

油气藏工程原理

〔意〕 Gian Luigi Chierici 著

窦之林 王 赟 译



科学出版社
www.sciencep.com

油气藏工程原理

〔意〕 Gian Luigi Chierici 著

窦之林 王 赞 译

科学出版社

北 京

图字：01-2008-5743 号

内 容 简 介

本书系统阐述油气藏工程理论、方法、技术，涉及油气藏工程中的基本原理、概念、油气藏工程工作经验与知识等。书中的素材大多取自作者几十年工作中的实例。本书从内容上分两部分。

第一部分（第 1~10 章）主要介绍了油气藏工程的基础理论、基本概念和一些基本的方法。

第二部分（第 11~15 章）主要介绍油气藏开发专业知识，涉及油水驱替、提高采收率和剩余油的注水技术、数值模拟技术及其应用；还简单介绍根据下降曲线分析预测油井和储层的动态变化，即主要涉及油气采收率的提高。

本书适合科研院所油气藏勘探开发或工程专业的本科生与研究生作为教材使用，也适合油田生产单位油气藏工程技术人员作为参考书或工具手册使用。

Translation from the English Language edition;

Principles of Petroleum Reservoir Engineering by Gian L. Chierici

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994

Springer-Verlag Heidelberg GmbH is a part of Springer Science+Business Media
All Rights Reserved

图书在版编目(CIP)数据

油气藏工程原理/（意）切尔西（Chierici, G·L.）著；窦之林，王赟译. —北京：科学出版社，2009

ISBN 978-7-03-021403-4

I. 油… II. 切… III. ①油田开发②气田开发 IV. TE34 TE37

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 035864 号

责任编辑：韩 鹏 朱海燕 李久进 / 责任校对：朱光光

责任印制：钱玉芬 / 封面设计：王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2009 年 1 月第一次印刷 印张：44 1/2

印数：1—2 000 字数：1 030 000

定价：145.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换〈双青〉）

译者简介

窦之林，男，1954年生，山东省商河县人，博士，教授级高级工程师，1982年毕业于华东石油学院石油地质专业。多年来一直在中国石油化工股份有限公司胜利油田、塔河油田从事油气开发工作。在国内外刊物上发表论文15篇，出版著作5部；获得省部级以上的科研成果13项；是中国石油化工股份有限公司、山东省有特殊贡献的科技与管理专家，享受国务院特殊津贴。

王赞，男，1969年生，辽宁普兰店人，博士，副研究员，1998年毕业于中国科学院地质与地球物理研究所。长期从事固体地球物理理论与方法的研究工作。

译者序

1997 年在原中国科学院地球物理研究所攻读博士学位期间，译者在图书馆见到了 Springer 1994 年出版的 *Principles of Petroleum Reservoir Engineering*（该书共分上下两卷共四册），感觉它特别适合油气藏工程技术人员需要，由此我们开始着手翻译、编辑这本书，以供国内广大专业技术人员和学生使用。正式的翻译工作开始于 2001 年，由于这本书内容繁多，翻译工作量很大，而且涉及多个专业，因此在翻译工作中，王赟主要负责油气藏地质部分以及地球物理方面的工作；窦之林主要负责油气藏工程部分，特别是技术校译工作。

整个翻译工作历经五年，一是因为这本书内容太多，涉及众多的学科、专业，翻译工作量大；二是因为我们都有自己所从事的工作，只能利用业余时间；三是因为中文与英文的语法习惯和表述科学问题的方式不同，我们花了大量的时间将这本书编辑修改成适合中国人阅读习惯的中文版。因此，在中文版中我们改变了原英文版的两卷四册的格局。最后翻译成稿，要感谢胜利油田海外中心的侯中昊高级工程师利用其娴熟的专业英语功底为本书做了详细的翻译校对；还有徐寿林、沙嘉祥、李纲、林捷、冯臣等七位硕士研究生和吴志勤、石瑛、芦俊、滕殿波 5 位博士研究生在中间穿插所做的一些翻译和录入、修改工作。最后感谢李素萍女士帮助录入了本书的一些复杂的公式和表格，感谢出版社的制图人员为本书的出版清绘了一些精美的图片。

