

山东省科技进步奖拟提名项目公示材料

项目名称	非常规油气藏高效仿真模拟与生产调控技术及工业化应用
提名者	邹才能，中国科学院院士，石油天然气地质学，中国石油天然气集团有限公司
提名意见	我单位认真审阅了该项目申报书及其附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合山东省科学技术奖的填写要求。 非常规油气是我国油气增储上产的重要战略资源，其有效开发对于保障国家能源安全至关重要。该项目针对非常规油气藏高效仿真模拟、注采实时优化和井下生产监测调控关键技术开展攻关，发明了复杂缝网系统多尺度介质非线性流动耦合建模方法，建立了基于嵌入式离散裂缝的多重介质耦合流动高效仿真模拟技术，设计了基于物理约束与深度学习融合的仿真模拟代理模型自动化构建流程，构建了基于新型随机单纯形近似梯度算法的非常规油气注采参数智能优化新方法，研发了基于分布式光纤声音和温度监测的生产剖面监测装置，创建了基于光纤监测的注采闭环智能测调新技术，实现了井下流入控制阀智能控制，形成了一套具有自主知识产权的油气藏渗流数值仿真、开发方案实时优化、井下生产监测调控于一体的非常规油气高效开发技术体系，实现了我国非常规油气藏高效开发的技术飞跃。研究成果已在中石化、中海油、中石油等多家企业进行推广应用，经济社会效益显著。该项目研究显著提升了我国非常规油气藏高效开发技术的国际竞争力，进一步推广应用可望创造出更大的经济和社会效益。
提名等级	二等

项目简介

21 世纪以来，非常规油气（致密油气、页岩油气等）成为我国油气勘探开发的重要增储上产领域。非常规油气高效仿真模拟及生产调控关键技术能够大幅提高采收率和经济效益，是油气智能化开发的重要发展方向。壳牌、斯伦贝谢、沙特阿美、雪佛龙等国际著名公司长期致力于该技术的研发和现场试验，建立“高质量、高水平、高效率”的油气藏智能化系统势在必行。目前，该技术仍存在诸多难点：（1）油气藏利用水力压裂等技术开发，储层非均质强，流动空间多样，耦合关系复杂，准确构建油藏动态模型难；（2）储层存在强非确定性，不同开采阶段优化变量多样，精准开发参数优化难；（3）井下环境复杂，具有高温、高压、多相流、易腐蚀等特征，生产的实时、长期或临时监测手段少，精准调控流量难。在国家自然科学基金、国家科技重大专项等课题资助下，将油气藏开发与数值模拟、智能优化、智能控制相结合，形成了一套适合非常规油气藏的仿真模拟与生产调控的关键技术，在国内多个油气藏实现有效应用，为油气藏开发的实时预测和智能决策提供支撑，推动了我国油气田智能化建设。主要创新成果如下：

1、创新了基于裂缝网络拓扑结构分级表征与流动耦合的非常规油气复杂缝网仿真模拟技术，解决了准确、快速构建油藏模型的难题。构建了基质-天然裂缝-次级裂缝-主裂缝多介质非线性流动耦合建模方法，实现了裂缝网络的显式表征，模拟尺度跨越 12 个数量级；创建了离散-连续混合仿真模拟技术，有效减少数值模拟中计算规模，大幅节约模拟时间，形成了基于嵌入式离散裂缝和连续介质模型的混合仿真模拟技术，与 EDFM+MINC 相比，计算效率大幅提升；构建了基于物理约束与深度学习融合的代理模型工作流程，建立了自动化代理建模方法，复杂缝网模拟加速明显，实现了产量、压力和饱和度等参数精确预测。

2、构建了油气藏仿真模拟与新型智能优化算法的生产优化调控技术，解决了储层非确定性条件下注采方案高效优化的难题。研发了新型随机单纯形近似梯度优化算法 StoSAG，满足油气藏大规模生产调控设计，以最大经济净现值为目标，实现了无约束优化、约束优化、鲁棒优化、生产井智能控制阀离散优化、多目标优化，净现值较 EnOpt 等传统优化算法大幅提升；研发了立体开发模式下井网参数、缝网参数、排采制度及压降调控制度的协同优化技术；建立了非常规油气二氧化碳驱替封存注采制度动态优化方法，提出了二氧化碳驱油封存一体化调控技术。

