

轮胎接地压力分布及其测试方法

张安强, 姚钟尧

(华南理工大学 材料学院 高分子系, 广东 广州 510640)

摘要: 介绍了轮胎接地压力分布研究的重要性和国内外此方面研究的发展状况, 并综述了轮胎在静态和动态(高、低速)下的接地压力分布的测试方法, 如压力板法、压力传感器法、压敏膜法和光吸收法的特点, 指出了它们各自的优缺点和主要的应用场合。

关键词: 轮胎; 接地压力; 接地压力分布; 测试方法

中图分类号: T Q336. 1; T Q330. 4⁺92 文献标识码: B 文章编号: 1000-890X(2001)06-0368-07

1 轮胎接地压力分布的研究状况

在轮胎接地问题中, 接地区的压力分布是轮胎设计人员关心的问题, 它在轮胎结构设计中占有重要的地位。接地压力分布的合理与否会直接影响到轮胎的使用性能, 而压力分布状况则取决于轮胎的结构设计。

以下是两个接地压力分布的应用实例。

曙光橡胶工业研究设计院在 20 世纪 80 年代中期开发了一套测量飞机轮胎接地压力分布的装置, 并对测试结果进行了分析, 并根据分析结果提出了胎面改进设计意见, 改进后的 910 × 250 轮胎都通过了美国 TSO-C62c 规定的滑行试验考核。研究发现: 在滚动状态下, 轮胎某部位沿接地长轴的压力分布都具有马鞍形状(见图 1)。

如图 1 所示, 轮胎 A 部位在一次接地过程中比 B 部位多发生一次应力变化, 形变也会多发生一次, 由此产生的温升也会比其它部位显著。分析结果与轮胎的动态模拟试验结果完全一致, 所有试验轮胎几乎无一例外地在这一部位脱层损坏。因此, 应在设计上使各个部位避免出现类似于曲线 A 的接地压力分布^[1]。

目前, 正新牌载重斜交轮胎由于具有优良的质量而在国内市场上受到顾客的青睐。正新

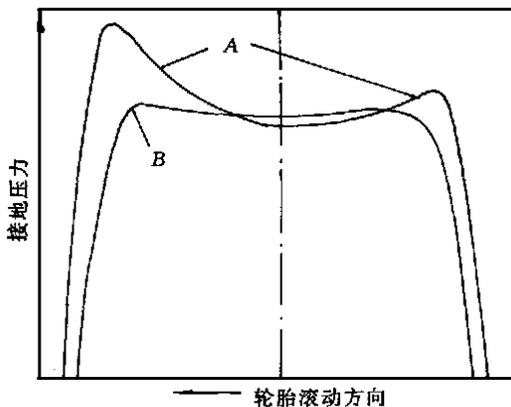


图 1 轮胎在滚动状态下的接地压力分布

A—轮胎 A 部位在滚动方向上的压力分布; B—轮胎 B 部位在滚动方向上的压力分布

轮胎为何具有这种优势呢? 华南理工大学轮胎 CAD 组曾经采用橡胶压力板法对正新轮胎和国产 A 品牌轮胎的静态接地压力分布进行过测试与研究。测试的结果表明: 与国产的 A 品牌轮胎相比, 正新轮胎在接地长轴和接地短轴上的压力分布都比较均匀(如图 2 所示), 胎肩部位的接地压力较低, 胎肩与胎冠之间的压力差较小。减小了胎肩部位的应力, 就会减小该部位的形变, 降低生热, 减少肩空等事故发生的可能性。由此可以看出, 良好的轮胎接地压力分布是正新轮胎具有优良质量的一个重要原因。正新轮胎公司在其产品广告上, 也常常刻意突出宣传其对轮胎接地压力分布的深入研究。

