

轮胎帘线/橡胶复合材料弹性常数的测试研究

俞 淇, 丁剑平, 顾学甫, 涂玉谦

(华南理工大学, 广东 广州 510640)

摘要:以复合材料的微观力学理论和宏观力学理论为基础,探讨了轮胎有限元分析用帘线/橡胶复合材料弹性常数的测试。对哈尔平-蔡方程式、高夫-汤哥拉方程式和赤坂-平野方程式在简化为单层横向同性体帘线/橡胶复合材料弹性常数(纵向弹性模量 E_1 、横向弹性模量 E_2 、面内剪切模量 G_{12} 、主泊松比 μ_{12} 和次泊松比 μ_{21})计算中的应用进行了分析探讨。提出用钢丝帘线横截面积变化率来表征钢丝帘线的泊松比 μ_c ,并推荐用截面固结法测试 μ_c 。可用激光散斑法、云纹法(配合微机图像处理技术)和轨道剪切法测试不同的钢丝帘线/橡胶复合材料弹性常数。对 μ_{12} 大于1的现象进行了讨论。

关键词:轮胎;帘线;橡胶复合材料;弹性常数;微观力学;宏观力学

中图分类号: TQ330.7+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8171(2001)04-0195-06

自20世纪80年代初有限元分析法作为有效分析设计工具进入我国轮胎工业,以及其后美国MARC公司在我国推行非线性有限元MARC程序以来,有限元分析法和有限元MARC程序在我国轮胎工业中得到逐步应用,但至今成效不大。据分析,其中一个重要原因就是有限元分析法的应用涉及到轮胎各部位材料的性能测试。就目前我国轮胎工业的科技水平来说,轮胎结构中各部位材料的性能,尤其是帘线/橡胶复合材料的性能还很难精确测试,因此要深入开展轮胎有限元分析法的应用,必须加强帘线/橡胶复合材料的性能研究。

轮胎帘线/橡胶复合材料的性能不同于刚性复合材料,其特点如下:帘线是由许多细丝线或纱线合股加捻组成的结构体,不是直棒;帘线在复合材料中的体积分数很小,但对轮胎力学性能影响很大;增强相帘线模量大大高于基体相橡胶模量(两者相差3~4个数量级);

尺寸(如帘线直径)均匀性较差。轮胎用帘线/橡胶复合材料的这些特殊性,引起了众多学者的关注。早在1964年Clark S K^[1]和1968年Gough V E^[2]就对帘线/橡胶复合材料的弹性力学性能进行了系统的论述。到70年代,

对轮胎用复合材料性能的研究又深入了一大步,如Ko Honyim^[3]在不同条件和途径下对材料的线弹性各向异性等进行了三维试验研究;Patel H P^[4]和Walter J D等^[5]应用复合材料力学的经典理论对子午线轮胎用帘线/橡胶复合材料的力学性能进行了实测与理论计算对比研究。80年代中后期,Cembrola R J等^[6]应用有限元分析法建立的双层和三层板模型对钢丝或芳纶帘线/橡胶复合材料性能进行了研究;Parhizgar S等^[7]对单层帘线/橡胶复合材料的刚性进行了测试,采用云纹法测定了人造丝帘线/橡胶复合材料的力学性能,并应用有限元分析法对双层板条模型的材料性能进行了计算分析;Parhizgar S^[8]还进行了多层帘线/橡胶复合材料的刚性测试,研究了非对称性层合材料的耦合效应,并引入了采用特殊夹持器进行试验的方法。90年代,Clark S K等^[9],Padovan J^[10,11]和Abe A等^[12]进一步研究了帘线/橡胶复合材料的非线性、粘弹性和耦合效应等,更真实地模拟了轮胎结构中材料的特性。

我国对轮胎帘线/橡胶复合材料性能的研究还不够广泛,研究工作主要集中在复合材料的开发和应用上。80年代末,许叔亮等^[13]对尼龙、人造丝和钢丝帘线/橡胶复合材料的力学性能开展了初探性研究。进入90年代,我国帘线/橡胶复合材料性能的研究已较为深入。现

