

优化轮胎带束层角度改善胎面不规则磨损的研究

姚 伟¹, 王友善², 谭惠丰¹, 杜星文¹

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 桦林轮胎股份有限公司, 黑龙江 牡丹江 157032)

摘要:以接地面压力分布的无偏估计值作为衡量其均匀性的标准,采用二次线性规划法进行优化求解,并用三维有限元法对优化结果进行了验证。采用优化搜索带束角的轮胎的接地面压力分布的无偏估计值比原轮胎小,变化率达到 1.08%,证明其接地面压力分布的均匀程度比原轮胎好,可改善胎面的不规则磨损。

关键词:胎面磨损;带束层角度;接地压力分布;无偏估计值;神经网络;二次线性规划法;三维有限元分析

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8171(2001)01-0021-03

轮胎行驶面上常会出现不均匀和不规则的畸形磨损,这不仅降低了轮胎的使用寿命,而且也影响车辆的操纵稳定性和安全可靠。造成这种磨损的原因很多^[1,2],但究其根源都是由于接地面压力分布不均匀造成的,因此通过结构优化设计来改善接地面压力分布状况是消除胎面不规则磨损的关键。影响接地面压力分布的结构因素包括带束层角度和胎面轮廓形状等,本工作主要从带束层角度入手,通过优化带束层角度来获取最佳的接地面压力分布,进而达到改善胎面不规则磨损的目的。考虑到轮胎结构的复杂性和非线性,采用三维有限元法^[3]来模拟轮胎的接地面压力分布,并用 BP 神经网络^[4]建立相应的数值模型。

1 优化模型的建立

与一般的优化模型一样,本研究的优化模型也包括设计变量、约束条件和目标函数三部分。设计变量为带束层角度,约束条件主要考虑了带束层角度的边界约束,目标函数为接地面压力分布的无偏估计值(可用来评估接地面压力分布的均匀程度)。求解目标函数最小值的优化模型可以表示为:

$$\begin{aligned} & \text{求:} \\ & \min f(x) \\ & \text{s. t. } L \leq x \leq H \end{aligned} \quad (1)$$

模型中, x 为设计变量, $f(x)$ 为目标函数, L 为的下边界, H 为的上边界。

目标函数可表示为:

$$f(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n s_i (p_i - \bar{p})^2} \quad (2)$$

式中 s_i 和 p_i 分别为接地面单元的面积和接地压力, n 为接地面上的单元总数, \bar{p} 为接地面上的平均压力,根据下式求得。

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_j p_j \quad (3)$$

2 优化设计流程

考虑到轮胎接地面的复杂性,接地面压力分布由三维有限元法计算给出,同时采用 BP 神经网络来精确描述设计变量和目标函数之间的关系。优化求解采用了二次线性规划法^[5],其优点是搜索速度较快,且精度较高。优化设计流程见图 1。

终止条件判断可用下式表示:

$$\text{终止条件} = \begin{cases} \text{是(如果 } f_s > f_o) \\ \text{否(如果 } f_s < f_o) \end{cases} \quad (4)$$

式中, f_s 和 f_o 分别为优化搜索带束角(即优化搜索解)和原带束角所对应的目标函数值(该值由三维有限元分析给出)。

3 数值计算

本工作以 10.00R20 载重子午线轮胎作为

作者简介:姚伟(1972-),男,湖北襄樊人,哈尔滨工业大学在读博士生。

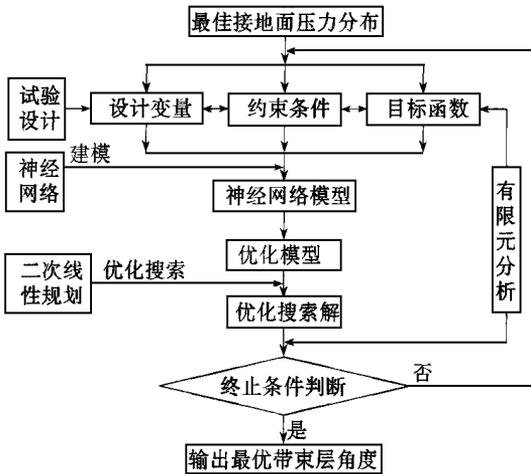


图1 优化设计流程图
图1 优化设计流程图

研究对象,根据设计人员的经验,带束层角度(帘线方向与轮胎径向的夹角)的范围选在 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 之间。为获得较高精度的优化解,共选用20组试验值分别进行三维有限元分析。分析程序采用哈尔滨工业大学复合材料研究所开发的稳态三维有限元分析软件,轮胎的行驶速度为 $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,下沉量为 30 mm 。建模过程采用三层BP神经网络(隐层包含29个神经元)进行训练,误差目标为 1×10^{-6} 。鉴于二次线性规划法是基于梯度下降的搜索方法,为避免陷入局部最小,必须选取不同的初始带束层角度分别进行优化搜索,并取其中最小值对应的带束层角度作为优化搜索带束层角度 s_0 。

4 结果与讨论

根据求得的 s_0 建立轮胎的有限元模型,并对其进行三维有限元分析,然后将分析结果和原轮胎数据进行比较,结果见表1。

表1 采用 s_0 的轮胎和原轮胎的有限元分析数据对比

项目	s_0	s	变化率/%
无偏估计值	1.097 275	1.085 419	1.080
最大接地面压力/MPa	1.117 250	1.109 250	0.716
最小接地面压力/MPa	0.457 200	0.533 125	-16.61

