



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

油气藏开发与开采技术

Development and Exploitation Technologies of
Oil and Gas Reservoir

(上)

郭建春 唐 海 李海涛 编著



石油工业出版社

硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

油气藏开发与开采技术

(上)

郭建春 唐 海 李海涛 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书全面、系统地阐述了油气藏开发与开采领域的重要理论基础、分析与设计方法、工程技术和经典案例。内容包括油气藏开发地质基础、油气藏开发技术政策、油气藏开发动态分析、油气藏数值模拟、完井与试油、人工举升、油田注水管理、水力压裂、酸化、稠油开采、化学驱提高采收率、注气提高采收率、油气井腐蚀与防腐等。本书内容丰富、翔实,充分反映了油气藏开发与开采技术领域的成熟理论与技术以及不断发展的新工艺、新理论和新方法,具有很高的实用价值。

本书可供石油高等院校硕士研究生和工程硕士研究生使用,也可供从事油气田开发和开采的工程技术人员、科研人员以及石油高等院校的师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气藏开发与开采技术/郭建春,唐海,李海涛编著.

北京:石油工业出版社,2013.9

(全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材)

ISBN 978-7-5021-9594-6

I. 油…

II. ①郭…②唐…③李…

III. 油气藏-油气开采-研究生-教材

IV. P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 103244 号

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:<http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010)64523580 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:65.25

字数:1660 千字

定价:150.00 元(上、下册)

(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

序

石油天然气是保障国民经济发展、社会生活稳定和国家安全的重要能源和战略资源。据统计,2011年我国石油天然气消费比重占到一次能源消费总量的22%^①。作为全球重要的油气消费国,中国的油气供需矛盾却十分突出。2012年,我国石油和天然气对外依存度分别达到了58%和29%,并呈现不断上升的趋势^②。中国已经超越美国,成为了世界头号石油净进口国^③。随着现有油气勘探开发的不断深入,复杂难采油气藏的比例呈显著上升,油气高效开采的技术难度越来越大。面对油气供需的尖锐矛盾和开采难度的增加,加速培养油气勘探开发的高层次工程技术和管理人才已刻不容缓。

为解决这一难题,早在1997年,国务院学位委员会就把“石油与天然气工程”列为首批具有培养并行使工程硕士专业学位授予权的领域之一。截至2012年,该领域在全国共招收培养了近1.5万名工程硕士,为我国油气工业的稳定发展提供了强有力的智力支持和人力资源保障。尽管我国在“石油与天然气工程”领域的学科建设和人才培养方面取得了一定成就,但与传统学科相比,其发展还显得比较薄弱,特别是在教材建设方面,仍然缺乏统一的高质量教材,严重制约了学科的发展。

令人欣慰的是,西南石油大学的郭建春教授等专家编写的《油气藏开发与开采技术》在这方面做出了有益的尝试。全书结合油气开采的技术特点,注重阐述新技术、新理论和新方法及其在油田的应用价值和前景,并配套了丰富的经典案例剖析,充分展现了教材的完整性、新颖性以及实用性。作为构建基础理论与工程实践创新能力并重的课程体系改革重要成果,该书的付梓问世,及时填补了石油与天然气工程领域专业硕士教育统一教材建设的空白,令人鼓舞。

①数据来源:《中国能源发展报告(2012)》。

②数据来源:《2012年国内外油气行业发展报告》。

③根据英国《金融时报》2013年3月5日报道。

相信这套精心策划、认真编写出版的教材,必将对我国石油天然气领域人才基础知识和创新探索能力的培养起到有力的促进作用。鉴于此,特推荐《油气藏开发与开采技术》,希望这本教材能够为我国石油天然气领域的人才培养工作贡献新的力量。

四 川 大 学 校 长
中 国 工 程 院 院 士
全国工程硕士指导委员会第三届副主任委员

谌和军

2013年5月29日

前 言

《油气藏开发与开采技术》是全国工程硕士教育指导委员会(以下简称教指委)认定的“全国工程硕士核心教材”。按照教指委制定的核心课程基本要求,针对长期以来石油与天然气工程领域缺乏专业学位研究生统一教材的现状,在广泛收集和调研国内外资料的基础上,结合本领域教学、科研和工程实践的经验和成果编写而成。

