



普通高等教育“十二五”规划教材



油气开采工程

潘 一 主 编
王 璐 张秋实 佟 乐 杨双春 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

油气开采工程

潘 一 主 编

王 璐 张秋实 副主编
佟 乐 杨双春

中国石化出版社

内 容 提 要

《油气开采工程》以油气藏开发工程为基础,从油气开采的系统出发,详细介绍了多种常规和新近的油气开采技术手段,特别涉及了目前被广泛关注的稠油油藏开采技术和海上油气开采技术,并充实了油气开采过程中的健康、安全和环境保护方面的知识。全书共十四章,分别是油藏工程设计基础、油藏动态分析方法、油气井生产状态分析、自喷采油技术、机械采油技术、气井采气技术、注水、水力压裂、酸化、高能气体压裂、油井防砂技术、稠油开采技术、海上油气开采技术和油气田开发 HSE。

本书可作为高等院校石油工程专业教材,也可作为其他相近专业、研究生及成人教育的参考教材,或供从事油田开发的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气开采工程 / 潘一主编. —北京:中国石化出版社, 2014. 8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5114-2934-6

I. ①油… II. ①潘… III. ①油气开采-高等学校-教材
IV. ①TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 180198 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 19 印张 470 千字
2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷
定价:46.00 元

前 言

在社会经济发展的推动下，石油工业得到了高速发展，随着油气开采的技术难度、投资额和风险程度的日益增加，对新时期的油气开采技术也提出了更高的要求。

阅读了大量的关于石油开发方面的书籍和文献，发现鲜有将各种油气开采技术集中归纳的书籍，关于海上油气开采方面的技术介绍也为数不多。针对这一现状，本书对多种油气开采技术进行了整理和集成。

本书是由辽宁石油化工大学潘一主编，王璐、张秋实、佟乐和杨双春作为副主编，共同编写完成。在编写过程中努力贯彻加强基础，拓宽知识领域，理论联系实际及反映新技术的教改精神，参阅了大量的相关文献资料，以油气藏开发工程为基础，从油气开采的系统出发，详细地介绍了多种常规和新近的油气开采技术手段，特别涉及了目前被广泛关注的稠油油藏开采技术和海上油气开采技术，分析了其中的不足和发展前景，并充实了油气开采过程中的健康、安全和环境保护方面的知识，从而为新时期的油气开采提供比较完善的技术指导，以达到经济有效地提高油气产量和油气采收率，合理开发油藏的目的。

本书在编写过程中得到了辽宁石油化工大学继续教育学院、发展规划处和石油天然气工程学院的大力支持，付龙、孙林、代秋实、刘天龙、张立明、徐子健、杨尚羽、温峥和王敦等在资料收集、整理等方面也给予了帮助，在此一并表示诚挚的谢意！

由于编写人员水平有限，本书在编写过程中难免存在错误和不足之处，敬请专家和读者批评指正，以便不断改进和完善。

目 录

| | |
|-------------------------------|--------|
| 第一章 油藏工程设计基础 | (1) |
| 第一节 油田勘探开发程序 | (1) |
| 一、勘探阶段 | (1) |
| 二、油藏评价 | (1) |
| 三、开辟生产试验区 | (1) |
| 四、油田正式投入开发 | (2) |
| 五、开发调整 | (2) |
| 第二节 油藏驱动方式及开采特征 | (2) |
| 一、弹性驱动 | (3) |
| 二、溶解气驱动 | (3) |
| 三、水压驱动 | (3) |
| 四、气压驱动 | (4) |
| 五、重力驱动 | (5) |
| 第三节 开发层系划分与组合 | (6) |
| 一、划分开发层系的意义 | (6) |
| 二、划分开发层系的原则 | (7) |
| 第四节 井网与注水方式 | (8) |
| 一、油田注水时间 | (8) |
| 二、注水时机的确定 | (9) |
| 三、油田注水方式的确定 | (9) |
| 第五节 油田开发调整 | (16) |
| 一、油田开发调整的必要性及原则 | (16) |
| 二、油田开发调整的内容和实例 | (18) |
| 第二章 油藏动态分析方法 | (21) |
| 第一节 物质平衡方法概述 | (21) |
| 一、未饱和油藏的物质平衡方程式 | (21) |
| 二、天然水能量分析 | (23) |
| 三、饱和油藏的物质平衡方程式 | (28) |
| 四、气藏的物质平衡方程式 | (32) |
| 五、物质平衡方法评价 | (35) |
| 第二节 水驱特征曲线分析 | (37) |
| 一、常见的水驱特征曲线类型 | (37) |
| 二、水驱规律曲线的理论基础 | (39) |
| 三、根据水驱规律曲线预测油田产、含水率及采收率 | (40) |

