

工业 CT 与二维 X-Ray 检测能力差异对比研究

陈立明

(丹东奥龙射线仪器集团有限公司, 辽宁丹东 118009)

摘要: 在搭建的7轴检测平台上, 使用工业CT和二维X-Ray无损检测手段对压铸件采集图像数据进行相关检测实验, 通过实验数据展示两种方式的实际差异, 并对检测精度、检测效率和成像效果进行对比分析。对比试验结果表明, 工业CT检测可以清晰、准确、直观地展示被检测物体内部的结构、组成、材质及缺损状况, 成像中缺陷清晰可见, 且有量化分析; 而二维X-Ray成像中缺陷不可见或不易见, 无量化分析, 极易发生漏检。

关键词: 工业CT; 二维X-Ray; 成像; 趋势; 检测能力

二维X-Ray是无损检测的一种重要的传统手段, 主要利用X射线的穿透能力对物体内部进行非破坏性的成像, 然而因物体内部复杂结构、有限的观测角度、成像路径上的堆叠等因素的影响, 不可避免存在检测能力有限、缺陷尺寸测量不准确等缺点, 很多情况下缺陷不易见, 甚至不可见。工业CT作为一种新型的可对物体内部进行三维成像的无损检测设备, 提供了传统二维实时X射线成像检测设备所没有的三维成像、物体内部尺寸测量、精准缺陷检测等功能。本文在实际的二维X-Ray与CT成像系统中采集图像数据并进行相关实验分析, 通过实验数据说明两种方式的实际差异, 对行业发展趋势提出自己的见解。

1 实验平台

1.1 实验平台简介

本文实验基于已搭建完成的工业CT与二维X-Ray系统, 其内部主要的机械运动结构设计图及实物图如图1所示, 使用的是Comet公司的320kV的金属陶瓷管, 焦点尺寸0.4/1.0; Varex公司的X射线平板探测器, 成像视野是250 mm × 300 mm; 机械平台为7轴, 具有较高的自由度, 搭配了高精度转台, 分辨率为0.005度。

选取了一定数量的铝压铸件作为测试样品, 由图2可以看出, 二维X-Ray成像上几乎看不到缺陷, 隐约可以看到样品表面的凸凹字样。相比较, CT成像上不仅可以

作者简介:

陈立明(1983-), 男, 高级工程师, 主要研究方向是X射线无损检测电气控制及其自动化等。E-mail: 13842570481@163.com

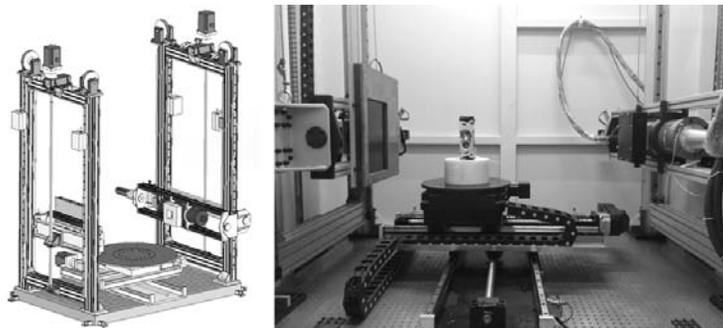
中图分类号: TG235

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)12-1453-04

收稿日期:

2021-06-21。



(a) 设计图

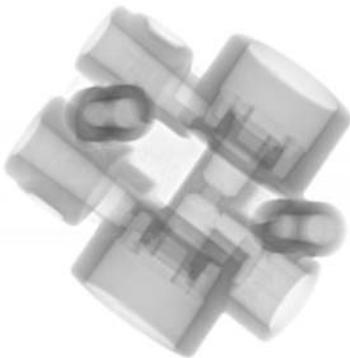
(b) 实物图

图1 实验平台

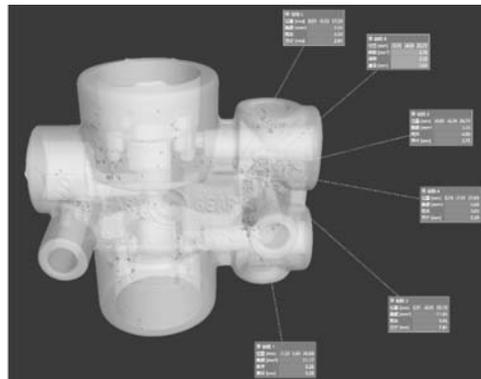
Fig. 1 Experimental platform



(a) 测试样品



(b) 二维X-Ray成像



(c) CT成像

图2 测试样品及其二维X-Ray与CT成像

Fig. 2 Test sample and its 2D X-Ray and CT imaging

看到更清晰的凹凸字样，且通过CT透明化处理后，样品内部缺陷清晰可见，通过专业分析软件对CT图像进行进一步的分析处理，检测到不低于30个缺陷，对缺陷三维坐标、大小进行了准确的标识，并以不同颜色指示不同的缺陷尺寸。

1.2 二维 X-Ray 成像

自1895年德国物理学家伦琴发现X射线后，X射线首先被用到医学诊断上，但很快X射线就在无损检测等领域中得到应用。100多年以来，X射线发射端的球管变化不大，但接收端一直在发展，从早期的胶片Film，到计算机CR成像，一直到近十年开始出现的数字化DR成像，这些都属于二维X-Ray成像范畴，其中的胶片依然在很多场合大量使用。

二维X-Ray的成像速度越来越快，胶片从曝光到拿到胶片成像一般需要8~20 min，CR则减少到1~3 min，而DR进一步缩短到1 s左右即可快速成像。目前，大量的研究集中在DR领域，X射线成像技术的研究也取得了进展和最新的应用^[1-2]，如对铝铸件^[3]、电缆^[4]、反应堆燃料棒^[5]进行了无损检测，并对电力设备故障诊断中使用的X射线数字成像技术进行了探讨^[6]。最近，X射线DR成像的核心器件平板探测器已经实现了大尺寸、高清晰、高帧率，比如Varex最新的平板可以实现总面积：409.6 mm × 409.6 mm，间距100 μm。相信随着X射线数字成像器件和技术的发展，二维成像技术应用会越来越广泛。

但是二维X-Ray成像的缺点也很明显，主要有：①受限于目前普遍认可的1%~0.5%成像灵敏度上限，其对微小缺陷的检测能力受到了限制；②X射线二维成像是堆叠式成像，即射线穿透路径上的物质对成像的影响都会体现在该路径末端的同一个像素点，因此如果被检测物体厚且结构复杂，可能导致缺陷不可见；③很难在较短时间内对被检测物体进行全面的检测，往往

需要不断地移动和旋转物体在不同角度去观测有无缺陷，导致最终的实际检测耗时反而高于CT检测；④检测结果难以量化，主要原因是没有深度信息，进而无法获取准确的尺寸信息。

因此，二维X-Ray成像只有在被检样品结构简单且厚度较薄的应用中有较好的表现，比如管道/钢板焊缝检测、薄铝合金样品、电路板等。

1.3 CT 成像

CT设备产生于20世纪70年代，但是其思想要追溯到1917年奥地利数学家Radon的贡献，Hounsfield于1967年研制成功世界上第一台医用临床CT系统。工业CT技术来自于医学CT，出现于20世纪70年代末，美国首先利用研制的工业CT设备对军工产品的关键部件进行无损检测，由于军事需求的推动，使之得到大力发展。国内对工业CT开展真正的研究较晚，2003年德国YXLON通过其收购的工业CT成像技术在中国售出了第一台工业CT设备，近年国内学者对CT成像的相关研究包括：CT标准器^[7]、CT成像方法^[8]、桌面型CT设备^[9]，探讨了CT成像技术在树木检测等更多领域应用的可能性^[10]。国际上并没有统一的工业CT相关标准，国内制定了一些行业相关的CT标准^[11-13]。

CT成像灵敏度要高于二维X-Ray成像，二维影像中可以看到缺陷，在CT影像中一定可以看到，但反之未必，即CT影像中可以看到缺陷，在二维影像中未必可以看到。CT成像的优点：①CT效率很高，短时间内可获取大量信息，一次几分钟的快速扫描即可对样品进行评定；②CT获取的是三维数据，比普通的二维X射线成像得到了更多的信息，因此，检测结果更加完整、精准、可靠。

