

低断面轮胎硫化工艺模拟

唐霞¹, 禹国军^{2*}

(1. 北京化工大学 机械工程学院, 北京 100029; 2. 上海海事大学 商船学院, 上海 201306)

摘要: 针对硫化时间、热源温度和预热温度, 用ABAQUS有限元软件建立低断面255/30R22轮胎三维模型, 并进行了3组对比模拟。结果表明: 对温度场影响最大的是热源温度, 最小的是预热温度; 对硫化程度影响最大的是热源温度, 最小的是硫化时间。根据数据分析提出了最优硫化工艺参数。

关键词: 低断面轮胎; 工艺优化; 硫化程度; 温度场

中图分类号: TQ336.1⁺; TQ330.6⁺ **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8171(2016)12-0742-06

汽车行业的发展促使人们对轮胎的安全性和舒适性提出了更高的要求。轮胎不仅在结构设计上要有突破, 在轮胎硫化工艺的制订上也不能停留在根据经验或者半经验的方法上, 沿用过去的“宁过勿欠”的观念, 而是利用计算机模拟轮胎的实际硫化历程并计算各部位的硫化程度, 确定合理的硫化条件, 从整体上提高轮胎的性能^[1]。轮胎具有复杂的结构和组分, 各个部分厚薄不一, 在硫化过程中有的部分会过硫化, 而有的部分会欠硫化, 因此了解轮胎各部位的硫化历程对优化硫化工艺有着重要意义。通过改进结构、材料和硫化工艺, 可用最低热量使轮胎获得最佳力学性能, 从而达到低碳节能的目的。工厂一般先测出轮胎硫化温度, 进而算出硫化程度。相比计算机模拟, 实际测量的方法耗时耗力, 且没有考虑后硫化对硫化程度的影响, 保守的工艺会造成能源浪费。橡胶硫化是轮胎生产过程中最耗能的一个环节, 通过计算机有限元模拟获得轮胎硫化温度场和硫化程度场, 根据模拟结果调整硫化温度或者硫化时间, 能达到节能的目的。

本工作以低断面255/30R22轮胎为例, 用ABAQUS软件建立有限元模型, 进行3组模拟, 分别改变热源温度、硫化时间和预热温度。3组模拟均考虑反应热。用子程序HETVAL加载硫化反应热, 分别得到采样点的温度场, 编写子程序

UVARM得到硫化程度场^[2]。

1 有限元仿真

1.1 有限元模型

纵观目前为止的轮胎硫化过程数值模拟技术可以发现, 复合材料传热性能的各向异性均未被考虑。一般来说, 复合材料力学性能是各向异性的, 其热学性能也是各向异性的^[3]。本工作建立二维轴对称模型, 去除骨架材料只保留胶料, 认为复合材料热力学性能为各向同性, 并主要研究轮胎的温度场和硫化程度场。模型尽可能逼近实际情况, 包括上下热板、胶囊、花纹块、中模套和轮胎。模型共有3 654个单元。轮胎硫化的二维轴对称模型和三维模型如图1所示。

1.2 边界条件

虽然每种胶料的比热容和导热率相差不大, 为了确保精度, 仍然考虑了每种胶料的热物理参数随温度的变化^[4]。根据试验现场环境和实际工况设定轮胎的初始温度为20 ℃, 胶囊和模具的温度为150 ℃。硫化工艺分为5个阶段, 总时间为1 540 s, 每个阶段的边界条件如下。

第1阶段轮胎在模具中。对流换热边界条件: 胶囊内的过热蒸汽、蒸汽室的蒸汽、上下热板的温度都设定为180 ℃。这个过程持续580 s。

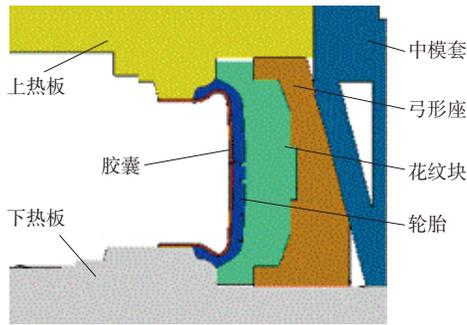
第2阶段保压60 s。此时各类边界条件不变。

第3阶段补充氮气。这个过程持续60 s。

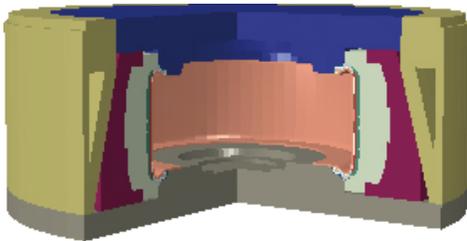
第4阶段抽真空。这个过程持续80 s。胶囊和中模套的对流边界条件解除, 其余边界条件不变。

