

专论综述

轮胎力学进展

R. A. Ridha, M. Theves 著 刘大众译 涂学忠校

摘要 回顾和分析当前轮胎科学与工艺技术的进展。对鉴定轮胎耐久性、胎面磨损、噪声、能耗(滚动阻力)、振动及牵引和操纵性能的计算及试验技术的发展进行讨论。列举了应用新发展的技术分析轮胎的上述关键特性和促进优化轮胎设计的实例。

充气轮胎结构复杂,具有完成驱动车辆必不可少的各种功能。这些功能包括:承受车辆负荷,向路面传递驱动力和制动力,为转向提供侧向力,为行驶中导向提供操纵控制,使轮胎与路面的接触产生振动的噪声控制在合理水平。为实现这些功能,轮胎应具有足够的刚度,以承受各方向的力;具有足够的柔度,以避免损伤;在从双曲面壳体变为接地面扁平形状再恢复原状的屈挠过程中,具有长的疲劳寿命。

轮胎力学是用计算或试验手段鉴定轮胎关键性能的学科。受到关注的轮胎关键性能包括:耐久性、胎面磨损、噪声、能耗(滚动阻力)、振动和牵引性。本文讨论的是与这些轮胎性能相关的进展。

典型充气轮胎的主要部件如图1所示(略)。橡胶是充气轮胎的一个基本组分,它承受大的变形,产生低的滞后,在大部分路面上具有良好的摩擦性、高的耐磨耗性和良好的防渗透性。橡胶的基本特征是抗拉伸能力低,因此需要用帘线来增强。

典型的子午线轮胎如图2所示(略)。除了改变子午线轮胎用于各部件的材料特性之外,轮胎工程师的另一强有力选择是改变帘线增强层的帘线角度。除子午线轮胎外,还有两种主要类型的轮胎:一种是斜交轮胎,其胎体帘线与胎面中心线形成相当大的角度;另一种是浇铸轮胎,它不含帘线,由弹性体形成一个空气腔,由胎圈固定到轮辋上。轮胎类型及轮胎部件的详细介绍参见文献1。

1 轮胎耐久性

轮胎耐久性是由轮胎部件之一开始损坏,而且这种损坏逐渐严重,直至形成裂缝使轮胎不能用了而决定的。轮胎的损坏可能是由帘线损坏、橡胶损坏,或帘线与橡胶间的粘合损坏引起的。

通过定量分析各种轮胎负荷条件下的应力和应变及其相互关系,或分析由应力应变产生的周期应变能密度变化,并考虑到使用温度以及由于老化和暴露于包容帘线的材料导致的性能降低,可预测帘线的损坏。

大部分胶料均具有几乎不可压缩的特性,因此应当去掉由体积变化而产生的应变能密度的增量,保留的变形能密度可用于反映橡胶耐久性。另一个预测橡胶撕裂的方法是采用断裂力学原理,使用J积分法反映疲劳裂纹的扩展^[2,3]。

为评价轮胎耐久性,大量研究和开发工作的焦点是测定轮胎在负荷下的应力、应变和变形。迄今,采用的技术方法既有通过试验的,也有基于经典结构分析方法,将轮胎结构模拟为圆环柱体、薄膜或旋转壳体^[4]。近年来,应用计算机辅助结构分析的技术已取得明显进展,其中包括采用可模拟轮胎实际轮廓的有限元和边界元方法,每个轮胎部件均可赋予局部特性。这些分析方法包括从用于分析由硫化应力造成轮胎变形的简单轴对称模型^[5],直至考虑到摩擦、转向和聚合物粘弹特性分析滚动轮胎的先进模型的应用^[6]。

经典结构分析法通过求解一系列微分

程组,不断提供反映轮胎性能的有效数据。

Akasaka^[7]将轮胎胎体模拟为断面为椭圆的环状薄膜,将胎面模拟为一个弹性基体,以此模型计算轮胎变形和帘线应力。图3(略)所示的负荷-变形计算值与试验结果非常一致。计算的胎冠(图4,略)、胎肩(图5,略)和胎侧(图6,略)部位的帘线张力也与实测值相当吻合。

由于带束层边缘存在高的层间剪切应力,因此考虑轮胎耐久性就要关注这一区域。包边带束层是减小带束层边缘层间剪切应力的一种方法。Akasaka^[8]进行的一种包边带束层分析表明:层间剪切应力从带束层边缘消失,转移到带束层向上包边的自由端。这一结果已被试验所证实。

有限元分析方法在该领域的发展导致了对于轮胎耐久性的定量分析取得显著进展。

Kaga 等人^[9]应用轴对称实心单元模拟轮胎在非轴对称负荷下的特性。图7(略)示出了用于分析子午线轮胎的有限元模型。计算得出的由充气 and 垂直接地印痕的负荷产生的变形形状(图8,略)与实测结果相符。图9示出了计算的冠部外层带束层相对于接地面中心的不同位置的帘线应力。在研究中关注的另一个参数是试验转鼓直径对带束层边缘主剪切应变的影响。这有助于评价模拟轮胎

