

# 油气开采技术

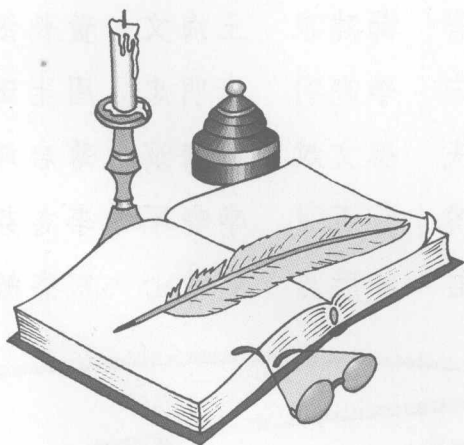
# 新进展

张琪 等著

中国石油大学出版社

# 油气开采技术新进展

张琪等著



中国石油大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

油气开采技术新进展/张琪等著. —东营:中国石油大学出版社,2006.12

ISBN 7-5636-2345-0

I. 油... II. 张... III. ①石油开采—新技术 ②天然气开采—新技术 IV. ①TE355 ②TE375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 136594 号

**油气开采技术新进展**

张 琪 等著

---

责任编辑: 郜云飞(电话 0546—8391935)

封面设计: 人和视觉

---

出版者: 中国石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: [suzhijiaoyu1935@163.com](mailto:suzhijiaoyu1935@163.com)

印刷者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392563)

开 本: 185×260 印张:31.5 字数:780 千字

版 次: 2006 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1—1 000 册

定 价: 88.00 元

# 張琪



张琪，男，1936年12月出生，甘肃人，中国石油大学(华东)石油工程学院教授，博士生导师，享受国务院政府特殊津贴专家。

1958年毕业于北京石油学院，从事油气开采工程的教学和科研工作，在油气开采工程领域取得了多项重要研究成果。主持完成的“采油方式综合分析决策”等三项成果获国家科技进步奖，“采油工程方案研究与编制”等六项成果获省部级奖。发表学术论文50余篇，主编与参编著作10部，其中《采油工程原理与设计》获全国优秀教材二等奖。曾任国务院学位委员会学科评议组成员，博士后管理委员会专家组成员。被评为“全国优秀教师”、“石油工业有突出贡献专家”等，并获中国科学技术发展基金会孙越崎“能源大奖”及中国石油天然气集团公司“铁人科技成就奖铜奖”等。

## 编者名单

主 编：张 琪

主 审：王鸿勋

编 者：(按参编的章次排列)

吴柏志	姚 军	王杰祥	陈德春	胥元刚
李爱山	杨道永	刘慧卿	李金发	赵东伟
蒋海岩	薛建泉	王海文	董长银	周福建
齐 宁	李晓明	李明忠	周生田	吴 宁
曲占庆	蔡文斌	杨海滨	薄启炜	李 恒
林 博	蒋百召	李晓军	李志芬	于洪敏
何 君	陈胜男	刘香山	宋杰鲲	

# 序

## Preface

本书汇集了张琪教授和他的研究生们多年来精心研究的科研成果,涵盖了传统意义上的油藏、采油工程多方面的内容,主要是研究了有关特殊油气藏的开采问题。

本书有如下几个特点:

### 一、学术内容的创新性

采油科学技术的发展历程表明各项技术的进展基本上都是积木式的、由低级到高级逐步完善的过程,每一步的提高都是集成式创新的体现,这本书中各项研究成果也是如此。例如有关水平井产能计算基础之一的水平井筒变质量流,就是利用了原有的流体在水平管中的流动原理,进一步考虑了流体沿井筒内流动的质量变化,这就增加了新技术的含量,形成了符合油气储层中水平井筒流动实际情况的新理论与新方法。这种集成式创新体现在书中各个专题的研究成果中。

### 二、技术方法的实用性

书中各项研究课题,均来自油田生产中待解决的实际问题,因此,获得的研究成果具有较强的针对性和实用性。例如影响低渗储层开发指标计算、油气井产量预测的启动压力及梯度的研究、出砂井的纤维防砂技术、抽油杆力学的测试技术、火烧油层燃烧动态预测方法、同井注采技术等等,均已在油田生产中取得了良好的应用效果。

