

子午线轮胎内压应力的几点探讨

赵剑铭

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司 轮胎研究所, 上海 200245]

摘要:在基于虚功原理推导出子午线轮胎带束周向内压应力近似解析公式的基础上,进一步探讨满足内压应力需要的等效宽度、无带束轮胎的几何特征和带束几何约束宽度等问题。根据半下沉概念,推导出确定子午线轮胎带束宽度的理论计算公式。

关键词:子午线轮胎;内压应力;钢丝带束;无带束轮胎;带束宽度

中图分类号:TQ336.1+1;U463.341+.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8171(2006)10-0602-04

文献[1]中得到的子午线轮胎带束周向内压应力近似解析公式是基于虚功原理推导的,虽然复杂,但可以采用电脑编程计算。本文在此基础上进一步探讨带束几何约束宽度和无带束轮胎的几何特征等问题。

1 力学分析

取轮胎的1/4圆周进行力学分析,如图1所示, x 方向的力平衡方程为

$$\int_S p_i d\sigma = pS_0 \quad (1)$$

式中, S_0 为图2中阴影部分的面积之半,其余参数参见文献[1](下文同)。

根据力平衡关系可以得到

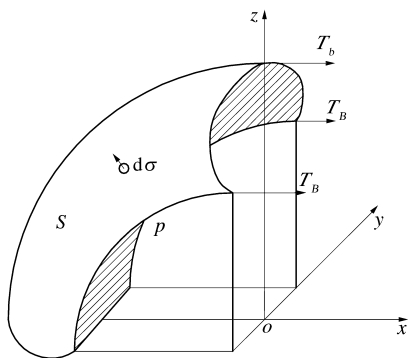


图1 周向力平衡示意

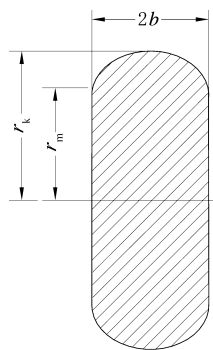


图2 S_0 物理意义示意

$$2T_B + T_b = pS_0 \quad (2)$$

分析采用椭圆假设,即有

$$S_0 = 2r_m b + \frac{\pi}{2} ab$$

在文献[1]中已经推导出内压分担率和钢丝圈周向应力的方程:

$$g = \frac{T_b}{2b_D r_k p} \quad (3)$$

$$T_B = \frac{p}{2} [R_D^2 - r_m^2 + (1-g)(r_k^2 - R_D^2)] \quad (4)$$

将式(2),(3)和(4)联立解得

$$T_b = \frac{S_0 - r_k^2 + r_m^2}{1 - \frac{r_k^2 - R_D^2}{2b_D r_k}} p \quad (5)$$

$$T_B = \frac{S_0 p - T_b}{2} \quad (6)$$

另外,根据文献[1]中关于胎体帘线和钢丝圈受力分析可以得到

$$NT_C = 2\pi T_B \quad (7)$$

在式(5),(6)和(7)中,只有 R_D 和 b_D 是未知数,如果能够获得其简便或近似计算方法,则可以由这组方程求解钢丝带束、胎体和钢丝圈的内压应力。

2 近似公式

研究发现,如果令

$$R_D = r_k - a + \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \tag{8}$$