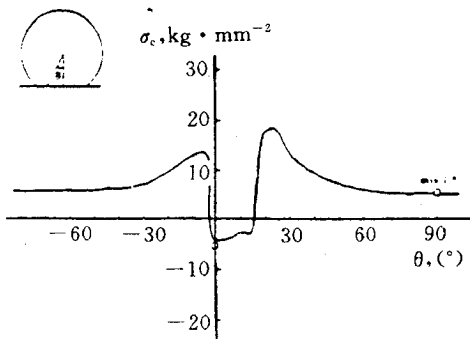


图9 175SR14 轮胎胎冠帘线应力的计算值

。—有限元结果;—试验值;气压 0.22MPa;负荷 3000N;速度 0

在平坦路面上行驶性能的转鼓试验的精度,结果示于图10。带束层边缘的应变能密度随着试验转鼓直径的减小而增大(见图11),这与减小转鼓直径使胎肩测量温度(见图12)增高相当吻合。

结构分析应用有限元法得到自然充气轮廓(NIP)或称中性轮廓。由于轮胎负荷由各部位的拉伸来承担,从而可以完全利用帘线拉伸刚度,因此,这种轮胎轮廓使充气压力产生的应力最小。Yamagishi 等人^[10]通过控制

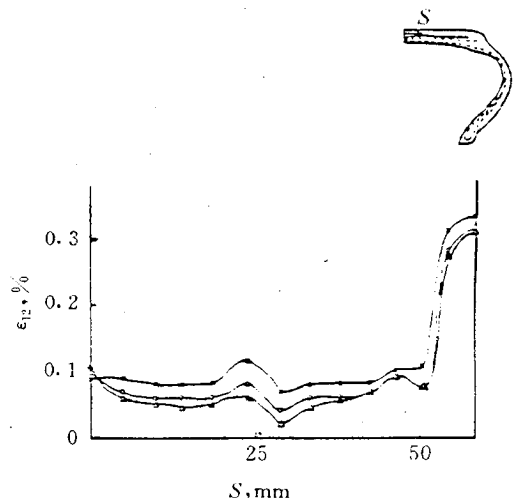


图10 带束层应变随不同转鼓直径的变化

— — — 转鼓直径为 600mm;— · — — 转鼓直径为 1707mm;—△— 平板;气压 0.22MPa;负荷 3000N

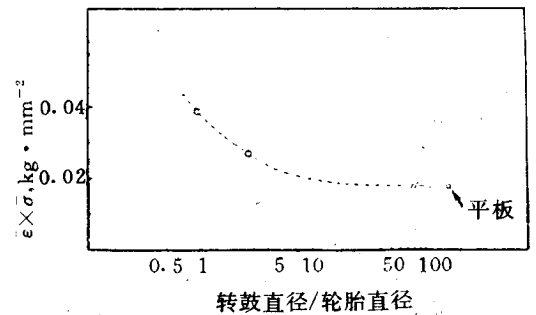


图11 带束层边部的应变能密度计算值

$\bar{\epsilon}$ —外带束层平均应变; $\bar{\sigma}$ —外带束层平均应力;气压 0.22MPa;负荷 3000N

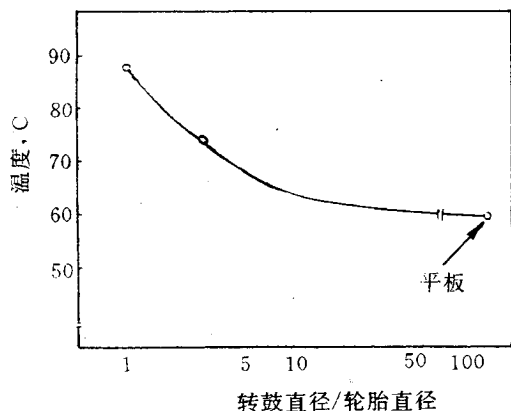


图 12 带束层边部温度测量值

气压 0.23MPa; 负荷 4000N;

速度 $130\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

轮胎行驶条件下的应力使这一原理又进了一步。图 13(图不清,略)是 Yamagishi 等人根据常规理论和滚动轮廓最佳化理论(RCOT)得到的轮胎形状,图中显示了根据两种设计理论得到的带束层和胎体帘线应力的差别。图 14(图不清,略)是两种设计方法得到的胎圈和胎侧部位胶料应力的对比。图 15 是两种设计方法得到的轮胎转向行驶时的带束层张力的对比。

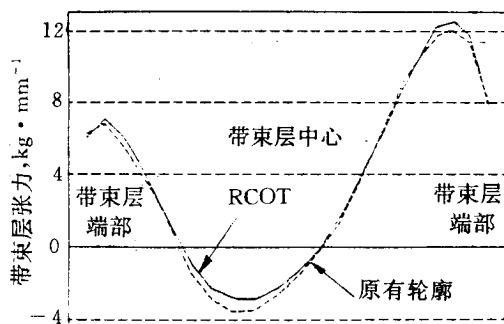


图 15 RCOT 轮廓和原有轮廓转向时带束层张力计算值对比

Ogawa 等人^[11]将 RCOT 理论应用于载重轮胎设计,从而产生轮胎张力控制最佳化设计理论(TCOT)。如图 16(略)所示,TCOT 轮廓在带束层部位具有较小曲率半径,而胎圈部位曲率半径较大。与常规设计比,TCOT 轮胎带束层周向张力提高,接近带束层部位

