

油气藏 工程基础

童孝华 匡建超 编



石油工业出版社

TE3/055

0570790

油气藏工程基础

TE3
055

童孝华 匡建超 编



石油大学

0618546

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要阐述油气藏工程基本原理和油气藏工程方法。包括油气田开发地质基础、油气藏的压​​力系统研究及驱动方式、油气井开采时地层流体的渗流规律、试井分析方法、油气藏物质平衡分析方法,以及油气藏现代动态预报方法等内容。

本书适用于从事油气藏工程的工程技术人员阅读,也可作为石油地质和油藏工程专业教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

油气藏工程基础/童孝华 匡建超 编.

北京:石油工业出版社,1996.3

ISBN 7-5021-1650-8

I. 油…

II. ①童…②匡…

III. ①油田开发-基础理论②气田开发-基础理论

IV. TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 23754 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

石油管道报社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开 14.625 印张 370 千字 印 1-1000

1996 年 3 月北京第 1 版 1996 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1650-8/TE·1406

定价: 15.00 元

目 录

第一篇 油气藏工程基本原理

第一章 油气田开发地质基础	(3)
第一节 油田开发前的准备阶段	(3)
第二节 油气田开发方针和原则	(6)
第三节 油气田开发程序	(10)
第四节 油田开发层系的划分	(11)
第五节 砂岩油田注水开发及井网部署	(14)
第六节 油气田开发方案的编制	(21)
第二章 油气藏的压力系统研究及驱动方式	(25)
第一节 油气藏的地层压力与折算地层压力	(25)
第二节 油气藏的压力系统判断及其应用	(27)
第三节 油气藏的主要驱动方式	(31)
第三章 油气井开采时地层流体的渗流规律	(44)
第一节 渗流的基本定律	(44)
第二节 单相流体稳定渗流规律	(47)
第三节 气体的稳定渗流规律及稳定试井与应用	(59)
第四节 油井的完善性对产量的影响	(67)
第五节 非牛顿液体的力学特征及对油井开采的影响	(74)
第六节 多井开采时的渗流规律	(79)
第四章 水驱油理论基础	(96)
第一节 水驱油藏内饱和度的分布	(96)
第二节 水驱油藏内岩石及流体的接触特征	(97)
第三节 f_w 公式的建立及影响因素分析	(98)
第四节 饱和度的推进公式	(102)
第五节 油水开发油田的油井见水时间及见水前后的累积采油量与采收率	(107)
第六节 线性地层水驱时的产量计算及注水油田影响波及系数的主要因素	(109)

第二篇 油气藏工程方法

第一章 试井分析方法及其应用	(115)
第一节 试井分析方法综述	(115)
第二节 试井解释的基本原理及解释的一般程序	(117)
第三节 常规试井分析方法	(124)
第四节 现代试井分析方法——典型曲线拟合法	(134)
第五节 气井的不稳定试井解释方法	(137)
第二章 油气藏物质平衡分析方法	(142)
第一节 油藏的物质平衡方程	(142)

第二节	天然水侵量的计算方法	(147)
第三节	气藏的物质平衡方程	(157)
第四节	最优化方法在物质平衡计算中的应用	(160)
第五节	水驱气藏排水采气动态规律预	(167)
第三章	油气藏的经验分析方法	(173)
第一节	油气田产量递减类型	(173)
第二节	递减类型的确定	(177)
第三节	气井(田)产量递减分析	(182)
第四节	水驱特征曲线分析及应用	(187)
第四章	油气藏现代动态预报方法	(194)
第一节	灰色系统理论及预测方法	(195)
第二节	神经网络理论及预报方法	(203)
第三节	现代产量递减分析	(214)
第四节	自回归滑动平均(ARMA)模型预测油气井动态	(218)
第五节	自适应预测方法简介	(223)
主要参考文献		(227)