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59573003)

作者简介:俞淇(1934-),女,江苏苏州人,华南理工大学教授,从事轮胎结构与材料力学性能的研究工作。

将轮胎有限元分析用帘线/橡胶复合材料力学性能常数的测试方法简介如下。

1 帘线/橡胶复合材料的微观和宏观力学性能

轮胎中帘线沿同一方向排列的帘线/橡胶层称为单层。单层复合材料是轮胎复合材料的基本形式。从微观力学角度分析,这种单层复合材料由帘线增强相和橡胶基体相组成,必要时还须考虑包括两相间的界面问题。

由于增强相帘线细小而又广泛地密布于基体相橡胶内,因此从宏观角度看,单层复合材料是一种宏观均匀的材料。其宏观力学性能一方面可以通过试验测出;另一方面可以通过它的微观结构或微观力学性能从理论上计算出。

从宏观力学角度出发,帘线/橡胶单层复合材料可看作横向同性体,其帘线铺设排列状况如图1所示。根据各向异性的弹性体力学本构方程,横向同性的帘线/橡胶复合材料弹性常数可简化为5个,即为纵向弹性模量 E_1 、横向弹性模量 E_2 、面内剪切模量 G_{12} 、主泊松比 μ_{12} 和次泊松比 μ_{21} 。由于 $\mu_{21} = \mu_{12} \frac{E_2}{E_1}$,即 μ_{21} 不是一个独立常数,因此真正独立的常数只有4个。用于帘线/橡胶单层复合材料力学性能计算的理论公式一般有几个。

(1) 哈尔平-蔡 (Halpin-Tsai) 方程式

$$E_1 = E_c V_c + E_r (1 - V_c)$$

$$E_2 = E_r (1 + 2 V_c) / (1 - V_c)$$

$$G_{12} = G_r [G_c + G_r + (G_c - G_r) V_c] / [G_c + G_r - (G_c - G_r) V_c]$$

$$\mu_{12} = \mu_c V_c + \mu_r (1 - V_c)$$

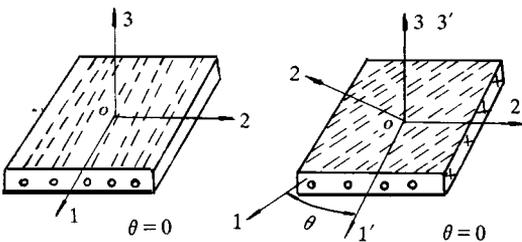


图1 帘线/橡胶单层复合材料中帘线铺设排列状况示意图
为帘线铺设方位角

$$\mu_{21} = \mu_{12} \frac{E_2}{E_1}$$

(2) 高夫-汤哥拉 (Gough-Tangorra) 方程式

$$E_1 = E_c V_c + E_r (1 - V_c)$$

$$E_2 = 4 E_r (1 - V_c) [E_c V_c + E_r (1 - V_c)] / [3 E_c V_c + 4 E_r (1 - V_c)]$$

$$G_{12} = G_r (1 - V_c)$$

$$\mu_{12} = 0.5$$

$$\mu_{21} = \mu_{12} \frac{E_2}{E_1}$$

(3) 赤坂-平野 (Akaka-Hirano) 方程式

$$E_1 = E_c V_c$$

$$E_2 = \frac{4}{3} E_r$$

$$G_{12} = G_r$$

$$\mu_{12} = 0.5$$

$$\mu_{21} = 0$$

式中, V_c 为帘线的体积分数; E_c 和 E_r 分别为帘线和橡胶的杨氏模量; G_c 和 G_r 分别为帘线和橡胶的剪切模量; μ_c 和 μ_r 分别为帘线和橡胶的泊松比。

