

# 激光全息轮胎无损检测中干涉仪 及检测灵敏度的探讨

葛 方 兴

(广西桂林曙光橡胶研究所)

**提要:** 本文介绍了一种适用于扩大检测面积的全息干涉仪, 讨论了轮胎全息无损检测中检测灵敏度的估算和提高灵敏度的方法。

## Discussion of interferometer and detection sensitivity in laser holographic NDT of tyres

*Ge Fangxing*

(Shuguang Institute of Rubber Industry, Guilin, Guangxi)

**Abstract:** The paper describes a holographic interferometer which can expand the area of test, and discusses the evaluation and definition of sensitivity for holographic NDT of tyres, also presented are the approaches for the increment of sensitivity.

### 激光全息干涉仪

在轮胎或大圆柱壳体材料的全息无损检测中, 均会遇到一次拍摄面积问题。因工件是环形壳体, 面积大, 无论用内拍法或外拍法, 一次拍摄面积不大于(20~100 厘米<sup>2</sup>), 故只能多次分段检查。所以设计恰当的干涉仪, 扩大拍摄面积是很重要的工作。

图 1 是一种比较合理的干涉仪, 图中 1 经小球面全反射镜 3 扩束后打在 4 上, 经 A 面反射后的光束 7 作参考光, 其它部分作物光, 照明轮胎 5 的整个内表面。物光和参考光在接收介质 8 上发生干涉而被记录下来。若介质 8 是全息热塑片(Photo-thermo-

plasti chologram) 或银盐片原位处理, 可用工业电视进行双曝光实时观测, 并进行信息处理(配以适当的辅助设备)。

对可扩口轮胎, 一张全息图可检查一条轮胎。对不能扩口的轮胎, 可如图 2 办法进行<sup>[1]</sup>检查。

从图 2 可见, 大球面镜的尺寸决定于轮胎的尺寸。若轮胎大, 镜子小, 在胎圈三角胶条 B 处就不能照明, 成为检查盲区。但可通过实验来选择合适的尺寸。

### 检测灵敏度

检测灵敏度是一种检测方法或仪器的

收稿日期: 1981 年 5 月 18 日。

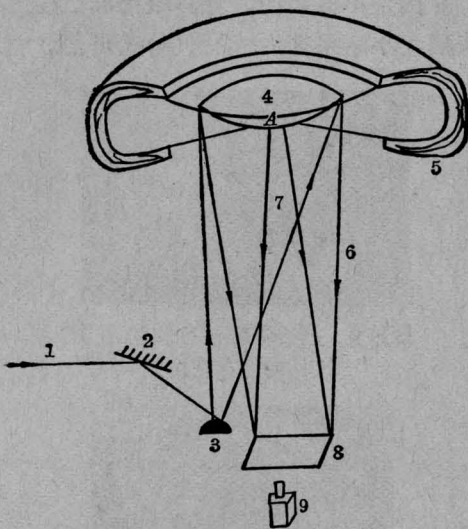


图1 全息轮胎检测仪干涉光路

1—激光; 2—反射镜; 3—小球面全反射镜;  
4—大球面全反射镜; 4为平面部分反射面;  
5—轮胎; 6—物光; 7—参考光; 8—接收介质;  
9—工业电视摄像头

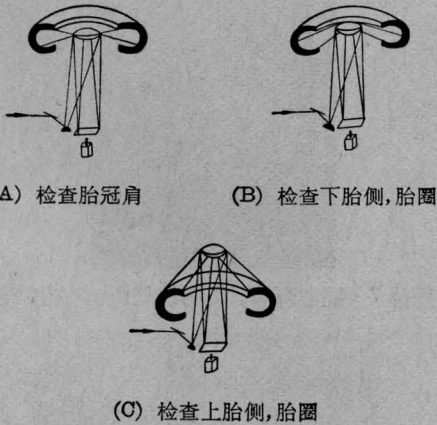


图2 对不能扩口的轮胎分三步检查  
(干涉仪不动, 轮胎自动上、下)

重要指标。图3是轮胎全息双曝光真空内拍法中缺陷干涉条纹形成的几何表示。 $r = MM'$ 为轮胎缺陷表面由于加载引起的位移。不难看出光程差  $\Delta l = r(\cos \theta_1 + \cos \theta_2)$ 。则:

$$r = \frac{m\lambda}{\cos \theta_1 + \cos \theta_2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

