



及心唯小

油藏工程

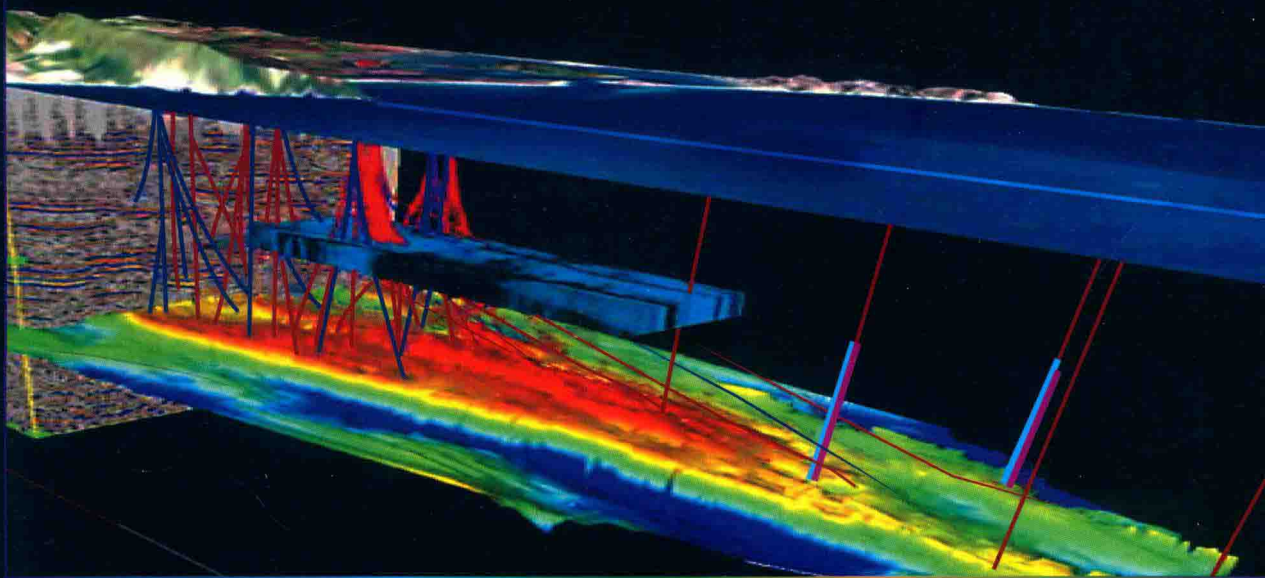
基础、数值模拟及油藏管理

Reservoir Engineering

The Fundamentals, Simulation, and Management of
Conventional and Unconventional Recoveries

【美】 Abdus Satter Ghulam M. Iqbal 著

魏晨吉 王宇赫 李保柱 李勇 郑洁 熊礼晖 译



石油工业出版社

勘探开发研究院出版物

油藏工程： 基础、数值模拟及油藏管理

[美] Abdus Satter Ghulam M. Iqbal 著

魏晨吉 王宇赫 李保柱
李 勇 郑 洁 熊礼晖 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书着重于常规油藏和非常规油藏的相关基本知识, 以及如何将这些知识应用于石油天然气工业, 以满足经济发展需要和技术挑战。本书通过易于理解的语言, 提供了当今油藏工程研究所使用的工具和技术的有价值信息, 并解释了油藏管理和开发方法的最佳实践。本书结合关键油藏工程基础于当前工程应用; 关联常规油藏工程方法于非常规油藏, 并阐述之间不同; 提供油田生产实例和工作流程图以帮助油藏工程师和相关从业人员提升针对常规油藏和非常规油藏的管理技能。

本书可供高等院校石油工程专业学生及油藏工程师参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

油藏工程: 基础、数值模拟及油藏管理 / (美) 阿卜杜斯·萨特 (Abdus Satter), (美) 古拉姆·马·伊克贝尔 (Ghulam M. Iqbal) 著; 魏晨吉, 王宇赫等译. —北京: 石油工业出版社, 2017. 10

书名原文: Reservoir Engineering: The Fundamentals, Simulation, and Management of Conventional and Unconventional Recoveries
ISBN 978-7-5183-1939-8

I. ①油… II. ①阿… ②古… ③魏… ④王… III. ①油藏工程 IV. ①TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 107467 号

Reservoir Engineering: The Fundamentals, Simulation, and Management of Conventional and Unconventional Recoveries

Abdus Satter, Ghulam M. Iqbal

ISBN: 978-0-12-800219-3

Copyright © 2016 by Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by Elsevier (Singapore) Pte Ltd and Petroleum Industry Press.

Copyright © 2017 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved.

