

2019 年国家技术发明奖提名公示内容

一、项目名称：高性能核磁成像测井关键技术与应用

二、提名者：院士提名

三、提名意见：

该项目针对井下复杂环境建立核磁共振的条件和油气储集层核磁共振的特性等基础前沿与瓶颈问题，在国家科技重大专项、国家 863 计划和国家自然科学基金重点基金项目支持下，持续攻关，历经原理探索、样机研制、建立标准到成套装备批量生产，形成高性能核磁成像测井关键技术，并成功投入工业化应用。主要发明点有：（1）发明了井下三维核磁成像测井仪探头和井下核磁仪器。（2）发明了井下核磁快速数据采集和深度反演方法与装置。（3）发明了井下核磁连续定量评价储层渗透率、束缚水饱和度、储层流体识别和润湿性的方法与装置；建立了实验测试分析行业标准，研发出处理与解释软件系统，满足了国内外复杂油气储集层精细评价需求，见到显著成效。

获得授权发明专利 65 件，其中国外发明专利 2 件，软件著作权 5 件；国家和企业标准 6 项；中英文专著 5 部，发表 SCI 收录学术论文 116 篇。

研发的高性能核磁成像成套仪器装备填补了国内空白，打破了国外公司长期垄断，发明成果入选中国石油十大科技进展。建成成套装备生产线，在国内外多个油田得到应用，取得显著经济效益，应用前景广阔。该项目获得教育部和北京市及中国石油石化联合会科技成果一等奖 3 项。

经审查，推荐书及附件材料真实有效，相关栏目填写符合国家科技奖励要求。对照国家技术发明奖授奖条件，推荐该项目申报国家技术发明奖二等奖。

四、项目简介：

核磁成像技术自上世纪八十年代起在医学领域得到成功应用，其技术复杂，价格昂贵，因功能强大、成效显著已成为医学诊断不可或缺的手段。该项目研制的核磁共振探测成套装备，需要放到直径小于 22 厘米、深度数千米的井下，在高温高压、微弱信号等极端条件下进行核磁共振原位测试分析，实现油气储集层定量精细评价。

井下核磁共振产业化应用始于上世纪九十年代，市场潜力巨大，但一直被国外公司垄断。核磁探测技术显著提高了油气水识别率和探井成功率，已经成为油气勘探特别是“深层、深水、非常规油气”等领域不可替代的重要手段，涉及重大装备和先进制造。进口仪器每支超过千万元，并附加限制境外使用的苛刻条款，防止与国外销售方竞争，导致“国内用不起，国外不让用”的局面。研发自主知

识产权井下核磁仪器，形成成套装备，意义重大。

该项目自 2003 年起，在国家科技重大专项、国家 863 计划和国家自然科学基金重点基金项目支持下，持续攻关 15 年，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，形成高性能井下核磁探测成套装备，达到国际同类产品先进水平，在国内外油气田推广应用，取得显著成效，引领我国低场核磁技术和应用进入世界先进行列。

主要发明：

(1) 发明了井下核磁探头和井下核磁仪器。针对井下复杂环境建立核磁共振条件的技术瓶颈，率先采用探测器阵列和相控原理，使 B_0 与 B_1 磁场在预设区域正交，实现居中、偏心以及分区扫描等探测特性的仪器创新。发明了刻度装置确定 90° 脉冲和标定孔隙度。

(2) 发明了井下核磁快速数据采集和回波串反演方法及装置。针对井下核磁探测效率与分辨率的矛盾，发明减小振铃影响的快速一维和二维脉冲序列及多级降噪方法，探测效率提高至少 2 倍，信噪比提高可至 8 倍。发明深度维反演方法及装置，与纵向响应函数联合反演，使分辨率突破探测器限制，在水平层状地层可达到两倍的采样间隔。