| | |
|--------------------------------------|---------|
| 第三节 产量递减分析 | (42) |
| 一、指数递减规律 | (43) |
| 二、双曲线递减规律 | (44) |
| 三、调和递减规律 | (44) |
| 四、递减规律比较 | (45) |
| 第三章 油气井生产状态分析 | (46) |
| 第一节 油井流入动态(IPR 曲线) | (46) |
| 一、油井流入动态 | (46) |
| 二、 $p_f > p_b > p_{wf}$ 时的流入动态 | (53) |
| 三、油气水三相流入动态 | (53) |
| 四、多层油藏油井流入动态 | (54) |
| 第二节 井筒气液两相流基本概念 | (55) |
| 一、两相流动的处理方法 | (56) |
| 二、气液两相流动的参数 | (56) |
| 三、气液两相流动与单相液流的比较 | (60) |
| 第三节 井筒多相管流的计算方法 | (67) |
| 一、阻力系数法的计算(垂直气液两相管流计算) | (67) |
| 二、洛克哈特-马蒂内利方法(水平气液两相管流计算) | (71) |
| 三、弗拉尼根法(倾斜气液两相管流) | (74) |
| 第四章 自喷采油技术 | (75) |
| 第一节 自喷井生产系统组成 | (75) |
| 第二节 自喷井节点分析 | (75) |
| 一、井底为解节点 | (77) |
| 二、井口为解节点 | (77) |
| 三、平均油藏压力为解节点 | (77) |
| 第五章 机械采油技术 | (79) |
| 第一节 气举采油 | (79) |
| 一、气举采油原理 | (79) |
| 二、气举采油措施 | (79) |
| 三、气举生产系统设计 | (87) |
| 四、气举凡尔位置设计 | (90) |
| 五、气举井试井 | (95) |
| 六、柱塞举升技术 | (95) |
| 七、气举采油的应用与发展 | (97) |
| 第二节 有杆泵采油 | (98) |
| 一、抽油装置及泵的工作原理 | (98) |
| 二、泵效计算 | (104) |
| 第三节 潜油电泵采油 | (108) |
| 一、潜油电泵的组成及其特点 | (108) |
| 二、潜油电泵的工作原理 | (109) |

| | |
|--------------------------------------|-------|
| 第四节 水力活塞泵采油 | (113) |
| 一、水力活塞泵采油系统、安装形式及工作原理 | (113) |
| 二、水力活塞泵井下机组 | (117) |
| 三、水力活塞泵油井生产系统设计 | (120) |
| 四、水力活塞泵采油井监测技术 | (124) |
| 第五节 射流泵采油 | (125) |
| 一、射流泵采油系统 | (125) |
| 二、射流泵采油井生产系统设计 | (129) |
| 三、射流泵采油的应用 | (129) |
| 第六节 螺杆泵采油 | (130) |
| 一、螺杆泵采油系统特点 | (130) |
| 二、螺杆泵的分类 | (131) |
| 三、单螺杆泵的作用原理 | (131) |
| 四、单螺杆泵的流量计算公式和基本尺寸 | (133) |
| 五、螺杆的特性分析 | (134) |
| 第六章 气井采气技术 | (135) |
| 第一节 气驱气藏的采气技术 | (135) |
| 一、气驱气藏的开采特征 | (135) |
| 二、气驱气藏的合理开采措施 | (135) |
| 三、气驱气藏采气工艺技术 | (136) |
| 第二节 疏松砂岩气藏的采气技术 | (139) |
| 一、疏松砂岩气藏主要地质特征 | (139) |
| 二、疏松砂岩气藏的主要开采特征 | (139) |
| 三、疏松砂岩气藏开采的主要采气工艺配套技术 | (139) |
| 第三节 异常高压气藏的采气技术 | (143) |
| 一、异常高压气藏开采机理及特征 | (143) |
| 二、生产方式及开采主要技术指标的确定 | (143) |
| 第四节 产水气藏的采气技术 | (144) |
| 一、产水气藏的生产动态特征及水对生产的危害 | (144) |
| 二、各种采气技术 | (145) |
| 第五节 凝析气藏的采气技术 | (147) |
| 一、凝析气藏的特点和开采特征 | (147) |
| 二、凝析气藏的其他开采方式 | (149) |
| 第六节 含酸气气藏的采气技术 | (150) |
| 一、高含 CO ₂ 气藏腐蚀工况与规律 | (151) |
| 二、井口防腐工艺 | (151) |
| 三、生产管柱防腐材质优选 | (151) |
| 四、生产套管防腐工艺 | (152) |
| 五、高含 CO ₂ 气井腐蚀监测工艺 | (152) |
| 六、高含 CO ₂ 气井完井工艺 | (152) |

