



# 砂岩油藏注水开发动态分析

方凌云 万新德 等编著

石油工业出版社

Petroleum Industry Press



# 砂岩油藏注水开发动态分析

方凌云 万新德 等编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书从注水开发砂岩油田的基本规律出发,介绍了油藏动态分析所涉及的一些专业知识以及所需的基础资料和基本方法(包括开发规划的编制及开发调整工作的基本方法),继而介绍了动态分析常用的图幅曲线。考虑到三次采油技术的应用,介绍了聚合物驱油藏的动态反映特征和动态控制要点。本书既概括了我国注水开发砂岩油藏动态分析的基本方法,又介绍了动态分析的大量实际工作经验。全书共七章,可供工程技术人员及石油专业大专院校师生参考和借鉴。

### 图书在版编目(CIP)数据

砂岩油藏注水开发动态分析/方凌云 万新德等编著  
北京:石油工业出版社,1998.7  
ISBN 7-5021-2213-3  
I. 砂…  
II. 方…  
III. 砂岩油气藏-注水(油气田)-油田开发-动态分析  
IV. TE349

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00443 号

石油工业出版社出版  
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)  
石油工业出版社印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 21 印张 528 千字 印 1—2000

1998 年 7 月北京第 1 版 1998 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2213-3/TE·1855

定价: 32.00 元

# 砂岩油藏注水开发动态分析

主 编：方凌云 万新德

编写人员：

绪 言 万新德

第一章 方凌云 宋考平

第二章 方凌云、闫亚茹

第三章 胡志辉

第四章 王玉琢 国化成

第五章 石成方

第六章 李彦兴

第七章 王渝明 万新德

审校人员：

王幼梅 叶敬东 王惠来

## 前 言

油藏开发动态分析是一项综合性、技术性很强的工作，在油田开发中具有确定基础、修正认识、指导调整、辅助决策的重要作用，因此，它是一项贯穿油田开发全过程、关系油田开发最终效果的十分重要的工作。

在长期的油田开发实践中，广大石油技术工作者特别是长期从事开发动态分析的技术人员研究应用了许多行之有效的分析方法，积累了丰富的工作经验。但由于开发动态分析工作应用的资料种类繁多，采用的方法多种多样，分析工作者分析问题的角度也不同，因此要系统地论述开发动态分析的方法不是一件容易的事。而实际工作中又确实需要这样一本书，为毕业不久从事开发动态分析工作时间不长的青年技术人员和石油院校的在校学生提供参考和借鉴，帮助他们尽快地适应岗位工作，为此我们作了一次有益的尝试。

在学习和借鉴前人工作方法和经验的基础上，我们把自己长期从事开发动态分析工作的经验和体会加以总结，并引用了大量的实例，从开发动态分析工作所应用的基本概念、基础资料、经过实践检验比较成熟的统计规律、开发动态分析的基本方法直到开发规划方案、开发和调整方案以及年度综合调整方案的编制作了比较系统的论述。最后，列出了开发动态分析常用的地质图件及其编制方法。

本书初稿完成后，经过作者的反复推敲，几易其稿，王幼梅、叶敬东、王惠来等同志对全书进行了详细的修改和文字加工。书中引用了大量的文献和资料，所列参考文献仅是公开发表的文献资料的一部分，还有许多文献和大量未公开发表的论文、总结等参考资料未能一一列出。另外，本书出版过程中得到石油工业出版社许多同志的大力帮助，在此我们一并表示感谢。由于工作经验不足，最后校对的时间比较仓促，书中一定还有不少错误甚至谬误，欢迎读者不吝赐教，以便在需要再版时加以改进和完善。

作 者

一九九七年五月

# 目 录

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 绪论                           | (1)   |
| <b>第一章 开发动态分析的地质基础和基本概念</b>  | (6)   |
| 第一节 油藏                       | (6)   |
| 第二节 储层岩石物性                   | (10)  |
| 第三节 储层流体特性                   | (20)  |
| 第四节 石油地质储量和可采储量              | (27)  |
| <b>第二章 油田动态分析常用的基础资料</b>     | (36)  |
| 第一节 油藏地质资料                   | (36)  |
| 第二节 油水井生产动态资料                | (42)  |
| 第三节 生产试井资料                   | (50)  |
| 第四节 开发井测井资料                  | (55)  |
| 第五节 密闭取心井设计及资料应用             | (63)  |
| 第六节 油水井测试与调整                 | (66)  |
| <b>第三章 砂岩油藏注水开发动态变化的统计规律</b> | (76)  |
| 第一节 相对渗透率曲线及其应用              | (76)  |
| 第二节 水驱特征曲线及其应用               | (84)  |
| 第三节 物质平衡方程式及其应用              | (95)  |
| 第四节 产量递减的类型及分析               | (103) |
| 第五节 油藏压力系统的变化规律              | (112) |
| 第六节 油水井生产能力的变化规律             | (119) |
| 第七节 油田含水率的变化规律               | (126) |
| 第八节 油田最大产液量和合理注采比确定          | (134) |
| <b>第四章 开发动态分析的方法及实例</b>      | (141) |
| 第一节 油水井动态分析                  | (141) |
| 第二节 注采井组的动态分析                | (161) |
| 第三节 开发单元(区块)的开发动态分析          | (167) |
| 第四节 开发区(油藏)的阶段开发分析           | (174) |
| 第五节 开发生产试验区的分析及试验总结          | (175) |
| 第六节 聚合物驱油的动态反映与调整            | (185) |
| <b>第五章 油田开发规划</b>            | (191) |
| 第一节 规划编制技术的发展和基本工作方法         | (191) |
| 第二节 油田开发指标预测方法               | (199) |
| 第三节 油田开发技术界限及确定方法            | (218) |
| 第四节 措施效果与潜力分析                | (233) |
| 第五节 油田开发规划方案优选方法             | (254) |

