

多项式回归方法拟合 NR/BR 共混胶料疲劳断裂曲线^{*}

袁恽明 傅 政 刘旭阳 杨 源
(青岛化工学院橡胶工程学院 266042)
郑永祥
(山东省橡胶工业公司, 济南 250013)

摘要 探讨采用多项式 $\lambda = b_0 + b_1 \lg N + b_2 \lg^2 N$ 逼近 NR/BR 共混硫化胶料疲劳破坏曲线。结果表明, 试验值与理论值吻合良好, 相对偏差的绝对值小于或等于 2.452%, 且分布较均匀, 相关系数均大于或等于 0.998 8。表明该多项式方程可描述 NR/BR 共混胶料的疲劳断裂曲线。
关键词 NR/BR 共混物, 动态疲劳断裂, 曲线拟合, 多项式回归

橡胶材料的动态疲劳寿命的研究与预测是近年来高分子材料科学研究的重要课题之一^[1~3], 它不仅在学术上有一定的意义, 而且在实际应用中也有一定的价值。在动态疲劳的研究中, 一般是对被研究的材料施加定长拉伸或压缩等动态负荷或应变作用, 并记录试样断裂时应变反复作用的次数 (N), 绘制成 $S-N$ 曲线 (实际上为应力 $\sigma-\lg N$, 拉伸比 $\lambda-\lg N$, 应变 $\epsilon-\lg N$ 曲线), 用以描述该材料的疲劳特性, 并可根据此曲线预测材料的疲劳寿命。

建立疲劳过程中的数学关系是研究橡胶材料疲劳的一种重要的方法。它有利于通过计算机来对疲劳过程的机理、影响疲劳的因素及疲劳过程的动力学方面问题做较为深入的研究, 也为进一步对橡胶制品疲劳破坏寿命的预测提供一种科学的方法。

本工作的目的是在利用多项式回归法研究胶料疲劳断裂方面做一些初步的尝试。

1 实验
1.1 基本配方
安排 4 组试验, 各试验基本配方如表 1 所示。

表 1 胶料基本配方				份
组 分	1	2	3	4
NR	100	80	70	60
BR	0	20	30	40
硫黄	2.25	2.0	2.0	1.8
促进剂 NOBS	0.6	0.7	0.7	0.8

注: 配方中其它组分为: HAF 20.0; SAF 30.0; 10[#] 机油 5.0; 石蜡 1.0; 防老剂 4010NA 1.5; 氧化锌 5.0; 硬脂酸 3.0。

1.2 试验设备与测试仪器
SK-160B 型双辊筒炼胶机, 上海橡胶机械厂产品; 25 t 电加热平板硫化机, 上海第一橡胶厂产品; LH-II 型硫化测定仪, 上海橡胶机械厂产品; 固特里奇试验机, 北京化工机械实验厂产品。

1.3 试样制备与测试
按不同配方分别配料, 胶料加工在 $\Phi 160$ mm 开炼机上进行, 辊温保持在 50 ~ 55 ℃。先将 NR 和 BR 混匀, 然后加小料 (顺序为石蜡、硬脂酸、促进剂 NOBS、氧化锌、10[#] 机油), 炭黑分批少量投入, 再加硫黄, 薄

^{*} 国家自然科学基金资助项目。
作者简介 袁恽明, 男, 40 岁。工程师。高分子化学与物理专业理学硕士。主要从事高分子材料加工与应用的研究。先后参与或承担了国家自然科学基金资助项目两项, 中国石化公司资助项目一项以及其它应用课题数项。已在《高分子学报》等杂志上发表论文 35 篇。

通6次下片,停放备用。

试样用25 t电加热平板硫化机硫化,硫化温度为150℃,压力约为15 MPa。分别测定硫化胶的力学性能和压缩生热等,记录所得数据并作出相应曲线。将拉伸试样在自制的模具上切割出锐利的单边切口,然后在300 r·min⁻¹的疲劳试验机上进行拉伸疲劳试验,观察疲劳过程并记录试样的疲劳寿命。

1.4 数据处理

将不同预制伤痕及不同拉伸比试样的 λ -lg N关系曲线进行迭加^[4],之后采用 $Y = b_0 + b_1 \lg X + b_2 \lg^2 X$ 模型对迭加曲线进行拟合。采用自编程序。

2 结果与讨论

2.1 疲劳断裂曲线多项式回归方程的建立及数值方法

图1示出了一条NR/BR疲劳破坏 λ -lg N曲线。

由橡胶疲劳断裂曲线可知,其 λ -lg N关系曲线为非线性变化,至今仍没有一个理想的数学模型能定量地描述其 λ -lg N的变化规律。因此选择合适的数学模型拟合试验曲线是比较困难的。从数学分析角度来看,对于这类问题可采用多项式去逼近。

从图1可以看出,随着 λ 的减小,材料的疲劳断裂次数逐渐增加,曲线为单调下降的非线性曲线。为了讨论方便,首先设 $y =$

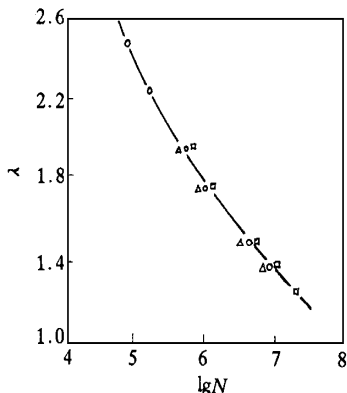


图1 NR/BR疲劳破坏 λ -lg N曲线

$\lambda, x = \lg N$ 。

假定 y 与 x 的关系可以表示为 p 次多项式,且在 x_i 处对 y 观察值的随机误差 s_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)服从正态分布 $N(0, \sigma)$,那么多项式的模型为

$$y_i = b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 + \dots + b_p x_i^p + s_i \quad (1)$$

