

基于多指标综合评分法的开炼机炼胶工艺研究

曾宪奎,张宗廷,汪传生,吕冲,刘威

(青岛科技大学机电工程学院,山东青岛 266061)

摘要:采用自行研制的XK-160E型开炼机智能炼胶实验平台对开炼机炼胶工艺进行正交试验,并运用基于模糊映射的质量指标加权综合评分法对混炼胶的门尼粘度、炭黑分散度、300%定伸应力、拉伸强度和撕裂强度进行综合评分。通过极差分析确定辊距、辊速、速比、辊筒温度和混炼时间5个工艺参数对综合评分值的影响,得出最优的开炼机炼胶工艺参数组合方案。

关键词:开炼机;工艺参数;综合评分法;多目标优化

中图分类号:TQ330.4⁺3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2015)12-0748-04

开炼机属于橡胶制品加工的基本设备,在橡胶制品行业中应用极为广泛,近几年随着低温炼胶技术的研究和推广,开炼机炼胶工艺重新被重视^[1]。终炼胶的门尼粘度、炭黑分散度和物理性能等质量指标都对橡胶的后续加工和成品的质量影响较大。开炼机炼胶过程十分复杂,炼胶过程中辊距、辊速、速比、辊筒温度和混炼时间等参数对终炼胶的质量均有一定程度的影响。目前,有不少研究采用正交试验法,对多因素单目标值进行分析,得出一个单目标值最优的工艺组合参数。由于评价终炼胶质量的指标很多,这种方法无法令所有指标都达到最优,仅优化一个目标值很难得到最优的工艺方案。为了使终炼胶的每项质量指标都达到较理想的状态,本研究引入质量指标加权综合评分的办法,结合正交试验,根据各质量指标对终炼胶质量的影响进行加权综合评分,然后通过极差分析,确定各工艺参数对综合评分的影响程度,从而确定一组最佳的工艺参数。

1 实验

1.1 配方

试验采用全钢子午线轮胎胎面胶配方:NR 100,炭黑N330 38.5,白炭黑 15,氧化锌 3.5,硬脂酸 2,增塑剂A 2,偶联剂Si69 3,防老剂RD 1.5,防老剂6PPD 2,硫黄 1,促进剂

NOBS 1.5。

1.2 设备与仪器

XK-160E型开炼机智能炼胶试验平台、X(S) M-1.7L型密炼机,青岛科技大学产品;MM4130C型无转子硫化仪,北京环峰化工机械实验厂产品;QLB-400×400×2平板硫化机,上海第一橡胶机械厂产品;TS 2005b型万能试验机、UM-2050型门尼粘度仪,中国台湾优肯科技股份有限公司产品;QP-16型橡胶塑料试验切片机,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品;DQJ-660型单刀切胶机,青岛亚东橡塑机械有限公司产品;DG1000NT+型炭黑分散仪,瑞典OPTIGRADE公司产品。

1.3 方案

本试验采用正交试验法,选择的开炼机炼胶工艺参数有辊距、辊速、辊筒速比、辊筒温度和混炼时间等,将其作为试验因子,因此选择五因子四水平正交表,试验条件如下:

- (1) 辊距(A):0.5,0.6,0.7,0.8 mm;
- (2) 辊速(后辊)(B):26,28,30,32 r·min⁻¹;
- (3) 辊筒速比(C):1:1.1,1:1.15,1:1.2,1:1.25;
- (4) 辊筒温度(D):50,57,64和71℃;
- (5) 混炼时间(E):14,16,18和20 min。

1.4 测试方法

试验选取的混炼胶质量评价参数为门尼粘度、炭黑分散度、拉伸强度、撕裂强度、300%定伸应力5项物理性能。门尼粘度使用UM-2050型门尼

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。

粘度计,根据GB/T 1233—1992《橡胶胶料初期硫化特性的测定 门尼粘度计法》测量。拉伸强度、撕裂强度、300%定伸应力等采用TS 2005b型万能试验机测试,均按GB/T 528—1992《硫化橡胶和热塑性橡胶拉伸性能的测定》进行,拉伸速度为500 mm·min⁻¹,环境温度为20℃;分散度测试采用DG1000NT+型炭黑分散仪。

