

应用理论

橡胶混炼工艺参数的 优化设计*

张 海 贺德化 马铁军 赵良知 李 华

(华南理工大学 510641)

蔡大扬 邹明清

(广州珠江轮胎有限公司 510828)

摘要 第一次提出以密炼机橡胶混炼参数、段平均功率、总时间和总能量为优化工艺的考察指标,并用统计方法证明是可行的。结果与用混炼胶的某种性能为考察指标的相近。在一般情况下可以代替以混炼胶性能为考察指标的优化工艺工作。

关键词 密炼机,混炼,优化设计

密炼机橡胶混炼工艺条件是否最佳,不仅决定生产效率、能量消耗,而且对产品的质量影响很大。用正交设计^[1]优化工艺,能在几种因素同时变动的情况下,进行综合考察;且可分析因素间的交互作用。考察指标一般为混炼胶的某种性能,有时还以硫化胶的性能为考察指标。由于试验步骤多、过程长、干扰因素多,故可能影响对试验的分析,有时还出现某些矛盾的情况。为此,本文拟直接采用混炼工艺中的段平均功率、总时间和总能量等有关参数为考察指标,进行优化工艺的研究,并辅以某些混炼胶性能为考察指标的优化工作进行比较。

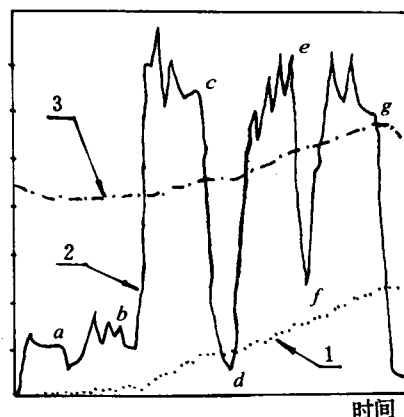
1 实验

试验在大生产的条件下于 GK270 型密炼机(益阳橡胶机械厂制造)上进行,采用手动时间控制。原料为轮胎胎面胶料。用两段混炼中的第一段混炼进行正交优化设计。

混炼工艺中的有关参数采用 MGKJ 密炼机微机控制仪(华南理工大学专利技术公司制造)记录。每车胶料混炼的记录如附图所示。横坐标为时间,纵坐标为累积消耗能量

(图中曲线 1)、瞬时功率(图中曲线 2)和胶料温度(图中曲线 3)。图的上方为各点的具体数值。

图中瞬时功率曲线上 *a* 点为生胶、中料等投入密炼机,压砣提起准备加炭黑的点;*a—b* 为加炭黑段;*b—c* 为加完炭黑,压砣压下加压至 *c* 点提起准备加油;*c—d* 为加油段;*d—e* 为加完油后,压砣压下加压至 *e* 点



附图 一段混炼过程记录示意图

(纵坐标为累积消耗能量、瞬时功率和胶料温度)

1—累积消耗能量曲线;2—瞬时功率曲线;

3—胶料温度变化曲线

* 国家自然科学基金资助项目。

提起让密炼机内的混炼胶翻转; $f-g$ 为压砣压下加压,直至 g 点排料。整个混炼过程完成。在投料顺序不变的情况下,主要控制 a, c 和 g 点^[2]。

正交设计定为二因素三水平。因素 A 为投加炭黑的 a 点时间,三水平分别定为投生胶、中料后加压 0, 20 和 40s。因素 B 为投加油料的 c 点时间,三水平分别定为加炭黑后加压 30, 40 和 50s。混炼排料 g 点定为功率曲线出现第二峰值后结束。第二段混炼及有关检测按常规进行。

本文在进行方差分析前,对各因素所对应的变量都用 SAS 软件进行了正态性能检验,且都已通过。故所进行的方差分析是有效的(限于篇幅,检验过程未写入,有兴趣的读者可来函索取)。

2 结果与讨论

2.1 排料点的分析

本次试验是为优化加炭黑点和加油料点取值的,因此排料点的确定条件应为:因素各水平的取值对排料无影响;混炼胶达到基本相同的状态,并满足质量要求。经检测各批胶料均合格,塑性值的合格范围为 0.20 ± 0.04 。

