

实心轮胎温度场的有限元分析

张佳佳, 李明琴, 牛慧军, 张志毅*, 刘亚青*

(中北大学 山西省高分子复合材料工程技术研究中心, 山西 太原 030051)

摘要:应用 ANSYS 有限元分析软件模拟履带车辆实心橡胶轮胎在不同工作条件下的力学场, 以模拟结果计算节点生热率, 再将节点生热率导入合理假设的温度场有限元模型, 模拟得到轮胎的温升规律。结果发现, 轮胎的最高温度随着载荷、速度和损耗因子增大而提高, 但随着导热系数增大而降低。

关键词:实心轮胎; 橡胶; 温度场; 有限元分析

中图分类号: TQ336.1+3; O241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2012)02-0107-04

轮胎是车辆唯一的接地部件, 起着承重、传递牵引和制动力矩及缓冲隔震等作用。轮胎使用寿命是衡量轮胎性能的一项重要指标。最常见的轮胎破坏形式是过热破坏, 即轮胎在行驶过程中由于温度过高导致轮胎材料破坏。

实心橡胶轮胎承载能力优于普通轮胎, 但在高载荷行驶时更易由于温度太高而造成过热破坏。实心轮胎在滚动时产生粘弹性变形, 其中弹性变形能在轮胎滚动周期得以恢复, 而粘性变形不能恢复, 由此产生的能量损失转变成热, 引起轮胎温度升高。同时, 实心轮胎的导热和散热性能较差, 导致轮胎过热破坏的可能性增大。本研究分析载荷、速度和损耗因子等参数对实心轮胎温升特性的影响。

1 热分析数学模型基础

1.1 基本假设

实心轮胎在滚动状态下热源主要来自三方面: 太阳辐射能量、实心轮胎与履带板之间的摩擦生热和实心轮胎橡胶滞后损失生热。

研究表明^[1], 太阳辐射能量对实心轮胎温升影响不大, 可以忽略。实心轮胎在滚动过程中与履带板之间由摩擦所产生的热量在金属履带板表面散热较快, 而且与滞后损失生热相比, 摩擦热较小, 因此可以只考虑滞后损失生热。由文献[2]可

知, 对实心轮胎在滚动工况下的温度场建模时, 可以不考虑周向温度梯度且忽略热辐射边界条件。

1.2 节点生热率计算

实心橡胶轮胎节点生热率是单位时间内单位体积橡胶由机械滞后损失转换而成的热量。由有限元力学分析可知, 轮胎接地区域节点应力、应变随时间变化的曲线通常是不规则的, 在这里把节点应力、应变随时间变化关系近似为三角波曲线^[3], 橡胶材料模拟为线性粘弹性材料。轮胎行驶时, 线性粘弹性材料的弹性部分, 即在加载时单位体积储存的能量为 $\delta'\epsilon/2$ (δ' 和 ϵ 分别为节点的径向应力和应变), 这部分能量在卸载后立即恢复; 而粘性部分, 即加载时单位体积的力学损耗为 $\delta'\epsilon \tan\delta/2$ ($\tan\delta$ 为损耗因子), 卸载过程单位体积的力学损耗亦为 $\delta'\epsilon \tan\delta/2$, 因此每个橡胶节点在一个周期内单位体积所耗散的能量为 $\delta'\epsilon \tan\delta$ ^[4-6]。这些耗散能量以热能形式成为实心轮胎温度场的热载荷(q)。

$$q = \delta'\epsilon \tan\delta \quad (1)$$

实心轮胎的滚动周期(T)为

$$T = \frac{3.6\pi D}{v} \quad (2)$$

式中, D 为轮胎外直径, v 为轮胎滚动速度。

由式(1)和(2)可知, 实心轮胎转动一周的平均节点生热率($\bar{q}$)为

$$\bar{q} = \frac{\omega \delta'\epsilon \tan\delta}{3.6\pi D} \quad (3)$$

ANSYS 有限元分析软件中的应变为对数应

作者简介:张佳佳(1988—), 女, 山西朔州人, 中北大学在读硕士研究生, 主要从事有限元方面的研究。

* 通信联系人

变,在使用式(3)计算节点生热率时,应该将其转化成工程应变。

2 实心轮胎温度场有限元模拟

2.1 力学场建立

由于实心轮胎的对称性,建立力学场有限元模型时取轮胎的一半进行建模,如图1所示。橡胶材料参数采用 Mooney-Rivlin 二参数模型^[7-8]。轮胎内缘与轮盘接触,轮盘为金属材料,其弹性模量较大,因此在轮胎内缘施加固定约束。由对称性可知,轮胎断面处应施加Z向固定约束。轮胎材料选用 Solid 185 超弹性单元,与轮胎相接触的钢板采用 Solid 45 单元,并选用三维接触单元 Contat 174 和 Target 170 模拟轮胎与地面的接触情况。载荷以压力形式施加于钢板下面。