第一篇 油气藏工程基本原理

第一章 油气田开发地质基础

一个含油气构造经过初探发现具有工业油气流以后,接着就要进行详探(或评价),然后逐步投入开发。所谓油田开发,就是依据详探成果和必要的生产性开发经验,在综合研究的基础上对具有工业价值的油气田,按国家对原油和天然气生产的需求,从油气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气田进行建设和投产,使油气田按预定的生产能力和经济效益长期生产,直到开发结束。

油田的正规开发要经历下面三个阶段:

- (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:包括油层研究和评价、全面部署开发井、制订射孔方案和注采方案及实施;
- (3) 方案的调整和完善。

本章将就开发准备和开发设计工作中有关基础工作和基本方法进行简要叙述。实际工作中,由于各个油气田的具体情况不尽相同,因此各自的勘探开发程序的具体环节也应根据具体情况制订。

油田正式投入开发之前,必须进行详探,详探就是运用各种可能的手段和方法,对含油气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。由于这一部分是油田开发极为重要的关键性环节,所以将作为本章的重点进行叙述。

油气田开发方案的制订和实施是油气田开发的中心环节,必须切实地完整地对各种可行方案进行详细制订、评价和全面对比,然后确定出符合油田实际、技术先进、经济上优越的可行方案。事实上,虽然我们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,这就不可避免地在油田投产后,会在某些问题上出现一些原来估计不足,使其生产动态与方案设计不相符的情况,加之国家对油田生产不断提出新的要求,因而在油田开发过程中必须不断地进行调整和完善,所以整个油田开发的过程也就是一个不断重新认识和不断调整的过程。

此外,油田的注水开发是目前的一种主要开发方式,所以对于注水开发的有关问题也应加以讨论;气田开发主要利用天然能量进行衰竭开发,对开发方案编制的有关问题也应加以讨论。

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,摸索油田的生产规律,并进行有关专门的开发试验(如克拉玛依油田三₃区试注CO₂),取得第一手资料,以便更好地为编制正式的开发方案提供可靠的依据。由于这一阶段研究工作的内容很多(包括地质研究、工程技术研究、室内实验研究和生产观察等),而这些工作必须根据具体情况进行选择。在选择之前应有一个比较细致周密的计划,以保证各方面

的工作都能做好。

一、详探阶段的任务和方法

1. 详探阶段的主要任务

(1) 通过地震细测及对比、钻井取心分析、试油、测井及高压物性试验等,要求弄清全部含油地层的层序及其接触关系,各层系中油、气、水分布情况及其性质,尤其要搞清层段中隔层和盖层的性质,同时还应注意出现的特殊地层,如气夹层、水夹层、高压层和底水等等。

(2) 搞清全油田范围的沉积背景,研究储集类型、储油层的构造形态和圈闭条件,探明全油田面积及与外界的连通情况(包括油气水分布关系)。同时要研究储集层结构、岩石物性、流体特性以及断层分布等情况。

(3) 做深入细致的工作,进行分区分层组储量计算和可采储量计算。只有这样,油田建设规模的大小才有切实可靠的依据。

(4) 研究油层边界的性质,确定油层天然能量、驱动类型和压力系统等。

(5) 了解油井生产能力、出油剖面、递减情况、层间及井间干扰等问题。对于注水井还需了解吸水剖面和吸水能力。

从以上详探阶段的任务可知:为了完成这些任务,单靠某一种方式或某一方面的工作是不够的,必须联合作战,诸如地震细测、钻详探井以及取心、测井、试采和分析化验研究等。

2. 详探阶段的手段和方法

(1) 地震细测工作:对于预备开发地区,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。通常测线密度在 $2\text{km}/\text{km}^2$ 以上,而在断层及复杂地带,测线密度更应加大。地震细测资料的解释,主要目的是查明油藏构造及断裂情况(包括主要断层的走向、落差、倾角等),以确定含油带圈闭面积、闭合高度等。若是断块油藏,更应依据地震工作以便搞清断块的大小、分布及组合关系。对构造简单的中深油藏,要基本搞清断距大于 30m 的断层分布情况。而对复杂的断块油藏,要划分出断块区,并结合探井资料,编制出主要储集层的构造图。

