

均匀设计在子午线轮胎胎面胶配方体系中的应用

张安强¹, 林雅铃¹, 王炼石¹, 姚志敏², 黄永超², 黄 振²

(1. 华南理工大学, 广东 广州 510640; 2 广州市宝力轮胎有限责任公司, 510800)

摘要: 试图通过均匀试验设计的方法建立胎面胶常规物理机械性能与配方变量之间的定量关系。在此基础上, 根据既定的性能要求, 指导进一步的配方调整, 并加以实验验证。研究表明, 采用均匀试验所建立的性能变量模型可以较好地预测胎面胶的性能, 可为胎面胶的配方调整提供指导。

关键词: 均匀设计; 胎面胶; 橡胶配方试验; 逐步回归

1 前言

与橡胶制品相比, 轮胎胎面胶的主要原材料的种类相对稳定, 用量变化的调整范围相对较小, 在配方试验过程中, 随着影响因子的变化, 胶料的性能往往呈现此起彼伏的现象, 配方设计者必须根据所需的性能范围以及相关的其他条件(如工艺条件、成本等)进行取舍, 以求达到综合性能的平衡。为了达到此目的, 轮胎配方设计者往往凭经验进行调整或采用正交试验, 前者受制于配方设计者的个人经验, 而后者在因素和变量水平较多的情况下会因试验次数太多而受到限制。均匀试验设计是解决上述局限性的行之有效新方法。

通过采用均匀试验设计的方法, 以较少的试验次数, 在较大范围内定量地描述胎面胶的各项物理机械性能与主要影响因子之间的函数关系, 并加以验证, 将以往的经验式的、定性的关系量化, 以期能够指导进一步的配方调整与优化, 最大限度地减少试验盲目性和试验次数, 节省试验成本, 提高试验效率, 并获得更好的配方。

前人采用均匀试验设计研究了 S-SBR/BR 两胶并用体系和 S-SBR/BR/NR 三胶并用体系中橡胶并用比对胎面胶性能的影响, 但未考虑补强剂(如: 炭黑)、软化剂(如: 软化油)和其他填料等对胎面胶性能的影响。因此, 本文试图建立胎面胶的性能与 6 个主要影响因素(生胶 A、生胶 B、生胶 C、炭黑、软化油和其他填料)之间的关系模型, 在此基础上寻求最佳的配方体系。

2 试验方案的确定

2.1 影响轮胎胎面胶性能的主要因素

众所周知, 影响轮胎胎面胶性能的因素很多, 如: 结构设计、原材料、配方、生产工艺等。从配方角度而言, 则主要有以下因素: (1)橡胶种类及其并用比; (2)炭黑的种类与用量; (3)软化剂用量; (4)填料的用量; (5)硫化配合体系和硫化工艺等。

2.2 均匀设计试验方案的确定

根据上述影响轮胎胎面胶性能的主要配方因素, 考察以下 5 个因素的影响:

(1)生胶中生胶 A 的用量(0~35phr); (2)生胶中生胶 B 的用量(20~50phr); (3)炭黑用量(50~70phr); (4)软化油的用量(8~20phr); (5)其他填料的用量(7~25phr)。其中, 生胶 A、B、C 的总用量为 100phr, 根据生胶 A 和 B 的用量即可得到生胶 C 的用量。

对于常用的“橡胶性能—影响因子(即: $y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$)”方程而言, 如果方程为一次方程, 则方程中最多有 5 个变量, 试验次数应大于: $5 + 1 = 6$ 次; 如果方程为二次方程, 则方程中最多有 5 个变量, 试验次数应大于: $5 \times (5 + 3) / 2 + 1 = 21$ 次。而实际上, 经过逐步回归后的二次方程中的变量数往往少于 5 个, 因此, 实际的试验次数可介于 6~21 之间。考虑到橡胶加工的环节较多, 每个环节对最终的结果往往都有一定的影响, 以及橡胶物理机械性能在测试过程中的重复性较差、偏差较大等因素, 应适当增加试验次数, 以尽可能减少试验误差的影响。

基于上述原因,选定试验次数为 8 次,选用 $U_8(8^5)$ 表安排试验,如表 1 所示。表 1 中括号里边的数值是变量的实际用量。

表 1 均匀设计表: $U_8(8^5)$ 表

试验编号	变量				
	X1	X2	X3	X4	X5
	生胶 A	生胶 B	炭黑	软化油	填料
A1	1(0)	5(36)	3(61)	4(12)	8(22)
A2	3(10)	8(48)	4(64)	7(15)	2(10)
A3	8(35)	6(40)	1(55)	5(13)	5(16)
A4	2(5)	3(28)	8(76)	6(14)	4(14)
A5	7(30)	4(32)	6(70)	3(11)	1(8)
A6	6(25)	2(24)	5(67)	8(16)	7(20)
A7	4(15)	1(20)	2(58)	2(10)	3(12)
A8	5(20)	7(44)	7(73)	1(9)	6(18)