注 意

本译本由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 和石油工业出版社完成。相关从业及研究人员必须凭借其自身经验和知识对文中描述的信息数据、方法策略、搭配组合、实验操作进行评估和使用。在法律允许的最大范围内, 爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对译文或因产品责任、疏忽或其他操作造成的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任, 亦不对由于使用文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任。

Published in China by Petroleum Industry Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予石油工业出版社有限公司在中国大陆地区 (不包括香港、澳门以及台湾地区) 出版与发行。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2017-7218

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.petro. pub. com

编辑部: (010) 64253017 图书营销中心: (010) 64523633

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

2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 21

字数: 540 千字

定价: 150.00 元

(如出现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)

版权所有, 翻印必究

译者的话

油藏工程是一门高度综合且实用性较强的技术学科。它以油层物理和渗流力学为基础，研究油田开发过程中油、气、水的运动规律和驱替机理；设计拟定工程方案，以求合理地优化油田管理并提高采收率。为了掌握流体在储层内的运动规律并预测油田采收率，油藏工程师需要调查、分析和编辑大量的数据和属性。油藏工程同时又是一门方法性很强的科学。经过近一个世纪的发展，对于常规油藏来说，现已有许多成熟可靠的分析方法。然而，当前油藏工程师的工作内容正在转变至新兴的非常规油藏。因此，一本能够关联贯通常规和非常规油藏的油藏工程参考书籍显得十分必要。

《油藏工程：基础、数值模拟及油藏管理》一书从常规和非常规油藏的最新进展出发，在第1至2章引入对油藏工程的基础介绍。第3至6章简明扼要地回顾了油藏工程计算所需的储层岩石物性和流体物性以及常规油藏和非常规油藏的特征。第7至8章简述了油田开发周期和管理流程。第9至10章给出了相关渗流力学基础及压力动态分析。第11至14章着重介绍常规油藏与非常规油藏一次开发相关的储量评估、产量递减曲线和物质平衡计算。由于当前大多数油藏工程决策已基于油藏数值模拟技术，本书于第15章对其进行了清晰易懂的介绍。第16至18章介绍了二次采油、三次采油方法和水平井技术。第19章介绍了低渗透油藏和非常规油藏的开发方法。第20章介绍了产量衰竭油田的改造。第21至23章介绍了非常规油藏及常规和非常规油气储量的定义和全球展望。最后于第24章概述了油田管理中涉及的经济、风险和不确定性计算和评估。

本书可提升油藏工程师处理复杂高风险油藏问题的业务水平。作者用清晰易懂的语言贯穿整书，每章、每节目标明确，章后附带启发式思考题，帮助读者检验和升华学习效果。书中呈现的各种油藏工作流程图为满足油藏工程师的需要提供了明确的指导方向。作者引入相当数量的油田现场实例分析，使得本书成为油藏工程师和相关从业人员十分有价值的学习参考资料，可助其在油藏分析、模拟和经济计算的基础上设计和执行全面的油田开发方案，进行持续的油藏监测，评估油田产能，必要时采取纠正措施。本书结合了关键油藏工程基本概念于当今工程应用，关联了常规油藏工程方法于非常规油藏，并阐述之间不同；使用实例解释了油田开发和管理方法的最佳实践，以帮助油藏工程师和相关从业人员提升针对常规和非常规油藏的业务技能。

本书的译者是魏晨吉、王宇赫、李保柱、李勇、郑洁和熊礼晖。此外，孙乾、张娜也参与了译稿校正工作。在此对大家的精诚合作表示深深地感谢！

由于译者水平有限，译文中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

译者

2017年5月于北京

作者简介

Abdus Satter 博士于 1998 年以高级研究顾问的职务从其已服务 30 余年的德士古石油公司 (Texaco) 退休。之后, Satter 博士成立了自己的工程咨询和培训公司。此外, 他还曾任职于阿莫科石油公司 (Amoco)、Frank Cole 工程公司, 并执教于加拿大西安大略大学和孟加拉工程技术大学。Satter 博士在油藏工程、油藏数值模拟器开发及应用、水驱和提高采收率方面拥有 40 余年的经验, 他已在国际上开授多门油藏课程并已出版四部专著和发表多篇期刊文章。Satter 博士是美国石油工程师协会 (SPE) 的杰出会员和终身荣誉会员, 他获有达卡大学机械工程本科学位、科罗拉多矿业大学石油工程硕士学位和俄克拉何马大学工程科学博士学位。

