

增强目视检查在飞机维护中的应用

冯振宇

(中国民航大学 适航研究中心, 天津 300300)

摘 要: 定期维护与检查是发现结构损伤并予以修理的基础。目视检查是飞机结构维护中最常用的检查方法之一。在分析研究国外参考文献和研究成果的基础上, 重点介绍了美国和欧洲近来投入使用的两种增强目视检查方法的基本概念、原理、系统组成、技术特点及应用范围。增强目视检查对结构表面形貌改变非常敏感, 包括表面裂纹、腐蚀凸起、冲击凹坑或其它异常情况, 检查速度快、简单方便, 可以避免飞机因为长时间停场造成的经济损失, 对保障飞机结构的安全性具有重要作用。

关键词: 增强目视检查; D 观察法; 光边界法; 飞机维护

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)03-0220-0

Application of Enhanced Visual Inspection in Aircraft Maintenance

FENG Zhen-Yu

(Airworthiness Research Centre, CAUC, Tianjin 300300, China)

Abstract: Scheduled maintenance and inspection are the foundation of finding of structural damage with related repair. Based on the analysis of foreign literatures, two enhanced visual inspections which were used in USA and Europe in recent years were introduced, focusing on the basic concept, principle, construction, technical characteristic, and applications. The enhanced visual inspections are sensitive to the shape change of structural surface, including surface crack, corrosion pillowing, impact dent and other abnormal conditions. The methods are fast and easy to used, which can both avoid economic loss due to long time stop, and be important significance to the safety of aircraft structure.

Keywords: Enhanced visual inspection; D-sight; Edge of light; Aircraft maintenance

目视检查简单方便, 是飞机结构完整性检查的最基本、最常用检查方法之一, 对保证飞机的安全性具有重要意义。与涡流、超声等无损检测方法相比, 目视检查经济、简便且检测速度快。据统计, 目视检查分别占货机和客机机务维修检查工作量的 80% 和 90% 以上^[1-2]。

目视检查结果受检测人员的主观因素影响较大。试验发现, 不同检测人员检测结果差异很大; 即使是同一个检测人员, 在前后两次执行相同的检查任务时, 检查结果可能也有明显差异。FAA(美国

联邦航空局)关于无损检测中人为因素的研究表明, 缺陷形状与尺寸、光照条件、测试距离及测试者年龄等对测试结果有直接的影响, 而最关键的是检测人员对检测方法的熟悉程度, 以及是否充分理解检测要求。另外, 虽然无损检测对检测人员的视力给出了标准, 但对目视检测人员没有明确的视力要求, 这也是目视检测结果存在较大分散性的原因之一。

在充分调查研究国外有关文献资料的基础上, 笔者重点介绍分析了两种增强目视检查方法。所谓增强目视检查, 是基于现代光学等物理方法, 充分利用飞机结构表面信息, 例如表面皱褶、表面裂纹或者其它表面形变, 从而评估确定飞机结构的腐蚀、裂纹等损伤。与传统的目视检测方法相比, 增强目视检查不仅准确度或精度明显增加, 而且检查速度也比

收稿日期: 2008-05-31

作者简介: 冯振宇(1966—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为老龄飞机结构完整性、航空器适航审定技术。

较快。准确快速地检查飞机结构的损伤,不仅可以保障结构的安全性,还能够避免因为飞机长时间停场造成的经济损失。

1 D-sight 方法

D-sight 又称为 D 观察方法,是一种把被检测结构表面的局部曲率变化转化为图像灰度变化的光学成像技术。该技术于 1983 年由 Diffracto 公司的研究员 Don Clarke 和 Rodger Reynolds 在研究汽车车身表面损伤检查时发明^[1,3]。该技术能够放大结构表面形状的微小变化,使维修人员能够清晰地观察到传统的目视检查无法看到的微小损伤,而且检测速度快,是理想的大面积表面检测方法。据文献分析,D-sight 最低可以检查出 $2\text{ }\mu\text{m}$ 的表面高度改变。这对现代飞机复合材料结构的安全性非常重要,因为传统的肉眼几乎察觉不到的冲击损伤,可能会使复合材料结构的剩余强度有明显的下降。