(3) 发明了井下核磁连续定量评价油气储集层方法及装置。立足孔隙介质核磁理论前沿，发明核磁确定储层渗透率、束缚水饱和度、储层流体识别和润湿性的方法与装置，建立了实验测试分析行业标准。研发的处理与解释软件系统，满足了国内外复杂油气储集层精细评价需求。

上述发明构成高性能井下核磁成像探测成套装备的基础。获得授权发明专利 65 件，其中国外发明专利 2 件，软件著作权 5 件；国家和企业标准 6 项；中英文专著 5 部，发表 SCI 收录学术论文 116 篇。实现井下核磁成套装备的国产化，规避了知识产权风险，摆脱了对国外技术的依赖。合作企业已建成 6 条生产线，国内新增市场占有率达到 90%。迄今中石油和中海油生产的井下核磁共振成套装备一次下井成功率均为 100%。在我国新疆、四川、湛江、华北、中原、大庆及“一带一路”国家等多个油气田开展推广应用，解决陆上及海洋油气勘探的问题，获得新认识，发现开发新储层，取得显著经济效益和社会效益。为推动行业技术进步和提升国际竞争力做出了重要贡献。显著提高我国石油石化领域先进高端装备水平和国际影响力。

该项目曾获北京市和石油石化联合会技术发明一等奖 3 项。专家鉴定认为，填补了国内空白，打破了国外技术垄断，关键性能和指标等达到国际领先水平。

五、客观评价：

1. 国内外同行评价与认可

- 该发明成果被欧洲地质学家与工程师学会(European Association of Geoscientists & Engineers)官方公开报道，该项目负责人受邀到哈佛大学、MIT 和美国著名油气技术公司斯伦贝谢道尔研究中心做特邀专题报告。美国物理学会会士、斯伦贝谢公司首席科学家评价认为项目负责人及其团队在井下核磁共振技术与应用方面做出了杰出贡献，引领技术的发展。
- 该项目发明成果被美国德州大学奥斯汀分校著名专家 Carlos T. Verdin 教授在 *Journal of Magnetic Resonance* 上发文引用发明成果
- 美国工程院院士 George J. Hirasaki 教授：2016 年在著名期刊 *Petrophysics* 上发表的论文中引用该项目发明成果。
- 该项目负责人被聘为相关国际学术组织 MRPM 和 SRMR 的理事和常务理事，担任相关国际学术组织 EAGE 中国分会（原北京分会）主席；担任“核磁共振显微成像国际会议（ICMRM）”大会主席。

2. 科技成果鉴定与项目验收意见

- 中国科学院院士、专家鉴定意见：提出了复杂油气藏多维核磁共振理论，在国际上率先实现井周三维（轴向-径向-周向）核磁共振探测，创新研制出居中型、贴井壁型和运动型等系列核磁共振技术及探测器。该成果理论技术水平高，生产应用成效好。井下三维核磁共振油气探测技术达到国际领先水平。
- 中国石油和化工自动化应用协会组织院士、专家鉴定意见：成果填补了该领域国内空白，打破了国外垄断，总体技术达到了国际先进水平。其中核磁共振信号降噪、减小振铃影响、二维快速测量脉冲序列数据采集等技术达到国际领先水平。
- 科技部国家重大研发专项验收意见（2016 年 7 月）：实现核磁共振成像测井等技术发展的重大跨越，应用效果和社会经济效益显著。
- 科技部“863”项目验收意见（2017 年 5 月）：为解决复杂和非常规储层油气评价提供了手段。

3. 科学技术奖励

- 2018 年教育部高校科学研究优秀成果奖一等奖，油气井探测关键技术与工程应用创新。
- 2016 年度中国石油和化工自动化行业科学技术发明一等奖，超高性能成像测井成套装备与工业化应用。
- 2015 年获得北京市科学技术发明一等奖，井下核磁共振探测关键技术与规模化应用。

