

9.00 - 20 尼龙轮胎高速滚动表面温度场的试验研究

王庆年¹, 赵子亮¹, 李幼德¹, 井福涛², 徐信明²

(1. 吉林工业大学 汽车工程学院, 吉林 长春 130025; 2. 山东莒县交通局, 山东 莒县 276500)

摘要: 利用轮胎转鼓试验台和自行设计的双向红外测温系统, 对 9.00 - 20 12PR 尼龙载重斜交轮胎进行了表面温度场的测试, 考察了速度对轮胎表面温度场分布的影响。试验结果表明, 随着速度的增大, 轮胎各部位的温升也增大, 其中胎肩部位温升最高, 胎侧次之, 胎冠最低。通过回归建立了轮胎表面最高温升与速度的经验计算公式: $\Delta T = 17.9524 + 0.142857v$ 。通过测定试验前轮胎腔内气体温度和试验前、后轮胎腔内气体压力, 利用气态方程可计算试验后轮胎腔内气体的温度。

关键词: 轮胎; 红外测温; 表面温度场; 温升; 速度

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2001)03-0183-05

随着我国高速公路的兴建与发展, 汽车的平均车速较 20 世纪六七十年代已有了大幅度的提高。车速的提高使得汽车运输效率相应提高, 因此大大促进了国民经济的发展。但是, 随之而来因轮胎生热而爆胎酿成的交通事故也日见增多^[1,2]。因此研究高速行驶下汽车轮胎的生热、温升对提高车辆运行的安全性具有十分重要的意义。

目前, 我国 90% 以上^[2]的客货运输车辆都使用普通斜交轮胎, 这种轮胎由于胎体厚、生热高、散热慢、耐热性差以及橡胶与帘线粘性欠佳等原因, 在高速行驶时与轿车轮胎相比更易生热, 频频发生脱层乃至爆破^[3]。因此, 研究载重轮胎温度场的分布是十分迫切的。

本工作利用轮胎转鼓试验台和自行设计的轮胎高速滚动实时双向红外测温系统, 通过试验对 9.00 - 20 12PR 尼龙载重斜交轮胎表面温度场进行测试, 探寻不同速度(定载、定压)下轮胎表面温度场的分布, 即分析速度对轮胎温升的影响。同时, 由于轮胎腔内气体的温度不易

测定, 通过测定试验前后轮胎腔内气体的压力, 计算得到了轮胎腔内气体的温度, 为进一步从理论上分析高速滚动轮胎内部温度场的分布及研究爆胎机理奠定了基础。

1 滚动轮胎表面温度场的测试装置及试验设计

1.1 测试装置

测试轮胎表面温度场的主要设备及仪器有轮胎转鼓试验台和双向红外测温系统。

(1) 轮胎转鼓试验台

轮胎转鼓试验台的转鼓由交流整流电机驱动, 皮带传动, 转速可调。试验轮胎安装在转鼓两侧的两套加载支架上, 即两个工位, 可以相互独立试验。试验轮胎由加载伺服机构加载, 随转鼓自由转动。图 1 为轮胎转鼓试验台的组成示意图, 其主要参数如下:

转鼓直径	2 000 mm
转鼓线速度(轮速)	25 ~ 200 km · h ⁻¹
试验轮胎直径	550 ~ 1 080 mm
试验轮胎载荷	3 ~ 32 kN
电机转速	120 ~ 1 200 r · min ⁻¹
泵站最大压力	21 MPa

(2) 双向红外测温系统

基金项目: 高等学校骨干教师资助计划资金资助项目

作者简介: 王庆年(1952-), 男, 黑龙江佳木斯人, 吉林工业大学教授、博士生导师, 主要从事汽车系统分析与控制、轮胎力学与热学的研究。

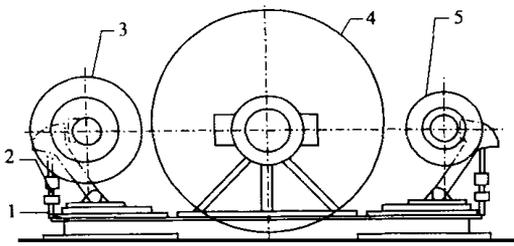


图1 轮胎转鼓试验台的组成示意图

1—转鼓试验台基础;2—液压加载装置;3—载重轮胎;
4—转鼓;5—轿车轮胎

双向红外测温系统主要由 M90B 型红外测温仪、Raytek 激光发射红外测温仪及三角支架等组成,可对轮胎表面进行实时双向测温。

M90B 型红外测温仪

M90B 型红外测温仪由聚光系统、LCD 液晶显示器、目镜、辐射因数调节按钮及操作模式控制按钮等组成,其主要参数如下:

测温范围	- 50 ~ 1 000
焦距	75 cm ~ +
辐射因数范围	0.1 ~ 1.00
工作波段	8 ~ 14 μm
反应时间	500 ms
测量视野	40 1
精度	$\pm 1\%$
重现性	100 以上 1
工作环境温度	0 ~ 50

Raytek-Raynger ST6 激光发射红外测温仪

Raytek-Raynger ST6 激光发射红外测温仪主要由物镜、激光发射按钮、显示器及操作模式按钮等组成,其主要参数如下:

测量范围	- 32 ~ 500
精度	+ 1 % 或 1
显示分辨率	0.1
环境操作温度	0 ~ 50
响应时间	500 ms
重复性	$\pm 1\%$
光学分辨率	8 1
显示模式	最大、最小、平均值
辐射因数	可调

1.2 试验内容和步骤

对 9.00 - 20 12PR 尼龙载重斜交轮胎(普通纵向花纹)进行表面温度场测试。轮胎气压为 480 kPa,负荷为 18 kN,速度分别取 50,60,70,80,90 和 100 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 六个工况,考察速度对轮胎表面温度场的影响。试验步骤如下。

(1)用气压表检查轮胎气压,通过充、放气使轮胎气压达到 480 kPa。将试验轮胎与红外测温系统固定在轮胎转鼓试验台上,并将红外测温仪校准好(包括仪器调焦、辐射因数 标定为 0.94 等)。

(2)用温度计测定并记录环境温度(即轮胎初始温度)。

(3)启动轮胎转鼓试验台,液压加载至轮胎的额定载荷 18 kN,分别调节红外测温仪,使物镜对准轮胎的最外边缘作为测量的起始点。

(4)调节电机转速使轮胎的线速度达到设定值(如 50 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 等),开始一个工况的试验。

(5)开始计时,每隔 15 min 测定并记录轮胎不同部位测点的温升情况,考察温升随时间变化的情况,即非稳态时轮胎表面生热情况。

(6)当轮胎表面各部位的温度达到稳态时(经测试得知该轮胎需要运转约 45 min 才能达到稳态),测定并记录稳态时轮胎表面各点的温升值,即稳态时轮胎表面生热情况,然后停机。

(7)停机 5 min 后,迅速测量并记录轮胎表面各测点的温度,与同一测点运行时的温度进行对比,即稳态时轮胎的散热情况;同时测量并记录轮胎腔内气体压力的大小,以计算轮胎腔内气体温度。

(8)开始计时,每隔 5 min 测量并记录轮胎表面不同部位的温度,考察温度下降情况,即非稳态时轮胎表面散热情况。

(9)直至轮胎表面冷却至室温,重新校正轮胎气压和红外测温仪,准备进行下一个工况的试验。

2 结果与讨论

2.1 非稳态时轮胎表面的生热特性

图2所示为速度为 70 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的轮胎在定

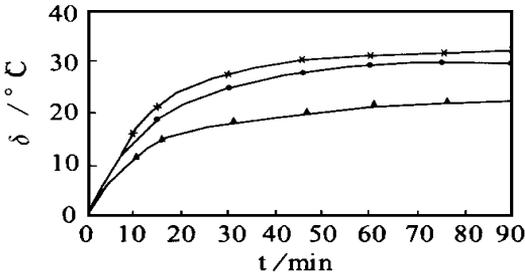


图2 速度为 70 km·h⁻¹的轮胎表面各部位温升-时间曲线
x—胎肩；—胎侧；—胎冠

载(18 kN)、定压(480 kPa)下持续运转 90 min, 其表面各部位从冷态达到稳态温升(Δ)与时间(t)的关系曲线。从图2可以看出,轮胎在最初的15 min内,温度急剧上升,当达到45 min以后,温度上升十分缓慢,此时可近似认为轮胎达到稳定热平衡状态。轮胎各部位温升趋势基本一致,只是温升大小不同,其中胎肩部位温升最高,胎侧次之,胎冠最低。

