

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.04.022

塑料制品内部缺陷检测方法的研究

秦亚^{1,2}, 王进²

(1. 湘潭大学化学学院, 湖南湘潭 411100; 2. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南株洲 412007)

摘要: 介绍了塑料制品的生产流程及可能存在的缺陷, 对塑料制品的无损检测方式进行了探讨。以某玻纤增强尼龙制品为例, 详述了红外无损检测和数字射线检测的原理及操作过程, 对比分析了两种无损检测方法的检测结果, 并得出结论: 数字X射线无损检测方法对玻纤增强尼龙制品内部缺陷的检测是有效的。

关键词: 塑料制品; 无损检测; 应用

中图分类号: TQ320.77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)04-0094-04

Study on Testing Methods of Internal Defects in Plastic Products

Qin Ya^{1,2}, Wang Jin²

(1. College of chemistry, Xiangtan University, Xiangtan 411100, China;

2. Zhuzhou Times New Material Technology Co. Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: Manufacturing process and possible defects of plastic products were talked about. Meanwhile two nondestructive testing methods applied on glass fiber reinforced nylon product, infrared thermography and digital radiographic testing were discussed, including principles and operation processes of them. The detection results of these two kinds of nondestructive testing methods were compared and analyzed, leading to final conclusion: digital X-ray radiographic testing method is an effective method for detection of internal defects in glass fiber reinforced nylon products.

Keywords: plastic product; nondestructive testing; application

塑料制品质轻、比强度高, 具有良好的耐腐蚀性、绝缘性和化学稳定性等优点, 随着塑料工业迅速发展, 塑料制品被广泛用于农业、工业、建筑、包装、国防尖端工业以及日常生活等各个领域^[1-2]。但塑料制品的生产工艺复杂、技术参数难以准确控制, 生产的制品中易存在影响其使用性能的内部缺陷, 因此避免带有潜在危险缺陷的塑料制品的出厂和使用, 是决定其能否安全应用的关键。与生产工艺控制和破坏性抽样检测等常用的产品质量方法相比, 无损检测是最有效、最直接的质量检测手段^[3]。目前, 无损检测在金属材料上的应用已经比较成熟, 而在塑料方面应用较少^[4], 因此研究塑料制品内部缺陷的无损检测方法对其质量控制具有重要意义。

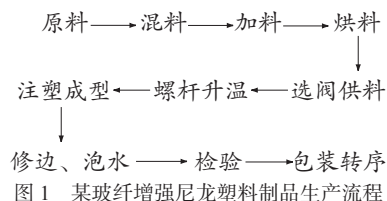
笔者以某玻纤增强尼龙制品为例, 详述了红外无损检测和数字射线检测的原理及操作过程, 对比分析了两种无损检测方法的检测结果。

1 塑料制品内部缺陷的类型

1.1 塑料制品生产流程

塑料成型加工最主要的方法是挤出成型、注射成型、吹塑成型和压制成型。其中 80% 的塑料制品采用注射成型^[5], 由于成型材料、成型模具、成型工

艺等多种因素的影响, 注射制品的内部及表面往往存在一定的缺陷。某玻纤增强尼龙塑料制品采用注射成型工艺, 其生产流程如图 1 所示。



1.2 塑料制品内部缺陷的类型

塑料在成型过程中由于原料、工艺、模具的不完备性而产生缺陷, 塑料制品中常见缺陷类型有气孔、龟裂、焊接痕等^[6]。具体原因如下: (1) 气孔是由于原料含水分、原料温度太高、注射压力太小、注射速度太慢、模具温度太低等因素造成的。(2) 龟裂主要是由于应力变形所致, 应力变形主要包括因填充过剩、脱模推出等造成的残余应力; 因设计不合理造成外部应力集中; 因化学药品、吸潮造成的水降解。(3) 熔接痕由于来自不同方向的熔融树脂前端