图 1 给出了 D-sight 的基本组成:① 一个包含 CCD 摄像头和点光源的照相机。② 被检测结构表面。③ 反光镜。来自点光源的光线照在被检测结构表面,反射到反光镜上,反光镜再把光线经被检面反射到照相机。被检测物体表面的形状影响照相机感光强度。这种反映被检测结构表面形状的变化变化的照片称为 D-sight 图像。检验图像分辨率大致为水平方向每毫米 1 个像素,垂直方向每毫米 3 个像素,亮度分辨率是 8 bit。

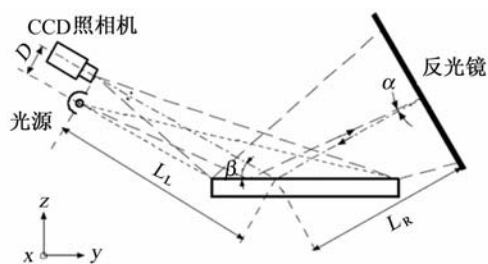


图 1 D-sight 原理图

1988 年,加拿大 IAR/NRC 的 Komorowski 基于双回路反射原理提出了光检测系统的概念。随后,加拿大国防部、美国空军、FAA 以及 Diffracto 和 NRC 组织开发了商用 D-sight 飞机检测系统,即适用于复合材料冲击损伤检测的 DAIS 500 和用于金属飞机结构腐蚀损伤检测的 DAIS 250C。目前,已经有几套系统分别交付美国、加拿大和英国等空军使用。

DAIS 系统包括探头(由 CCD 电荷耦合器件照

相机、光源等组成)、装载 DAIS 软件(包括检测程序、数据采集、数据分析和结构修理等模块)的个人计算机以及用于控制采集过程的远程采集系统。DAIS 一般需要两个操作人员,其中主操作员负责飞机表面的探头,另外一个辅助操作,按照检测程序引导主操作员。一旦检查到可能的表面损伤,辅助操作员利用触摸屏存储 D-sight 图片。近年来,开发的 DAIS 250CV 仅需一个人就可以操作,但是这套系统有存储限制。

D-sight 的主要技术要求和特点为:

- (1) 被检测结构表面必须能反射光线。
- (2) D-sight 检测仪器简单实用,携带方便,检测速度快,能够检测腐蚀、裂纹、工具碰撞引起的凹坑等不同类型的损伤。一般地,中型喷气运输机机身检测大约只需 25 个人工工时^[3]。
- (3) 数码图像可以使用图像分析处理软件,方便存储、评估和以后的检索、跟踪比对等。

图 2 给出的是加拿大退役的螺旋桨客机机身蒙皮凹坑损伤的 D-sight 图像。这种凹坑损伤由螺旋桨上的水或者结冰,在螺旋桨很高的转速下,高速冲击在机身上形成。



图 2 蒙皮凹坑损伤 D-sight 图像

2 EOL 方法

EOL(Edge of Light)检测方法也可称为光边界方法,是加拿大 NRC 的专利技术。其最基本构成包括距离被测物体表面一定距离的精密的光源和探头。和 D-sight 类似,EOL 也是一种增强的光学技术,能够将物体表面斜率的变化转化为图像中光的强弱。光线从光源穿过一条狭缝,以较小的角度照射在被检测物体表面,在被扫描目标的表面产生一个矩形光带。随后光线反射,并被探头检测到。

在这个矩形光带的大部分区域,光的强度是相同的。但是在边界区域,由于衍射效应,光的亮度不会立即降低为零,而是在一定范围内逐渐降低,并且降低速度很快。EOL 探头就在距离光源相对固定

的位置上,探测光强迅速变化的矩形光带边界的中间区域。如果结构表面是光滑平整的,探头测到的反射光的强度也是恒定的。但是,如果结构存在任何导致表面斜率改变的损伤,从结构表面反射出来的光的强度也就发生了改变,从而,探头测到的光的亮度发生变化。EOL 扫描器沿关心的受检表面移动,就可得到高清晰度的结构表面形貌。

在 8 bit 亮度分辨率时,EOL 的图像分辨率上达到每毫米 4 像素以上。通过扩展或者压缩透光狭缝以调整光带边界区域的大小,改变照射的角度,或者改变观测的角度,可以综合优化 EOL 图像。

