

# 红外测温技术在滚动轮胎表面温度场测试中的应用

王庆年, 赵子亮, 李幼德, 李杰, 初亮

(吉林工业大学汽车工程学院, 吉林 长春 130025)

**摘要:**介绍了红外测温技术的特点及其在滚动轮胎表面温度场测试中的应用。红外测温技术是依据物体发出的红外辐射能量与物体温度之间的关系进行温度测量的,它具有快速、非接触、不破坏被测温度场及测量精度高等优点。应用双向红外测温系统进行了载重轮胎 9.00 - 20 14PR 滚动表面温度场分布的测定,其数据表明,轮胎各部位温升大小不同:胎冠最大、胎侧次之、胎圈较小、胎肩最小,与实际情况基本符合。

**关键词:**红外测温技术;轮胎;表面温度场

**中图分类号:** O434.31; TQ330.7<sup>+</sup>3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8171(2001)12-0733-06

轮胎是汽车的一个重要部件,除空气动力外,几乎所有作用于汽车的外力都是通过轮胎与路面的接触并发生相互作用而产生的。轮胎因生热而使其材料发生了化学或物理变化,性能和质量急剧下降,导致脱层、爆胎,缩短了轮胎的使用寿命,更严重的是影响了汽车的安全性和使用性。据统计,汽车轮胎的损坏 60% 都是热损坏。为了研究轮胎高速滚动下的生热情况及其温度场分布,探寻使用条件(轮胎速度、气压、载荷及环境温度等)对轮胎温度场分布的影响;同时为优化轮胎设计及配方提供参考依据,必须以试验的方法测量轮胎表面温度,并为数值分析提供必要的边界条件。

无论何种类型和规格的轮胎,其温度场的实际测定均可采用以下两种方法:接触法(主要测定轮胎内部温度)——热电偶测温法;非接触法(主要测定轮胎表面温度)——红外测温法。由于接触法测温一般需要事先在轮胎内部打孔或预先将热电偶埋入轮胎<sup>[1]</sup>,这样会改变轮胎温度场的初始状态,并且通过滑环得到的信号十分微弱,测量温度存在偏差,还会产生

应力集中,易使轮胎发生爆破。因此,除验证仿真结果外,轮胎温度场的测量越来越多地应用非接触测温法即红外线测温法<sup>[2~4]</sup>。该方法通过测定被测物体的红外线辐射量来确定被测物体的表面温度,并以此推断轮胎的内部温度<sup>[5]</sup>。其最大的优点是不用接触即可测得被测物的表面温度分布。本工作将介绍红外测温技术在滚动轮胎表面温度场测试中的应用。

## 1 红外测温技术

任何物体只要其温度高于绝对零度都会因分子的热运动而发射红外线,且发出的红外辐射能量与物体的温度有关,红外测温法就是依据这一特性来测量物体温度的。

### 1.1 红外测温法原理<sup>[6]</sup>

红外测温法的理论根据是普朗克黑体辐射定律,它定量地确定了不同温度的黑体在各个波长下的电磁辐射能量的大小。

图 1 是黑体辐射曲线图。曲线由下至上温度越来越高。由图 1 可以看出,温度 2 000 K 以下的曲线最高点所对应的波长已不是可见光而是红外线。人眼是看不见这种射线的,需要用专门的红外探测元件来检测。

红外辐射测温实际上是接受某一波段  $\lambda_1 \sim \lambda_2$  的红外辐射线,在这一波段内辐射能力可

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,黑龙江哈尔滨人,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及轮胎力学与热学的研究工作。

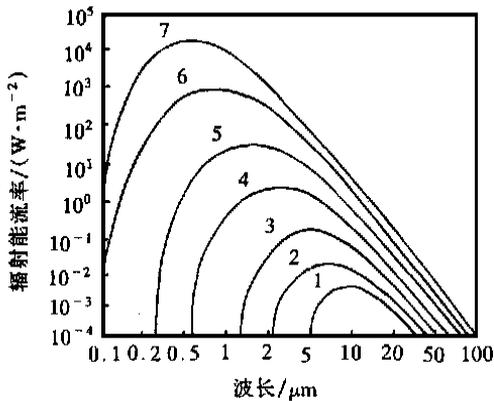


图1 黑体辐射特性图

温度:1—200 K;2—300 K;3—500 K;4—1 000 K;  
5—2 000 K;6—4 000 K;7—6 000 K

用维恩公式(或普朗克公式)积分求取,即

$$E(T) = \int_0^{\infty} E(\lambda, T) d\lambda$$

$$= \int_0^{\infty} \frac{2\pi^5 C_1}{15 C_2^5} \exp(-C_2/\lambda T) d\lambda$$

$$= K(\lambda_1, \lambda_2) T^4$$

式中  $E(T)$  ——辐射能流率,  $W \cdot m^{-2}$ ;