原书的作者是意大利博洛尼亚（Bologna）大学工程系的 Gian Luigi Chierici 教授，他曾经在 Agip 国际石油公司从事油气开发工作 30 多年。原书从 1988 年开始动笔，1989 年意大利文第一版正式发行；英文版第一版是在意大利文第二版的基础上翻译而成，时间是 1994 年；而中文版从 2001 年开始筹划翻译、编辑工作，直到现在才正式出版面世，我们认为本书有以下几个方面的内容需要强调。

首先，这本书的理论性很强。不同于一般的油气藏工程方面的书以介绍方法、技术层面的内容为重点。本书全面地介绍了涉及油气藏工程的各学科、专业的基本概念、理论公式及其推证过程，当然也包括这些基础理论所衍生出来的方法与技术。对于一门专业领域的科学而言，我们始终认为理论与基本概念是这门科学的基石；唯有了解、熟悉、掌握这一部分内容，才能理解油气藏工程方法的真谛；才能在前人的基础上有所创新与突破。尤其对于油气藏工程这一专业，我国学科建设与专业应用起步较晚；至今，这一专业领域的主要科学进步主要来自国外。而我国油气资源的赋存条件之复杂，经济发展对之需求之迫切，又特别需要我们能有自己的、适合中国国情与地质现状的油气藏工程技术。要有自己的技术，那就只能从基础理论上开始。

其次，这本书的系统性很强。系统性并不等于面面俱到，尤其对于这本书来说。油气开发技术的进步是日新月异的，有很多我们现在所应用的油气藏开发新技术在本书中可能没有。但在这本书里，读者肯定能找到这些新技术依托的基本概念、理论与方法，

甚至能找到这些技术的雏形。这本书将油气藏工程所涉及的地质、地球物理、地球化学、热力学、工程力学、化学等一系列学科与油气藏勘探、开发相关的基本概念和基础理论均包括其中,使读者从中可以找到几乎所有需要查询的专业知识,因而使得本书像字典或工具手册,具有广泛的应用范围。

最重要的是本书的实用性很强。作为理论性的书籍,容易陷入十分枯燥的理论公式推导和基本概念的罗列,使从事应用研究与现场生产的专家和技术人员无从下手;作为系统性的手册,容易陷入平白直叙的一些符号与名词的堆列,缺乏实际的、直观的意义表述。但本书通过结合作者实际工作中的一些具体实例阐述基本概念,论证基本理论,介绍一些应用案例,从而使得本书偏于理性而不晦涩,重于系统阐述而不乏突出重点。尤其,每一章后的习题,更是结合油气藏工程中的一些实际问题,不仅教给了读者该章所述内容的具体应用,更教给了读者如何利用本书的知识解决生产实践中的具体问题。而且这些问题都是从作者多年油气藏勘探开发工作中遇到的实际问题中提炼出来的,对于油气生产一线的技术人员具有实用的参考意义。

虽然中文版比意文版晚了几年,但它的确是一本好书。一本好的科学书籍是不存在“过时”问题的,就像我们物理系的同学们至今还在学牛顿的力学、爱因斯坦的相对论一样。我们相信它将会是在校油气藏工程专业大学生、研究生的一本好的教科书或参考书;尤其每章后的参考文献,给更加深入的专业研究提供了更广泛的查阅视野。而且,我们也相信它将会成为国内从事油气藏勘探开发应用基础研究与应用研究的科技人员、生产技术员和专家必备的工具书。

最后,要强调的是油气藏工程是一门系统的、发展中的科学。油气藏工程是油气储层静态信息与动态信息结合的一门综合科学;是涉及地质、地球物理、油藏物理、热力学与流体力学等多学科的交叉科学。在我国,它同时又是一门发展着的科学,面对中国复杂的油气藏类型,它还有很长的路要走。更可喜的是,这是一门蓬勃发展的科学,随着数学、物理、化学等基础学科的每一次进步和仪器装备的每一次发展,都给油气藏工程注入了新的活力和推动力。

