

基于方差分析的开炼机智能炼胶过程优化

曾宪奎, 吕冲, 张宗廷

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:采用XK-160E型开炼机智能炼胶实验平台,在试验测得的开炼机最优炼胶工艺参数组合(辊距 0.6 mm, 辊速 $29 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 速比 1:1.25, 辊筒温度 $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 混炼时间 18 min)条件下,通过SPSS统计分析软件的方差分析结果选取辊距、辊速和速比进行研究。对试验数据进行分析处理,从而得到在炼胶过程中工艺参数最优的变化趋势,最终实现对橡胶开炼机智能炼胶过程的优化。

关键词:开炼机;方差分析;参数优化;智能炼胶

中图分类号:TQ330.4⁺3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2016)02-0107-04

开炼机在橡胶制品行业中应用极为广泛^[1],特别是随着低温炼胶技术^[2]的普及和推广,开炼机的炼胶工艺进一步得到重视。开炼机炼胶过程中辊距、辊速、速比、辊筒温度和混炼时间等参数对炼胶质量均有一定程度的影响,要达到最优的炼胶效果,就必须选取每个工艺参数的最优值^[3-4]。在炼胶过程的不同阶段,每个工艺参数的最优值不同。如果能够在炼胶过程的每个阶段使具有显著性影响的工艺参数都处在最优状态,就会获得最佳的炼胶效果,从而实现开炼机智能炼胶的最终目标。本工作采用方差分析的方法,研究对炼胶过程具有显著性影响的工艺参数优化问题。

1 工艺参数对炼胶质量影响的显著性分析

要实现开炼机的智能炼胶,即实现对炼胶过程工艺参数的最优化控制,首先应该确定对炼胶过程及炼胶质量具有显著性影响的工艺参数,然后研究对炼胶过程具有显著性影响的工艺参数优化问题。对炼胶过程工艺参数显著性影响的研究可以采用方差分析的方法,其基本格式如表1所示。统计检验量(F)为组间均方差(MSR)与组内均方差(MSE)的比值。

1.1 门尼粘度

根据炼胶工艺参数对开炼机炼胶质量指标影

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2014EMM018)

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。

表1 方差分析的基本格式

方差来源	离差平方和	自由度(f)	均方差
组间	SSR	$k-1$	MSR
组内	SSE	$nk-k$	MSE
总方差	SST	$nk-1$	—

注:SSR为回归平方和;SSE为残差平方和;SST为总平方和; k 为限制条件的数量; n 为自由度。

响的试验结果,调用SPSS统计分析软件的方差分析^[5]程序可得炼胶过程工艺参数对门尼粘度影响的方差分析表,如表2所示。

表2 工艺参数对门尼粘度影响的方差分析

方差来源	平方和(S)	自由度(f)	均方和($\bar{S}$)	F
辊距	253.018	4	63.255	10.587
辊速	49.234	4	12.309	2.060
速比	40.654	4	10.164	1.701
辊筒温度	33.906	4	8.477	1.419
混炼时间	30.914	4	7.729	1.294
误差	23.898	4	5.975	—

由表2可以看出,辊距、辊速、速比、辊筒温度和混炼时间这5个因子中,辊距对门尼粘度的影响最显著,其次为辊速、速比、辊筒温度和混炼时间。

1.2 炭黑分散度

根据炼胶工艺参数对开炼机炼胶质量指标影响的试验结果,调用SPSS统计分析软件的方差分析^[5]程序可得炼胶过程工艺参数对炭黑分散度影响的方差分析,如表3所示。

由表3可以看出,辊距、辊速、速比、辊筒温度

表3 工艺参数对炭黑分散度影响的方差分析

方差来源	平方和(S)	自由度(f)	均方和($\bar{S}$)	F
辊距	4.062	4	1.015	3.949
辊速	2.634	4	0.658	2.560
速比	2.042	4	0.510	1.984
辊筒温度	1.890	4	0.472	1.837
混炼时间	0.938	4	0.234	0.911
误差	1.030	4	0.257	—

和混炼时间这5个因子中,辊距对炭黑分散度的影响最为显著,其次为辊速、速比、辊筒温度和混炼时间。

因此,在优化开炼机炼胶工艺参数时,选取对门尼粘度具有显著性影响的前3项,即辊距、辊速和速比进行研究。

2 炼胶过程工艺参数的优化

通过以上分析,确定对炼胶过程及炼胶质量具有显著性影响的工艺参数,并对这些参数进行优化。研究方案为:(1)确定试验的因子及水平,设计试验方案;(2)根据试验方案进行试验,得到试验结果;(3)对试验数据进行分析处理,得到工艺参数在炼胶过程中最优的变化趋势。

2.1 试验研究

根据上述研究结果,设计开炼机智能炼胶过程工艺参数优化试验。试验因子是辊距、辊速和速比。试验测得,开炼机炼胶过程最优的工艺条件为:辊距 0.6 mm,辊速 29 r·min⁻¹,速比 1:1.25,辊筒温度 50℃,混炼时间 18 min。

