

# 成像技术在老龄飞机结构疲劳损伤中的应用

李振兴<sup>1</sup> 冯振宇

中国民用航空学院 机电工程学院 天津 300300

**摘要** 针对老龄飞机的结构损伤状况 分析了传统的飞机结构损伤检测方法 重点讨论了成像技术的特点以及在老龄飞机结构疲劳裂纹和腐蚀检查中的应用

**关键词** 老龄飞机 热波成像 磁光成像

中图分类号 V232.2

文献标识码 y

文章编号 3003-2000-2020-0049-G2

民用飞机的老龄化问题最初是在美国开始研究的 在 20 世纪 90 年代后期 由于飞机结构老龄化问题日渐严重 美国联邦航空局“FAA”专门组织召开了一个针对老龄飞机结构的会议 会议认为应建立并执行有关工作程序 以确保老龄飞机结构的持续适航性 为此 成立了一个由航空公司 生产厂家 适航当局的代表组成的老龄飞机适航保证任务组织“FAA”；该组织为老龄飞机按机型建立了结构工作组”；负责调查研究每个机型 2 个方面的结构问题 其中一个方面就是研究老龄飞机结构疲劳损伤问题 中国目前已有超过 100 的民用飞机进入了老龄期 并且比例仍在逐年增加 如何更好地应对老龄飞机的疲劳损伤及其检查与修复问题 保持飞机的适航性 是一个需要认真对待的问题

## 1 老龄飞机及其结构损伤特征

通常 用来规定民用飞机设计使用目标的指标有 3 个 日历时间 飞行小时 飞行循环”起落次数； 运输类飞机的日历时间设计使用目标一般为 10 年<sup>[1]</sup> 但对于不同机型 飞行小时数和起落次数均不相同 到目前为止 ( )老龄飞机)并没有统一明确的定义 有些国家或航空公司规定 飞机的使用时间达到 7200 设计使用目标”1 个指标中先到者为准,为老龄飞机 中国国际航空公司将日历时间超过 20 年或 7200 起落次数”以先到为准,的飞机定义为老龄飞机<sup>[2-11]</sup> 随着老龄飞机机队的扩大 其持续适航性问题已成为民航界关注的焦点 老龄飞机能保持足够的安全性和可靠性水平 满足结构完整性和持续适航要求 是结构维修中面临的重要问题

老龄飞机的损伤特征主要有

3 腐蚀部位增多 腐蚀程度严重 抗腐蚀能力降低 老龄飞机上存在的腐蚀形式主要有 2 种 电化学腐蚀和纯粹的化学腐蚀 电化学腐蚀产生的原因是由于空气中的水 雾 雪 盐长期聚积在飞机上 导致某些区域或部件发生腐蚀 纯粹的化学腐蚀是由于某些化学制品与飞机结构件直接接触而发生化学反应引起的腐蚀

2 结构疲劳损伤的发生概率和程度增加 结构疲劳损伤是

随着飞机使用时间的增长以及飞行小时数和起落次数的增多 由于周期性 循环性的负荷作用而产生的裂纹及其扩展而造成的 由于老龄飞机的空中飞行时间长 起落次数多 一些对周期性负荷和振动较敏感的结构件容易发生疲劳损伤 一旦飞机结构产生多处疲劳损坏等 其剩余强度会大大降低 产生灾难性后果的概率就增大

3 意外损伤的机会增多 意外损伤是指制造人员疏忽 飞机操作不慎或飞机维护不当使飞机遭到意外物体的碰撞而导致的飞机损伤 它不是由于飞机自身造成的 有一定的偶然性 但随着使用年限的增加 老龄飞机遇到这种损伤的机会增多 这些意外事件的发生 对飞机的结构会产生严重的后果 即使这些意外损伤不明显 也可能足以对结构疲劳寿命和剩余强度产生较大的影响

针对老龄飞机的结构疲劳损伤 存在数量较多 裂纹尺寸较小 损伤位置常在蒙皮下面等问题 比较成熟的常规检测手段对亚表面缺陷已无能为力 如渗透法只适于检测表面开口缺陷 X 射线照相法 超声波检测法等适于探测深层内部缺陷 磁粉检测和电磁感应检测的影响因素复杂 分辨率低 例如 为达到 92% 置信水平 射线检出概率曲线在小于 2 mm 阶段无数据 在 2.3~3.0 mm 之间也是不确定数据 只有在大于 4 mm 才有比较准确的检出概率 而检出概率达到 90% 时的裂纹长度需要达到 7 mm 目视检测概率达到 90% 的裂纹长度为 3.9 mm<sup>[14]</sup>

## 2 热波成像技术应用

热波成像法的原理是利用周期热源对物体加热时在试样内形成的热波 热波在传播过程中会有幅值的衰减和相位的延迟 试样表面温度幅值和相位的变化同材料的热物理性质和表面换热状况有关 通过探测试样表面温度变化进行分析 可测量材料的热物理性质和表面换热系数 同样 当试样亚表面有缺陷时 热波会在界面上发生反射 在试样表面叠加 对表面温度产生影响 通过测量表面温度的变化还可探测结构亚表面的缺陷 因此 近年来热波成像技术成为迅速发展的一类新的无损检测技术之一

