



2007-2008

石油与天然气工程

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN PETROLEUM ENGINEERING

中国科学技术协会 主编

中国石油学会 编著

 中国科学技术出版社



2007-2008

石油与天然气工程

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN PETROLEUM ENGINEERING

中国科学技术协会 主编

中国石油学会 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

石油与天然气工程学科发展报告:2007-2008/中国科学技术协会主编;
中国石油学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2008.2

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-4868-6

I. 石... II. ①中... ②中... III. ①石油工程-技术发展-研究报告-中国-2007-2008 ②天然气工业-技术发展-研究报告-中国-2007-2008 IV. TE-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 017810 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:10 字数:240 千字

2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—3500 册 定价:27.00 元

ISBN 978-7-5046-4868-6/TE·21

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2007—2008
石油与天然气工程学科发展报告
REPORT ON ADVANCES IN PETROLEUM ENGINEERING

首席科学家 高德利

专家组成员 (按姓氏笔画排序)

邓金根	白真权	冯耀荣	刘慧卿	祁大胜
何庆华	李根生	张占锋	张劲军	宋承毅
林 凯	杨祖佩	宫 敬	赵新伟	郭小哲
高德利	崔红升	黄洪春	韩礼红	董秀成
蒋官澄	程杰成	葛家理		

学术秘书 张 辉

序

基于我国经济社会发展和国际社会竞争态势的客观要求,党中央、国务院做出增强自主创新能力、建设创新型国家的战略部署。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的科学基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面,是国家科技竞争力的标志。在科学技术繁荣、发展的过程中,传统的自然科学学科得以不断深入发展,新兴学科不断产生,学科间的相互渗透、相互融合的趋势不断增强;边缘学科、交叉学科纷纷涌现,新的分支学科不断衍生,科学与技术趋向综合化、整体化。及时总结、报告自然科学的学科最新研究进展,对广大科技工作者跟踪、了解、把握学科的发展动态,深入开展学科研究,推进学科交叉、融合与渗透,推动多学科协调发展,促进原始创新能力的提升,建设创新型国家具有非常重要的意义。为此,中国科协在连续4年编制《学科发展蓝皮书》基础上,自2006年开始启动学科发展研究及发布活动。

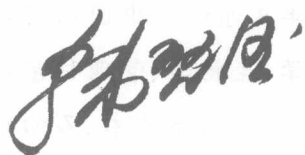
继2006年中国科协组织中国力学学会等30个全国学会开展30个相应一级学科发展研究,并编辑出版中国科协学科发展研究系列报告之后,2007年又组织了中国物理学会等22个全国学会,分别对物理学、天文学、海洋科学、生物学、管理科学与工程、水利、工程热物理、控制科学与工程、航天科学技术、核科学技术、石油与天然气工程、能源科学技术、安全科学与工程、园艺学、畜牧兽医科学、植物保护学、作物学、公共卫生与预防医学、城市科学、车辆工程等20个学科的发展状况进行了系统的研究,并编辑出版了学科发展研究系列报告(2007—2008)。在各分卷报告基础上,组织有关专家编撰了全面反映上述20个学科发展状况的综合报告——《学科发展报告综合卷(2007—2008)》。

中国科协是中国科学技术工作者的群众组织,是国家推动科学技术事业发展的重要力量,开展学术交流,活跃学术思想,促进学科发展,推动自主创新是其肩负的重要任务之一。开展学科发展研究及学科发展报告发布活动,是

贯彻落实科教兴国战略和可持续发展战略,弘扬科学精神,繁荣学术思想,展示学科发展风貌,拓宽学术交流渠道,更好地履行中国科协职责的一项重要举措。这套由21卷、600多万字构成的系列学科发展报告(2007—2008),对本学科近两年来国内外科学前沿发展情况进行跟踪,回顾总结,并科学评价近年来学科的新进展、新成果、新见解、新观点、新方法、新技术等,体现学科发展研究的前沿性;报告根据本学科发展现状、动态、趋势以及国际比较和战略需求,展望本学科的发展前景,提出本学科发展的对策和建议,体现学科发展研究的前瞻性;报告由本学科领域首席科学家牵头、相关学术领域的专家学者参加研究,集中了本学科专家学者的智慧和学术上的真知灼见,突出学科发展研究的学术性。这是参与这些研究的全国学会和科学家、科技专家劳动智慧的结晶,也是他们学术风尚和科学责任的体现。