3、发明了井下基于分布式光纤监测的产液剖面监测装置，实现了注采闭环智能测调，解决了井下复杂渗流系统、复杂环境下分层注水量精准调控的难题。发明了基于分布式光纤声音监测和分布式光纤温度监测的水力压裂裂缝监测装置，实现了压裂层段内各个射孔孔眼压裂情况的实时监测；构建了基于分布式光纤监测的生产剖面监测方法，实现了多层油藏流体产出的精细解释，形成了基于光纤监测和智能阀精细控制的注采闭环智能测调新技术，指导了储层高窜流通道/高导流裂缝精准调控。

该项目获授权发明专利 32 项，软件著作权 4 项，出版专著 5 部，发表论文 96 篇，培养博士及硕士研究生 30 余人，技术骨干 100 余人，参与并推动了相关油田企业标准的制定和编制，支撑了胜利济阳陆相断陷湖盆页岩油国家级示范区、吉木萨尔国家级陆相页岩油示范区、古龙陆相页岩油国家级示范区的产能建设，经济效益显著。该成果实现了非常规油气藏从人工测调向智能调控的跨越，提升了我国智能油田开发核心技术的国际竞争力，为推动油气企业降本增效和产业升级提供了有力的技术支撑。

主要完成人情况				
第1完成人	姓名	徐建春	行政职务/技术职称	教授
	完成单位	中国石油大学（华东）	工作单位	中国石油大学（华东）
	对本项目技术创造性贡献： 对创新点 1、2、3 有突出贡献，具体表现在：创新了基于裂缝网络拓扑结构分级表征与流动耦合的非常规油气复杂缝网仿真模拟技术，构建了油气藏仿真模拟与新型智能算法的生产优化调控技术，建立了基于智能流入阀的注采优化技术。			
第2完成人	姓名	沈伟军	行政职务/技术职称	副研究员
	完成单位	中国科学院力学研究所	工作单位	中国科学院力学研究所
	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 1 有突出贡献，具体表现在：创建了基于物理约束与深度学习融合的代理模型构建技术，研发了“数据+物理”非常规油气仿真模拟框架。			
第3完成人	姓名	孙骞	行政职务/技术职称	教授
	完成单位	中国地质大学（北京）	工作单位	中国地质大学（北京）
	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 2 有突出贡献，具体表现在：建立了非常规油气二氧化碳驱替封存注采制度动态优化方法，提出了二氧化碳驱油封存一体化调控技术。			
第4完成人	姓名	刘均荣	行政职务/技术职称	教授
	完成单位	中国石油大学（华东）	工作单位	中国石油大学（华东）
	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 3 有突出贡献，具体表现在：发明了井下基于分布式光纤监测的产液剖面监测装置实现了注采闭环智能测调。			
第5完成人	姓名	刘树阳	行政职务/技术职称	副教授
	完成单位	中国石油大学（华东）	工作单位	中国石油大学（华东）
	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 1 有突出贡献，具体表现在：构建了基于混合介质的裂缝储层应力敏感数值模拟方法及系统。			
第6完成人	姓名	李忠诚	行政职务/技术职称	教授级高工
	完成单位	中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司勘探开发研究院	工作单位	中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司勘探开发研究院
	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 1 有突出贡献，具体表现在：以 TPE 算法为联合超参数优化算法结合中值剪枝算法和低保真度近似方法实现了兼顾搜索效率和搜索性能的搜索策略，实现了储层开发的产量、压力和饱和度等参数进行精确预测。			
第7完成人	姓名	马收	行政职务/技术职称	教授级高工
	完成单位	华美孚泰油气增产技术服务有限责任公司	工作单位	华美孚泰油气增产技术服务有限责任公司