式中  $m$  为条纹级数;  $\lambda$  为波长;  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  分别是  $OM$ 、 $MQ$  与  $r$  的夹角。

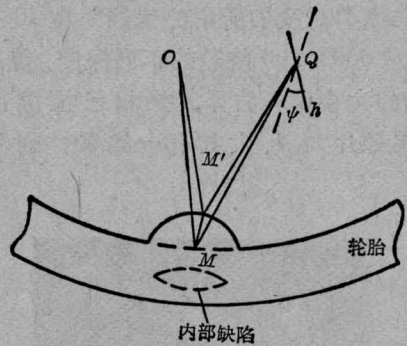


图3 双曝光真空内拍法轮胎内部缺陷干涉条纹形成几何表示

当  $OM$ 、 $MQ$  和  $L$  远大于  $r$  时, 从  $M$ 、 $M'$  点看  $Q$  点正是一杨氏干涉<sup>[2]</sup>。并注意物光  $OMQ$  和  $OM'Q$  的光程差是杨氏干涉中的两倍, 故:

$$\Delta l = \frac{\lambda L \cos \psi}{2} \frac{1}{r} \quad (2)$$

式中  $\Delta l$  为干涉条纹间距;  $L$  为全息图的焦距, 它是  $r$  中点到  $H$  的距离。

有经验公式<sup>[3]</sup>:

$$r = K \frac{\Delta P D^4}{E H^3} \quad (3)$$

式中  $K$  为实验修正因子;  $\Delta P$  为加载压差;  $D$  为缺陷直径;  $E$  为轮胎杨氏模数。  $H$  为缺陷离轮胎检测面的距离。将式(3)代入式(1)得:

$$\begin{aligned} \frac{D^4}{H^3} &= \frac{m\lambda E}{K(\cos \theta_1 + \cos \theta_2)} \frac{1}{\Delta P} \\ &= A \frac{1}{\Delta P} \end{aligned} \quad (4)$$

将式(3)代入式(2)得:

$$\Delta l = \frac{\lambda L E \cos \psi}{2K} \frac{H^3}{\Delta P D^4} = B \frac{H^3}{\Delta P D^4} \quad (5)$$

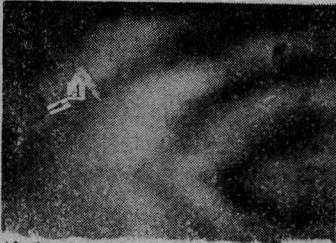
式(4)、(5)中, 当系统和观察方向一定时,  $A$ 、 $B$  为常数。

式(4)表明, 检测灵敏度包含缺陷的大小和深度两个因子, 且两者都是变量。因此评议一台仪器的灵敏度时, 应指出在多深的情况下, 能检测出的最小缺陷是多少。

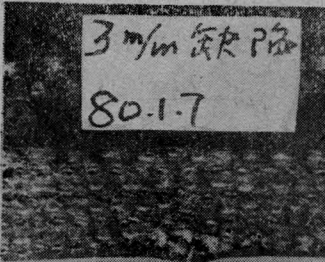


用式(4)对我们所用的仪器\* 在40托压差下,对660×200航胎的不同深度,能检测出缺陷的大小作一估算,并和已检测出的缺陷(见照片2、4、6、8)作一比较,列于表1。

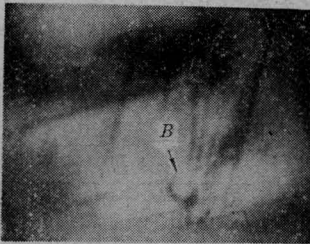
米,显然是不恰当的。计算结果和已检测出的缺陷大小结果接近,说明(4)式可信。



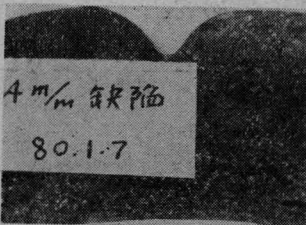
照片1 同心环畸变条纹A,说明该处内部存在缺陷



照片2 照片1中A的实物解剖照片(缺陷在第二层)



照片3 同心环B,说明该处内部存在缺陷

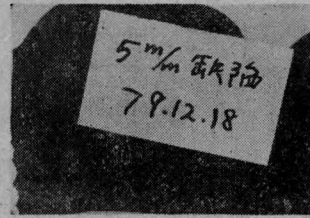


照片4 照片3中缺陷B的实物解剖照片(缺陷在第三层)

