

陕西省科学技术进步奖公示信息
(2026 年度)

一、项目名称

中生界-上古生界钻探井下复杂风险预测与钻井液调控关键技术

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：

本单位认真审阅了项目提名书及附件材料，确认所提供的材料真实有效，内容符合填写要求，我单位和项目完成单位都已对该项目的基本情况进行了公示，公示期间无异议。项目针对鄂尔多斯盆地中生界—上古生界钻井中井漏、井塌、卡钻及储层损害等工程难题，创新构建了“钻前精准识别—钻中动态预警—全过程高效封堵—储层协同保护”一体化技术体系。主要创新：①建立钻前多源数据神经网络地层识别与钻中窄安全密度窗口预测新方法，显著提升漏失与坍塌压力预测精度；②针对微裂缝、中裂缝及大裂缝三类漏失通道，研制三类环保型防漏堵漏材料，实现级配封堵，地层承压能力与堵漏成功率大幅提升；③发明纳微米多级粗糙结构疏水成膜固壁剂及超疏水储层保护剂，构建致密气藏快钻型低伤害水基钻井液和页岩油气强固壁高性能水基钻井液体系，储层渗透率恢复值 $\geq 92\%$ ，有效破解“测不准、堵不牢、稳不住”的技术瓶颈。

该项目有力促进了油气钻完井液领域技术迅速迭代升级，支撑了鄂尔多斯盆地中生界-上古生界油气藏高效开发，已成为我国复杂油气藏高效钻探的“技术利器”。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

四、项目简介

该项目属石油与天然气钻井工程领域。

鄂尔多斯盆地中生界-上古生界地层致密油气、页岩油气、煤岩气等非常规油气资源丰富，其高效开发是助力陕西经济绿色低碳高质量发展，保障国家能源安全的重要支撑。钻井是建立地下能源勘探开发通道的唯一途径，钻井液作为钻井工程的“血液”，是实现安全、高效、经济钻井的关键。非常规油气地层复杂多样，长期以来钻探面临井塌、阻卡卡钻、目的层损害、井漏等工程难题，复杂情况频发，导致钻井周期长、时效低。井下复杂风险预测与钻井液精准调控是鄂尔多斯盆地油气藏安全高效钻井的关键。陕西延长石油（集团）有限责任公司联合中国石油大学（华东）、中石油川庆钻探工程有限公司、西安石油大学等行业技术优势单位组成产学研用团队，研发了具有自主知识产权的井下复杂风险预测与钻井液调控关键技术，有力支撑了鄂尔多斯盆地油气藏高效开发。主要创新点有：

（1）建立了高风险层位超前识别—井壁坍塌精准预测—随钻动态压力窗口实时更新的一体化预测方法

针对鄂尔多斯盆地油气藏多层系叠置，地层类型复杂，压力不确定性强、预测误差大的难题，建立了鄂尔多斯盆地油气藏复杂地层安全压力窗口预测理论与方法。在安全压力窗口预测模型建立的基础上，形成了溢漏条件下地层压力实时反演技术，与经典 Eaton 方法相比误差由 15%以上缩小至 5%，溢漏地层压力估测时间由传统 2 小时以上（关井求压）缩短至 7min 以内，解决了鄂尔多斯盆地油气藏地层钻井井下风险预测不准的难题。

（2）形成了“微裂缝自适应随钻封堵—中裂缝不起钻原位温压堵漏—大裂缝高强度触变凝胶充填”的全尺度防漏堵漏技术系列

针对鄂尔多斯盆地地层漏失特征和裂缝尺寸分布，分别发明了解决微小裂缝漏失的环保型可降解自适应聚氨酯防漏剂，粒径在 50~250 μm 间弹性变化，钻井液当量循环密度提高 0.35g/cm³，防漏成功率提高至 95.8%；发明了强韧性可控膨胀堵漏剂，粒径膨胀倍数达 3 倍，膨胀后强度保持率 92.4%，构建了中尺度裂缝性漏失刚柔协同复合承压堵漏体系；创新引入双电性层状纳米粒子流型调控剂，发明了高强度剪切触变型凝胶堵漏剂 SupG- I，对缝宽 10mm 大裂缝承压可达 14.7MPa，相比国外同类技术提高 26.5%以上。

