

计算机辅助设计在胎面胶损耗因子优化中的应用研究

周国彬¹, 张映红², 王志远², 臧孟炎^{1,2}

(1. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640; 2. 广州市华南橡胶轮胎有限公司, 广东 广州 511400)

摘要:以胎面胶为研究对象,应用拉丁超立方抽样策略合理安排试验获得试验数据,以硬度和 300%定伸应力为约束条件、以损耗因子为优化目标,采用支持向量机分别建立损耗因子、硬度和 300%定伸应力模型。应用遗传算法在硬度和 300%定伸应力约束条件下对损耗因子进行优化,得到近似最优值。结果表明,数值优化结果与试验结果基本一致,证明该方法可行。

关键词: 轮胎;胎面胶;损耗因子;支持向量机;遗传算法

中图分类号: TQ336.1⁺1; Q241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2013)05-0275-04

橡胶配方对橡胶的力学性能有着至关重要的影响,并决定着橡胶制品的质量^[1]。目前,橡胶企业大都通过试验来获知橡胶性能,且试验以单因子轮换试验法及研发人员的经验为基础共同设计^[2]。通过计算机建立配方中不同因子水平与目标函数之间的函数模型,并通过模型来预测不同配方的性能及优化是目前橡胶配方设计的发展趋势,这不仅可以节约开发成本,还可以缩短开发周期。

目前建立模型的常用方法有 BP 神经网络和支持向量机等^[3],都是根据试验数据建立配方中材料因子与性能目标的“黑箱”函数关系。它们的优点是建立的“黑箱”函数关系不需要任何先验公式,较适用于橡胶这种配方与性能呈高度非线性关系的模型。BP 神经网络需要大量的试验数据建立模型,试验数据太少会出现“过拟合”现象^[4]。为减少试验次数、节约开发成本,本研究首先进行试验设计,然后用支持向量机建立损耗因子、硬度和 300%定伸应力模型,最后用遗传算法在保证硬度和 300%定伸应力的约束条件下对损耗因子进行优化。

1 试验设计

试验设计是以概率论、数理统计和线性代数

等为理论基础,科学安排试验方案、正确分析试验结果的一种数学方法^[5]。目前常用的试验设计方法有正交试验法和均匀设计法。正交试验能找出对橡胶性能影响较大的因子,但在因子水平较多时,试验次数也会比较多。在相同的因子水平下,均匀设计试验次数少于正交设计,但不能找出对橡胶性能影响较大的因子。根据文献^[6],用拉丁超立方抽样策略设计试验,既可以减少试验次数,又可以找出对橡胶性能影响较大的因子,因此本研究用拉丁超立方抽样策略设计试验。

2 支持向量机(SVM)

支持向量机是 V. N. Vapnik 等人提出的一种数据建模方法,它基于统计学习理论,建立在 VC 维和结构风险最小化原理的基础上。在有限样本信息的情况下,寻求模型复杂性和学习能力之间的最佳折衷,具有较好的泛化能力^[7-10]。

本研究使用台北大学林智仁教授开发的 Libsvm 工具箱^[11],核函数采用径向基核函数。惩罚参数 C 和核函数参数 g 是支持向量机的相关参数,二者的取值对模型的准确性有很大影响,因此本研究采用遗传算法对二者进行寻优,相关遗传参数设置及寻优语句如下:

```
%最大进化代数
maxgen=200;
%种群最大数量
sizepop=50;
```

作者简介:周国彬(1986—),男,黑龙江哈尔滨人,华南理工大学在读硕士研究生,主要从事汽车整车及零部件安全性能仿真分析与应用研究。

```
%参数 C 的变化范围
cbound=[0,100];
%参数 g 的变化范围
gbound=[0,100];
%寻找最佳的 C 和 g
[bestmse, bestc, bestg] = gaSVMRegress
(train_output,train_input,ga_option);
```

3 遗传算法

遗传算法^[12-14]是一种并行随机搜索的最优化方法,它模拟自然界遗传机制和生物进化论中复制、交叉和变异等现象,随机产生初始种群,采用选择、交叉、变异等操作,生成更高适应度的种群,一代一代繁衍最终收敛得到优化问题的最优解,主要求解步骤如下。