这种课题从生产中来,经过研究再回到生产中去检验的方法,不仅促进了生产的发展,也提高了教学水平,并且开阔了科研的视野,提高了学生的科研能力。

### 三、对策思路的前瞻性

书中提出的油气资源勘探开发一体化理论与实践,是高效油气资源管理的新理念。油气资源勘探与开发,客观上有前后次序,但在工作衔接上是前后交叉重叠的。这种一体化的管理模式,更适合于低渗油气田开发的客观需要。例如近年来新发现的几个低渗油气田,其储量评价结果均直接与采油作业有密切关系。

我相信,该书的出版对于从事油气生产和科研的技术人员会有所裨益,而且一定会促进我国油气生产技术的发展。同时,也有助于提高高校相关专业师生们的教学与科研的水平和能力。

王鸿勋

2006年10月

# 前言

## Preface

本书主要取材于“十五”期间我和研究生们的部分科研成果。本书尽管冠名为《油气开采技术新进展》，但并非是对国内外油气开采技术领域最新研究成果的综述，而主要是较系统地汇集了我们自己近几年在该领域比较有代表性的工作，将其介绍给同行们以供交流，也供相关院校师生们参考。

全书包括：低渗透油藏开采技术、稠油油藏开采技术、疏松砂岩油藏开采技术、水平井开采技术、人工举升与井下油水分离技术、凝析气井与含水气井生产技术、油气勘探开发一体化理论与实践等七篇，共 37 章。内容涉及油气开采技术的诸多方面：有理论方面的新进展，有在生产中获得良好应用效果的新技术，有具有良好应用前景的新技术，还有探索性的前沿技术和经营管理机制。

在本书即将面世之际，我特别感谢我所敬重的老师王鸿勋教授，不仅是因为王老师不辞担纲主审认真审阅了全书，提出了珍贵的建议，更重要的是老师在业务上再一次所给予的帮助和指教。

本书的出版得到了中国石油大学(华东)“211 工程”学术著作基金的资助和多方面的支持。为此，感谢学校“211 工程”办公室及石油工程学院和采油工程系有关领导的关心和支持，感谢中国石油大学出版社的领导和编辑同志们。我的诸多研究生为本书的出版付出了辛勤的劳动，为此，我对他们表示衷心的感谢。

中国石油天然气集团公司和中国石油化工集团在研究项目上给予了极大的支持，承担的科研项目在油田领导的关心和技术人员的真诚合作下顺利完成，这都为本书的编写提供了坚实的基础。在此，我和我的研究生们向他们表示特别的感谢。此外，还要感谢国家自然科学基金的资助，因为书中部分内容属于基金资助项目的成果。

由于编者水平所限，加以时间仓促，尽管经多次修改，书中遗误之处仍在所难免，敬请读者批评指正。

张 琪  
2006 年 10 月

# 目 录

## Contents

绪论——油气开采技术的发展与关键 .....	(1)
第一篇 低渗透油藏开采技术 .....	(13)
第1章 含人工裂缝低渗透油藏的渗流模型 .....	(15)
第2章 低渗透裂缝油藏试井解释技术 .....	(28)
第3章 空气驱低温氧化技术 .....	(43)
第4章 水力裂缝层内爆燃油井产能研究与分析 .....	(55)
第5章 冲击载荷作用下岩石开裂机理 .....	(67)
第6章 整体压裂优化设计 .....	(79)
第7章 低渗透裂缝性灰岩油藏酸压高温胶凝酸体系 .....	(89)
第8章 混相驱监测与调控技术 .....	(102)
第二篇 稠油油藏开采技术 .....	(117)
第9章 注蒸汽开采油井流入动态 .....	(119)
第10章 稠油油藏蒸汽泡沫驱技术 .....	(133)
第11章 火烧油层燃烧动态预测与富氧燃烧 .....	(149)
第12章 井筒降粘举升技术 .....	(165)
第13章 稠油油藏排砂生产技术 .....	(179)
第三篇 疏松砂岩油藏开采技术 .....	(193)
第14章 防砂井产能预测 .....	(195)
第15章 砾石充填防砂技术 .....	(208)
第16章 纤维复合防砂技术 .....	(222)
第17章 纤维复合防砂力学分析 .....	(238)
第18章 油气井防砂综合决策 .....	(250)
第四篇 水平井开采技术 .....	(259)
第19章 水平井筒变质量流 .....	(261)
第20章 水平井试井技术 .....	(274)
第21章 水平井产能计算 .....	(285)
第22章 水平井压裂裂缝起裂与延伸机理 .....	(298)
第23章 水平井砾石充填防砂技术 .....	(315)



