

充气轮胎的计算机辅助设计软件

刘大众

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

摘要 论述充气轮胎CAD软件原理及使用方法。该软件应用于载重轮胎、轻型载重轮胎、轿车轮胎、农业轮胎和工程轮胎等斜交系列轮胎,预计轮胎充气形状,分析应力应变。

关键词 充气轮胎,计算机辅助设计

随着计算机性能的迅速提高,计算机在轮胎行业中的应用日益广泛、深入。计算机辅助设计(CAD)是计算机应用的重要领域。国内已有数十家大中型轮胎企业应用CAD技术,设计开发新产品,提高市场竞争能力。

CAD技术是应用计算机辅助建立、修改、分析及优化设计项目,并高效优质地完成设计、计算和绘图任务。

CAD技术应用于轮胎结构设计,一方面可以代替人工完成常规的技术设计、施工设计和模具设计等计算及绘图工作;另一方面可实现传统方法无法完成的充气轮胎力学分析以及轮胎三维图设计等深层次的工作。

关于轮胎CAD技术研究,国内外已有大量文献报道。本文重点讨论斜交轮胎充气应力应变分析问题。

1 薄膜网络理论和CAD软件

多年来一直应用薄膜网络理论设计轮胎。尽管有限元分析应用于子午线轮胎已取得了大量成果,但成功地应用于斜交轮胎分析者却寥寥无几,这是由斜交轮胎的特殊性决定的。子午线轮胎的性能比斜交轮胎优越,但其胎体结构却比斜交轮胎简单得多(子午线轮胎的胎体帘线均为 0° 排列)。有限元分析时,子午线轮胎的胎体材料参数只由 0° 正交各向异性复合材料参数确定,而斜交轮胎的胎体角度从胎冠的约 50° 变化到胎圈的约 30° ,其间划分成数十个单元,每个单元的帘

线角度和材料参数均不同,而且尚无确定这种复合材料性能的准确试验和计算方法。因此,进行斜交轮胎有限元计算的精度难以控制。薄膜网络理论则根据帘线 0° 拉伸弹性模量进行分析,辅以正弦定理确定帘线角度和应力方向,不仅使问题简化,而且保证了计算精度。

目前国内外大多采用超椭圆积分方程计算轮胎充气平衡轮廓,它不包括压力和帘线模量等参数,只能计算自然平衡轮廓,这与轮胎实际形状有较大差别。轮胎产品日益多样化,自然平衡轮廓的设计方法已不能满足要求,而应采用非自然平衡轮廓设计轮胎。

进行轮胎设计时,轮胎的充气形状能否达到国家标准规定,轮胎强度能否满足需要,是设计成败的关键。传统方法是根据充气轮胎外直径/模型外直径(D'/D)和充气轮胎断面宽/模型断面宽(B'/B)估算其充气形状,缺乏定量分析。为使设计方法更为科学和准确,开发了用于分析充气轮胎的CAD软件,它可用于设计轮胎模型,预计轮胎充气形状,计算应力应变。

1.1 充气轮胎CAD软件

充气轮胎CAD软件,根据薄膜网络理论静力平衡微分方程组的数学模型,计算轮胎各种平衡内轮廓(包括自然平衡轮廓和非自然平衡轮廓)^[1]。输入规定的几何参数、材料参数、压力、边界条件等,通过迭代求解,得到平衡内轮廓和应力应变值。

充气轮胎 CAD 软件可在 386 或 486 等高性能微机上运行。使用 UC DOS 3.0 汉字操作系统;用 FORTRAN 和 Quick Basic 语言编制程序;图形可进入 Auto CAD 10.0 中文系统编辑修改。

充气轮胎 CAD 软件包括 TSAP 应力应变计算程序;TS 数据前处理程序和 TSAT 数据后处理程序。其轮胎新产品设计过程如下:

