



CT 扫描技术在混凝土结构检测中的应用*

苏林王¹, 李平杰¹, 肖永顺², 应宗权¹

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230; 2. 清华大学工程物理系, 北京 100084)

摘要: 为了解 CT 扫描技术在工程检测应用中的可行性及优越性, 特别选取预制典型裂缝、疲劳加载、锈胀裂缝及现场混凝土构件, 对其进行 CT 扫描室内试验, 获得构件典型病害 CT 图像。试验分析表明: CT 扫描成像能直观体现混凝土内部的缺陷和破损情况, 并能对缺陷和破损进行定量分析, 可见该检测技术应用效果良好。随着 CT 扫描仪器的发展, 便携式 CT 将成为可能, CT 扫描技术在混凝土结构检测中必将占有重要的地位。

关键词: CT 扫描技术; 混凝土结构; 裂缝; 锈蚀; 孔隙; 检测

中图分类号: TV 431; TP 391 文献标志码: B 文章编号: 1002-4972(2015)12-0028-04

Application of CT scanning technology in detection of concrete structure

SU Lin-wang¹, LI Ping-jie¹, XIAO Yong-shun², YING Zong-quan¹

(1. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. Engineering Physics Department of Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To explore the feasibility and superiority of CT scanning technology in engineering detection, we make CT scanning for the typical fracture and fatigue loading, corrosive cracks and site concrete member and obtain the CT image for typical disease of components. The experimental analysis shows that a CT scan imaging can visualize the inside concrete defects and damages and carries on the quantitative analysis. With the development of CT scanners, portable CT will appear in the future, and CT scanning technology will play an important role in the concrete structure detection.

Keywords: CT scanning technology; concrete structure; crack; corrosion; pore; detection

CT 扫描技术的应用给医疗诊断带来了巨大的进步^[1-2], 国内外已有大量关于 CT 扫描技术在医学领域应用的研究, 但在工程应用领域极少^[3-4], 如沥青混凝土扫描分析^[5-6]、混凝土破裂细观结构分析^[7-8]等, 但这些研究都未对 CT 扫描技术进行系统的可行性论证以及适用范围的概括。本文通过截取带有缺陷的混凝土构件(预制裂缝、现场缺陷、疲劳试验缺陷、电腐蚀缺陷等)进行室内 CT 扫描试验。通过 CT 扫描技术对预制混凝土构件进行扫描, 获得典型病害 CT 图像, 开展 CT 扫描可检混凝土厚度范围、成像精度等的试验研究, 深入了解 CT 扫描技术在混凝土检测方面的

适用性及优越性。

1 CT 扫描技术原理及特点

CT 扫描技术的工作原理是在被测构件无损状态下, 利用 X 射线从多个方向扫描被检测物体某一断层, 用专门的探测器把经过被检物体射线衰减后的信息采集下来, 通过计算机采用专门的图像重建算法, 把被扫描断面以二维或三维灰度图像形式展现出来, 其检测直观结果就是被检物体断层图像。通过这种断层图像可以清晰反映被检物体选定断层内的结构层次、材质情况、有无缺陷等内部情况, 帮助质检人员对构件的评估做出

收稿日期: 2015-06-01

*基金项目: 交通运输建设科技项目(201332849A090)

作者简介: 苏林王(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程检测等的研究。

正确的判定。其技术原理如图 1 所示。

CT 扫描技术主要特点是：1) 精确度高：工业 CT 可以非接触、非破坏地检测结构内部状态，得到没有重叠的数字化图像；2) 检测对象更广泛：从混凝土结构中的钢筋锈蚀程度到混凝土结构本身缺陷等都是工业 CT 的检测对象；3) 可较好地实现被检试样内部结构的三维重建。随着 CT 技术的深入发展，CT 可以重建被检试样内部结构的三维立体表现图，而通过重建图像可以更好地观测材料内部结构的层次、缺陷、损伤及构造等。