<b>第五篇 人工举升与井下油水分离技术</b> .....	<b>(327)</b>
第 24 章 有杆泵-喷射泵组合应用技术 .....	<b>(329)</b>
第 25 章 弯曲井眼中抽油杆柱的力学分析 .....	<b>(340)</b>
第 26 章 抽油杆柱井下受力检测与分析技术 .....	<b>(351)</b>
第 27 章 井下油水分离同井注采技术 .....	<b>(360)</b>
第 28 章 井下油水旋流分离器 .....	<b>(372)</b>
<b>第六篇 凝析气井与含水气井生产技术</b> .....	<b>(387)</b>
第 29 章 气井与凝析气井产能计算 .....	<b>(389)</b>
第 30 章 排水采气工艺模糊决策技术 .....	<b>(401)</b>
第 31 章 气井水合物生成预测 .....	<b>(415)</b>
第 32 章 气井井下气液分离同井注采技术 .....	<b>(431)</b>
第 33 章 井下气液分离器 .....	<b>(441)</b>
<b>第七篇 油气勘探开发一体化理论与实践</b> .....	<b>(455)</b>
第 34 章 油气勘探开发一体化模式 .....	<b>(457)</b>
第 35 章 油气勘探开发一体化系统工程分析 .....	<b>(461)</b>
第 36 章 多学科工作组模式与信息系统框架 .....	<b>(476)</b>
第 37 章 油气勘探开发一体化项目运行 .....	<b>(483)</b>

# 绪 论

## ——油气开采技术的发展与关键

油气开采面对的是不同地质条件和动态不断变化的各种类型的油气藏,只有根据其地质条件和动态变化,正确地选择和实施技术上可行、经济上合算的工程技术措施,才能实现开采工程对油藏工程设计的开发指标所担负的工程技术保证作用。

我国当前和未来都将面对低渗、稠油等难开发油藏及特高含水期油藏,以及海上和沙漠油田的一系列开采问题。随着油田开采的难度逐渐增大,开采技术要求越来越高,必须运用现代科学技术改造传统开采工艺与技术,以面对 21 世纪的挑战。

### 一、油气开采技术的发展

#### (一) 世界油气开采技术的发展

我国是世界上最早发现和利用石油与天然气的国家之一,早在公元前就有发现石油的记载。公元 13 世纪,石油与天然气逐步进入民用生活,甚至用于火药及火攻武器。石油与天然气的开采从地面露头、大井径浅井,向小井径深井发展。随着工业革命的进程,从 19 世纪中期用机器代替手工,以蒸汽机代替人力和畜力进行油气开采,开始了石油与天然气工业的近代发展期,并形成一定的生产规模。进入 20 世纪以后,由于石油的高额利润及其在国民经济及国际政治中所显现的重要作用,石油与天然气工业伴随着科学技术的进步得到了迅速发展。从依靠天然能量着眼于单井生产向从油田整体出发合理布置井网,注水注气保持油藏压力,人工举升方法的改进和设备的配套以及酸化、爆炸、水力压裂等油气井增产增注措施的应用,标志着从 20 世纪 30~40 年代开始油气开采技术进入现代发展期。

20 世纪 60~70 年代,一些能源预测专家根据消费需求的增长速度和资源状况发出了 20 世纪最后 30 年将出现石油储量枯竭的预言。但 1971~1996 年的实践表明:石油储量有了新的增长,储采比由 28.1 年上升到 43.1 年,天然气储采比由 30 年上升到 62 年;新的油藏评价方法和先进的开采技术使可采储量不断增加;世界上还有近 100 个新区的沉积盆地基本上未经勘探,油价的高位将会刺激对新区的勘探;剩余的近 2 万亿桶石油可采储量足以使世界石油工业持续发展。科技进步打破了关于 20 世纪最后 30 年石油储量枯竭的预言,也大幅度降低了勘探开发成本,1986~1996 年 10 年间世界大石油公司勘探成本下降了 40.8%,生产成本下降了 24%,完全成本下降了 33.8%。