在以上3组方程式中,用得最多的是哈尔平-蔡方程式。尽管该方程式用于刚性复合材料的计算精确度高,但其缺陷也不可忽视: 式中的帘线弹性常数,如 μ_c 和 G_c 很难测试,有时甚至无法测试; 帘线的一些性能参数与橡胶基体的制备工艺过程有关,这一点在方程式中无法反映出来; 该方程式是在线弹性材料基础上建立起来的,它的某些条件与实际帘线、橡胶乃至由它们组成的复合材料的存在条件相悖。高夫-汤哥拉方程式和赤坂-平野方程式虽不含 μ_c 和 G_c ,但其计算精度差,很少使用。

在坐标系中,复合材料的主方向往往与轮胎几何坐标轴的轴向不一致,偏角为 θ ,如图1所示。在 xoy 坐标系中,单层板的弹性常数计算式为:

$$1/E_x = \cos^4 \theta / E_1 + [1/G_{12} - 2\mu_{12}/E_1] \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \sin^4 \theta / E_2$$

$$1/G_{xy} = \cos^2(2\theta) / G_{12} + [(1 + \mu_{12})/E_1 + (1 + \mu_{21})/E_2] \sin^2(2\theta)$$

$$\mu_{xy} = E_x \{ \mu_{12} / E_1 - [(1 + \mu_{12}) / E_1 + (1 + \mu_{21}) / E_2 - 1 / G_{12}] / [4 \sin^2(2 \theta)] \}$$

式中, E_x , G_{xy} 和 μ_{xy} 分别为偏轴弹性模量、偏轴剪切模量和偏轴泊松比。从以上公式可以看出, 偏轴弹性常数和正轴弹性常数 (E_1 , E_2 , G_{12} , μ_{12} , μ_{21}) 密切相关, 且随 θ 的变化而变化。单层复合材料弹性常数的测算可以采用先测试各组分材料性能, 再用理论计算公式如哈尔平-蔡方程式计算的方法, 也可宏观地实际测量这些常数。

2 弹性常数的测试

用微观力学性能测算复合材料的宏观力学性能, 必须测试出复合材料各组分材料的性能。关于轮胎胶料的力学性能, Chariton D J 等^[14]总结了有限元分析用胶料弹性力学性能的代表方法, 王登祥^[15]阐述了轮胎胶料性能的试验基础及计算。要测试帘线的性能, 一般将帘线看作各向同性体。需要测试的轮胎胶料弹性常数和帘线弹性常数有 E_r , G_r , μ_r , E_c 和 μ_c 。 E_c 的测量可参考文献^[13]。 μ_c 是一个极难测量的弹性常数, 顾学甫等^[16]对其作了新的定义并采用截面固结法进行了探索性研究。同时, 顾学甫等^[17~20]从宏观力学角度对帘线/ 橡胶复合材料的弹性常数进行了试验测定, 并对测试方法作了多方面的研究探讨。

2.1 钢丝帘线 μ_c 的测定

在轮胎复合材料性能的计算中, 钢丝帘线 (不是钢材) 的 μ_c 是微观力学计算中必不可少的参数。过去, μ_c 是用哈尔平-蔡方程式反算法求出的, 文献^[7]指出了这种反算法的不合理性在于把传统的各向同性的钢材泊松比概念错误地套用在由多根细钢丝绞捻成股的“结构物”帘线上。同时, 提出了用钢丝帘线横截面积变化率 (H) 来表征泊松比的建议^[16], 并推荐用截面固结法 (用扫描电子显微镜对帘线受力变形前后的横截面进行放大测试的方法) 来测定横截面积变化率 H 。设帘线拉伸前的横截面积为 F_0 , 拉伸时的横截面积为 F_1 , 则拉伸时的 H 为:

$$H = (F_1 - F_0) / F_0$$

如果钢丝帘线的纵向伸长应变变为 z , 则它的 μ_c 应为:

$$\mu_c = \frac{-H}{z}$$

2.2 钢丝帘线/ 橡胶复合材料弹性模量的测定

大刚度比复合材料的弹性模量随钢丝帘线在橡胶基体中排列方向角度的不同而有明显的差异, 测定弹性模量时必须注明钢丝帘线的 θ , 如图 2 所示 (P 为轴向拉伸力)。为 90° 的试样, 其宏观特性以橡胶性能为主, 即 P 较小时伸长变形量就较大; 对于 θ 为 0° 的试样, 其宏观性能以钢丝帘线特性为主, 即 P 很大时才能产生一定的伸长变形量。