(1)按照常规方法设计轮胎模型内外轮廓。

(2)根据薄膜网络理论计算轮胎模型非自然平衡内轮廓。

①使用 TS 程序,将常规设计方案转换成力学计算所需的规定格式的数据文件,同时确定胎圈部位轮辋点位置。轮辋点以下按几何形状计算,轮辋点以上根据薄膜网络理论进行计算。

②使用 TSAP 程序,计算轮胎模型平衡内轮廓,进行应力应变分析。

③使用 TSAT 程序,绘制模型内轮廓和应力-应变分布图。

(3)从轮胎模型预计充气形状。

①使用 TS 程序,将模型数据转化为充气轮胎计算所需数据文件。确定计算所需边界条件。

②使用 TSAP 程序,计算充气轮胎形状及应力应变数据。

③使用 TSAT 程序,绘制充气轮胎平衡内轮廓和应力-应变分布图(参见图 1)。

(4)对上述结果进行分析,如不符合要求,则修改方案,重复(1)~(3)过程,直至设计方案满足要求。另外,也可在(1)就进行多方案设计;在(2)和(3)进行多方案的计算、对比和优选,从中确定所需方案。

1.2 预计轮胎充气形状的方法

根据轮胎模型预计充气形状,需要输入轮胎几何参数、材料参数、压力和边界条件,通过对静力平衡微分方程组迭代求解,得到

充气形状及应力应变。

(1)几何参数

在设计轮胎模型时确定的轮辋点、胎圈参数和基本施工参数等均可作为预计轮胎充气形状的几何参数。如果轮辋宽度与模型设计的胎圈间着合宽度 C 不同,则应把轮辋点和胎趾点的横坐标予以相应调整,使其与轮辋宽度相配合。由此,可以将同一种模型生产的轮胎,安装在不同宽度的轮辋上,计算对应的充气形状(参见图 2)。

(2)材料参数

轮胎充气负荷主要由胎体帘布层、缓冲层和钢丝圈的骨架材料承担。轮胎充气外形尺寸与胎体帘布层尼龙帘线的弹性模量直接相关。通过尼龙帘线拉伸试验,按照帘线应力-应变曲线可计算出弹性模量。尼龙帘线是非线性弹性材料,考虑到它的变形范围一般在 5% 以下,且此范围内的应力-应变曲线基本是线性的,故取此范围的模量作为计算所需的材料参数。

设计者习惯用单根帘线的断裂强力、张力和安全倍数评价轮胎,因此,尼龙帘线弹性模量也用 $N \cdot \text{根}^{-1}$ 来表示。根据试验和计算得到:1400dtex/2 (1260D/2) 尼龙帘线弹性模量约为 $(500 \pm 100) N \cdot \text{根}^{-1}$;1870dtex/2 (1680D/2) 尼龙帘线弹性模量约为 $(700 \pm 100) N \cdot \text{根}^{-1}$ 。同样规格、不同厂家生产的尼龙帘线,其弹性模量会有差别;完全相同的尼龙帘线,采用不同的工艺条件(如硫化机或硫化罐)制成的轮胎,帘线弹性模量也会有差别。帘线弹性模量直接影响轮胎的充气形状。如果输入的模量过大,则计算的轮胎充气尺寸偏小;反之亦然。与有限元计算所需的数百个材料参数相比,薄膜网络理论只需控制一个材料参数(即帘线弹性模量),相对而言易于掌握,也易于控制计算精度。

(3)压力

计算充气轮胎形状,输入压力为额定充气压力。薄膜网络理论把轮胎简化为无弯曲

刚度的薄膜,使用均布充气压力,由此计算的轮胎充气形状偏差较大,往往断面宽偏小,外直径偏大。轮胎的胎面和胎圈部位刚性大,不易变形,只有胎侧部位较柔软,与薄膜理论相似。在均布压力作用下,弯曲刚度不同的部位,产生的屈挠变形是不一样的。如果按实际情况,把轮胎作为具有弯曲刚度的复合材料壳体进行计算,则所需数百个材料参数不易测定,无法保证计算精度。为既能提高计算精度,又可保持薄膜理论的简便易行,用充气压力为函数表示充气压力对轮胎各部位施加的等效作用力 P 。

$$P = P_0 + P_1 \sin(0.5\pi S_i/S) + P_2 \sin(1.5\pi S_i/S) \quad (1)$$

式中 P_0 ——额定充气压力;

