项目名称: 稠油油藏注蒸汽后非均相体系调驱提高采收率技术

推荐单位（专家）: 中国石油大学（北京）

项目简介：

目前国内外大部分稠油产区均已进入注蒸汽热采的后期阶段，蒸汽窜流、指进、低波及等成为制约油藏开发效果的主要因素。稠油热采后的进一步挖潜及提高采收率技术已成为保证目前原油供给，降低国家对外原油依存度的一个重要方面。本项目针对注蒸汽后稠油油藏所出现的一系列问题，以气（汽）液固非均相体系为主，同时辅助蒸汽注入的方式来提高稠油油藏的采收率。本项目通过依托国家科技重大专项、国家自然科学基金、中国石油科技创新基金及横向科研项目，经过近10年的科研攻关，在热采后动态非均质储层中稠油的渗流机理与高效改性，复杂多孔介质中非均相悬浮颗粒的运移、滞留与控制机制，稠油非等温渗流场中的多元复合热流体协同作用机制等方面取得突破进展，攻克了复杂构造与大能量水体室内模拟、高温汽窜通道封堵困难的技术难题。主要创新成果如下：

1、创建了复杂注汽条件下的稠油油藏注汽全尺度流场仿真与表征技术。研制了具有自主知识产权的稠油热采三维物理模拟装置、微观可视化模拟装置及井筒流动模拟装置，发明了热补偿井、水体能量仿真等稠油热采实验配套装置，将稠油注汽实验压力模拟水平从5MPa提高至20MPa，实现了水体能量模拟的精确控制，使得注汽井筒内沿程热流体的传热传质物理模拟成为可能，推动了稠油室内物理模拟实验技术的发展。

2、发展了非均质储层中超分子结构稠油的渗流机理，建立了稠油注蒸汽井间汽窜通道的定量表征模型。完善了稠油注蒸汽后流场描述方法，实现了非均相体系的调驱量精确设计，成功应用于胜利油田及河南油田的注汽热采作业，应用有效性85%以上，为解决稠油油藏汽窜通道的识别问题及窜流通道的封堵设计提供了依据。

3、研制了适用于注汽高温条件下的颗粒、耐高温凝胶、降粘剂及泡沫等非均相调驱体系，最高耐温250℃以上，揭示了多元多相复合热流体的作用机制，考虑变温效应的影响，完善了非均相体系的评价指标，评价了非均相体系对于热采稠油的适应性。

4、以均衡流场为依据，设计完善了稠油油藏注蒸汽后的改善吞吐和调驱模式。考虑高吞吐周期与汽驱后剩余油分布的差异性，设计完善了相应的改善吞吐和调驱模式，大幅提高了注蒸汽后稠油油藏的开发效果。

该项目成果形成专利授权国家发明专利14件、实用新型专利3件、计算机软件著作权2项，出版专著1部，外文专著1章，发表学术论文135篇，其中SCI收录35篇，EI收录66篇，TOP论文16篇，培养研究生20余人。项目研究成果已成功应用于中石化胜利油田公司、中石化河南油田公司、中海油天津油田分公司及中石油辽河油田分公司的稠油生产现场，大幅改善了注入蒸汽的热效率，提高了稠油产量，改善了经济效益。

主要完成单位及创新推广贡献：

|  |  |
| --- | --- |
| **完成单位** | **创新推广贡献** |
| 中国石油大学（北京） | 主持并协调整个研究项目的开展 |
| 中海石油（中国）有限公司天津分公司 | 参与部分研究及矿场应用的进行 |
| 中国石化胜利油田分公司滨南采油厂 | 参与部分研究及矿场应用的进行 |
| 中国石化河南油田分公司采油二厂 | 参与部分研究及矿场应用的进行 |
| 中国石油辽河油田特种油开发公司 | 参与部分研究及矿场应用的进行 |