| | |
|------------------------|-------|
| 第七章 注水 | (154) |
| 第一节 水源与水质 | (154) |
| 一、水源 | (154) |
| 二、水质 | (155) |
| 三、水源与地层适应性评价 | (156) |
| 第二节 水处理 | (157) |
| 一、水处理措施 | (157) |
| 二、水处理工艺 | (158) |
| 第三节 注水井管理 | (159) |
| 一、水井管理注意事项 | (159) |
| 二、洗井 | (159) |
| 第四节 分层注水 | (160) |
| 一、分层注水工艺的发展历程 | (161) |
| 二、分层注水技术 | (161) |
| 三、分层注水新技术 | (162) |
| 四、分层注水指示曲线的分析和应用 | (163) |
| 第五节 注水井分层测试技术 | (165) |
| 一、测试工艺 | (165) |
| 二、吸水剖面资料解释 | (166) |
| 三、影响吸水能力的因素 | (166) |
| 四、改善吸水能力的措施 | (166) |
| 第六节 注水井调剖技术 | (167) |
| 一、国内油藏堵水调剖技术发展概况 | (167) |
| 二、国内外调剖堵水方法 | (168) |
| 第八章 水力压裂 | (170) |
| 第一节 概述 | (170) |
| 一、水力压裂 | (170) |
| 二、水力压裂学 | (171) |
| 三、水力压裂造缝 | (172) |
| 第二节 压裂液性能及分类 | (172) |
| 一、压裂液 | (173) |
| 二、压裂液类型 | (173) |
| 三、水力压裂支撑剂 | (184) |
| 第三节 水力压裂造缝机理 | (185) |
| 一、地应力状况 | (185) |
| 二、造缝条件 | (187) |
| 第四节 水力压裂工艺技术 | (189) |
| 一、选井选层 | (189) |
| 二、压裂施工工艺 | (189) |
| 三、高砂比压裂技术 | (190) |

| | |
|----------------------------|-------|
| 四、人造阻拦层控制垂向裂缝高度技术 | (190) |
| 第五节 水力压裂裂缝延伸模拟 | (191) |
| 一、裂缝的形成 | (191) |
| 二、裂缝的类型及地质构造对裂缝形成的影响 | (192) |
| 三、常用的裂缝二维延伸模型 | (193) |
| 第六节 水力压裂技术新发展 | (195) |
| 一、水力压裂新工艺和新技术 | (196) |
| 二、优化水力压裂设计 | (200) |
| 三、压裂液技术进展 | (201) |
| 第九章 酸化 | (203) |
| 第一节 酸化增产原理 | (203) |
| 一、碳酸盐的酸化 | (203) |
| 二、砂岩地层的酸化 | (205) |
| 第二节 酸化工艺技术 | (207) |
| 一、泡沫酸酸化 | (208) |
| 二、石膏酸酸化 | (209) |
| 三、胶凝酸酸化 | (209) |
| 四、降阻酸酸化 | (209) |
| 五、压裂酸化常用井下工具 | (210) |
| 第三节 综合酸化处理工艺 | (212) |
| 一、酸化负压转向解堵工艺技术 | (213) |
| 二、高压旋转射流酸化解堵技术 | (213) |
| 三、热酸酸化处理工艺 | (214) |
| 四、酸化工艺选择原则 | (214) |
| 五、酸化现场作业 | (215) |
| 六、酸化工作液配制 | (215) |
| 七、施工车辆、设备及其他准备 | (216) |
| 八、酸化施工 | (216) |
| 九、酸液返排 | (217) |
| 十、资料录取 | (217) |
| 十一、施工安全及注意事项 | (217) |
| 第四节 酸液及添加剂 | (218) |
| 一、常用酸液种类及性能 | (218) |
| 二、常用的酸液添加剂种类及性能 | (219) |
| 第十章 高能气体压裂 | (228) |
| 第一节 高能气体压裂工艺原理 | (228) |
| 一、裂缝产生的机理 | (228) |
| 二、高能气体压裂的增产原理 | (229) |
| 第二节 高能气体压裂工艺技术 | (229) |
| 一、高能气体压裂工艺概况 | (229) |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| 二、高能气体压裂技术的发展 | (235) |
| 三、现场施工工艺 | (235) |
| 第十一章 油井防砂技术 | (237) |
| 第一节 油井出砂原因、危害及机理 | (237) |
| 一、油井出砂原因 | (237) |
| 二、油井出砂的危害 | (237) |
| 三、油层的出砂机理 | (238) |
| 第二节 机械防砂技术 | (240) |
| 一、滤砂管防砂工艺 | (241) |
| 二、割缝衬管防砂技术 | (243) |
| 三、绕丝筛管砾石充填防砂工艺 | (244) |
| 四、几种新型的机械防砂技术 | (246) |
| 第三节 化学防砂 | (246) |
| 一、人工胶结防砂法 | (246) |
| 二、人工井壁防砂法 | (247) |
| 三、其他化学防砂法 | (247) |
| 四、三种新型的化学防砂方法 | (248) |
| 五、常用的化学固砂剂 | (248) |
| 第四节 砂拱防砂技术 | (250) |
| 一、降低流速砂拱防砂 | (250) |
| 二、管外膨胀封隔器防砂 | (250) |
| 第五节 压裂充填防砂技术 | (250) |
| 一、主要技术原理 | (251) |
| 二、压裂-砾石充填技术 | (251) |
| 第六节 其他防砂方式 | (252) |
| 一、复合射孔防砂技术 | (252) |
| 二、膨胀筛管防砂技术 | (253) |
| 第十二章 稠油开采技术 | (254) |
| 第一节 稠油的基本特性 | (254) |
| 一、稠油的特点及分类 | (254) |
| 二、我国稠油油藏地质特征 | (255) |
| 三、稠油的组分 | (256) |
| 四、稠油的黏温特性 | (256) |
| 第二节 稠油热采技术 | (258) |
| 一、油井井筒加热 | (258) |
| 二、热水驱 | (259) |
| 三、蒸汽吞吐 | (259) |
| 四、蒸汽驱 | (263) |
| 五、SAGD 技术 | (267) |
| 六、火烧油层 | (269) |