P_1, P_2 ——压力系数,约为 $(0.02 - 0.05)P_0$;

S_i ——轮辋点至计算节点弧长;

S ——轮辋点至胎冠弧长。

由公式(1)计算的充气压力的作用力在胎侧部位要比胎冠和胎圈部位高 5% 左右(参见图 1)。这表明由于弯曲刚度的影响,基于薄膜简化,轮胎的胎侧在充气压力作用下产生的屈挠变形大于胎冠和胎圈部位。这与实际相符。

对于不同规格的轮胎,压力系数 P_1, P_2 的取值略有不同。 P_1 增大,外直径增大,断面宽减小; P_2 增大,外直径减小,断面宽增大。通过计算可以调整确定其数值。

(4) 边界条件

从模型到充气,轮胎形状产生很大变化。除胎圈与轮辋着合部位不变之外,其余部位均有大的屈挠和位移变形(参见图 3—7)。在 TSAP 程序中,胎冠点作为充气变形的轴对称边界条件,轮辋点作为计算的固定边界条件,已经事先确定。需设计者确定的是模型与充气形状之间的连带关系。不管充气轮胎形状如何变化,其骨架材料(尼龙帘线)经充气均要产生伸张变形,而放气后无压力作用,尼

龙帘线逐渐收缩,恢复原来的长度。因此,模型帘线未伸张的长度是计算充气形状的唯一边界条件。至于充气后的 D' 和 B' 事先是不确定的,它是在确定边界条件后计算得出的。

轮胎模型帘线长度经硫化工艺会产生伸张或收缩变形。例如硫化机后充气,帘线往往伸张;硫化罐冷却,帘线往往收缩。从轮胎模型预计充气形状,准确地讲应该是从轮胎模型到成品,再从成品预计轮胎充气形状。传统设计方法,只能计算模型形状,无法计算成品形状。使用充气轮胎 CAD 软件,可以计算轮胎成品形状,得到成品帘线长度等数据。由此可以计算帘线伸张率 K :

$$K = L_c/L_m \quad (2)$$

式中 K ——从轮胎模型到成品的帘线伸张率;

L_c ——轮胎成品帘线长度;

L_m ——轮胎模型帘线长度。

硫化机生产的轮胎, $K \approx 1.00 - 1.04$;

硫化罐生产的轮胎, $K \approx 0.95 - 1.00$ 。

具体的 K 值要根据工艺条件而定。设计出轮胎模型后,根据公式(2)的 L_m 和 K 值,可计算轮胎成品帘线长度 L_c ,以此作为预计轮胎充气形状的边界条件。若无法确定 K 值,则可先取 $K = 1.00$,计算充气形状。

2 计算结果及讨论

2.1 计算结果

图 1 是 9.00—20 轮胎充气形状及应力应变分布曲线。在计算缓冲层受力时,轮胎的帘线密度、张力、剪切力等均在缓冲层端点有一个转折突变值。因此,在缓冲层端点和胎肩部附近轮胎较为薄弱。无缓冲层时,应力应变分布是均匀过渡的。

选用的 9.00—20 轮胎模型按 6.5 英寸着合宽度设计。分别安装在 6.00T, 6.5 和 7.0 三种轮辋上计算充气形状(见图 2)。其充气外直径 D' 基本相同;充气断面宽分别为 251, 256, 261mm。即轮辋宽度增大 1 英寸