为获得辊距、辊速和速比在炼胶过程中的优化方案,针对每个工艺参数分别设计了不同的水平,其设计原则是:开炼机炼胶过程最优的工艺条件为中间水平,从小值变到大值和大值变到小值的变化过程为其余的两个水平,采用L₉(3⁴)正交试验表安排试验。在本试验中,设计3种辊距的取值,第1种为辊距在炼胶过程中从0.5 mm变至0.7 mm;第2种为辊距在炼胶过程中保持不变,取值为最佳值0.6 mm;第3种为辊距在炼胶过程中从0.7 mm变至0.5 mm。这种设计的目的是通过试验研究辊距、辊速和速比等工艺参数在炼胶过程中最优的变化趋势,为进一步的研究提供理论依据。其他试验条件为:辊筒温度 50℃,混炼时间 18 min。

2.2 试验条件

胶料温度冷却到70~80℃后,加入偶联剂、硫化剂等助剂,对橡胶进行充分塑炼和混炼,温度一直控制在50℃,辊距、辊速和速比根据试验方案工艺要求进行变化,时间间隔为6 min,总混炼时间为18 min,采用薄通法炼胶。具体试验条件如下:

(1) 辊距为从0.5 mm变至0.7 mm,保持0.6 mm和从0.7 mm变至0.5 mm;

(2) 辊速(前辊)为从26 r·min⁻¹变至32 r·min⁻¹,保持29 r·min⁻¹和从32 r·min⁻¹变至26 r·min⁻¹;

(3) 速比为从1.2变至1.3,保持1.25和从1.3变至1.2;

(4) 辊筒温度为(50±1)℃;

(5) 混炼时间为18 min;

(6) 硫化条件:采用QLB-400×400×2型电加热平板硫化机硫化,硫化条件为:160℃/16 MPa×6 min。

因子与水平见表4。

表4 L₉(3⁴)正交试验的因子与水平

水平	因 子		
	A	B	C
1	从0.5 mm变至0.7 mm	从26 r·min ⁻¹ 变至32 r·min ⁻¹	从1.2变至1.3
2	保持0.6 mm	保持29 r·min ⁻¹	保持1.25
3	从0.7 mm变至0.5 mm	从32 r·min ⁻¹ 变至26 r·min ⁻¹	从1.3变至1.2

注:A—辊距;B—辊速;C—速比。

2.3 试验方案

开炼机智能炼胶过程工艺参数优化试验的安排见表5。

表5 L₉(3⁴)正交试验表

试验序号	试验方案		
	辊距	辊速	速比
1	A ₁	B ₁	C ₁
2	A ₁	B ₂	C ₂
3	A ₁	B ₃	C ₃
4	A ₂	B ₁	C ₂
5	A ₂	B ₂	C ₃
6	A ₂	B ₃	C ₁
7	A ₃	B ₁	C ₃
8	A ₃	B ₂	C ₁
9	A ₃	B ₃	C ₂

2.4 试验结果

表6为采用L₉(3⁴)正交试验法进行的炼胶过程参数优化试验的结果。

3 试验数据分析

开炼机炼胶质量指标较多,为简化研究,本工作仅对单位能耗、门尼粘度、炭黑分散度、300%

表6 炼胶过程参数优化试验结果

试验序号	单位能耗/ (kJ·g ⁻¹)	门尼粘度[ML(1+4)100℃]	炭黑分散度/级	300%定伸应力/ MPa	拉伸强度/MPa	撕裂强度/ (kN·m ⁻¹)
1	1.684	56.0	7.8	9.6	24.7	109
2	1.723	54.6	7.2	8.9	22.5	98
3	1.845	52.7	6.8	8.5	21.3	92
4	1.742	53.4	6.9	8.2	20.7	92
5	1.931	51.8	7.0	8.3	19.5	87
6	1.873	58.0	6.5	7.7	17.8	84
7	2.050	52.3	7.2	7.4	18.2	85
8	1.843	55.5	7.4	8.7	17.7	79
9	1.912	54.0	7.6	9.1	21.7	83

定伸应力、拉伸强度、撕裂强度进行研究。

3.1 辊距变化对炼胶质量的影响

辊距变化与炼胶质量的关系如表7所示。

表7 辊距变化与炼胶质量的关系

项 目	辊距变化方案		
	A ₁	A ₂	A ₃
单位能耗/(kJ·g ⁻¹)	1.757	1.849	1.935
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	54.43	54.40	53.90
炭黑分散度/级	7.3	6.8	7.4
300%定伸应力/MPa	8.9	8.0	8.3
拉伸强度/MPa	22.9	19.5	19.0
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	60	89	84

从表7可以看出:在炼胶过程中,辊距由小到大变化时,消耗能量最少,300%定伸应力和拉伸强度最佳,撕裂强度较低;辊距由大到小变化时,胶料门尼粘度最低、炭黑分散度最佳。由此可见,开炼机在炼胶过程中,辊距的最佳变化趋势是由小到大。