曾获科技奖励情况：

无

主要知识产权证明目录：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **知识产权**  **类别** | **知识产权名称** | **国别** | **申请号** | **授权号** |
| 1 | 发明专利 | 多功能注蒸汽热采三维物理模拟实验装置 | 中国 |  | ZL201410784582.7 |
| 2 | 发明专利 | 稠油热采水平井段沿程变质量流动模拟实验装置 | 中国 |  | ZL201510706300.6 |
| 3 | 发明专利 | 一种水平井注蒸汽热采可视化实验装置 | 中国 |  | ZL201410468666.X |
| 4 | 发明专利 | 底水油藏水体能量三维物理模拟装置及方法 | 中国 |  | ZL201510628714.1 |
| 5 | 发明专利 | 发泡剂性能的测定方法 | 中国 |  | ZL201110174948.5 |
| 6 | 发明专利 | 蒸汽辅助重力泄油过程中气体辅助用量的获取方法及装置 | 中国 |  | ZL201410514176.9 |
| 7 | 发明专利 | 一种蒸汽-气体替与重力泄油复合开采方法 | 中国 |  | ZL201410092762.9 |
| 8 | 发明专利 | 一种湿式火烧吞吐采油方法 | 中国 |  | ZL201410092991.0 |
| 9 | 发明专利 | 一种可模拟油藏压力供给的采油实验装置 | 中国 |  | ZL201310538015.9 |
| 10 | 发明专利 | 气体与电加热辅助重力泄油技术 | 中国 |  | ZL201010160439.2 |
| 11 | 发明专利 | 一种热采封窜剂及其制备方法 | 中国 |  | ZL201510493724.9 |
| 12 | 发明专利 | 一种气驱油藏开发动态监测与评价方法 | 中国 |  | ZL201410551143.1 |
| 13 | 发明专利 | 一种石油热采封隔密封件及其制备方法 | 中国 |  | ZL201310351721.2 |
| 14 | 发明专利 | 高温鉴剂验封器 | 中国 |  | ZL201310490110.6 |
| 15 | 发明专利 | 一种高温降粘起泡剂组合物和高温降粘起泡剂及其制备方法 | 中国 | 201710237470.3 |  |
| 16 | 发明专利 | 底水稠油油藏底水水淹的检测方法及系统和应用 | 中国 | 201511019205.5 |  |
| 17 | 发明专利 | 一种注入系统的热量补偿装置 | 中国 | 201510934142.X |  |
| 18 | 发明专利 | 一种耐高温油溶性降粘剂及其制备方法 | 中国 | 201510375068.2 |  |
| 19 | 实用新型 | 用于稠油蒸汽吞吐的抽油泵 | 中国 |  | ZL201420637466.8 |
| 20 | 实用新型 | 一种稠油油藏热采可视化物理模拟装置 | 中国 |  | ZL201721280023.8 |
| 21 | 实用新型 | 氮气泡沫抑水模拟评价装置 | 中国 |  | ZL201420139732.4 |
| 22 | 软件著作权 | 蒸汽吞吐井调剖参数优化设计软件 | 中国 |  | 2011SR036480 |
| 23 | 软件著作权 | 微差井温剖面解释软件 | 中国 |  | 2011SR029759 |

主要完成人情况表：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **姓 名** | **性 别** | **技 术 职 称** | **文 化 程 度(学位)** | **工 作 单 位** |
|  | 刘慧卿 | 男 | 教授 | 博士 | 中国石油大学（北京） |
|  | 东晓虎 | 男 | 讲师 | 博士 | 中国石油大学（北京） |
|  | 王敬 | 男 | 副教授 | 博士 | 中国石油大学（北京） |
|  | 张红玲 | 女 | 副教授 | 硕士 | 中国石油大学（北京） |
|  | 赵春明 | 男 | 教授级高工 | 硕士 | 中海石油（中国）有限公司天津分公司 |
|  | 朱孟高 | 男 | 高级工程师 | 硕士 | 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司滨南采油厂 |
|  | 彭元东 | 男 | 教授级高工 | 硕士 | 中国石油化工股份有限公司河南油田分公司采油二厂 |
|  | 苏彦春 | 男 | 教授级高工 | 硕士 | 中海石油（中国）有限公司天津分公司 |
|  | 钟立国 | 男 | 研究员 | 博士 | 中国石油大学（北京） |
|  | 周大胜 | 男 | 高级工程师 | 硕士 | 中国石油辽河油田分公司特种油开发公司 |
|  | 刘小鸿 | 女 | 高级工程师 | 学士 | 中海石油（中国）有限公司天津分公司 |
|  | 王庆 | 男 | 讲师 | 博士 | 中国石油大学（北京） |
|  | 王亚洲 | 男 | 高级工程师 | 博士 | 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司滨南采油厂 |
|  | 薛兆杰 | 男 | 教授级高工 | 硕士 | 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司滨南采油厂 |
|  | 方舒 | 男 | 工程师 | 学士 | 中国石油化工股份有限公司河南油田分公司采油二厂 |