

YOU CANG GONG CHENG JI CHU



油藏工程基础

● 郎兆新 主编

● 石油大学出版社

(北京)

4

3

TE 34/023

069656

油藏工程基础

郎兆新 主编



200795906

石油大学出版社



鲁新登字10号

内 容 提 要

本书分两篇，共五章。前两章为第一篇，叙述进行油藏工程设计所必须掌握的基本原理和方法。其中包括油田开发基础和油田开发指标的经济评价。对油田的开发和管理作了比较系统的描述。第二篇包括后三章，叙述了试井分析原理和方法，对中途测试（DST）也作了必要的介绍。同时，对油藏的管理、分析和认识，分类作了详细论述。

本书是石油院校油藏工程专业的教材，对有关专业科技人员也有重要的参考价值。

油藏工程基础

郎兆新 主编

*

石油大学出版社出版

山东省东营市

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂德州厂印刷

*

开本787×1092 1/16 16印张 400千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数1—3,000册

ISBN 7-5636-0193-7/TE·42

定价：4.20元

前 言

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和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，为国民经济的发展提供所需的原油和天然气。

在本世纪初，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源开采。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。40年代以来到现在的近半个世纪，油藏工程这门学科有了一个根本的改变。一方面是由于对油藏进行研究的手段和方法有了较根本性的改变，另外也由于开采和测试的手段有了彻底的更新。所以有可能把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性掌握它和描述它。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。

基于上述认识，本书分上下两篇，共5章，第一篇叙述进行油藏工程设计所必须掌握的一些基本原理和方法，其中包括两章，即油田开发基础和油田开发方案技术经济评价。第二篇叙述进行油藏工程分析所必须掌握的基本原理和方法，共有三章，即试井分析方法，物质平衡方法和经验方法。

编写本书的主要指导思想一是系统性，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，使学生能通过本书学习对油藏工程有系统的了解。二是本书力求具有先进性，包括了近年来在国内外行之有效而应用较好的一些新方法，例如现代试井方法，各种动态预测方法，其中例如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。

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，有的是初次发表。

第一章、第二章、第四章和第五章由郎兆新与张丽华两同志合写，第三章由

刘懋宁同志编写。其中第一章中关于油田开发调整的主要内容取材于秦同洛等同志《实用油藏工程》一书，征得编者同意改写的。

本书适用于石油工程，油藏工程和采油工程本科学生使用，也可供油田上生产研究部门中从事油气田开发和开采的工程技术人员参考和培训之用。

在本书修改和编写过程中一直得到了秦同洛同志指导和帮助并最后审定了全书，特致深切谢意。

目 录

第一篇 油藏工程设计基础

第一章 油田开发基础	(1)
✓第一节 油田开发前的准备阶段	(2)
✓第二节 油田开发的方针和原则	(6)
✓第三节 油田开发程序	(8)
✓✓第四节 油田开发层系的划分	(9)
✓第五节 油藏驱动方式及其开采特征	(12)
✓第六节 砂岩油田的注水开发	(16)
✓第七节 油藏采收率的测算方法	(28)
✓✓第八节 油田开发指标的概算	(39)
✓第九节 油田开发调整	(65)
小 结	(69)
第二章 油田开发方案技术经济评价	(70)
第一节 油田开发技术经济分析常用指标及基本内容	(70)
第二节 油田开发方案技术经济评价的原则和方法	(75)
第三节 油田开发方案技术经济评价的内容和步骤	(81)

第二篇 油藏工程分析基础

第三章 试井分析原理与方法	(87)
第一节 概 论	(87)
第二节 试井分析的理论基础	(88)
第三节 均质油藏的常规试井分析方法	(92)
第四节 双孔介质油藏的常规试井分析方法	(105)
第五节 均质油藏压裂井的常规分析方法	(109)
✓第六节 气井不稳定试井分析原理及方法	(113)
第七节 现代试井分析方法	(117)
第八节 中途测试 (DST) 原理及方法	(135)
第四章 油藏工程方法 (物质平衡方法)	(139)
第一节 物质平衡方法所需要的基础资料及物性参数	(139)
第二节 油藏物质平衡的通式	(148)
第三节 油藏水侵	(153)