的胎体张力降低,胎圈部位的胎体张力提高。TCOT 与常规普通轮胎变形的对比如图 17(略)所示,TCOT 轮胎充气后胎肩向内移动。据 Ogawa 等人报道,TCOT 理论可使带束层耐久性提高 20%,胎圈耐久性提高 40%。

有限元法的另一种有效应用是模拟轮胎试验。它可以试验各种轮胎数学模型并进行参数化研究(例如帘线角度、帘布密度和材料变化),而不必制造这些轮胎和进行实验室试验。Tseng 等人^[12]已将爆破试验、高速自由转动试验和美国 DOT 压穿力试验予以数学模型化,与试验结果相比具有良好的相关性。

爆破试验将轮胎充气压力持续提高,直至爆破。分析了一种 P195/75R14 轮胎的二维轴对称模型(图 18 不清,略),其中橡胶采用非线性不可压缩 Mooney-Rivlin 材料模型,帘线采用双模量(压缩与拉伸)材料模型。模拟了轮胎/轮辋界面,不同的轮胎部件中,胎圈首先达到破坏强度。这与试验结果相符[爆破压力计算值=1.78MPa(258psi),测量值=1.5MPa(220psi)]。计算的爆破前的轮胎变形形状见图 20(图不清,略)。

同样的模型用于分析自由转动(模拟轮胎在冰、雪或泥地行驶)。帘线张力的形成绘于图 21(略)。计算与实测结果再次呈现良好的相关性。二者帘线均在 $539\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ (335mph)时断裂。轮胎达到破坏阶段的几何变形绘于图 22(略),它表明胎肩部位向外产生大的位移,胎圈上抽,导致胎圈钢丝产生高伸张力。

压穿能试验是将一个钢压头压入轮胎的胎冠部位,估算障碍物穿透轮胎胎面所需要的能量。试验使用了轮胎三维模型。轮胎施加负荷前后的断面形状绘于图 23(略)。模型在轮胎花纹沟部位使用接触单元(GAP 元),以避免与胎面花纹块发生重叠。计算与实测值具有良好相关性(误差在 7%之内)。结果如图 24 所示(略)。

还有一些其它类型耐久性试验。道路试验用装配试验轮胎的车辆进行,测量轮胎损坏时的行驶里程。加速耐久性试验用超负荷车辆实施,根据试验里程推算额定标准负荷下的预期里程。也可预测额定负荷下轮胎的破坏。在条件比较苛刻的路面上,例如在鹅卵石路面上试验,可加速轮胎破坏。

耐久性试验也可以在光面转鼓上进行。转鼓曲率半径影响轮胎破坏里程,这是由于转鼓曲率改变了作用于轮胎的负荷,加重了试验条件的苛刻度。逐步加载试验是在转动每个规定的试验转数后增加负荷。高速试验是以规定间隔提高转鼓速度,直至轮胎损坏,或达到预定速度。另一个在高速试验中需监控的现象是轮胎胎侧驻波的形成,这通常是轮胎损坏的前兆。还使用楔障式转鼓根据破坏负荷和里程预测试验轮胎的耐久性。在耐久性试验中轮胎气压可以保持恒定值或让其随里程增加而升高。在苛刻负荷条件下的损坏与标准负荷下的里程之间的相关性可由经验公式确定,也可由更科学的破坏判据来判断,例如用至破坏转动次数与应力应变关系的疲劳曲线进行分析判断。热损坏会导致橡胶性能降低,使试验不再模拟轮胎实际使用条件,因此对于有效的耐久性试验,一个关键问题是将机械损坏从热损坏中分离出来。

2 胎面磨耗

胎面磨耗是影响轮胎耐久性(有效使用寿命)的一个关键特性;轮胎胎面形状的变化对噪声、振动性能、牵引性和车辆操纵性也有影响。胎面磨耗是由轮胎与路面接触区产生的摩擦能引起的。在给定界面摩擦能下,磨耗率受接地面印痕上各种力、胎面材料特性、路面性能以及周围环境等因素的影响。轮胎力学通过评价摩擦能,即导致胎面磨耗的有效能量及其在轮胎印痕区的分布,评价胎面磨耗。

从大量试验和半经验的研究中获得了许

多有益的知识。阐明了磨耗与转向力^[13]、轮胎刚度、胎面花纹设计以及轮胎接地印痕区形状(凸或凹)的相互关系。

Ridha 等人^[14]应用有限元法预测了均匀轮胎在不同下沉量下的接地印痕形状和法向压力分布。无滑动接触计算结果(图 25,略)表明:随轮胎下沉量的增大,接触压力向胎肩移动;从图 25 和 26(略)计算结果对比可得出摩擦力的影响。Faria^[6]等人使用研究大应变粘弹性材料的有限元模型,假设接地印痕是前后左右双对称的,计算了 P195/70R14 轮胎接地印痕区压力分布,结果见图 27(图不清,略)。

Walters^[15]进行了更深入的研究,在分析一个胎面花纹块的接触平面内位移时,有限元的计算结果和通过玻璃平面实测值之间获得了良好的相关性(图 28,略)。接触点的位移与平面接触压力的乘积,即是该点产生材料摩擦的能量。

