

国外地质模型与油藏管理丛书

集成油藏资产管理

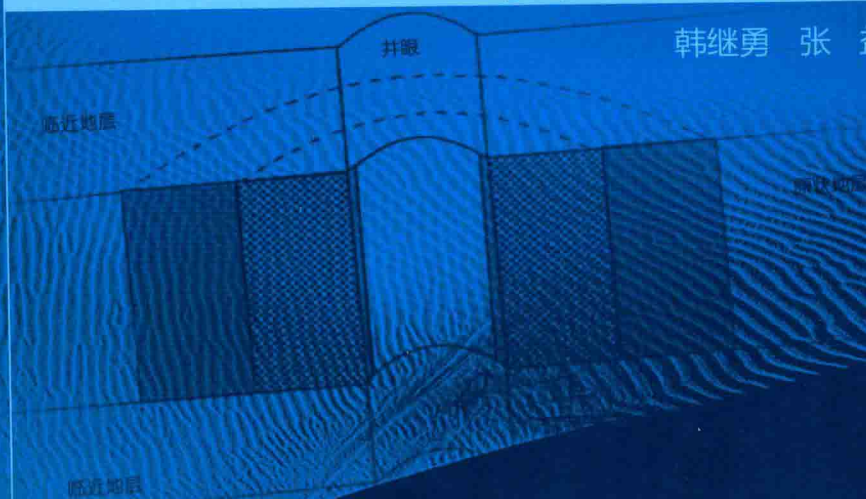
——原理与最佳实践



INTEGRATED RESERVOIR
ASSET MANAGEMENT
PRINCIPLES AND BEST PRACTICES

[美] 约翰·R. 范驰 (John R. Fanchi) 著

韩继勇 张益 程国建 译



石油工业出版社

国外地质模型与油藏管理丛书

集成油藏资产管理 ——原理与最佳实践

[美] 约翰·R. 范驰 (John R. Fanchi) 著
韩继勇 张 益 程国建 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书共 16 章, 系统介绍了油藏中的流体、岩石与流体的相互作用及其关系、将流体流动方程用于油藏模拟、现代油藏流体建模 workflow、如何计算整体油藏的特性等内容, 并介绍了 VF 用于解释每一章所提到的信息是如何作为综合油藏管理研究的一个组成部分。本书的练习部分可让读者运用流动模拟器进行案例研究来解释和集成本书中所用到的素材。

本书可以作为石油工程类专业在校 生、现场科技人员的油藏管理入门教程, 也可供继续教育培训班、业界短期课程以及自学使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

集成油藏资产管理——原理与最佳实践/[美] 约翰·R. 范驰著,
韩继勇, 张 益, 程国建译.—北京: 石油工业出版社, 2014. 12
(国外地质模型与油藏管理丛书)

原文书名: Integrated Reservoir Asset Management——Principles and Best Practices
ISBN 978-7-5183-0452-3

- I. 集…
- II. ①范… ②程…
- III. ①油藏管理-资产管理-研究
- IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 247932 号

Integrated Reservoir Asset Management: Principles and Best Practices, 1st edition
John R. Fanchi

ISBN: 978-0-12-382088-4

Copyright © 2010 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright © 2014 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved.

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 SAR, 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、澳门特别行政区以及台湾地区) 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。

