

# 密炼机混炼工艺参数对焦烧影响的初步研究 \*

张 海 贺德化 邵蓉鲁 \*\* 马铁军

(华南理工大学工业装备与控制工程系, 广州 510641)

朱孔阳

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司载重轮胎厂 200245]

**摘要** 通过对一种胎面胶三段混炼过程参数统计分析,指出塑炼段和第2段混炼过程对混炼胶焦烧性能影响较大,混炼能量消耗与焦烧的相关因数比与时间、温度和功率的都大,而温度与焦烧的相关因数有正有负,影响比较复杂。分别使用三段混炼过程全部参数、塑炼段和第3段混炼的参数和只用第3段混炼的参数回归建立预测焦烧的数学模型,复相关因数分别为0.941,0.835和0.814,预测平均相对偏差分别为12.9%,9.94%和12.95%,使预测和控制焦烧性能成为可能。

**关键词** 密炼机,混炼胶,焦烧,混炼工艺

焦烧性能是混炼胶的一个重要质量指标,焦烧程度用一定温度条件下混炼胶丧失可塑性的时间来表示,也叫焦烧时间。混炼胶为了满足后续加工的需要,要求焦烧时间不能小于某值。一般认为混炼过程影响焦烧性能主要在加入硫化剂以后,胶料温度超过某一温度值所需的时间要短。其它影响平常就很少谈到。本文通过自制的MGKJ型密炼机混炼微机监控系统采集日常生产的混炼过程参数,运用数理统计方法,分析混炼工艺各参数对焦烧的影响,现简介如下。

## 1 数据来源和分析

由自制的MGKJ型密炼机混炼微机监控系统在工厂生产过程中自动记录一批橡胶混炼数据(102个),共有20个变量,分别是 $C_{00}, C_{01}, P_{01}, E_{01}, T_{01}, C_1, P_1, E_1, T_1, C_{02}, C_2, P_2, E_2, T_2, C_{03}, C_3, P_3, E_3, T_3$ 和 $t_s$ 。其中 $C_{00}, C_{02}$ 和 $C_{03}$ 为各段混炼开始时的温

度; $C_{01}, P_{01}, E_{01}$ 和 $T_{01}$ 为第1段混炼中塑炼段结束时的温度、瞬时功率、能量和时间; $C_1, P_1, E_1, T_1, C_2, P_2, E_2, T_2, C_3, P_3, E_3$ 和 $T_3$ 分别对应于混炼过程三个阶段结束时的温度、瞬时功率、能量和时间; $t_s$ 为混炼结束后混炼胶的焦烧时间。将这批数据随机分成两个数据集A和B。对数据集A进行回归分析,利用数据集B进行预测,检验效果。

### (1) 剔除奇异点

根据中心极限定理,当数据量比较大(一般 $n \geq 30$ )时,可假设该变量 $X$ 服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ ( $\mu$ 为均值, $\sigma^2$ 为方差),则大约65%的 $X$ 值应落在区间 $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$ 内,95%的值应落在区间 $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$ 内,99%的值应落在区间 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 内,即每100个数据中至多只有1个距离均值 $\mu$ 大于 $3\sigma$ 。这是一个小概率事件,把出现这种情况的数据称为奇异点。

对于数据集A中数据的20个变量,逐个检查其最大值与最小值是否落在区间 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 内。若在区间外,则认为是奇异点,给予剔除,并继续检查次最大值与次最小值;否则终止检查,认为该变量的所有数据与均值 $\mu$ 的距离小于 $3\sigma$ 。

\*国家自然科学基金资助项目59473024。

\*\*执笔人。

作者简介 张海,男,62岁。教授。1960年毕业于华南工学院(现华南理工大学)橡胶专业。从事教育工作近40年,发表论文四十余篇。

(2) 过程参数对焦烧影响的研究

将检验出的奇异点剔除后,对剩下的数据先进行相关分析,结果见表1。

表1 混炼过程参数与焦烧时间的相关因数

变 量	相关因数	变 量	相关因数
$C_{00}$	- 0.474 15	$C_2$	- 0.198 79
$C_{01}$	0.508 01	$P_2$	- 0.193 05
$P_{01}$	0.155 55	$E_2$	0.549 67
$E_{01}$	0.573 41	$T_2$	0.436 31
$T_{01}$	- 0.176 19	$C_{03}$	- 0.076 43
$C_1$	- 0.066 08	$C_3$	0.270 73
$P_1$	- 0.038 37	$P_3$	- 0.263 50
$E_1$	0.418 65	$E_3$	0.245 77
$T_1$	- 0.227 94	$T_3$	- 0.347 87
$C_{02}$	0.028 96		

