

文章编号: 1001-4888(2024)01-0017-10

# 管电压管电流和开机时间对 CT 图像质量的影响<sup>\*</sup>

刘雨欣<sup>1</sup>, 陈凡秀<sup>1</sup>, 孙洁<sup>2</sup>, 王远<sup>1</sup>, 王潇<sup>1</sup>, 于洋<sup>1</sup>, 顾焱吉<sup>1</sup>

(1. 青岛理工大学 理学院, 山东青岛 266033; 2. 青岛理工大学 土木工程学院, 山东青岛 266033)

**摘要:** CT 扫描的图像质量与设置的参数和开机时间有关, 扫描参数不同导致扫描结果不同, 开机时间对系统稳定性有一定影响, 从而导致 CT 图像质量有差异。本文采用高分辨综合扫描分析系统 nanoVoxel-2792 扫描混凝土试件, 对比不同管电压、管电流和设备开机时间对 CT 图像质量的影响。结果表明, 不同管电压、管电流扫描的图像质量存在差异, 电压值越高, 图像对比度越高, 环状伪影越不明显, 噪声越少; 管电流对图像质量影响较小, 电流值越大图像质量越好。型号为 nanoVoxel-2792 的显微 CT, 管电压设置为 130kV, 管电流设置为 100 $\mu$ A 时扫描结果最好, CT 开机时间对图像质量影响较小, 开机 2h 后系统更加稳定。

**关键词:** CT 扫描技术; 管电压; 管电流; 开机时间; 图像质量

中图分类号: TU455

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-23-041

## 0 引言

电子计算机断层扫描(Computed Tomography, CT)技术是一种高分辨率无损检测手段, 该技术利用精确的射线和高灵敏度的探测器可以在不破坏样品的情况下, 研究样品内部结构。CT 具有无损检测样品内部结构和损伤的优点, 被广泛应用于岩土工程<sup>[1]</sup>、油气地质<sup>[2]</sup>、交通运输<sup>[3]</sup>、材料科学<sup>[4]</sup>、生物科学<sup>[5]</sup>等领域。近年来, 许多学者应用 CT 扫描技术在不同领域开展了研究。AKHONDZADEH 等<sup>[6]</sup>通过 X 射线 CT 扫描技术, 研究了烟煤在低温液氮压裂实验中的孔隙特征, 为煤体液氮处理的压裂机理提供了直观的认识。方建银等<sup>[7]</sup>利用 X 射线 CT 扫描设备对单轴压缩实验过程中混凝土的损伤演化进行了研究, 为混凝土定量化研究提供了一定的借鉴。HU 等<sup>[8]</sup>研究了孔隙率和熔合缺陷对 SLM 加工 Ti-6Al-4V 材料抗疲劳性能的影响, 通过 X 射线 CT 扫描技术对缺陷进行了分析。刘昕等<sup>[9]</sup>搭建了准静态加载下的原位多维 CT 表征系统, 为研究材料力电耦合效应提供了技术支持。CT 技术在无损检测和微观结构表征中有广泛应用, 检测精度和表征准确度与 CT 图像质量紧密相关, 关于提高 CT 图像质量的研究也受到了许多学者的关注。

CT 扫描图像质量对样品内部结构的显示十分重要, 设置的扫描参数以及设备开机时间影响着图像质量。方姝等<sup>[10]</sup>使用体模评价 2 种医用 CT 机型不同管电压下的 CT 图像质量, 发现不同机型不同管电压扫描出来的图像质量存在差异。刘煜等<sup>[11]</sup>在不同管电压、管电流的条件下采集 CT 图像数据, 发现增高管电压和管电流有助于医疗诊断。潘小东等<sup>[12]</sup>发现 CT 成像质量受许多因素影响, 适当提高管电压能降低硬化伪影, 提高管电流能减小图像噪声。BURATTI 等<sup>[13]</sup>改善并验证了一种优化 CT 扫描参数的分析方法, 该方法通过分析试件几何形状和材料成分信息, 可以给出最合适的管电压、管电流等扫描参数。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2023-02-23; 修回日期: 2023-04-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(12072170); 泰山学者工程专项经费资助项目(tsqn202211180)

通信作者: 陈凡秀(1979—), 女, 教授, 博士生导师。主要研究领域: 实验力学。Email: mecfx@163.com

许多学者已经使用医用 CT 研究了扫描参数对图像质量和医疗诊断的影响,但对于显微 CT 扫描参数和开机时间对图像质量的影响还需要继续研究。本文使用显微 CT 扫描混凝土试件,采用主观图像质量评估法和客观图像质量评估法评估图像质量,以探究管电压、管电流和开机时间对图像质量的影响。

## 1 图像质量评估方法

图像质量评估方法分为主观图像质量评估法和客观图像质量评估法<sup>[14]</sup>。主观图像质量评估法是指通过人的主观意识和经验评估图像质量的一种方法。客观图像质量评估法根据是否利用参考图像以及如何利用参考图像分为 3 类:全参考评估方法、半参考评估方法和无参考评估方法<sup>[15-16]</sup>。

主观图像质量评估法是评价图像质量最直观的方法。本文首先通过主观评估 CT 图像的亮度、对比度和环状伪影判断图像质量,然后采用客观图像质量评价参数(平均灰度值、标准差、信噪比、对比度噪声比和峰值信噪比)评估图像,进行定量评价。