著作权合同登记号 图字: 01-2013-9043

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.petropub.com

编辑部: (010) 64523541 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

2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 17.5

字数: 443 千字

定价: 78.00 元

(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

《国外地质模型与油藏管理丛书》 编委会

主任：屈展

副主任：方明 肖忠祥 陈军斌 程国建

主审：屈展 方明

编委：陈军斌 程国建 肖忠祥 章卫兵

王俊奇 韩继勇 张益 林加恩

魏新善 曹青 闫健 张国强

双立娜 李小和 刘烨 李中

译者前言

随着高新技术的发展及管理理念的更新,进入21世纪的油气工业面临诸多挑战,如从定性地质构造观察到定量建模描述、从微观结构分析到油藏三维可视化展布、从历史拟合到油藏自动监测、从分散管理到集成式优化管理、从单一数据源到多异构数据体的大规模集成应用等。这些转型的根本目标还是油气生产率的提升以及对安全环保等因素的考量,为了应对这些挑战,西安石油大学组织专家、学者翻译了8本相关外文原版专著,形成《国外地质模型与油藏管理丛书》,本套丛书各分册为《集成油藏资产管理——原理与最佳实践》、《油藏流线模拟——理论与实践》、《实用地质统计学——SGeMS用户手册》、《地球科学中的不确定性建模》、《石油地质统计学》、《岩石物理特性手册》、《油藏模拟——历史拟合及预测》、《油藏监测》,本丛书受到西安石油大学出版社基金,陕西省工业攻关计划项目“致密油藏压裂水平井关键技术研究”(课题编号:2013K11-22),西部低渗—特低渗油藏开发与治理教育部工程研究中心和陕西省油气田特种增产技术重点实验室联合资助。

由于译者专业知识及外文水平所限,难免在原文理解、语义阐释、文字表达方面不够准确,甚至出错,诚恳希望读者朋友多提宝贵意见和建议。联系方式:西安石油大学数字油田研究所, dofi@xsyu.edu.cn。

译者

原书前言

《集成油藏资产管理——原理与最佳实践》主要目的是将油藏经营管理主题介绍给那些具有不同技术背景的相关人员。现代油藏管理依赖于资产管理，其团队由来自各种学科和工程背景的人员组成，除了包含地质学家、油藏工程师、物理学家以外，资产管理团队还包括化学家、生物学家、采油工程师、流动保障工程师、钻井工程师、设备工程师、机械工程师、电气工程师、环境工程师等。本书介绍了油藏资产管理团队人员和专业人士经常遇到的概念和术语，可以作为石油工程专业在校生、现场科技人员的油藏管理入门教程，也可供继续教育培训班、业界短期课程以及自学使用。

本书包含了对《共享地球建模》（2002）一书材料的更新，这本综合性材料是笔者在科罗拉多州矿业大学开设给地质学家和石油工程师的油藏描述课程所用到的材料。之所以将标题从《共享地球建模》更改为《集成油藏资产管理》，是因为认识到了现代资产管理团队技术的多样性，其焦点已从共享地球模型转移到了油藏管理。本书增加的练习部分可让读者运用流动模拟器（IFLO）进行案例研究来解释和集成本书中所用到的素材。该流动模拟器最初是作为《实用油藏模拟原理》一书的附加材料（第三版，Elsevier，2006）。

本书第1章是油藏管理概述；第2章讨论了油藏中的流体；第3章回顾了用地质原理来表征地下环境；第4章介绍了两种主要的油藏参数（孔隙度和渗透率）；第5章到第9章描述了用于获得地下环境信息的各种方法；第10章回顾了岩石与流体的相互作用及其关系，这对建立多相流体的流动方程极有价值；第11章讨论了如何计算整体油藏的特性；第12章引入了流体驱替的概念；第13章介绍了将流体流动方程应用于油藏模拟；第14章讨论了数据管理问题；第15章介绍了现代油藏流体建模工作流；第16章呈现了各种油藏管理应用场景，包括一些与可持续能源系统相关的应用。案例研究 Valley Fill 用于解释每一章所提到的信息是如何作为综合油藏管理研究的一个组成部分。在每章的后面提供了练习。

石油文献中常见的两种单位制是油田单位和公制单位（SI）。本书所使用的单位是典型的油田单位。在附录 A 中列示了从一种单位制到另一种单位制经常

使用的转换因子，该因子用于转换油田单位和公制单位。许多练习中使用到了流动模拟器（IFLO），参见 www.elsevierdirect.com/9780123820884。附录 B 中提供了流动模拟器用户手册。