油气藏开发与开采是石油与天然气工程领域最重要的环节之一,它涵盖了油气藏描述及开发地质建模的理论与方法、渗流理论和油气藏数值模拟、油气田开发理论与方法、采油采气工程理论与技术、提高采收率理论与技术、采油采气化学工程与理论以及油气田腐蚀与防腐技术等。本课程综合性很强,涉及的专业学科和工程技术领域非常广泛,如应用数学、最优化理论、物理化学、高分子化学、渗流力学、流体力学、材料力学、热力学、岩石力学、地质学、油田化学、技术经济学、计算机技术、节能和环保等。

本教材全面、系统地阐述了油气藏开发与开采领域的重要理论基础、分析与设计方法、工程技术,并列举了经典案例,突出了理论性、科学性、系统性、新颖性和实用性的有机结合,强调专业理论与工程实践并举。全书共分13章,分别讲述了油气藏开发地质基础、油气藏开发技术政策、油气藏开发动态分析、油气藏数值模拟、完井与试油、人工举升、油田注水管理、水力压裂、酸化、稠油开采、化学驱提高采收率、注气提高采收率、油气井腐蚀与防腐。学生通过系统学习,可以掌握解决油气藏开发与开采实际工程问题的技术思路和技术方法,并且熟悉本领域的新理论、新工艺技术和新方法。

本书第一章由黄全华编写,第二章和第三章由唐海编写,第四章由郭肖编写,第五章由李海涛编写,第六章由杨志、刘永辉、蒋建勋、钟海全编写,第七章由蒋建勋编写,第八章由郭建春编写,第九章由刘平礼编写,第十章由王健编写,第十一章由蒲万芬编写,第十二章由郭平编写,第十三章由张智编写。全书由郭建春、唐海、李海涛负责审校。第一至四章由李士伦教授负责审稿,第五至七章由潘迎德教授负责审稿,第八至九章由刘同斌教授负责审稿,第十至十二章由伊向艺教授负责审稿,第十三章由施太和教授负责审稿。

本书在编写和出版过程中得到了西南石油大学的大力支持,西南石油大学、成都理工大学两届试用本教材的石油与天然气工程专业学位研究生提出了有益建议,在此表示诚挚的谢意。本书的出版也是西南石油大学石油工程学院多年来研究成果的一次总结和展示,在此对各研究室教师以及研究生们的研究工作表示衷心的感谢。最后特别感谢各位德高望重的审稿专家,他们仔细地阅读和校对了本书的原稿,并提出了宝贵的修改意见。

随着石油科学技术的进步、油气资源开采难度的增加与新能源需求的增长,油气藏(包括非常规油气藏)开发理论及开采技术的发展日新月异。限于编者的水平,本书难免存在不足和疏漏之处,恳请同行专家和读者批评指正。

编 者

2013 年 2 月

目 录

(上)

绪论	1
一、学习本课程的重要意义	1
二、本教材的主要内容	1
三、本课程的教学方法	5
第一章 油气藏开发地质基础	6
第一节 油气藏构造	6
一、褶皱构造	7
二、断裂构造	8
三、地层的接触关系	11
四、古潜山及披覆构造	11
五、油气田开发中常见的地质构造图	12
第二节 沉积环境及沉积相	18
一、沉积环境与沉积相的概念	18
二、沉积环境和沉积相的类型	18
三、各类沉积砂体特征及油水运动规律	20
四、沉积相与油气田开发的关系	25
第三节 油气藏储层	27
一、储层非均质性	28
二、油气层划分与对比	42
第四节 油气藏特征	51
一、油气藏的基本概念	51
二、油气藏的类型	54
三、油气藏的压力系统	55
四、油气藏温度及油气层岩石热力学性质	63
第五节 储层地质建模	65
一、储层地质建模的基本概念及分类	65
二、储层地质建模的数理基础	66
三、储层地质建模的方法	71
四、储层地质建模的步骤	73
第六节 油气藏开发地质模型	74
一、油气藏模型与储层地质模型	75

