

薄膜网络理论在 155 R12 TL 轮胎结构设计中的应用

宋贤海

(广州市宝力轮胎有限公司 510828)

摘要 介绍 155R12 TL 子午线轮胎的设计过程。提出用薄膜网络理论结合三维非线性有限元法优化设计轮胎轮廓的方法,并编制了计算程序,提供了三维非线性有限元程序的接口变量。用此方法设计的轮胎成品性能较好,各项指标均达到了设计要求。

关键词 轮胎结构,有限元法,薄膜网络理论

随着轮胎工业的发展,人们越来越注重以理论分析计算指导和辅助轮胎结构设计,这正是人们通过长期的实践逐步由感性认识到理性认识的必然过程。汽车的普及和高速、高性能化,对轮胎的使用性能也提出了更高的要求。为了进一步做到更加安全、经济和舒适,要求轮胎质量更轻,滚动阻力更低,这就关系到轮胎材料的改进和轮胎结构的最优化。电子计算机的推广和应用,使得复合材料组成的轮胎结构力学分析成为可能,采用三维有限元分析方法,可以模拟轮胎在各种滚动状态下的力学及热学行为,通过数学分析和试验测量来预测或确定轮胎在各种不同工作条件(如负荷、速度、温度等)下的应力状态。也可以根据轮胎用材料的力学性能确定轮胎在指定的工作条件下满足既安全又经济的要求所必要的结构参数和性能特征,或者分析指定的某种轮胎最适宜的工作条件以及在某种已知情况下工作产生损坏的原因,因此国际上推出了许多新的轮胎设计理论,如 RCOT, DSOC, TCOT 等。

目前,国内轮胎结构设计基本上仍采用传统的经验型轮胎设计方法,理论计算采用

薄壳理论、层合理论等。这些理论虽已在不同程度上应用于轮胎设计,并对轮胎工业的进步起了明显的促进作用,但都有较大的局限性,以致某些方面已经不能满足汽车工业对轮胎提出的要求,如更好的高速性能、抓着力、乘坐舒适性等。本公司子午线轮胎 155R12 TL 的结构设计,采用以薄膜网络理论为基础、结合有限元分析的方法,取得了较好的效果。

1 155 R12 TL 子午线轮胎的结构设计

155R12 TL 子午线轮胎是为广西柳州微型汽车厂和江西南昌昌河汽车有限公司配套的产品,确定执行的设计标准为:新胎充气断面宽 $B = 157(1 \pm 3.5\%)$ mm,新胎充气外直径 $D = 556(1 \pm 1.0\%)$ mm,充气压力 $p = 350$ kPa,负荷 $W = 4\ 850$ N,最高速度为 $95\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,花纹形式采用块状花纹 AW1101,层级 6,使用标准轮辋 4.50B。

根据日本赤坂隆发表的轮胎结构力学理论,对子午线轮胎断面轮廓用薄膜网络理论进行设计与计算,无带束层轮胎的断面形状计算公式为

$$y = \int_p^z \frac{(Z_M - z) dz}{[(Z_M^2 - Z_P^2)^2 - (Z_M^2 - z^2)]^{1/2}} \quad (1)$$

式中, Z_P 和 Z_M 分别为胎冠中心点和最宽点

作者简介 宋贤海,男,34岁。1993年毕业于华南理工大学,硕士。主要从事轮胎结构设计及其应用软件的开发。已发表论文4篇。

的 z 值, 见图 1。

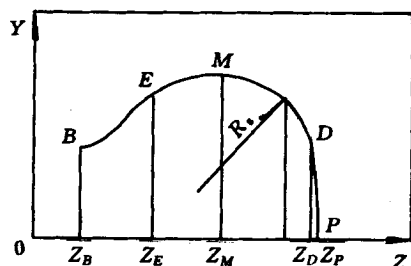


图 1 子午线轮胎的断面形状

由式(1)可以得出冠部曲率半径为

$$R_s = \frac{Z_P^2 - Z_M^2}{2Z_P} \quad (2)$$

子午线轮胎的特点为扁平化, 因此必须通过带束层的箍紧作用来实现, 这样带束层必须承受较大的作用张力。为了求出子午线轮胎负荷状态下的形状, 首先要考虑冠部带束层、胎体帘布层以及胎侧加强部分的压力分担率 T_b , T_c 和 T_e , 然后计算其断面形状。

在负荷状态下, 带束层压力分担率 T_b 的分布假设为梯形, 可以近似用如下 z 的函数表示:

$$T_b = \tau_0 - \frac{a(Z_P - z)}{Z_P - Z_D} \quad (3)$$

式中, τ_0 为带束层压力分担率的最大值; a 为计算系数, 对于梯形的压力分布, 取 $a = 0.45$ 。在外直径和其它参数不变的情况下, 带束层压力分担率 T_b 改变将使其断面形状发生变化。

