



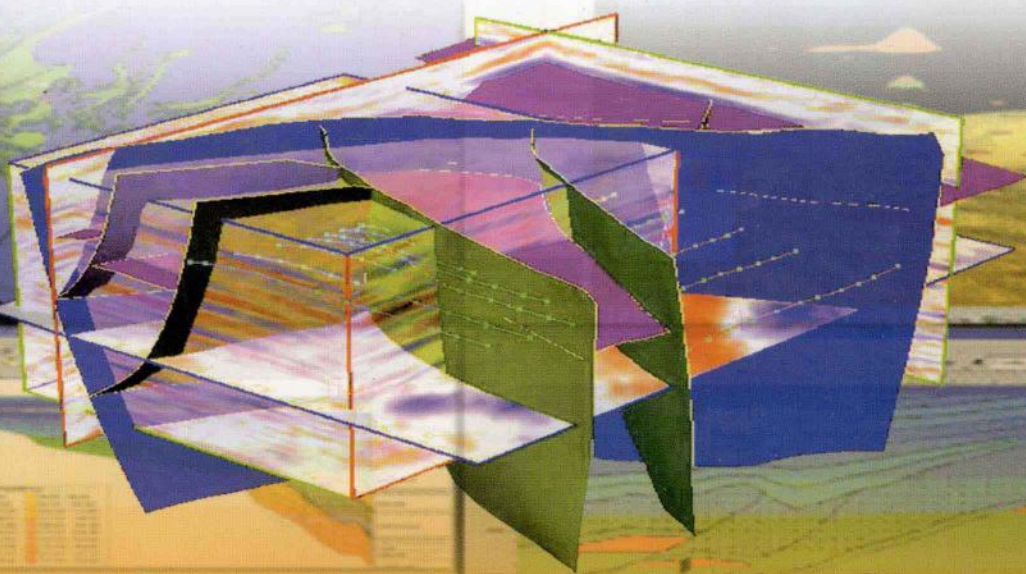
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

油藏工程基础

(第二版)

刘德华 唐洪俊 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等院校石油天然气类规划教材

油藏工程基础

(第二版)

刘德华 唐洪俊 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统论述了油藏工程的基本理论和方法,详细介绍了油田开发方案设计、油藏评价、油田开发方式、油田注水开发理论基础、油藏工程方法(物质平衡方法)、油田产量递减规律研究及其应用、油田含水规律分析和预测,以及油田开发的监测、控制、管理与调整等方面的内容。

本书可作为高等院校石油工程及相关专业的教材,也可作为油田开发、油藏工程科研技术人员的参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

油藏工程基础/刘德华,唐洪俊主编. —2版.

北京:石油工业出版社,2011.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材.

高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 978-7-5021-7486-6

I. 油…

II. ①刘…②唐…

III. 油田开发—高等学校—教材

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 059615 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:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523579 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油报印刷厂

2011年6月第2版 2011年6月第8次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:14.25 插页:1

字数:365千字

定价:22.00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

第二版前言

随着世界经济的高速发展,石油在国民经济中的地位越来越重要。在目前所探明的资源量逐步减少的情况下,合理有效地开发油田和提高现有油田的资源利用率显得尤为重要。世界各大石油公司和每个国家的石油工程师都在努力提高油田开发效果和经济效益,油田开发技术得到快速发展,油田开发理论也不断丰富。主要表现在以下几个方面:

(1)随着对储层认识手段的增加,油藏描述的精细程度不断提高,使油田调整能够进一步细化而提高波及体积;

(2)水平井和多分枝井技术的广泛应用,使油藏的控制程度不断提高,其地下流体的渗流特征发生变化;

(3)对渗流规律的认识也日趋成熟,在改善开发效果方面充分认识到非均质性对水驱开发的影响;

(4)提出了矢量化井网理论、二次开发等新概念。

“油藏工程基础”作为石油工程专业的主要专业课之一,一直处于重要地位。目前,石油类的其他专业,如资源勘查工程、勘查技术与工程、地球化学等,也开始选修本课程,说明油藏工程作为石油工作者必须掌握的知识,显得越来越重要。

本教材第一版于2004年出版以来,被多个石油院校选用,得到同行的认可,至2011年已经加印6次。2007年,本书的修订版被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材序列。为了全面提高本教材的专业水平,使之更加符合现代教学情况和石油工业的发展,2008年12月石油工业出版社组织长江大学、东北石油大学、中国地质大学(北京)、成都理工大学、西安石油大学、重庆科技学院的专家对第一版教材进行充分讨论,联手修订《油藏工程基础》第二版。

第二版继承了第一版的整体结构和特色,结合油田开发的特点增加和加强了部分内容,具体情况如下:

(1)增加油藏非均质性描述;