| | |
|-------------------------|-------|
| 七、小结 | (272) |
| 第三节 其他稠油开采方法 | (273) |
| 一、添加剂辅助蒸汽吞吐技术 | (273) |
| 二、蒸汽与凝析气驱(SAGP) | (273) |
| 三、化学吞吐 | (274) |
| 四、微生物开采稠油工艺技术 | (275) |
| 五、氮气泡沫热水驱油技术 | (275) |
| 六、水热裂解开采稠油新技术 | (276) |
| 七、微波采油技术 | (276) |
| 八、掺稀油开采 | (276) |
| 九、注空气开发 | (276) |
| 十、利用多侧向水平井提高采油速度 | (277) |
| 第十三章 海上油气开采技术 | (278) |
| 第一节 海上常用的机械采油方法 | (278) |
| 一、海上常用的机械采油方法 | (278) |
| 二、海上采油方式选择基本原则 | (279) |
| 第二节 水下采油工艺 | (280) |
| 一、海洋水下井口及采油装备 | (280) |
| 二、水下井口系统 | (280) |
| 三、水下生产系统的基础设备 | (281) |
| 第三节 水力喷射泵采油技术 | (282) |
| 一、水力喷射泵采油工艺技术简介 | (282) |
| 二、水力喷射采油工艺技术的发展现状 | (283) |
| 第四节 海洋石油平台的防护 | (284) |
| 一、海洋石油平台的腐蚀 | (284) |
| 二、海洋平台腐蚀防护 | (285) |
| 三、未来海洋平台防腐发展趋势 | (286) |
| 第十四章 油气田开发的 HSE | (287) |
| 一、石化企业的管理与健康研究 | (287) |
| 二、安全设施及保障 | (288) |
| 三、环境保护 | (290) |
| 参考文献 | (292) |

第一章 油藏工程设计基础

一个油田在确定了其工业开采价值，初步探明了构造、分布面积以后，就要依据勘探成果和必要的生产测试资料，按石油市场的需求，从油田的实际情况和生产规律出发，以提高最终采收率为目的，制定合理的开发方案。合理的开发方案必须遵循一定的技术方针，对油田的开发程序、开发方式、层系划分、井网密度、布井方式及经济指标等各因素进行充分的论证。本章将详细讲述油田从勘探到投入开发的过程中需优选的技术参数，以及开发程序的部署。

第一节 油田勘探开发程序

所谓合理的开发程序，就是把油田从勘探、投入开发直到废弃所经历的过程分成几个阶段。由于每个油田的沉积环境、储层物性不同，所以每个油田具体的开发步骤及各步骤之间的衔接都有不同之处。一般情况下，可以将整个油田勘探开发过程划分为以下几个阶段。

一、勘探阶段

石油勘探是发现油气田资源、初步查明储层物性及地层流体分布的基础工作，一般可分为区域勘探(预探)和工业勘探(详探)。

石油区域勘探是以某个盆地或坳陷为研究对象所开展的勘探工作，其目的是从区域出发，了解地质概况，查明生、储油条件，指出油气聚集的有利聚集带，并进行油气地质储量的估算，为进一步开展油气田工业勘探指出有利的含油构造。

