**陕西省科学技术进步奖公示信息**

**（2024年度）**

一、项目名称

低压低渗透油藏二氧化碳地质利用及安全监测技术

二、提名奖种

陕西省科学技术进步奖

三、提名者及提名意见

**提名者：陕西省化工学会**

**提名意见：**

在国家实现双碳目标和保障国家能源安全背景下，将工业捕集的CO2用于油田提高采收率是实现其资源化利用和地质封存的双赢工程。针对低压低渗透油藏CO2地质利用及安全监测技术难题，团队开展持续攻关和实践，取得主要创新成果：（1）创建了低压低渗透油藏CO2地质利用“补-驱-调”一体化高效开发技术，提升CO2地质利用与封存效果；（2）构建了低压低渗透油藏CO2地质封存安全监测技术，支撑CO2封存安全评价和碳封存量核查验证；（3）研发了CO2泄漏风险管理与预测预警技术，提升风险管理水平及预测预警效率。项目成果已在靖边乔家洼、吴起油沟和安塞化子坪3个CO2非混相驱油与封存示范区成功应用，CO2驱累计增油4.80万吨，在原非混相驱基础上增油1.43万吨，安全封存CO2 28.60万吨，采收率可在水驱基础上提高10.46%，在原CO2非混相驱基础上提高2.35%。技术成果在提升CO2地质利用与封存效果方面应用潜力巨大，有助于促进低压低渗透油藏绿色高效开发和低碳高质量发展，以及助力陕西省和国家双碳目标的实现。本项目授权发明专利9件，其他知识产权59件。成果经陕西省化工学会组织专家鉴定，一致认为总体达到国际先进水平。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。

四、项目简介

在国家实现碳中和目标和保障国家能源安全的背景下，将工业捕集的CO2用于油田驱油提高采收率是实现其资源化利用和地质封存的双赢工程。鄂尔多斯盆地是我国最大的油气生产基地和重要的能源化工基地，具有“气源丰富、源汇匹配、地层稳定”等先天优势，是开展CO2地质利用和封存的最理想场所之一。

经过前期技术攻关和实践，延长石油已形成了低渗透油藏CO2驱油与封存一体化技术，但是在鄂尔多斯盆地低压低渗透油藏开展CO2地质利用和封存仍需攻克以下难题：（1）储层渗透率低，地层压力系数低，80%以上地质储量为非混相驱，如何改善低压低渗油藏CO2非混相驱油和封存效果；（2）CO2封存安全备受关注，立体式、多参数、高精度、长周期安全监测技术难度大，且缺乏系统性监测手段；（3）尚无有效的CO2泄漏风险管理与智慧化预测预警技术。

针对上述难题，陕西延长石油（集团）有限责任公司联合中国科学院武汉岩土力学研究所展开深入合作，依托国家重点研发计划以及陕西省重点研发计划项目，立足鄂尔多斯盆地，持续开展低压低渗透油藏CO2地质利用及安全监测技术攻关，创建了低压低渗透油藏CO2地质利用“补-驱-调”一体化高效开发技术、CO2地质封存安全监测技术以及CO2泄漏风险管理与预测预警技术。

五、客观评价

2023年3月16日，科技部高技术中心煤炭清洁高效利用和新型节能技术专项办在西安组织了国家重点研发计划“CO2驱油技术及地质封存安全监测”项目的综合绩效评价，主要评价意见如下：（1）项目开展了鄂尔多斯盆地低渗透油藏CO2驱油与封存协同优化，井筒完整性评价及安全防控CO2注入及封存状态地质与地球物理监测和CO2地质封存环境监测及预警等关键技术研究，建成了注气能力10万吨/年的CO2驱油与地质封存示范工程，相关技术成果在示范工程得到应用及验证。（2）研发了刻画低渗透储层非均质通道、多尺度缝网的动态油藏描述技术，建立了低渗透油藏CO2驱油与封存协同优化方法；形成了强度-韧性-稳定性多种判据井筒完整性评价方法，研发出抗管材应力腐蚀的混合型高效缓蚀剂；研发了高精度井-地全空间微震监测装备，实现了设备国产化，同时配套开发了井-地联合协同采集软件和处理解释软件；揭示了黄土塬沟壑地形盖层至地表的CO2泄漏迁移转化规律，优化了全时空多指标环境监测方案，构建了适合黄土塬CO2泄漏情景的监测及风险管理与预测预警系统；建成了安塞化子坪和吴起白豹CO2驱油与地质封存示范工程，年注气能力10万吨，采用油藏数值模拟技术预测化子坪CO2非混相驱采收率较水驱提高8.1%，吴起白豹CO2混相驱采收率较水驱提高12.95%。

