

石油工程专业建设基金、油气田开发工程学科点建设基金资助

石油工程专业系列教材

实用油藏工程

周红 关振良 编



中国地质大学出版社

560457

TE34-43
005

要 献 容 内

石油工程专业建设基金、油气田开发工程学科点建设基金资助
石油工程专业系列教材

实用油藏工程

周 红 关振良 编



责任编辑：关 颖

封面设计：田 颖

文字编辑：张 颖

封面设计：田 颖

封面设计：田 颖

封面设计：田 颖



石油大学 0498288

中国地质大学出版社

ISBN 7-302-1938-2

如有印刷质量问题，请与本社联系。

280427

内 容 提 要

本书主要阐述了油藏工程的基本原理和实用方法。其内容包括油田开发基础、水驱油的基本理论、水驱油藏的统计规律分析法、油气藏物质平衡分析方法、油气田开发模式及产量递减分析法、试井分析方法、油气储量及原油采收率计算等,另外对现代油藏工程方法—油藏数值模拟进行了介绍。

本书方法性及实用性较强,适用于石油地质和油藏工程专业教学用书,也可供油田开发、油藏工程的科研及现场技术人员参考和阅读。

图书在版编目(CIP)数据

实用油藏工程/周红 关振良编. —武汉:中国地质大学出版社,2004.9
ISBN 7-5625-1938-2

I. 实…

II. ①周…②关…

III. 油藏工程-实用-开发地质

IV. P618



实用油藏工程

周 红 关振良编

策划:张晓红

责任编辑:张晓红

技术编辑:阮一飞

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:273千字 印张:10.625

版次:2004年9月第1版

印次:2004年9月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—1000册

ISBN 7-5625-1938-2/P·630

定价:20.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

油藏工程是一门如何认识油气藏和开发好油气藏的一门高度综合的技术学科。它以渗流力学为基础,以数学、计算机为主要手段综合分析地下地质、油层物理、测井、试井和采油等方面的成果,对油藏中发生的各种变化,从开采的角度进行评价,作出预测,并提出相应的技术措施,目的是为了提^高油气田的采收率。本书主要阐述了油藏工程的基本原理和实用方法,包括油田开发基础、水驱油的基本理论、水驱油藏的统计规律分析法、油气藏物质平衡分析方法、油气田开发模式及产量递减分析法、试井分析方法、油气储量及原油采收率计算等内容,另外对现代油藏工程方法—油藏数值模拟进行了介绍。

本书方法性及实用性较强,适用于石油地质和油藏工程专业教学用书,也可供油田开发、油藏工程的科研及现场技术人员使用。

在本书编写过程中,中国地质大学资源学院石油系的同仁对本书大纲的修订、内容的取舍提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

油藏工程是一门发展中的学科,涉及到不同的学科领域,有许多内容尚待进一步研究与开发。由于编者的水平有限,书中定有不妥之处,敬请各位专家、同行及广大读者批评指正,以便进一步改进提高。

编 者

2004年3月于武汉

目 录

第一章 油田开发基础	(1)
第一节 油田开发前的准备阶段	(1)
第二节 油田开发的方针和原则	(3)
第三节 油田开发程序	(5)
第四节 油田开发层系的划分与组合	(7)
第五节 砂岩油田注水开发	(9)
第二章 水驱油的基本理论	(13)
第一节 水驱油藏内饱和度的分布	(13)
第二节 分流方程	(14)
第三节 前缘推进方程	(19)
第四节 韦尔杰方程	(22)
第五节 注水开发油田油井见水时间及见水前后的驱油效率	(24)
第六节 线性地层水驱油时的产量公式	(25)
第三章 水驱油藏的统计规律分析法	(28)
第一节 四种水驱特征曲线的基本关系式	(28)
第二节 水驱曲线特征直线段出现时间	(32)
第三节 水驱特征曲线的应用	(32)
第四节 甲型水驱曲线直线段的校正方法	(34)
第五节 利用水驱曲线推出的应用规律	(36)
第六节 水驱油藏油井含水产油的动态规律	(38)
第四章 油气藏物质平衡分析方法	(44)
第一节 油藏饱和类型和驱动类型的划分	(44)
第二节 油藏物质平衡方程式的建立	(45)
第三节 天然水侵量的计算	(51)
第四节 气藏物质平衡方程式	(61)
第五节 应用举例	(66)
第五章 油气田开发模式及产量递减分析法	(71)
第一节 油气田开发模式图及开发阶段的划分	(71)
第二节 产量递减规律	(72)
第三节 递减类型的对比	(77)
第四节 递减类型的判断	(79)
第五节 产量递减分析法的应用	(84)
第六节 应用举例	(85)
第六章 试井分析	(90)
第一节 稳定试井分析	(90)

