

直接利用生产数据对橡胶混炼工艺参数进行优化的研究*

贺德化 汪国强 张海 吴广潮** 马铁军

(华南理工大学 510641)

蔡大扬 邹明清

(广州珠江轮胎公司 510828)

摘要 以橡胶混炼工艺参数为因素,直接利用 MGKJ密炼机微机监控仪所获得的数据,研究了采用区间作为因素的水平进行优化的一般方法,并以 B4胶和 902胶作为应用实例来说明整个优化过程,得出了优良的参数结果。

关键词 橡胶,混炼,工艺参数,优化

对密炼机混炼工艺参数(如投炭黑点、加油点、排料点)的优化,通常是先以上述工艺参数为因素进行试验设计^[1],通过试验获得数据,最后利用数理统计方法找出较优的控制参数。这需要专门试验,不但需多花人力、物力,而且不能进行实时的优化控制。本文利用 MGKJ密炼机微机监控仪采集的数据^[2],考虑到数据是随机的,且遍布于其取值范围,因此以区间来划分因素的水平进行优化。由于是直接使用混炼过程中的数据,因而为实现混炼过程工艺参数的动态优化提供了一种简捷的方法。

1 MGKJ密炼机监控仪简介

MGKJ由一台 ICM工业计算机、瞬时功

率变送器、参数输入装置、声光报警装置、I/O控制板、A/D及 D/A控制板、高分显示器、打印机等主要部分组成,该监控仪将密炼机中运转功率记录下来,并实时显示。记录显示的数据有:瞬时功率-时间曲线、温度-时间曲线、能量-时间曲线、胶料和填料的重量、时间、正在混炼的胶种、车次等。通过这些数据,再采用统计的方法,就能找出优化的工艺过程,从而即可制定操作规程。另外,由于该监控仪实时地显示混炼状况,因此利用参数与橡胶质量指标之间的相关关系,可以及时发现质量问题并加以调整,从而极大地提高了产品质量的稳定性和合格率。

2 直接使用工厂数据的优化方法

(1)确定要优化的因素

如分别以投炭黑点、加油点和排料点的时间为因素 A、B和 C

(2)用区间划分因素的水平

设因素 A在区间 (X, Y) 上取值,将区间 (X, Y) 划分为首尾相接的 a 个区间 (X, X_1) , $(X_1, X_2), \dots, (X_{a-1}, Y)$,将这 a 个区间定义为 a 个水平,记为 $A_1, A_2, \dots, A_a$ 。

(3)确定优化的目标

优化的目标可为能量最少、时间最短和

* 国家自然科学基金资助项目。

** 执笔者。

作者简介 贺德化,男,60岁。华南理工大学应用数学系学术委员会主任,教授,享受国务院特殊津贴。上海师大数学系毕业,现从事应用数学的教学与研究工作,任国家教委数学和力学教学指导委员会应用数学组委员。曾出版《管理决策中常见数学模型》《甘肃省 1985~ 2000年经济和社会发展战略规划的定量分析》《兰州市环境规划模型及其对策研究》等学术专著,在《兰州大学学报》《华南理工大学学报》《合成橡胶工业》等核心期刊发表或合作发表应用数学论文 30余篇,国际会议论文集全文刊登论文 3篇。

一段混炼塑性值合格率最高等。可以只考虑一个目标,也可以综合考虑多个目标。

(4)得出优化的结果

由于使用区间划分因素的水平,优化得到的是区间,还不能用于控制,因此取落在该区区间的数据的平均值作为优化结果

3 应用实例

利用上述优化方法,对在 GK-270型密炼机中混炼的 B4胶和在 XM-253/20型密炼机中混炼的 902胶进行优化,以说明本方法在实际过程中的应用。

3.1 B4胶的优化实例

(1)确定优化的因素

将 B4胶投炭黑点、加油点、排料点的时间作为因素 A、B和 C

(2)以区间划分水平

原来工厂控制混炼的方法为: 15s 加炭黑, 81s加油, 165s排料,因而因素所对应的数据集中在 15, 81和 165附近,由于数据比较集中,因此对每个因素均只划分成两个水平,以各因素对应数据的均值为划分点, A、B和 C三因素水平的划分如表 1所示。