由于译者水平与时间有限,谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

译者

2006年12月于北京

前 言

1988年,我离开了Agip跨国石油公司的管理岗位,担任意大利博洛尼亚(Bologna)大学油藏工程专业的教授职位。从那时起,我决定为学生们准备一套讲稿。在汇编、整理这些讲稿的过程中,我发现汇集的内容越来越多,所编成的卷本不仅可以作为大学课程的教材,还可以作为广泛的专业应用参考。Agip公司前总裁Ing. Giuseppe Muscarella对此颇感兴趣,帮助我于1989年出版了意大利语的第一版。

将此书之数卷译成英文并出版要归功于Agip公司现任总裁Ing. Gnglielmo Moscato的鼓励。在此我向两位先生表示衷心的感谢。本书的英文版译自意文第二版,并做了诸多修订,增加了许多素材。本书不仅为各个专题提供了坚实的理论基础,也是我36年来在世界范围内油气田勘探开发经验的总结。

本书的第一卷主要涉及基础油气藏数据的采集、处理和解释,第二卷主要研究、预测、验证油气藏静态与动态属性的变化以及提高油气产量和采收率的方法。

第一卷(第1~10章)为油气藏工程基础。首先介绍油气藏地质、油气藏流体的热力学性质以及油藏的岩石物理和水动力学性质;然后对油气储量评估的容积法、油气井的测试解释、完井和油藏生产动态监测测井、水侵量计算进行描述;最后介绍利用物质平衡方程描述油藏动态(如果为气藏则对其动态进行预测)。

第一卷的主要目的是简洁明了地对油气藏工程中的基本物理概念作以解释。为此,在任何可能之处采用了一些简化的数学方法,读者具备基本的微分方程知识即可理解。我坚信,只有深刻理解了油气藏工程的基础知识,才有希望解决实际工作中遇到的更加复杂的问题。

第二卷(第11~15章)涉及更专业的一些油气藏开发内容,包括原油非混相驱、作为提高产量和采收率手段的注水、油藏数值模拟模型涉及的一些数值方法及其应用、利用递减曲线分析和识别模型对井和油藏动态进行短期预测等,最后介绍提高采收率方法。在第二卷中,有以下几点需要读者特别注意:

首先,第二卷介绍了特征化方法非混相驱替。这一方法的优点是:它深入驱替的物理过程,尤其包括所涉及流体的属性和驱替速度。有关这方面的内容,只是在本书意大利版1990年第一版出版后,我才看到由Larry W. Lake出版的《提高石油采收率》一书(1989年发行)中有类似的内容。

其次,第二卷重点介绍了预测油气藏变化的模型识别法。这一方法的理论基础为“系统论”,对于油藏这一“黑箱”,我认为系统论这门科学可以发挥更广阔、深远的作用。

最后,在第二卷的最后一章中,重点介绍了提高油气产量和采收率的理论与方法。提高采收率的方法使用与国际油价的变化是紧密相关的,出于经济因素的考虑,一般需

要采用不同的方法提高采收率。在自由市场经济条件下,若实行严格的高级油藏管理技术,提高采收率方法会收到良好的提高产量和采收率的效果。

随着油气藏工程的发展,人们越来越深刻地认识到野外的油气藏工程工作需要深入、细致地了解油气藏内部结构。首先是油气藏的静态结构,即地质信息,包括沉积、岩性、成藏、岩石物理、生物等诸多方面通过地质分析、地球化学分析和地球物理试验获得的数据。但更重要的是油气藏动态变化过程信息,即油藏生产过程中其内部结构、流体的动态变化,这些信息需要通过油藏监测手段获得。而实际上,油藏管理的主要工程内容就是通过各种监测、测试数据的采集、处理与解释分析油藏动态变化,并修正油藏静态地质数据,使得我们对油藏的内部结构及其动态变化获得更加精准的认识,建立更加合理、可靠、精细的模型,然后数值模拟分析预测油藏的行为。因此,油藏管理是一综合的工程,需要地质、地球物理、石油物理、地质统计、生产与油藏领域专家和工程师的通力配合。例如,在目前国际上所有的大型石油公司里,一个油气藏从发现到开采殆尽作废弃处理,始终有一支多学科的工程师团队为之服务。

