红外热成像无损检测技术

测控1702班

张晋喜

201752030232

2020年6月18日

摘要

随着科学技术的不断发展和制造工艺要求的不断提高，要求无损检测技术更加可靠、经济、准确、快速并且使用方便，此时传统的无损检测技术表现出其局限性，无法满足更高水平的要求。红外热成像技术作为非接触探测方式逐渐应用到无损检测领域，并以其快速、准确、安全的特点逐渐被人们认识并应用到多个领域。目前阶段，红外热成像逐渐发展成为主要的无损检测技术，借助主动热激励的方式，使得物体内部异性结构通过表面温场改变差异得以表现，进而准确地定位并识别缺陷。通过对红外热成像无损检测技术的影响，有效地实现了民用与军用工业设备的安全性和可靠性提高目标。本文以红外热成像无损检测技术作为主要研究内容，重点是红外热成像在无损检测领域的现状及发展。

关键词：红外热成像；无损检测技术

绪论

随着科学技术的不断进步，各种无损检测技术也日趋完善，已成为保证产品质量和安全生产的必不可少的手段。其中有代表性的无损检测技术有射线检测（RT）、超声检测（UT）、磁粉检测（MT）、渗透检测（PT）和电磁检测（ET）等。这些方法各有所长，也各有局限性。尽管目前存在着以上已经基本趋于成熟的五大标准无损检测技术，但红外无损检测技术仍以其独特的优点得到了人们的广泛重视。

红外热成像无损检测技术是一门新兴的学科，它因具有快速、无损、非接触、无需耦合、快速实时、大面积、远距离检测等优点而得到迅速发展。红外热成像无损检测作为一种非接触的检测手段，已广泛应用于航空、航天、机械、医疗、石化、电力等领域。随着计算机数字信号处理技术的发展以及红外无损检测技术的出现，红外无损检测技术在无损检测领域中越来越显示出其重要性。在我们的日常生活中许多领域，红外热成像仪已成为必备的常规监测仪器。

1. 红外热成像无损检测技术发展背景

红外热成像无损检测技术基于热成像设备发展起来，并且于第二次世界大战以后，第一代军用红外热成像设备成功研发。此后，在国际范围内，红外热成像无损检测技术的研究不断深入，特别是光脉冲与超声激励红外热成像方面获得了理想的研究成就。在世界上也有大部分国家将此领域研究成果应用在检测飞机复合材料构件内部缺陷方面。

而在我国，受到热成像仪发展的制约，使得红外热成像无损检测技术研究时间不长，最初仅被应用于传统的被动式红外热成像检测当中，而且非制冷热像仪与扫描仪仍占据市场主导地位，在温度分辨率与采集频率方面都很难与温场的快速变化需求相适应。随后，各院校在热波检测理论与热激励方法等方面加大了研究力度，并在汽车制造与航空航天领域得到了应用。

1. 红外热成像技术

2.1．红外热成像技术的基本原理

自然界一切绝对温度高于绝对零度（-273.16℃）的物体，都会因自身分子运动不停地辐射出红外线，辐射出的红外线带有物体的温度特征信息，其大小除与物体材料种类、形貌特征、化学与物理学结构（如表面氧化度、粗糙度等）特征有关外，还与波长、温度有关。这就是红外热成像技术探测物体温度高低和温度场分布的理论依据和客观基础。

红外热成像技术的核心设备是红外热成像仪。热成像整机部件包括五大部分：光学系统（某些情况下还有窗口）。扫描器，探测器组件，电子信号处理系统部分和显示器。光学系统的作用是将景物发射的红外线汇聚在焦面上，扫描器既要实现光学系统大视场与探测器小视场的匹配，又要按显示制式的要求进行扫描，探测器将红外光变成电信号，电子信号处理系统将信号进行处理（进行信号的电弧提升和校正等），显示器将电信号变成可见光。当探测器将红外光变成电信号后，完全利用在电视技术中已经发展很成熟的电子信号处理技术和显示器，进行信号处理和显示。

2.2.红外热成像仪的基本原理

红外热成像仪就是利用物体的这种辐射性能来测量物体表面温度场的，它能直接观察到人眼在可见光范围内无法观测到的物体外形轮廓或表面热分布，并能在显示屏上以灰度差或伪彩色的形式反映景物各点的温度及温度差，从而把人们的视觉范围从可见光扩展到红外波段。