作者简介: 唐霞(1990—), 女, 湖北襄阳人, 北京化工大学硕士, 现任职于长江大学, 主要进行轮胎力学和热力学模拟分析研究。

*通信联系人



(a) 二维轴对称模型

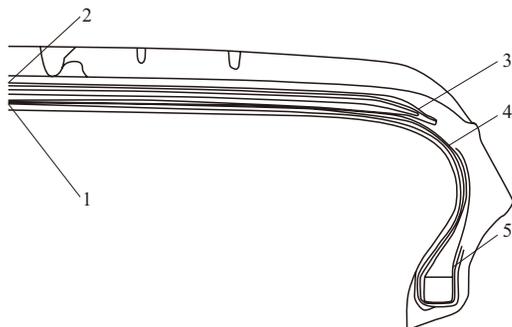


(b) 三维模型

图1 轮胎硫化有限元模型

第5阶段轮胎从模具中取出。这个过程持续760 s。整个轮胎暴露在空气中,主要的散热方式为辐射,辐射因子取0.94。

温度采样点位置如图2所示。



1—上模气密层与胎体帘线间;2—中心胎面胶与冠带条间;
3—上模胎面胶与冠带条间;4—胎侧胶与胎体帘布层间;
5—上模三角胶芯。

图2 温度采样点示意

为了研究硫化参数对胶料硫化的影响设计了3组对比模拟。第1组改变硫化时间即加热时间为780,720和660 s。第2组改变热源温度即蒸汽温度为180,170和160 °C。第3组改变预热温度即初始设定温度为150,140和130 °C。

1.3 硫化程度计算

本研究计算硫化程度的子程序UVARM的理

论基础是阿累乌尼斯方程式,其表达式^[4]为

$$\ln \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{E(T_1 - T_2)}{RT_1 T_2} \quad (1)$$

式中 τ_1 ——温度为 T_1 时的正硫化时间;

τ_2 ——温度为 T_2 时的正硫化时间;

R ——气体常数,为 $8.134 \text{ J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$;

E ——硫化反应活化能。

根据阿累乌尼斯方程式可以算出等效硫化时间(t_E)。

为直观地显示硫化反应进行程度,定义硫化程度变量(D)如下:

$$D = \frac{t_E}{t_{90}} \quad (2)$$

如果 $D > 1$,则为过硫化, $D < 1$,则为欠硫化, $D = 1$ 为正硫化状态。

轮胎各部位胶料的活化能是不一样的,图2所示1[#]—5[#]采样点处活化能的实测值分别为88.1, 85.1, 76.0, 92.6和94.6 $\text{kJ} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$ 。

2 结果与分析

2.1 硫化时间

前期通过采样点的温度模拟值与实测值的对比表明,考虑反应热的模拟是准确的,各点的温度曲线与实测曲线基本吻合。因此,仅改变硫化条件进行模拟值间的对比,而不再与实测值比较。