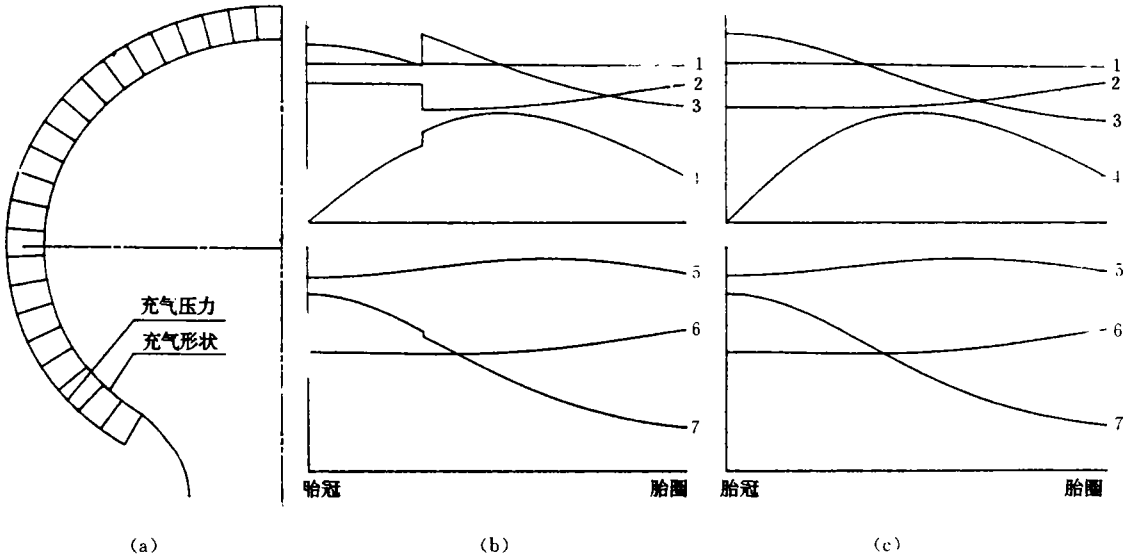


图 1 9.00—20 轮胎充气形状及应力分布

(a) 9.00—20 轮胎充气形状及压力分布, $D'=1018.9\text{mm}$, $B'=256.0\text{mm}$, $P_0=0.7\text{MPa}$, $P_1=0.03P_0$, $P_2=0.05P_0$, $H/B\approx 1.12$, 充气胎冠角 $\beta_k=50^\circ$; (b) 有缓冲层的应力应变; (c) 无缓冲层的应力应变; 1—帘线应变; 2—帘线密度; 3—帘线张力; 4—周向剪切力; 5—压力; 6—径向膜力; 7—周向膜力

时, 充气断面宽度约增大 0.4 英寸。计算结果与实际相符。当轮辋宽度增大时, 轮胎帘线张力和伸张变形也随之略有增大。

59°。轮胎在胎冠和胎侧部位模型压力较小, 因此, 充气轮胎在胎冠和胎侧部位屈挠变形较大, 胎肩部位略向内收缩(参见图 3)。

6.50—16 轻型载重轮胎, 充气压力 $P_0=0.32\text{MPa}$, 压力系数 $P_1=0.025P_0$, $P_2=0.05P_0$, 模型 $H/B\approx 1.00$, 充气胎冠角 $\beta_k=50^\circ$ 。轮胎在胎冠和胎侧部位压力较小, 因此充气轮胎在胎冠和胎侧部位屈挠变形较大(参见图 4)。

9.5—24 农业轮胎, 充气压力 $P_0=0.14\text{MPa}$, 压力系数 $P_1=0.03P_0$, $P_2=$

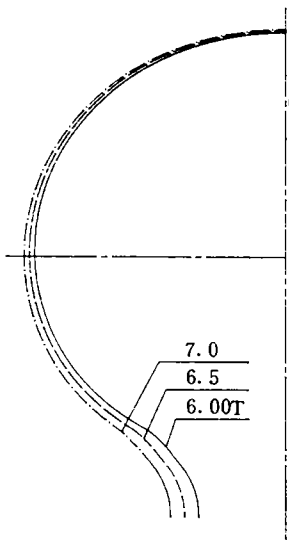


图 2 9.00—20 轮胎在不同宽度轮辋上的充气形状

6.95—14 轿车轮胎, 充气压力 $P_0=0.21\text{MPa}$, 压力系数 $P_1=0.04P_0$, $P_2=0.05P_0$, 模型 $H/B\approx 0.82$, 充气胎冠角 $\beta_k=$

