

# 散斑法测定钢丝帘线/橡胶复合材料弹性模量的研究\*

顾学甫 涂玉谦 俞 洪 王卫锋

(华南理工大学 510641)

**摘要** 以激光散斑法测定子午线轮胎带束层部位材料的弹性模量。该法属非接触式无损测试技术, 所测位移量为  $1.5\mu\text{m}$  至数百微米, 并可指示出位移的方向。

**关键词** 子午线轮胎, 复合材料, 激光散斑法

目前国内外高速车辆已广泛使用子午线轮胎。从复合材料结构力学的观点来看, 这种轮胎实质上是由钢丝帘线和橡胶组成, 前者为增强相, 后者为基体。钢丝帘线在基体中以子午线规律排列。这类复合材料与传统的纤维增强树脂复合材料有着很大的差别, 即钢丝帘线的弹性模量比橡胶的大得多; 其整体力学性能也十分复杂, 在用有限元法进行轮胎设计时, 需要有相关的工程弹性常数, 这些常数必须通过相应的实验进行测定。在多项测试工作中, 难度较大的要属带束层轴向拉伸试验中弹性模量的测定。原因是沿钢丝帘线方向拉伸时, 试样的伸长变形很小。针对这一特点, 我们采用激光散斑技术对小变形量进行测定, 从而获得了此类材料的弹性模量。

## 1 基本原理与方法

钢丝帘线/橡胶复合材料的弹性模量随钢丝帘线在橡胶基体中排列角度的不同而有很大差异。采用轮胎设计中所用的坐标系定义单轴拉伸试样中钢丝帘线排列的方位角  $\theta$ , 如图 1 所示。设拉力是沿  $y$  方向作用的, 对于  $\theta=0^\circ$  的拉伸试样, 宏观上表现出以橡胶为主的特性, 即在轴向拉力较小的情况下就有

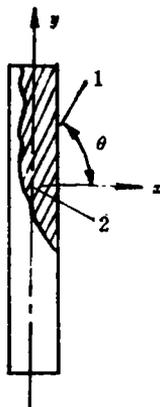


图 1 试样简图

较大的伸长变形; 对于  $\theta=90^\circ$  的试样, 却表现出钢线帘线为主的特性, 即需要施加较大的拉力方能产生一定的伸长变形量。由于钢丝的弹性模量较高, 在轴向拉力作用下的伸长变形仍是微小的, 因此, 采用灵敏度、精确度高的激光散斑法较为适宜。

激光散斑法的记录光路如图 2 所示。当一束时空相干性极为优良的激光束照射到涂有反射膜的轴向拉伸试样表面时, 就发生漫反射, 在表面前方空间发生干涉而形成无数细微的、随机分布的亮暗斑点——散斑。每一颗斑点与被测试样表面的点相互对应。当试样受力变形而表面发生变化时, 散斑也随之

\* 国家自然科学基金资助项目。

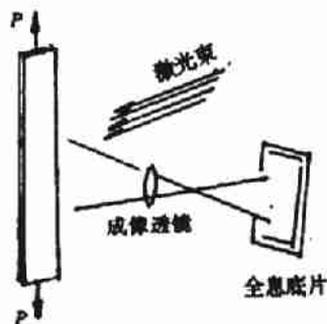


图2 散斑记录光路图

作相应的变化。只要将试样变形前后的散斑记录下来,便可分析出试样表面各点的位移大小和方向。

试样变形前后的散斑记录是采用两次曝光法:在试样未变形时,令全息底片曝光一次,记下试样表面各点的原始位置;当试样受轴向拉力  $P$  作用产生伸长变形时,让该底片在原位作第二次曝光,记下的是试样表面各点发生位移后的新位置。底片经显影、定影后便是一幅“散斑图”,它记载了试样表面各点的位移信息,但是用肉眼审视该图时,只能看到无数亮暗的细小斑点。两次曝光的实质是将试样表面某一点在变形前后的两个位置在底片上形成两个靠得极近的斑点——“斑对”。斑对的大小就含有该点的位移大小和方向,每个斑对都唯一地与试样表面各点相互一一对应,即一点的位移信息是唯一的。

用图3所示的光路可以对散斑图作各点的位移信息提取,即所谓逐点分析法。

由图3可知,一束细激光束照射到散斑图  $H$  上,所要提取位移的某一点,实际是一个极小的区域——斑对,它是两个靠得很近

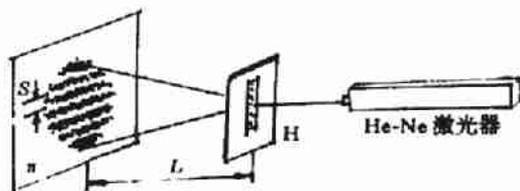


图3 逐点分析法光路图

的小孔。由双孔衍射原理知,在距散斑图  $H$  不远处  $L$  的观察屏面  $\pi$  上显现出明暗相间的杨氏条纹(见图4)。条纹与条纹之间的距离  $S$  是随散斑图与观察屏之距离  $L$  而变的, $L$  越小, $S$  也越小。被照射的该点的位移  $\vec{u}$  的计算式<sup>[1]</sup>为

$$|\vec{u}| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \lambda L / m S \quad (1)$$