笔者在工业界和学术界的同事以及所授课的跨学科班学生，帮助确定了重要的相关跨学科主题。当然笔者对最终的选题负主要责任。笔者要特别感谢 Kathy Fanchi 和 Chris Fanchi 在本书手稿的准备过程中所付出的努力。

作者简介

John R. Fanchi 是美国得克萨斯 Fort Worth 基督教大学工程与能源学院的教授。他担任石油工程系 Ross B. Matthews 主席并且讲授能源与工程相关课程。在这项任命之前，他曾在科罗拉多州矿业大学讲授石油与能源工程课程，并且在四家能源企业技术中心任职。

他参与编辑了石油工程系列手册的总体工程分册（该系列手册由 SPE 出版社出版）。此外，他还是其他几本书的作者，包括《实用油藏模拟原理》（第三版，Elsevier, 2006），《科学家与工程师的数学知识更新》（第三版，Wiley, 2006），《21 世纪的能源》（World Scientific, 2010），《未来能源的技术与方向》（Elsevier-Academic Press, 2004），《共享地球模型》（Elsevier, 2002），《集成流体流动建模》（Elsevier, 2000），《参数化相对量子论》（Kluwer, 1993）。

目 录

1 概述	(1)
1.1 油藏的开发周期	(1)
1.2 油藏管理	(4)
1.3 采收率	(5)
1.4 油藏管理和经济学	(6)
1.5 油藏管理和环境	(8)
1.6 河谷堆积案例研究：简介	(10)
练习	(10)
2 流体特性	(13)
2.1 化石燃料的起源	(13)
2.2 流体性质的描述	(14)
2.3 石油流体的分类	(17)
2.4 流体性质的表征	(20)
2.5 河谷堆积案例研究：流体性质	(23)
练习	(24)
3 地质学	(26)
3.1 地球的地质历史	(26)
3.2 岩层和岩相	(28)
3.3 构造和圈闭	(30)
3.4 石油的生成	(30)
3.5 地球化学	(31)
3.6 盆地建模	(32)
3.7 多孔介质	(32)
3.8 储量分析	(34)
3.9 河谷堆积案例研究：地质建模	(35)
练习	(36)
4 孔隙度与渗透率	(37)
4.1 总体积和有效体积	(37)
4.2 孔隙度和颗粒体积	(37)
4.3 有效孔隙体积	(38)
4.4 孔隙压缩系数	(38)
4.5 达西定律和渗透率	(39)
4.6 渗透率的平均值	(44)
4.7 可传递性	(45)

4.8	渗透率非均质性的测量	(47)
4.9	具有方向渗透率的达西定律	(48)
4.10	河谷堆积案例研究: 渗透率	(51)
	练习	(51)
5	地球物理学	(53)
5.1	油藏规模	(53)
5.2	波动物理学	(55)
5.3	地震波的传播	(56)
5.4	声波阻抗与反射系统	(58)
5.5	地震数据的采集、处理与解释	(59)
5.6	地震分辨率	(61)
5.7	地层学	(63)
5.8	河谷堆积案例研究: V_p/V_s 模型	(64)
	练习	(65)
6	岩石物理学	(66)
6.1	弹性常数	(66)
6.2	弹性理论	(68)
6.3	岩石弹性模型	(70)
6.4	岩石力学模型	(75)
6.5	延时 4D 模型	(76)
6.6	河谷堆积案例研究: 弹性体积模量	(78)
	练习	(79)
7	测 井	(81)
7.1	钻井和测井	(81)
7.2	直接测量测井	(83)
7.3	岩性测井	(84)
7.4	孔隙度测井	(85)
7.5	电阻率测井	(86)
7.6	其他测井的类型	(88)
7.7	储层表征问题	(89)
7.8	河谷堆积案例研究: 测井	(90)
	练习	(91)
8	试 井	(92)
8.1	非稳态试井	(92)
8.2	油井不稳定试井	(93)
8.3	气井的压力不稳定试井	(100)
8.4	试井能力	(104)
8.5	河谷堆积案例研究: 井压	(105)
	练习	(106)

