

中国石油“十五”科技进展丛书

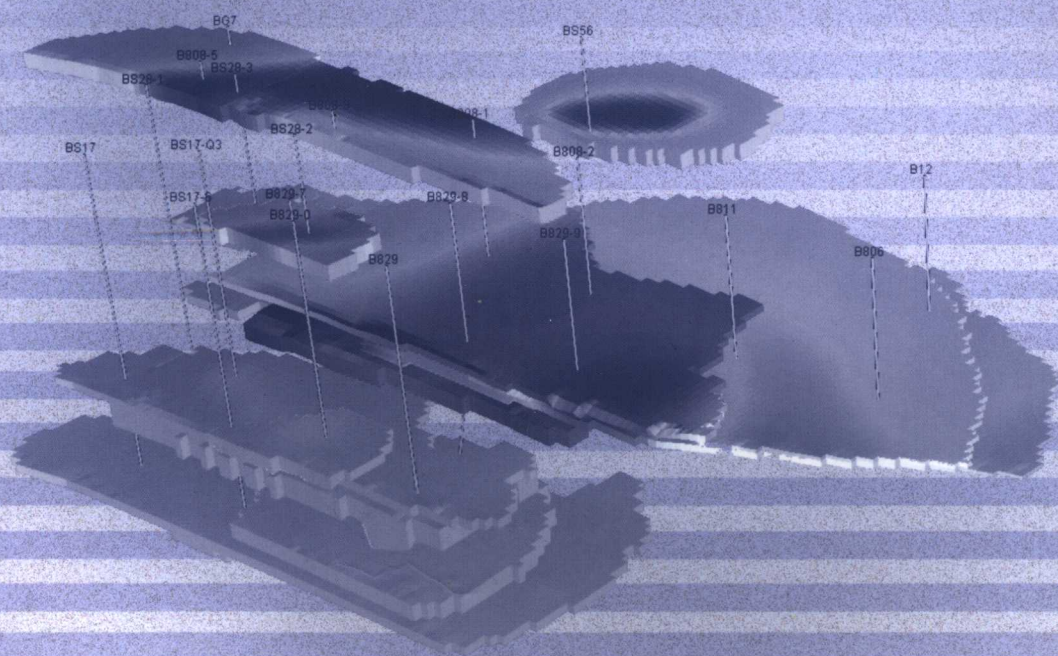
DEVELOPMENTS IN PETROLEUM SCIENCE & TECHNOLOGY, CNPC

丛书主编：周吉平

油气藏工程技术进展

Technological Developments in Oil & Gas Reservoir Engineering

主 编：袁士义



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

中国石油“十五”科技进展丛书
丛书主编：周吉平

油气藏工程技术进展

主 编：袁士义



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本书重点介绍了“十五”期间中国石油天然气集团公司在油藏工程方面的重大科技成果,其中包括油层物理学与渗流力学理论研究的不断深化,油气藏描述的精细化和数字化向深度发展,油气藏评价技术的研究及应用成果,油气藏开发方案的优化设计,对剩余油分布的预测及对开发的调整技术等,均做了概括性的总结。同时分析了我国油气藏工程技术方面的主要问题和挑战,并展望了油气藏工程技术的发展方向。

本书可供从事油气田开发的工程技术人员及石油院校的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气藏工程技术进展/袁士义主编.

北京:石油工业出版社,2006.9

(中国石油“十五”科技进展丛书/周吉平主编)

ISBN 7-5021-5687-9

I. 油…

II. 袁…

III. ①油田开发-研究

②气田开发-研究

IV. ①TE34 ②TE37

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第100758号

油气藏工程技术进展

Technological Developments in oil & Gas Reservoir Engineering

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:21.75

字数:550千字 印数:1—5000册

定价:76.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油“十五”科技进展丛书》编委会

主 任：周吉平

副主任：刘振武 白泽生 赵文智 袁士义 李庆平

成 员：（按姓氏笔画排序）

于建宁	卞德智	方朝亮	牛嘉玉	王同良	王尚旭
王敬农	叶先灯	刘玉章	孙 宁	孙为群	孙星云
张 镇	张卫国	杨 龙	沈平平	苏义脑	迟尚忠
周家尧	胡永乐	赵 明	徐春明	钱荣钧	高泽涛
董国永	窦立荣	鲍晓军	鞠晓东		