回顾世界石油公司经营战略,20 世纪的后 30 年大体经历了三个阶段:70 年代由于油价高、开采对象的地质条件简单,石油公司依靠扩大生产规模取得效益;80 年代和 90 年代初由于油价下跌,石油公司依靠裁员和紧缩投资降低成本,维持生存;90 年代以来仅依靠扩大规模或裁员及紧缩投资来降低成本已不能适应急剧变化的世界石油市场。随着世界性科学技术的迅速发展,用新技术改造传统产业,引进和开发新技术,缩短新技术开发和应用周期,以



提高生产效率,已成为石油公司现阶段经营的主要战略。依靠科技进步开发石油,为石油工业的生存和发展开辟了新的前景。

纵观石油工业近 50 年来的发展历程,油气田开发开采技术总体发展趋势具有以下几个特点:

- (1) 由提高单井产量发展到集成化油藏经营;
- (2) 由单学科孤军奋战发展为多学科协同工作;
- (3) 由单项技术应用发展为集成技术解决问题;
- (4) 由延时监测与解决向实时监测和解决方向发展。

油气开发关键技术的发展历程与趋势如图 1 所示。

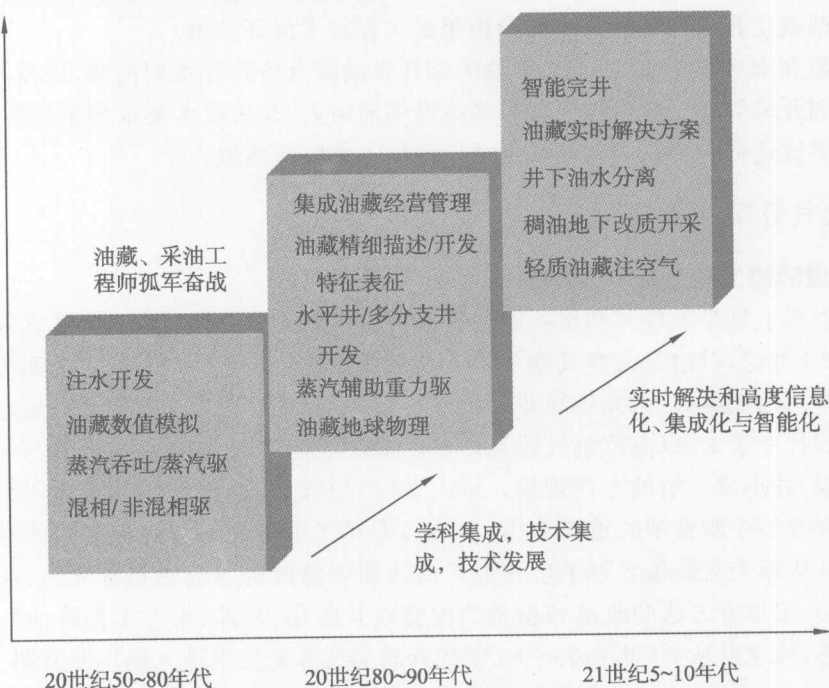


图 1 油气开发关键技术的发展历程与发展趋势

当今,石油与天然气已成为影响人类社会政治和经济发展的战略性资源,为争夺和控制石油与天然气资源而进行的国际政治、经济斗争将会持续。尽管油气资源开采技术得以迅速发展,但它将不断面临新的挑战。

### (二) 我国油气开采技术的发展

尽管我国是发现和利用石油与天然气最早的国家之一,然而由于社会历史原因,在近代和现代石油天然气工业发展的初期,我国石油与天然气工业的发展速度却十分缓慢,到 1949 年累积产量仅 210 万吨。我国现代石油工业是在全国解放之后,与新中国同步发展起来的。

20 世纪 50 年代油田开发重点在西北地区的玉门、克拉玛依等油田,这一时期是我国现代石油工业完整体系的开始形成和初发展期,也是学习、探索和初步掌握油田开发方法与技术的时期。这一时期开始应用油田注水、有杆抽油、酸化、水力压裂技术以及油井维护措施等现代开采技术,在人才、技术和物质装备上为我国石油工业的大发展奠定了基础。