3 实验部分

3.1 原材料

生胶 A、B、C 及其他配合剂为橡胶工业常用原料。

3.2 混炼胶和硫化胶试样的制备

按胎面胶常规混炼工艺制备混炼胶。在 LH-II 型硫化仪上按 150℃测试上述混炼胶的焦

烧时间(t_{10})和正硫化时间(t_{90}),在 25t 平板硫化机上按 $150^{\circ}\text{C}\times t_{90}$ 进行硫化。

3.3 硫化胶物理机械性能的测试

按 GB528-1992 和 GB529-1991 在 SHIMADU AG-1 型电子拉力试验机(日本岛津株式会社制造)上测试硫化胶的拉伸性能和撕裂性能,试样分别为哑铃形和直角形,拉伸速率和撕裂速率均为每分钟 500mm。按 GB/T 531-1992 测试硫化胶的邵尔 A 型硬度。按 GB/T 1681-1991 测试硫化胶的打击回弹性。按 GB/T 1689-1998 在 YS-2S-II 压缩试验机上测试硫化胶的压缩生热性能。按 GB/T 1689-1998 在 MH-74 磨耗试验机上测试硫化胶的耐磨耗性能。按 GB/T 13934-1992 用 GT-7011-D 屈挠龟裂试验仪测试硫化胶的耐曲挠龟裂性能,记录试样达到 II 级龟裂时的试验次数。

4 结果与讨论

根据 2.2 中的试验方案,得到表 2 中的试验结果,用 SAS 软件对试验结果进行逐步回归分析后,得到式(1)~(9)的拟合方程。

表 2 $U_8(8^5)$ 表试样的物理机械性能

试验编号	物理机械性能								
	300%定伸	拉伸强度	拉断伸长	撕裂强度	回弹性	邵尔 A 型	耐屈挠	屈挠生	阿克隆
	应力/MPa	/MPa	率/%	/(kN·m ⁻¹)	/%	硬度/度	龟裂/万次	热/℃	磨耗量/cm ³
A1	8.6	17.5	519	63.8	45.0	70	3.0	40	0.116
A2	8.83	16.12	490	61.2	45.0	70	4.0	42	0.08
A3	6.58	14.53	535	37.7	46.0	65	4.0	38	0.178
A4	10.79	17.63	474	69.3	38.0	77	3.0	46	0.102
A5	9.15	13.76	436	52.1	40.0	74	2.0	41	0.120
A6	8.66	16.92	511	63.9	44.0	70	4.0	45	0.187
A7	8.2	18.32	547	71.9	44.0	70	4.0	37	0.105
A8	10.15	16.44	459	56	41.0	78	2.0	42	0.147

其中,各项性能的代码以及对各项性能的要求范围(限定条件)如表 3 所示:

表 3 各项性能的代码及其限定条件

性能	代码	性能要求(限定条件)
300%定伸应力/MPa	Y1	10~14
拉伸强度/MPa	Y2	≥18
拉断伸长率/%	Y3	≥400
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	Y4	≥80
回弹性/%	Y5	≥30
阿克隆磨耗量/cm ³	Y6	≤0.1
邵尔 A 型硬度/度	Y7	65~75
Goodrich 压缩生热/℃	Y8	≤45
耐屈挠(II 级)/万次	Y9	≥2

对试验结果数据进行逐步回归分析(显著性

水平 $\alpha = 0.05$),得到如下(1)~(9)的回归方程,其中,X1:生胶 A,X2:生胶 B,X3:CB,X4:软化油,X5:填料。

(1) $Y1 = -3.036 + 0.278 \times X3 - 0.017 \times X4 \times X4 \pm 1.1$

(2) $Y2 = 9.54 + 0.139 \times X3 \pm 1.0$

(3) $Y3 = 495.3 + 0.052 \times X2 \times X5 - 0.0301 \times X3 \times X3 + 0.317 \times X4 \times X4 \pm 12.0$

