

激光全息叶片应力分布研究

黑龙江工学院激光研究室

当前，光弹和电阻应变片法是比较常用的测试应力分布的方法。本文所介绍的应力分布测试法，是运用二次曝光激光全息照相直接从实物表面上测取变形位移的方法。这种方法不仅摆脱了光弹模型，也克服了平均值测量，因而是测试应力分布很有前途的方法。

本文只对静载弯曲下叶片特征线上各点的应力分布进行测量研究，并把其结果同试验相比较。

一、二次曝光测定叶片形变位移

测定形变位移是测试应力分布的基础。二次曝光测定形变位移，就是在一块全息干板上，分别对叶片形变前与形变后进行两次照相，记录下叶片形变前后的两个物光。当再现时，两个物光同时被重现，并发生干涉。这一系列干涉条纹，即为叶片形变的等位移线。

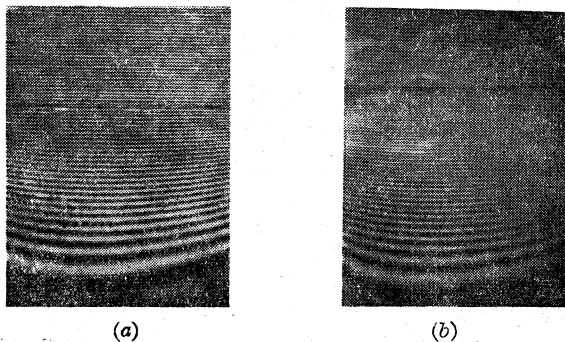


图1 分别为两个叶片的等位移线照片

1. 干涉条纹与形变位移的关系

被测叶片是扭度很小近乎平直的叶片。使叶根固定，在叶端加一切向力使其弯曲。在叶片上任取一点 P ，研究 P 点处形变前后两个物光光程差与位移的关系，如图 2 所示。

假定：形变前 P 点物光光程为 $L_1 + L_2$ ；形变后 P 点物光光程为 $l_1 + l_2$ ；形变后 P 点的位移为 y 。

根据三角学余弦定理有：

$$l_1 = \sqrt{L_1^2 + y^2 - 2L_1y \cos \theta_1}$$

$$l_2 = \sqrt{L_2^2 + y^2 - 2L_2y \cos \theta_2}$$

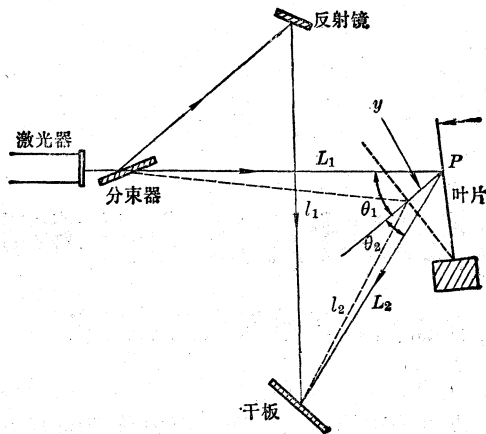


图 2

由于叶片为小形变, 即有:

$$\frac{y}{L_1} \ll 1 \quad \text{与} \quad \frac{y}{L_2} \ll 1$$

所以有以下简化式:

$$l_1 = L_1 - y \cos \theta_1, \quad l_2 = L_2 - y \cos \theta_2,$$

光程差为:

$$\Delta L = y(\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (1)$$

根据光学干涉原理可知: 两束相干光干涉, 产生暗条纹, 其光程差应满足:

$$\Delta L = (2n-1) \frac{\lambda}{2} \quad n=1, 2, 3, \dots$$

于是, 得到:

$$y = \frac{(2n-1)\lambda}{2(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)} \quad (2)$$

如果适当选取照相光路, 使 $\theta_1 \approx \theta_2$, (2)式便简化为:

$$y = \frac{(2n-1)\lambda}{4 \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}} \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

