

提高油气采收率全国重点实验室：以科技创新助力油气增产与碳封存

吕伟峰

在全球绿色低碳转型加速推进、“碳达峰、碳中和”成为国际共识的背景下，油气行业亟需探索油气开发与碳利用封存协同发展的“双赢”路径。提高油气采收率全国重点实验室（以下简称“实验室”）紧密围绕保障国家油气能源安全和实现“双碳”目标两大战略需求，依托中石油集团在技术、产业、人才、资金等方面的优势，持续强化战略定位和体制机制创新，加强支撑保障，致力于构建绿色低碳的大幅度提高油气采收率和全产业链CO₂捕集、利用与封存理论技术体系，为国家油气能源产业链安全和如期实现双碳目标提供不竭科技动力。

秉承使命担当，打造世界一流技术策源地

实验室前身为提高石油采收率国家重点实验室，是2005年我国首批依托企业建设的36家国家重点实验室之一，也是2022年国家重点实验室体系重组以来我国首批批准建设的20家全国重点实验室之一。自组建以来，实验室先后创立了陆相油藏精细水驱、化学驱、热力采油、CO₂驱油与埋存等理论技术体系，在水驱、化学驱领域保持国际领先地位，开创并引领了我国CCUS（碳捕集、利用与封存）产业的发展。

进入新时期，实验室按照新的使命定位，加强从提高原油采收率向油气并举、绿色低碳转变，着力破解大幅度提高采收率和CCUS基础理论和关键核心技术难题，支撑“碳（烃）库—碳开采—碳利用—碳埋存—碳转化”绿色碳循环产业变革和一体化发展，打造世界一流实验室与原创技术策源地。目前，实验室拥有固定人员近400名，实验仪器设备400余台/套，标志性设备60余台/套，在北京大学等高校建有5个分实验室，大庆、长庆、塔里木等7个实证基地和示范基地，与全球30多个国家和地区的200余家知名高校、科研机构和企业建立广泛合作。

提高采收率技术持续升级，助推全藏波及极限提采双重突破

针对不同类型、开发阶段油藏大幅度提高采收率的共性技术难题和技术需求，大力推进特色技术攻关和矿场试验。

一是研发全藏均衡波及技术，支撑高含水老油田控水稳油。针对高含水油田多级水流优势通道、水驱“短路”及注水、注化学剂低效、无效循环严重等技术难题，实验室提出“堵、调、控”协同技术思路，研发“超细水泥体系封堵窜流大孔道+

凝胶与颗粒体系分级调堵优势通道”技术体系。该体系具备“注得进、走得远、堵得住、封得久”四大优势，可实现优势通道分级深部调堵。目前，该技术在我国西部油田首次成功开展高固相含量（45%）、高排量（最高3m³/min）大孔道封堵先导试验，效果显著。

二是提出终极采油法技术途径并逐步试验验证。针对开发初、中期油藏，采用化学/生物法“精准”采油，研制出适合不同类型油藏的高效中相微乳液驱油体系，水驱基础上可提高驱油效率40个百分点。该体系已在我国鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地的油田开展试注试验，降水增油效果初显；针对开发后期油藏，实验室采用高温热采法“极限采油”，注空气油层自生热辅助混相驱技术实现地下残余油氧化升温加热采油。该技术在松辽盆地试验井组已持续生产3年，单井日产油提高2—5倍，阶段采出程度提高10个百分点。

三是发明火驱+烟道气共轭开发模式，有望破解火驱排放困境。火驱技术虽具备“驱油效率超95%、采收率达50%—70%”的优势，但烟道气排放量大、油藏适应性窄，制约其工业化推广。实验室创新提出“火驱+烟道气共轭开发”模式，将火驱产生的烟道气回注油藏二次驱油。该模式在我国北部油

田启动重大开发试验后，日产油提高3倍。

四是构建智能分子设计方法，推动驱油剂研发范式革新。通过创新自治场理论和耗散粒子动力学模拟方法，实验室在高性能表活剂设计中探索成功，将单位表活剂可混相的原油量从20提高至35，研发出适用于多种复杂油藏环境的高效中相微乳液驱油体系，使用浓度从3%降低到0.3%。

加快推动CCUS全产业链技术研发，筑牢“双碳”战略支撑

为加快构建CCUS全产业链理论技术体系，为油气行业践行“双碳”战略提供有力理论技术支持，实验室重点推进三方面工作。

一是开展CCUS潜力评价工作，落实超级盆地二氧化碳埋存量。基于我国陆相沉积储层特点，实验室开展油气藏、咸水层等主要地质体CO₂埋存潜力评价，明确我国三大油公司主要油气区CO₂理论埋存量和主要盆地咸水层CO₂有效埋存潜力。

