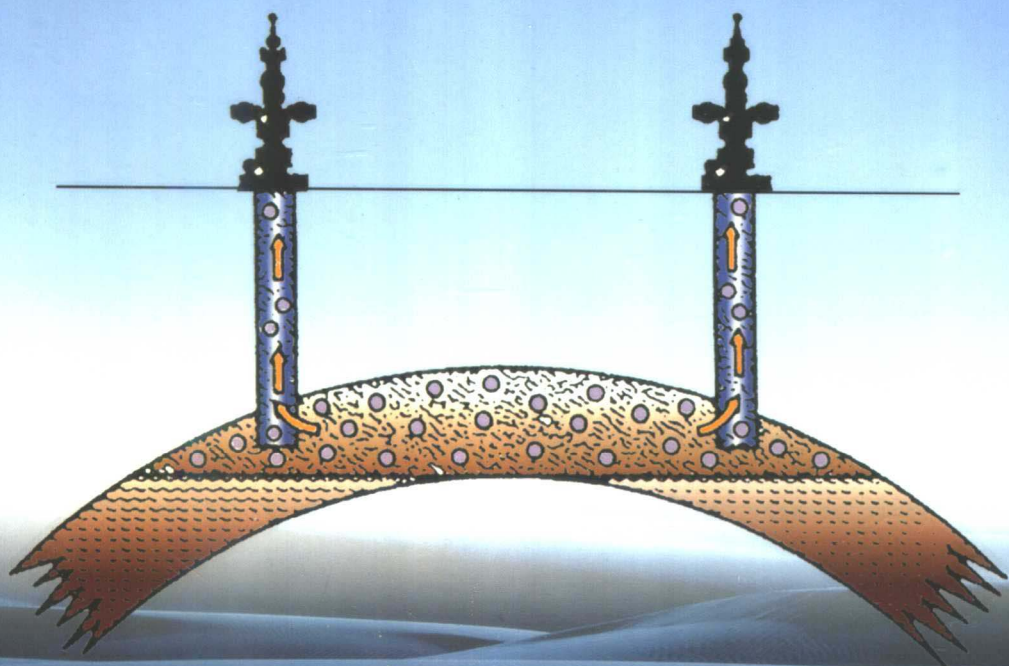


高等学校教材

油藏工程基础

刘德华 刘志森 编著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等学校教材

油藏工程基础

刘德华 刘志森 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统地论述了油藏工程的基本理论和方法,介绍了油田开发方案设计,油气藏评价,油田开发方式的确定,水驱油理论基础及分析,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,油田含水规律的研究和预测,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的石油工程专业和相关专业的教材,相关专业师生参考书。也可作为油田开发、油藏工程的科研及现场技术人员参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

油藏工程基础/刘德华,刘志森编著.

北京:石油工业出版社,2004.9

高等学校教材

ISBN 7-5021-4779-9

I. 油…

II. ①刘…②刘…

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(2004)第 091009 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

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京兴顺印刷厂

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:14 插页:2

字数:361 千字 印数:1—2000 册

定价:20.00 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

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;其次要制定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彻底的更新,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,制定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。本书中的许多内容是他们多年研究的结果。但是受学术水平和实际经验的限制,书中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 开发前的准备阶段.....	(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)
第二章 油气藏评价	(21)
第一节 油气藏的压力系统	(21)
第二节 油气藏的温度系统	(23)
第三节 油气藏驱动类型及其开采特征	(23)
第四节 油气藏储量评价	(30)
第五节 油藏采收率测算方法	(36)
第三章 油田开发方式的确定	(48)
第一节 驱动方式的选择	(48)
第二节 开发层系的划分与组合	(49)
第三节 油田注水方式的选择	(57)
第四节 开发井网部署	(66)
第四章 水驱油理论基础	(72)
第一节 饱和度分布	(72)
第二节 平面一维流动的产量公式	(77)
第三节 面积波及系数	(79)
第四节 油层纵向非均质性	(83)
第五节 体积波及系数	(89)
第六节 各种井网的注水量	(91)
第五章 油藏物质平衡方法	(94)
第一节 物质平衡方法所需要的基础资料及物性参数	(94)
第二节 油藏水侵	(98)
第三节 弹性驱油藏物质平衡方程.....	(100)
第四节 溶解气驱油藏物质平衡方程.....	(103)
第五节 气顶驱油藏物质平衡方程.....	(113)
第六节 水驱油藏物质平衡方程.....	(123)
第七节 综合驱动油藏物质平衡方程.....	(129)
第八节 物质平衡方法的评述.....	(138)

