

压力函数法轮胎模型设计

王江忠, 辛振祥, 王 超, 郭丽华

(青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042)

摘要:介绍区别于传统(经验)设计法及自然平衡轮廓设计法的一种轮胎模型设计方法——压力函数法。该方法建立在数学及力学推理基础上,利用压力函数的调节变化控制轮胎模型轮廓的形状,实现对轮胎模型参数的设计。压力函数法是一种非自然平衡轮廓设计方法,为进一步进行轮胎力学分析并实现轮胎结构优化设计奠定了基础。

关键词:压力函数法;轮胎;模型设计;非自然平衡轮廓

中图分类号:TQ336.1⁺1;U463.341⁺.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-890X(2004)07-0418-04

一般轮胎模型设计主要是根据经验来选定参数,缺少理论依据^[1]。实际的轮胎模型轮廓是一种力学平衡轮廓,受最小位能原理的约束。用传统(经验)法设计的轮廓一般不符合最小位能原理,设计质量不高,设计效率低。自然平衡轮廓设计法虽然有较严格的数学推导公式为设计依据,但设计出的轮廓却仅局限于自然平衡轮廓,不能满足轮胎设计的日益多样化及特殊要求^[2~4]。目前比较流行的有限元法虽然分析功能强大,但要求高,而且其实质上不具备设计功能^[3]。在综合以上分析的基础上,压力函数法便应运而生。

1 压力函数法轮胎模型设计数学模型的建立

压力函数法轮胎模型设计是在数学及力学推导的基础上,建立以压力函数为核心的非线性微分方程组,并通过计算确定轮胎模型的一种非传统的轮胎结构设计方法。该方法实质上是对自然平衡轮廓理论的一种推广,是一种既能设计自然平衡轮廓,又能设计非自然平衡轮廓的广义的平衡轮廓设计方法^[5]。

1.1 压力函数的确立

严格意义上的轮胎模型设计并非针对轮胎的成品状态或零压状态,而是针对硫化模型内轮胎的状态。当轮胎在模腔内时,胎体轮廓受到约束,

各部位所受的压力不同,可用压力函数 $F_n(s)$ 表示。由于轮胎具有对称性,其所受压力必然也具有对称性,且方向相反。由于正弦级数的周期性且为奇函数,即具有对称性的特点,与轮胎所受压力情况相吻合,因此,采用正弦级数来表述该压力函数:

$$F_n(s) = P_0 + P_1 \sin \frac{\pi s}{2s_k} + P_3 \sin \frac{3\pi s}{2s_k} + P_5 \sin \frac{5\pi s}{2s_k} + \dots$$

式中 P_0 ——初始内压;

P_1, P_3 和 P_5 ——可调节的压力函数;

s ——轮辋点到胎冠的弧长;

s_k ——轮辋点到胎冠未伸张的弧长。

用不同的压力函数来描述不同的模型形状对胎体的制约状况,可通过压力函数的调节来满足预先提出的要求,设计轮胎结构的模型形状。这就是采用压力函数法设计轮胎非自然平衡轮廓的主要思路。

1.2 数学模型的建立^[6~14]

压力函数法适用于轮胎所处的任何状态,无论是自然平衡轮廓状态,还是非自然平衡轮廓状态。根据轮胎的几何关系、静力平衡关系(如图1所示)及虚功等原理建立压力函数法轮胎模型设计的方程如下^[5]:

$$\frac{dy}{ds} = \cos \varphi \quad (1)$$

$$\frac{dr}{ds} = \sin \varphi \quad (2)$$

作者简介:王江忠(1972-),男,山东青岛人,青岛科技大学助理研究员,硕士,主要从事高分子材料制品与模具设计理论及计算机辅助工程方面的研究。

$$\frac{d(rN_\varphi)}{ds} = N_\theta \sin \varphi \quad (3)$$

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{rF_n + N_\theta \cos \varphi}{rN_\varphi} \quad (4)$$

$$F_n(s) = P_0 + P_1 \sin \frac{\pi s}{2s_k} + P_3 \sin \frac{3\pi s}{2s_k} + P_5 \sin \frac{5\pi s}{2s_k} + P_7 \sin \frac{7\pi s}{2s_k} \quad (5)$$

$$F_{nA} = F_n|_{s=s_A} = P_0 + P_1 \sin \frac{\pi s_A}{2s_k} + P_3 \sin \frac{3\pi s_A}{2s_k} + P_5 \sin \frac{5\pi s_A}{2s_k} + P_7 \sin \frac{7\pi s_A}{2s_k} \quad (6)$$