|  |       |
|--|-------|
| <b>第六章 油田开发调整</b> .....                    | (278) |
| 第一节 开发层系、井网调整简介.....                       | (278) |
| 第二节 油田年度综合调整方案的编制.....                     | (283) |
| 第三节 油田年度综合调整方案实例——喇嘛甸油田 1990 年综合调整方案 ..... | (299) |
| <b>第七章 油田开发动态分析的常用图件</b> .....             | (308) |
| 第一节 综合开采曲线.....                            | (308) |
| 第二节 产量构成曲线.....                            | (312) |
| 第三节 水驱特征曲线.....                            | (314) |
| 第四节 水淹平面图.....                             | (316) |
| 第五节 油层连通图.....                             | (318) |
| 第六节 综合含水与采出程度关系曲线.....                     | (319) |
| 第七节 生产运行曲线.....                            | (320) |
| 第八节 压力分布图和等值图.....                         | (323) |
| 第九节 开采形势图.....                             | (324) |
| 第十节 油田采液(油)指数变化曲线.....                     | (325) |
| 第十一节 措施效果分析综合图.....                        | (326) |
| <b>参考文献</b> .....                          | (330) |

# 绪 论

油田开发的过程是一个不断认识和调整的过程。为了搞清油田开发中各种变化规律和不断变化的情况，就必须以精细地质描述为基础，不断深化对油藏的认识，揭示开发过程中的矛盾，根据油田不同的开发阶段和不同的调整对象，采取相应的调整措施。油田开发动态分析，就是要在油田开发过程中取得的大量的第一性资料基础上，综合运用多学科的知识和技术，采用综合的分析、判断方法，动态地描述已投入开发的油藏，在错综复杂的关系中出现的油藏各动态参数的变化特点和规律以及其相互之间的影响和制约关系，提出油田开发的调整措施和总体规划，并根据这些动态参数的变化特点修正规划方案和调整方案，以期使每个油藏都达到较高的最终采收率、较高的开发水平和取得较好的经济效益。因此，油田开发动态分析是一项贯穿油田开发全过程、关系油田开发最终效果的十分重要的工作。

## 一、开发动态分析在油田开发中的地位和作用

一个油田，从投入开发直至枯竭，动态分析工作始终在其中发挥着重要作用。其重要作用大致体现在四个方面：

其一是确定基础。即牢固地建立油田开发的地质基础。通过各种可靠的动、静态资料，运用已掌握的经验方法和理论，得出一整套油藏动态参数的变化规律，在油藏静态描述的基础上完成油藏的动态描述，使开发决策建立在客观实际的地质基础之上。当然，通过科学合理的搜集整理，并运用计算机等现代化的技术手段，建立一套系统的、反映油田开发全过程各动态参数变化的历史资料和数据档案，是开发动态分析工作所必需的。

其二是修正认识。即不断地修正人们对油田地下的地质特征、流体分布、油气资源利用状况的认识，做到对油田开发的物质基础心中有数。大庆油田在开发过程中通过开发试验和大量的分层测试资料发现，那些达不到有效厚度标准，没有计入地质储量的以油浸、油斑为主要产状的所谓表外储层在生产过程中也在出油。通过工业化开采试验进一步证明，这部分油层虽然物性较差，但经过压裂改造，不仅可以注进水、产出液、而且具有一定的产能，有些地区还可单独作为一套层系开采，成为大庆油田高含水后期稳产的重要补充。实践证明，对任何油藏的认识不可能在开发初期一次完成，在开发后期还需在宏观认识的基础上进行微观的再认识。井网加密、注采系统调整等重大的开发调整，也都需要通过动态分析，在对油藏有一个逐步清晰的认识基础上，才能有把握地进行。

