

# 轮胎生热与温度场的研究

马连湘, 刘志春, 刘江省

(青岛化工学院 机械工程学院, 山东 青岛 266042)

**摘要:**对轮胎温度场研究文献进行了述评。轮胎的应力、应变与温升有密切的关系;轮胎结构、负荷、行驶速度、充气压力、配方及原材料均影响轮胎的温升;轮胎温度场的研究方法有实测法(接触法和非接触法)、数学物理方法和数值计算方法等。

**关键词:**轮胎;温度场;生热;粘弹性

**中图分类号:** TQ336.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8171(2002)06-0323-04

由橡胶复合材料粘弹性造成的滞后损失以及与地面之间的摩擦生热使汽车轮胎在行驶过程中温度逐渐升高,导致橡胶及帘线的强度下降。

随着高速公路的发展,汽车行驶速度提高,轮胎温度也大幅度升高,使轮胎“肩空”、“肩裂”、“胎圈脱层”及热疲劳老化等现象频繁发生,当轮胎温度超过临界温度时,有可能会发生爆胎现象,严重时会导致发生交通事故。轮胎的生热和温升不仅影响其使用性能,而且对汽车油耗也有很大的影响。据报道<sup>[1]</sup>,轮胎的能量损失占轿车总能量损失的 5%,占载重汽车总能量损失的 10%。

前苏联<sup>[2]</sup>早就规定了轮胎使用的温度上限,西方国家也对研究轮胎滚动时的生热状态十分重视,研究了降低轮胎温升的多种方法。本文将对轮胎生热与温度场研究方法进行述评。

## 1 轮胎的生热<sup>[3]</sup>和温升及其影响因素

### 1.1 轮胎应力、应变与温升的关系

生热是材料动态性能的一个方面,它是所施加的机械能变成热能的转变过程。就轮胎特性而言,应力、应变的分析与轮胎温度状态的分析是一致的。

假设给橡胶粘弹性材料施加周期性的应变,则瞬时应变( )为:

$$= \epsilon_0 \cos t \tag{1}$$

式中  $\epsilon_0$  ——最大应变;

$t$  ——时间。

瞬时应力( )可表示为:

$$= \epsilon_0 (E \cos t + E \sin t) \tag{2}$$

式中  $E$  ——贮存弹性模量;

$E$  ——损耗弹性模量。

此时在每个周期内对物体所做的功(  $H$  )可用下式表示:

$$H = \int_0^t \frac{d}{dt} dt \tag{3}$$

将式(1)和(2)代入式(3),则得到

$$H = \int_0^2 E \tag{4}$$

即每个周期消耗的能量转变为热能使轮胎温度升高。因而轮胎在接地旋转时,每旋转一周所产生的热量(  $Q$  )为:

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^2 E \\ &= E \int_0^2 \frac{E}{E} \\ &= 2 \left( \frac{1}{2} E \int_0^2 \right) \tan \end{aligned} \tag{5}$$

式中,  $\tan$  是用来表征轮胎能量损失的重要参数,其数值越小,轮胎的生热愈低,它与轮胎所用材料的性能有关。另外轮胎的温度( )为:

$$= \epsilon_0 + \frac{QL}{Ft} \tag{6}$$

式中  $\epsilon_0$  ——环境温度;

$L$  ——轮胎厚度;

——轮胎材料导热因数;

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Y98B11030)

作者简介:马连湘(1962-),男,河北南宫人,青岛化工学院教授,博士,主要从事强化传热及轮胎热学的研究。

$F$ ——放热面积。

从式(6)可看出,作用于轮胎的应变能通过损耗因子转变成热量,再表现为温升。因此,轮胎的应力、应变与温升有密切的关系。

### 1.2 轮胎温升的影响因素

轮胎的温升与轮胎的结构、行驶条件及原材料和配方设计有密切的关系。

#### (1) 结构设计

合理的轮胎结构会使轮胎的温升大大降低:如子午线轮胎带束层增大了胎冠部分的刚度,大大减小了轮胎滚动时的变形,因此使胎冠处的温升比斜交轮胎低;无内胎轮胎的温升比有内胎轮胎低;断面形状也对轮胎的温升有较大的影响。