第二节	不稳定试井分析概述	(94)
第三节	常规试井分析法	(98)
第四节	现代试井分析方法	(112)
第七章	油气储量及原油采收率计算	(120)
第一节	关于储量和含油饱和度的常用术语	(120)
(1) 第二节	油气储量	(121)
(1) 第三节	油气储量计算	(125)
(2) 第四节	提高油井产量原理及方法	(130)
(3) 第五节	影响原油采收率因素及确定采收率方法	(131)
第八章	现代油藏工程方法——油藏数值模拟	(141)
(4) 第一节	模拟模型的设计	(142)
(1) 第二节	建立模拟的网格系统	(145)
(2) 第三节	输入参数赋值	(149)
(1) 第四节	历史拟合	(152)
(4) 第五节	产量预测	(157)
(2) 第六节	不确定性评估	(160)
主要参考文献	(162)

第一章 油田开发基础

一个构造或地区在发现工业油气流之后,就进入详探阶段并逐步投入开发。所谓油田开发,就是依据详探成果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,按石油市场的需求,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,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,直至开发结束。

油田的正规开发包括下面三个阶段:

- (1) 开发前的准备阶段,包括详探、开发试验等;
- (2) 开发设计和投产阶段,包括油层研究和评价、全面部署开发井、制订射孔方案、注采方案和实施;
- (3) 方案的调整和完善阶段。

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,对含油构造或者一个预定的开发区取得必要的资料,进行综合研究,力求搞清主要地质情况和生产规律,并计算出开发储量,为编制开发方案作准备。

油田开发方案是整个油田开发工作的依据,油田投入开发前必须有正式批准的开发方案。虽然设计者尽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都认识得很清楚,因而在油田投产以后,会在某些问题上出现与原方案设计不符合的情况,所以必须定期、分阶段的根据动态监测和开发进程调整开发方案。

第一节 油田开发前的准备阶段

油田开发前的准备阶段的主要工作是进行详探,以便全面认识油藏和计算储量;进行生产试验,以便认识油田的生产规律;并进行有关专门的开发试验,取得第一手资料,从而为编制正式开发方案提供可靠的依据。

一、详探阶段油藏研究的内容

(1) 详探阶段要通过地震细测、钻详探井、取心、测井、试油和生产试验等方面的工作,搞清以下 10 个问题:

- ① 地层层序及接触关系;
- ② 地层剖面对中钻井工程有较大影响的浅气层、高压水层、易塌层、易膨胀层、膏盐层等特殊岩层的地质情况;
- ③ 储油层构造特征,包括褶皱、断层、裂隙特征等;
- ④ 储油层的岩石性质、孔隙分布特征及储油物性特征;
- ⑤ 纵向上油气水层分布情况,平面上和油层内部油气水分布关系;
- ⑥ 油气水的物理化学性质;
- ⑦ 油层压力和温度;

- ⑧ 油层生产能力和吸水能力；
- ⑨ 油藏驱动类型和驱动能量；
- ⑩ 水文地质特征和地下水动储量。

在搞清这些问题的基础上,对油藏进行综合研究,并计算储量。

(2) 发现工业油流的地区,应进行地震细测工作,查明油藏构造情况。通常地震细测测线密度应在 $2\text{km}/\text{km}^2$ 以上,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。

(3) 详探阶段必须钻详探资料井,通常是相距 $2\sim 3\text{km}$ 一口井。

每口资料井的含油层要全部取心,岩心收获率应在 90% 以上。

(4) 搞好测井工作,建立油田的测井系列和各种解释图版。

测井系列应能满足以下地质研究的要求:

- ① 判断油气水及干层;
- ② 定量解释孔隙度、渗透率、含油水饱和度;
- ③ 划分渗透层、裂缝段、有效厚度、隔层及特殊岩层;
- ④ 地层对比、沉积相研究等。

基本测井系列应为:电阻率测井系列,孔隙度测井系列,以及完井工程测井。

(5) 详探井和资料井都要系统分层试油,通过试油要搞清楚:

- ① 油气水分布;
- ② 油气产能;
- ③ 原始油层压力及各层组、区块的压力系统;
- ④ 油气水性质;
- ⑤ 边水及底水能量。

二、油田开发生产试验区和开发试验

开辟生产试验区的目的是用“解剖麻雀”的方法,在油田上突破一点,取得经验,指导油田的开发,它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。

1. 开辟生产试验区的基本原则

(1) 生产试验区的位置和范围在油田应具有代表性。通过试验区所取得的认识和经验具有普遍的指导意义。

(2) 生产试验区应具有一定的独立性。可以利用断层或切割井排作为边界。这样既不因生产试验区的建立而影响全油田整个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。

(3) 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对此类油田开发的经验教训上。既要考虑对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。

(4) 生产试验区也是油田第一个投入的生产建设区。既要担负典型解剖提供经验的任务,又要完成生产指标,因此在选择时应考虑油田的生产能力、区块建设的规模和运输条件等,以保证试验研究和生产任务同时完成,进展快而且质量又高。

2. 生产试验区的主要任务

(1) 研究主要油层。主要研究油层的小层数目,各小层面积及分布形态、厚度、储量以及孔

隙度、渗透率的大小和非均质情况,总结油层变化的规律,进行小层对比,研究小层连通情况。

(2) 研究井网和布井方式,包括排距、井距及井网密度等;研究开发层系划分的标准;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。此外,还应研究不同井网的经济技术指标的评价方法。

(3) 研究生产动态规律和合理采油速度;研究油层压力变化规律和天然能量大小;研究合理的地层压力下降界限和驱动方式以及保持能量的方法;研究注水后油水层间干扰及井间干扰,观察单层突进、平面水窜及油气界面与油水界面运动情况,掌握水线形成及移动规律和各类油层的见水规律。

(4) 研究合理的采油工艺技术以及增产、增注措施的效果。

以上几点只是生产试验的主要任务,实际上还必须根据各油田的不同地质条件和生产特点,确定针对某个油田的一些特殊任务。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、稠油区及特厚油层的开采特点,都应结合实际进行研究。

生产试验区也是一个开发区。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,为了搞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,为制定开发方案的各项技术方针和原则提供依据。

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。

3. 重大和基本的开发试验所包括的主要内容

(1) 油田各种天然能量试验。这些能量包括弹性能量、溶解气驱能量、边水和底水能量、气顶气膨胀能。

(2) 井网试验。包括各种不同井网(面积、行列等)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益的影响。

(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、平面的波及效率及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是很多的,例如边水推进速度、底水突进、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。

(5) 油田注水的各种试验。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,合理注采比、无水采收率、见水时间,以及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。

总之各种开发试验应贯穿于整个油田的始终。

第二节 油田开发的方针和原则

油田开发方案是在详探和生产试验的基础上,经过充分研究以后,在保证油田开发方针和

原则的前提下,使油田投入长期和正式生产的一个总体部署和设计。它是油田开发工作的重要技术文件。油田开发方案的好坏,直接决定了油田今后生产的好坏,若方案制定得不合理,对今后的生产影响很大,因此要认真对待油田开发方案的设计工作。

一、油田开发方案的主要内容

- (1) 油田地质情况;
- (2) 储量计算(指开发储量及其核实现况);
- (3) 开发方针及原则;
- (4) 开发程序;
- (5) 开发层系、井网、开采方式和注采系统;
- (6) 钻井工程和完井方法;
- (7) 采油工艺技术;
- (8) 开采指标;
- (9) 油气水的地面集输和处理;
- (10) 技术经济评价;
- (11) 实施要求。

二、油田开发方针

油田开发必须依据一定的方针来进行。正确的开发方针,是根据需要和可能制定的。我国油气田开发的基本方针是,贯彻执行持续稳定发展的方针,坚持少投入、多产出,提高经济效益。具体地说,油田开发方针的制定应考虑如下几方面的问题:

- (1) 采油速度;
- (2) 油田地下能量的利用和补充;
- (3) 采收率的高低;
- (4) 稳产年限;
- (5) 经济效益;
- (6) 工艺技术水平;
- (7) 综合利用及环境保护。

三、油田开发原则

在编制油田开发方案时,必须依据开发方针,针对所开发油田的具体情况和所掌握的工艺技术手段与建设能力,制定具体的开发原则。这些原则是:

- (1) 在油田地质条件允许的前提下,高速度地开发油田,以满足国家对原油的需要。
- (2) 最充分地利用天然资源,保证油田获得最高的采收率和较长的稳产年限。
- (3) 具有最好的经济效益,用最少的人力、物力、财力来采出最多的油气,即少投入,多产出。
- (4) 尽可能采用最先进的技术和装备。

这些原则应对以下几方面作出具体规定。

1. 采油速度和稳产期限

采油速度和稳产期的研究必须根据油田地质开发条件和工艺技术水平,以及经济效果,用

经济指标来优化最佳的采油速度和稳产期限。

2. 规定开采方式和注水方式

在开发方案中,必须明确规定油田以什么方式进行采油?什么驱动类型?如何转化开采方式?转化的时间及其相应的措施?如果油田必须注水,应确定注水时间,早期注水还是晚期注水及采取什么样的注水方式。

3. 确定开发层系

一个开发层系是由一些独立的、上下有良好隔层、油层性质相近、驱动方式相近、油水气界面相近、具备一定储量和生产能力的油层组成。它用一套独立的井网进行开发,是一个最基本的开发单元。当开发一个多油层油田时,必须正确地划分和组合开发层系。一个油田用一套层系或是用几套层系开发,是开发方案中一个重大决策。它涉及到油田基本建设规模的问题,也是决定油田开发效果的重要因素,因此应慎重地加以解决。

4. 确定开发步骤

开发步骤是指从布置基础井网开始,一直到完成注采系统、全面注水和采油的整个过程中所必经的阶段和每一步的具体作法。合理的开发步骤是根据科学开发油田的需要而制定的。对于一个多油层的油田来说,应包括以下几方面。

(1) 基础井网的部署。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,它也是进行开发方案设计时提供开发区油田地质研究的井网。

(2) 确定生产井网和射孔方案。根据基础井网,待油层对比工作完成以后,全面部署各层系的生产井网。依据层系和井网确定注水井和采油井的原则,并编制方案进行射孔投产。

5. 确定合理的布井原则

合理布井要求在保证采油速度的条件下,采用井数最少的井网,并最大限度地控制住地下储量以减少储量损失。对于注水开发的油田,还必须使绝大部分储量处于水驱范围之内,保证水驱储量最大。除了进行地质研究以外,还要应用数值模拟方法进行动态指标的计算和经济指标的分析,最后作出方案的综合评价,并选出最佳方案。

6. 确定合理的采油工艺技术和增产增注措施

在方案中必须针对油田的具体地质开发特点,提出应采用的采油工艺手段,尽量采用先进的工艺技术,使地面建设符合地下实际,使增注措施能充分发挥作用。

第三节 油田开发程序

油田从发现、评价到投入开发的全过程,按照任务、目的的不同划分为若干阶段。做好各阶段及相互间的衔接工作,就能以最少的井数、最快的速度查明油田地质特征,编制出最佳方案,使油田投入开发生产。随着开发过程的延续,及时对原定开发部署进行调整,以取得最好的开发效果。油田开发程序就是解决各阶段的安排及衔接关系的。

一、合理的开发程序

石油勘探开发工作是人们对油田不断实践和认识的过程。通过油田勘探工作,对油田地质情况有了初步认识,部署了开发工作。在油田开发过程中,一方面证实了原有的地质特征、开采规律的正确部分;另一方面暴露出新的矛盾,通过深入的研究,有了新的认识,重新制定措

施,从而更好地指导油田开发工作,这是一个实践——认识——再实践——再认识的反复过程。合理开发程序就是正确地处理好认识油田和开发油田的矛盾,把勘探和开发油田的工作很好地结合起来,分阶段、有步骤地开发油田。

在确定油田开发程序时,要注意以下问题:

(1) 对于非均质多油层的大油田,在进行油藏评价的同时开辟生产试验区,了解地质、生产、渗流的规律,提前暴露矛盾,以指导其后的地质研究和开发部署。

(2) 对于已确定采用多套层系开发的油田或区块,选择油层认识清楚,储量大、产能高的层系首先钻井开发。这第一批井既是开发井,又是其余各层系的评价井(详探资料井),因其井网密度较评价井网大,是有利于研究、认识较差油层的。