其三是指导调整。油田开发的过程是一个不断调整、不断完善的过程。油田开发的任何一项调整措施都必须有明确的目的性、很强的针对性和科学的预见性，不论是开发调整（如井网加密、注采系统调整、开采方式转变），还是单井措施（如压裂、换泵、堵水、调剖等）都是如此。这目的性、针对性、预见性只能产生于从单井到井组，再到区块直至全油田的认真、深入的动态分析。

其四是辅助决策。连同精细的地质描述和科学的规划预测一起，为油田开发决策者们当好参谋，确定开发调整的主攻方向，安排战略部署。大庆油田 90 年代初期提出的“稳油控水”的开发调整方针，就是在油田储层严重非均质条件下，在不同地区、不同投产时间、不



同的含水级别情况下对所有采油井进行深入地稳产潜力分析基础上提出的，并逐步地发展完善为一套“三分一优”的结构调整方法，取得了在含水率达到 80% 的情况下连续三年产量稳定增长，含水率基本不升的好效果，对大庆油田高含水后期的开发建设发挥了积极作用。

## 二、开发动态分析的目的内容、方法和要求

### (一) 油田开发动态分析的主要目的

#### 1. 为科学合理地开展油田服务

通过分析找出和掌握油田中各油藏的动态参数在油田开发过程中的变化特点和变化规律，对那些不符合开发规律和影响最终开发效果的部分及时进行调整，进而达到较高的最终采收率，科学合理开发油田的目的。

#### 2. 为完成原油生产计划和提高油田经济效益服务

石油是国家的战略资源，原油生产必须最大限度地满足国民经济发展的需要。从长远来讲，动态分析应找出油田调整的潜力所在，尽可能使油田在一段时间内（通常指一个或若干个五年计划）使处于上产期的油田尽快实现目标；使处于稳产期的油田努力延长稳产期；使处于递减期的油田尽可能少递减或不递减，给国民经济发展和调整提供时间上的余地。从年度油田生产管理的角度讲，动态分析由月、季度生产动态分析和年度开发分析相结合，检查各项调整工作量是否按时完成以及其调整效果，保证油田均衡生产和控制含水上升速度，从而保证原油生产任务和各项开发及经济指标圆满完成。

### (二) 开发动态分析的主要内容

开发动态分析分阶段分析、年度分析和月、季度分析，所要分析的基本内容也有所不同。

阶段开发分析一般需要在五年计划的末期、油田实施重大调整措施前后或油田开发的一个开发阶段即将结束，进入下个开发阶段之前进行。分析的主要内容包括：阶段开发规划目标及其潜力分布；开发调整的作法和效果；油田注采系统的适应性；油水井产液—吸水状况和最大产液能力分析；油藏压力系统和合理界限；现阶段采油工艺技术的适应性；油水井井况及对生产的影响；油田地质特点的进一步认识和可采储量的变化；开发指标测算和技术经济论证等。

年度开发动态分析一般在每个年度结束时进行。主要分析内容应该包括：年度的生产形势和开采特点；油田注水状况和压力系统；开采速度、油井产能和措施效果；注入水利用率和水驱效果；储量动用和油水分布；开发试验的作法及效果等。

月（季）度动态分析则主要是生产动态，即压力、产量、含水的变化状况，油田全面机械开采后还要分析机采井的机泵状况。油田出现的一些新情况和新问题，如含水率突然大幅度上升、成片套管损坏、开发试验的突破性进展、新工艺措施现场试验效果等也应进行认真分析和总结。

### (三) 开发动态分析的基本方法

动态分析的方法是灵活多样的，常用的有理论分析法、经验分析法、模拟分析法、系统分析法、类比分析法等，可以多种方法综合采用，相互弥补和相互映衬。总之，要搞清油藏动态变化的特点和规律、存在问题和影响因素。

#### 1. 理论分析法

运用数学的、物理的和数学物理方法等理论手段，结合采用实验室分析方法，对油田动

态参数变化的现象，建立数学模型，考虑各种边界条件和影响因素，推导出理论公式，绘制出理论曲线，如常用的相渗透率曲线、含水上升率变化曲线、毛管压力曲线等，指导油田开发和调整。

## 2. 经验分析法

一方面可以通过大量的现场生产数据资料，采用数理统计方法推导出经验公式指导应用，另一方面也可以靠长期的实践经验，建立某两种生产现象之间的数量关系，同样可以指导生产实践。如某一个油田日产水量增加多少立方米综合含水将上升一个百分点，掌握了这一点，我们在做控制含水上升的工作时，就可以选择适当的堵水井数，把这部分产水量堵掉，达到对指标预测心中有数。又如，油田输差每变化一个百分点，含水率将变化多少，掌握了这点，当输差变化时，就不会对含水造成的影响心中无数。

## 3. 模拟分析法

这是近年来随计算机技术发展而产生的一种新方法。可以分区块建立物理模型，进而建立数学模型，应用数学上的差分方法把模型分为若干个节点进行计算，模拟出今后一段时间内各动态参数的变化结果，为调整部署增加预见性。