希望中国科协所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究和发布活动,持之以恒地出版学科发展报告,充分体现中国科协“三服务、一加强”的工作方针,不断提升中国科协和全国学会的学术建设能力,增强其在推动学科发展、促进自主创新中的作用。

中国科学技术协会主席



2008年2月

前 言

在全世界范围内,石油与天然气资源既是主要的优质能源,又是保障一个国家政治、经济、军事安全的重要战略物资。石油与天然气工程(Petroleum Engineering),就是围绕石油天然气资源的钻探、开发及储运而实施的知识、技术和资金密集型工程,是石油天然气勘探开发的核心业务,包括钻井、完井、油藏、生产及储运等主要内容,是一项复杂的系统工程,涉及力学、化学、地质、材料等多个基础学科领域。近年来,由于各国对石油和天然气不断增长的巨大需求,国际性的石油与天然气勘探开发事业呈现出空前繁荣的发展局面,从而使石油与天然气工程面临许多新的机遇和挑战。

为贯彻落实全国科技大会和《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》的精神,促进学科发展和原始创新能力的提升,提高我国科技自主创新水平,建设创新型国家,中国科学技术协会(简称“中国科协”)组织开展了学科发展研究及发布活动。作为中国科协的组成部分和石油天然气领域的综合性学会,中国石油学会受中国科协的委托,于2007年10月开始组织筹备石油与天然气工程学科发展报告的撰写工作,并成立了以高德利教授为首席科学家、由有关学科带头人及学会管理干部参加的课题研究编写组,认真落实和布置编写任务和专题负责人。根据中国科协关于学科发展报告的撰写要求,全面总结我国在石油与天然气工程学科领域的科技发展成就,进一步明确我国在本学科领域的未来发展方向。

中国石油学会专门召开了课题研究编写组工作会议,结合与会专家的意见和建议,并参考国务院学位委员会和国家教育委员会1997年6月颁布的《授予博士、硕士学位和培养研究生的学科、专业目录》,决定根据石油与天然气工程的学科内涵和专业属性,组织有关专家从油气井工程、油气田开发工程、油气储运工程、石油管工程及石油工程管理5个方面进行专题研究和编写,力求结构合理、特色鲜明、重点突出。根据中国科协的有关要求,本学科发展报告首先对国内本学科领域近三年来发展的主要科技成就进行回顾与评价,并阐明与国际先进水平存在的主要差距,进而根据国家油气发展的重大需求及本学科发展趋势,提出了石油与天然气工程领域科技发展的战略举措和重点研究课题。

本书撰写各篇报告的人员分工是:《石油与天然气工程学科发展》由高德利教授负责组织编写;第一专题篇《油气井工程学科发展》由高德利教授、李根

生教授负责组织编写;第二专题篇《油气田开发工程学科发展》由刘慧卿教授、郭小哲博士负责组织编写;第三专题篇《油气储运工程学科发展》由张劲军教授负责组织编写;第四专题篇《石油管工程学科发展》由冯耀荣教授级高工负责组织编写;第五专题篇《石油工程管理学科发展》由董秀成教授负责组织编写。全书由高德利教授负责统稿。

在本书编写过程中,得到了石油系统有关单位的大力支持,他们积极配合课题研究编写组收集有关学科发展信息和数据资料,同时得到了有关专家学者的热情咨询和指导。在各方的共同努力下,《石油与天然气工程学科发展报告》终于完成了研究和编写任务,并奉献给读者,可供石油与天然气工程领域的科研、设计、施工、管理人员以及高校师生学习参考,也期望能够为有关部门规划决策提供有益参考。

尽管课题研究编写组的各位成员付出了很大努力,但是由于我们首次承担中国科协的学科发展研究项目,再加上时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,恭请广大读者和同行批评指正,以便帮助我们今后加以改正和不断完善。