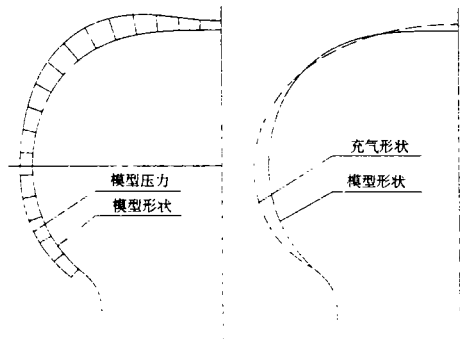


图 3 6.95—14 轿车轮胎模型及充气形状
 $D'=640.4\text{mm}$; $B'=182.9\text{mm}$

$0.04P_0$, 模型 $H/B \approx 0.90$, 充气胎冠角 $\beta_k = 55^\circ$ 。模型参照充气平衡轮廓设计, 压力分布比较均匀, 因此, 充气形状变化也比较均匀 (参见图 5)。

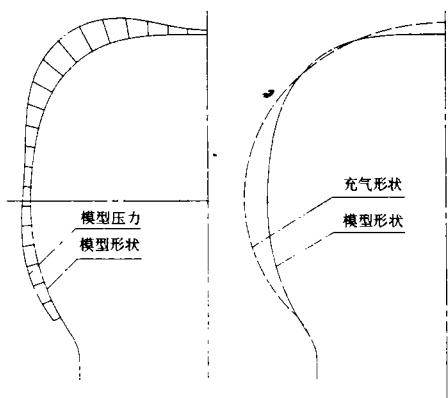


图 4 6.50-16 轻型载重轮胎模型及充气形状

$D' = 747.3\text{mm}$, $B' = 183.4\text{mm}$

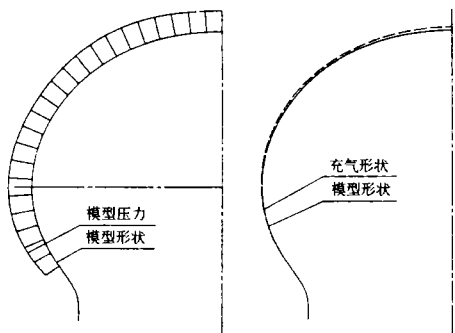


图 5 9.5-24 农业轮胎模型及充气形状

$D' = 1049.3\text{mm}$, $B' = 239.7\text{mm}$

11.00-20 载重轮胎, 充气压力 $P_0 = 0.7\text{MPa}$, 压力系数 $P_1 = 0.03P_0$, $P_2 = 0.05P_0$ 。模型 $H/B \approx 1.10$, 充气胎冠角 $\beta_k = 49^\circ$ 。轮胎在胎侧部位模型压力较小, 因此, 充气轮胎在胎侧部位屈挠变形较大, 胎肩部位的位移很小 (参见图 6)。

36.00-51 工程轮胎, 充气压力 $P_0 = 0.46\text{MPa}$, 压力系数 $P_1 = 0.02P_0$, $P_2 = 0.05P_0$, 模型 $H/B \approx 1.07$, 充气胎冠角 $\beta_k = 51^\circ$ 。轮胎在胎侧部位模型压力较小。受模型形状、胎冠角度等多种因素影响, 充气轮胎断面宽增加较多, 外直径略有减小 (参见图 7)。

