

## 国家重点基础研究发展规划项目

## 大幅度提高石油采收率的基础研究\*

关键词 石油采收率, 基础研究

## 1 首席科学家

**沈平平** 中国石油天然气股份有限公司副总裁、中国石油勘探开发研究院院长。教授级高级工程师, 博士生导师。1964 年毕业于复旦大学数学系流体力学专业。兼任中国石油学会常务理事、中国石油工程学会主任等职。

在油层物理和提高石油采收率等油气田开发领域做出了突出成绩, 在生产应用中取得明显效果。应用油藏工程学、渗流力学、计算数学和分形几何学等方法, 使油藏多孔介质孔隙结构的研究取得了重大进展; 将实用油藏工程方法与渗流力学理论有机结合, 在宏观与微观油水运动规律和渗流物理研究等方面进行了创新性的研究; 主持完成了国家和部级重大科研项目“中国注水油田提高采收率潜力评价及发展战略研究”、“中国陆上已开发油田提高采收率潜力第二次评价与战略研究”等, 为制定“八五”、“九五”油田开发规划提供了科学依据, 为各油田提出了提高采收率的发展方向和目标。

具有丰富的组织重大研究项目的经验, 并获得多项重大成果。先后获得全国科技大会奖、中国石油天然气总公司科技进步奖一等奖、原石油部和北京市科技进步奖二等奖等多项成果奖。在国际国内发表论文数十篇, 专著 10 部。

**俞稼镛** 中国科学院理化技术研究所研究员,

博士生导师。中国科学院理化技术研究所、中国石化集团公司胜利原油管理局油田化学工程研究中心主任。原苏联莫斯科大学化学系研究生毕业。曾任中国科学院、中国石油天然气总公司胶体与界面科学联合实验室主任, 中国化学会物理化学专业委员会胶体与界面化学学科组成员, 国家攀登(B)计划“复合驱强化采油中重大基础性研究”项目首席科学家。

近 20 年来主要从事提高石油采收率的研究, 承担了“六五”石油部、中国科学院重点项目以及“七五”、“八五”、“九五”国家重点科技攻关项目中有关驱油体系、驱油剂吸附以及驱油机理等方面的研究。在机理研究基础上, 优化出用于现场实验的驱油体系, 使高含水枯竭油井增产原油且效果显著。主持并完成了国家攀登(B)“复合驱强化采油中重大基础性研究”项目。在推动我国三次采油技术, 特别是化学驱油技术的基础和应用研究方面做出重要贡献。培养了一批博士后、博士和硕士研究生, 造就出一些有较高水平的年轻学术带头人。曾获中国科学院科技进步奖一等奖 1 项, 三等奖 2 项, 北京市科学研究二等奖 2 项, 国家发明专利 2 项, 在国内外发表论文、报告百余篇, 完成专著 1 部。

## 2 科学内涵及意义

石油在全球能源中占首位, 在我国现行的能源

\* 收稿日期: 2001 年 6 月 22 日

结构中,是仅次于煤的第二大能源,对国家的经济和国防有重大影响。随着我国经济的持续发展,对石油的需求不断增加,供需矛盾加剧。

我国是石油资源相对贫乏的国家,人均占有的石油资源仅为世界平均水平的 1/6。我国投入开采的油田多数已进入高含水中后期开发阶段,注水开发主体开采技术已难以满足油田开发的需要,剩余可采储量不足,稳产难度越来越大。水驱采收率平均约 33%,致使大量剩余储量遗留在地下。已开发的主力油田面临产量递减的严峻形势,已探明未动用储量的油气藏类型复杂,利用现有技术开发非常困难。因此我国迫切需要发展新的开采技术,替代水驱油田的开采及使未动用储量投入开发,大幅度提高老油田的采收率和已探明资源的利用率,以满足经济发展和国家安全的需要。