中国石油学会
2008年1月

目 录

序	韩启德
前言	中国石油学会

综合报告

石油与天然气工程学科发展	(3)
一、引言	(3)
二、石油与天然气工程学科发展的回顾与评价	(4)
三、石油与天然气工程学科发展的趋势和特点	(12)
四、石油与天然气工程学科发展的措施与建议	(14)
五、结束语	(16)
参考文献	(16)

专题报告

油气井工程学科发展	(21)
油气田开发工程学科发展	(42)
油气储运工程学科发展	(65)
石油管工程学科发展	(96)
石油工程管理学科发展	(124)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Petroleum Engineering	(141)
-----------------------------	-------

Reports on Special Topics

Progress in Drilling & Completion for Oil & Gas	(144)
Progress in Exploitation Engineering of Oil & Gas Field	(145)
Progress in Storage and Transportation Engineering for Oil & Gas	(146)
Progress in Tubular Engineering for Oil & Gas	(147)
Progress in Petroleum Engineering Management	(148)

综合报告

石油与天然气工程学科发展

一、引言

在全世界范围内,石油与天然气资源既是主要的优质能源,又是保障一个国家政治、经济、军事安全的重要战略物资。石油与天然气工程(Petroleum Engineering),就是围绕石油与天然气资源的钻探、开发及储运而实施的知识、技术和资金密集型工程,是石油天然气勘探开发的核心业务,包括钻井、完井、油藏、生产及储运等主要内容,是一项复杂的系统工程,涉及力学、化学、地质、材料、机电及管理等多学科领域。在世界范围内,石油与天然气勘探开发的巨额花费主要用在石油与天然气工程方面,包括油气勘探总成本的大部分(55%~80%)及油气开发与储运工程的全部花费。

石油与天然气工程学科的发展不同于数理化等自然科学基础学科,它不仅要受自然科学规律的约束,而且要受到地下资源条件和经济社会发展的综合约束。因此,石油与天然气工程学科的发展水平,不仅取决于本学科以往发展的积累,而且与经济社会的发展和需求密切相关。近年来,由于各国对石油和天然气不断增长的巨大需求,国际性的石油与天然气勘探开发事业呈现出空前繁荣的发展局面,从而使石油与天然气工程面临许多新的机遇和挑战。

随着国内石油与天然气勘探开发程度的不断提高,剩余的石油和天然气资源大多分布在高原、山地、沙漠、黄土塬和海洋(尤其是深海)覆盖地区,地面环境和地质条件都比较复杂,而且大多属于低品位或难动用油气资源,勘探开发的难度不断加大,致使石油与天然气工程面临一系列的重大科技难题。同时,由于国内可利用的石油和天然气资源已明显不能满足国家能源需求,客观上要求我国石油企业必须实施走出去的发展战略,积极勘探开发与利用国外的油气资源,因而需要研究国外油气勘探开发合作区的实际情况,解决相应的工程科技难题。

因此,在《国家中长期科学和技术发展规划纲要》中,提出了“复杂地质油气资源勘探开发利用”及“海洋资源高效开发利用”等优先主题,已批准实施“大型油气田及煤层气开发”国家重大专项(全国16个重大专项之一),并且启动了以“先进钻井技术及装备”和“南海复杂油气勘探开发关键技术及装备”等国家“863计划”重大专项为代表的一批高科技研发项目。显然,这些优先主题及重大科研项目都对石油与天然气工程学科领域的学科建设、科学研究及人才培养等提出新的更高要求。

在石油与天然气工程专业教育方面,美国等西方发达国家已有较长的发展历史,在许多著名大学里(例如:University of Texas at Austin, Stanford University, University of Tulsa,等等)都设立了石油工程系(Department of Petroleum Engineering),专门培养石油与天然气工程领域的学士、硕士和博士等高层次人才,以满足石油天然气工业日益增长的人才和科技需求。我国的石油与天然气工程高等教育以1953年成立的北京石油学院为