联系人: 王进, 教授级高工, 主要从事轨道交通用高分子材料及制品的研发、测试分析及标准化制定工作

收稿日期: 2016-01-27

部分被冷却,在结合处未能完全熔合而产生的缺陷。

2 玻纤增强尼龙塑料类制品无损检测方法研究

无损检测^[7-8]是利用声、光、电、磁等特性,在不损害或不影响被检测对象使用性能的前提下,检测被检对象是否存在缺陷或不均匀性,并对缺陷的类型、性质、数量、形状、位置、尺寸、分布及其变化做出判断和评价的所有技术手段的总称。近年来,科学技术的进步使无损检测技术获得了快速发展,不仅射线、超声等传统的检测技术进一步发展,而且还产生了激光全息干涉、激光超声、红外、声发射、微波、远场涡流、电磁超声、磁记忆、超声相控阵等众多的无损检测新方法、新技术^[9]。

2.1 红外无损检测的研究

(1) 红外无损检测原理。

红外辐射是位于可见光中红光以外的光线,故又称红外线,它是一种人眼看不见的光线,和所有电磁波一样,红外辐射是以波的形式在空间直线传播的。任何物体,只要其温度高于绝对零度就有红外线向周围辐射。红外无损检测是依据红外辐射的基本原理,使用红外辐射的分析方法对物体内部能量流动情况进行测量,最后使用红外热像仪显示检测结果,直观上对缺陷进行判定的一种方法^[10]。

当物体温度与环境温度存在差异时,会在物体内部产生热量的流动。在进行无损检测时,若向工件注入热量,其中一部分热流必然向内部扩散,并引起工件表面的温度分布的变化。对于无缺陷的物体,当热流均匀注入时,热流能够均匀地向内部扩散或从表面扩散,因而表面的温度场分布是均匀的;如果物体内部存在隔热性缺陷时,热流会在缺陷处受阻,造成热量堆积,导致表面出现温度高的局部热区;当物体内部含有导热性缺陷时,试样表面就会出现温度较低的局部冷区。由以上几种情况分析可看出,当工件内部存在缺陷时,就会在工件有缺陷区域和无缺陷区域形成温差,且该温差除了取决于工件材料的热物理性质外,还与缺陷的尺寸、距表面的距离及其热物理性质有关。由于工件局部温差的存在必然导致红外辐射强度的不同,利用红外热像仪即可检测出温度的变化状况,进而判断缺陷的情况。

(2) 红外无损检测设备及操作。

红外检测的主要设备是红外热象仪。以某红外热成像仪为例,其检测过程为:首先从仪器箱中取出仪器,打开仪器电源开关;设置目标辐射值和环境温度;设置测温方式(点温测量/最高温追踪显

示);设置自动调节或手动调节;旋转调整镜头;调整图像亮度、对比度至最佳效果、选择合适的温度范围;将被检样品放入烘箱,烘箱温度设为 50℃,加热 1 min;对样品进行红外观察,寻找可疑问题点,冻结并存储图像;用 USB 线连接热像仪和电脑;进行图像分析,做出红外检测报告。

(3) 某玻纤增强尼龙塑料产品的红外无损检测及结果分析。

图 2 为某玻纤增强尼龙塑料制品的可见光图。图 3 为对应红外图,从红外图中可看到其表面温度分布,右侧为温度标示,不同温度对应不同颜色。



图 2 某玻纤增强尼龙塑料制品的可见光图



图 3 某玻纤增强尼龙塑料制品的红外图

轨距挡板周边温度高、内部温度低、传热不均匀是导致其表面温度不均匀的原因之一,通过红外热像仪可确定某一点的温度,但不能直观看到何处有缺陷。

利用软件对某玻纤增强尼龙塑料制品红外图像进行分析,得到其最大值、最小值和平均值分布图(见图 4),可读出三个白色方框中温度的最大值、最小值和平均值,从温度分布上看出由左到右温度是升高的,初步推论最左侧方框可能存在气孔疏松等缺陷以致传热较慢,整个部分温度较低,而最右侧方框对应的内部结构比较均匀存在较少缺陷,中间方框的内部结构应介于两者之间。

