

文章编号:1001-5078(2007)11-1188-04

红外热成像检测中的主动加热方法研究

杨小林¹, 杜来林¹, 冯立春²

(1. 空军第一航空学院, 河南 信阳, 464000; 2. 首都师范大学物理系, 北京 100037)

摘要:主动红外热成像检测技术中,正确的外部加热方法是被检测对象的内部损伤或缺陷能被准确检测并记录的关键,加热方法及过程的正确与否最终影响着损伤检测灵敏度的高低。结合现役飞机外场红外热成像检测系统的建构,对几种主动加热方法进行了初步实验研究,给出实验结果,进而分析了影响红外热图像质量的因素。

关键词:红外热成像;主动加热;影响因素

中图分类号:TN219 **文献标识码:**A

Research of Active Heating Methods in Infrared Thermography Inspection

YANG Xiao-lin¹, DU Lai-lin¹, FENG Li-chun²

(1. The First Aeronautical Institute of Air Force, Xinyang 464000, China;

2. Capital Normal University Department of Physics, Beijing 100037, China)

Abstract: In active infrared thermography inspection, accurate heating methods and processes are very important for a damage or discontinuity being detected and recorded accurately, and it can affect sensibility of testing finally. In this paper, we make elementary experiments about different active heating methods, and analyze its influencing factors to infrared imaging of those damages from experimental result.

Key words: infrared thermography inspection; active heating; influencing factor

1 引言

红外热成像检测技术由于非接触、实时记录、检测速度快、定量分析等特点,在温度测量、状态监控和损伤检测等领域中正在得到不断的发展完善和应用。

红外热成像检测技术可分为主动和被动检测两种方式,被动检测主要依靠热像仪对被检测材料内部不连续性与本体材料或工件与环境之间的自然温差进行成像并检测。被动检测方式主要应用在状态监控等领域,如电力系统高压电缆连接点的发热情况、高温窑体的温度监控等。

主动检测方式借助于外部的主动加热,使被检

测材料内部不连续性与本体材料或工件与环境之间形成温差,再通过热像仪成像进行检测。主动检测方式中,可根据被检测对象的具体条件设计不同特性的外部加热源并选择适当的加热过程进行^[1]。

已有的应用实践证明脉冲闪光加热红外热成像检测技术的先进性,但是进行针对特定对象检测系统的构建和实际应用时,应结合具体检测需求对

基金项目:国家自然科学基金项目(10502035)资助。

作者简介:杨小林(1974-),讲师,硕士学位,专业方向为检测技术与自动化装置,主要从事飞机检测技术研究及设备研制。E-mail: yangxiaoling007@vip.sina.com

收稿日期:2007-05-29

技术细节加以深入研究,以保证技术的适用性和检测结果的准确可靠。本文从在役飞机复合材料结构件损伤检测的实际需要出发,对外部主动加热方法及其对热图像影像质量的影响因素等进行了实验研究。

2 外部主动加热方法

导热性是材料的重要物理性质,材料的热传导通常受到多种因素的影响,如材料的物理性能、几何形状、表面特性(如粗糙度、表面接触良好与否)等。

主动红外热成像检测中能够采用的加热方法众多,有热风法、红外辐射灯照射法、脉冲闪光法、超声激励法、微波加热法等。红外热成像检测中的外部主动加热方法按不同原则分类情况如表 1 所示。

表 1 外部主动加热方法分类表

分类原则	加热方法
按热源与热像仪所处位置	穿透法——又称双面法。即热源与热像仪分别处于工件的两侧(异侧)
	反射法——又称单面法。即热源与热像仪处于工件的同一侧
按加热过程	稳态加热——加热过程一直持续到工件内部温度达到均匀稳定状态才结束
	非稳态加热——加热过程不等工件内部温度达到均匀稳定状态即结束
按接触与否	接触加热——热源与工件相互接触,利用热传导进行热量传递
	非接触加热——热源与工件相互不接触,利用热辐射或对流进行热量传递
按热激励机理	光热辐射致热——利用光辐射或热辐射对工件进行热激励
	超声振动致热——利用机械振动(弹性波)对工件进行热激励

