

轮胎硫化中的传热分析

高长云,唐 跃,吕柏源

(青岛化工学院 机械学院,山东 青岛 266042)

摘要:应用传热学原理研究分析了轮胎硫化过程中的热传递,指出了分段硫化的优点,并探讨了热扩散系数对橡胶硫化程度的影响以及影响热扩散系数的因素。结果表明,热扩散系数降低时制品的硫化时间延长;而胶料中炭黑用量在 25~40 份范围内时,炭黑用量每增大 1 份,则胶料的热扩散系数增大约 5%。

关键词:轮胎;热传递;分段硫化;热扩散系数

中图分类号:TQ336.1;TQ330.1⁺3 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8171(2002)06-0364-04

温度是轮胎硫化过程中一个非常重要的因素,能否使温度的传递和分布在轮胎硫化过程中最合理直接影响着轮胎的硫化质量。通过对轮胎硫化过程进行传热分析,可以合理地确定等效硫化时间,从而达到最大限度的节能降耗的目的。本文主要应用传热学原理分析轮胎硫化的传热过程。

1 轮胎硫化过程中的热量传递

1.1 热传递的基本理论

轮胎内热量的传递主要是热传导,硫化时轮胎内部形成温度场,产生温度梯度,热量从高温向低温方向传递,单位时间内通过某截面的热量服从傅立叶定律:

$$J = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

式中 J ——热流密度(单位时间通过单位截面的热量), $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$;

λ ——导热系数(单位温度梯度下单位时间内通过单位截面的热量),
 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

$\frac{\partial T}{\partial x}$ ——温度梯度, $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

上式中负号表示热流方向与温度降低的方向一致。导热系数反应了材料导热能力的大小。在热量传递稳态过程中,即试样中任意一点的温度

不随时间变化时,已知导热系数和温度梯度就可以求出热流密度的大小。在研究热量传递非稳态过程时还要考虑能量守恒定律,即服从连续性方程:

$$\frac{\partial I}{\partial x} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

式中 ρ ——物体的密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

C_p ——物体的比热容, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

在不存在热源和对流的情况下,且导热系数与温度无关时,得出导热微分方程:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

式中 α ——热扩散系数($\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p}$), $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

边界条件用来描述轮胎胎体的外部温度特征,故应知道与胎体表面接触的模具内壁和胶囊(或水胎)外壁的温度,实际中这个温度可以用加热模具和胶囊(或水胎)的介质温度来代替。

利用以上轮胎硫化过程中热传递的几个基本方程进一步分析轮胎内部的热量传递。

1.2 轮胎硫化过程中的热传导

轮胎硫化过程中胎体内部的热量扩散以热传导为主。橡胶是热的不良导体,像轮胎这样的多层复合厚制品,在硫化过程中其内部会形成温度场,在胎体内部、轮胎与硫化模具间及轮胎与胶囊(或水胎)间产生温度梯度。图 1^[1]示出了以 9.00-20 14PR 轮胎为试验对象,在一定的工艺条件下测得的轮胎内部各测温点的温度变化情况(轮

胎测温位置示意图2)。

从图1可以看出,升温最快的是与外模或水胎接近的部位,中心部位升温最慢,外层-缓冲层、内层-外层等处的温度介于中心与外模或水胎之间。升温与硫化保持阶段的温度分布形态基本相同,升温快的部位降温也快,反之,升温慢的部位降温也慢,接近模具的部位降温效果明显优于接近水胎的部位。之所以产生这些现象是由橡胶本身的导热性差所致。轮胎在硫化过程中各部位因与热源距离的不同导致了升温滞后程度的不同,从而使各部位在整个硫化过程中的受热历程不同,这即是厚制品非等温硫化过程。

轮胎是多层复合厚制品且橡胶材料导热性差,表层温度如果一直很高会造成轮胎的硫化不均,表层接近热源的部位过硫,内部远离热源的部位欠硫。为了优化轮胎的硫化过程,可以采用分