Walters 还使用热成像仪获得差热图,以评价均匀磨耗趋势。热学试验在一个隔热平台上进行,获取试验开始 2min 之内的热像图,由于摩擦生热导致轮胎表面温度升高(在此短时间内,内部生热没有明显影响)。根据两种不同试验设计方案得到的胎面花纹摩擦功分布如图 29 所示(图不清,略),其中左图和右图分别代表轮胎自由滚动和转向的负荷条件。

Sakai^[16]提出将轮胎放在一个玻璃平板上施加负荷以测量印痕区压力分布的试验技术。将一个具有全反射镜面的大光学校镜置于玻璃平板下,当光照到印痕区时,测量全反射光的吸收值,可计算接地压力,获得包含 410000 个像素的光学图。图 30(略)是轮胎在垂直负荷下的压力分布图,图 31(略)是施加侧向力时的压力分布图。由于胎面花纹深度和刚度变化引起的偏磨耗,只需通过改变接地压力即成为可视的。

3 轮胎噪声

除了在轮胎行驶和转动时形成空气湍流使声压产生变化外,还有两种轮胎滚动时的噪声可以辨认:一种是与轮胎空腔有关的低频结构噪声;另一种是由胎面花纹变形和空气在花纹沟内泵吸引引起的高频噪声。

印痕区噪声受印痕区形状和尺寸、印痕区压力分布以及胎面特性的影响。除了胎面材料刚度和阻尼性能外,轮胎噪声还受胎面花纹形状和尺寸以及花纹沟的影响。每个胎面花纹单元通过印痕区时,都向轮胎生成的总声场提供一个具有声能的脉冲。理想胎面花纹产生宽频谱的声音,从而使声能尽可能平滑地分布于宽频谱。图 32(略)示出载重轮胎噪声随速度变化的规律。它表明条形花纹设计的声学性能优于块状花纹设计。通常,载重子午线轮胎噪声性能优于载重斜交轮胎。

噪声试验可以在光滑或粗糙的路面上进行,也可以在实验室进行。路面噪声试验受路面性能、发动机噪声以及周围环境的影响。管理机构 and 车辆制造商制订的试验规程规定了放置录音麦克风处与道路的距离和麦克风放置高度。通过性噪声试验规定了在指定路段车辆行驶的稳定速度和档位;加速通过性试验规定了在指定路段的初始和最后行驶条件;滑行试验测量汽车发动机关闭行驶时的噪声。

室内噪声试验通常在部分无回声的实验室室内光面转鼓或覆有模拟实际路面表面的转鼓上进行。车辆内部噪声可由安装在车辆内部指定位置的录音麦克风测量。一个或两个录音麦克风放置在模拟人头部的位置以记录噪声。工程师可以分析记录外部和内部噪声的信号,以确定不同车速下反映噪声类型和量值的频率曲线。Wright 和 Koopman^[17]使用 Helmholtz 积分法研究了未加载振动轮胎的声辐射特性。他们把轮胎表面模拟为一系列单极或双极声源,通过用一系列二维平面来描绘结构,并求得所得线性方程组的解,进

行了分段积分。测量和计算的与轮胎距离相关的声压强度具有良好相关性(图 33,略)。

Sakata 等人^[18]应用有限元法研究了 165/80R13 轮胎在周向的空腔共振频率。在汽车轮胎中由于空腔共振产生的噪声峰值为 230—300Hz。计算的主模空腔共振为 233Hz,与实测的 247Hz 非常吻合。通过对高宽比为 50%,80%和 120%的轮胎分析表明,断面轮廓高宽比对共振频率无实质影响。对充聚氨酯泡沫轮胎的试验表明,与空腔共振相关的 230Hz 噪声峰值消失了,而与结构共振相关的 100Hz 和 280—350Hz 之间的噪声峰值未受影响。

Nakajima 等人^[19]使用边界元法计算了轮胎声学特性并评价了设计参数变化对声辐射的影响。边界元法特别适用于分析轮胎噪声,这是由于它像有限元法一样可以处理复杂的形状;当仅考虑模拟表面时,使用边界元法有额外的益处,可将三维问题简化为二维问题处理。用有限元法计算了需要为边界元分析输入的轮胎特性。对比块形花纹和无节横向花纹的载重子午线轮胎,实测和计算的噪声值相一致(图 34,略)。

4 滚动阻力

当轮胎在使用中滚动时,对轮胎各部件均加载到一定水平,然后卸载返回其原有水平。由于材料滞后特性,施加的总能量未完全恢复,损失的能量是材料和应变周期的函数。把各部件的能量损耗相加,得到轮胎的能耗,即滚动阻力。

应用有限元分析法,通过计算每个单元的应变周期和对应的单元材料能耗特性,可以确定滚动阻力。将所有单元的滚动阻力相加,就得出轮胎的滚动阻力。在确定橡胶的力学损耗时,使橡胶试样经受轮胎实际使用中轮胎部件所经历的应力/应变周期是十分重要的。Priss 和 Shumuskaya^[20]指出,轮胎内部实际承受脉冲负荷的能耗比一般试验正弦