由表1可以看出,采用 s_0 的轮胎,其接地面压力分布的无偏估计值比原轮胎小,变化率达到 1.08% ,这说明其接地面压力分布的均匀程度比原轮胎好。

采用 s_0 的轮胎和原轮胎的接地面压力分布比较见图2。图2中每条线对应一个截面,单元号排列方式见图3。

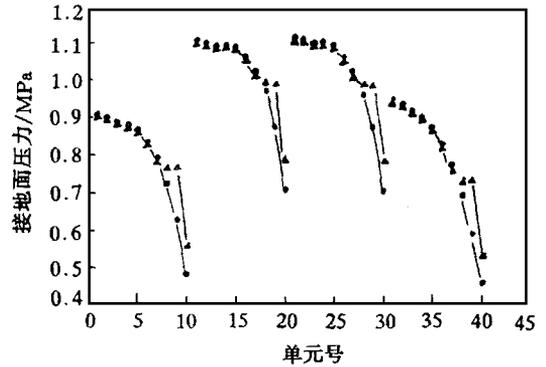


图2 采用 s_0 的轮胎与原轮胎的接地面压力分布对比
—原带束层角度; —优化搜索带束层角度

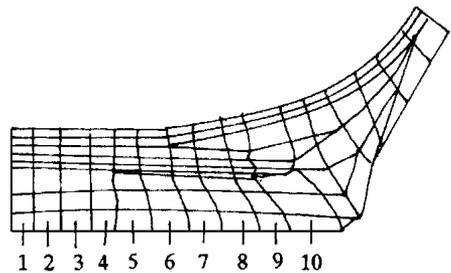


图3 轮胎接地面单元示意图

由图2可以看出,采用 s_0 的轮胎,其接地面压力分布比较均匀,最大接地面压力值较原胎有所下降,最小接地面压力值则反之,这对改善胎面的不规则磨耗是有利的。

综上所述,可采用 s_0 作为所求的最优带束层角度 p_0 。由于采用 p_0 后轮胎的接地面压力分布趋于均匀,因而胎面的不规则磨耗将获得改善。

5 结语

采用一种新的优化设计方法来获取最优带束角 p_0 ,以改善胎面的不规则磨耗。有限元分析结果表明,采用 p_0 的轮胎,其接地面压力分布的无偏估计值比原轮胎要小,变化率达到 1.08% ;其最大接地面压力值较原轮胎有所下降,最小接地面压力值则反之,这说明其接地面

压力分布的均匀程度比原轮胎要好。因此采用 p 后,胎面的不规则磨损将得到改善。

本研究可作为轮胎结构优化设计的一部分,对提高轮胎的耐久性以及车辆的操纵稳定性和安全可靠来说是有意义的。

本文仅考虑了带束层角度对轮胎接地面压力分布的影响,而影响接地面压力分布的结构因素还有很多,如胎面轮廓形状、花纹形状和轮辋宽度等,这些将是以后研究的重点。

参考文献:

[1] Veith A G. Tire treadwear—the joint influence of com-

-pound properties and environmental factors[J]. *Tire Science and Technology*, 1995, 23(4): 212-237.

[2] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1996. 216.

[3] 危银涛, 闫相桥, 王友善, 等. 汽车轮胎滚动接触非线性有限元分析[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 1998, 30(2): 42-46.

[4] Nakajima Y, Kadowaki H, Kamegawa T, et al. Application of a neural network for the optimization of tire design[J]. *Tire Science and Technology*, 1999, 27(2): 62-83.

[5] 余俊, 周济, 王虹. 优化方法程序库——原理及应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1997. 144.

收稿日期:2000-09-12

Study on optimization of belt angle to improve irregular tread wear

YAO Wei¹, WANG Yourshan², TAN Hui-feng¹, DU Xing-wen¹

(1. Haerbin University of Technology, Haerbin 150001, China; 2. Hualin Tire Co., Ltd., Mudanjiang 157032, China)

Abstract: The unbiased estimator of the ground-contact pressure distribution for a tire is taken as the criterion of its evenness, optimized with the sequence quadratic program (SQP), and verified by 3D FEM. The unbiased estimator of the ground-contact pressure distribution for the tire with the optimized belt angle is smaller than that of the original tire and the change rate is about 1.08%, which confirms that the ground-contact pressure distribution is more even and the irregular tread wear can be improved.

Key words: tread wear; belt angle; ground-contact pressure distribution; unbiased estimator; neural network; sequence quadratic program; 3D FEM

“上海国际汽配展 2000”及“上海国际轮胎展 2000”在上海同期举行

中图分类号:U463;TQ336.1 文献标识码:D

上海市国际展览有限公司及雅式展览服务有限公司主办,上海汽车工业(集团)总公司协办的“第三届上海国际汽车零部件及维修设备展览会”(简称“上海国际汽配展 2000”)及“上海国际轮胎工业及设备展览会”(简称“上海国际轮胎展 2000”)于 2000 年 11 月 28 日~12 月 1 日在上海国际展览中心同期举行。

这次展览会云集了来自法国、瑞士、英国、印尼、德国、印度、日本、马来西亚、新加坡、瑞典、美国、中国以及香港特别行政区等国家和地

区的 200 多家企业参展,展品的覆盖范围广泛,包括汽车发动机及机械部件、汽车底盘设备、汽车车身设备、汽车电气和电子设备、其它非金属材料;汽车维修、检测及控制设备;汽车、摩托车及其零部件相关的制造工艺和机器、汽车护理用品及其它与汽车业有关的产品及服务;汽车轮胎、轮胎生产设备、翻胎设备、轮胎模具、轮辋、轮胎相关零配件、轮胎维修、轮胎测试及换胎设备、橡胶原材料以及电子商务服务等。

此次展览会为汽配、维修及轮胎业界人士提供了一个行业咨询及产品技术交流的好机会。

(本刊编辑部 李静萍供稿)