《油气藏工程技术进展》编写组

主 编：袁士义

主要编写人员：（按姓氏笔画排序）

田昌炳	刘庆杰	刘明新	纪淑红	朱 斌	曲德斌
李凡华	张为民	罗 凯	胡永乐	姜汉桥	唐 玮
贾爱林	秦积舜	常毓文	潘志坚		

序

人类进入 21 世纪，能源的全球供求矛盾呈现日益突出的态势。石油是世界能源消费的重要组成部分。近年来，随着国民经济的持续、快速发展，中国已经成为世界第二大石油消费国。如何保障我国石油安全和有效供给，已经成为我们面临的巨大挑战。

中国石油担负着保障国家油气安全供给的责任。长期以来，面对国内外竞争环境的变化，面临资源有限与需求不断增长的现实矛盾，中国石油实施技术创新战略，努力建设创新型企业，把提升自主创新能力放在突出的位置，围绕主营业务发展的需求，一手抓关键技术的攻关，一手抓技术创新能力建设，通过技术研发培育创新能力，依靠创新能力的提升，实现技术突破，使技术创新成为实现持续有效较快协调发展的重要支撑，成为建设具有较强国际竞争力跨国企业集团的重要支撑。“十五”期间，在勘探开发、炼油化工、油气储运、工程技术和软件、装备等研发领域，取得了一大批创新成果，在日益复杂的条件下，实现了石油储量和产量的稳步增长。

创新固然重要，技术的集成、有形化和共享同样重要，总结和提高非常有意义，这些都是提高科技竞争力所必须做的工作。国外的许多大型石油公司就有各专业系统、详尽、实用的技术手册，并且经常在修订。正是出于总结和提高的目的，中国石油天然气集团公司科技发展部以创新的思路，提出了组织《中国石油“十五”科技进展丛书》编写的计划，系统、全面总结中国石油五年来的科技工作，包括应用基础研究、技术开发、技术引进、技术推广与应用和装备研制等。这是十分有益的尝试，也是一项非常重要的工作，应该做好并继续做下去。

我十分高兴地看到，现在这项工作得到了大家的充分重视，进展得很顺利。《丛书》的阶段成果已经为我们编制“十一五”科技发展计划提供了重要的基础和依据；《丛书》的审稿结果也表明，我们的科技成果得到了很好的总结，体现了我们自己的专有技术、特色技术和技术集成；《丛书》的出版，我们预期也会对培养一批优秀专业人才起到重要的作用。

今年是“十一五”的开局之年，中国石油的发展也处于重要的战略机遇期。中国石油天然气集团公司召开科技大会，总结“十五”，部署“十一五”的科技工作，我们要以此为契机，进一步贯彻落实全国科技大会精神，要全面理解自

主创新的科学内涵，做好原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新。要坚定信心，坚忍不拔地建设创新型企业。在中国石油全面建设具有国际竞争力的跨国企业集团的进程中，科技工作要率先与国际接轨。值此《丛书》出版之际，我真切地希望这套书能成为记载中国石油科技发展的重要的里程碑，真诚地感谢参与研究和编撰工作的广大科技工作者。让我们继续努力，使中国石油的科技工作更加辉煌！

周群

2006年4月

丛书前言

“十五”期间，中国石油天然气集团公司（以下简称中国石油）在石油天然气勘探开发、炼油化工、石油工程技术服务、石油化工产品储运和贸易以及国际业务等方面都取得了长足的发展。中国石油的规模实力和可持续发展能力显著增强，成为历史上最好的发展时期之一。

随着半个多世纪石油天然气的勘探开发，近年来我国石油工业不得不面对越来越复杂的石油地质条件和高难度的油气生产、加工环境，而中国石油“十五”以来之所以能够取得令人瞩目的成就，得益于科技发展对主营业务的技术支持。为了应对国内外竞争环境的变化，中国石油实施建设一流社会主义现代化企业和具有国际竞争力的跨国企业集团的发展战略，全面落实科学发展观，紧密围绕主营业务发展的技术需求，以“两个转变”（由跟踪模仿向自主创新的转变，由主要为国内业务提供技术支持向立足国内、大力为海外业务提供技术支持的转变）和“四个加强”（加强重大工程技术瓶颈的攻关、加强对具有自主知识产权核心技术的开发、加强对海外业务的技术支持、加强应用基础研究）的创新思路，集中组织了重大科技攻关、重大现场试验、新技术推广应用和超前储备技术研究。“十五”期间，共承担实施国家级科技项目 15 项，安排公司级科技项目 359 项，获得国家级科技奖励 29 项和一批集团公司级重大科技成果，这些创新成果有力地支持了中国石油的生产经营和各项业务的快速发展。