在照相光路中可测得 $\theta_1 + \theta_2$ 。

于是, 由(3)式便可计算出图 1 照片上各级干涉条纹所对应的形变位移值。

2. 形变位移曲线

用读数显微镜测出图 1 照片上各级条纹同叶片高度的对应值, 由(3)式计算出各级条纹与叶片位移的对应值, 综合两者便得到叶片形变位移与叶片高度的函数曲线或函数表达式。

现把叶片特征线上各点形变位移的各测量数据列表并作出位移与叶高的函数曲线。

表 1 [见图 1(a)] 叶片数据($\theta_1 + \theta_2 = 23^\circ$)

条纹级 n	1	4	7	11	13	17	19
位移 y ($\times 10^{-5}$ 毫米)	16.1	112.7	209.3	338.2	403.0	532.0	596.0
叶高 x (毫米)	3.28	8.14	11.05	14.01	15.28	117.54	18.62

表 2 [见图 1(b)] 叶片数据($\theta_1 + \theta_2 = 26^\circ$)

条纹级 n	1	5	10	16	18	24	26
位移 $y(\times 10^{-5}$ 毫米)	16.3	146.3	308.9	509.1	569.1	764.2	829.3
叶高 x (毫米)	1.64	7.99	11.47	14.61	15.46	17.79	18.61

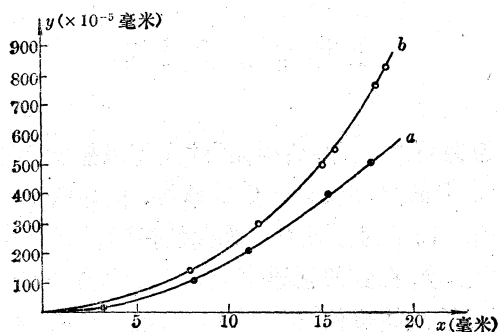


图 3

二、应变分布曲线及其同疲劳试验结果比较

把叶片看作变截面悬臂梁的纯弯曲形变, 则由材料力学可知, 叶片各点的应变由下式决定:

$$\varepsilon = -\frac{d^2y}{dx^2} L_n \quad (4)$$

L_n 为特征点到最小惯性主轴的距离, 可由设计资料中求得。根据(4)式算出特征线上各点 ε 值。图 4 为叶片特征线上各点的应变分布。

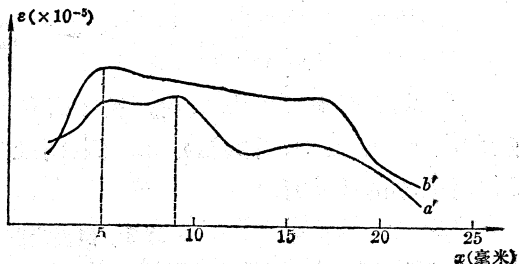


图 4

因为应力与应变成正比, 所以图 4 所示的应变分布曲线, 实际即给出了特征线上各点的应力分布情况。

图 5 是叶片(a)、叶片(b)疲劳试验断裂位置示意图。下面, 把图 4 曲线同疲劳试验比较。

由图 4 中不难看出如下结果:

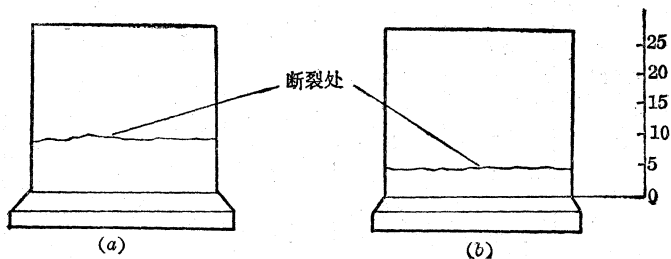


图 5

(1) 两条曲线均存在最大应力区;

(2) 曲线 a' 最大应力区在叶高 9 毫米附近; 曲线 b' 最大应力区在叶高 5 毫米附近。

很明显, 叶片(a)与叶片(b)的断裂位置同图 4 曲线的最大应力区基本一致。