每一章的后面都列出了大量已出版的参考文献,可供读者为某一特定领域进一步深入研究之需要提供查询。书中有些素材源于石油工程众多专业领域与我合作过的一些人的工作成果;还有一部分是这些年来与欧洲、美国、独联体(原苏联)、非洲以及波斯湾等国家或地区的同事们无数次讨论与交流的成果。我谨向所有为此作出贡献的人们致以深深的谢意。

我对油气藏工程有所贡献的大部分研究成果均汇集在本书中,这也是我在 Agip 公司执行副总裁、生产部主管 Ing. Giuseppe Fauerezani 先生多年指导之下的科研工作成果。他建议我不要采用目前专业领域常用的“启发式”和“菜谱配方式”的著述模式,而采用缜密的推理和逻辑来寻求真理。感谢他所给予的指导。

但最大和最衷心的感谢应给本书的英文译者 Peter J. Westaway 先生。他不仅完美地翻译了本书,还以其自身多年的油气藏工程经验,尤其是电测井和数据解释方面的经验,对本书的内容进行了颇有价值的修改和补充。他对本书第 6、7 章,尤其是第 8 章的贡献更为显著。从这个意义上说,我认为 Westaway 先生应为这几部分的合著者。感谢 Peter 做了大量艰苦的翻译工作。我还要感谢 Guido Gottardi 教授,作为意大利博洛尼亚大学工程系的同事,在与我共同授课的同时,为本书意文版的起草提出了许多修改和高的意见,而且提供了习题 12.4 中的程序。最后,向两位细致、耐心且专业地完成了绘图工作的 Irma Piacentini 女士和 Carlo Pedrazzini 先生表示感谢。

再一次向上述各位表示感谢!

Gian Luigi Chierici

1994 年 2 月于博洛尼亚 (Bologna)

目 录

译者序

前言

第一部分

第 1 章 油气藏	3
1.1 油藏或气藏存在的条件	3
1.2 沉积学	3
1.3 油气的产生及其运移	5
1.4 油气圈闭	6
1.5 油藏温度和压力	10
参考文献	11
习题	12
第 2 章 储层流体	17
2.1 组分	17
2.2 油藏条件下烃体系的相态	17
2.3 储层流体的热力学性质	20
2.3.1 气和凝析气的体积特性与黏度	21
2.3.2 原油的体积特性与黏度	26
2.4 地层水性质	32
参考文献	35
习题	36
第 3 章 储层岩石	44
3.1 引言	44
3.2 取心和测井：各自特点及相对优势	44
3.2.1 取心	44
3.2.2 测井	45
3.2.3 岩心及测井测量的优缺点	47
3.3 岩心和测井的组合使用	47
3.4 位置相关标量的性质	49
3.4.1 孔隙度	49
3.4.2 流体饱和度	51
3.4.3 压缩系数	51
3.4.4 润湿性和毛管作用	55

3.5 动力学性质	64
3.5.1 渗透率	64
3.5.2 有效渗透率和相对渗透率	72
3.5.3 相对渗透率概念的讨论	75
3.5.4 沉积单元平均相对渗透率曲线的计算	77
3.5.5 相对渗透率曲线计算方程	79
3.6 油气藏地层划分	80
3.6.1 地层划分的快捷方法	81
3.6.2 统计分析在地层划分中的应用	81
3.6.3 应用聚类分析进行地层划分	82
参考文献	84
习题	86
第4章 油气储量评估	102
4.1 引言	102
4.2 可采储量	102
4.2.1 证实可采储量	103
4.2.2 未证实可采储量	103
4.2.3 可采储量按生产状态的分类	104
4.3 容积法可采储量计算的基本数据	105
4.3.1 应用公式	105
4.3.2 油气藏面积	105
4.3.3 有效厚度	106
4.3.4 孔隙度与平均孔隙度	108
4.3.5 含水饱和度及其平均值的计算	109
4.3.6 原油和天然气体积系数的计算	110
4.3.7 采收率	110
4.4 容积法计算可采储量	112
4.4.1 确定性方法	113
4.4.2 概率方法或蒙特·卡罗法	114
4.5 按油气体积对油田分类	115
参考文献	116
习题	117
第5章 弱可压缩流体在孔隙介质中的径向流动	122
5.1 引言	122
5.2 单相径向流方程	122
5.3 水平径向流扩散方程的线性化——假设岩石—流体扩散与压力无关	124
5.4 径向扩散方程的无因次形式	125
5.5 流动条件下随时间的变化	125