2 结果与讨论

2.1 数据处理

由于试验中各质量指标的量纲不一致,而且对终炼胶质量的重要程度也各有差异,因此无法将测得的5个质量指标数据进行叠加评价。本试验采用模糊数学中的映射函数将各质量指标值映射到区间[0,1]上,然后根据5个质量指标的重要程度,采用百分制综合加权评分。加权综合评分值Y的计算公式^[2]为

$$Y_j = b_{j1} Y_{j1} + b_{j2} Y_{j2} + b_{j3} Y_{j3} + b_{j4} Y_{j4} + b_{j5} Y_{j5} = \sum_{i=1}^5 b_{ji} Y_{ji}$$
 (1)

式中, b_{ji} 为权因子系数,表示第j个试验中第i项指标在加权综合评分法中应占的权重。 Y_{ji} 为第j个试验中的第i项考察指标, Y_j 为第j个试验中的综合考察指标。

由于混炼胶质量指标的重要程度不同,且门尼粘度和炭黑分散度都对物理性能有影响^[3],同时门尼粘度对炭黑分散度也有影响,因此取门尼粘度、炭黑分散度、300%定伸应力、拉伸强度、撕裂强度加权值分别为 $b_1=30, b_2=25, b_3=b_4=b_5=15$ 。

由于各目标质量参数均为单边约束,因此选用Sigmoid隶属度函数将各质量指标值映射到区间[0,1]上。Sigmoid函数 $y^{[4]}$ 为

$$y = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (2)$$

式中, a 和 c 为Sigmoid函数的两个可变参数值。通过试验结果及半升直线型函数与Sigmoid函数的转换关系式可得到不同指标所取的不同的 a 和 c 值。函数各参数取值如表1所示。

表1 Sigmoid函数各参数取值

质量指标	参 数	
	a	c
门尼粘度[ML(1+4) 100℃]	1 098.6	0.017 5
炭黑分散度	1.373 3	6.000 0
300%定伸应力/MPa	1.83	6.50
拉伸强度/MPa	0.785	19.500
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	0.183	60.000

由于门尼粘度值越小越好,而其余4个指标值越大越好,因此在归一化前先将门尼粘度值取倒数处理,使各指标均越大越好,便于评分。试验结果和综合评分结果见表2。

2.2 结果分析

为得出各工艺参数与综合评分值的关系,找出各工艺参数对综合评分值的影响趋势和影响程度,寻求工艺参数的最佳组合,本试验采用直观分析法就开炼机炼胶过程的3个工艺参数对综合评分值的影响进行分析^[5],即计算出各因子在各水平上的平均值和极差,结果见表3。

由极差分析可知,辊筒温度的极差最大,是关键因素,辊速的极差最小,是次要因素,各工艺参数对综合评分值的影响程度由大到小依次为辊筒温度、辊距、混炼时间、速比和辊速。各参数对综合评分值的水平影响趋势分别如图1~5所示。

通过观察水平影响趋势图,因子的各水平综合评分值越高的水平所组成的方案越好,因此由

表2 正交试验和综合评分结果

项 目	试验序号															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
门尼粘度 [ML(1+4) 100℃]	56.8	63.4	53.9	59.6	61.8	53.2	63.6	64.5	62.7	55.3	53.8	64.5	63.4	61.8	60.5	60.3
炭黑分散度	5.9	6.3	6.5	6.7	5.7	5.2	5.0	6.0	5.9	6.9	5.7	5.8	6.1	6.3	6.1	5.5
300%定伸应力/MPa	6.0	5.8	5.6	6.8	6.7	6.2	6.3	6.9	7.1	6.6	7.4	5.5	5.4	5.9	6.0	6.5
拉伸强度/MPa	18.9	20.9	17.3	22.1	20.3	18.8	17.2	21.2	21.3	18.5	21.2	18.5	18.2	17.3	20.3	18.2
撕裂强度/ (kN·m ⁻¹)	56	58	59	73	65	63	53	72	73	65	72	55	61	48	71	60
综合评分	37.6	33.5	44.1	50.2	34.3	41.4	17.0	37.5	39.6	51.9	57.4	20.6	23.0	26.8	35.1	27.9

