 12.5 $\pm$ 1.0。割口深度为 2 mm。

作者简介:张继川(1975-),男,宁夏石嘴山人,中国科学院化学研究所在读博士研究生,主要从事杜仲橡胶方面的研究工作。

条形试样结构如图 3 所示。其割口从 1 至 9 mm 依次增大,以考察割口深度对胶料撕裂性能测试结果的影响。

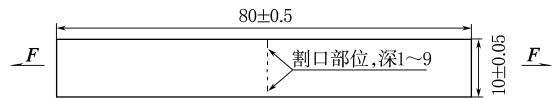


图 3 条形试样的尺寸及负载方向

新月形和哑铃形试样所测胶料的撕裂强度示于表 1。新月形试样测试结果表明,NR 胶料抗撕裂性能最好,BR 胶料最差,SBR 胶料介于二者之间,这与 Warhurst D M 等^[1]的试验结果一致。哑铃形试样由于增大了割口深度,撕裂强度测定结果均大幅下降,且规律不同,NR 胶料抗撕裂性能仍是最好,而 BR 胶料的撕裂强度超过了 SBR 胶料。这说明试样类型对胶料的撕裂强度测试结果影响很大。仅用撕裂强度不能完全体现胶料在撕裂过程中的特性,因此引入 3 个新物理量,共同表征材料的撕裂性能。

表 1 新月形及哑铃形试样的
撕裂强度测试结果 $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$

试样结构	配方 1	配方 2	配方 3
新月形	49.4	61.74	117.23
哑铃形	14.87	11.48	26.66

(1)撕裂伸长率(H):试样拉伸至断裂时的长度与原长度的比值,体现了试样抵抗裂口变形及增长的能力。 H 越大,表明材料抗撕裂能力越强。其计算公式如下:

$$H = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L ——试样断裂时夹具间的距离;
 L_0 ——夹具间的原始距离。

(2)裂口延伸率(Z):试样出现新裂口直至断裂时的长度与原长度的比值,体现了试样抵抗新裂口增长的能力。这里有两个极限情况,一是开始拉伸时就有新裂口出现,此时 Z 与 H 相等;二是拉伸过程中一出现新表面就立即断裂,此时, Z 为零。 Z 越大,表明材料抵抗裂口增长的能力越强,即使出现新裂口也不容易被撕断。其计算公式如下:

$$Z = \frac{L - L_s}{L_s} \times 100\%$$

式中, L_s 为试样撕裂过程中有新裂口(出现新表面)时夹具间的距离。

延伸比(G):裂口延伸率与撕裂伸长率的比值,其数值介于 0 和 1 之间,用于判定材料是更耐撕还是抗裂口增长。 G 越大,表示对新裂口的抗撕裂性越好。其计算公式如下:

$$G = \frac{Z}{H} \times 100\%$$

哑铃形试样撕裂性能各表征量测试结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,NR 胶料的撕裂强度、撕裂伸长率和裂口延伸率最大,延伸比适中,综合抗撕裂性能最好,BR 胶料次之,SBR 胶料最差,这与新月形试样单一撕裂强度测定结果不同,表明 BR 及 SBR 胶料对撕裂试样的类型很敏感。

表 2 哑铃形试样撕裂性能测试结果

项 目	配方 1	配方 2	配方 3
撕裂强度/ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	14.87	11.48	26.66
撕裂伸长率/%	146	84	228
裂口延伸率/%	98.67	15.31	131
延伸比/%	67.58	18.23	57.46

2.2 割口深度的影响

条形试样割口深度对胶料撕裂性能测试结果的影响如表 3 所示。

由表 3 可以看出,各种胶料的撕裂强度基本上随试样割口深度的增大而下降,并存在一个临界尺寸,当割口深度超过此尺寸时,胶料的撕裂强度大幅下降。但割口深度对不同胶种撕裂强度的影响程度不同。NR 胶料撕裂强度随试样割口深度的增大衰减最快,由 $117.42 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 下降到 $6.13 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,说明 NR 胶料的撕裂强度对割口深度的变化非常敏感;SBR 试样在小割口阶段(1~4 mm)撕裂强度衰减较快,而在大割口阶段(5~9 mm)下降比较平缓。其撕裂强度从最大时的 $67.68 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 下降到 $13.91 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,表明 SBR 胶料的撕裂强度对于试样割口深度变化的反应比较迟钝,割口深度对其影响远小于 NR。随割口深度的增大,BR 胶料撕裂强度并不是单调下降,当割口深度较小时(1~3 mm),撕裂强度变化不大,约为 $68 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$;当割口深度继续增大时(4~5 mm),撕裂强度大幅下降,大约为 $32 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,此后撕裂强度随割口深度的进一步增

