

开炼机混炼胶炭黑分散度数学模型研究

曾宪奎, 赵淑红*

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:针对开炼机炼胶过程,通过研究混炼胶质量指标与混炼过程参数之间的关系,运用统计分析及 SPSS 分析软件,建立预测开炼机混炼胶炭黑分散度的数学模型。通过对模型的显著性和适宜性检验及验证得知,该模型精确度高,预测值与实测值之间的误差不大,可以应用于工程实践的混炼胶质量在线预测。

关键词:开炼机;混炼胶;炭黑分散度;数学模型

中图分类号:TQ330.6+3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2015)10-0614-04

开炼机是最经典的炼胶设备。开炼机混炼工艺是典型的低温炼胶工艺,炼胶温度低,可以长时间炼胶,混炼胶分散性好,塑性均匀,尤其是近几年低温一次法炼胶技术的推广应用,使得开炼机的应用得到了进一步重视。

由于胶料在线检测手段不足,混炼胶质量难以实现在线检测,必须在混炼结束后送到实验室或快检站检测,造成人力和物力耗费。因此实现混炼胶质量在线检测是非常有意义的^[1]。李俊等^[2]通过寻找混炼胶质量指标与混炼过程可控参数之间的关系,建立了预测质量指标可塑度和分散度的数学模型,但研究均在工艺条件相对稳定的密炼机上进行。

本工作针对开炼机,综合考虑炼胶过程中辊筒横压力(排胶时的横压力)、排胶时的功率、单位能耗和排胶温度的影响,将这4个参数作为开炼机混炼胶质量在线预测数学模型的自变量,应用统计分析方法并借助 SPSS 分析软件,建立胶料炭黑分散度数学模型。

1 实验

1.1 设备与仪器

采用自行研制的 XK-160 型开炼机智能炼胶实验平台进行试验。该实验平台可以实现两辊筒速度和速比的任意调节,辊筒间距的自动调整和

精确测量,辊筒横压力自动测量,辊筒温度自动控制及功率、能耗等参数的在线监测、记录、数据存储等功能。DG1000NT+型炭黑分散仪,瑞典 OPTIGRADE 公司产品;MM4130C 型无转子硫化仪,北京环峰化工机械实验厂产品。

1.2 配方

试验配方为最具有代表性的子午线轮胎胎面胶实际配方:天然橡胶 100,炭黑 N330 38.5,白炭黑 15,氧化锌 3.5,硬脂酸 2,偶联剂 Si69 3,增塑剂 A 2,防老剂 RD 1.5,防老剂 6PPD 2,硫黄 1,促进剂 NOBS 1.5。

1.3 方案

采用正交试验设计方法设计试验。选择的开炼机混炼过程工艺参数为:辊距、辊速、速比、温度和时间,选择 6 因素 5 水平正交表 $L_{25}(5^6)$ (其中一列为空白)设计试验。

水平为:①辊距/mm:0.5,0.6,0.7,0.8,0.9;②辊速(后辊)/($r \cdot \min^{-1}$):23,26,29,32,35;③速比:1:1.1,1:1.15,1:1.2,1:1.25,1:1.3;④辊筒温度/ $^{\circ}\text{C}$:50,57,64,71,78;⑤炼胶时间/min:14,15.5,17,18.5,20。

根据试验方案,采用三段混炼工艺,排胶后直接读取辊筒横压力数值;利用手持测温仪检测实际胶料温度,同时采集样本进行炭黑分散度测定。试验过程计算的数据还包括排胶时的功率和单位能耗,最后得到包含开炼机横压力、功率、单位能耗、温度及炭黑分散度的 25 组原始样本数据。

作者简介:曾宪奎(1967—),男,山东青州人,青岛科技大学教授,博士,主要从事橡塑机械教学、设计及研发工作。

* 通信联系人

2 结果与讨论

2.1 相关性分析

使用 SPSS 统计分析软件对采集的 25 批试样的数据进行相关性分析,计算参数的相关因数,得到相关性矩阵,结果见表 1。

表 1 相关系数矩阵

项 目	F_1	P	N	T	Y
F_1	1.000	0.002	0.109	-0.250	0.159
P	0.002	1.000	0.447	0.259	0.368
N	0.109	0.447	1.000	0.139	0.773
T	-0.250	0.259	0.139	1.000	0.142
Y	0.159	0.368	0.773	0.142	1.000

