

飞机发动机叶片变形的非接触光学测量方法

李云霞¹, 蒙文¹, 赵尚弘¹, 李应红²

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:针对飞机叶片表面变形量测量要求提出一种非接触式光学测量方法。对测量原理及测量方案进行了阐述,分析了误差来源,并估算了系统测量精度。该测量方法具有简便易行、操作方便、测量精度高等优点。

关键词:线阵 CCD; 交汇测量; 激光照射; 叶片

中图分类号: V232.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2002)06-0016-02

飞机发动机压气机叶片的质量对压气机的效率和喘振度影响很大。如果叶片的质量不高,新生产的发动机也会出现喘振现象。如何检验新生产的叶片是否合格,如何确定使用过的叶片是否变形、能否继续使用等问题,目前一直没有一种有效的办法,只能凭检验人员手摸、眼看或检查局部数据来确定。为确保发动机正常工作,有必要寻找一种有效的精确检测叶片变形量的方法。由于叶片表面形状为一空间曲面,所以其变形量大小的测量属于三维测量。

目前,对物体三维轮廓及形变测量方法很多,主要包括接触式的三坐标测量方法和非接触式的光学测量方法。虽然三坐标测量仪的精度很高,但它只能进行接触式测量,而且测量速度慢、成本高,所以其使用范围受到很大的限制。而非接触式光学测量方法因具有高分辨率、无破坏、数据获取速度快等优点而被广泛关注。目前非接触式的光学测量方法有全息法、莫尔法、散斑法、光扫描法、光衍射法及实时干涉法、光学三角法等^[1-4],这些方法在不同的场合都各有优点,但也有不足之处,不能完全满足测量要求。本文针对飞机发动机压气机叶片变形量测量提出一种利用两台线阵 CCD 进行交汇测量的非接触式光学自动测量方法。该方法相对比较简单、实用,易于实现。

1 系统组成

飞机发动机叶片变形的非接触光学测量系统组成如图 1 所示。

测量系统由计算机控制。其工作过程是:当计算机发出测量指令后,二维位移电控工作台按指令开始进行 x, y 方向运动,激光器照射被测叶片表面,同时,两台 CCD 摄像机同步拍摄被测叶片。CCD 摄像机采集到的图象经图象采集卡送入计算机,算出各点高度坐标值,并将数据储存。测量完成后,根据测得的叶片表面各点坐标值(x, y, z)绘制出三维立体图像。通过与标准数据库的对比,给出相对变形量。

为了提高系统测量精度,应选用高分辨率的 CCD 摄像机。这里假设 CCD 摄像机视场角为 30° ,象元为 4

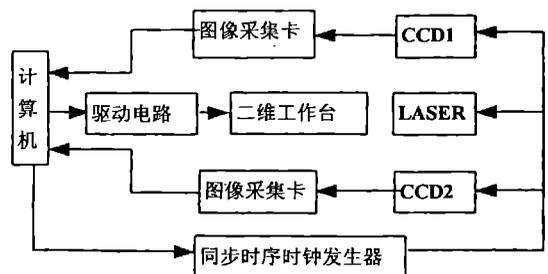


图 1 测量系统组成

096。为了使被测点的交汇角尽量在 90°左右,设定 C_1 、 C_2 相距 L 为 400 mm(见图 2),与被测物相距约 200 mm。被测物在 $300 \times 150 \text{ mm}^2$ 范围内。

激光照射器固定在工作台的上方两台 CCD 摄像机的中间,其主要作用是对被测物体测量点进行指示。二维位移工作台由计算机控制,步进电机带动,光栅尺定位,其定位精度优于 0.01 mm。

测量系统的软件部分主要包括控制部分、数据存储、数据处理、三维图形绘制、叶片标准面型数据库、变形量计算、数据显示、打印等部分。

2 测量原理

如图 2 所示,两台线阵 CCD 摄像机分别位于 C_1 和 C_2 两点,距离为 L 。激光照射器位于 S 点。二维位移工作台位于 x, y 平面内,被测发动机叶片随工作台进行二维移动。当叶片表面被测点由激光照射后,两台摄像机同步拍摄,通过交汇得出该点的 z 坐标。通过工作台的移动,实现激光器对被测叶片的扫描,同时 CCD 摄像机测出对应点的坐标,由这些坐标值可以绘出叶片表面曲面图形。

假设被测叶片表面某一点 A 由激光器照射后,两台摄像机测出该点的偏角 α_1 、 α_2 ,那么,该点的高度 $z(x, y)$ 为

$$z(x, y) = h_0 - h = h_0 - \frac{L \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

其中, x, y 坐标直接根据二维位移工作台的运动位置由计算机给出。

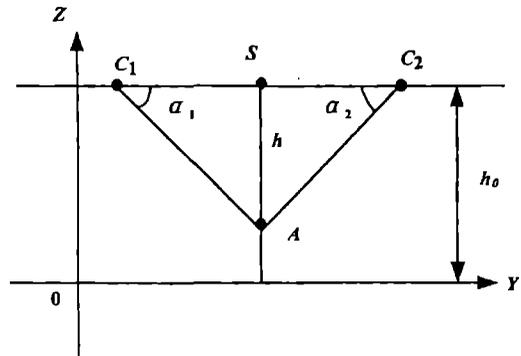


图 2 测量原理计算图

3 测量精度分析

本系统误差主要来源为 CCD 摄像机测角误差、固定距离标定、二维坐标定位精度等。

3.1 摄像机测角误差

对于 CCD 摄像机,其读数测角量化误差为: $\sigma_a = \theta/a$

其中 θ : 摄像机视场角

a : CCD 芯片像元数

代入数据 $\theta = 30^\circ, a = 4096$, 则

$$\sigma_a = 26.37''$$

3.2 交汇测量误差

根据被测点空间坐标数学表达式可以得到:

$$dz = dh_0 - \frac{\sin\alpha_2 \sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} dL - \frac{L \cos\alpha_2 \sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} d\alpha_2 - \frac{L \sin\alpha_2 \cos\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} d\alpha_1 + \frac{L \sin\alpha_2 \sin\alpha_1 \cos(\alpha_1 + \alpha_2)}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)} d(\alpha_1 + \alpha_2)$$

根据误差传递公式^[5],其均方根误差为

$$\sigma_z = \left\{ [\sigma_{h_0}]^2 + \left[\frac{\sin\alpha_2 \sin\alpha_1}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)} \sigma_L \right]^2 + \left[\frac{L \cos\alpha_2 \sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \sigma_{\alpha_2} \right]^2 + \left[\frac{L \sin\alpha_2 \cos\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \sigma_{\alpha_1} \right]^2 + \left[\frac{L \sin\alpha_2 \sin\alpha_1 \cos(\alpha_1 + \alpha_2)}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)} \sigma(\alpha_1 + \alpha_2) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

取 $\alpha_1 = \alpha_2 \approx 45^\circ, L, h_0$ 标定精度 σ_L 取 0.01 mm。这样,

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{5}{4} \sigma_L^2 + \frac{1}{2} L^2 \sigma_a^2} = 0.0378$$

(下转第 41 页)