图3所示为胎冠部位在不同速度下的温升-时间曲线。从图3可以看出,在不同速度下,温升时间一致,温升大小却不一样,速度越高温升越大。这是因为随着速度的提高,轮胎变形频率加大,单位时间内生热增高,故温升增大。进一步研究表明,定载、定压及不同速度工况下,轮胎表面各部位的温升情况与上述结论相似,且温升时间与轮胎速度无关^[4,5]。因此不能用提高速度的办法来尽快达到热平衡状态,其原因应归根于轮胎的结构和材料等内在因素。

2.2 非稳态时轮胎表面的散热特性

图4所示为在不同速度下胎肩部位表面温

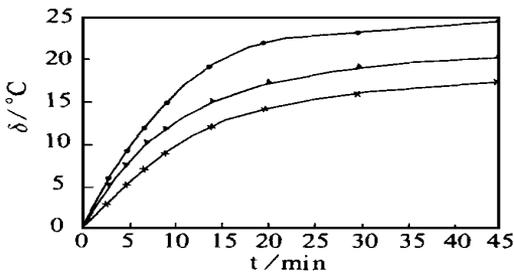


图3 胎冠部位在不同速度下的温升-时间曲线
x—50 km·h⁻¹；—70 km·h⁻¹；—90 km·h⁻¹

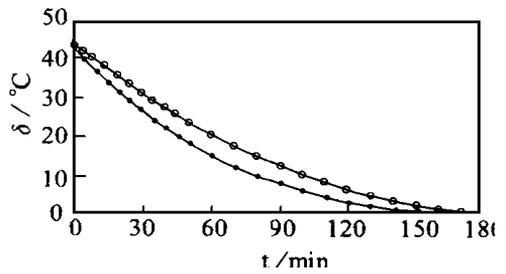


图4 在不同速度下胎肩部位表面温度随时间衰减曲线
—50 km·h⁻¹；—60 km·h⁻¹

度自然衰减曲线。从图4可以看出,轮胎自然冷却至室温的时间约为3 h,前60 min轮胎温度下降较快,以后越来越慢,直至达到室温。虽然速度不同,轮胎表面温度不同,但温度下降至室温的时间相同,说明轮胎表面的散热特性与速度无关。进一步研究表明,轮胎表面各部位温度冷却至室温的时间与速度、载荷及气压等因素无关^[4,5]。

2.3 稳态时轮胎表面的生热及散热特性

图5所示为稳态时轮胎表面各部位温升随速度的变化曲线。从图5可以看出,各部位的温升与速度近似呈线性关系,即随着速度的增大,各部位的温升也增大,其中胎肩部位温升最高,胎侧次之,胎冠最低。出现这种现象是由于胎肩部位的胎体厚,生热高,热量积聚,故表面温度最高;胎侧部位胎体薄,散热快,故温度不是很高;而胎冠部位刚性较大,变形较小,生热低,故温升最低。

