

# 地面高速轮胎复合材料生热专家系统的应用

刘天臣 王海灵 许传民 赵平

(北京橡胶工业研究设计院 100039)

**摘要** 介绍地面高速轮胎复合材料生热计算机专家系统。该系统在对不同规格、不同厂牌的轮胎进行大量测温试验及材料生热性能试验的基础上,利用轮胎材料生热性能和导热性能的研究结果,采用有限元法计算轮胎各部件在各种使用条件下的温度场分布,并进一步研究了轮胎生热与气压、速度及负荷等使用条件之间的关系。应用该系统有利于各种使用条件的合理匹配,确保轮胎正常使用。

**关键词** 轮胎,专家系统,生热,复合材料,有限元

众所周知,轮胎生热直接关系到轮胎的使用性能和寿命。轮胎在行驶过程中温度过高会加速橡胶材料的老化进程,使其各项性能下降,长时间使用会造成脱层,乃至破坏。影响轮胎生热的因素很多,其中主要包括轮胎的工作条件(诸如行驶速度、径向负荷、内压、路面状况、气温等)以及轮胎的结构和配方。

对轮胎生热问题,国内外研究人员进行了多年的探索。由于滚动中的轮胎生热是一个动态的过程,因此不论是轮胎制造商,还是轮胎用户都一直希望对其平衡温度场分布进行模拟计算,从而了解轮胎在特定的使用条件下的生热情况及可能的破坏行为。国外从 40 年代起就开始了此项工作,并且数十年从未间断,研究人员在大量试验的基础上,分析行驶过程中轮胎的受力状态及热学特征,对轮胎的生热本质有了较深入的理解。随着现代计算机技术的飞速发展,研究人员得以将大量的信息进行分析归纳,获得了一些规律性的认识。

我国也早就开始了轮胎室内测温试验,六七十年代也进行了轮胎公路测温,获取了不少试验数据,但由于没有进行及时的归纳总结,对轮胎在行驶过程中的生热规律只有一些经验性的认识,不是很系统。近年来,随着我国高速公路的飞速发展,汽车对轮胎使用性能的要求日益复杂也日益苛刻,轮胎生热问题也变得日益尖锐。严峻的现实要求我们对轮胎在行驶过程

中的生热情况有一个比较准确的把握。

基于这种现实,我们萌生了开展此项研究的想法。我们的宗旨不仅仅是对行驶过程中的轮胎温度场分布进行模拟,还希望它能对某种轮胎在某种使用条件下的生热情况进行预测,从而对轮胎的结构设计、配方设计以及合理使用提供帮助。

专家系统是一类能够模仿人类专家行为的程序,它可以根据用户的需要及所提供的必要信息进行推理,发表对该问题的意见。专家系统的开发自 60 年代以来在国内外发展十分迅速,成为人工智能技术体现最好的一个研究领域,已在诸多方面获得应用,并收到很好的效果。通过几年的研究实践,我们认为应用专家系统强大的智能推理机能进行轮胎生热研究、预测轮胎温度十分有效。

## 1 系统的设计

建造专家系统最基本的工作是总结和归纳行业内专家的经验及有关知识。我们一方面对从事过轮胎生热研究及轮胎试验工作的专家进行了广泛咨询,另一方面对不同规格、不同厂牌的轮胎进行了大量的测温试验及材料的生热性能试验,为系统的建立打下了基础。在系统设计中,我们从使用者的角度出发,力求快捷准确,方便实用。系统由咨询和绘图两部分 5 个模块组成,在总控模块的控制下运行,其总体结构框图如图 1 所示。