9 生产评价技术	(108)
9.1 递减曲线分析	(108)
9.2 气井产能	(109)
9.3 物质平衡	(110)
9.4 生产性能比与驱动机理	(114)
9.5 生产阶段	(115)
9.6 示踪剂测试	(117)
9.7 示踪试验设计	(119)
9.8 河谷堆积案例研究：生产	(122)
练习	(123)
10 岩石流体的交互作用	(124)
10.1 界面张力	(124)
10.2 润湿性	(125)
10.3 毛管压力	(125)
10.4 毛管压力与岩石特性的相关性	(128)
10.5 等高线与过渡带	(129)
10.6 有效渗透率与相对渗透率	(131)
10.7 迁移、相对迁移与流量	(135)
10.8 河谷堆积案例研究：岩石流体交互数据	(136)
练习	(137)
11 油藏表征	(139)
11.1 流动单元	(139)
11.2 传统绘图	(141)
11.3 计算机生成绘图	(142)
11.4 地质统计学与克里金方法	(144)
11.5 地质统计学建模	(147)
11.6 可视化技术	(150)
11.7 河谷堆积案例研究：储层结构	(151)
练习	(151)
12 流体驱替	(153)
12.1 分相流量	(153)
12.2 巴克利—莱弗里特理论	(156)
12.3 威尔琪法	(158)
12.4 前缘推进	(159)
12.5 线性稳定性分析	(161)
12.6 井的布局	(162)
12.7 河谷堆积案例研究：概念模型	(164)
练习	(164)
13 油藏模拟	(166)

13.1	连续性方程	(166)
13.2	对流扩散方程	(168)
13.3	纳维—斯托克斯方程	(169)
13.4	黑油模型方程	(170)
13.5	集成流动模型方程	(173)
13.6	油井模型	(176)
13.7	河谷堆积案例研究：层状油藏流体模型	(179)
	练习	(179)
14	数据管理	(181)
14.1	岩石数据的来源	(181)
14.2	流体数据的来源	(182)
14.3	油田特性数据的来源	(185)
14.4	数据管理	(185)
14.5	数据准备	(188)
14.6	河谷堆积案例研究：输入数据的不确定性	(189)
	练习	(190)
15	油藏流体建模	(192)
15.1	新油田建模	(192)
15.2	老油田建模	(196)
15.3	确定性油藏预测	(196)
15.4	概率油藏预测	(198)
15.5	现代流动建模指南	(204)
15.6	河谷堆积案例研究：确定性历史拟合与基本情况预测	(204)
	练习	(205)
16	现代油藏管理应用	(207)
16.1	改善石油开采	(207)
16.2	非常规化石燃料	(209)
16.3	地热藏管理	(211)
16.4	封存	(213)
16.5	压缩空气能源的存储	(214)
16.6	河谷堆积案例研究：注水预测	(215)
	练习	(216)
附录 A	单位换算因子	(217)
附录 B	IFLO 用户手册	(220)
B1	IFLO 介绍	(220)
B2	初始化数据	(221)
B3	循环数据	(246)
B4	程序输出	(254)
参考文献	(256)

1 概述

石油和天然气是当今世界重要的基础能源，通常是在许多具有挑战性环境的地下油藏中被发现。现代油藏经营管理依赖于具有多学科和工程背景的人所组成的资产管理团队来生产石油和天然气。本书的目的是给不同技术背景的相关人员介绍油藏管理技术。本书主要围绕多学科油藏资产管理团队和对管理地下资源感兴趣的相关专业人士在油藏管理中常碰到的话题展开的。这些话题涉及石油和天然气生产、煤层气生产、非常规油气生产、地热能源生产、温室气体封存等许多方面的应用。本章介绍油藏管理的概况。