(2) 钻详探资料井:详探工作最主要的是打详探井,直接认识油层。原则是尽量少打井而又能准确地认识和控制全部油层,通常是相距 $2\sim 3\text{km}$ 一口井,若是复杂的断块油田,控制面积可缩小到 $1\sim 2\text{km}^2$,甚至更小。每口资料井的含油层要全部取心,岩心收获率应在 90% 以上。地质储量大于 $0.5\times 10^8\text{t}$ 的油田,要选用油基钻井液进行密闭取心获取原始资料,系统测定渗透率、有效孔隙度、油水饱和度、颗粒粘度和矿物成分、胶结成分及含量等,要编制出完整的综合柱状剖面图。

除通过详探井的录井、岩心分析、测井解释等取得资料外,还应进行详细的地层对比,对于油层的性质及分布,特别是稳定油层的性质及分布必须搞清,以便为下一步部署生产井网提供地质依据。同时还要对比主要隔层,以便划分开发层系和生产层段。对断裂复杂地区应对断层性质进行详细的研究和评价。此外,在通过系统取心及分析、分层试油获得分层产能以后,可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:油井试采是全面开发前必不可少的一个重要步骤。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行之有效的依据。一般情况下,试采是分单元按不同的含油层系分别进行,要按一定的试采规划,确定出相当数量能代表这一油区、这一层系特征的油井,按要求试油后,以较高的产量、工作制度进行试生产。试采期限的长短,视油

田的大小、试采的任务不同而不同。总的要求是通过试采、试注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。试采的主要任务是搞清油层,特别是分布稳定的好油层的生产能力、产量递减规律、油层连通情况、层间干扰现象,以及生产井的合理工艺技术、油层改造措施等。试注的主要任务是弄清吸水层位剖面及吸水能力等。

依据详探资料井和油井试采获得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,为了制定比较合理的方案,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完善和正确,而这些问题,单凭详探资料井和试采往往是不够的。因此,对于一个大油田,还要进行多方面的开发试验,而且往往是大规模的开发试验,而这些试验对于新开发地区和大型油田尤为重要。

二、油田开发生产试验区和开发试验

在经过试采较详细地了解地质情况和基本生产动态以后,为了更真实地认识油田,掌握在正式投入开发以后的生产规律,对于准备开发的大油田,在详探资料较多、建设条件有利和相对说来有代表性的地区,首先划出一小块面积,用正规井网正式开发作为生产试验区。这一区域应按正规的开发方案进行设计,严格划分开发层系,选用某种开采方式(如早期注水或利用天然能量开采)、井网布置(如行列注水、面积注水、注采井数比例),提前投入开发取得经验,以指导其他地区。对于复杂油田和中小型油田,不具备开发区试验条件时,也应力求开辟试验单元或试验井组,以取得经验,为全油田开发方案的设计取得可靠的数据。

开辟生产试验区是油田开发工作的重要组成部分,因此正确选择生产试验区,是开发工作不容忽视的一个问题,一般说来,应遵循如下原则。

1. 生产试验区的选择

生产试验区的选择应考虑以下几个因素:

(1) 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。同时,生产试验区应具有一定的独立性,既不因有了生产试验区而影响全油田整个开发方案的完整与合理,也不因其他相邻区块开发而影响试验区任务的继续完成。

(2) 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。

(3) 生产试验区也是油田第一个投入的开发生产区。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,除了考虑前面两个因素外,还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。主要是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,总结认识油层变化的规律,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,以及合理注采层段的办法;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,以及完成这一任务的地面建设和采油工艺方法。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及最大有效产量;研究油层压力变化规律和天然