- (1)染色体编码。遗传算法的一个重要步骤是对所解问题的变量进行编码。实数编码比较自然,容易引入相关领域。本研究使用实数编码。
- (2)构造适应度函数。适应度函数是用来区分群体中个体好坏的标准,是进行自然选择的唯

一依据。本研究用支持向量机建立的损耗因子、硬度和 300%定伸应力 3 种模型作为适应度函数。

(3)选择、交叉、变异^[15]。选择操作是从种群中选择优秀个体并淘汰劣质个体的过程。常用的几种选择策略有:轮盘赌选择、锦标赛选择、随机竞争选择和排名选择等,本研究选用易于实现的轮盘赌选择。交叉操作指的是随机把种群中两个父代个体的部分结构加以替换重组生成新个体的操作。常用的交叉算子有:单点交叉、双点交叉、洗牌交叉等。本研究采用不易破坏基因的单点交叉。变异操作是以较小的概率随机选择个体并随机变化个体上某一基因产生新个体的操作,常用的变异算子有:非一致性变异、均匀性变异、自适应性变异等,本研究采用常用的非一致性变异。

4 胎面胶损耗因子优化及试验验证

4.1 获取试验数据

拉丁超立方试验训练数据及检测数据如表 1 所示。

表 1 拉丁超立方试验训练数据及检测数据

样本编号	因子(用量/份)					优化目标	约束条件	
	天然橡胶	丁苯橡胶	顺丁橡胶	白炭黑	炭黑	损耗因子	邵尔 A 型硬度/度	300%定伸应力/MPa
训练样本								
1	33.3	33.3	18.6	43.4	37.8	0.268	82	未检出
2	9.4	3.1	26.7	12.4	17.1	0.173	76	16.9
3	3.1	40.6	9.8	26.6	20.9	0.245	83	未检出
4	84.4	65.6	1.4	39.7	45.3	0.179	68	13.2
5	34.4	71.9	38.0	37.8	47.2	0.163	68	14.7
6	40.6	78.1	40.8	35.9	30.3	0.097	59	10
7	46.9	46.9	35.2	34.1	35.9	0.151	66	12.7
8	90.6	90.6	32.3	49.1	26.6	0.09	55	8.7
9	78.1	53.1	21.1	47.2	41.6	0.148	68	13.9
10	96.9	9.4	4.2	20.9	32.2	0.115	65	12.9
11	15.6	96.9	23.9	28.4	28.4	0.129	56	8.6
12	71.9	34.4	18.3	45.3	39.7	0.158	73	16.4
13	59.4	84.4	7.0	32.1	24.7	0.079	54	8.6
14	53.1	15.6	15.5	30.3	22.8	0.138	72	15.3
15	65.6	59.4	43.6	22.8	49.0	0.107	59	9.6
16	28.1	28.1	29.5	41.6	43.4	0.236	85	未检出
检测样本								
1	0	98.5	30	70	10	0.182	71	12.9
2	0	86.25	30	60	5	0.147	72	15.1
3	0	103	30	35	45	0.21	68	14.7
4	0	93	25	35	32	0.156	68	14
5	0	93	25	70	0	0.161	71	14.2
6	0	130.5	0	45	40	0.22	70	12.9

选取对损耗因子影响较大的 5 个因子并设定份数:天然橡胶[0,100]、丁苯橡胶[0,100]、顺丁橡胶[0,45]、白炭黑[20,50]、炭黑[20,50],其他配合剂用量相同。采用拉丁超立方试验得到因子水平及测得损耗因子、硬度和 300%定伸应力的训练数据。

4.2 建立损耗因子、硬度和 300%定伸应力模型

由表 1 得到的试验数据和支持向量机建立损耗因子、硬度和 300%定伸应力模型,并用检测数据进行模型检验。3 种模型预测值与试验值对应关系如图 1~3 所示。由图 1~3 可知,损耗因子和硬度的试验值与预测值变化趋势一致,300%定伸应力试验值与预测值变化趋势相差较大。分析其原因可认为由于第 1 组、第 3 组及第 16 组样本在做 300%定伸应力试验时未到规定长度,橡胶即断裂,未测出试验值,对建立 300%定伸应力模型有一定影响。