石油工业勘探是在区域勘探所选择的有利含油构造上进行的钻探工作，其主要任务是寻找油气田和查明油气田，计算探明储量，为油气田开发做好准备。

石油勘探工作是一项长期的复杂工作，对储层的认识随开发的不断深入而逐步清晰。必须综合分析各项资料，把勘探工作和开发工作很好地结合起来，分阶段、有部署地使油田全面投入开发。

二、油藏评价

当某一构造确定为含油层系后，为给开发方案提供设计依据，需要对目标油藏的含油面积、构造形态、储量规模、流体性质及产能等参数进行综合评价。评价结果直接用于指导开发方案的编制。

三、开辟生产试验区

对于准备开发的油田，在详探程度较高和地面建设条件比较完善的地区，优选出某一区块，用预设方案的开采方式开展各种生产试验。在满足正常生产任务的同时，利用其生产动态资料来获取关于地层的更准确的信息。

1. 开辟生产试验区的原则

- (1) 生产试验区开辟的位置和范围对全油田应具有代表性。
- (2) 试验区应具有相对的独立性，把试验区对全油田合理开发的影响减小到最低程度。
- (3) 试验区要具有一定的生产规模。
- (4) 试验区的开辟应尽可能考虑地面建设。

2. 开辟生产试验区的目的

- (1) 深刻认识油田的地质特点。
- (2) 落实油田储量。
- (3) 研究油层对比方法和各种油层参数的解释图版。通过实际资料和理论分析，找出符合油田情况的各种研究方法。
- (4) 研究不同类型油层对开发部署的要求，为编制开发方案提供本油田的实际数据。

四、油田正式投入开发

1. 部署基础井网

基础井网是以某一主要含油层为目标而首先设计的基本生产井和注水井，是开发区的第一套正式开发井网。基础井网的主要任务有两个：一是合理开发主力油层，建成一定的生产规模；二是兼探开发区的其他油层，解决探井、资料井所没有完成的任务，搞清这些油层的分布状况、物理性质和非均质特点，为下一步开发这些油层提供可靠的地质依据。

2. 基础井网的部署要求

- (1) 基础井网的部署应该在开发区总体开发设计的基础上进行，要考虑到将来不同层系井网的相互配合和综合利用，不能孤立进行部署。
- (2) 基础井网在实施上要分步进行，基础井网钻完后，暂不射孔，及时进行油层对比，搞清地质情况，掌握其他油层特点。必要时可修改和调整原定方案，然后再对基础井网射孔投产。

五、开发调整

油田开发的过程，是一个不断认识和不断完善的过程。对油田的不断认识是油田改造的基础，也是油田开发调整的依据。油田稳产阶段的调整必须以延长稳产期为目的，并有利于提高采收率；递减阶段的调整则以提高采收率为主要目的，尽可能减缓产量的递减幅度。

综上所述，合理的勘探开发程序，就是如何认识油田和如何有效开发油田的工作程序。科学而合理的油田勘探开发程序可以使我们对油田的认识逐步提高，同时又可以使开发措施不断落实，满足当前油气开采的需求。但对于复杂断块油田而言，以上所述的油田勘探开发程序不再适用，必须进行滚动勘探开发。

第二节 油藏驱动方式及开采特征

油藏的驱动方式是全部油层工作条件的综合，它是指油层在开采过程中，主要依靠哪一种能量来驱油。驱动能量可以来自自然界，也可以由人工补充。

驱动方式的确定对油田开发来说具有重要的意义。油藏的驱动方式不同，开发方式也不同，开发过程中产量、地层压力、生产气油比等重要开发指标有不同的变化特征。驱动方式

会影响到合理井网布置及油水井工作制度和地层压力保持水平等动态参数，进而会影响最终采收率。

一、弹性驱动

当油藏无边水或底水，又无气顶，且原始油层压力高于饱和压力时，随着油层压力的下降，依靠油层岩石和流体的弹性膨胀能驱油的方式称为弹性驱动。这类油藏一般为封闭油藏和断块油藏，这类油藏在开采时，随着油层压力的降低，地层将不断释放出弹性能将油驱向井底，如果保持井底流压不变，油井产量将不断下降。其开采特征曲线如图 1-1 所示。

二、溶解气驱动

当油层压力下降到低于饱和压力时，随着压力的降低，溶解状态的气体从原油中分离出来，形成气泡，气泡膨胀而将石油推向井底。就驱动机理来说，溶解气驱动属于弹性驱动的一种，但其弹性能主要来自气泡的膨胀，而不是来自液体和岩石的膨胀。