第四节	弹性驱油藏物质平衡方法	(170)
第五节	溶解气驱油藏	(172)
第六节	气顶驱油藏	(181)
第七节	水驱油藏	(190)
第八节	综合驱动油藏	(202)
第五章	油藏工程方法 (经验方法)	(211)
第一节	油田产量递减规律及其应用	(212)
第二节	油田含水规律的研究和预测	(241)
	参考文献	(250)

第一篇 油藏工程设计基础

第一章 油田开发基础

一个含油构造经过初探发现其具有工业油流以后，紧接着就要进行详探并逐步投入开发。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油田，按照国家对原油生产的要求，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果长期生产，直至开发结束。

一个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，其中包括油藏工程研究和评价、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。

本章将就与开发准备和开发设计工作有关的基础工作和基本方法作一叙述。实际工作中由于各油田的具体条件相差较大，因此各自的勘探开发程序的具体环节不尽相同而必须结合实际情况制订。

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。由于这一部分工作是油田开发的极为重要的关键性工作，所以将在本章中作为重点叙述。

油田开发方案的制订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方案进行详细制订、评价和全面的对比，然后确定出符合油田实际，技术上先进，经济上优越的方案来。但是在实际上，虽然我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都认识得很清楚，这就不可避免地在油田投产以后，会在某些问题上出现一些原来估计不足之处，其生产动态与方案设计不符合，加上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，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。

在本章中对于方案制订的基本原则、内容和步骤，我们将详细讲述和分析，至于方案调整的内容，因不涉及更多的基本原理和方法所以从略。

另外由于油田的注水开发是目前的一种主要开发方式，所以与注水有关的一些问题如层系划分、注采井网的布置和研究等，在本章内同样要着重加以叙述。

* 对于大型油田一般采用开辟生产试验区的方法，而在中、小型油田上可以采用试验井组或试验单元的作法。

第一节 油田开发前的准备阶段

如前面已经提到的，油田开发前的准备阶段的主要工作是进行详探，以全面认识油藏和计算储量；进行生产试验* 以认识油田的生产规律，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初步规划，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和其接触关系，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、出油剖面、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公里/公里²以上，而在断裂和构造复杂地区，其密度还应更大。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做出严格的规定，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两公里以上，但在复杂

的断块油田上一口探井控制的面积可以达到1~2平方公里甚至更小。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因素。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，我们已经有了许多较好的经验，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，还应进行详细的地质对比，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。试采的主要任务是认识：① 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 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 油层的连通情况和层间干扰情况；④ 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。

以上我们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。

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，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。这些试验对于新开发地区和大型油田尤为重要。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，以指导其它地区。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。与此同时，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，也不因其它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，必须要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而外，还有一定生产任务。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，进展较快和质量较高。

（一）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，总结认识地层变化的规律，为层系划分提供依据；

研究隔层的性质、分布规律；

进行小层对比，研究小层连通情况。

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层段划分的办法；

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、平面水窜及油气界面与油水界面运动情况，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，而其它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。

上面我们讲了生产试验区的任务。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类的问题，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，使我们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，为了作好面临的开发工作，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。但是最根本地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靠的经验。这是更有直接意义的。

这些试验可以分单项在其它开发区进行，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，不能一律对待。这里我们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。

(二) 重大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、溶解气的能量、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。其它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。

总之各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，而且应该坚持使试验早期进行，走在前面，以取得经验指导全油田开发。

在本节中我们写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。为了达到深入认识油层而又不耽误油层投入开发的时间，作到快速开发，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和完成方法及要求。

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，构成一个独立的不能忽视的阶段。它是保证油田能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是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阶段去代替另一个阶段。

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，使油田投入长期和正式生产的一个总体部署和设计。油田开发方案的好坏，往往会决定油田今后生产的好坏，涉及国家资金、人力的使用问题，所以必须认真对待。

油田开发方案应包括以下内容：

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

上述诸项中，有关地质情况和储量计算等等，已在其它课程中讲授；其中第5项将在本章后一部分叙述，9和10两项属于本书第二章的范围，因此在本节中仅就3和4两项作一阐述，而有关钻采工程问题本书从略。

