

无胎体骨架材料的低成本浇注轮胎

Oubridge P S

中图分类号:TQ336.1

文献标识码:B

文章编号:1006-8171(2002)07-0419-05

25 年前,轮胎工业中关于注压和浇注生产无织物和钢丝帘线骨架材料的充气轮胎曾有过许多讨论。技术人员们普遍认为这方面的发展是不大可能的,但是由于它可能引起深远的根本性的变化,因此人们依然对此方面的发展给予了关注。

登录普的研发中心尝试求证这样一种观点,简言之就是,证实对于现代乘用车汽车,用胎体中无定向骨架材料的充气轮胎替代常规轮胎是否具有技术上的可行性。

撰写本文并非仅是出于对历史的爱好,而是基于登录普-BTR 的一份内部报告中的数据,该资料现存于该公司的材料研究院,它也是一项更广泛研究的一部分。

之所以作出这样的决定,是为了设计、制造和测试相当于安装在微型车上的 145R10 子午线轮胎的无骨架材料轮胎,然后由英国 Leyland 生产。首先要选择外轮廓,确定胎体壁厚并选择能满足性能要求的适当的弹性体。

为了避免充气后引起不必要的应力和形状变化,相信平衡的外轮廓是必要的。此外,由于胎体内无骨架材料,胎体的壁厚和材料的杨氏模量必须能够限制轮胎充气胀大并保证其有足够的爆破强度。然而,与此同时,如果轮胎的负荷部分要由充气承载,那么轮胎的径向结构刚度就必须控制在最小程度。

在轮胎径向断面上的任意一点,充气都会导致径向和周向方向上的伸张。在无骨架材料的结构中,这些伸张导致双轴向受力。为使一定壁厚和材料模量情况下这种受力引起的应变最小,应力应调整为等双轴和均匀的。就常规的斜交轮胎而言,这相当于规定在整个断面轮廓上保持固定的斜裁角度为 45°。

这一观点引申出一种以研制斜交轮胎的理论为基础的设计方法。这种设计方法应用到任意一点径向上的曲率半径 r 的表达式上,并通过多个短弧度产生轮胎的外轮廓。对于固定的斜裁角 α ,从轮胎轴到某一径向距离 ρ 处的 r 可表示为:

$$r = \frac{\rho_0^2 - \rho_m^2}{\frac{c\rho_m^2\rho_0^c}{\rho^{c+1}} + \frac{(2-c)\rho_0^2}{\rho^{c+1}}} = \frac{\rho_0^2 - \rho_m^2}{\rho_0\left(\frac{\rho_m^2}{\rho^2} + 1\right)}$$

式中 当 $\alpha = 45^\circ$ 时, $c = \cot^2 \alpha = 1$;

ρ_0 ——到外轮廓冠部的径向距离;

ρ_m ——到最大宽度点的径向距离。

通过调整 ρ_0 和 ρ_m 这两个参数可以得到所需宽度和高度的胎体外轮廓。但是计算表明,钢丝胎圈依然是必要的。胎体设计如图 1 所示。

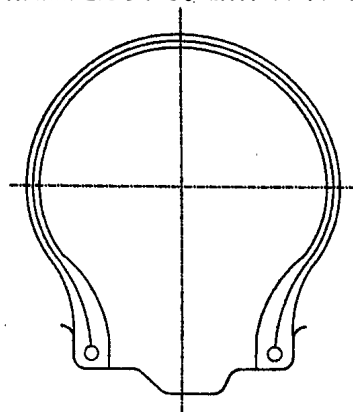


图 1 胎体断面设计

壁厚为 5.2 mm 的胎体胎壁中心处尺寸为:至冠部半径 237 mm;至最大宽度处半径 180 mm;断面宽 123 mm;断面高 110 mm。断面高宽比为 0.89。

加上胎面,该轮胎设计规格为 126 - 10。

由于充气后的胀大率与材料模量和壁厚都有关系,因此我们考察了 3 种具有均匀壁厚的胎体,壁

厚分别为 2.7、5.2 和 7.6 mm。胎体材料选用 PU，并通过混合得到具有不同杨氏模量的配方。

1 胎体制造

因为制造胎体用的 PU 是液体加工型的，所以离心浇注是较好的生产方法。这种方法需要一个圆弧形分节段的固体芯模以限定胎体内表面，还需要一个外模。为了适应 3 种不同的壁厚，制造了一个芯模和 3 个外模。常规胎圈是预先制做好的，用开孔发泡的 PU 包裹并置于模具中。这样浇注后胎圈就与胎体成为一体了。