第六章 油藏动态分析经验方法	(142)
第一节 油田产量递减规律及其应用.....	(142)
第二节 油田含水规律的研究和预测.....	(159)
第七章 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 油田的经营管理.....	(173)
第四节 油田开发调整.....	(179)
第五节 改善油田开发效果的方法.....	(184)
参考文献	(200)
附录	(201)
附录 1 油田开发常用概念.....	(201)
附录 2 砂岩油田注水开发调整方案编制技术要求.....	(208)
附录 3 油气藏工程常用单位之间的换算关系.....	(213)
附录 4 油气藏工程常用计量单位的中、英文名称对照表.....	(216)
附录 5 常用词头的因数与符号.....	(217)

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,制定出合理的开发方案(development program),并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益长期生产,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:包括油层研究和评价,全面部署开发井、制定射孔方案、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、完整地对各种可行的开发方案进行详细制定、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。在实际上,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,因而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。

第一节 油田开发概述

一、油田开发研究的范畴

油田开发是一门技术性的科学,所研究的主要课题是科学、合理地开发油田的问题。要科学、合理地开发油田,首先要对开发对象——油层及其中流体的特性有深刻的认识,其次要制定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,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。

严格地讲,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、油气层渗流力学、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。本书中油藏工程的内容主要包括油田开发方案设计基础、油藏评价、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理解是不同的,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;有的则认为它不仅研究油藏本身,而且还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。因而油田开发的各问题受到广泛的重视,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。这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

自从美国和前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。我国自己真正开发油田是从解放以后,也已有 50 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. 从第一个油田投入开发到 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)。约 20 世纪 20 年代前后,曾发表了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。1925 年,前苏联 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 年到 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,前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”的工作的重要意义。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. 薛尔绍斯研究了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,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 年到 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。

前苏联学者 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、地下流体力学和专业经济学的基本理论和方法来研究和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,前苏联、美国等都进行了油田注水开发,注水开发显示出了优越性。水驱油的基本理论也取得重要成果,油水两相和多相渗流(multiphase flow)理论开始建立,同时也开始分析井间干扰问题、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)进入 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 年前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,均取得了好的成果。

(2)各种先进观察和测量的仪器、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,从而对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 年美国人 G. H. 布儒斯等人首次将计算机应用于油田开发问题研究之中,随后有了迅速的发展,从而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)开采不同层系等新工艺,避免了笼统开采的缺点,一井分采不同层系(series of strata),并研制出了相应的各种机械设备。

(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,同时包括目前各种聚合物驱油、微生物驱油和物理法提高采收率方法等。

(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,提出相应的问题和相应对策,采取一些有效的增产措施,提高油田开采效益。

(8)钻井技术的进步,特别是定向井、丛式井和多分支井技术的应用,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田,以较少的投入,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、民主关系极为密切,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。

到 2000 年止,世界总计可采储量 1349.66 亿吨,年产 28.85 亿吨,九个主要产油国家及全球总产量如表 1-1 所示。

表 1-1 世界主要产油国的产量和储量

国家	2000 年可采石油储量 10 ⁸ t	2001 年原油产量 10 ⁶ t/d	开始生产年代
俄罗斯	66.27	1.36	1865
美国	28.7	1.29	1859
沙特	359.48	1.22	1936
伊朗	122.37	0.59	1913
中国	32.74	0.52	1904
委内瑞拉	99.05	0.43	1917
伊拉克	153.48	0.38	
阿联酋	133.42	0.34	
科威特	131.65	0.27	
世界	1349.66	12.23	