图6所示为以90 km·h⁻¹的速度稳态运行时及停机后轮胎表面各部位对应测点温升分布对比曲线。从图6可以看出,稳态运行时胎冠

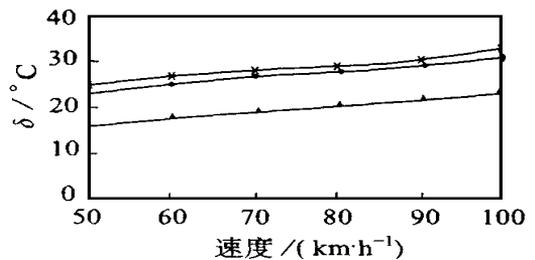


图5 稳态时轮胎表面各部位温升随速度变化曲线
注同图2

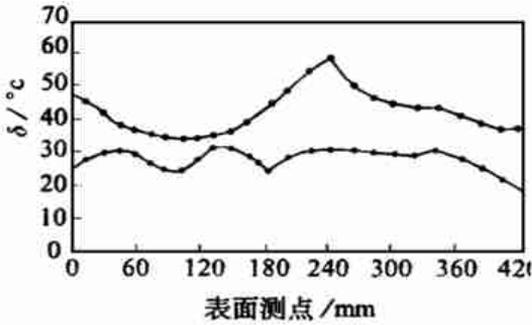


图6 稳态运行时及停机后轮胎表面各部位
对应测点温升曲线
—稳态运行; - - -稳态停机。

测点从胎肩开始沿径向经胎冠、另一侧胎肩、胎侧到轮辋。表面温度分布关于其中心对称;胎冠中间温升最低,向两侧逐渐升高,到胎肩处下降,其规律近似呈正弦曲线关系。这与轮胎结构对称是一致的,表明其受载也近乎是对称的。产生这种现象的原因是胎冠中央刚性较大,变形较两侧小,生热低,加上与传热因数较大的转鼓相接触,自然温度也低;胎冠两侧由于变形大,生热高,且散热不好,故温升较高;胎肩部位因风的冷却对之更有利,由于气流带走的热量较胎冠两侧多,因此温升较胎冠两侧低。胎肩及胎侧部位温升变化较平缓,轮辋处温升最低。

图6中的两条曲线对比表明,在运行时及停机后轮胎表面同一测点的温升之差最大接近30。这是因为轮胎运转时,由速度引起的生热被较大的气流从轮胎表面大量地带走,且随着速度的增大,这一现象更加明显^[4]。停机后,积聚在胎体内的热量急剧外散,表面温升比运行时高。可见,轮胎运转过程中,风的冷却作用是不可忽视的。由此可以推断,汽车从高速急剧下降到低速时,因轮胎内部热量积聚,常易发生爆胎现象。此时轮胎表面最高温升部位是胎肩,表明此处积聚了大量的热量。在大负荷下,这一现象更加明显^[4]。

2.4 稳态时轮胎表面最高温升的回归分析

图7所示为稳态时轮胎表面最高温升随速度变化的回归曲线。在稳态、定载(18 kN)、定压(480 kPa)下,轮胎最高温升部位是胎肩。可见,轮胎在高速、超载、长时间下运转时,最先发生热破坏的部位应该是胎肩。其回归方程为:

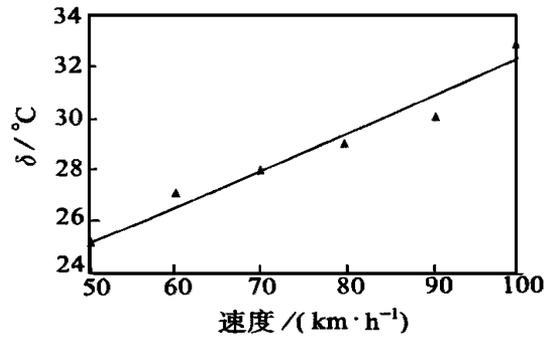


图7 稳态时轮胎表面最高温升随速度
变化的回归曲线
—实测值

$$= 17.9524 + 0.142857v \quad (1)$$

式中 — 温升, ;

v — 轮胎速度, $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

式(1)表明轮胎表面最高温升与速度呈线性关系,速度越高,温升也越高,这一关系式可用来预测更高速下的温升大小,为进一步研究爆胎机理奠定了基础。

2.5 稳态时轮胎腔内气体温升计算

滚动轮胎腔内气体的温度虽不易直接测定,但可根据理想气体状态方程计算得到。轮胎腔内气体变化的过程可看成是“等容变化”^[6]。根据“气体体积不变时,其压力与绝对温度成正比”的原理,通过测得试验前轮胎腔内气体的温度和试验前、后轮胎腔内气体的压力,可计算试验后轮胎腔内气体的温度。其关系式为:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2)$$

$$V_1 = V_2$$

$$\text{得} \quad T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1} \quad (3)$$