收稿日期 2020-03-10 基金项目 中国民用航空学院科研基金项目”G2020-Q1”；

作者简介 李振兴”1993”男 山东沂水人 硕士研究生 研究方向为飞行器设计

与传统方法比较,热波成像技术具有非接触、多点测量、速度快、分辨率高、穿透能力强、图像保存简单易行、剖面成像等特点。影响分辨率的因素有激发源的束斑大小和热波的波长。束斑尺寸越小、热波波长越短,则分辨率越高。因为热波具有穿透本领,除了进行表面成像外,还可以进行表面以下不同层次上的非破坏性剖面成像。热波波长 $\lambda$ 与试样的热导率 $k$ 、比热 $H$ 、密度 $\rho$ 以及调制频率 $\omega$ 之间有如下关系式

$$\lambda = \frac{H}{\rho \omega} \sqrt{\frac{k}{H}}$$

从上式可以看出,对于同一试样,热波波长 $\lambda$ 与频率 $\omega$ 成反比。若改变调制频率,则热波波长也随着变化,因而可以得到不同穿透深度上的信息。故应用热波成像技术,通过改变调制频率,可得到不同深度上的热波像。这种剖面像可以对试样亚表面缺陷进行无损检测<sup>[9-11]</sup>。

热波检测技术更适用于老龄飞机复合材料结构中夹层结构和薄壁结构的无损检测。能够检测出3 mm深的夹层分层缺陷。

## 磁光成像技术应用

涡流检测是采用一个载有交流电的线圈靠近被测导电试件,通过观察因导电试件中产生的涡流而感应的反磁场引起的线圈阻抗的变化来实现的。通过观察这些参数的改变,可以测出材料内的缺陷甚至硬度等被测定。线圈阻抗的变化通常得用涡流显示仪显示探头的阻抗轨迹来测量。这种方式可以有效地发现缺陷,但并不直观。磁光显微成像技术是一种新兴的涡流无损检测方法,综合应用了电涡流效应和法拉第磁光效应。目标是实现对亚表面细小缺陷的可视化无损检测。采用磁光成像技术可在电视监控器上得到材料裂纹和腐蚀的实时图像。根据法拉第磁光效应,加以平行于外加磁场方向传播的线性偏振光,当穿过磁场中的旋光介质时,其偏振平面会被扭转。如果旋光介质的厚度、材料和入射光的大小、方向一定,则旋光度的大小只与磁化强度矢量有关。只要在试件中的被测区域内产生直线流动、分布均匀的层状电涡流,此电涡流就会在空间感应出垂直于被测试件的磁场。如果试件在该区域含有缺陷,则缺陷处电涡流的流动将发生变化,并引起该处的垂直磁场发生变化。此时便可采用与该磁场平行放置的磁光传感元件将磁场的这种变化转换成相应的光强度的变化,即可对缺陷进行实时成像。为了进行磁光成像,必须在被测试件的成像区域内产生直线流动、均匀分布的层状电涡流<sup>[7-8]</sup>。

磁光成像方法加快了检测的执行速度并增强了对信号解释的可靠性。具有很多优点:①探测结果可视且直观易懂,并易于保存;②降低了检测难度,缩短了检测人员培训时间;③检测前不需要对油漆表面覆盖层进行清除;④可对亚表面以及表面缺陷进行实时成像检测。如图k和图H所示。



图1 埋钉孔裂纹的MOI图像 图2 飞机腹部腐蚀区域的MOI图像

在该检测方法中,探针的振动频率保持在k.J~H00 kHz。因检测仪器的不同而有所不同。按照频率的高低可以分为低频和高频检测仪器。高频检测经常用在表面小而紧凑的裂纹检测,而低频检测既可应用在表面也可应用在亚表面进行检测。检测深度可达到3.k7J mm<sup>[9-10]</sup>。

## 结语

本文针对老龄飞机结构疲劳与腐蚀损伤的主要特点,重点介绍了两种成像技术的特点及在老龄飞机现场检查中的应用。在国内这两种技术已经应用到了现场,但是由于一些技术难点和重点并没有解决,应用并不广泛。而在国外,相关领域的产品都已经生产出来,并且无论是在老龄飞机还是在新式飞机中都已经广泛应用。所以,积极地研究此领域无论是对于中国的航空事业,还是对于老龄飞机的结构维修都有很高的研究价值。

## 参考文献

- [1] 肖凤利. 老龄飞机应对之策[J]. 航空维修与工程, H004(H) J4 J8.
- [2] 周洪典. 加强老龄飞机的维修[J]. 国际航空, k994(9) 4k 4H.
- [3] 李丽洁. 老龄飞机可靠性与安全管理[J]. 航空维修与工程, H00J(H) H0 Hk.
- [4] 刘秀丽. 目视及X射线检测裂纹概率曲线测定[C] //第十二届全国结构工程学术会议论文集. 西安: 中国飞机强度研究所, H003.
- [5] 朱德忠. 应用红外热成像技术检测蜂窝结构材料内部缺陷[J]. 上海交通大学学报, k999(8) k034 k038.
- [6] 张淑仪. 光声热波成像及其应用[J]. 物理学进展, H004(k) 339 449.
- [7] 任吉林. 磁光成像技术在航空构件涡流检测中的应用[J]. 仪表技术与传感器, H00k(kH) 34 38.
- [8] 贺春光. 磁光成像使亚表面缺陷探测可视化的研究[J]. 机械, H004(k0) k7 H0.
- [9] Simms S. MOI Magneto-optic eddy current imaging[J]. Materials Evaluation, k993 Jk(J) JH J34.
- [10] Shih W C L, Fitzpatrick G L. A new tool for aging aircraft inspection[J]. The AMPTIAC Quarterly, H003 3(4) k7 H0.

□ 责任编辑 □ 王纪宽 □