加载周期的能耗大约高 1.5—2.5 倍。

滚动阻力可通过使轮胎在平面或圆形转鼓上滚动来测量。常用的转鼓直径为 1.7m 或 2m。另一个在美国开展的试验使用的是环境保护局原为监测车辆排放规定的双转鼓。

采用低滞后材料制造轮胎,可以降低滚动阻力;改进轮胎结构设计使轮胎部件的应变周期最小,也可达到此目的。在胎面花纹设计中,减小花纹沟深度意味着减轻橡胶承受的周期应变,因此应尽可能减小花纹沟深度,以降低滚动阻力。降低胎面花纹块/沟比,意味着只有更少的胎面胶承受按比例增高的应变,由此导致更高的滚动阻力,因为滚动阻力随应变的平方而变。

Chakko^[21]提出一种分析方法,将轮胎断面分成 7 个区域,把每个区域的能耗相加,以计算整个轮胎的能耗。通过假设橡胶和帘线材料具有线性粘弹性,轮胎每转 1 周每个区域都承受 1/2 连续的应力/应变循环周期,由此计算 GR70-15 子午线轮胎每个区域的能耗。计算结果表明,胎面和胎面基部的部件占整个轮胎能耗的 36%,胎侧的胎体帘布占 28%,胎侧胶占 15%。然后进行参数化研究,以确定改变不同橡胶和帘线贮存和损耗模量、帘线排列密度并选定轮胎区域橡胶厚度对滚动阻力的影响。

Tabaddor 等人^[22]计算和测量了帘线-橡胶复合层的复合模量。评价了聚酯帘线和钢丝帘线-橡胶复合材料的复合模量、帘线排列密度、帘线角度和层间橡胶厚度的函数关系。结果表明,与拉伸和扭转样品的试验具有相似的趋势。

Chark 和 Schuring^[23]使用红外摄像仪测量了表面温度分布,是根据基于有限差分程序的热模拟评价负荷、速度和充气压力对 P195/75R14 汽车轮胎滚动阻力的影响,以及轮胎关键部件对滚动阻力的影响。图 35(略)表明,随充气压力增大滚动阻力减小,胎面占整个滚动损耗的百分比增至最大。图 36

(略)表明,随轮胎负荷的增大滚动阻力提高,胎侧占整个滚动损耗的百分比增至最大。图 37(略)表明,随滚动速度提高滚动阻力增大,胎面占整个滚动损耗百分比增至最大。

5 轮胎振动

轮胎振动对车辆的乘坐舒适性起着关键作用。轮胎吸收来自路面坑凹的外部力输入;这些输入是由于轮胎不均匀性、重量不平衡和胎面花纹接地输入引起的;轮胎振动模式与车辆动力性能相互影响,从而确定了乘坐舒适性。轮胎设计中的振动性能可由实验室测量或经数学计算,得到自然频率和径向、侧向以及周向上的相关振形。

Patts 和 Csora^[24]将轮胎刚度和传输率定义为轴向力振幅除以印痕区位移振幅,测量了人造丝斜交轮胎、聚酯-玻璃纤维带束斜交轮胎和钢丝带束层子午线轮胎的振动频率。不同的振动频率绘于图 38。测量的子午线轮胎振动频率峰值是 60—80Hz,斜交轮胎是 140Hz,带束斜交轮胎是 164Hz。由于子午线轮胎振动频率峰值低于 100Hz,对于由汽车悬挂系统的振动传递而言是截止频率,所以如果降低峰值,亦即代之以更低频率,则可得进一步的改进。将胎冠胎体帘布层角度

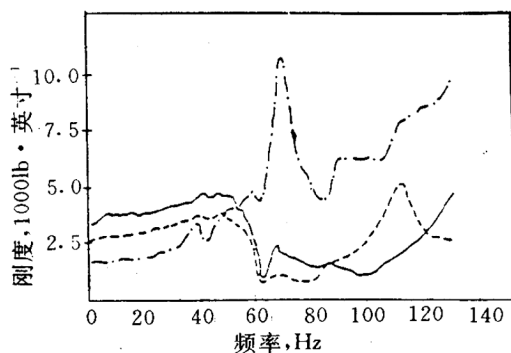


图 38 轮胎刚度与输入频率的变化关系

---斜交轮胎;—带束斜交轮胎;—子午线轮胎

由 90°改变为 20°,则其频率峰值增加 25Hz,它可能导致轮胎产生振动频率与汽车悬挂系统频率不匹配,结果如图 39 所示(略)。

全息照像提供了使轮胎振动可视化手段^[24]。图 40 示出的是典型的全息图。每个云纹图的“眼”表示一个向外振动区域,其中心振幅最大。轮胎高速旋转时,振幅显著增大,由此产生“驻波”,预示轮胎接近损坏。