二是突破非均质油藏CO₂驱油调控技术及工艺，支撑采收率持续提升。研制4种不同强度的强化WAG调驱体系，升级非均质油藏逐级调控油藏工程技术，发展分层注气、高气液比举升等技术。



吕伟峰：提高油气采收率全国重点实验室主任，中国石油勘探开发研究院党委委员、副院长

关键工艺技术，有效支撑现场规模应用。

三是研发了空中无人机、地表多点位协同、井下温压、井间ERT、井间微地震等监测技术与装备，构建了空中—地表—浅层—地下多位一体监测技术体系，研发了CO₂监测数据综合处理平台系统，最大监测误差缩小到6%，相关监测设备在吉林油田完成了成套验证。

面向未来，实验室将进一步强化基础研究、突出原始创新，支撑中国石油打造鄂尔多斯盆地、松辽盆地、准噶尔盆地三个千万吨级CCUS产业基地，构建亿吨级埋存基地，千万吨驱油新格局，勇当国家战略科技力量排头兵。

全链条技术创新，国产6.5kV碳化硅器件实现工程应用

赵国亮 杨霏 杨鹏

日前，由中国电力科学研究院有限公司联合多家单位共同完成的科技项目《国产6.5kV大容量碳化硅器件、装备及工程应用》荣获“中国电机工程学会电力科学技术进步一等奖”。

项目背景：新型电力系统呼唤高压大容量关键技术

随着高比例新能源发电与高比例电力电子设备广泛应用，新型电力系统在“发、输、变、配、用”各环节面临深刻变革。高压大容量器件作为电力电子装备的核心，对系统性能具有决定性影响。碳化硅材料具有耐高压、易导热等优异特性，器件容量有望提升10倍以上、损耗降低40%以上，已成为电力系统用第三代半导体的典型代表，是破解新能源规模化外送等新型电力系统建设瓶颈的关键基础技术。

立项之初，我国在碳化硅材

料领域完全依赖进口，器件研制尚属于起步阶段。对此，我国政府高度重视，连续将高压大容量碳化硅技术列入“十三五”“十四五”科技规划及2035年远景目标纲要。研制国产化高压大容量碳化硅器件，对于新型电力系统装备产业升级以及国家核心元器件自主可控均具有重大战略意义。

技术突破：十年攻坚实现全链条创新

项目依托国家自然科学基金、国家重点研发计划及国网公司科技项目，组建了半导体物理—微电子—高电压—电力电子—电力系统多学科、跨专业联合攻关团队，历经10年持续研究，实现了“材料—芯片—器件—装备”的全链条技术创新：

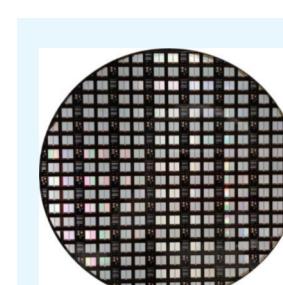
一是攻克了碳化硅超厚外延材料缺陷控制技术，研制了6.5kV/25A碳化硅MOSFET芯片，并在国际上首次研制出6.5kV/400A碳化硅器件，实现批量化制备；

二是开发出高压碳化硅器件高可靠驱动保护技术，发明了器件瞬态特性传感、驱动电压柔性调控与高速短路保护等技术，短路保护阈值裕度提升10倍以上，研制出全自主系列驱动保护芯片并实现批量应用；

三是突破了高压碳化硅装备研制及工程应用技术，发明了工/高频混频调制的整流/逆变同阀一体化高压换流器拓扑，器件数减少33%，研制出35kV/5MW全碳化硅电力电子变压器。

成果落地：国际领先技术辐射多行业，经济效益显著

项目成果经中国电机工程学会组织的第三方权威鉴定，被认为“在材料、器件、驱动及装备拓扑方面取得了原创性成果，整体技术国际领先”。项目共获授权专利48项，发表SCI/EI论文31篇，出版专著2部；牵头成立行业标准委员会并制定国/行/团标准8项。



6.5kV/25A 碳化硅
MOSFET芯片



35kV 四端口碳化硅电力电子变压器



6.5kV/400A 碳化硅
MOSFET器件



雄安新区零碳智慧驿站示范工程

项目成果已整体应用于雄安零碳交通能源互联网示范工程，填补了高压碳化硅器件及其应用的国际空白。核心装备推广至河北、上海等多项重点工程，器件、驱动等关键组件推广至5G、新能源、电动汽车、高铁及舰船等领域。相关技术辐射至各电压等级碳化硅材料、器件及装备研发，带动了全产业链技术升级，展现出显著的经济与社会效益。