Ghulam M. Iqbal 博士目前是位于华盛顿特区的独立咨询顾问。在任职于扎库姆油田公司 (阿布扎比国家石油公司下属油田) 期间, Iqbal 博士团队进行了多分支水平井的先驱应用。他此外还参与了日产量超 50 万桶的中东某巨型油田的管理工作。Iqbal 博士在美国国际开发署下组织过多个油藏工程、油田管理和油气盆地模拟的实用专题国际研讨会。他获有俄克拉何马大学的石油工程硕士和博士学位。

目 录

第 1 章 油藏工程介绍：常规油气藏和非常规油气藏研究进展	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 油藏科技的发展	(1)
1.3 油气藏的分类	(2)
1.4 油藏工程的作用	(4)
1.5 各章节简介	(6)
第 2 章 常规油气藏和非常规油气藏要素	(8)
2.1 引言	(8)
2.2 油藏岩石类型和石油产量	(8)
2.3 石油成因	(9)
2.4 石油的产生	(13)
2.5 油气系统	(16)
2.6 总结	(18)
2.7 问题和练习	(20)
第 3 章 储层岩石物性	(21)
3.1 引言	(21)
3.2 常规储层和非常规储层的岩石物性	(21)
3.3 岩石孔隙度	(22)
3.4 渗透率	(25)
3.5 表面张力和界面张力	(35)
3.6 存储性和传播性	(46)
3.7 储层质量指数	(46)
3.8 测井：简要介绍	(47)
3.9 油藏非均质性	(48)
3.10 总结	(52)
3.11 问题和练习	(53)
第 4 章 储层流体性质	(56)
4.1 引言	(56)
4.2 储层流体性质的数据应用	(56)
4.3 地层油的性质	(57)
4.4 天然气的性质	(64)
4.5 地层水的性质	(68)
4.6 油藏压力	(69)
4.7 油藏温度	(71)

4.8	储层流体组分	(71)
4.9	总结	(72)
4.10	问题和练习	(73)
第5章	油气藏烃类流体的相态特征	(75)
5.1	引言	(75)
5.2	相图	(75)
5.3	油气藏类型与采收率	(77)
5.4	凝析气藏生产动态研究	(79)
5.5	油气采收率优化	(79)
5.6	总结	(80)
5.7	问题和练习	(80)
第6章	常规油气藏和非常规油气藏的储层表征	(82)
6.1	引言	(82)
6.2	目标	(82)
6.3	总结	(87)
6.4	问题和练习	(88)
第7章	油藏的生命周期与行业专家的作用	(90)
7.1	引言	(90)
7.2	油藏的生命周期	(90)
7.3	专家们的作用	(94)
7.4	总结	(95)
7.5	问题和练习	(96)
第8章	油藏管理过程	(98)
8.1	引言	(98)
8.2	制订计划	(101)
8.3	实施	(104)
8.4	油藏监测	(104)
8.5	动态评价	(104)
8.6	计划和方案的调整	(105)
8.7	废弃	(105)
8.8	总结	(107)
8.9	问题和练习	(109)
第9章	多孔介质中流体流动的基础原理	(110)
9.1	引言	(110)
9.2	流体状态和流动特征	(112)
9.3	多相流：流体的非混相驱替	(119)
9.4	总结	(121)
9.5	问题和练习	(121)
第10章	油气井不稳定压力分析	(123)
10.1	引言	(123)

10.2	典型曲线分析	(131)
10.3	总结	(131)
10.4	问题和练习	(132)
第 11 章	一次采油机理与采收率	(133)
11.1	引言	(133)
11.2	一次采油的驱动机理	(133)
11.3	油藏	(134)
11.4	干气藏和湿气藏	(136)
11.5	总结	(137)
11.6	问题和练习	(137)
第 12 章	常规油气藏和非常规油气藏储量的确定	(139)
12.1	引言	(139)
12.2	原始原油地质储量	(140)
12.3	气体原始地质储量	(141)
12.4	总结	(149)
12.5	问题和练习	(149)
第 13 章	常规油气藏和非常规油气藏的递减曲线分析	(151)
13.1	引言	(151)
13.2	递减曲线分析: 优点和局限性	(151)
13.3	递减曲线模型	(153)
13.4	判别方法	(156)
13.5	多段递减分析模型	(162)
13.6	页岩气藏估算 EUR 的一般建议	(163)
13.7	递减曲线分析工作流程	(163)
13.8	煤层气藏的递减曲线分析	(164)
13.9	典型曲线分析: 综述	(164)
13.10	总结	(165)
13.11	问题和练习	(165)
第 14 章	油藏动态分析——经典的物质平衡方法	(167)
14.1	引言	(167)
14.2	假设条件和局限性	(169)
14.3	油藏: 估算原始原油储量、气顶比、水侵量和采收率	(170)
14.4	气藏: 估算原始天然气储量和水侵量	(171)
14.5	凝析气藏: 估算湿气储量	(172)
14.6	总结	(173)
14.7	问题和练习	(174)
第 15 章	油藏数值模拟: 入门	(176)
15.1	引言	(176)
15.2	生产历史拟合	(196)
15.3	油藏数值模拟结果	(197)