伪影是指图像上出现的与实际物理结构不相符的图像特征。环状伪影是试件本身不存在,而 CT 重构图像中显示出来的以旋转轴为中心的环状或弧状图像特征。图 1 为混凝土试件的 CT 图像,图 1(a)有明显的环状伪影,图 1(b)去除了环状伪影。

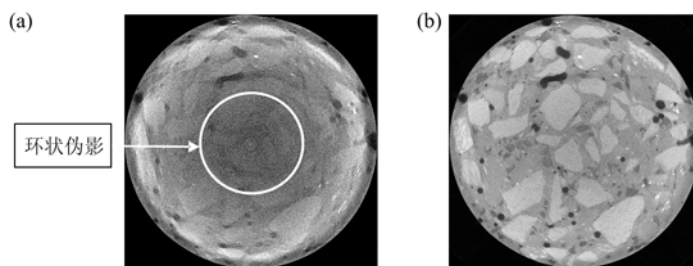


图 1 环状伪影对比图:(a)环状伪影;(b)去除环状伪影

Fig. 1 Ring artifact contrast graph:(a)ring artifact;(b)no ring artifacts

本文图像的信噪比(SNR)采用式(1)计算,对比度噪声比(CNR)采用式(2)计算。

$$SNR = \frac{M_A}{\sigma_A} \quad (1)$$

$$CNR = \frac{|M_A - M_B|}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}} \quad (2)$$

式中: $M_A$ 和 $\sigma_A$ 为目标区域中的平均灰度值和标准差; $M_B$ 和 $\sigma_B$ 为背景区域中的平均灰度值和标准差。

使用峰值信噪比(PSNR)比较参考图像和目标图像的相似性<sup>[17]</sup>。峰值信噪比通过均方差(MSE)进行定义。计算方程如下:

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [f_i - g_i]^2 \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{f_{\text{peak}}^2}{MSE} \quad (4)$$

式中: $f_i$ 和 $g_i$ 为参考图像和目标图像各个像素的灰度值; $M$ 为图像中的像素数; $f_{\text{peak}}$ 为选择区域中的最大强度。

## 2 实验方法

### 2.1 CT 实验

图 2(a)为天津三英精密仪器股份有限公司生产的高分辨综合扫描分析系统 nanoVoxel-2792 实物图;图 2(b)为 CT 扫描系统实物图,由射线源、样品台和探测器组成。CT 扫描时,将试件摆放在样品台上,调整样品位置,使其处于样品台中央,以便扫描过程中不会旋转到图像显示区域外,确保 X 射线穿透试件投影到探测器上。在 360°范围内均匀采集投影图像。X 射线源型号为 L12161-52,管电压为

45kV~130kV,最大发射功率为 16W。探测器阵列 1536pixel×1536pixel,有效成像视野为 130mm×130mm。

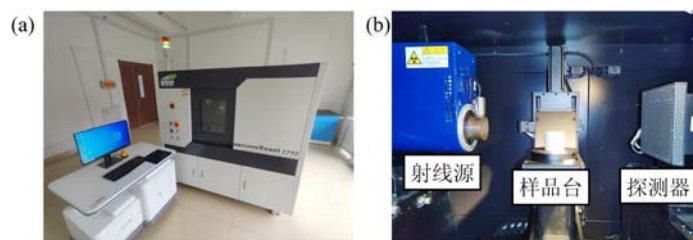


图2 (a)高分辨综合扫描分析系统 nanoVoxel-2792;(b)CT 扫描系统

Fig. 2 (a) high resolution comprehensive scanning analysis system nanoVoxel-2792; (b) CT scanning system

## 2.2 图像处理

扫描结束后,通过 Voxel Studio Recon 软件使用 FDK 算法将投影图像重构为三维重构图像。Dragonfly 软件可以实现图像分割、特征参数测量等功能,被广泛应用于各个领域图像的处理工作。对于 CT 扫描重构获得的图像,使用 Dragonfly 软件展示试件的三维重构图像,以及试件各个方向的二维横截面图像,通过逐层分析工具可以计算每层二维横截面图像的平均灰度值和标准差。使用区域工具手动选择感兴趣区域,计算该区域的平均灰度值和标准差。

## 3 管电压管电流对图像质量的影响

### 3.1 实验试件与系统参数

CT 扫描实验对象是一个混凝土圆柱试件,如图 3(a)所示,由水泥、沙子、石子这类骨料构成,底面直径为 5cm,高为 4.5cm。图 3(b)是混凝土试件的三维重构图,重构后一共有 1500 层二维横截面。图 3(c)是混凝土试件第 300 层、第 700 层和第 1000 层的二维横截面图,图中 S300 表示第 300 层。CT 图像存储位数为 16 位,其灰度值为 0~65535,图像中黑色对应的灰度值为 0,白色对应的灰度值为 65535,灰色对应的灰度值在 0 到 65535 之间。图 3(c)中,黑色部分代表着孔隙和空气,灰色部分代表着水泥、沙子、石子等物质。

实验分为管电压对图像质量的影响和管电流对图像质量的影响,第一组实验将管电流设置为 100 $\mu$ A 不变,管电压从 60kV 到 130kV,每隔 10kV 扫描 1 次;第二组实验将管电压设置为 130kV 不变,管电流从 60 $\mu$ A 到 100 $\mu$ A,每隔 10 $\mu$ A 扫描 1 次。

实验设置的扫描参数如表 1 所示,扫描 1 次的时间为 18min。三维重构图像大小为 1500pixel×1500pixel,一个像素长度对应的实际物理长度为 42.39 $\mu$ m。

