

红外热像技术在混凝土检测中的应用现状和发展趋势

蒋济同, 范晓义

(中国海洋大学 工程学院, 青岛 266100)

摘 要:分析和总结了国内外红外热像技术在混凝土检测领域中如何获取和改进外加热源, 缺陷深度、大小的定量计算以及研究成果如何在复杂的实际工程当中运用的研究进展, 指出了目前研究存在的局限性和不足, 展望了红外热像技术在混凝土检测领域中的应用前景和发展方向。

关键词:红外热像技术; 混凝土; 综述

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2011)02-0052-04

Application and Development of Infrared Thermal Image Technology on the Concrete Detection

JIANG Ji-Tong, FAN Xiao-Yi

(Ocean University of China Engineering Institute, Qingdao 266100, China)

Abstract: Combined with the research development at home and abroad, following problems were analyzed and summarized in the paper, such as the application of infrared thermal image technology (ITIT) on the concrete detection, the quantitative calculation of depth and size of building defects, and the practical use of the research results in complex projects. Limitations and deficiency of the current research were pointed out in the paper. The application prospect and development direction of ITIT in the concrete detection field were also indicated.

Keywords: Infrared Thermal Image Technology; Concrete; Surrey

对红外热像技术应用方面的研究,最早出现在 20 世纪 60 年代的美国。20 世纪 70 年代末,已经有学者应用红外成像技术诊断建筑物的热损耗、屋顶渗水、围墙缺陷以及查找路面的次表面缺陷等。此技术在我国起步较晚,在 20 世纪 90 年代初,我国才有学者将红外热像诊断技术和土木工程结合起来,在建筑物热损耗、建筑材料缺陷探测和建筑外墙施工质量等方面进行了初步的应用研究。红外热像技术是一种全新、灵敏的检测方法,也是一种很好的监测方法,其重要的特点是可以快速、非接触、大面积地扫描检测物表面,并且不损伤检测物,结果直观形象,易于实现自动化和实时观测^[1]。

收稿日期: 2010-04-20

作者简介:蒋济同(1966—),男,中国海洋大学工程学院土木系主任,教授,博士,主要从事建筑物无损检测和结构工程等研究工作。

1 红外热像技术的基本原理

在自然界中,任何高于绝对零度的物体都是红外辐射源,红外线是介于可见红光和微波间的电磁波,它的波长范围在 $0.76 \sim 1\,000\ \mu\text{m}$ 之间。其中只有 $3 \sim 5$ 和 $8 \sim 14\ \mu\text{m}$ 的波段能很好地透过,红外探测器就是利用这个波段进行探测的^[2]。当物体内部存在裂缝和缺陷时,它将改变物体的热传导,使物体表面温度的分布产生差别,利用红外热成像仪测量它的不同热辐射,可以检测出物体的缺陷位置。红外热像检测原理如图 1 所示^[3]。

2 红外热像技术在混凝土检测中的应用现状和发展趋势

红外热像检测在土木工程中的应用,国外已经研究了相当长的一段时间,在许多国家应用已久,如美国 ASTM 和 ASNT 一直致力于对此项技术的研

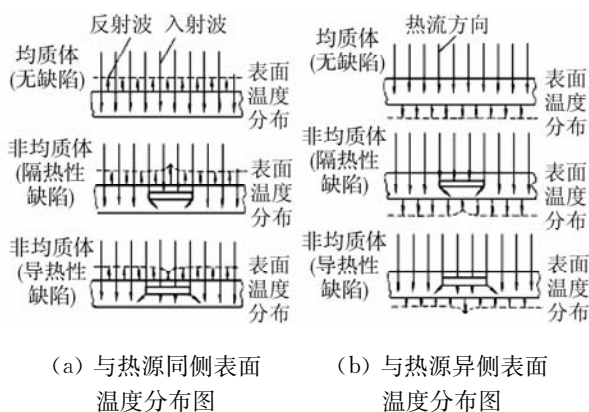


图1 红外热像检测物体原理示意图

究,并制定了有关检测标准,作为实际检测过程中的指导性文件。该技术在国内外尚处于起步阶段,但应用前景十分广泛。目前利用红外热像技术对混凝土无损检测的研究热点集中在对红外热像获取的热源的改进,缺陷深度、大小的量化研究以及如何把研究成果运用到复杂的实际工程当中。

