

2017年度国家自然科学奖推荐项目公示内容

1. 项目名称：

高场核磁共振仪器核心部件与关键技术

2. 推荐单位意见

针对我国高场核磁共振仪器设备完全依赖进口的现状，以及仪器自身存在的技术瓶颈，该项目围绕高场核磁共振仪器核心部件和关键技术开展技术攻关和创新，解决了仪器系统架构、伪信号抑制、谱图分辨率和数据处理普适性等四大关键技术问题，并发明了分布式核磁共振控制台、全数字化并行信号收发以及场频联锁技术、不均匀不稳定磁场下高分辨谱图技术以及高普适性的自动数据处理算法和伪峰抑制方法等四项关键技术，四项技术均为全新技术，采用了独特的设计方案，创新性突出，技术难度大。同时，该项目在国内首次研制出具有自主知识产权的商品化高场核磁共振谱仪，技术指标达到了国际先进水平，实现了规模化生产，产品已应用于多家科研单位、高校和高科技公司。高场核磁共振谱仪的成功研制和应用，打破了国外少数厂商在核磁共振仪器领域的技术垄断，实现了我国高场核磁共振仪器技术从无到有的重大跨越，满足了国家重大战略需求，产生了显著的经济和社会效益，为发展我国大型科学仪器产业创造了更高平台。该项目技术发展前景广阔，已被用于研发高端核磁共振成像系统和动态核极化分子影像系统，具有显著的潜在社会和经济效益。

推荐材料真实有效，相关栏目符合填写要求，公示无异议。

推荐该项目为国家技术发明二等奖。

3. 项目简介

高场核磁共振仪器作为一种重要的检测分析及影像工具，已发展成为医药开发、临床医学、生命科学研究等领域不可或缺的技术手段。然而，我国基于高场核磁共振仪器的应用研究完全依赖于欧美等大型仪器生产商，不仅价格昂贵，而且系统封闭，制约了各领域的深入研究。随着核磁共振技术在生命科学等领域的不断发展应用，现有仪器存在如下瓶颈：1、无法满足分子影像研究和蛋白质组学研究对多核多通道并行激发和采集的需求；2、系统相位重复性及磁场强度长期稳定性差，且存在镜像干扰；3、无法获得软组织等形态的高分辨谱图；4、自动处理方法普适性低，无法适用于代谢组学等新兴学科。

该项目旨在打破国外的长期垄断，并突破核磁共振仪器在上述几方面的限制，满足新兴学科对核磁共振仪器的新需求，项目通过对**高场核磁共振仪器核心部件和关键技术**创新，成功研制出具有自主知识产权的高场核磁共振仪器。主要技术发明和创新成果如下：

1. **发明了分布式核磁共振控制台**。在国际上首次提出了分布式核磁共振谱仪控制技术，可减少95%的系统背板总线，实现多通道任意扩展，满足蛋白质组学等研究中需多种原子核的同时激发和观测等新需求。

2. 发明了全数字化并行信号收发以及场频联锁技术。通过高精度脉冲序列同步及全数字化锁场技术，解决了多模多源信号发射、接收机相位抖动和系统长期漂移大等问题，提高了系统相位及磁场强度的稳定性，消除了固有的镜像干扰。

3. 发明了一种不均匀不稳定磁场下高分辨谱图技术。利用快速三维匀场、分子间多量子相干等实验方法在国际上率先建立不均匀场高分辨技术，可直接获得各种软组织的高分辨核磁共振谱图。

4. 发明了高普适性的自动数据处理算法和伪峰抑制方法。在国际上首次提出了“准基线点”及“谱峰临界点”技术，解决了溶剂峰压制等特殊实验谱图的相位校正及基线问题；同时，提出了基于直接维均匀采样和间接维随机采样的核磁共振多维谱的伪峰抑制方法，解决了多维核磁共振数据处理速度慢和存在较多信号峰时无法有效抑制伪峰的问题，提高了自动数据处理方法的普适性。

项目技术成果已获授权发明专利 25 项，软件著作权 25 项，发表 SCI 论文 21 篇，专著 2 部。其中项目核心专利获中国专利优秀奖，相关成果获湖北省技术发明一等奖。项目的发明技术支撑了多项国家重大磁共振系统的研制，先后应用于高场核磁共振波谱仪的研制项目、超导核磁共振波谱仪的工程化开发项目、9.4T 超高场代谢成像磁共振系统研制项目以及稳态强磁场实验装置等国家重大工程和科研项目中。项目相关成果由所在单位组织多家公司实施成果转化，形成了系列化核磁共振波谱仪产品，目前成果转化单位具备年产 30 台以上高场磁共振仪器的生产能力，产品已销往全国 30 余家科研单位及高科技公司，应用范围包括生物制药、高分子材料和教学科研等众多领域，经济效益达 2 亿元，打破了国外高场核磁共振仪器技术的长期垄断，为发展我国大型科学仪器产业创造了更高平台。