主动红外检测中,不管采用何种加热方法,由于被检测对象材质的密度、热传导率、比热等物理性能参数各不相同,因而其热传递或热扩散过程也各不相同。在检测系统的构建中,通过初步的实验发现,采用的外部加热方法至少要满足两个基本原则:一是通过加热能够使被检测件由于内部材质差异所导致的热传递过程的变化在表面产生的温差达到或超

过热像仪的热灵敏度;二是表面温差的持续时间应大于热像仪的响应输出时间。

在飞机复合材料损伤检测的实际工作中,由于加热和热图像采集只能在构件的同侧进行,考虑外场检测条件的要求,故外部主动加热以非接触方式为宜,否则热像仪的视界将被阻挡,不能进行热图像的采集。

3 实验对比

为了确定检测系统中拟采用的主动加热方法对飞机上不同部位、不同厚度复合材料结构件的通用性,利用在役飞机复合材料结构件进行了初步的加热实验。实验中采用的加热方法以满足在外场条件下的实施便捷性为前提。

实验试件为飞机垂尾翼尖结构件,主要为玻璃纤维复合材料层合板,表面涂有耐热漆层。图 1 为试件可见光照片,其中黑孔为铆钉孔,右端黑色部位表面的耐热涂层已磨光,试件损伤形式为背部人工钻孔模拟损伤,孔径尺寸(四列从左至右)分别为 3.6mm,5mm,5.1mm 和 6mm,埋深(从下至上)分别为 1~3mm 不等。

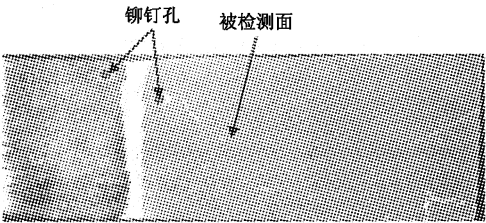


图 1 复合材料层合板可见光示意图

实验采用的主动加热方法分别为烘箱加热、热风加热、辐射加热和调制脉冲闪光加热。实验中,烘箱加热和热风加热主要通过人工手动控制,烘箱加热是将试件放入烘箱中保温一定时间后取出,置于特定距离上进行热图像的采集,而辐射加热和调制脉冲闪光加热由计算机进行控制,整个过程中试件位置没有变化。辐射加热和调制脉冲闪光加热中热图像的采集采取了措施,屏蔽周围环境温度反射和气流的影响。

热像仪的热灵敏度为 0.08℃(30℃时),瞬时视场为 1.3mrad,帧频为 50 帧/s,成像距离在 30~40cm 不等。

图 2 至图 5 分别为不同加热方法下所采集的红

外热图像局部图,均为原始图像,未进行降噪处理。图 2 是在试件被从烘箱中取出后采集的,属于稳态加热后的自然冷却过程,由于背部的人工孔加速了散热,该部位温度较低,故而影像为黑色。其他情况下,热量传递过程在人工孔部位被阻挡,热量在该处堆积,温度高于周围区域,所以影像亮度较大。图 3 中,铆钉孔部位由于持续热风的作用,孔内表面也产生了一定的温升,因此亮度较高。

