

密炼机混炼胶分散度预测数学模型的建立

张 海¹, 贺德化¹, 马铁军¹, 麦均洪¹, 蒋 卒², 魏向阳²

[1. 华南理工大学, 广东 广州 510640; 2. 上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司 载重轮胎厂, 上海 200245]

摘要: 从单台机的角度运用回归分析方法, 建立了预测混炼胶分散度的数学模型。在此模型中, 填充因数 γ 和整个混炼过程的平均功率 E/T 为自变量。此模型的预测值与实测值之差的平均值为 0.567, 与一般实测值的误差相近, 具有一定的实用价值。

关键词: 密炼机; 混炼胶; 分散度

中图分类号: T Q330.4⁺3 文献标识码: B 文章编号: 1000-890X(2001)06-0349-03

在配方和设备确定后, 胶料混炼质量的好坏就应由混炼工艺的各参数来决定。优异的混炼工艺是生产高质量混炼胶的保证。近年来根据这一思想, 我们建立了混炼胶粘度和分散度与混炼过程工艺参数间的数学模型, 在每批胶料混炼过程中, 采集有关工艺参数, 在混炼结束后即可给出该批混炼胶粘度和分散度的预测值, 并在预测的基础上实现对质量的控制, 保证全部达到质量要求^[1, 2]。这一技术在实施时, 由于一台密炼机通常要混炼多种胶料, 因而建立模型工作量较大。若能对每台密炼机建立一个预测数学模型, 则工作量将大大减少。在进一步研究后, 根据密炼机流变理论, 实现了建立单台密炼机预测混炼胶粘度的数学模型, 并取得了与按每种胶料模型预测一样好的结果^[3]。现将最新进展介绍如下。

1 试验与数据

试验采用 F270 型密炼机, 转子转速为 $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 在生产条件下, 随机抽取了 74 批混炼胶的混炼过程参数作为样本, 其中第 1 种胶料有 35 批, 第 2 种胶料有 19 批, 第 3 种胶料有 20 批。

每批样本共取 6 个参数: 混炼的总时间 T 、

混炼消耗的总能量 E 、混炼结束时的混炼胶温度 θ 、排胶时的瞬时功率 P 、检测每批混炼胶的分散度 F 和记录每种胶料的填充因数 γ 。 E , θ , P 和 T 是由华南理工大学自制的 MLJ-300 型密炼机智能控制系统在生产过程中自动记录的, 分散度 F 是按国家标准检测的, 填充因数 γ 根据投料量计算。

2 参数的相关分析

首先将采集的参数进行相关分析, 计算参数的相关因数^[4], 得到相关矩阵, 见表 1。从表 1 可以看出, 分散度 F 与混炼胶的能量消耗 E 和填充因数 γ 的相关因数较大, 排胶点的温度 θ 、总时间 T 和排胶点的瞬时功率 P 的相关因数较小。

表 1 各参数的相关矩阵

变量	F	E	T	θ	P	γ
F	1.00	-0.699	-0.520	-0.482	-0.415	-0.776
E	-0.699	1.00	0.621	0.718	0.491	0.844
T	-0.520	0.621	1.00	0.001	-0.001	0.356
θ	-0.482	0.718	0.001	1.00	0.676	0.751
P	-0.415	0.491	-0.001	0.676	1.00	0.692
γ	-0.776	0.844	0.356	0.751	0.692	1.00

3 建模研究^[4]

根据相关因数的情况, 在建立分散度预测的数学模型中, 应把能量消耗 E 和填充因数 γ 选为自变量。但 E 和 γ 的样本相关因数高达

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59873006)