作者简介: 张安强(1976-)男, 湖南安仁人, 华南理工大学材料学院高分子系博士研究生, 主要从事计算机辅助轮胎结构设计方面的研究。

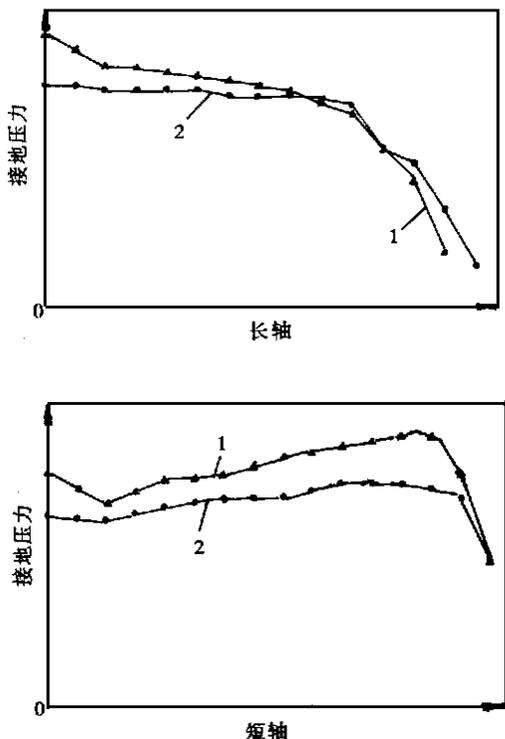


图2 正新轮胎与A品牌轮胎的静态接地压力分布比较示意图
1—A品牌轮胎; 2—正新轮胎

种种迹象表明,正新轮胎公司以及国外许多大轮胎公司都是重视对轮胎接地压力分布的测试和研究的,从近年来接地压力分布曲线常出现在他们的广告上便可见一斑。

实际里程试验表明,不均匀的压力分布会产生不均匀的胎面磨损^[2~4],改善轮胎的接地压力分布是解决胎面不均匀磨损的一个有效措施。研究表明,造成斜交轮胎“磨冠”的内在原因是胎冠部位的接地压力较低,而胎肩部位的接地压力较高。轮胎在滚动状态下,胎肩部位在较高压力作用下,与地面之间的相对滑移小,只有滚动磨损;而胎冠的接地压力较低,同时发生滚动磨损与移动磨损,因而与地面之间产生较大的剪切力,必然会加速胎冠的磨损。试验结果表明,稍圆的胎面可以弥补胎肩应力过大的缺陷^[2]。进一步的研究认为:通过改变胎面花纹的设计,改善轮胎胎冠、胎肩和胎侧之间的刚度分布,减小胎肩与胎冠的刚度差,都可以有效地降低胎肩与胎冠之间的接地压力差^[5]。

由于车辆的载重、牵引和操纵所需要的力

都产生在轮胎与路面的接地区内,因此,要确定轮胎与路面之间的最有利的接触条件,评价胎面花纹的性能,降低胎面磨损,提高车辆的操纵稳定性,就必须研究轮胎接地区内的压力分布。正是由于意识到轮胎接地区压力分布的重要性,美国从20世纪80年代初期开始,就由政府资助,采用压力敏感膜法对普通斜交轮胎、宽断面斜交轮胎、光滑胎面轮胎以及子午线轮胎的轮胎接地压力分布进行了系统的研究^[6~11]。我国从20世纪80年代开始也开展了这方面的工作,北京橡胶工业研究设计院、曙光橡胶工业研究设计院、华南理工大学和沈阳第三橡胶厂等单位都对此进行过有益的尝试、探讨与研究^[1~4,5,12~14],但应该说,我国对这项测试的研究还不够普遍。

近年来,国内外许多学者基于各种不同的理论(如弹性力学法、有限元法等)对轮胎的接地问题进行了模拟研究,这些理论预算得到的轮胎接地压力分布的分析结果也都需要与实际的结果相比较^[12,13,15~17],以检验其正确性。因此,为了对轮胎接地压力分布进行深入的了解与分析,就有必要对轮胎的接地压力分布进行实际测试。

目前,轮胎接地压力分布的测试方法主要有:压力板法、压力传感器法、压敏膜法和光吸收法等。以下对它们做概要的介绍。

2 轮胎接地压力分布的测试方法

2.1 压力板法^[12,13]