## 4. 系统分析法

有两种不同的系统分析法。一种是把井系统从地层泄油边界（或从注水井）开始，经油层——井筒——地面分离器上看作一个整体，称为全井系统（或注采系统）。人们把这系统分为几个组成部分或子系统，在每个组成部分内选定一些节点，研究每个组成部分的压降与流量的关系，相应地建立起压力—产量关系的模型，通过对这些模型（方程式、相关式或经验公式）分析，选出最佳的生产状态，进一步达到全系统生产优化的目的。这种方法叫做节点分析法。另一种是把井或油藏按开发时间顺序分为不同开发阶段，系统地连续地分析油水井或油藏参数的变化，及其在不同阶段的特点，从而总结出不同阶段的规律，分析其变化的实质性因素，从而进一步启示人们去正确地进行操作和运行。

## 5. 类比分析法

就是把具有相同或相近性质的油田（或区块）放在一起对比分析。常常把地质特点相近的油藏采用相同的指标来比较其开发效果的好坏，以便总结经验教训，指导开发调整。

上述分析方法的结果都可以通过文学叙述、曲线和图表形式表达出来。

### （四）开发动态分析工作的要求

#### 1. 基础资料要求做到全、准、实用

“全”指必须有详细的静态地质描述数据和系统的动态监测资料。静态资料不全、人们对油藏构造的认识不会正确，不会有全面的了解；动态资料不连续或缺某些项目，则不利于人们连续地、全面地认识油藏各动态参数的变化，找不出规律性，也就无法对油藏进行有效地开发和调整。因此，必须认真细致地搞好油田开发的前期工程，取全各项静态资料，也必须严格按动态监测系统的要求取全各项动态监测资料，即使生产任务特别紧张，也必须把取资料放在首位，这是因为各项资料是地质工作者的眼睛，功在当前，利在长远，特别是有些资料一旦缺失，以后根本无法弥补，生产管理人员更必须特别注意这一点。“准”指各项资料必须真实、可靠，必须达到取资料的技术要求，不真实、不可靠的资料等于没资料。因此，不合格或存有疑问的资料必须及时复测，才能有效地防止动态分析判断误入歧途，导致开发调整的失败和资金上的浪费。“实用”指在满足动态分析需要的前提下，应最大限度地减少取资料的项目和数量。目前取资料的手段很多，可取的资料也很多，但取得的每一项资

料和每一个数据几乎都和资金投入与原油产量有直接的关系和影响。为了提高油田开发的经济效益，该取的资料必须取，而且必须取全取准，而有些没必要的、可有可无的资料则可不取或尽可能地减少。

### 2. 分析结果要求达到“五个清楚”

通过动态分析，要达到油藏开采的动态变化趋势清；开发中存在的主要问题清；现阶段调整挖潜的基本做法和效果清；进一步调整的对象和目标清；开发调整的工作部署清。要达到这“五个清楚”，就要求动态分析工作要从全区着眼，从单井入手，深入小层，抓住要害，以便于开发决策者们下定决心，作出部署。只摆现象、只算大帐的分析方法是不可取的。

### 3. 对人员素质的要求

除工作认真细致、能够吃苦耐劳的基本要求外，还要求理论水平高，综合能力强，专业知识面宽。有一定的基础理论水平，还要在实践中不断更新和补充新的理论和新的知识；综合能力要强，具有敏锐的观察力，想象力和判断力；具有正确的思想方法，能够从错综复杂的现象中去粗取精、去伪存真，很快地理清头绪，开阔思路，找出规律得出结论，以清晰、流畅的文笔写出高水平的动态分析报告，以简洁明快的语言谈出有指导性的、建设性的调整意见和建议；专业知识面要宽，不仅掌握本专业的基本理论和基本知识，还要掌握相关专业（诸如开发地震、测井测试、采油工艺、油藏模拟等）的理论和知识。

## 三、开发动态分析技术的发展和展望

油田开发动态分析技术随着油田开发的不断深入而不断发展，随着油藏静态描述技术、采油工艺技术和油田测试技术的不断发展而发展。开发动态分析技术又与上述几项技术的发展相辅相成，相互促进。动态分析不断给地质、采油工艺、油田测试技术的发展提出方向和课题，各项技术发展完善后又给动态分析提供了更为先进的手段和更为丰富详实的资料，促进开发动态分析向更高、更深、更广的层次发展。

自从60年代初大庆油田投入开发，我国陆上石油工业的发展进程中水驱砂岩油田的开发动态分析技术经历了几个方面的转变和发展，近十几年来年的发展更为迅速。

### 1. 从生产动态到开发动态

即由最初的产量、含水、压力的“老三点”式的生产动态分析逐步发展到对吸水、产液能力变化的分析；对各种增产增注措施对最终开发效果的影响的分析；对注采井网适应性的分析；对薄差油层和厚油层剩余油分布的分析等诸多方面。近年来，随着油田含水的不断提高，人们通过大量的三次采油方法的分析和对比，选择最好的提高原油采收率的调整方法，并且在注聚合物驱油等多种化学驱开采动态分析中积累了经验。