中东地区是含油最富有的地区,其探明储量(proved reserves)685.6 亿吨,占世界 65.3%。其中沙特又有 359.48 亿吨可采储量(recoverable reserves),占中东的 52.4%;其次是伊拉克、阿联酋、科威特、伊朗。

解放前我国天然石油的最高产量是年产 32 万吨。1949 年年产油不到 7 万吨,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。

解放后,1955 年发现克拉玛依油田,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 2000 年止已发现 400 多个油田,可采储量 32.74 亿吨。

我国不仅有像大庆油田这样的世界特大陆上油田,同时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 多亿吨的储量准备投入开发;二是南海已建成年产百万吨的油田。我国西部的塔里木、准噶尔盆地勘探开发形势喜人。

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,从而取得更大成就。

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,它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,浅可近地表,深可达万米,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。也就是说,初期对于油气藏的认识比较粗糙,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)油气田是流体矿藏,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)、相邻矿区含量的变化,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,究其原因它是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)。

因此,勘探与开发油气田时,不能只局限于较详细地研究矿藏局部地段,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全面的认识,应包括位于含气、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,油气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,不仅要研究油气田的静止(或原始)状态,而且要时刻注意其动态变化,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,绝大多数的油气田都是从地面钻井来开采的。井具有双重作用,它既是采集油气的通道、影响地层的处所,又是窥视油气藏(oil/gas 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。油气田地域辽阔,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,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。海洋油田开发,还需要考虑海洋气象、风流、海工建筑以及海空的支援。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、协调等等。为协调其间的关系,必须从系统工程的角度加以考虑。因而,在油田开发中如何充分地将现代电子计算技术、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,这是一个重大的课题。

一个油田开发常常要钻大量的油水井,铺设大量的集输、注入管路。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,为钻井而修建公路,铺设管网就要动员数以千百人员的支援与参加,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,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,善于学习,总结经验,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

油藏工程基础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”、“油气层渗流力学”、“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:综合应用已学各课程来解决实际油气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,以便进一步进行预测和调整。

学习“油藏工程基础”课程的基本要求: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(reserve 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 开发前的准备阶段

油田开发前的准备阶段的主要工作是进行详探,以全面认识油藏并计算储量,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;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、详探阶段的任务和方法

详探阶段的主要任务是:

(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质层序及其接触关系,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必须搞清。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)储油层的构造特征的研究。要求弄清油层构造形态,储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、流体性质以及油层的断裂情况、断层密封情况等。

(3)分区分层组的储层计算。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、出油剖面、递减情况、层间及井间干扰情况。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,研究含油地层的岩石物性及所含流体的性质。

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搞好。这里要进行的工作有地震细

测、详探资料井和取心资料井,测井、试油、试采以及分析化验研究等。

(1)地震细测工作: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,某密度还应更大。通过对地震细测资料的解释,主要目的是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: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。详探工作的进展快慢、质量高低,直接影响开发的速度和开发设计的正确与否。因为对于详探井的数目的确定、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。

详探井的密度的确定,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。在一般的简单的构造上井距通常在 2km 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,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。此时认识含油层本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。对于油层的性质及分布,尤其是稳定油层的性质及分布必须搞清,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。在通过系统地取心及分析以及分层试油,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了解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了解油层的连通情况和层间干扰情况;④了解生产井的合理工艺技术和油层改造措施。这些都应通过试采而加以认识。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(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。

以上叙述了油田在详探阶段应进行的主要工作及完成这些工作任务应采取的方法和解决途径。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、高产井,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。

详探试采井除应全面考虑平面布置,在纵向上,在试采层段的选择上,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得多油层油藏,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。

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。这就是我们下面要叙述的另一个问题。

二、油田开发生产试验区和开发试验

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,对于准备开发的大型油田,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,用正规井网正式开发作为生产试验区,是开发新油田必不可少的工作。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,使通过试验区所取得的认识和经验具有普遍的指导意义。此外,生产试验区应具有一定的独立性,既不因生产试验区的建立而影响全油田开发方案的完整与合理,也不因其他相邻区域的开发影响试验区任务的继续完成。