不同规格和结构轮胎的温度与行驶速度的关系见图1。不同层级轮胎的温度与行驶速度的关系见图2。

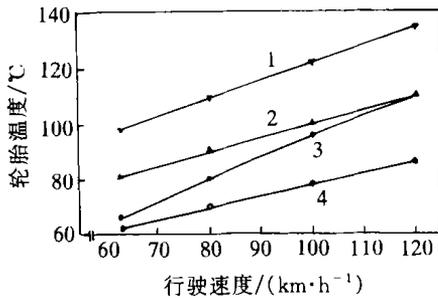


图1 不同规格和结构轮胎的温度与行驶速度的关系

1—260-508; 2—260R508; 3—6.45-13; 4—165R13

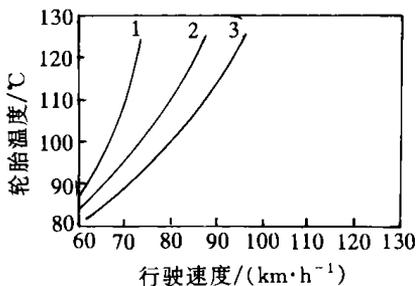


图2 不同层级11.00-20轮胎的温度与行驶速度的关系

轮胎层级: 1—14; 2—12; 3—10

#### (2) 行驶速度

轮胎的行驶速度越高,在单位时间内与地面的接触次数也越多,摩擦越频繁,而变形恢复越少(其中大部分转化为热),因此轮胎的温度越高。

#### (3) 负荷

轮胎负荷是影响轮胎温升的重要因素,如果轮胎在超负荷条件下运行,就会发生大变形,加重胎肩部位的磨损,同时胎体材料的分子摩擦及部件的机械摩擦也会导致轮胎内部温度升高。9.00-20轮胎在不同负荷下的温度与行驶速度的关系见图3。

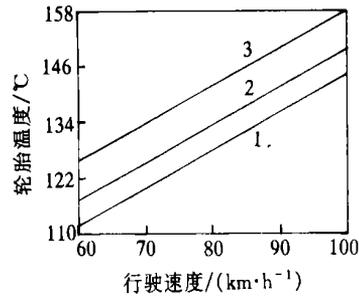


图3 不同负荷下9.00-20轮胎的温度与行驶速度的关系

充气压力为770 kPa。负荷: 1—25.0 kN; 2—27.5 kN; 3—29.0 kN

#### (4) 充气压力

充气压力是轮胎的生命,充气压力过低,轮胎胎体的变形过大,会产生屈挠,造成轮胎过度生热。不同负荷下9.00-20轮胎温度与充气压力关系见图4。

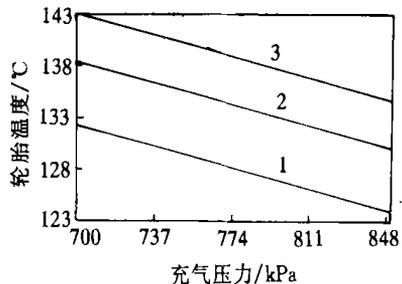


图4 不同负荷下9.00-20轮胎的温度与充气压力的关系

行驶速度为80 km/h。负荷: 1—25.0 kN; 2—27.5 kN; 3—29.0 kN

#### (5) 配方与原料

原料的选择和配方设计也影响轮胎的生热。其中橡胶复合材料的滞后损失是轮胎生热的主要原因。采用合理的材料、确定合理的配方和减小tan 值是降低轮胎温升的重要途径。

### 2 轮胎滚动时内部温度场的分布

轮胎刚刚开始滚动时,其温度和周围环境的温度相同,轮胎处于热平衡状态;轮胎继续滚动,由于滞后损失和与地面之间的摩擦生热,轮胎温度将逐渐升高,进入非稳态阶段;约40 min后,轮胎的生热速度和散热速度达到动平衡,温度场也就达到了新的平衡状态<sup>[4]</sup>。