2024年4月29日，陕西省化工学会组织专家对低压低渗透油藏CO2地质利用“补-驱-调”一体化高效开发技术进行鉴定，鉴定意见：创新研发“补-驱-调”一体化提高低压油藏CO2驱混相程度技术，解决了低压低渗油藏压力提升缓慢及CO2驱混相程度低的“卡脖子”难题；研发了“去甲烷伴生气”和“乙二醇丁醚+乙醇”降低最小混相压力体系，利用“内气外水”和“大排量CO2灌注”快速补充地层能量。发明了聚合物/表面活性剂/悬浮颗粒CO2增稠体系，形成了低渗透油藏CO2驱流度控制技术。研发了含不对称阴离子新型低界面张力粘弹性双子表面活性剂，形成了CO2-低界面张力粘弹性流体协同驱油技术。鉴定委员会认为，该成果整体国际先进，在CO2增稠流度控制技术及“补-驱-调”一体化技术方面达到国际领先水平，一致同意通过鉴定。

项目成果委托教育部科技查新工作站（Z08）对项目提出的科技创新点进行了国内外科技查新，查新结论为：综合分析比较可以看出：在国内外公开发表的中外文文献中与该项目查新点完全相同的未见报道。

本项目研究成果曾获得陕西省职工优秀科技创新成果金奖；榆林市科学技术一等奖2项；陕西石化科学技术一等奖；陕西省科技工作者创新创业大赛二等奖。

本项目研究成果多次被重要媒体宣传报道。2022年10月6日，获中央电视台的纪录片《征程》专题报道；2023年新华社以题为：中国对二氧化碳封存利用加速规模化，报道了项目的实施成果；2024年入选《能源浪潮》纪录片。上述媒体的多次深入报道，是对延长石油CO2地质利用及安全监测项目成果的充分肯定，显著提升了陕西能源企业在绿色低碳发展方面的影响力。

六、应用情况

本项目于2014年开始，重点围绕低压低渗透油藏CO2地质利用和封存安全监测展开技术攻关，创建了低压低渗透油藏CO2地质利用“补-驱-调”一体化高效开发技术、CO2地质封存安全监测技术以及CO2泄漏风险管理与预测预警技术。

2019年以来，上述技术成果先后在延长油田股份有限公司靖边采油厂乔家洼油区、吴起采油厂油沟油区、杏子川采油厂化子坪油区3个CO2非混相驱油与封存示范区，共计31个注气井组实施应用，旨在提升低压低渗透油藏CO2地质利用和封存效果，保障CO2地质封存安全性，提高CO2泄漏潜在风险管理水平和预测预警效率。近三年（2021.01~2023.12）以来，“补-驱-调”一体化技术应用后，示范区CO2驱累计增油4.80万吨，在原非混相驱基础上增油1.43万吨，采收率在水驱基础上提高10.46%，在原非混相驱基础上提高2.35%；“大气-浅地表-深部地层”监测结果表明未发生CO2泄漏，累计封存量28.60万吨；在CO2地质利用和封存全流程风险评价的基础上，搭建了国内首个CO2地质利用与封存泄漏风险管理和预测预警信息化平台，实现CO2地质利用与封存全流程信息共享、智能运行管理及科学决策，促进低压低渗透油藏绿色高效开发和低碳高质量发展，助力陕西省和国家实现双碳目标。

上述技术成果的成功应用，对低压低渗透油藏CO2地质利用和封存具有重要意义。据评估，延长油田CO2非混相驱地质储量达到14.8亿吨，CO2地质封存潜力为6.5亿吨，技术应用推广潜力巨大。