(4) $Y4 = -17.58 + 1.447 \times X3 \pm 12.8$

(5) $Y5 = 61.89 - 0.395 \times X3 \pm 2.3$

(6) $Y6 = 53.8 + 0.0041 \times X3 \times X3 -$

$0.0188 \times X_4 \times X_4 \pm 1.3$

(7) $Y_7 = 1.64 + 0.00283 \times X_2 \times X_2 \pm 2.6$

(8) $Y_8 = 18.6 + 0.212 \times X_3 + 0.01263 \times X_3 \times X_4 \pm 1.0$

(9) $Y_9 = 0.0653 + 0.0001563 \times X_2 \times X_5 + 0.000101 \times X_5 \times X_5 \pm 0.008$

根据上述(1)~(9)拟合方程和表 3 中的限定条件,对试验结果进行筛选,发现可满足限定条件的配方范围为: $X_1 = 25 \sim 40$, $X_2 = 10 \sim 20$, $X_3 = 65$, $X_4 = 14$, $X_5 = 8 \sim 12$ 。

即:生胶 A 用量较低,在 10~20phr 之间;生胶 B 用量为 25~40phr;生胶 C 用量介于 30~60phr;炭黑用量较为稳定,在 65phr 左右,以保证良好的耐磨性;软化油与炭黑的比例则为 20%左右;填料用量在 8~12phr。

从上述方程可见,炭黑(X_3)用量对定伸应

力、拉伸强度、撕裂强度有显著影响;生胶 A (X_2)和填料(X_5)用量的增加,对磨耗值的增加有明显的影 响;生胶 C 的用量对强度和磨耗的影响不显著。

4.3 验证试验

根据上述两轮试验的结果,安排以下 5 个验证试验,其配方如表 4 所示,验证试验的结果如表 5 所示,表中括号内的数值是由式(1)~(9)计算得到的预测值。

表 4 验证试验的配方					phr
试验	X1	X2	X3	X4	X5
编号	生胶 C	生胶 A	炭黑	软化油	填料
C1	30	20	65	14	10
C2	40	20	65	14	10
C3	50	20	65	14	10
C4	60	15	65	14	10
C5	60	0	60	7	10

表 5 验证试验试样的物理机械性能

试验 编号	物理机械性能								
	300%定伸 应力/MPa	拉伸强度 /MPa	拉断伸长 率/%	撕裂强度 /(kN·m ⁻¹)	回弹性 /%	邵尔 A 型 硬度/度	耐屈挠 龟裂/万次	屈挠生热 /℃	阿克隆 磨耗量/cm ³
C1	11.1(11.7)	16.1(18.6)	408(441)	68.1(76.5)	40(36)	65(67.4)	3(2.8)	44(44)	0.063(0.107)
C2	11.1(11.7)	17.3(18.6)	432(441)	61.1(76.5)	39.5(36)	63(67.4)	3(2.8)	44(44)	0.105(0.107)
C3	11.1(11.7)	18.1(18.6)	453(439)	75.6(76.5)	37(36)	65(67.4)	2(2.8)	42(44)	0.148(0.097)
C4	11.4(11.7)	18.8(18.6)	458(438)	86.0(76.5)	38(36)	65(67.4)	2(2.3)	43(44)	0.124(0.099)
C5	12.4(12.8)	18.7(17.9)	432(402)	76.6(69.2)	45(38)	66(67.6)	3(1.6)	37(37)	0.081(0.075)

从表 5 的数据可见,由均匀试验得到的式(1)~(9)可较好地预测的物理机械性能,所得到的配方可满足限定条件。

5 结论

1 采用均匀试验设计可很好地建立胎面胶的 5 个重要影响因素(生胶 A、生胶 B、炭黑、软化

油、填料)与胎面胶性能之间的关系模型;

2 验证试验表明,采用均匀试验($U_8(8^5)$)所建立的性能—变量模型可以较好地预测胎面胶的性能,可为胎面胶的配方调整提供指导。

参考文献:略

用干涉测量显微技术
测定炭黑分散度

1 新技术

在混炼过程中,胶料过度混炼会增加生产成本,而填充剂在胶料中分散不均匀则会降低产品的使用寿命,在某些情况下还会导致产品报废。表征填充剂分散度的最古老而又很重要的方法是采用光学显微技术对胶料薄切片进行分析。但是

这种技术受到了显微切片技术的限制,因为需要花费很大精力而且耗时较长,不适用于常规的、快速的分析。表征填充剂分散度的较快速、相对廉价的方法是分析制备试样时对试样进行切削后形成的表面粗糙度。该技术的主要优势在于试样制备较为容易,然而,对试样表面粗糙度的结果进行量化通常较为困难。

因此,把光学显微技术得到的量化结果与快速表面粗糙度分析技术相结合,就得到了干涉显