表3 综合评分值极差分析结果

水平评分均值	因 子				
	辊距(A)	辊速(B)	速比(C)	辊筒温度(D)	混炼时间(E)
水平1均值	41.346 94	33.613 6	41.073 69	25.487 35	40.522 64
水平2均值	32.568 61	38.385 04	30.863 01	37.856 87	29.486 95
水平3均值	42.372 38	38.432 01	36.996 54	39.553 73	32.284 99
水平4均值	28.187 26	34.044 54	35.541 95	41.577 24	42.180 62
极差	14.185 12	4.818 412	10.210 68	16.089 89	12.693 67

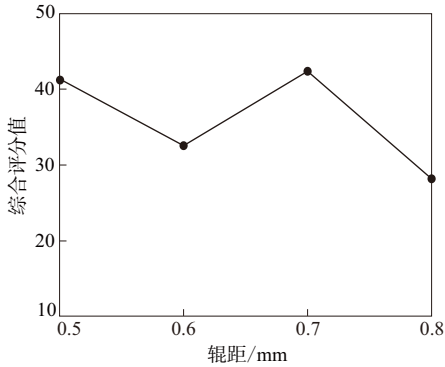


图1 辊距对综合评分值的影响曲线

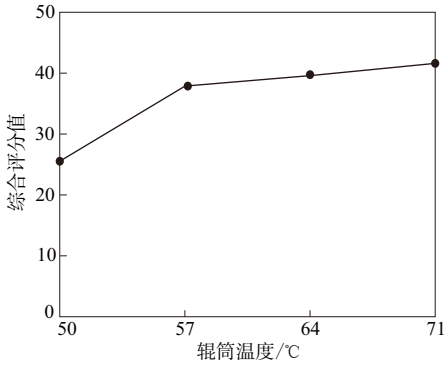


图4 辊筒温度对综合评分值的影响曲线

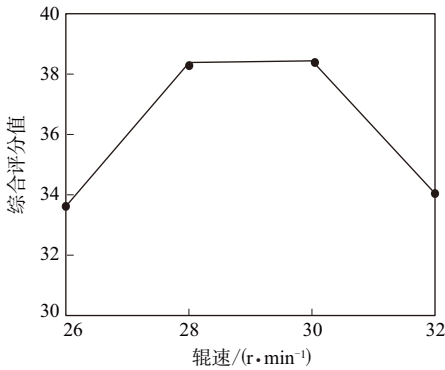


图2 辊速对综合评分值的影响曲线

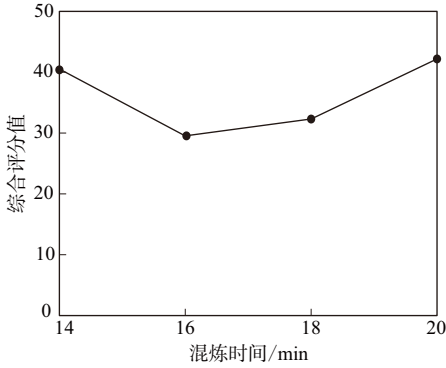


图5 混炼时间对综合评分值的影响曲线

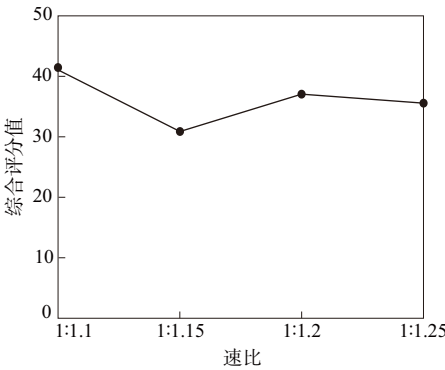


图3 速比对综合评分值的影响曲线

工艺参数对综合评分值的影响趋势可知,对于XK-160E型开炼机智能炼胶试验平台,最佳的工艺参数组合为 $A_3B_3C_1D_4E_4$ 。

3 结论

(1) 辊筒温度对开炼机终炼胶的综合质量影响最大,各工艺参数对综合评分值的影响程度由大到小依次为辊筒温度、辊距、混炼时间、速比和辊速。

(2) 对于XK-160E型开炼机智能炼胶试验平台,最佳的工艺参数组合为 $A_3B_3C_1D_4E_4$ 。即辊距 0.7 mm,辊速 $30 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,速比 1 : 1.1,辊筒温度 $71 \text{ }^\circ\text{C}$,混炼时间 20 min。