其中,两个临界值对应的置信度为 0.95 和 0.99。若 $F \geq F_{0.99}$,则在显著性一栏中标“* *”,表示非常显著;若 $F_{0.95} \leq F < F_{0.99}$,则在显著性一栏中标“*”,表示比较显著;否则

则表示不显著(以下同)。

从表 1 可见,因素 A 和 B 及交互作用 $A \times B$ 对塑性均无显著性影响。也就是说,不同水平下的加炭黑点和加油料点及交互作用对排料点胶料粘度均无显著性影响,即确定功率曲线出现第二峰值后结束混炼排料,不影响对加炭黑点和加油料点的优化试验。

2.2 以平均功率为考察指标的优化

最佳的混炼工艺应是高效率和高质量的工艺,在质量有了保证的条件下,就应追求高效率,即优化工艺应尽可能地获得各段的高功率(满负荷而不超负荷)。

加炭黑点位置对炭黑的混入、混炼均匀有很大的影响。加得太早,生胶的粘度较大,炭黑混入较难,分散容易;加得太晚,生胶的粘度较小,炭黑的混入较易,但分散较难。因此,存在一个最佳位置。根据此位置混炼既可满负荷而又不超负荷,可得到尽可能高的平均功率。在加炭黑后加压混炼到加油料前之间的平均功率(P_{e1}),就是加炭黑点的位置决定的,因此以 P_{e1} 为考察指标,对加炭黑点(因素 A)进行优化。

同理,加油料太早,油料渗入容易,但影响炭黑的分散;加得太晚,则易出现打滑现象,降低混炼效率。加油料点(因素 B)的位置对其后的功率曲线的平均功率(P_{e2}),即加油料后加压混炼直到结束混炼这段,同样具有类似加炭黑点的影响。因此,以 P_{e2} 为考察指标,对加油料点进行优化。

表 1 一段塑性的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值 α		显著性
					0.05	0.01	
A	0.000072	2	0.000036	0.13	3.35	5.49	
B	0.001072	2	0.000536	1.94	3.35	5.49	
$A \times B$	0.000961	4	0.00024	0.87	2.73	4.11	
误差	0.00745	27	0.000276				
总平方和	0.009555	35					

由于 P_{e1} 只受加炭黑点的影响,其方差分析如表 2 所示,因素 A 对 P_{e1} 的影响比较显著。

用 P_{e1} 为考察指标对加炭黑点优化,从表 3 效应计算表可知,最佳水平为 A_1 ,即投生胶、中料的同时加炭黑。

同理, P_{e1} 受到因素 A、B 及交互作用 A×B 的影响,其方差分析如表 4 所示。从表 4 可见,因素 A 及交互作用 A×B 对 P_{e2} 的影响不显著,可将其归入误差范围内,因素 B

对 P_{e2} 的影响非常显著,现仅仅考虑因素 B 对 P_{e2} 的影响。从表 3 可知,用 P_{e2} 优化加油料点,最佳水平为 B_1 ,即加完炭黑后加压 30s 加油。

2.3 以总时间和总能量消耗为考察指标的优化

在达到同等混炼胶质量的情况下,消耗的能量和时间愈少愈好。以下分别以总时间 T 和总能量 E 作为考察指标作方差分析。

表 2 平均功率 P_{e1} 的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值 α		显著性
					0.05	0.01	
A	0.0017045	2	0.000852	4.17	3.35	5.49	*
误差	0.0067449	33	0.000204				
总平方和	0.0084497	35					