提高采收率技术虽已研究多年,但由于基础研究不够,现有各种提高采收率的方法或机理尚不十分清楚,或地下过程难于控制,导致矿场应用效果不佳。即使有些方法和技术相对比较成熟,但由于地质情况复杂,或其成本过高,而难于采用,因而必须针对提高采收率所存在的根本问题,加深基础理论研究,以开发大幅度提高采收率的新技术。

该项目从国家经济发展的需求出发,从大幅度提高采收率的关键科学问题入手,实行广泛的科学集成和“产、学、研”强强联合,针对我国油藏特点,深入进行驱油用高效、廉价、无污染新型化学剂的分子设计与合成、油藏地质基础、渗流物理基础、驱油过程物理化学基础等研究,为发展石油开采新技术提供科学基础和理论依据。因此本项目不仅对提高已探明石油资源的利用率和石油产量具有重大意义,同时还将促进界面胶体化学、分子设计合成化学、油藏地质学、渗流力学、数学模拟等基础学科的发展。

该项目可望在高效驱油体系、驱油体系与油藏相互作用机理、油藏精细描述、非线性渗流理论、提高采收率物理模拟和数值模拟等方面取得突破。

### 3 研究进展及创新点

(1) 在驱油体系理论研究方面取得重要进展。

确定了驱油用表面活性剂分子设计的整体框架,并进行了相关物化模型的研究。

通过分子设计研究,表明烷基芳基磺酸盐具有良好的界面活性,有望成为新的廉价、高效驱油体系;这种不同烷基芳基模型化合物和我国原油的结构与界面性能关系的系统研究尚未见文献报道。

聚合物分子设计方面,提出了聚合物水溶液增粘的新机理和相应的聚合物分子构象模型,合成出能基本达到增粘、抗温、抗盐、抗剪切、具有良好粘弹性要求的聚合物样品,并观察到这种缔合聚合物在溶液中形成三维网状结构。该研究将对扩大我国聚合物驱的应用范围、降低聚合物驱成本、大幅度提高石油采收率产生重要作用。

在超分子结构研究方面,提出同步调制亲水/亲油平衡与分子堆砌参数设计具有一定几何不对称结构的两亲化合物,这是获取超低界面张力超分子的重要途径,并获得实验证实。

(2) 在驱油体系与油藏物理化学环境相互作用研究中取得了重要进展。较系统地考察了模拟油中活性物质、外加表面活性物质和碱三者之间的各种协同效应,并针对复合驱体系进行了协同效应的模型化研究,为驱油体系的优化提供了一定的理论依据。

在油水界面膜的研究中完善了界面剪切粘度测量方法,研制出了界面扩展粘度仪并建立了研究表面活性物质在油水界面吸附和油水界面膜微观结构的新方法。初步建立了表面活性剂混合组分的色谱分离模型,为建立预测色谱分离的数学模型奠定了基础。

(3) 在油藏精细描述及地质建模方面有突破性进展。在详细的野外露头描述、测量、取样的基础上,发展了砂体规模、尺度、形态和各级地质界面的划分方法和技术;建立了系列储层地质知识库并总结了两类沉积体系的地质规律,这一知识库的建立是定量地质学发展的标志,也为准确认识各种非均质特征提供了可能;建立了第一个原型地质模型,使今后在相同类型沉积的研究中有了可以比较的模板,由此可以大大提高研究的精度;进行了沉积体的物理模拟,首次在实验室再现了砂体的形成和

发育过程。

在油藏精细地质模型研究方面, 实现了沉积微相的定量划分和高分辨率层序地层的计算机识别; 在此基础上, 提出了利用非均质综合指数识别流体流动单元的新方法; 提出了多层次逐级细化、地质-测井-地震联合、确定性和随即建模结合的精细化、定量化油藏地质模型研究新思路。

(4) 在物化渗流与数值模拟研究方面取得了创新性的成果。研究并建成了二维逾渗网络模型, 提出了计算非稳态相对渗透率曲线的新方法, 能够反映微观结构参数对宏观渗流特性的影响。通过网络模型研究不同毛细管内油水界面的运动特征, 为我国油层地质物理研究开拓了新领域。

