

项目名称	油气井探测技术创新与产业化
推荐单位	中国石油大学(北京)

## 项目简介

### 研究目的:

油气是流体矿藏，深埋地下数千米深的岩石微孔隙中，看不见，摸不着。井筒是油气开采的唯一通道，也是油气探测获取一手资料的主要通道。随着深层、深水、非常规油气的规模化开采，油气井探测技术和装备面临新的挑战，发展油气井探测高端技术和成套装备是油气工业的重大需求，得到国家科技重大专项的持续支持。

本项目聚焦从井筒实施储层改造前、改造中和改造后的探测评价，特别是油气井核磁共振与声波技术及高效射孔应用开展创新研究，在核磁共振录井、核磁共振测井、声波成像测井、高效射孔等系列关键技术取得突破，并实现产业化应用。油气井核磁共振和声波探测是国际前沿领域，需求量大，技术复杂，长期被美国垄断。在该项目实施前，我国高端油气井仪器和成套装备主要依赖进口。在国家重大专项支持下，“产学研用”紧密结合，围绕“测得准、效率高、探得远”的目标，持续攻关，历经原理探索、样机研制、工业放大、建立标准到成套装备批量生产。发明并成功研制能捕捉井旁非均质性变化的相控阵声波成像和对油气及孔隙结构灵敏的核磁成像等高端井下仪器，实现远程控制和实时信息共享的成像测井地面系统及资料处理解释应用软件平台，形成大型成套装备，显著提高我国石油石化领域先进高端装备制造水平。

### 主要技术创新点:

- 1) 提出核磁共振实时在线录井方法，发明了高精度核磁共振录井仪器装置。
- 2) 提出能够同时测量井旁地层裂缝或地层界面距离及方位的反射声波成像测井技术。在国际上率先采用声波相控阵技术进行辐射声波和接收声波方案以及机电一体化设计和先进大规模可编程电子线路、电子仓直接承压等系列技术，发明研制出反射声波测井仪器，评价井旁地层界面或裂缝，径向探测距离可达 40 米，方位信息分辨率优于  $22.5^\circ$ 。
- 3) 提出致密复杂油气储层多维多方位核磁共振理论，突破深层及水平井、套管井等建立核磁共振原位精准测量的技术瓶颈，在国际上率先采用多段式零漏磁磁体设计、探测器阵列和大功率射频发射技术，创立分区扫描探测技术，实现井周非均质性核磁仪器创新和致密微纳米孔隙性渗透性含油气性表征。
- 4) 创新设计和研制了成像测井的远程操控系统，实时数据传输和信息交互，实现成像测井数据共享；提出多源数据联合反演技术，实现成像测井数据快速处理与解释评价应用。

### 成果产生的价值:

该发明形成的关键技术和重大装备具有完全自主知识产权。解决致密复杂及裂缝型油气储层评价长期疑难问题，间接和潜在经济效益巨大。助力“一带一路”战略，在乌兹别克斯坦和伊拉克等 6 个国家开展技术服务，并销售到俄罗斯、伊朗等国家，实现从纯进口到出口的历史性转变。专家鉴定，打破国外技术垄断，关键性能指标达到国际领先水平。项目组获得中国石油化学联合会成像测井创新团队奖及中国石油天然气集团公司和中国机械工业联合会等一等奖，关键技术两次入选中国石油十大科技进展。

## 推广应用情况

本项目依托国家“十二五”油气重大专项“EILog 快速与成像测井技术系列研究”、国家 863 项目“先进测井技术与装备”和中国石油天然气集团公司重大专项课题“测井前沿技术与应用基础研究”，围绕成像测井重大成套装备的关键技术，研制系列化声波成像测井仪器、核磁共振测井仪器的发射器、接收器、电子线路及井下仪器装置，开发远程控制、数据采集与实时共享的地面系统仪器装置及射孔层段优选的方法，形成完整的高性能成像测井仪器装备，实现“探得远”、“测得准”、“效率高”的目标。