注: F_1, P, N, T, Y 分别为辊筒横压力、排胶功率、单位能耗、排胶温度、炭黑分散度。

从表 1 可以看出,单位能耗与炭黑分散度的相关系数达到0.773,说明两者之间有非常近似的线性关系。辊筒横压力、排胶功率、排胶温度等与炭黑分散度的相关系数绝对值都小于 0.4,说明这些参数与炭黑分散度之间线性相关程度不高。

2.2 回归分析及模型的建立

从相关性分析的结果可知,单位能耗与炭黑分散度有较为显著的线性关系。以横压力、排胶功率、单位能耗、排胶温度为自变量,炭黑分散度为因变量,运用 SPSS 分析软件中的逐步回归方法(Stepwise Regression)进行回归分析。在逐步回归中每一步都对引入变量的显著性进行检验,仅当其显著时才引入,而每引入一个新变量后,对前面已引入的旧变量逐一检验,一旦发现某变量不显著即剔除。重复这些步骤直到引入的变量均为显著而又没有新的变量可引入时,结束挑选变量^[3-5]。调用 SPSS 统计分析软件进行计算,得到线性回归数学模型为:

$$y = -0.160 + 0.060x_1 + 3.366x_2 \tag{1}$$

式中, y 为炭黑分散度, x_1 为排胶功率, x_2 为单位能耗。

2.3 模型检验

2.3.1 显著性检验

应用 SPSS 分析软件中的方差分析对回归得到的数学模型进行显著性检验^[3-5]。回归方程的显著性检验采用 F 检验,结果见表 2;回归方程系数的显著性检验采用 t 检验,结果见表 3。

表 2 多元回归的方差分析¹⁾

模型	平方和	自由度	均方	F	Sig.
回归	4.029	2	2.015	16.340	0 ²⁾
残差	2.712	22	0.123		

注:1)因变量为炭黑分散度;2)预测变量为常量、排胶功率和单位能耗。

表 3 回归系数的显著性检验表

模 型	非标准化系数		试用版		Sig.
	回归系数	标准误差 (标准系数)	t		
常量	-0.160	1.071	-0.149	0.883	
排胶功率	0.060	0.318	0.028	0.008	
单位能耗	3.366	0.669	0.760	5.028	0

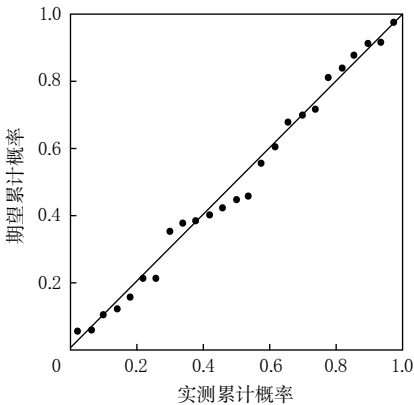
注:因变量为分散度。

从表 2 可以看出,回归模型的统计量 F 值为 16.340,对应的置信水平为 0,可见回归数学模型极为显著。

由表 3 可以看出,经 t 检验,两系数的置信水平分别为 0.008 和 0,按给定的显著性水平 0.1 的情形下,其值的绝对值都明显小于 0.1,均有显著性意义,说明回归模型系数有较强的显著性^[5]。由这两个表可知, F 统计量和 t 统计量均表明回归方程和回归系数都极为显著。