不同硫化时间下各采样点的温度-时间曲线如图3所示。

图3表明,硫化时间每缩短60 s,温度降低5 °C。在硫化前期和后硫化阶段各点的温度曲线不变,仅改变了最高温度和其所对应的时间。

不同硫化时间下各采样点的硫化程度-时间曲线如图4所示(直线G表示最优硫化点,下同)。

图4表明,三角胶芯处过硫化程度最高,各点硫化时间每缩短60 s,硫化程度减小0.3。通过对比可知,硫化时间可以优化为600 s。

由于各采样点的模拟趋势均相同,以下仅以1[#]采样点为例进行说明。

2.2 热源温度

不同热源温度下1[#]采样点的温度-时间曲线如图5所示。

图5表明,热源的变化在硫化初始阶段对胶

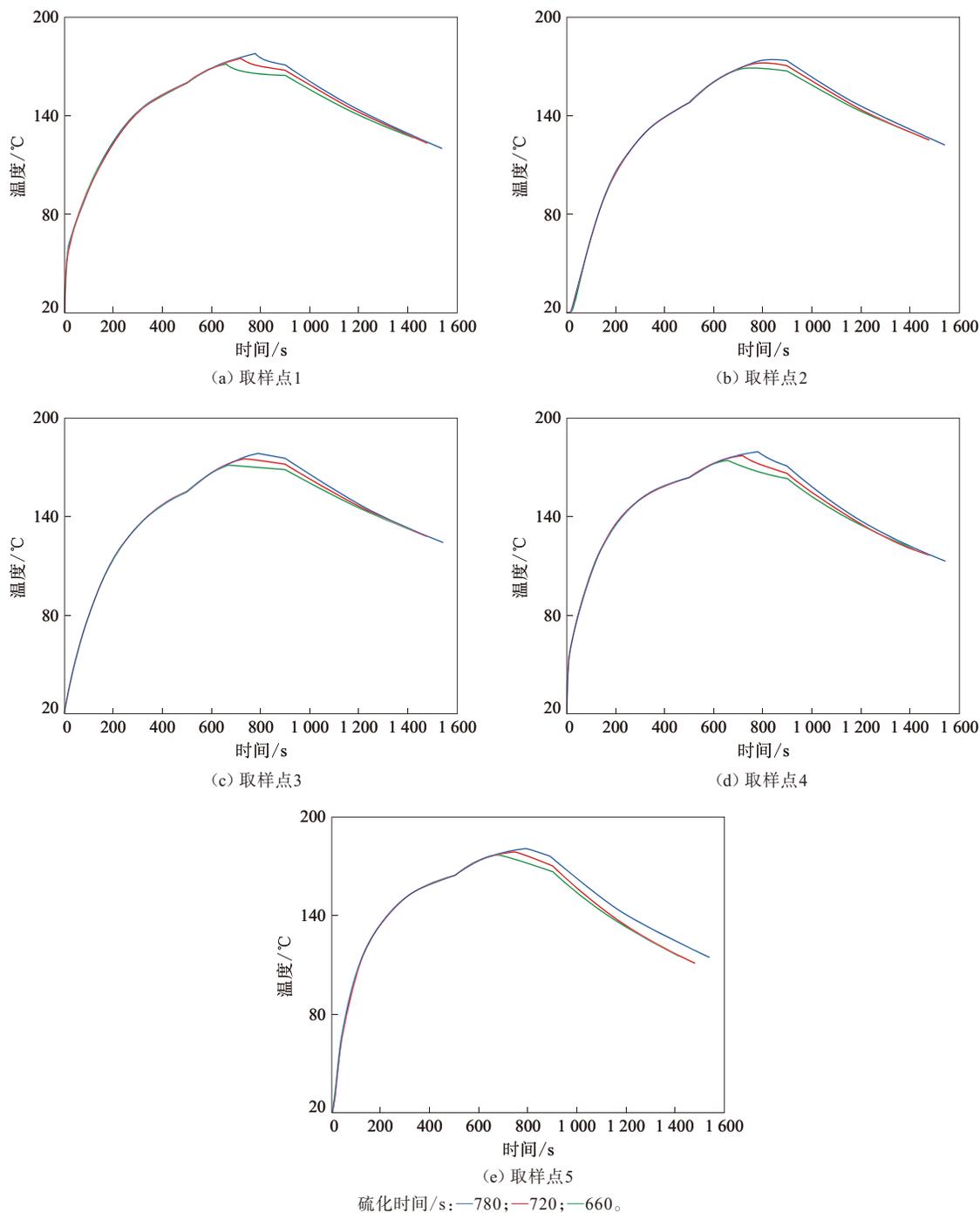


图3 不同硫化时间下各采样点的温度-时间曲线

料温度的影响不大,这是因为轮胎硫化初始阶段由模具的残余热量加热,热源没有发挥作用。热源的变化不仅改变最高温度而且导致整条曲线平移,热源温度每降低 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,各采样点的最高温度降低 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