能量大小；研究合理的油层压力下降界限和驱动方式，以及保持油层能量的方法；研究注水后油水井层间干扰及井间干扰，观察单层突进（舌进、指进、锥进）、平面水窜及油气界面与油水界面运动情况，掌握水线形成及其移动规律和各类油井见水规律。

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

上面几点仅仅是生产试验区的主要任务，各油田都适合。但对一个具体油田来说，还应根据它的地质条件 and 生产特点，确定针对该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发特点，都应结合实际加以具体研究。

以上所说的生产试验区也是一个开发区。由于受各方面的限制，尽管试验任务完成得很好，但还是一个局部问题，而不能代替全部，如果区块选得不合理，那它更不能代表整个油田。因此，为了弄清在一个油田开发过程中出现的各种问题，除搞生产区试验外，还必须进行多种综合和单项的开发试验，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，也可以选择井组、试验单元来进行。至于试验项目名称，应由各油田自行确定，不能一律对待。

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。它包括弹性能量、溶解气驱能量、气顶膨胀能量和边水底水能量。

（2）井网试验。合理的井网布局另有专节讨论，这里所说的井网试验，应包括不同井网（如面积、行列等）和不同井网密度所能取得的最大有效产量和合理生产能力、不同井网产能的变化规律、对油层的认识程度，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的试验，不同开发方式下各类油层的层间、层面和层内干扰情况，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其效果。

（4）影响油层生产能力的各种因素，如边水推进速度、底水突进、油层原油脱气、注入水的不均匀推进和裂缝带的存在等。要解决这些问题，提高生产能力，现场多采用压裂、酸化、强注和堵水等措施。

（5）油田注水的各种试验。如合理的切割距、注采井排的排距、井距、合理注水方式及井网、合理注采比、无水采收率与见水时间，以及见水后出水规律的研究等。此外，如气顶油田注水（如老君庙油田）、断块油田注水（如克拉玛依油田克一乌大断裂附近注水）、裂缝油田以及稠油注水（克拉玛依油田九区、辽河油田部分区块）、特低渗地区注水等。

总之，各种开发试验，应该贯穿于整个油田开发的始终。开发过程也是各种试验完善的过程，一种试验失败了，应立即寻求新的合理的试验来代替它，使整个油田开发趋向合理。当然，也应该坚持使试验早期进行，走在前面，以便取得经验，指导全油田投入开发。

第二节 油气田开发方针和原则

油气田的开发方案是在详探（或评价）和生产试验的基础上，经过充分研究以后，在保证油气田开发方针和原则的前提下，使油气田投入长期和正式生产的一个总体部署和设计。它是油气田开发工作的重要技术文件。具体地说，油气田开发方案就是利用一定的油井分布形式；一定的井数以及它们投产的程序；利用一定油井的工作制度和油层能量促使和控制石油

从油层流向生产井井底，再由井底流到井口；而所有的手段、方法的综合称为油气田开发方案。

油气田开发方案的好坏，直接决定了油气田今后生产的好坏。如果方案制订得不合理，对今后生产的影响极大，或者说对今后的开发调整不利，因此，必须认真对待油气田开发方案的设计工作，它直接涉及国家资金、人力和财力的使用问题。

一、油气田开发方案的主要内容

油田和气田的开发方案的主要内容基本相同，主要包括以下几部分。

- (1) 油田或气田地质特征；
- (2) 油气田描述及储量计算(开发储量及其核实情况)；
- (3) 开发方针及原则；
- (4) 开发程序；
- (5) 开发层系、井网、开采方式和注水系统；
- (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

油气田开发必须根据一定的方针来进行，开发方针的正确与否，直接关系到油气田今后生产的经济效果的好坏与技术上的成败。正确的开发方针应根据国民经济对石油工业的要求和根据油田开发的长期经验总结制订出来。开发方案的编制，不能违背这些方针，否则就会给油田或气田带来危害，也会给国民经济带来危害。