2 爆破压力

出于安全性和设计评估的目的，首先测试了胎体充水时的爆破压力。3 种壁厚 t 的材料混合物的模量 E 为 21.6 ~ 46.8 MPa。测试结果见图 2。其中的胎体刚度是壁厚与材料模量的乘积 (Et)。

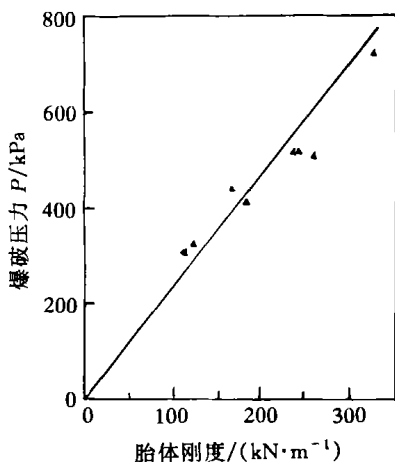


图 2 爆破压力-胎体刚度的关系

由图 2 可见，爆破压力 P 与胎体刚度成正比。

$$P = kEt \quad (1)$$

式中 $k = 2.36 \text{ m}^{-1}$ 。

3 充气胀大率(断面高度增长率)

建议的工作压力为 150 ~ 200 kPa，与常规轮胎近似。测量了 100 ~ 200 kPa 下的断面高度增长率。在零压或近零压情况下，胎圈不能完全固定住，因此假设从 0 ~ 200 kPa 的增长率是 100 ~ 200

kPa 增长率测量值的 2 倍。

断面高度增长率对胎体柔性 ($1/Et$) 作图，得图 3。

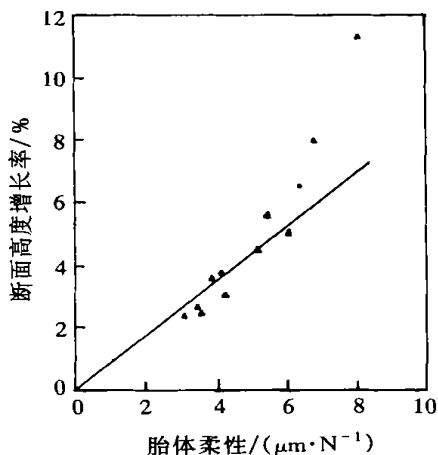


图 3 断面高度增长率-胎体柔性的关系

由图 3 可见，直至高度增长率增大到近 5%，关系曲线都是线性的，可表示为：

$$\text{高度增长率}(\%) = \frac{875}{Et} \times 100 \quad (2)$$

通过公式 (1) 和 (2) 计算得到的不同壁厚情况下所要求的材料模量对爆破强度或胀大率进行了比较。规定充气压力为 150 kPa 时最适宜的安全因数为 4，胀大率控制在 3%。计算结果见表 1。

表 1 要求的材料模量

壁厚/mm	爆破强度要求的 材料模量/MPa	3%胀大率要求的 材料模量/MPa
2.0	127	146
4.0	64	73
6.0	43	49
8.0	32	37

由表 1 可总结出，就壁厚和材料模量而言，两者要求差不多，因此，任何满足爆破强度要求的组合都不会造成胀大率显著超标。

4 径向刚度

无骨架材料轮胎的径向刚度，或称负荷下沉量被认为是无骨架材料轮胎能否作为常规轮胎替代品被接受的关键。特别是，充气部分承担全部负荷的比例对其性能是决定性的。因此在如下气压范围内 (50, 100, 150 和 200 kPa) 进行了负荷下