(2)加强了油藏动态分析的内容,将原来第六章分成两章,即产量递减规律和含水变化规律分章节讲解;

(3)原第五章中油藏水侵内容合并到水驱油藏物质平衡方程这一节中;

(4)原第七章第五节中增加了水平井和多分枝井的内容;

(5)对部分实例和思考题做了修改。

这些修改使本书内容更加符合当今油藏工程的发展,能更好地服务于课堂教学,满足现代油田开发工作者的需要,也更加便于自学。

本次修订由刘德华、唐洪俊担任主编，刘志森、刘鹏程担任副主编。具体分工如下：第一章、第四章、第五章的第六节由长江大学刘德华修订，第二章由成都理工大学陈青、伊向艺修订，第三章由重庆科技学院唐洪俊、戚志林修订，第五章由东北石油大学刘丽、张承丽修订，第六章由西安石油大学陈军斌修订，第七章由中国地质大学(北京)刘鹏程修订，第八章由长江大学刘志森修订。全书由刘德华统稿。在本书修订过程中，李菊花、郑爱铃、关富佳、张国威等参加了部分编辑、校对及绘图等工作，特致深切谢意。

由于编者的学术水平和实际经验的限制，书中难免有不足和不妥之处，敬请同行和读者指正。

编者

2010年10月

第一版前言

油藏工程是一门认识油气藏,并运用现代综合性科学技术开发油气藏的学科。它不仅是方法学,而且是带有战略性的指导油田开发决策的学科。研究的主要课题是科学合理地开发油田。因此,首先要对开发对象——油层及其中流体的特性有深刻的认识;其次要制订出适合本油田的开发设计方案;同时还要在开发过程中经常对油层的动态进行分析和预测,以不断加深对油藏的认识,做好油田开发方案的调整,做到自始至终科学合理地开发油田。

油藏工程是采用工程手段来认识和研究油藏,又是采用工程手段来开发改造油藏的一门综合工程学科,是从事油田开发和开采的技术人员必须学习和掌握的一门专业知识。本学科的目的是使从事油田开发的工作者,能够采用先进的技术手段,以最优的生产技术指标及最佳的经济效果来开发油田。

在20世纪20年代,油藏工程所能依据的理论、方法和采用的手段还是有限的,油气田基本上是依靠天然能量开采,对油层及其中能量的研究和认识还停留在一个初级的水平上。20世纪40年代以后,油藏工程这门学科有了一个根本的改变,这是由于对油藏进行研究的手段和方法有了较大的改变,另外也由于开采和测试的手段有了很大的更新,所以有可能对油藏从总体上进行解剖和研究,然后又从整体上进行规划、部署和开发;对在开采过程中油藏内部的油气水流动过程有清晰的了解,而且对这一流动的全部过程也能够以较高的准确度掌握它和描述它。因此油藏工程人员不但要了解油田目前开发状态及其各个方面,而且对油藏今后的开采动态也应有清楚的了解。

油藏工程师的职责是选定最优开发方式,确定层系、井网、井距、注采方式及注采井的工作制度,计算开发指标,进行开发动态监测、分析和预测,制订开发方案和开发调整方案。本书重点讲述开发方案设计,油田开发分析的原理和方法等。

本书编写体现如下四个特点:一是系统性,即在原理叙述上和基础理论的运用上注意其科学、严密和系统性,使学生能通过学习对油藏工程有系统的了解。二是力求具有先进性,包括了近年来在国内外行之有效而应用较好的一些方法,例如各种动态预测方法、油田开发调整、油藏经营管理、改善油田开发效果方法等。其中物质平衡方法在本书中是以预测油田全部生产动态为主,而不是仅仅验证静态储量。三是注意了实用性,书中以相当篇幅列出了油田实际生产中的资料与生产性计算和分析,使学生有结合实际的学习效果;同时注重学生基本概念的建立和经验的积累,各种概念和方法尽可能有实际油田背景。在每章的后面给出了思考题和作业题。四是规范性,全书采用统一的国际单位制(SI制),所有的公

式及相关文字中应用的符号均采用常用符号,符号都按标准注释。特别需要指出的是,为了增强学生的专业外语阅读水平,在本书中出现的关于油藏工程方面的专业名词和概念都给出了英文单词或词组。最后在附录中列出了油藏工程的常用概念和常用单位换算表,同时给出了《砂岩油田注水开发调整方案编制技术要求》的行业标准,以便学生学习了解。

油藏工程是随着油田开发水平、油藏类型及开发方式的变化而不断丰富和发展的,其研究方法也不断更新,因此油藏工程是一门发展较快的学科,本书中所给出的基本概念和方法只是为进一步学习打下良好基础。