20 世纪 60 年代到 70 年代中期,尽管受自然灾害和国内、国际政治因素的影响,但是该时期仍成为我国石油工业在曲折道路上克服困难、排除干扰的大发展时期。自 1959 年发现大庆油田和 1960 年投入开发,我国石油工业进入新的发展期。继大庆油田之后,胜利油田、大港油田、辽河油田、华北油田和江汉油田相继投入开发。为适应多种类型的油气藏的发现和投入开发,石油开采技术有了新的发展:

- (1) 适应我国陆相沉积油层特点,形成了配套的分层开采技术;
- (2) 为开发灰岩油藏和低渗透油藏,发展了较大型的酸化、压裂技术;
- (3) 针对易出砂油藏,开展了防砂技术的研究和应用。

自 1976 年至今特别是 20 世纪 80 年代以来,我国石油工业进入技术上全面进步与发展的时期。由于执行解放思想、改革开放的政策,加强了技术创新,扩大了技术交流和技术改造以及对外合作,并随着一批稠油油藏和更多的低渗透油藏和沙漠及海上油田的相继投入开发,以及老油田相继进入中高含水期,开采技术进一步以提高效益为目标的多元化、配套化的全面发展,使我国油气开采技术逐步接近和部分达到国际先进水平。

在 20 世纪 80 年代我国石油工业着手发展了以下关键技术:

- (1) 针对稠油油藏的蒸汽吞吐技术;
- (2) 大型酸压及水力压裂技术;
- (3) 油田开发全过程的系统保护油层技术;
- (4) 为保持原油稳产,发展了中高含水期的提液技术;
- (5) 人工举升技术的配套与完善,为大规模采油方式转换提供了技术保障。

20 世纪 90 年代以来发展的新技术主要有:

- (1) 高含水期的油水井调剖堵水技术;
- (2) 以聚合物驱为代表的提高采收率技术;
- (3) 水平井开采技术;
- (4) 整体压裂技术。

纵观我国油气开采技术的发展,经过几十年的努力,多层砂岩油田早期注水分层开采技术、高含水油田改善水驱油技术、聚合物驱油提高采收率技术、复杂断块油田滚动勘探开发技术已形成系列化配套技术,居国际领先地位;稠油油田蒸汽吞吐开发技术、低渗透-特低渗透油田开发技术、特殊类型油田开发技术已实现工业化应用,并达到或接近国际先进水平,但在低渗透油气田大型水力压裂技术、注气混相驱工业化应用技术、蒸汽驱工业化应用技术、超稠油及沥青砂开采技术、水平井及多分支井开采技术等方面与国外存在较大差距。

世界科学技术的进步促进了油气开采技术的发展。信息化-集成化-智能化(I<sup>3</sup>)技术,将为石油企业带来勃勃生机。

## 二、油气开采技术面临的挑战与对策

世界油气开采经营战略自 20 世纪 90 年代进入依靠高新技术取胜的时代以来,随着世界性的科学技术的发展,用高新技术改造传统技术,引进和开发新技术,缩短新技术开发和应用周期,为油气开采业的生存和发展开辟了新的前景。但是,进入 21 世纪之后仍将不断面临新的挑战,同时也给发展油气开采技术提出了新的要求,提供了新的机遇。



### (一) 油气开采技术面临的挑战

#### 1. 国际油价动荡的挑战

20 世纪 70 年代以来,国际油价经历了多次迅速上涨、急剧下跌的反复动荡。由于石油与天然气是关系到当前和未来一个时期国际政治与社会发展的战略性资源,为争夺和控制这一战略性资源而开展的国际政治斗争将会持续进行。

国际油价除深受资源量与需求(消费)的影响外,还直接受国际政治和经济的影响。而进入 21 世纪后的国际油价的动荡更加难以预料,油气开采工业必须开发新技术以适应油价动荡的挑战。

#### 2. 世界经济全球化的挑战

世界经济的全球化以及我国加入 WTO,必将对我国油气开采技术提出新的要求,从而影响油气开采技术的发展方向。20 世纪 90 年代,我国除与国际合作开发海上油田外,还进入国际石油市场,投资开发国外油气田。面对我国经济高速增长所带来的能源需求的巨大压力,我国石油公司已开始实施跨国经营战略。这样,我国油气开采技术必将与国际接轨,以便在国际石油市场的竞争中促进我国经济发展,并为国际政治稳定 and 经济发展作出与我国地位相适应的贡献。