形成溶解气驱动的油藏应无边水（底水或注入水），不活跃，地层压力低于饱和压力。

由于地层压力急剧下降，井底附近严重脱气，油层孔隙中很快形成两相流动，随着压力的降低，逸出的气量增加，相应的含油饱和度和相对渗透率则不断减少，使油的流动更加困难；同时，原油中的溶解气逸出后，使原油的黏度增加，因而油井产量和累积采油量开始以较快的速度下降。开发初期压降较小时，气油比急剧增加，地层能量大大消耗，最后枯竭，所以气油比开始上升很快，然后又以很快的速度下降。其开采特征如图 1-2 所示。

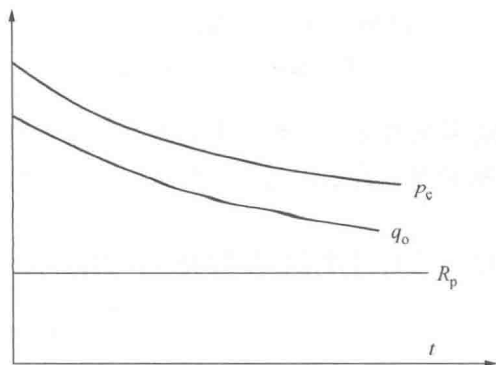


图 1-1 弹性驱动油藏开采特征曲线
 p_c —油藏压力； q_o —产油量； R_p —累计生产气油比

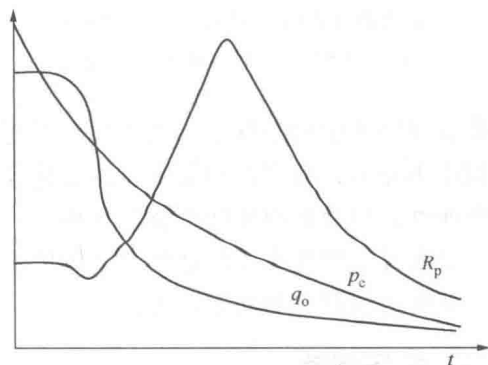


图 1-2 溶解气驱油藏开采特征曲线
 p_c —油藏压力； q_o —产油量； R_p —累计生产气油比

三、水压驱动

当油藏与外部的水体相连通时，油藏开采后由于压力下降，使其周围水体中的水流入油藏进行补给，这就是水压驱动。水压驱动分刚性水驱和弹性水驱两种。

1. 刚性水驱

驱动能量主要是边水（底水、注入水）的重力作用。形成刚性水驱的条件是：油层与边水或底水相连通，水层有露头，且存在着良好的供水水源；与油层的高差也较大，油水层都具有良好的渗透性。因此，该驱动方式下能量供给充足，其水侵量完全补偿了液体采出量，注采压差越大，则采液量越大。

油藏进入稳定生产阶段以后，由于有充足的边水、底水或注入水，能量消耗能得到及时的补充，所以在整个开发过程中，地层压力保持不变。随着原油的采出及当边水、底水或注入水推至油井后，油井开始见水，含水将不断增加，产油量也开始下降，而产液量逐渐增加。开采过程中气全部呈溶解状态，因此气油比等于原始溶解气油比。其开采特征如图 1-3 所示。

2. 弹性水驱

弹性水驱主要是依靠采出液体使含水区和含油区压力降低而释放出的弹性能量来进行开采的。其开采特征为，当压力降到封闭边缘后，要保持井底压力为常数，地层压力将不断下降，因而产量也将不断下降，由于地层压力高于饱和压力，因此不会出现脱气，气油比不变。其开采特征如图 1-4 所示。