本书由刘德华、刘志森编写,最后由刘德华教授统稿。在编写过程中主要参考了郎兆新主编的《油藏工程基础(第三版)》、林平一主编的《油藏工程学》以及陈元千著的《现代油藏工程》等书。部分内容是征得编者的同意而改写的。在此谨表谢忱。

虽然本书编者都是多年从事油藏工程研究和教学的教师,在理论、方法和应用方面积累了相当的经验,书中的许多内容是多年研究的成果,但是受学术水平和实际经验的限制,难免有不足乃至不当之处,敬请同行和读者指正。

在本书编写过程中,研究生王芳、汪超、张国威等参加了部分编辑、校对及绘图等工作,特致深切谢意。

编著者
2004年7月

目 录

第一章 油田开发设计基础	1
第一节 油田开发概述.....	1
第二节 油田开发前的准备工作.....	6
第三节 油田开发的方针和原则	10
第四节 油田开发方案的编制	12
思考题	20
第二章 油藏评价	21
第一节 油藏非均质性	21
第二节 油藏的压力、温度系统.....	25
第三节 油藏驱动类型及开采特征	28
第四节 油藏储量评价	34
第五节 油藏采收率测算	40
思考题	50
第三章 油田开发方式的确定	52
第一节 驱动方式的选择	52
第二节 开发层系的划分与组合	53
第三节 油田注水方式的选择	61
第四节 开发井网的部署	72
思考题	76
第四章 油藏注水开发理论基础	78
第一节 水驱油饱和度分布	78
第二节 油田开发指标计算方法	83
第三节 水驱油效率分析	86
思考题	92
第五章 油藏物质平衡方法	94
第一节 物质平衡方法概述	94
第二节 弹性驱油藏物质平衡方程	98
第三节 溶解气驱油藏物质平衡方程.....	101
第四节 气顶驱油藏物质平衡方程.....	111
第五节 水驱油藏物质平衡方程.....	119
第六节 综合驱油藏物质平衡方程.....	127
第七节 物质平衡方法的评述.....	136
思考题.....	137

第六章 油田产量递减规律分析	139
第一节 油田产量递减规律.....	140
第二节 递减规律判别与应用.....	146
思考题.....	154
第七章 油田含水规律分析	156
第一节 油田含水规律.....	156
第二节 常见水驱特征曲线.....	157
第三节 水驱特征曲线的应用.....	162
思考题.....	166
第八章 油田开发的监测管理与调整	167
第一节 油田动态的监测.....	167
第二节 油田开发动态分析.....	169
第三节 油藏经营管理.....	173
第四节 油田开发调整.....	178
第五节 改善油田开发效果的方法.....	183
思考题.....	201
参考文献	202
附录	204
附录 1 油田开发常用概念.....	204
附录 2 砂岩油田注水开发调整方案编制技术要求.....	210
附录 3 油藏工程常用单位之间的换算关系.....	216
附录 4 油藏工程常用计量单位的中、英文名称对照表.....	219
附录 5 常用词头的因数与符号.....	220

第一章 油田开发设计基础

一个含油构造经过初探发现其具有工业油流后,紧接着就要详探并逐步投入开发。所谓油田开发(oil field development),就是依据详探和必要的生产性开发试验,在综合研究的基础上对具有工业价值的油田(oil field),按照国家或市场对原油的需求,从油田的实际情况和生产规律出发,制订出合理的开发方案(development program)对油田进行建设和投产,使油田按预定的生产能力和经济效果长期生产,并在生产过程中作必要的调整,保持合理开发,直到开发结束。

一个油田的正规开发一般要经历以下三个阶段:

(1)开发前的准备阶段:包括详探、开发试验等。

(2)开发设计(development design)和投产:包括油藏研究和评价,全面部署开发井、制订射孔方案、注采方案和实施。

(3)开发方案的调整和完善。

要使油田正式投入开发,必须进行详探。详探就是运用各种可能的手段和方法,对含油构造或预定的开发区取得必要的资料,进行综合分析研究,力求搞清主要地质情况和生产规律,并计算出开发储量(development reserves),为编制开发方案作准备。详探是油田开发极为重要和关键性的工作。

开发方案的编制和实施是油田开发的中心环节,必须切实地、完整地对各种可行的开发方案进行详细制订、评价和全面对比,然后确定出符合油田实际,技术上先进,经济上优越的方案。实际上,虽然人们尽量努力使油田开发方案趋于完善,但由于油田开发前不可能把油田地质情况认识得很清楚,这就不可避免地在油田投产后,会出现一些原来估计不足的问题,其生产动态(production performance)与方案设计不符,在油田开发过程中必须不断地进行调整,所以整个油田开发过程是一个不断调整和完善的过程。