轮胎在滚动过程中产生的热量可以向轮胎内部空气、从轮胎表面向周围空气和通过轮辋向周围环境散发。

### 3 轮胎温度场的研究方法

#### 3.1 实测法

由于轮胎结构的复杂性及轮胎复合材料的非线性,过去一直采用实测方法获得轮胎的温度场分布。我国最初进行室内测温试验,到20世纪六七十年代也进行了轮胎公路测温,获得了很多试验数据<sup>[5]</sup>。实测法适于任何类型和规格的轮胎,它包括接触法和非接触法。

##### (1) 接触法

西方和前苏联都是在20世纪50年代开始应用接触法<sup>[6]</sup>的。接触法主要用于测定轮胎的内部温度,分为静态法和动态法。

静态法一般是在实验停止后对轮胎进行测温,主要用于测量胎冠和胎肩处的温度。采用探针式热电偶,通过导轮控制,探针可以自动插入既定测温点,插入深度为12~16 mm,以使其插入胎体外层帘布和胎面胶基部的交界处。采用此法不仅测温快捷,而且能对实验前的温度准确测量。

动态法一般是在轮胎滚动时测量。首先在轮胎内部开孔,将热电偶预先埋入轮胎测温点或者将热电偶从气门嘴插入,并通过滑环装置将其引出,测定轮胎内部空气的温度。采用动态法要在轮胎上开孔,轮胎在受力滚动时,必然会产生应力集中,测出的温度与实际温度有出入,因此,需对测量结果加以修正。

##### (2) 非接触法<sup>[7]</sup>

20世纪60年代开始采用非接触法。采用红外线测温仪通过测定被测物体的红外线辐射量确定被测物体的表面温度。其最大优点是不用接触即可测得被测物体的表面温度分布图。采用红外线测温仪还可借助于计算机对等温线图、同一温

度的面积比率进行分析,并可进行故障探测、故障增长等研究,同时也能从导热的角度对滚动中轮胎内部空气的流动进行研究。非接触法比接触法前进了一大步,为数学分析预测轮胎整体温度分布和热分布提供了条件。

#### 3.2 数学物理方法

数学物理方法是根据材料的性能、几何尺寸和使用条件用数学物理方程定量地预测轮胎的温升。人们早在20世纪40年代就进行了这方面的工作,但由于橡胶材料和“橡胶-帘线”复合材料呈现出的非线性和粘弹性以及轮胎的大变形、几何形状的非线性和可压缩性等使这种努力收效不大。

#### 3.3 数值计算方法<sup>[4,8,9]</sup>

随着计算机的飞速发展及数值计算方法的日益成熟及普及,使采用数值计算方法分析轮胎内部的温度场分布成为可能。有限差分法和有限元法是广泛采用的两种近似计算方法,目前主要采用有限元法。

国内外许多人<sup>[4,5,8~15]</sup>对采用有限元法分析轮胎温度场分布进行了大量的工作,主要步骤是先建立模型,再进行有限元网格划分,最后利用数学物理方程式进行数值计算,计算结果的准确性主要取决于边界条件及轮胎复合材料各个物性参数的准确性。

#### 3.4 其它方法

利用硫化胶的粘弹性也可预测轮胎的滚动温度。对于胎体和带束层骨架材料为人造丝的185SR14轮胎,Willlett<sup>[16]</sup>根据轮胎耐久性实验数据,通过回归计算导出了胎肩温度方程,预测的温度与实测温度具有良好的相关性。

### 4 结语

(1) 轮胎温度场研究对轮胎的使用寿命、行车安全及结构设计均具有十分重要的意义。

(2) 实测法确定轮胎温度场是较常用的方法,但它并不能完全确定轮胎的温度场分布;采用有限元法可以得到轮胎稳态及非稳态温度分布,其有效性取决于轮胎材料的生热率、导热因数及边界条件等取值的合理性。