表1 管电压管电流对图像质量影响的实验参数

Tab. 1 The experimental parameter of tube voltage and tube current on image quality

| 实验参数           | 数值       |
|----------------|----------|
| 曝光时间           | 0.5s     |
| 射线源到样品台距离(SOD) | 222.01mm |
| 射线源到探测器距离(SDD) | 445.07mm |
| 帧率             | 1080fps  |

首先使用 Dragonfly 软件手动选择感兴趣区域,如图 4 所示,为了减小混凝土试件边界对实验结果的影响,选择去除边界的圆形区域为目标区域 ROI<sub>A</sub>,边界 1 和边界 2 之间的部分为空气,由于扫描环境是封闭的,空气较均匀,选择不同位置的空气作为背景对实验结果影响较小,将空气中尽可能大的圆形区域作为背景区域 ROI<sub>B</sub>。然后计算 ROI<sub>A</sub>和 ROI<sub>B</sub>的平均灰度值和标准差,将 ROI<sub>A</sub>的平均灰度值和标准差代入式(1)得到图像的信噪比,将 ROI<sub>A</sub>和 ROI<sub>B</sub>的平均灰度值和标准差代入式(2),得到图像的对比度噪声比。

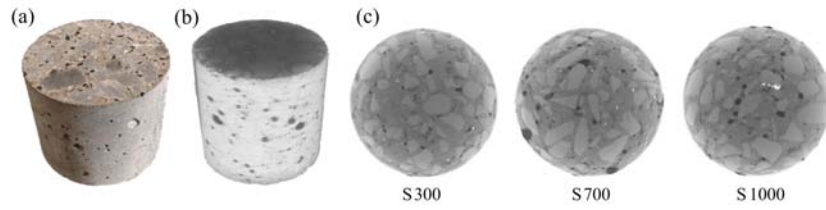


图 3 混凝土:(a)实物图;(b)三维重构图;(c)不同层二维横截面图

Fig. 3 Concrete: (a) physical image; (b) 3D reconstruction image; (c) 2D cross section of different layers

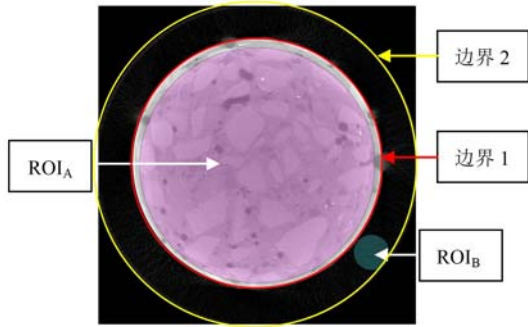


图 4 用于定量评估图像质量的 ROI 样本图像

Fig. 4 ROI sample image for quantitative evaluation of image quality

### 3.2 结果分析

#### (1) 管电压对图像质量的影响

选择混凝土试件第 700 层二维横截面图像作为管电压对图像质量影响实验的主观评估对象,图 5 是不同管电压扫描混凝土试件第 700 层的二维截面图像,图像以扫描时设置的管电压值命名,如 60kV 对应的图像是管电压为 60kV 时扫描得到的图像。由图 5 可知,随着管电压升高,图像整体变亮,混凝土试件内部结构越来越清晰,骨料与孔隙之间的对比度逐渐变大,图像中的环状伪影越来越不明显。通过对混凝土试件二维横截面图像主观评估可知,管电压 130kV 扫描得到的图像

质量最好。

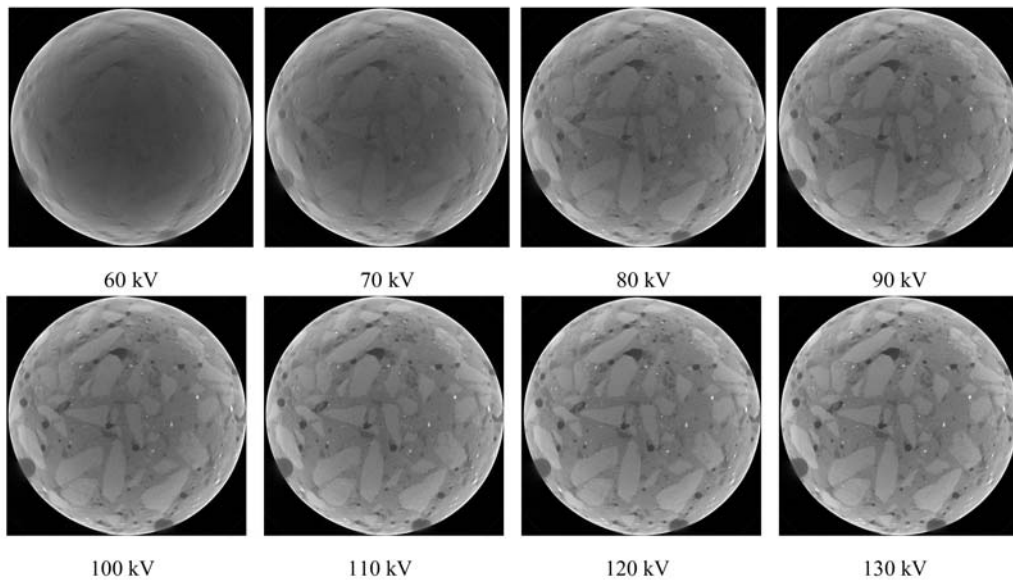


图 5 不同管电压扫描试件第 700 层的二维横截面

Fig. 5 The 700th 2D cross section of the specimen is scanned by different tube voltages