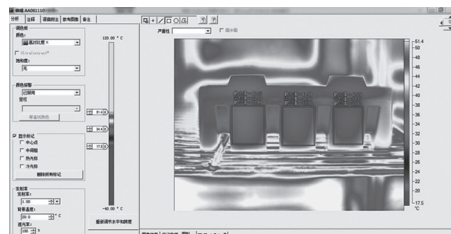


图 4 某玻纤增强尼龙塑料制品最大值、最小值和平均值分布图

图5为某玻纤增强尼龙塑料制品对应折线温度分布图。软件分析不仅可以确定某个区域的温度分布,而且能够确定某条折线上的温度分布,如图5所示,对应三个白色方框大致画出相同位置的一条折线,横坐标对应150个像素点,纵坐标为温度,可对应读出每点的温度以方便实验研究的需要。三条温度曲线的趋势都是温度先降低再升高,推断折线中部对应部分可能存在气孔或疏松等缺陷,但由于传热不均匀导致温度曲线出现先降低再升的可能性是存在的,因此通过红外无损检测不能直观地确定该塑料制品内部是否存在缺陷,应结合该制品切开的剖面图来确定红外无损检测方法对其内部缺陷检测的适用性。

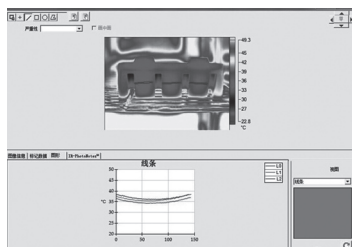


图5 某玻纤增强尼龙塑料制品对应折线温度分布图

2.2 数字射线检测的研究

(1) 数字射线检测原理

射线是指波长较短的电磁波,或运动速度高、能量大的粒子流,射线在穿过物质的过程中将发生衰减而使其强度降低,衰减的程度取决于被检材料的种类、射线种类以及所穿透的距离。当把强度均匀的射线照射到物体的一个侧面时,由于各部位对入射射线的衰减不同,透射射线的强度分布将不均匀,这样采用照相、荧光观察等手段,通过在物体的另一侧检测射线在穿透物体后的强度分布,就可检测出物体表面或内部的缺陷,包括缺陷的种类、大小和分布情况。

射线检测(RT)是基于被检测件对透入射线的不同吸收来检测零件内部缺陷的检测方法,其几乎适用于所有材料,能直观地显示缺陷影像,便于对缺陷进行定性、定量分析,对体积型缺陷比较灵敏,但难于发现垂直射线方向的薄层缺陷,检测费用较高,同时射线对人体模型有害,需作特殊防护。最近几年数字化X射线直接成像(DR)技术已经获得了广泛的应用^[11],为射线实时成像检测和实现待测工件的自动化定量检测与评估提供了有效的手段,DR的基础是射线成像技术,DR检测技术不仅仅指单个系统和单项技术,广义的指整个具有数字图像处理

功能的射线成像系统。

数字射线检测主要利用X射线能够透视成像的物理特性,将被检试样的内部结构展示出来。其主要的工作过程如下:X射线源发出X射线并穿透试样,透过的X射线被线阵扫描系统获取后,经过信号转换成可见的图像信息,并通过图像处理软件处理计算后,将测量计算结果通过显示器显示出来,系统自动将不合格品分拣出来,合格品进入下道工序。

(2) 数字射线检测系统及流程

数字X射线成像系统主要由X射线源、数字探测器、数据采集系统、计算机等组成,其设备主要包括X射线探伤机、数字探测器和计算机等。数字射线^[12-13]内部检测示意图见图6。其主要工艺流程为:由注射成型机生产出的试样经传输带传输,进入检测室进行X射线透视检测,X射线穿透由上道工序传输的被检试样,透过的X射线被平板探测器获取后转换成已处理的电信号,并通过图像处理软件处理后,在电脑上显示出投影图像,系统自动将不合格品分拣出来,合格品进入下道工序。

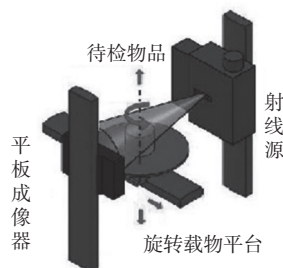
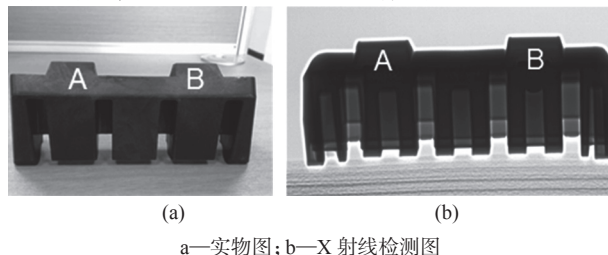