由相关因数可以看到,19个变量中对焦烧时间有较大的相关性的变量在剔除奇异点后相关因数普遍有所提高<sup>[1]</sup>。如剔除奇异点前  $E_{01}$  的相关因数为 0.423 8,剔除后为 0.573 4;又如剔除奇异点前  $E_1$  为 0.265 0,剔除后为 0.418 6。由此可见剔除奇异点的作用。

从表1还可看到: 塑炼段和第2段混炼各变量相对第1段和第3段各变量的相关因数较大。这说明塑炼对焦烧不仅有影响,而且影响较大,这是过去一般不注意的问题。而第3段混炼各变量的相关因数相对其它各段的变量较小。这也是与一般看法不同的。

从各参数来看,  $E_{01}$ ,  $E_1$ ,  $E_2$  和  $E_3$  四个能量值的相关因数只有  $E_3$  (0.245 7) 较小,  $E_{01}$  (0.573 4),  $E_1$  (0.418 6) 和  $E_2$  (0.549 6) 三个能量值的相关因数都较大,而且都是正相关,就是说能量消耗较大,焦烧时间就较长。 $C_{00}$ ,  $C_{01}$ ,  $C_1$ ,  $C_{02}$ ,  $C_2$ ,  $C_{03}$  和  $C_3$  七个温度值的相关因数中较大的仅有  $C_{00}$  (- 0.474 1) 和  $C_{01}$  (0.508 0), 且塑炼开始时的温度  $C_{00}$  为负相关,而塑炼结束的温度为正相关。4个功率值的相关因数均较小,而4个时间值中  $T_2$  (0.436 3) 最大,其次为  $T_3$  (- 0.347 8),  $T_{01}$  和  $T_1$  较小,其中  $T_{01}$ ,  $T_1$  和  $T_3$  为负相关。

也就是说它们的时间长了,焦烧时间就会缩短。为了寻求变量间更紧密的关系,对变量进行如下变换,并进行相关分析,见表2。

表2 变换后的混炼过程参数与焦烧时间的相关因数

变 量	相关因数	变 量	相关因数
$C_{00} C_{01} = C_{01}$		$C_{03}$	0.199 07
- $C_{00}$	0.607 98	$E = E_1 + E_2 + E_3$	0.522 66
$C_{01} C_1 = C_1 - C_{01}$	- 0.541 59	$T = T_1 + T_2 + T_3$	- 0.072 42
$C_{00} C_1 = C_1 - C_{00}$	0.499 93	$ET = E/T$	0.526 09
$C_{02} C_2 = C_2 - C_{02}$	- 0.070 62	$E_1 T_1 = E_1/T_1$	0.502 10
$C_{03} C_3 = C_3 - C_{03}$		$E_2 T_2 = E_2/T_2$	0.291 87
		$E_3 T_3 = E_3/T_3$	0.305 63

其中  $C_{00} C_{01}$ ,  $C_{01} C_1$ ,  $E$ ,  $ET$  和  $E_1 T_1$  的相关因数均在 0.5 以上,比较显著,特别是塑炼段的温度差为正相关因数,达 0.607 9,而第1段混炼的温度差为负相关达 - 0.541 5。结合表1的数据分析可以看出,温度对焦烧的影响是复杂的。从变换后的能量来看,总能量  $E$  和总平均能量  $E/T$  和第1段的平均能量  $E_1/T_1$  的相关因数均在 0.5 以上。这表明能量消耗增大,焦烧时间将延长。