生产试验区的开发部署和试验项目的确定,必须立足于对油田的初步认识和国内外开发此类油田的经验教训。既要考虑对全油田开发具有普遍意义的试验内容,也要抓住合理开发油田的关键问题。

生产试验区也是油田上第一个投入生产的开发区。它除了担负进行典型解剖的任务之外,还有一定的生产任务。因此在选择时应考虑油井的生产能力、油田建设的规模、运输等条件,以保证试验研究和生产任务都能同时完成,进展较快且质量较高。

1. 生产试验区的主要任务

(1)研究主要地层。主要研究油层小层数目;各小层面积及分布形态、厚度、储量及渗透率大小和非均质情况,认识地层变化的规律,为层系划分提供依据;

(2)研究井网。

研究布井方式,包括合理的切割距大小、井距和排距大小以及井网密度等;

研究开发层系划分的标准以及合理的注采段划分的办法;

研究不同井网和井网密度,对油层的认识程度以及各类油砂体对储量的控制程度;

研究不同井网的产量和采油速度以及完成此任务的地面建设及采油工艺方法;

不同井网的经济技术指标及评价方法。

(3)研究生产动态规律。

研究合理的采油速度；

研究油层压力变化规律和天然能量大小，合理的地层压力下降界限和驱动方式以及保持地层能量的方法；

研究注水后油水井层间干扰及井间干扰，观察单层突进、平面水窜及油气(油水)界面运动情况，掌握水线形成及移动规律，各类油层的见水规律。

(4)研究合理的采油工艺和技术，以及增产和增注措施(压裂、酸化、防砂、降粘)的效果。

以上几点只是生产试验的主要任务，但在实际上还必须根据各油田的不同地质条件和生产特点确定针对该油田的一些特殊任务。如对于有天然能量的油田来说，转注时间及合理注采比就必须加以研究，而其他如断层对油水地下运动的影响，高渗透层、裂缝油田、特低渗透层、稠油层、厚层等的开采特点，都应结合本油田情况加以研究。

上面讲了生产试验区区的任务。但是生产试验区仍是一个开发区，它不可能进行一个油田尤其是一个大油田开发过程中所需要进行的多种试验，更不可能进行对比性试验。因此为了弄清在一个油田开发过程中的各种各样的问题，还必须进行多种综合的和单项的开发试验，为制订开发方案的各项技术方针和原则提供依据。

随着油田建设的不断推进、开发程度的不断加深，以及开发中存在问题的进一步暴露，必须逐步而及时地开展各项开发试验，使得对油田开发这一客观事物的整个过程能够结合本油田的实际情况获得更多更清楚的了解。对于油田开发工作者来讲，为了做好面临的开发工作，借鉴和参考国内外各种先进开发经验是重要的，特别是国内外具有相同类型和生产方式的油田的开发经验更为重要。但是最根本的仍然是要就地进行试验，以从本油田取得合乎实际的切实可行的经验。这是更有直接意义的。

这些试验可以分单项在其他开发区进行，也可以选择某些井组、试验单元等来进行。这些试验项目和名称的确定，应以研究开发部署中的基本问题或是揭示油田生产动态中的基本问题或是揭示油田生产动态中的基本规律为目标来确定。针对不同油田的地质生产特点，人们可能采用的开采方式，各油田所需要进行的开发试验的项目可能差别很大，不能同样对待。这里只列出某些基本的和重要的项目，而各项试验进行的方法和具体要求，同样也应根据具体情况制订和提出。

2. 重要和基本的开发试验应包括的主要内容

(1)油田各种天然能量试验。这些能量包括弹性能量、溶解气能量、边水和底水能量、气顶气膨胀能量。应认识其对油田产能大小的影响，对稳产的影响，不同天然能量所能取得的各种采收率，以及各种能量及驱动方式的转化关系等等。