为了系统全面反映中国石油“十五”的科技发展和技术创新成果，中国石油天然气集团公司科技发展部决定组织编写《中国石油“十五”科技进展丛书》（以下简称《丛书》），通过系统总结，以期形成专有技术的集成，形成中国石油具有共享性质的知识体系，从而构成企业有载体的无形资产和企业文化的重要组成部分。

《丛书》以总结中国石油科技研发活动的进展为主，兼顾国内其他部门和国外的进展；以科技计划为基础，以重大研究项目或攻关项目为重点。各分册既有重点成果，又形成相对完整的知识体系，具有先进性、系统性、实用性。它是科研成果的集成，是集体智慧的结晶，是整个科技创新的精华提升和综合性总结。

从 2003 年四季度开始调研至今的两年多时间里，中国石油天然气集团公司科技发展部组织了《丛书》项目组，在充分调研的基础上设计了 14 个分册，明

确了各分册的牵头单位及负责人，讨论确定了各分册构成内容、编写大纲，提出了各分册编写及审稿工作要求。分别于 2004 年 8 月、2005 年 7 月和 2006 年 3 月召开了三次编委会。

《丛书》编委会主任、中国石油天然气集团公司周吉平副总经理非常重视《丛书》的组织编写工作，做出了重要指示，提出了具体要求，指出《丛书》编写也是科技集成创新的一个方面：①《丛书》是对“十五”科技成果的总结、提高，是编制“十一五”科技发展规划的重要基础和依据；②《丛书》应体现出自己的专有技术和特色技术；③《丛书》对提高科技自主创新能力要发挥重要的作用；④《丛书》对培养优秀专业人才要起到重要的指导作用。

具体来说，我们组织这套《丛书》的目的，一方面是总结中国石油阶段性的科技进展，为“十一五”的工作打好基础，另一方面且更重要的是为了扩散传播和推广应用这些成果和技术。《丛书》的编写是由行政单位牵头，把学术带头人、知名专家和有学术影响的人融合在一起组成编写团队。《丛书》的编写工作有如下特点：①各单位领导高度重视，抽调精兵强将参与分册编写工作；②各分册负责人高度重视，精心组织；③编写队伍中凝聚了一大批高水平的专家，基本代表各个专业领域的最高水平；④各分册既有重点成果，又形成了相对完整的体系，体现了先进性、系统性和实用性；⑤《丛书》展望未来科技发展方向，对编制“十一五”科技计划有很好的指导作用。

经过两年多的组织编写，到 2005 年底，经过多次审稿、修改，各分册都达到了预期目标。各分册的主要内容如下。

(1) 石油科技进展综述：由中国石油天然气集团公司科技发展部牵头，负责人刘振武。该分册综述中国石油“十五”期间在石油科技各个方面的进展以及对“十一五”的展望。

(2) 石油地质理论与方法进展：由中国石油勘探开发研究院牵头，负责人赵文智。内容包括陆相层序地层学理论与方法、岩性地层油气藏理论与方法以及前陆盆地、被动裂谷盆地、叠合盆地的油气富集规律和勘探技术的新进展，油气资源评价方法体系建立与应用，前瞻性地对非常规油气资源进行了展望并总结了石油地质综合研究方法。

(3) 石油地球物理勘探技术进展：由东方地球物理勘探有限责任公司和中国石油天然气集团公司物探重点实验室牵头，负责人钱荣钧、王尚旭。内容包括地震勘探数据采集技术、处理方法、解释技术，地球物理软件、模型技术，油藏地球物理、重磁电综合勘探技术、勘探实例以及今后技术发展方向等。

(4) 石油地球物理测井技术进展：由中国石油天然气集团公司测井重点实

验室和中国石油大学（北京）牵头，负责人王敬农、鞠晓东。内容包括测井应用基础研究、测井新技术开发、测井装备研制、测井新技术推广与应用等。

（5）钻井工程技术进展：由中国石油天然气集团公司科技发展部和中国石油勘探开发研究院牵头，负责人孙宁、苏义脑。内容包括水平井钻井技术、深井超深井钻井技术、欠平衡钻井与气体钻井技术、大位移井与分支井钻井技术、固井和完井技术、钻井液与储层保护技术、海外钻井实践、钻井装备与工具以及钻井工程应用基础与前沿技术等方面的新进展。