5.6 常压缩系数流体径向扩散方程的解	128
5.6.1 瞬变流动	128
5.6.2 拟稳态流动	133
5.6.3 稳态流动	136
5.7 应用于扩散方程求解的叠加原理	137
5.8 生产井和注入井的测试	139
参考文献	140
习题	140
第6章 油井试井解释	147
6.1 引言	147
6.2 产量和压力的测量	147
6.3 非唯一性问题	149
6.4 非圆形泄油面积时的 $p_D(t_D)$ 函数计算	150
6.5 压降试井解释	155
6.5.1 概述	155
6.5.2 恒速压降试井	156
6.5.3 产量缓慢变化时的压降试井	157
6.5.4 变速压降试井	159
6.6 压力恢复试井解释	162
6.6.1 概述	162
6.6.2 稳产井的压力恢复测试	163
6.6.3 非稳产井的压力恢复测试	165
6.7 压力的时间导数	168
6.8 样板曲线	169
6.9 油藏非均质性对井底压力的动态影响	171
6.9.1 井的几何尺寸造成的表皮效应	171
6.9.2 层状或底水油气藏	172
6.9.3 泄油区内存在渗透率障蔽层	174
6.10 注入测试解释的讨论	176
6.11 干扰试井	179
6.12 脉冲试井	182
参考文献	185
习题	187
第7章 气井生产测试解释	199
7.1 引言	199
7.2 真实气体拟压力 $m(p)$	199
7.3 利用 $m(p)$ 函数对真实气体扩散方程线性化	200
7.4 气体扩散方程的无因次形式	202

7.5	非达西流	203
7.6	向井方向的气体水平径向流动	205
7.6.1	瞬变流	205
7.6.2	拟稳态流	206
7.6.3	稳态流	207
7.6.4	气体扩散方程的通解	208
7.7	气体流动方程 $m(p)$ 解和 p^2 解的比较	209
7.8	气井产能测试	211
7.8.1	引言	211
7.8.2	拟稳态流动下的测试	211
7.8.3	气井不稳定试井	214
7.9	压力恢复试井解释	219
7.10	等价性	220
	参考文献	220
	习题	221
第8章	油气藏动态监测的井下测试	239
8.1	引言	239
8.2	选择性地层测试 (RFT)	240
8.3	生产测井	242
8.3.1	井筒中流体速度的测量	242
8.3.2	井筒流体密度的测量	245
8.3.3	流体电容的测量	247
8.3.4	井筒流体光电特性的测量	247
8.3.5	温度和压力的测量	248
8.3.6	辅助测量	249
8.3.7	生产测井的记录	250
8.4	生产测井的解释标准	251
8.4.1	油井的生产测井诊断	251
8.4.2	气井的生产测井诊断	253
8.4.3	注水井的生产测井诊断	254
8.5	核测井	255
8.5.1	概述	255
8.5.2	放射性的基本知识	256
8.5.3	伽马射线与物质的相互作用	258
8.5.4	中子与物质的相互作用	259
8.5.5	中子测井仪	265
8.6	含气层段的识别	266
8.6.1	新钻井或新完井的井	266