(3) 研发了致密气藏快钻型低伤害水基钻井液与页岩油气水平井强固壁高性能水基钻井液两套体系

针对非常规油气储层黏土水化与微裂缝发育复合致塌，传统钻井液环保性差、储层伤害大、流变调控劣化等技术难题，揭示了非常规油气地层井壁失稳机理，建立降低储层水锁损害新方法，以发明的疏水成膜固壁剂和超疏水“绒球”结构储层保护剂为核心，构建了低伤害环保防塌水基钻井液体系，抗温 180℃、密度达 2.0g/cm³，EC50 达 2.86×10⁵mg/L，BOD₅/COD 值达 22%，高温高压滤失量 8.6mL，渗透率恢复值≥92%。开发了井下复杂风险流动参数实时计算和控制软件平台，井筒钻井液压力控制精确度提升至 97%。

成果获授权发明专利 32 件，其中美国专利 4 件，发表论文 75 篇（SCI/EI 收录 59 篇），出版专著 2 部，登记软件著作权 4 项。经陕西省化工学会组织专家鉴定，整体技术达到国际先进水平。近几年，在鄂尔多斯盆地多个油气区域累计应用 1583 口井，社会和经济效益显著，有力促进了油气钻完井液领域技术迅速迭代升级，成为我国复杂油气藏高效钻探的“技术利器”。

五、客观评价

(1) 国内外同行学术评价

1.中国工程院院士罗平亚评价：井下复杂风险预测与钻井液调控关键技术支撑了鄂尔多斯盆地中生界-上古生界油气藏高效钻井，实现了井下复杂地层钻井液调控技术的重大突破，社会和经济效益显著，推广应用前景广阔，将为鄂尔多斯盆地能源的安全高效开发提供强有力技术支持。

2.国际石油工程师协会（SPE）荣誉会员、吉林大学郭明义教授发表在《Langmuir》上的文章中提到：Wang 等证实了降低页岩表面自由能是抑制页岩表面水化的根本途径…为揭示井壁失稳机理提供依据。

(2) 科技成果鉴定

2025 年 8 月 20 日，陕西省化工学会组织专家对陕西延长石油（集团）有限责任公司、中国石油大学（华东）等单位完成的科学技术成果“延长探区中生界-上古生界钻探井下复杂风险预测与钻井液调控关键技术”进行了鉴定，以任战利教授、文虎教授等专家组成的鉴定委员会形成的鉴定意见认为：研究成果整体达到国际先进水平。

2024 年 7 月 5 日，中国海洋工程咨询协会对中国石油大学（华东）等单位完成的科学技术成果“深水钻井井下复杂防控钻井液关键技术及应用”进行了鉴定，以罗平亚院士、蒋官澄教授等专家组成的鉴定委员会形成的鉴定意见认为：复杂地层窄安全压力窗口及风险预测技术达到国际领先水平。

2022 年 4 月 15 日，中国石油和化学联合会组织专家对陕西延长石油（集团）有限责任公司、中国石油大学（华东）等单位完成的科学技术成果“陕北地区复杂地层钻完井井筒强化关键技术创新及规模应用”进行了鉴定，以罗平亚、李根生院士等专家组成的鉴定委员会形成的鉴定意见认为：多尺度裂缝自适应防漏堵漏技术达到国际领先水平。

（3）查新评价

2026 年 7 月，教育部科技查新工作站（Z08）对“中生界-上古生界钻探井下复杂风险预测与钻井液调控关键技术”项目的国内外相关文献对比分析，结论表明除了查新项目课题组成员公开的科研成果以外，与本项目查新点完全相同的未见报道。

（4）现场应用评价

1. 陕西延长石油（集团）有限责任公司延长气田采气四厂：井下复杂风险预测与钻井液调控关键技术在延安气田南部富县、甘泉区域累计应用 248 井次，井下复杂风险预测准确率 95.2%，平均钻井周期缩短 33%，有力支撑了鄂尔多斯盆地延安气田南部区域安全、优快、高效钻井。