在飞机蒙皮搭接区域,容易产生腐蚀。蒙皮之间的腐蚀产物,使得铆钉之间的蒙皮凸起。在腐蚀不太严重时,肉眼比较难检查到,但是这种腐蚀对结构的安全性已经造成了潜在的威胁。图 3 描述的是飞机搭接区域腐蚀损伤的 EOL 图像,其中上图为用肉眼看到的情形,下图为 EOL 图像。可以看出,腐蚀引起的表面凸起 EOL 图像非常显著。而且其表面变形最大斜率在铆钉的边缘区域^[3]。

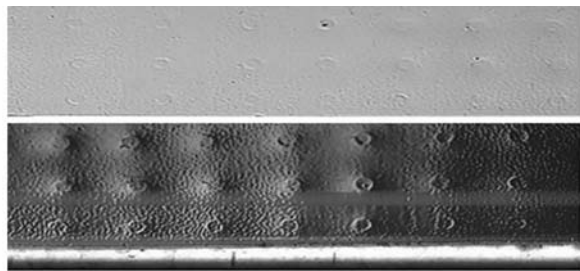


图 3 蒙皮腐蚀的 EOL 图像

EOL 还可用于检查表面裂纹。通常,裂纹前缘区域有一个塑性区域,并在裂纹长度方向留下一个表面变形的尾巴。这种微小的表面变形,也可以用 EOL 检测到。以裂纹检出概率(POD)为指标的疲劳裂纹检测试验结果显示,EOL 检测精度高于超声、渗透和磁粉探伤,也明显优于光学显微镜方法,但是没有高频涡流检测法好。图 4 描述的是在波音 737 蒙皮上的两铆钉间裂纹的 EOL 图像,可清楚地看到,从每个铆钉孔向外发展形成了两条疲劳裂纹^[4]。

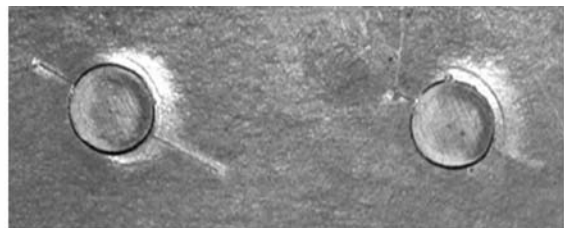


图 4 铆钉孔周围的 EOL 图像

EOL 检测速度可能不及 D-sight,在 10 cm 宽度范围内,检测速度为 2~20 cm/s,但 EOL 检测结果可读性强,而且可与涡流探伤设备组成一套系统。

3 结论

增强目视检查关注于结构表面形貌信息,包括皱褶、裂纹、腐蚀凸起、冲击凹坑或其它异常情况。与传统的目视检查和 NDT 方法相比,增强目视检查具有速度快、精度高、简单方便的优点,可以避免飞机因为长时间停场造成的严重经济损失。

尽管 D-sight 和 EOL 在航空领域具有很好的应用前景,而且与传统的目视检查比较,在经费投入方面提高不多。但是,目前在国内外应用还不广泛。为了推广应用增强目视检查技术,除了要完善开发该项技术相关的软件硬件之外,还要加快检测人员的培养,完善相应的培训教育设施。

参考文献:

- [1] Heida J H, Bruinsma A J A. D-Sight technique for rapid impact damage detection on composite aircraft structures[R]. NLR-TP-97646,1997.
- [2] Hageniers O L. D SIGHT for large area aircraft inspection[C]. Proc. SPIE, Nondestructive Inspection of Aging Aircraft(Valley M T Eds),2001:248-256.
- [3] Komorowski J P, Forsyth D S. The role of enhanced visual inspections in the new strategy for corrosion management[J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology,2000,21(1):5-13.
- [4] Shih W C L, Fitzpatrick G L. A new tool for aging aircraft inspects[J]. The AMPTIAC Quarterly,2003,3(6):17-20.

网上投稿步骤

本刊网上投稿步骤:① 登陆“材料测试网”网站(www.mat-test.com)。② 点击网页上方“投稿审稿”或从“《无损检测》介绍页面”进入“在线投稿审稿系统”。③ 点击“投稿人注册”,按照提示进行作者基本信息注册。④ 按照注册成功的名称和密码重新登陆系统,并按照提示提交稿件。⑤ 系统生成稿件编号,稿件提交成功。

有关该稿件的审理进度、修改意见以及录用与否您都可以实时登陆该系统进行查询。

《无损检测》编辑部