主要标志,已有 50 多年的发展历程,为国家培养了一大批石油与天然气工程学科领域的高层次专业人才,基本满足了不同时期我国石油天然气工业对该学科专业人才的迫切需求。目前,已有 3 个石油与天然气工程学科点(中国石油大学、大庆石油学院、西南石油大学)被评选为国家一级重点学科(2007),其中,中国石油大学的石油与天然气工程学科点还被纳入国家“优势学科创新平台项目”重点建设(2006),标志着我国在石油与天然气工程领域的学科发展水平不仅达到国内一流,而且已迈入争创国际一流的国家优势学科行列。

二、石油与天然气工程学科发展的回顾与评价

近年来,伴随石油天然气工业的不断发展,国内外对石油与天然气工程学科的建设与发展越来越重视,科教投入逐年增加,科学研究、人才培养及学科建设水平不断提高。在世界范围内,由于对石油和天然气消费急剧增加及石油价格不断飙升,各国及相关石油天然气公司在油气资源勘探与开发利用方面的投资和业务活动明显增加,从而对石油与天然气工程学科领域的技术和人才发展提出迫切需求。在这种形势下,石油与天然气工程科技不仅在基础理论方面取得重要进展,而且在技术装备方面也有重大突破。同时,我国的石油与天然气工程学科建设在国家“211 工程”带动下也取得了重要进展,目前拥有 3 个石油与天然气工程国家一级重点学科点(如上所述)及 10 个国家二级重点学科点(油气井工程学科 3 个、油气田开发工程学科 3 个、油气储运工程学科 4 个)。

我国以学科建设为龙头,以市场需求为动力,对工程科技和教育的发展产生了巨大的推动作用。在石油与天然气工程领域,不仅本科和研究生教育规模有明显扩大,而且在科学研究方面取得了许多创新成果,如在复杂油气井工程、复杂油气藏开发理论、提高石油采收率、油气管道长距离输送以及石油管工程等方面,都取得了丰硕的理论和技术研究成果,其中部分成果已在实际工程中获得成功应用,产生了巨大的经济和社会效益。

近三年来(2005~2007),国内在石油与天然气工程学科领域展示出许多重大科技成果,其中获国家技术发明二等奖 3 项及国家科技进步奖 16 项(一等奖 1 项、二等奖 15 项),标志着我国在石油与天然气工程领域的科技水平不断提高,综合科技实力进一步增强。

(一)油气井工程科技进展

1. 近海高水垂比大位移井开发工程

大位移井钻井是挑战钻井极限的前沿技术。当大位移井的水平位移与垂深之比(水垂比)大于 3 时,则称之为高水垂比大位移井。为挽救南中国海流花 11-1 油田,在 311m 水深条件下采用原有的浮式钻采平台和水下井口独立设计与实施了 5 口高水垂比大位移井工程,创造了 5634m 水平位移、6.13 水垂比(从泥线算起)及 6300m 开发井 40 天钻井周期等国际高新指标,形成了一套先进的大位移钻井技术与实施准则,包括大斜度长裸眼延伸极限预测与控制、管柱摩阻/扭矩预测与控制、套管磨损预测预防、井眼清洁及导向钻具组合等,标志着我国在海洋石油大位移井工程领域已经走在世界的前列。这种大位移

井开发模式又在南海惠州 25-4 及番禺 11-6/30-1 等油气田获得应用,未来 10 年内仅南海东部就有 30 个类似构造待开发,预示着大位移井技术在海洋、滩海、湖泊等地区的油气勘探开发中具有广阔应用前景。

2. 欠平衡和气体钻井技术

该成果在欠平衡与气体钻井装备与工具的配套和国产化(包括旋转控制头、不压井起下钻装置、气液分离系统等装备和气动螺杆钻具、井下空气锤、震击器、减振器、雾化泵等工具)、欠平衡与气体钻井技术的配套与规模应用、全过程欠平衡钻井、及时发现和保护储层、解决井下复杂和大幅度提高钻速等方面取得了一系列重大成果。川渝地区的气体钻井试验不但一举扭转了该地区钻速长期徘徊在 2m 左右的被动局面,形成一套适合该地区不同地层、不同情况下的雾化、泡沫、充气、空气、氮气、天然气等不同介质的气体钻井配套技术,成功解决了钻遇地层出水、浅层天然气、漏失、垮塌、井斜等技术难题;在七里北 101 井成功进行了国产空气锤试验,连续进尺 1381m,平均机械钻速 16.95m。该井气体钻井总进尺 2709m(国内最长),所进行的氮气钻井是国内首次采用氮气钻进,总进尺 835m,仅用一只国产牙轮钻头就钻穿须家河组地层 353m,同比机械钻速提高 13 倍以上,节省钻头 10 只左右。川渝油气田磨溪、七里北等地区分别提高钻速 5~15 倍,创造了“磨溪速度”和“七里北奇迹”,这标志着我国欠平衡钻井系列技术开始进入成熟期。另外,在伊朗 TBK 气田应用空气泡沫钻井技术使钻井周期由 231 天减少到 52 天,单井成本大幅度下降,赢得了良好的国际声誉。