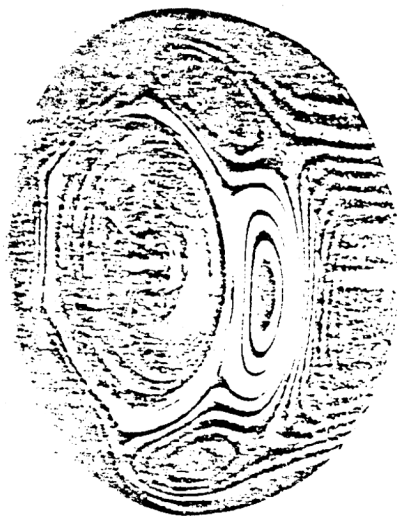


图 40 子午线轮胎振动全息图

Kennedy 和 Padovan^[25]使用有限元模拟法分析了稳定转动下的汽车子午线轮胎。他们利用特殊公式,应用静态分析程序,从而可将动态问题作为半静态问题求解。提高承受点负荷轮胎的速度,直至达到激发振动的范围,可预测各种振形发生时轮胎的振动频率。胎冠部位计算结果如图 41(略)所示,速度接近 $175.7 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ($188 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) 时,可见 8 次谐波振形。这与实测 $178 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 的波速十分相符。图 42 是振形的三维图,表明是对应两种类似频率振形的 12 次和 8 次谐波的合成。考虑到阻尼,在 $175.7 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 转速下与地面接触并有 7.62 mm 下沉量的轮胎,所得结果见图 43。阻尼轮胎的振形是不对称的,印痕区后的波长较短,这与轮胎发生驻波时的现象相似。

6 牵引和操纵性

轮胎操纵性是由轮胎与路面间产生的力决定的。轮胎转向性能的定义是印痕区产生

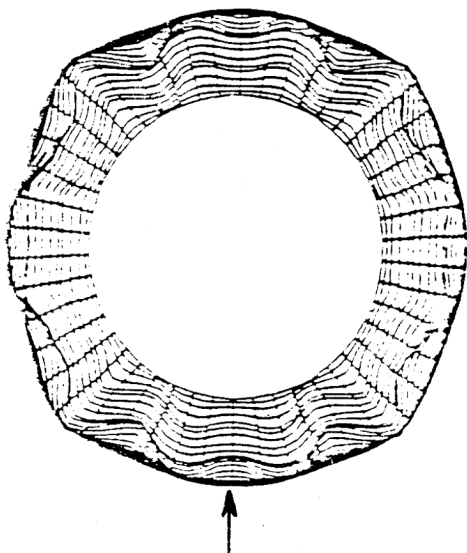


图 42 速度为 $175.7 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ($188 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) 时由点负荷引起的轮胎计算振形侧视图

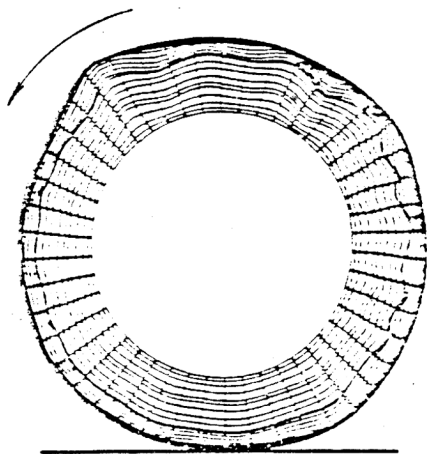


图 43 速度为 $175.7 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ($188 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), 接地面下沉量为 7.62 mm 时具有阻尼轮胎的计算振形

的力和力矩与偏离角的函数关系。在小偏离角下,转向性能由轮胎的弹性所决定;在大偏离角下,轮胎与路面的牵引力成为决定因素。操纵性试验可以在干的或湿的路面上进行,以评价车辆的驾驶响应、操纵精度、转向和顺轨道行驶性。轮胎印痕区在不同操纵条件下生成的力和力矩是作为轮胎操纵性能的一个量度,在“力和力矩”测试仪器上测量的^[26]。轮胎滚动时在不同偏离角和侧倾角下产生的力和力矩,可模拟不同驾驶和转向条件下的

性能。在湿路面或冰雪条件下的力和力矩可通过在覆以适当的水膜或冰层的大型试验转鼓中进行的试验来测量,或用装备了附加试验车轮和仪器的车辆在路面上直接测量。

操纵性和力及力矩试验可以在稳态,即恒定速度下进行,也可以施加制动或加速度的非稳态下进行。降低变形后轮胎转向力的相滞后可改进操纵性。Hanada 等人^[27]通过试验证明,这种滞后与带束层平面刚度,以及胎侧的径向、周向和侧向刚度有关。降低轮胎侧偏刚度、带束层平面刚度和胎侧径向刚度,可降低相滞后。提高胎侧的侧向和周向刚度也可降低相滞后,并且降低充气轮胎最大断面宽的径向坐标也可达到此目的。影响胎侧三个刚度的其它参数是:充气压力(径向刚度)、外层胎体帘布层和内层反包层的材料和结构(侧向刚度)及胎侧和胎肩胶的硬度和体积(周向刚度)。

角度效应是轮胎在仿佛有一个偏离角的条件下滚动时的侧向力引起的,侧向力改变轮胎以反向旋转时的转动方向。Kabe 和 Morikawa^[28]指出,改变子午线轮胎结构,使胎体帘线方向与径向之间有一个角度,可降低角度效应。

Murakoshi 等人^[29]应用有限元法计算了 195/65R15 轮胎充气压力为 200kPa,承受法向负荷 4000N 时的切向接地压力分布。将这些力围绕印痕中心的力矩求和即得到轮胎静态自回正力矩。测量与计算结果一致。计算模型用于评价改变胎面花纹对操纵参数的影响。外侧花纹沟角度具有显著影响。图 44 示出了这种影响,且计算与实测结果一致性良好。这项研究表明,胎面花纹对角度效应所起的作用可视为一个附加的各向异性层。