一、油田开发方针

开发油田必须依据一定方针来进行，开发方针的正确与否，直接关系到油田今后生产的经济效果的好坏与技术上的成败。正确的油田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，否则就会给油田带来危害，也会给国民经济带来危害，使国家资源蒙受损失。

油田开发方针的制订应考虑如下几方面的关系：① 采油速度，即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 采收率的大小；④ 稳产年限；⑤ 经济效果；⑥ 工艺技术；⑦ 环境保护。这几个方面往往是相互依赖又相互矛盾的。我们应该根据国内外油田开发的经验和我们国家能源政策，制订出科学的油田开发方针，并不断补充和完善。

二、油田开发原则

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。针对所开发油田的情况和所掌握的工艺技术手段与建设能力，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。这些原则应对以下几方面的问题作出具体规定。

（一）规定采油速度和稳产期限

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速度生产，满足国家的需要。但同时又必须对稳产期*或稳产期采收率有明确的规定。采油速度和稳产期的确定，必须立足于油田的地质开发条件和工艺技术水平以及开发的经济效果。因此不同类型油田的合理采油速度及对稳产的要求可以不同，但一般地稳产期采收率应满足一个统一的标准，即使原始可采储量的相当大一部分在稳产期间采出来。

（二）规定开采方式和注水方式

在方案中必须对开采方式作出明确规定，是利用什么驱动方式采油，开发方式如何转化（如弹性驱转溶气驱再转注水、注气等）。假如决定必须注水，则应确定早期注水还是后期注水。

在决定采用注水补充能量以后，就必须确定注水方式。有关此问题将在第三节中讲授。

（三）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，具备一定储量和生产能力的油层组合而成。它用独立的一套井网开发，是一个最基本的开发单元。当我们开发一个多油层油田时，必须正确地划分和组合开发层系。一个油田要用哪几套层系开发，是开发方案中一个重大决策，是涉及油田基本建设的重大技术问题，也是决定油田开发效果的很重要因素，因此必须慎重加以解决。关于如何划分和确定开发层系，将在下一节中专门讨论。

（四）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，并要具体体现油田开发方针。对于多油层大油田，在通常情况下应包括如下几个方面：

*：这里所理解的稳产期是指油田达到所要求的采油速度以后，以不低于此采油速度生产的期限。而在此期限内总共采出的油量与储量之比，叫稳产期采收率。

1. 基础井网的布置。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，作为开发区油田地质研究的井网。

研究基础井网，要进行准确的小层对比工作，作出油砂体的详细评价，进一步为层系划分和井网布置提供依据。

2. 确定生产井网和射孔方案。根据基础井网，待油层对比工作做完以后，全面部署各层系的生产井网，依据层系和井网确定注采井井别并编制方案，进行射孔投产。

3. 编制注采方案。在全面打完开发井网以后，对每一个开发层系独立地进行综合研究。在此基础上落实注采井别、确定注采层段，最后根据开发方案的要求。编制出注采方案。

由上述可以看出，合理的开发步骤，就是如何认识油田和如何开发油田的工作程序。合理的科学的油田开发步骤是使我们对油田的认识逐步提高，而同时又使开发措施不断落实的保证。任何对合理开发步骤的偏离，都会导致对油田认识的错误和开发决策的失算。

(五) 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。对于注水开发油田，还必须使绝大部分储量处于水驱范围内，保证水驱储量最大。由于井网问题是涉及油田基本建设的最中心问题，也是涉及油田今后生产效果的根本问题，所以除了要进行地质研究而外，还应用渗流力学方法，进行动态指标的计算和经济指标分析，最后作出方案的综合评价并选出最佳方案。

(六) 确定合理的采油工艺技术和增注措施

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。

除以上诸点外，在开发方案中，还必须对其它有关的各项作出规定，如层间、平面的接替问题，稳产的措施问题以及必须进行的重大开发试验等。

第三节 油田开发程序

要合理地开发油田，首先必须认识油田。对油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。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些井就能把油层认识清楚，这样在部署开发井网时就更主动。这是合理开发油田本身存在着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，有步骤的开发油田。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。