我国经过几十年的石油与天然气开发，已总结出了一套方针，那就是，油田和气田开发必须贯彻执行持续稳定发展的方针，坚持少投入、多产出，提高经济效益的原则。开发工作应该严格按照先探明储量，再建设产能，然后安排原油和天然气生产的科学程序进行工作部署。

具体地说，油田和气田的开发方针的制订应考虑如下几方面的关系：

- (1) 以多大的采油(气)速度进行开发最为合理；
- (2) 油田地下能量的利用和补充；
- (3) 采收率的大小；
- (4) 稳产年限；
- (5) 经济效果；
- (6) 工艺技术；
- (7) 综合利用及环境保护。

这几方面是相互依存又相互矛盾的。应该根据国内外油田开发的经验和我国的能源政策，制订出科学的油田开发的方针并不断完善和补充，使其在一个较长的时间内实现稳产高产。如大庆油田在贯彻这一方针的具体作法是：每个开发区的采油速度应达到2%左右；含水上升率不大于2%；达到设计产量以后稳产10年；采出程度30%~35%；最高含水率为75%。当然，其他油田不应照搬这些数据，应针对具体情况，制订出合理的开发方案。

三、油田开发原则

在编制一个油气田的开发方案时，必须依据开发方针，针对所开发的油气田的具体情况和所掌握的工艺技术手段和建设能力，制定具体的体现这一总方针要求的开发原则与具体技术政策和界限。这些原则应考虑以下几方面的问题：

- (1) 在油田客观条件允许的前提下(指油田地质储量、油层物性、流体物性)，高速度地开发油田，保证顺利地完国家或油田按一定原则分配的计任务。
- (2) 最充分地利用天然资源，保证油田获得最高的采收率。
- (3) 油田生产稳定时间长，而且在尽可能高的产量水平上稳产。
- (4) 具有最好的经济效益，也就是用最少的人力、物力、财力，尽可能多地采出原油和天然气。

要满足以上几项大的原则，应对以下几个方面作出具体规定。

1. 规定采油速度和稳产期限

采油速度的大小决定了生产规模，当然油田应该以较高的速度生产，以满足国家对石油的需要，但同时必须对稳产期限要有一个明确的规定。采油速度和稳产期必须根据油田地质开发条件和工艺技术水平，以及经济效益来确定。对于不同的油田，合理的采油速度及稳产期限可以不同，但生产期的采收率应满足一个统一的标准。

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、具有一定储量和一定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大小的问题，也是决定油田开发效果的重要因素，因此必须慎重地加以解决。

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订的。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。由于井网是涉及油田基本建设的中心问题，也是涉及油田今后生产效果的根本问题，因此，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情况,使增产增注措施能够充分发挥作用。

此外,在开发方案中,还必须对其他有关问题作出规定,如层间、平面的接替问题,稳产的措施问题等。

四、气田与油田开发原则的差异

气田与油田的开发方针对于我国而言是基本一致的,由于天然气与原油是两种性质截然不同的流体,所以,气田与油田的开发原则是存在差异的。这种差异主要表现在以下几方面。

1. 气田开发无需注水,应该排水

由于天然气的粘度远远低于水的粘度,且具有较大的可压缩性,加之我国目前的储集层类型均为亲水性,所以,水为润湿相,而天然气为非润湿相。一旦气水两相运动时,则水将阻碍天然气的运动,长期的气田开发经验表明,气田开发不能注水,如果发现气井产水,还需进行排水。气藏出水后对气井的生产造成的严重危害主要表现在:

(1) 气藏产水后,地层水沿裂缝窜入,对气藏产生分割,形成死气区,使最终采收率显著降低。一般纯气藏的最终采收率可达到90%以上,而水驱气藏的平均采收率仅为40%~60%,也就是说有30%~50%以上的储量因两相流动和水对渗透区的封隔而采不出来。这些气必须依靠排水采气工艺措施才能开采出来。据川南气田18个水淹裂缝系统井统计,这些水淹井如不采取人工助喷措施,其平均采收率仅为39.80%。

