

轮胎硫化过程的计算设计与优选

Пороцкий В. Г. и др. 著 毕莲英译 唐云峰校

硫化是轮胎生产最终工序,也是能量消耗最大的主要工艺过程,它对轮胎的质量有极大的影响。因此,建立最佳的轮胎的热处理条件,是目前亟待解决的问题。

热力条件的设计计算,从设计前的准备工作开始到计算本身和该阶段优选之前止,需分阶段地进行。设计前的准备工作包括:确定数学模型必需的因次和形式,使其足以保证热传导课题的解算达到要求的精度;确定热过程模型设计的几何范围;确定模型设计对象材料的热物理特性和硫化特性及其初始条件和边界条件。此外,设计前的准备工作还包括:根据规定的目的及工艺过程和设备特点确定调节效应的工艺限度和提出优选的标准。在这一阶段要解决的最复杂问题是:识别以分析解(对极简单的情况)还是以经济实验结果为依据的数学模型的参数;研究工艺设备实际的或预测其可能的热传导和热交换条件;确定模型设计对象的硫化特性和热物理特性。

在很多年内我国曾采用将轮胎划分为不同独立区段(胎冠区、胎肩区、胎侧区和胎圈区)的轮胎硫化过程模型设计的算法和程序^[1]。在使用蒸汽循环加热的较简单工艺设备(带有薄壁和热惯性小的胎冠中线对开的硫化模)的条件下,用这种方法设计热过程是正确的,可以达到足够的工程精度。在这种情况下硫化模金属材料的热传导惯性可以忽略不计,不将其列入模型设计对象的组成内,同时取容易测量的硫化机蒸汽室内的温度变化作为边界条件之一(另一边界条件取自胶囊一侧)。因此,独立区段的尺寸不大于轮胎的总断面(数学模型的几何范围包含数百个节点),同时各独立区段又由热的对称轴线与相邻部分分开。硫化过程的模型设计是以有限

差分算法为基础进行的,而计算则是采用效率与 IBM PC AT 286/287 国际商用计算机等同的个人电子计算机进行的。在这种情况下计算机耗用的时间是完全可以接受的,它因独立区段的划分间距和工艺条件持续时间的不同而不同,每一模型设计方案不超过几十分钟。

带有能够分区加热(包括恒温加热)的厚壁和热惯性大的活络模硫化设备在轮胎工业中的广泛应用,对模型的设计方法提出了改进要求,这是由于热过程的特殊性,已有必要将硫化设备的部件和外胎断面的大部分(直至整个轮廓)列入热传导课题解算几何范围的组成内。这类对象的模型设计是采用有限元算法进行的,相应的计算程序可用效率为每秒钟 100 万次或效率更大的计算机很好地完成。在给这种外形复杂的对象建立数学模型的过程中,能够用具有相同热物理特性的各种范围的宏观模型自动将几何范围分开是特别重要的。此外,还必须给定沿活络模各基本单元轮廓分布的初始条件。

对轮胎各部件热物理特性的测定方法已进行了充分的研究和报道^[2]。

在硫化热力条件的设计中,硫化特性是最重要的参数,因为工艺过程必须保证轮胎成品的各区段达到与这些特性相一致的硫化度。在国内设计热力条件的实践中,硫化特性包括 4 个指标:某一给定温度下的最短($S_{\min}$)、最佳(S_{opt})和最长($S_{\max}$)允许硫化时间,以及给定硫化时间(t)下的最高容许硫化温度($T_{\max}$)。 $S_{\min}$ 由胶料在压力下达到如下内聚强度的硫化时间而决定;即当去掉外力作用时挥发性反应产物的内压不会引起气孔的生成(某些出版物中将 $S_{\min}$ 称作“气孔点”)。显然,在 1—2mm 薄壁试样的硫化过程中,

随着胶料硫化程度的逐渐升高,挥发物来得及扩散到轮胎成品表面上,而不会有气孔产生。因此,为了准确测定 S_{min} ,需使用 8—15mm 厚的试样,同时由于硫化过程的不等温性,还应将试样中心的硫化度换算成选定恒温的等效值(T_{seb})。 S_{opt} , S_{maxc} 和 T_{maxc} 值根据给定温度下的变形-强度综合性能来确定。由于这些性能中每一性能的硫化动力学都不相同,因此它们是有条件的。

在设计硫化热力条件时要对同时发生而又互相联系的热过程(温度场沿轮胎轮廓的动态变化)和动力学过程(橡胶硫化度的形成)进行模型设计。凡不等温硫化动力学已有数学描述的任何物理机械性能都可作为确定硫化度用的参数。但是,由于每种性能硫化动力学的差异和不可能建立起能使所有性能同时达到最佳程度的过程,所以在设计轮胎硫化热力条件时必须确定某一与橡胶特定硫化度相适应的概括值。在计算中广泛采用给定 T_{seb} 值下的等效硫化时间作为这一概括值。这样就可根据当前采用的 T_{seb} 值与硫化特性的适应情况来判断所设计的硫化工艺条件的正确性(其中不但包括温度边界条件,也包括来自胶囊一侧的压力变化)。用这种方法设计出的硫化条件,还必须根据那些不能整体列为数学模型参数的附加因素进行工艺修正。属于这些附加因素的有:设备的工艺状况,原材料和工艺的稳定性及操作人员的熟练程度等。