2.3.2 适宜性检验

对模型的适宜性进行检验,残差正态概率如图 1 所示。



注同表 3。

图 1 残差正态概率

由图 1 可以看出,残差值近乎为一条直线,残差服从正态分布,表明模型假设中的正态性、等方差性和可加性均成立。

考察结果表明该模型拟合得非常好,回归极

为显著,通过了所有有关的检验。值得一提的是,测定相关系数 R 值达到 0.773,结果相当理想。

3 模型验证

将此数学模型求得的预测值与实测值进行比较,求得绝对误差如表 4 所示。

由表 4 可见,此模型的预测值与实测值的绝

表 4 炼胶质量预测值与原实验值的比较

样本号	实测值	预测值	绝对误差/%
1	5.9	6.16	-0.26
2	6.3	5.89	0.41
3	5.9	5.97	-0.07
4	6.5	5.82	0.68
5	6.5	6.92	-0.42
6	6.7	6.20	0.50
7	5.7	5.78	-0.08
8	5.2	5.74	-0.54
9	5.5	5.79	-0.29
10	6.8	6.34	0.46
11	5.0	5.13	-0.13
12	6.0	6.04	-0.04
13	5.9	6.00	-0.10
14	6.9	6.72	0.18
15	5.9	5.87	0.03
16	5.7	5.48	0.22
17	5.1	5.14	-0.04
18	5.8	6.23	-0.43
19	6.1	5.80	0.30
20	6.5	6.35	0.15
21	5.4	5.49	-0.09
22	6.3	6.18	0.12
23	6.1	5.75	0.35
24	5.5	5.85	-0.35
25	5.4	5.96	-0.56

对误差全部小于 0.7%,说明模型的预测值与实测值非常相近,模型具有一定的实用价值。

4 结论

(1)提出运用 SPSS 建立开炼机混炼胶炭黑分散度数学模型的方法:先对混炼过程参数与混炼胶质量指标进行相关性分析,找出与炭黑分散性线性相关大的参数,然后通过回归分析建立炭黑分散度的数学模型。依据此方法建立的数学模型为 $y = -0.160 + 0.060x_1 + 3.366x_2$,并通过了模型的显著性检验和适宜性检验。

(2)模型验证结果显示,模型预测值与实测值之间的绝对误差全部小于 0.7%,说明此模型精确性较高,可部分代替实际检测,节省人力,提高效率,缩短混炼胶的停放时间,加速资金周转。

本建模方法可用于解决开炼机混炼胶炭黑分散度质量在线检测的问题。但模型预测值与实测值存在一定的误差,用于开炼机混炼胶炭黑分散度的在线预测,还需要进一步研究与完善。

参考文献:

[1] 张海,贺德化,马铁军,等.密炼机混炼胶分散度预测数学模型的建立[J].橡胶工业,2001,48(6):349-351.
[2] 李俊,马铁军,陈国华,等.基于多因素的混炼胶质量预测模型[J].橡胶工业,2006,53(10):614-617.
[3] 王黎明,陈颖,杨楠.应用回归分析[M].上海:复旦大学出版社,2008:107.
[4] 张海,贺德华,李华,等.混炼胶质量在线检测技术的研究[J].橡胶工业,1997,44(3):160-165.
[5] 吴明隆.SPSS 统计应用实务[M].北京:中国铁道出版社,2001:74.

收稿日期:2015-04-01

Mathematical Model for Predicting Dispersion of Carbon Black in Mill Mix

ZENG Xian-kui, ZHAO Shu-hong

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: In this study, the relationship between quality index of the mix and mixing process parameters of mill mixing process was investigated and the mathematical model for predicting the dispersion of carbon black in mill mix was established by statistical analysis method and software SPSS. The test results of significance and applicability of the model showed that the model had high accuracy. The error between predicted value and experimental test value was small. It could be applied to online pre-

diction of mix quality.