1.1 油藏的开发周期

对能源开发项目进行成本分析时，应该考虑整个系统过程中的初期投资和每年运营费用。这种分析是开发周期分析，成本是开发周期成本。开发周期成本要求分析整个期望的开发周期内所有相关的直接和间接的费用。在油藏开发情况下，开发周期开始于该区域远景勘探，直到该区域废弃时结束。

该区域的第一口井是探井。油藏边界是通过地震勘探和探边井来确定的。最初所钻的探边井是用来确定油藏边界的，但是它们也可以在油藏后续开发中作为生产井或者注入井。油藏的生产开始于流体在油藏中的流动，探边井钻成后油藏就可开始生产。用于开发该区域的井的数量、井的位置、流体的流动特性之间的问题是油藏管理必须解决的问题。

1.1.1 钻井方法的历史

现代石油工业采用的第一种钻井方法是由埃德温·德雷克在 19 世纪 50 年代引入的，该方法被称为顿钻钻井。在此方法中，木梁用钢丝绳连接底部的钻头，木梁上升和下降可以举起和落下钻头以便在地下钻进。顿钻钻井不能在软质地层中钻进，否则靠近井壁的一侧可能会坍塌。如今顿钻钻井已经基本上被旋转钻井所取代。

旋转钻井起源于 19 世纪 60 年代的法国，因为在得克萨斯州可以钻入科西卡纳油田中的软岩层，美国于 19 世纪 80 年代第一次使用了旋转钻井。旋转钻井采用一个具有喷嘴的旋转钻头，喷射出的钻井液可渗透到地下。钻井液的作用是携带走岩屑，并且把他们从井筒举升到地面。

在安东尼·F. 卢卡斯钻完得克萨斯州潘德尔托普附近的卢卡斯 1 井以后，旋转钻井得到了广泛的普及。卢卡斯 1 井是一口探井和“自喷井”，该井的石油和天然气从井中自喷并且吞没了井架。它的石油产量超过预期的每天 50bbl，日产量高达每天 75000bbl。卢卡斯自喷井开启了得克萨斯州的石油开发热潮（尤金，1992 年，第 83~85 页）。从那时起，旋转钻井成为钻井的主要方法。

一旦钻完了一口井，就必须“完成”井。当一口井被准备用于生产时，这口井就是已完成井。现代第一口完井是由美国的两个兄弟大卫和约瑟夫在 1808 年最先完成的，他们

使用木制套管以防止上部地层中低浓度盐水稀释了提取自更深盐水井的高浓度盐水（范戴克，1997）。

有时补充能量以便从油藏中开采石油是必要的。采用泵或者注入气体增加气油混合液浮力可以把油人工举升。最早的泵同样用于顿钻钻井的木梁。19世纪80年代，石油公司开发出抽油井中心动力站，抽油井中心动力站使用原动机或电源从多口井中抽油。20世纪20年代，更换现场钻机的需求使得游梁式抽油机系统投入使用，游梁式抽油机系统是一个自足装置，它安装在每口井的井口使得井中泵工作。此外还包括气举和电潜泵等一些现代的技术。

1.1.2 现代钻井的方法

钻井技术的进步正在扩展对于审慎地管理地下油藏和生产化石燃料的有利选择，特别是石油和天然气。现代钻井方法包括水平井、多分支井、加密钻井。井是一串连接的同心管，套管串组成的路径被称为井眼轨迹。从历史上看，最初钻的是与地面垂直的井，井眼轨迹基本上是一条直线即垂直线。现在，井甚至可以钻成井眼轨迹弯曲的井。因为构成井的每个直管的长度和井的总长度相比是很小的，钻成弯曲的井眼轨迹是完全可能的。井中管道的每一个典型剖面的长度是30~40ft^①。具有一个或多个水平段的井如图1.1所示。