4. 客观评价

本项目实施的高场核磁共振仪器研制与应用，一直得到国内外同行专家的关注与好评，并得到了国家相关部委的高度重视与大力支持，他们通过对本发明技术的评审及鉴定、对发表论文的评价、对本发明产业化高度支持以及对发明的推广和应用，直接或间接地对基于本项目研制的高场核磁共振仪器的先进性给予了高度评价。

1) 验收鉴定

国家质量监督检验检疫总局组织国内相关领域的专家，对“十一五”国家科技支撑计划“300MHz~500MHz 核磁共振谱仪的研制”项目的技术成果进行验收与评议，验收专家组认为，通过该项目的研制“形成了一只高水平的核磁共振仪器研发队伍，建立了核磁共振波谱仪研发平台，为核磁共振谱仪的国产化、产业化打下了基础”（附件 2-1）。国内核磁共振领域权威专家一致认为“谱仪的技术性能和实验功能与目前国际上同类商品核磁共振波谱仪的水平相当，实现了自主研制的现代高场核磁共振波谱仪从无到有的突破”（附件 2-2）。

同时，高场核磁共振谱仪的研制成果应用到国家大科学工程国家强磁场重大科技基础设施项目“用于 25T 磁体的 1.06GHz 核磁共振谱仪系统”的研制，专家组验收后评价“该系统为国内首台 1GHz 以上的核磁共振系统通用控制台，具有自主知识产权，为今后的超高场核磁共振谱仪的研制打下了基础”（附件 2-3）。

中国科学院条件保障与财务局组织专家，对国家重大科学仪器设备开发专项项目“500MHz 超导核磁共振波谱仪的研制与开发”进项验收，验收专家组认为项目“优化了超导核磁共振波谱仪控制台等核心部件，满足了仪器产业化的基本要求，满足了高场核磁共振仪器的常规要求”（附件 2-4）。

另外，基于本项目技术平台研制的中国科学院科研装备研制项目“脉冲动态核极化-核磁共振分子影像装置”顺利通过验收，验收专家组一致认为项目的实施“对于推进我国高端分析仪器国产化和开展创新研究具有重要意义，一致建议中国科学院继续支持该所进一步开展中场分子影像装置的研制”（附件 2-11）。

2) 产业化评价

鉴于本项目成果的优势与广阔的市场前景，“十二五”国家重大科学仪器设备开发专项组织实施“500MHz 超导核磁共振波谱仪的工程化开发”项目，支持将高场核磁共振谱仪技术产业化(附件 2-12)。

目前本单位已开展对本发明进行产业化转化的工作，已成功生产出 300MHz~600MHz 可任意多通道定制的系列化谱仪产品，研发和生产流程管理通过了 ISO9001 质量体系认证，制定了《超导核磁共振波谱仪》产品标准（附件 2-5），产品已销往 30 余家高科技公司及科研单位，并获得了 2012 年武汉光谷产业贡献奖。

鉴于我们提出的分布式控制台架构的创新性及先进性，以及控制台技术产业化的成功，项目完成单位与超导技术全球领先的英国牛津仪器公司已正式组建成立了武汉中科牛津波谱技术有限公司，由项目完成单位提供超导核磁共振波谱仪控制台、控制和数据处理软件与探头技术，牛津仪器公司提供全套超导磁体的生产工艺和技术，在武汉光谷建立 400MHz-600MHz 超导磁体和控制台的生产线，将实现超导核磁共振波谱仪全套技术和产品的国产化。

3) 用户评价

项目研制的技术发明成果已在 30 余家单位实验测试与应用开发，用户给予了好评，并普遍认为：与进口仪器相比，操作使用方便，易于维护，并能满足特定应用需求，加快了科研进程，提高了科研单位科研水平和生物制药公司的技术创新能力。

4) 国际同类产品实验比较

本项目研制过程中与国外谱仪进行了充分的对比，谱仪的多项电性能指标均优于国外谱仪（见表 1）。同时，谱仪的多家用户均使用本仪器与国外同类最新仪器进行了实验对比，均反映在核磁实验结果上与国外谱仪完全一致，如中国科学院武汉物理与数学研究所王玉兰研究组进行的代谢组学对比实验，谱图效果和统计结果与国外谱仪高度一致（附件 2-6），如图 12 所示，该结果发表在国内核磁共振领域权威杂志《波谱学杂志》上。