二、开发模型·····	79
第七节 石油及天然气地质储量计算·····	80
一、地质储量概述·····	81
二、地质储量计算方法·····	82
三、储量评价·····	87
参考文献·····	91
第二章 油气藏开发技术政策 ·····	93
第一节 油气藏驱动类型及开发方式·····	93
一、油藏试采特征与天然驱动能量·····	93
二、油藏典型驱动方式下的生产动态特征·····	97
三、气藏典型驱动方式下的生产动态特征·····	99
四、油藏驱动类型及开发方式的确定·····	100
五、气藏驱动类型及开发方式的确定·····	102
第二节 油气田开发层系的划分·····	105
一、划分开发层系的意义·····	105
二、划分开发层系的原则与界限·····	106
第三节 油气藏开发井网部署及井网密度的确定·····	107
一、井网基本形式·····	108
二、注水开发井网·····	110
三、注采井网选择·····	121
四、井网密度的确定·····	122
五、气藏开发井网部署及井网密度的确定·····	127
第四节 油气井配产与油气藏开采速度·····	132
一、油气井产能的确定·····	132
二、油气井配产约束条件·····	141
三、油气藏合理开采速度的确定·····	144
第五节 油藏注水时机与合理压力系统分析·····	149
一、油藏注水时机·····	150
二、油藏合理压力系统的确定·····	151
三、合理注采比与注水量的确定·····	156
参考文献·····	161
第三章 油气藏开发动态分析 ·····	163
第一节 油藏采收率与产水规律·····	164
一、油藏弹性与溶解气驱采收率·····	164
二、静态法确定水驱油藏采收率·····	165
三、油田含水规律分析·····	170
第二节 油气藏物质平衡方程及其在动态分析中的应用·····	173
一、物质平衡方程通式及其简化·····	173
二、油气藏动态储量的物质平衡方程分析方法·····	178
三、油气藏驱动指数分析·····	183

四、油气藏开发动态预测	186
五、连通水体大小动态分析	189
第三节 油气田产量递减规律及其在动态分析中的应用	192
一、油气藏产量递减基本规律	192
二、油气藏产量递减判断	192
三、油气藏递减规律的应用	196
第四节 水驱特征曲线及其在油气藏动态分析中的应用	199
一、油藏水驱特征曲线类型	200
二、预测油田开发指标	202
三、分析油田含水上升规律	204
四、水驱特征曲线法与油气藏递减规律连解	206
五、评价油气藏开发调整效果	210
第五节 预测模型法分析油气藏开发动态	211
一、广义翁氏预测模型	211
二、Weibull 预测模型	213
三、Logistic 增长曲线预测模型	214
四、Log Normal Distribution 预测模型	215
五、Rayleigh 预测模型	216
六、Chen—Hu 预测模型	216
七、Hu—Chen 预测模型	218
八、 t 预测模型	221
九、Gompertz 预测模型	223
十、Hurbbert 预测模型	224
第六节 油田注水开发动态指标其他预测方法	227
一、采液指数法预测油田开发动态指标	227
二、注水油田存水率与水驱指数分析	229
三、注采体积平衡法预测油田开发动态指标	232
四、驱替法预测油田开发指标	238
参考文献	241
第四章 油气藏数值模拟	242
第一节 油气藏数值模拟方法和基本过程	242
一、油气藏数值模拟方法	243
二、数值模拟的基本内容和基本过程	244
第二节 基本的数学模型	245
一、数值模拟器分类	245
二、几种常用的数学模型	247
第三节 数学模型离散化方法及求解	254
一、数学模型离散化	254
二、数学模型求解方法	257
第四节 模拟软件的研制及功能特征	257

一、计算机软件的研制	258
二、常用数值模拟软件的功能特征	258
第五节 油气藏数值模拟实际应用	261
一、模拟研究的步骤	261
二、数据准备	261
三、CMG 软件数据操作流程	264
四、Eclipse 软件数据操作流程	267
五、模拟运行和结果输出	273
六、组分模型应用实例	274
七、聚合物驱模型应用实例	276
参考文献	281
第五章 完井与试油	282
第一节 完井方式与选择	282
一、直(斜)井完井方式	282
二、水平井完井方式	297
三、欠平衡完井方式	312
四、完井方式的选择	315
第二节 完井参数优化设计	324
一、自然完井设计方法与应用	324
二、防砂完井设计方法与应用	373
第三节 钻井完井液与射孔液	387
一、钻井完井液功能及基本要求	388
二、钻井完井液体系及其应用	389
三、复杂储层的钻井完井液	394
四、射孔液	397
第四节 油气井试油	401
一、试油工作内容	401
二、试油工艺方法	403
三、试油监督与技术管理	408
参考文献	412
第六章 人工举升	414
第一节 油气井生产系统分析	414
一、油气井流入动态	414
二、井筒温度、压力的计算	418
三、油气井生产系统分析方法	438
第二节 有杆泵采油	440
一、有杆抽油装备发展状况	440
二、抽油机悬点载荷	445
三、有杆抽油系统优化设计	450
四、井下泵工况的计算机诊断	462

