

子午线轮胎应力和负荷计算式的推导及验证

周希俊

(鞍山轮胎厂, 辽宁 鞍山 114323)

摘要:在合理的假定条件下,推导出子午线轮胎带束层、胎体和胎圈的应力计算式以及轮胎负荷计算式(主要参数为轮胎内压、胎里半径、带束层有效宽度和胎体曲率半径),并根据计算式讨论轮胎性能的改进途径。验证结果表明,计算式合理、计算简便,计算值与实测值基本吻合。

关键词:子午线轮胎;带束层;胎体;胎圈;应力;负荷

中图分类号:TQ336.1;U463.341 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8171(2005)08-0463-04

子午线轮胎,特别是全钢子午线轮胎的应力方向非常明确,且不随胎体变形而改变,因此子午线轮胎的受力状况易确定。但目前还没有一套系统的子午线轮胎应力计算体系,子午线轮胎各部位应力以及负荷计算大多采用斜交轮胎的计算式或经验式。

本工作根据子午线轮胎的特性,设立合理的假定条件,推导子午线轮胎带束层、胎体、胎圈应力计算式和轮胎负荷计算式并进行验证。

1 应力计算式推导

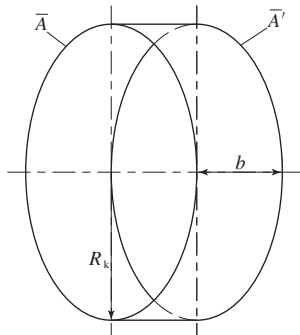
1.1 假定条件

在内压作用下,子午线轮胎内部产生 3 个方向明确的应力,即带束层产生周向应力,胎体产生径向应力^[1],胎体应力传递给胎圈产生周向拉应力。

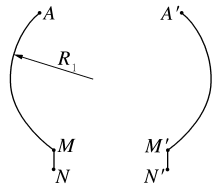
由于钢丝帘线的弹性模量远高于橡胶弹性模量,故轮胎中橡胶的变形应力可以忽略不计,橡胶仅起到传递内压和固定骨架的作用。

假定轮胎骨架为无质量(排除重力的影响)、高密度的受力体,带束层、胎体和胎圈三部分则组成一个完整的封闭体系,在这个体系中,带束层帘线与轮胎旋转轴平行。

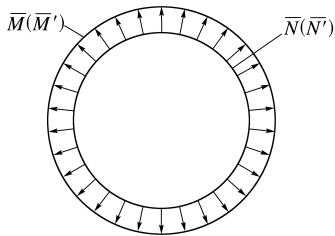
将假定条件下的封闭体系分解,形成带束层、胎体和胎圈 3 个独立的受力体系,这 3 个体系的形态如图 1 所示。图中, A 和 A' 为带束点,即带



(a)带束层形态



(b)胎体断面形态



(c)钢丝圈受力形态

图 1 子午线轮胎受力体系示意

束层与胎体的分离点; $\bar{A}$ 和 $\bar{A}'$ 分别是点 A 和 A' 的集合; b 是 $\bar{A}$ 和 $\bar{A}'$ 的间距(带束层有效宽度或接地印痕面积短轴长度); R_k 是集合 $\bar{A}$ 的圆半径(胎里半径); M 和 M' 为轮辋点,即刚性胎圈与柔

性胎体的交汇点; $\bar{M}$ 和 $\bar{M}'$ 是 M 和 M' 点的集合; N 和 N' 为胎圈(钢丝圈)受力中心点; $\bar{N}$ 和 $\bar{N}'$ 是 N 和 N' 点的集合; R_1 是胎体曲率半径,从 A (A')点到 M (M')点逐渐增大。

