

# 空客 A380 先进 GLARE 复合材料 蒙皮无损检测方案设计

□ 王 帅

(法国波尔多大学)

**摘 要:** 针对空客 A380 先进 GLARE 复合材料无损检测要求,利用结构光投影三维扫描技术,提出一种新型快速无损检测方案。新方案拥有自动化程度高,测量精度高,数据获取快,和对环境要求低等优点。最后对新方案的优缺点进行了讨论。

**关键词:** 结构光三维扫描法 GLARE 复合材料 无损检测

**中图分类号:** TH11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-3973 (2010) 09-078-02

纤维金属混杂层合板(FML)是最近几年出现的应用于航空航天飞行器结构上的一种新型复合材料结构。目前市面上已存在几种商用 FML,其中 GLARE 和 ARALL 已经在空中客车结构中得到应用,而波音公司也将在最新的 B787 中使用性能更加出色的 TiGR 材料。

GLARE 材料应用在飞机的上机身蒙皮,是一种短玻璃纤维增强铝合金,由 0.3 ~ 0.5mm 的铝合金薄片与环氧树脂玻璃纤维夹芯(0.2 ~ 0.3mm)交替粘结层压而成的。

自从 1999 年 10 月以来,德国空军就在 A310 飞机上使用了 GLARE 材料,空客公司积累了很多使用和维修经验。确定在维修项目中复合材料没有定期的无损检测项目,只有在定检中发现可视的损伤后才需要深度的检查。对于肉眼无法看到的损伤,不会影响飞机的完整性。但是,GLARE 材料作为使用热粘结工艺的复合材料,即使工艺非常先进,但它还是脱离不了复合材料所固有的一些缺陷,如胶接缺陷、空隙、夹杂物、溢胶、脱胶、胶层超厚或超薄、贫胶、厚度偏离、树脂堆积、铺层皱折、凹坑、凸起、积瘤等。由于 GLARE 材料的微观结构,使得它的金属-树脂界面相层更容易吸附湿气和水分,因此 GLARE 材料的吸湿老化问题也值得关注<sup>①</sup>。另外,由使用经验可知,越是主结构的应用,问题越少,使用性能越好,反而是薄壁结构的问题更多<sup>②</sup>,GLARE 蒙皮就是一种薄壁结构。因此,我们的维修人员不能对 GLARE 材料掉以轻心,使用先进的自动化无损检测技术对其定期检查是有其必要性的。

本文将针对空客 A380 的 GLARE 蒙皮,探讨超高精度激光三维扫描技术应用到快速无损检测系统的方案。

## 1 方案要求及前提假设

由于 A380 机身极其巨大,机身长达 73 米,高度 24.1 米,因此采用状态监控维修手段对飞机机身检测就必须要求该检测方案拥有自动化程度高,测量精度高,测量速度快,环境要求低,能现场实时测量等优点。

基于以上要求,参考多种文献和现有的技术积累,提出一种利用激光三维扫描技术对 A380 飞机上机身 GLARE 蒙皮

进行表面高精度三维数据的定期收集的方案,通过两次点云数据对比,可以发现机身壁板表面高度位移从而确定缺陷的位置和大小,替代目视检查。

此方案有效性的前提必要条件是:

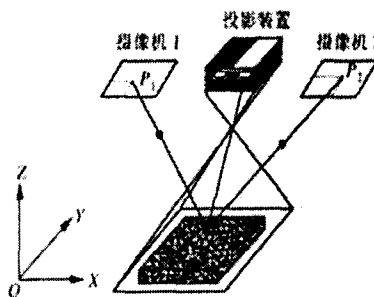
在飞机营运较长时间后,GLARE 蒙皮在复杂环境、循环载荷和冲击损伤等共同作用下,树脂的吸湿老化,胶层不均,脱胶,分层等缺陷会在蒙皮表面形成局部的凹陷和突起。

## 2 方案设计及其原理

经过研究比较各种激光三维检测方法,结构光光栅投影法具有大量程、大视场、可调节精度、光条图像信息易于编码和提取、实时性强及主动受控、效率高、自动化程度高等优点,而且不受电磁干扰、温湿度等环境因素的影响,完全符合前文方案要求。下文将对结构光光栅投影法的三维数据测量原理和必要的后处理程序进行介绍。

### 2.1 光栅投影法原理和双三角法原理

光栅投影法基本原理如下图 1 所示。图中,投影单元投射出来的是黑白相间的灰度编码结构光栅,光栅图像投影到被扫描物体表面后,由两台安装在不同角度上的摄像机同时摄取图像。规则的光栅图像受到物体表面高度的调制而发生变形,这样就可以通过相移和灰度编码技术的结合,解决两幅图像上空间点的对应问题和物体表面光点与摄像机像点之间的对应关系,并通过双三角法解算出两个摄像机公共视区内像素点的三维坐标。



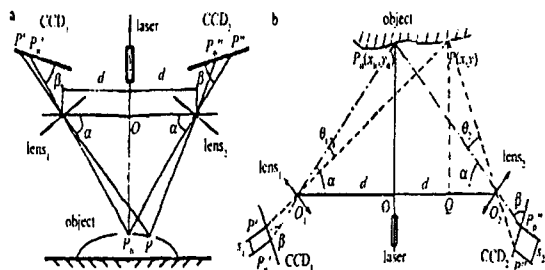


图1 结构光三维扫描法系统原理图

双三角法原理如上图 fig2 所示,根据余弦定理有:

$$O_1 P' = \sqrt{s_1^2 + f^2 - 2s_1 f \cos \beta} \quad (1)$$

$$O_2 P'' = \sqrt{s_2^2 + f^2 - 2s_2 f \cos \beta} \quad (2)$$

根据正弦定理:

$$\theta_1 = \arg \sin(s_1 \cdot \sin \beta / O_1 P') \quad (3)$$

$$\theta_2 = \arg \sin(s_2 \cdot \sin \beta / O_2 P'') \quad (4)$$

$$PO_1 = \frac{2d \cdot \sin(\alpha + \theta_2)}{\sin(\pi - 2\alpha + \theta_1 - \theta_2)} \quad (5)$$

$$PO_2 = \frac{2d \cdot \sin(\alpha - \theta_1)}{\sin(\pi - 2\alpha + \theta_1 - \theta_2)} \quad (6)$$