选择第 300 层、第 700 层和第 1000 层二维横截面作为客观图像质量评估对象,由图 6 可知,管电压从 60kV 升到 130kV 时,第 300 层、第 700 层和第 1000 层横截面图像的平均灰度值、标准差、信噪比、对比度噪声比均随管电压升高而呈上升趋势,说明管电压越大,图像的亮度、对比度越大,噪声越小。管电压从 60kV 升到 80kV 时,折线斜率较大,增大管电压对提高图像质量效果更明显。管电压从 80kV 增长到 130kV 时,折线图斜率变小,但仍然呈上升趋势,说明增大管电压有利于提高图像质量。

通过 Dragonfly 软件获得不同管电压扫描试件第 300 层、第 700 层、第 1000 层的二维横截面图像,将其分为 3 组。不同管电压扫描试件第 300 层二维横截面图像为 1 组,第 700 层二维横截面图像为 1

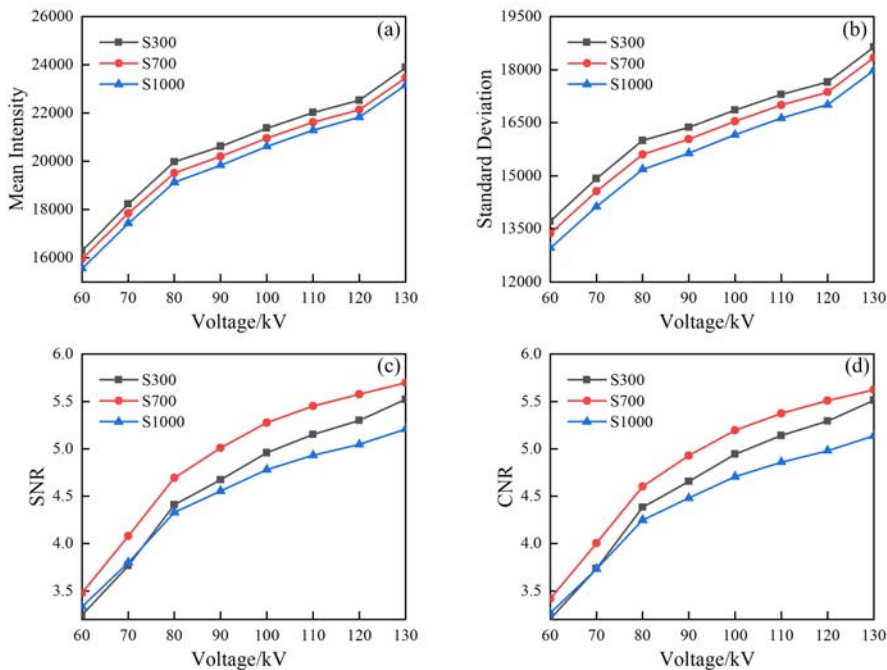


图 6 不同管电压扫描试件第 300 层、第 700 层、第 1000 层的二维横截面图像的客观评估结果：(a)平均灰度值随管电压变化；(b)标准差随管电压变化；(c)信噪比随管电压变化；(d)对比度噪声比随管电压变化

Fig. 6 Objective evaluation results of the 300th, 700th and 1000th layers of cross section images of different tube voltage scanning specimens; (a) average gray value changes with tube voltage; (b) standard deviation varies with tube voltage; (c) signal to noise ratio varies with tube voltage; (d) contrast to noise ratio varies with tube voltage

组,第 1000 层二维横截面图像为 1 组。选择每组图像中管电压值为 130kV 的二维横截面图像作为参考图像,其余为目标图像,逐个计算图像之间的峰值信噪比。峰值信噪比是衡量图像质量的指标之一,基于两幅图像对应像素点之间的误差,评价图像之间的相似性。峰值信噪比越大,目标图像与参考图像越相似。图像的峰值信噪比随管电压变化值见表 2,PSNR<sub>300</sub>、PSNR<sub>700</sub>和 PSNR<sub>1000</sub>分别表示第 300 层、第 700 层和第 1000 层二维横截面图像的峰值信噪比。由表可知,随着管电压和功率增大,3 组图像的峰值信噪比均越来越大,表示目标图像与参考图像越相似。综上所述,客观评估结果与主观评估结果一致,管电压越大,图像质量越高,管电压值为 130kV 时扫描图像质量最好。

表 2 图像的峰值信噪比随管电压变化值

Tab. 2 The peak signal-to-noise ratio of the image changes with tube voltage

| 编号 | 管电压/kV | 管电流/ $\mu$ A | 功率/W | PSNR <sub>300</sub> /dB | PSNR <sub>700</sub> /dB | PSNR <sub>1000</sub> /dB |
|----|--------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1  | 60     | 100          | 6.0  | 69.4                    | 68.9                    | 68.5                     |
| 2  | 70     | 100          | 7.0  | 72.3                    | 71.6                    | 71.1                     |
| 3  | 80     | 100          | 8.0  | 75.9                    | 75.0                    | 74.5                     |
| 4  | 90     | 100          | 9.0  | 77.7                    | 77.1                    | 76.4                     |
| 5  | 100    | 100          | 10.0 | 80.2                    | 79.6                    | 78.9                     |
| 6  | 110    | 100          | 11.0 | 82.8                    | 82.3                    | 81.7                     |
| 7  | 120    | 100          | 12.0 | 85.1                    | 84.7                    | 84.3                     |