15.4	总结	(202)
15.5	问题和练习	(204)
第 16 章	注水与注水监测	(206)
16.1	引言	(206)
16.2	注水的历史	(206)
16.3	注水设计	(207)
16.4	注水的实践	(207)
16.5	注水的应用	(207)
16.6	注水监测	(216)
16.7	总结	(219)
16.8	问题和练习	(221)
第 17 章	提高采收率：热采、化学驱、混相驱	(223)
17.1	引言	(223)
17.2	热采	(226)
17.3	混相驱	(229)
17.4	氮气和烟气驱	(232)
17.5	聚合物驱和化学方法	(232)
17.6	EOR 方案的设计要素	(234)
17.7	EOR 方法选择指南	(235)
17.8	提高采收率工作流程	(237)
17.9	总结	(238)
17.10	问题和练习	(240)
第 18 章	水平井技术与生产动态	(242)
18.1	引言	(242)
18.2	水平井的历史	(242)
18.3	水平井部署指南	(247)
18.4	水平井产能分析	(247)
18.5	水平井产能问题	(249)
18.6	总结	(250)
18.7	问题和练习	(252)
第 19 章	低渗透油气藏和非常规油气藏的油气开采方法	(253)
19.1	引言	(253)
19.2	低渗透油气藏开发的策略	(253)
19.3	致密气和非常规气	(255)
19.4	低渗透油气藏的开发：工具、技术和选择标准	(255)
19.5	总结	(258)
19.6	问题和练习	(259)
第 20 章	产量衰减油藏的改造	(261)
20.1	引言	(261)
20.2	老油田再开发的主要策略	(261)

20.3	恢复效果	(262)
20.4	总结	(264)
20.5	问题和练习	(265)
第 21 章	非常规油藏	(266)
21.1	引言	(266)
21.2	非常规油藏特征	(267)
21.3	总结	(274)
21.4	问题和练习	(275)
第 22 章	非常规气藏	(277)
22.1	引言	(277)
22.2	非常规天然气的类型和估算储量	(277)
22.3	页岩气生产建模和模拟研究	(290)
22.4	其他的非常规气资源	(298)
22.5	总结	(298)
22.6	问题和练习	(301)
第 23 章	常规油气储量和非常规油气储量的定义及世界展望	(304)
23.1	引言	(304)
23.2	油气储量和资源	(304)
23.3	常规储量和非常规储量的对比	(305)
23.4	油气储量的分类	(305)
23.5	核算油气储量的方法	(306)
23.6	油气成藏和资源	(306)
23.7	储量评价方法	(306)
23.8	油气储量的可能分布	(307)
23.9	不确定性来源	(308)
23.10	蒙特卡罗模拟法	(308)
23.11	储量评价中的误差来源	(309)
23.12	油气储量校正	(309)
23.13	全球展望	(310)
23.14	总结	(310)
23.15	问题和练习	(311)
第 24 章	油藏管理经济学、风险和不确定性	(312)
24.1	引言	(312)
24.2	经济分析的目标	(312)
24.3	综合经济模型	(313)
24.4	石油工业中的风险和不确定性	(314)
24.5	总结	(319)
24.6	问题和练习	(320)
附录	单位换算表	(322)

第 1 章 油藏工程介绍：常规油气藏和非常规油气藏研究进展

1.1 引言

作为石油工程的核心，油藏工程是指采取一定的技术手段，经济且高效地管理油气藏的一门学科。20 世纪初期，它作为独立的学科逐渐发展起来，起初油藏工程的目的便是油气产量最大化。根据油藏模拟及经济分析，油藏工程团队通过建立、实施油藏综合开发方案，可以实时监测油藏动态、评估油藏生产状况，并在有需要的情况下采取修正措施。随着世界范围内新的油气资源不断被发现，油藏工程自身也在不断发展以应对不同的挑战。油藏工程师期望以创新的技术与策略，尽可能地实现油气资源高效、安全、经济的开采。

现代油藏工程的研究、方案、实践是在团队合作和综合理论方法的基础上进行的。油藏工程需要结合地质、地球物理、地球化学、油藏物理、钻井、采油、计算机油藏模拟等其他学科才能进行完整的研究。此外，还涉及管理、经济及环境方面的内容。油藏工程及其相关研究的最终目的是油气生产最优化及油气藏经济价值最大化。