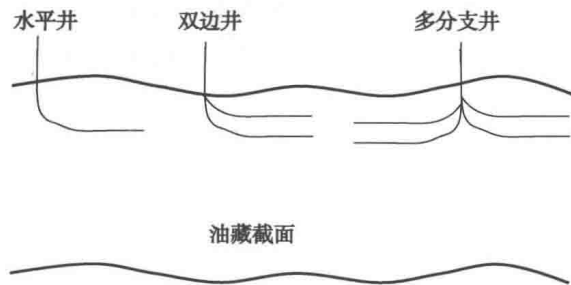


图 1.1 多边水井

井开始可以为直井，随后调整为水平井或多分支井。垂直井段被称为主井眼或主线。主井眼和分支段的交点被称为一个结合点。当垂直井段到达称为造斜点的指定深度时，使用楔形的机械（造斜器）或者其他井下工具改变钻头方向和井眼轨迹。水平段的开头是跟部，水平段的末端是趾部。一个井的距离，从钻机到最终井底的水平距离，可能会超过6mile^②。有相当长位移的井被称为大位移井，井中可以钻多个井眼。每个井眼被称为侧枝或分支，这口井被称为分支井。例如，双边井是具有两个分支的井。图1.1显示了现代分支井井眼轨迹的例子。

分支井可以连接多条井眼轨迹而共用一个主井眼，它们在很多方面加以应用。例如，多边井可以在海上环境中使用，这种环境下，平台上有限的空间限制了井槽的数量。它们还用于在许多分隔空间的油藏生产，油藏的密封空间是由于受类似断层的一类阻碍流体流动的边界将油藏分割成的若干区域的空间。

水平井、大位移井或分支井沿着地下岩层发育规律可以用更少井位连通多个油藏。这就给无论是在陆地还是海上最大限度地减少钻井和生产设施对环境的影响提供了一种选择。大

① 1ft=0.3048m。

② 1mile=1609.344m。

位移井使人们从环境要求严格或经济敏感地区以外的地区开发石油，也使人们有可能从陆上钻井生产海上油田，并通过降低井场的数量来减少钻井对环境的影响。

(1) 加密钻井。

加密钻井是在现有油井之间钻井以增加一个地区井数的过程。井网密度的增加或每单位面积井数的增加可以通过开发尚未生产的区域来提高采收率，井网方式的变化和井网密度的增加可以改变驱替过程中的流动模式以及通过注入流体来改变地下流体的驱替效率。加密钻井尤其是在非均质油藏开发中是非常有用的。

(2) 地质导向。

地质导向技术可以准确地控制井眼到目标区域，它也是大位移钻井成功的先决条件。微电子在钻具组合中的使用可以在钻头钻进时提供给司钻一些钻头前端信息，司钻基于随钻测量（MWD）的信息来调整井眼轨迹。地质导向钻井和大位移钻井通过在指定位置直接钻到油藏以扩大泄油面积来降低昂贵的新的海上平台建设成本。在某些情况下，钻机从陆上钻井可用于生产在大位移井范围内海岸线附近的海上油田。

1.1.3 生产系统

在图 1.2 所示的收集子系统可以被认为是一个生产系统。流体可以通过已经完井的井从油藏中采出。一口井的动态取决于储层基质的特性、油藏中的基质和流体之间的相互作用以及油藏中流体的性质。储层流体包括在油藏中原始的流体以及作为油藏管理计划注入的部分流体。井的动态还取决于井本身的属性，比如其井身剖面、长度、井眼轨迹以及完井类型。完井作业在井和油藏之间建立了连接，可以采用简单的流体通过压实的储层基质直接流入井筒的裸眼完井，也可基于套管的射孔完井使流体流入到井筒。