$$b_D = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \tag{9}$$

则计算出的数据与文献[1]中根据虚功原理计算得到的数据能很好地吻合。 b_D 的物理意义如图 3 所示,简易公式精度验证如表 1 所示。

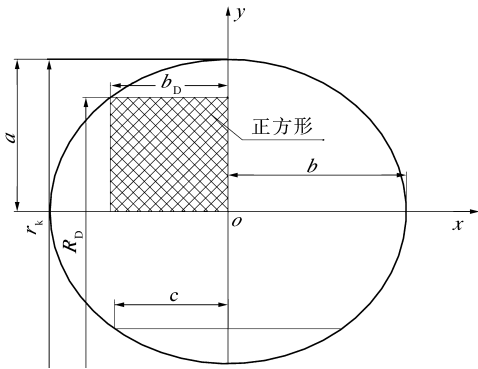


图 3 b_D 物理意义示意

表 1 简易公式 T_b 计算精度验证

项 目	近似系列				
	85	80	70	60	50
r_k	47.80	46.80	44.80	42.80	40.80
r_c	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10
b	11.85	11.85	11.85	11.85	11.85
c	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90
p	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
a	10.06	9.46	8.25	7.05	5.84
S_0	1 081.70	1 061.06	1 019.79	978.52	937.24
R_D	45.41	44.73	43.32	41.81	40.20
b_D	7.67	7.39	6.77	6.06	5.24
理论计算	312.54	355.70	434.25	501.19	555.40
简易公式	307.8	354.6	433.5	497.6	550.1
误差/%	1.53	0.32	0.16	0.72	0.82

从表 1 可见,简易公式与理论计算的数据误差在 1% 左右,具有相当的可信度。应该说 b_D 具有一定的物理意义,可以理解为 b_D 是满足内压应力需要的一种等效宽度,目前尚未出现有关内容的研究报道。

3 无带束轮胎的几何特征

对于理想无带束轮胎,观察式(5)可知, $T_b = 0$,则得到

$$S_0 - r_k^2 + r_m^2 = 0$$

即

$$S_0 = r_k^2 - r_m^2 \tag{10}$$

式(10)是子午线无带束轮胎的基本几何特征式。

以薄膜理论为基础得到的斜交轮胎充气平衡轮廓的积分表达式为

$$Z = \int_r^{r_k} \frac{(r^2 - r_m^2) \sqrt{r_k^2 - r^2} \cos \alpha_k dr}{\sqrt{(r_k^2 - r_m^2)^2 r_k^2 \sin^2 \alpha_k - (r^2 - r_m^2)^2 (r_k^2 - r^2 \cos^2 \alpha_k)}} \tag{11}$$

式中, α_k 为胎冠帘线角度。

式(11)并不适用于有带束的子午线轮胎,但对无带束子午线轮胎却可以使用。令 $\alpha_k = \frac{\pi}{2}$,则得到

$$Z = \int_r^{r_k} \frac{r^2 - r_m^2}{\sqrt{(r_k^2 - r_m^2)^2 - (r^2 - r_m^2)^2}} dr \tag{12}$$

式(12)即为无带束子午线轮胎的积分表达式,该式是椭圆积分的一种变形。

下面从数学上证明式(10)。由图 4 可见

$$S_0 = \int_{-b}^b r dz = 2 \int_0^b r dz$$

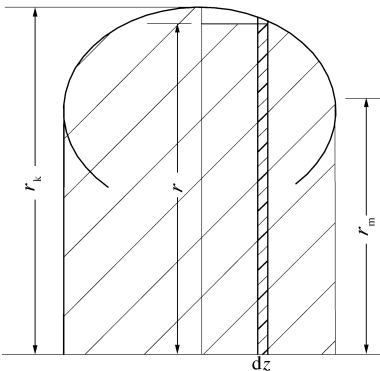


图 4 子午线轮胎的构型

根据式(12)推得

$$S_0 = 2 \int_{r_m}^{r_k} r \frac{r^2 - r_m^2}{\sqrt{(r_k^2 - r_m^2)^2 - (r^2 - r_m^2)^2}} dr = \int_{r_m}^{r_k} \frac{r^2 - r_m^2}{\sqrt{(r_k^2 - r_m^2)^2 - (r^2 - r_m^2)^2}} dr^2 =$$

$$\frac{1}{2} \int_{r_m}^{r_k} \frac{1}{\sqrt{(r_k^2 - r_m^2)^2 - (r^2 - r_m^2)^2}} d(r^2 - r_m^2)^2 =$$
$$\sqrt{(r_k^2 - r_m^2)^2 - (r^2 - r_m^2)^2} \Big|_{r_m}^{r_k} =$$
$$r_k^2 - r_m^2$$