3.2 辊速变化对炼胶质量的影响

辊速变化与炼胶质量的关系如表8所示。

表8 辊速变化与炼胶质量的关系

项 目	辊速变化方案		
	B ₁	B ₂	B ₃
单位能耗/(kJ·g ⁻¹)	1.825	1.832	1.877
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	53.90	53.97	54.90
炭黑分散度/级	7.3	7.2	7.0
300%定伸应力/MPa	8.4	8.6	8.5
拉伸强度/MPa	21.0	19.2	20.4
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	93	86	85

从表8可以看出,在炼胶过程中,辊速由小到大变化时,炼胶消耗的能量最少,胶料门尼粘度最小,炭黑分散度最佳,300%定伸应力稍低,而拉伸强度和撕裂强度最佳。可见,辊速的最佳变化趋势是由小到大。

3.3 速比变化对炼胶质量的影响

速比变化与炼胶质量的关系如表9所示。

表9 速比变化与炼胶质量的关系

项 目	速比变化方案		
	C ₁	C ₂	C ₃
单位能耗/(kJ·g ⁻¹)	1.800	1.795	1.942
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	56.50	54.00	52.27
炭黑分散度/级	7.2	7.2	7.0
300%定伸应力/MPa	8.7	8.8	8.1
拉伸强度/MPa	20.0	21.7	19.8
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	92	91	88

从表9可以看出,在炼胶过程中,速比不变时,消耗的能量最少;速比由大到小变化时,胶料门尼粘度最小,300%定伸应力和撕裂强度最佳,拉伸强度偏低;速比由小到大变化时,炭黑分散度最好。可见,速比的最佳变化趋势是由大到小。

4 结论

(1)开炼机在炼胶过程中,辊距、辊速和速比的最佳变化趋势分别为:由小到大、由小到大和由大到小。

(2)试验得出的辊距、辊速和速比的最佳优化路径和方法,为开炼机炼胶过程工艺参数优化方

案的制定和智能炼胶过程的实现奠定了基础。

参考文献:

- [1] 谈玉坤. 我国轮胎工业近年发展回顾及前景[J]. 轮胎工业, 2011, 31(2): 67-70.
- [2] 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.

- [3] 潘柏松, 龚惠玲, 刘红. 基于正交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.
- [4] 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.
- [5] 宋志刚. SPSS16实用教程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

收稿日期: 2015-08-16

Optimization of Intelligent Mixing Process for Open Mill Based on Variance Analysis

ZENG Xiankui, LYU Chong, ZHANG Zongting

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

Abstract: Under the optimized mixing parameters of open mill process using XK-160E mill with intelligent rubber mixing experiment system (roller spacing 0.6 mm, roller speed $29 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, speed ratio 1:1.25, roller temperature 50°C , mixing time 18 min), the roller spacing, roller speed and speed ratio were further investigated based on the variance analysis using analysis software SPSS. The optimal change trend of process parameters in the mixing process was obtained through experimental data analysis, and the optimization of intelligent rubber mixing process for mill was achieved.

Key words: mill; variance analysis; parameter optimization; intelligent mixing

燕化稀土异戊橡胶成套技术通过鉴定

中图分类号: TQ330 文献标志码: D

近日, 中国石化北京燕山石油化工股份有限公司、中国石化北京化工研究院、北京燕山玉龙石化工程有限公司共同开发的具有自主知识产权的年产3万t稀土异戊橡胶工业成套技术通过中国石化组织的技术鉴定。

作为中国石化十条龙攻关项目之一, 该项目完成了万吨级稀土异戊橡胶成套技术工艺包的开发, 建成了年产3万t工业装置并实现一次开车成功。装置产出了轮胎用、医用Nd-IR01和Nd-IR02两个牌号稀土异戊橡胶产品, 自主开发了多项专利、专有技术, 其中14项已获得中国发明专利授权, 6项已获得国际发明专利授权, 整体技术达到国际先进水平。

该项目具有高效、均相、稳定的稀土催化剂制备技术, 独有的三釜串联绝热聚合工艺以及灵活有效的门尼粘度调控技术等八大主要创新点。其

中, 稀土催化剂制备技术属国际首创, 且催化效率更高、定向能力高, 赋予稀土异戊橡胶产品优异的综合性能, 同时稳定性好, 有利于存储和使用; 三釜串联绝热聚合工艺在稀土异戊橡胶工业生产中也属国际首创, 聚合工艺单体转化率高, 大幅降低了装置的能耗、物耗, 且设备用量小, 初始投资和运行维护费用明显降低; 而门尼粘度调控技术则通过改变相对分子质量调节剂和催化剂加入量等调控手段, 短时间内即可将门尼粘度调控到产品技术指标范围内并稳定运行, 有效提高了产品合格率。

异戊橡胶是天然橡胶的理想替代品, 可用于轮胎、医疗器械、食品包装等领域, 主要用于轮胎制造。燕山石化稀土异戊橡胶工业成套技术的开发成功解决了我国天然橡胶严重依赖进口的问题, 战略意义重大, 同时异戊橡胶生产技术也是中国石化碳五综合利用的关键环节。

(摘自《中国化工报》, 2015-12-22)