

基于 CT 技术的混凝土三维重构及组分分析

刘朗

四川建筑职业技术学院，四川成都，610300；

摘要：采用德国 Werth 工业型 CT 扫描设备对被测试块进行扫描，能够在不对被测试块外部造成损伤的情况下，对其进行内部的观察。除此之外，使用能够对扫描成像的图片信息进行图形处理的软件，能够对被测试块内部各成分完成可视化的同时对其完成组分含量测定。通过了解扫描设备各项具体参数的原理，从而完成扫描过程中合理的参数选取，以获取更佳的适应于被测试块材料种类的成像效果。获取扫描图片之后，利用图形分析进行不同成分之间的分离，以获取肉眼能够分辨的不同成分，将目标成分进行立体化重新构建，从而进一步提取目标成分并进行数据分析，该方法有助于直观观察到被测试块内部某一目标成分的初始状态、空间分布、变化情况等。

关键词：无损检测；CT 技术；混凝土；三维重构

DOI：10.69979/3029-2727.24.12.044

引言

混凝土是一种建筑工程中常用的建筑材料，其主要组成成分包括充当骨架提供绝大部分材料强度的骨料，充斥于骨料之间将固体颗粒进行结合并提供材料一定的流动性能的水泥砂浆，以及位于两者之间的过渡区，一般称其为界面过渡区，三种成分的空间分布状态和浇筑过程中的随机性决定了材料的非均质性和力学性能一定程度上的随机性。混凝土材料的破坏一般是由于初始存在的孔隙，在荷载的作用下逐渐发展变大，从而形成贯通的裂缝，因此，对混凝土材料内部孔隙的分布情况进行观察是十分有必要的，有助于一定程度上预判材料加载过程中的裂缝发展情况。然而混凝土材料一经破坏，就无法恢复原装，且不同的试块其内部存在的孔隙空间分布情况完全不同，所以就需要一种能够在不损坏材料的前提下观察到其内部结构的测量方法，利用扫描设备对材料进行观察便逐渐被广泛使用，最初常用的医用扫描设备，受限于使用场景和成像精细程度等原因，难以完全满足科研所需，现如今随着硬件发展，使用工业型扫描设备能够解决以上问题，达到科研人员的使用要求。

随着有限元软件的逐渐普及，使用相关软件建立材料的有限元数值模型成为研究材料力学性能的一个重要手段，混凝土材料作为一种最为常见的建筑材料，以往研究已经建立了大量的针对混凝土的数值模型搭建理论，然而，过往的针对混凝土此类的非均质材料数值模型建立，往往是采用数学原理，通过程序设置在模型中随机进行材料的空间分布定位，虽然此类方法契合了非均质材料的空间分布随机性，但仍然不能够完全反映

现实中存在的材料本身实际情况。结合上述的能够对被测材料进行无损扫描的 CT 设备，我们通过对扫描成像进行一系列处理，将二维的扫描图像进行处理，从而完成三维的图像重构，这种方法相比于以往常用的模型建立方法，能够更加真实的反映材料内部各个组分的具体情况。

基于以上分析，本文借助 CT 技术对被测材料进行扫描，通过一系列参数原理了解和参数设置，提供了一套适用于混凝土材料的扫描方法，同时介绍了一种适用于二维成像图片转化为三维模型的图像处理软件，通过一系列软件自带的操作，能够将目标成分直观的显现出来，为进一步观察材料内部组分的分布及变化情况提供了适用的方法。

1 工业扫描技术

1.1 原理介绍

使用工业扫描设备对被测试块进行测量，本质上就是利用射线穿过被测试块的一种探测手段，在射线从射线源发出时，其初始强度为 G ，当其通过被测试块时，试块内部存在着密度大小不一的组分，这些组分对射线强度的影响程度不同，一般来说，射线强度的下降幅度和组分的密度大小成正比，而在射线穿过被测试块到达射线接收装置时，该装置同时会接收到来自不同角度的射线，这些不同角度的射线强度不一，设备通过自带的软件算法将强度的衰减值转化为数据，从而得到试块不同角度的成分密度，进而将其转化为图像信息，从而得到了试块不同角度的内部真是截面情况。因此，得到的二维图像精密程度和接收装置所接收到的信息数量有