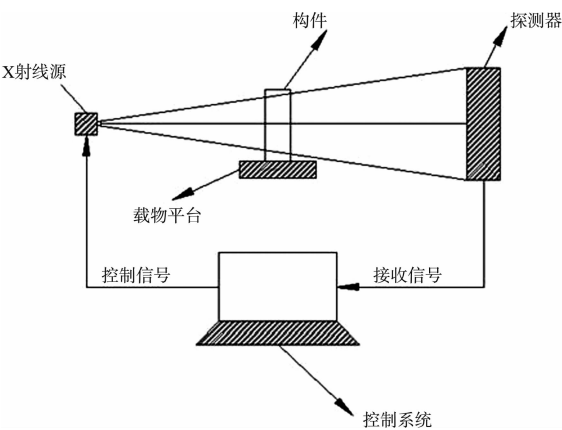


图 1 CT 扫描技术原理

2 混凝土结构病害检测难点

混凝土结构的典型病害主要包括以下几个方面：1) 由于施工工艺问题存在的混凝土内含孔洞、杂物等；2) 由于混凝土结构内部钢筋发生锈蚀等引起的一系列问题，如混凝土内部裂纹、表面裂缝等；3) 由于混凝土承受疲劳荷载，引起混凝土损伤（微裂缝）；4) 预应力孔道灌浆不密实等。以上典型病害检测的难点主要是缺陷的隐蔽性。孔洞、杂物、钢筋锈蚀、裂纹、孔隙等都存在于混凝土结构内部，检测难度大，无法精确地给出物体内部细节的三维位置数据，同样也无法准确地进行内部细节定量分析。

在混凝土结构检测中，对于结构内部典型缺陷，通常情况下使用钻芯法。这会对混凝土结构外观造成损伤，且得到的结果也很片面。而 CT 扫描技术以断层的图像形式，清晰地呈现出混凝土

结构内部的细部差别。显然，这些优点都是常规方法不具备的。

3 CT 扫描技术在典型病害检测中的应用

在混凝土结构施工过程中，质量事故难以避免，经常出现混凝土孔洞及露筋等问题。裂缝问题和钢筋锈蚀也是混凝土结构中常见的缺陷，码头等建筑工程中的钢筋混凝土结构的破坏往往与裂缝的发展以及钢筋锈蚀的程度密切相关。裂缝的存在会影响结构的抗渗性能，导致外界氯离子等有害物质的侵蚀，加速钢筋的锈蚀速度和混凝土的老化，最终影响混凝土结构的承载力和安全性。因此，裂缝检测、钢筋锈蚀检测、混凝土损伤检测十分有必要。

3.1 裂缝检测

裂缝检测的方法不胜枚举，但是大部分只是停留在测试混凝土表面裂缝，对于混凝土内部裂缝检测的方法并不成熟，在此，通过对预制裂缝构件的室内实验来确定工业 CT 技术在混凝土结构裂缝检测中的可行性。

为了解 CT 扫描技术测试表面裂缝及内部裂缝情况，特别预制裂缝宽度 0.1 mm 的构件，尺寸为 20 cm × 20 cm × 20 cm，在构件的顶端、中间、底端分别制作 3 条贯通裂缝，其中顶端和底部的裂缝为表面裂缝，中间的裂缝为内部缝隙（图 2）。