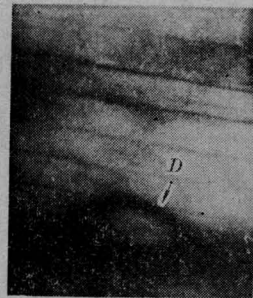
由表1可见深度越深,能检测的缺陷越大。若认为这台仪器的检测灵敏度是3毫



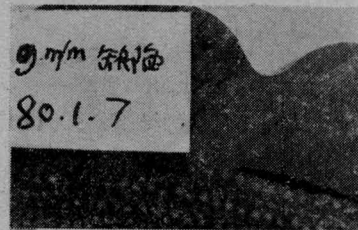
照片5 同心环畸变条纹C,说明该处内部存在缺陷



照片6 照片5中缺陷C的实物解剖照片(缺陷在第四层)



照片7 同心环D,说明该处内部存在缺陷



照片8 照片7中缺陷D的实物解剖照片(缺陷在第八层)

检测灵敏度的估算。当系统确定后,提高加载压差有利于提高灵敏度。但式(5)表明,干涉条纹间距 $\Delta l$ 和加载压差 $\Delta P$ 、缺陷

\* 所用仪器为我所研制的S-JQL-1500型自动激光全息轮胎检测仪。

表 1

缺陷	已检查出的大小 (毫米)	计算的可检查最 小尺寸(毫米)	深度	层次
A	3	1.6	1	1
B	4	2.7	2	2
C	5	3.7	3	3
D	9	7.5	8	8

接收介质: KODAK649F, 加载  $\Delta P=40$  托,  $L=300$  毫米, 物光扩束镜放在轮胎中心, 底片和物光扩束镜靠近。

直径  $D^4$  成反比, 过大的加载, 会导致深层的大缺陷和表层的较大缺陷的干涉条纹过于密集, 失去衬度而分辨不出。我们在实验中多次发现这一问题。拿我们这台仪器为例, 当加载  $\Delta P=70$  托时, 在第二层 ( $H=2$  毫米) 中,  $D=30$  毫米的缺陷, 由公式(5)求出  $\Delta l=0.03$  毫米, 分辨起来就相当困难了。此时第一层 ( $H=1$  毫米) 能检查出  $D_1 \geq 1.4$  毫米的缺陷, 第八层 ( $H=8$  毫米) 能检查出  $D_8 \geq 6.6$  毫米的缺陷。因此, 这台仪器的检测灵敏度对  $660 \times 200$  航胎, 第一层可检测出  $D_1 \geq 1.4$  毫米的缺陷, 第八层可检测出  $D_8 \geq 6.6$  毫米的缺陷。

式(4)、(5)表明, 检测缺陷的大小与光源波长、干涉仪的设计 ( $L, \theta_1, \theta_2, \psi$ )、系统的防振性能、成象的质量、轮胎性质以及加载有关系。为了提高灵敏度, 可选用短波长的光源, 适当的压差, 合理设计干涉光路 ( $L$  尽量短些; 使  $\theta_1, \theta_2$  最小, 即物光扩束镜放在轮胎中心, 使  $\theta_1=0^\circ$ , 并靠近接收介质片  $h$ ;  $\psi$  尽量大一些等)。当检测系统确定后, 只能从改变加载考虑。适当增大加载压差, 对提高灵敏度有利。

以上分析看出, 根据轮胎类型、产品的用途要求, 由计算和实验来选择一适当的加载条件, 使得在同一张全息图上, 对轮胎内各层的大小缺陷均能检查出来, 以得到仪器的最佳检测灵敏度。

对很厚的轮胎, 可用两个或多个加载压差进行检查, 不过检测周期相应地要拉长。

### 参 考 文 献

- [1] 美籍华人黄崇期先生1979年来华报告讲稿; "Collected papers will be sent in 3~5 months for our library". p. 54, 化工部二局供稿。
- [2] C. 3. 福里斯, A. B. 莫列娃著, 东北人民大学物理系译: 《普通物理学》, 第三卷第一分册, p. 22.
- [3] "Holographic Nondestructive Testing", Academic press New Yery and London 1974, p. 361.