(2)井网试验。包括各种不同井网(面积、行列……)和不同井网密度所能取得的最大产量和合理生产能力，不同井网的产能变化规律，对油层的控制程度，以及对采收率和各种技术经济效果的影响。

(3)采收率研究试验和提高采收率方法试验。不同开发方式下各类油层的层间、平面和层内的干扰情况，层间、平面的波及效率和油层内部的驱油效率，以及各种提高采收率方法的适用性及效果。

(4)影响油层生产能力的各种因素和提高油层生产能力的各种增产措施及方法试验。影响油层产量的因素很多，例如边水推进速度、底水锥进、地层原油脱气、注入水的不均匀推进、裂缝带的存在等。而作为提高产能的开发措施，应包括油水井的压裂、酸化、大压差强注强采等等。

(5)与油田人工注水有关的各种试验。如合理的切割距,注采井排的排距试验,合理的注水方式及井网,合理的注水排液强度及排液量,合理的转注时间及注采比,无水采收率及见水时间与见水后出水规律的研究等。其他还有一些特殊油层注水,如气顶油田注水、裂缝油田注水、断块油田注水及稠油注水、特低渗透油层注水等等。

总之,种种开发试验都应针对油田实际情况提出,在详探、开发方案制订和实施阶段应集中力量进行。而在油田的开发整个过程中,同样必须始终坚持进行开发试验,直至油田开发结束。所以油田开发的整个过程也是一个不断深入进行各种试验的过程,而且应该使试验早期进行,走在前面,以取得经验指导全油田开发。

在本节中讨论了详探阶段的主要任务、工作内容和一般所用的方法。可以看出,详探阶段的主要任务是完整而深入地认识油层,包括静态的情况和可能的动态情况的研究。为了深入认识油层而又不耽误油层投入开发的时间,做到快速开发,必须正确处理好认识油层与开发油层的关系,针对不同油田的特点,明确提出详探阶段的任务、完成方法及要求。

详探及油田开发的准备阶段在油田勘探开发的整个程序中,构成一独立的不能忽视的阶段。它是保证油田科学合理开发所必经的阶段。但是又必须考虑各阶段之间的衔接和交替,尤其详探阶段和正式开发阶段间的衔接和交替。大体上对于大型油田或高产油田两个阶段应有明确分界,而对于复杂油田和小型油田(如断块油田)则不可能明确划分。详探任务和开发任务可能要相互交替和穿插,如井的布置要穿插进行,注采工程要穿插进行等等。但是两个方面的任务却应明确区分并应圆满地完成,而不是取消某一方面的任务或用一个阶段去代替另一个阶段。

第三节 油田开发的方针和原则

一、油田开发的方针

当找到有工业价值的油气田之后,如何进行合理开发是很重要的。要根据国民经济和市场对石油产量的需求情况,从油田地下情况出发,选用适当的开发方式,部署合理的开发井网,对油层的层系进行合理的划分和组合。

油田开发必须依据一定的方针来进行,开发方针的正确与否,直接关系到油田今后生产的效果的好坏与技术上的成败。编制油田开发方针应考虑以下几个方面的因素:①采油速度(rate of oil production),以什么样的速度进行开发;②油田地下能量的利用和补充;③油田最终采收率的大小;④油田稳产年限;⑤油田开发经济效果;⑥各类工艺技术水平;⑦对环境的影响。以上几个因素往往是相互依赖和相互矛盾的,在编制开发方针时应统筹兼顾,全面考虑。

二、油田开发的原则

在编制一个油田的开发方案时,必须依照国家对石油生产的方针,市场的需求,针对所开发油田的情况和现有的工艺技术水平与地面建设能力,制订具体的开发原则与技术政策界限。

1. 规定采油速度和稳产年限

采油速度是指油田(藏)年产油量与其地质储量的比值。采油速度问题是一个生产规模问题,一个油田必须以较高的采油速度生产,但同时又必须立足于油田的地质开发条件和采油工