

用于材料探伤的热弹性红外图像安全检测技术

——从基础研究到实用化

师昌绪*

(国家自然科学基金委员会,北京 100085)

利用红外技术加热、测温、制导已是人所共知的事实,但是用红外技术探伤却是最近才开发出来的。早在 20 世纪 60 年代初,我就把金属的疲劳确立为自己的一个学科研究方向,因为当时我所从事的航空材料的失效主要起源于疲劳。受金属在变形过程中温度上升的启发,我提出用红外技术监测金属形变与断裂过程,并责成来所不久、具有物理背景的黄毅同志开展这项研究工作。但是由于文化大革命的干扰,一直到 20 世纪 70 年代末才正式立项。在不太长的时间,就得到令人信服的结果,并公之于世^[1]。1982 年数学基础较好的研究生李守新加入,通过有限元法计算了裂纹尖端在弹塑性应力场条件下的温度场和应力场的关系,并找出红外发射规律^[2,3]。实验证明了金属材料在弹性拉伸载荷下温度的下降,定名为红外冷发射(IRCE),在弹性压缩载荷下则温度上升,定名为红外热发射(IRHE),从而根据温度场的分布可以确定部件的应力状态。90 年代后期,金属压力容器在疲劳载荷过程中,发现其应力集中区经过一定疲劳周期后,产生了不可逆的温升,黄毅把它定义为热斑迹(heating scar),并证明该部位已产生了疲劳损伤,压力容器的泄漏正是发生在热斑迹的位置。利用红外冷发射、红外热发射及热斑迹等现象,开发出“热弹性红外图像安全检测系统”,不但可以监控缺陷的发展过程,而且可以测定产品的薄弱环节,这是一般无损探伤难以做到的。如所周知,从目前流行的无损检测方法来看,大体可分为两类:一类是对产品中已存在的缺陷的形态、大小与分布进行测定,如荧光渗透分析、X 射线、磁粉与超声波探伤等。另一类则是监控缺陷的形成过程,如声发射技术。但是至今还没有一种简单易行的装置用来确定缺陷形成的“可能部位”,即隐患,从而采取有效措施,防止失效的发生。虽然 1997 年曾

有磁性记忆技术(MMT)问世,它利用工件铁磁性,在应力和变形集中区域产生的磁性变化来确定其薄弱环节,但是这种方法的精确程度不够理想,也有很大局限性。红外检测技术具有非接触、实时、无害、高效及操作简便等特点,可以开发成为便携式检测系统,很有发展前景。事实上,作为无损检测技术已应用于实践。1995 年在美国 Houston 炼油厂金属所便采用该技术解决了高温高压输油管线在工况条件下检测管壁腐蚀减薄的难题。据此,可以断定输油管的薄弱部位,尽管管壁并不存在裂纹或空洞缺陷。近年来对我国生产的上百件用于“神舟”飞船生保系统的高压氧压力容器进行了整体安全评价,也是非常成功的。这项技术不但可检测高压容器,也可用于任何传动部件或其他受疲劳载荷部件的检测或监控,如螺栓在反复受力状态下最容易发生断裂而造成事故,如采用红外监测,可以做到早期预报。

在项目进行过程中,在基础研究阶段,曾三次(1985, 1990, 1995)受到国家自然科学基金的资助,深入研究了金属材料在受力状态下的红外发射规律,从而确立将红外图像检测技术做为一种探伤手段的可行性。第二阶段是联合国内检测权威机构“国家质量监督检验检疫总局所属锅炉压力容器检测研究中心”向国家科技部申请把该技术列为“九五”重点科技攻关项目。为了有利于技术推广,1997 年金属所制定了《高强度钢薄壁压力容器热图像检验质量控制规范》(Q/KJ. J06, 04 - 1997),并提出热弹性应力集中系数的计算模式和图像处理软件包。在此期间,与河北省锅炉压力容器监督检测所及天津石化公司机械研究所等单位进行合作,在现场开展了多次试验,都取得较好的效果。与此同时,与香港彼岸科仪有限公司共同开发了“热弹性红外图像安全检测系统”。至此,本项目算是告一段落,于