2.1 热源的改进

针对混凝土的有关检测过程中如何改进热源这一问题,国内外研究人员主要是采用大功率的红外脉冲加热装置、红外灯照射、超声红外技术和高能闪光灯等热源。德国的 Ch Maierhofer 和 H Wiggenhuaser 等人^[4-5]在对混凝土中的缺陷及碳纤维增强表面粘结层的脱胶情况进行检测的过程中,采用大功率的红外脉冲加热装置,效果很好。文献^[6]和^[7]中 Takahide Sakagami 等研究人员利用红外灯照射对混凝土内部的层离缺陷进行了分析研究,得出了混凝土内部缺陷随埋设深度及缺陷的几何大小变化的关系曲线。另外, S Vallerand 和 X Maldague^[8]在脉冲加热的红外热激励条件下,比较了数理统计法和神经网络法对材料的内部缺陷检测的优劣,指出了各种方法的适用条件。国内,李卓球、黄莉、伍颖和宋显辉等^[9-11]在通电的情况下,利用碳纤维混凝土的电热效应,对含预制裂纹的碳纤维混凝土缺陷体进行红外无损检测,采用有限元的方法计算得到了电热碳纤维混凝土缺陷体的表面温度分布及其最大温差,得出了随着材料电阻率的降低和裂纹逐步加深,检测灵敏度显著提高的结论,为优化和评估电热红外检测方案提供了重要的数值依据。国内外的科研人员在检测过程中尝试了不同的热源,但使用外加热源时,在检测物上产生的温度场具有以热源对应点为中心,向外围梯度递减的特点,影响检测结果的准确性。如何通过变换外加热源的角

度,或增加热源的数量,在检测区域进行叠加,来降低检测误差以及寻找空间梯度小、时间梯度大的新式热源将是今后红外热像检测技术的一个主要研究方向。

2.2 量化研究

在混凝土红外热像检测中的缺陷深度、大小的量化研究方面, Pietro Giovanni Bocca 等^[12]在实验条件下,确定了混凝土裂缝大小与温度减小量之间的关系,从而缩短了现场检测的时间。研究人员 D Defer 和 J Shen^[13]等详细推导了自然条件下带缺陷层的多层平壁导热公式,同时根据热阻的概念,利用自然界温度场,通过红外热像法对结构物的内部分层缺陷进行了定量研究。北京航空航天大学的王永茂等^[14]为定量测定缺陷,提出由有缺陷区域表面温度和由表面温差达到最大值的峰值时间确定缺陷深度的两种红外检测方法,同时给出由红外图像确定缺陷尺寸的方法。这些方法主要适合于检测试件浅表面较大面积的缺陷。武汉大学的杨锐玲^[15]根据热传导方程和热辐射边界条件,从理论上建立了计算混凝土内部缺陷深度公式和确立了该公式适用范围及条件,最后给出了截断误差计算公式。从实际与模拟的角度出发,同济大学的赵鸣、李杰和王婷等^[16-17]借助一维与二维热传导物理模型进行混凝土结构内部缺陷深度与厚度的识别,实现了对混凝土内部缺陷的三维重构,并采用 LM 神经网络对缺陷的深度和厚度进行了计算。清华大学的孙格靓、王厚亮等^[18]同样利用红外热像仪对碳纤维增强混凝土构件的破坏进行了全过程的检测,得出了不同破坏阶段红外图像温度特征的变化曲线。对于缺陷深度、大小的量化研究,目前进行试验的材料多为匀质材料,缺陷的深度较浅。如何建立适用于多数复杂的实际工程计算模型,加强定量运算也将是研究的重点。

目前对于红外热像检测的定性和定量研究已经取得了很大进展,因此如何把研究成果运用到复杂的实际工程当中就成为各国科研人员研究的热点问题。英国的 Clark M R^[19-21]等利用红外热像技术在较低温度下对混凝土分层和桥梁砌体粘结质量、石拱桥的背部渗水和铁路碎石路基的工作状况检测进行了试验,并且把该技术应用到了实际工程中。Valluzzi M R 等^[22]通过红外热像技术,对一些历史建筑物的维护结构进行了损伤检测,并利用该方法进行修复状态检测。此外,为了探讨红外热像检测