(3) 对于已确定投入开发的层系,还要注意钻井次序、井别确定、射孔原则及配注指标等工作,为获得好的开发效果奠定基础。

(4) 对于已投入开发的区块,针对出现的矛盾进行调整时,要将注水方式、井网部署、开发层系综合考虑。

二、合理开发程序的确定

合理的开发程序对于非均质多油层的大油田和复杂断块油田具有重要的意义。国内当前各大含油区的作法不太一致。现仅就非均质多油层大油田的确定方法加以说明。

1. 分区部署评价井网

油藏评价阶段的主要任务是提高评价区的勘探程度,搞好油藏描述,进行开发可行性研究。根据评价井的资料,要提交产层顶面构造图,定量求出孔隙度、渗透率、含油(气)饱和度及有效厚度;进行试油、试采,求准油井产能,油气、油水界面,有效厚度下限及油藏能量等资料;进行岩心的室内常规分析及特殊分析,取得油层物性及渗流物性的各项参数;算准油气储量。

2. 开辟生产试验区

开辟生产试验区是油田开发前的准备,及早揭示油田开发过程中可能出现的问题,为进行开发部署、改善开发效果提供依据。

3. 部署基础井网

通过生产试验区的解剖和分区油藏评价井的加密钻探,对主力油层有了较清楚的认识,可以把主力油层作为主要的开发对象,首先部署井网,称为基础井网,即开发区的第一套正式开发井网。它的任务是在开发主力油层的同时,进一步探明油田构造,断层的位置和特征,以及其他油层的性质及分布状况,为油田投入全面开发取全取准各种资料。基础井网的部署应该在开发区总体开发设想的基础上进行,便于和开发区内其他开发层系的综合利用,不能孤立进行部署。另外,基础井网在实施上要分步进行,基础井网钻完后,暂不射孔投产,因为即使最稳定的油层也必然会有岩性、岩相的变化,往往使预定的计划不能实现。待对开发区的开发部署进行全面研究后,再射孔投产。这样,在基础井网全面实施的过程中,对新区的地质情况,可获得再一次认识的机会,并取得及时调整开发方案的主动权。

4. 正式开发方案的编制与实施

基础井网全面钻井后,掌握了开发区的地质情况,就可以着手编制开发区的正式开发方案,将开发区全面投入开发。实施开发方案时,要根据开发井网钻完后的资料,全面考虑注采关系。若发现注水井位于尖灭区内,使得油砂体上的采油井不能充分受到注水效果时,应尽可能调整注采井别,以适应油层特点。

5. 开发方案的调整

开发方案实施后,开发生产中会不断出现各种矛盾,达不到预期的开发指标,势必影响最终的开发效果。于是在油田投入开发之后,就开始了调整工作,如采取各种工艺技术措施,调整油水井工作制度,调整注水方式及井网等,但总体上讲应当按阶段综合进行。一般情况下,发现由于原开发方案设计不符合实际状况;井网对储量控制程度低,达不到采油速度的要求;开采方式不合理或产量虽下降而油田尚有生产潜力时,都应进行开发调整。

开发方案调整属于重大技术改造和基本建设项目,必须经过科学论证,编制出相应的调整方案,经过严格的审批后方予以实施。

上述开发程序对具体油田来说不会完全相同,也不是每个步骤都必须经过,应该根据每个油田的具体情况而定。

第四节 油田开发层系的划分与组合

目前世界上发现的油田,很少是均质单一的油层。特别是碎屑岩储油层的大油田或特大油田,不仅油层多,而且差异大。我国现有的油田大部分属于陆相沉积的非均质、多油层油田。这类油田的主要特点是:油层层数多、各层互不连通,油层的岩性及物性和其中的油、气、水的物性变化很大,分布很不均匀。在开发非均质、多油层油田时,如果只笼统地用一套井网进行开发,不仅给提高采油速度、进行生产管理、油井作业等带来很大的困难,而且会严重影响油田最终采收率。为此常把一些性质相近的油层组合在一起,采用与之相适应的井网、注水方式和工作制度分别进行开发。用同一井网同时开发的若干油层的组合,称之为一个开发层系。油田开发层系的划分是提高油田开发效果的重要措施之一。

一、划分油田开发层系的原则

划分开发层系,就是要把特征相近的油层组合在一起,用一套井网单独生产。根据国内外的经验教训,合理组合和划分开发层系的原则是:

(1) 一个独立的开发层系应具有一定的地质储量,作为高产稳产的物质基础,以保证这套层系能达到一定的采油速度,油井具有一定的生产能力,从而达到较好的技术经济指标。

(2) 一个开发层系的上、下必须具有良好的隔层,在注水开发的条件下,可以与其他层系严格地分开,以防止不同层系之间的相互窜通和干扰。

(3) 在同一开发层系内的各油层性质应该接近,主要是各油砂体的渗透率和延伸分布状况不能相差过大,保证各油层对注水方式和井网具有共同的适应性。

(4) 同一开发层系内,构造条件、油、水分布、压力系统和原油性质应接近一致,开发井段不宜过长,为简化采油工艺创造条件。

(5) 划分开发层系和确定井网时,要考虑当前分层开采工艺水平,在分层工艺所能解决的范围内,尽量不要将层系划分得过细,这样既能达到较好的开发效果,又可减少钻井及油田建设工作量。

(b) 接近原则

合理划分开发层系和采用越来越先进的开采技术,都是解决层间矛盾的重要途径,但是它们不能互相代替。分层开采工艺的发展,进一步提高了层系划分的效果,而合理地划分层系,则为充分发挥分层开采工艺的作用创造了条件,二者相辅相成。一般说来,工艺上分层段能力

大,层系可以划得简单一些;分层段能力小,就应划得细一些。采油井层系可以粗划,而注水井的层系则要细划。

二、划分与组合开发层系的方法

按照上述原则进行开发层系的划分和组合时,要从油田的实际情况出发,首先研究储量大、分布广、产能高的主力油层,然后再研究其他油层。对于不具备独立开采条件的油层,可以在个别井点单采、合采或回采。具体的划分方法如下。

(1) 详细研究和掌握各类油层、油砂体的特性,是合理划分与组合开发层系的地质基础。对各类油层组、油砂体进行分类排队,研究某一个油层组内不同渗透率、不同延伸长度、不同分布面积的油砂体所占的储量百分数。通过分类研究,掌握不同油层的特点、差异程度及其对开采方式、井网的不同要求。

(2) 对已开发区进行油砂体动态分析,为新区合理划分与组合开发层系提供依据。研究某一个油层组内不同采油速度、不同工作状况油砂体所占储量的百分数,以认识每个油砂体在开采过程中油、水运动规律及不同油砂体开采的均衡程度,进一步了解开发层系划分与组合的条件。

(3) 确定开发层系的基本单元。划分开发层系的基本单元,是指大体上符合一个开发层系的基本条件的油层组或油层,它本身可以独立开发,也可以把几个基本单元组合在一起作为一个层系开发。每个基本单元的上下必须具有良好的隔层,并有一定的储量和生产能力。

不同的油田或同一个油田的不同地区,应该根据油层流体的具体特点,采油工艺水平等,确定划分开发层系的基本单元。

(4) 进行综合分析对比,选择层系划分与组合方案时,主要考虑的指标是:① 不同层系组合所能控制的储量。② 不同层系组合所能达到的采油速度。③ 不同层系组合的无水采收率和最终采收率。④ 不同层系组合的技术经济指标。

三、各开发层系的开发次序

一个非均质、多油层的油田,根据上述原则和方法,可能划分出若干个开发层系,但往往由于地质、技术及施工速度或经济上的原因,不能把所有层系同时投入开发,这时应确定各层系投入开发的先后次序,依次进行开发。

开发层系的开发次序应按下述原则确定:

(1) 首先开发勘探程度高的层系。这种层系往往是由该油田(或该区)延伸稳定、岩性和物性变化小的主力油层组成。开发这种油层的生产井网,可以同时兼探其他油层。

(2) 首先开发储量大、产油能力高的层系。这样能尽快满足国家对原油的需要,提高经济效益。

(3) 当几套层系开发指标相当时,在经济和建设能力等条件允许的情况下,可以分别采用不同的井网同时开发。否则应尽可能先开发最下边的层系,这样便于回采上边的层系,可将其开发时间放在后面,等到基础层系开发完后再回采。这一种情况所钻的井数少,投资也少,但油田开发速度慢。

第五节 砂岩油田注水开发

一、油田注水方式

所谓注水方式,就是油水井在油藏中所处的部位和它们之间的排列关系。目前国内外应用的注水方式或注采系统,主要有边缘注水、切割注水、面积注水和点状注水四种方式。

1. 边缘注水

采用边缘注水方式的条件为:油田面积不大,构造比较完整,油层稳定,边部和内部连通性好,流动系数较高,特别是钻注水井的边缘地区要有较好的吸水能力,能保证压力有效地传递,使油田内部收到良好的注水效果。