专家咨询是此项研究的核心部分,本系统的控制和推理是由目标引导的逆向推理,系统根据用户提出的目标,在控制策略的引导下首先搜索目标规则,然后跟踪规则前提中所涉及

**作者简介** 刘天臣,男,1938 年出生。高级工程师。1964 年毕业于山东大学化学系,长期从事轮胎配方研究和计算机辅助设计软件开发工作。参加的胶料配方优化项目获原化工部科技进步二等奖。已发表论文 5 篇。

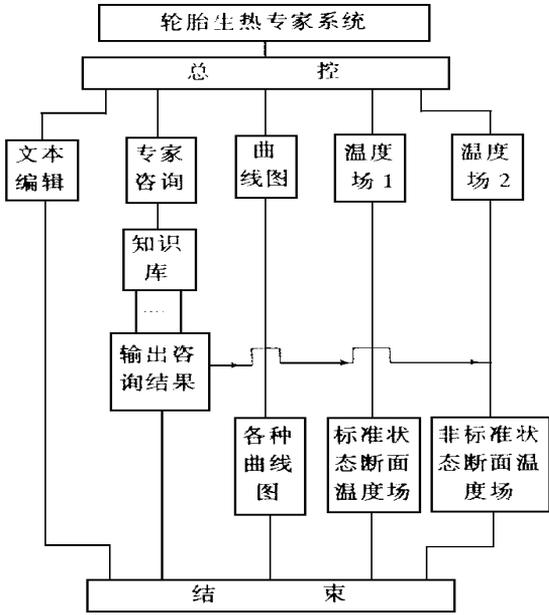


图1 专家系统总体结构框图

到的参数,跟踪方法是依次调用所有可以决定这些参数的规则。本系统采用 M1 专家系统工具,系统中所需的各种文件的建立和编辑采用文本编辑软件完成。

在行驶过程中,由于反复变形,轮胎各部位出现各种应力-应变,引起较大的滞后损失。滞后损失转变为热能,即造成轮胎温度升高。为准确模拟轮胎滚动时的平衡温度场分布,首先必须建立能够概括引起轮胎生热诸多因素的物理模型,并在此基础上进行数学描述,建立数学模型。

本系统采用有限元法计算轮胎温度场分布。为了能更好地反映轮胎不规则的形状及复杂的材料组成,我们采用应用极广的等参单元。划分网格时,根据轮胎升温情况采用疏密不同的网格,图 2 和 3 分别为 9.00 - 20 及 185/70R13 轮胎的网格划分情况。

对于轮胎这类形状复杂的物体,用有限元

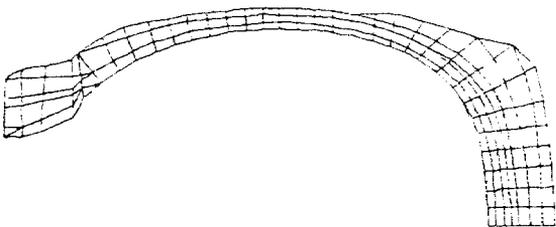


图2 9.00 - 20 轮胎有限元网格划分图

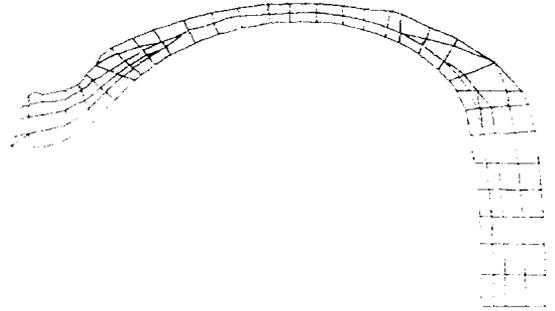


图3 185/70R13 轮胎有限元网格划分图

法求解生热问题不但对计算机硬件要求高,而且耗机时,故我们在编制有限元程序时,采用了较先进的模块化设计方法,使整个程序简捷明了,工作效率高。

本系统在设计中力求方便实用,不仅咨询快速准确,而且图文并茂,结果一目了然。系统的编程具有流行软件的风格,采用了屏幕菜单、下拉式子菜单、对话框、鼠标和键盘结合使用等编程技巧,程序界面清晰美观,操作灵活方便。

## 2 系统的应用

轮胎在使用过程中的生热问题非常复杂,因生热而引起的轮胎损坏占相当大的比例。目前,车辆超载现象日益严重,使得生热问题的系统研究迫在眉睫。本系统分别对各种使用条件下轮胎各部位的温度场分布进行模拟计算,并且进一步探讨了轮胎生热与气压、速度及负荷等使用条件之间的关系。在此我们以目前使用较多的 185/70R13 及 9.00 - 20 两规格轮胎为例,就系统的功能作一简要介绍。