这就证明了式(10)是严格成立的。

4 带束宽度

对于带束宽度,20 世纪 70 年代,苏联学者根据大量试验数据得到了如下的半经验理论公式:

$$b_k = \sqrt{(2\rho - f)f} \tag{13}$$

式中,ρ 为无带束轮胎的胎冠曲率半径,f 为无带束轮胎与有带束轮胎的外半径之差,见图 5。

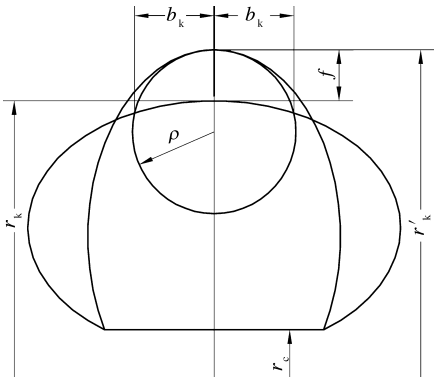


图 5 支撑宽度(b_k)的确定

这里 b_k 的实际意义是满足胎冠部位不产生翘曲的带束最小宽度,称为带束几何约束宽度。

根据文献[1]中的假设,仍采用椭圆来计算冠部的曲率半径。

$$\rho = \left| \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{y''} \right| \tag{14}$$

设无带束轮胎的椭圆长轴和短轴分别为 2b' 和 2a',则椭圆方程为

$$\frac{x^2}{b'^2} + \frac{y^2}{a'^2} = 1 \tag{15}$$

推导得

$$y = \frac{a'}{b'} \sqrt{b'^2 - x^2} \tag{16}$$

对式(16)进行一阶和二阶求导得

$$y' = - \frac{a'x}{b' \sqrt{b'^2 - x^2}} \tag{17}$$

$$y'' = - \frac{a'b'}{(b'^2 - x^2)^{3/2}} \tag{18}$$

胎冠中心 $x=0$,则有 $y'(0)=0,y''(0)=\frac{a'}{b'^2}$ 。

将其代入式(14)解得

$$\rho_{x=0} = \frac{b'^2}{a'} \tag{19}$$

a',b' 和 f 的计算可以参考文献[2],然后通过式(13)求解 b_k。

虽然 b_k 的计算比较复杂,但研究发现,随断面高宽比的减小,b_D 趋于减小,而 b_k 趋于增大,二者在 65~70 系列时发生交叉,如表 2 所示。

表 2 b_D 与 b_k 的比较

	数 据						
a	10.588	9.456	8.854	8.252	7.649	7.047	6.445
b	11.850	11.850	11.850	11.850	11.850	11.850	11.850
a/b	0.89	0.80	0.75	0.70	0.65	0.59	0.54
a'	11.493	11.289	11.091	10.900	10.716	10.541	10.376
b'	10.691	10.506	10.325	10.150	9.983	9.822	9.670
f	1.671	2.044	2.418	2.796	3.178	3.566	3.963
ρ	9.945	9.777	9.612	9.452	9.300	9.152	9.012
b_D	7.895	7.391	7.093	6.772	6.426	6.057	5.662
b_k	5.518	5.983	6.375	6.711	7.001	7.250	7.465

表 2 中 a/b 的值与断面高宽比相近。为了计算方便,取某规格的数据,通过调整外直径来调整高宽比。

由表 2 可以看到,随断面高宽比的减小(断面宽锁定),轮胎内腔容积减小,带束内压应力也减小,因此 b_D 不断减小,而内腔扁平度越大,所需要的 b_k 也越大。

在实际使用过程中,带束宽度的取值是以轮胎规格、速度和层级等指标作为参考,是一个动负荷问题,这里不作详细讨论。对于有负荷的情况,可将力边界条件转换为位移边界条件,即通过下沉量确定负荷,下沉量与负荷的关系可以通过试验确定。对实际设计而言,可根据轮胎的使用工况确定一个经验性的半下沉值,这里的“半”只是一种概念,一种能量周期性变化的平衡位置,并不一定是长度度量上的 1/2,可以选取最大下沉量的一半,也可以是 40%。假定半下沉值为 Δm,则有

