

多目标优化方法在 EPDM 配方试验中的应用

姚钟尧, 林惠音, 廖 恺
(华南理工大学 高分子系 广东 广州 510640)

摘要: 根据 EPDM 配方性能-组分回归方程式, 应用多目标优化方法中虚拟目标法和多属性决策法寻求最优配方。结果表明, 虚拟目标法分析原理清晰、计算方法简单, 能提供较多性能达标或超标的优选配方; 多属性决策法的配方综合性能分值 $I_i(0 \leq I_i \leq 1)$ 最大值判则有多义性。用虚拟目标法和多属性决策法确定的 EPDM 胶料最优配方的硫黄、白炭黑和芳烃油用量均分别为 0.326 和 10 份。
关键词: 多目标优化方法; 虚拟目标法; 多属性决策法; EPDM
中图分类号: TQ333.4; O212.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-890X(2001)10-0581-06

在 EPDM 配方试验中, 我们先用正交试验法确定性能好的高噻唑硫化体系配方^[1], 然后用均匀设计法继续试验, 得到性能-组分回归方程式^[2], 最后是用本文介绍的多目标优化方法寻优和验证。

多目标优化方法是 将多目标转化为单目标, 将多目标优化问题转化为单目标求优问题的寻优方法, 如综合评分法、功效系数法、虚拟目标法和多属性决策法等。我们认为, 在掌握了配方性能-组分回归方程式的情况下, 采用虚拟目标法和多属性决策法寻求最优配方比较合适。

我们在以前的配方试验中已应用虚拟目标法寻求最优配方^[3], 本次试验则同时使用多属性决策法和虚拟目标法寻求高噻唑硫化体系 EPDM 最优配方, 并对这两种多目标优化方法进行比较。

1 试验基础

性能-组分回归方程式及组分变量范围是寻优的基础。试验所得的高噻唑硫化体系 EPDM 配方性能-组分方程式^[2]为:

$$Y_1=34.752-7.233\ 3X_1+0.030\ 8X_2^2$$
(1)

作者简介: 姚钟尧(1945-)男, 广东潮阳人, 华南理工大学副教授, 工学硕士, 从事橡胶应用科技、试验设计应用和计算机应用的教学和研究工作。

$$\sigma=4.17$$
$$Y_2=1\ 011-621.694\ 3X_1+131.611\ 3X_1^2+0.320\ 7X_2X_3$$
(2)
$$\sigma=48$$
$$Y_3=8.262+0.210\ 6X_2$$
(3)
$$\sigma=1.69$$
$$Y_1'=43.342-23.63X_1+4.82X_1^2+0.012\ 6X_2^2$$
(4)
$$\sigma=2.43$$
$$Y_2'=996-954.126X_1+249.913X_1^2$$
(5)
$$\sigma=114$$
$$Y_3'=8.225+0.178\ 6X_2-0.036\ 5X_1X_3$$
(6)
$$\sigma=0.74$$

式中, Y_1 , Y_2 和 Y_3 分别为老化前撕裂强度($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)、扯断伸长率(%)和拉伸强度(MPa); Y_1' , Y_2' 和 Y_3' 分别为老化后撕裂强度($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)、扯断伸长率(%)和拉伸强度(MPa); σ 为剩余标准离差; X_1 , X_2 和 X_3 分别为硫黄、白炭黑和芳烃油用量(份), 其变化范围分别为 0.3~2.5, 4~26 和 10~32。

根据回归方程式(1)~(6), 在试验范围内寻求最优配方, 配方性能期望值为: $Y_1 \geq 40 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$; $Y_2 \geq 800\%$; $Y_3 \geq 12 \text{ MPa}$; $100^\circ\text{C} \times 70 \text{ h}$ 热空气老化后 Y_1 保持率、 Y_2 保持率和 Y_3 保持率均不小于 70%。

2 直接法寻优

橡胶配方性能分为越大越好型、越小越好型和额定为好型 3 种。撕裂强度、扯断伸长率和拉伸强度都是越大越好型。根据回归方程式 (1) ~ (3), 可求出老化前这 3 项性能的最大值, 见表 1。