五、系统效率的测试与提高措施	468
第三节 潜油电泵采油	474
一、井下多级离心泵的工作特性	474
二、潜油电泵井的优化设计	478
三、潜油电泵井的高效运行与管理	482
第四节 螺杆泵采油	492
一、螺杆泵的排量与工作特性	493
二、螺杆泵的选择与优化设计	496
三、螺杆泵的工况诊断	501
第五节 气举采油	506
一、气举井下装置	506
二、连续气举设计	511
三、气举井工况诊断	514
四、气举采油系统效率	518
五、间歇气举	522
六、气举拓展	524
第六节 人工举升方式的优选	530
一、人工举升方式的分类	530
二、常见人工举升方式的适应性	530
三、人工举升方式的选择方法	532
参考文献	536
第七章 油田注水管理	538
第一节 注水水质及对储层的适应性分析	538
一、油田水质要求及不同油田水质标准差异的原因	539
二、水质适应性评价及适应程度的确定方法	539
第二节 油田水处理技术	556
一、水源选择	556
二、注入水处理技术	557
三、产出水处理技术	560
第三节 注水方案设计及经济分析	570
一、注水方案设计	570
二、注水方案经济分析	574
第四节 注水监督及现场作业	577
一、注水监督	577
二、现场作业	582
第五节 油田水监测与治理	593
一、压力监测	593
二、吸水剖面与产出剖面监测	595
三、油水运动状况监测	600
四、油田水治理	604
参考文献	605

绪 论

一、学习本课程的重要意义

石油作为工业的“血液”，是国家生存和发展不可或缺的战略资源，对保障国家经济和社会发展以及国防安全有着不可估量的作用。随着经济的快速增长，石油成为各国竞相追逐的目标，发展无限与资源有限之间的矛盾日趋尖锐，并逐渐成为制约许多国家可持续发展的战略性问题，其开发和合理利用受到世界各国的普遍重视。

新中国成立 60 多年来，我国油气工业蓬勃发展，原油产量从新中国成立前的不足 $9 \times 10^4 \text{ t}$ 发展到 1978 年突破 $1 \times 10^8 \text{ t}$ 。2012 年产油量超 $2 \times 10^8 \text{ t}$ ，天然气超 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，我国进入排名前四的世界产油大国行列。但从 1993 年起，我国已成石油净进口国，2012 年石油年进口量超过 $2.5 \times 10^8 \text{ t}$ ，成为世界第二大石油消费国，今后很长一个时期我国对油气资源的需求量还将持续增加。目前，我国已进入高含水、高采出程度的老油田承担着 75% 的国内原油产量，新投产的油气田主要是低渗透油气田。这些油气田开发投入大，技术难度大，运行成本高。因此，我国石油产量要满足国民经济现代化建设和可持续发展的需求，除了加大节能配套技术研发与应用外，还必须强化三大举措：一是充分利用国内、国外“两种资源、两个市场”，寻找新的油气田，扩大油气后备储量；二是依靠理论创新和技术进步，开发好现有的油气资源，并重点发展非常规油气资源（煤层气、页岩气、页岩油及可燃冰）的开采理论与技术；三是加强各种非化石能源和新能源的开发和利用，减缓石油需求的压力，降低国民经济对石油的依赖程度。因此，通晓和掌握寻找油气资源、高效开发和开采油气资源的相关理论知识体系和工程技术是石油工程高级人才培养的必然要求。

《油气藏开发与开采技术》是石油与天然气工程领域工程硕士专业学位教育的核心课程，是一门理论体系复杂、技术面广、综合性强的课程。生产的需要和发展是促进油气田开发与开采理论与技术发展的动力，实际生产中不断涌现的新问题给油气田开发与开采提出了新的研究课题。随着石油科学技术的进步、油气资源开采难度增加和非常规油气藏开采新理论与技术的发展，油气田开发与开采理论与技术必将继续发展和深化，本教材也将不断获得充实与完善。