边缘注水根据油水过渡带的油层情况又分为以下三种。

(1) 边外注水(缘外注水):注水井按一定方式(一般与等高线平行)分布在外油水边缘处,向边水中注水。这种注水方式要求含水区内渗透性较好,含水区与含油区之间不存在低渗透带或断层。

(2) 缘上注水:由于一些油田在含水外缘以外的地层渗透率显著变差,为了提高注水井的吸水能力和保证注入水的驱油作用,而将注水井布在含油外缘上,或在油藏以内距含油外缘不远的地方。

(3) 边内注水:如果地层渗透率在油水过渡带很差,或者过渡带注水根本不适宜,而应将注水井布置在含油边界以内,以保证油井充分见效和减少注水外逸量。

2. 边内切割注水方式

对于面积大、储量丰富、油层性质稳定的油田,一般采用内部切割行列注水方式。在这种注水方式下,利用注水井排将油藏切割成为较小单元,每一块面积(一个切割区)可以看成是一个独立的开发单元,可分区进行开发和调整,如图 1-1 所示。

边内切割注水方式适用的条件是:油层大面积分布(油层要有一定的延伸长度);注水井排上可以形成比较完整的切割水线,保证一个切割区内布置的生产井和注水井都有较好的连通性;油层具有较高的流动系数,保证在一定的切割区和一定的井排距内,注水效果能较好地传到生产井排,以便确保在开发过程中达到所要求的采油速度。

采用内部切割行列注水的优点是:

- (1) 可以根据油田的地质特征来选择切割井排的最佳方向及切割区的宽度;
- (2) 可以根据开发期间积累的油田详细地质资料,进一步修改所采用的注水方式;
- (3) 用这种切割注水方式可优先开采高产地带,从而使产量很快达到设计水平;
- (4) 切割区内的储量能一次全部动用,使油藏一次投入开发从而提高采油速度,而且注水线不需要移动,既减少了注入水的外逸,也简化了注水工艺。

在油层渗透率具有方向性的条件下,采用行列井网,由于水驱方向是恒定的,只要弄清油

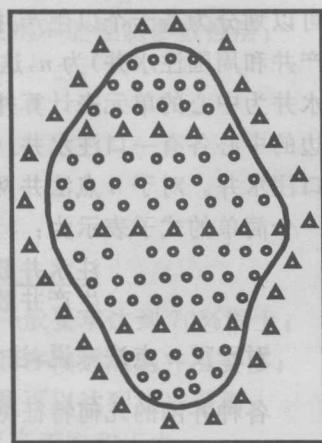


图 1-1 切割注水示意图

△—注水井;○—生产井

田渗透率变化的主要方向,适当地控制注入水流动方向,就有可能获得较好的开发效果。但是这种注水方式也有其局限性,主要是:

(1) 这种注水方式不能很好地适应油层的非均质性;

(2) 由于油层的非均质性,在一个区内,注水井可能钻在低产区,而油井在高产区,也可能为相反情况,因此,便不得不加钻注水井或改变注水方式;

(3) 注水井间干扰大,井距小时干扰就更大,吸水能力比面积注水低;

(4) 注水井成行排列,在注水井排两边的开发区内,压力不总是一致,其地质条件也不相同,这样便会出现区间不平衡,内排井生产能力不易发挥,而外排井生产能力大、见水快。

在采用行列注水的同时,为了发挥其特长,减少其不利之处,主要采取以下措施:

(1) 选择合理的切割宽度;

(2) 选择最佳的切割井排位置;

(3) 辅以点状注水,发挥和强化行列注水系统;

(4) 提高注水线同生产井井底间的压差。

3. 面积注水

面积注水是将注水井按一定几何形状和一定的密度均匀地布置在整个开发区上,这种注水方式实质上是把油层分割成许多更小的单元,一口注水井控制其中一个单元,并同时影响几口油井。而每口油井又同时在几个方向上受注水井的影响。显然这种注水方式有较高的采油速度,生产井容易受到注水的充分影响。根据油井和注水井相互位置及构成井网形状的不同,面积注水可分为四点法面积注水、五点法面积注水、七点法面积注水、九点法面积注水、反七点法面积注水和正对式与交错式面积注水。

