

低场时域磁共振多组分分析科研仪器的研制及应用

陆荣生^{1,2,*}, 姜晓文^{1,2}, 陈逸^{1,2}, 吴正秀^{1,2}, 杨志文^{1,2}, 张茜贝^{1,2}, 倪中华^{1,2}

(1.东南大学机械工程学院, 南京 211189; 2.江苏省微纳生物医疗器械设计与制造重点实验室, 南京 211189)

摘要: 低场时域磁共振 (TD-NMR) 技术是一种正在兴起的快速且无损的检测手段, 区别于高场磁共振技术, 其价值在于可以通过轻量化的仪器, 洞察复杂样本的物理或化学特性, 识别和表征样本的微观结构与成分。东南大学核磁共振实验室研制了低场磁共振关键硬件, 开发了多种组分分析方法, 并将硬件与方法结合构建了完整的仪器系统, 实现了低场时域磁共振技术在多孔介质分析、小鼠体成分分析和生物流体分析等多项领域上的应用, 为生命科学、多孔介质、能源勘探和生物医药等领域提供了重要的科研工具。

关键词: 低场时域磁共振; 多组分分析; 仪器研制

中图分类号: O482.53

文献标识码: A

Development and Application of TD-NMR Multi-component Analysis Instrument

Lu Rongsheng^{1,2}, Jiang Xiaowen^{1,2}, Chen Yi^{1,2}, Wu Zhengxiu^{1,2}, Yang Zhiwen^{1,2}, Zhang Xibei^{1,2}, Ni Zhonghua^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 211189; 2. Jiangsu Key Laboratory of Design and Manufacture of Micro-Nano Biomedical Instruments, Southeast University, Nanjing 211189)

Abstract: Low-field time-domain nuclear magnetic resonance (TD-NMR) technology is an emerging, rapid, and nondestructive detection method. Different from high-field magnetic resonance technology, the value of TD-NMR lies in its ability to access the physical or chemical properties of complex samples and identify the microstructure and composition by using lightweight instruments. Southeast University NMR Lab (SEU NMR Lab) has developed the key hardware and various multi-component analysis methods for TD-NMR. Combining the hardware and analysis methods, SEU NMR Lab builds complete instrument systems and realizes

*作者简介: 陆荣生(通信作者), 男, 1985 年出生, 博士, 副教授, 硕士研究生导师。主要研究方向为低场核磁共振极限检测及仪器。E-mail: lurs@seu.edu.cn

applications in porous medium analysis, live mouse body composition analysis, and biological fluid analysis. These achievements provide important tools for life science, porous media, energy exploration, biological medicine, and other scientific research fields.

Keywords: Low-field time-domain magnetic resonance, multi-component analysis, instrument development

引言

自 1946 年磁共振信号发现以来, 磁共振技术就在各个研究领域展现出极大的生命力。磁共振因为其无损性、准确性而被广泛应用于生物医学^[1]、农业食品安全^[2]、地质勘探和测井^[3]等领域, 磁共振因为独特的分辨能力, 具有无可取代的价值。

低场时域磁共振 (TD-NMR) 技术^[4, 5]是一种正在兴起的快速、无损的检测技术, 以测量无空间编码的信号为目标, 检测对象通常为氢原子核。与高场成像磁共振和磁共振波谱相比, 低场时域磁共振对磁场均匀的要求较低, 可以使用永磁体, 且不需要梯度单元以及低温冷却系统, 因此仪器的体积更小, 仪器成本和维护费用更低。虽然目前小型化的时域磁共振仪器还无法取代精准的高场磁共振设备, 但小型化的仪器可以在苛刻现场条件下发挥着重要的检测作用, 带来巨大的检测便利性。

一般认为在复杂样本中观察到的磁共振弛豫信号是多个指数衰减曲线的和, 说明样本具有多项弛豫特征, 而样本的弛豫特征常与样本的物理化学性质关联^[6]。在样本中, 对表现为同一类弛豫特征的物质并称为同一组分, 因此多组分分析的应用价值在于分析时域磁共振信号, 分析样本中弛豫组分的构成, 从而洞察复杂样本的物理或化学特征, 广泛用于识别和表征样本中各种微观结构和成分。可见, 多组分分析可以看作物质的磁共振信号走向物质特性的一个“加工过程”。

东南大学核磁共振实验室在国家自然科学基金重大科研仪器研制等项目资助下, 在低场磁共振科学仪器磁体^[7-10]和探头^[11-13]研制、信号分析算法^[14, 15]以及仪器应用^[16-25]方面积累了十多年的研究经验, 开发了面向人体小鼠体成分分析^[18]、多孔介质分析^[19, 24]和人体血糖分析^[16, 17, 23]等多种科研仪器。为此, 本论文首先简单介绍了实验室在低场时域磁共振多组分分析仪硬件上的研制, 然后介绍低场时域磁共振弛豫信号的多组分分析方法的设计, 最后介绍了低场时域磁共振多组分分析仪在不同场景下的应用。

1 低场时域磁共振硬件系统的研制