	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 1、2 有突出贡献，具体表现在：提出了基于机器学习辅助的油藏随机建模方法，同时构建了致密油藏水气交替段塞数量、段塞长短和生产参数联合优化技术。			
第 8 完成人	姓名	刘明明	行政职务/技术职称	工程师
	完成单位	华美孚泰油气增产技术服务有限责任公司	工作单位	华美孚泰油气增产技术服务有限责任公司
	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 2 有突出贡献，具体表现在：构建了复杂裂缝形成风险判别模型并形成了 T 型裂缝识别技术，研发了非常规油气井位优化优化方法。			
第 9 完成人	姓名	王晓璞	行政职务/技术职称	副教授
	完成单位	中国石油大学（华东）	工作单位	中国石油大学（华东）
	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 1 有突出贡献，具体表现在：构建了基于嵌入式离散裂缝和连续介质模型的混合数值模拟方法，分析改造体积规模、多段压裂裂缝、分支裂缝、主裂缝与油藏等关键参数对井生产动态影响。			
第 10 完成人	姓名	孙文跃	行政职务/技术职称	教授
	完成单位	中国石油大学（华东）	工作单位	中国石油大学（华东）
	对本项目技术创造性贡献： 本人对创新点 1 有突出贡献，具体表现在：构建了基于轨迹分段线性化的裂缝性油藏的代理模型，提出了基于人工智能的油藏数值模拟加速方法。			
主要完成单位情况				
第一完成单位	单位名称	中国石油大学（华东）		
	对本项目技术创造性的贡献： 对创新点 1、2、3 有突出贡献，具体表现在：创新了基于裂缝网络拓扑结构分级表征与流动耦合的非常规油气复杂缝网仿真模拟技术，构建了油气藏仿真模拟与新型智能算法的生产优化调控技术，发明了井下基于分布式光纤监测的产液剖面监测装置，实现了注采闭环智能测调。			
第二完成单位	单位名称	中国科学院力学研究所		
	对本项目技术创造性的贡献： 本人对创新点 1 有突出贡献，具体表现在：创建了基于物理约束与深度学习融合的代理模型构建 技术，研发了“数据+物理”非常规油气仿真模拟框架。			
第三完成单位	单位名称	中国地质大学（北京）		
	对本项目技术创造性的贡献： 本人对创新点 2 有突出贡献，具体表现在：建立了非常规油气二氧化碳驱替封存注采制度动态优化方法，提出了二氧化碳驱油封存一体化调控技术。			
第四完成单位	单位名称	华美孚泰油气增产技术服务有限责任公司		
	对本项目技术创造性的贡献：			

	本人对创新点 1 和 2 有突出贡献，具体表现在：提出了基于机器学习辅助的油藏随机建模方法，同时构建了致密油藏水气交替段塞数量、段塞长短和生产参数联合优化技术；构建了复杂裂缝形成风险判别模型并形成了 T 型裂缝识别技术，研发了非常规油气井位优化优化方法。
--	---

主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

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）	授权 （标准发布） 日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人 （标准起草单位）	发明人 （标准起草人）	发明专利 （标准） 有效状态	第一完成人是否 为发明人（标准起草人）	第一完成单位是否 为权利人（标准起草单位）
发明专利	基于基质-裂缝非稳态窜流油藏裂缝数值模拟方法及系统	中国	ZL202010051649	2020.06.02	第7092012号	中国石油大学（华东）	徐建春等	有效	是	是
发明专利	一种基于椭圆流动的致密油藏产能分析方法及系统	中国	ZL202010055086	2020.04.14	第6821539号	中国石油大学（华东）	徐建春等	有效	是	是
发明专利	一种基于轨迹分段线性化的页岩油裂缝系统模拟代理方法	中国	ZL2023117376444	2024.01.19	第6806254号	中国石油大学（华东）	徐建春等	有效	是	是
发明专利	一种考虑非线性流的嵌入式离散裂缝模拟方法及系统	中国	ZL2019112938241	2020.04.24	第5403849号	中国石油大学（华东）	徐建春等	有效	是	是

发明专利	基于离散裂缝模型的油水两相非达西渗流数值模拟方法	中国	ZL2019112938538	2020.05.05	第5403850号	中国石油大学（华东）	徐建春等	有效	是	是
发明专利	一种基于分布式光纤声音监测的水力压裂裂缝监测模拟实验装置及方法	中国	ZL2019106403475	2021.01.19	第6552376号	中国石油大学（华东）	刘均荣等	有效	否	是
发明专利	一种基于分布式光纤声音监测和分布式光纤温度监测的生产剖面监测方法	中国	ZL2019106403460	2019.10.18	第5966414号	中国石油大学（华东）	刘均荣等	有效	否	是
发明专利	一种基于分布式光纤声音监测和分布式光纤温度监测的水力压裂监测方法	中国	ZL2019106403437	2019.10.15	第5571406号	中国石油大学（华东）	刘均荣等	有效	否	是

专著	非常规油气藏数值模拟理论与方法	中国	ISBN 978-7-5636-8407-6	2024.10	第2024WH7879号	中国石油大学出版社	徐建春等	有效	是	是
专著	随机单纯形近似梯度(StoSAG)算法理论及在油藏智能优化中的应用	中国	ISBN 978-7-5636-8235-5	2024.04	第072315号	中国石油大学出版社	徐建春等	有效	是	是