课程主要目的与目标是：

- (1) 学生能够对油气田开发学科有整体性的把握和认识，掌握油气藏开发和开采过程中所涉及的理论、方法和技术，并了解油气藏开发和开采技术的最新进展、应用现状和发展趋势；
- (2) 学生熟练掌握与油气田开发和油气开采相关的方案设计、动态分析和工程设计方法；
- (3) 通过典型案例剖析，培养学生分析问题和解决实际工程问题的能力；
- (4) 基于新理论、新技术和新工艺学习，扩展学生视野，培养学生的研发能力和创新能力。

二、本教材的主要内容

本教材共分 13 章，各章主要内容如下。

(一)油气藏开发地质基础

石油与天然气在一定的地质与热力学条件下形成、运移并聚集于相应的地下地质构造之中,形成了油气藏,而储层是油气储存的载体,是油气田勘探与开发的基本对象。不同的油气藏具有不同的地质特征,深入剖析油气藏地质特征,对选择油气藏的合理开发方式、开发程序、开发部署以及准确分析油气藏开发动态等都具有重要的意义。油气藏地质特征认识具有渐进特点,勘探阶段建立的油气藏地质模型具有一定的预测作用,可为油气藏数值模拟研究提供基本格架;在详探和各个开发阶段建立精确模型,可为油气藏驱动类型、储层特征以及开发动态特征研究提供准确的地质数据体,帮助油藏工程师开展有效的油藏工程分析和决策。油气藏开发地质基础包括储层构造特征、储层沉积特征、储层物性特征、储层非均质性、储层展布特征、油气储量规模与分布规律等。

(二)油气藏开发技术政策

油气藏地质条件千变万化,油气藏开发技术政策是针对某一个具体油气藏的地质条件,设计出与地质条件相适应的合理开发技术对策,包括油气藏驱动类型及开发方式的确定、开发层系的划分与调整、开发井网部署及井网密度的确定、油气井配产与油气藏开采速度的确定、油藏压力系统分析以及油藏注采方式与合理注采比等。

(三)油气藏开发动态分析

油气藏开发动态分析伴随着油气藏开发全过程,是提供油气藏开发过程中的动态信息的主要技术手段。油气藏开发动态分析就是采用正确的分析理论与方法,以必要的图表和曲线形式,研究整个开发过程中获得的各种数据资料,逐步提高对油气藏地质特征和流体运动规律的认识,以便不断修正地质模型和相应的开发技术政策(或开发方案),使油气资源开发工作不断得到改进,并在严密的控制之下良性运行,以实现油气藏高效合理开发。油气藏开发动态分析技术除物质平衡分析、递减规律分析、水驱特征曲线分析和预测模型分析等常用方法外,根据不同的动态分析目的,还可应用地震、地球物理测井、地球化学、气水动力学和气藏数值模拟等技术手段与方法,来分析油气藏生产动态,并由点(井)的监测、分析发展到对整个油气田乃至成组油气田开发过程实施全面监测和分析。

(四)油气藏数值模拟

经典的油气藏工程方法常基于均质模型研究油气藏流动特征,不能精确地描述油气藏变量和流体参数在时间和空间上的变化规律。基于计算数学和计算机技术建立的油气藏数值模拟技术是迄今为止定量描述非均质地层中多相流体流动规律的有效方法。通过数值模拟手段,可再现油田开发的实际过程,以此来解决油气田开发中存在的各种实际问题。本章主要论述了油气藏数值模拟方法的基本过程、基本的数学模型、数学模型离散化方法及求解、模拟软件研制、常用软件功能特征和油气藏数值模拟实际应用等。

(五)完井与试油

完井优化和科学试油是油气田开采过程中的关键环节,它是从钻开油气层到安装合理井底结构、下生产管柱、排液直至求产或投产的一项系统工程。完井和试油工程有三个核心:一是从钻开油气层开始到试油投产的全过程都要保护好油气层,发挥油气层的最大产能;二是优化完井设计,充分利用油气层能量,选择合理的完井方式,采用最优的完井参数、生产管柱和投

产工作制使油气井投入生产；三是通过选择合理的试油工艺和测试参数，取准取全油气层基础参数，为认识、发现和评价油气层提供依据。完井和试油工程设计必须与采油气工程和油气藏工程相结合，以最大限度地提高油气田总体开发效益为出发点，对完井和试油工程中的各个环节提出技术要求，并使整个工程系统最优化。本章主要论述了完井方式的选择、完井参数的优化、完井液和油气井试油等。