式中  $\vec{u}$ ——位移矢量,其方向与杨氏条纹垂直;

$\lambda$ ——氦氖激光波长,  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ;

$m$ ——拍摄散斑图时像与物的放大率,本试验中调焦至像与物同大,即  $m = 1$ 。

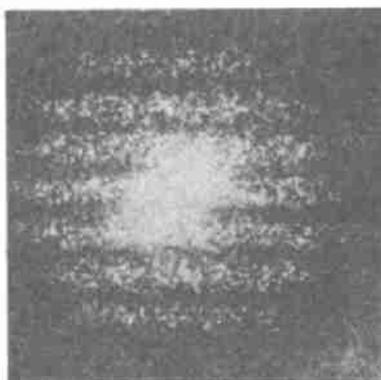


图4 杨氏条纹

若以  $S_x$  和  $S_y$  分别表示杨氏条纹间距沿  $x$  和  $y$  方向的分量,则有

$$\begin{aligned} u_x &= \lambda L / m S_x \\ u_y &= \lambda L / m S_y \end{aligned} \quad (2)$$

可见,由逐点分析法可以便捷地获取试样表面诸点的面内位移的大小和方向。沿试样受拉方向上任意两点的位移差与该两点原始间距之比等于该应力水平下的平均正轴应变。对试样逐级加载,可以测得一系列应力与应变的相关值。

## 2 测试结果分析

试样中的钢丝帘线为  $3+9 \times 0.22$  绞合线。将帘线按单层纵向平行等距铺设 ( $\theta =$

90°)在橡胶基体中,在特制的专用模具中硫化成长条形试样,试样长300mm,宽15mm,厚1.8mm,用X射线检视钢丝帘线的排列是否符合要求。为了获得丰富的散斑,在试样表面喷涂一层漫反射层,记录时调焦,使像与实物的放大率  $m=1$ 。

在测试段内的试样,各有关点的应变  $\epsilon$  值是与轴向拉力所产生的正应力  $\sigma$  值一一对应的。通过逐点分析,可得一系列应力、应变对应值,经回归分析<sup>[2]</sup>,最后可得如图5所示的  $\sigma$ - $\epsilon$  关系。可以认为该应力-应变的线性关系较好。取此线之斜率,便不难得出试样的弹性模量。

### 3 结语

散斑法测量位移,属于非接触式无损测试技术,它可测量  $1.5\mu\text{m}$  至数百微米之间的位移量,并且可以指示出位移的方向。子午线轮胎束层受正轴拉力作用时,由于钢丝帘线的增强作用,其伸长变形量很小,测定这微小变形所产生的试样表面各点之位移,用激光散斑法是较为适宜的。但是,在具体测试过程中还存在一些值得探讨和解决的问题,例如,杨氏条纹间距的测定及散斑图到观察屏之间的距离  $L$  的度量均较粗糙;在对散斑图作逐点分析时,杨氏条纹并非全是水平的,各

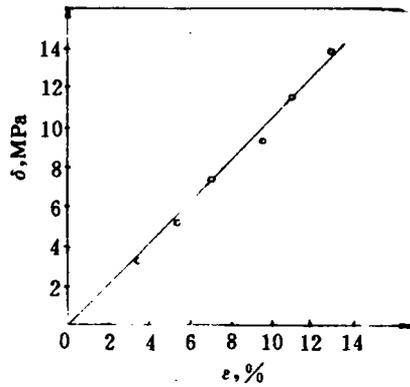


图5 应力-应变关系

点的杨氏条纹有不同程度的倾斜,这就意味着试样受轴向拉伸时,试样各点不但有轴向的位移,还有水平位移,即  $\vec{u}_x \neq 0$ 。这可能是由于试样内部各条钢丝帘线的初始状态不一致或在拉力作用时,各条钢丝互相靠紧所致。不过,经过推算,杨氏条纹倾斜所导致的误差很小,一般不超过1%,故可不予考虑。

### 参考文献

- 1 潘少川等. 实验应力分析. 北京: 高等教育出版社, 1989: 391
- 2 俞忠原. 实验设计与数据分析. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1991: 268

收稿日期 1995-03-28

### 尼龙短纤维在防撕裂输送带中的应用

上海胶带股份有限公司研制成功埋设尼龙纤维胶层的防纵向撕裂输送带。

新型输送带所用纤维为从废旧轮胎中回收的长度为3—15mm的尼龙短纤维。

在配方设计时主要考虑胶料与尼龙短纤维的粘合问题,另外因在胶料中混入尼龙短纤维比较困难,生热量大,混炼时间长,因此要求胶料有足够的焦烧时间。

经反复试验,掺入30%尼龙短纤维的综合性能最理想。

将掺入30%纤维的胶料分别制成不同

厚度的胶片,埋设在输送带的上覆盖胶下进行冲击试验。试验结果表明,纤维胶层越厚,耐冲击性越好,但是纤维胶层越厚,硬度越大,影响输送带的成槽性。因此,从成槽性来确定纤维胶层的厚度以2mm为宜。

将埋设2mm厚纤维胶层的输送带送到煤炭测试中心进行接头运转寿命试验,运转10万次以上,符合MT318—92《煤矿用输送带接头检验规范》要求,已在宝钢等厂家投入使用。

(上海胶带股份有限公司研究所

王宇静供稿)