不同热源温度下1#采样点的硫化程度-时间曲

线如图6所示。

由图6可见,热源对硫化程度的影响比硫化时间大,热源温度每降低 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,硫化程度减小1。传统工艺的热源可以优化为 $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 预热温度

不同预热温度下1#采样点的温度-时间曲线如

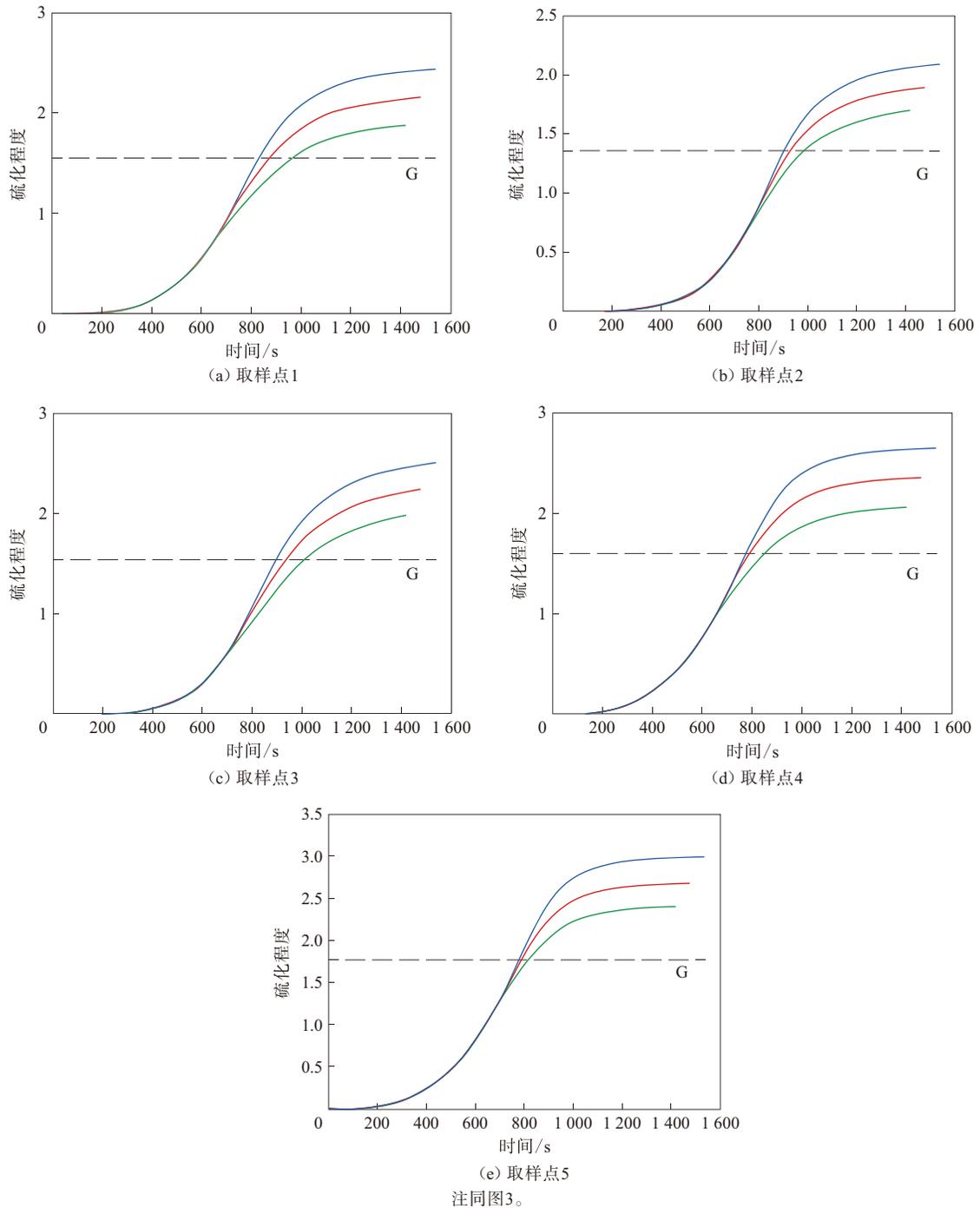


图4 不同硫化时间下各采样点的硫化程度-时间曲线

图7所示。

从图7可以看出, 预热温度每降低10 °C, 各点的温度曲线只向下平移微小的距离, 就对温度曲线的影响而言, 预热温度是3个因素中最弱的。

不同预热温度下1[#]采样点的硫化程度-时间曲线如图8所示。

从图8可以看出, 随着时间的积累, 温度曲

线向下偏移对硫化程度的影响很大, 仅次于硫化时间的影响。由图8可以看出最佳预热温度为130 °C。

3 结论