通过对相似理论的研究, 得出了 7 个聚合物驱相似准则, 为下一步建立物理模型的相似准数奠定

了基础。研制了物理模拟油/水全自动测量装置并申请了专利; 建立了全自动物理模拟装置并进行了水驱和有机交联聚合物驱的油藏物理模拟实验, 清楚地观察到注凝胶后交联聚合物堵塞了大孔道或高渗区, 改变了油藏内流体流动方向, 拓宽了宏观波及范围, 提高了原油采收率。

在复合驱数值模拟方面分析给出了复合化学驱主要驱油机理, 特别是给出了需要改进和新增的重要物化现象及其描述: 主要有复合协同效应引起的界面张力变化, 复合体系引起的乳化、结垢及其在油藏中的色谱分离等, 建立了化学驱重要物化现象的数学描述及处理方法。

(相关图片请见彩插一)

# 征 稿 简 则

《中国科学院院刊》(Bulletin of the Chinese Academy of Sciences) (中、英文版) 是由中国科学院主办的指导性综合类科技刊物。重点刊登重要前沿学科或当前发展迅速的研究领域的现状、存在问题和发展趋势的评述, 研讨发展战略和对策; 科技与社会相互影响的重要问题; 中国科学院各研究领域创新性的重要研究成果(包括阶段性成果) 及其应用; 中国科学院各学部的重要活动和中国科学院院士与科学家就科学及我国社会经济重大发展问题提出的咨询报告及意见和建议; 优秀科学家的业绩; 中国科学院科技体制改革和知识创新工程工作进展及科技政策与管理研究; 中国科学院国际交流与合作的经验和体会; 中国科学院新的科研组织机构及重大科技事件和活动。

所设栏目有: 学部活动、学科发展、成果与应用、科技与社会、工作研究、科学家论坛、科学家、国际交流与合作、科研组织介绍等。

来稿要求论点明确、逻辑严密、层次分明、数据可靠、文字流畅。要有 20 字以内的题目(中、英文)、关键词和作者简介。文中外国人名和组织机构须依照国家标准译成中文, 并注明原文全文。学科发展、成果与应用、科技与社会三个栏目的文章除上述要求外, 还须有 200—300 字的中、英文摘要和参考文献(具体要求见附件)。所有来稿均请交寄软盘或通过 e-mail 发送到编辑部。请勿一稿两投。为扩大信息量, 提倡撰写短文; 欢迎提供彩色照片和彩图。来稿请留联系地址、邮政编码、电话、传真号或 e-mail 地址。文章发表后即付稿酬, 并赠送样刊一册。

本刊不负责退稿, 请作者自留底稿。来稿逾三个月未收到通知者, 作者可自行处理。

本刊为双月刊, 国内外公开发行。读者对象为广大科技工作者、各级科技管理人员和关心我国科技事业发展的读者。

编辑部地址: 北京西城区三里河路 52 号(100864); 电话和传真: (010) 68597508;

英文版网站: [www.bulletin.ac.cn](http://www.bulletin.ac.cn); e-mail: [bulletin@cashq.ac.cn](mailto:bulletin@cashq.ac.cn)

## [附 件]

**作者简介包括:** 姓名(照片)、性别、学术背景及主要学术成就, 字数 200 字以内。

**参考文献格式:** 每条参考文献必须分别包含以下项目并遵照下述格式(均视参考文献类型而定):

**期 刊** 作者(多作者中间用逗号隔开). 文章题目. 刊名, 出版年, 卷(期): 起止页码.

**图 书** 著者(多作者中间用逗号隔开). 书名. 出版地: 出版社, 出版年, 起止页码.

**论文集** 作者(多作者中间用逗号隔开). 文章题目. 论文集编者姓名. 论文集名. 出版地: 出版社, 出版年, 起止页码.

**注:** 作者如为西文姓名, “姓”全拼在前, “名”缩写在后, 后加小圆点(.)。

三人以上作者只注前三人姓名, 中间用逗号隔开, 后加“等”。