### 2. 从井组动态到油藏动态

从以注水井为中心的注采井组的分析发展到从宏观上可以从沉积相的观点出发（工作做得较细的单元可以深入到沉积亚相或沉积微相），以单砂体为单元来分析研究开采动态，完善注采系统，提高水驱储量动用程度，从微相上研究孔内、孔间、孔隙表面非均质对开发效果的影响，分别采用不同的调整措施。随着层系细分加密调整的进行，多套层系油水井之间的相互影响越来越得到深入研究，得到不断完善和最大程度的有效利用，来最大限度地提高水驱采收率。

### 3. 从解释动态到预测动态

通过大量的实验室研究和现场试验，人们已经基本掌握了油藏中各动态参数在常规开采

过程中的变化规律。70年代末期以来，计算机技术的迅速发展，数值模拟计算规模和应用范围的不断扩大，使人们不仅能够方便地追溯历史，比较科学地解释现在，也能够比较精确地预测未来相当长一段时期油田开发的动态变化，从而大大提高各种开发调整方案的科学性、预见性和经济效益。

#### 4. 从单一学科的简单分析到多学科多专业的综合分析

已在原有的油层物理、流体力学和现场开发试验中认识到的简单的动态参数变化规律引入了统计学、物理化学、地球物理、开发地震、生物科学的概念，使开发动态分析的内容和手段都大大地丰富。在开发实践中，石油地质、地球物理、测井、试井、采油工艺、油藏工程、计算机应用等诸多专业相互渗透又相互结合，促进了开发动态分析技术的快速发展。

70年代末以来，油田开发理论及其相关学科发展很快，未来的沉积相理论将向微相研究发展，油层厚度0.5米以下的薄层测井解释精度将大大提高，开发地震在已开发区域内的应用范围的不断扩大，有助于快速准确地了解油层中剩余油的分布和调整挖潜。特别是计算机应用技术的发展将更为迅猛，资料的采集整理，开发资料的统计、分析、归纳，各种地质图幅的绘制，开发历史的追溯拟合和开发指标的模拟预测等都要更多地靠它来快速地运作。因此，未来的开发动态分析技术将是描述精细、反映迅速、多学科多专业紧密结合的综合技术，从事开发动态分析工作的石油技术工作者必须从理论知识和运作手段上作好准备。

# 第一章 开发动态分析的地质基础和基本概念

## 第一节 油 藏

油、气藏是指在单一的圈闭中具有同一压力系统和一定储量的油、气聚集。如果在同一背斜构造中有三个储集层，组成了三个圈闭，有三个不同的压力系统和不同的油气水边界，则认为是三个油、气藏。在同一个储集层内，如果由于断层破坏而形成两个或多个由不同要素所控制的圈闭，并且具有不同的压力系统和油、水边界，则认为有两个或多个油、气藏，反之，对于不同储集层，若都属于不同要素所控制的圈闭，具有统一的压力系统和油、水界面，则这几个储集层同属一个油、气藏。如大庆长垣北部的萨尔图、葡萄花、高台子油层，虽属三套储集层，但都属于同一背斜要素所控制的圈闭，压力系统和油、水界面统一，是一个油、气藏。

### 一、油藏、储层的分类和地质特征

根据油藏的构造特征、地质条件和驱动能量，可以把油藏分为若干类，针对不同类型的油藏采用不同的开发方法。国内外石油地质学家和油藏工程专家们对油藏分类采取不同的方法，这里介绍前苏联石油地质学家 M.И 马克西莫夫的分类和我国石油地质专家裘亦南等人的分类方法。

#### (一) 按天然能量分类

M.И 马克西莫夫在《油田开发地质基础》一书中，以油藏的天然能量为依据，把油藏分成两个类型。

##### 1. 封闭型油藏

由于储集层岩性变异或存在引起遮挡的断层，或没有活跃的地层水，油藏的天然能量主要是溶解气和气顶气。

##### 2. 具有活跃的地层水的油藏

这种油藏由于有比较充足的地层水（边水或底水），在开采过程中能量消耗可得到及时的补充，使得地层压力保持稳定，气体呈溶解状态，生产气油比等于原始溶解气油比。油井见水后，含水将不断上升，产油量也将不断下降，但产液量可保持不变。