压力板是一块带有锥形颗粒的硫化橡胶板。橡胶板上各锥形颗粒的大小相同,并呈一定阵列均匀分布。橡胶锥形颗粒的邵尔A型硬度一般在80度左右。

文献^[13]对压力板法的原理、测试方法等均有详细介绍,不再赘述。用压力板法直接得到的是轮胎接地压力分布的印迹(见图3)。对接地压力分布印迹计算和处理后,便可得到轮胎接地压力分布的三维图,如图4所示。

压力板法测量轮胎接地压力分布的方法简单易行,测试成本低。一次测量就可以得到轮胎在静态下的整个接地面的垂直压力分布。因

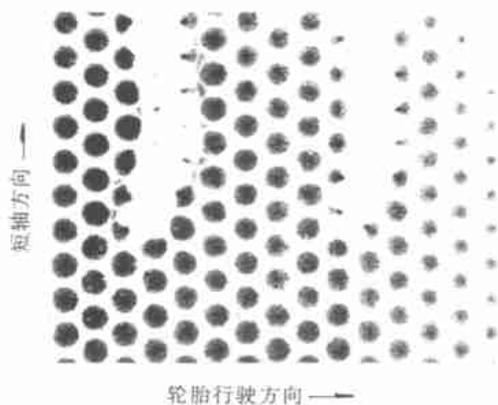


图3 横向花纹轮胎的接地印迹图(1/4 接地面)

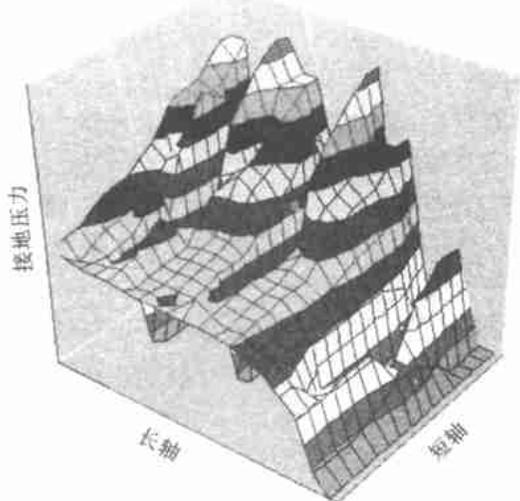


图4 轮胎接地压力分布三维示意图(1/4 接地面)

此,压力板法是目前国内测量最常用的方法。

这种方法的不足之处是:

(1)印痕纸新旧对压力的敏感程度不同,旧印痕纸产生的印迹边缘比较模糊,会使印迹难于分辨,从而影响测量的准确性。建议每次测量都使用新的印痕纸。

(2)环境温度的变化和橡胶硬度的变化可能使实际的压力换算曲线与原来标定的压力换算曲线不相符。建议每隔一段时间重新标定压力换算曲线。

(3)由于轮胎在缓慢受载到较大负荷的过程中,花纹块往往会有微小的移动,造成锥形颗粒在印痕纸上留下的接地印迹呈椭圆形,使得印迹直径的判读出现较大的误差。建议尽量降低轮胎在测试过程中的加载速度。

2.2 压力传感器法

2.2.1 静态或低速滚动状态的测量

在静态或低速滚动状态($\leq 1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)下测量轮胎的接地压力分布时,测量台一般采用刚性平板。因此,压力传感器一般都是安装在刚性平板中,压力测量部分安装在平板表面上,用来测量轮胎与刚性平板接触时的压力。

压力传感器常采用压电力传感器或压阻片^[2~4]。按测定力方向的多少,压电力传感器可以分为单向力传感器和多向力传感器。单向力传感器一般只能测量地面上的正压力,而多向传感器则可同时测量3个相互垂直方向的力。压阻片一般只能测量正压力。

这种安装在刚性平板上的压力传感器可以是一个^[2,3,14],也可以是多个呈阵列排布^[1,15~17]。单个压力传感器条件下,往往采用单点分步测量的方法,即轮胎转轴位置固定,采用拖动测试平板或逐点改变测试平板的位置来完成轮胎接地面上各点的压力测量。沿轮胎滚动方向缓慢拖动测试平台,使轮胎以低速($\leq 1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)匀速滚动通过压力传感器,可以测量轮胎接地单位面积上的三向力,即牵引力(纵向力) F_x 、侧向力(横向力) F_y 和垂直压力(法向力) F_z ,(x 为行驶方向, y 为车轮轴向, z 为接地面法向)。