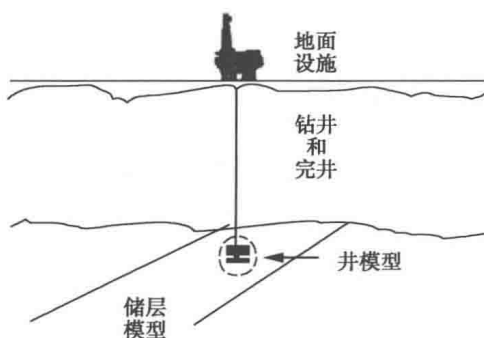


图 1.2 生产系统

钻井、完井、井作业都需要地面设施。可以通过卡车、船舶、海上平台将钻机从一个地方移动到另一个地方，也可以把钻机永久安装在指定的地点。钻井设施可能位于中东沙漠气候、北海的暴风雨海上环境、阿拉斯加和西伯利亚的北极气候、在墨西哥湾和西非海岸的深水环境中。

采出的流体必须经过回收、处理、运输到储存设备并最终交给消费者手中。处理过程可以开始于生产的井场，将井内流体进行油、气体和水相分离。进一步在炼油厂加工分离出销往市场的碳氢化合物的产品，如汽油和柴油等烃类。石油和天然气的运输可能通过包括管道、油罐车、双壳油轮、液化天然气运输船各种方式运输。

1.2 油藏管理

现代油藏经营管理通常被定义为在一个油田的生命周期内不断优化数据和决策之间相互作用的一个连续的过程 (Saleri, 2002)。这个定义涵盖了油气藏和其他储层系统, 包括地热和用于地质封存的储层的管理。地质封存是在地质构造中长期贮存如二氧化碳一类的温室气体。储藏管理计划应该足够灵活, 以适应技术进步、经济和环境因素的变化, 以及在使用寿命期间获得的储层新信息, 同时它应该是能够解决所有与经营相关的问题, 包括政府规章制度等。

许多学科都应用于油藏管理过程。就油气藏来说, 成功的油藏管理需要了解油藏的构造, 油藏内流体分布, 钻井及可以从储层中产出液体的补充井, 运输和产出烃类的加工、炼制和销售, 当油藏不再生产时安全报废油藏以及在整个生产周期中减少对环境的影响。合适的油藏管理团队包括具备完成所有这些任务所需要的专业知识的各方面人员, 他们往往是各自学科的专家, 能够互相沟通, 朝着一个共同的目标携手共进。

当必须做出重要选择时, 油藏管理的各种研究是非常重要的。选择的范围可以从“一般商业”到考虑投资策略的专业选择。例如, 决策者可能要在投资一个新的项目或对现有的投资项目进行调整以最大限度地提高投资回报率之间进行选择。通过对一系列方案进行研究, 决策者可以得到帮助他们决定如何将有限的资源进行合理投资来实现管理目标的有关信息。

油藏流体模型是得到生产剖面的最复杂的方法。产液概况作为时间的函数, 生产剖面可以表示为产液量与时间的关系, 产量可以是阶段产量或者累计产量。把生产剖面与预测油气价格相结合, 这可能创造出预测现金流量。生产剖面流体模型与经济模型价格预测相结合可以被用来对比不同油藏管理方案的经济价值。这是油藏管理的基本信息, 它可以用来确定油藏储量。表 1.1 (SPE-PRMS, 2007 年) 对储备的定义进行了总结。

表 1.1 SPE/WPC 储量定义

探明储量	<ul style="list-style-type: none"> · 通过地质科学和工程数据分析, 可以在一定合理的确定性内, 从一个以前给定的预期日期和在已知的油藏和经济条件下, 基于现有生产方式和政府规章确定可以经济开采的石油的储量 · 实际采出量估计将至少等于或超过探明储量的 90% (P_{90} 储量)
概算储量	<ul style="list-style-type: none"> · 地质科学和工程数据的分析表明附加储量是不太可能比已探明储量的采收率高, 但采出量一定比可能储量的确定性高 · 实际采出量估计将至少等于或超过探明储量的 50% (P_{50} 储量)
可能储量	<ul style="list-style-type: none"> · 地质科学和工程数据分析表明, 那些额外储量采出的量可能比概算探明储量少 · 实际采出量估计将至少等于或超过探明储量的 10% (P_{10} 储量)