针对硫化时间、热源温度和预热温度主要做了3组模拟, 得到各自的温度场和硫化程度场。

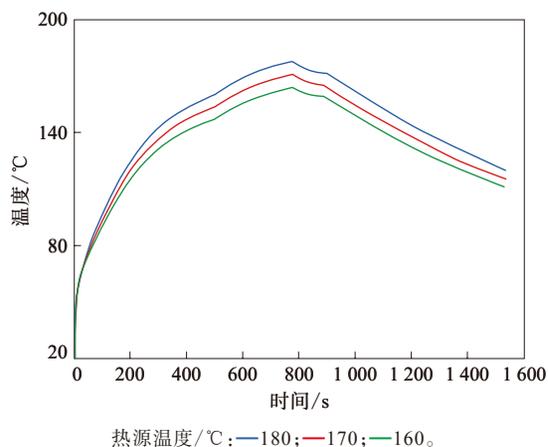


图5 不同热源温度下1#采样点的温度-时间曲线

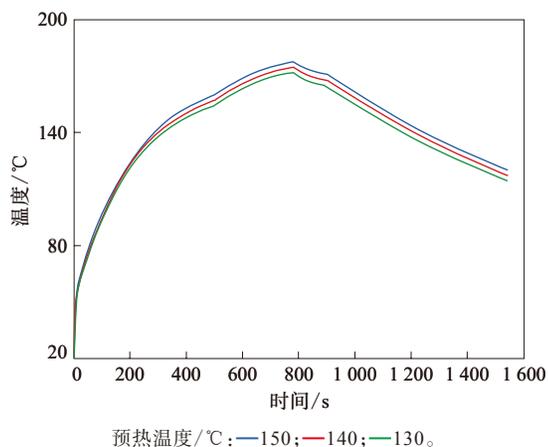


图7 不同预热温度下1#采样点的温度-时间曲线

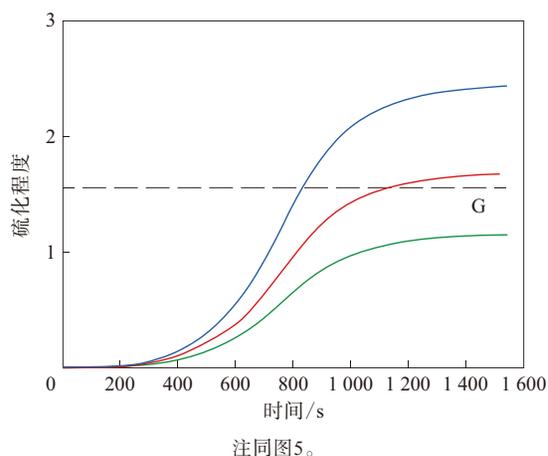


图6 不同热源温度下1#采样点的硫化程度-时间曲线

通过分析模拟曲线,可以得到以下几方面的结论。

(1) 对最高温度的影响程度由高到低依次为热源温度、硫化时间、预热温度。对硫化程度的影响程度由高到低依次为热源温度、预热温度、硫化时间。

(2) 传统工艺有优化的空间,只调整单一因素,硫化时间可以调整为600 s,热源温度可以降为170 °C,预热温度可以优化为130 °C。

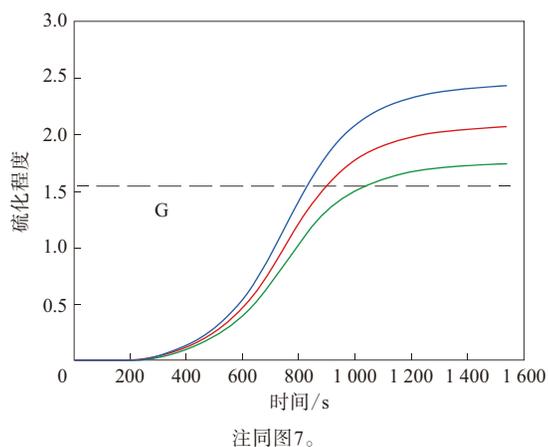


图8 不同预热温度下1#采样点的硫化程度-时间曲线

参考文献:

- [1] 王伟, 邓涛, 赵树高. 轮胎硫化工艺条件的优化[J]. 橡胶工业, 2006, 53(4): 225-227.
- [2] 栗本龙. 巨型子午线轮胎硫化仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [3] Eckert E R G, Drake R M. Analysis of Heat and Mass Transfer[M]. New York: McGraw-Hill, 1972: 1-49.
- [4] 王月. 轮胎硫化温度场的有限元分析[D]. 沈阳: 东北大学, 2009.
- [5] 陈川. 基于变温加载的轮胎硫化数值模拟[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.

收稿日期: 2016-07-10

Simulation on Vulcanization Process of Low Section Tire

TANG Xia¹, YU Guojun²

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In this study, the three-dimensional finite element model of 255/30R22 low section tire was

established by ABAQUS and three groups of simulation were compared in order to analyze the influence of curing time, heating source temperature and preheating temperature on the curing process. The results showed that, the greatest influence on the temperature field was from the heat source temperature while the preheating temperature presented the minimum influence. The greatest influence on the curing degree was also from the heat source temperature and the factor with smallest influence was curing time. Based on the data analysis, the optimum process parameters were obtained.

Key words: low section tire; process optimization; curing degree; temperature field

固特异推出最新概念轮胎

中图分类号:TQ336.1⁺6 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com)2016年10月3日报道:

固特异轮胎橡胶有限公司为雷克萨斯UX概念轿车研发概念轮胎时,其主张与雷克萨斯的由内而外的基本观点一致,即将内部元素与外部元素相融合。

装配于概念轿车的固特异Urban Crossover概念轮胎首次亮相于2016年巴黎汽车展。固特异表示,雷克萨斯要求轮胎制造商做两件事,一件是探索轮胎设计新前沿,另一件是应用先进的技术。

一眼望去,由内而外的特点是显而易见的,轮辋的辐条融入了轮胎胎侧设计,产生与汽车其余部分一致的独有特征。胎侧部分被集成到车轮上,赋予轮胎城市交叉外观,同时胎面花纹赋予轮胎动态外观。图1示出了采用固特异高科技激光雕刻技术设计的轮胎。



图1 采用固特异高科技激光雕刻技术设计的轮胎

轮胎具有的先进特征包括固特异的噪声舒适技术(Sound Comfort Technology),即利用开孔聚氨酯泡沫附着于轮胎内表面。该技术抑制轮胎碾过路面时产生空腔共鸣声峰,使车内非常安静。

在巴黎汽车展上雷克萨斯推出了装配固特异Urban Crossover概念轮胎的雷克萨斯UX概念车,如图2所示。



图2 装配固特异Urban Crossover概念轮胎的雷克萨斯UX概念车

在2014年日内瓦展上,固特异首次展示了噪声舒适技术与轮胎芯片技术(chip-in-tire)相融合的概念轮胎。该芯片发送重要信息到汽车的车载电脑上,提高转弯和刹车时汽车的稳定性和性能。该系统将轮胎压力、温度以及轮胎识别细节等信息发送给车载电脑,然后能够自动完善汽车的纵向和横向控制算法,提供驾驶性能。

此外,新概念轮胎采用了固特异的跑气保用(RunOnFlat)技术,包括增强的胎侧,能使轮胎在被刺穿完全漏气的条件下行驶距离长达80 km。

固特异欧洲、中东和非洲原配胎开发总监David Anckaert说:“我们很自豪能为雷克萨斯UX概念轿车研发全新概念轮胎,这再次证实了固特异作为原配胎生产商提供量身定制的解决方案的经验。我们的设计师成功研发出与汽车设计理念一致的轮胎,同时我们设法满足雷克萨斯驾驶者的舒适、驾驶乐趣和安全的需求。”

(赵 敏摘译 吴秀兰校)