表 1 因素 A和 B及 C水平划分						
因素	A		B		C	
水平	1	2	1	2	1	2
取值	≤ 16	> 16	≤ 84	> 84	≤ 166	> 166

(3)确定优化的目标

由于此批混炼胶的合格率很高(超过 97%),因而以节能、节时为优化目标。

a. 以节能为目标。方差分析结果见表 2 ~ 4

从表 2可见,因素对指标的影响显著。对于表 3和 4,在选取显著水平 T值为 0. 05时,可以认为 B因素和 A、B因素的交互作用是显著的,其中类型 1SS和类型 3SS分别表示第一类和第三类可估函数对应的平方和^[3]。而各水平组合的耗能情况如表 5所示。

表 2 以节能为目标优化试验的 方差分析结果						
方差来源	自由度	平方和	均方	F值	P值> F	
模型	7	8. 7411	1. 2487	3. 84	0. 0007	
误差	158	51. 3715	0. 3251	—	—	
总平方和	165	60. 1126	—	—	—	

表 3 以节能为目标优化试验的类型 1SS方差分析结果						
方差来源	自由度	类型 1SS	均方	F值	P值> F	
A	1	0. 5531	0. 5531	1. 70	0. 1940	
B	1	2. 0493	2. 0493	6. 30	0. 0131	
A° B	1	5. 3969	5. 3969	16. 60	0. 0001	
C	1	0. 0047	0. 0047	0. 01	0. 9048	
A° C	1	0. 0021	0. 0021	0. 01	0. 9355	
B° C	1	0. 0000	0. 0000	0. 00	0. 9935	
A° B° C	1	0. 7349	0. 7349	2. 26	0. 1347	

表 4 以节能为目标优化试验的类型 3SS方差分析结果						
方差来源	自由度	类型 3SS	均方	F值	P值> F	
A	1	0. 9756	0. 9756	3. 00	0. 0852	
B	1	1. 9367	1. 9367	5. 96	0. 0158	
A° B	1	2. 1780	2. 1780	6. 70	0. 0105	
C	1	0. 0462	0. 0462	0. 14	0. 7068	
A° C	1	0. 1142	0. 1142	0. 35	0. 5543	
B° C	1	0. 0531	0. 0531	0. 16	0. 6866	
A° B° C	1	0. 7349	0. 7349	2. 26	0. 1347	

表 5 各水平组合的耗能情况						
A因素	B因素	C因素	观察值 个数	平均耗能	标准差	
1	1	1	96	22. 46	0. 49	
1	1	2	8	22. 60	0. 57	
1	2	1	6	21. 87	0. 62	
1	2	2	9	21. 67	0. 49	
2	1	1	11	22. 47	0. 93	
2	1	2	11	22. 33	0. 25	
2	2	1	2	22. 21	0. 16	
2	2	2	23	22. 64	0. 77	

从耗能的角度看,水平组合 1-2-1和 1-2-2较为节能

b. 以节时为目标。方差分析结果见表 6 ~ 8

表 6 以节时为目标优化试验的
方差分析结果

方差来源	自由度	平方和	均方	F值	P值> F
模型	7	2483.98	354.85	60.06	0.0001
误差	158	933.46	5.91	—	—
总平方和	165	3417.45	—	—	—

表 7 以节时为目标优化试验的类型
1SS方差分析结果

方差来源	自由度	类型	1SS	均方	F值	P值> F
A	1		1078.80	1078.80	182.60	0.0001
B	1		733.44	733.44	124.14	0.0001
A° B	1		342.44	342.44	57.96	0.0001
C	1		220.98	220.98	37.40	0.0001
A° C	1		14.29	14.29	2.42	0.1218
B° C	1		69.42	69.42	11.75	0.0008
A° B° C	1		24.60	24.60	4.16	0.1430