$$b_k = \sqrt{[2\rho - (f + \Delta m)](f + \Delta m)} \tag{20}$$

用 b_k(Δm) 值来确定带束宽度是相对合理的,

对式(19)进行处理,令 $x = f + \Delta m$, 则 $dx = d\Delta m$,

对 x 求得

$$\frac{db_k}{dx} = \frac{\rho - x}{\sqrt{2\rho x - x^2}} \quad (21)$$

根据轮胎的实际情况, $\rho - x > 0$, 故

$$\frac{db_k}{dx} > 0$$

$$\frac{db_k}{d\Delta m} > 0$$

根据推导可知, Δm 越大, 则 b_k 越大, 说明加宽带束是提高轮胎负载能力的一种方法。

当然带束宽度不可能无限增大, 如果使带束端点超出了胎侧屈挠点, 则会由于带束端部周期性疲劳而很快产生早期损坏。

5 结语

本文提出了精度较高的近似公式[式(8)和(9)]并推导出无带束子午线轮胎的几何特征式[式(10)], 还研究了子午线轮胎带束宽度确定问题, 并提出了计算公式[式(19)]。

另外, 还提出了半下沉的概念, 如何确定半下沉值应该是今后的一个研究方向。

参考文献:

- [1] 隆有明, 赵剑铭. 子午线轮胎内压应力计算方法修正[J]. 轮胎工业, 2006, 26(6): 339-344.
- [2] 隆有明, 李 伟. 子午线轮胎箍紧系数的计算[A]. 第二届日中技术交流会论文集[C]. 北京: 中国化工学会橡胶专业委员会, 日本橡胶工业协会, 2006. 15-22.

收稿日期: 2006-05-09

益阳橡机研制成功国内最大 帘布筒贴合机

中图分类号: TQ330.4+6 文献标识码: D

日前, 益阳橡胶塑料机械集团有限公司研制成功国内首台最大、最宽(3.6 m)的帘布筒贴合机, 并已经向客户发货。该帘布筒贴合机工艺性能良好, 为国内巨型工程机械轮胎的生产创造了条件。

该帘布筒贴合机由以前滚筒式上下压合形式改为皮带包压形式, 使用两条环形帆布皮带, 即主电机通过传动系统带动成型皮带装置和抱紧皮带装置产生相对运动, 帘布紧贴在成型皮带上随之运动并缠绕成筒, 抱紧皮带给予一定的压力, 然后一层一层地贴合; 运用自动调偏系统保证皮带运行的对中性, 具有贴合面不易产生气泡, 贴合紧密、均匀, 操作方便的特点, 消除了滚筒式压合操作复杂、效率低、贴合质量差的弊端。

(益阳橡胶塑料机械集团有限公司
陈建绥供稿)

国内简讯 4 则

△为解决人工搬运胎坯劳动强度大、胎坯易沾染杂物、产品质量留有隐患等问题, 双星集团设计出一次法成型机自动卸胎器, 使每个操作工每班可少搬动胎坯 80 余次, 降低了劳动强度, 提高了生产效率, 保证了产品质量。目前该创新项目

已经在轮胎公司和橡胶机械公司推广应用, 并准备申报专利。

(双星集团 张艾丽供稿)

△2006 年 8 月初, 日本 NHV 公司与北京橡胶工业研究设计院就电子束预硫化装置在北京进行技术交流。电子束预硫化装置目前主要用于轮胎内衬层和胎体挂胶帘布的预硫化, 通过电子束辐照可使胶片或胶帘布表面厚度 1 mm 左右的部分形成一定程度的预硫化, 从而提高半成品部件的表面强度及成型和硫化过程中的尺寸稳定性, 同时可以减小胶料用量, 提高轮胎质量。

(北京橡胶工业研究设计院
樊文茹供稿)

△设在阳谷华泰化工有限公司的山东省橡胶助剂工程技术研究中心开发的橡胶硫化促进剂 TBSI 产品最近中试成功, 并已具备产业化条件。经国家权威部门检测, 促进剂 TBSI 产品的各项指标均达到国外同类产品标准, 初熔点为 129.5℃, 且熔程较短。

(摘自《中国化工报》)

△2006 年 8 月 13 日, 由河南省新乡市辉县市政府、双星集团及河南东信公司三方共同投资 5 亿元建设的年产 10 万 t 炭黑项目签字仪式在辉县市举行。该项目将分 3 期 5 年建成, 达产后可实现年销售收入 6 亿元。

[摘自《信息早报》(化工专刊)]