关,接收到的信息越多,来自不同角度的射线越多,反映出的被测试块内部的不同空间位置的组分分布情况也就越精细,得到的数据也就越精准。

扫描得到的数据信息,为了科学研究方便,采用定义射线强度的改变数值来描述,这个标准我们一般称其为“CT 数”。一般认为,水的 CT 数值是 103,而空气的 CT 数值定为基准零,扫描设备发出的射线通过水之后,强度会产生衰减,这个衰减的数值大小视作一个基准值,我们将其定义为 H:

$$H = \frac{\beta - \beta_{\text{水}}}{\beta_{\text{水}}} \times 10^3 \quad (1)$$

该式中:

β — 受扫描试件对扫描设备发出射线的强度影响值;

103 — 水的 CT 数值;

β 水 — 密度等于 1 时,水对扫描设备发出射线的强度影响值。

H 值实际上呈现的就是被测材料对扫描设备发出射线的强度影响幅度,以上可知,当被测材料其中某一组分的密度越大时,扫描设备发出的射线穿过这一组分的强度下降值就越高,反映在 H 值上就是数值越大,而在扫描得到的图形上,肉眼可以观察到该部分更加明亮。因此,扫描设备得到的图像信息文件,一般在使用软件进行处理的时候,关键就是需要找到各个组分对应的 H 值,通过 H 值来区分不同的材料成分。

1.2 设备设置参数

本次扫描采用的是混凝土立方体试块,尺寸为 100 mm×100mm×100mm,在本次使用的扫描设备中,因为防止被扫描试块的区域空间有限,所以无法扫描尺寸较大的试块,因此采用立方体试块。将立方体试块放置于扫描设备托盘中,随机便需要在设备电脑配套的软件中进行设置扫描的参数,系统默认的扫描参数不能直接使用,针对混凝土类的非均质材料,需要改变其电流值、电压值的大小,除此之外,还需要根据被扫描试块的尺寸大小和扫描设备的具体情况调整试块和射线发射源的距离,最后需要根据想要得到的扫描图像的精密程度设置扫描的次数,扫描次数越多,得到的图像数目也就越多,从而根据图像进行处理得到的三维图像也就更加精密,效果更好,扫描步数除了关系到扫描得到的图像精细程度之外,还会影响设备的运行时间,因此,一般扫描时不会无限制的放大扫描次数,这样一方面会导致需要处理的数据过多,另一方面过长的运行时间对扫描设备的

使用寿命有所影响。

混凝土材料作为一种随机性较强的非均质材料,其内部的界面过渡区、水泥砂浆以及骨料三部分成分,密度相差较大,因此在设置扫描参数的时候,需要综合考虑到三种材料对射线强度的衰减值,不能使用较小的射线电压值,因此选取射线电压值为 180kV;本次扫描的试块尺寸相对较小,因此选取射线电流值为 150 μA;根据现场的试块和探测接收装置的距离,确定试块距离扫描设备射线发射源的距离为 0.3m。扫描次数方面,采用系统默认的扫描方式,在扫描过程中,试块会随着射线的角度变化而进行 360° 的不停旋转,最终共计采集八百次图片。

2 试块的三维模型及孔隙呈现

2.1 可视化图形处理

针对扫描所得的二维图形,需要将其进行三维可视化,便于直观的观察到被扫描试块的整体情况,进而为后续分析其内部成分奠定基础。因此,采用美国的赛默飞世尔科技公司研制的图像处理软件 AVIZO 进行扫描所得图像信息的处理,该软件因其配套的图像处理功能往往与工业扫描设备进行结合使用,尤其适用于研究材料的组分。在该软件的基础上,通过将不同组分进行分离处理,可以将扫描得到的图形信息进行数据化。

打开软件,通过图片导入,将扫描所得到的一系列图片进行批量导入,紧接着使用软件自带的非局部均值滤波功能,该功能可以自动化消除图片在扫描过程中产生的部分噪点,提高图片的质量,利于后续进一步的图形处理。原始图片导入软件经过降噪之后,直观的呈现效果并不理想,并不能轻易的分辨出水泥砂浆以及骨料,孔隙由于较为微小,更是难以直接分辨出来,因此需要进一步的处理,也就是采用以上的 H 值进行不同组分之间的分离操作。

在 AVIZO 软件中,可以通过定义一个 H 值的操作将不同的组分更加清晰的分离出来,例如,将 H 值设置为 100,那此时图像中 H 值小于 100 的组分直接显示为黑色,而大于 100 的组分则直接显示为白色,通过此操作,便于我们分步区分不同的组分,但 H 值的选择需要通过不停的调试,利用 AVIZO 软件自带的图像处理功能,能够帮助我们选择一个最接近目标组分的 H 值,设置完毕 H 值之后,便可更加直观地分辨出不同成分。其中,白色部分则为混凝土的骨料,黑色部分则为我们的目标组分孔隙。