CT成像的缺点：①对于成像速度，CT没有二维成像快；②快速CT成像对被检测物体的尺寸上限有一定要求，目前业界对超大物体的快速CT成像仍处于

不断研究中,如果不考虑成像速度,则CT成像与二维X-Ray成像对物体尺寸上限保持一致。

2 实验数据

针对1.1节中的测试样品,我们实施了二维X-ray成像和CT成像,并进行了对比,如表1。

使用了专业的三维分析软件对生成的工业CT影像数据进行可视化与后处理,处理后的CT影像如图3所示。对内部缺陷的相关数据进行汇总,包括每个缺陷的三维坐标、直径、孔隙率等检测指标,可以对缺陷

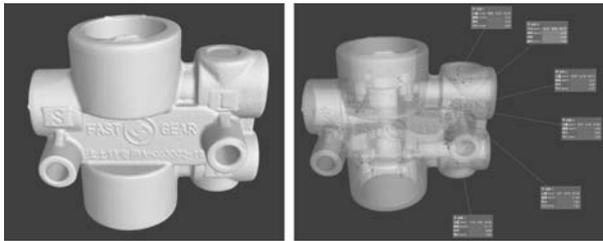
进行定量分析,更有助于全面、精准地把控制造工艺与产品质量。

如图4所示,样品的二维X-Ray成像,将样品旋转或平移到不同位置拍摄多张图像,可以从多张二维图像中隐约看到一些缺陷,如箭头所指示,但无法获知其具体位置和大小,且存在漏检。实际中,用户如果不需要进行精准的定量分析,也可以快捷方便地从切片图像上看到内部缺陷,同一个样品的CT成像,在不同切面位置均可清晰看到大量内部缺陷,如图5所示,明显优于图4的二维X-Ray成像。

表1 二维X-Ray成像和CT成像对比结果

Table 1 Comparison results of two-dimensional X-Ray imaging and CT imaging

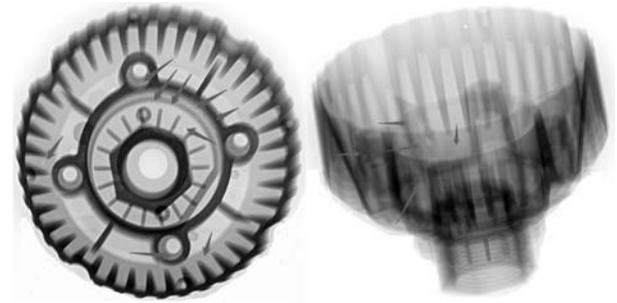
成像方式	成像条件	成像时间	检测结果	检测能力
CT成像	110 kV, 2 mA	300 s (采集了360帧进行重建)	检测到小至1.08 mm的缺陷	合格
二维X-Ray	110 kV, 2 mA	8 s (采集了32帧进行去噪)	缺陷不可见	不合格