$$F_{nB} = F_n|_{s=s_B} = P_0 + P_1 \sin \frac{\pi s_B}{2s_k} + P_3 \sin \frac{3\pi s_B}{2s_k} + P_5 \sin \frac{5\pi s_B}{2s_k} + P_7 \sin \frac{7\pi s_B}{2s_k} \quad (7)$$

$$F_{nC} = F_n|_{s=s_C} = P_0 + P_1 \sin \frac{\pi s_C}{2s_k} + P_3 \sin \frac{3\pi s_C}{2s_k} + P_5 \sin \frac{5\pi s_C}{2s_k} + P_7 \sin \frac{7\pi s_C}{2s_k} \quad (8)$$

$$F_{nD} = F_n|_{s=s_D} = P_0 + P_1 \sin \frac{\pi s_D}{2s_k} + P_3 \sin \frac{3\pi s_D}{2s_k} + P_5 \sin \frac{5\pi s_D}{2s_k} + P_7 \sin \frac{7\pi s_D}{2s_k} \quad (9)$$

$$\frac{N_\theta}{N_\varphi} = \tan^2 \beta = \cotan^2 \alpha \quad (10)$$

$$\cos \alpha = \frac{r}{r_k} \cos \alpha_k \quad (\sin \beta = \frac{r}{r_k} \sin \beta_k) \quad (11)$$

$$\frac{N_\varphi}{R_1} + \frac{N_\theta}{R_2} = F_n \quad (12)$$

$$ds = R_1 d\varphi \quad (13)$$

$$R_2 = \frac{r}{\cos \delta} = -\frac{r}{\cos \varphi} \quad (14)$$

式中, y 为轴向坐标; r 为径向坐标; φ 和 δ 为特性角; N_φ 和 N_θ 为径向和周向膜力; F_{nA} , F_{nB} , F_{nC} 和 F_{nD} 为边界点压力值; β 和 α 为帘线角; R_1 和 R_2 为第 1 和第 2 主曲率半径。式(1), (2), (11), (13)和(14)为几何方程式; 式(3), (4)和(10)为静力平衡方程式; 式(5)~(9)为压力函数方程式; 式(12)为经典的薄膜-网络理论方程式。

2 轮胎模型设计

压力函数法轮胎模型设计的数学模型建立之后, 最重要的便是解法问题, 只有解出该非线性微分方程组, 才可实现对模型的设计。

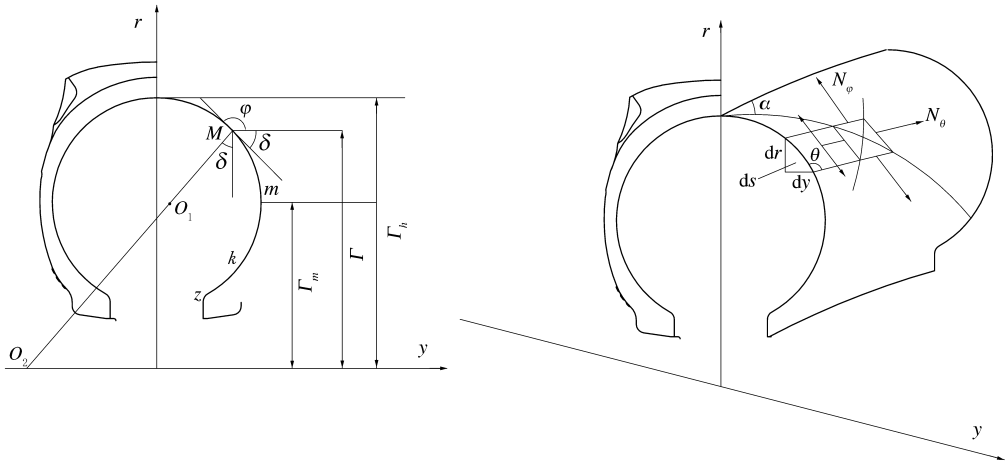


图 1 轮胎断面轮廓曲线特性角及受力单元示意

2.1 边界条件

计算轮胎模型形状时, 边界条件一般可采用 3~5 个, 本研究采用 5 个, 是根据现有或以往设计的断面内外轮廓草图来确定初始边界值, 主要参数有胎里半径、轮辋点角度、胎肩宽度、断面最宽点半径及其半宽。这 5 个值为决定模型形状的