表 3 割口深度对胶料撕裂性能测试结果的影响

项 目	割口深度/mm								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)									
BR	64	75	67	39	24	48	33	36	22
SBR	67.68	45.03	29.98	25.24	21.66	18.79	19.98	14.36	13.91
NR	117.42	62.8	67.54	47.16	26.23	20.97	7.8	7.77	6.13
撕裂伸长率/%									
BR	357	468	453	264	171	345	275	374	197
SBR	272	182	162	130	117	94	105	90	89
NR	557	333	444	320	219	217	62	64	53
裂口延伸率/%									
BR	303	404	404	217	135	310	236	334	169
SBR	138	82	94	69	64	56	59	48	58
NR	449	269	376	220	173	171	27	31	22
延伸比/%									
BR	85	86	89	82	79	85	86	89	86
SBR	51	45	58	53	55	60	56	53	65
NR	78	81	85	69	79	79	44	49	42

大(6~9 mm)反而略有回升,约为 35 kN·m⁻¹,表明割口深度较大时对 BR 胶料的撕裂强度影响不大。

此外,当割口深度为 1 mm 时,NR 的撕裂强度最大,SBR 次之,BR 最小,趋势与新月形试样相似;当割口深度进一步增大时(2~5 mm),试样的撕裂强度 NR 最大,BR 次之,SBR 最小,趋势与哑铃形试样相似;割口深度再增大时,撕裂强度变化为 BR 最大,SBR 次之,NR 最小,这一结果与传统结论完全相反,充分表明割口深度对胶料的撕裂强度测试结果影响很大。

由表 3 的胶料撕裂伸长率和裂口延伸率随割口深度的变化情况可以看出,3 种胶料的撕裂伸长率和裂口延伸率的变化趋势均与撕裂强度类似,表明这两个量与撕裂强度密切相关。NR 胶料的撕裂伸长率和裂口延伸率减小较快,分别由 557%和 449%下降到 53%和 22%;SBR 胶料的撕裂伸长率和裂口延伸率减小较平缓,分别由 272%和 138%下降到 89%和 58%。再次表明 NR 胶料对割口深度变化非常敏感,大割口(7~9 mm)情况下几乎完全丧失了抗撕裂能力。BR 胶料的撕裂伸长率和裂口延伸率与撕裂强度类似,均在割口深度 5 mm 处降到最低点,6 mm 以后又增大,使其绝对值明显大于 NR 和 SBR 胶料。

由表 3 中各胶料延伸比随割口深度变化情况可见,随割口深度增大,BR 的延伸比变化不大,

几乎均在 80%~90%之间,高于 NR 和 SBR,说明在 BR 胶料的拉伸撕裂过程中出现新裂口后,对抗撕裂性能的影响不大,这也说明了大割口条件下 BR 胶料的撕裂性能优于 SBR 和 NR 胶料的原因。

2.3 理论分析

为了对上述结果有一个合理的解释,我们用图 4 所示试样的撕裂过程进行定量分析。在撕裂性能测定中,拉伸过程始终伴随于材料的撕裂过程,在小割口情况下,试样的拉伸强度掩盖了撕裂强度,即拉伸过程掩盖了材料真正的撕裂性能,割口越小,掩盖程度越大。

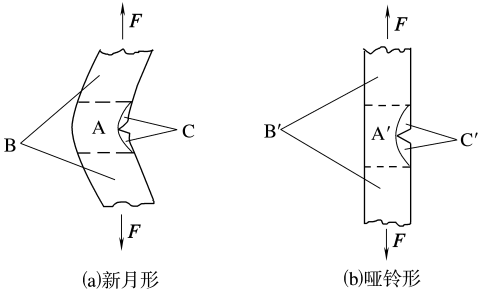


图 4 新月形和哑铃形试样的撕裂过程示意

新月形试样割口深度仅有 1 mm,占拉伸部分的 1/10,而哑铃形试样的割口深度为 2 mm,占拉伸部分的 1/2,条形试样大割口深度为 7~9 mm,占拉伸部分的 70%~90%。在新月形试样中未割口部分(B 的断面)承担的应力与割口部分