参考文献:

[1] 单国玲,刘谦. 开炼式连续自动低温炼胶工艺技术开发与应用[J]. 轮胎工业,2011,31(1):41-45.
[2] 潘柏松,龚惠玲,刘红. 基于正交试验法的注塑工艺多目标优化设

- 计[J]. 浙江工业大学学报, 2007, 35(3): 308-312.
- [3] 汪传生, 李真, 阙露露. 炭黑分散度对混炼胶物理机械性能的影响[J]. 橡塑技术与装备, 2010, 36(3): 1-5.
- [4] 吴杰康, 祝宇楠, 韦善革. 采用改进隶属度函数的梯级水电站多目

- 标优化调度模型[J]. 电网技术, 2011, 35(2): 48-52.
- [5] 张海, 贺德化, 马铁军, 等. 橡胶混炼工艺参数的优化设计[J]. 轮胎工业, 1996, 16(2): 93-98.

收稿日期: 2015-06-14

Research on Open Mill Mixing Process Based on Multi-index Comprehensive Evaluation Method

ZENG Xian-kui, ZHANG Zong-ting, WANG Chuan-sheng, LÜ Chong, LIU Wei

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

Abstract: In this study, orthogonal experiments were carried out by using a self-made XK-160E open mill intelligent mixing experiment platform. Mooney viscosity, carbon black dispersion, 300% modulus, tensile strength, tear strength of the compound were comprehensively scored by using the quality index of the weighted comprehensive evaluation method based on fuzzy mapping. The effects of roll gap, roll speed, speed ratio, roller temperature, and mixing time were determined by range analysis, and the optimal parameters for open mill mixing process were obtained.

Key words: open mill; process parameter; comprehensive scoring method; multi-objective optimization

第10期全国轮胎结构设计技术高级培训班在北京举办

中图分类号: TQ336.1 文献标志码: D

2015年10月11—22日, 由中国化工学会橡胶专业委员会、全国橡胶工业信息中心、北京橡胶工业研究设计院主办的“第10期全国轮胎结构设计技术高级培训班”在北京举办, 来自轮胎企业、科研院所及相关行业的83名学员参加了本期培训班。

2015年恰逢中国橡胶工业诞生100年, 历经百年坎坷, 中国已成为世界最大的轮胎生产国和橡胶消费国。历经60年风雨的北京橡胶工业研究设计院在新中国橡胶工业的发展进程中发挥了举足轻重的作用, 积淀了深厚的技术和人力资源, 储备了丰富的技术资料, 为具有近20年历史的轮胎结构/配方设计技术高级培训班的成功举办奠定了坚实的基础。

目前, 我国正由轮胎生产大国向生产强国迈进, 同时也面临着美国“双反”调查、轮胎标签法规相继实施、复合橡胶新国标出台、市场需求疲软、产能过剩的严峻挑战。对于即将到来的“十三五”, 新常态下的轮胎工业亟需转型发展, 未来将更加重视技术创新和产品质量提升, 应用科

学的设计理论、先进的生产工艺、高效的信息化和智能化技术全面提升轮胎制造水平。

本期培训班围绕轮胎结构设计方面的知识安排了系统课程, 邀请了马良清、陈志宏、危银涛等专家和教授授课。与往期培训班相比, 本期培训时间安排更紧凑, 授课内容更实用、更丰富。

本期培训班对全钢工程机械子午线轮胎、全钢载重子午线轮胎、半钢子午线轮胎、斜交轮胎的结构设计技术做了详细讲解; 并请高校中理论知识丰富的知名教授对充气轮胎性能与结构、轮胎有限元分析、汽车轮胎NVH与振动噪声进行了系统授课; 还安排了非常实用的子午线轮胎剖析报告、轮胎使用中常见问题分析、骨架材料在轮胎中的应用等课程。授课老师进行现场答疑, 帮助学员们解决了在实际工作中遇到的一些问题, 学员们都感觉获益匪浅。

全国轮胎结构/配方设计技术高级培训班迄今已成功举办了19期, 累计2 000多名学员参加了培训。培训班为轮胎及相关企业培养技术骨干和中坚力量发挥了重要作用, 促进了轮胎行业工程技术人员业务水平的提升, 得到了企业的大力支持, 并获得广泛好评。

(本刊编辑部)