

低断面轿车子午线轮胎 PDEP 设计理论

何晓玫 吴桂忠 王铭新

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

摘要 预应力和动平衡轮廓设计理论(PDEP)运用有限元法,以轮胎的预应力轮廓和动平衡轮廓为设计基准,充分考虑轮胎动态变形,通过改变在模型内的胎体轮廓来实现对带束层和胎圈施加张力,使其达到最佳动态平衡状态。通过优化负荷下轮胎的接地印痕和压力分布,达到相同条件下滚动半径增大,并控制带束层张力分布。采用PDEP理论设计胎体轮廓,可以提高轮胎的高速性能和乘坐舒适性。

关键词 轿车子午线轮胎,有限元法,滚动阻力,乘坐舒适性,接地面积

随着汽车和公路水平以及汽车行驶速度的提高,轮胎向扁平化发展,并要求轮胎具有时代优美造型。表1^[1]示出了近几年轮胎发展的变化趋势。从表1可以看出,车速趋向提高,轮胎趋向扁平化,相应胎圈直径增大。在欧洲,轮胎已实现了子午化和无内胎化,现在主要向扁平化方向发展,轮胎系列已由70,80系列发展到35系列。其中65和60系列已相当普遍。

表1 轮胎变化趋势

项 目	1988年	1992年
速度级		
无速度级	90	49
S,T	5	40
H,V,Z	5	11
断面高宽比		
0.80,0.75	54	38
0.70	35	45
0.65,0.60	10	14
0.60以下	1	3
胎圈直径		
13英寸	12	5
14英寸	45	40
15英寸	41	45
16,17英寸	2	5

据介绍,国外各大轮胎公司为适应低断面轿车子午线轮胎的要求,打破了多年应用于轮胎设计的“自然平衡轮廓”设计理论,因为自然平衡轮廓设计理论不能满足高性能低断面轿车子午线轮胎设计要求,而且无法解决轮胎使用中存在的问题。由于电子计算机

的使用,有限元分析(FEA)及模型分析方法的建立,为设计方法的突破奠定了理论基础并提供了实施手段,因此,各大轮胎公司纷纷研究新的轮胎设计理论,例如目前公开发表的RCOT,DSOC-S,DSOC-T,SCL等^[2]理论,但这些理论只是从不同的侧面针对轮胎的某一特性进行研究开发,存在局限性。

RCOT^[3]理论以滚动中的轮胎作为轮廓设计的基准,目的是使轮胎滚动时的无效运动减至最少,以改善轮胎行驶性能,提高燃料经济性,从而使轮胎具有更好的乘坐舒适性和更优异的制动性。DSOC-S^[4]理论是通过控制行驶时轮胎的形状变化,使行驶中轮胎的内部变形较小,接地状态达到最佳化,从而提高带束层和胎圈耐久性,提高轮胎磨损寿命。DSOT-T^[5]理论通过改变带束层张力,优化轮胎的接地形状,从而更好地解决操纵稳定性和包络性的问题。SCL^[6]理论认为通过控制轮胎刚度,并采用SCL形状的胎体轮廓,可以解决转向力相位滞后问题,保证乘坐舒适性和提高操纵稳定性。上述理论都是通过三维非线性有限元模型实现分析和预测轮胎的各项性能,它们虽然从不同的侧面解决了轮胎的应力-应变及轮胎形状优化等问题,但没有把轮胎的预应力和动态性能结合起来。鉴于此,我们考虑低断面轿车子午线轮胎的特殊性能要求,在总结前人轮胎设计经验的

基础上,提出了适应低断面轿车子午线轮胎较好高速性和较低滚动阻力等性能的PDEP设计理论。

1 PDEP 设计理论的基本概念

所谓PDEP设计理论,即预应力和动平衡轮廓设计理论(Prestressed and Dynamic Equilibrium Profile)。PDEP设计理论运用有限元结构分析程序,以低断面轿车子午线轮胎为研究对象,以轮胎的预应力轮廓和动平衡轮廓为设计基准,充分考虑轮胎在动态条件下的变形情况,通过改变胎体轮廓线在模型内的形状来实现对带束层和胎圈施加张力,使其在动态下达到最佳的平衡状态。该理论从研究轮胎负荷下的接地状态入手,通过优化轮胎的接地印痕及压力分布,使相同条件下的滚动半径增大,并控制带束层张力分布。