本书将重点介绍油藏工程的基本概念，以及如何将这些概念应用到油气工业当中去面对技术领域的挑战。本书还给出了油藏工程和数值模拟等技术在常规油气藏、非常规油气藏中的现场应用。本质上讲，本书致力于让读者始终为求职做好准备，并提供更多关于目前先进工具、技术、科技等方面的知识。

1.2 油藏科技的发展

20 世纪早期，原油的生产主要在那些易于管理的陆上油田进行。然而，这些油田的最终采收率很低，很大一部分油气仍留在地下。近几十年来油藏工程有了快速的发展，以应对这些新发现油气资源带来的挑战。一些顶尖的工具和技术包括：地下钻取长达数英里的单分支或多分支水平井、多级水力压裂（多年前被视为不可能实现的技术）、具有复杂地质环境的油气藏通过注入流体来提高采收率、不流动油砂的热采、利用地震监测裂缝扩展以及流体前缘、利用油藏模拟技术来优化油气开采等。

在那些原来被认为无法进行油气生产的复杂地质条件区域内，现在有大量的油气井实现了经济有效的开发。这些区域包括深水油气藏、超致密地层及经过一次采油后还有大量剩余原油的成熟油田。随着技术的不断提高，大量的油气从那些几十年前被忽视的油气藏中开发出来。

近些年来，油藏工程以及相关领域的先进技术包括以下几个方面：

(1) 水平井。

水平井钻井技术是石油工业中一项颠覆性的技术，它使在地质条件不利的陆上、海上区域开发油气资源成为可能。一些水平井的水平段长达 7 mile。水平井可以穿过产层的各种非

均质区域（包括断层及断块），这些是直井或斜井无法实现的。由于井筒和地层接触面积扩大，水平井使得致密地层的油气产量达到商业产值，这是进行非常规油气资源开发的关键。当钻取一口水平井，工程人员通过一些随钻工具和技术可以获得详细的岩石性质参数资料。水平井在地面所占面积比直井小得多，即一口水平井可以达到数口直井才能达到的产量水平。

（2）多级压裂。

多级水力压裂技术给页岩气开采带来变革。非常规页岩油气藏范围可横跨数百英里，客观地下储量且探井发现储层的概率要大于常规油气藏。在几十年前，人们认为这类超致密油藏储层不具有商业开采价值，而水平井多级水力压裂技术使这种不可能成为可能。经过水力压裂的水平井可以形成复杂的裂缝网络，连接并沟通原有的天然裂缝，流体在这种半渗透地层中更容易流动。这项技术改变了美国的能源地位，且其影响迅速传播到全世界。一些最近的先进技术如微地震研究，可以对压裂裂缝实现可视化识别。

（3）油砂提取。

几十年前，重油及超重油被认为无法大量开采出来。水平井注蒸汽技术引领了油砂（沥青矿）的开发新时代。一些技术已得到广泛的应用，例如双水平井，在其处于高处的井注入蒸汽，在低处井进行轻质油的生产，这项技术被称为重力辅助蒸汽驱。因为被加热的原油黏度降低，在重力的作用下流向生产井。此外，炼油技术的发展使得该类原油的品质可以达到市场标准。

（4）油藏模拟和综合研究。

油田开发项目通常需要大量的资本投入。在数字时代，事实上所有的重要决策都是依据油藏模拟来制订的。油藏模拟利用数学模型来模拟真实情况下油藏的开发状态。精确的油藏模型由数百万个网格构成。通过生成不同的假设模型，模拟油藏在不同开发条件下的生产动态。油藏综合研究是基于地球科学和工程技术等方面的油藏信息，将油气工业中各学科专家组成团队一起对油气藏进行开发。

1.3 油气藏的分类

油藏工程研究的对象是油气藏。油气藏可以按照不同方式进行分类。油气藏的分类有助于油气藏开发管理方案的制定。油藏的主要分类如下：

1.3.1 根据油层流体类型分类

- （1）油藏（轻质，中质，重、超重油）。
- （2）干气藏（在整个生产过程中气体中无液烃析出）。
- （3）凝析气藏（气体中含有相对重质烃类，在压力低于露点压力时会有凝析液析出）。

1.3.2 根据开发技术分类

（1）常规油气藏：运用传统工具和技术进行开发的油气藏；岩石和流体性质有利于进行商业规模的开发。

（2）非常规油气藏：由于种种不利条件，需要创新的方法和新型技术才可以经济开发的油藏；非常规油气藏的特征包括超致密地层、超稠油、埋藏深度极深等。

随着开发非常规油气技术不断成熟，非常规油气藏也会被视为常规油气藏。

1.3.3 根据储层岩石岩性分类

- (1) 砂岩油气藏。
- (2) 碳酸盐岩油气藏。
- (3) 页岩、黏土、粉砂油气藏。
- (4) 煤层气藏。
- (4) 盐丘油气藏。
- (6) 上述油气藏的结合。