一切工程实施之前,都有前期工程,要求有周密的设计。有些工程在正式设计前还应有可行性研究。对于油田开发来说,也不例外,但又有其不同的特点。

第一节 油田开发概述

一、油田开发的研究范畴

油田开发是一门技术性的科学,所研究的主要课题是科学合理地开发油田。要科学合理地开发油田,首先要对开发对象——油藏及其中流体的特性有深刻的认识,其次要制订出适合本油田的开发设计方案,同时还要在开发过程中经常对油层的动态进行预测和分析,以不断加深对油田的认识,作好油田开发方案的调整,做到自始至终科学合理地开发油田。

严格讲,研究油藏内流体性质和流体运动规律的方法统属油藏工程(reservoir engineering)或油田开发研究内容,一般包括油层物理、渗流力学、试井解释、数值模拟、油藏动态分析方法等等。故油藏工程是一门涉及范围广、内容复杂的课程。由于有的内容单独另设课程讲

授,本书的内容主要包括油田开发方案设计基础、油气藏评价、砂岩油田注水开发、水驱油基本理论、油藏动态分析等内容。

油藏工程(油田开发)是一门认识油藏,运用现代综合性科学技术开发油气藏的学科。它不仅是方法学,而且是带有战略性的指导油田开发决策的学科。但是迄今为止,不同的学者对油藏工程的理解不同,尚未取得统一的意见,作出完整确切的定义,称为“油藏工程”的著作,所叙述的内容可以差异很大。例如有些学者认为油藏工程是研究油藏动态预测及采收率(recovery efficiency)的学科;有些学者认为油藏工程所指的仅仅涉及油藏本身部分;有些学者则认为它不仅研究油藏本身,而且应包括油气井及部分地面流程在内等。在这里,将要涉及的是广义的油藏工程,把影响整个油藏开发过程的科学技术都包括在内。

近年来,一个大型、甚至中型油田的开发,都会对一个国家的国民经济的发展有一定的影响。因而油田开发的各个问题都受到广泛的重视,其油田开发的理论和现代化的方法也在迅速发展,不断出现新的技术。本门课的重点是讲解油田开发方案设计和油田开发过程中油田动态分析的基本原理和方法。

二、油田开发的发展

自从美国和苏联等主要产油国先后于 1859 年及 1860 年开始采油以来,油田开采和开发业已经历了 100 多年的发展过程。我国真正开发油田是从新中国成立以后,也已有 60 多年的历史,目前油田开发事业已发展成为应用现代先进科学技术和装备建设起来的综合性行业。

油田开发的历史大致可分为以下几个阶段。

1. 1860—1930 年前后

这个阶段大约经历 70 年的发展过程。其主要特点是没有将油田看成一个整体,而是一块一块地进行开发。当时,石油工业处于初级阶段,油田数目少,油埋浅,面积小,又由于受技术条件、油田所有制的限制,不可能从整体来考虑油田开发。钻井几乎是唯一的开发手段,石油科技工作所研究的主要问题是井网密度(well spacing density)。20 世纪 20 年代前后,有不少关于井网密度对油层和油井产率等影响的文章和专著问世。1925 年,苏联 M. B. 阿勃拉莫维奇提出“合理开发油田原则”。这段时间,虽然井网密度方面有错误意见,但也创立了一套好的研究方法。

2. 1930—1940 年

在这段时间里,油田开发开始出现一些特点——有的国家已开始将油田作为一个整体来开发。1933 年,苏联召开第一次石油会议,著名学者李勃金等人批评了以前那种分割、孤立开发油田的错误现象,并强调“研究和分析油田开采过程”的重要意义,同时美国 M. 马斯凯特也提出同样的观点。

随着开发油田的数目增多,人们发现了油藏中存在着各种各样的能量,从而创立了油藏驱动能量的学说。一些学者开始应用流体力学研究油田开发问题,如依靠各种压力驱替孔隙介质中流体的情况,各物性参数之间的关系及对油井产量的影响等。

同时,油田开发基础理论之一的油层物理学的研究也取得了重要进展,有人发展了测量油层相渗透率的方法。1935 年 R. J. 薛尔兹诺斯研究了用井底取样器来测量所取样品物理性质的方法,包括压力—体积—温度之间的关系,饱和度与饱和压力(bubble point pressure),油中溶解的总气量,不同温度和不同压力下游离出来的气体量以及原油在溶解气分离后的收缩度等。

1936年,在以上基础上,他根据所得的各种基础数据,首次得出物质平衡方程(material balance equation),此方程为以后不少学者所完善,成为油藏动态分析计算最重要的工具之一。

3. 1940—1950年

本阶段油田开发的特点主要表现为:进一步建立了油田开发的理论基础,同时进行了规模不断扩大的人工注水(artificial water driver),成为人们能动地进行油田开发和油田改造的重要标志。