3. 地质导向钻井系统

该系统研发出一套带近钻头传感器(电阻器、自然伽马、井斜)的地质导向钻井系统——CGDS-1 系统,形成了适用于生产的地质导向钻井配套新技术,具有我国的自主知识产权,总体上达到国外 20 世纪 90 年代的技术水平。CGDS-1 系统由三个子系统组成:CGMWD 无线随钻测斜仪、CAIMS 测传导向马达、CFDS 地面信息处理与决策软件包。地质导向钻井系统体现了钻井、测井与油藏工程的结合,对提高油气勘探开发效果与总体效益具有重要的实际意义。CGDS-1 型地质导向钻井系统填补了国内空白,是一项具有独立知识产权的集成技术,不仅可以为油气勘探开发提供重要的技术支撑,而且将为提高我国钻井技术水平发挥先进作用。

4. 深部盐膏层蠕变规律的研究与应用

盐膏层是理想的油气盖层,我国盐下石油资源占后备石油资源总量近 30%。然而,由于岩膏层在井下高温高压条件下具有极强的流变性,使得在盐下石油资源的开发过程中发生了大量的盐膏层钻井井眼缩径卡钻、盐膏层套管非正常损坏等事故。通过多学科交叉研究,在我国已经认识和掌握了深部盐膏层的蠕变规律及其实际作用,形成了深层地应力高精度综合测量技术,建立了深部盐膏层的蠕变新模式,基于三维地层变形的盐层套管载预测方法,阐明了钻进深部盐膏层时井眼的变形规律,提出了合理钻井液密度的设计方法。研究成果在塔里木、江汉、中原等盐膏层油气田得到推广应用,取得了良好的经济和社会效益。

5. 超深井钻探技术与装备

塔深1井,是中国石化集团为实施“塔河之下找塔河”战略而部署的第一口超深探井,于2006年7月12日完钻,实钻井深达到8408m,是目前亚洲地区钻井最深的油气探井;在塔深1井钻井工程中研究解决3项技术难题,即:①钻遇中上奥陶系碳酸盐岩缝洞发育区放空漏失问题;②目的层的高温高压环境对钻井液和水泥浆的影响;③国内首次要求将 $\Phi 273.1\text{mm}$ 直径无接箍套管下深达5481m。我国首台拥有自主知识产权的12000m超深井钻机研制成功,这也是国内外第一台陆地用12000m交流变频电驱动钻机,解决了大承载、高钻台底座、井架整体起升及耐低温材料焊接等技术难题,在国内第一次成功研制出承载能力9000kN的钻机底座、井架、天车、游车、大钩、吊环及吊卡等,提高了我国石油钻机的自主研发能力;攻克了高速大功率齿轮传动技术、大型绞车滚筒体结构设计加工技术及大模数弧形大型齿圈加工等技术难题,自主研制出国内第一台6000HP绞车和ZP495转盘;F-2200HP新型高压钻井泵试验取得突破,缸套活塞结构在40~52MPa泵压条件下的寿命已经突破100小时。

6. 新型射流理论和技术研究与应用

建立了喷嘴结构优化设计模型,揭示了围压下自振空化射流结构和特性,发展了自振空化射流理论,先后研制成功了自振空化射流钻头、高压旋转射流处理地层和自激波动注水技术,在全国多个油田大规模推广应用,平均提高机械钻速12.1%~23.1%,油井单井增油20%~30%,注水井单井增注30%~130%,累计创经济效益10多亿元。该成果丰富和发展了传统的射流理论,促进了水射流和油气钻采技术的进步,开辟了新型自振空化射流提高钻速和增产增注的新途径,拓宽了射流应用领域。