技术在现场检测的效果, Maierhofer Ch 等^[23]将红外热像法和探地雷达法对混凝土浅层的内部缺陷的检测效果进行试验比较, 结果证实红外热像法在一定条件下比较有效。中国地震局综合观测中心的邓明德^[24-25]通过试验得到混凝土的红外辐射能量随着压力变化而显著变化的关系。此变化与温度无关, 完全由压力引起, 不需要经历生热的中间物理过程。这一物理现象在世界上第一次被发现, 为混凝土工程应力测量提出了新原理、新方法和新技术, 具有广泛的应用价值和前景。东北大学的研究人员刘善军、河北理工大学的张艳博等^[26]共同提出对内含水体的混凝土试样进行单轴压缩加载, 利用红外热像仪并辅以声发射仪, 观测加载过程中试样的红外辐射与声发射变化特征, 研究混凝土破裂与渗水的红外异常前兆的方法。该试验结果对水库大坝以及其他储水混凝土工程破裂与渗水的遥感监测与灾变预警具有重要的意义。在评估灾害对建筑物结构的影响上, 同济大学的张雄等科研人员^[27-32]更是在国际上首创了用红外热像技术对火灾混凝土的检测方法, 不但得到了火灾混凝土红外热像的平均温升随时间的变化曲线, 而且确定了平均升温与预期收获温度损失之间的回归方程, 为建筑物在火灾中损害的评估检测提供了一种新思路。

综上所述可以看出, 红外热像检测技术与常规检测方法相比优势比较明显, 国内外研究人员在各自的领域也取得了相应的研究成果, 有些成果也已经成功地在实践中得到了应用, 并取得了良好的效果。

3 结语

目前国内外研究人员已经对红外热像检测技术进行了广泛的研究, 但仍然存在不足: ① 如何通过变换外加热源的角度或增加热源的数量在检测区域内进行叠加来降低检测误差以及没有找到空间梯度小、时间梯度大的新式热源。② 在缺陷深度、大小的量化研究方面, 目前进行试验的材料多为匀质材料, 缺陷的深度较浅, 没有适当的计算模型使其能运用于复杂的实际工程当中。③ 在红外图像的后处理方面, 图像的几何校正和拼接、温度梯度校正、背景校正、噪声分析和消噪、统计算法等问题都没有得到很好的解决。相信随着各学科的交叉发展以及各项研究的突破, 红外热像检测技术在研究和实际应用中出现的这些问题都能够得到很好的解决, 从而进一步发挥其在无损检测上的优势。

参考文献:

- [1] 张荣成. 红外热像法检测建筑物外墙饰面施工质量的试验研究[J]. 建筑科学, 2002, 18(1): 40-44.
- [2] 周书铨. 红外辐射测量基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1991: 7-10
- [3] 李为杜. 红外检测技术基本原理及应用[J]. 施工技术, 1998(11): 34
- [4] Wiggerhauser H. Active IR-applications in civil engineering[J]. Infrared Physics & Technology, 2002, 43(3-5): 233-238.
- [5] Maierhofer Ch, Brink A, Rollig M, et al. Transient thermography of structural investigation of concrete and composites in the near surface region[J]. Infrared Physics & technology, 2002, 43(3-5): 271-278.
- [6] Takahide Sakagami, Shiro Kubo. Development of a new non-destructive testing technique for qualitative evaluations of delamination defects in concrete structure based on phase Delay measurement using lock-in thermography[J]. Infrared Physic & Technology, 2002, 43(3-5): 311-316.
- [7] Takahide Sakagami, Shiro Kubo. Applications of pulse heating thermography and lock-in thermography to quantitative nondestructive evaluations [J]. Infrared Physics & Technology, 2002, 43(3-5): 211-218.
- [8] Vallerand S, Maldague X. Defect characterization in pulsed thermography: a statistical method compared with Kohonen and Perceptron neural networks [J]. NDT&E International, 2000, 33(5): 307-315.
- [9] 宋显辉, 王建军, 李卓球. 碳纤维混凝土局部损伤检测的实验研究[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(3): 44.
- [10] 黄莉, 龙曦, 李卓球. 碳纤维混凝土电热红外无损检测的灵敏性分析[J]. 武汉理工大学学报, 2005, 27(3): 37-40.
- [11] 黄莉, 李卓球, 宋显辉. 碳纤维增强混凝土中裂纹的红外热线和检测方法机理研究[J]. 实验力学, 2003, 18(3): 403-408.
- [12] Pietro Giovanni Bocca, Paola Antonaci. Experimental study for the evaluation of creep in concrete through thermal measurements[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(9): 1776-1783.
- [13] Defer D, Shen J, Lassue S, et al. Non-destructive testing of a building wall by studying natural thermal signals[J]. Energy and Buildings, 2002, 34(1): 63.
- [14] 王永茂, 郭兴旺, 李日华, 等. 缺陷大小和深度的红外检测[J]. 无损检测, 2003, 25(9): 458-461.
- [15] 杨锐玲. 红外热成像法探测混凝土缺陷的实验及理论研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004: 3-6.