表 1 直接用方程式 (1) ~ (3) 求出的
老化前性能最优配方

组分变量			性能最大值
X_1	X_2	X_3	
0.3	26	*	$Y_1 = 53.539$
*	26	*	$Y_2 = 732$
0.3	26	32	$Y_3 = 13.748$

注: * 可在试验范围内取任意值。

从表 1 可以得出, 最优配方是 $X_1 = 0.3$, $X_2 = 26$, $X_3 = 32$ 。该配方胶料老化前的性能为 $Y_1 = 53.539 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$, $Y_2 = 732\%$, $Y_3 = 13.748 \text{ MPa}$ 。将 $X_1 = 0.3$, $X_2 = 26$, $X_3 = 32$ 代入方程式 (4) ~ (6) 得, $Y_1' = 45.2044 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$, $Y_2' = 732\%$, $Y_3' = 12.7695 \text{ MPa}$ 。

然而, 在多因素和多目标 (多响应问题) 橡胶配方试验中, 上述性能情况是少见的, 一是性能指标通常包括越大越好型、越小越好型和额定为好型; 二是各组分变量对性能的影响往往是矛盾的; 三是性能-组分的回归方程式可能是比较复杂的高次多项式。因此, 实际上很难或无法直接寻求最优配方, 而须借助多目标优化法求优。

3 虚拟目标法寻优^[3]

假定要考虑的指标为 $f_1(X), f_2(X), \dots, f_k(X)$, 各项性能指标为越大越好型; $X = \{X_1, X_2, \dots, X_p\}$, $X_j (j = 1, 2, \dots, p)$ 为首先考虑的因素, $a_j \leq X_j \leq b_j, [a_j, b_j]$ 为因素 X_j 的变化范围。设所选方案必须达到的预定目标为 $f_i^0 (i = 1, 2, \dots, k)$, 虚拟目标为:

$$F^e = (f_1^e, f_2^e, \dots, f_k^e)$$

式中 $f_i^e = f_i^0 + D_i, D_i > 0, i = 1, 2, \dots, k$ 。其中 f_i^e 为单项指标的虚拟目标, D_i 为微增量。 D_i 的取值由试验者确定。记

$$A_i(X) = \begin{cases} \frac{f_i(X)}{f_i^e} & f_i(X) < f_i^e \\ 1 & f_i(X) \geq f_i^e \end{cases} \quad (7)$$

$A_i(X)$ 是某一方案 X 对应的指标 $f_i(X)$ 接近预定目标值 f_i^e 的程度。当 $A_i(X) = 1$ 时, 表示这一方案的某项指标完全达到预定目标值 f_i^e 。

令

$$U(X) = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^p [1 - A_i(X)]^2} \quad (8)$$

$U(X)$ 是衡量试验结果优劣的新准则, 即其把多指标问题化为单指标问题, 求原问题满意解转化为求 $U(X)$ 最小值。显然, $U(X)$ 值 $[0 \leq U(X) \leq 1]$ 最小的配方是综合性能最优配方。

所谓虚拟目标, 就是这个目标实际上可能达不到, 但可以通过式 (8) 求 $U(X)$ 的最小值以找出距离虚拟目标最接近的方案。我们称使 $U(X)$ 取最小值的解 X^U 为第一次选好解, 设相应的指标值为 $f_i^U (i = 1, 2, \dots, k)$ 。如果对其某些指标值, 如 $f_{i1}^U, f_{i2}^U, \dots, f_{ih}^U$ 不满意, 则可重新虚拟目标:

$$F^{e'} = (f_1^{e'}, f_2^{e'}, \dots, f_k^{e'})$$

式中 $f_{is}^{e'} = f_{is}^e + \delta_s = f_{is}^0 + D_{is} + \delta_s, \delta_s > 0, s = 1, 2, \dots, h; f_i^{e'} = f_i^e = f_i^0 + D_i, i = 1, 2, \dots, k, i \neq is$ 。其中 $f_{is}^{e'}$ 为单项指标的虚拟目标, f_{is}^0 为预定目标值, D_{is} 和 δ_s 为微增量。用 $f_i^{e'}$ 替代式 (7) 的 f_i^e , 并按准则 (8) 继续试验, 直到求得满意的结果为止。由于这种方法采用对话形式, 因此又被称为对话式虚拟目标法。