六、应用情况：

该项目自 2009 年至今在中石油和中海油等多家合作企业建立生产线和技术服务基地，并在我国新疆、四川、湛江、华北、中原、大庆及“一带一路”国家等多个油气田开展推广应用，解决陆上及海洋油气勘探的问题，获得新认识，发现开发新储层，取得显著经济效益和社会效益。

七、主要知识产权和标准规范等目录:

知识产权(标准)类别	知识产权(标准)具体名称	国家/地区	授权号(标准编号)	发明人(标准起草人)	发明专利(标准)有效状态
发明专利	三维核磁共振测井仪探头、测井仪及天线激励方法	中国	ZL201510613872.X	肖立志, 李新, 廖广志, 罗嗣慧, 孙哲, 刘伟, 陈伟梁, 王杰, 廖坤铁	有效专利
发明专利	随钻核磁共振测井仪探头及随钻核磁共振测井仪	中国	ZL201210137281.6	肖立志, 李新, 胡海涛, 于慧俊, 刘化冰, 郭葆鑫, 安天琳, 宗芳容	有效专利
发明专利	深度维磁共振反演获取横向弛豫时间谱方法及装置	中国	ZL201210037899.5	肖立志, 黄科	有效专利
发明专利	Multi-azimuth Nuclear Magnetic Resonance Logging Instrument and Antenna Excitation Method	美国	US 10151852 B2	肖立志, 廖广志, 李新, 邓峰, 罗嗣慧, 孙哲, 刘伟, 陈伟梁, 王杰	有效专利
发明专利	Multi-detecting Depth Nuclear Magnetic Resonance Logging Tool and Probe, and Antenna Excitation Method	美国	US 10151808 B2	肖立志, 孙哲, 廖广志, 罗嗣慧, 李新, 杜群杰, 刘伟, 陈伟梁, 王杰	有效专利
发明专利	储层渗透率确定方法及装置	中国	ZL201610330618.3	谢然红, 刘秘, 段野	有效专利
发明专利	一种储层束缚水饱和度确定方法及装置	中国	ZL201610849935.X	谢然红, 金国文, 刘秘, 孙新超, 王帅	有效专利
发明专利	一种储层流体识别方法	中国	ZL201210418195.2	胡法龙, 周灿灿, 李潮流, 徐红军, 李长喜	有效专利
发明专利	一种判断储层岩石的润湿性的方法	中国	ZL201010226290.3	胡法龙, 周灿灿, 刘忠华, 徐红军, 李潮流	有效专利
发明专利	核磁电子线路检测仪	中国	ZL201210272172.5	李英波, 饶立强, 郭宝左	有效专利

八、主要完成人情况：

序号	主要完成人	主要完成人所在单位
1	肖立志	中国石油大学（北京）
2	廖广志	中国石油大学（北京）
3	谢然红	中国石油大学（北京）
4	胡法龙	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
5	周灿灿	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
6	李英波	北京环鼎科技有限责任公司

九、完成人合作关系说明：

本项目团队主要成员多年来一直密切合作，主要情况如下：

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果
1	共同获奖	肖立志/1 廖广志/2 谢然红/3 李英波/6	2008-2015	井下核磁共振探测关键技术与规模化应用，北京市科学技术发明一等奖
2	共同知识产权	肖立志/1 胡法龙/4	2007-2011	国家发明专利，居中型核磁共振测井仪探头永磁体，ZL 200710098887.2
3	共同知识产权	胡法龙/4 周灿灿/5	2010-2015	国家发明专利，一种储层流体识别方法，ZL201210418195.2
4	共同知识产权	肖立志/1 廖广志/2	2015	美国发明专利，Multi-azimuth Nuclear Magnetic Resonance Logging Instrument and Antenna Excitation Method, US 10151852 B2
6	共同完成项目及成果鉴定	肖立志/1 廖广志/2 谢然红/3 胡法龙/4 周灿灿/5 李英波/6	2011-2017	共同立项和成果鉴定《井下油气探测关键技术创新与应用》