本系统的运行环境为:

硬件配置:386 以上个人计算机 1 台,内存 4M 以上,有浮点协处理器,640 mm × 480 mm 的 256 种颜色显示器,24 针(喷墨或激光)打印机 1 台。

软件环境:DOS 5.0 以上版本,UCDOS, M1 专家系统工具及 PZP 打印驱动程序。

### 2.1 专家咨询

轮胎在实际使用中的升温情况难以准确把握。应用本系统,用户可以以人机对话的方式咨询到某种轮胎在各种可能的使用条件下的平衡温度及轮胎为某一温度时可选择的行驶速度、负荷以及气压等,还可以对组成轮胎的各部件胶料的导热性能和生热性能、轮胎的下沉量

及滚动阻力进行咨询。图 4 和 5 为某种胶料在各种温度及变形频率下弹性模量及损耗因子的变化情况。

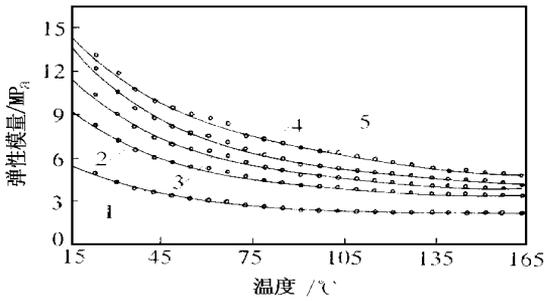


图 4 胶料弹性模量随温度及频率变化情况  
频率:1—1 Hz;2—4 Hz;3—10 Hz;4—25 Hz;  
5—40 Hz

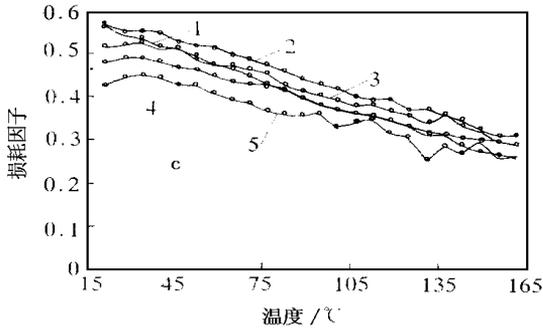


图 5 胶料损耗因子随温度及频率变化情况  
注同图 4

通过专家咨询,用户可以较为全面地了解该规格轮胎的生热状况,有利于轮胎的合理使用,延长轮胎寿命。

### 2.2 轮胎温度与各项使用条件之间的关系

本系统在概括性地描述轮胎整体生热状况的基础上,又进一步探讨了轮胎温度与各项使用性能之间较为详尽的关系。系统可以直观地绘出关系曲线,使用户一目了然。在本系统中,用户只要固定负荷、气压或行驶速度三者之一,系统即可绘制出轮胎生热与其它两项使用条件之间的关系曲线。图 6~8 所示为某厂 185/70R13 轮胎的一组曲线。图 9~14 为某厂 9.00-20 轮胎的一组曲线。

现在我们以图 6 为例说明一下图示内容。图中固定的使用条件为速度  $v = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 横坐标负荷的变化范围为 4.5~6.5 kN,3 条曲线表示气压分别为 250,300 和 350 kPa 时的温度-负荷曲线。通过这一系列曲线,用户可以清晰地看出轮胎温度与使用条件的关系。

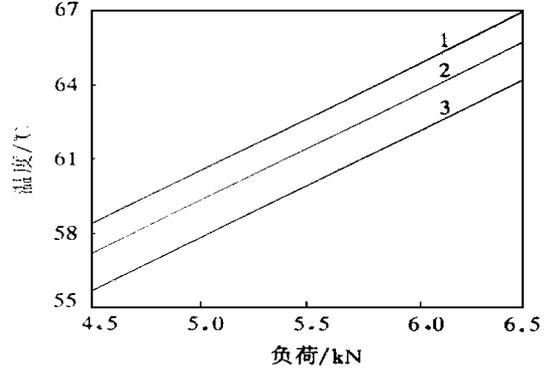


图 6 不同气压下 185/70R13 轮胎温度  
随负荷变化的情况  
气压:1—250 kPa,2—300 kPa,3—350 kPa;  
速度:100 km h<sup>-1</sup>