本研究讨论的是性能指标越大越好的情况。试验中, 考虑了 3 组分变量 X_1, X_2 和 X_3 和 3 项性能 $f_1(X), f_2(X)$ 和 $f_3(X)$ 。

首先, 将试验范围网格化, 即将试验的每个变量的变化区间 22 等分: X_1 的区间 $[0.3, 2.5]$ 22 等分, 间隔 0.1; X_2 的区间 $[4, 26]$ 22 等分, 间隔 1; X_3 的区间 $[10, 32]$ 22 等分, 间隔 1, 因此整个网络有 $22 \times 22 \times 22 = 10\,648$ 个节点。然后, 通过方程式 (1) ~ (6) 求得各节点上各项性能值。如果不能直接用方程式 (1) ~ (6) 求得

各项性能的最小值和最大值, 则可通过这些节点来求得。

用虚拟目标法求得的老化前和老化后的综合性能最优配方见表 2 和 3。试验中, 可将撕裂强度、扯断伸长率和拉伸强度的期望值 $40\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$, 800% 和 12 MPa 作为预定目标值 f_i^0 ($i=1, 2, 3$), 但事实上, 求出表 2 和 3 配方使用了比期望值更高的预定目标值, 即表 2 配方按撕裂强度、扯断伸长率和拉伸强度预定目标值分别为 $50\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$, 900% 和 13 MPa 算得; 表 3 配方按撕裂强度、扯断伸长率和拉伸强度预定目标值分别为 $45\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$, 850% 和 11 MPa 算得。

从表 3 可以看出, $X_1=0.3$, $X_2=26$, $X_3=10, 11, \dots, 32$ 的 23 个配方都满足性能预定目标值要求。

综合考虑各种因素后确定, $X_1=0.3$, $X_2=26$, $X_3=10$ 的配方为最优配方。

表 2 虚拟目标法求出的老化前综合性能最优配方

序号	组分变量			性能		
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	0.3	26	10	53.54	920	13.75
2	0.3	26	11	53.54	929	13.75
⋮	0.3	26	⋮	53.54	⋮	13.75
23	0.3	26	32	53.54	1 103	13.75
24	0.4	26	14	52.82	901	13.75
25	0.4	26	15	52.82	909	13.75
⋮	0.4	26	⋮	52.82	⋮	13.75
42	0.4	26	32	52.82	1 051	13.75
43	0.5	26	20	52.09	900	13.75
44	0.5	26	21	52.09	909	13.75
⋮	0.4	26	⋮	52.09	⋮	13.75
55	0.5	26	32	52.09	1 000	13.75
56	0.6	26	26	51.37	903	13.75
57	0.6	26	27	51.37	911	13.75
⋮	0.6	26	⋮	51.37	⋮	13.75
62	0.3	26	32	51.37	953	13.75
63	0.7	26	32	50.65	908	13.75

4 多属性决策法寻优

在橡胶行业中, 多属性决策法^[4]最初被用作均匀设计的数据分析方法, 我们认为是不合适的。这是因为均匀设计的数据分析必须用回归分析法^[5], 而多属性决策法实际上是一种完整、可操作的多目标优化方法。

表 3 虚拟目标法求出的老化后综合性能最优配方

序号	组分变量			性能		
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	0.3	26	10	45.20	732	12.76
2	0.3	26	11	45.20	732	12.75
3	0.3	26	12	45.20	732	12.74
⋮	0.3	26	⋮	45.20	732	⋮
22	0.3	26	31	45.20	732	12.53
23	0.3	26	32	45.20	732	12.52

设矩阵 (9) 是根据回归方程式得到的 k 项性能预测值阵列。该矩阵同一行的数据是试验范围内同一节点上各项性能预测值, 同一列的数据是试验范围内不同节点上的性能预测值。

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1k} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nk} \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中 k 为配方性能指标项数, Y_{ij} 为配方第 j 项性能指标的第 i 次预测结果。记

$$Y_j^{**} = \max\{Y_{ij}\} \quad 1 \leq i \leq n \quad (10)$$

$$Y_j^* = \min\{Y_{ij}\} \quad 1 \leq i \leq n \quad (11)$$

将性能数据矩阵 Y 作如下规范处理:

(1) 第 j 项性能指标为越大越好型时:

$$g_{ij} = \frac{Y_j^{**} - Y_{ij}}{Y_j^{**} - Y_j^*} \quad (12)$$

(2) 第 j 项性能指标为越小越好型时:

$$g_{ij} = \frac{Y_{ij} - Y_j^*}{Y_j^{**} - Y_j^*} \quad (13)$$

(3) 第 j 项性能指标为额定为好型时, 标准值为 $[L_j, R_j]$:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{L_j - Y_{ij}}{\max\{L_j - Y_j^*, Y_j^{**} - R_j\}} & Y_{ij} < L_j \\ 1 & L_j \leq Y_{ij} \leq R_j \\ 1 - \frac{Y_{ij} - R_j}{\max\{L_j - Y_j^*, Y_j^{**} - R_j\}} & Y_{ij} > R_j \end{cases} \quad (14)$$

将 g_{ij} 的计算式作归一化处理,得

$$g_{ij}=g_{ij}/\sum_{j=1}^kg_{ij} \tag{15}$$

定义信息函数 I_i 为配方综合性能分值,其函数式为:

$$I_i=\frac{1}{\ln k}\sum_{j=1}^kg_{ij}\cdot\lg g_{ij} \quad i=1,2,\cdots,n \tag{16}$$

{ I_i } 值的大小反映了配方综合性能的优劣。如果 $I_m=\max\{I_i\}$,则第 m 号配方为综合性能最优配方。也就是说, I_i 值($0\leq I_i\leq 1$)最大的配方是综合性能最优的配方。

应用多属性决策法必须先求出各项性能的最小值和最大值。根据回归方程式(1)~(6),或用网格法或直接计算法可计算出老化前后性能的最小值和最大值,见表 4。

按多属性决策法编程计算优选,老化前后综合性能最优的配方见表 5 和 6,老化前配方的 I_i 值计算过程见表 7。

表 4 预测的老化前后单项性能
最小值和最大值

组分变量			性能最大值或最小值
X_1	X_2	X_3	
2.5	4	*	$Y_{1\min}=17.17$
0.3	26	*	$Y_{1\max}=53.54$
2.5	4	10	$Y_{1'\min}=14.60$
0.3	26	10	$Y_{1'\max}=45.20$
2.5	4	10	$Y_{2\min}=293$
0.3	26	32	$Y_{2\max}=1\,104$
1.9	4	10	$Y_{2'\min}=85$
0.3	4	10	$Y_{2'\max}=732$
0.3	4	10	$Y_{3\min}=9.11$
0.3	26	32	$Y_{3\max}=13.75$
2.5	4	32	$Y_{3'\min}=6.02$
0.3	26	10	$Y_{3'\max}=12.77$

注:同表 1。

根据多属性决策法的 I_i 最大值判则,表 5 的两个配方都是综合性能最优的配方。但这两个配方性能的差异颇大,2 号配方的性能远比 1 号配方差,因此 2 号配方作为综合性能最优的配方显然不合理,应先摒弃它。将表 5 的 1 号配方性能与表 4 的相关性能值对照,以及将表 1 的配方与表 2 的 23 号配方比较可知,表 5 的 1 号配方($X_1=0.3, X_2=26, X_3=32$)是老化前综合性能最优的配方。

表 6 的两个配方无论是在组成上还是在性能上差异都很小,通过表 3 和 4 的数据可以确定,表 6 的 1 号配方($X_1=0.3, X_2=26, X_3=10$)是老化后综合性能最优的配方。

全面综合各种因素,尤其是老化后性能和芳烃油用量较大胶料混炼困难的情况,确定 $X_1=0.3, X_2=26, X_3=10$ 的配方为最终最优配方。这个配方的实测性能见表 8。从表 8 可以看出,最优配方性能实测值都落在置信区间内。

表 5 多属性决策法求出的老化前
综合性能最优配方($I=1$)

序号	组分变量			性能		
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	0.3	26	32	53.54	1 104	13.75
2	0.7	17	24	38.65	772	11.85

表 6 多属性决策法求出的老化后
综合性能最优配方($I=1$)