另外，根据油藏的特点，还可以分为以下三类：

- (1) 油藏全部或部分位于气顶之下的背斜油藏。
- (2) 翼部为油藏（全部或部分有气顶）的层状油藏。
- (3) 受岩性或构造控制的油藏。

#### (二) 按陆相沉积储层分类

裘亦南等人从储集层的沉积类型和性质，原油性质，油气水分布以及裂缝等四个方面研究了我国油藏的基本开发地质特点，提出把储集层特点作为分类的第一依据。

根据储层特点，首先把碎屑岩储集层分为五类：

(1) 河流—三角洲沉积体系的砂岩储层，具体可分为河流砂体（陆上）和三角洲前缘砂体（水下）两类。

(2) 冲积扇三角洲—浊积扇沉积体系的砂砾岩储层。

(3) 三角洲间湖湾沉积体系的席状砂岩储层（包括伴生的薄层碳酸盐岩）。

(4) 经成岩作用改造的低渗透砂岩储层。砂岩经较深成岩作用改造后，原生孔隙大量损失，次生孔隙可能成为主要储油空间，裂缝也随岩性致密而更加发育的储层。

(5) 碳酸盐岩为主的储层。

分类的第二依据是考虑原油的性质。根据原油性质可分出：

(6) 稠油油藏。

(7) 凝析油气藏。

(8) 常规油气藏。

### (三) 根据驱动方式分类

根据油藏的驱动方式，可以把油藏分成以下六类。

#### 1. 弹性驱动油藏

这种油藏的驱油能量来自油层岩石和流体的弹性膨胀。这种油藏无边水（底水或注入水），或有边水而不活跃，油藏压力高于饱和压力。

#### 2. 溶解气驱油藏

该类油藏无边水（底水或注入水）无气顶或有边水而不活跃，地层压力低于饱和压力。

#### 3. 水压驱动油藏

存在边水或底水时，形成水压驱动。该类油藏又分为刚性水压驱动和弹性水驱两种。

##### 1) 刚性水驱

驱动能量主要是边水（或底水、注入水）的水力压差作用。

##### 2) 弹性水驱

油田开采过程中随着采出液体使含水区和含油区压力降低而释放出油层及流体的弹性能量。

#### 4. 气压驱动油藏

油藏存在气顶时，压缩气成为主要的驱动能量而形成气压驱动。该类油藏又分为刚性气压驱动和弹性气压驱动两种驱动方式。

#### 5. 重力驱油藏

靠地层油的重力将油驱向井底。这类油藏一般油层倾角大、厚度大及渗透性较好。

根据驱动方式分类，主要用于油田开发过程中的动态分析和预测，可以看成是一种动态分类方法。

除了以上分类方法外，在实际应用中，往往还根据油藏背斜情况、层状特征、岩性、断层、复合等特点对油藏进行分类。

## 二、描述油藏的基本参数

在描述油藏的特征时，常用以下参数说明油、气藏的规模及油、气、水的分布（见图 1-1-1）。

### 1. 含油（气）高度

油、水接触面与油（气）藏最高点的海拔高差，称为含油（气）高度。

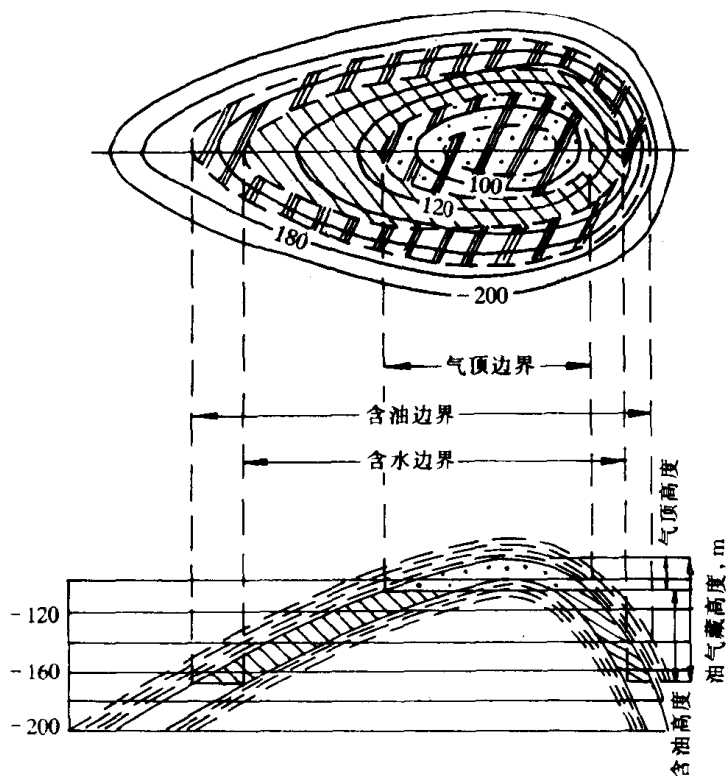


图 1-1-1 背斜油气藏中油、气、水分布示意图

## 2. 含油边缘

水和油的外部分界线称为含油边缘。它是油、水接触面与含油层顶面的交线。