在计算下胎侧形状时, 也必须考虑胎侧加强部分的压力分担率 T_e 。胎侧加强部分是指承受内压分担率为零的增强部件顶端至承受内压比率达最大值的轮辋点处, 其分布近似为线形分布。该值可近似表示为

$$T_e = \frac{\tau_e(Z_E - z)}{Z_E - Z_B} \quad (4)$$

式中, τ_e 为胎侧加强部分压力分担率的最大值。当 $\tau_e > 0$ 时, 加强胶的作用使轮胎宽度减小; 当 $\tau_e < 0$ 时, 则使轮胎的宽度增大。为

了减小负荷状态下胎侧的膨胀, 一般取 $\tau_e > 0$ 。

对于胎体帘布层的压力分担率 T_c , 根据帘线张力 t_0 和内压 p 的法向平衡条件, 任一点都必须满足

$$\frac{Nt_0}{2\pi z} = pT_cR_s \quad (5)$$

式中, N 为胎体帘线的根数。在带束层部分, $T_c = 1 - T_b$; 在加强胶部位, $T_c = 1 - T_e$; 其余 $T_c = 1$ 。

根据式(1)和(2)的几何关系, 式(5)可写成

$$\frac{1}{R_s} = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{3/2}} = \frac{2\pi z T_c p}{Nt_0} \quad (6)$$

将式(6)进行分段积分, 则得出

$$\int \frac{y'' dz}{(1 + y'^2)^{3/2}} = \frac{2\pi p}{Nt_0} \int T_c z dz \quad (7)$$

将具有带束层和加强胶的子午线轮胎的断面形状按图 1 分为 3 部分, 分别根据每段弧的特点积分, 可得出胎体帘布层的形状。

(1) 带束层部位 (P-D 段)

$$y = - \int_{Z_P}^z G_1(z) dz \quad (8)$$

令 $\frac{y'}{1 + y'^2} = \frac{A}{B}$, 则

$$G_1(z) = \left[Z_D^2 - Z_M^2 + \left(1 - \tau_0 + \frac{aZ_P}{Z_P - Z_D} \right) (z^2 - Z_D^2) - \frac{2a(z^3 - Z_D^3)}{3(Z_P - Z_D)} \right] \left\{ B^2 - \left[Z_D^2 - Z_M^2 + \left(1 - \tau_0 + \frac{aZ_P}{Z_P - Z_D} \right) (z^2 - Z_D^2) - \frac{2a(z^3 - Z_D^3)}{3(Z_P - Z_D)} \right]^2 \right\}^{-1/2} \quad (9)$$

(2) 带束层端点至下胎侧部位 (D-E 段)

$$y = - \int_{Z_P}^{Z_D} G_1(z) dz - \int_{Z_D}^z G_2(z) dz \quad (10)$$

$$G_2(z) = (z^2 - Z_M^2) [B^2 - (z^2 - Z_M^2)^2]^{-1/2} \quad (11)$$

(3)下胎侧加强部位(E-B 段)

$$y = - \int_{Z_p}^{Z_D} G_1(z) dz - \int_{Z_D}^{Z_E} G_2(z) dz - \int_{Z_E}^z G_3(z) dz \quad (12)$$

$$G_3(z) = \left[Z_E^2 - Z_M^2 + \left(1 - \frac{\tau_e Z_E}{Z_E - Z_B} \right) (z^2 - Z_E^2) + \frac{2\tau_e(z^3 - Z_E^3)}{a^3(Z_E - Z_B)} \right] \left\{ B^2 - \left[Z_E^2 - Z_M^2 + \left(1 - \frac{\tau_e Z_E}{Z_E - Z_B} \right) (z^2 - Z_E^2) + \frac{2\tau_e(z^3 - Z_E^3)}{3(Z_E - Z_B)} \right]^2 \right\}^{-1/2} \quad (13)$$

根据上述原理,采用 FORTRAN 语言编制了设计程序,对于不同的 T_b ,便可模拟出 155R12TL 子午线轮胎的一族断面曲线图(见图 2)。为了优化断面曲线,专门编制了三维非线性有限元程序,建立有限元模型,其中胎圈钢丝胶的弹性模量为 $E_x = 8.785$ MPa, $E_y = 57.23$ MPa, $G_{xy} = 2.87$ MPa, $\nu_{xy} = 0.325$;把断面曲线形状输入非线性有限元程序接口,进行网格划分,边界条件确定,得出应力-应变分布图,从应力-应变图的合理