7. 油层保护与改造新技术

油层损害机理与保护技术是多年来制约石油工业发展的重大科技难题;经过“产、学、研”联合攻关,建立了石油勘探开发过程中油层保护与改造的技术系列,主要内容有:①针对钻井中使用的钻井液对油层损害严重,产量下降,创新了新型油层无损害“油膜法”暂堵技术,减轻了钻井液对不同渗透性油层的损害,提高了产量;②针对修井和注水过程油层损害严重,创新了“水解法和极化法”油层保护新思路,研发了可水解高弹性修井液、脉冲电磁水处理新技术,避免了修井作业后油井产量下降,解决了注水过程中的油层损害难题;③针对目前不能对油田开发过程中油层损害程度定量诊断,以及损害油井的解堵效果差等问题,建立了模拟油层条件下的油层损害原因、类型和程度的定量诊断及解堵优化新技术,实现了油层损害类型和程度的定量排序,使解堵后的油井日产量比目前采用的技术更高;④针对油层出砂,产量降低,甚至油井报废,研发了系列防砂新工具和系列防砂新方法,建立了油层出砂空间定量模拟及防砂优化新技术,提高了防砂有效期。现场应用成功率达100%,防砂有效期高于国内外技术220%以上。

(二) 油气田开发工程科技进展

1. 聚合物驱后化学驱提高采收率技术, 包括化学驱、泡沫复合驱及三元复合驱等多种提高采收率理论和技术

(1) 化学驱提高石油采收率基础研究与应用: 烷基苯磺酸盐及新型耐温抗盐梳形聚合物的研制成功, 使我国拥有具有自主知识产权的驱油用表面活性剂及聚合物产品; 在高分辨率层序地层学基础上, 将地震、测井、露头研究以及地质知识库信息结合成一个综合各种信息在内的变差函数模型, 形成一套油田开发后期储层精细的建模方法。

(2) 泡沫复合驱技术: 泡沫复合驱既具有与三元复合驱相同的提高驱油效率的优点, 同时具有较强的扩大波及体积的作用, 而且其扩大波及体积的作用具有选择性, 提高采收率在 30% 左右, 它可以使聚合物的用量降低, 减少体系的化学剂用量, 提高经济效益。

(3) 三元复合驱技术: 形成由室内配方研究、油藏地质研究、试验方案设计、试验效果分析、注采工艺设计、采出液处理等一套较为完整的三元复合驱技术。通过矿场试验研究, 证实其提高采收率幅度可比水驱高 20% 以上。

2. 水驱油藏剩余油富集区预测技术

该技术建立了“分割控油、弱驱富集”的剩余油富集理论体系, 形成了“断层分割控油、夹层分割控油、优势通道控油”理论。该理论体系对有效挖潜剩余油、提高水驱采收率有重要的指导作用。研究期间, 该成果在胜利油区的 190 个开发单元推广应用, 累计增油 875 万 t, 增加可采储量 4335 万 t。

3. 复杂油藏开发技术

(1) 低渗透油田开发配套技术: 大庆油田针对外围油田油层超薄, 砂体窄小, 储层渗透率特低, 油水复杂等特征, 研究出虚拟井约束的储层预测技术、非达西井网优化设计方法、裂缝性油藏井网优化设计方法、超薄油层水平井开发技术。使特低渗透、特低丰度及强水敏储层等低品位油藏得到了有效开发, 年产原油突破 500 万 t, 增加收入 189.7 亿元, 创净利润 45.64 亿元, 获得了巨大的经济和社会效益。

(2) 复杂碳酸盐岩油田高效配套技术: 从地震、测井、地质、油藏工程到钻完井、地面工程等方面开展了全方位、多专业、多学科的联合攻关研究工作, 形成了一套具有巨厚盐丘异常高压特低渗透复杂碳酸盐岩油田高效开发配套技术。该技术的应用使苏联认为无法开采的边际油田在 3 年的时间内具备了年产 200 万 t 的生产能力, 将原认为不可动用的上亿吨地质储量转变为高效开发的优质储量, 对有效保障中哈石油管道的油源供应具有特别重要的实际意义。