## 3. 含水边缘

油和水的内部边界线称为含水边缘。是油水接触面与含油层底面的交线。

含油边缘和含水边缘在油田开发中一般被称为外含油边界。

## 4. 含油面积

含油边缘所圈的面积称为含油面积。

## 5. 底水和边水

在周围衬托着油藏的水称为边水。在整个油藏的下部全为水，这种水称为底水。

### 三、驱动能量

由于地层的地质条件和油气水的物理化学性质不同，使得不同油藏存在不同的驱动方式。在油田开发初期，根据地质勘探成果和高压物性资料，以及开发之后所表现出来的开采特点，确定油藏的驱动方式。随着油田的开发，驱动方式会因开发条件的改变而变化，经常研究油田的生产特征，分别判断驱动方式的变化情况，对油田开发初期和开发中后期的调整具有重要意义。油藏的驱动方式不同，则开采方式也不同，从而在开发过程中产量  $Q_o$ 、地层压力  $p_e$ 、生产气油比  $R_p$  等重要指标也有不同的变化特征。所以，驱动方式会影响到合理的选择注采井、布井方案，以及合理的开发调整和三次采油工艺技术的实施。下面分别说明不同驱动方式的主要开采特征。

#### (一) 弹性驱动

依靠地层岩石和流体的弹性膨胀能量驱油的油藏为弹性驱动。油藏开采时，随着压力的降低，地层将不断释放出弹性能量，将油驱向井底。开采特征曲线如图 1-1-2 所示。

#### (二) 溶解气驱

当油层压力  $p_e$  下降到低于饱和压力时，随着压力的降低，溶解状态的气体从原油中分离出来，形成气泡，气泡膨胀而将原油推向井底。

当油井点处于压力急剧下降时，井底附近严重脱气，油层孔隙内便很快形成混合流动，随着压力的降低，逸出的气量增加，相应的含油饱和度和相对渗透率则不断降低，使原油的流动阻力增大。此外，原油中溶解气逸出后，原油粘度也增加，油井产量  $Q_o$  开始以较快的速度下降。气油比  $R_p$  的变化则在开发初期随着压力的降低而急剧增加，当地层能量消耗近于枯竭时，则气油比开始下降。其开采特征曲线如图 1-1-3 所示。

#### (三) 水压驱动

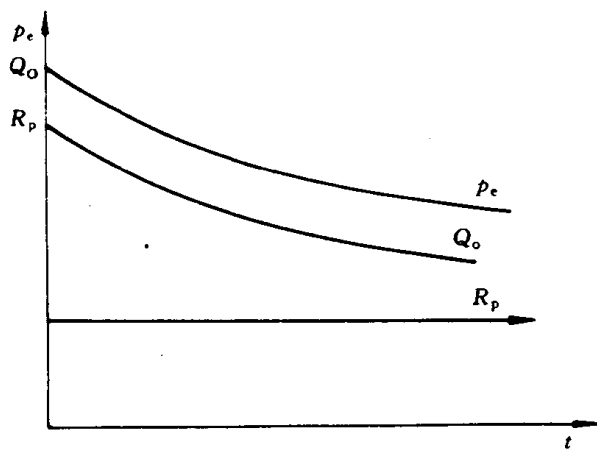


图 1-1-2 弹性驱开采特征曲线

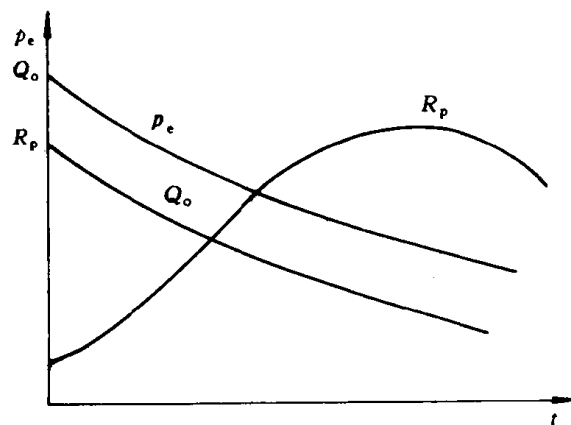


图 1-1-3 溶解气驱油藏开采特征曲线

油藏存在边水、底水或人工注入水时，形成水压驱动，水压驱动又可分为刚性水驱和弹性水驱。

#### 1. 刚性水驱

驱动能量以边水、底水或注入水的重力作用为主。形成刚性水驱的条件是：油层与边水或底水相连通，水层有露头，且存在着良好的供水水源，与地层的高度差也较大，油水层都具有良好的渗透性，在油区和水区间没有断层遮挡。

油藏进入稳定的生产阶段以后，由于有着充足的边水、底水或注入水，能量消耗能得到及时的补充，所以整个开采过程中地层压力保持不变。油井见水后，含水不断增加，产油量下降，但产液量基本不变。开采过程中气体呈溶解状态，所以气油比等于原始溶解气油比。