2 PDEP 设计理论的应用

2.1 PDEP 设计理论工作流程

PDEP设计理论工作流程如图1所示。

2.2 PDEP 设计轮胎结构的特点

与传统设计方法相比,用PDEP理论设计的轮胎轮廓线有3个特点:①轮辋设计宽度大;②行驶面设计宽度减小;③胎肩轮廓线向内,胎圈轮廓线向外。图2示出了195/60HR14轮胎PDEP理论轮廓与传统设计轮廓的对比曲线。应用PDEP理论设计轮胎,其轮廓曲线在动态条件下,上胎侧上提,断面宽膨胀比传统轮胎大,可以弥补轮胎在动态下的不正常变形。在实际使用中,轮胎在高速旋转下的变形情况如图3所示,这种变形将造成轮胎早期损坏,影响轮胎的使用寿命。应用PDEP理论设计的轮胎可以克服这一缺点,提高轮胎的高速性能。表2示出了PDEP理论设计与传统设计轮胎的高速性能对比。从表2可以发现,在材料结构不变的情况下,PDEP轮胎高速性能更好。

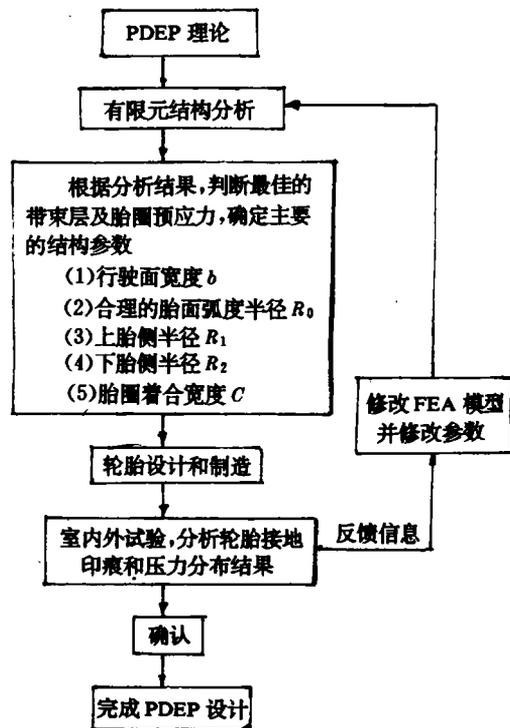


图1 PDEP设计理论工作流程图

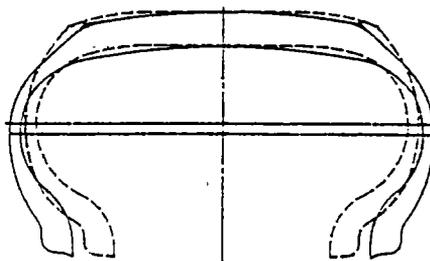


图2 195/60HR14外轮廓曲线

--- 传统轮廓;—PDEP理论轮廓

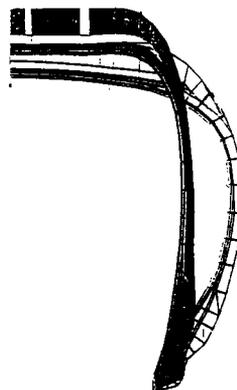


图3 轮胎在高速旋转下的变形情况

表 2 195/60HR14 不同方案高速性能对比

项 目	传统设计	PDEP 理论
	轮胎	设计轮胎
破坏速度, km · h ⁻¹	200	220
破坏速度下运行时间, min	19.5	8.0

2.3 接地印痕形状和接地压力的差异

低断面轿车子午线轮胎的乘坐舒适性和高速性能均可以用轮胎的接地印痕来预测。方圆形接地印痕, 表明乘坐舒适性好, 耐磨性好; 接地印痕向内凹陷的则不好。这是因为轮胎在行驶过程中, 肩部接地长度越大, 其受力就越大, 易产生偏磨, 而且轮胎的肩部易产生应力集中。图 4 为传统设计轮胎和 PDEP 设计轮胎的接地印痕形状。有研究表明^[7], 要提高轮胎的耐磨性, 接地区的压力必须均匀分布。从图 5 看出, 沿横向接地压力的分布, PDEP 理论的轮胎比传统设计理论的更均匀, 其值大于传统设计轮胎, 因而轮胎在使用过程中的相对滑移减小, 轮胎使用寿命提高。