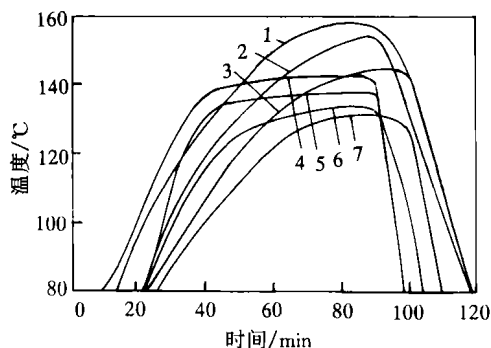


图1 各测温点的硫化温度变化趋势

- 1—水胎-内衬层;2—内层-外层;3—外层-缓冲层;4—外层-胎侧;
5—胎面-模型;6—胎面上层-胎面下层;7—缓冲层-胎面下层

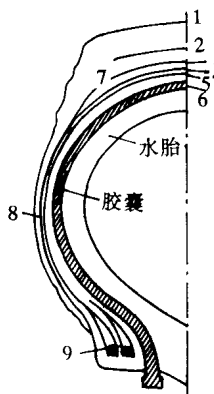


图2 轮胎测温位置示意

- 1—胎面-模型;2—胎面上层-胎面下层;3—缓冲层-胎面下层;
4—外层-缓冲层;5—内层-外层;6—内衬层-水胎
(胶囊);7—缓冲层-胎面下层;8—外层-胎侧
(肩部);9—双钢圈间

段加热的方式^[2],即在轮胎硫化的前期采用高温硫化,使轮胎周围加热介质的热量能够有效、迅速地传递到胎体受热部位;在轮胎硫化的后一阶段采用低温硫化,使热量在由胎体表层向内层传递的过程中轮胎外层不会因为温度过高而造成过硫,从而提高轮胎内部温度分布的均匀性,改善轮胎的硫化质量。

2 轮胎硫化过程中影响传热的因素

2.1 热扩散系数

轮胎硫化过程中影响传热的因素主要是橡胶的导热特性和加热介质。本文只讨论橡胶的导热特性。

橡胶的导热特性主要与橡胶的热扩散系数、导热系数和比热容有关。热扩散系数反应材料导热能力和贮热能力之间的关系,是描述不存在热源和对流时非稳态温度分布的一个参数。尽管在一些绝热应用场合,由于接近稳态,热扩散系数的用处不大,但在温度快速变化的情况下,如考查厚制品硫化时温度场建立的速度及加热或冷却试样所需的时间,热扩散系数比导热系数更有意义。除这3个基本参量之外,在轮胎硫化的传热过程中还涉及到轮胎和模具之间的界面效应,即两界面之间的热流传递阻力,故还与表面热传递系数(两种材料界面之间,在单位温差下单位时间内流过单位面积的热量)有关。由于有关表面热传递系数的测量工作比较少,本文主要分析热扩散系数的影响。

热扩散系数是在非稳态热传递过程的数学模拟中获得的基本数据,因为在求解这种模型时可以得出有关加工过程的数据或使用过程中的成品性能,所以用数学模拟的方法可以缩短设计新产品所需的时间,提出接近最佳条件的加工工艺所需的技术条件,从而降低生产成本。

Bafnec M等^[3]通过研究和试验测定了橡胶的热扩散系数。图3示出了热扩散系数在轮胎硫化过程中对橡胶的升温速度以及对这一特性持续时间的影响^[3]。

为考查热扩散系数降低50%时的影响,将一厚度为0.01 m的橡胶平板从20 加热到147

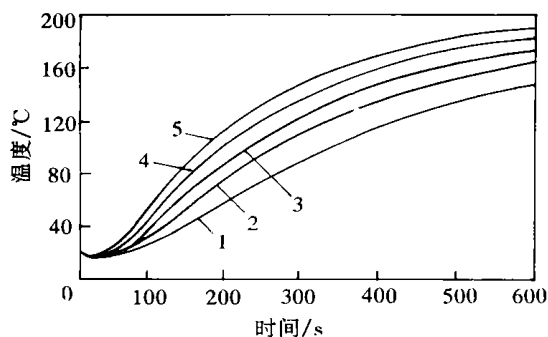


图3 各种热扩散系数下距加热表面 0.01 m 处的温度

1— α 为 $1.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; 2— α 为 $1.25 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$;
3— α 为 $1.5 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; 4— α 为 $1.75 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; 5— α 为 $2.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