(2)管电流对图像质量的影响

图 7 为不同管电流扫描混凝土试件第 700 层的二维横截面图像,图像以扫描时设置的管电流值命名,各个图像之间亮度、对比度相近,环状伪影不明显,人眼无法分辨图像质量好坏。主观评估无法判断



图像质量,反映出管电流对图像质量的影响较小,需要通过客观图像质量评估法评估。

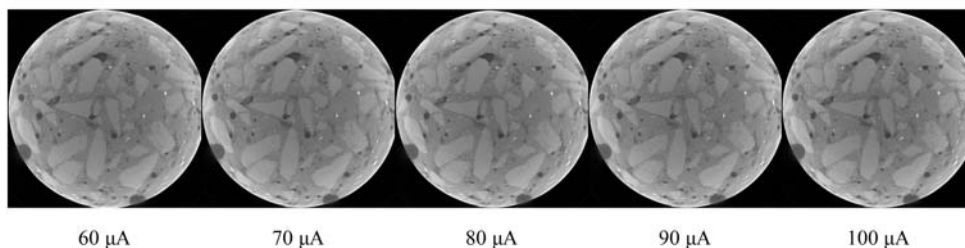


图 7 不同管电流扫描试件第 700 层的二维横截面图像

Fig. 7 The 700th 2D cross section of the specimen is scanned by different tube current

图 8 为不同管电流扫描试件第 300 层、第 700 层、第 1000 层的二维横截面图像客观评估结果,由图可知,二维横截面的平均灰度值、标准差、信噪比和对比度噪声比均随着管电流增大而升高。管电流在  $60\mu\text{A}$  到  $90\mu\text{A}$  时扫描的图像,平均灰度值、标准差、信噪比和对比度噪声比变化较小, $90\mu\text{A}$  到  $100\mu\text{A}$  时折线斜率较大,总体呈上升趋势。电流值越高图像的亮度和对比度越高,噪声越小,管电流值为  $100\mu\text{A}$  时扫描的效果最好。

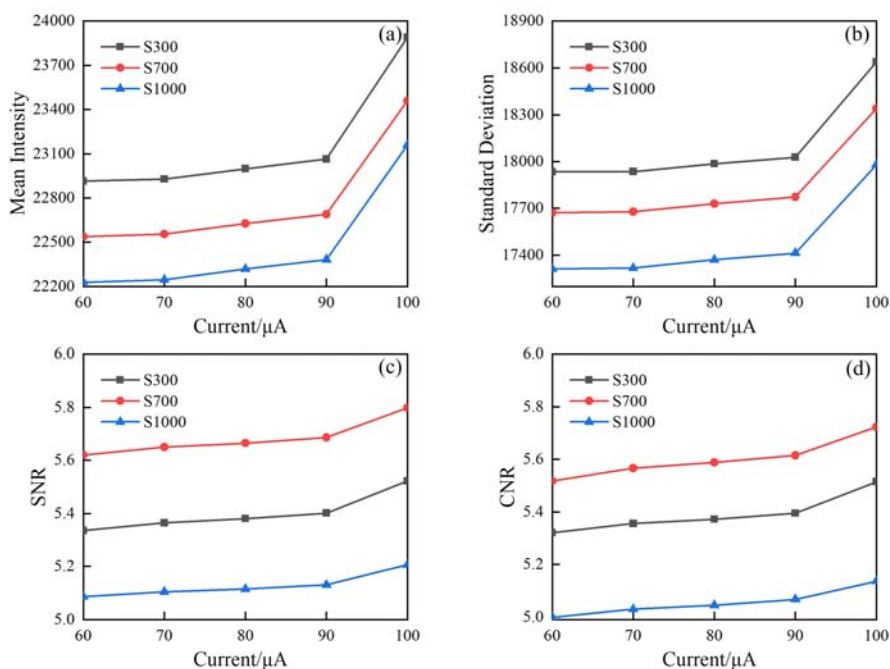


图 8 不同管电流扫描试件第 300 层、第 700 层、第 1000 层二维横截面图像的客观评估结果:

(a) 平均灰度值随管电流变化; (b) 标准差随管电流变化; (c) 信噪比随管电流变化; (d) 对比度噪声比随管电流变化

Fig. 8 Objective evaluation results of the 300th, 700th and 1000th layers of cross section images

of different tube current scanning specimens: (a) average gray value changes with tube current;

(b) standard deviation varies with tube current; (c) signal to noise ratio varies with tube current;

(d) contrast to noise ratio varies with tube current

将不同管电流扫描试件第 300 层、第 700 层、第 1000 层的二维横截面图像分为 3 组。选择每组图像中管电流值为  $100\mu\text{A}$  的二维横截面图作为参考图像,其余为目标图像,逐个计算图像之间的峰值信噪比。由表 3 可知,随着管电流和功率增大,3 组图像的峰值信噪比均变大,说明目标图像与参考图像越来越相似。对比表 2、表 3 中的数据发现,图像峰值信噪比随管电压变化比随管电流变化大,管电压变化对图像质量影响较大,管电流变化对图像质量影响较小。

表 3 图像的峰值信噪比随管电流变化值

Tab. 3 Value of peak signal-to-noise ratio of image changing with tube current

| 编号 | 管电压/kV | 管电流/ $\mu$ A | 功率/W | PSNR <sub>300</sub> /dB | PSNR <sub>700</sub> /dB | PSNR <sub>1000</sub> /dB |
|----|--------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1  | 130    | 60           | 7.8  | 84.3                    | 84.1                    | 84.3                     |
| 2  | 130    | 70           | 9.1  | 84.7                    | 84.5                    | 84.7                     |
| 3  | 130    | 80           | 10.4 | 85.0                    | 84.8                    | 85.0                     |
| 4  | 130    | 90           | 11.7 | 85.2                    | 85.1                    | 85.3                     |