项目自 2003 年起，由候选单位及合作企业，分别研制出 BAR-II 远探测方位声波成像测井仪，MRT6910 多频核磁共振成像测井仪，EILog 快速与成像测井成套装备，HH-2580 成像测井系统，以及智能组合成像测井系统（Smart Combo560）等，成为中国石油天然气勘探开发领域的主力测井装备。截至“十二五”末，北京环鼎公司的 HH-2580 已经销售国内外约 150 台套，中油测井公司的 EILog 生产自用约 100 台套，该项目成像测井成套装备推广应用于国内外 28 个油气田。解决致密复杂及裂缝型油气储层评价长期疑难问题，间接和潜在的经济效益巨大。

本项目高性能成像测井仪器装备的进步，有力支撑我国油气增储上产。在长庆油田，为上产 5000 万吨提供了有力保障；在塔里木深层，准确识别构造特征和流体性质；在青海复杂碎屑岩储层，精细评价孔隙结构和流体性质，准确划分有效厚度，增加油层厚度，为青海油田产能建设发挥了重要作用；在新疆玛湖特大砾岩油田发现和开采中，提供关键信息，显著降低综合成本；助力“一带一路”战略，在伊朗、伊拉克、哈萨克斯坦、也门、乌兹别克斯坦、苏丹、越南和印尼等十几个国家开展技术服务，并销售到俄罗斯、伊朗等国家，实现从纯进口到出口的历史性转变。针对苏丹低阻油层、哈萨克斯坦、中东大型碳酸盐岩油藏等利用该项目成像测井成套装备形成综合评价技术，建立海外测井数据库，为海外油气业务提供重要技术支持。

主要完成单位情况	
	中国石油大学（北京）
第一完成单位	<p>对本项目的贡献：</p> <p>对发明点 1、2、3 和 4 有重要贡献，在该候选项目中，承担并创造性完成多频核磁共振成像，远探测声波成像及储层改造三项关键技术的研发及成套装备研制，建立了成像测井理论体系，完成基础理论、数值模拟，井下探测器、电子线路、数据采集系统及数据处理解释平台等研发工作，开展推广应用。</p>
第二完成单位	<p>厦门大学</p> <p>对本项目的贡献：</p> <p>对发明点 1 和 3 有重要贡献，是项目核心部件与软件系统研制主要成员，负责量子调控实现不均匀不稳定磁场高分辨核磁共振自旋回波精密测量的研制工作。</p>
第三完成单位	<p>中国石油集团测井有限公司</p> <p>对本项目的贡献：</p> <p>在该候选项目中，创新研制成功 EILog 成像测井系统及远探测声波测井及多频核磁共振测井仪器，并实现产业化推广应用，取得重大成效，产生巨大经济效益，推动力产业科技进步，提升了我国测井工业的国际影响力。是中国石油系统成像测井的组织者、研发者、实施者，代表我国成像测井技术水平。</p>
第四完成单位	<p>北京环鼎科技有限公司</p> <p>对本项目的贡献：</p> <p>在该候选项目中，研制成功 HH-2580 成像测井系统及声波成像和核磁共振等井下仪器，成为我国成像测井及高端井下仪器的代表之一，取得显著经济效益。</p>

主要完成人情况				
第 1 完成人	姓名	肖立志	行政职务/技术职称	教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	<p>对本项目主要贡献：</p> <p>项目负责人。对主要技术创新点 1、2、4 均有重要贡献，是主要知识产权中的专利及相关专利群的主要发明人；是《成像测井学基础》专著的第一作者；是多频核磁共振仪及其配套技术的首席科学家和主要设计者。协同中石油、中海油、中石化及中国船舶重工集团环鼎公司等单位，推动井下核磁共振和成像测井大型成套装备的研制及工业化应用。</p>			
第 2 完成人	姓名	田守嶒	行政职务/技术职称	副院长/副研究员
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	<p>对本项目主要贡献：</p> <p>对主要技术创新点 2、3、4 均有重要贡献，是多个核心发明专利的发明人，在储层改造技术研究及其在油气井工程中的应用，钻完井及储层改造应用方面取得重要创新成果。</p>			
第 3 完成人	姓名	鞠晓东	行政职务/技术职称	教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	<p>对本项目主要贡献：</p> <p>对本项目主要创新点 2、4 有重要贡献，是知识产权目录中发明专利的主要发明人。担任国家重大专项课题长，负责声波测井仪器的总体设计。提出并实现方位远探测原型机 V1.0 和工业样机 V2.0 的探测器结构和机械、电子系统架构。</p>			
第 4 完成人	姓名	李根生	行政职务/技术职称	副校长/院士
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	<p>对本项目主要贡献：</p> <p>对主要技术创新点 1、2、3、4 均有重要贡献，指导开展成像测井技术研究及其在油气井工程中的应用，是钻完井及储层改造应用方面的发明专利的主要完成人。</p>			
第 5 完成人	姓名	陈忠	行政职务/技术职称	院长/教授
	工作单位	厦门大学		