1.2 应力计算式

1.2.1 带束层

$\bar{A}$ 和 $\bar{A}'$ 组成的圆柱形封闭体系[如图1(a)所示]的应力计算式为:

$$\sigma_1 = p_0 b R_k \quad (1)$$

式中 σ_1 ——带束层周向总应力,kN;

p_0 ——轮胎内压,kPa。

式(1)是假定带束层帘线与旋转轴平行且 R_k 不变推导出的。但 R_k 通常为变量,在此条件下, σ_1 可用积分法或 R_k 取平均值求出。

要说明的是,轮胎断面高度(H)与断面宽度(B)的比值约为1时, b 约为带束层平均宽度的1/2; H/B 值越小, b 与带束层平均宽度的比值越大。

1.2.2 胎体

胎体总应力(σ_2)为:

$$\sigma_2 = 2\pi p_0 R_1' R_k \quad (2)$$

式中, R_1' 为 R_1 的最小值,这是因为充气后轮胎轮廓遵循总能量最低原理。

σ_2 减小,胎圈反包端点周向开裂的几率减小,轮胎的侧向稳定性增强。从式(2)可以看出,减小 σ_2 最有效的方法是减小 R_k ,即减小 H/B 值或/和适当增大胎体帘线长度。 H/B 值减小还可使胎肩帘线与胎圈帘线的密度差减小,从而减少胎肩部位径向裂口的可能性。 H/B 值减小的负面影响是轮胎的缓冲性能下降、胎体帘线反包高度受限,因此 H/B 值选取应从轮胎的实用性和工艺可行性等方面考虑。

1.2.3 胎圈

从图1(b)和(c)可以看出,胎圈周向应力(σ_3)产生于 σ_2 ,其关系式为:

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_2}{2\pi} \quad (3)$$

将式(2)代入式(3)得:

$$\sigma_3 = p_0 R_1' R_k \quad (4)$$

式(4)的推导未考虑钢丝圈与轮辋间由橡胶弹性变形所产生的胎圈过盈力,也未考虑胎体帘

线扭转力矩对 σ_3 的影响。

准确计算 σ_3 、合理设定安全倍数、减小钢丝圈断面宽度或直径,可以减小胎体帘线沿钢丝圈外缘的扭转力矩,这也是防止全钢子午线轮胎胎圈部位反包端点开裂的有效方法。

与传统应力计算式所用的参数不同,上述应力计算式采用的主要参数是胎里尺寸 R_k 和 R_1' 。

2 负荷计算式推导

2.1 经验式

由于轮胎结构的复杂性和使用条件的多变性,一直不能以给定条件下的强度计算为基础,按照安全、经济和舒适的要求确定轮胎的材料和几何尺寸,因此在轮胎设计和选用时,其负荷大多依靠经验式计算。

(1)通用 Hell 公式^[1]

$$Q = 2.265 Z K p_0^{0.585} (B_M + d) B_M^{1.39} \quad (5)$$

式中 Q ——轮胎负荷,kN;

Z ——轮胎行驶条件因数;

K ——轮胎类型因数;

B_M ——装配轮辋后的充气轮胎断面宽度,m;

d ——轮辋直径,m。

(2)TRA 公式^[1]

$$Q = 0.098 K p_0^{0.585} (B_M + d) B_M^{1.38} \quad (6)$$

(3)郑正仁等^[2]提出的公式

$$Q = 0.033 2 p_0^{0.63} B_M^{1.07} D^{1.38} \quad (7)$$

式中 D ——轮胎外直径,m。

式(5)~(7)是常用的 Q 值计算式。此外, Q 值还可用能量平衡关系推导的经验式、相似理论推导的近似式计算。

目前 Q 值计算式的因数随轮胎行驶条件的变化而变化,计算式的逻辑性不强,计算较复杂。

2.2 推导计算式

负荷状态下轮胎侧面形态和接地印痕如图2所示。图中, a 为接地印痕面积长轴长度, f 为下沉量, α 为 a 对应的圆心角。从图2可以看出, Q 取决于 p_0 、接地印痕面积(S_d)和胎侧支撑力(F_Z),即:

$$Q = p_0 S_d + F_Z \quad (8)$$

由于子午线轮胎的 F_Z 与 Q 相比极小,故式

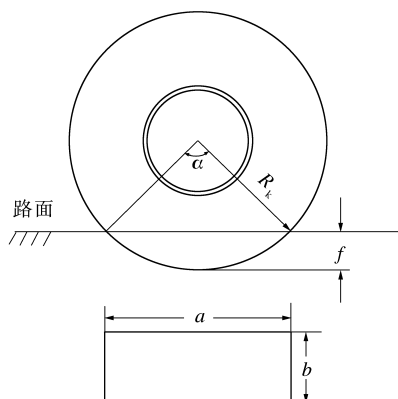


图 2 负荷状态下轮胎侧面结构和接地印痕示意
(8) 的 F_z 可以忽略不计, 即:

$$Q = p_0 S_d = p_0 ab \quad (9)$$

由于轮胎通过改变腔体形状来增大接地面积, 从而形成与负荷平衡的压力, 因此式(9)在实际使用中存在两大难点: 一是接地印痕上的压力是非均匀的, 这是由胎面花纹形状、胎冠曲率和胎体材料支撑刚度不断变化导致的; 二是 p_0 值是变化的, 负荷增大或冲击增强、温度升高均会导致其增大。

在轮胎运行(负荷状态下)平稳(温度平衡), 即 p_0 恒定的条件下, 假设胎体材料的支撑刚度为零、胎冠的曲率半径无穷大, 先由 f 和 R_k 求出 a , 即:

$$a = 2 \sqrt{2R_k f - f^2} \quad (10)$$

将式(10)代入式(9)得:

$$Q = 2p_0 b \sqrt{2R_k f - f^2} \quad (11)$$

a 还可由 R_k 和 α 求出, 即:

$$a = 2R_k \sin \frac{\alpha}{2} \quad (12)$$

将式(12)代入式(9)得:

$$Q = 2p_0 b R_k \sin \frac{\alpha}{2} \quad (13)$$

从式(11)和(12)可以看出, Q 值与胎面胶厚度、花纹形式和行驶速度无关, 原因是设立假设条件时未考虑橡胶的应力作用。

一般认为子午线轮胎的带束层负担总负荷的 70%~95%, 从式(13)可以推导出当 α 等于 60° 时, $Q = \sigma_1$; 当 $\alpha < 60^\circ$ 时, $Q < \sigma_1$ 。这说明, 轮胎负荷能力是轮胎各部件(带束层、胎体和胎圈)应力平衡的总体表现, 因此某部件承担总负荷

百分之几的说法不严谨。

3 计算式验证

由于没有条件通过实际测算来验证所推导出的应力和负荷计算式, 为此采用文献[1]的数据进行验证[式(3)为例]。

3.1 文献公式和数据

(1) Н К Смопьяниоз 公式

$$\sigma_3 = \frac{p_0 (2S + D_b l)}{4} \quad (14)$$

式中 S ——轮胎断面面积, m^2 ;

D_b ——胎圈着合直径, m ;

l ——胎圈间距, m 。

(2) В П Биперман 公式

$$\sigma_3 = \frac{p_0 (R^2 - l_0^2) \sin \beta}{2 \sin \gamma} \quad (15)$$

式中 R ——胎冠半径, m ;

l_0 ——轮胎旋转轴到断面最宽处的距离, m ;

β ——胎冠帘线角度, ($^\circ$);

γ ——轮辋点处的帘线角度, ($^\circ$)。

由于子午线轮胎的 β 和 γ 为 90° , 则

$$\sigma_3 = \frac{p_0 (R^2 - l_0^2)}{2} \quad (16)$$

文献[1]的 σ_3 计算值和实测值见表 1。

表 1 文献的 σ_3 计算值和实测值 kN

p_0 / kPa	σ_3 计算值		σ_3 实测值
	式(14)	式(16)	
150	1.98	1.88	1.18
290	3.96	3.80	2.06
490	6.62	6.37	3.58
690	9.27	8.97	5.97
980	13.24	12.80	7.75

3.2 验证

将表 1 的 p_0 值代入式(14)并整理得:

$$\frac{S}{2} + \frac{D_b l}{4} = 1.35 \times 10^{-2} \quad (17)$$

代入式(15)并整理得:

$$\frac{(R^2 - l_0^2)}{2} = 1.3 \times 10^{-2} \quad (18)$$

根据式(17)和(18), 采用数学逼近法求出轮胎的结构参数为: $S = 1.18 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, $D_b = 0.330 \text{ m}$, $l = 0.092 \text{ m}$, $R = 0.273 \text{ m}$, $l_0 = 0.22 \text{ m}$ 。