(A 的最小断面)承担的应力相差较小,使得拉伸强度掩盖了撕裂性能;相反,在哑铃形试样中,未割口部分(B'的断面)承担的应力远小于割口部分(A'的最小断面)承担的应力,因此能够比较真实地体现材料的撕裂过程;而在条形大割口试样中,未割口部分承担的应力比割口部分承担的应力更小,拉伸过程的影响也就更小,因此更能体现材料的抗撕裂性能。

如图 4 所示,新月形和哑铃形(含条形)试样受到拉伸负载时,根据受力情况分别分为 A、B 和 C 区及 A'、B'和 C'区。C 区和 C'区基本上不受负荷,仅比较其它两区所受的平均应力。设试样宽度为 b ,厚度为 t ,割口深度为 a ,所受应力为 F ,则 B 和 B'区所受应力 σ_B 如下:

$$\sigma_B = F/bt$$

A 和 A'区所受应力 σ_A 如下:

$$\sigma_A = F/t(b-a)$$

显然

$$\sigma_A > \sigma_B$$

设

$$R = \sigma_A/\sigma_B$$

则 $R = [F/t(b-a)]/[F/bt] = b/(b-a)$

对于新月形试样, R 为 10/9,A 区最小断面所受应力与 B 区差别不大,表明拉伸过程的影响较大;而对于哑铃形试样, R 为 2/1,A'区最小断面所受应力比 B'区大 1 倍,拉伸过程的影响减小许多;对于条形试样, R 在 10/9~10/1 之间,大割口试样 A'区所受应力比 B'区更大,拉伸过程影响更小。

下面考察 BR,SBR 和 NR 胶料的拉伸强度。经 4[#] 杜仲树胶改性后,BR,SBR 和 NR 胶料的拉伸强度分别为 20.04、25.74 和 24.59 MPa。由此可以看出,NR 胶料的拉伸强度与 SBR 相差无几。但一般情况下,NR 胶料的拉伸强度要大于 SBR 胶料,且两者均大于 BR 胶料。正是由于拉伸过程的影响,在新月形试样中,NR 的撕裂强度最大,SBR 居中,BR 最小。而在哑铃形试样中,由于增大了割口深度,使得拉伸过程的影响大大降低,虽然 NR 的撕裂性能还是最大,但 BR 的撕裂强度要大于 SBR。对于条形大割口试样,BR 的撕裂强度最大,SBR 次之,NR 最小。

实际上,材料的撕裂性能不仅与割口深度有关,还受其内在的分子结构、分子间的堆砌方式及炭黑与橡胶分子的作用方式等方面的影响。例如,BR 分子链柔顺,且以无规线团状存在,分子间作用力较小,因此表现为拉伸强度和撕裂强度较小;SBR 存在极性侧基,分子链比较刚硬,分子间作用力较大,因此有较高的拉伸强度和撕裂强度;NR 在拉伸条件下易取向,局部有序,因此有更大的拉伸强度和撕裂强度。

3 结论

(1)以新月形试样测定 3 种含炭黑硫化胶的撕裂强度,其结果由大到小的顺序为 NR,SBR,BR;而哑铃形试样测定结果由大到小的顺序为 NR,BR,SBR。

(2)在测定哑铃形试样时,引入撕裂伸长率、裂口延伸率和延伸比 3 个物理量,综合评价橡胶的撕裂性能。NR 胶料的撕裂强度、撕裂伸长率和裂口延伸率最大,延伸比适中,综合抗撕裂性能最好,BR 次之,SBR 最差,这与新月形试样单一撕裂强度测定结果不同,表明 BR 及 SBR 胶料对撕裂试样的类型很敏感。

(3)条形试样割口深度为 1 mm 时,胶料撕裂强度测定结果由大到小的顺序为 NR,SBR,BR;割口深度为 2~5 mm 时,撕裂强度由大到小的顺序为 NR,BR,SBR;割口深度为 6~9 mm 时,撕裂强度由大到小的顺序为 BR,SBR,NR。

(4)各胶料撕裂伸长率和裂口延伸率随割口深度的变化趋势与撕裂强度相似,随割口深度增大,NR 下降较快;SBR 下降平缓;BR 先减小,然后增大,再减小。

(5)随割口深度增大,延伸比由大到小的顺序为 BR,NR,SBR,表明新裂口对 BR 胶料抗撕裂性能造成的损失远小于 SBR 和 NR 胶料。

参考文献:

- [1] Warhurst D M,Slade J C,Ochiltree B C. Comparison of methods for the determination of tear strength[J]. Polymer Testing,1986,6(1):5-35.