七、主要知识产权和标准规范等目录

主要知识产权和标准规范等目录见表1。

表1 知识产权和标准规范表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类 别 | 知识产权  具体名称 | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 发明人 |
| 1 | 发明专利 | 野外空气、二氧化碳气体浓度及环境参数的自动监测装置 | CN108106661B | 2020年12月22日 | 4166050 | 江绍静，赵习森，王维波，陈龙龙， 汤瑞佳，田东恩 |
| 2 | 发明专利 | 一种用于CO2驱油体系的发泡剂及其制备方法 | CN106634929B | 2019年11月5日 | 3583157 | 余华贵，王贺谊，吴丽，王蓓蕾，李剑，汤瑞佳，王维波，尚庆华，陈龙龙，郭茂雷，聂向荣，王伟 |
| 3 | 发明专利 | 一种超低渗地层内深井气液流体取样装置 | CN109667579B | 2021年7月13日 | 4542875 | 魏宁，李小春，刘胜男，胡元武 |
| 4 | 发明专利 | 基于深井取样的室内保真取样、存样与分析装置及方法 | CN10371834B | 2016年1月20日 | 1900813 | 魏宁，李小春，胡元武，王燕 |
| 5 | 发明专利 | 基于压力脉冲的分层流体监测及取样装置 | CN102505939B | 2015年4月22日 | 1641221 | 魏宁，李小春，王颖 |
| 6 | 论文 | CO2-Low interfacial tension viscoelastic fluid synergistic flooding in tight reservoirs | 2022,7,6271-6279 | 2022年2月22日 | ACS omega | Chen Longlong,  Liao Xinwei,  Tang Shanfa,  Feng Shuyun,  Tang Ruijia,  Jiang Shaojing,  Dong Yuanwu |
| 7 | 论文 | 气体示踪在非均质特低渗透油藏二氧化碳驱气窜监测中的应用 | 第43卷3期:56-59+4-5. | 2020年5月25日 | 钻采工艺 | 陈龙龙，白远，云彦舒，谢旭强，田丰，王维波，江晨硕 |
| 8 | 论文 | 水气交替注入对CO2驱油效果的影响 | 第23卷第3期:358-362 | 2016年5月25日 | 断块油气田 | 汤瑞佳，王贺谊，余华贵，王维波，陈龙龙 |
| 9 | 计算机软件著作权 | 延长石油CCUS示范工程智慧化信息平台软件V1.0 | 2022SR1483083 | 2022年9月13日 | 10437282 | 陈龙龙，汤瑞佳，罗婷婷，王维波，宋庆伟 |
| 10 | 地方标准 | 液态CO2驱油与封存注入地面操作规程 | / | 2022年12月17日 | DB61/T 1501-2021 | 江绍静，赵习森，陈龙龙，王维波，王蓓蕾，郭茂雷，张志升，汤瑞佳，王贺谊，李超跃，黄海，高超利，尚庆华，谢旭强，高愈知 |

1. 主要完成人情况

主要完成人情况见表2。

表2 主要完成人情况表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 姓 名 | 性别 | 出生年月 | 职务/职称 | 文化程度  （学位） | 工 作 单 位 | 对 成 果 创 造 性 贡 献 |
| 1 | 陈龙龙 | 男 | 1986年2月 | 副所长/高级工程师 | 博士  研究生 | 陕西延长石油（集团）有限责任公司 | 项目负责人，设计总体思路，制定研究方案，组织项目全面实施。 |
| 2 | 魏宁 | 男 | 1978年8月 | 研究员/教授 | 博士  研究生 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 主要负责深部钻井多相取样监测技术和CO2泄漏风险评价研究 |
| 3 | 汤瑞佳 | 男 | 1987年9月 | 副主任/高级工程师 | 硕士  研究生 | 陕西延长石油（集团）有限责任公司 | 主要负责低压低渗透油藏CO2地质利用高效开发技术、浅地表和大气CO2泄漏监测技术研究 |
| 4 | 罗婷婷 | 女 | 1985年9月 | 高级工程师 | 博士  研究生 | 陕西延长石油（集团）有限责任公司 | 主要负责CO2物理补能、降低混相压力技术、CO2注入井筒完整性评价指标体系和方法研究 |
| 5 | 刘春燕 | 女 | 1993年9月 | 高级工程师 | 大学本科 | 陕西延长石油（集团）有限责任公司 | 主要负责深部地层CO2运移和分布监测技术研究。 |
| 6 | 宋庆伟 | 男 | 1970年1月 | 高级工程师 | 硕士  研究生 | 陕西延长石油（集团）有限责任公司 | 主要负责CO2泄漏风险管理及安全风险分级管控体系研究。 |