2 预测焦烧的数学模型

(1) 所有变量的回归结果

为了消除不同量纲的影响,对原始数据标准化后进行回归<sup>[2]</sup>,得到复相关因数  $R$  (0.941), 回归方程为:

$$t_s = 0.387 6 + 1.463 3 E_{01} + 0.654 7 C_1 - 0.316 9 P_1 - 0.445 2 E_1 - 0.414 8 T_1 + 0.531 4 C_2 - 0.633 5 E_2 + 0.647 2 T_2 + 0.251 7 C_{03} + 0.345 8 C_3 + 0.357 5 P_3 - 0.185 0 C_{00}^2 + 0.314 6 C_{01}^2 - 0.226 8 P_2^2 - 0.510 9 P_3^2 + 0.211 3 T_3^2$$

该回归方程的回归因数在 0.05 水平上显著,并通过了有关检验。

对剔除奇异点后的数据集  $B$  运用回归方程进行预测,并与实测值相比较,误差在 1

min 之内的有 11 个,占 23.91%;误差在 1~2 min 之间的有 5 个,占 10.87%;误差在 2~3 min 之间的有 9 个,占 19.57%;误差在 3~4 min 之间的有 8 个,占 17.39%;误差在 4~5 min 之间的有 3 个,占 6.52%;误差在 5 min 以上的有 10 个,占 21.74%。平均相对偏差为 12.90%。

### (2) 分段组合的回归结果

在进行相关分析时发现,各段混炼对焦烧时间的影响是不同的。经比较发现,将塑炼段与第 3 段混炼过程的变量相结合进行回归也可得到较好的效果。这也表明,在橡胶混炼过程中,塑炼段与第 3 段混炼过程对焦烧时间影响较为显著。对变量重新剔除奇异点并进行变换后再回归得到复相关因数  $R$  (0.835), 回归方程为:

$$t_s = 7\ 912.413\ 3 + 185.137\ 0 E_{01} + \\ 18.481\ 7 T_{01} - 800.787\ 3 P_3 + \\ 19.549\ 0 T_3 + 0.204\ 9 (C_{01} - C_{00}) - \\ 14\ 009.561\ 1 E_{01}/T_{01} + \\ 5.076\ 0 \sqrt{C_{00}} - 35.090\ 1 \sqrt{P_{01}} - \\ 4.143\ 0 \sqrt{E_{01}} - 617.254\ 2 \sqrt{T_{01}} + \\ 873.709\ 9 \sqrt{P_3} - 550.537\ 9 \sqrt{T_3}$$

将数据集  $B$  的奇异点剔除后,运用上述回归方程进行预测,并与实测值相比较,预测值误差在 1 min 之内的有 9 个,占 19.15%;误差在 1~2 min 之间的有 18 个,占 38.30%;误差在 2~3 min 之间的有 5 个,占 10.64%;误差在 3~4 min 之间的有 9 个,占 19.15%;误差在 4~5 min 之间的有 2 个,占 4.26%;误差在 5 min 以上的有 4 个,占 8.50%。平均相对偏差为 9.94%。

### (3) 第 3 段混炼过程变量的回归结果

为了适应生产实际情况,减少操作和数据占用 CPU 空间,考虑只采用第 3 段混炼的变量进行回归和预测。将变量标准化后再进行变换,回归后得到复相关因数  $R$  (0.814), 回归方程为:

$$t_s = -0.369\ 3 + 0.372\ 1 E_3 - 0.908\ 6 T_3 + \\ 0.559\ 2 T_3^2 - 0.623\ 2 C_{03} C_3 T_3 + \\ 0.185\ 1 (C_{03} C_3 T_3)^2 + 0.661\ 5 P_3 T_3 - \\ 0.223\ 1 (P_3 T_3)^2 - 0.125\ 1/(P_3 T_3) - \\ 0.009\ 2/(P_3 T_3)^2 + 0.067\ 1 T_3/E_3 - \\ 0.424\ 6 (E_3 T_3)^2 + 0.558\ 9 E_3 T_3^2$$