作者简介: 张海(1935-), 男, 湖南常德人, 华南理工大学教授, 主要从事高分子材料加工机械专业的教学与科研工作。

0.844, 为了消除共线性, 需要寻找一个与能量消耗 E 有关的变量替代 E 。经过反复尝试, 发现用整个混炼过程的平均功率, 即 E/T 作为 E 的替代变量引入预测模型中是较为合适的。分散度 F 与排胶时混炼胶温度 θ 的相关因数较大, 但 θ 与 E/T 的相关程度较大, 同样为了避免共线性, 不把 θ 引入预测模型, 因此以 γ , E/T , T 和 P 为自变量建立预测分散度 F 的模型, 调用 STATISTICA 的线性回归程序, 结果示于表 2。

表 2 四元线性回归结果

样本 $N=74$	$R=0.84382$ $R^2=0.71203$ 调整的 $R^2=0.69533$			
	$F(4, 69)=$	$P<0.00000$	标准误差估计值=	
	估计值	估计量的	0.68896	
	估计值	标准误差	$t(69)$	P
截距	60.2812	5.65012	10.66902	0.000000
T	-1.0064	0.01266	-0.50662	0.614036
P	2.8730	5.05281	0.56860	0.511474
γ	-94.1221	15.06766	-6.24663	0.000000
E/T	13.6201	10.10568	1.34777	0.182142

表 2 结果说明变量 T 和 P 对 F 的影响不显著, 故以 γ 和 E/T 为自变量, 对 F 作线性回归, 结果示于表 3。

表 3 分散度预测模型

样本 $N=74$	$R=0.84187$ $R^2=0.70875$ 调整的 $R^2=0.70055$			
	$F(2, 71)=$	$P<0.00000$	标准误差估计值=	
	估计值	估计量的	0.68304	
	估计值	标准误差	$t(71)$	P
截距	60.4861	4.364689	13.8581	0.000000
γ	-96.4027	7.566759	-12.7403	0.000000
E/T	19.9822	5.669012	3.5248	0.000746

从表 3 可以看出, 胶料分散度的预测数学模型为:

$$F = 60.4861 - 96.4027\gamma + 19.9822 E/T$$

此模型的复相关因数 $R=0.84$, F 统计量和 t 统计量均表明回归方程和回归因数都极为显著。此外, 通过观察残差分析结果 (见表 4), 并未发现模型有异方差现象的发生。

从表 4 可以看出, 此模型的预测值与实测值之差的平均值为 0.567, 这与一般实测值之

表 4 残差分析结果

样本号	实测值	预测值	残差	样本号	实测值	预测值	残差
1	3.60	3.539	0.061	38	1.09	1.650	-0.560
2	2.30	3.466	-1.166	39	2.02	1.573	0.447
3	3.60	3.439	0.161	40	1.42	1.493	-0.073
4	3.80	3.533	0.267	41	0.60	1.361	-0.761
5	4.50	3.440	1.060	42	0.52	1.508	-0.988
6	2.60	3.528	-0.928	43	2.21	1.579	0.631
7	2.40	3.486	-1.086	44	2.63	1.540	1.090
8	4.00	3.471	0.529	45	0.92	1.510	-0.590
9	4.90	3.591	1.309	46	0.89	1.590	-0.700
10	3.40	3.575	-0.175	47	2.04	1.211	0.829
11	3.10	3.519	-0.419	48	1.80	1.252	0.548
12	3.40	3.477	-0.077	49	2.82	1.482	1.338
13	4.00	3.466	0.534	50	0.91	1.458	-0.548
14	4.30	3.493	0.807	51	1.36	1.507	-0.147
15	2.70	3.542	-0.842	52	1.18	1.442	-0.262
16	3.60	3.488	0.112	53	1.49	1.480	0.010
17	3.90	3.467	0.433	54	1.40	1.401	-0.001
18	4.10	3.523	0.577	55	3.78	4.378	-0.598
19	4.30	3.470	0.830	56	2.74	4.250	-1.510
20	3.20	3.863	-0.663	57	4.92	4.287	0.633
21	4.00	3.555	0.445	58	5.07	4.327	0.744
22	4.30	3.575	0.380	59	5.03	4.318	0.712
23	2.10	3.352	-1.252	60	3.84	4.103	-0.263
24	2.90	3.539	-0.639	61	3.62	4.120	-0.500