$T$  ——绝对温度, K;

$\lambda$  ——波长,  $\mu m$ ;

$\epsilon(\lambda)$  ——给定波长的比辐射率(黑体为1,一般物体在0~1之间);

$C_1$  ——第一常数,等于  $3.743 \times 10^8 W \cdot \mu m^4 \cdot m^{-2}$ ;

$C_2$  ——第二常数,等于  $1.439 \times 10^4 \mu m \cdot K$ ;

$K(\lambda_1, \lambda_2)$  ——反映波长  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  影响的参数,对于给定的波长范围,  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  为常数;

$\sigma_0$  ——普朗克常数,等于  $5.67 \times 10^{-8} W \cdot (m^2 \cdot K^4)^{-1}$ 。

因此,只要测定实际物体在某一波段下的辐射能量,则通过换算就可确定它的温度。

## 1.2 红外测温法的特点

(1) 红外测温技术是一种非接触式的测温技术,因此不会破坏被测物体的温度场,也不受被测物体的腐蚀和毒化等影响,可以获得较高

的测量精度。

(2) 传感器不必像热电偶那样需要与被测物体达到热平衡,它只要接受到目标的辐射就可以,因此响应速度快。从理论上讲,测温上限不受限制,动态特性好,可以测量处于运动状态对象的温度和变化着的温度。

(3) 红外测温方法不仅可以测量高温(如3 000 K),而且可以测量中温和摄氏零度以下的低温,为中、低温的非接触测量提供了新的方法。

(4) 红外测温方法是一种不可见光的检测,适用于黑夜中测量。红外波长越长,传输损耗越小,可远距离遥测。

## 2 红外测温仪

### 2.1 红外测温仪的构成及工作原理

#### (1) 红外测温仪的构成

测量物体红外辐射以确定物体温度的温度计叫做红外测温仪,它是一种非接触、能测量低温且能快速测量温度的仪器。

红外测温仪通常由光学系统、光电转换器、信号处理电路和数字显示器等构成,其最主要的部分是红外辐射通道(光学系统)和红外探测器。

#### (2) 红外测温仪的工作原理

红外测温仪的工作原理如图2所示。被测目标的红外辐射通过物镜汇聚到测温仪探头内。45°分光片使可见光通过,将红外光反射到红外探测器上。前后移动物镜使目标的辐射在探测器上聚焦。由于探测器和分化板与分光片距离相等,目标上的可见光也将聚焦在分化板上。分化板上刻有小环,小环的大小和探测器光栏大小相等,目标覆盖了分化板小环,也就覆盖了探测器光栏。通过目镜观察分化板确定对目标的瞄准和聚焦情况。探测器前面的滤光片限定测温仪的工作波段,调制盘将红外辐射斩光,使探测器接收断续光和输出交流或脉冲电信号。调制盘上刻有齿槽并由马达带动旋转。前置放大器放大来自探测器的信号,同步发生器产生同步信号,热敏元件产生环境温度补偿信号。这3个信号通过解调器产生仅与目标温

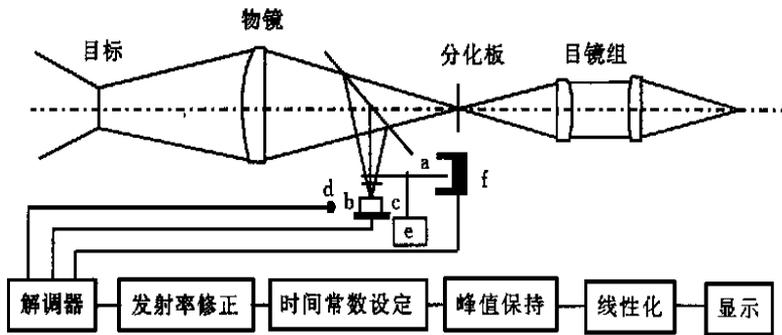


图 2 红外测温仪原理图

度对应的信号,这个信号再经发射率修正、时间常数设定、峰值保持选择及延迟时间设定和线性化修正,最后以数字或表头形式显示目标温度。

### 2.2 双向红外测温系统

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。

#### (1) 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。其主要参数如表 1 所示。

#### (2) Raytek-Raynger ST6 激光发射红外测温仪

Raytek 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及辐射因数调节按钮等组成,其主要参数如表 2 所示。