根据油田开发准备阶段所要做的工作结合大庆油田的开发经验，研究拟出了大型油田的开发程序。大庆油田的地质特征是，含油面积大，多油层油田。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。油层组可做为划分开发层系的基本单元。

其开发程序为：

(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资料的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2~3公里布一口井), 全面了解油层的物理性质在纵向和横向的变化情况。

(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, 另一方面定出其它油层的开发井网。第二批钻完后仍不投产, 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。

但是, 对于复杂油气田, 以上油田开发程序则不适用, 近年来多采用滚动式的勘探开发。

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, 油气水纵向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

国内外已开发的油田, 大多数是非均质多油层油田, 各油层的特性往往彼此差异很大, 不宜用一套井网笼统合采。因此在研究多油层油田的开发问题时, 首先要考虑的问题就是如何划分开发层系。要合理组合与划分层系, 就需要认识开发层系的意义, 掌握油层的组成及其特点, 明确划分开发层系的原则和方法。研究这些问题就是本节的任务。

一、划分开发层系的意义

当前, 世界新投入开发的多油层大油田, 在大量进行同井分采试验的同时, 基本上是采用划分多套开发层系开发的方法。例如苏联新投入开发的萨莫特洛尔大油田, 九个油层划分为四套层系开发。罗马尼亚的丘列世蒂油田, 三个产油层 (岩性分别为砂岩、泥质砂岩和灰岩) 划分为三套层系开发。我国大庆、胜利等油田也都是采取划分多套层系开发的。

(一) 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，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，由于诸油层在纵向上的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，所以开发过程中层间矛盾也就不可避免要出现。如果不能合理地组合与划分开发层系，将是开发中的重大失策，会使油田生产出现重大问题而影响开发效果。若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；低压层和高压层合采，则低压层往往不出油，甚至高压层的油有可能窜入低压层。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，大庆油田某井分层测试发现，该井主力油层SII7+8层的压力高达10.07兆帕，而差的油层SII14-16压力只有8.43兆帕，相差1.64兆帕。差油层本身渗流阻力比较大，在多层合采条件下，油井的流动压力主要受高渗透主力层控制。

在注水油田，主要油层出水后，流动压力不断上升，全井的生产压差越来越小。这样，注水不好的差油层的压力可能与全井的流压相近，因而出油不多甚至根本不出油，在某些时候还会出现高压含水层的油和水往油层中倒流的现象。这就是见水层与含油层之间的倒流现象，如图1-1所示。

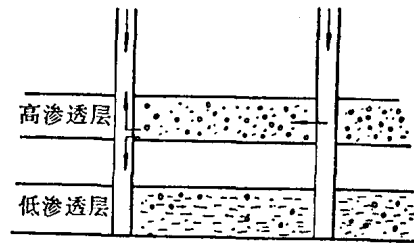


图1-1 倒流现象示意图

由此看来，将此油层合并为一套开发层系是不合理的，而应分为两套开发层系用不同的井网和开发方式生产。

以上看出，大段合采时，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。所以将特征相近的油层组合在一起，用独立的井网开采，就会缓和层间矛盾，有利于发挥各类油层的生产能力。就是说合理地组合与划分开发层系是实现油田稳产高产。提高最终采收率的一项根本性的措施。

(二) 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、注采方式以及地面生产设施的规划和建设成为可能。这是明显的，因而不再多述了。

每一个开发区的每一套开发层系，都应独立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。

(三) 采油工艺技术的发展水平要求进行层系划分

一个多油层油田，其油层数目很多，往往高达几十个，开采井段有时可达数百米。采油工艺的任务在于充分发挥各油层的作用，使它们吸水均匀，生产均衡所以往往必须采取分层注水、分层采油和分层控制的措施。目前的分层技术还不可能达到很高的水平，因此就必须划分开发层系，而使一个生产层系内部的油层不致过多，井段不致过长，这样将更好地发挥工艺手段的作用，使油田开发好。

(四) 油田高速开发要求进行层系划分

用一套井网开发一个多油层油田必然不能充分发挥各类油层作用，尤其是当主要出油层较多时，为了充分发挥各油层作用，就必须划分开发层系，这样才能提高采油速度，加速油