式中 P_1 — 轮胎运转前腔内气体压力, kPa;
 P_2 — 轮胎运转后腔内气体压力, kPa;
 T_1 — 轮胎运转前腔内气体绝对温度, K;
 T_2 — 轮胎运转后腔内气体绝对温度, K;
 V_1 — 轮胎运转前腔内容积;
 V_2 — 轮胎运转后腔内容积。

将试验测得各速度工况下轮胎腔内气体压力代入式(3),计算得到稳态时轮胎腔内气体的温升(换算成摄氏温度),如表1所示。

表1 稳态时不同速度下轮胎腔内气体的温升

项 目	$v / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$					
	50	60	70	80	90	100
P_2 / kPa	570	580	600	611	630	651
T_2 / K	353.476	361.25	373.88	379.605	391.377	404.696
ΔT	55.326	63.10	75.73	81.455	93.227	106.545

注:初始温度 $T_1 = 273.15 + 25 = 298.15 (\text{K})$, 初始气压 $P_1 = 480 \text{ kPa}$, $\Delta T = T_2 - T_1$ ()。

从表1可以看出,随着速度的增大,轮胎腔内气体的温升也增大,特别是在高速时,如速度为 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 达到 106.545 , 此时腔内气压达到 651 kPa , 增长了 35.6% , 如此高温、高压极易使轮胎产生过热破坏。当轮胎在外界因素作用下,如受到外界损伤时,轮胎极易在腔内气体的高压作用下,再加上轮胎胶料的各向异性将导致裂口沿某个薄弱的方向形成,超过了外层橡胶和帘线的强度极限后,外层橡胶撕裂,一部分橡胶及气体冲出破口,发生爆胎现象。可见,在高速下轮胎爆胎与腔内气压过高等密切相关,特别是在炎热的夏天,因行驶时间过长、轮胎过热、腔内气压过高等原因而常常发生

爆胎现象。

3 结论

(1) 轮胎转鼓试验台和双向红外测温系统的可靠性能满足测温要求,可测定滚动轮胎表面温度场的分布。

(2) 得到了轮胎各部位的温升随时间、速度变化的曲线,较真实地反映了轮胎的温升情况。

(3) 轮胎腔内气体温度虽不易测定,但可通过计算得到。轮胎高速超载、长时间运转及腔内气压过高等因素常常导致爆胎现象发生。

参考文献:

- [1] 叶可舒. 高速公路的发展为轮胎敲响了警钟——轮胎的高性能急需提高[J]. 轮胎工业, 1991, 11(9): 25-30.
- [2] 王家青. 从高速公路交通事故谈加强汽车维修工作[J]. 汽车维修, 1997(8): 43-47.
- [3] 叶可舒. 国外对载重轮胎生热研究的简况[J]. 轮胎工业, 1991, 11(10): 60-62.
- [4] 赵子亮. 高速滚动汽车轮胎温度场的研究[D]. 长春: 吉林工业大学, 1998.
- [5] Schuring D J. The rolling loss of pneumatic tires[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1980, 53(4): 655-658.
- [6] 张德林. 汽车轮胎使用与维修[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1992. 118-119.

收稿日期: 2000-10-01

Experimental study on surface temperature field of 9.00 - 20 nylon tire rolling at high speed

WANG Qing-nian¹, ZHAO Zi-liang¹, LI You-de¹, JING Fu-tao², XU Xin-ming²

(1. Jilin Polytechnic University, Changchun 130025, China; 2. Shandong Ju County Traffic Bureau Ju County 276500, China)

Abstract: The surface temperature field of 9.00 - 20 12PR nylon tire was determined by a tire wheel test stand and a self-designed bidirectional infrared temperature measuring system, and the influence of the rolling speed on the surface temperature of tire was investigated. The test results showed that the temperature rise at the various portions of tire increased in the order of the temperature rise at shoulder > that at sidewall > that at tread as the rolling speed increased. An experience formula of the maximum temperature rise on tire surface vers the speed was established by regression: $\Delta T = 17.9524 + 0.142857v$. Based on the measurements of the air temperature in tire cavity before test and the tire inflation pressures before and after test, the air temperature in tire cavity after test could be calculated with the gaseous state formula.

Key words: tire; infrared temperature measurement; surface temperature field; speed