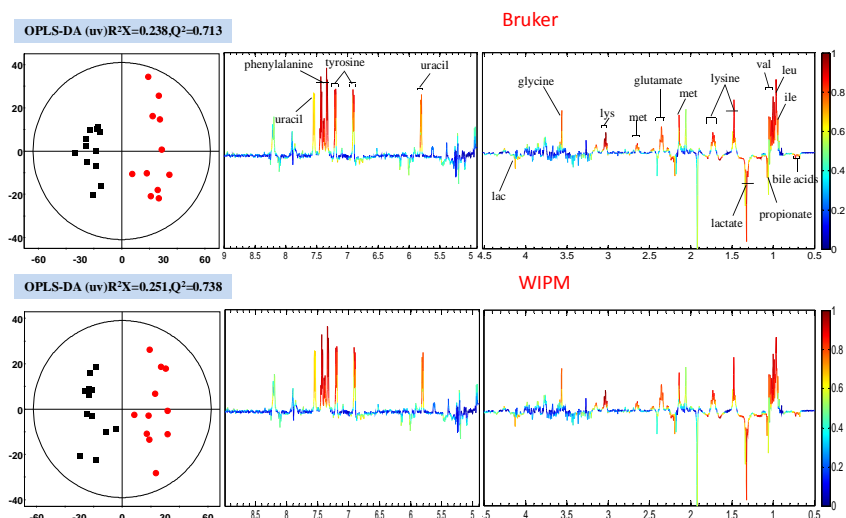


图 12 Bruker 谱仪与国产谱仪实验结果对比

5) 查新结论

中国科学院武汉科技查新咨询检索中心于 2016 年 12 月对本核磁共振谱仪关键技术以“分布式核磁共振控制台”、“全数字化并行信号收发以及场频联锁技术”、“一种不均匀不稳定磁场下高分辨谱图技术”、“一种高普适性的自动数据处理算法”为主题进行查新检索，给出了“项目的创新点在国内外相关文献中未见相同报道”的查新结果。（附件 2-19）。

6) 获奖情况

本项目技术核心专利“核磁共振控制台”获得 2014 年度中国专利优秀奖(附件 5-1)。“高场核磁共振仪器关键技术及核心部件的开发与应用”获得 2013 年度湖北省技术发明奖一等奖（附件 5-2）。

5. 推广应用情况

在众多涉及核磁共振波谱技术的国家级重大工程和科研项目中，都采用了本发明的技术成果，相关应用项目包括：中国科学院重大科研装备研制项目“9.4T 超高场代谢成像磁共振系统控制系统”研制（附件 2-13）；国家强磁场重大科技基础设施项目“用于 25T 磁体的 1.066GHz 核磁共振谱仪系统”研制（附件 2-14）；“十一五”国家科技支撑计划“核磁共振超导磁体技术的研究和开发”课题（附件 2-15）；国家重大科研仪器设备研制专项“用于人体肺部重大疾病研究的磁共振成像仪器系统研制”（附件 2-16）；中国科学院支撑服务国家战略性新兴产业科技行动计划专项“超导核磁共振波谱仪”（附件 2-17）；国家重大科研仪器研制项目“多核素同步一体化肿瘤分子成像仪器研制”（附件 2-18）。

主要应用单位情况见表 2。

表 2. 主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
武汉中科牛津	高场核磁共振波	2013.08-至今	卢放	实现高场核磁共振谱

波谱技术有限公司	谱仪整机技术、 数字化关键部件 技术		/13886133583	仪的产业化，打破了 国外垄断
武汉大学	高场核磁共振波 谱仪整机技术、 自动数据处理技 术	2012.05-至今	吴晓军 /13871073733	为多个国家基金项目 服务
湖北大学	高场核磁共振波 谱仪整机技术、 自动数据处理技 术	2012.04-至今	张金枝 /15387158280	研制手性诱导试剂 等，并扩展学院的研 究方向
中国科学院电 工研究所	高场核磁共振波 谱仪整机技术、 自动匀场技术	2012.12-至今	王秋良 /13911367216	为超导磁体研制提供 实验平台
中国医学科学 院药物研究所	高场核磁共振波 谱仪整机技术、 自动数据处理技 术	2014.10-至今	贺文义 /13641276316	用于药物相关研究
润佳（苏州） 医药科技有限 公司	高场核磁共振波 谱仪整机技术、 自动数据处理技 术	2016.01-至今	汪洋 /13914064691	医药产品和生物制品 研发及化妆品的技术 开发相关的检测
武汉中科麦特 技术有限公司	高场核磁共振波 谱仪整机技术	2011.08-至今	喻门 /13476105682	代谢组学检测分析