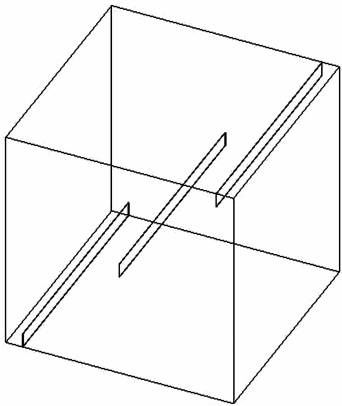


图 2 试件三维图

通过混凝土试件 CT 扫描实验，获得关于裂缝的 CT 图像(图 3)。可见，CT 扫描技术可在 20 cm 立方的混凝土试块中检测出人工制作的 0.1 mm 宽

度表面及内部裂纹，并且能够清晰地反映裂纹在混凝土块中的位置及宽度情况。

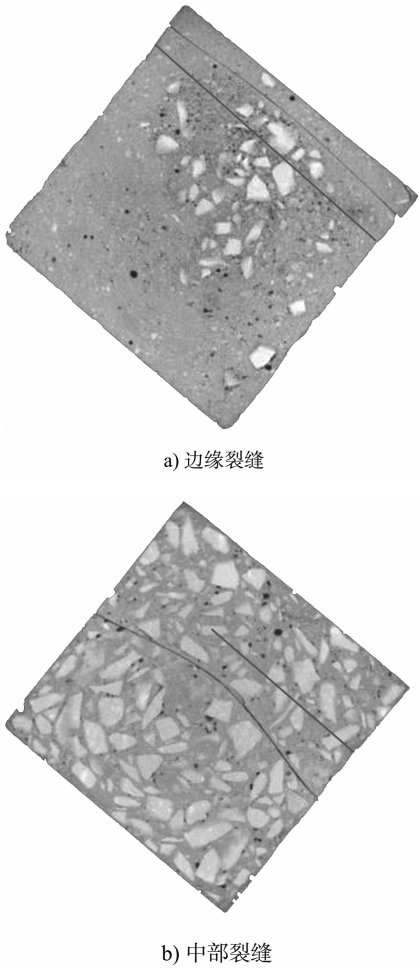


图 3 构件裂缝 CT 扫描

3.2 钢筋锈蚀检测

目前，钢筋锈蚀检测主要通过测试电位定性确定钢筋锈蚀情况，或者通过凿除混凝土，用游标卡尺测试裸露钢筋剩余直径。这两种方法要么不能定量，要么不能无损检测，在此，笔者通过对锈胀梁构件的室内实验来分析工业 CT 技术定量、无损地检测钢筋混凝土钢筋锈蚀的可行性。

根据《港口水工建筑物检测与评估技术规范》关于梁构件评级规定，分别制作锈蚀等级为 C、D 的梁构件，尺寸为 15 cm×25 cm×40 cm，钢筋直径为 12 mm，钢筋面积为 113 mm²（图 4）。

对钢筋锈蚀等级 C 级梁进行 CT 扫描检测，在 CT 图像中清晰地反映了钢筋锈蚀膨胀导致混凝土开裂及钢筋锈蚀面积（图 5），钢筋锈蚀剩余截面积为 92.492 mm²及 95.591 mm²。



图 4 C、D 级锈蚀构件

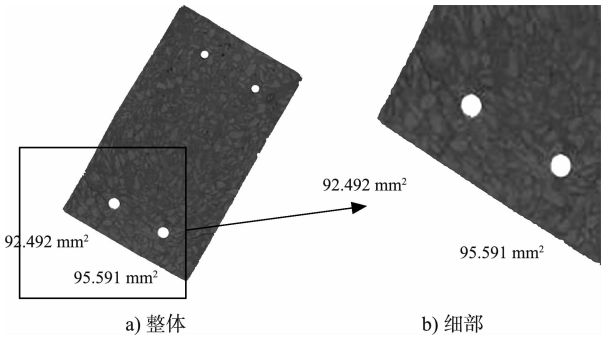


图 5 C 级梁 CT 扫描

对钢筋锈蚀等级 D 级梁进行 CT 扫描检测实验，在 CT 图像中同样可清晰看到钢筋锈蚀造成裂纹的情况（图 6），钢筋锈蚀剩余截面积为 81.763 mm²及 79.796 mm²。

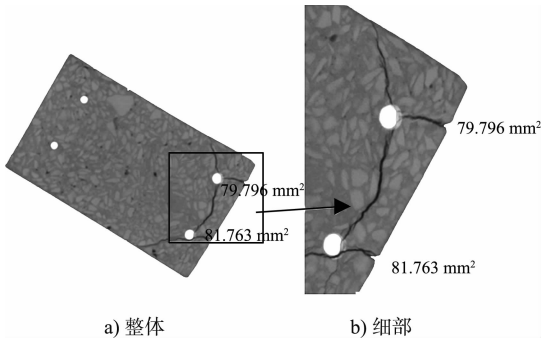


图 6 D 级梁 CT 扫描

从 CT 扫描 C、D 级混凝土构件可以看出，钢筋锈蚀后剩余截面面积是可以定量获得，进而可以通过已知初始钢筋面积换算钢筋锈蚀率，可见，可以采用 CT 扫描定量、无损地检测钢筋锈蚀情况。

