

# 脉冲和锁相红外热成像检测技术的对比性研究

霍 雁<sup>1</sup>, 赵跃进<sup>1</sup>, 李艳红<sup>1</sup>, 张存林<sup>2</sup>

(1. 北京理工大学信息科学学院, 北京 100081; 2. 首都师范大学物理系, 北京 100048)

**摘 要:** 脉冲红外热成像使用脉冲热源, 热源中具有广泛的频率分量, 而锁相红外热成像技术使用周期热源, 热源频率单一。两种热成像技术的热源工作方式和数据处理方式不同, 两种技术各有优缺点。本文利用两种技术分别对电路板和平底洞试件进行了检测, 通过实验结果来说明两种热成像技术的区别以及各自的优缺点。

**关键词:** 脉冲红外热成像; 锁相红外热成像; 热源; 位相

**中图分类号:** TG115.28

**文献标识码:** A

## Comparison between pulse and lock-in infrared thermography technology

HUO Yan<sup>1</sup>, ZHAO Yue-jin<sup>1</sup>, LI Yan-hong<sup>1</sup>, ZHANG Cun-lin<sup>2</sup>

(1. The Information Science Academic of Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. The Physics Department of Capital Normal University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Pulsed infrared thermography uses the pulsed heat source which has a plurality of frequencies, but lock-in infrared thermography uses the periodic heat source which has only a single frequency. Since the work-style of heat source and data processing method are different between these two technologies, the article uses the two above mentioned technologies to inspect the PCB and Back-drilled flat bottom holes sample, according to the result of two technologies, differences between the two technologies and their advantages and disadvantages are presented.

**Key words:** pulsed infrared thermography; lock-in infrared thermography; heat source; phase

### 1 引言

目前, 热成像技术广泛地应用于航空航天等各领域, 因其对试件无任何损伤且实验结果直观等优点, 使得该技术成为一种无损检测技术和无损检测评估技术<sup>[1]</sup>, 热成像技术分为主动热成像技术和被动热成像技术, 本文主要研究脉冲红外热成像技术和锁相红外热成像两种主动热成像技术, 脉冲红外热成像技术使用脉冲式热源, 热源中含有多个分量, 它是通过物体的表面温度分布来判别试件有无缺陷, 锁相红外热成像技术的热源频率单一, 它是提取物体表面热变化的相位信息, 通过位相图判断试件有无缺陷, 两种技术的热源和后续数据处理方法等均有差异, 本文对这两种技术加以讨论, 通过具体的实验比较两种技术的相异性。

### 2 实验原理

#### 2.1 脉冲红外热成像原理

脉冲红外热成像检测技术是利用脉冲热源对试件进行加热, 热在试件内传导, 若试件中存在缺陷, 导致缺陷上方试件表面与其他区域出现温差, 红外热像仪记录试件表面温度分布, 通过后续数据处理和图像显示, 确定缺陷的具体信息<sup>[2]</sup>, 具体示意图如图 1 所示。

**基金项目:** 北京市教育委员会科技发展计划面上项目 (No. KM200710028007); 国家自然科学基金项目 (No. 10502035), 973 项目 (No. 2006CB605305) 资助。

**作者简介:** 霍 雁 (1982 - ), 女, 在读博士研究生, 主要从事红外热波无损检测技术和锁相热成像技术的研究。E-mail: huoyan3422@163.com

**收稿日期:** 2008-11-25

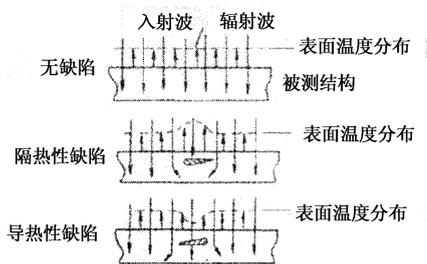


图1 脉冲热成像示意图

## 2.2 锁相红外热成像原理

锁相红外热成像使用周期性调制热源。对待测物体进行周期加热,若待测物体内部有缺陷,该缺陷对其上方表面温度分布产生周期性的影响,因此有缺陷的地方与无缺陷地方会产生位相差,红外热像仪采集物体表面温度分布。采集到的热图序列中存在噪声信号,直流信号等干扰信号。锁相的目的是将微弱的有用信号从众多干扰信号中分离出来。通过积分法和 FFT 变换法处理热像仪采集到的数据,最终显示待测试件的位相图<sup>[3]</sup>,从得到的位相图判断试件是否存在缺陷,如图 2 所示。