这样,通过逐点或逐线地测量,可以得到轮胎在整个接地区内的压力分布。单点分步测量的方法比较简单,操作易行。但是,在系统本身精度不是很高的情况下,多次逐步测量的结果可能会由于误差较大而缺乏可比性。在轮胎本身均匀性较差的情况下,这种测量方法的误差可能会更大。采用多个压力传感器在测试平板上呈阵列排布,可大大减小这种误差。根据轮胎的不同,在接地区内按一定的阵列分布压力传感器(见图5),可一次测得轮胎在静态或低速滚动状态下的接地压力,如果采用多向力传感器,还可以测得轮胎在滚动状态下的三向力(包括牵引力 F_x 、侧向力 F_y 和垂直力 F_z)的分布,如图6所示。

压力传感器的数量越多,排列越密集,精度越高,测量的点就越多,结果就越有价值,可信

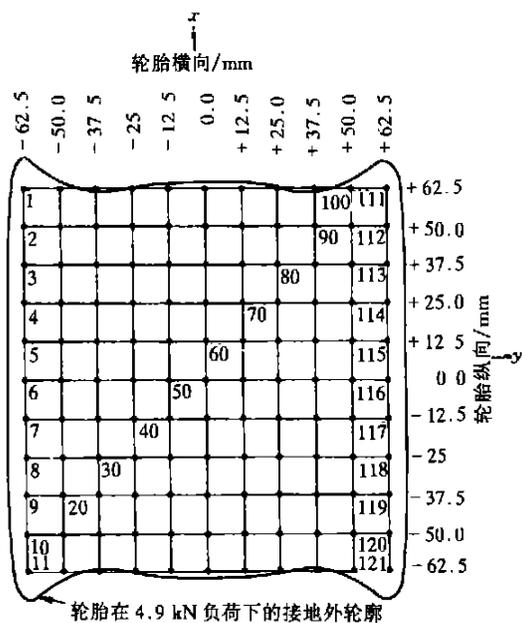


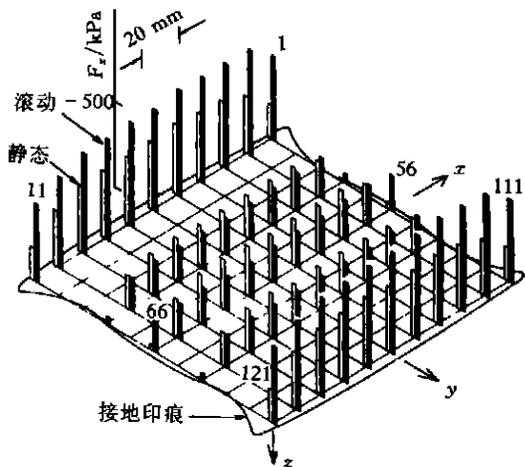
图 5 在测试平板上呈阵列分布的压力传感器度也越高,但装配和测量的难度也越大,成本也越高。

2.2.2 高速滚动状态

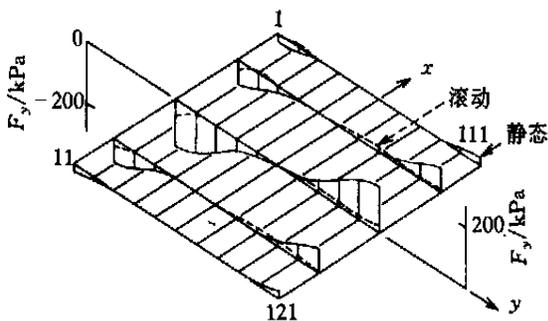
轮胎的高速试验一般都在转鼓试验机上进行。因此,要测量轮胎在高速下的接地压力分布,通常都是在转鼓表面安装响应频率较高的压力传感器。Shiobara H 等进行过这方面的研究^[16-17]。在转鼓表面打 4 个小孔,装入压力传感器(日本东京 Kyowa Deng 公司生产)的传感头(见图 7)。传感器的安装应注意避开花纹的位置。在转鼓和轮胎高速转动接触状态下,以一定的频率间隔(100 ~ 200 Hz)或连续地测量接地压力的响应值,从而得到一系列的压力值或压力变化曲线。对这些数据进行处理,便可以获得轮胎在高速滚动状态下的接地压力分布(见图 8)。受轮胎滚动速度、传感器的数量、测量精度和响应频率等方面因素的限制,这种测量动态下接地压力分布的方法在我国还比较少见。