- [16] 王婷,赵鸣,李杰. 红外 CT 模拟在混凝土板内部缺陷探测中的应用[J]. 计算力学报,2007,24(5):579—584.
- [17] 王婷,赵鸣,李杰. 识别混凝土板内部缺陷的人工神经网络算法[J]. 同济大学学报,2007,35(3):304—308.
- [18] 孙格靓,王厚亮,李建保. 碳纤维混凝土构件破坏过程的动态混凝土检测[J]. 碳素技术,2004(4):25—31.
- [19] Clark M R. Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges[J]. NDT&E International,2003,36(4):265—275.
- [20] Clark M R, Mc Cann D M, Forde M C. Infrared thermographic investigation of railway track ballast[J]. NDT&E International,2002,35(2):83—94.
- [21] Clark M R, Forde M C. Infrared Thermography Assessment of Masonry Arch Bridges Laboratory and Field Case Studies[C]. Germany: International Symposium(NDT-CE 2003).
- [22] Valluzzi M R, Bondi A. Structural investigations and analyses for the conservation of the Arsenal of Venice[J]. Journal of Cultural Heritage,2002,3(1):65.
- [23] Maierhofer Ch, Brink A, Rllig M, et al. Detection of shallow voids in concrete structures with impulse thermography and radar[J]. NDT&E International,2003,36(4):257—263.
- [24] 邓明德,樊正芳耿,乃光,等. 混凝土的微波辐射和红外辐射随应力变化的实验研究[J]. 岩石力学与工程学报,1997,16(6):577—583.
- [25] 邓明德,钱家栋,尹京苑,等. 红外遥感用于大型混凝土工程稳定性监测和失稳预测研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(2):147—150.
- [26] 刘善军,张艳博,吴立新,等. 混凝土破裂与渗水过程的红外辐射特征[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(1):53—58.
- [27] 杜红秀,张雄,韩继红. 混凝土火灾损伤的红外热像检测与评估[J]. 同济大学学报,2002,30(9):1078—1082.
- [28] 杜红秀,张雄,韩继红. 混凝土构筑物的火灾危害与损伤检测评估[J]. 建筑材料学报,1998,1(2):175—181.
- [29] 杜红秀,张雄,韩继红,等. 混凝土火烧损伤的红外热像检测与分析[J]. 建筑材料学报,1998,1(3):223—226.
- [30] 张洁龙,杜红秀,张雄. 火灾损伤混凝土结构红外热像检测与评估[J]. 高技术通讯,2002,02:62—65.
- [31] 杜红秀,张雄. 钢筋混凝土结构火灾损伤的红外热像—电化学综合检测技术与应用[J]. 土木工程学报,2004,37(7):41—46.
- [32] 张维. 建筑物红外检测技术[J]. 无损检测,1997,19(5):130—131.

ASNT 3 级考生报考要求

1 申请报考 ASNT 3 级的考生,必须符合下述条件:

- (1) 4 年制理工科专业毕业的本科生需要有 1 年的实践经验(同一方法的 2 级证书取得 1 年或以上者)。
- (2) 2 年制理工科专业毕业的大专生需要有 2 年的实践经验(同一方法的 2 级证书取得 2 年或以上者)。
- (3) 高中毕业生需要有 4 年的实践经验(同一方法的 2 级证书取得 4 年或以上者)。

2 申请者在递交申请书的同时必须递交毕业文凭和 2 级证书等资料的复印件,并将以下内容译成英文:

(1) 毕业文凭:

- 4 年制理工科专业毕业的本科生的学位证书需翻译:a 学院或大学的名称;b 申请人姓名;c 主修专业;d 何种学位(学士,硕士,博士);e 学位获得

日期。

- 2 年制理工科专业毕业大專生的毕业文凭需翻译:f 学院或大学的名称;g 申请人姓名;h 学校采取 Quarter 制或 Semester 制;i 每学期起止日期;j 所学课程(包括工科课程和理科课程);k 每课程多少学时。

- 高中毕业生的毕业文凭需要翻译:l 高中学校的名称;m 申请人姓名;n 毕业日期。

(2) 证明材料:

学会颁发的 2 级证书或其他工业部门颁发的 2 级证书的复印件中以下内容需译成英文:o 持证者姓名;p 发证单位名称;q 已工作时间;r 工作中使用过哪些无损检测方法;s 发证人(或见证人)姓名;t 发证人(或见证人)职务。

译文可附在复印件后面,手写打印均可,但手写字迹必须清晰易辨。

(中国机械工程学会无损检测分会)