续表 4

样本号	实测值	预测值	残差	样本号	实测值	预测值	残差
25	3.40	3.464	-0.064	62	4.48	4.133	0.347
26	3.10	3.470	-0.370	63	4.81	4.142	0.668
27	3.40	3.228	0.172	64	4.68	4.070	0.610
28	3.10	3.279	-0.179	65	4.71	4.119	0.591
29	3.10	3.518	-0.418	66	3.60	4.084	-0.484
30	2.30	3.508	-1.208	67	3.72	4.123	-0.403
31	3.90	3.542	0.448	68	4.71	4.249	0.461
32	3.70	3.441	0.259	69	3.39	4.442	-1.052
33	3.20	3.456	-0.256	70	3.87	4.518	-0.648
34	3.50	3.414	0.086	71	5.01	4.362	0.648
35	3.10	3.423	-0.323	72	5.35	4.215	1.135
36	0.94	1.632	-0.693	73	4.11	4.239	-0.129
37	2.12	1.623	0.497	74	4.36	4.139	0.221

间的误差相近,具有一定的实用价值。

4 讨论

按单台密炼机建立的分散度预测数学模型,显著的变量只有填充因数 γ 和总能量 E 与总时间 T 的比 E/T 两个。从这两个变量看,只有填充因数 γ 反映每种胶料之间的差异。而 E/T 与按每种胶料建立的分散度预测数学模型的变量是类似的^[2]。 E/T 变量是平均功率,也就是说,作用在填料粒子上的力的大小和时间的长短对填料粒子在胶料中的分散起决定作用。这一点与按每种胶料建立的模型是类似

的,甚至可将混炼过程中低功率时间去掉,因为低功率时间对填充剂分散作用不大,这样做模型的预测结果更好。

参考文献:

- [1] 张 海,贺德化,李 华,等. 混炼胶质量在线检测技术的研究[J]. 橡胶工业, 1997, 44(2): 90.
- [2] 张 海,贺德化,邵蓉鲁,等. 提高混炼胶分散性及预测精度的研究[J]. 轮胎工业, 1999, 19(4): 223.
- [3] 朱峰峰,张 海,贺德化,等. 密炼机混炼胶粘度预测数学模型的建立[J]. 橡胶工业, 1999, 46(6): 369.
- [4] 周纪芴. 回归分析[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1991. 33.

第 11 届全国轮胎技术研讨会论文

Mathematic model for predicting mix dispersity in internal mixer

ZHANG Hai¹, HE De-hua¹, MA Tie-jun¹, MAI Jun-hong¹, JIANG Zu², WEI Xiang-yang²

[1. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd, Shanghai 200245, China]

Abstract: A mathematic model for predicting the mix dispersity has been established by using the regression analysis based on single internal mixer. The filling factor and the average power during the whole mixing process E/T are self variables. The average difference between the value predicted by the model and the measured value is 0.567, and approximate to the error of common measured value.

Keywords: internal mixer; mix; dispersity

橡胶制品专用炭黑生产线建成投产

中图分类号: TQ330.38⁺2 文献标识码: D

中橡集团炭黑工业研究设计院年产 1 万 t 的汽车橡胶制品专用炭黑生产线于 2001 年 2 月 22 日一次投料试车成功,现已投入正常运行。该生产线系国家经贸委重点科技创新项

目,是我国第一条汽车橡胶制品专用炭黑生产线。该项目的建成投产使中橡集团炭黑工业研究设计院的专用炭黑生产能力突破 2 万 t,可生产适用于汽车油封、减震件、雨刮、密封胶条等橡胶制品的专用炭黑。

(中橡集团炭黑工业研究设计院 徐 忠供稿)