红外热成像仪的测温原理以斯蒂芬-波尔兹曼定律为依据，即：

S=εσ*T*

式中σ为斯蒂芬-波尔兹曼常数，ε为待测物体表面面元的平均发射率，*T* 为待测物体表面面元的温度，S为物体表面总辐射度。

1. 红外热成像技术的分类

红外热成像技术根据信息处理方式和显示方式不同可以分为实时温度显示法、脉冲幅值显示法和脉冲相位显示法；根据探测方式不同可以划分为透射式和发射式，其中发射式更便于使用；根据零件表面温差的来源可以分为主动式和被动式，主动式温差主要来源于激励源，被动式则依靠自身散发的热量。最常用的分类方法，即根据激励源不同分为脉冲红外热成像技术、超声红外热成像技术和锁相红外热成像技术等。

* 1. 脉冲红外热成像技术

脉冲红外热成像无损检测技术最初于20世纪80年代英国哈韦尔国家无损检测中心的研究人员提出，其探测原理是：以脉冲加热为热源，在被测零件中形成热流传播过程，由于物体中存在损伤的区域必然于无损伤的区域热传导率不同，进而导致对应的表面温度不同。脉冲红外热成像技术集光、机、电于一体，可广泛应用于航空航天领域、机械、石化等领域，具有非接触、快速实时、无需耦合等优点，能直观的得到检测结果，可以一次探测较大的面积，是零件损伤检测中的一种前沿的检测技术。但是，脉冲红外热成像无损检测技术也存在一些不足，例如检测厚度有限以及不适合检测结构复杂的零件等。因此需要根据被测零件的特性来确定是否可以采用脉冲红外热成像无损检测技术。

* 1. 超声红外热成像技术

超声红外热成像技术是将超声技术和红外技术结合起来，得到的混合型超声红外热成像系统，其相比脉冲红外热成像技术，在热成像方面相差不大，主要的差别来自激励源。超声红外热成像技术是将超声波脉冲发射到样品中，通过声能在样品中衰减而转化成的热能来进行检测。零件的疲劳损伤等会使其于邻近区域的弹性性质不同，导致声衰减及其产生的热比正常区域的多，零件损伤的部位温度升高，同时损伤区域比无损伤区域热流量小，使得其热扩散比相邻区域少，两个方面的综合作用使零件损伤部位在热像图上表现出异常。通过观察红外热像仪记录下的温差，再经过计算机分析、对比等处理方式，获得零件损伤的种类、位置、形状等信息，即可达到无损检测的目的。

超声红外热成像技术相对采用其他电光源对被测零件表面加热的检测方法而言，灵敏度得到显著提高。与传统的的超声检测方法相比，超声红外热成像技术可以对样品的亚表面区域进行灵敏的检测，能够有效地检测出不同类型材料的表面和近表面裂纹、浅层分层或脱粘等缺陷。除此之外，红外热像仪的检测面积比超声换能器的面积大得多，能够显示较大范围内物体瞬态的图像，因此超声红外热成像技术非常适合于工业无损检测方面的应用。其不足之处则在于需要较长的扫描时间。

* 1. 锁相红外热成像技术

锁相红外热成像技术主要有热成像系统和锁相设备构成，热成像系统中的计算机自控程序获得调制信号，同时控制热像仪和闪光灯。由锁相设备控制激励源发出周期性信号，对零件进行加热，热像仪进行记录，从而得到零件表面的温度信息，再由计算机处理信息，从接收到的缺陷区域和非缺陷区域的信号中提取特定频率的信号。因存在缺陷，故这两个信号存在相位差和幅值差，由分析幅值差和相位差入手，可得到缺陷信息。

1. 红外热成像技术的应用

红外热成像技术因能快速、实时、直观地检测零件地损伤，所以应用广泛，可应用于航空设备检测、复合材料地检测、衬里损伤诊断、电力设备的故障诊断、零件损伤和断裂的分析、钢制构建疲劳损伤识别、快速确定材料疲劳极限、涡轮叶片的损伤检测和混凝土检测等