1.3.4 根据岩石性质分类

- (1) 烃源岩岩石（油气从其产生的地方被开采出来）。
- (2) 油藏岩石（油气从烃源岩处运移、分离，最终被开采）。

1.3.5 根据岩石特征分类

- (1) 疏松油气藏。
- (2) 紧密油气藏。
- (3) 超致密油气藏。

1.3.6 根据地质复杂程度分类

- (1) 单层油气藏。
- (2) 多层或分层（连通、部分连通、不连通）油气藏。
- (3) 裂缝油气藏。
- (4) 断层（封闭、部分封闭、不封闭）油气藏。
- (5) 断块油气藏。
- (6) 致密（油气传导性差）油气藏。
- (7) 强非均质性（岩石性质占主要）油气藏。

1.3.7 根据位置分类

- (1) 陆上油气藏。
- (2) 海上油气藏，包括深水油气藏。
- (3) 浅层油气藏，包括油砂油气藏。
- (4) 深层油气藏，包括盆地中心油气藏。

1.3.8 根据油藏压力分类

- (1) 饱和压力油气藏。
- (2) 未饱和压力油气藏。

1.3.9 根据驱动能量分类

- (1) 衰竭油气藏。
- (2) 气顶驱油气藏。

- (3) 流体和岩石膨胀驱油气藏。
- (4) 重力驱油气藏。
- (5) 水驱油气藏。
- (6) 岩石压缩油气藏。
- (7) 外部流体注入，包括注水和化学驱油气藏。
- (8) 热采油气藏。

1.3.10 根据油藏边界性质分类

- (1) 封闭油气藏。
- (2) 边水驱油气藏。
- (3) 底水驱油气藏。

1.3.11 根据油藏倾斜分类

倾斜油气藏（倾斜方向指明了井的位置）。

1.3.12 根据生产模式分类

- (1) 一次采油（依靠天然能量生产）。
- (2) 二次采油（依靠水驱提高采收率）。
- (3) 三次采油（依靠注化学试剂、泡沫及热采进行生产）。

1.3.13 根据生产特征分类

- (1) 单相流（油或气）。
- (2) 多相流（油和气，油和水，气和水）。
- (3) 高含水。
- (4) 高气油比。

1.3.14 根据油藏时期分类

- (1) 生产早期。
- (2) 生产高峰期。
- (3) 产量下降期。
- (4) 成熟期。

1.4 油藏工程的作用

没有两个油藏的性质是完全一样的。每种类型的油气藏都需要独特的开发及生产方法，这通常包括油藏资料的验证、解释及再解释，地质复杂性的表征，流体流动过程的可视化，基于解析法或计算机的流体流动模型等。典型的油藏工程任务包括但不限于以下几种：

- (1) 详尽了解油藏，包括油藏岩石性质、流体流动特征的概念化和可视化，以及油藏开发机理；同时对开发非常规油气藏提出了新的挑战。
- (2) 整合地球物理、地质、油藏物理、生产信息等数据，建立油藏概念模型。

(3) 根据多种方法评价原始油气储量，这些方法包括体积法、产量递减分析、物质平衡法及油藏数值模拟。

(4) 评估油气可采储量，并给出相关可能性。

(5) 以优化生产为目的，完成对生产井和注入井的设计、部署、完井等工作。

(6) 设计、实施并监测注水及提采方案。

(7) 对成熟油田实施提采措施。

(8) 应对生产中的挑战，如井产能的下降、水气过早突破、油藏非均质性、操作问题、经济问题、环境影响及法律法规等。

(9) 基于数值模拟技术预测油藏开发动态。

(10) 依靠油藏生产监测提高对油藏的认知，绘制未来开发动态曲线。

(11) 与一个跨学科团队共同工作，高效管理油藏。

(12) 在油藏工程及管理中坚持实践。

以下给出了两个工作流程。第一个工作流程是油藏工程团队在管理常规油气藏中的责任与义务。第二个工作流程更加具体化，主要凸显了非常规页岩气藏的开发过程（图 1.1、图 1.2）。