	对本项目主要贡献： 对主要技术创新点 1 和 3 有重要贡献，是项目核心部件与软件系统研制主要成员，负责量子调控实现不均匀不稳定磁场高分辨核磁共振自旋回波精密测量的研制工作。			
第 6 完成人	姓名	汤天知	行政职务/技术职称	总工程师/教授级高工
	工作单位	中国石油集团测井有限公司		
	对本项目主要学术贡献： 对主要创新点 1、2、3、4 均有重要贡献。担任中石油测井总工程师，负责成像测井关键技术重大装备项目的选题、立项、设计研究思路、构建研究路径及项目研究过程中的指挥、协调和管理以及技术标准的制定。课题总体设计和关键技术研究攻关，组织完成仪器方法研究、机电设计、采集和解释软件开发，协调完成刻度与现场测井试验，组织完成技术推广与应用。			
第 7 完成人	姓名	黄中伟	行政职务/技术职称	教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	对本项目主要贡献： 对主要技术创新点 2 和 4 均有重要贡献，是部分主要发明专利的发明人，在项目涉及的岩石力学、水力射流及射孔压裂方面取得重要创新成果。			
第 8 完成人	姓名	廖广志	行政职务/技术职称	副教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	对本项目主要学术贡献： 对主要技术创新点 1、3 和 4 均有重要贡献，是多个核心发明专利的主要发明人。在井下多维核磁共振成像测井方法和仪器研制方面取得重要创新成果。			
第 9 完成人	姓名	宋先知	行政职务/技术职称	教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	对本项目主要贡献： 对主要技术创新点 2 和 4 均有重要贡献，在钻完井、成像测井技术应用及储层改造应用等方面取得重要创新成果。			

第 10 完成人	姓名	赵宏林	行政职务/技术职称	教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	<p>对本项目主要贡献：</p> <p>对主要技术创新点 3 有重要贡献，是部分发明专利的主要发明人。设计研制了多极子、三维声波、方位远探测、动电探测器等一系列声波测井仪器的声系、电子线路、隔声体及相关试验测试装置的机械结构；确定并设计了各短节之间的机械接口；参与声波测井仪机械结构的装配、联调、测井仪的测井试验。</p>			
第 11 完成人	姓名	乔文孝	行政职务/技术职称	教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	<p>对本项目主要贡献：</p> <p>对本项目主要技术创新点 3 和 4 有重要贡献，创新点 3 涉及的发明专利的主要发明人。是相控声波测井理论和方法研究的主要负责人，长期专注与声波测井的基础理论研究、探测器设计、实验测试。协助项目开展推广应用。</p>			
第 12 完成人	姓名	谢然红	行政职务/技术职称	教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	<p>对本项目主要贡献：</p> <p>对主要技术创新点 1 和 3 有重要贡献，是核磁共振相关技术发明专利的发明人之一，对多频核磁共振成像测井的基础理论和解释应用有突出贡献。</p>			
第 13 完成人	姓名	车小花	行政职务/技术职称	教授
	工作单位	中国石油大学（北京）		
	<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>对主要技术创新点 3 有重要贡献，是部分声波测井发明专利的主要发明人。突出贡献有相控声波测井的基础理论研究、探测器设计和实验测试，并协助项目推广应用。</p>			
第 14 完成人	姓名	李梦春	行政职务/技术职称	高工
	工作单位	中国石油大学（北京）		