表 8 以节时为目标优化试验的类型
3SS方差分析结果

方差来源	自由度	类型	3SS	均方	F值	P值> F
A	1		72.90	72.90	12.34	0.0006
B	1		114.42	114.42	19.37	0.0001
A° B	1		67.84	67.84	11.48	0.0009
C	1		324.86	324.86	54.99	0.0001
A° C	1		38.34	38.34	6.49	0.0118
B° C	1		87.84	87.84	14.87	0.0002
A° B° C	1		24.60	24.60	4.16	0.0430

从表 6~ 8可见 , A, B和 C三个因素及其交互作用几乎都非常显著,这主要是因为以时间划分水平的缘故。而各水平组合耗时的情况如表 9所示。

表 9 各水平组合的耗时情况

A因素	B因素	C因素	观察值 个数	平均耗时	标准差
1	1	1	96	174.52	1.90
1	1	2	8	176.50	1.07
1	2	1	6	174.00	0.00
1	2	2	9	178.33	1.66
2	1	1	11	174.27	4.73
2	1	2	11	176.91	1.14
2	2	1	2	175.50	2.12
2	2	2	23	185.78	3.80

从表 9结果可见 ,耗时最短的水平组合 1-2-1,即上述耗能次少的那个水平组合。

c. 综合节能和节时两个目标。从上面分析的结果可知 ,比水平组合 1-2-1好的最多只可能是水平组合 1-2-2,下面对水平组合 1-2-1和 1-2-2的耗能和耗时作一个比较 ,以检验其差异。

1)耗能比较结果 耗能比较结果如下:

水平组合	1-2-1	1-2-2
观察值个数	6	9
平均	21.87	21.67
标准差	0.62	0.49
标准误	0.25	0.16
方差	相等	不相等
T值	0.6641	0.6964
P值> T	0.6964	0.4985

H_0 (原假设): 方差相等, $F' = 1.56$, 自由度 = (5, 8), P 值> $F' = 0.5472$

由结果可知 ,无论两个水平组合的方差相等与否 ,其均值均无显著差别 ,且经检验两个水平组合的方差无显著差异。

2)耗时比较结果 耗时比较结果如下:

水平组合	1-2-1	1-2-2
观察值个数	6	9
平均	174.00	178.33
标准差	0.00	1.66
标准误	0.00	0.55
方差	相等	不相等
T值	- 7.84	- 6.32
P值> T	0.0001	0.0000

可见无论两个水平组合的方差相等与否 ,其均值均有显著差异。

(4)得出优化结果

综上所述 ,水平组合 1-2-1最好。对水平组合 1-2-1的投炭黑、加油、排料时间的 6个观察值求平均值如下:

因素	最小	最大	平均
投炭黑	15	15	15

加油 87 93 90
排料 164 165 164.8

从而得到的优化控制参数为: 15s 加炭黑, 90s 加油, 165s 排料, 与其原来的控制方法比较, 主要是加油时间拖后了, 为此我们对加油点的温度进行分析, 发现由于混炼时间延长, 加油温度也比较高, 因此更有利于油的渗入和分散, 所以总的混炼时间比较短, 消耗的能量也比较少。

3.2 902胶的优化实例

(1)确定优化的因素

前已述及一个三因素的优化过程, 为简单起见, 此处只优化一个因素, 就是排料时消耗的总能量, 记为 A

(2)以区间划分水平

水平划分情况如表 10 所示。

表 10 因素 A 的水平划分情况		
因 素	A	
水平	1	2
取值	≤ 15. 04	> 15. 04

(3)确定优化的目标

针对此批 902胶的合格率低 (73%), 优化的目标为一段混炼塑性值的合格率 (P_{Y1})。方差分析结果见表 11

表 11 以一段混炼塑性值为目标优化试验的方差分析结果					
方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值 > F
A	1	0. 8041	0. 8041	4. 40	0. 0387
误差	94	17. 1959	0. 1829	—	—
总平方和	95	18. 0000	—	—	—

由表 11 可知, 对于显著水平 $\alpha = 0. 05$, 因素 A 对 P_{Y1} 有显著影响。以下是因素 A 各水平的 P_{Y1} :

水平 观察值个数 P_{Y1} 标准差
1 73 0. 6986 0. 4620
2 23 0. 9130 0. 2881

可见水平 2 的 P_{Y1} 有显著提高。

(4)得出优化结果

水平 2 所有观察值排料时消耗的总能量如下:

观察值个数	最小	最大	平均	标准误
23	15. 15	17. 89	15. 93	0. 78

可知消耗总能量在 15. 93 时排料较优。

4 结语

从上面的分析可见, 以橡胶混炼工艺参数为因素, 采用区间来划分因素的水平, 根据实际情况确定优化目标的优化方法是可行的。此方法适用于不同的密炼机和不同的胶种, 而且对手工操作或自动操作都适用。另外, 如果所采集的数据十分集中, 如在自动操作过程中采用时间控制的方式, 且以上述三点 (投炭黑点、加油点和排料点) 的时间作为因素, 则每个因素的数据可能都集中于某点, 从而不能划分水平, 此时只要以上述三点的能量作为因素, 则问题就能得到解决, 优化过程同样可以进行。最后, 这一优化过程还为橡胶混炼的自动控制中混炼参数的动态优化提供了一种方法。

参考文献

1 刘朝荣. 试验的设计与分析. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1990 118~ 158

2 邹明清等. MGKJ 密炼机微机监控仪在 GK-270 密炼机上的应用. 轮胎工业, 1996; 16(1): 46

3 梁妙园等. 微机汉字统计分析系统应用教程. 武汉: 华中师范大学出版社, 1991 293~ 316

Application of Production Data Directly to Optimization of Processing Parameters in Rubber Mixing

He Dehua, Wang Guoqiang, Zhang Hai, Wu Guangchao and Ma Tiejun

(South China University of Science and Technology 510641)

Cai Dayang and Zou Mingqing

(Guangzhou Zhujiang Tire Company 510828)

Abstract A study was made on the application of the production data obtained with a micro-computered monitor of MGKJ internal mixer directly to optimize the processing parameters in rubber mixing by using these parameters as factors, and the intervals as levels of these factors. B4 compound and 902 compound were taken as examples to illustrate the whole process of the optimization and excellent parameters were obtained.

Keywords rubber, mixing, processing parameter optimization

印度政府批准米其林在 印度建厂计划

美国《橡胶和塑料新闻》1996年 9月 9日 27页报道:

印度政府批准了米其林在印度建立合资轮胎厂的计划,但是米其林说这仅仅是建厂漫长过程的第一步。米其林拒绝透露合资厂的厂址、规模、投资额和伙伴,只说印度是发展最快的市场之一。

过去几年中印度新建轮胎厂项目投资金额从 8900万美元到 1.8亿美元不等,其中包括:

- 普利司通-ACC, 9900万美元;
- 大陆-阿波罗, 8900万美元;
- MRC工业-登录普印度, 1.8亿美元;
- 南亚(Ceat-固特异), 1.5亿美元。

印度 1995年生产轿车和载重车轮胎 1300多万条。固特异自 1961年起在印度就有一个轮胎厂,最近它与 Ceat公司的南亚合资厂已投产。大陆和大陆通用公司在印度有 3家技术合作伙伴,其中包括与阿波罗轮胎公司组建的生产轿车子午线轮胎的合资厂。

普利司通和联合水泥公司组建的生产轿车和轻型载重车轮胎的合资厂预计于 1998年投产。住友公司与登录普印度公司有技术合作关系,而横滨与 Ceat公司有技术合作关系。

(萧 仪摘译)

炭黑需求增长

美国《橡胶和塑料新闻》1996年 9月 23日 41页报道:

到 2000年,世界炭黑的年产量将达到 790万 t,平均年增长 4%。作为硫化橡胶制品中补强剂的炭黑约占总需求量的 94%。

亚洲已成为炭黑最大的生产地区,随着轮胎和橡胶工业制品产量的激增,亚洲的这一地位将进一步得到巩固。在巴西、中国、印度和韩国等发展中国家的炭黑需求量将继续增长。

2000年轮胎用炭黑将增至 400万~540万 t;而特种炭黑用量将增至 46.5万 t,年增长率超过了 4%;非轮胎橡胶制品用炭黑将增至 200万 t,年增长率也超过了 4%。

(萧 仪摘译)