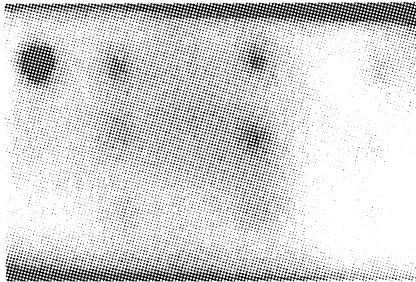


图 2 烘箱加热条件下红外热图像

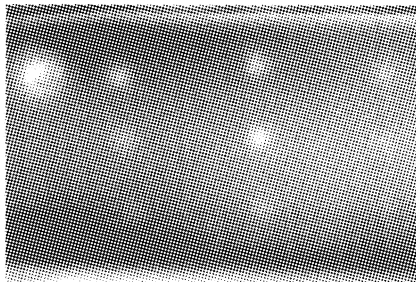


图 3 热风加热条件下红外热图像

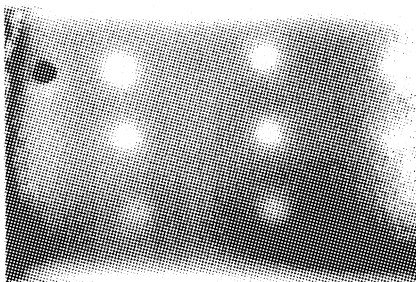


图 4 辐射加热条件下红外热图像

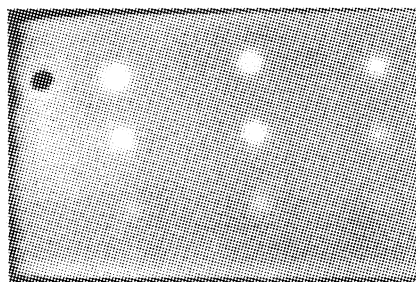


图 5 脉冲闪光加热条件下红外热图像

表 2 为不同加热方式下热像仪采集到的热图像影像质量的简单对比。

表 2 不同加热方式下热图像分析

图片编号	加热方法	加热能量或温度	加热时间/s	环境温度/℃	过程可控性	影像出现时间长短	图像质量	损伤部位影像轮廓
图 2	烘箱加热	60℃	240	8	差	长	普通	模糊
图 3	热风加热	290℃	60	10	差	较短	普通	模糊
图 4	辐射加热	500W	10	10	好	短	较好	较好
图 5	脉冲闪光加热	6000W · s	1/900	10	好	短	较好	较好

注:可控性指加热过程起始的控制,其加热时间可利用计算机软件控制和计算,保证一定的精度和深度定量计算要求。

4 影响因素分析

4.1 加热能量

比较实验结果,不难看出,加热温度或者加热功率越大,损伤部位影像效果越明显,从而说明了加热能量对被检测对象内部热传递过程变化所导致的表面温差的影响。外部加热能量越大,则被检测材料内部不连续性与本体材料或工件与环境之间形成的温差越大,检测灵敏度越高。

4.2 加热时间

通过对实验过程的观察,主动加热时,由于温度的滞后现象,多数加热源不能做到加热总能量的瞬时输出,因而加热过程必须持续一定的时间,而且对于厚度较大的被检测对象,加热时间相对要长些。红外热成像无损检测主要是通过材质内部热量传递过程的变化来判断内部的不连续性或损伤,检测中最理想的状态是热量注入后能使内部热量传递过程的变化能更好地反映到表面,从而得到最佳的表面温差^[2]。如果加热时间过长,则会使表面温度较高,不利于内部热量传递过程的微小变化在被检测面形成温差,导致漏检。加热时间过长,也会造成被检测对象整体很快达到热平衡状态,使得表面与底面之间的热传递过程很难形成。如果被成像区域一旦处于热平衡状态,红外成像就没有太多的实际意义。

此外,加热时间过长,空气介质或其他周边介质的温度上升,其产生的热辐射干扰将会影响热像仪输出热图像的质量。

4.3 加热源的可控性

比较实验中的加热方法,烘箱加热和热风加热主要通过人工手动控制,而辐射加热和调制脉冲闪

光加热由计算机进行控制。人工手动控制增加了检测人员的劳动强度,整个过程中,各个步骤与时间的对应较为麻烦,使得对热传递过程的时间统计缺乏准确度。

从仪器的通用性来讲,主动加热源的加热能量应该具有较好地可调性,以适用于不同的检测对象和加热需求。同时加热过程的实施,若能通过计算机软件进行控制,就可与热像仪的图像采集过程相协调。这样,就可充分利用计算机的运算能力,在材质内部热传递过程变化与热图像之间建立有效的参照系、函数关系或理论模型,便于对被检测对象内部损伤的定量计算和定性分析,提高整个红外热成像检测过程的自动化程度,保证检测结果的可靠性。