(六)人工举升

任何油气井的生产包括三个基本流动过程：从油藏到井底的地层渗流、井底到井口的多相垂直或倾斜管流、井口到分离器的地面水平或倾斜管流。人工举升主要以地层渗流和井筒管流为研究对象，主要解决将井底的油气高效地采至地面（井口）的问题。由于油气藏及其完井井身结构的差异，油气从地层流入井底的流入动态曲线不同，从井底到井口的压力—温度分布也不同，当地层能量不足以实现自喷时，只能以人工举升的方式补充能量。人工举升方式较多，不同举升方式的工作原理、举升高度、排量范围不同，其设计与井下工况诊断方法等完全不同，需要根据油气藏的特点及实际生产状况进行举升方式的优选与优化设计。本章重点分析了有杆泵、电潜泵、螺杆泵、气举的优化设计与井下工况诊断方法。

(七)油田注水管理

油田注水既是保持储层压力、提高采收率的重要方法，又是实现油田开发配注的工艺技术手段。注水面临的主要问题是如何实现高效注水和成本控制，面对越来越高的产液量和注水量，越来越复杂的地下油水分布，油田注水综合管理面临前所未有的挑战。油田注水综合管理贯穿注水开发油田的整个生产过程，注水作业前注入条件评价、注入方案设计、现场作业监督、注水作业后油藏和流体的评价与监测是油田注水管理的重要内容，也是认识和评价油藏中油水分布、油田水治理的主要依据。本章主要论述了注水水质及对储层的适应性分析、油田水处理技术、注水方案设计、经济分析、注水监督技术及现场作业、储层压力监测、注采剖面测试、油水运动状况监测和油田水治理等。

(八)水力压裂

水力压裂是对油气田勘探储量进行科学评价、改善油气田开发效果以及油气田增产的重要技术。水力压裂是一项系统工程，涉及压裂评估、压裂液、支撑剂、压裂参数优化以及压裂工艺选择等内容。压裂评估主要阐述了压裂前破裂压力预测、储层特征认识以及压裂后裂缝参数评价；压裂液主要讲解了常用水基压裂液添加剂及作用机理、特殊水基压裂液、压裂液性能指标评价和压裂液的选择依据；支撑剂方面的内容主要包括支撑剂分类、支撑剂导流能力测试、支撑剂导流能力影响因素、导流能力的优化与支撑剂的选择等；压裂参数优化阐述了压裂设计的一般原理、压裂优化设计步骤和常用压裂设计软件；压裂工艺技术重点阐述了水平井压裂优化设计方法、分段压裂工艺的选择及依据等。

(九)酸化

酸化是油气井完井投产、增产和注入井增注的重要技术措施，目前形成了基质酸化和酸压两大类主流酸化技术。基质酸化技术主要适用于砂岩储层、碳酸盐岩储层和一些特殊岩性储层，利用以酸液和其他添加剂组成的配方体系，通过溶解、分散和悬浮伤害物，改变岩石润湿性等机理解除油、气、水井在各类作业过程造成的储层伤害，从而恢复油气井产能和提高注入井注入能力；酸压技术主要应用于碳酸盐岩储层和一些复杂岩性储层，以酸液对裂缝面刻蚀为手

段形成一定导流能力的裂缝,实现对储层的改造,通过改变流体流动形态、沟通深部油气区和消除伤害等方式,实现增产和增注。本章系统介绍了两大类主流酸化技术的原理、适用条件、酸化液体系和添加剂、酸岩反应机理和产物、工艺方法、设计方法和模拟方法,并给出了应用实例。此外,本章还介绍了近年发展起来的砂岩储层酸压技术、网络裂缝酸化技术等新技术。

(十)稠油开采

稠油开采技术是油气田开发与开采技术的重要组成部分。稠油在油层中的黏度高,流动阻力大,用常规技术难以经济有效开采。稠油开采技术涉及的内容广泛,包括流体的热力特性、油藏特征、驱油机理、工艺技术设计、开发开采方案实施、动态预测、地面和地下设备等。稠油开采技术包括热力采油技术和冷采技术。热力采油部分从基本理论出发,分别介绍蒸汽吞吐技术、蒸汽驱技术、火烧油层以及蒸汽辅助重力驱油技术的采油机理、工艺方法和现场应用等。稠油冷采部分分别介绍稠油出砂冷采技术和泡沫油开采技术的基本原理、工艺方法和现场应用等内容。