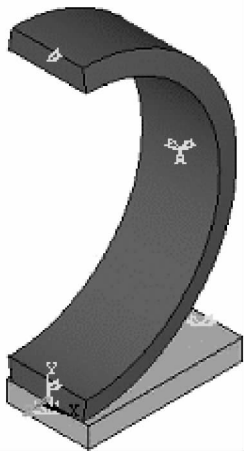


图1 实心轮胎力学模型

2.2 温度场建立

由上述假设可知,轮胎的温度场模型可以简化为二维平面模型,取轮胎中截面建立有限元模型。将实心轮胎与轮盘一起建模,选取热分析中的 Plane 77 单元,建立的有限元模型如图2所示。温度场模拟时需要导入力学场有关模拟结果,这就要求温度场模型网格划分与力学场模型一致。为了研究实心轮胎在不同载荷、速度、导热系数和损耗因子条件下的温度场,需选择一个基准工况,然后以其中一个因素变化而其他条件不变进行模拟。

本研究所选基本工况为:载荷 2.3 t,速度 $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,橡胶材料损耗因子 0.09,橡胶

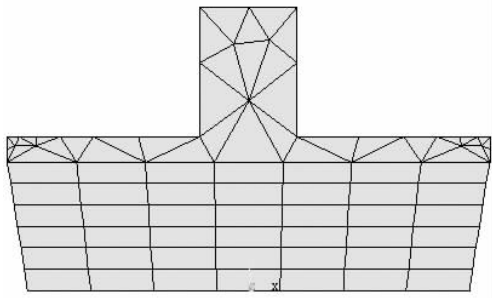


图2 实心轮胎有限元模型

材料导热系数 $0.4 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ 。

3 计算结果分析

基准工况条件下实心轮胎的温度场如图3所示。计算结果显示,实心轮胎的高温区域呈椭圆形,集中在断面中央略靠近胎面部位,且温度逐层降低。

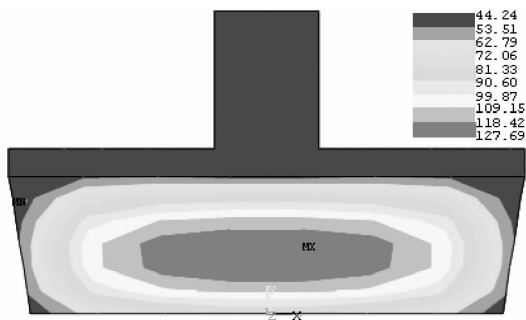
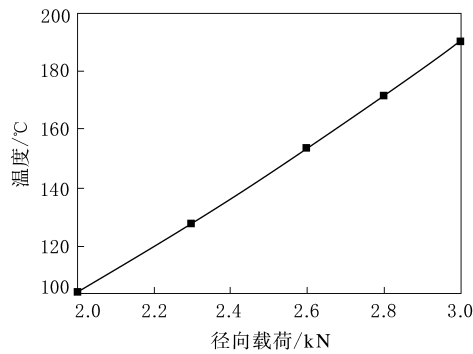


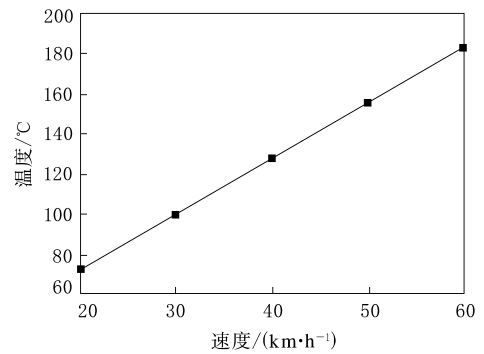
图3 实心轮胎温度场

通过改变实心轮胎的载荷、速度、橡胶材料的损耗因子和导热系数模拟计算轮胎的温度场(计算结果见图4),得出实心轮胎最高温度与这些因素的关系,并进一步讨论这些因素对轮胎温升的影响。