第一阶段的轮胎硫化热力条件的优选应根据按技术经济观点选定的标准进行。在外胎短缺的条件下,国内最广泛采用的优选标准是最短的硫化时间。在这种情况下要对温度边界条件的波动和轮胎最低和最高受热部段在机外后硫化达到的硫化度定出工艺限度。也可使用其它标准,如同等限制条件下的轮胎断面各部位硫化度之间的最小差值(最大均匀性)^[5]。此外,还要定出最长的硫化时间。显然,在第一阶段按第一种标准优选出的硫化条件,往往会留有备用的时间,此备用时

间随工艺不稳定可能性的增大而延长。

硫化优选的第二阶段能使硫化过程达到稳定状态,而从工艺设备的实际温度条件来看,它在许多情况下还能缩短硫化时间。这一阶段优选方法的宗旨是,根据工艺设备的实际边界条件和以实时规模对热传导过程进行数学模型设计。与此同时按阿累尼乌斯方程式求出轮胎各特性点的硫化度指标。这种方法大致可分为两类。国内和国外的大量研究成果^[1]属于第一类。它们都是当边界条件发生变化时,考虑将在轮胎最低受热点达到给定的硫化度计算值瞬间所测得的硫化时间加以适当地延长或缩短。轮胎科研究院的研究方法^[6]属于鲜为人知的第二类方法,它的宗旨是,在总硫化时间固定的条件下用改变硫化模一侧蒸汽温度的方法来补偿胶囊内过热水温度与给定值的误差。显然,这种硫化条件修正法的优点是,可以保证一整排单台硫化设备有节奏地工作,这对轮胎的流水线生产,如多工位硫化机式流水线上的生产是必不可少的。

这种方法(见附图)是以“温度平衡杆”原则为基础的,杆的中心位于制品 $I-I$ 断面上的最低受热点 C 上,两端分别位于硫化设备的外部(硫化模的 B 点)和内部(胶囊的 A 点)受热表面上。在带有分区加热硫化模的设备上,必要时还可同时设立第二“温度平衡杆”,例如设在轮胎断面的最高受热处(薄壁处)。补偿效应可按下式计算:

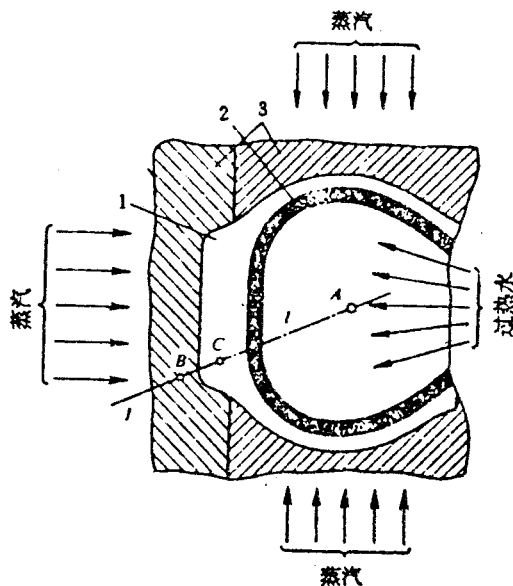
$$\Delta\phi_n(t) = K(x)\Delta\phi_n(t)$$

式中 $\Delta\phi_n(t)$ ——来自硫化模一侧的现用温度的必须改变值;

$\Delta\phi_n(t)$ ——来自胶囊一侧过热水的现行温度值与标准值的偏差;

$K(x)$ ——只由具有 x 坐标的最低受热点位置决定的比例系数。

在设计的第一阶段,根据生产中现有的材料采用有限元法设计出了子午线轿车轮胎



附图 装有轮胎的硫化装置局部图

1—外胎;2—胶囊;3—硫化模;

I, I'—外胎的厚壁部位断面;

A, B, C—特性点

在带有分区恒温加热活络模现代硫化设备上的硫化条件。同时也确定了对这类轮胎硫化特性的要求(见附表),这些要求能对缩短硫化时间起显著的作用(缩短至12min)。

在“下卡马轮胎”生产联合企业用40英

附表 对子午线轿车轮胎硫化特性的要求

(硫化温度 $T_s = 145^\circ\text{C}$)

胶料	S_{min}	S_{out}	S_{max}	T_{max}/t
胎面胶	5—6	20—30	≥ 150	$\geq 190/10$
胎侧胶	5—6	20—30	≥ 150	$\geq 180/10$
带束层胶	5—6	20—30	≥ 120	$\geq 185/10$
胎体胶	≤ 10		≥ 200	$\geq 185/10$

寸定型硫化机生产165/70R13子午线轿车轮胎的条件下,对硫化设备热过程的优选效果进行了实验评价。选用轮胎科研院与“石油化工自动技术”科研生产联合企业设计科(萨马尔市)共同研制的微机联组系统“Вулкан-МК”作为对硫化过程实行优选控制的技术手段。研究结果证明,当过热水温度从195—202℃降至190℃时,在实行优选控制的条件下仍可完成固定时间的无事故硫化。这时微机联组系统能自动将硫化模一侧的温度提高到174—175℃。当过热水温度大幅度下降时(如降至180—185℃),微机联组系统会自动延长硫化时间。

由上可见,本文以事实证明,在工业生产条件下采用上述优选方法能使硫化过程达到稳定,并能同时提高工艺设备的平均生产能力。

译自俄罗斯“Каучук и резина”, [4],

36—39(1993)