#### 2. 弹性水驱

压力降到封闭边缘以后，要保持井底压力为常数，地层压力将不断下降，因而产量也下降，由于地层压力高于饱和压力，因而不会出现脱气区，气油比不变。

形成弹性水驱的条件是：边水活跃程度不能弥补采出液量，一般边水无露头，或有露头但水源供给不足，或存在断层或者岩性变差等。若采用人工注水时，注水速度赶不上采液速度，也会出现弹性水驱的生产特征。弹性水驱有可能向着弹性—溶解气混合驱动方式转化。

### (四) 气压驱动

油藏存在气顶或进行人工注气时，压缩气为油藏中驱油的主要能量，此时形成气压驱动。气压驱动也可分为刚性气驱和弹性气驱。

#### 1. 刚性气压驱动

当人工注气时，如果注入量足以使开采过程中地层压力保持不变，则形成刚性气压驱动。如果气顶体积比含油区的体积大得多，能够使得在开采过程中气顶或地层压力基本保持不变或下降很小，也可看做是刚性气压驱动。在这种驱动方式下，开始时地层压力、产量和油气比基本保持不变，只有当油气边界线不断推移至油井之后，油井开始气侵，则气油比上升。

#### 2. 弹性气压驱动

当气顶体积较小，而又没有进行注气的情况下，随着采出量的不断增加，气顶不断膨胀，其膨胀的体积相当于采出原油的体积，此时为弹性气压驱动。这种驱动方式下，地层压力下降，产油量逐渐降低，气油比不断上升。

### (五) 重力驱动



重力驱多发生在油田开发的后期和其它能量已枯竭的情况下，油层具有倾斜角大，厚度大及渗透性好等条件，靠原油自身的重力将油驱向井底时为重力驱动。开采时，含油边缘渐渐向下移动，地层压力随时间而减小，油井产量在上部含油边缘到达油井之前是不变的。

每一个油藏，都存在着一定的天然驱动能量，这种驱动能量是可以通过地质勘探成果及原油的高压物性试验来加以认识的。油田投入开发并生产了一段时间以后，就可以依据不同驱动方式下的生产特征，来分析判断是属于哪一种类型的驱动能量。另外，油藏的驱动方式是随着开发的进行和开发措施的改变而不断变化的，因此需要不断地进行研究和认识。

## 第二节 储层岩石物性

碎屑岩储集层是重要储集层之一，包括砂砾岩、中粒砂岩、细砂岩、粉砂岩以及松散的砂层。其中，细砂岩和粉砂岩储集层分布最广，储油物性也较好。

碳酸盐岩储集层也是重要的储油层，其储量约占世界总储量的一半，原油产量则达到世界总产量的60%以上。

油气是储存于地下深处的储油气层中的，因此研究储层的问题就必须研究储层岩石骨架及储存于骨架孔隙中的流体（油、气和水）两部分。

### 一、储层岩石的骨架性质

储层岩石颗粒的大小、形状、排列方式、胶结物的数量、性质以及胶结方式影响储层的性质，其主要指标是岩石的粒度和比面。

#### 1. 岩石的粒度

岩石的粒度是指构成砂岩的各种大小不同粒级的百分数。

测定粒度的方法主要有：薄片显微镜下对测法、图像分析仪、筛析法和沉降法等，其中后两种方法较为常用。

粒度表示方法有两种，分别是数字列表法和作图法。作图法具有直观明了的优点，是常用的表示粒度的方法，有：直方图、累积曲线图、频率曲线图和概率曲线图等。粒度分布规律大多为正态或近似正态分布，如图1-2-1，图1-2-2所示。

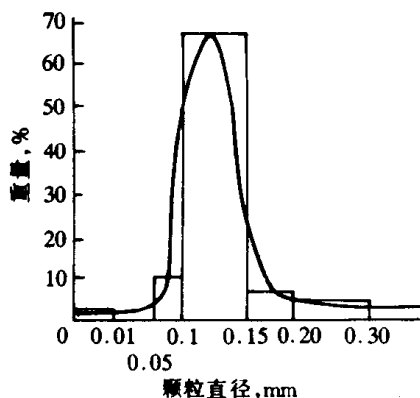


图 1-2-1 粒度分布曲线

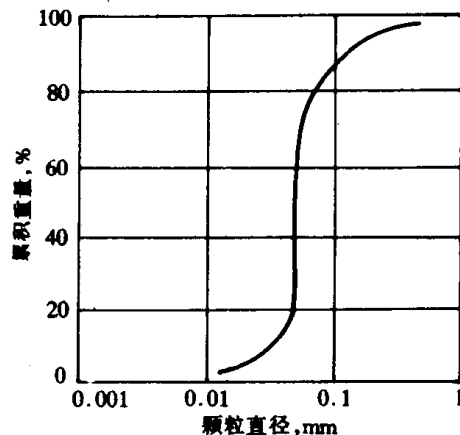


图 1-2-2 粒度累积分布曲线

描述粒度的参数有不均匀系数，分选系数和标准偏差等，其计算方法如下：