	对本项目主要贡献： 对本项目主要创新点 1、3 和 4 均有贡献，是多个成像测井发明专利的主要发明人。完成多频核磁共振等多种成像测井仪器的设计、制作和推广应用，尤其其发射电路、接收电路、采集电路、通讯电路设计、调试有重要贡献。负责组织仪器产业化和建立生产线。主持制定了《核磁共振测井仪》企业标准和行业标准。			
第 15 完成人	姓名	李英波	行政职务/技术职称	总经理/教授级高工
	工作单位	北京环鼎科技有限公司		
	对本项目主要贡献： 对项目主要科技创新点 1, 2, 3 和 4 有贡献。作为项目负责人，负责 HH-2580 成像测井系统和井下仪器的总体及电路设计，同时，推动北京环鼎科技有限公司成像测井重大装备的制造及规模化应用。			

## 十、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)	授权或申请号	授权日期	权利人	发明人	发明专利有效
授权发明专利	方位核磁共振测井仪的探头及方位核磁共振测井仪	中国	201510614232.0	2017-12-12	中国石油大学(北京)	肖立志,罗嗣慧,李新,廖广志,刘伟,陈伟梁,	专利权有效
授权发明专利	多方位核磁共振测井仪及天线激励方法	中国	201510614128.1	2017-12-12	中国石油大学(北京)	肖立志,廖广志,李新,孙哲,刘伟,陈伟梁,王杰	专利权有效
授权发明专利	核磁共振流体分析仪和核磁共振测量方法	中国	201110357940.2	2015-12-16	中国石油大学(北京)	肖立志,刘化冰,于慧俊,郭葆鑫,胡海涛,李新,邓峰,安天琳	专利权有效
授权发明专利	MOS 管驱动式隔离泄放电路	中国	201510614315.X	2017-11-14	中国石油大学(北京)	肖立志,刘伟,朱明达,廖广志	专利权有效
授权发明专利	带状线核磁共振探测器件及其加工方法	中国	201110442542.0	2014-07-02	中国石油大学(北京)	肖立志,吴保松,李晓南,郭葆鑫,安天琳	专利权有效
授权发明专利	连续油管超临界 CO <sub>2</sub> 喷射压裂方法	中国	201110078618.6	2013-11-06	中国石油大学(北京)	李根生,王海柱,沈忠厚,田守嶒,黄中伟,史怀中,宋先知	专利权有效
授权发明专利	检测模拟实际工况水力喷射压裂孔内压力分布的实验装置	中国	201210203777.9	2015-06-10	中国石油大学(北京)	黄中伟,李根生,牛继磊,田守嶒,赵振峰,付钢旦,李宪文	专利权有效
授权发明专利	油气井水力压裂裂缝扩展可视化实验方法及装置	中国	201310407768.6	2016-09-07	中国石油大学(北京)	盛茂,李根生,邵尚奇,田守嶒,陈立强,耿黎东	专利权有效
授权发明专利	水力喷射径向钻孔与压裂一体化方法	中国	201410148299.5	2017-06-25	中国石油大学(北京)	李根生,黄中伟,田守嶒,王海柱,付宣,李敬彬	专利权有效
授权发明专利	磨料喷射装置及磨料射流射孔、分层压裂方法	中国	200910082408.7	2012-01-04	中国石油大学(北京)	李根生,黄中伟,牛继磊,田守嶒	专利权有效
授权发明专利	一种随钻三维反射声波成像测井相控阵声源装置及方法	中国	201510586811.9	2016-04-29	中国石油大学(北京)	车小花,乔文孝,鞠晓东,卢俊强	专利权有效

