

# 国产核磁与 CT 仪器能力提升及典型应用

马晓凡<sup>1</sup>, 陈红<sup>2</sup>, 王颖<sup>3</sup>, 梅红<sup>1</sup>, 邹丽芳<sup>1</sup>, 宋泽卓<sup>1</sup>

(1.河海大学地球科学与工程学院, 江苏南京 211100; 2.河海大学水利水电学院, 江苏南京 210098; 3.淮阴工学院建筑工程学院, 江苏淮安 223003)

**摘要:** 大型仪器设备的机制化专业管理与高效率开放运行, 可有效支撑科学研究、人才培养与社会服务相关需求。采用国产核磁共振与 CT 扫描设备, 以砂黏混合土微观结构、高分子固化剂改性土固化膜结构、黏土干湿循环劣化规律的研究为例, 结合土体在自然环境中经历降雨日晒、温度变化等过程, 为解释土体宏微观参数之间的定量关系提供了有效方法, 为揭示自然环境变化过程对各类土体的劣化机理提供了参考依据。设备相关成果效益为国产大型仪器设备综合利用提供了良好典范。

**关键词:** 核磁共振; CT; 大型仪器设备; 土体; 微观结构

**中图分类号:** (请在 <http://www.ztflh.com> 查询) **文献标识码:**

## 1 引言

河海大学始终高度重视大型仪器设备运行管理与开放共享工作, 不断深入推进落实, 持续提高教学科研水平、促进学科交叉融合、加强创新人才培养。自 2013 年起, 实验与分析测试中心即按照仪器设备所服务的学科方向划分出若干实体开放共享实验平台, 以推进实验室面向校内外开放, 提升大型仪器设备开放共享服务水平。2017 年, 颁布了《河海大学大型仪器设备开放共享管理办法(试行)(河海校政[2017]74 号)》, 依据文件要求对各学院大型仪器设备进行了集约化整合管理, 统筹建设了多个院级大型仪器设备开放共享平台, 明确了大型仪器设备分管领导、平台负责人和专职运维人员职责。

2019 年, 历经多轮规划论证、服务功能调整和基础设施改造, “地学分析测试中心”院级开放共享实体平台正式成立。平台以学科发展和学校需求为导向, 实行“院级专管、校级统管”的开放共享管理机制: 配置专用场地, 下设 1 个样品室和 14 个参数分析室, 整合了水文、土工、岩石、物探、地球化学等参数的分析测试能力; 设置大型仪器运维专职人员 2 人, 负责平台建设规划、大仪设备计划、开放运行使用、规章制度制定、共享绩效评价等工

**基金项目:** 高等教育科学研究规划课题 (22SY0212)

**作者简介:** 马晓凡 (1989—), 男, 实验师, 硕士, 主要从事地质工程试验技术研究。E-mail: maxiaofan\_11@foxmail.com

**通信作者:** 陈红 (1981—), 男, 正高级实验师, 博士, 主要从事现代流体测试与河流模拟研究。E-mail: chh\_hhu@hhu.edu.cn

作的持续推进；统一信息化管理运行，通过河海大学大型仪器设备开放共享网络管理平台，实现预约送样、分析测试、使用记录、报告出具、经费划转的全流程管理。

本案例所涉大口径磁共振分析与可视化系统与多尺度高分辨 X 射线三维数字岩心成像分析系统 2 台大型仪器设备，在学校实体平台建设与管理保障条件下，以科学的规划建设、专业的人员管理、良好的运行维护和高效的开放共享，在科学研究、人才培养、社会服务和区域建设中发挥了重要作用，为国产大型仪器设备综合利用提供了良好典范。

土体具有复杂的颗粒组成与多孔的微观形态，对其宏观力学性质有着很大的影响，从而决定了土体的宏观工程特性<sup>[1]</sup>。传统的土工试验以均质材料假设为基础，对土体的宏观应力和应变进行测试<sup>[2]</sup>，缺少对微观结构的研究。面对岩土工程领域越来越复杂的土体材料，如各类砂土、黏土及其不均匀混合土，以及掺入高分子固化剂等材料的改性土，微观结构改变产生的微观力学性质积累，最终导致土体宏观性能的复杂变化。众多学者尝试从本质上探究其微观结构和微观机理对土体当前和后续宏观力学性质的影响，研究手段主要包括核磁共振技术（NMR）、压汞试验（MIP）、计算机断层扫描技术（CT）以及扫描电镜（SEM）等<sup>[3-5]</sup>。

在以上测试方法中，CT 扫描技术能够对岩土体整体结构进行测试，实现良好的三维重建效果<sup>[6-9]</sup>，核磁共振技术能够直观地观察到土体微观孔隙结构的特征<sup>[10-13]</sup>。两种方法均具有具有整体测量、快速分析、对土体结构无损等优点，正越来越多地被应用到土体微观结构的测试当中，在研究土体在经历冻融和干湿循环等自然环境变化前后的微观结构改变与损伤破坏方面具有显著优势，可为揭示土体破坏机制和失效模式的研究提供直观、多指标、量化的微观结构参数<sup>[14-18]</sup>。结合宏观特性的测试结果，得出微观参数与强度特性之间的关系，可为复杂环境变化下工程设施的建设维护提供一定参考依据<sup>[19-21]</sup>。

本案例采用大口径磁共振分析与可视化系统与多尺度高分辨 X 射线三维数字岩心成像分析系统，以砂黏混合土微观结构特性定量分析、高分子聚合物加固砂土固化膜结构演变、黏土干湿循环劣化机理三个具体研究为例，介绍国产核磁共振与 CT 扫描设备在土体结构研究中的应用开展情况，以及在科研服务、人才培养和共享辐射方面产生的成果效益。

## 2 试验设备

### 2.1 大口径磁共振分析与可视化系统

核磁共振（NMR, Nuclear Magnetic Resonance）是一种物理现象，是磁矩不为零的原子核，在外磁场作用下自旋能级发生塞曼分裂，在某一定频率共振吸收射频辐射的物理过程。即：对置于恒定主磁场  $B_0$  中的具有磁矩  $\vec{\mu}$  的原子核（如氢质子），施加一个与恒定主磁场垂