(3) 通过确定轮胎的温度场分布,可以合理地

调整轮胎结构、采用合理的原材料及配方,缩短轮胎的设计周期,并为生产节能型轮胎提供理论依据。

### 参考文献:

- [1] Ebbott T G, Hohman R G, Hohman R L, *et al.* Tire temperature and rolling resistance prediction with finite element analysis[J]. *Tire Science and Technology*, 1999, 27(1-3): 2-21.
- [2] . 汽车轮胎的性能[M]. 史百泉译. 北京: 化学工业出版社, 1965. 175-190.
- [3] 薛虎军. 轮胎生热及其对寿命的影响[J]. *轮胎工业*, 1995, 15(10): 620-625.
- [4] Oh. B S, Kim Y N, Moon N J, *et al.* Internal temperature distribution in a rolling tire[J]. *Tire Science and Technology*, 1995, 23(1-3): 11-25.
- [5] 刘天臣, 王海灵, 许传民, 等. 地面高速复合材料生热专家系统的应用[J]. *轮胎工业*, 1999, 19(2): 67-72.
- [6] 张士齐. 轮胎力学与热学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988. 280-315.
- [7] Conant F S. Tire temperature[J]. *Rubber Chem. Tech.*, 1971, 44(2): 396-439.
- [8] 孔祥谦. 有限元法在传热学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 103-145.
- [9] 陈振艺. 轮胎稳态温度场的计算[J]. *轮胎工业*, 1997, 17(5): 273-277.
- [10] Browne A L, Wickliffe L E. Parametric study of convective heat transfer coefficients at the tire surface[J]. *Tire Science and Technology*, 1980, 8(3-4): 37-67.
- [11] Bringer C W, Kwon Y D, Prevorsek D C. Sensitivity of temperature rise in a rolling tire to the viscoelastic properties of the tire components[J]. *Tire Science and Technology*, 1987, 15(2): 123-133.
- [12] Yavari B, Tworzydlo W W, Bass J M. A thermal mechanical model to predicts the temperature distribution of the steady state rolling tires[J]. *Tire Science and Technology*, 1993, 21(3): 163-178.
- [13] Browne A L, Wickliffe L E. Rubber emissivity and the thermal state of tire[J]. *Tire Science and Technology*, 1979, 7(3-4): 71-89.
- [14] Goldstein R J, Cho H H. A review of mass transfer measurements of using naphthalene sublimation[J]. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1995(10): 416-434.
- [15] 陈振艺. 轮胎材料热生成率的确定[J]. *轮胎工业*, 1997, 17(6): 323-326.
- [16] 薛虎军. 充气轮胎配方设计[J]. *轮胎工业*, 1995, 15(10): 623.

收稿日期: 2001-12-06

## 亚洲 2003 年轮胎展

中图分类号: TQ336.1 文献标识码: D

英国《轮胎与配件》2002年3期70页报道:

2003年亚洲轮胎展将于2003年9月16~18日在新加坡展览中心举行。这将在前3届获得圆满成功基础上的第4届亚洲轮胎展。

在当今世界轮胎工业中,亚洲和环太平洋国家作为生产基地、产品供应地和有利可图市场的集中地具有十分重要的独特地位。

相对低的劳动力成本使得亚洲部分作为生产中心具有极大的吸引力,许多西方轮胎公司在这一地区,特别是中国建立了轮胎厂。当然,它们也不完全是西方轮胎公司,因为亚洲也有自己的轮胎公司。在世界最大的20家轮胎公司中,绝大多数公司在亚洲设有总部。

在西方市场上出现的亚洲造轮胎的数量也有很大增长。这在很大程度上是大型跨国销售公司热情为其用户搜寻各种独特商标轮胎的结果。近

来,许多亚洲经济体经济滑坡,从而加大了对硬通货,特别是美元的需求,对这一趋势也起到了推波助澜的作用。

尽管某些亚洲市场出现了不景气,但这还是一个令人振奋的时刻,各大轮胎公司都在积极努力打入印度和中国巨大的潜在市场。对基础的投资将导致道路改善和汽车保有量增大,而这又将刺激对轮胎及与轮胎有关产品和设备需求的增长。上届亚洲轮胎展上来自于印度和中国的参展商及参观人数的增加表明这两个国家在世界轮胎工业中的影响日益增大。

亚洲轮胎展已确立了亚洲和南太平洋第一轮胎展的地位,涉及到轮胎行业的各个方面,包括轮胎、翻新胎、翻胎设备、轮胎商店及快速装配设备和机械、轮胎修理、轮辋、橡胶助剂和生胶供应以及废胎处理。亚洲轮胎展为世界这一重要地区的买卖双方提供了极佳的交流场所和商业机会。

(涂学忠摘译)