(2) 气井产水后,在毛细管力的作用下,侵入水向主干裂缝两侧的支缝网格的孔隙介质中渗吸,降低了主裂缝中补给气流的能力和气的相对渗透率,使气井产量迅速下降,提前进入递减期,降低了气藏的采气速度。如威远震旦系气藏,1975年12月采气速度为3.17%,但因水的影响日益加剧,尽管不断实施增打开发补充井、修井、降压集输等多种措施,但采气速度仍下降至不到1%。

(3) 气井产水后,由于在主要渗流通道和自喷管柱内形成气水两相流动,管柱内的阻力损失和气藏的能量损失增大。统计表明,上述两项阻力损失约占地层能量的50%~80%,从而使气井井筒回压增大,井口压力降低,导致气井自喷带水采气能力变差后,逐渐恶化转为间歇生产乃至因严重积液而水淹。如1979年川南气田已投产的68口气水井中,就有31口因各种原因而水淹停产。

因此,气田开发同油田开发在开发方式上是不同的,气田开采主要依靠天然能量开采,不需要注水保持能量,一般也不需注气(在凝析气藏开采中,可以采用回注干气开采,但工艺复杂,成本太高,也少采用)开采。此外,国内部分气藏开采中,由于污水处理的缘故,将污水回注气藏,实践证明,这样作严重污染了气层,增大了水淹区域,影响了开发效果。四川中坝须二气藏曾经为了减少污水处理工作,而将污水注入本气藏,从1977年至1983年共注入污水 $23.3 \times 10^4 \text{ m}^3$,增大了气藏北区的水淹程度。

2. 气田开采一般分为定产阶段和定压生产阶段

气田开采中,气井生产一般分为定产阶段和定压生产阶段。定产阶段是指气井按某一配产气量生产至稳产期末;而这之中,又可因增压开采和第二稳产(下台阶稳产)而有所不同,如气藏采用增压开采,则气井按规定配产气量生产直到井口油压等于增压机的进口压力为止;而下台阶稳产则是当气井生产至某一规定油压后,将气藏和气井的配产减小到某一数值,而再保持该气量稳产,直到小于或等于最小输气油压为止。川东地区相国寺石炭系气藏开发就

是采取下台阶稳产方式开采,开始执行气藏 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模稳产七年,而后下台阶执行 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模稳产三年, $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模稳产二年。在气藏稳产期结束后,一般采取定井口油压降产量生产,直到气井产量或气藏产量小于经济极限为止。

第三节 油气田开发程序

要合理地开发油气田,首先必须认识油气田,对油气田客观规律的认识程度主要取决于所钻井网的密度和井的分布情况。井钻的越多对地下油层的认识越清楚。但从合理开发油田的角度来看,又希望开发初期少钻井就能把油气层认识清楚,这样在部署开发井网时就更主动。这是合理开发油气田存在的一个非常突出的矛盾。

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。油田开发的每个阶段,每个步骤之间又是紧密联系着的,每部署一个新阶段的开发工作必须建立在上一阶段对油气田认识的基础上,而且还要为下一阶段的开发部署作好准备。

大庆油田的地质特征是:含油面积大,油层多;几个油层组由几十个单层组成,各层有一定的差异,但其中1到2个主力油层分布相对比较稳定,油层物理性质好,油层组可作为划分开发层系的基本单元。根据油气开发准备阶段所要做的工作结合大庆油田的开发经验,总结出大庆油田的开发程序为:

(1) 在已见油的构造和构造带上,根据构造形态合理布置探井,迅速控制含油面积。这部分工作主要通过地震细测解释落实构造和其中的断裂情况(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、闭合高度提供依据。