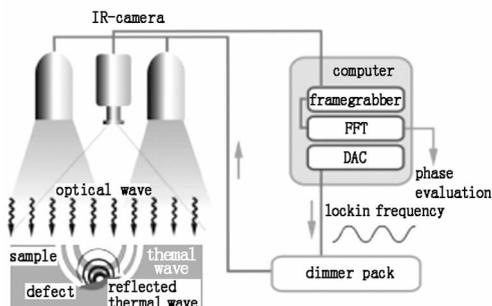


图2 锁相热成像技术原理图

## 3 实验

本文分别利用脉冲红外热成像和锁相红外热成像两种技术对电路板试件和平底洞试件进行检测,通过实验结果比较它们各自的特点。实验时所用的热像仪均为瑞典的 Thermal CAM™ SC 3000 制冷型量子阱焦平面红外光子探测器,探测波段在  $8 \sim 9 \mu\text{m}$ ,最小温度分辨率为  $0.02 \text{ K}$ 。

### 3.1 电路板的检测

所提供的电路板尺寸为长  $268 \text{ mm} \times 24 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 。电路板两侧铺铜,中间夹有玻璃布层,玻璃布层导热性能很差,该实验主要是检测电路板分层,分层出现在电路板的玻璃布层之间,图 3 所示为电路板的实物图。

实验时取电路板一小块典型分层区域做实验,锁相热成像的实验条件为:锁相热源功率  $275 \text{ W}$ ,锁相频率  $f_{\text{lock-in}} = 0.2 \text{ Hz}$ ,热像仪采集频率  $f_{\text{frame}} = 20 \text{ Hz}$ ,

采集持续时间  $T_{\text{duration}} = 103 \text{ s}$ 。脉冲热成像实验条件:脉冲能量为  $9.6 \text{ kJ}$ ,热像仪采集频率为  $60 \text{ Hz}$ ,热像仪采集时间为  $30 \text{ s}$ ,脉冲热成像和锁相热成像所得结果如图 4 和图 5 所示。

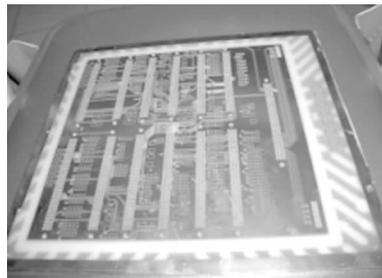
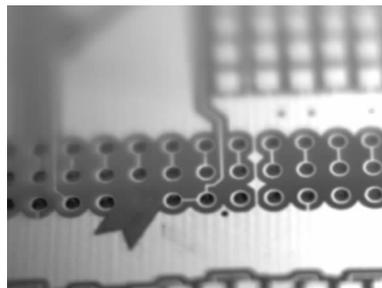
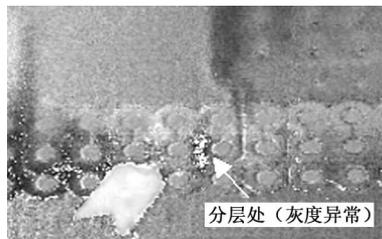


图3 电路板可见光图

由图 4 和图 5 可以看出,脉冲红外热成像没有发现电路板的分层缺陷,由于电路板的分层面积非常小,实验时采用显微镜头观测,显微镜头必须距检测处非常近( $2 \text{ cm}$  左右),所以实验时采用透射式加热,从图 4 中可以看出,热像仪观察试件那一面加热效果几乎没有显示,由于电路板中间的玻璃布层热传导能力较差,脉冲的频谱范围很宽,有很多连续的高频分量,低频分量的成分很少。由热波的基本理论,低频分量的穿透能力强,高频分量的穿透能力弱。脉冲能量几乎没能穿透电路板,导致电路板分层区域与正常区域没有明显的热差异。从图 5 中可以看出锁相红外热成像对于电路板的分层检测达到了很好的结果,由于锁相热源是单频的,其周期热源含有大量的低频分量,穿透能力强很多,对于微小缺陷,疲劳损伤,较深处缺陷等都能达到很好的检测。但是锁相热成像技术数据处理量大,实验需要后续数据处理,需要的时间长。

图4  $t = 28.39 \text{ s}$  电路板红外脉冲热成像热图图5  $f = 0.2 \text{ Hz}$  电路板锁相热成像热图

### 3.2 平底洞试件的检测

本实验采用铝平底洞试件,铝件厚为 20 mm,该试件含有 6 个深度不同的平底洞,制作缺陷为空气平底洞,平底洞直径均为 20 mm,平底洞距试件上表面分别为 1,2,3,4,5,6 mm,具体如图 6 所示。