#### 3. 新发现油田的开采技术难度日益增大

##### 1) 新发现的油田规模变小

近些年来,无论国外还是国内,尽管有一些大型油气田被发现,但数量在减少,而小型油气田的比例明显在增加。特别是一些复杂小断块油田的开采难度增大,技术要求越来越高。

##### 2) 新发现的油田大多位于环境恶劣的地区

随着沙漠油田,特别是海洋深水勘探的活跃,沙漠和海上这些相对高开采成本的油田投入开发的数量必将不断增加。为此,必须发展适应沙漠和海上油气田高效低成本的开采技术。

##### 3) 新发现资源品位变差

原油品质和油气储层性质是资源品位的主要指标。新发现和未动用的稠油油藏以及低渗透和超低渗透油气藏的数量不断增加,由于其开采难度大、技术要求高而导致高成本。只有采用高效低成本的开采技术,低品位油气资源才能有效开发。

#### 4. 油田开发中后期的稳产和提高采收率

油田投入开发后,随着开采时间的推移,含水上升,产量递减,为了提高开发效果,必须采取相应的开采技术措施,以控制含水上升速度,实现稳产和减少产量递减,这将对油气开采技术提出新的要求。若采用当前技术,常规油田将有半数以上的原油仍残留在地下无法采出,而低品位油藏残留地下的原油将超过 70%。因此,如何提高采收率,直接关系到油气资源的充分利用。这不仅是技术问题,更是与开采成本和油气价格等诸多因素相关的复杂问题。

#### 5. 愈来愈严格的环境保护要求

环境保护与可持续发展是当今人们普遍关注的问题。油气资源开采面临环境保护的巨大压力,它要求发展适应环境保护的开采技术。同时,也为石油开采技术开拓了新的发展空间。例如,用更少的井达到同样开发效果的水平井、分支井开采技术,井场占地面积更小的

定向井和大位移井开采技术,收集锅炉燃烧废气中的 CO<sub>2</sub> 驱油技术,减少油井作业泄漏及天然气排放技术和以减少产出水地面处理为目的的井下油水分离技术等等。

## (二) 采取的对策

从宏观上,首先是根据国际政治与经济形势和我国的能源需求制定油气工业发展战略,在总的战略思想指导下制定技术对策。

从技术层面上对挑战所采取的基本对策:一是加大科技创新力度,增强自主创新能力,充分发挥当代科学和新技术的作用,开发适应新挑战的开采技术,特别是海上和沙漠油田、稠油和低渗透油藏以及老油田的开采技术;二是采取“决策消肿”策略,减少无效投入,增大有效投入,加强工程方案的优化决策,提高决策科学化水平;三是加强信息技术的开发与应用,发展信息化、集成化、智能化技术,为科学决策提出信息保障;四是组成多学科工作组(MDT),通过实时监控、实时数据采集、实时解释、实时决策和实时解决来实施油藏实时解决方案,以实现生产力的跃变,大幅度降低成本,获得最优的油藏经营效益。

## 三、油气开采关键技术

油气开采技术经历着以下几个变化:从提高单井产量向集成化油藏经营,从单学科孤军奋战向多学科协同工作,从单项技术应用向集成化技术解决问题等多方面的发展。总体上已经形成以下格局:以油藏经营为主体,以技术发展为基础,以技术集成化为手段,以多学科协同为特点,以实时解决为目标的技术体系。从我国油气资源及其开发状况来看,其关键技术包括提高采收率技术、稠油油藏开采技术、低渗透油气藏开采技术、复杂结构井技术。此外,对我国未来油气开采技术将产生重大影响的技术,例如智能完井技术、井下油水分离技术和油藏实时解决方案等将得到发展。一系列传统技术将得到进一步完善和改造,面对新的挑战还将会出现一系列新的技术。

### (一) 提高采收率技术

经济有效地提高油气采收率是油气资源开发的永恒目标,为此发展了许多提高采收率的方法及其配套技术。然而,如何有效地应用这些方法和技术,都是有待不断研究的课题。一些学者将提高采收率的方法归结为两类不同范畴的技术,即 IOR 技术(改善采油 Improvement Oil Recovery)和 EOR 技术(强化采油 Enhanced Oil Recovery),虽然它们共同的目标都是经济有效地开发剩余油以提高采收率,但它们分别属于不同的技术范畴。因为其对象不同、技术思路不同,技术实施时机和方法也将会不同。