在这个时期,苏联学者 A. II. 克雷洛夫在进行了大量研究的基础上,出版了《油田开发科学原理》。该书综合应用油矿地质学、地下流体力学、专业经济学的基本理论和方法来研究解决油田开发的问题,从而建立了比较完整的油田开发理论。

在此期间,苏联、美国等都进行了油田注水开发,注水开发也显示出了优越性。水驱油的基本理论取得重要成果,开始建立油水两相和多相渗流(multiphase flow)理论,同时也开始分析井间干扰问题和不同布井条件下的油井产量,并得出解析公式。

4. 1950年到现在

1950年以后,油田开发开始进入现代化的发展阶段。其发展概况可归纳为:

(1)20世纪50年代后期,油田开发的科学原理和油田开发实践都得到新的发展,渗流力学的应用取得重要成果。1956年,苏联罗马什金大油田采用内部切割注水,其他国家也开始利用注水开发油田,均取得了好的效果。

(2)各种先进观察和测量仪器、仪表以及模拟实验技术与装备的应用,加深了人们对油层的认识,从而为揭示流体运动规律和改造油层提供了极为有利的条件。

(3)各种数值模拟研究油藏的方法有了进一步的发展。1953年,美国 G. H. 布儒斯等人首次将计算机应用于油田开发,随后有了迅速的发展,使得能够求解多维多相渗流问题。

(4)油田开发和采油的工艺技术取得了新的成就。出现不同井网(well pattern)开采不同层系、一井分采不同层系(series of strata)等新工艺,避免了笼统开采的缺点,并研制出了相应的机械设备。

(5)提高采收率的研究取得了很大成效。提高采收率的主要途径是热驱油和化学驱油,同时包括各种聚合物驱油、微生物驱油和物理法提高采收率等。

(6)油藏精细描述技术的发展和成熟,使得人们能够更加深入地认识油藏,确定剩余油分布,确定合理的开发井网和开发方式。

(7)油藏经营概念的提出与经营模式的建立。就是从油田地质、油田开发、开采工艺等方面对一个区块进行整体系统的研究,对油田开采现状进行分析评价,提出相应的问题和对策,采取一些有效的增产措施,以提高油田开采效益。

(8)钻井技术的进步,特别是定向井、丛式井和多分枝井技术的应用,使得油田开发能更好地控制地下储量,开发一些特殊油藏和边际油藏,可使较少的投入,获得最大的开发效益。

三、世界石油开发现状

石油在任何国家都起着相当重要的作用。它是不可再生的矿物,也是不可替代的燃料,与政治、经济、军事、民生关系极为密切,所以各国都相当重视石油的开采。目前,世界石油开采处于旺盛时期。

2009年世界原油探明剩余可采储量排名前10位的国家见表1-1所列。中东地区的沙

特阿拉伯、伊朗、伊拉克、科威特的原油储量分别居世界的第1、3、4、5位。中国的排名列世界的第13位。

表 1-1 2009 年世界主要国家原油探明剩余可采储量

序 号	国 家	已探明剩余可采储量,10 ⁸ t
1	沙特阿拉伯	363
2	委内瑞拉	248
3	伊 朗	189
4	伊 拉 克	155
5	科 威 特	140
6	阿联酋阿布扎比 ^①	130
7	俄罗斯	102
8	利比亚	58
9	哈萨克斯坦	53
10	加拿大	52

近年来,世界原油年产量大致在 40×10^8 t 左右。全世界生产原油的国家和地区共有 90 多个。2009 年世界原油产量为 38.21×10^8 t, 位居前 10 名的国家及其对应的产量见表 1-2。2009 年中东地区合计原油产量 11.56×10^8 t, 占世界总产量的 30.3%; 欧佩克原油产量为 15.75×10^8 t, 占世界原油总产量的 41.2%。

表 1-2 2009 年世界主要国家原油产量

序 号	国 家	原油产量,10 ⁸ t
1	俄罗斯	4.942
2	沙特阿拉伯	4.595
3	美 国	3.253
4	伊 朗	2.024
5	中 国	1.890
6	加拿大	1.557
7	墨西哥	1.475
8	委内瑞拉	1.248
9	伊 拉 克	1.218
10	科 威 特	1.213

新中国成立前,我国天然石油的最高产量是 32×10^4 t/a。1949 年年产油不到 7×10^4 t, 仅有老君庙、延长、独山子和台湾四处天然产地,根本谈不上科学开发。

1955 年,我国发现克拉玛依油田,1957 年产量比 1949 年产量增加 13 倍。1958 年发现川中油田,1959 年发现了大庆油田,后又陆续发现和开发了胜利、大港、辽河、华北等一系列大油田。到 2010 年,我国原油产量达 2.03×10^8 t, 首次突破 2×10^8 t。