图6 数字射线内部检测示意图

(3) 某玻纤增强尼龙塑料产品的数字射线检测及结果分析

图7a为某玻纤增强尼龙塑料制品正面实物图片,图7b为相对应的X射线检测图。图8a为其反面实物图,图8b为相对应的X射线检测二维图。



a—实物图;b—X射线检测图

图7 某玻纤增强尼龙塑料制品正面图

从图7b的X射线检测图中可以看到,该产品肩部A位置存在大量气孔、B位置存在密集疏松,观察图8b得到同样的结论:在该塑料制品A位置

存在明显气孔、B 位置也存在缺陷,综合以上分析初步得出结论:玻纤增强尼龙塑料制品肩部 A 位置和 B 位置存在缺陷,缺陷类型为密集疏松。

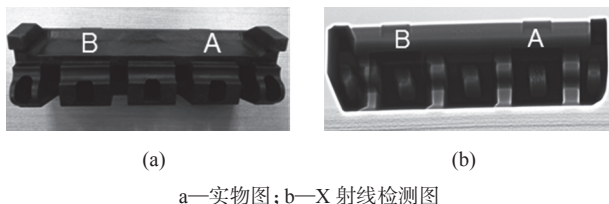


图 8 某玻纤增强尼龙塑料制品反面图

通过软件对玻纤增强尼龙塑料制品 X 射线图片进行分析,对其内部气孔进行量化,确保操作人员可以量化内部气孔的尺寸信息,直观评估产品是否达标。下面为其检测报告结果,从检测结果报告中得知检测该产品时的实时电压 70 kV,实时电流 2.98 mA,网格图中每个方格代表 $5 \times 5 \text{ mm}^2$,通过网格能准确定位缺陷的位置和大小,若缺陷尺寸符合检测要求,则产品合格;若缺陷尺寸超过要求,则判定该检测样品不合格。玻纤增强尼龙塑料制品检测结果报告见图 9。

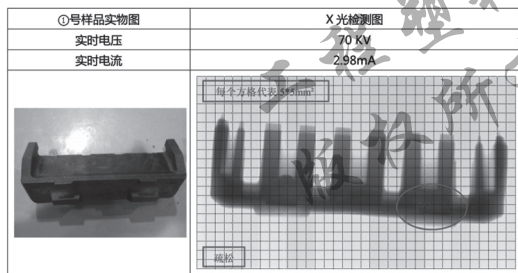


图 9 玻纤增强尼龙塑料制品检测结果报告

将试样切开以验证数字 X 射线检测的准确性。图 10 为切开的玻纤增强尼龙塑料制品,图 11 为其对应的剖面图。

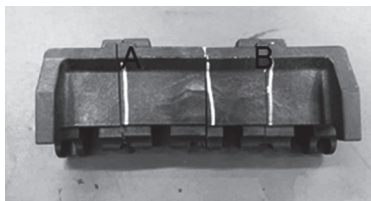


图 10 切开的玻纤增强尼龙塑料制品

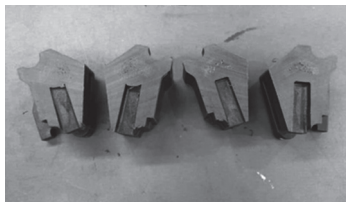


图 11 玻纤增强尼龙塑料制品剖面图

从切开的剖面图中可看到,该产品肩部 A 位置

存在较大的气孔且分布较广, B 位置有疏松存在且分布密集,游标卡尺对气孔的测量直观地显示出气孔直径超标,该产品不符合生产要求。综上所述,切开的某塑料制品剖面图上显示的缺陷与 X 射线的检测结果是一致的,因此运用 X 射线对某塑料制品内部缺陷进行无损检测的方法是有效的。

3 结论

(1) 红外无损检测具有检测结果易于保存、效率高、适用范围广等优点,适合大尺寸产品内部缺陷的检测,不适用于小型产品的缺陷检测,且其对内部缺陷不敏感,对低发射率和导热快的材料检测困难,检测结果不直观,只能看到表面温度分布图,图片还须经过专门软件分析,耗时费力,易受外界因素干扰,不适用于大批量产品的检测^[14-15]。从红外检测图上无法观察到与切开剖面图上一致的缺陷信息,故红外无损检测不适用于对玻纤增强尼龙塑料制品内部缺陷的检测。