（6）采油工程技术进展：由中国石油勘探开发研究院牵头，负责人刘玉章。内容包括采油工程方案编制、完井、人工举升、注水工艺、油田堵水调剖技术、低渗透油藏压裂酸化工艺技术、热力采油、防砂工艺技术、套损机理分析及修复防护技术、采气工艺等方面的新进展。

（7）油气藏工程技术进展：由中国石油勘探开发研究院牵头，负责人袁士义。内容包括油层物理与渗流力学的理论进展，以及油气藏精细描述与精细数值模拟技术、勘探开发一体化油气藏评价技术、不同类型油气藏开发与调整方案优化设计技术、剩余油分布预测研究形成的改善水驱技术和油气田开发与规划与经济评价研究取得的新进展。

（8）提高采收率技术进展：由中国石油勘探开发研究院牵头，负责人沈平平。内容包括油藏精细描述技术，聚合物驱油技术、化学复合驱油技术，热力采油技术，注气提高采收率技术、微生物提高采收率技术以及其他提高采收率技术等方面的新进展。

（9）石油地面工程技术进展：由中国石油集团工程设计有限责任公司牵头，负责人迟尚忠。内容包括油田地面工程、气田地面工程、滩海油气田工程、腐蚀与防护、地面工程新设备与应用、计量仪表与自动化、化学药剂等方面的新进展。

（10）油气输送管道工程技术进展：由中国石油天然气集团公司管材研究所和中国石油天然气管道局牵头，负责人杨龙、高泽涛。内容包括油气管道勘察设计技术、高性能管材国产化技术、管道施工技术、管道输送技术、管道检测与完整性评价技术、腐蚀与防护技术、施工和运行管理技术等方面的新进展。

（11）石油炼制与化工技术进展：由重质油国家重点实验室、中国石油天然气集团公司催化重点实验室和中国石油炼化化工技术研究开发中心牵头，负责人徐春明、鲍晓军。内容包括重油加工、清洁油品生产和润滑油、石蜡、沥青等特色产品的生产技术等石油炼制技术方面取得的进展，基本有机原料、三大合成材料、天然气化工和化肥以及精细化工等石油化工领域的进展，以及在催

化材料、催化剂、石油化工装备和先进控制技术方面取得的新进展。

(12) 石油信息技术进展：由中国石油天然气集团公司石油经济技术研究中心牵头，负责人王同良。内容包括信息技术在石油工业上游、下游中的应用，中国石油计算机网络建设、管理信息系统、电子商务以及信息网站和门户建设等。

(13) 石油环保技术进展：由中国石油天然气集团公司质量安全环保部和环境工程技术中心牵头，负责人董国永。内容包括环保技术、石油相关污染及其控制、清洁化生产、环境影响评价等。

(14) 勘探开发集成配套技术及应用实践：由中国石油天然气集团公司科技发展部、中国石油勘探开发研究院和中国石油天然气勘探开发公司研究中心牵头，负责人方朝亮、牛嘉玉、卞德智。主要内容是围绕岩性地层油气藏、前陆盆地、老油区挖潜、边际油田、被动裂谷、复杂碳酸盐岩油气藏、复杂小断块、低渗透油藏等重大勘探开发领域，系统分析和总结了使油气勘探和开发取得重大突破的各项配套技术与方法。

以这样一个思路来组织编写这样一套《丛书》，是一个新的尝试。期待通过我们的努力，这套《丛书》能够达到预期的目的，能够得到大家的认可。我们计划今后每五年总结编写一次，形成一个模式。对每五年的科技进展进行总结、提炼、积累，让后人站在这个平台上继续攀登，加快企业对已有技术的学习应用和加快技术创新的步伐。

《丛书》的组织编写和出版工作也是一项任务量很大的工程。在两年多的时间里，组织数十个科研单位、数百名科研人员投身于其中，在完成紧张的科研和生产任务的同时，认真落实周吉平副总经理的指示和要求，以高质量高标准完成了各个分册的编写工作，并不厌其烦地进行修改，达到了最终的出版要求；石油工业出版社组织一流的编辑出版力量，高质量、高标准完成《丛书》的编辑出版工作，力争把这套《丛书》出成精品图书。值此《丛书》出版之际，对所有参与这项工作的院士、专家及科研人员辛勤而杰出的工作深表感谢。