2. 陕西延长石油（集团）有限责任公司延长气田采气五厂：在延安气田东部区域累计应用 182 井次，技术应用后井下复杂情况降低明显，防漏成功率提高至 92%，效果显著。

3. 中国石油集团长城钻探工程有限公司钻井液公司：在鄂尔多斯盆地大牛地、苏里格区域由中国石油集团长城钻探工程有限公司钻井液公司实施并应用 278 井次，技术应用后井壁坍塌、漏失等井下复杂情况显著降低，钻速平均提高 37%。

4. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司：在鄂尔多斯盆地长庆油田钻井过程中，本项目成果近三年由中石油川庆钻探长庆钻井总公司实施并应用 312 井次，技术应用后井下复杂情况降低明显，一次堵漏成功率提升至 8

6%，有力支撑了鄂尔多斯盆地长庆区域致密油气、页岩油气安全、高效钻井。

六、应用情况

该项技术针对鄂尔多斯盆地油气钻探过程中井塌、阻卡卡钻、目的层损害、井漏等复杂情况频发，研发了三项技术，创新形成了钻井井下复杂风险预测与钻井液调控关键技术体系。自 2017 年起，该项技术先后在延长油田定边采油厂、吴起采油厂、延安气田采气四厂等区域开展先导试验并获得成功后逐步推广应用。

2019 年起，该技术规模化推广应用至延长油田、延安气田，近三年应用 430 井次，井下复杂风险预测误差低于 5%、平均一次堵漏成功率达 91.6%，复杂事故发生率平均降低 56%，钻井周期平均缩短 9.8 天。

此外，该技术经中石油长城钻探泥浆服务公司、中石油川庆钻探长庆钻井总公司、中石油渤海钻探钻井液公司推广应用至在中石油长庆油田、中石化华北油气分公司大牛地区域、中石油煤层气公司等鄂尔多斯盆地内油气田，累计实施 1583 井次，应用效果突出，可用于解决国内外钻井过程中同类问题，支撑我国非常规油气资源的高质量勘探开发，具有广阔的应用前景。

七、主要知识产权和标准规范等目录

序号	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	权利人	发明人
1	发明专利	一种适用于延安区域裂缝性漏失地层的三级堵漏剂及其制备方法与堵漏方法	中国	CN112646555B	2023 年 5 月 5 日	5945990	陕西延长石油（集团）有限责任公司	王波，李伟，侯云翌，张文哲，王涛，薛少飞
2	发明专利	一种基于纤维素的温敏型凝胶堵漏剂及其制备方法	中国	CN112480887B	2023 年 2 月 28 日	5753860	陕西延长石油（集团）有限责任公司	王波，李伟，薛少飞，张文哲，侯云翌，王涛
3	发明专利	一种温敏型水凝胶堵漏剂及其制备方法与应用	中国	CN110183579B	2022 年 8 月 12 日	5381310	陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院	王波，李伟，张文哲，李红梅
4	发明专利	一种生物酶可降解暂堵材料及其制备方法	中国	CN116904169B	2023 年 11 月 24 日	6511875	中国石油大学（华东）	王金堂，白宇靖，徐嘉崎，廖波，白英睿，黎

		与应用			日			剑，黄贤斌，金家锋，史胜龙，吕开河，刘敬平，孙金声
5	发明专利	一种层层自组装氧化钙微胶囊及其制备方法与应用	中国	CN114736665B	2023年10月13日	6392602	中国石油大学(华东)	王金堂，白宇靖，邵子桦，吕开河，黎剑，王韧，白英睿，黄贤斌，刘敬平，金家锋，孙金声
6	发明专利	Water-based drilling fluid for protecting high-permeability reservoirs, and preparation method and use thereof	美国	US010040984B1	2018年8月7日	US010040984B1	中国石油大学(华东)	吕开河，孙金声，刘敬平
7	发明专利	BIO-ENZYME DEGRADABLE TEMPORARY PLUGGING MATERIAL AND PREPARATION METHOD AND APPLICATION THEREOF	美国	US12,110,449B1	2024年10月8日	US12,110,449B1	中国石油大学(华东)	王金堂，廖波，孙小辉，徐嘉崎，白英睿，黎剑，黄贤斌，金家锋，李美春，史胜龙，吕开河，刘敬平，孙金声
8	发明专利	一种钻井风险识别方法、系统及其相关设备	中国	CN118133159B	2024年6月25日	7130894	中国石油大学(华东)	孙小辉，张丽娜，孙宝江，王志远，毕韶琨，张绪亮，张宁，张剑波，王金堂，刘胜男
9	论文	Research on the rheological and flow characteristics of a supramolecular gel in fractures	美国	2021,138(33): 50823	2021年4月20日	Journal of Applied Polymer Science	陕西延长石油(集团)有限责任公司	王波，孙金声，申峰，吕开河，王金堂