重要参数, 以此作为轮胎模型设计的几何边界值。

2.2 可调整变量

轮胎在硫化过程中受到模型的约束, 因此其形状会受到上述压力函数的影响。为了满足上述几何边界值, 必须要有相对应的变量来调节。对于给定的参数, 只有压力函数 P_1 , P_3 , P_5 和 P_7 以

及断面内轮廓的弧长 s 为未知变量,把这些变量称为可调整变量。调整变量的数目必须与几何边界值的数目相等。初始值取零。通过 Newton-Raphson 迭代法对每个变量进行调整,逐步逼近所给的几何边界值。当达到收敛条件时,即可得到设计结果。为了计算轮胎模型形状,还需要输入与轮胎结构设计有关的若干个参数。模型设计流程如图 2 所示。

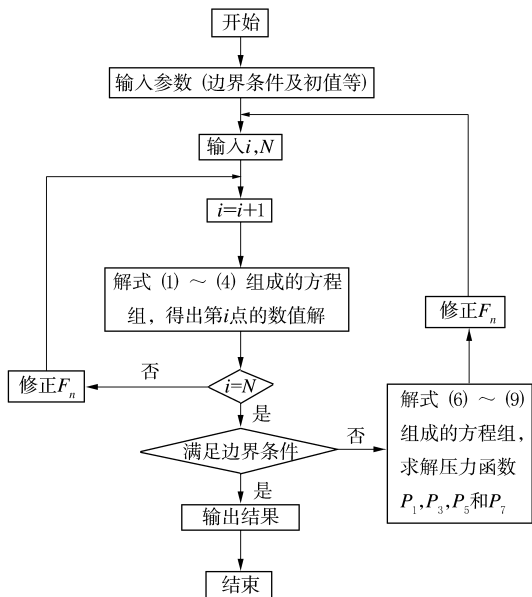


图 2 模型设计流程

2.3 Runge-Kutta 法解微分方程组^[7,9]

模型设计的关键是微分方程组的解法。该方程组由于其非线性,没有解析解,只能用数值解法。解微分方程组的常用数值方法为差分法。差分法有尤拉方法、隐式尤拉方法和 Runge-Kutta 方法等,本研究使用 Runge-Kutta 方法。该方法是四级四阶的单步法,用该方法一方面可使计算简单,同时又可提高计算精度。

为了便于判断微分方程组的解是否满足边界条件及便于解边值(应使所积分节点尽可能与边界条件吻合),同时考虑轮胎的实际模型形状(如子午线轮胎带束层应力容易集中,应尽可能把步长取小些),需要在模型断面上取不同的步长。本研究将积分分为 3 段,即轮辋点至断面最宽点为第 1 段,取步长为 h_1 ;断面最宽点至胎肩为第 2 段,取步长为 h_2 ;胎肩至胎冠点为第 3 段,取步长

为 h_3 。

2.4 Newton-Raphson 法解边界值^[7,9]

对于式(6)~(9)组成的方程组,采用 Newton-Raphson 法求解。使用该方法不仅收敛效果明显,而且可适应线性及非线性方程组,求解算法也比较简单,在此不展开论述。

2.5 设计结果举例

以常用轮胎 9.00-20 为例,压力函数法与传统(经验)设计法设计的轮胎模型(轮胎内轮廓)形状对比如图 3 所示。从图 3 可见,压力函数法设计的轮胎模型在胎肩附近能更好地满足实际使用要求。

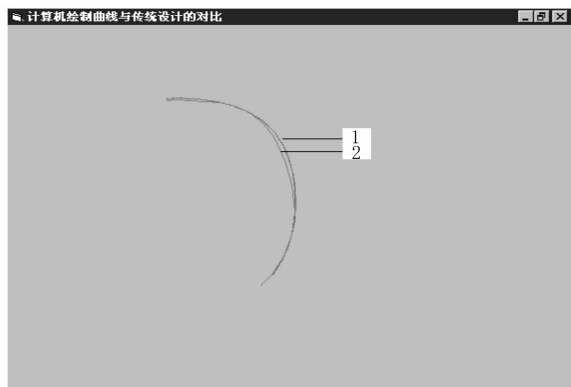


图 3 压力函数法与传统(经验)设计法设计的轮胎模型形状对比

1—压力函数法;2—传统(经验)设计法。

3 结语

采用压力函数法能够进行轮胎的模型设计,打破了传统设计法只凭经验设计的局限。该方法是建立在数学和力学计算基础上的轮胎模型设计法,也是一种非自然平衡轮廓的设计方法,为进一步进行压力函数法轮胎力学分析并实现轮胎结构的优化设计奠定了基础。