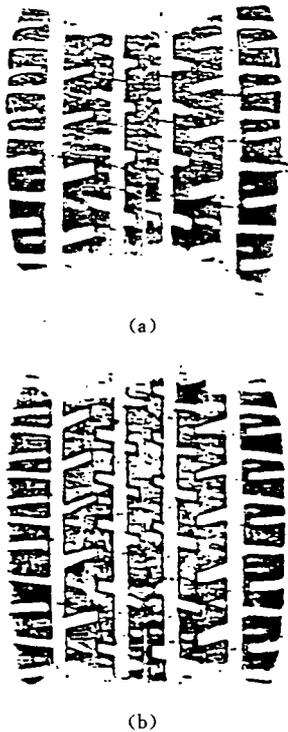


图 4 轮胎接地印痕形状对比
(a)传统设计轮胎; (b)PDEP 设计轮胎

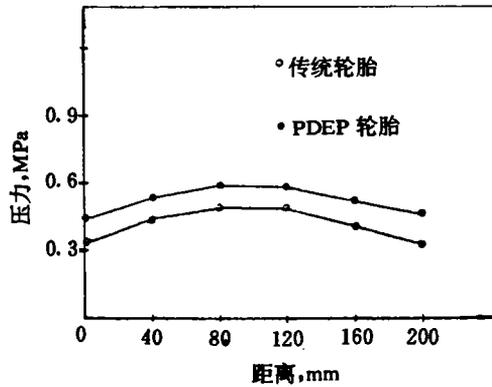


图 5 轮胎横向接地压力对比

2.4 滚动阻力分析

据文献^[8]介绍, 轮胎的滚动阻力与滚动速度成正比, 与其充气压力成反比, 如图 6 所示。由此可知, 线速度越大, 滚动阻力就越大。从这一结论出发分析表 3 中轮胎静负荷下的

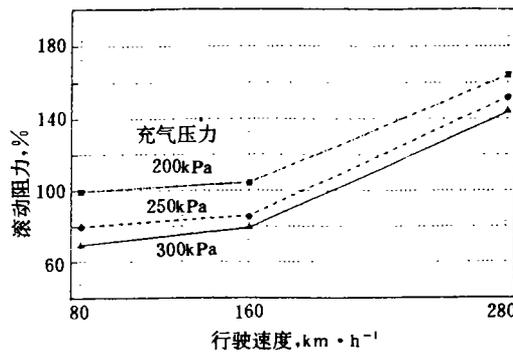


图 6 在相同负荷下轮胎滚动阻力与行驶速度和充气压力的关系

表 3 195/60HR14 轮胎静负荷试验数据

项 目	传统设计	PDEP 设计
	轮胎	轮胎
充气压力, kPa	310	310
负荷下静半径, mm	265.6	267.2
下沉量, mm	29.0	27.7
印痕长轴, mm	111	142
印痕短轴, mm	136	138
印痕面积, cm ²	172	185
接地系数	0.85	1.13
硬度系数	0.91	0.92
单位面积平均压力, kPa	282	284

滚动半径,不难发现,PDEP 轮胎与传统轮胎相比,负荷下静半径大,滚动半径大,因此滚动阻力小。

2.5 带束层张力和变形的差异

据文献^[9,10]报道,在通常情况下,轮胎在充气 and 负荷作用下高速运转,其带束层张力中间最大,边缘最小;而在负荷作用下的带束层呈压缩状态,张力呈中间小、两边大的分布。运用 PDEP 设计理论,可使带束层的张力分布相对均匀和向带束层的边缘预加张力,从而可以控制在接地区内轮胎的变形和胎面胶的运动,提高轮胎的耐磨性和高速性能,降低滚动阻力,并使胎面平坦。图 7 为有限元分析带束层张力分布图,图 8 为 195/60HR14 轮胎有限元分析带束层变形图。从图 3 和 8 可以看出,传统设计轮胎的变形与高速动态下的轮胎的变形情况一致,不利于提高轮胎的高速性能,轮胎带束层端部应力更加集中,高速性能下降。

3 结论

分析和使用结果表明:应用 PDEP 理论设计的低断面轿车子午线轮胎高速性能提高,带束层端点张力增大,能控制动态下轮胎的接地印痕形状,改善轮胎的耐磨性能,降低滚动阻力;胎圈预应力的作用,使动态下胎圈变形减小,材料分布均匀,不易产生应力集中,从而提高胎圈耐久性,延长轮胎使用寿命。