序号	组分变量			性能		
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	0.3	26	10	45.20	732	12.77
2	0.7	26	11	45.20	732	12.76

表 7 多属性决策法对表 5 配方 I 值的计算过程

项 目	j					
	1 号配方			2 号配方		
	1	2	3	1	2	3
X_j	0.3	26	32	0.7	17	24
Y_{1j} 根据式(1)、(2)和(3)计算	53.539	1 103.756	13.748	38.649	771.739	11.849
g_{1j} 根据式(12)计算	1	1	1	0.590 551 6	0.590 647 3	0.590 909 1
g_{1j} 根据式(15)计算	0.333 333 4	0.333 333 4	0.333 333 4	0.333 248 1	0.333 302 1	0.333 449 9
$g_{j\ln}(g_j)$ 根据式(16)计算	-0.366 204 1	-0.366 204 1	-0.366 204 1	-0.366 195 7	-0.366 201 1	-0.366 215 6
I_j 根据式(16)计算		1			1	

表 8 最优配方胶料的性能预测值和实测值

项目	Y_1	Y_1'	Y_1 保持率/ %	Y_2	Y_2'	Y_2 保持率/ %	Y_3	Y_3'	Y_3 保持率/ %
预测值	53.40	45.20	84.6	920	733	79.7	13.74	12.76	92.8
置信区间	(45.60, 61.74)	(40.44, 50.07)		(824, 1 016)	(505, 961)		(10.38, 17.10)	(11.28, 14.24)	
实测值	54.40	44.32	81.4	880	740	84.1	12.64	11.35	89.8

注:老化条件为 100℃×70 h;置信区间的上下限按式($Y_0 \pm 2\sigma$)计算,置信度为 95%。

5 多属性决策法与虚拟目标法的比较

上面已经指出了表 5 中的 1 和 2 号配方同为综合性能最优配方不合理,并按多属性决策法验算了这两个配方的 I 值(见表 7)。如果计算无错误,则说明多属性决策法的解(或判断)有歧义。暂且假设可忽视多属性决策法解的歧义性,虚拟目标法和多属性决策法虽然都是把多目标转化为单目标的多目标优化方法,但在分析原理、计算方法和结论方面有较大差别。

(1)虚拟目标法的分析原理清晰、简单、易理解,而多属性决策法的分析原理复杂。

(2)多属性决策法的计算方法比虚拟目标法复杂得多。

(3)多属性决策法以 i 项性能指标的最大值和最小值之差衡量该项性能指标对 I_i 值的贡献,只得出 I_i 最大值对应的解(方案或配方),结果常常是 1 个。虚拟目标法以性能预定目标值衡量 i 项性能指标,只要达到预定目标值,无论超出多少, $A_i(X)$ 值都为 1,因此 $U(X)$ 最小值的解较多且差别较大,但方便全面衡量和更多选择。

6 结论

(1) $X_1=0.3$, $X_2=26$, $X_3=10$, 即硫黄、白炭黑和芳烃油用量分别为 0.3、26 和 10 份的配方是虚拟目标法和多属性决策法确定的老化前后撕裂强度、扯断伸长率和拉伸强度达到期望值的最优配方。

(2)虚拟目标法分析原理清晰、计算方法简单,能提供较多性能达标或超标的优选配方。

(3)多属性决策法的 I_i 最大值判则有多义性。

参考文献:

[1] 姚钟尧, 廖 恺, 方 裕. 正交试验法在 EPDM 配方试验中的应用[J]. 橡胶工业, 2001, 48(5): 261-265.
[2] 姚钟尧, 蔡清毅, 廖 恺. 均匀设计法在 EPDM 配方试验中的应用[J]. 橡胶工业, 2001, 48(9): 517-521.
[3] 金超良. 正交设计与多指标分析[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1988. 68-86.
[4] 高齐圣, 隋树林, 孟宪德. 均匀设计在橡胶配方研究中的应用[J]. 橡胶工业, 1996, 43(10): 583-585.
[5] 姚钟尧. 回归分析在均匀设计数据分析中的地位[J]. 特种橡胶制品, 1998, 14(2): 35-41.