#### 1. IOR 技术

IOR 技术的对象是相对富集的大尺度的未被驱替介质波及到的剩余油,主要用于改善二次采油,特别是提高多层非均质油藏的注水波及效率。虽然 IOR 技术并未改变二次采油的驱替机理,但它已是二次采油技术的高度集成和综合应用。其主要技术包括:调整井和加密井技术,改善水动力条件的技术(周期注水、间歇注水、水气交替注入等),调剖技术,水平井、复杂结构井技术以及老井侧钻井技术。相对于 EOR 技术而言,IOR 技术成熟度高,操作成本低。多层非均质油藏尽管已进入高含水期,但仍然存在着巨大的应用潜力。自从 20 世纪 40 年代油田注水得到工业化应用以来,技术上有了很大的发展,至今仍然存在很大的发展潜力。因此,IOR 技术仍然是大幅度提高采收率不可忽视的技术。



## 2. EOR 技术

EOE 技术的主要对象是被注入水波及地区以薄膜、油滴、油片、角滞油等形式仍然残留于地下的高度分散的小尺度的剩余油以及难以采用注水开发的油藏。EOE 技术主要包括热采技术、注气技术、化学驱技术和微生物技术。它们的驱油机理与水驱有所不同。

针对稠油油藏的热采技术在当前 EOR 技术中占主导地位,其中又以注蒸汽为主。目前美国是热采产量最高的国家,我国仅次于美国和委内瑞拉,居世界第三位。注气技术是目前应用程度仅次于热采的另一项 EOR 技术,它不仅可用于新油藏的开发,也可作为三次采油手段用于水驱后油藏提高采收率。当用于水驱之后时,其开采对象主要是水淹带内被滞留在地下的残余油,采收率可提高 10%。注气提高采收率方法中主要是二氧化碳混相驱,为寻找廉价气源而注入氮气和空气(低温氧化)的研究和矿场试验已逐步开展,并取得了进展。

化学驱(表面活性剂、聚合物、碱)由于在低油价下难以产生良好的经济效益,20 世纪 90 年代后期在国外已应用甚少。针对我国油藏条件,聚合物驱得到很大的应用和发展,无论应用规模、配套技术以及科学研究方面都处于国际前列。

EOE 技术是一个复杂技术体系,它涉及五个要素(采收的对象、采收的环境、采收的工作介质、采收的能量和采收的动力过程)、三种接口(原油和储层之间、驱替剂和储层之间以及驱替剂和原油之间的相互作用)、三类渗流动力学过程(在不同井网下驱替剂和油在储层中渗流的动力学过程,驱替剂—油界面的渗移、指进、互溶、弥散等动力学过程)。加深对这一复杂体系要素之间的相互作用及其动力学过程的认识,对提高 EOR 技术无疑是十分重要的。

尽管 EOR 技术难度大,技术成熟度不高,但它又是油气田开发不可或缺的关键技术。在油田开发过程中进行提高采收率决策时,IOR 和 EOR 技术的定位,直接关系到油田开发效益。只有掌握剩余油分布情况,了解提高采收率技术的实施对象,才能有效地应用 IOR 技术和 EOR 技术。

### (二) 低渗透油气藏开采技术

由于低渗透油气藏特殊的储层特征和渗流特性,使低渗透油气藏开采中油气层保护、能量保持、增产措施和提高采收率问题更加突出,特别是受高投入、低产出影响的经济效益问题直接关系到相应技术的发展。贯穿于钻井、完井、增产措施、采油采气的整个过程的储层伤害和低产是低渗透油气藏开发技术首先面对的两个主要问题。相关技术发展主要围绕解决这两个主要问题。低渗透油气藏主要开采技术的发展见表 1。

表 1 低渗透油气藏开采技术进展

技术	20 世纪 90 年代前	现今
钻井技术	水基泥浆钻井 油基泥浆钻井 泡沫钻井	气体钻井 雾化钻井 泡沫钻井 充气液钻井 (欠平衡钻井)