可以用正态分布来说明与 SPE-PRMS 相关的概率分布储量的定义。假设几个统计上独立的已开发和以前用于估计储量的油藏模型, 在没有相反的数据, 一个合理的近似方法是每个模型服从正常的储量分布模型采样。鉴于这一假设, 基于平均值 μ 和计算标准偏差 σ 计算

服从正态分布的储量。对于服从正态分布给定的平均值 μ 和计算标准偏差 σ ，SPE-PRMS 储量定义为：

$$\begin{aligned} \text{探明储量} &= P_{90} = \mu - 1.28\sigma \\ \text{概算储量} &= P_{50} = \mu \\ \text{可能储量} &= P_{10} = \mu + 1.28\sigma \end{aligned} \quad (1.1)$$

图 1.3 显示了平均储量为 $189 \times 10^6 \text{ bbl}$ 和标准偏差为 $78 \times 10^6 \text{ bbl}$ 的正态分布模型。基于此正态分布 SPE-PRMS 储量是：

$$\begin{aligned} \text{探明储量} &= P_{90} = 88 \times 10^6 \text{ bbl} \\ \text{概算储量} &= P_{50} = 189 \times 10^6 \text{ bbl} \\ \text{可能储量} &= P_{10} = 289 \times 10^6 \text{ bbl} \end{aligned} \quad (1.2)$$

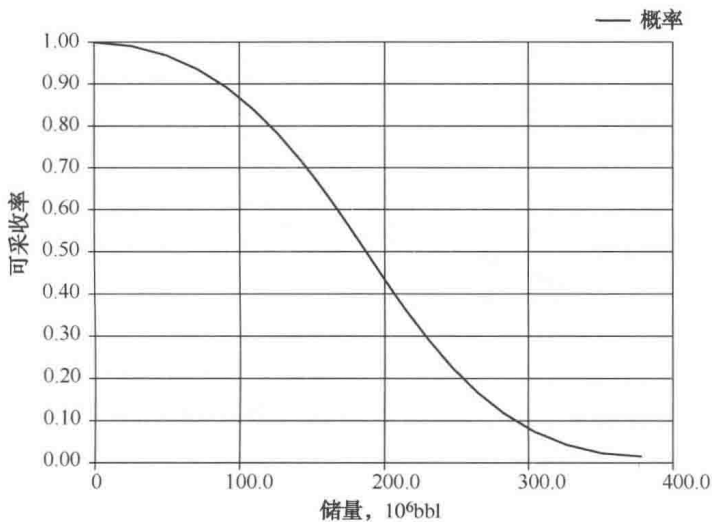


图 1.3 生产系统

在这种情况下，正态分布被用来关联可能出现某一特殊预测情况下发生的相应的经济预测可能性。例如，我们用图 1.3 说明了估计储量为 $200 \times 10^6 \text{ bbl}$ 对应的 P_{43} 的概率相似。

1.3 采收率

油藏管理的目标之一是要制定一个最大限度的提高采收率的方案。采收率是指能够从该区块原始资源量中采出资源量的度量，它是通过对比最初和最后剩余的液体储量来定义的。估计预期采收率可以通过考虑有助于地下流体采出的因素而得到。

采收率是驱油效率和体积波及效率的乘积。驱油效率 E_D 是体系中可流动液体的另一种度量，它是变化的。体积波及效率 E_{VOL} 表明液体在面积波及系数和垂向波及系数方面的系数：

$$E_{VOL} = E_A \times E_V \quad (1.3)$$

面积波及效率 E_A 和垂直波及效率 E_V 来测量原处流体和注入流体之间的接触程度。面