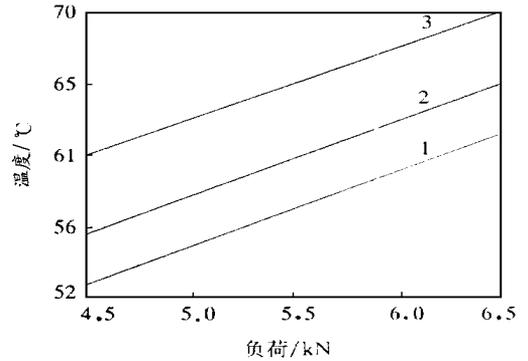


图 7 不同速度时 185/70R13 轮胎温度  
随负荷变化的情况  
速度:1—80 km h<sup>-1</sup>,2—100 km h<sup>-1</sup>,3—120 km h<sup>-1</sup>;  
气压:280 kPa

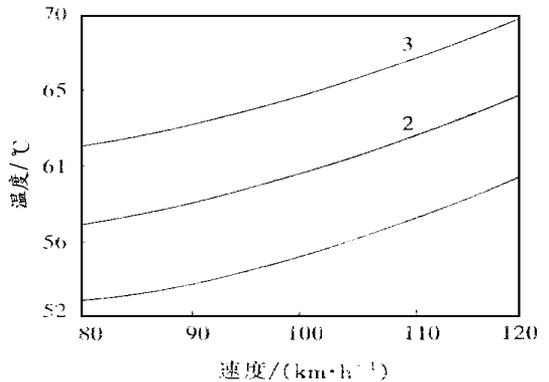


图 8 不同负荷下 185/70R13 轮胎温度  
随速度变化的情况  
负荷:1—4.5 kN,2—5.5 kN,3—6.5 kN;  
气压:280 kPa

### 2.3 行驶过程中轮胎的温度场分布

众所周知,即使同一条轮胎,在使用过程中

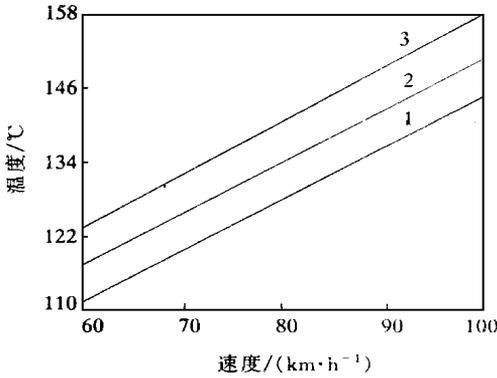


图9 不同负荷下9.00-20轮胎温度随速度变化的情况  
 负荷:1—25.0 kN,2—27.5 kN,3—30.0 kN;  
 气压:770 kPa

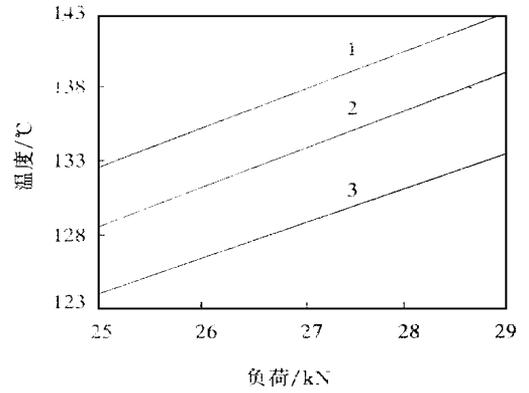


图12 不同气压下9.00-20轮胎温度随负荷变化的情况  
 气压:1—700 kPa,2—770 kPa,3—850 kPa;  
 速度:80 km·h<sup>-1</sup>