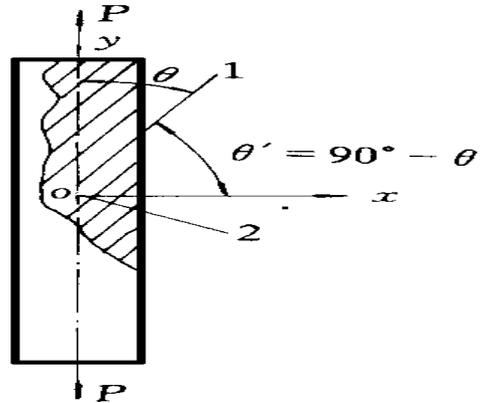


图 2 钢丝帘线的铺设结构

针对这一情况, 采用灵敏度和精确度高的激光散斑法测试 θ 为 0° 的试样的弹性模量即正轴拉伸变形量。文献^[17]详细叙述了用激光散斑法测定正轴弹性模量 (θ 为 0°) 的试验方法及试验结果, 从试验结果可知, 与碳纤维增强树脂复合材料相比, 以橡胶为基体的大刚度比复合材料的弹性模量很小, 这是此类复合材料特点之一。

由于 θ 不为 0° 的试样拉伸变形较大, 因此常常采用云纹法测试这类试样的拉伸变形^[19], 同时为简化操作和提高测试精度, 还采用微机图像处理技术对云纹图的条纹进行分析。要指出的是, 对于 θ 不同的试样, 拉伸变形测试选用的光栅片节距不同, 如对于 θ 为 0° 和 15° 的试样, 选用 $40 \text{ 线} \cdot \text{mm}^{-1}$ 的光栅片; 对于 θ 为 60° 和 90° 的试样, 选用 $12 \text{ 线} \cdot \text{mm}^{-1}$ 的光栅片;

对于 α 为 30° 和 45° 的试样, 选用 20 线 $\cdot\text{mm}^{-1}$ 的光栅片。也就是说, 根据试样的刚性来选用相应节距的光栅片。

2.3 钢丝帘线/橡胶复合材料的泊松比

钢丝帘线/橡胶复合材料的泊松比通常是指 μ_{12} 和 μ_{21} 可以通过 $\mu_{21} = \mu_{12} \frac{E_2}{E_1}$ 计算得出。文献[18]指出, 钢丝帘线体积分数不同的复合材料 μ_{12} 值不同。用云纹法测试 μ_{12} 时, 为了提高云纹图的质量, 正轴试样的长宽比取 20:1、偏轴试样的长宽比取 10:1 较好; 将不同节距的光栅片贴附在试样中段部位(如图 3 所示)可以很方便地获得纵向及横向变形量, 从而计算出 μ_{12} 值。

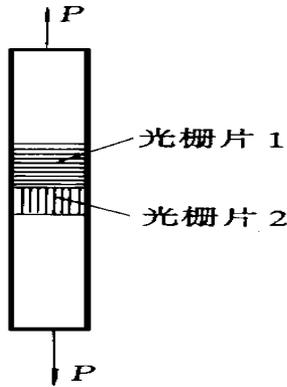


图 3 云纹法光栅片粘贴示意图

一个非常有趣的现象是测得的钢丝帘线/橡胶复合材料的 μ_{12} 大于 1。这是因为复合材料在 1 和 2 两个主方向上的弹性模量差异较大, 即 $|\mu_{12}| < (E_1/E_2)^{\frac{1}{2}}$ 。但在相同条件下, 若用哈尔平-蔡方程式计算, 则得出 μ_{12} 为 0.50 ~ 0.52 的结果。这就是说, 哈尔平-蔡方程式的理论算法在大刚度比钢丝帘线/橡胶复合材料弹性常数计算中的应用还有待进一步探讨。