《丛书》的出版又使我们迈向了新的起点。我们在期望《丛书》发挥应有效用的同时，也真诚地希望广大科技界的同仁能不吝赐教，使《中国石油“十一五”科技进展丛书》能够编得更好。

《丛书》编委会

2006年4月

前 言

经过多年探索，特别是“十五”期间的科技攻关与实践，中国石油在油气藏工程技术方面取得了显著的进展，形成了针对不同类型油田的主体开发技术。大型非均质砂岩油田早期注水分层开采、高含水油田控水稳油综合调整治理、复杂断块油田滚动勘探开发、聚合物驱提高采收率、高压凝析气田开发等配套技术具有国际领先水平；稠油蒸汽吞吐开发、低渗透油田开发、深层油田水平井整体开发、裂缝性等特殊油藏开发、天然气田开发等配套技术达到或接近国际先进水平；先进的二次采油、复合化学驱强化采油提高采收率、复杂油气藏开采等新技术取得了重大进展，已经并将为中国石油油气田的高效开发和油气产量的稳定增长提供强有力的技术保障。

按照《中国石油“十五”科技进展丛书》编委会的统一部署，《油气藏工程技术进展》分册于2005年3月底完成初稿，此后根据审稿专家的意见进行了多次修改，最后由分册主编袁士义负责统稿完成。

本分册由中国石油勘探开发研究院（以下简称研究院）负责编写，技术资料主要取自研究院和中国石油所属油气田的科技成果及公开发表的文献，参考文献及有关大事记随文后列出。本分册汇集了中国石油在油气藏工程方面的主要技术进展，重点介绍了“十五”期间的重大科技成果，其中包括油层物理和渗流力学等基础理论与方法方面的进展，油气藏精细描述和数值模拟、油气藏评价、油气藏开发方案优化设计、剩余油分布预测与开发调整及油气田开发规划和经济评价等主体技术的进展。在此基础上，分析了油气藏工程技术面临的主要问题和挑战，展望了油气藏工程技术未来的发展。本分册在介绍主要技术进展的同时，兼顾了油气藏工程技术的系统性和实用性。

本分册由九章构成，第一章由袁士义、朱斌编写；第二章由秦积舜、刘庆杰编写；第三章由贾爱林、刘明新编写；第四章由田昌炳、张为民编写；第五章由李凡华、袁士义编写；第六章由胡永乐、纪淑红、袁士义编写；第七章由罗凯、袁士义编写；第八章由常毓文、潘志坚编写；第九章由袁士义、朱斌编写。袁士义担任本书的主编，并负责全书的组织和系统审查工作。

在本分册编写过程中，研究院多位有关专家参与了资料整理和编写工作，研究院方义生、方宏长及中国石油大学（北京）姜汉桥等教授对有关章节进行了仔细的审阅，提出了宝贵的修改意见。编写组全体同仁在此向所有参与本书编写和审阅工作的专家表示真诚的谢意！

目 录

第一章 绪论	(1)
参考文献	(13)
第二章 油层物理与渗流力学	(14)
第一节 概述	(14)
第二节 研究进展	(15)
第三节 油层物理在油气藏工程中的应用	(18)
第四节 渗流力学在油气藏工程中的应用	(50)
参考文献	(64)
第三章 油气藏精细描述与数值模拟技术	(66)
第一节 概述	(66)
第二节 精细油藏描述的技术进展	(70)
第三节 油藏数值模拟的技术进展	(88)
第四节 取得的成果与应用	(107)
参考文献	(133)
第四章 油气藏评价技术	(135)
第一节 概述	(135)
第二节 油气藏评价技术研究进展	(136)
第三节 油气藏评价技术应用成果	(148)
第四节 现状与展望	(175)
参考文献	(177)
第五章 油藏开发方案优化设计技术	(178)
第一节 概述	(178)
第二节 油藏开发方案优化设计技术研究进展	(178)
第三节 油藏开发方案优化设计技术应用成果	(194)
参考文献	(209)
第六章 剩余油分布预测与开发调整技术	(210)
第一节 概述	(210)
第二节 剩余油分布预测与开发调整技术研究进展	(214)
第三节 剩余油分布预测和开发调整技术的应用成果	(233)
参考文献	(248)
第七章 气藏开发方案优化设计	(250)
第一节 概述	(250)
第二节 技术进展	(250)