运用回归方程对剔除了奇异点后的数据集  $B$  进行预测,并与实测值相比较,预测值误差在 1 min 之内的有 9 个,占 18.36%;误差在 1~2 min 之间的有 11 个,占 22.45%;误差在 2~3 min 之间的有 7 个,占 14.29%;误差在 3~4 min 之间的有 7 个,占 14.29%;误差在 4~5 min 之间的有 3 个,占 6.12%;误差在 5 min 以上的有 12 个,占 24.49%。平均相对偏差为 12.95%。

## 3 结果讨论

(1) 塑炼段对焦烧的影响过去注意不够,上述分析显示其影响较大。一种可能的解释是塑炼段大分子链断裂产生的自由基稳定后的产物对以后加入的硫化促进剂有活化作用,影响硫化诱导期的长短,并增大胶料的塑性。

(2) 各变量中能量消耗影响较大,而且都是正相关。是否能量消耗增加,胶料塑性增大,对焦烧时间延长有利,温度的影响相关因数有正有负,比较复杂,如何解释有待进一步研究。

(3) 从回归建立的预测焦烧时间的数学模型来看,对原始数据进行标准化后的复相关因数达到 0.941,回归方程的回归因数都在 0.05 水平上显著,并通过有关检验,是较好的。从预测情况看,平均相对误差为 12.9%,误差在 3 min 内的占 54.34%。但误差较大的(5 min 以上)占 20%。部分预测结果误差较大的原因仍需进一步研究。焦烧检测误差及各车胶料焦烧时间的波动等不明。

(4) 本次只是对一种硫化促进剂体系在

一种混炼工艺条件下的结果进行研究,其规律对其它硫化促进剂体系和混炼工艺是否适用有待进一步研究。但它还是说明了利用混炼工艺各参数预测焦烧是可行的;利用相关分析来了解混炼各参数对焦烧性能的影响是有用的。

#### 4 结论

(1)在一种硫化促进剂体系的胎面胶料三段混炼的条件下,塑炼段和总能量消耗对焦烧性能有较大的影响,温度的影响比较复杂。

杂。

(2)使用混炼过程参数建立的数学模型可实现对混炼过程结束后混炼胶的焦烧性能进行预测。模型的普遍性和预测精度还有待进一步提高。

#### 参考文献

- 1 张海,贺德化,关毅璋,等.焦烧预测.特种橡胶制品,1998(2):23
- 2 张小蒂.应用回归分析.杭州:浙江大学出版社,1991.161~291

收稿日期 1998-03-31

## Effect of Mixing Parameters on Mixture Scorchiness in Internal Mixer

Zhang Hai, He Dehua, Shao Ronglu and Ma Tiejun

(South China University of Technology 510641)

Zhu Kongyang

[Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd. 200245]

**Abstract** Based on the statistical analysis of the parameters in a 3-stage mixing of tread compound, it was found that the plastizing stage and the second mixing stage had greater influence on the mixture scorchiness; the correlation coefficient of energy consumption to scorchiness was greater than those of time, temperature and power; the influence of temperature on scorchiness was more complex, and their correlation coefficient might be plus or minus. The three mathematic models to predict mixture scorchiness were established by regressing the parameters respectively from 3 mixing stages, the plasticizing stage and the 3rd mixing stage, or only the 3rd stage. The correlation coefficients were respectively 0.941, 0.835 and 0.814, and the predictive average relative errors were 12.9%, 9.94% and 12.95%. These models were used to predict and control the mixture scorchiness.

**Key words** internal mixer, scorchiness, mixture, mixing

### 郑州中原轮胎橡胶股份有限公司 兼并郑州第二橡胶厂

郑州中原轮胎橡胶股份有限公司是国有大型二类企业。郑州第二橡胶厂为国有中型二类企业,因经营管理不善,产品销路不畅,自1995年以来生产时停时续,直至全部停产,职工下岗,造成生活困难。经郑州市有关

部门牵线搭桥,两单位共同协商一致同意由郑州中原轮胎橡胶股份有限公司兼并第二橡胶厂。具体兼并事宜已洽谈结束,并经市有关部门批准,原第二橡胶厂的职工经培训后已全部上岗。

(郑州中原轮胎橡胶股份有限公司  
郭永康供稿)