(2) 数字射线检测既有检测结果直观、易于分析和保存的优势,又能适用于大批量产品的检测,其所得图像质量可以与射线照相底片相媲美,通过 X 射线检测图可以直接观察到玻纤增强尼龙塑料制品的内部缺陷,运用软件对产品内部缺陷进行定性定量分析获得内部缺陷的尺寸信息,直观评估产品是否达标,从 X 射线检测图上观察到的缺陷信息和切开的剖面图上的缺陷信息结果一致,因此数字 X 射线无损检测方法对玻纤增强尼龙塑料制品的内部缺陷检测是有效的。

参考文献

- [1] 廖正品, Jing Lee. 中国塑料工业 (2009)[J]. 国外塑料, 2010, 28(4):16-35.
Liao Zhengpin, Jing Lee. China Plastics Industry(2009) [J]. Foreign Plastics, 2010, 28 (4):16-35.
- [2] 叶杨. 聚酰胺在高速铁路上的应用 [J]. 国外塑料, 2012(6):38-41.
Ye Yang. The application of polyamide in high speed railway[J]. Foreign Plastics, 2012(6):38-41.
- [3] 张俊哲. 无损检测技术及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
Zhang Junzhe. Non-destructive testing technology and its application [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [4] Reif R, Joy R, Sullivan H. Non-destructive testing of plastic and composite ties[J]. Railway Track & Structures, 2007, 103(9):20-22.
- [5] 张田荣. 塑料注塑制品典型质量缺陷的成因分析 [J]. 模具技术, 2012(1):61-63.
Zhang Tianrong. Analysis on the cause of formation of typical quality defects in plastic injection molding products [J]. Mould

(下转第 111 页)