4.3 优化损耗因子

建立损耗因子、硬度和300%定伸应力模型

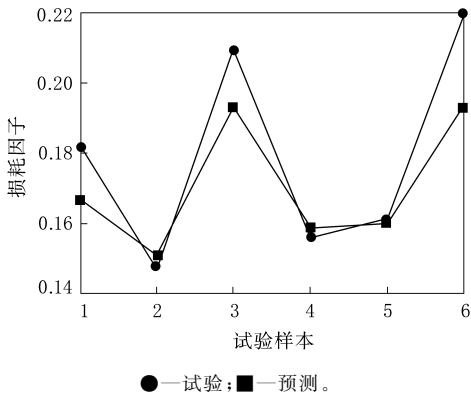
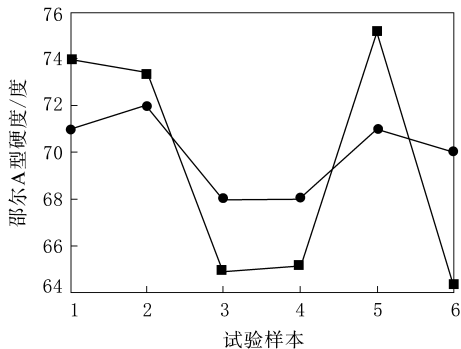
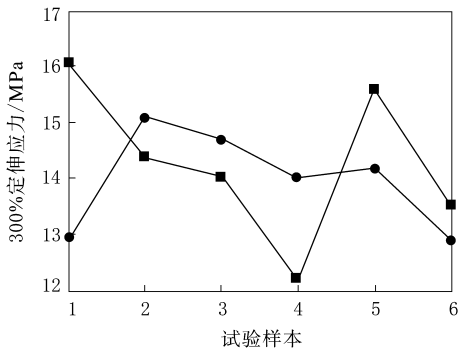


图 1 损耗因子预测与试验值对比



注同图 1。

图 2 硬度预测与试验值对比



注同图 1。

图 3 300%定伸应力预测与试验值对比

后,在邵尔 A 型硬度范围为[65,72]、300%定伸应力范围为[11,14]约束条件下优化损耗因子。最大迭代步数设为 100,运行遗传算法优化程序得到优化过程(见表 2),最小损耗因子为 0.093 1,其对应的配方为:天然橡胶 72.4,丁苯橡胶 28.1,顺丁橡胶 33.5,白炭黑 33.6,炭黑 26.9。优化方案的预测值与相应试验结果的比较如表 3 所示。由表 3 可知,在基本满足硬度和 300%定伸应力要求的条件下,最小损耗因子的预测值与试验测试结果的误差小于 10%,满足工程设计要求。

5 结语

通过拉丁超立方抽样策略、支持向量机与遗传算法相结合的方法,在硬度和 300%定伸应力的约束条件下对损耗因子进行优化。通过最优配方方案试验验证,预测结果与试验结果相差不大,说明了支持向量机与遗传算法二者结合的优化方法在橡胶配方设计方面的有效性。

参考文献:

[1] 杨清芝. 现代橡胶工艺学[M]. 北京:中国石化出版社,2004: 1-4.
[2] 刘练,张永平,韦邦风. 均匀设计在工程机械轮胎胎面胶配方设计中的应用[J]. 橡胶工业,2009,56(9):554-556.
[3] 张玲霞,魏传. 软测量建模方法探讨[J]. 琼州大学学报, 2004,11(5):15-18.
[4] 乔立. 神经网络与遗传算法在 Mg/PTFE 贫氧推进剂配方优化中的应用[D]. 南京:南京理工大学,2010.
[5] 李波,徐泽民,李方,等. 试验设计与优化[J]. 中国皮革,2003 (32):26-28.
[6] A van Griensven, Meixner T. A Global Sensitivity Analysis Tool for the Parameters of Multi-variable Catchment Models[J].