6. 主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	发明人	专利权人	发明专利有效状态
发明专利	核磁共振控制台	中国	ZL200410060985.3	2008.05.07	第394916号	刘朝阳, 裘鉴卿, 叶朝辉	中国科学院武汉物理与数学研究所	有效
发明专利	核磁共振波谱仪上缩减相位编码数快速三维梯度匀场方法	中国	ZL201210282508.6	2014.07.09	第1438886号	刘光曹, 陈忠, 陈志伟	厦门大学	有效
发明专利	一种核磁共振多维谱的伪峰抑制方法	中国	ZL201110136076.3	2011.05.24	第1265151号	蒋滨, 蒋先旺, 肖楠, 罗凡, 张许, 刘买利	中国科学院武汉物理与数学研究所	有效
发明专利	一种数字化的核磁共振锁信号收发装置	中国	ZL200810236609.3	2012.10.3	第1055164号	刘朝阳, 姜婷婷, 毛文平; 裘鉴卿, 叶朝辉	中国科学院武汉物理与数学研究所	有效
发明专利	射频信号产生装置	中国	ZL200910272875.6	2012.11.21	第1081664号	刘朝阳, 梅径, 毛文平	中国科学院武汉物理与数学研究所	有效
发明专利	一种核磁共振谱仪接收机数字抽取滤波器的同步方法	中国	ZL201010137094.9	2013.03.06	第1146354号	刘朝阳, 胡鹏	中国科学院武汉物理与数学研究所	有效
发明专利	一种高场核磁共振波谱仪 ¹ H/ ¹⁹ F通道前置放大器	中国	ZL200910112762.X	2012.10.31	第1071079号	孙惠军, 陈忠, 包长虹, 戴春亮	厦门大学	有效
发明专利	一种自动相位校正方法	中国	ZL201110378840.8	2013.09.18	第1275056号	刘朝阳, 鲍庆嘉, 陈方, 冯继文	中国科学院武汉物理与数学研究所	有效
发明专利	一种自动基线校正方法	中国	ZL201110263690.6	2013.09.07	第1246993号	刘朝阳, 鲍庆嘉, 陈方, 冯继文	中国科学院武汉物理与数学研究所	有效
发明专利	一种核磁共振谱仪的数据采集装置	中国	ZL201010283561.9	2013.08.07	第1248358号	刘鸿飞, 陈忠, 孙惠军, 陈志伟, 郑振耀	厦门大学	有效

7. 主要完成人情况

1、姓名：刘朝阳

排名：1

技术职称：研究员

工作单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

完成单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

对本项目主要学术贡献：项目主持人，全面负责项目研究、技术成果的应用和推广工作，是项目核心专利“核磁共振控制台”的第一完成人，对发明点 1、2、3、4 均有贡献。旁证材料见“附件”中的发明专利：附件1-1，附件5-12，附件5-13；论文：附件5-3，附件5-4，附件5-5。

曾获国家科技奖励情况：无

2、姓名：陈忠

排名：2

技术职称：教授

工作单位：厦门大学

完成单位：厦门大学

对本项目技术创造性贡献：项目核心部件与软件系统研制负责人，主要负责项目前放系统、室温匀场电源系统以及控制和数据处理软件的研制工作，是项目核心专利“核磁共振波谱仪上缩减相位编码数快速三维梯度匀场方法”的主要发明人，对发明点 2、3 均有贡献。旁证材料见“附件”中的发明专利：附件1-2，论文：附件5-6，附件5-7，附件5-8，附件5-9，附件5-10。

曾获国家科技奖励情况：无

3、姓名：刘买利

排名：3

行政职务：所长

技术职称：研究员

工作单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

完成单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

对本项目技术创造性贡献：项目关键技术研制负责人，主要负责项目数据处理方案的设计，是项目核心专利“一种核磁共振多维谱的伪峰抑制方法”的主要发明人，对发明点4有贡献。旁证材料见“附件”中的发明专利：附件1-3；论文：附件5-11。

曾获国家科技奖励情况：无

4、姓名：裘鉴卿

排名：4

技术职称：研究员

工作单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

完成单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

对本项目技术创造性贡献：项目核心部件研制负责人，并参与项目总体方案设计，主要负责数字化锁信号收发装置的研制，是项目核心专利“核磁共振控制台”的主要发明人之一，对发明点 1、2 均有贡献。旁证材料见“附件”中的发明专利：附件1-1，附件5-14；论文：5-3。