### 3 红外测温仪在滚动轮胎表面温度场测试中的应用

应用 M90B 型红外测温仪及 Raytek 激光发射红外测温仪对某厂生产的载重斜交轮胎(9.00 - 20 14PR)进行表面温度场测试。测温试验时,红外测温仪设置为连续模式,其读数设置为平均模式。用温度计对红外测温仪进行标定,试验轮胎的表面辐射因数为 0.94。

#### 3.1 非稳态时轮胎表面的生热特性

表 3 为载重斜交轮胎(9.00 - 20 14PR)持续运转 120 min 表面各部位从冷态达到稳态所需的时间,即温升随时间的变化情况。从表 3 可以看出,轮胎在最初的 30 min 内,温度急剧

表 1 Mikron M90B 型红外测温仪主要参数

项 目	参 数
测温范围/	- 50 ~ + 1 000
焦距/cm	75 ~ +
辐射因数范围	0.10 ~ 1.00
工作波段/μm	8 ~ 14
反应时间/ms	500
测量视野	40 1
测量精度	±1 %或 1
重复性	100 以上 1
工作环境温度/	0 ~ 50

表 2 Raytek-Raynger ST6 激光发射红外测温仪主要参数

项 目	参 数
测温范围/	- 32 ~ + 500
测量精度	±1 %或 1
显示分辨率/	0.1
工作环境温度/	0 ~ 50
反应时间/ms	500
重复性	±1 %
光学分辨率	8 1
显示模式	最大、最小、平均值
辐射因数	0.10 ~ 1.00

上升,当达到 90 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,达到稳态的时间几乎相同,只是温升的大小不同:胎冠部位温升最大,胎侧次之,轮辋较小;胎肩开始较大,以后最小。

表 4 示出了不同时刻(每隔 15 min 沿整个表面记录一次)轮胎表面各测点温度分布情况。由表 4 可见,胎冠部位的温升最大,且变化急剧,胎侧(包括加强区)次之,轮辋较小,胎肩最

表3 轮胎表面各部位温升随时间变化情况

时间/min	位置				时间/min	位置			
	1/2 胎冠	胎肩	胎侧	轮辋		1/2 胎冠	胎肩	胎侧	轮辋
0	0	0	0	0	60	18.3	10.0	12.3	10.9
5	12.2	3.3	2.4	1.4	70	18.5	10.4	12.6	10.9
10	15.2	6.0	5.0	2.8	75	19.0	10.5	12.8	11.4
20	16.2	7.9	8.3	5.4	85	19.4	10.4	12.7	11.4
25	17.2	8.3	9.3	6.9	90	19.6	10.5	13.0	11.6
30	17.5	9.1	10.5	8.4	100	19.8	10.9	13.1	11.8
40	17.9	9.5	11.1	8.8	105	20.0	10.9	13.3	11.9
45	17.9	9.9	11.8	9.9	110	20.2	10.9	13.1	11.2
55	18.0	10.0	11.9	10.3	120	20.2	11.4	13.8	12.2

注:试验时轮胎速度为  $90 \text{ km h}^{-1}$ , 载荷为  $12.6 \text{ kN}$ , 气压为  $770 \text{ kPa}$ ; 试验开始时的环境温度为  $16.8$ ; 胎冠表面温度为胎面温度, 中央花纹沟温度比其附近面上的温度高近  $20$ 。