Futamura^[30]发现子午线轮胎胎面胶动态模量对转向系数(转向刚度除以轮胎法向负荷)和自回正刚度有显著影响。这些关系如图 45 和 46 所示。Futamura 还发现^[31]转向系数受带束层帘线模量的显著影响,但几乎不

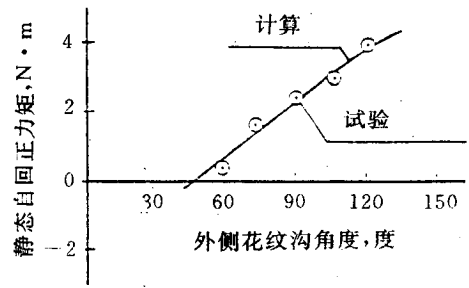


图 44 外侧花纹沟角度对轮胎静态自回正力矩的影响

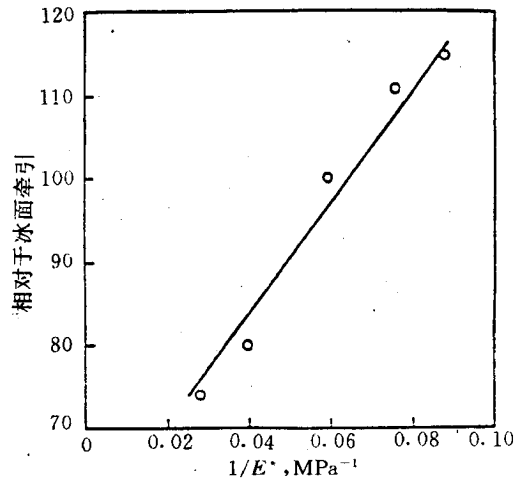


图 45 轮胎胎面胶动态模量对轮胎侧偏刚度的影响

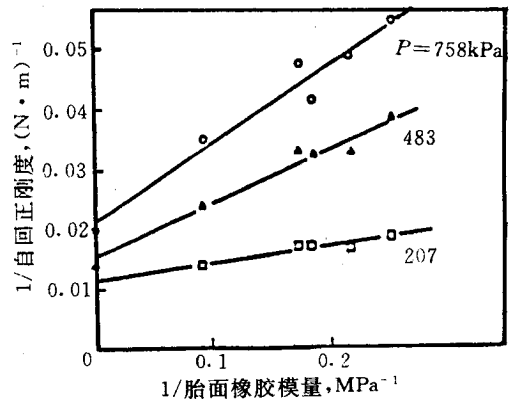


图 46 轮胎胎面胶动态模量对轮胎自回正刚度的影响

负荷为 8.9kW

受胎体帘线模量的影响。

轮胎牵引性能是由防止轮胎滑移的力和失去牵引力的速度来确定的。牵引力试验可

在干路面进行(测定干路面牵引力)或在有一定水深的湿路面上进行,或在雪路面(测定雪地牵引力),或在冰路面(测定冰面牵引力)进行。这些试验既可在直线路段也可在曲线路段进行。轮胎水滑性能试验也可在直线路段或曲线路段进行。在规定的水深下,随速度增大而逐渐与地面失去接触的测量,作为轮胎的一项性能指标。在湿路面上,当胎面花纹穿透水膜时,水通过花纹沟迅速排到印痕区之外,从而保持了与地面的接触,随速度增大,快速排水成为关键。加大花纹沟容积和改变花纹沟方向,使水气混合物能顺利流向外部,可解决此关键问题。为获得较好的水滑性能,应尽量加大花纹沟,尽量减小花纹块/沟比。由于水滑大多发生在高速和急转弯时,因此高性能轮胎通常设计得花纹块/沟比较小。随速度增加,接地面逐渐减小的 4 种胎面花纹的轮胎见图 47。

Klingbeil 和 Will^[32]建立了研究轮胎牵引性能的一种子午线轮胎模型。研究结果表明,在中高摩擦力的表面上,对所有水平的驱动力和制动力,接触界面的滑移均发生在印痕区的导出边缘;随着机动行驶动作的增强,滑移区逐渐向前移动。他们还指出,对于驱动和制动,Columb 摩擦的结果不同。驱动操作产生更大的附着区,产生高的牵引力,然后突

然失去;然而制动操作随制动力增大稳定地减小附着区。随负荷增大和充气压力减小,制动刚度增大。

7 展望

在过去的 20 年中,轮胎科学与技术已取得显著进展。对于掌握轮胎性能规律和原理的日益增长的需要,以及计算和试验技术的明显进步,是推动这一进展的动力。我们已经回顾了这些进展,由于它们关系到轮胎的关键性能,因此我们还用图对已获得的一系列结果进行了说明。其中许多结果是近几年才获得的。