曾获国家科技奖励情况：无

5、姓名：叶朝辉

排名：5

技术职称：研究员

工作单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

完成单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

对本项目技术创造性贡献：项目核心部件与关键技术研制负责人，主要负责控制系统与数据处理方案设计，并参与项目建议与总体方案设计，是十一五国家科技支撑计划“300MHz~500MHz核磁共振谱仪的研制”课题负责人，也是项目核心专利“核磁共振控制台”的主要发明人之一，对发明点 1、2、4均有贡献。旁证材料见“附件”中的发明专利：附件1-1，附件5-14，附件5-15；论文：附件5-3，附件5-11。

曾获国家科技奖励情况：无

6、姓名：鲍庆嘉

排名：6

技术职称：副研究员

工作单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

完成单位：中国科学院武汉物理与数学研究所

对本项目技术创造性贡献：项目技术骨干，主要负责自动相位校正方法和自动基线校正方法的研究，对发明点3、4 均有贡献。旁证材料见“附件”中的发明专利：附件5-12，附件5-13；论文：附件5-3，附件5-4，附件5-5。

曾获国家科技奖励情况：无

8. 完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

本项目在 2007 年-2010 年的研制期间，陈忠教授作为参研单位厦门大学的代表，其个人和团队全程参与本项目的研制过程，其主要负责本项目前放系统、室温匀场电源系统以及控制和数据处理软件的研制工作，并在研制过程中合作发表论文 3 篇（见“附件” 5-8, 5-9, 5-10）。在项目完成研制时，这些部件及软件作为超导核磁共振波谱仪的一部分，顺利通过了项目验收。

本项目在 2007 年-2010 年的研制期间，刘买利研究员作为项目的主要完成人之一，参与项目数据处理方案设计，发明了基于直接维均匀采样和间接维随机采样的核磁共振多维谱的伪峰抑制方法，在研制过程中合作发表论文 2 篇（见“附件” 5-11, 5-12）。在项目完成研制时，核磁共振多维谱伪峰抑制方法成果作为超导核磁共振波谱仪的一部分，顺利通过了项目验收。

本项目在 2007 年-2010 年的研制期间，裘鉴卿研究员作为项目的主要完成人之一，参与项目总体方案设计，是分布式控制台主要发明人之一，在研制过程中合作申请国家发明专利 2 项（见“附件” 1-1, 5-15），合作发表论文 1 篇（见“附件” 5-3）。在项目完成研制时，分布式控制台及相关成果作为超导核磁共振波谱仪的一部分，顺利通过了项目验收。

本项目在 2007 年-2010 年的研制期间，叶朝辉院士作为课题负责人，主要负责项目建议与总体方案设计，是分布式控制台主要发明人之一。在研制过程中合作申请国家发明专利 3 项（见“附件” 1-1, 5-14, 5-15），合作发表论文 5 篇（见“附件” 5-3, 5-8, 5-9, 5-10, 5-11）。在项目完成研制时，分布式控制台及相关成果作为超导核磁共振波谱仪的一部分，顺利通过了项目验收。

本项目在 2007 年-2010 年的研制期间，鲍庆嘉副研究员作为项目技术骨干，主要负责自动数据处理方法研究，发明了新的自动相位校正和自动基线校正方法，合作申请发明专利 2 项（见“附件” 5-13, 5-14），合作发表相关论文 3 篇（见“附件” 5-3, 5-4, 5-5）。在项目完成研制时，这些部件及软件作为超导核磁共振波谱仪的一部分，顺利通过了项目验收。

特此说明！

第一完成人签名：刘买利

2017 年 1 月 3 日

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者 (项目排名)	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	参研	陈忠(2)	2007年-2010年	论文3篇	见附件证明材料5-8, 5-9, 5-10	
2	参研	刘买利(3)	2007年-2010年	论文2篇	见附件证明材料5-11, 5-12	
3	参研	裘鉴卿(4)	2007年-2010年	国家发明专利2项, 论文1篇	见附件证明材料1-1, 5-15, 5-3	
4	参研	叶朝辉(5)	2007年-2010年	国家发明专利3项, 论文5篇	见附件证明材料1-1, 5-14, 5-15, 5-3, 5-8, 5-9, 5-10, 5-11	
5	参研	鲍庆嘉(6)	2007年-2015年	发明专利2项, 论文3篇	见附件证明材料5-13, 5-14, 5-3, 5-4, 5-5	

承诺: 本人作为项目第一完成人, 对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责, 特此声明。

第一完成人签名: 