我国不仅有像大庆油田这样的世界特大陆上油田,海上油田开发也取得很大进展:一是渤海油田开发,已投入开发的有绥中 36-1、秦皇岛等超过亿吨级的大油田,还有 10 多亿吨的储

① 阿布扎比是阿拉伯联合酋长国 7 个酋长国中最大的一个,面积占国土面积的 80%。

量准备投入开发；二是南海已建成年产百万吨的油田。另外，我国西部的塔里木、准噶尔盆地勘探开发形势也很喜人。

我国的石油工作者经过长期的开发实践，并通过认真吸取世界先进的经验及开发工艺技术，在油田开发方面取得了可喜的成绩，但与世界先进国家相比还有很大差距，还需要不断努力，不断创新。

四、油田开发的特点

由于油藏深埋地下，是一次性不可再生资源，其开发过程极其复杂，有着与一般工程不同的特点：

(1)油藏的认识不是短时间一次完成的，需经历长期的由粗到细、由浅入深、由表及里的认识过程。油藏埋藏地下，浅者可近地表，深者可达万米，面积大者可达数十、数百平方千米，看不见，摸不着。尤其是流体矿藏又不可能挖掘出来加以观察和描述，只有用地球物理等间接方法加以探测，或在其上钻若干口井(油藏窗口)设法窥视其内部状况。显然，若井钻得越多，直接获得信息越多，所描述的油气藏则越能接近于实际。这就是说，初期对于油藏的认识比较粗糙，而随着它的开发在不断深化。

油田开发是一个对油藏认识不断深入和不断改善油田生产使之更符合实际、优化开采的过程。这与许多工程通过一两次调查、研究设计就完成全过程是极不相同的。

(2)油田是流体矿藏，凡是有联系的油藏矿体，必须视作统一的整体来开发，不能像固体矿藏那样，可以简单地分隔，独立地开发，而不影响相邻固体矿藏的蕴藏条件及邻近地段的含矿比。在与油藏任何有联系的一个区段采出或注入气、水都会导致整个矿藏原始状态、压力(pressure)发生变化，例如产生气顶(gas cap)或气顶消失。我国大港油田就有这种实例：一个新油区未经开发，其油层压力却在不断下降，形成次生气顶，究其原因是它与某一油田开发区的含水域之间相互连通，形成了统一的水动力学系统(hydrodynamics)的缘故。

因此，勘探与开发油田时，不能只局限于较详细地研究任何矿藏局部地段，而必须对有可能成为统一流体水动力系统的整个矿藏有足够的全面的认识，包括位于含气、含油边缘(contour of oil pool)以外的那些区域在内，对于那些可以形成分隔流体作为屏障的断层、隔层、盖底层、夹层的封闭条件都应该进行专门研究。所以，油藏开发除了要与其他矿藏开发一样研究矿体的几何性、蕴藏条件、含矿比、储量比，还要特别注意研究流体动力学性质或称渗滤性质，并注意这些性质随时间、空间及其他因素影响的变化。也就是说，不仅要研究油田的静止(或原始)状态，而且要时刻注意其动态变化，其中包括不同时间各空间处矿产含量比(或称剩余油气的分布)的变化，使认识和设计立足于最新的基点上。

(3)必须充分重视和发挥每口井的双重作用——生产与信息的效能，这是开发工作者时刻应该研究及考虑的着眼点。世界上除了极少数油藏采用矿山坑道开采外，绝大多数的油田都是从地面钻井来开采的。井具有双重作用，它既是采集油气的窗口、影响地层的处所，又是窥视油藏(oil reservoir)内部获得各种信息的窗口。如何使用最少的井数既能把油田地下情况搞清楚，又能将油气多快好省地采出来，这是衡量油田生产技术水平高低的一个重要标志。

充分利用和发挥每个油藏已钻井的作用，常容易为一些生产者所忽略，他们只重视井的生产功能而忽视它的信息功能。不少矿场只重视油井(production well)，抓产量，而不注意取全取准资料，更不重视水井，将含水域的水井、水淹井弃之不管，这是错误的。因为水井至少可以用来观察和测压，以便了解油藏含水域和水淹区水流的动态与变化，通过它可获得对油藏更多

的认识,从而更有效地指导生产。另一方面,从系统论和控制论的观点来看,油藏本身是个“黑箱”或是“灰箱”,通过输入输出各种信息,就可了解其内在结构、状态及规律性,从而影响它,使之服从开发的需要。