PDEP 理论仅仅通过改善轮胎的轮廓设

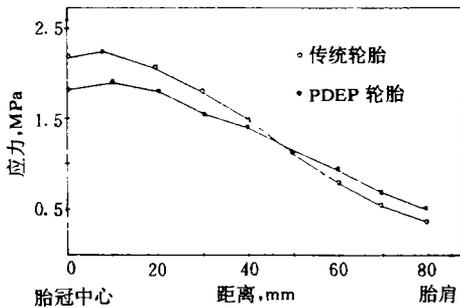
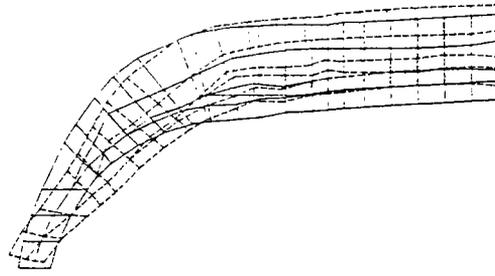
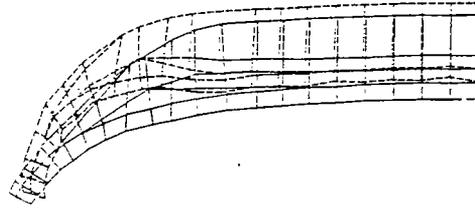


图 7 有限元分析带束层端部受力图



(a)传统设计动态轮廓及变形图



(b)PDEP 理论设计动态轮廓及变形图

图 8 195/60HR14 有限元分析带束层变形图

--- 变形图;—动态轮廓

计,而未改变其结构和材料,达到了节省燃料、改善乘坐舒适性,并提高轮胎性能的目的。

致谢 本研究工作得到了院、室领导的大力支持;在轮胎试制过程中,荣成市橡胶厂的领导及各个部门提供了许多方便,在此表示感谢。

参考文献

- 1 黄世权. 国外子午线轮胎开发技术一瞥. 轮胎工业, 1993;(11):3-7
- 2 王维秋. 轮胎结构力学第七讲轮胎力学理论的发展现状(上). 轮胎工业,1993;(8):19-26
- 3 Yamagishi K *et al.* A study on the contour of the radial tire; Rolling Contour Optimization Theory——RCOT. Tire Science and Technology, 1987;15(1):1-30
- 4 大桥纯一等. DSOC 理论. 月刊タイヤ,1988;7(11):14-36
- 5 东洋ゴム工业タイヤ技术部. DSOC—T. 月刊タイヤ, 1989;21(8):54-64
- 6 横浜ゴム. SCL 理论. 月刊タイヤ,1989;21(8):28-29
- 7 吴桂忠等. 轿车子午线轮胎的三维有限元分析. 橡胶工业,1993;40(12):720-723
- 8 Tseng N T *et al.* Finite element simulation of destruc-

- tive tire testing. *Tire Science and Technology*, 1991; 19 (1): 2—22
- 10 吴桂忠等. 轿车子午线轮胎高宽比对其受力与变形的影响. *轮胎工业*, 1991; (12): 3—5
- 9 Weiss M *et al.* *Tire Science and Technology*, 1993; 21 (2): 120—134
- 1994 年全国轮胎技术研讨会论文

PDEP Concept of Low Profile Radial Car Tire

He Xiaomei, Wu Guizhong and Wang Mingxin

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry 100039)

Abstract PDEP (Prestressed and Dynamic Equilibrium Profile) concept for tire design has been developed. According to this concept, the tire is designed using FEM on the basis of prestressed and dynamic equilibrium profile. The dynamic deformation of the tire is fully considered and the tyre profile in the mold is changed to apply the tension of the belt and beads and thus to reach the optimum dynamic equilibrium. The footprint and pressure distribution at ground contact area of tire under load are optimized to increase the rolling radius at the same conditions and control the tension distribution in the belt. The performance and comfortable ride of tire at high speed can be improved when the tire profile is designed based on the PDEP concept.

Keywords radial car tire, FEM, rolling resistance, comfortable ride, ground contact area

《橡胶工业》编辑部成员

主 编 陈志宏
 副 主 编 涂学忠 毛玲芝
 责任编辑 黄丽萍
 编 辑 黄丽萍 李静萍 吴秀兰 许炳才 黄家明 王晓冬
 张惠卿
 编 务 张 川
 特约编审 王声乔 曾泽新
 电 话 8212211-2149