不同的单层复合材料的 μ_{xy} 的测定见文献[18]。云纹法测试结果表明, 单层复合材料的 μ_{xy} 随 α 的增大而减小。其原因是随着 α 的增大, 钢丝帘线/橡胶复合材料的横向变形减小。

2.4 钢丝帘线/橡胶复合材料剪切模量的测定

钢丝帘线/橡胶单层(正轴)复合材料的 G_{12} 可用偏轴拉伸(α 为 45°)或 $\pm 45^\circ$ 层合板拉

伸试验来测定。其 G_{12} 的计算式为:

$$G_{12} = \frac{\tau_{12}}{\gamma_{12}} = \frac{\sigma_x}{2(\epsilon_x - \epsilon_y)} = \frac{E_x}{2(1 + \mu_{xy})}$$

式中, τ_{12} 为剪切应力, γ_{12} 为剪切应变, σ_x 为偏轴拉应力, ϵ_x 为纵向应变, ϵ_y 为横向应变。

由于子午线轮胎带束层结构复合材料中钢丝帘线的 α 不为 0°, 因此 G_{xy} 不能用上述方法而应用轨道剪切法测试。复合材料的 G_{xy} 应在钢丝帘线处于拉伸状态下测试, 否则帘线受压会使试样翘曲而影响测试结果。对于 α 为 0° 和 90° 的复合材料, 一般采用三轨道(双剪)剪切法(如图 4 所示)测试; 对于 α 为 72°, 45° 和 18° 的复合材料, 一般采用两轨道(单剪)剪切法(如图 5 所示)测试 G_{xy} 。由于普通电阻应变计的基底材料与钢丝帘线/橡胶复合材料性质不匹配, 因此采用几何变形法将其变形图像在微机上进行扫描处理以求得 G_{xy} 。从测试结果看出, G_{xy} 先随 α 的增大而增大, 至 45° 时达最大值, 然后随 α 的增大而减小。

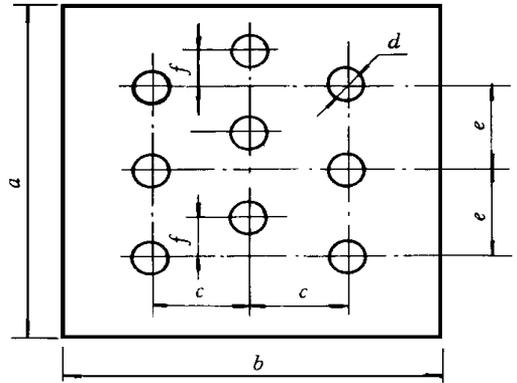


图 4 三轨道剪切试样

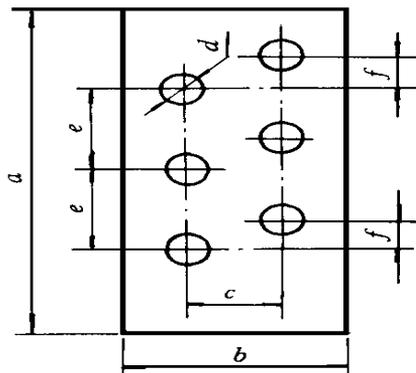


图 5 两轨道剪切试样

3 钢丝帘线/橡胶复合材料弹性常数试验评价

对于具有大刚度比特性的轮胎帘线/橡胶复合材料弹性常数的测试和分析来说,在测试手段和技术的选择方面笔者做了大量的试验探索。实践证明,电阻应变计不适合此类复合材料弹性常数的测试。这是因为普通电阻应变计基底材料的性质与钢丝帘线/橡胶复合材料不匹配,其应变不协调;另外,应变计本身的尺寸、粘贴在试样表面的位置及钢丝帘线铺设排列状况等因素对测试结果的影响非常突出,尤其是在伴有耦合效应的大变形情况下,很难测得真正有表征意义的应变数据。为此,特用自制的电阻应变计传感器,以获得与实际情况相符的复合材料应力-应变关系^[20]。