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地)	授权或申请号	授权日期	权利人	发明人	发明专利有效
授权发明专利	三维声波井下仪器换能器阵列的激励电路	中国	201110320326.9	2015-04-01	中国石油大学(北京)	卢俊强, 鞠晓东, 车小花, 乔文孝	专利权有效
授权发明专利	一种基于相控圆弧阵的声波测井方位接收方法及装置	中国	201310367372.3	2015-04-15	中国石油大学(北京)	车小花, 乔文孝, 鞠晓东, 卢俊强	专利权有效
授权发明专利	一种声波测井模拟实验系统及换能器定位装置、组合设备	中国	201510367222.1	2016-08-24	中国石油大学(北京)	车小花, 乔文孝, 鞠晓东, 卢俊强	专利权有效
授权发明专利	一种声电效应测量井下探测器	中国	201210280746.3	2015-03-02	中国石油大学(北京)	卢俊强, 鞠晓东, 乔文孝, 车小花	专利权有效
授权发明专利	一种用于声波测井仪的承压电子仓	中国	201210479064.5	2015-10-21	中国石油大学(北京)	赵宏林, 鞠晓东, 乔文孝, 卢俊强	专利权有效
授权发明专利	基于凝胶的电测井探测器实体的物理模拟装置及其形成方法	中国	201210375273.5	2015-04-22	中国石油大学(北京)	鞠晓东, 乔文孝, 卢俊强	专利权有效
授权发明专利	超滤法构建电测井探测器实体物理模拟装置	中国	201210369469.3	2015-01-07	中国石油大学(北京)	鞠晓东, 乔文孝, 卢俊强	专利权有效
授权发明专利	低场核磁共振测量页岩有机质含量的方法及装置	中国	201510628221.8	2017-05-23	中国石油大学(北京)	肖立志, 贾子健, 廖广志	专利权有效
授权发明专利	低场核磁共振确定沥青质含量的方法及装置	中国	201510628183.6	2017-10-10	中国石油大学(北京)	肖立志, 陈伟梁, 廖广志, 贾子健	专利权有效
授权发明专利	低场核磁共振岩石有机质检测方法和装置	中国	201510625002.4	2017-12-26	中国石油大学(北京)	廖广志, 杜群杰, 肖立志,	专利权有效
授权发明专利	多维核磁共振测井仪的刻度装置	中国	201510614328.7	2018-03-09	中国石油大学(北京)	廖广志, 肖立志, 杜群杰	专利权有效
授权发明专利	多维核磁共振流体组分含量测量方法及装置	中国	201510766342.9	2017-09-30	中国石油大学(北京)	廖广志, 肖立志, 陈伟梁	专利权有效

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地)	授权或申请号	授权日期	权利人	发明人	发明专利有效
授权发明专利	核磁电子线路检测仪	中国	201210272172	2016-02-24	北京环鼎科技有限责任公司	李英波, 饶立强, 郭宝左	专利权有效
授权发明专利	核磁共振测井孔隙度校正方法及装置	中国	201510614235.4	2018-03-09	中国石油大学(北京)	廖广志、肖立志、杨传锋、傅少庆、邵杰、杜群杰	专利权有效
授权发明专利	核磁共振分析仪和核磁共振测量方法	中国	201110357940.2	2015-12-16	中国石油大学(北京)	肖立志, 刘化冰, 于慧俊, 郭葆鑫, 胡海涛, 李新, 邓峰, 安天琳	专利权有效
授权发明专利	核磁共振分析仪滑台和核磁共振分析仪	中国	201210067251.2	2015-02-04	中国石油大学(北京)	肖立志, 于慧俊, 刘化冰, 胡海涛, 李新, 傅少庆, 郭葆鑫	专利权有效
授权发明专利	核磁共振井下流体分析仪	中国	201510612698.7	2018-03-06	中国石油大学(北京)	肖立志, 赵江杰, 杜群杰, 廖广志, 邓峰	专利权有效
授权发明专利	核磁共振有机页岩的组分区分方法和装置	中国	201510595185.X	2017-09-17	中国石油大学(北京)	廖广志, 肖立志, 杜群杰	专利权有效
授权发明专利	基于 LBM 模拟低场核磁共振分析流体的方法及装置	中国	201510614337.6	2017-07-21	中国石油大学(北京)	肖立志, 郭龙, 廖广志	专利权有效
授权发明专利	井下稠油分子链长的测量方法和装置	中国	201510958700.6	2017-11-24	中国石油大学(北京)	肖立志, 邓峰, 刘化冰, 李新, 张宗富	专利权有效
授权发明专利	居中型核磁共振测井仪探头永磁体	中国	200710098887.2	2011-12-07	中国石油大学(北京)	张本庭; 王瑞清; 肖立志; 胡法龙	专利权有效
授权发明专利	具有多层磁体的核磁共振测井仪探头及天线激励方法	中国	201510614309.4	2018-03-09	中国石油大学(北京)	肖立志, 廖广志, 杜群杰, 罗嗣慧	专利权有效
授权发明专利	具有双层磁体的核磁共振测井仪探头及天线激励方法	中国	201510614329.1	2018-03-09	中国石油大学(北京)	肖立志, 廖广志, 杜群杰, 李新, 罗嗣慧	专利权有效
授权发明专利	石油储层岩石组分识别与定量评价方法	中国	201510613657.X	2017-12-18	中国石油大学(北京)	廖广志, 肖立志, 杜群杰	专利权有效