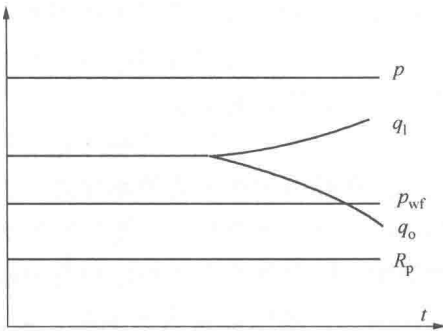


图 1-3 刚性水驱油藏开采特征曲线
 p —地层压力； q_l —产液量； q_o —产油量；
 p_{wf} —井底流压； R_p —累计生产气油比

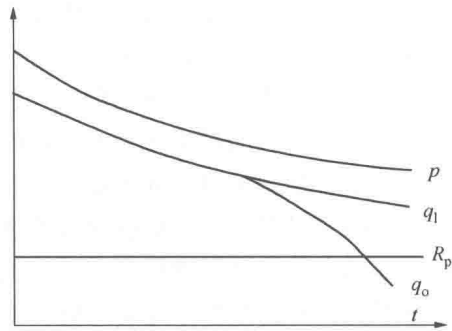


图 1-4 弹性水驱油藏开采特征曲线
 p —地层压力； q_l —产液量； q_o —产油量；
 R_p —累计生产气油比

形成弹性水驱的条件是：边水活跃程度不能弥补采液量，一般边水无露头，或有露头但水源供给不充足；或存在断层或岩性变化等方面的原因。若采用人工注水时，注水速度赶不上采液速度，也会出现弹性水驱的特征。

一般来说，弹性水压驱动的驱动能量是不足的，尤其当开采速度较大时，它很可能向着弹性—溶解气驱混合驱动方式转化。

四、气压驱动

当油藏存在气顶时，气顶中的压缩气为驱油的主要能量，该驱动方式称气压驱动。气压驱动可分为刚性气驱和弹性气驱。

1. 刚性气压驱动

只有在人工向地层注气，并且注入量足以使开采过程中地层压力保持稳定时，才能呈现刚性气压驱动。在自然条件下，如果气顶体积比含油区的体积大得多，能够使得在开采过程中气顶或地层压力基本保持不变或下降很小，也可看作是刚性气压驱动。

该驱动方式的开采特征与刚性水驱的开采特征相似，开始地层压力、产量和气油比基本保持不变，只是当油气边界线不断推移至油井之后，油井开始气侵，则气油比增加，其开采特征如图 1-5 所示。

2. 弹性气压驱动

当气顶的体积较小而又没有进行人工注气的情况下，随着采油量的不断增加，气体不断

膨胀，其膨胀的体积相当于采出原油的体积。虽然在原油采出过程中，由于压力下降，要从油中分离出部分溶解气，这部分气体将补充到气顶中去，但总的来说影响较小，所以地层能量还是要不断消耗，即使减少采液量，甚至停产，也不会使地层压力恢复到原始状态。由于地层压力的不断下降，使得产油量不断下降，同时，气体的饱和度和相对渗透率却不断提高，因此气油比也就不断上升，其开采特征如图 1-6 所示。

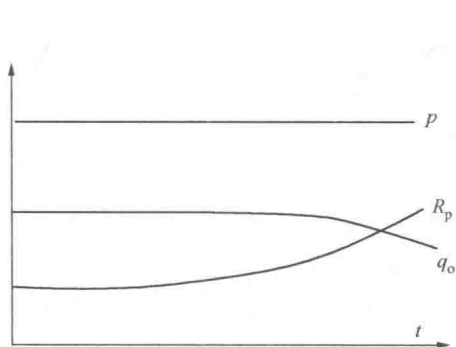


图 1-5 刚性气压驱动油藏开采特征曲线
 p —地层压力； q_o —产油量； R_p —累计生产气油比

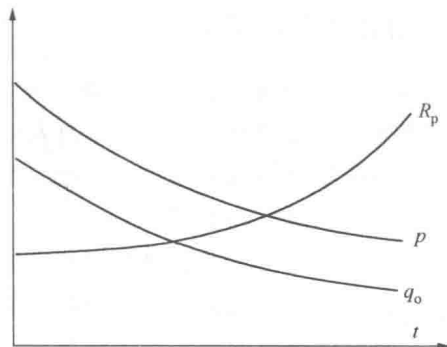


图 1-6 弹性气压驱动油藏开采特征曲线
 p —地层压力； q_o —产油量； R_p —累计生产气油比

五、重力驱动

靠原油自身的重力将油驱向井底称为重力驱油。一般油藏在其开发过程中，重力驱油往往是与其他能量同时存在的，但多数所起的作用不大。以重力为主要驱动能量的多发生在油田开发后期或其他能量已枯竭的情况下，同时还要求油层具备倾角大、厚度大、渗透性好等条件。开采时，含油边缘逐渐向下移动，地层压力（油柱的静水压头）随时间而减小，油井产量在上部含油边缘到达油井之前是不变的，其开采特征如图 1-7 所示。

一个油藏的驱动方式，是油藏地质条件和开发中人工作用的综合结果，而不是由单一地质条件决定的。驱动方式可以随着开发的进行和开发措施的改变而发生变化。如有一个边水油藏，边水比较活跃，在开发初期，当开发区块上产生压降时，油藏的弹性能将发生作用；当油藏压力趋于稳定时，弹性能的作用又被水压能的作用所淹没，如果边水不很活跃，而油藏局部地区要强化采液，使局部油层压力降到低于饱和压力，此时，该处将转换为溶解气驱。