4 CT 开机时间对图像质量的影响

4.1 实验试件与系统参数

CT 扫描实验对象是一个泡沫混凝土圆柱试件,如图 9(a)所示,由水泥、水、发泡剂组成,其干密度为  $1200\text{kg}/\text{m}^3$ ,底面直径为  $2.4\text{cm}$ ,高为  $2\text{cm}$ 。实验设置的扫描参数如表 4 所示,扫描 1 次的时间为  $30\text{min}$ 。三维重构图像大小为  $1500\text{pixel}\times 1500\text{pixel}\times 1500\text{pixel}$ ,1 个像素长度对应的实际物理长度为  $25.99\mu\text{m}$ 。

表 4 CT 开机时间对图像质量影响的实验参数

Tab. 4 Experimental parameters of CT boot time on image quality

| 实验参数 | 数值                |
|------|-------------------|
| 曝光时间 | $0.5\text{s}$     |
| SOD  | $182.01\text{mm}$ |
| SDD  | $595.06\text{mm}$ |
| 帧率   | $1800\text{fps}$  |
| 管电压  | $130\text{kV}$    |
| 管电流  | $100\mu\text{A}$  |

将高分辨综合扫描分析系统 nanoVoxel-2792 开机预热完成后,对泡沫混凝土进行扫描,每小时扫描 1 次,连续扫描 9 次。图 9(b)为泡沫混凝土的三维重构图,重构后一共有 1500 层二维横截面,图 9(c)为泡沫混凝土第 500 层、第 750 层和第 1000 层的二维横截面,S500 表示第 500 层,每层二维横截面的微观结构不相同。

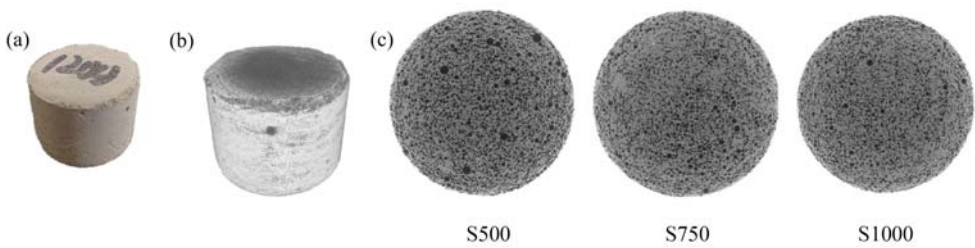


图 9 泡沫混凝土:(a)实物图;(b)三维重构图;(c)不同层二维横截面图

Fig. 9 Foamed concrete:(a) physical image;(b) 3D reconstruction image;(c) 2D cross section of different layers

首先使用 Dragonfly 软件手动选择感兴趣区域,如图 10 所示,为了减小泡沫混凝土试件边界对实验结果的影响,选择去除边界的圆形区域为目标区域  $\text{ROI}_A$ ,边界 1 和边界 2 之间的部分为空气,扫描环境是封闭的,空气较均匀,选择不同位置的空气作为背景对实验结果影响较小,将空气中尽可能大的圆形区域作为背景区域  $\text{ROI}_B$ 。然后计算  $\text{ROI}_A$  和  $\text{ROI}_B$  的平均灰度值和标准差,将  $\text{ROI}_A$  的平均灰度值和标准差代入式(1)得到图像的信噪比,将  $\text{ROI}_A$  和  $\text{ROI}_B$  的平均灰度值和标准差代入式(2),得到图像的对比度噪声比。

## 4.2 结果分析

选择不同时间扫描的泡沫混凝土试件第 500 层、第 625 层、第 750 层、第 875 层、第 1000 层和第 1125 层的二维横截面作为客观评估对象,图 11 为不同开机时间扫描试件二维横截面图像的客观评估结果,图中 S500 表示第 500 层。

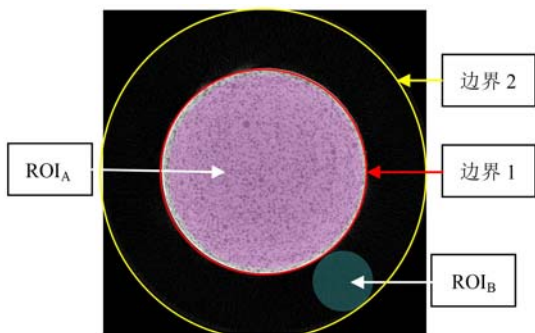


图 10 用于定量评估图像质量的 ROI 样本图像

Fig. 10 ROI sample image for quantitative evaluation of image quality

泡沫混凝土二维横截面图中,黑色对应的灰度值为 0,灰色对应的灰度值为 0~65535。物质密度不同则灰度值不同,物质密度越大,对应的灰度值越高,同一物质对应的灰度值相近。泡沫混凝土横截面图像中有空气、孔隙和水泥,空气和孔隙的灰度值在 0 附近,水泥的灰度值在 35000 附近,每层横截面灰度值数据集中在平均值两端,导致图 11 计算的每层横截面图像的标准差大于平均灰度值。