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地)	授权或申请号	授权日期	权利人	发明人	发明专利有效
授权发明专利	页岩含气量分析方法和装置	中国	201510767706.5	2017-04-19	中国石油大学(北京)	肖立志, 郭龙, 廖广志	专利权有效
授权发明专利	一种不均匀磁场下获得高分辨率核磁共振三维谱的方法	中国	2014101514981	2016-07-06	厦门大学	黄玉清, 陈忠	专利权有效
授权发明专利	一种高场核磁共振波谱仪 X 核通道宽带前置放大器	中国	201010120870.4	2012-10-03	厦门大学	孙惠军, 陈忠, 裴晓俊, 包长虹, 戴春亮.	专利权有效
授权发明专利	一种用于任意磁场环境的核磁共振二维扩散排序谱方法	中国	2016101395801	2017-08-29	厦门大学	黄玉清, 陈忠, 汪凯宇	专利权有效
授权发明专利	一种在不均匀磁场下获取二维核磁共振相干谱图的方法	中国	201510437976X	2017-04-05	厦门大学	陈忠, 韦芝良, 杨健, 陈友和, 陈林, 林雁勤	专利权有效
授权发明专利	在线核磁共振宽频射频信号功率放大电路	中国	201510614339.5	2018-02-01	中国石油大学(北京)	肖立志, 冯硕, 朱明达, 杨光, 廖广志	专利权有效
授权发明专利	一种随钻测量地面系统	中国	201410468604.9	2018-05-29	北京环鼎科技有限责任公司	何明, 李英波, 刘金柱	专利权有效
授权发明专利	一种测量钻井的硬电极组合测井仪	中国	201310404276.1	2016-01-06	北京环鼎科技有限责任公司	何明, 李英波, 刘金柱	专利权有效
授权发明专利	一种液压推靠器	中国	201310277323.0	2016-08-10	北京环鼎科技有限责任公司	何明, 李英波, 刘金柱	专利权有效
授权发明专利	一种测量钻井的硬电极组合测井仪	中国	201310404276.1	2016-01-06	北京环鼎科技有限责任公司	何明, 李英波, 刘金柱	专利权有效
授权发明专利	岩性密度-微球聚焦测井仪复合探头	中国	200810114712.0	2012-09-26	北京环鼎科技有限责任公司	何明, 李英波	专利权有效
授权发明专利	一种用于感应测井仪器的芯轴	中国	201310109956.0	2016-12-28	中国石油集团测井有限公司	李梦春, 王丽蓉, 王正, 江友宏, 陈燕红, 王鲁, 王丽, 刘薇, 党峰	专利权有效

知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地)	授权或申请号	授权日期	权利人	发明人	发明专利有效
授权发明专利	一种感应成像测井技术校正与标定系统	中国	201510927775.8	2017-11-07	中国石油集团测井有限公司	党峰, 李梦春, 陈涛, 马骁, 彭其尧, 徐永发, 刘伟	专利权有效
授权发明专利	一种测量地层电阻率的阵列感应测井线圈系	中国	200910235768.6	2014-08-06	中国石油集团测井有限公司	李长文, 仵杰, 周军, 陈涛, 李梦春	专利权有效