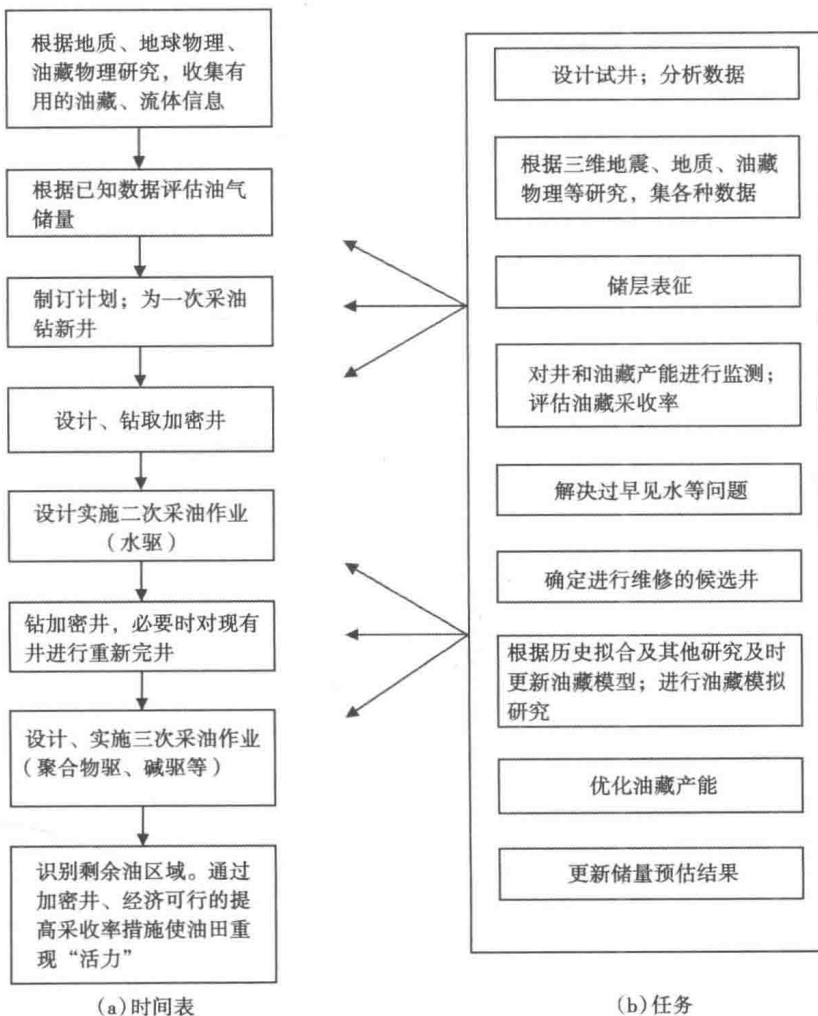


图 1.1 油藏工程工作流程

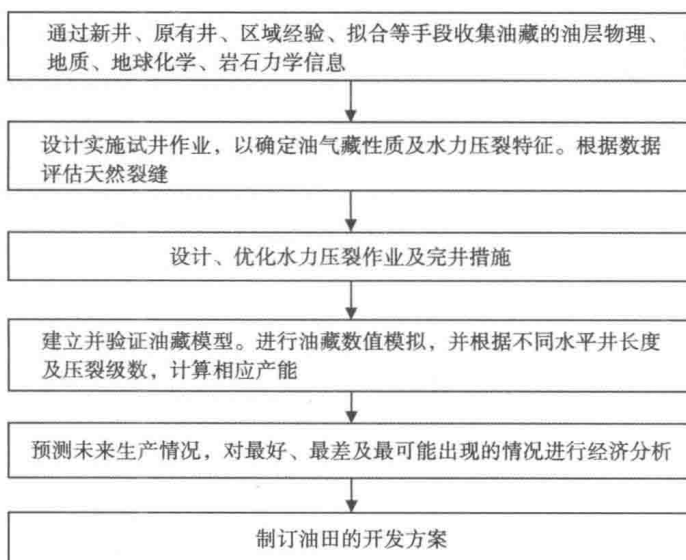


图 1.2 非常规页岩气藏开发的工作流程

1.5 各章节简介

1.4 中提到的工作流程表明了管理常规油气藏、非常规油气藏中需要各种技术。以下简要介绍了本书中各章节的主要内容。

第 2 章的主要内容是石油的起源。为了深入了解油藏特征及油藏地质复杂性，则需要了解油藏在过去是如何形成。本章主要介绍了最终影响油气生产的沉积环境。近些年来，随着一些非常规油气资源的成功开发，本章的相关内容对石油工程师来说越来越重要，例如从石油生成的地方（烃源岩）直接进行开采等。

第 3 章、第 4 章、第 5 章的主要内容是岩石和流体性质及油藏流体的相态特征。油藏工程的基础是油藏流体和岩石的性质，包括流体的相态变化特征，这些决定了油藏如何开发与管理，这包括井位井距的确定、水驱和提高采收率措施的设计、评价可采储量及油藏整体的运营管理。对于非常规油气藏如页岩气藏，地球化学及岩石力学性质的研究占据重要地位。储层物性评价有助于开发这类油藏。