由于泡沫混凝土第 750 层和第 1000 层二维横截面的平均灰度值相近,导致图 11(a)中 S750 和 S1000 折线重叠。由图 11(a)和(b)可知,不同层的二维横截面图像的平均灰度值和标准差变化趋势基本一致,平均灰度值和标准差前 2 个小时波动较大,2h 后趋于稳定。由图 11(c)和(d)可知,不同层的二维横截面图像的信噪比和对比度噪声比随开机时间变化基本一致,其信噪比和对比度噪声比随开机时间的变化不大,说明 CT 开机时间对图像噪声影响较小。

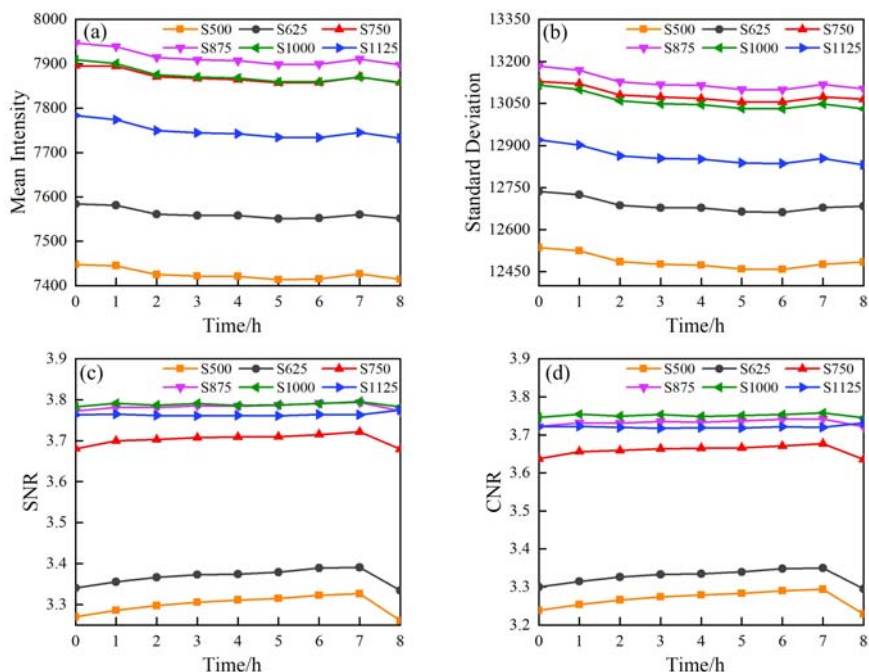


图 11 不同开机时间扫描试件二维横截面图像的客观评估结果:(a)平均灰度值随时间变化;

(b)标准差随时间变化;(c)信噪比随时间变化;(d)对比度噪声比随时间变化

Fig. 11 Objective evaluation results of 2D cross section images of test pieces scanned at different startup times:

(a) average gray value changes with time; (b) standard deviation changes with time;

(c) signal to noise ratio changes with time; (d) contrast to noise ratio changes with time

综上分析,显微 CT 系统在长时间连续工作期间,由于电压波动,电噪声以及其他不稳定因素造成图像平均灰度值和标准差结果变化,虽然显微 CT 运行时间对图像质量有影响,但是影响较小,开机 2h 后扫描结果更稳定。



## 5 结论

采用高分辨综合扫描分析系统 nanoVoxel-2792,设置不同的管电压、管电流扫描混凝土试件,研究管电压、管电流对CT图像质量的影响。显微CT开机后,每隔1h扫描1次泡沫混凝土试件,连续扫描8h,以研究不同开机时间扫描对CT图像质量的影响。得出以下结论:

(1) 相同条件下,不同管电压、管电流扫描同一物体,CT图像存在差异。对于本文扫描的混凝土试件,扫描时设置的管电压越大,CT图像越亮,对比度越高,图像越清晰,环状伪影越不明显,噪声越小,图像质量越好;扫描时设置的管电流越大,图像质量越好,但是管电流对图像质量的影响较小。

(2) 高分辨综合扫描分析系统 nanoVoxel-2792 射线源最大功率为16W,可设置的最大管电压为130kV,最大管电流为100 $\mu$ A。对于该型号的显微CT,管电压设置在130kV,管电流设置在100 $\mu$ A时扫描的图像质量最好。

(3) 显微CT开机时间对图像质量有影响,但是影响较小,运行2h后扫描结果更稳定,说明显微CT的重复性和稳定性较好。

综上所述,建议对于高精度检测实验,使用显微CT扫描时,可以采用较大的管电压和管电流来保证图像质量。如果对扫描图像质量要求较低,在保证射线能穿透的前提下,可以通过降低管电流,减少大功率X射线对试件的磨损。针对高分辨综合扫描分析系统 nanoVoxel-2792,如果想提高实验准确度,建议选择开机2h后扫描的数据使用。