2.3 压力敏感膜法

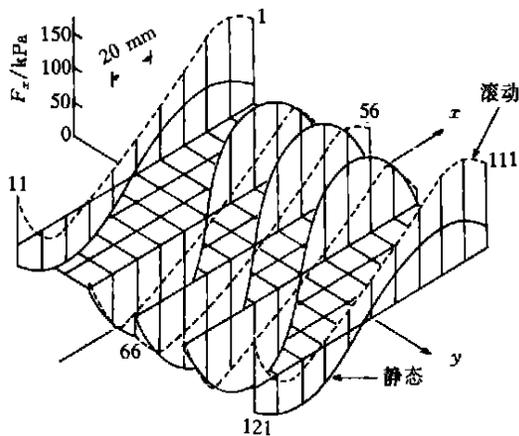
压力敏感膜(压敏膜)法的原理是利用压敏膜在不同压力作用下的颜色深度不同,通过标定不同的颜色深度与压力的关系曲线,可将压敏膜上的颜色深度分布转换成压力分布。国外



(a)垂直压力(法向力) F_z 分布



(b)侧向力(横向力) F_y 分布



(c)牵引力(纵向力) F_x 分布

图 6 子午线轮胎在静态和低速滚动状态(75 mm·s⁻¹)下的应力分布

在 20 世纪 70 年代初就已经将这项技术应用到了轮胎接地压力的测试上^[18]。

日本 FUJI 公司生产的 Prescale TM 压力敏感膜在 20 世纪 80 年代初应用到轮胎接地压力分布的测量中,并取得了良好的效果^[6-11]。

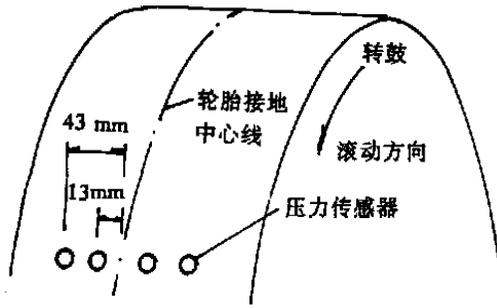


图7 安装在转鼓表面的压力传感器示意图
压力传感器共4个,在中心线两侧对称分布

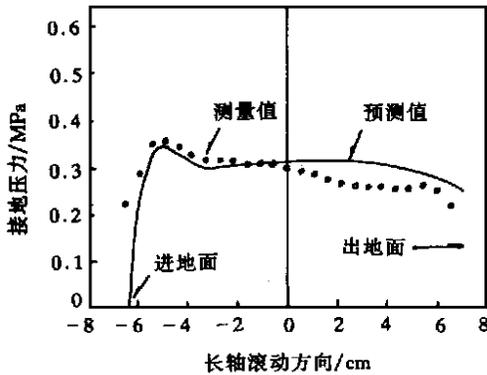


图8 175R14轮胎在高速滚动状态下的接地压力分布
 $P=0.18 \text{ MPa}$; $W=4 \text{ kN}$; $v=60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Prescale TM 压力敏感膜有单片型和双片型,单片型应用于压力较高的场合,双片型则用于压力较低的场合。它的作用原理如图9所示。