10	论文	Organosiloxane-Modified Auricularia Polysaccharide (Si-AP): Improved High-Temperature Resistance and Lubrication Performance in WBDFs	美国	2024, 29(11): 2689	2024年6月6日	Molecules	西安石油大学, 陕西延长石油(集团)有限责任公司	张帆, 王雨, 王波, 耿愿, 常晓峰, 张文哲, 李宇童, 张望远
----	----	---	----	--------------------	-----------	-----------	--------------------------	------------------------------------

八、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	贡献
王波	1	无	高级工程师	陕西延长石油(集团)有限责任公司天然气研究院	陕西延长石油(集团)有限责任公司	全面负责研究报告编写, 关键技术研究、现场试验协调、技术成果推广工作
王金堂	2	无	教授	中国石油大学(华东)	中国石油大学(华东)	负责负责风险预测与钻井液研发等工作
郝琦	3	副院长	教授级高工	陕西延长石油(集团)有限责任公司天然气研究院	陕西延长石油(集团)有限责任公司	负责项目方案设计与审查
吕开河	4	无	教授	中国石油大学(华东)	中国石油大学(华东)	负责项目整体设计与关键核心技术把控
郝培蓉	5	无	讲师	长安大学	长安大学	负责项目经济效益核算
常晓峰	6	无	高级工程师	中石油川庆钻探长庆钻井总公司	中石油川庆钻探长庆钻井总公司	负责堵漏剂研制与现场实施
张帆	7	无	副教授	西安石油大学	西安石油大学	负责封堵剂研制
张文哲	8	副主任	高级工程师	陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院	陕西延长石油(集团)有限责任公司	负责钻井液体系构建
孙小辉	9	无	副教授	中国石油大学(华东)	中国石油大学(华东)	负责井下复杂风险模型建立
马振锋	10	主管	高级工程师	陕西延长石油(集团)有限责任公司天然气研究院	陕西延长石油(集团)有限责任公司	参与钻井液体系现场试验

九、主要完成单位情况及创新推广贡献

名称	排名	联系人及电话	对本项目的创新推广贡献
陕西延长石油（集团）有限责任公司	1	张玉娟 02989853756	本项目由陕西延长石油（集团）有限责任公司牵头，实行项目长负责制，成立了技术攻关组、现场实施组。各工作组及时沟通，由领导小组统一协调，保证项目顺利开展。陕西延长石油（集团）有限责任公司为本项目的实施提供了大量的保障，包括：全面负责项目的组织、运行和管理，为项目研究提供了必备的资料、设备、人员及技术支持，组织专家、学者对项目提出宝贵的修改意见，并承担项目研究成果的推广应用和实施效果评价。
中国石油大学（华东）	2	单宝来 0532-86981831	中国石油大学（华东）为本项目的主要参与单位，为本项目的研究提供了必备的实验测试条件、人员和技术支撑。在项目研究过程中，中国石油大学（华东）主要承担了复杂地层安全压力窗口预测模型和基于 GRU 神经网络的涌漏高风险地层识别方法，共同发明了聚氨酯自适应防漏剂、泥页岩水化“双效抑制剂”。在项目研究过程中，中国石油大学（华东）为项目高质量实施提供了必要的基础，为项目的研究做出了较大贡献。
中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司	3	常晓峰 18691851187	中石油川庆钻探长庆钻井总公司作为主要参与单位，为本项目的研究及现场试验提供了必备的测试条件和应用环境支撑。在项目研究过程中，中石油川庆钻探长庆钻井总公司共同构建了适用于多种漏失类型的防漏堵漏技术和快钻型低伤害环保水基钻井液体系，建立水基钻井液体系现场施工工艺及操作规范，推动水基钻井液现场试验与规模应用。
西安石油大学	4	张帆 15165067001	西安石油大学作为主要参与单位，为本项目的室内研究及实验试验提供了必备的仪器和实验条件。在项目研究过程中，西安石油大学共同发明了强触变智能充填凝胶堵漏技术，参与构建了适用于多尺度裂缝性地层漏失高效防控技术，共同构建了环保型防塌水基钻井液体系，解决了鄂尔多斯盆地油气藏钻井井壁失稳难题。
长安大学	5	郝培蓉 15954212528	长安大学为该项目主要参与单位，为项目研究提供了必备实验测试条件、人员及技术支持。在项目研究过程中，长安大学共同完成对技术研发及应用过程中的成本核算、经济效益计算等工作，为项目经济效益的明确提供了必要的支撑。