(2) 在已控制的含油面积内打一批资料井(一般2~3km布一口井),全面了解油层的物理性质在纵向和横向上的变化情况。

(3) 采用分区分层的试油试采方法,求得油层生产能力的参数。

(4) 在已控制的含油区域内开辟生产试验区。

(5) 根据岩心、测井和试油试采等各项资料进行综合研究,作出油层分层对比图、构造图和断层分布图,确定油藏类型,然后做出油田开发设计。

(6) 根据最可靠最稳定的油层钻一套基础井网。注水井和生产井钻完后并不投产(不射孔)。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。如出现注水井射孔的油层在生产井缺失的情况或预计的高渗透层恰恰是低渗透层等。因此,第一批井钻完之后,根据井的全部资料对全部油层的砂体进行对比研究,详细掌握它们的变化情况。根据新的资料一方面调整原设计中不合适的地方,另一方面定出其他油层的开发井网。第二批井钻完后仍不投产,首先根据第二批井的资料再一次研究油层变化情况,然后修改和调整原定方案。这样,开发井网基本上能保证对各油层都能收到注水效果,各油砂体都能得到开发,以保证油井有较高的产量,油层有高的采收率。

(7) 在生产井和注水井投产后,收集实际的产量和压力资料进行研究,修改原来的设计指标,定出具体的各开发时期的配产配注方案。

然而,对于复杂油气田,以上的开发程序仍不完全适合,近年来多采用滚动勘探开发方式。该种油气田具有多层系含油、多类型圈闭连片、富集程度不均匀,油气水纵横向关系复杂等特点。由于这种复杂的油气聚集带或油气藏不可能在短期内认识清楚,因此,为提高

经济效益,对不同类型的复杂油气聚集带有整体认识后,可不失时机地先开发高产层系或高产含油圈闭,在进入开发阶段以后,还要对整个油气聚集带不断扩边、连片、加深勘探,逐步将新的含油层和新的含油圈闭分期投入开发,使勘探开发滚动式交替前进。

第四节 油田开发层系的划分

从国内外已开发的油田看,大多数油田都是非均质的多油层油田,我国克拉玛依油田就是其中之一。这些油层的特性往往又彼此相差很大,不能同井合采。因此,在研究多油层油田的开发问题时,首先应考虑如何划分层系,而要合理组合和划分层系,就需要认识划分开发层系的意义,掌握油层的组成及其特点,明确划分层系的原则和方法。

一、划分开发层系的意义

划分开发层系,就是把特征相近的油层组合在一起,并用一套单独开发系统进行开发,并以此为基础进行生产规划、动态研究和调整。

在世界油田开发初期,不管油层多少,一律都采用笼统合采的办法进行开采。但随着油田开发经验的积累,人们认识到要想提高采收率,就必须考虑同井分采;同时采取划分多套独立层系的开发方法。例如原苏联的萨莫特洛尔大油田,九个油层划分为四套层系开发。原罗马尼亚的丘列世蒂油田,三个油田(岩性分别为砂岩、泥质砂岩和石灰岩)划分为三套层系开发。我国大庆、克拉玛依和胜坨油田有些区块也是采取多套层系开发的。

(1) 合理划分开发层系有利于充分发挥各类油层的作用。

合理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,并用单独一套开发系统进行开发,并以此为基础进行生产规划、动态研究和调整。

在同一油田内,由于油层在纵向上沉积环境及其条件不可能完全一致,因而油层特性自然会有差异,开发就会出现层间矛盾。如果一口油井有几个油层,且层系压力差异甚大,那么同井合采则低压层往往不出油,有时高压层的油还会窜入低压层中。若各层系渗透率不同,则由于低渗透层的油流阻力大,生产能力将受到限制。在水驱油田,高渗透层往往很快水淹,而低渗透层又“喝不饱水”,在合采情况下,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。例如大庆油田某井分层测试发现,该井主力油层 S_{17+3} 层的压力高达9.88MPa,而差油层 S_{14+16} 层压力只有8.27MPa,相差1.61MPa,所以将它们进行分采,以消除层系压力的干扰。又如克拉玛依油田六东区克上组有效渗透率 S_2^* 为 $0.1915\mu\text{m}^2$,而 S_5^{2-2} 则为 $0.8142\mu\text{m}^2$,相差 $0.6227\mu\text{m}^2$,因此也进行了分采。