如将式(1)中的非线性项用不同的线性项代替,那么就可以用多元线性回归分析的方法加以解决,即令 $x_{1i} = x_i, x_{2i} = x_i^2, \dots, x_{pi} = x_i^p$,则式(1)变为

$$y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_p x_{pi} + s_i \quad (2)$$

若式(2)保留前3项,则可以简化为

$$y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + s_i \quad (3)$$

可以看出式(3)为二元线性方程。

若有 m 组试验数据就可以找到二元线性回归方程^[4]

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i}$$

式中 $\hat{y}_i$ 为理论计算值。

根据上述的数值方法采用QBASIC语言设计了计算机程序。

2.2 试验实例

表2为4组试验的硫化胶料疲劳曲线拟合结果。从表2可以看出,试验值与理论值吻合良好,相对偏差最大值只有-2.452%,且分布较均匀,相关系数均大于或等于0.9988。表明指数曲线方程较好地描述了NR/BR共混胶料的动态疲劳过程。

采用的数学模型为

$$\lambda = b_0 + b_1 \lg N + b_2 \lg^2 N$$

1号配方回归系数 $b_0 = 6.016, b_1 = -6.128, b_2 = 1.756$;

2号配方回归系数 $b_0 = 6.198, b_1 = -6.176, b_2 = 1.631$;

3号配方回归系数 $b_0 = 5.469, b_1 = -5.586, b_2 = 1.667$;

4号配方回归系数 $b_0 = 5.267, b_1 = -4.569, b_2 = 0.780$ 。

表 2 共混比不同的 NR/BR 胶料λ 理论值、相对偏差及相关系数的比较

序 号	1				2				3				4			
	lg N	λ	C	E	lg N	λ	C	E	lg N	λ	C	E	lg N	λ	C	E
1	4.90	2.30	2.287	−0.583	4.92	2.45	2.450	−0.010	4.50	2.47	2.466	−0.186	4.70	2.40	2.404	0.184
2	5.10	2.12	2.139	0.431	5.13	2.30	2.298	−0.087	4.81	2.24	2.250	0.446	4.90	2.25	2.262	0.523
3	5.40	1.92	1.937	0.380	5.34	2.15	2.158	0.359	5.30	1.98	1.962	−0.903	5.19	2.10	2.069	−1.456
4	5.80	1.67	1.699	1.763	5.70	1.95	1.941	−0.472	5.47	1.88	1.875	−0.255	5.47	1.91	1.898	−0.620
5	6.10	1.58	1.541	−2.452	6.05	1.75	1.755	0.274	5.73	1.73	1.753	1.353	5.60	1.80	1.823	1.277
6	6.40	1.40	1.398	−0.135	6.64	1.50	1.488	−0.832	6.22	1.55	1.556	0.371	6.11	1.55	1.552	0.103
7	6.80	1.23	1.228	−0.185	6.90	1.37	1.385	1.126	6.82	1.38	1.361	−1.400	6.42	1.39	1.403	0.918
8	7.00	1.14	1.150	0.908	7.45	1.20	1.196	−0.334	7.65	1.15	1.157	−0.610	6.79	1.24	1.239	−0.890
相关系数	0.998 8				0.999 8				0.999 4				0.999 1			
标准偏差	2.365 2×10 ^{−2}				1.065 0×10 ^{−2}				1.752 6×10 ^{−2}				2.026 2×10 ^{−2}			

注: C—λ 的理论计算值, E—相对偏差(%)。

参考文献

1 傅 政, 谷恒勤, 郑弘志, 等. NR 胶料疲劳破坏寿命的断裂力学描述. 青岛化工学院学报, 1992, 13(1): 1

2 深堀美英. エテストーの疲労寿命予測. 日本ゴム協会誌, 1985, 58(10): 625

3 傅 政, 谷恒勤, 朱东兵, 等. BR 胶料的疲劳断裂特性. 合成橡胶工业, 1992, 15(4): 235

4 江体乾. 化工数据处理. 北京: 化学工业出版社, 1984. 384~396

收稿日期 1997-09-17

Fitting for Fatigue Failure Curves of NR/BR Blends
by Polynomial Regression

Qiu Yiming, Fu Zheng, Liu Xuyang and Yang Yuan

(Qingdao Institute of Chemical Technology 266042)

Zheng Yongxiang

(Shandong Rubber Industry Corporation 250013)

Abstract The fatigue failure curves of NR/BR blend were fitted with polynomial $\lambda=b_0+b_1\lg N+b_2\lg^2 N$. The results showed that the calculated values were in agreement with the measured data; the fractional errors were homogeneously distributed and their absolute values were less than or equal to 2.452%; the correlation coefficients were greater than or equal to 0.998 8; and the polynomial equation could be used to describe the fatigue failure curves of NR/BR blends.

Keywords NR/BR blend, dynamic fatigue failure, curve fitting, polynomial regression

拖拉机橡胶履带研制成功

拖拉机橡胶履带在河南省洛阳第一拖拉机股份有限公司第一装配厂研制成功, 且试用效果良好。我国东方红 802RT 型推土机和东方红 802RTW 型推土挖掘机的履带, 通常是用钢、铁制成的。其优点是坚固耐用, 但由于成本高、噪声大、易损坏马路路面等缺

点, 大大限制了其使用。为了克服原用履带的缺点, 该厂研制成功了橡胶履带, 产品通过了省级鉴定。鉴定认为, 橡胶履带设计合理、原地转动性良好、平顺性强、噪声小, 性能达到国外同类产品的先进水平。该产品的问世, 拓宽了农业拖拉机使用范围。

(摘自《中国化工报》, 1998-01-05)