表 2 约束条件下预测最优损耗因子及对应各因子的水平

迭代次数	因子(用量/份)					优化目标	约束条件	
	天然橡胶	丁苯橡胶	顺丁橡胶	白炭黑	炭黑	损耗因子	邵尔 A 型硬度/度	300%定伸应力/MPa
1	64.4	19.6	39.7	29.4	23.4	0.100 8	68.2	12.42
30	70.5	26.3	35.7	32.1	25.9	0.095 3	67.6	11.32
60	71.3	27.5	34.7	32.9	26.4	0.093 7	65.5	11.32
90	72.4	28.1	33.5	34.6	26.9	0.093 1	65.2	11.32
100	72.4	28.1	33.5	33.6	26.9	0.093 1	65.0	11.32

表 3 约束条件下预测最优损耗因子与试验结果对比

项 目	试验值	预测值	相对误差/%
损耗因子	0.087 0	0.093 1	7.0
邵尔 A 型硬度/度	62	65	4.8
300%定伸应力/MPa	12.8	11.32	11.6

Journal of Hydrology,2006,324:10-23.

[7] Vapnik V N. Statistical Learning Theory[M]. New York: John Wiley & Sons Inc. ,1998:86-88.

[8] Vladimir Cherkassky, Yunqian Ma. Practical Selection of SVM Parameters and Noise Estimation for SVM Regression[J]. Neural Networks,2004(17):113-126.

[9] 王雷,张瑞青. 基于支持向量机的回归预测和异常数据检测[J]. 中国电机工程学报,2009,29(8):92-96.

[10] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory [M]. New York:Springer,1999:104-106.

[11] Chang C C,Lin C J. LIBSVM:A Library for Support Vector Machines[J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology,2011,2(3):No. 27.

[12] 董会丽. 基于 RBF 神经网络和遗传算法的复合材料层合板、壳载荷识别[D]. 南京:南京航空航天大学,2007.

[13] Bi J,Bennett K P. A Geometric Approach to Support Vector Regression[J]. Neuro Computing,2003,55:79-108.

[14] 李敏强. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2003:4-13.

[15] 潘正君. 演化计算[M]. 北京:清华大学出版社,1998:30-32.

收稿日期:2012-11-28

Application of Computer-aided Design in Optimization on
Loss Factor of Tread Compound

ZHOU Guo-bin¹,ZHANG Ying-hong²,WANG Zhi-yuan²,ZANG Meng-yan^{1,2}

(1. South China University of Technology ,Guangzhou 510640,China;2. South China Tire & Rubber Co. ,Ltd,Guangzhou 511400,China)

Abstract: Latin-Hypercube simulation was carried out by using the test data from the designed experiments of tread compound. Then support vector machine was used to build the models of loss factor, hardness and modulus at 300% elongation, respectively, where the loss factor was optimization objective, and hardness and modulus at 300% elongation were applied as the constraint conditions. The approximate optimal value of loss factor under these constraint conditions was obtained by genetic algorithm. The experimental results were in good agreement with the simulated results, which demonstrated that the simulation method was effective and could be put into practical use.

Key words: tire;tread compound;loss factor;support vector machine;genetic algorithm

超支化膨胀阻燃橡胶材料及其制备方法

中图分类号:TQ332;TQ333 文献标志码:D

由上海工程技术大学申请的专利(公开号 CN 101899175A,公开日期 2010-12-01)“超支化膨胀阻燃橡胶材料及其制备方法”,涉及的超支化膨胀阻燃橡胶材料配方为:橡胶(天然橡胶、三元乙丙橡胶、丁苯橡胶或丁腈橡胶中的 1 种以上)

100,超支化膨胀型阻燃剂 60~80,氧化锌 3~5,硬脂酸 1~2,防老剂 4010NA 2~4,硫化剂 3~4,促进剂 M 1~2,促进剂 D 0.3~0.5.超支化膨胀型阻燃剂与橡胶的相容性大幅提高,其优良的界面相容效应使阻燃橡胶材料的物理性能明显提高,同时阻燃效果提高。

(本刊编辑部 赵 敏)