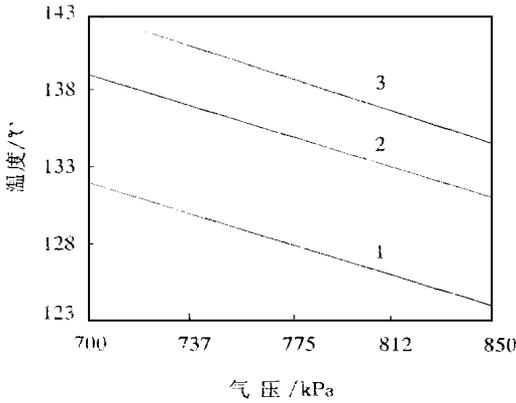


图10 不同负荷下9.00-20轮胎温度随气压变化的情况  
 负荷:1—25.0 kN,2—27.5 kN,3—29.0 kN;  
 速度:80 km·h<sup>-1</sup>

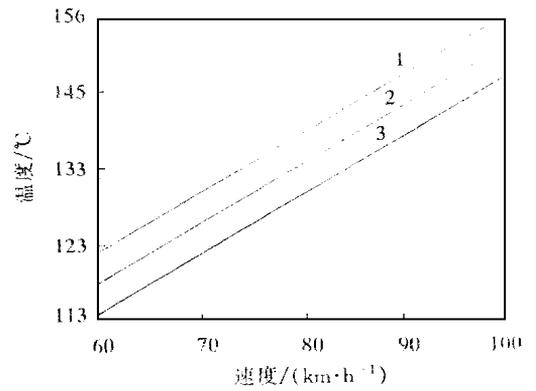


图13 不同气压下9.00-20轮胎温度随速度变化的情况  
 气压:1—700 kPa,2—770 kPa,3—850 kPa;  
 负荷:27.5 kN

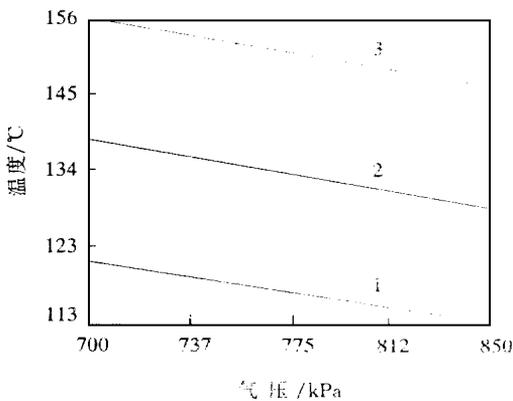


图11 不同速度时9.00-20轮胎温度随气压变化的情况  
 速度:1—60 km·h<sup>-1</sup>,2—80 km·h<sup>-1</sup>,3—100 km·h<sup>-1</sup>;  
 负荷:27.5 kN

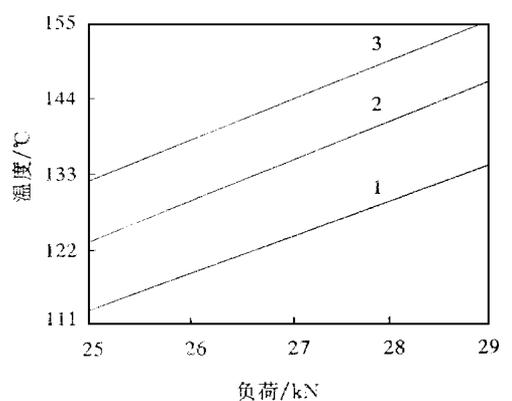


图14 不同速度时9.00-20轮胎温度随负荷变化的情况  
 速度:1—60 km·h<sup>-1</sup>,2—80 km·h<sup>-1</sup>,3—100 km·h<sup>-1</sup>;  
 气压:770 kPa

不同部位的生热情况也存在很大差异。为了较为具体地反映轮胎整体生热状况,本系统可以以图形的方式将轮胎在行驶过程中各部位的温度分布显示给用户。图 15 为 185/70R13 轮胎在某种使用条件下的温度场分布图。从图中可以较为清晰地了解轮胎生热较集中的区域以及最高温度和最低温度及其在轮胎中的具体位置。