云纹法能有效测试钢丝帘线/橡胶复合材料的变形,而且只要配备1台长焦距照相机和多套互相匹配、不同节距的光栅片,便可测得不同的拉伸试样变形云纹图;通过简单的几何换算或微机图像处理,还可将云纹图转换成相应的应变^[18,19],从而求得 E_1 和 E_2 。

为0的试样变形很小,其正轴拉伸(沿钢丝帘线方向拉伸)变形的测试宜采用灵敏度和精确度高的激光散斑法,以准确求出试样 E_1 。

测试钢丝帘线/橡胶复合材料的 G_{xy} 时,为消除剪切力造成的试样的翘曲变形,可采用特殊夹具来控制帘线的排列方向。另外,通过拍照成像测得剪切角再计算得出的 G_{xy} 还不够精确。

钢丝帘线的“泊松比”在定义和提法上似乎欠妥。众所周知,泊松比是对材料而言的,不可直接套用于结构物——钢丝帘线上,因此有必要进行修正。 μ_c 概念的提出使 μ_c 的概念得到了必要的修正。由此可见,采用哈尔平-蔡方程式反算 μ_c 的传统方法应慎用,至少应将计算结果与实际试验结果核对应后再用于轮胎有限元分析中复合材料弹性常数的计算上。

4 结语

本文介绍的试验测试方法仅适用于简化为单层板横向同性体复合材料的性能测算。如果用于多层复合材料的性能测算,则会因其加载

变形过程中的耦合效应等问题导致测算准确性差。可以看出,轮胎复合材料力学性能的研究是个涉及面广且难度大的课题,因此在推广应用轮胎有限元分析的同时,一定要重视轮胎复合材料性能的研究。

参考文献:

- [1] Clark S K. A Review of cord-rubber elastic characteristics [J]. Rubber Chemistry and Technology, 1964, 37(5): 1365-1389.
- [2] Gough V E. Stiffness of cord and rubber characterization [J]. Rubber Chemistry and Technology, 1968, 41(4): 988-1021.
- [3] Ko Honyim. Three-dimensional mechanical characterization of anisotropic composites [J]. Journal of Composite Materials, 1974, 8(4): 178-190.
- [4] Patel H P. Radial tire cord-rubber composites [J]. Rubber Chemistry and Technology, 1976, 49(4): 1095-1110.
- [5] Walter J D, Patel H P. Approximate expression for the elastic constants of cord-rubber [J]. Rubber Chemistry and Technology, 1979, 52(4): 710-724.
- [6] Cembrola R J, Dudek T J. Cord/rubber material properties [J]. Rubber Chemistry and Technology, 1985, 58(4): 830-856.
- [7] Parhizgar S, Weissman E M, Chen C S. Determination of stiffness properties of single-ply cord-rubber composites [J]. Tire Science and Technology, 1988, 16(2): 118-125.
- [8] Parhizgar S. Determination of stiffness properties of multi-ply cord-rubber composites [J]. Tire Science and Technology, 1989, 17(3): 201-216.
- [9] Clark S K, Dodge R N. Nonlinear cord-rubber composites [J]. Tire Science and Technology, 1990, 18(3): 191-200.
- [10] Padovan J. Millipolar theory of twisted cord-reinforced composites [J]. Tire Science and Technology, 1995, 23(3): 138-174.
- [11] Padovan J. End effects in twisted cord-rubber composites [J]. Tire Science and Technology, 1996, 24(4): 321-338.
- [12] Abe A, Kamegawa T, Kajima Y N. Optimum Young's modulus distribution in tire design [J]. Tire Science and Technology, 1996, 24(3): 204-219.
- [13] 许叔亮, 俞 淇, 曹利贞, 等. 轮胎(帘线-橡胶)复合材料力学性能测定的研究 [J]. 橡胶工业, 1987, 33(8): 27-33.
- [14] Chariton D J, Yang J. A review of methods to characterize rubber elastic behavior for use in finite element analysis [J]. Rubber Chemistry and Technology, 1993, 67(3): 481-503.
- [15] 王登祥. 轮胎胶料有限元分析的实验基础及计算 [J]. 轮