* 中国科学院院士和中国工程院院士。
本文于 2003 年 1 月 13 日收到。

2002年11月在中国科学院主持下,召开了一次由8位专家组成的鉴定会,他们中绝大部分是从事无损检测研究和实践的,最后得出的结论是“这一项目属于原始创新,具有国际领先水平”。当然这仅是该项技术应用的开始,除了扩大应用范围外,还要开展更深入的研究工作,解决更深层次的问题,如对缺陷性质做出准确的判断,对工件使用寿命做出定量的估计等。目前所有探伤手段也都没做到这一点,红外探伤技术有没有可能,值得探索。

“热弹性红外图像安全检测系统”的建立有以下几个特点:第一,这项工作是从基础研究开始的,而且经历了很长的时间,如从概念的提出算起,足有40年,从试验工作正式开始计,也有25年了。第二,项目主要完成人黄毅从大学毕业就开始了这项工作,目前已接近退休,他把主要精力用于该项技术的研究与开发,具有锲而不舍、坚忍不拔、把工作进行到底的精神,克服困难、创造条件,这是成功的保

证。第三,通过组织全国有关力量,使研究成果最终开花结果。由于采取联合攻关,不但得到有关权威单位的承认和支持,为技术的推广创造了条件,而且与仪器制造商联合,为成果扩大和广泛应用奠定了基础。

当前,人们普遍感觉我国科技界存在浮躁现象,我国科研成果转化率过低,或许能从“热弹性红外图像安全检测技术”的研制成功并得到应用得到一些启发。

参 考 文 献

[1] Huang Y, Xu J, Shih C H. Application of Infrared Technique to Research on Tensile Test. *Materials Evaluation*, 1980, 38(12):76—79.
 [2] Huang Y, Li S X, Shih C H. Investigation of Temperature Fields of Stainless Steel during Deformation, *Advances in Fracture Research*, ICF6 New Delhi, India, 1984, 3:2 325.
 [3] 李守新,黄毅,师昌绪.金属板材在弹塑性形变过程中热场的有限元分析, *金属学报*.1985, 21CD B7—B15.

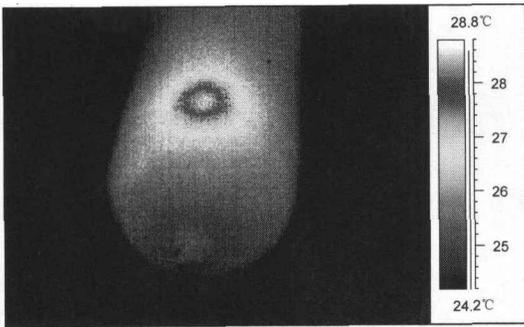


图1 碳纤维复合高压容器在疲劳过程中缺陷附近的温度分布

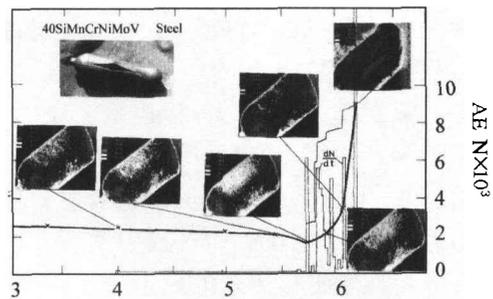


图2 一支3升柱型钢瓶(40SiMnCrNiMoV钢)在考核试验中热图像变化和声发射检测结果(注:在声发射出现以前,已有红外冷发射出现,表现在温度下降,图像也有反应,说明裂纹形成前已显示出薄弱环节。)

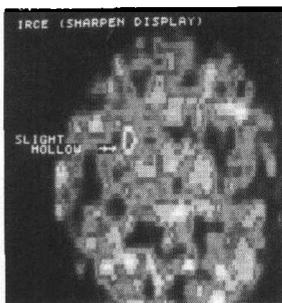


图3 20升高强度钢球瓶在打压考核过程中的红外检测(红色点为缺陷所在)

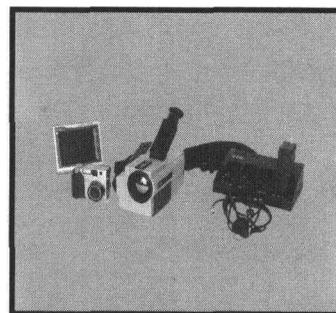


图4 双景红外热图像检测装置

THERMO ELASTIC INFRARED IMAGE MONITORING SAFETY TECHNIQUE APPLIED TO DNT OF MATERIALS—FROM BASIC RESEARCH TO PRACTICAL APPLICATIONS

Shi Changxu

(National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)