2.2 三维重构

打开软件，使用软件自带的体生成功能将二维图片转化为三维模型之后，使用体编辑功能切除掉模型边界部分成型效果不良的区域。此时便可得到一个混凝土试块的立体模型，如图1所示：

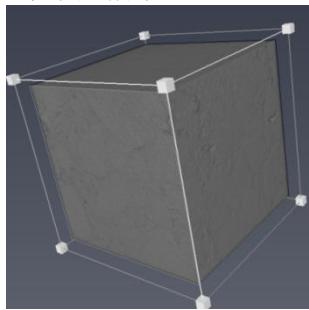


图1 试块立体模型重塑图

2.3 成分分离

通过以上的H值定义的操作能够有效的将水泥砂浆、骨料进行分离处理，但是在前期扫描的过程中，图像信息仍然存在着一点噪声杂质，并且扫描试块时设置电压电流值等参数难以完全匹配该材料，所以得到的图形信息总是不够清晰，因此，需要更加精细的图形处理操作来进一步的优化图片。采用现阶段图形处理较为常见的双峰法进行成分的分离，其本质就是，一个材料两种成分存在着不同的灰度值，而每种成分的灰度值都有一个范围，两种成分之间最为合理的分界灰度数，呈现在频数-灰度值曲线上则类似于两座山峰之间的山谷。基于这种方法，我们首先通过AVIZO软件自带的图像分析功能，将不同成分的灰度值范围分别导出，然后选取两个介于三种成分，即水泥砂浆、骨料以及孔隙三种成分之间的灰度值H1和H2，紧接着在图像处理软件中设置好这两个H值，AVIZO便会进一步的将不同成分分离，呈现的成分分离效果更好。

3 孔隙的三维重构

将以上完成成分分离的图片导入软件后，通过设置H值将孔隙进行单独的分离，再使用软件自带的体生成功能将孔隙部分进行单独的立体可视化，如图2所示。

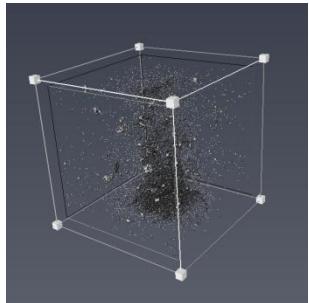


图2 试块内部孔隙的立体可视化

使用软件自带的体积分数计算功能，能够将试块内部的成分进行量化计算，其基本原理则是依托像素点，在孔隙的H值范围之内的像素点数目计算为n₁，整个图片所有成分的H值范围内的像素点数目计算为n₀，n₁/n₀的值即为孔隙的体积分数占比。

$$\eta(Z_1) = \frac{n_1}{n_0} \quad (2)$$

平面图形的计算成分占比原理同样如此，计算一张平面图形上某一组分的像素点数目，再计算整张图片上所有像素点的数目，目标成分的像素点数目与整张图片的像素点数目之比值即为平面图形上某一组分的占比。计算可得，该混凝土试件体孔隙率为0.92%。

4 结论

基于CT技术对混凝土试件进行了扫描，该方法能够将试件切面以数字图像信息呈现在桌面上，从而为材料的组分分析奠定了基础。

基于数字图像处理软件，通过一系列程序处理步骤，将二维数字图像重构为三维模型，实现了材料的三维可视化。

使用图像处理软件，将三维模型进行组分拆分，通过阈值的确定将组分分割，能够更加直观的观察到各类组分的占比情况，并且将三维模型进行整体化的组分分析，能够得到材料内部各组分的含量。

参考文献

- [1] 刘继国, 崔庆龙, 舒恒, 等. 基于X-CT成像的泡沫混凝土细观损伤模拟方法[J]. 隧道建设(中英文), 2024, 44(10): 1941-1949.
- [2] 杨吉龙, 丁维桐, 王泽萍, 等. 温度循环下CA砂浆力学特性与微观结构试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2019, 16(03): 684-689.
- [3] 刘科. 基于CT扫描技术的沥青混凝土数值试验研究[D]. 西安理工大学, 2023.
- [4] 李坤, 姜修丽, 田立勤, 等. 基于CT扫描的混凝土非均质性检测研究[J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(03): 5-8.

作者简介：刘朗（出生年份—1997），性别：男，民族：汉，籍贯：安徽蚌埠，职务/职称：助教，学历：硕士，单位：四川建筑职业技术学院，研究方向：轨道交通结构。