收稿日期: 2001-04-20

Application of multi-target optimization method
to EPDM formulation experiment

YAO Zhong-yao, LIN Hui-yin, LIAO Kai

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The optimized formula was obtained by the fictitious target method and multi-property policy-making method in the multi-target optimization method based on the property-composition regression equation of EPDM formula. The results showed that the fictitious target method featured clear analysing principle and simple calculating method, and could provide an optimized formula with multi-properties meeting or even exceeding the standards; and the maximum value criterion of the compre-

hensive property fraction I_i ($0 \leq I_i \leq 1$) for the formula from the multi-property policy-making method was polysemous. The addition level of sulfur, silica and aromatic oil in the optimized EPDM formula developed by the fictitious target method and the multi-property policy-making method were 0.3, 26 and 10 phr respectively.

Keywords: multi-target optimization method; fictitious target method; multi-property policy-making method; EPDM

国内外简讯 12 则

△日前, 益阳橡胶塑料机械集团有限公司生产的 $1.8 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 大型压框式平板硫化机组按期通过英国芬纳集团南非输送带公司的验收。该机上下横梁采用钢板整体焊接技术, 有效保障了横梁刚性和橡胶制品受压均匀性, 设置循环冷却装置, 防止了横梁热变形。

△一种广泛用于工程机械等领域的新型高温低压输油胶管日前在河北冀州市工程机械胶管厂研制成功。该产品具有耐高温、拉伸强度高、使用寿命长等特点, 耐高温达 90°C , 比同类产品提高 30% 以上, 拉伸强度为 6.37 MPa , 扯断伸长率达 330%。经国家质检中心测定和用户证明, 该产品各项性能指标达到或超过国外同类产品水平。

(以上摘自《中国化工报》)

△罗地亚公司开发了一种硅橡胶乳化新工艺, 将硅橡胶制成不含溶剂的水基乳液, 用作聚氨酯屋顶防水海绵材料的防护涂层。

ERJ, 183[2], 17(2001)

△横滨公司成为橡胶网 Rubber Network. com L.L.C 的第 7 个成员, 该网计划 4 月份在北美、7 月份在欧洲、9 月份在亚洲投入运营, 7 家成员每年原材料、机械、制品和服务总采购金额约为 500 多亿美元。

RPN, 2001-03-12, P3

△INRO (国际天然橡胶组织) 在预定截止期 6 月 30 日前 3 个月卖完了全部储存缓冲胶, 此举造成 NR 价格达到最低谷。

RPN, 2001-04-09, P1

△由于原材料价格, 特别是能源费用上涨, 固特异决定于 5 月 21 日起将其各种型号输送带

带价格提高 5% ~ 7%。

RPN, 2001-05-14, P3

△一项研究表明, 未来几年防水卷材用热塑性聚烯烃橡胶的需求将有较大增长, 至 2005 年其年均增长率约为 5%, 而整个防水卷材的同期年均增长率约为 2%。

RPN, 2001-05-14, P4

△最近有 3 家公司加盟由六大橡胶公司发起组建的橡胶网 (Rubber Network. com), 它们是横滨橡胶公司、东洋轮胎公司和韩国轮胎公司。

TTI, [2], 5(2001)

△随着法官宣判大陆公司必须赔偿 33 岁的拉斯维加斯妇女 Cynthia Lampe 及其父母 5540 万美元, 该项官司宣告结束。法官认为造成 Lampe 四肢仍然麻痹的车祸是大陆公司轮胎缺陷致使胎面脱落引起的。

TTI, [2], 7(2001)

△由于美国经济发展减速, 原材料价格上涨, 拜耳公司 2001 年第 1 季度利润降至 3.84 亿美元, 同比下降 21%。

IRJ, 55, 76(2001)

△英国 Synthomer 公司在马来西亚建立一个 NBR 胶乳厂, 该厂年产能力为 4 万 t, 预计于 2002 年年初投产, 可使马来西亚 NBR 胶乳进口量减少 50%。NBR 胶乳广泛用于胶乳手套制造。

RPA, 16[103], 30(2001)

△根据 1999 ~ 2004 年生胶需求量推算, 全球炭黑消耗量到 2004 年将增至 820 万 t, 年增长率为 3%。

RPA, 16[103], 31(2001)