(十一)化学驱提高采收率

油田在经过能量衰竭式开采和注水开发后,还有大量的残余油和剩余油留在了地下,因而提高采收率技术对油田的稳产和持续发展有着不可或缺的重要作用。在各种提高采收率技术中,化学驱是目前应用最广泛和最成功的提高采收率技术之一。化学驱油剂不仅能补充地层能量,而且在地层中还将与地层岩石和流体发生物理化学作用,通过提高宏观扫油效率和微观驱油效率来提高原油采收率。化学驱除了聚合物驱、碱驱、表面活性剂驱、聚/表/碱二元或三元复合驱和泡沫复合驱外,近年来广泛应用于改善非均质油藏水驱开发效果的交联聚合物调驱也可归属于化学驱提高采收率技术范畴。在这些技术中,聚合物驱和交联聚合物调驱主要以提高波及效率为主,碱驱、表面活性剂驱主要是提高洗油效率,而复合驱(包括聚/表/碱和泡沫)既提高波及效率又提高洗油效率。

(十二)注气提高采收率

随着油气藏勘探开发技术水平的提高,我国部分老油田已进入高含水开发阶段,水驱采收率已达到极限状态,且新发现的大量油气藏属于低渗致密油藏,注水开发难度大。注气作为提高油气藏采收率重要技术手段之一,在国内外已得到广泛应用。与水驱比较,该方法具有易注入、不受高温及高盐影响、若能达到混相条件驱油效率可达90%以上等独特优势。本章主要介绍与注气相关的重要基本概念、原理及方法,具体内容包括注气基本原理、注气适用条件、评价实验和设计、注气实例等内容,通过本章的学习,应掌握注气评价和方案设计的基本思路及方法。

(十三)油气井腐蚀与防腐

腐蚀是油气井开采过程中常见的现象。本章介绍了腐蚀形式、介质腐蚀机理、环境敏感断裂行为、增产技术伴生的腐蚀等,给出了油气井腐蚀的相关计算模型,介绍了油套管材料选择标准、常见材料类型及适用范围、碳钢和低合金钢的选用、耐蚀合金材料的选用等,聚合物内涂层油管、套管外缠绕带防腐技术、注缓蚀剂、降低应力水平的油井管柱设计、防油管冲蚀/腐蚀技术等井下管柱防护技术,油气井环空带压机理、环空带压值计算、环空带压安全评价方法和环空带压管理及预防措施等。

三、本课程的教学方法

本课程总学时为 40 学时,学生学习本课程前必须完成专业基础知识的系统学习。本教材内容多,范围广,涉及的理论和技术全面,这给教师系统独立讲授全部的教学内容带来了挑战。为了保障教学质量,确保学生受益最大化,本课程的教学方法建议采用以多名专业教师合作、学生以研读方式为主的教学模式,教学过程中还应布置和要求学生参阅相应的专业教材和专著等,目的是使学生完整地掌握本课程的理论体系与方法,重点掌握有关的基本理论、分析方法、设计方法以及解决实际工程实际问题的基本思路,熟知各个研究方向的技术发展现状和发展趋势,为学生今后开展基础研究、技术研发以及解决实际工程问题奠定坚实的基础。

考虑到石油与天然气工程领域范围广、学生的本科专业背景多样(比如有地质工程、石油工程、化学工程等)、工程基础知识结构可能存在较大差异等实际情况,建议在保证 40 学时教学要求的前提下,对教材涉及的各章内容有选择性地教学,以突出重点,不必面面俱到。对石油与天然气工程领域涉及的开发地质、油气井、油气田开发、油气田开采、油田化学等专业方向,建议教学学时安排如下表所示。

章 节	石油与天然气工程领域				
	开发地质方向	油气井方向	油气田开发方向	油气田开采方向	油田化学方向
第一章	自学	6	6	4	4
第二章	7	4	5	2	自学
第三章	7	4	5	自学	自学
第四章	8	自学	4	自学	自学
第五章	8	10	2	6	自学
第六章	自学	2	2	6	4
第七章	2	2	4	2	4
第八章	2	2	自学	6	4
第九章	2	2	自学	6	4
第十章	2	2	2	2	4
第十一章	2	自学	6	2	6
第十二章	自学	自学	4	自学	4
第十三章	自学	6	自学	4	6