4.4 环境条件

红外热像仪通过接收被测量对象表面发射的红外热辐射并将其转换为电信号,进而实现输出热图像的功能。实际测量中,热像仪接收到的有效辐射主要包括三部分:目标自身辐射、环境反射辐射和大气辐射。当环境温度过高、湿度较大或者成像区域内气流扰动较强时,都会影响热图像的质量。在实际检测中,应该尽量采取可行的措施或方法,避免或降低上述环境因素产生的不利影响。

4.5 红外热像仪操作

热像仪的正确操作也关系到热图像的准确记录。尤其是正确设定被测物体的热辐射率、检测环

境温湿度、热像仪温度测量范围等参数和焦距调整等环节,否则所得到的热图像将存在较大失真。

5 结论

通过对飞机损伤红外热成像检测系统的构建和相关实验,对于外部主动加热方法得出如下结论:

(1)主动红外检测中的加热过程最终归结为对加热能量和加热时间的综合控制问题。对不同的检测对象,加热能量与加热时间之间并没有固定关系,两者取值应根据实际应用需要进行调整。

(2)外部加热源应该具有较好地可控性,便于对被检测对象材质内部热传递过程变化与热图像之间建立有效地参照系、函数关系或理论模型,利于缺陷或损伤的定量计算和分析。

(3)无论何种方式加热,必须保证足够的温差持续时间,同时必须把握好图像采集的时间,否则一旦被检测对象整体达到热平衡后,将不再具有最佳检测灵敏度。

参考文献:

- [1] 张建合,郭广平. 国内外飞速发展的热像无损检测技术[J]. 无损探伤,2005,29(1):1-3.
- [2] 李艳红,张存林,等. 碳纤维复合材料的红外热波检测[J]. 激光与红外,2005,35(4):262-264.
- [3] Xun Wang. Pulse-echo thermal wave imaging of metals and composite[D]. Master Thesis, Wayne State Univ. (Applied Physics,2001).

(上接第 1187 页)

5 结束语

随着红外技术的发展和红外测角精度的不断提高,机载红外探测技术越来越受到重视,利用机载红外探测器进行被动定位已经成为研究的一个热点。前面结合载机平台特点,展示了一种切实可行的正交多站三角测量的被动定位方案,解决了固定双站定位的 GDOP 问题,并且对定位精度进行了分析,表明该方案符合机载红外探测系统的要求,具有一定的现实可行性。

参考文献:

- [1] 侯娜,黄道君. 红外无源定位技术研究[J]. 电子对抗技术,2002,17(4):12-15.
- [2] 张正明,等. 平面时差定位精度分析[J]. 西安电子科

- 技大学学报,2000,27(1):13-16.
- [3] 茅玉龙,等. 无源雷达协同定位精度仿真研究[J]. 雷达与对抗,2004,(4):22-26.
- [4] Y Oshman, P Davidson. Optimization of observer trajectories for bearing-only target localization[J]. IEEE Trans On AES,1999,35(3):892-902.
- [5] 韦毅,杨万海,李红艳. 红外三维定位精度分析[J]. 红外技术,2002,24(6):37-40.
- [6] R J Pieper, A W Cooper. A triangulation method for passive ranging[M]. Technote NACIT-94-1, delivered JHU/APL, November 1993:7-11.
- [7] J S Acceta. Infrared and track systems[M]. The Infrared and Electro-Optical Handbook, Vol. 5, ed. Steven Campana, Bellingham WA: SPIE Optical Engineering Press, 1993:336-341.
- [8] 谢邦荣. 机载红外被动定位方法研究[J]. 红外技术, 2001,23(5):1-3.