由此根据三角关系,得到 P 点二维坐标值:

$$x = 2d \left[ 1 - \frac{\sin(\alpha - \theta_1) \cdot \cos(\alpha + \theta_2)}{\sin(\pi - 2\alpha + \theta_1 - \theta_2)} \right] \quad (7)$$

$$y = \frac{2d \cdot \sin(\alpha - \theta_1) \cdot \sin(\alpha + \theta_2)}{\sin(\pi - 2\alpha + \theta_1 - \theta_2)} \quad (8)$$

公式中,  $\beta$  为摄像机 CCD 像面与相应镜头透镜光轴之间的夹角,  $\alpha$  为激光束与透镜光轴之间的夹角的余角,  $f$  为透镜焦距,  $2d$  为两摄像机透镜中心之间的距离,  $s_1, s_2$  分别为像点距两个相面中心的距离。

## 2.2 点云数据后处理和结构光三维数据拼接技术

由于精度要求高,点云数据量大,且不可避免的存在噪声点、数据冗余、数据重叠和部分区域数据缺失等问题,要实现实时检测,就必须对点云数据进行预处理优化计算<sup>②</sup>。现在有很多后处理软件对点云数据进行处理,实现三维网格化,这里就不再详。

由于视场大小,摄像精度等原因,对于 A380 飞机这样超大型机身检测必须要使用三维数据拼接技术,综合现有文献中提出了以下三种方法:

方案名	操作方法	优点	缺点
精密伺服系统法	通过伺服系统直接记录工件或视觉传感器在测量过程中的移动和旋转量	拼接精度较高 算法简单	设备价格昂贵、测量范围有限且测量效率较低
三点法	在被测物体上标记点,相邻子区域存在重叠区域,利用重叠区域至少三个公共标记点进行三维数据的拼接	操作简单 无需伺服系统 工作环境要求不高	不能检测复杂表面(小夹角) 不适合物体与易损物体的测量 需要对三维数据进行后期曲面拟合处理
跟踪法	利用经纬仪或激光跟踪仪法进行全局坐标统一	拼接精度高 操作简单	设备昂贵,系统成本高。

对比了三种方法,由于本方案对三维扫描技术的应用为了前后两次对点云数据对比,必须利用特定点重合拟合 GLA-RE 蒙皮表面高度情况,所以三点法的几个缺点在这里就不存在了,反而三点法更适应这种情况。

## 2.3 误差分析

首先是成像系统误差,二是环境因素误差,三是 CCD 传感器、电路处理误差,四是点云数据出来误差,最后是被测表面和方案引起的误差。文献<sup>③</sup>对这些误差有详细介绍。

## 3 总结

与其他无损检测方法比较,该方案的优越性和可能的问题。

(1)相比较与超声波检测手段,它的自动化程度图 1 结构光三维扫描法系统原理图更高,检测速度更快,且没有接触式超声波检测中必须使用的诸如油脂或水等声耦合介质,无论使用何种耦合介质,在检测工作结束后都应该将其清除,残留的耦合介质有时会造成工件的质量问题。也没有非接触式超声检测中对环境那么高的要求,例如目前各国科学家给予极大期望的激光超声技术仍有不足的是检测机构庞大和对检测环境要求高(如隔振等)。

(2)相比较与电子剪切散斑干涉检测技术<sup>④</sup>,由于它的检测原理是与上次点云数据进行比较,因此不需要加载,简化设备,提高了效率。

(3)相比较与激光全息干涉技术,它不需要拆卸被检物件进行隔振和加载处理,提高了检测速度,对环境要求也不高(无需暗室拍照),达到现场实时检测缺陷的要求。

即使该方案有如此多的优良特性,但仍有不足值得深入研究。

(1)扫描精度与扫描区域不统一的问题。扫描区域和扫描精度是几乎成反比的,就是说扫描区域大,测量精度就低。一般的扫描系统的扫描范围从 60mm 到 1000mm。扫描范围越小,测量精度越高,系统也越难制造。因此对于 A380 上机身这样的超大物件的扫描,大扫描区域和高扫描精度就成了不可同时完成的任务。这样拼接精度的提高就成了重要问题。

(2)由于 A380 上机身太大,有必要安装大型伺服系统进行自动化扫描,使得系统成本提高,但相对于其他方案还是有优势。

## 注释:

- ① 益小苏,杜善义,张立同.材料工程大典第 10 卷复合材料工程第一篇第二章[M].北京:化学工业出版社,2005.8.
- ② 陈绍杰.先进复合材料运用[J].航空制造技术,2005 年 1 期.
- ③ 庞晓红,邦继贵.视觉传感器应用中三维扫描点云数据处理的研究.文章编号 1000-9787(2009)11-0055-03.
- ④ 黄战华,蔡怀宇,李贺桥,张以谟.三角法激光测量系统的误差分析及消除方法.文章编号 1003-501X(2002)03-0058-04.
- ⑤ 杜丽婷,刘松平,谢凯文.复合材料电子剪切散斑干涉无损检测[J].航空制造技术,2005 年 11 期.