沉量测试,结果如图 4 所示。其中每种压力下的数据都根据压力不同沿横轴移动。

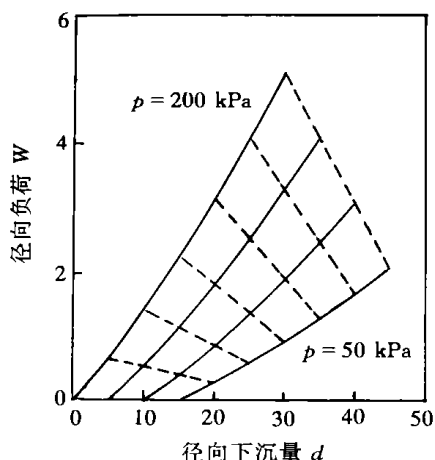


图 4 径向负荷-径向下沉量的关系

由图 4 可见,对于一般充气轮胎,负荷-给定压力下的下沉量(实线)表现出某种曲线规律,同时,负荷-给定下沉量下的压力(虚线)关系则是线性的。因此,轮胎径向刚度特征可以通过下式表示:

$$W = (A + Bp) d^n \quad (3)$$

式中 W ——径向负荷;

p ——充气压力;

d ——径向下沉量;

A ——结构刚度参数;

B ——充气刚度参数;

n ——下沉量幂指数。

尽管已经完成无胎面无骨架材料胎体的爆破强度和增长率试验,可是径向刚度还将受到如果不是附加刚度就是胎面存在的影响。然而,另一些研究表明,PU 不能保持摩擦力和磨损的平衡,因此,将常规胎面模压并装配到 PU 胎体上。

根据 4 种充气压力下的负荷-下沉量数据,可由式(3)重排确定 126 - 10 轮胎的胀大参数 A , B 和 n ,并用于回归分析:

$$\frac{W}{d^n} = A + Bp \quad (3a)$$

对一特定轮胎,将 n 值固定在某任意值上, A 和 B 与这一数据相适应,记录平方和的残值。然后调整 n 的取值重复进行回归分析,直至残值达到最小。12 条 126 - 10 轮胎分析结果表明,结构

刚度参数 A 根据材料模量和壁厚系统地变化,而充气刚度参数 B 和下沉量幂指数 n 都没有可辨别的图型。

进而,为降低结构刚度参数带来的分散,计算了 B 和 n 的均值,并将式(3)重排得:

$$A = \frac{W}{d^2} - Bp \quad (3b)$$

由式(3b)可得出系列校正 A 值, A 值对每种壁厚的材料模量作图,见图 5。

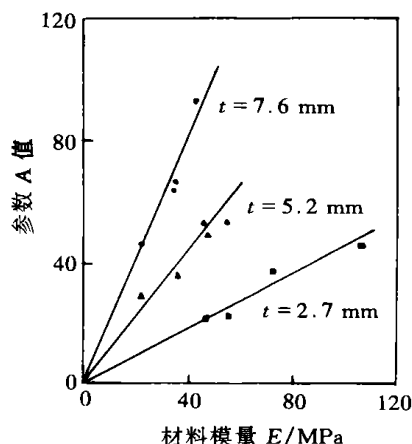


图 5 刚度参数-材料模量的关系

对于每一壁厚 t ,都可看到参数 A 与胎体模量 E 线性相关:

$$A = aE \quad (4)$$

比例常数 a 为:

$t = 2.7$ mm 时, $a = 0.455$;

$t = 5.2$ mm 时, $a = 1.110$;

$t = 7.6$ mm 时, $a = 2.053$ 。

为确定结构刚度参数与壁厚的关系,作出了通过式(4)得到的比例常数 a 对 3 种壁厚的对数坐标图,结果是一条直线(见图 6)。

因此,结构刚度参数 A 与壁厚及材料杨氏模量相关,关系式为:

$$A = A E t^m \quad (5)$$

式中, $A = 0.10$, $m = 1.45$ 。

于是可以得到一个公式,用来描述 126 - 10 无骨架材料轮胎的负荷性能,该公式只涉及壁厚 t 、材料杨氏模量 E 和几个与特定轮胎相关的常数,同时假设压力安全因数为 4。