* 1. 材料、结构损伤检测研究

将一块铝板样品锯一条凹槽，经过来回的扭力作用，在凹槽的下面形成了一条宽疲劳裂纹，通过超声红外热成像技术得到样品的一系列视频图像，根据得到的图像，快速简便地检测到疲劳裂纹；同时也通过实验验证了红外热成像技术可应用于冲击疲劳的检测。同样，利用超声红外技术也可以实现对试件的疲劳裂纹进行检测，通过直观的红外热像图，识别出零件的疲劳裂纹，达到检测疲劳裂纹的目的。

除此之外，在发动机故障的诊断中也应用到了红外技术，采用红外测温仪测量发动机排气温度，根据所测数据，判断发动机是否存在故障，是否需要更换。红外技术还可以应用到图层损伤的检测中，利用脉冲红外热成像技术，对涂层的裂纹、分层的缺陷进行了检测，通过区分缺陷部位和正常部位产生热的不同，可快速识别图层缺陷，证明了脉冲红外热成像技术对于缺陷的识别和定位使可靠的。

* 1. 复合材料的损伤检测

红外热成像无损检测技术在复合材料中的应用，包括检测机理、可靠性、精度测量等。红外热成像技术也可以配合声发射技术，应用到同步监测2D C/SiC 复合材料带孔板的拉-拉疲劳损伤过程，利用疲劳过程中模量的变化、声发射信号和试样表面温度变化，讨论了带孔板疲劳损伤的演变情况。对于复合材料试件中的缺陷，特别是闭合类缺陷，超声红外热成像技术同样可以有效检测。

* 1. 航空航天的材料检测

在航空方面，可运用红外热成像技术进行结构应力测量，将红外热成像技术应用到航空工业飞机机翼蒙皮与骨架之间铆接结构应力分布的研究中。同样可以针对飞行器结构中应力腐蚀裂纹的快速高效检测需求，采用超声红外热波方法得到不同激励位置下的零件的表面温度场分布，通过提取裂纹方向上的线温，实现对裂纹的定量识别。

* 1. 其他方面的应用

混凝土的检测同样可以采用红外热成像技术，将红外热成像技术应用到混凝土裂纹发热过程的分析中，在超声红外热成像试验基础上，针对混凝土试件特点，采用有限元数值计算方法，分析超声波激励下混凝土裂纹发热过程，对比发现试验结果和计算结果十分吻合，确定红外热成像技术适合在此类问题中的应用。

今年疫情期间，使用红外热成像技术可以实现对人体的温度进行实时测量，确保了人们的生命安全。

1. 结论

红外热成像技术作为一种具有广阔研究应用前景的无损检测技术，具有直观、快速、无需接触等优点，广泛应用于军事、航天、材料等领域，但红外热成像技术也存在不足，比如在定量检测方面不够准确，所以仍有待改进。本文红外热成像技术的基本原理、红外热像仪的基本原理和结构、红外热成像技术的分类和红外热成像技术的应用。纵观现代各种无损检测技术，均要求对零件的损伤进行快速、准确的检测和评估，因此红外热成像技术也要朝着快速、准确的方向发展，具体发展方向有以下几点：从定性到定量的转变；采用多样化激励方式，实现更加快速、准确的检测；尝试各种先进的信息处理方式，得到更加精确的零件损失信息；适应现场检测的要求，向便携式方向发展。

参考文献

1. 赵小民.红外热成像技术在复合材料无损检测中的应用现状[J].计算机测量与控制，2016（4）：1-6，9.
2. 江涛，杨小林，阚继广.超声红外热成像无损评估技术[J].无损检测，2009，31（11）：884
3. Liu Junyan，Tang Qingju，Wang Yang. The study of inspection on SiC coated carbon-carbon composite with subsurface defects by lock-in thermography[J].Compos Sci Techn,2012,72:1240
4. Yin Xiaokang, David A Hutchins, Chen Guoming, et al. Detecting surface features on conducting specimens through an insulation layer using a capacitive imaging technique[J].NDT E Int,2012,52:157
5. 陈大鹏，李晓丽，李艳红，等.超声红外热成像技术检测激光焊缝质量[J].无损检测，2008，30（10）：747