(a) CT成像 (b) CT成像透明化,显示其内部缺陷

图3 测试样品CT成像

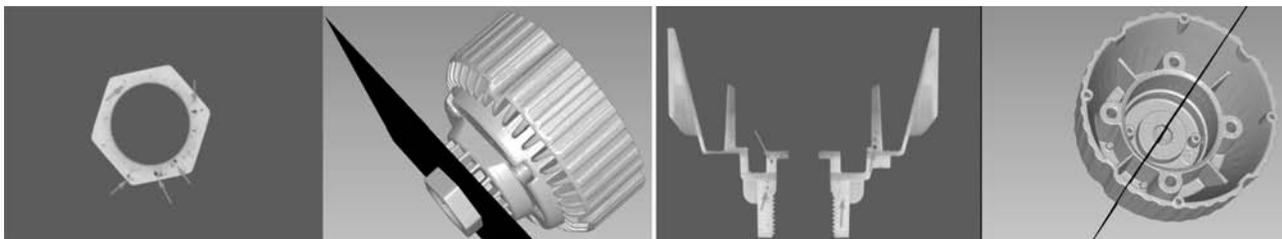
Fig. 3 Test sample CT imaging



(a) 正面成像 (b) 侧面成像

图4 样品的二维X-Ray成像

Fig. 4 Two-dimensional X-Ray imaging of the samples



(a) 正面三维切片

(b) 正面三维成像

(c) 侧面三维切片

(d) 侧面三维成像

图5 样品的三维CT成像

Fig. 5 3-D CT imaging of the samples

3 结束语

在实际的二维X-Ray与CT成像系统中采集图像数据并进行相关实验,通过实验数据展示二维X-Ray成像和CT成像两种成像方式的实际差异,得出结论:CT成像中缺陷清晰可见,且有量化分析;二维X-Ray成像中缺陷不可见或不易见,无量化分析,极易发生漏检。

随着工业生产过程中的质量管理要求越来越高,

工业CT成为生产制造企业对产品质量控制和生产工艺改进的必备工具,是目前可以对物体内部进行非破坏性三维成像的设备,被业界誉为最佳无损检测手段。CT检测耗时略长,对大型物体可能无法快速检测,但其高精度、数据完整性、不漏检缺陷等方面有绝对的优势,尤其在对样品内部缺陷检测要求较高的场合下,CT完胜二维X-Ray成像,是行业未来的发展趋势。

参考文献:

- [1] 李波, 胡秀敏, 何志琴, 等. X射线无损检测的GIS设备缺陷检测研究 [J]. 电子设计工程, 2021, 29 (1): 78-82.
- [2] 张弘毅, 李运祥, 曹斌, 等. X射线成像技术的研究进展 [J]. 中国科学: 生命科学, 2020, 50 (11): 1202-1212.
- [3] 冯鸣. 圆柱形铝合金铸件的X射线数字成像系统研究与实现[D]. 太原: 中北大学, 2020.
- [4] 李程, 刘俊华, 李新周, 等. X光检测电缆成像质量的影响因素研究 [J]. 电工技术, 2020, (7): 17-19.
- [5] 汤琪, 王华才, 梁政强. 反应堆乏燃料棒的X射线数字成像检测工艺及其应用 [J]. 无损检测, 2020, 42 (10): 14-17.
- [6] 张庆平, 高博, 马瑞, 等. X射线数字成像技术在电力设备故障诊断中的应用 [J]. 宁夏电力, 2020, (4): 40-44.
- [7] 刘娟, 黄红平, 王云祥, 等. X射线计算机断层扫描成像系统标准器的研制 [J]. 工业计量, 2020, 30 (4): 23-25.
- [8] 樊亚红. 基于轮廓先验的复杂异形工件CT成像方法研究[D]. 太原: 中北大学, 2020.
- [9] 刘成勋, 郝兵, 吕益良, 等. 桌面型工业CT设备的研制及其在检测方面的应用 [J]. 河南科技, 2020, (17): 50-52.
- [10] 赵方博, 刘德庆, 岳德鹏, 等. 基于CT技术检测树木成像完整度的参数优化研究 [J]. 林业资源管理, 2019, (5): 95-103.
- [11] 中国机械工业联合会. GB/T 37930-2019 无损检测仪器 汽车轮毂X射线实时成像检测仪技术要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [12] 中国机械工业联合会. GB/T 36071-2018 无损检测仪器 X射线实时成像系统检测仪技术要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [13] 中国机械工业联合会. GB/T 36015-2018 无损检测仪器 工业X射线数字成像装置性能和检测规则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

Comparative Study on the Difference of Detection Ability Between Industrial CT and Two-Dimensional X-Ray

CHEN Li-ming

(Dandong Aolong Radiative Instrument Group Co., Ltd., Dandong 118009, Liaoning, China)

Abstract:

On the 7-axis testing platform, industrial CT and 2D X-Ray non-destructive testing were used to collect image data of die castings and carry out related testing experiments, and the contrast analyses to the detection precision, the detection efficiency and the imaging effect were carried out. The contrast test results show that the structure, composition, material and defect of the object were shown clearly, accurately and directly by the industrial CT examination. However, the defects in two-dimensional X-Ray imaging were not visible or easy to see, without quantitative analysis, and easy to miss detection.

Key words:

industrial CT; 2D X-Ray; X-Ray; imaging; trends; detection capability