表4 不同时刻轮胎表面各测点温升

位置/mm	时间/min								
	0	15	30	45	60	75	90	105	120
胎冠									
0	0	11.2	12.2	12.2	12.2	11.2	12.2	11.2	14.2
30	0	13.2	14.2	14.2	16.2	15.2	14.2	15.2	18.2
60	0	20.2	20.2	18.2	23.2	22.2	18.2	22.2	26.2
90	0	22.2	25.2	26.2	23.2	21.2	29.2	21.2	22.2
100	0	16.2	17.2	16.2	17.2	15.2	19.2	15.2	18.2
110	0	18.2	19.2	17.2	21.2	19.2	19.2	19.2	25.2
140	0	25.2	27.2	29.2	24.2	23.2	30.2	24.2	23.2
170	0	16.2	18.2	17.2	17.2	16.2	19.2	16.2	18.2
200	0	10.2	12.2	10.2	11.2	10.2	11.2	10.2	15.2
胎肩									
202	0	4.5	6.4	6.8	7.3	7.3	7.8	7.6	8.5
214	0	5.4	7.6	7.8	8.5	8.7	8.9	8.8	9.8
226	0	6.8	8.9	9.5	10.0	10.1	10.5	10.5	11.4
238	0	6.8	9.0	9.6	10.0	10.4	10.6	10.6	11.4
250	0	6.9	9.1	9.8	10.4	10.5	10.9	6.0	11.7
262	0	7.4	10.0	10.6	11.3	11.5	11.7	11.8	12.6
274	0	7.7	10.3	11.3	11.9	11.9	12.4	12.5	13.0
胎侧									
286	0	7.9	10.6	11.6	12.3	12.4	12.8	13.0	13.5
304	0	7.5	10.0	11.3	12.0	11.5	12.5	12.7	13.0
322	0	6.9	9.5	10.7	11.4	11.6	12.0	12.1	12.6
340	0	6.9	9.6	10.8	11.5	11.7	12.0	12.1	12.8
358	0	7.1	10.1	11.3	12.0	12.3	12.6	12.8	13.4
376	0	7.0	10.1	11.5	12.3	12.5	13.0	13.0	13.6
394	0	7.1	10.4	12.0	13.0	13.4	13.6	14.1	14.6
412	0	6.4	10.1	12.3	13.1	13.7	14.4	14.4	15.0
轮辋									
422	0	5.2	8.4	10.6	11.6	12.0	12.9	12.8	13.1
432	0	4.6	7.4	9.7	10.6	10.6	11.5	11.9	12.3

注:同表3。

小,后几个部位温度变化较平缓。这种现象可作如下解释:胎冠表面直接与转鼓接触,由于摩

擦产生了大量的热,再加上变形产生的热,故温升最大;胎侧由于胎体较薄,变形大,生热大,传

热较快,胎侧加强区由于与轮辋接触而产生摩擦生热,因而温升较大;胎肩部位由于胎面胶最厚,橡胶又是热的不良导体,热量不易散发出去,因而表面温升最小;整个温升过程中,轮辋部位的温升并不是很大,这表明在温升过程中,通过轮辋散发的热量较多,这是由于轮辋为钢质材料,导热系数大,散热快。由此可见,可以通过改善轮辋的材料提高其导热系数来降低轮胎的温度。

由表 4 还可以看出,胎冠表面温度分布关于其中心对称;胎冠中间温升最小,向两侧逐渐变大,到胎肩处减小,其规律近似呈正弦曲线关系。这与轮胎结构对称是一致的。这表明其受载也近乎是对称的。这种现象的产生可作如下解释:胎冠中央刚性较大,变形较两侧小,生热小,再加上与导热系数较大的转鼓相接触,自然温度也低。胎冠两侧由于变形大,生热大,且散热不好,并且靠近花纹沟,不易散热,故温升较大。胎肩部位因风的冷却对之更有利,自然由于气流带走的热量较胎冠两侧多,因此温升较胎冠两侧小。

3.2 稳态时轮胎表面的生热及散热特性

表 5 所示为稳态时轮胎运行中及停机后表面对应测点温升变化情况对比。从表 5 可以看出,表面同一测点在运行中及停机后的温升之差高达 10 之多。这种现象可作如下解释:轮胎运转时,由速度引起的生热被较大的气流从轮胎表面带走,且随速度的增大,这一现象更加明显<sup>[5]</sup>。停机后,积聚在胎体内的热量急剧外散,因此表面温升比运转时大。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。整个轮胎表面胎冠部位温升最大;而这时胎肩部位的温升次之,表明胎肩内部积聚了大量的热量;胎侧部位较小,轮辋最小。

3.3 非稳态时轮胎表面自然冷却散热特性

图 3 所示为轮胎表面温度自然冷却衰减曲线。从图 3 可以看出,轮胎自然冷却至室温的时间近 3 h。虽然轮胎表面温升大小不同,但温度下降至室温的时间相同。胎冠部位的温度冷

表 5 稳态运行时及停机后轮胎表面对应测点温升

位置/mm	稳态	停机	位置/mm	稳态	停机
胎冠			250	10.9	18.3
0	12.2	18.2	262	11.7	17.6
30	14.2	23.2	274	12.4	17.4
60	18.2	31.2	胎侧		
90	29.2	36.2	286	12.8	17.2
100	19.2	36.2	304	12.5	17.1
110	19.2	38.2	322	12.0	16.4
140	30.2	27.2	340	12.0	16.5
170	19.2	23.2	358	12.6	16.5
200	11.2	19.2	376	13.0	17.1
胎肩			394	13.6	17.1
202	7.8	13.3	412	14.4	15.2
214	8.9	15.3	轮辋		
226	10.5	19.4	422	12.9	14.8
238	10.6	19.9	432	11.5	13.4