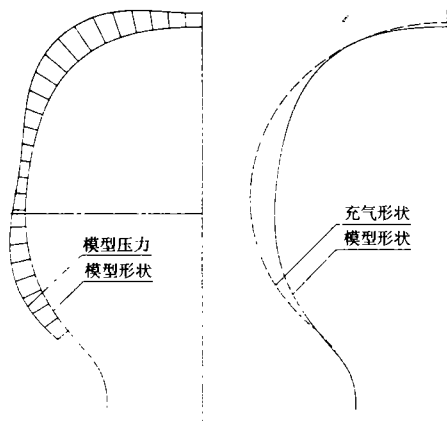


图 6 11.00-20 载重轮胎模型及充气形状

$D' = 1087.9\text{mm}$, $B' = 292.3\text{mm}$

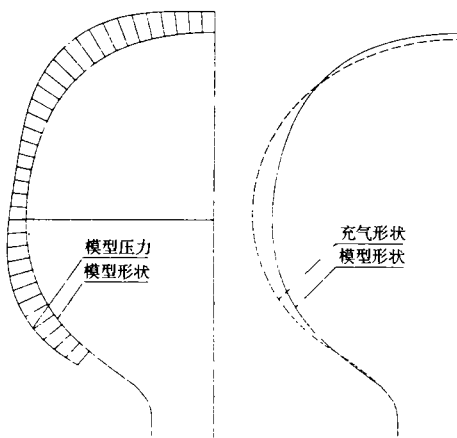


图 7 36.00-51 工程轮胎模型及充气形状

$D' = 3243.6\text{mm}$, $B' = 997.0\text{mm}$

2.2 讨论

(1) 计算的轮胎实例, 六种模型 H/B 从 0.82 直到 1.12, 充气胎冠角度从 49° 直到 59° , 包括了载重轮胎、轻载轮胎、轿车轮胎和工程轮胎等多种用途轮胎。采用的充气压力函数和 K 值 (取 $K \approx 1.00$) 均相似, 得到的充气形状与实际形状基本一致。因此, 充气轮胎 CAD 软件对预计斜交系列轮胎的充气形状有较强的通用性。该软件已在国内近 20 家中大型轮胎厂应用, 并已向马来西亚等东南亚国家出口。

(2) 根据轮胎厂的具体情况, 从材料试验

和轮胎缓冲性能试验等方面积累数据,通过实例计算积累经验,有助于减少设计失误,可以提高轮胎设计水平。

参考文献

- 1 刘大众等. 轮胎平衡轮廓设计方法的研究. 橡胶工业, 1986;33(12):1
1994 年全国轮胎技术研讨会论文(二等奖)

CAD Software in Tire Design

Liu Dazhong

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry 100039)

Abstract The principle and application of CAD software in tire design are described. The software can be used in the design of truck bias tire, light truck bias tire, car bias tire, agricultural bias tire and off-the-road bias tire to predict the inflated shape of the tire and analyse its stress-strain.

Keywords tire, CAD software

1995 年《轮胎工业》征订通知

《轮胎工业》是化工部橡胶工业信息总站轮胎分站出版发行的国内唯一的轮胎工业综合性专业刊物。本刊创刊于 1981 年,现经国家科委批准,公开发行。

《轮胎工业》的办刊方针:坚持“以技术为主,经济为辅;国内外并举;强调针对性、适用性和及时性;注意普及与提高相结合”。设有结构设计、原材料配方、工艺设备、专论综述、市场信息、技术讲座、问题讨论、使用与保养、轮胎翻新、英语学习、会议报道、国内消息、国外动态、相关行业、统计资料及国内外简讯、题录精选等十几个栏目。

《轮胎工业》是轮胎行业广大技术人员、干部和工人以及大专院校师生必不可少的综合性专业读物,也是翻胎行业、轮胎原材料和橡胶机行业、公交、汽车和拖拉机等相关行业的良师益友。

本刊为月刊(每期约 10 万字),每份全年收费 120 元。欲订阅者,请来函索取订单。但轮胎分站成员单位未交纳活动经费者不予订阅。现在交纳活动经费的通知已发给各成员单位,如有未收到者,请速向《轮胎工业》编辑部索取。

地 址 北京西郊半壁店化工部北京橡胶工业研究设计院

邮 编 100039

联系人 张 川

轮胎分站

《轮胎工业》编辑部