- [5] Mohamed O, Abdel-Mohdy F A. Preparation of flame retardant leather pretreated with pyrovatex CP[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 99(5):2 039–2 043.
- [6] Howell B A, Wu H. Thermal degradation of 2,4,6-tri[(bromo)xanilino]-1,3,5-triazines[J]. Thermal Analysis and Calorimetry, 2006, 83(1):79–81.
- [7] Gao F, Tong L F, Fang Z P. Effect of a novel phosphorous-nitrogen containing intumescent flame retardant on the fire retardancy and the thermal behaviour of poly(butylene terephthalate)[J]. Polymer Degradation and Stability, 2006, 91(6):1 295–1 299.
- [8] Chen J, Liu S M, Zhao J Q. Synthesis, application and flame retardancy mechanism of a novel flame retardant containing silicon and caged bicyclic phosphate for polyamide 6[J]. Polymer Degradation and Stability, 2011, 96(8):1 508–1 515.
- [9] Wang Z Z, Lv P, Hu Y, et al. Thermal degradation study of intumescent flame retardants by TG and FTIR: Melamine phosphate and its mixture with pentaerythritol[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2009, 86(1):207–214.
- [10] 钱永, 徐燕梅, 张蓉. 一种新型 P-N-Cl 协效阻燃剂的合成及其在热固性树脂中的应用 [J]. 塑料工业, 2014, 42(5):117–121.
- Qian Yong, Xu Yanmei, Zhang Rong. Synthesis of a new type benzimidazole flame retardant with P-N-Cl synergistic effect and its application in thermosetting resin[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(5):117–121.
- [11] Li Qiang, Jiang Pingkai, Wei Ping. Synthesis, characteristic and application of new flame retardant containing phosphorus, nitrogen and silicon[J]. Polymer Engineering and Science, 2006, 46(3):344–350.
- [12] 徐玫, 王彦林, 顾凤楼. 新型硅、氯、溴三元素协同高效阻燃剂的合成与应用 [J]. 中国塑料, 2014, 28(10):89–93.
- Xu Mei, Wang Yanlin, Gu Fenglou. Synthesis and application of the efficient silicon, chlorine and bromine elements coordination flame retardant[J]. China Plastic, 2014, 28(10):89–93.
- [13] Larsson A C, Ivanov A V, Antzutkin O N, et al. Complexation of lead (II) with O, O'-dialkylthiophosphonate ligands 31P and 13C CP / MAS NMR and single-crystal X-ray diffraction studies[J]. Inorganica Chimica Acta, 2004, 357(9):2 510–2 518.
- [14] Barnes A M, Bartle K D, Thibon V R A. A review of zinc dialkylthiophosphates (ZDDPS): characterisation and role in the lubricating oil[J]. Tribology International, 2001, 34 (6):389–395.
- [15] 谢斌, 赖川, 相阳光, 等. $[\text{Et}_2\text{NH}_2][(\text{4-MeC}_6\text{H}_4\text{O})_2\text{PS}_2]$ 的晶体结构、热稳定性及缓蚀性研究 [J]. 应用化学, 2012, 29(2):200–208.
- Xie Bin, Lai Chuan, Xiang Yangguang, et al. Crystal structure, thermal stability and corrosion inhibition of N, N-diethylammonium O, O'-di(4-methylphenyl)dithio-phosphate[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2012, 29(2):200–208.
- [16] 谢斌, 朱莎莎, 李玉龙, 等. O, O'-二(2-苯乙基)二硫代磷酸二乙铵在 HCl 溶液中对 Q235 钢的缓蚀性研究 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2014, 34(4):366–374.
- Xie Bin, Zhu Shasha, Li Yulong, et al. Corrosion inhibition performance of diethylammonium O, O'-di(2-phenylethyl)dithiophosphate for Q235 steel in HCl solution[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2014, 34(4):366–374.
- [17] 谢斌, 赖川, 邹立科, 等. O, O'-二环己基二硫代磷酸-N, N-二乙铵对 Q235 钢在硫酸溶液中的缓蚀性能研究 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2011, 31(3):225–230.
- Xie Bin, Lai Chuan, Zou Like, et al. Inhibition of N, N-diethylammonium O, O'-dicyclohexyldithiophosphate for Q235 steel in sulfuric solution[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2011, 31(3):225–230.
- 检测中的应用 [J]. 无损探伤, 2015, 39(5):47–48.
- Xi Qing, Li Qishou, Yang Xiaofeng, et al. Application of digital X-ray detection technology in the detection of ceramic parts[J]. NDT, 2015, 39(5): 47–48.
- [12] 高超. 数字化 X 射线照相检测技术 [J]. 硅谷, 2011(7):13–50.
- Gao Chao. Digital X radiographic testing technology[J]. Silicon Valley, 2011(7):13–50.
- [13] Steven A M. Radiographic technologies[J]. Quality, 2007, 46(6):10–11.
- [14] 戴景民, 汪子君. 红外热成像无损检测技术及其应用现状 [J]. 自动化技术与应用, 2007, 26(1):1–6.
- Dai Jingmin, Wang Zijun. Non-destructive testing technology of infrared thermal imaging and its application status [J]. Automation Technology and Application, 2007, 26(1):1–6.
- [15] 朱亚昆, 朱志彬, 郑荣部, 等. 红外热像无损检测的热激励技术 [J]. 石油化工设备, 2014, 43(4):86–89.
- Zhu Yakun, Zhu Zhibin, Zheng Rongbu, et al. The infrared nondestructive detection technology of thermal excitation[J]. Petro Chemical Equipment, 2014, 43(4):86–89.

(上接第 97 页)

Technology, 2012(1):61–63.

- [6] 刘徐. 无损检测技术及其发展方向 [J]. 电大理工, 2014(2):18–19.
- Liu Xu. Non-destructive testing technology and its development direction [J]. Radio & TV University Science & Engineering, 2014(2):18–19.
- [7] Shinn H S. Performance evaluation of NDE methods[J]. Journal of Civil Engineering, 2003(7):185–192.
- [8] Sardar K U R, Zainah I, Shazim A M, et al. Nondestructive test methods for concrete bridges: A review[J]. Construction and Building Materials, 2016, 107:58–86.
- [9] 刘松平. 无损检测新技术——永恒的发展主题 [J]. 无损检测, 2004, 26(9):32.
- Liu Songping. New technology of nondestructive testing: the eternal development subject [J]. Nondestructive Testing, 2004, 26(9):32.
- [10] Mulaveesala R, Venkata G S. Coded excitation for infrared non-destructive testing of carbon fiber reinforced plastics[J]. Review of Scientific Instruments[J]. 2011, 82(5):1–4.
- [11] 奚清, 李启寿, 杨晓峰, 等. 数字式 X 射线探伤技术在陶瓷零件