(4)油田开发工程是知识密集、技术密集、资金密集的工程。油田地域辽阔,地面地下条件复杂多样,各种井网、管网、集输系统星罗棋布,加之存在着多种因素的影响和干扰,使得油田开发工程必然是个综合运用多学科的巨大系统工程,它涉及地质、物探、钻井、采油、油藏、储运、经济、管理,甚至包括水电、土建部门。在油田所在处常常会建成新的城市,以满足开发上后勤支援和需求。海洋油田开发还需要考虑海洋气象、水流、海上建筑以及海空的支援,为协调其间的关系还必须从系统工程的角度加以考虑。在这些部门及相互之间有数以亿计的信息要进行存储、处理、反馈、控制、衔接、协调等。因而,在油田开发中如何充分地现代电子技术、现代系统论、信息论、控制论、优化理论运用于油田开发设计、生产、组织、经营中,是一个重大的课题。

一个油田开发常常要钻大量的油水井,敷设大量的集输、注入管线。仅一口 3000m 深的油井钻井费用可达数百万元,而海上一座平台则要上亿元的投资。此外,为钻井和开发而修建公路,敷设管网就要动员大量人员的支援与参加,经常会波及城镇和乡村。因此,开发上的任何轻率决定,都可能造成经济上的巨大损失和浪费。为此,就要求油藏工作者既要有丰富的经验与知识,又要有高度的责任感,不断地获得新知识,总结经验,善于学习,科学地、严肃地、认真地对待每项开发技术工作,搞好油田的开发经营。

五、学习油藏工程的要求

油藏工程是石油工程专业本科的一门主要专业课。这门课是在学完石油地质、油藏物理基础、油气渗流力学、测井与生产测井以后,所开设的一门综合应用课程。学习的目的是:综合应用已学的课程来解决实际油田的开发方案设计这一系统工程问题,并掌握监察和分析开发方案实施效果的方法,掌握油田开发动态分析方法,以便进一步进行油田开发动态预测和调整。

学习油藏工程的基本要求是:掌握油田开发方案设计的基本方法以及对方案的评价和优选;能运用所学的知识对砂岩注水开发油田进行油藏动态分析(reservoir performance analysis)和预测。

油藏工程涉及内容较广,基本概念较多,需要多理解、多积累,建立油田开发过程中的基本概念和开发理念。

第二节 油田开发前的准备工作

油田开发前的准备阶段,主要工作是进行详探,以全面认识油藏和计算储量,进行生产试验以认识油藏的生产规律,并进行有关专门的开发试验,深入研究某些具体规律,从而为编制正式开发方案提供切实的基础。由于此阶段的工作包括了许多方面的综合研究(地质研究、工程技术研究、室内实验研究、生产观察等),而且这些工作又必须根据具体情况选择,所以在进行此阶段工作之前,应有一个细致周密的规划,以保证各方面工作都能做好,而对于必须做到但暂时又不能做到的,也必须有一个计划安排。

一、详探阶段的主要任务

(1)以含油层系为基础的地质研究。要求弄清全部含油地层的地层层序及其接触关系,各含油层系中油气水层的分布及其性质,尤其是油层层段中的隔层和盖层的性质。同时还应注意出现的特殊地层,如气夹层、水夹层、高压层、底水等。

(2)油层构造特征的研究。要求弄清油层构造形态,油层的构造圈闭条件,含油面积及与外界连通情况(包括油气水分布关系),同时还要研究岩石物性及流体性质以及油层的断裂情况、断层密封情况等。

(3)分区分层组的储量计算。在可能条件下进行可采储量估算。

(4)油层边界的性质研究以及油层天然能量、驱动类型和压力系统的确定。

(5)油井生产能力和动态研究,了解油井生产能力、产油剖面、递减情况、层间及井间干扰情况。而对于注水井必须了解吸水能力和吸水剖面。

(6)探明各含油层系中油气水层的分布关系,研究含油储层的岩石物性及所含流体的性质。

二、详探方法

从上述详探阶段的任务可知,为了完成这些任务只依靠某一种方法或某一方面的工作是不行的,而必须运用各种方法进行多方面的综合研究才能做好。这里要进行的工作有地震细测、详探资料井分析、油井测试(测井、试油、试采以及分析化验研究)等。

1. 地震细测

在预备开发地区应在原来初探地震测试工作的基础上进行加密地震细测,达到为开发作准备的目的。通常测线密度应在 $2\text{km}/\text{km}^2$ 以上,而在断裂和构造复杂地区,密度还应更大。通过对地震细测资料的解释,落实构造形态和其中断裂情况(包括主要断层的走向、落差、倾角等),从而为确定含油带圈闭面积、闭合高度等提供依据。而在断层油藏上,应依据地震工作,初步搞清断块的大小分布及组合关系,并结合探井资料作出油层构造图和构造剖面图。