## 参考文献:

- [1] ARIF M, MAHMOUD M, ZHANG Y, et al. X-ray tomography imaging of shale microstructures: a review in the context of multiscale correlative imaging[J]. International Journal of Coal Geology, 2021, 233:103641.
- [2] ABBASI G R, ARIF M, ISAH A, et al. Gas hydrate characterization in sediments via X-ray microcomputed tomography[J]. Earth-Science Reviews, 2022, 234:104233.
- [3] SHAN L, YANG H, GUO F, et al. Fatigue damage evolution in asphalt mixture based on X-ray CT images[J]. Construction and Building Materials, 2022, 358:129242.
- [4] PAN D, YANG G, ABO-DIEF H M, et al. Vertically aligned silicon carbide nanowires/boron nitride cellulose aerogel networks enhanced thermal conductivity and electromagnetic absorbing of epoxy composites[J]. Nano-Micro Letters, 2022, 14(1):118.
- [5] 徐明举, 柴海伟, 谢红兰, 等. 基于同步辐射原位CT的水牛角结构性能关系研究[J]. 实验力学, 2021, 36(2): 185—194 (XU Mingju, CHAI Haiwei, XIE Honglan, et al. Investigation on the structure property relationship of buffalo horn based on in situ synchrotron CT[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2021, 36(2):185—194 (in Chinese))
- [6] AKHONDZADEH H, KESHAVERZ A, AL-YASERI A Z, et al. Pore-scale analysis of coal cleat network evolution through liquid nitrogen treatment: a micro-computed tomography investigation[J]. International Journal of Coal Geology, 2020, 219:103370.
- [7] 方建银, 李娜, 党发宁, 等. 基于模糊集理论混凝土CT试验过程的定量研究[J]. 实验力学, 2020, 35(5):897—906 (FANG Jianyin, LI Na, DANG Faning, et al. Quantitative analysis of concrete CT test process based on the fuzzy set theory[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2020, 35(5):897—906(in Chinese))
- [8] HU Y N, WU S C, WITHERS P J, et al. The effect of manufacturing defects on the fatigue life of selective laser melted Ti-6Al-4V structures[J]. Materials & Design, 2020, 192:108708.
- [9] 刘昕, 柴海伟, 范端, 等. TPU/CNT 导电泡沫力电耦合效应的原位CT实验研究[J]. 实验力学, 2022, 37(6): 829—837 (LIU Xin, CHAI Haiwei, FAN Duan, et al. In-situ CT experimental investigation on the electro-mechanical properties of a TPU/CNT conductive foam[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2022, 37(6):829—837(in Chinese))
- [10] 方姝, 陈琳钰, 陈勇, 等. CT机型与管电压对图像质量影响的体模研究[J]. CT理论与应用研究, 2022, 31(3): 345—350 (FANG Shu, CHEN Linyu, CHEN Yong, et al. Phantom study on the influence of CT model and tube

- voltage on image quality[J]. CT Theory and Applications, 2022, 31(3):345—350 (in Chinese))
- [11] 刘煜, 张蕾, 李坤, 等. 管电压、管电流和相邻钛种植体对锥形束 CT 评估根管治疗后牙根纵裂的影响[J]. 口腔医学研究, 2022, 38(6):553—558 (LIU Yu, ZHANG Lei, LI Kun, et al. Influence of tube voltage, tube current, and adjacent titanium implant on detection of vertical root fractures after root canal therapy using Cone-beam Computed Tomography[J]. Journal of Oral Science Research, 2022, 38(6):553—558 (in Chinese))
- [12] 潘小东, 张催, 商宏杰, 等. 锥束 CT 成像质量影响因素研究[J]. 原子核物理评论, 2019, 36(2):211—217 (PAN Xiaodong, ZHANG Cui, SHANG Hongjie, et al. Study on the factors influencing the quality of cone-beam Computed Tomography[J]. Nuclear Physics Review, 2019, 36(2):211—217 (in Chinese))
- [13] BURATTI A, GROZMANI N, VOIGTMANN C, et al. Determination of the optimal imaging parameters in industrial computed tomography for dimensional measurements on monomaterial workpieces[J]. Measurement Science and Technology, 2018, 29(11):115009.
- [14] 朱秀昌, 唐贵进. 可视质量评价方法综述[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2018, 38(4):1—11 (ZHU Xiuchang, TANG Guijin. Overview of visual quality assessment methods [J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2018, 38(4):1—11 (in Chinese))
- [15] DIETRICH O, RAYA J G, REEDER S B, et al. Measurement of signal-to noise ratios in MR images: influence of multichannel coils, parallel imaging, and reconstruction filters[J]. Magn Reson Imaging, 2007, 26(2):375—385.
- [16] MA L, LI S, ZHANG F, et al. Reduced-reference image quality assessment using reorganized DCT-based imagerepresentation[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2011, 13(4):824—829.
- [17] PARK C, LEE Y. Application feasibility of median modified wiener filter (MMWF) algorithm for customized breast ACR phantom images using 3D printing technology in mammography[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2022, 1031:166570.

## Influence of tube voltage tube current and boot time on CT image quality

LIU Yuxin<sup>1</sup>, CHEN Fanxiu<sup>1</sup>, SUN Jie<sup>2</sup>, WANG Yuan<sup>1</sup>, WANG Xiao<sup>1</sup>, YU Yang<sup>1</sup>, GU Yanji<sup>1</sup>

(1. School of Science, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, Shandong, China;

2. School of Civil Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, Shandong, China)

**Abstract:** The image quality of CT scanning is related to the parameters set and the startup time. Different scanning parameters lead to different experimental results, and the startup time has a certain impact on the system stability, resulting in differences in CT image quality. A high-resolution comprehensive scanning analysis system nanoVoxel-2792 was used to scan concrete specimens, and the effects of different tube voltages, tube currents and equipment start-up time on CT image quality were compared. The results show that the image quality varies with different tube voltages and currents. The higher the voltage, the higher the image contrast, the less obvious ring artifacts and the less noise. Tube current has little influence on image quality, and the larger the current value, the better the image quality. NanoVoxel-2792 CT with tube voltage set at 130kV and tube current set at 100 $\mu$ A has the best scanning results. The CT startup time has little influence on image quality, and the system is more stable after 2 hours of startup.

**Keywords:** CT scanning technology; tube voltage; tube current; boot time; image quality