九、主要完成单位情况及创新推广贡献

陕西延长石油（集团）有限责任公司是中国拥有石油和天然气勘探开发资质的四家企业之一，也是集石油、天然气、煤炭等多种资源一体化综合开发、深度转化、循环利用的大型能源化工企业。延长石油是国家认定企业技术中心和陕西省首批创新型企业，拥有5个科研设计机构、16个省级工程技术研发中心、10个研发试验平台、8个国家级和省级企业技术中心和3个中试基地。

陕西延长石油（集团）有限责任公司作为第一完成单位，对本项目的主要贡献：提出总体研究思路，制定技术路线，对关键技术问题进行科研攻关，编制了现场实施方案并组织矿场实施。①创建了低压低渗透油藏CO2地质利用“补-驱-调”一体化高效开发技术，解决了低压低渗透油藏CO2驱混相程度低、易气窜、提升压力难度大的难题，提升了CO2地质利用与封存效果。②构建了低压低渗透油藏CO2地质封存“三位一体”安全监测技术，并成功应用于多个CCUS工程，监测结果表明未发生CO2泄漏，为CO2地质封存安全评价和碳封存量核查验证提供了重要技术支撑。③研发了低压低渗透油藏CO2地质利用与封存泄漏风险管理与预测预警技术，实现CO2地质利用与封存全流程信息共享、智能运行管理及科学决策，全面提升了项目风险管理水平及预测预警效率，助推CO2地质利用和封存安全高效和工业化高质量发展。

中国科学院武汉岩土力学研究所是专门从事岩土力学基础与应用研究，以工程应用背景为特征的综合性研究机构，紧密结合国民经济建设，服务国家重大工程，为岩土力学与工程学科发展和国民经济建设作出了突出贡献。下设岩土力学与工程国家重点实验室、中国科学院地下工程灾变与防护工程实验室、湖北省深地储能技术创新中心、环境岩土工程等多个省部级重点实验室；拥有中国工程院院士2人，国家杰出青年基金获得者等国家级高层次人才20余人。

中国科学院武汉岩土力学研究所作为第二完成单位，对本项目的主要贡献：针对CO2浅表监测、深井多相流体保真取样与长期监测难题，发明了钻井多相流体的保真取样分析及多参数高精度同步监测的装置，设计了深井取样与监测装置，集成了井底温度压力传感器、新型UI取样结构的高频率气水两相和气水油多相取样器及综合分析系统，实现对目标地层的高频率多层多相取样、同步实时监测等一系列基于深井（0~2000 m）监测的方法，大幅提高了取样深度范围、设备的可靠性和耐久性，并实现温度、压力、pH等信息的实时监测。首次实现深部地层油、气、水多相流原位保真取样分析，同时提高了取样频次，增强了深部地层数据分析结果的可靠性与连续性。

十、完成人合作关系说明

本项目由第一完成人陈龙龙总体负责，其余完成人共同参与，根据研究需要，科学分工，紧密合作，保证了项目的顺利完成。

1、项目组负责人陈龙龙负责“低压低渗透油藏二氧化碳地质利用及安全监测技术”项目整体规划及研究方案的制定，组织项目全面实施，完成项目实验方案、安全监测技术方案和现场实施方案的编制，推进项目整体技术攻关和现场应用成果转化落地。

2、项目组成员魏宁主要负责CO2地质利用和封存过程中的深部钻井多相取样装置和流体在线监测技术研究，以及CO2泄漏风险评价方法研究。

3、项目组成员汤瑞佳主要负责低压低渗透油藏CO2地质利用“补-驱-调”一体化高效开发技术、浅地表和大气CO2泄漏监测技术研究。

4、项目组成员罗婷婷主要负责低压低渗透油藏CO2物理补能和降低混相压力技术、CO2注入井筒完整性评价指标体系和方法研究。

5、项目组成员刘春燕主要负责深部地层CO2运移和分布监测技术研究。

6、项目组成员宋庆伟主要负责CO2泄漏风险管理及安全风险分级管控体系研究。

7、项目组全体成员遵守成果共享及知识产权发表的友好约定，共同署名发表学术论文、申请并获授权国家专利、制订团体标准、地方标准与企业标准，共同进行科技成果鉴定以及申报了科技成果奖。