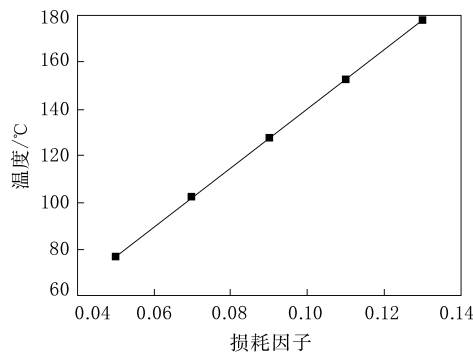
从图4(a)~(c)可以看出,实心轮胎的最高温度随着载荷、速度和损耗因子的增大而升高。载荷增大时径向应力增大,轮胎下沉量也增大,相应的径向应变也随之增大,从而使轮胎的内生热增多,表现为轮胎内部最高温度升高;当速度提高时,轮胎发生形变频率也变大,单位时间内在轮胎内部储存的热也增多,这同样也造成轮胎内部最高温度升高;损耗因子变大使轮胎在行驶速度不变的前提下储存的热量增多,以致轮胎内部最高温度升高。由式(3)可知,节点生热率与载荷、速度和温度呈正相关关系,这些因素取值增大,节点



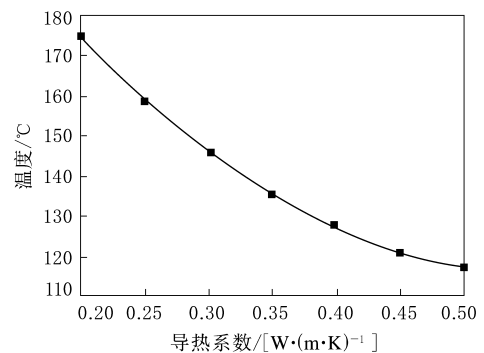
(a) 载荷



(b) 速度



(c) 损耗因子



(d) 导热系数

图 4 载荷、速度、损耗因子和导热系数对轮胎最高温度的影响

生热率也随之增大,导致实心轮胎的最高温度也有所上升,这正与模拟结果相符。

从图 4(d)可以看出,实心轮胎的最高温度随着导热系数的增大而降低。导热系数增大,实心轮胎各层之间的温度差减小,轮胎达到热平衡时,胎内最高温度与最低温度差减小。实心轮胎胎面温度一般在 30~40 °C,温差减小后,胎内最高温度也就有所降低。

4 结论

利用 ANSYS 有限元分析软件模拟实心轮胎的温度场,并分析载荷、速度、损耗因子和导热系数对轮胎温度的影响,得到如下结论。

(1) 实心轮胎的温度在径向断面呈椭圆状分布,且自内而外温度逐渐降低,最高温度区域集中在断面中央偏向胎面处。

(2) 实心轮胎的最高温度随着橡胶材料导热系数增大而降低,但随着损耗因子增大而升高。因此,改善实心轮胎材料的性能对减少轮胎生热、

延长轮胎使用寿命有重要意义。

参考文献:

- [1] 毕小平,蒋陆德,李贺佳. 坦克履带行驶装置温度场数值计算分析[J]. 兵工学报, 2008, 29(10): 1154-1157.
- [2] 翟峰,张英,郑慕侨. 实心橡胶轮胎温度场有限元分析[J]. 轮胎工业, 2003, 23(4): 200-203.
- [3] 蒋轩. 负重轮橡胶轮缘有限元分析、寿命预估及试验研究[D]. 北京: 北京理工大学, 1998.
- [4] 蒋轩,孙逢春,郑慕侨. 负重轮橡胶轮缘温度场有限元分析[J]. 北京理工大学学报, 2000, 20(4): 422-426.
- [5] 魏敏,张英,郑慕侨. 实心轮胎材料动态温升特性有限元分析与试验[J]. 橡胶工业, 2003, 50(3): 176-179.
- [6] 张英,魏敏,郑慕侨. 橡胶和聚氨酯模型负重轮温升特性的有限元分析及对比试验[J]. 北京理工大学学报, 2004, 25(3): 198-201.
- [7] 郑明军,王文静,陈政南,等. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型力学性能常数的确定[J]. 橡胶工业, 2003, 50(8): 462-465.
- [8] 黄建龙,解广娟,刘正伟. 基于 Mooney-Rivlin 模型和 Yeoh 模型的超弹性橡胶材料有限元分析[J]. 橡胶工业, 2008, 55(8): 467-471.