第三节 取得的攻关成果及应用	(266)
参考文献	(282)
第八章 油气田开发规划和经济评价	(286)
第一节 概述	(286)
第二节 技术进展	(287)
第三节 主要成果和应用	(303)
参考文献	(313)
第九章 油气藏工程研究面临的问题、挑战与对策	(314)
参考文献	(326)
附录 大事记	(328)

Contents

1 General Introduction	(1)
References	(13)
2 Petrophysics and Mechanics of Fluid Flow in Porous Media	(14)
2.1 Introduction	(14)
2.2 Research development	(15)
2.3 Application of petrophysics in reservoir engineering	(18)
2.4 Application of mechanics of fluid flow in porous media in reservoir engineering	(50)
References	(64)
3 Detailed Reservoir Characterization and Numerical Reservoir Simulation Technology	(66)
3.1 Introduction	(66)
3.2 Technical progress of detailed reservoir characterization	(70)
3.3 Technical progress of numerical reservoir simulation	(88)
3.4 Achievement and application	(107)
References	(133)
4 Technical Progress of Hydrocarbon Reservoir Evaluation Research	(135)
4.1 Introduction	(135)
4.2 Reservoir evaluation technology advancements	(136)
4.3 Typical oil fields and applications	(148)
4.4 Status quo and prospects	(175)
References	(177)
5 Optimum and Design Techniques of Field Development Plan	(178)
5.1 Introduction	(178)
5.2 Research progress in optimal design techniques of field development plan	(178)
5.3 Application of optimum and design techniques on field development plan	(194)
References	(209)
6 Forecast of Residual Oil Distribution and Adjustment Technology for Development	(210)
6.1 Introduction	(210)
6.2 Advanced in research on forecast of residual oil distribution and adjustment technology for development	(214)
6.3 Achievement of forecast of residual oil distribution and adjustment	

technology for development	(233)
References	(248)
7 Technologies of Development Plan Designments and Optimizations of Gas Fields ...	(250)
7.1 Introduction	(250)
7.2 Technical advancements	(250)
7.3 Typical application cases	(266)
References	(282)
8 Oil & Gas Field Development Planning and Economic Evaluation	(286)
8.1 Introduction	(286)
8.2 Technique progress	(287)
8.3 Advances and applications	(303)
References	(313)
9 Problem, Challenge and Strategy in Oil & Gas Reservoir Engineering	(314)
References	(326)
Appendix Sequence of Events	(328)

第一章 绪 论

油气藏工程是专门研究油气田开发方法和动态特征及规律的工程学科，主要运用油层物理、渗流力学等基础知识和油藏描述、试井分析、数值模拟、经验公式等技术方法和手段，建立预测和控制油田开发过程的理论、方法和技术，以获得最大的经济油气采收率。

本分册主要以中国石油天然气集团公司“十五”期间油气藏工程重点科技研究项目和重大科技成果为基础，总结汇集了油气藏工程基础研究和科技攻关方面的重要理论和技术进展，编写中既反映形成的新理论、新成果，同时又按照先进性、系统性、实用性的原则，形成相对完整的油气藏工程技术体系。

我国油田多数为陆相沉积油田，具有含油层系多、油藏非均质严重、原油黏度较高、天然能量不足、油藏类型复杂等特点，使得油田的开发难度较大。经过多年的高效开发，主力老油田多数已进入高含水、高采出程度阶段，深化开发的难度越来越大。新发现的油气藏多数为低渗、复杂岩性油气藏，高效或有效开发难度大，采收率较低。

针对油气田开发的上述问题，“十五”期间，中国石油天然气集团公司在油气藏工程技术领域持续攻关，并在油层物理、渗流力学等基础理论和精细油藏描述、数值模拟、油气藏评价、先进的二次采油及复杂油藏高效开发、剩余油分布预测及调整挖潜、气藏高效开发、油气田开发及经济评价等技术方面，取得了重大进展，应用效果和效益显著，主体技术已达到国际领先或先进水平。“十五”期间，共获得部级科技进步或技术创新二等奖以上的科技成果几十项，其中“塔里木盆地高压凝析气田开发技术研究及应用”获国家科技进步一等奖，“低渗透油田高效开采配套技术”获国家科技进步二等奖和中国石油天然气集团公司技术创新特等奖，“委内瑞拉边际油田挖潜技术及应用”、“准噶尔盆地石西油田的发现与高效开发”、“油气藏数值模拟技术的应用”、“有水气藏油藏工程方法研究”等获国家科技进步二等奖，“大庆油田高含水后期水驱挖潜技术”获中国石油天然气集团公司技术创新特等奖，“苏丹 Unity 油田储层建模与开发技术”、“大港复杂断块油气藏精细油藏描述研究与实践”、“储层露头精细描述与应用研究”、“委内瑞拉英特甘博边际油田开发综合技术”、“哈得逊亿吨级超深海相砂岩油田高效勘探开发技术”等获中国石油天然气集团公司技术创新一等奖，“吉林油田英坨地区油藏评价及产能建设技术”等获北京市科技进步一等奖，这些科技成果为中国石油油气田的高效开发和可持续发展奠定了坚实的理论基础和强有力的技术保障。