性判断,确定当 $T_b = 0.45$ 时,轮胎断面曲线为最优曲线。

2 成品结果分析与结论

完成 155R12 设计后,加工了 2 副模具,经过一个多月的试制,测得轮胎的各项性能如表 1 所示。

表 1 155R12TL 轮胎成品性能测试结果

项 目	测试结果	国家标准
外缘尺寸/mm		
外直径	552	550(1±1%)
断面宽	156	157(1±3.5%)
高速性能		
最高速度/(km·h ⁻¹)	160	130
行驶时间/min	30	5
破坏情况	无损坏	—
强度性能		
最小破坏能/J	461	204
耐久性能		
行驶时间/h	120	47
破坏情况	无破坏	—
水压爆破		
安全倍数	6.7	5.0
破坏部位	下模胎侧爆	—
最小脱圈阻力/N	15 000	8 918

从表 1 可以看出,各项性能都满足国家标准,达到了既定设计要求。

通过以上设计过程表明,用薄膜网络理论结合三维非线性有限元法优化轮胎断面曲线不失为现今快捷有效的设计方法。三维非线性有限元程序的应用,不仅可以预测轮胎接触状态下的变形及受力,而且缩短了轮胎的设计时间,降低了成本,缩短了信息反馈时间,大大提高了设计质量,随着计算机科学的发展和完善,必将对轮胎的结构设计和新型轮胎的开发起到越来越大的作用。

收稿日期 1997-10-11

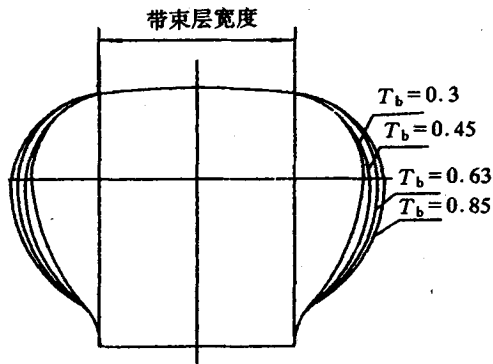


图 2 155R12TL 断面曲线图族

Application of Film-network Theory to Structure Design of 155 R12 TL Tire

Song Xianhai

(Guangzhou Baoli Tire Corp., Ltd. 510828)

Abstract The design procedure of 155R12 TL radial tire is described. An optimization method of tire profile is proposed based on the film-network theory combining with three dimensional nonlinear FEM. The calculation program is compiled and the interface variables of three dimensional FE program is provided. The performance of the tire designed with the said method is satisfactory and all indexes meet the design requirements.

Keywords tire structure, FEM, film-network theory

米其林推出垂直固定到轮辋上的轮胎

英国《轮胎和配件》1997 年 10 期 70 页报道:

米其林介绍了其垂直固定到轮辋上的轮胎 PAV 的详细情况。这种轮胎是为改善安全性而开发的,它通过即使在极端条件下(如零气压下)也能改善车辆操纵性能和保持抓着力,确实实现了改善安全性的目标。

轮胎刺穿后,可以 80 km 的时速继续行驶 200 km,使司机可以到达维修站,而不必在可能是繁忙和漆黑的公路上更换备胎。

PAV 总成包括一个特制的轮辋、一个在降压时使轮胎保持其功能的柔性支撑环、一个其形状和附着到轮辋上的独特方法保证了高使用性能并能防止胎圈脱位的外胎。这种轮胎需使用压力传感器,当轮胎掉压时通知司机。

PAV 的胎圈和轮辋固定到一起,胎圈嵌入到轮辋的外驼峰和内档圈之间的槽内。不管气压如何下降都会把胎圈更紧地压到外驼峰上,即使在零压下也不会脱圈。轮辋上还

配有一个内支撑环,当轮胎在低压或零压下行驶时支撑轮胎的作用。

与普通轮胎相比,PAV 的胎侧相当短,这使汽车设计人员有较大的选择余地。首先,如果要保持同样的外直径,则可以采用较大的轮辋,为使用更好的制动装置提供更大的空间。另外,也可以选择较小的轮辋(不降低负荷能力),并增大车厢内的空间。

米其林非常看好 PAV 未来的前途,预计这种轮胎将成为 1998 年年底某些型号汽车的任选胎,对象是那些愿为安全和便利多花钱的司机。

几个月以前,人们还都在追逐更省油的轮胎,但现在似乎已到了跑气保用胎走俏的月份。许多轿车制造厂切盼甩掉备胎,以减轻质量,节省空间,我们已看到这一进程正在开始。固特异的 EMT 跑气保用胎已成为无备胎的新型 Corvette 轿车的原配胎。

不用再更换跑气轮胎对司机颇有吸引力,但取消备胎意味着减少了 20% 原配胎,这是一个轮胎厂必须考虑到的问题。

(涂学忠摘译)