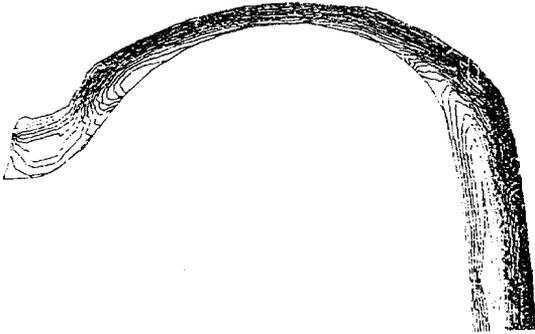


图 15 185/70R13 轮胎在某种使用条件下的温度场分布图

速度:80 km·h<sup>-1</sup>; 负荷:5.5 kN;  
气压:280 kPa

### 2.4 等温曲线图

系统中的等温图可以使用户了解轮胎在理想的温度条件下行驶时使用条件可选择的范围。为使用户能够更为合理地选择轮胎使用条件,本系统还开发了轮胎生热等温曲线。依据曲线图,用户可以了解轮胎在理想的温度条件下行驶时,使用条件可选择的范围及其合理的匹配方式。图 16~18 为 9.00-20 及 185/70R13 轮胎使用条件匹配情况。

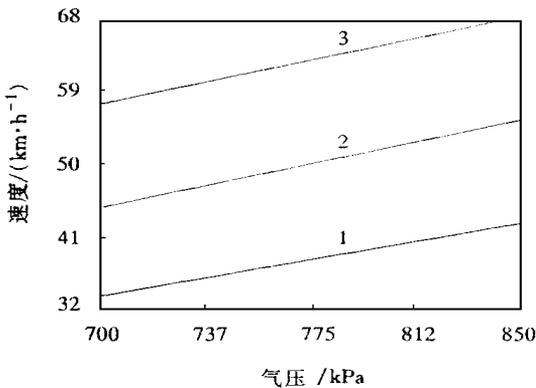


图 16 9.00-20 轮胎使用条件匹配情况(1)

温度:1—100 ,2—110 ,3—120 ;  
负荷:27.5 kN

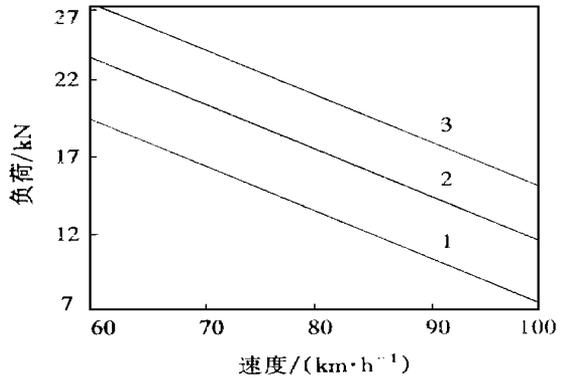


图 17 9.00-20 轮胎使用条件匹配情况(2)

温度:1—60 ,2—70 ,3—80 ;  
速度:100 km·h<sup>-1</sup>

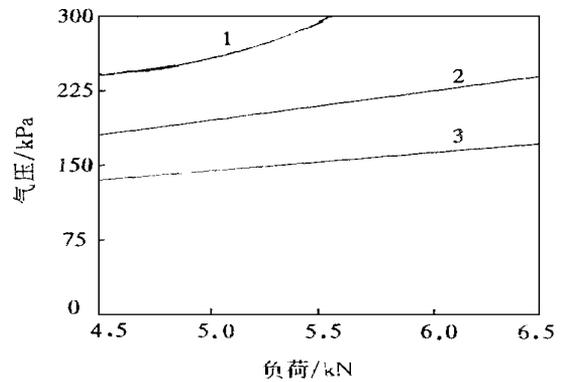


图 18 185/70R13 轮胎使用条件匹配情况

温度:1—100 ,2—110 ,3—120 ;  
气压:770 kPa

总而言之,轮胎生热专家系统的研制成功有助于轮胎制造商、销售商及轮胎用户对使用过程中的轮胎生热进行较为全面具体的了解。应用本系统可以避免因使用条件选择不当而造成的轮胎损坏,从而节约成本,提高经济效益。轮胎设计制造人员依据本系统可以避免造成轮胎生热过高或过分热集中的设计,提高轮胎设计制造水平。