常用的面积注水井网习惯上以一口生产井为中心的 n 点法命名(图 1-2),这一类井网都可以划分为若干个以生产井为中心的注采单元。如果某个代表单元的总井数(包括中心的生产井和周围注水井)为 n ,这种注水方式即被称为 n 点法, n 可以命名为井网系数;若以一口注水井为中心的单元来计算井数时,则称为反 n 点法。例如九点井网,是正方形的四个角和四个边的中心各有一口注水井,中心为一口生产井;反九点井网则是四周为 8 口生产井,中心为一口注水井。对于 n 点法井网而言,在一个大型开发面积内,注水井数与生产井数的比值可以用一个简单的式子表示为:

$$\frac{\text{注水井数}}{\text{生产井数}} = \frac{n-3}{2} = R_1 \quad (1-1)$$

对于反 n 点法来说,注水井数与生产井数的比值为 $\frac{1}{R_1}$ 。

各种井网的几何特征见表 1-1 所示。

表 1-1 注水井网的特征

井网	四点	歪四点	五点	七点	九点	反九点	直线排状	交错排状
注水井与采油井的井数比	1:2	1:2	1:1	2:1	3:1	1:3	1:1	1:1
单元几何形状	等边三角形	等腰三角形	正方形	正六边形	正方形	正方形	长方形	长方形

表中列的都是具有完整的几何图形的井网,但由于有的油藏面积小或由于有的是试验需

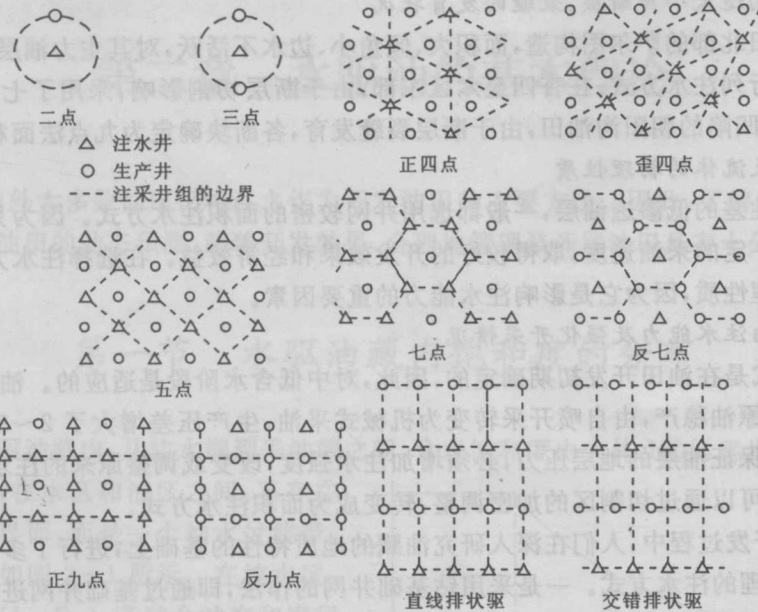


图 1-2 面积注水井网

△—注水井；○—生产井

要也可能出现孤立的二点、三点、反五点及反七点井网。

早期进行面积注水开发时,注水井经过适当排液,即可转入注水,并使油田全面投入开发。采用面积注水方式的条件是:

- (1) 油层分布不规则,延伸性差,多呈透镜状分布,用切割式注水不能控制多数油层;
- (2) 油层的渗透性差,流动系数低;
- (3) 油田面积大,构造不完整,断层分布复杂;
- (4) 适用于油田后期的强化开采,以提高采收率;
- (5) 要求达到更高的采油速度。

二、选择注水方式的原则

- (1) 与油藏的地质特性相适应,能获得较高的水驱控制程度,一般要求达到 70% 以上;
- (2) 波及体积大和驱替效果好,不仅连通层数和厚度要大,而且多向连通的井层要多;
- (3) 满足一定的采油速度要求,在所确定的注水方式下,注水量可以达到注采平衡;
- (4) 建立合理的压力系统,油层压力要保持在原始压力附近且高于饱和压力;
- (5) 便于后期调整。

三、影响注水方式选择的因素

1. 油层分布状况

合理的注水方式应当适应油层分布状况,以达到较大的水驱控制程度。对于分布面积大、形态比较规则的油层,采用边内行列注水或面积注水,都能达到较高的控制程度。采用行列注水方式,由于注水线大体垂直砂体方向有利于扩大水淹面积。对于分布不稳定、形态不规则、小面积分布成条带状油层,采用面积注水方式比较适用。