表 3 平均功率的效应计算表

序号				1		2		3		4		和	
	A	B	A×B	P_{e1} P_{e2}		P_{e1} P_{e2}		P_{e1} P_{e2}		P_{e1} P_{e2}		P_{e1} P_{e2}	
				P_{e1}	P_{e2}	P_{e1}	P_{e2}	P_{e1}	P_{e2}	P_{e1}	P_{e2}	P_{e1}	P_{e2}
1	1	1	1	0.158	0.164	0.164	0.164	0.158	0.172	0.150	0.164	0.630	0.664
2	1	2	2	0.183	0.160	0.178	0.164	0.166	0.158	0.180	0.152	0.707	0.634
3	1	3	3	0.192	0.135	0.163	0.145	0.180	0.146	0.184	0.136	0.719	0.562
4	2	1	2	0.153	0.160	0.155	0.157	0.137	0.158	0.148	0.170	0.593	0.645
5	2	2	3	0.154	0.164	0.175	0.149	0.154	0.159	0.163	0.161	0.646	0.633
6	2	3	1	0.166	0.153	0.184	0.137	0.170	0.155	0.174	0.174	0.694	0.592
7	3	1	3	0.163	0.159	0.148	0.165	0.147	0.158	0.127	0.171	0.585	0.635
8	3	2	1	0.155	0.162	0.138	0.161	0.161	0.161	0.134	0.162	0.588	0.646
9	3	3	2	0.171	0.152	0.168	0.138	0.164	0.151	0.181	0.140	0.684	0.581
1	2.056												
	1.860	1.962	1.902										
2	1.930												
	1.870	1.913	1.860										
3	1.857												
	1.880	1.735	1.848										
极差	0.199												
	0.020	0.227	0.054										

注:以 P_{e1} 优化 A 点,最优(平均功率 P_{e1} 最高)水平是 A_1 ;以 P_{e2} 优化 B 点,最优(平均功率 P_{e2} 最高)水平是 B_1 。

表 4 平均功率 P_{12} 的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值 α		显著性
					0.05	0.01	
A	0.0000216	2	0.0000108	0.32	3.35	5.49	
B	0.0023541	2	0.001177	34.64	3.35	5.49	* *
A×B	0.0001831	1	0.00004577	1.35	2.73	4.11	
误差	0.0009175	27	0.00003398				
总平方和	0.0034763	35					

从表 5 可知,因素 A 和 B 对总时间的影响极为显著,交互作用 A×B 的影响较为显著。从表 6 可知,因素 A 和 B 对总能量的影响极为显著,交互作用的影响不显著。以总时间和总能量作为优化目标的效应如表 7 所示。最优水平组合均为 A_1B_1 。

2.4 以塑性和分散度等为考察指标的优化

通过一段混炼胶塑性的方差分析发现,因素 A 和 B 及交互作用 A×B 的影响均不显著(见表 1)。分散度按国家标准(GB6030

—85)进行检测,分为 10 级,在效应计算时再乘 3,如为 6 级,乘 3 即为 18。分散度的方差分析见表 8。

以塑性为考察指标,最佳水平为 A_2B_2 ;以分散度为考察指标,最佳水平为 A_1B_2 或 A_1B_1 均可。考虑到试验各批一段塑性均合格(从表 9 可见),但较接近下限,最佳水平为 A_2B_2 是能理解的。再从二段塑性质量合格指标为 0.32 ± 0.04 ,这次实试的平均值为 0.341,最大 0.35,最小 0.31 的结果看,已在

表 5 总时间的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值 α		显著性
					0.05	0.01	
A	16450.389	2	8225.1944	60.69	3.35	5.49	* *
B	2445.7222	2	1222.8611	9.02	3.35	5.49	* *
A×B	1543.4444	4	385.86111	2.85	2.73	4.11	*
误差	3659.0000	27	135.51852				
总平方和	24098.555	35					

表 6 总能量的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值 α		显著性
					0.05	0.01	
A	6.911772	2	3.455886	6.51	3.35	5.49	* *
B	63.15470	2	31.577352	59.44	3.35	5.49	* *
A×B	5.177244	4	1.2943111	2.44	2.73	4.11	
误差	14.3425	27	0.5312037				
总平方和	89.586222	35					

表 7 总时间和总能量的效应计算表

序号	1	2	3	1		2		3		4		和	
	A	B	A×B										
				T	E	T	E	T	E	T	E	T	E
1	1	1	1	155	20.82	156	21.31	168	20.83	158	20.30	637	83.26
2	1	2	2	191	24.09	165	23.68	150	21.93	168	23.03	674	92.73
3	1	3	3	209	25.54	178	22.99	168	24.34	171	24.10	726	96.99
4	2	1	2	199	22.14	171	20.49	186	20.40	186	21.46	742	84.49
5	2	2	3	224	23.16	210	22.88	206	23.34	209	23.15	849	92.53
6	2	3	1	227	25.90	206	24.63	209	24.85	230	24.69	872	100.07
7	3	1	3	224	23.08	213	22.74	241	23.87	213	21.76	891	91.45
8	3	2	1	214	23.48	208	23.23	213	23.64	211	22.85	836	93.1
9	3	3	2	228	24.74	226	24.69	234	26.64	225	25.15	913	101.22
1	2037	2270	2345										
	272.98	259.2	276.43										
2	2463	2359	2329										
	277.09	278.36	278.44										
3	2640	2511	2466										
	285.77	298.28	280.97										
极差	603	241	137										
	12.79	39.08	4.54										