根据轮胎结构参数绘出轮胎断面图,如图3所示。从图3测出: $R_k=0.255\text{ m}$, $R_l'=0.031\text{ m}$ 。

根据式(4)及图3测出的 R_k 和 R_l' 值计算出的 σ_3 值见表2, σ_3 计算值与实测值对比如图4所示。从表1和2及图4可以看出,由式(3)计算出的 σ_3 值与实测值基本吻合; p_0 为980 kPa时,由式(14)计算出的 σ_3 值比实测值大71%,由式

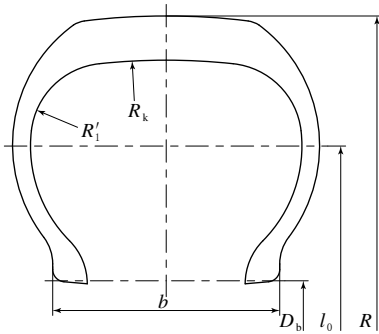


图3 轮胎断面示意

表2 推导式计算的 σ_3 值

p_0/kPa	式(3)的 σ_3 计算值/kN
150	1.18
290	2.29
490	3.87
690	5.45
980	7.75

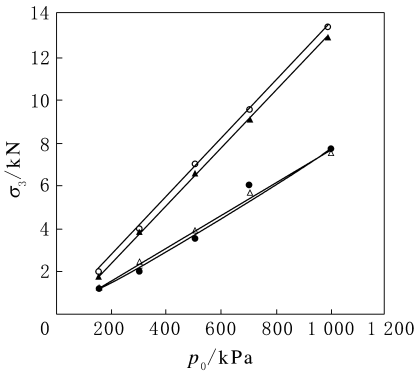


图4 σ_3 计算值与实测值对比

●—实测值;△—式(3)计算值;○—式(14)计算值;
▲—式(16)计算值。

(16)计算出的 σ_3 值比实测值大65%。

4 结语

本工作推导的子午线轮胎带束层、胎体和胎圈应力计算式及轮胎负荷计算式合理、计算简便,计算值与实测值基本吻合,有一定的借鉴性。

参考文献:

[1] 张士齐. 轮胎力学与热学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988.
[2] 郑正仁, 王洪士, 毛寿昌. 子午线轮胎技术与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1994. 65-66.

收稿日期: 2005-03-01

风神公司入选第二批股权分置
改革试点单位

中图分类号: TQ336.1 文献标识码: D

2005年5月20日,在中国证监会第二批推出的股权分置改革试点单位中,风神轮胎股份有限公司名列其中。至此,风神公司成为全国轮胎行业唯一一家入选股权分置改革试点单位的上市公司。

中国证监会第二次推出的试点单位有42家,是在2005年5月9日第一次推出4家上市公司股权分置改革的基础上推出的,进一步扩大了试点公司的覆盖面,增强了试点公司的多样性、代表性和适用性。风神公司的入选为后续发展带来了新的历史机遇,将使非流通股股东和流通股股东之间的利益趋于一致;有利于公司法人治理结构的规范运作,有利于非流通股股权在市场化动态估值中实现保值增值,有利于公司实现市场化

的制度创新和股权并购。

(风神轮胎股份有限公司 谢智保
代性军供稿)

固特异欧洲公司提高轮胎价格

中图分类号: TQ336.1 文献标识码: D

英国《轮胎与配件》2005年4期86页报道:

固特异欧洲公司宣布,为了应对原材料价格不断上涨,它将采取提高轮胎价格和削减生产成本的措施。去年固特异在欧洲市场的销售额为43亿美元,它决心继续扩大在欧洲的销售额,它认为其轮胎在欧洲的销售仍有很大增长空间。

在美国市场上,有许多廉价品牌轮胎与名牌轮胎竞争,而欧洲的情况则与之大不相同,欧洲人对名牌轮胎情有独钟。此外,美国的消费者比较偏爱全天候轮胎,而欧洲的季节性轮胎非常火爆。

(涂学忠摘译)