8.6.2 生产井	267
8.7 水淹层识别 ($S_w > S_{iw}$)	269
8.7.1 氯测井	269
8.7.2 热中子衰减时间测井 (TDT)	270
8.7.3 碳氧比 (COR) 测井	273
参考文献	274
第 9 章 油气藏水侵	276
9.1 引言	276
9.2 $W_e(t)$ 经验方程	278
9.2.1 Schilthuis 方程	278
9.2.2 Hurst 方程	279
9.3 $W_e(t)$ 的全局方程	280
9.4 用常压缩性流体扩散方程的解计算 W_e	281
9.5 水层影响函数及其在 $W_e(t)$ 预测中的应用	286
9.5.1 由恒定流量的 $P_D(t_D)$ 解计算 $W_e(t)$	286
9.5.2 水层“影响函数”	289
9.6 有限水层的 Fetkovich 方法	292
9.7 后注	295
参考文献	296
习题	297
第 10 章 物质平衡方程	304
10.1 引言	304
10.2 平均油藏压力	307
10.3 干气藏	309
10.3.1 封闭气藏	309
10.3.2 与水层连通的气藏	314
10.4 凝析气藏	318
10.4.1 引言	318
10.4.2 注水或循环注气保持压力	319
10.4.3 封闭气藏	320
10.4.4 与水层连通的气藏	321
10.5 油藏	327
10.5.1 油藏的一般物质平衡方程	327
10.5.2 驱动指数	330
10.5.3 特例	331
参考文献	334
习题	335

第二部分

第 11 章 均匀孔隙介质中的非混相驱替	345
11.1 引言	345
11.2 基本假设	346
11.3 一维系统中的驱替	347
11.3.1 分流量方程	347
11.3.2 Buckley-Leverett 驱替方程	350
11.3.3 前缘后平均饱和度的计算: Welge 方程	358
11.3.4 不同时间采油量和采出液流中驱替流体百分比的计算	360
11.3.5 原油黏度和流量对驱替的影响	362
11.3.6 前缘不稳定性: 指进现象	364
11.4 二维系统 (x, z) 中的驱替	365
11.4.1 分异流动与垂向平衡	366
11.4.2 分异流动前缘的重力稳定性	368
11.5 拟相对渗透率与毛管压力曲线	374
11.5.1 地层总层度 h_t 远小于毛管过渡区高度 h_c	375
11.5.2 地层总层度 h_t 与毛管过渡区高度 h_c 数量级相同	375
11.5.3 地层总层度 h_t 远大于毛管过渡区高度 h_c	378
参考文献	380
习题	380
第 12 章 油藏注水	393
12.1 引言	393
12.2 注水技术的发展	394
12.3 影响原油水驱采收率的因素	396
12.4 E_D : 微观驱油效率	397
12.5 E_V : 体积效率	399
12.5.1 E_A : 平面波及效率	400
12.5.2 E_l : 纵向波及效率	401
12.6 近井区域油水界面的变形: 水的锥进	411
12.6.1 水锥进的临界流量计算	412
12.6.2 高于临界产率的生产	417
12.7 注水生产油藏的测试	420
12.7.1 水驱前缘推进的监测	421
12.7.2 井间测试	422
参考文献	429
习题	431
第 13 章 油藏动态数值模拟	456

13.1	引言	456
13.2	数值模拟的基本原理和方法	456
13.3	数值模型的分类	458
13.3.1	按流动方程离散化方法分类	458
13.3.2	按油藏几何形态分类	459
13.3.3	按流动相的数量和性质分类	461
13.4	连续性方程	462
13.5	流动方程	464
13.6	微可压缩流体的单相流动	465
13.7	气体的单相流动	467
13.8	多相流动	468
13.9	多相流动的广义组分方程	470
13.10	流动方程的讨论	472
13.10.1	单相流	472
13.10.2	两相流	472
13.10.3	三相流动	473
13.11	有限差分方法的基本原理	473
13.11.1	离散化	473
13.11.2	网格类型	474
13.11.3	有限差分法中导数项的离散化	475
13.11.4	空间导数的时间选择和稳定条件	476
13.11.5	舍入和截断误差	479
13.12	单相流数值模拟	480
13.12.1	单相流有限差分方程	480
13.12.2	单相流有限差分方程的矩阵形式	483
13.13	流动方程离散化导出的线性方程组的求解	485
13.13.1	引言	485
13.13.2	直接法	485
13.13.3	迭代方法	488
13.13.4	交替方向法	493
13.14	多相流数值模拟	495
13.14.1	多相流有限差分方程	495
13.14.2	数值弥散及其在多相流动中的处理	498
13.14.3	多相流有限差分方程的解	501
13.15	数值模拟研究油藏动态介绍	506
13.16	基本数据的收集、编辑和预处理	508
13.16.1	选择油藏离散网格	508
13.16.2	各层的总厚度与有效厚度	510