技术	20 世纪 90 年代前	现今
完井技术	下套管、固井、射孔压裂	裸眼完井 水平井裸眼分段压裂
井网	垂直井、密井网 实现强驱替	水平井、稀井网 实现强驱替
增产改造技术	水力压裂 酸化 泡沫压裂	氮气泡沫压裂 泡沫压裂 酸化 水平井裸眼分段泡沫压裂 液态 CO <sub>2</sub> 加砂压裂 长水平段替代压裂
驱替方式	弹性驱 溶解驱 注水	弹性驱、溶解气驱、气驱 水气交注、混注 人造气顶驱

一些低渗透油气藏往往存在天然裂缝或潜在裂缝,开采过程显现应力敏感性(应力伤害),同时又采用整体压裂措施。因此,地应力分布研究对低渗透油气藏的井网布置、水力压裂方位以及水平井方位的确定都较为重要。低渗透油藏开发中的压力保持和提高采收率方法是又一个突出的问题,近年来针对油藏条件采用了各种注气措施。为了改善低渗透油藏增产措施的效果,目前又着手研究层内爆燃,将传统的水力压裂与爆燃相结合,在水力压裂裂缝周围形成爆燃裂缝,以进一步改善其渗流条件。

### (三) 稠油开采技术

随着常规石油可供利用量的日益减少,预计稠油将成为 21 世纪的重要石油资源。当今世界稠油油藏开发仍以蒸汽吞吐、蒸汽驱、火烧油层及热水驱为主,但其前沿技术也有迅速发展。世界稠油开采技术现状见表 2。

表 2 世界稠油开采技术现状

商业性应用成熟技术	发展中技术	概念研究技术
蒸汽吞吐 蒸汽驱 水平井技术 火烧油层技术(应用有限)	多分支井技术 蒸汽辅助重力驱 冷采技术 4D 地震技术 水平井注气萃取技术(Vapex)	微波采油技术 井下蒸汽发生技术 微生物采油技术 Aquaconversion 技术 井口减粘裂化技术 溶剂脱沥青技术 离子电弧技术(Plasma Arc)

为了降低稠油开采成本,提高稠油采收率和稠油价值,稠油改质作为稠油开发的新技术日益得到重视。稠油改质技术发展现状及用于稠油开采的地下(就地)和井口改质技术分别





见表 3 和表 4。

表 3 世界稠油改质技术发展现状

技术类型	成熟技术	发展中技术	概念研究技术
脱 碳	延迟焦化 减粘裂化 溶剂脱沥青 部分氧化	水平井注气萃取技术	部分氧化技术
加氢	渣油加氢 Slurry Systems		
上下游综合技术		Aquaconversion 技术	微波采油技术 微生物采油技术 离子电弧技术

表 4 用于稠油开采的地下、井口改质技术

地下改质技术	井口改质技术
水平井注气萃取技术(Vapex) 微波采油技术 微生物采油技术 火烧油层技术	Aquaconversion 技术 减粘裂化(Visbreaking) 溶剂脱沥青 离子电弧技术

#### (四) 复杂结构井技术

复杂结构井一般是指以水平或倾斜和分支为主要特征的井眼轨迹和井身结构复杂的井。它是在定向井、水平井的基础上发展起来的油气开采新技术。为适应多种油藏类型的开发需要,其井身结构也是多种多样。图 2 至图 7 是用于开发不同类型油气藏的复杂结构井部分应用示例。

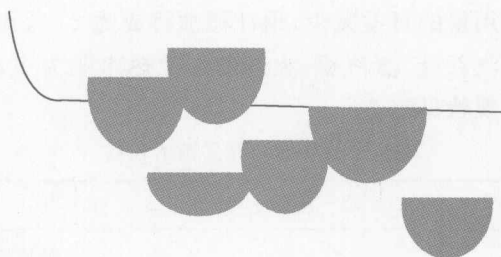


图 2 穿透若干油藏单元的水平井

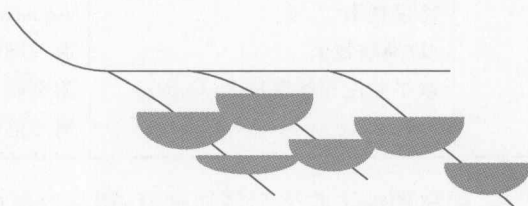


图 3 自母井井筒中侧钻多分支井