第 6 章的主要内容是油藏表征。任何油藏的开发工作都是从“了解你的油气藏”开始的。一个油藏必须根据地质复杂性和微观宏观岩石性质去进行表征工作，并确定这些性质对流体流动及油藏产能的影响。油藏表征工作涉及多学科、多领域。

第 7 章的主要内容是油藏生命周期。所有的油藏都要经历一个完整的生命周期，从勘探到开发，再到最终废弃。整个油藏生命周期包括油藏描述、钻井开发、一次采油、二次采油、三次采油等。随着油藏开发的不断进行，工程师及地球科学家的角色根据管理油藏所需技术的变化在改变。

第 8 章的主要内容是油藏管理。有效的油藏管理需要对井位部署进行设计、实施、监测及回顾经验教训。必要时需实施补救措施。本章通过一个实例分析说明了整个管理过程。例子中的油田区块通过实施创新性的技术成功地商业开发了数十年。

第 9 章的主要内容是流体在多孔介质中的流动机理。深刻理解流体在多孔介质中的流动

是建立油藏动态模型的基础。通过使用解析公式和模型来预测不同流动形态及油藏边界条件下流体的产量、压力和饱和度。

第 10 章的主要内容是不稳定压力试井。评估油气藏及油井的有效方法之一便是瞬态压力测试，也称为试井。在油井处创造一个压力脉冲，经过一段时间后接收信号的反馈。根据井的条件、岩石性质、流体性质，通过这些反馈信号可以得到许多有价值的信息。

第 11 章的主要内容是一次采油机理。生产初期，大多数油气藏都会需要利用天然能量来进行生产。能量的来源包括压力、流体的膨胀、邻近水体的水侵、重力等。一次采油机理根据能量来源进行划分。

第 12 章、第 13 章、第 14 章的主要内容是体积法，递减曲线法和物质平衡法。油藏工程师的核心任务是评价油气原始地质储量以及可采储量，其可以利用多种方法完成该任务。体积法以地质和地球物理研究为基础，即以静态数据为基础；而递减曲线法和物质平衡法则需要动态数据，包括生产速率和产量数据。

第 15 章的主要内容是油气藏数值模拟。油藏数值模拟在油藏工程的重要决策中起着至关重要的作用。油藏工程师建立综合的油藏模型，用来模拟不同方案下油藏未来的开发动态。方案涉及井位、井数、水驱、提高采收率措施等。

第 16 章、第 17 章的主要内容是提高采收率方法。提高采收率方法常被用在常规油藏中以提高油藏的采收率。当油藏的天然能量衰竭时，就需要通过注水或注其他流体来提供额外的能量。热采方法主要用于稠油的开发，它可以有效提高稠油的流动能力。

第 18 章的主要内容是水平井。水平井钻井技术随着石油工业的发展在全世界得到了越来越广泛的应用。近几十年来这项技术使得油气采收率极大提高。水平井可以接触到更大的油藏区域，尤其适用于致密地层的开发，如页岩气藏、断块油气藏等。

第 19 章的主要内容是油气开采方法。石油的开采通常在各种复杂地质条件下进行，包括强非均质性的地层及超低渗透率地层。当大井距的井出现产量下降时，可以采用加密井等方法改善产量。在致密油气藏中，水平井钻井是提高产能的主要措施。

第 20 章的主要内容是成熟油藏的再开发。随着开发的进行，油藏产能会不可避免地出现下降。但是，油藏工程师尝试将那些还埋藏在地下的原油开采出来，从而使老油藏焕发活力。为了达到这个目的，通常利用三维地震、油藏数值模拟等各种工具及技术。

第 21 章、第 22 章的主要内容是非常规油气。随着新技术的出现，近些年来非常规油气产量快速增长，已逐步成为世界油气的主要来源。在页岩气、页岩油的开发中用到的创新技术主要是水平井多级水力压裂。在开发油砂中使用的热采方法是另一个重要的创新技术。

第 23 章的主要内容是评价储量。如前所述，油藏工程师需要评价油气储量。储量报告可以在一定程度上评价一个公司的资产状况，此外在大多数石油生产国，向官方提交储量报告是强制的法律规定。由于石油形成的不确定性，储量可以根据可能性分为探明储量、潜在储量、预测储量。

第 24 章的主要内容是油藏经济管理。每一个油藏项目都必须经过经济评价。除了专业方面的工作，油藏工程师还需要定期对油藏开展经济分析。油田开发项目的价值依赖于各种经济标准，如净现值、回收期及内部收益率等。