$$W = (A E t^m - B k E t / 4) d^n \quad (6)$$

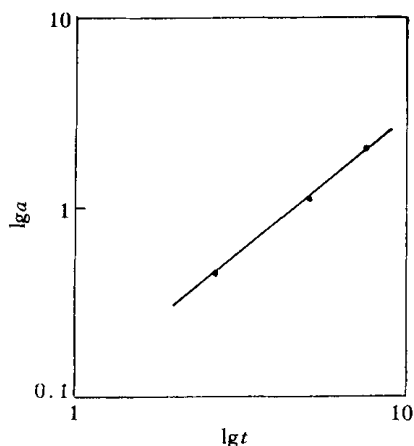


图6 比例常数-壁厚对数关系

有了这个公式,再加上式(1)和(2)便可对无骨架材料轮胎的潜力进行评估。

为了对比,用相同方法对常规的5.20-10斜交轮胎和145R10子午线轮胎以及126-10无骨架材料轮胎的径向刚度特性进行了测量和分析,结果见表2。其中无骨架材料轮胎的结构刚度范围通过3种不同壁厚和一定范围的材料模量(21.6~105.9 MPa)得到。

表2用到的单位统一为:负荷 W N,下沉量 d mm,压力 p kPa。无骨架材料轮胎 B 和 n 平均值的标准偏差已列在表2当中。

表2 各种轮胎的径向刚度

轮胎类型	A	B	n
5.20-10斜交轮胎	18.4	0.37	1.18
145R10子午线轮胎	18.9	0.40	1.08
126-10无骨架轮胎	21~93	0.252 ±0.047	1.11 ±0.04

欧洲轮胎轮辋技术组织(ETRTO)规定,145R10轮胎充气压力为190 kPa时的负荷为2.7 kN。使用表2中这些轮胎的径向刚度参数,计算这种负荷和压力下的径向下沉量 d 和结构负荷/充气负荷比 R 为:

5.20-10: $d = 18.1$ mm, $R = 0.261$;

145R10: $d = 22.2$ mm, $R = 0.248$;

$$R = \frac{A}{Bp}$$

此处,根据式(3):

为了与以上两种常规轮胎径向刚度相匹配,规定了126-10无骨架材料轮胎在同样负荷下的下沉量为20 mm。这样就有可能对其负荷能力,

尤其是充气状态下的负荷能力进行分析。

通过式(6),结构负荷/充气负荷比可表示为:

$$R = \frac{AEt^m}{BkEt/4} = \frac{4At^{m-1}}{Bk}$$

因此

$$t = \left[\frac{RBk}{4A} \right]^{1/(m-1)} \quad (7)$$

通过式(7)可以确定任何选定 R 值时的胎体壁厚。然后,给定负荷 W 和径向下沉量 d (2.7 N和20 mm),用式(6)计算此结构负荷/充气负荷比下的材料模量。

最后,如果规定安全因数为4,可通过式(1)得出选定壁厚和材料模量组合时的爆破压力,并进一步得出最大允许充气压力。同时,通过式(2)得出此压力导致的胀大率。

以上这些计算结果摘要录于表3,其中完全结构负荷比在10%~60%变化,充气负荷部分在90%~40%变化。

表3 不同结构负荷比下的轮胎相关数据

完全结构 负荷比/ %	R	t / mm	E / MPa	p / kPa	胀大率/ %
10	0.111	0.015	38 917	347	1.49
20	0.250	0.092	5 706	308	1.67
30	0.429	0.303	1 507	270	1.91
40	0.667	0.810	484	231	2.23
50	1.000	1.993	164	193	2.68
60	1.500	4.908	53	154	3.35

由表3可清楚地看出,为了与只承受20%完全径向结构负荷的常规轮胎的充气性能相匹配,无骨架材料轮胎胎体的壁厚要求小于0.1 mm,同时材料的杨氏模量要大于5 500 MPa,这一要求远远超过本研究中材料所能达到的性能。这个性能要求与常规的无纬线织物相近。

5 结论

如果以充气辅助支撑的轮胎可采用杨氏模量在50~150 MPa的PU,那么全部径向负荷的50%~60%将被结构承载。然而,轮胎在承载条件下滚动时导致的能量在胎体中的积累和循环会迅速地导致轮胎结构性破坏,特别是在没有骨架材料防止裂口产生的情况下。次数有限的126-10无骨架轮胎试验机测试结果可证实,径向下沉量为

20 mm 时,轮胎的寿命不超过 1 000 km。

(黄向前摘译 涂学忠校)

因此可推断,无骨架材料结构的充气轮胎是不可行的。

译自英国“Tire Technology International”,
2001 (3) ,P48 ~ 52