- 胎工业,1998,18(12):721-729.
- [16] 顾学甫,涂玉谦,俞淇. 用截面固结法测定钢丝绳线泊松比[J]. 橡胶工业,1997,44(3):173-175.
- [17] 顾学甫,涂玉谦,俞淇,等. 散斑法测定钢丝绳线-橡胶复合材料弹性模量的研究[J]. 橡胶工业,1995,42(8):493-495.
- [18] 俞淇,李光吉,涂玉谦. 帘线/橡胶单层复合材料弹性常数的计算与实验[J]. 橡胶工业,1993,40(7):430-434.
- [19] 俞淇,涂玉谦,顾学甫. 云纹法对钢丝绳线-橡胶复合材料力学性能测定的研究[J]. 华南理工大学学报,1994,22(6):174-179.
- [20] 顾学甫,涂玉谦,俞淇. 钢丝绳线-橡胶复合材料弹性系数的测定[A]. 李顺林. 复合材料进展——第八届全国复合材料会议论文集[C]. 北京:航空工业出版社,1994. 732-734.

收稿日期:2000-10-24

Determination of elastic constants for tire cord/ rubber composite

YU Qi, DING Jian-ping, GU Xue-fu, TU Yu-qian

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The determination of the elastic constants for cord/ rubber composite in FEA of tire was investigated based on the micro- and macro-mechanical theories. The application of Halpin-Tsai formula, Gough-Tangorra formula and Akaka-Hirano formula in the calculation of the elastic constants of cord/ rubber composite (longitudinal elastic modulus E_1 , lateral elastic modulus E_2 , shear modulus in plane G_{12} , primary Poisson's ratio μ_{12} and second Poisson's ratio μ_{21}) which were simplified as a single-ply composite of same nature in lateral direction was described. It was proposed that the charge percentage of the cross-sectional area of steel cord could be used to characterize the Poisson's ratio of steel core μ , and recommended that the fixed cross-section method was used to determine μ . The elastic constants of different cord/ rubber composites could be determined by laser spot scatter method, clouding method and rail shear method. The phenomenon that μ was greater than 1 was discussed.

Key words: tire; cord/ rubber composite; elastic constant; micro-mechanism; macro-mechanism

国家决定免征子午线轮胎消费税

中图分类号:F810.422 文献标识码:D

2000年12月28日,财政部和国家税务总局以财税(2000)145号文,联合下发了关于调整汽车轮胎消费税政策的通知。通知指出:经国务院批准,自2001年1月1日起,对“汽车轮胎”税目中的子午线轮胎免征消费税,对翻新轮胎停止征收消费税,其它轮胎继续按10%税率征收消费税。

自1994年国家税制改革以来,消费税问题一直困扰着轮胎行业。特别是近几年来,随着原材料价格的大幅度上涨、斜交轮胎生产能力的盲目扩大以及产品结构调整跟不上相关工业发展步伐等问题的出现,轮胎市场的竞争更加激烈。加之外部政策的影响,使行业经济效益大幅度下降,直至出现亏损。因此,轮胎行业各

企业、轮胎工业协会、橡胶协会、中联橡胶(集团)总公司等单位多次向上级反映情况,呼吁取消轮胎产品消费税。国家石油和化学工业局也多次向有关主管部门汇报,反映轮胎行业存在的实际问题。国家综合部门经过慎重考虑,权衡利弊,作出了免征子午线轮胎消费税的决定。

免征子午线轮胎消费税,将从政策方面有力地促进轮胎行业产品结构的调整,加快轮胎产品升级换代的步伐。

这一政策的出台应引起各有关部门和企业的重视,认真研究切实可行的政策执行方案,特别是应积极配合税务部门,提出具体的操作办法。要在有关部门的组织下,做好企业间的协调工作,避免打价格战,切实享受到政策带来的好处,增强企业自我积累和自我改造的能力。

(国家经贸委行业规划司 刘玉岐供稿)