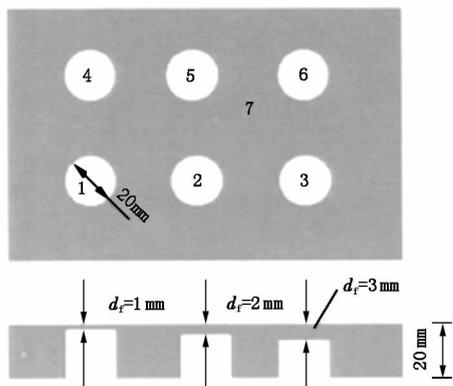


图 6 平底洞试件示意图

脉冲红外热成像检测时脉冲闪光灯能量为 9.6 kJ,热像仪采集频率为 60 Hz,采样时间 10 s,锁相红外热成像时锁相热源功率 275 W,热像仪采集时间 100 s,热像仪采集频率为 20 Hz,分别采用了六个不同锁相频率,分别从 1.41 Hz 到 17.34 Hz 不等,实验结果如图 7 和图 8 所示。

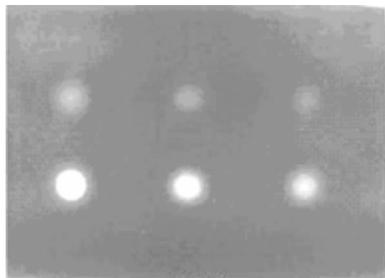


图 7  $t = 28.39$  s 时脉冲热成像热图

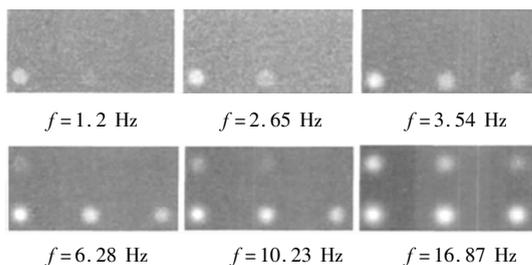


图 8 不同频率下的锁相位相图

从图 7 和图 8 中可以看出脉冲红外热成像和锁相红外热成像技术对于平底洞试件都能得到不错的结果,从图 7 中可以看出不同深度的缺陷在热图中均可看见,脉冲能量大,有利于提高热图信噪比,不需要过多的去除噪声信号的数据处理,使得脉冲红

外热成像技术成为一种快速的无损检测方法,通常单次检测只需要几秒到几十秒。对于锁相热成像技术,从图 8 中可以看出,从左到右,从上到下依次使用周期热源的频率依次减小,平底洞显现的个数逐渐增加。从所得的平底洞热图中可以直观地看出,实验时选取的锁相热源频率影响检测深度,热源频率越小,可以检测的深度越深,依据热传播理论,对于同一物体,热波频率决定热波在该物体内的传播深度。理论上,热源的频率每减小到原来的四分之一,检测深度增大一倍。所以对于试件的检测通常选取不同的锁相热源频率,来达到检测不同深度缺陷要求。

### 4 总结

本文仅对脉冲红外热成像和锁相红外热成像做了初步比较。脉冲红外热成像技术具有脉冲能量大,单次检测面积大,检测速度快,实验时对于采样频率选择简单。但是该技术受试件表面发射率和光照影响。对于深层缺陷,疲劳损伤和微小缺陷却难于检测,锁相红外热成像技术所得的位相图不受试件的表面情况等影响。对于深层缺陷,疲劳损伤和微小缺陷可以达到较好的检测深度,同时锁相红外热成像的位相延迟和试件的缺陷深度和锁相频率有关,当知道锁相频率和位相延迟就可以求出缺陷的深度,但是脉冲红外热成像技术并不能这样直接求出缺陷的深度。锁相红外热成像技术后续数据处理量大,实验需要花费较多时间。对于特定深度处缺陷锁相热成像实验时必须选择合适的锁相频率,在实际应用中,两种技术可以互补使用,对于具体的试件和具体的检测要求可选择不同方案。

### 参考文献:

- [1] Simon Pickering, Darryl Almond. Matched excitation energy comparison of the pulse and lock-in thermography NDE Techniques [J]. NDT&E International, 2008, 41 (7): 501 - 509.
- [2] G M Carlomagno, P G Berardi. Unsteady thermotopography in non-destructive testing [J]. Proc. 3rd Biannual Information Exchange, 1976, 12(3): 33 - 39.
- [3] Man Yong Choi, Kiso Kang, Jeonghank, et al. Quantitative determination of a subsurface defect of reference specimen by lock-in infrared thermography [J]. NDT&E International, 2008, 41(2): 119 - 214.