注:停机后的环境温度为 18.8,停机后马上进行温度测量,其它条件同表 3。

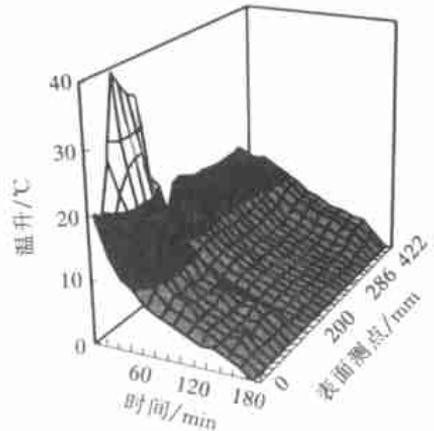


图 3 轮胎表面各测点温升随时间变化衰减曲线  
注同表 3

却速率最大,其余部位较小;前 60 min,温度下降速率最大,到 120 min 整个轮胎散热达到均匀,并且速率变化较慢,接近 3 h 轮胎冷却至室温。在整个冷却过程中,轮辋部位的温度较高,这说明其附近的大量热量通过轮辋散发出去。

4 结论

(1) 红外测温技术是一种非接触式的测温技术,不会破坏被测温度场,可以获得较高的测量精度。红外探测元件的响应速度快、灵敏度高。

(2) M90B 型红外测温仪及 Raytek 激光发

射红外测温仪性能可靠,满足了测温要求,可测试滚动轮胎表面温度场的分布。实际进行了9.00-20 14PR滚动轮胎表面温度场分布测定,其数据表明,稳态和非稳态情况下,轮胎各部位温升趋势基本一致,而温升大小不同:胎冠最大、胎侧次之、轮辋较小、胎肩最小,较真实地反应了轮胎的温升情况,为研究轮胎内部温度场分布奠定了基础。

**参考文献:**

[1] Conant F S. Tire temperature [J]. Rubber Chemistry and Technology, 1971, 44: 397.

[2] Wilburn D K. Infrared inspection of non road wheels[J]. Tire Science and Technolog

[3] Trivisonno N M. Thermal analysis of a rollin SAE. 700474, 1970: 1-6.

[4] Conant F S, Hall G L, Walter J D. Surface tem running tires usin 1970: 1-5.

[5] 林工业大学, 1998.

[6] 大学出版社, 1992. 220-221.

## Application of IR temperature determination to surface temperature profile of running tire

WANG Qing-nian, Zhao Zi-liang, LI You-de, LI Jie, CHU Liang  
(Jilin University of Technology, Changchun 130025, China)

**Abstract:** The characteristics of IR temperature determination and its application to determining surface temperature profile of running tire were described. The IR temperature determination was based on the relationship between the IR radiation energy and the sample temperature, and featured fast, non-contact and non-destructive to tested temperature profile and precise. The surface temperature profile of running 9.00-20 14PR truck tire was determined by a bidirectional IR temperature determining system. The results showed that the temperature risings at different portions of tire was in the order: crown > sidewall > bead > shoulder, which was in accordance with the practical situation.

**Key words:** IR temperature determination; tire; surface temperature profile

### 银川 30 万套全钢载重子午线轮胎项目竣工

中图分类号: U463.341+.6      文献标识码: D

2001年9月29日,银川(长城)轮胎有限责任公司举行了30万套全钢载重子午线轮胎项目竣工仪式。该项目于1988年提出申请,1998年获得国家批准,并被列入国家“九五”计划重点项目,1999年9月28日开工建设。整个项目总投资8亿元,部分关键设备从国外引进,技术软件由北京橡胶工业研究设计院提供。一期工程投产后将达到11种规格22万套有内胎和8万套无内胎载重子午线轮胎的生产能力。该项目工程厂房和公用工程按60万套生

产能力设计。公司的产能目标为年产100万套全钢载重子午线轮胎。

(本刊讯)

### 欧洲替换胎市场不同档次轮胎分布

中图分类号: TQ336.1      文献标识码: D      万条

项 目	2000 年	2005 年
高性能轮胎(V, W, Z级)	2 500(19%)	4 700(33%)
中性能轮胎(H级)	3 000(23%)	3 300(23%)
低性能轮胎(S, T级)	7 500(58%)	6 200(44%)
总销量	13 000	14 200