参考文献:

- [1] 辛振祥,赵树高,邓涛. Optimization of tire with RCAD 3.0 system[A]. International Rubber Conference 99. Seoul:1999.
- [2] 霍玉云. 橡胶制品设计与制造[M]. 北京:化学工业出版社,1984.
- [3] 俞淇,周锋,丁剑平. 充气轮胎性能与结构[M]. 广州:华南理工大学出版社,1998.
- [4] 彭迈,林惠音,俞淇. 轮胎结构设计[M]. 广州:华南理

工大学出版社,1992.

[5] 王江忠. 压力函数法轮胎结构设计及力学优化研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2003.

[6] 罗家洪. 矩阵分析理论[M]. 广州:华南理工大学出版社,1998.

[7] 王能超. 数值分析简明教程[M]. 北京:高等教育出版社,1999.

[8] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,1990.

[9] 颜庆津. 数值分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.

[10] 刘 锋,李丽娟. 轮胎结构力学研究方法[A]. 现代力学与科技进步[C]. 北京:清华大学出版社,1997.

[11] 普任特 P M. 样条函数与变分方法[M]. 上海:上海科技出版社,1980.

[12] 徐芝伦. 弹性力学[M]. 北京:人民教育出版社,1979.

[13] 杨挺青. 粘弹性力学[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.

[14] 张士齐. 轮胎力学与热学[M]. 北京:化学工业出版社,1988.

收稿日期:2004-01-10

Design of tire mold with pressure function method

WANG Jiang-zhong, XIN Zhen-xiang, WANG Chao, GUO Li-hua

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: The pressure function method for designing the tire mold, which is different from the traditional(experienced) method and the naturally balanced profile method, is introduced. It is established based on the mathematical and mechanical deduction and the profile of tire mold is controlled by changing the pressure function to determine the parameters of tire mold.

Keywords: pressure function method; tire; mold design; non-naturally balanced profile

神马集团聚酯工业丝项目获批

中图分类号:TQ330.38+9 文献标识码:D

据悉,由神马集团建设的年产6 000 t高模低缩聚酯工业丝项目可行性研究报告已通过河南省发改委审批。这标志着神马集团将进一步实现现有帘布产业结构的调整,大大增强在帘布市场的竞争能力。

高模低缩聚酯工业丝是国家“十五”重点发展的高新技术产品,神马集团高模低缩聚酯工业丝项目属国家第6批国债计划项目。该产品是生产半钢子午线轮胎的主要骨架材料聚酯帘布的原料,具有伸长变形小、尺寸稳定性好、模量、热收缩率及滞后损失率低、强度保持率高、生产成本低等特点,可更好地满足轿车子午线轮胎稳定性和舒适性的要求。目前,全球主要供应商有美国霍尼韦尔公司、荷兰阿克苏公司、日本帝人公司和韩国晓星公司等,国内生产该产品的企业为数不多。该项目总投资为18 681万元,建成投产后将每年新增销售收入1.46亿元。

(摘自《中国化工报》,2004-05-13)

燕化攻克 IIR 技术瓶颈

中图分类号:TQ333.6 文献标识码:D

日前,燕山石化公司 IIR 工艺技术攻关整体项目正式通过中石化公司组织的鉴定。目前,燕化 IIR 生产技术全方位提高,反应器的平均运转周期达80 h,达到国际先进水平。

长期以来,IIR的生产基本上被外国公司垄断。20世纪90年代初,燕化公司引进意大利未经工业放大的原始生产技术建立了年产3万t的IIR生产装置,该装置是国内唯一的一套IIR生产装置,但因受技术瓶颈制约,产品性能一直未能达到设计指标。针对装置存在的问题,燕化公司和北京化工大学对IIR装置进行联合攻关,终于开发出具有自主知识产权的IIR聚合新工艺,先后解决了产品门尼粘度波动大、易降解和变色以及不饱和度低等质量问题。

通过工艺技术攻关,2003年9月燕化IIR装置首次月产超过3 000 t,当年IIR产量达到2.7万余吨,产品的全项合格率达98%以上。

(摘自《中国化工报》,2004-05-14)