在鉴定轮胎材料性能、分析轮胎温度、模拟硫化过程,以及分析轮胎-车辆相互作用方面已取得明显进展。

然而在试验和计算两个领域的前沿仍有许多新的难题有待解决。对于轮胎耐久性研究,用于模拟轮胎与路面性能试验的快速实验室试验,可以通过确定室内和道路试验的应变能密度并把它们与有效的损坏标准相关起来得到改进。考虑将力学损坏与和热相关的损坏区分开来是很有意义的,这是由于橡胶滞后引起温度升高,损坏形式可取决于试验温度。试验水平的提高将明显地有助于计算机辅助模拟轮胎耐久性。类似的进展是鉴定轮胎与路面界面的特性,用以预测胎面磨损及轮胎噪声、振动、滚动阻力和操纵性。

利用新出现的技术,可以预测轮胎技术在许多前沿领域都将取得进展。随着未来技术的不断发展,我们将看到这些技术在轮胎开发、控制实验室环境或用计算机模拟试验轮胎性能以进一步减少所需物理性能试验方面的应用日益增多。

由于许多对轮胎使用性能的要求与轮胎性能本身相冲突,因此可以探讨一种分段处理法的轮胎制造工艺,借此可以:

- (1)确定有关各项使用性能最重要的因素,以便限定最大限度提高的目标功能;

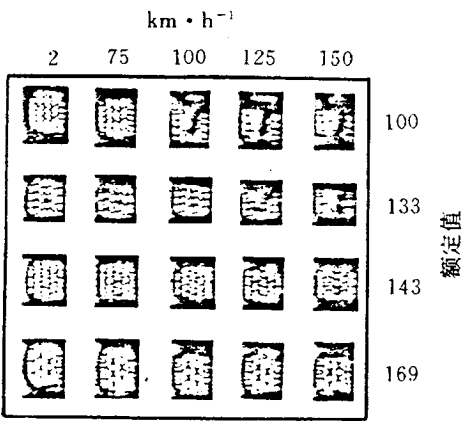


图 47 选定胎面花纹轮胎随速度增大接地面减小

(2)设定轮胎尺寸、性能和其它变量的上下限,以便确定合格设计必须满足的“约束”条件;

(3)进行数学计算、优化,以得到最佳设计方案。

在用于轮胎设计的数据库的开发中,计算机将得到更广泛的应用。更有意义的是这种数据库将用于保存经验丰富的工程师的知识,开发在专家不在场时指导轮胎开发进程的“专家系统”。用户对提高轮胎性能的要求将进一步导致专用轮胎设计的商业化。

不同车辆可能需要根据各个车辆及其悬挂系统特点精确调整的不同轮胎。由于负荷不同,汽车不同轮位也可能要安装不同轮胎。轮胎花纹按传统设计是双对称的,但“非对称”花纹设计将在胎面外半部和里半部具有不同的花纹,以便印痕区的两部分,尤其在转向时,能承受不同的接地压力。“有向”花纹考虑到接地印痕区的导入端和导出端的动态接地压力,又向前迈进了一步。另一种可能的改进是设计“分区段”胎面,在胎肩和胎冠使用

不同的材料以优化总体性能。

随着环境保护要求的增强,可能还需要进一步研究降低轮胎噪声和滚动阻力。降低滚动阻力将延长电动汽车每次充电行驶的距离。

降低汽车轮胎断面高宽比的趋势仍将继续。对于同样外直径的轮胎,使用直径更大的轮辋可有更大的空间安装制动器和其它汽车部件。

除了要求提高轮胎的各种使用性能之外,载重轮胎需要解决提高负荷和减小尺寸的问题;后者可以装载更大的集装箱并满足超高限制。

农业轮胎和工程机械轮胎将提高速度、舒适性以及牵引性。

总之,已经以非常低的成本起到了非常显著作用的充气轮胎,将继续发展和进一步为用户提高其使用价值。轮胎力学对于提供这些性能将起到关键作用。

译自“1994年国际橡胶会议论文集”,第1册,P54—126



国内消息

中国神马奔向海外市场

中国神马帘子布集团有限公司在进军国际市场中,注重运用符合国际惯例的营销策略,今年1—7月自营出口创汇1300多万美元,比去年全年增加1倍以上。

作为国内最大、技术最先进的尼龙66帘布生产基地,中国神马集团早在1988年就取得自营出口权。但由于对国际市场缺乏了解和研究,产品仍一直靠外贸公司代理出口,年出口创汇徘徊在200万美元左右。1992年以来,国内帘布厂家纷纷崛起,国内市场供求关系发生变化,这家公司果断确定了“跻身国际”的发展战略,在进一步改进工艺技术和提

高产品质量的同时,按照国际惯例制订市场营销策略。

帘布作为生产轮胎的骨架材料,要进入国际市场,尤其是发达国家市场,取得国际权威机构的质量认证是必过的一关。经设在卢森堡的著名的美国固特异轮胎测试中心对用“神马”帘布制成的轮胎进行全面测试,认定其质量完全符合要求,神马集团被列为合格供应商。去年又通过了杜邦公司的质量认证,被正式确定为这家公司的原丝供应商,当年就向杜邦公司出口帘布原丝1500t。

去年以来,欧、美、亚众多的帘布厂商及轮胎厂家纷纷要求与神马集团建立业务关系。神马集团目前已在世界十几个发达国家选择了代理商,初步建立了自己的销售网络。

(摘自《中国化工报》,1995,9,18)