(3) 复杂岩性裂缝性等特殊油藏开发技术: 研究确定油藏的主要控制因素, 综合应用地质、地震、测井和试油等信息, 描述储层发育和油气富集规律, 建立井网与裂缝的优化配置, 采用深度压裂酸化、裂缝和大孔道堵水等技术, 初步形成该类油藏的开发配套技术。

(4) 在稠油和高凝油油藏开发方面形成了蒸汽吞吐、中浅层蒸汽驱等技术系列。

4. 复杂气藏开发技术

(1) 高压凝析气田开发技术: 已形成了高压凝析气藏“先期采油、气液同采、后期蒸油”

的三种开发模式,指导了柯克亚、牙哈和吉拉克—桑南三类油气藏的高效开发。通过研究,塔里木油田采用循环注气的开采技术,保持了地层压力,使我国最大整装高压凝析气田—牙哈凝析油采收率达到 54.7%,不仅成功打开了中国油气藏开发的一个崭新领域,而且创造了巨大的经济效益和社会效益。到 2004 年年底,塔里木油田通过这个项目,获得了 28.93 亿 m^3 天然气及 118.18 万 t 凝析油;同时,节省产能建设投资近 30 亿元,实现利税 37.23 亿元。

(2) 深层气藏开发技术:开展了河道砂体识别、合理采气速度确定方法、气藏开发经济评价技术、气井携液能力预测方法、地下管线信息管理系统应用技术、二氧化碳气井井筒加药防冻堵技术等科研项目的工作,获得了显著的经济和社会效益。

5. 海洋复杂油气藏开发技术

渤海地区的油田断层多,构造复杂;储层类型多,分布相对不稳定;重质稠油约占 80%,这给渤海油田的开发带来了巨大困难。采用实时随钻决策系统可以模拟海底地层的情况,水、油、气的分布情况,目前已打通的管道情况等,根据分析结果及时调整钻井方向、位置等,大大提高了油田开采效率。已形成了渤海海域复杂油藏储量综合评价、开发井随钻综合研究、河流相储层精细描述、随机三维地质建模、三维可视化技术等 18 项具有核心竞争力的技术。自 2002 年以来,通过各种优化调整并结合先进的钻完井技术,日产量提高了 8212m^3 ,增加年产油 200 多万 m^3 。

6. 复杂结构井开发理论和技术

目前形成的几项理论研究成果为:建立了裸眼完井、射孔完井以及割缝衬管完井方式下砂砾岩油藏水平井开发的非线性渗流模型;建立了井筒蒸汽沿程压力、温度与干度分布新模型以及不同焖井时间的水平段吸汽量和加热半径计算新模型;建立了裂缝、井筒、油藏流动耦合的压裂水平井产能评价模型和裂缝优化模型;建立了多分支井和鱼骨刺井在不同完井方式下的油藏渗流—生产段变质量管流—弯曲段和垂直段多相管流耦合的复杂流动模型;建立了水平井目标优化设计模型和水平井生产动态递减模型。

7. 节能型高效采油工程技术

螺杆泵占地面积仅为抽油机井的 $1/3$,比传统抽油机节约钢材 $1/4$,节电 40% 以上。截至 2004 年,螺杆泵采油技术服务于哈萨克斯坦共和国,以及我国的吉林、玉门等十几个油田,取得直接经济效益 8 亿多元;中国陆上油田一半左右的油井可以采用这种螺杆泵,将产生巨大的经济和社会效益。

8. 非常规油气资源开发技术

在煤层气资源评价、煤层气保存评价、高产富集规律预测、煤储层评价、煤层气田数值模拟应用、煤层气试采评价、煤层气田开发方案设计、气田经济评价等研究方面,已经形成领先的技术优势;同时,形成了煤层气钻完井、多分支水平井设计、绳索取芯、测井评价、注入/压降试井、压裂试气、裂缝监测、产能数值模拟、成藏模拟和实验室测试等煤层气 10 大勘探开发关键技术。