Finite Element Analysis of Temperature Field in Solid Tire

ZHANG Jia-jia, LI Ming-qin, NIU Hui-jun, ZHANG Zhi-yi, LIU Ya-qing

(North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The mechanical field of solid rubber tire for tracked vehicle was simulated in different conditions by ANSYS software, and the heat build-up at different nodes was calculated by using the simulation results. Then the heat build-up at different nodes was imported into finite element temperature field model, and the solid tire temperature change rule was obtained after simulation. The analysis results showed that the maximum temperature of the tire increased with increasing of load, speed and loss factor, and decreased with increasing of thermal conductivity.

Key words: solid tire; rubber; temperature field; finite element analysis

新型防腐衬胶管道

中图分类号: TQ336.4+2 文献标志码: D

由江苏开源环保技术工程有限公司申请的专利(公开号 CN 201539667U, 公开日期 2010-08-04)“新型防腐衬胶管道”, 涉及的新型防腐衬胶管道包括壳体、粘结剂层和橡胶衬里层, 粘结剂层位于壳体和橡胶衬里层之间, 橡胶衬里层为圆形一体式结构, 在粘结剂层和橡胶衬里层之间还有一有机溶剂层。该防腐衬胶管道外观整体一致, 无搭接缝, 不会产生积液, 不会因搭接缝不牢而存在介质渗入的可能, 具有很强的耐温、防腐功能, 延长了管道的使用寿命, 同时简化了工艺, 避免了人工的浪费, 由于胶板上不再需要涂刷粘结剂, 而只需要涂刷一些有机溶剂即可完全满足标准要求, 因此节约了粘结剂, 降低了成本。

(本刊编辑部 马 晓)

一种橡胶基压电阻尼复合材料及其制备方法

中图分类号: TQ332 文献标志码: D

由中国船舶重工集团公司第七二五研究所申请的专利(公开号 CN 101746993A, 公开日期 2010-06-23)“一种橡胶基压电阻尼复合材料及其制备方法”, 涉及的橡胶基压电阻尼复合材料配方为: 天然橡胶(NR) 100, 压电陶瓷粉(微米级压电常数在 $300 \text{ pC} \cdot \text{N}^{-1}$ 以上) 100~1 000, 导电

炭黑 0.3~2, 粉末硫化剂 2~2.5, 促进剂 2~2.7。其制备步骤为: ①将 NR、粉末硫化剂和促进剂混炼均匀制得橡胶基体材料; ②将压电陶瓷粉与导电炭黑混合均匀制得预混粉料; ③将预混粉料与橡胶基体材料混合制得混合胶料; ④混合胶料经加热、加压固化成型得橡胶基压电复合材料, 再经极化得压电阻尼复合材料。该发明在较宽频率范围内显著提高了 NR 基体材料的阻尼性能。

(本刊编辑部 赵 敏)

一种环保氯磺化聚乙烯橡胶配方

中图分类号: TQ333.92 文献标志码: D

由天津鹏翎胶管股份有限公司申请的专利(公开号 CN 101759940A, 公开日期 2010-06-30)“一种环保氯磺化聚乙烯橡胶配方”, 涉及的环保氯磺化聚乙烯橡胶配方为: 氯磺化聚乙烯橡胶 100, 炭黑 N550 40~150, 轻质碳酸钙 10~35, 氧化镁 5~15, 硬脂酸 0.3~0.8, 防老剂 A 0.5~2, 流动助剂 FL 1~4, 促进剂 DM 0.5~2.5, 促进剂 DPTT 0.5~2.5, 促进剂 HVA-2 0.5~2.5, 环氧树脂(环氧当量 184~194) 5~20, 二辛酯 5~20。这种不含有害金属氧化物的氯磺化聚乙烯橡胶配方原材料环保, 对人体安全, 性能满足要求。

(本刊编辑部 赵 敏)