的时间延长 1 倍, 这样胶料硫化的时间就会延长。

可采用交联动力学方程计算胶料的硫化程度:

$$\frac{dX}{dt} = k_c^n (1 - X)^n$$

式中 dX/dt ——反应速度;

X ——硫化程度 ($X = C/C_\infty$, C 是 t 时刻的交联点密度, C_∞ 是最终的交联点密度);

k_c^n —— n 级反应速度常数;

n ——相对于时间的反应级数。

反应速度常数及诱导期与温度有关, 其关系式为:

$$k_c^n = \exp \left[S_1 - \frac{E_1}{RT} \right]$$

$$t_i = \exp \left[-S_2 - \frac{E_2}{RT} \right]$$

式中 t_i ——诱导时间, min;

R ——气体常数, $8.31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$;

T ——局部温度, K;

S_1, S_2, E_1 和 E_2 ——试验测定的常数, $S_1 = S_2 = 25$, $E_1/R = E_2/R = 1100$;

n ——反应级数, $n = 1$ 。

热扩散系数的影响程度与相应胶料的化学组成关系密切, 对一标准胶料利用上述公式计算得出热扩散系数分别为 2.0×10^{-7} 和 $1.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 时, 厚度为 0.01 m 的平板达到正硫化程度时所需的时间分别为 31 和 49 min, 这意味着热

扩散系数降低 50%, 制品的硫化时间延长 56%^[3]。图 4 示出了在两种不同的热扩散系数下计算出的胶料硫化程度与时间的关系曲线 (在胶料开始加热时假定平板表面温度分别从 20 变化到 200)^[4]。

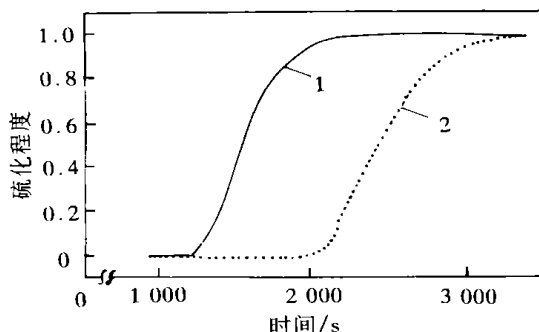


图4 具有不同热扩散系数的两种胶料的硫化程度与时间的关系

1— α 为 $2.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; 2— α 为 $1.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

2.2 影响热扩散系数的因素

用来制造轮胎的胶料主要由橡胶和炭黑组成。Bafnec M 等^[3]采用试样表面温度线性增加的方法 (LIST) 专门研究了这两种组分对热扩散系数的影响。LIST 方法是将热扩散系数作为温度的函数, 即 $\alpha = f(T)$, 在边界条件变化时解非稳态热传导方程并且采用连续优化的方法进行测定。结果表明, 含胶率大的胶料的热扩散系数较低, 且其随温度降低而减小的程度比高炭黑用量的胶料小; 炭黑用量不仅对热扩散系数的值有影响, 而且对热扩散系数与温度之间的关系也有重要的影响。图 5 和 6 分别示出了在 3 种温度下橡胶热扩散系数与橡胶用量及炭黑用量的关系^[3]。