(2) 划分开发层系是部署井网和生产设施的基础。

确定了开发层系以后,就确定了井网的井数,这样才能进一步确定井网的套数和地面设施规划。对于每一个开发区的每一套开发层系,都要独立地进行开发设计和调整,对其井网、注采系统、工艺手段都要独立作出规定。假如在设计当初,由于各种原因,未划分开发层系,那么,在开发过程中,也不得不进行调整。克拉玛依油田一区克_上、克_下就是在开发中分两套井网进行分采分注的。

(3) 采油工艺技术的发展水平要求进行层系划分。

一个多油层的油田,油层数目很多,可能有几个,甚至几十个,开采井段有时可达数十米甚至数百米,单就目前的采油工艺——分采分注,尽管它们能发挥很大的作用,但也不可

能把所有的井层分开，达不到分层开采的目的，因而必须划分开发层系，使一个生产层系内部的油层不致过多，井段不致过长，这样就更好地发挥了工艺手段的作用，使油田开发效果好。

(4) 油田高速开发要求进行层系划分。

国家要开发一个油田，尤其是我国目前大量需油之际，总是希望每个油田高速开发，然而用一套井网开发一个多油层油田必然不能充分发挥各油层的作用。尤其是当主要出油层较多时，为了发挥各油层的作用，就必须划分开发层系，这样才能提高采油速度，加速油田生产，缩短开发时间，充分发挥人的主观能动性并提高基建投资的周转率。

二、划分开发层系的原则

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。那么，具有什么样的特点才能划分组合在一起呢？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储量，保证油井具有一定的生产能力，使油井的采油工艺比较简单，能够达到较好的经济效果。

(2) 在一个开发层系的上下应具有良好的隔层，隔层厚度一般要求在 5m 以上，以防止不同层系之间的干扰。

(3) 同一开发层系的各油层的物性和主要的沉积条件应当相近，即渗透率、油层分布面积、层内的非均质程度都应相近。

(4) 同一开发层系内，构造形态，油、气水分布情况，压力系统和石油性质应当接近一致。

(5) 划分开发层系，应考虑采油工艺水平，不要分得过细。否则，虽然保证了较好的开发效果，但却多用了人力、物力、财力，经济效果差。

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，工艺上分层段能力越大，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。分层注水井划分的段数，一般应在 4~5 段以内，每层段有 1~2 个小层，这样才可能取得较准确的分层测试资料，也便于管理。

大庆油田的开发实践证明，把主力油层和非主力油层分别单独注水开采，有利于开发过程中各项调整措施的进行，有利于发挥两类油层的作用。特别是随着分层注采工艺技术的发展，把两类油层的注水系统分开，在注水井上分注，在采油井上合采，其效果甚佳。例如大庆萨尔图油田南二、三区葡一组层系开发效果好，除它本身条件好而外，很关键的一条就是在注水井上油层比较少。南二区三排注水井射开油层厚度只有 10m 左右，每口注水井上一般只需要划分 2~3 个层段注水，绝大部分层段内只有两个油层，因此调整工作较为主动。

如上所述，开发层系的划分，应根据油田具体情况而定，并不是越细越好。如前苏联阿尔兰油田，具有含煤岩系的六个油层，曾被划分为两套层系开发，各层系井网过密，单井控制储量少，而该油田石油粘度高，油层非均质严重，因而注入水很快窜入油井，无水采收率低，开发效果很差。因此，后来不得不进行调整，合成一套井网开采，并增大井距，其效果比以前好。当然，该划分的就应该划出来，否则也将带来不利。如大庆喇嘛甸油田由于开发层系划得过粗（两套层系一套井网），各套层系油层性质差异不大，特别是第二套层系内的注