2. 详探资料井分析

详探工作中最重要和最关键的工作是打详探井,直接认识地层。详探工作进展快慢、质量高低直接影响开发的速度和开发设计的正确与否。因此对于详探井数目的确定、井位的选择、钻井的顺序以及钻井过程中必须取得的资料等都应作出严格的规定,并作为详探设计的主要内容。

详探井的密度,应在初步掌握构造情况的基础上,以尽量少的井而又能准确地认识和控制全部油层为原则来确定。在一般简单的构造上,井距通常在两千米以上,但在复杂的断块油田上一口探井控制的面积可以达到 $1\sim 2\text{km}^2$ 甚至更小。详探井井位布置和打井顺序是应该经过充分研究以后认真而慎重地决定,这是提高勘探井成功率的关键。此时认识含油层自身分布及变化是详探井的重要任务,但同时又要兼顾探边、探断层的工作。而在某些情况下,这些探井又可能是今后的生产井,因此和生产井网今后的衔接问题也必须进行考虑。详探井的布置方面,已经有许多较好的经验,但总的原则仍然是:应结合不同地质构造情况,具体地研究确定。

通过详探井的录井、岩心分析、测井解释等取得的资料,还应进行详细的地层对比,对于油

层的性质及其分布,尤其是稳定油层的性质及其分布必须搞清,以便为下一步布置生产井网提供地质依据。与此同时,还要对主要隔层进行对比,对其性质进行研究,为划分开发层系提供依据。在通过系统地取心、分析以及分层试油,了解到分层产能以后,可以确定出有效厚度下限,从而为计算储量打下基础。

3. 油井试采

油井试采是油田开发前必不可少的一个步骤。通过试采要为开发方案中某些具体的技术界限和技术指标提出可行的确定办法。通常试采是分单元按不同含油层系进行的。要按一定的试采规划,确定相当数量的能够代表这一地区、这一层系特征的油井,按生产井要求试油后,以较高的产量较长期地稳定试采。试采井的工作制度,以接近合理工作制度为宜,不应过大也不应过小。试采期限的确定,视油田大小而有所不同,总的要求是要通过试采暴露出油田在生产过程中的矛盾,以便在开发方案中加以考虑和解决。

试采的主要任务是:(1)认识油井生产能力,特别是分布稳定的好油层的生产能力以及产量递减情况;(2)认识油层天然能量的大小及驱动类型和驱动能量的转化,如边水和底水活跃程度等;(3)认识油层的连通情况和层间干扰情况;(4)确定生产井的合理工艺技术和油层改造措施。此外,还应通过试采落实某些影响开采动态的地质构造因素(如边界影响、断层封闭情况等),为今后合理布井和确定注采系统提供依据。为此,有时除了进行生产性观察外还必须进行一些专门的测试,如探边测试、井间干扰试验等。

在通常的情况下,试采应分区分块进行,因为试采的总目的是暴露地下矛盾、认识油井生产动态,所以油井的选择必须要有充分的代表性,既要考虑到构造顶部的好油层,也要兼顾到边部的差油层。同时必须考虑到油水边界、油气边界和断层边界上的井,以探明边水、气顶及断层对生产带来的影响。

上面说明了,详探试采井的平面布置应全面考虑。除此之外,在纵向上试采层段的选择,也应该兼顾到各种不同类型的油层,尤其是对于纵向上变化大的多油层油藏。如各层间岩性变化大,原油性质变化大,油水(气)界面交错,天然能量差别大等,也应尽可能都分别有一定数量的试采井,以便为今后确定开发层系和各生产层段的产能指标,提供可靠依据。

三、油田开发生产试验区

从详探资料井和试采井获得的对油藏的地质情况和生产动态的认识,是编制开发方案必备的基础。但仅此还不够,为了制订方案还必须预先掌握和了解在正规井网正式开发过程中所采取的重大措施和决策是否正确和完善,而这些问题单依靠详探资料井和试采井是不可能完全解决的。因此对于一个大型油田来讲,开展多方面试验,而且往往是大规模开发试验,是必不可少的。

对于准备开发的大型油田,在经过试采了解到较详细的地质情况和基本的生产动态以后,为了认识油田在正式投入开发以后的生产规律,应在详探程度较高和地面建设条件比较有利的地区,首先划出一块面积作为生产试验区。这一区域应首先按开发方案进行设计,严格划分开发层系,选用某种开采方式(如早期注水或依靠天然能量采油),提前投入开发,取得经验,以指导其他地区。对于复杂油田或中小型油田,不具备开辟生产试验区的条件时,也应力求开辟试验单元或试验井组。其试验项目、内容和具体要求,应根据具体情况,恰当地确定。

开辟生产试验区是油田开发工作的重要组成部分。这项工作必须针对油田的具体情况,遵循正确的原则进行。生产试验区所处的位置和范围对全油田应具有代表性,使通过试验区