压敏膜的底层基质是聚酯薄膜,聚酯基质覆盖有颜色成长层和颜色生成层(由装着颜色生成物质的微小胶囊组成)。在压力的作用下,

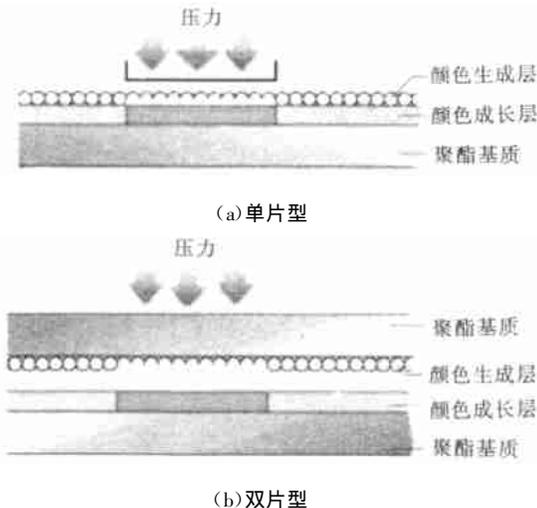


图9 压力敏感膜的作用原理

压敏膜颜色生成层中的微小胶囊破裂,颜色生成物质被挤压出来与颜色成长层反应,生成红色的斑块。红色斑块的颜色深度在压力撤出后的一段时间内(约1h)不会改变。从微小胶囊中被挤出来的颜色生成物质的体积和颜色成长层物质的特性决定了颜色的深浅。一般来说,压敏膜的压力使用范围与微胶囊的大小、胶囊壁的薄厚有关,大的或薄壁的微胶囊在较低的压力下就能破裂,而小的或厚壁的微胶囊在较大的压力下才能破裂。因此,不同压力范围所使用的压敏膜中的微胶囊的大小和薄厚是不同的。压敏膜相当于众多微小压力传感器密集地排布成的一个压力传感器阵列,它的测量区域可以精确到 $\Phi 1 \text{ mm}$ 。因此,压敏膜法可以在压力分布图上观察到整个接地面内的极为详细的压力分布,甚至是花纹块边缘的压力分布也可以很清楚地观察到。这一结果对于优化轮胎花纹设计具有重要的指导意义。这也是前两种方法所不能比拟的。

压敏膜法测量轮胎接地压力分布的优点是测量过程简单、快捷,测量结果精确、可视化和数字化。但压敏膜法只适用于在静态下测量轮胎的接地压力分布。

2.4 光吸收法

人们发现,光学棱镜或平板玻璃与粗糙橡胶表面之间某一点的光吸收量或光散射度是压力的函数,利用这一规律,可以把接地面内的这种光的明暗分布转换成压力分布^[16~19]。

Sakai E H 最近利用一种新的测试设备测量了轮胎接地区的压力分布^[19]。压力分布可用数值表示出来并可从图象上观察到。这种测试设备的原理是光学棱镜和平坦地面或粗糙橡胶表面某一点的光吸收量是压力的函数。以某一很小的间隔(约0.25 mm)逐点测量接地区内这些点的光吸收量,就可以得到接地区的光吸收量分布,然后转换成接地压力分布。图10为设备的示意图。

该设备的光学系统是由光源、反射镜1和2、透镜、直角棱镜、小孔片及光电转换管组成。从光源发出的光经过反射镜1照射到测量点A,即轮胎胎面与平板玻璃表面的接触点。入

射的光在被橡胶吸收后, 被反射经过反射镜 2, 通过小孔板, 进入光电转换管。其中, 点 A 和透镜之间的距离与小孔到透镜的距离是相等的, 因此, 一个直径为 0.3 mm 大小的小孔就对应于测量点 A 处的一个 0.3 mm 直径大小的测量区域。

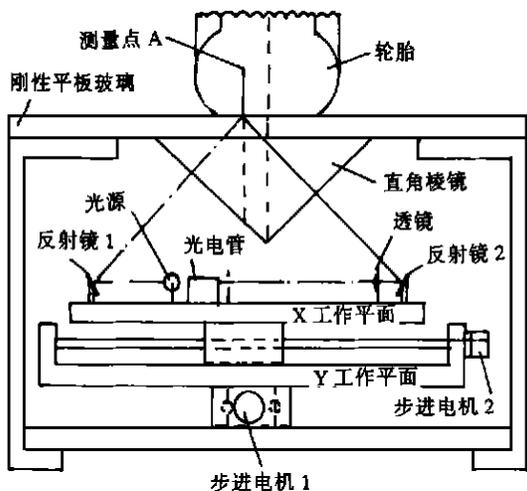


图 10 光吸收法测试设备的示意图

光学系统的测量部分安装在一个工作平台上, 工作平台由两个相互垂直驱动的步进电机驱动, 使得工作平台可以在 x 和 y 方向上平行移动。这样, 在步进电机的驱动下, 光学测量装置可以逐点测量整个接地区内的光吸收量的分布。通过标定光吸收量与压力的关系曲线(压力转换曲线), 可以将光吸收量的分布转换为压力分布。