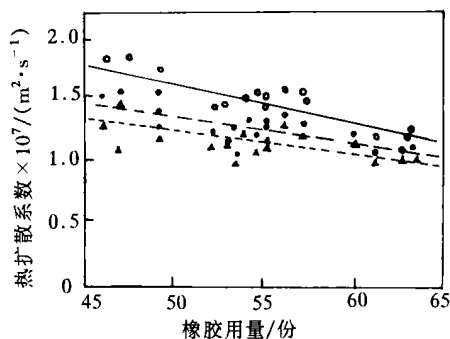


图5 胶料的热扩散系数与橡胶用量的关系

○—50 ; ●—100 ; ▲—150

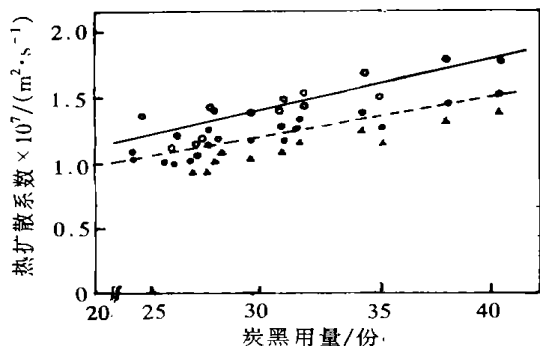


图 6 胶料的热扩散系数与炭黑用量的关系

注同图 5

从图 6 可以看出,胶料中炭黑用量在 25 ~ 40 份范围内,炭黑用量增大 1 份,则胶料的热扩散系数增大 5%。除炭黑之外的其它组分,如氧化锌、硫化促进剂、增塑剂、抗降解剂和硫化剂等,由于其各自的性能以及用量较小的缘故,对热扩散系数的影响不明显。

3 结论

多层复合橡胶厚制品——轮胎在硫化过程

中,由于各部位与热源距离不同,胎体内部会形成不均匀的温度场,造成轮胎各部位硫化程度不均匀,故可采用分段硫化的方法来优化轮胎的硫化过程。研究、分析轮胎硫化过程中影响传热的因素发现,热扩散系数降低时制品的硫化时间延长;而胶料中炭黑用量在 25 ~ 40 份范围内时,炭黑用量增大 1 份,则胶料的热扩散系数增大 5%。分析所得结果对提高轮胎硫化过程中的热扩散系数和传热效率、确定合理的等效硫化时间、提高产品质量及降低能耗等具有重要意义。

参考文献:

- [1] 傅彦杰. 轮胎硫化测温[J]. 轮胎工业, 1999, 49(12): 745.
- [2] Steen J, Aben W J, Wapenaar K E D. Optimization of the vulcanization process of rubber products[J]. Polym. Eng. Sci., 1993, 33(3): 185.
- [3] Bafrnec M, Juma M, Toman J, et al. Thermal diffusivity of rubber compound[J]. Plastics, Rubber and Composites, 1999, 28(10): 483.

收稿日期: 2001-12-13

Analysis of heat transfer during tire vulcanization

GAO Chang-yun, TANG Yue, LÜ Bai-yuan

(Qingdao Institute of Chemical Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: The heat transfer during the tire vulcanization was analyzed based on the heat transfer principle, the advantages of multi-stage vulcanization were pointed out, and the effect of the heat diffusivity on the curing state of rubber and the effective factors on the heat diffusivity were investigated. The results showed that the curing time of product extended when the heat diffusivity decreased; the heat diffusivity of the compound, in which the addition level of carbon black was in the range of 25 ~ 40 phr, increased by 5% as the addition level of carbon black increased by every 1 phr.

Keywords: tire; heat transfer; multi-stage vulcanization; heat diffusivity

我国第一条沙漠高速公路全线铺通

中图分类号: U412.36+6 文献标识码: D

我国第一条沙漠高速公路——榆(林)靖(边)高速公路的 116 km 路基工程最近全线铺通。榆靖高速公路是榆林市承担修建的等级最高、规模最大、一次性投资最多的公路建设项目。截至目

前,高速公路上的立交桥、跨线桥、涵洞、通道等施工已全部结束,15 座大桥主体工程全部完工,无定河特大桥全幅架通,路基整形已经通过验收,正全面实施道路两侧的绿化工程,已累计完成投资 9.35 亿元,占工程投资总额的 53%。

(摘自《中国汽车报》,2002-05-06)