

中国石油大学（北京）

成果登记表

项目名称:	低渗透油藏提高采收率基础理论研究		
项目来源:	国家科技部	甲方单位:	国家科技部
合同开始时间:	2003.1	合同完成时间:	2005.12
鉴定批准日期:	2006.5	项目验收单位:	国家科技部
项目类型:	973	项目执行情况:	按期完成
成果评价方式:	验收	成果水平:	国内领先
成果类别:	应用研究	应用情况:	已推广
应用专业:	油气田开发工程	我校负责人:	岳湘安
所在院系:	提高采收率中心	转让范围:	不转让
第一完成单位:	国家科技部	第二完成单位:	中国石油大学（北京）
第三完成单位:	/	第四完成单位:	/
成果保密程度:	秘密		
我校参加人员:	岳湘安 侯吉瑞 刘中春 张立娟 齐跃春 赵风兰 刘德新 赵仁保等		
备注:	/		

项目内容摘要:

本项目围绕预期目标开展研究，全面地完成了任务书中的4项研究内容。①通过微管流动实验，发现了水和油的微尺度流动效应；开展了微尺度水电力效应的实验研究；研究了水在并联微管中的流量分配规律；通过微管中的油水两相驱替实验研究了微孔中动态界面特性。②研究了粘土的膨胀及抑制对储层物性的影响；研究了酸液对储层孔隙结构的影响规律；重点研究了低渗油藏开采过程中压敏性和直流电场对储层孔隙结构的影响；建立了利用直流电场改善低渗油藏储层物性的技术思路。③研究了以壁面双电层为主要机理之一的壁面

流体层对渗流特性的影响；研究了电场对低渗透岩心孔隙中微尺度流动效应的影响；开展了直流电场作用下的低渗透岩心渗流和水驱油实验，探索及利用直流电场改善低渗油藏水驱油效果的方法。④通过微管中油水两相驱替流动实验，探索了微管中两相运移特性及界面的运移形态，提出界面运移速度也是影响微孔隙中油水界面特性的重要因素；探索了利用直流电场改善两相界面张力的可能性；在不同润湿性微观孔隙模型上观测了水驱残余油的分布；研究了润湿性对微尺度流动和低渗透油藏采收率的影响。

除了完成任务书中的4项内容外，根据研究过程中发现的新问题及对问题认识的逐步深化，增添和扩充了研究内容。

研究成果与水平

### 1. 取得了5个理论突破

① 揭示了液体壁面层的动态变化规律；建立了描述壁面流体层厚度随驱动压力梯度变化的基本模型。

② 发现了水和油的微尺度流动现象；揭示了低速流动条件下微尺度效应的机理和规律；初步确定了水在圆管中流动的微尺度效应界限。

③ 揭示了水和油在低渗透油藏中低速非线性渗流的微观机理；发现白油和水具有完全不同的微尺度流动效应；基于油和水的微尺度流动效应，提出了低渗油藏视渗透率和极限渗透率的概念；建立了低速非线性渗流的理论框架，长期以来，在学术和技术界存在争议的热点问题，如低速非线性渗流、启动压力等，都可以在这一理论框架下得到本质的解释。

④ 发展了对低渗透油藏压敏性对开采效果影响机理的认识——压力变化越快，储层渗透率损失越大；由此得到一个重要的启示：在低渗透油藏开采过程中，应该尽量避免地层压力的急剧降低，减小对储层的伤害。

⑤ 以直流电场对水微尺度流动特性影响和低渗透岩心中的电动渗流效应为基础，揭示了直流电场提高水驱采收率的机理，得出了相关的基本规律。

### 2. 发现了5个可能引出重要科学问题的现象

① 界面微尺度效应——水和油在足够微小管中的自吸速度超常地高，远远偏离了经典的流体力学和界面化学理论。由此而引发的科学问题是：两相界面的微尺度效应；基于界面微尺度效应的低渗透油藏微观驱油机理。

② 电界面现象——在直流电场作用下，水的表面张力有明显的下降趋势。由此可能引发的科学问题是：两相界面的电效应；低渗油藏孔隙尺度下电界面效应对驱油效率的影响机理。

③ 粘土的电解膨现象——水化膨胀的粘土在直流电场作用下，膨胀率明显地降低。由此得到的重要启示是，利用直流电场改善低渗透水敏储层的渗透性，其微观机理和规律尚待深入研究。

④ 油的微尺度流动降阻现象——白油在足够微小的圆管中流动的阻力系数明显低于经典流体力学理论计算结果，这与水的微尺度流动效应是相反的。由此引发的科学问题是：不同分子结构液体的微尺度流动；低渗透储层中油、水的微尺度流动机理及其对水驱油效率的影响。

⑤ CO<sub>2</sub>微尺度流动的降阻现象——在2μm、5μm的石英圆管中，CO<sub>2</sub>的流动阻力系数远远小于N<sub>2</sub>。由此引发的科学问题：CO<sub>2</sub>的微尺度流动理论；CO<sub>2</sub>在致密储层中运移的微尺度效应；低渗透油藏中CO<sub>2</sub>渗流机理。

### 3. 形成了5个低渗油藏提高采收率的技术思路

① 改善储层中水湿部位润湿性，强化低渗基质的渗吸效应，提高低渗基质中的驱油效率。

② 利用直流电场，改善低渗储层渗透性，提高水驱油效率。

③ 改善低渗油藏注入能力：a. 利用粘土的电解膨效应；b. 油藏深部酸化。

④ 注CO<sub>2</sub>提高低渗油藏采收率。

⑤ 油藏深部封窜，提高低渗透裂缝性油藏水驱波及效率（该技术已在低渗透油田应用，取得了显著的增油降水效果和经济效益）。