Key words: mill; mix; carbon black dispersion; mathematical model

炭黑:转方式调结构 绿色化国际化

中图分类号:TQ330.38⁺1 文献标志码:D

我国炭黑工业在“做大”的同时,并没有“做强”。炭黑工业正伴随着我国经济发展放缓,告别“高增长”时代,进入“微增长”的新常态。对此,江西黑猫炭黑股份有限公司董事长蔡景章认为,在“十三五”时期,我国炭黑工业应当转方式、调结构、绿色发展、走国际化道路。

第一,转方式。大力推动国内炭黑企业强强联合或兼并重组,通过并购重组提高产业集中度,促进资源向优势企业集中,淘汰落后,改变单纯建厂和上项目扩产的增长方式,化解日益严重的产能过剩问题。

世界炭黑产业集中度明显高于国内炭黑行业,且我国炭黑企业小、散、多,自身研发能力不强,又难以抱团形成合力,只能在低端的普通橡胶用炭黑上重复建设,同质化无序竞争,导致在上下游产业均没有话语权。2014 年我国 70 余家企业共生产炭黑 510 万 t,而国际排名前三的炭黑企业合计产能就超过 510 万 t。

我国炭黑企业应通过强强联合或兼并重组,实现优势互补,优化资源配置,集中资金进行产品的研究和开发,从而扩大市场占有率,获取更大的经济效益。同时,还能够提高企业的国际竞争力,促进中国民族工业的发展。

第二,调结构。我国炭黑的产能过剩主要是结构性过剩,也就是普通橡胶用炭黑产能过剩,而其他产品如绿色轮胎需要的低滚动阻力炭黑、高性能色素炭黑、导电炭黑、高端汽车橡胶配件炭黑等产品还欠缺。我国炭黑企业必须在高性能炭黑、特种炭黑的研发和应用方面加大投入,增加研发基础设施和先进的试验检测手段,实现转型升级,从根本上化解产能过剩带来的同质化竞争问题。

第三,绿色发展。现在国内的湿法炭黑已基本取代干法炭黑,原料油消耗从 2005 年的 1.84 t 逐步降低到 1.7 t 以下,达到国际先进水平。在“十三五”期间,我国炭黑工业应该朝着“生产装置大型化、工艺过程清洁化、余热利用高效化”方向

努力,走绿色发展之路。

在“十三五”期间,我国炭黑工业应开发应用国际先进的 6 万~8 万 t 超大型装置,同时大型炭黑生产装置需要的配套关键设备和材料实现国产化。大力推广应用新型高效滤袋和袋滤器,减少炭黑烟尘排放,将废水、尾气实现资源化循环利用和无害化处理。使用寿命更长、温度更高的高温空气预热器和热效率更高的余热锅炉,开发应用急冷锅炉,对炭黑工艺烟气余热实行梯度开发、高效利用,既可以降低油耗和产出蒸汽,也可以减少急冷水用量、提高尾气热值,降低袋滤器负荷,还能减少二氧化碳的排放,为炭黑企业带来显著的经济效益和社会效益。

第四,走国际化道路。我国是世界最大的炭黑出口国,但是我国炭黑的生产制造和炭黑原料油采购还局限在国内。经过多年发展,我国橡胶用炭黑的生产工艺技术和炭黑装备制造已具有国际先进水平,我国部分优势炭黑企业已具备面对挑战、同国外炭黑企业同台竞技的能力。我国炭黑企业应审时度势,抓住机遇,借助国家“一带一路”战略走出去,利用好国内国外两种资源,及时掌握国外炭黑原料油和炭黑产品的市场动态,化解国内炭黑的产能过剩,规避国际贸易壁垒,增强我国炭黑企业的国际竞争力。

经过“十二五”的飞速发展,我国已成为世界炭黑大国。但中国炭黑工业同国际先进水平相比较,在产业集中度、国际化、品牌、盈利性、创新以及品种结构等方面还有不小差距。我国炭黑工业的发展方式正从规模速度型粗放增长转向质量效益型集约增长,从增量扩能为主转向调整存量、做优增量并存的深度调整,发展动力正从传统增长点转向新的增长点。当前,全球炭黑新一轮科技革命和产业变革正在孕育兴起,我们必须抓住机遇,创新求变,迎接挑战,在“十三五”和今后的 10 年里,加快由“大”变“强”的前进步伐,坚持不懈,走出一条有自己特色的发展道路,实现炭黑强国的目标。

(摘自《中国化工报》,2015-08-06)