注:以总时间 T 作为优化指标,最优(时间最短)水平是 A_1B_1 ;以总能量 E 作为优化指标,最优(能量最少)水平是 A_1B_1 。

表 8 炭黑分散度的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值 α		显著性
					0.05	0.01	
A	262.18	2	131.09	17.03	3.55	6.01	**
B	189.02	2	94.51	12.19	3.55	6.01	**
A×B	86.353	4	21.59	2.79	2.93	4.58	
误差	139.43	18	7.75				
总平方和	576.98	26					

上限附近了。这说明一段塑性较低(粘度较大),在二段混炼中能获得较大的剪切力,因而也易获得较大的分散度和塑性。再结合分散度的结果,综合为 A_1B_1 或 A_1B_2 均可。

2.5 混炼工艺参数为指标的优化设计分析

从上面试验的结果看,以混炼工艺参数、段平均功率 P_{e1} 和 P_{e2} 、总时间和总能量,与以混炼胶性能为考察指标的优化结果,可以说

是相同的。但从指标的效应看,混炼胶性能的考察指标,重在质量,而工艺参数指标则重在效率和节能。两者重点不同,但本次试验结果相同。本次优化是在保证质量的前提下(即各批均在功率曲线出现第二峰值后结束混炼排料,也就是各批均达到基本相同的状态),来谈效率和节能,这样出现相同结果就不奇怪了。

表 9 塑性值和分散度效应计算表

序号	1	2	3	1		2		3		和	
	A	B	A×B	塑性值	分散度	塑性值	分散度	塑性值	分散度	塑性值	分散度
1	1	1	1	0.11	18	0.13	18	0.13	21	0.37	57
2	1	2	2	0.13	21	0.16	16	0.18	16	0.47	53
3	1	3	3	0.13	18	0.13	18	0.15	18	0.41	54
4	2	1	2	0.16	18	0.14	16	0.14	18	0.44	52
5	2	2	3	0.14	18	0.11	18	0.19	16	0.44	52
6	2	3	1	0.13	14	0.14	16	0.14	15	0.41	45
7	3	1	3	0.14	15	0.13	16	0.13	15	0.40	46
8	3	2	1	0.14	18	0.12	18	0.14	15	0.40	51
9	3	3	2	0.14	18	0.14	16	0.13	17	0.41	51
I	1.25 164	1.21 155	1.18 153								
II	1.29 149	1.31 156	1.32 156								
III	1.21 148	1.23 150	1.25 152								
极差	0.08 16	0.10 6	0.14 4								

从试验结果来看,也证明了这一点〔各批混炼胶塑性合格、波动小。硫化仪最小转矩平均值为 15.25N·m,除 3 批外,其它各批均在(15.25±1)N·m 的范围内〕,质量是有保证的。同时也说明,在保证质量的前提下,也实现了效率的提高和能量的节约。按最佳水平 A₁B₁ 生产,比试验前生产实际的平均值,总时间 175s,可缩短 15s 以上。总的能量消耗可从平均值 24.1kW·h 下降到 20—21kW·h,节约 2—3kW·h,效果也是很可观的。

3 结语

本文第一次提出的以密炼机橡胶混炼工

艺参数、段平均功率 P₁和 P₂、总时间和总能量为优化工艺的考察指标是可行的。它是在保证质量的前提下,提高效率,降低能量消耗,比仅以求质量的以混炼胶性能为考察指标好。在一般情况下,可以代替后者进行优化试验。还可减少大量的试验工作。

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,1990:25—65
2 张 海等. 密炼机橡胶混炼工艺的瞬时功率控制法. 橡胶工业,1993;40(6):348

收稿日期 1995-09-13