### 3 结语

地面高速轮胎复合材料生热专家系统是我们借助现代计算技术和分析方法,结合我们关于轮胎生热问题数十年的研究经验及最新认识,通过大量试验,开发成功的具有智能推理功能的软件包。它具有如下作用:

(1) 通过专家系统,我们对行驶过程中轮胎升温情况及生热规律有了科学的认识以及较为准确的把握,结束了凭经验进行推测的局面。

(2) 专家系统可以为轮胎设计制造人员提供设计参考及理论依据。根据不同轮胎不同的使用条件及生热性能要求,设计者可以进行有预见性的设计。

(3) 通过专家系统,轮胎用户也可以较为

准确地了解轮胎生热情况,有利于轮胎合理使用,避免因过度超速、超载造成的人员及财产损失,并减少因轮胎使用不当而产生的经济纠纷。

第十届全国轮胎技术研讨会论文

## Application of Specialist-simulating Software System for Speed Tire Composite Heat Build-up

*Liu Tianchen, Wang Hailing, Xu Chuanmin and Zhao Ping*

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry 100039)

**Abstract** A specialist-simulating software system for speed tire composite heat build-up was described. The temperature profile of the various tire components at different conditions was calculated with FEM, and a further study was made on the relationship between the tire heat build-up and the operating conditions, such as inflation pressure, speed, load and so on by using the software system based on the extensive temperature measurement tests and material heat build-up and heat conductivity tests of the tires from different manufactures. The application of the system was beneficial to the reasonable match of various operating conditions and the normal service of tire.

**Key words** tire, specialist-simulating software system, heat build-up, composite, FEM

### 海豚公司工业实验项目通过验收

1998年12月21日,国家经贸委列入1996年国家技术开发项目的“高性能炭黑及特种炭黑国家级工业实验项目”,通过了由天津市经委、中科院煤化所、天津大学等有关单位组成的专家组的鉴定验收。该项目由天津海豚炭黑有限公司承担,历时19个月,建设了高性能炭黑生产线和色素炭黑生产线各一条。验收组认为,该项目产品的技术含量与附加值高,高性能炭黑达到了国际先进水平,色素炭黑填补了国内油炉法生产炭黑的空白。

(摘自《中国化工报》,1999-01-02)

### 台商在内地建轮胎厂

我国台湾省轮胎厂商纷纷在祖国内地投资建轮胎生产厂。华丰橡胶公司在江苏常熟市投资建轮胎厂。该项目二期扩建工程将于今年一季度完工。届时汽车轮胎日产能力将大大提高。该公司生产所需原料主要从海外采购,目的是为了降低成本和保证原料质量及供应渠道畅通。

此外,台湾南港轮胎公司投资7.6亿元新台币,在张家港建轮胎厂。建大工业公司在深圳建立的自行车、摩托车轮胎生产厂也已进入三期扩建工程。

(摘自《中国化工报》,1999-01-04)

### 台将轮胎销售重心转向美国

我国台湾省正新、建大、南港等轮胎公司纷纷调整产品外销策略,降低东南亚、中南美洲和中东出口所占比例,将外销重心放到美国、欧洲,并加强祖国内地和台湾省市场的经营。

台湾省轮胎业调整外销策略,主要是因为目前东南亚和中南美洲市场需求下降,而在祖国内地及美欧市场仍能保持一定的销售量。台湾省轮胎厂商为了适应这种情况,致力于开发新产品和加强轮胎需求较强地区的销售能力。如正新工业公司设在上海、天津的生产企业扩建都在继续进之中,没有受到经济不景气的影响。

(摘自《中国化工报》,1998-12-31)