十、完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

本项目的完成由第一完成人王波负责，其余完成人共同参与，根据项目需要各自分工、相互合作，合理有序的保障项目的顺利完成。

与项目组成员王金堂、吕开河、郝培蓉、郝琦、孙小辉、马振锋开展立项合作，七位合作者依据专业和工作特长，分别主持了项目总体构思、井下复杂风险层位识别及安全密度窗口模型建立、多尺度防漏堵漏材料研发、疏水成膜固壁剂研制及低伤害环保防塌水基钻井液体系构建等工作，形成了共同研究报告、专利、论文合著等合作成果。

与项目组成员常晓峰、张帆、张文哲开展项目实施合作，三位合作者依据技术特长，分别参与现场资料收集、整理与分析工作，其中张帆、张文哲参与基础理论研究并形成共同专利、论文合著，常晓峰参与室内和现场实验测试，负责现场施工，形成了全方位的集成技术效果。

同时，十位完成人存在非常密切的同事关系，一直合作开展中生界-上古生界钻探井下复杂风险预测与钻井液调控关键技术研发和规模化推广，取得了丰硕的研究成果，各完成人之间的合作成果体现在共同立项、授权专利、代表性论著、技术成果鉴定和应用效果上。

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	合作起始时间	合作完成时间	合作成果
1	共同立项	王波/1，王金堂/2，郝琦/3，吕开河/4，郝培蓉/5，常晓峰/6，张帆/7，张文哲/8，孙小辉/9，马振锋/10	2017 年 1 月	2022 年 12 月	科技成果登记证书
2	共同成果	王波/1，王金堂/2，郝琦/3，吕开河/4，郝培蓉/5，常晓峰/6，张帆/7，张文哲/8，孙小辉/9，马振锋/10	2017 年 1 月	2022 年 12 月	科学技术成果鉴定证书
3	共同获奖	王波/1，王金堂/2，郝培蓉/5，常晓峰/6，张帆/7，张文哲/8，孙小辉/9，马振锋/10	2017 年 1 月	2022 年 12 月	陕西省石化科学技术奖
4	共同知识产权	王波/1，张文哲/8	2017 年 1 月	2023 年 12 月	一种适用于延安区域裂缝性漏失地层的三级堵漏剂及其制备方法 与堵漏方法
5	共同知识产权	王金堂/2，吕开河/4	2017 年 1 月	2023 年 12 月	一种生物酶可降解暂堵材料及其制备方法 与应用
6	共同知识产权	王金堂/2，孙小辉/9	2022 年 1 月	2024 年 6 月	一种钻井风险识别方法、系统及其相关设备
7	共同知识产权	王波/1，常晓峰/6，张帆/7，张文哲/8	2022 年 12 月	2024 年 6 月	Organosiloxane-Modified Auricularia Polysaccharide (Si-AP): Improved High-Temperature Resistance and Lubrication Performance in WBDFs