3.3 混凝土损伤检测

目前，混凝土损伤检测并没有很好的方法。在此，通过制作疲劳加载梁构件（损伤构件），采用 CT 扫描技术对混凝土结构内部损伤进行检测，并分析其检测效果。

对预制梁构件施加疲劳荷载,并确保加载幅度及频率足够产生混凝土损伤,然后对梁构件截取 100 mm 直径芯样进行 CT 扫描试验(图 7)。



图 7 预制梁构件

对梁进行 CT 扫描检测(图 8),从图中可看到疲劳加载产生的混凝土微裂纹,可见,采用 CT 扫描技术可以检测混凝土损伤情况。

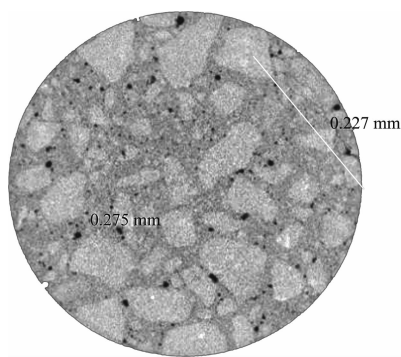


图 8 预制梁下表面混凝土损伤 CT 扫描

3.4 预应力混凝土梁灌浆密实度检测

目前,预应力混凝土梁在高桩码头应用越来越普遍,预应力使得混凝土全截面受压,具有很好的耐久性,但如果梁在张拉预应力钢绞线后,水泥砂浆灌注不够密实,空气和水分渗入孔隙,引起预应力钢筋腐蚀失效,则预应力混凝土梁承载能力将大大降低,故预应力灌浆密实度是预应力梁的一个重要检测参数。在此,采用 CT 扫描的方法,对预应力灌浆密实度进行检测试验,分析其检测效果。

对预应力孔道进行 CT 扫描检测(图 9),可从不同颜色中清楚地分辨钢筋、波纹管、孔隙,甚至其大小都可以定量地得出,可见,采用 CT 扫描预应力混凝土梁灌浆密实度是可行的。

4 结语

1) CT 扫描技术应用范围广。CT 扫描技术可以

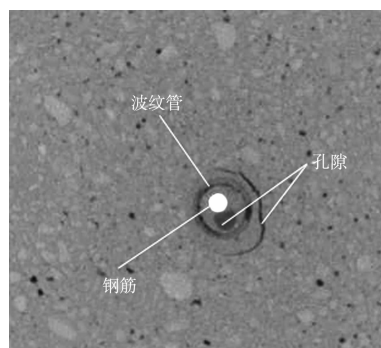


图 9 预应力混凝土梁灌浆密实度检测

应用到混凝土各种缺陷检测中,如混凝土结构裂缝检测、钢筋锈蚀检测、混凝土内部损伤检测、预应力混凝土结构灌浆密实度检测等。

2) CT 扫描技术对典型病害可定量检测,可以测试出典型病害的位置、大小等。

3) CT 扫描技术对典型病害进行无损检测,不会对结构产生破坏。

4) CT 扫描技术前景好。随着科学技术的进步,越来越多的 CT 扫描设备将在码头结构检测中得以应用。

参考文献:

- [1] 郭新曲. CT 科技在经济发展中的意义和作用[J]. CT 理论与应用研究, 2005(4): 56-60.
- [2] 刘庆珍, 郭广平, 张建安, 等. 工业 CT 的国内外近期发展状况综述[J]. 中外公路, 2014(5): 257-262.
- [3] 郭奕, 汪纯素. CT 科技在某些工程项目中的应用[J]. 江西电力职业技术学院学报, 2003(1): 47-48.
- [4] 陈厚群, 丁卫华, 党发宁, 等. 混凝土 CT 图像中等效裂纹区域的定量分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2006(1): 1-7.
- [5] 顾佳俊. 基于 CT 扫描技术的沥青混凝土破坏机理分析[J]. 水利水电技术, 2014(6): 65-66.
- [6] 李芬, 李之达, 龚军安, 等. 基于 CT 图像分维估算的沥青混凝土损伤演化研究[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2006(2): 52-55.
- [7] 赵亮, 李昌华, 党发宁, 等. 基于 CT 图像的建筑混凝土破裂细观结构智能处理分析[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2010(5): 751-756.
- [8] 高英力, 胡柏学, 罗阳青. 工业 CT 层析扫描技术在混凝土微结构研究中的应用现状浅析[J]. 公路工程, 2010(1): 59-63.

(本文编辑 郭雪珍)