一、油层物理与渗流力学理论研究不断深化

油层物理与渗流力学是支撑油气藏开发技术的基础性学科，是认识和改造油藏的理论基础，为油气藏开发方案优化设计等提供了理论依据。随着不同类型复杂油气田的发现与开发及老油田提高原油采收率技术发展的需要，对油层物理与渗流力学方面研究提出了更为广泛和深入的要求。经过多年研究，特别是“十五”攻关，油层物理与渗流力学研究在

实验方法和技术、深化认识油气藏、渗流机理、实际应用等方面都取得了重大进展。

1. 实验方法和技术

油层物理和渗流力学的理论研究始终伴随着实验方法和技术的进步而不断发展,其中岩心分析、物理模拟、流体 pVT 分析是实验测试技术的核心。“十五”以来,随着实验装置、计算机与自动控制技术的飞速发展,以复杂岩心分析、高温高压流体分析、微观模型和物理模拟为代表的实验方法和技术向着定量化、可视化、自动化的方向不断进步。

(1) 自动化的现代渗流实验方法和技术

作为实验系统的重要组成部分,驱替泵、压力(压差)测量的进步最为突出。不断完善驱动系统不仅可在更高压力下工作,而且可在恒压力(或恒压差)状态下运行,使得渗流过程更为接近实际油藏中的状态。压力(或压差)传感器的性能大大提高,实验参数的测量更为准确、可靠,使得油层物理与渗流模拟的实验水平显著提高。

(2) 无损检测方法和技术

核磁共振技术成为油层物理和渗流实验中一种非常有效的无损检测技术,目前的应用已不再局限于流体饱和度分布,而且还可通过建立适当的演算模型,求解流体的相黏度、估算岩石的毛管压力曲线及石油采收率等。

(3) 恒速法毛管压力曲线测定

压汞曲线是获取多孔介质微观孔隙结构参数的最重要的方法。20世纪90年代末,我国引进了第一台最新型的恒速压汞实验仪,据此建立的孔隙网络模型,其测试和计算结果更为符合实际,并已在实际应用中取得了良好的效果。

(4) 油藏条件下的三维物理模拟

油藏条件下的三维物理模拟,特别是饱和度测量方法和技术取得重大进展,实现了在油藏温度和压力条件下在线测量三维模型不同位置的饱和度变化,给出可视化的饱和度分布图,使三维物理模拟的技术水平显著提高。

(5) 油藏条件下的 pVT 测试

随着我国西部尤其是塔里木油区中相继发现多个深层、高温高压、富含凝析油的凝析气田以及易挥发性原油油田,循环注气保持地层压力开采已成为阻止凝析油反凝析损失提高采收率的重要措施。采用凝析气藏的实际流体和岩心在油藏的温度、压力下进行实验,使得人们可以更为真实地模拟凝析油在实际储层的注气过程中的动态变化过程,研究凝析油地下反蒸发特征,对我国凝析气藏的开发具有重要的意义。

2. 机理研究

早期的油层物理与渗流力学研究基本上是在均质假设的基础上,针对简化的油、水及不与流体发生物理化学作用的孔隙骨架进行研究,因而其数学表征通常为线性的,是达西定律的基础。随着我国大部分油气田进入中后开采期,注采方式趋于多样化,人们不仅关注孔隙结构的非均匀性,而且更为关注油藏岩石润湿性的非均匀性、油藏岩石的各向异性、油藏流体的非牛顿性以及这些复杂性质对流体渗流的影响。近年来,在流固耦合、非达西渗流、分形介质渗流和微观渗流等方面取得了明显的进展。

(1) 流固耦合力学

油气开采和地下水抽放等过程中,由于地层孔隙流体压力的变化,一方面可能引起岩