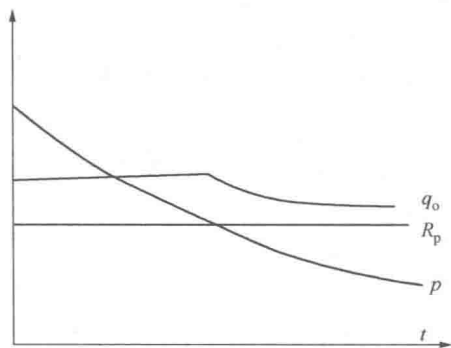


图 1-7 重力驱动油藏开采特征曲线
 p —地层压力； q_o —产油量；
 R_p —累计生产气油比

驱动方式的选择和确定是油藏工程设计必须进行论证的项目之一。在油田开发过程中，要密切注意生产动态，分析和判断油田开采所采用的驱动方式，采取必要的措施，使油田开采方式和油藏驱动方式保持在好的驱动方式下，或朝着有利于提高采收率的驱动方式转化。选择驱动方式，必须合理利用天然能量，同时又能有效地保持油藏能量，达到合理的开采速度和稳产时间的设计要求。

第三节 开发层系划分与组合

油田开发实践表明,绝大多数油田是属于多油层或多油藏的,在大量进行同井分采的同时,基本上都采取划分多套开发层系进行开发的方法。

一、划分开发层系的意义

1. 合理地划分开发层系有利于充分发挥各类油层的作用

合理地划分与组合开发层系,是开发好多油层油田的一项根本性措施。所谓划分开发层系,就是把特征相近的油层组合在一起,用单独的一套生产井网进行开发,并以此为基础进行生产规划、动态研究和整理。

在同一油田内,由于各油层在纵向上的沉积环境及其条件不可能完全一致,油层特性自然会有差异,所以开发过程中也就不可避免地要出现层间矛盾。如果不能合理地组合与划分开发层系,就可能导致油田生产出现重大问题而影响开发效果,这将是开发中的重大失策。如果高渗透层和低渗透层合采,则由于低渗透层的油流阻力大,生产能力往往受到限制,而且高渗透层过早水淹或水窜,将会形成强水洗带(或大孔道),最终降低注水利用率和注水开发效果。如果低压层和高压层合采,则低压层往往不出油,甚至高压层的流体有可能窜入低压层。在水驱油田,高渗透层往往很快水淹,在合采的情况下会使层间矛盾加剧,出现油水层相互干扰,造成开发被动,严重影响采收率。

例如大庆油田中2-3井在不同油嘴下进行分层测试,结果表明:更换油嘴使流压上升,油层压力高达11.71MPa的萨Ⅱ₇₋₈层的产液比率由36.4%提高到41.6%,压力与萨Ⅱ₇₋₈层同样高的萨Ⅱ₁₀₋₁₁层的产液比率由13%提高到14.3%,而低压层葡Ⅰ₁₋₂层的产液比率由23.4%下降到16.9%,此时,减小了生产压差,产生较严重的层间干扰,不利于发挥低压层的作用。

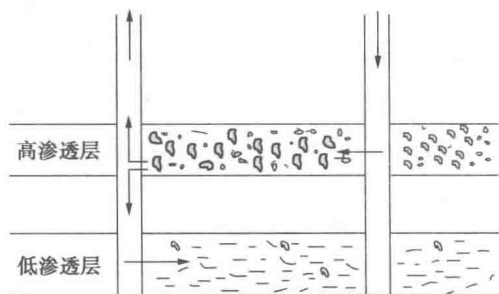


图1-8 倒灌现象示意图

在注水油田,主要油层出水后,流动压力不断上升,全井生产压差越来越小。这样,注水不好的油层的压力可能与全井的流压相近,因而出油不多或根本不出油。在某些情况下,还会出现高压含水层中的水和油向低压层中倒流的现象,称为见水层与含油层间的倒灌现象,如图1-8所示。

由此看来,将多油层合并为一套开发层系是不合理的,而应分为两套或多套开发层系,采用

不同的井网和开发方式生产。

从上述情况可以看出,多油层合采时,小层间或砂层组间往往存在着严重的矛盾,降低了开发效果。将特征相近的油层组合在一起,用独立的一套井网开采,就会缓和层间矛盾,有利于发挥各类油层的生产能力。所以说,合理地组合与划分开发层系是实现油田高产稳产和提高采收率的一项重要措施。

2. 划分开发层系是部署井网和规划生产设施的基础

确定了开发层系,一般就确定了井网套数,因而使得研究和部署井网、注采方式以及地