由系统测量得到的数据需要经过计算机的处理, 才能用图像或数据表示出来。整个系统的原理如图 11 所示。

从测量得到的压力分布图上可以看到, 由于测量点的直径很小(约 0.3 mm), 得到的压力分布图也很精细, 甚至连排气孔处的微小凸出造成的接地压力的增大都可以明显地测量和显示出来, 如图 12 所示。在这一点上, 光吸收法与压敏膜法有异曲同工之妙。

光吸收法的准确程度与压力转换曲线直接相关。但不同的橡胶及不同的橡胶表面对光的吸收程度不同。必须按具体情况进行标定, 才能使结果具有真实性和可信性。

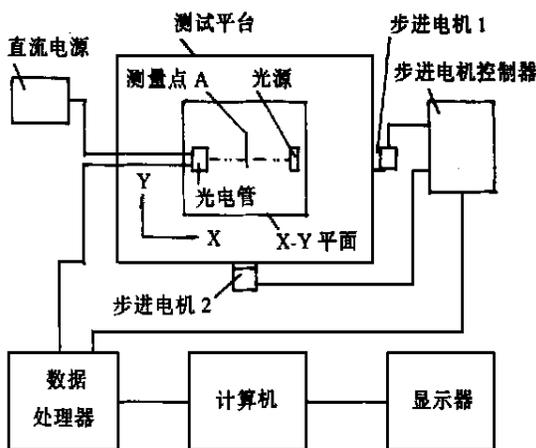


图 11 光吸收法测试系统的原理图



图 12 光吸收法得到的轮胎接地压力分布显示图

3 结语

随着汽车工业的发展, 用户对轮胎的要求越来越高; 公路等级的提高使得轮胎的速度等级也在不断提升; 与此同时, 超载现象也比较严重。高速、高载成为我国轮胎工业面临的两大事实。与静态下的接地压力分布相比, 轮胎在高速滚动状态下的接地压力分布具有更高的实用性和研究价值, 能更好地反映轮胎在动态下的各项性能。了解轮胎在动态下的接地压力分布及其与轮胎结构、轮胎使用性能之间的关系, 有助于进一步优化轮胎设计。

压力板法由于其结构简单、测试方便、结果可靠而在国内已被多家轮胎厂使用。压敏膜法和光吸收法在测量精度和结果的可视化上有很大的优势, 是静态下接地压力分布测试的发展方

向。压力传感器法则适用于轮胎在静态、低速滚动和高速滚动状态下的接地压力测试,它是一种相对较简单、测试成本适中、精度较高,并可采用计算机程序控制的方法。压力传感器法是目前测量轮胎在动态下的接地压力分布的唯一方法,也是一门大有发展前途的技术。提高测量精度并模拟轮胎各种使用条件,是压力传感器法进一步发展所必须解决的问题。

参考文献:

- [1] 黄耀广. 轮胎接地面垂直应力分布的测试[A]. 中国橡胶学会首届橡胶应用理论与测试研究方法学术会议. 广州: 1987. 11.
- [2] 杨始燕. 改善轮胎接地面垂直压力分布的研究[J]. 橡胶工业, 1992, 39(11): 689-691.
- [3] 陆金燕. 轮胎接地面三向力的动态测量[J]. 橡胶工业, 1992, 39(10): 609-614.
- [4] 俞淇, 周锋, 丁剑平. 充气轮胎性能与结构[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1998. 4.
- [5] 陈宗青, 唐正华, 蔡国胜. 从改进花纹及结构探讨轮胎磨损现象[J]. 轮胎工业, 1992, 12(2): 9.
- [6] Marshek K M, Chen H H, Connell R B *et al.* Experimental determination of pressure distribution of truck tire-pavement contact[J]. *Transportation Research Record*, 1986(9): 14.
- [7] Tielking J T, Abraham, Moises A. Measurement of truck tire footprint pressures[J]. *Transportation Research Record*, 1994(9): 92-99.
- [8] Hansen R W, Bertrand C, Marshek K M, *et al.* Truck tire pavement contact pressure distribution characteristics for super single 18-22.5 and smooth 11R24.5 tires[A]. *Papers of NTIS meeting*[C]. NTIS, 1989. PB90272196.
- [9] Pezo R F, Marshek K M, Hudson W R. Truck tire pavement contact pressure distribution characteristics for the bias Goodyear 18-22.5, the radial Michelin 275/80R/24.5,

the radial Michelin 255/70R/22.5, and the radial Goodyear 11R24.5 tires[A]. *Papers of NTIS meeting*[C]. NTIS, 1989. PB91164657.

- [10] Marshek K M, Hudson W R, Connell R B *et al.* Experimental investigation of truck tire inflation pressure on pavement-tire contact area and pressure distribution[A]. *Papers of NTIS meeting*[C]. NTIS, 1985. PB88218839.
- [11] Marshek, Kurt M. Effect of truck tire inflation pressure and axle load on flexible and rigid pavement performance[J]. *Transportation Research Record*, 1986(1): 14-21.
- [12] 戴元坎, 俞淇. 轮胎接触问题的分析与研究[J]. 轮胎工业, 1997, 17(3): 136-147.
- [13] 俞淇, 戴元坎, 张凯. 静负荷下轮胎接地压力分布测试的研究[J]. 轮胎工业, 1999, 19(3): 203-207.
- [14] 纪国生. 利用 MTS 860-40 型轮胎耐久性试验机测定轮胎印痕垂直应力分布的探讨[J]. 轮胎工业, 1994, 14(12): 16-19.
- [15] Pottinger M G. The three-dimension contact patch stress field of solid and pneumatic tires[J]. *Tire Science and Technology*, 1992, 20(1): 3-32.
- [16] Shiobara H, Akasaka T. One-dimensional contact pressure distribution of radial tires in motion[J]. *Tire Science and Technology*, 1995, 23(2), 116-135.
- [17] Shiobara H, Akasaka T, Kagami S. Two-dimensional contact pressure distribution of a radial tire in motion[J]. *Tire Science and Technology*, 1996, 24(4): 294-320.
- [18] Gentle C R. Optical mapping of pressures in tyre contact areas[J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 1983, 4(3): 167-176.
- [19] Sakai E H. Measurement and visualization of the contact pressure distribution of rubber disks and tires[J]. *Tire Science and Technology*, 1995, 23(4): 238-255.
- [20] Buga M, Ilescu N, Atanasiu C, *et al.* Photoelastic investigation on pressure distribution in contact area between tire and ground[J]. *VDI Berichte*, 1978(313): 18-22.

第 11 届全国轮胎技术研讨会论文

控制长链支化度对 EPDM 挤出性能的影响

中图分类号: TQ333.4; TQ330.6+4 文献标识码: D

生产高质量、低成本的 EPDM 制品需要彻底了解聚合物参数对加工和产品性能的影响。20 世纪 90 年代已有文献报道了对混炼和聚合物参数的研究,近年来的热门话题是挤出行为。测量的挤出参数包括:功率消耗、产量、产量/机头压力、比能耗、胶料最高温度和口型膨胀率。

用化学组分、门尼粘度、相对分子量分布和长链支化度描述了 EPDM 的分子结构。

最近推出的新一代 EPDM 的分子结构与普通 EPDM 有很大不同,运用控制长链支化度原理获得了相对分子量分布与长链支化度的平衡。这种聚合物是为改进混炼和挤出性能并保持较好的物理性能而开发的,其异常的分子结构对挤出性能的积极影响特别突出。

(涂学忠译自“IRC2000 论文集”摘要 B-3)