13.16.3	孔隙度和孔隙可压缩系数	510
13.16.4	水平渗透率	510
13.16.5	垂向渗透率	511
13.16.6	相关参数	513
13.16.7	毛管压力曲线	513
13.16.8	相对渗透率曲线	514
13.16.9	PVT 参数	515
13.16.10	初始油气和油水界面	516
13.16.11	参考基准面的初始压力、温度和温度梯度	516
13.17	模型初始化	516
13.17.1	几何参数的计算	516
13.17.2	相压力的计算	516
13.17.3	毛管压力和饱和度计算	517
13.17.4	油藏中流体初始体积计算	518
13.17.5	绘制等值线图	518
13.18	模型的选择和模拟方法	519
13.18.1	模型的选择	519
13.18.2	收敛和稳定性条件	520
13.18.3	驱替过程模拟：拟相对渗透率曲线和拟毛管压力曲线的选择	520
13.19	油藏历史拟合验证数值模型	523
13.19.1	验证的范围和方法	523
13.19.2	历史拟合所需的数据	523
13.19.3	历史拟合模型的使用	524
13.19.4	检查历史拟合	525
13.20	油气藏动态预测	526
13.20.1	引言	526
13.20.2	生产的限制条件	527
13.20.3	井产率的计算	528
13.21	小结	532
	参考文献	533
	习题	536
第 14 章	利用递减曲线和识别模型预测井与油藏动态	554
14.1	引言	554
14.2	产量递减曲线	554
14.2.1	递减曲线的适用条件	554
14.2.2	递减曲线的特征	555
14.2.3	递减曲线法的实际应用	557
14.3	识别模型	558

14.3.1 油藏与水层为单一动力学系统	558
14.3.2 系统论基础	559
14.3.3 不连续动态系统	561
14.3.4 模型识别的步骤	563
14.3.5 实例：存在水层的气藏识别	565
参考文献	569
习题	570
第 15 章 提高采收率技术	573
15.1 引言	573
15.2 世界石油储量现状	573
15.3 剩余油的数量及分布	575
15.3.1 引言	575
15.3.2 剩余油总量评价方法	575
15.3.3 油藏内剩余油分布的确定	578
15.4 高级油藏管理 (ARM)：优化注水或注气提高原油采收率	584
15.4.1 注水 ARM	584
15.4.2 顶部注非混相气体	590
15.5 EOR 方法的定义和分类	594
15.5.1 引言	594
15.5.2 强化采油方法的分类	594
15.6 蒸汽驱	597
15.6.1 温度对油藏岩石和流体性质的影响	597
15.6.2 蒸汽驱技术	599
15.6.3 油藏中遇到的问题	602
15.6.4 小结	604
15.7 蒸汽吞吐或蒸汽浸泡	604
15.7.1 方法的起源	604
15.7.2 蒸汽吞吐技术	605
15.7.3 油藏工程描述	607
15.8 火烧油层	607
15.8.1 方法原理	607
15.8.2 油藏中发生了什么	608
15.8.3 湿式燃烧	610
15.8.4 氧气或富氧空气注入	610
15.8.5 小结	611
15.9 混相气驱	611
15.9.1 引言	611
15.9.2 油藏原油/注入气体混合物的拟三元相图	612