

石油高职教育“工学结合”教材

SHIYOU GAOZHI JIAOYU GONGXUE JIEHE JIAOCAI

油气田开发与调整

李振银 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职教育“工学结合”教材

油气田开发与调整

李振银 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了油藏流体运动的规律、试井分析、油藏评价、油田开发设计基础、油藏动态分析方法和油藏管理等内容。

本书可作为高职高专油气开采技术专业学生教材，也可供从事油田开发、油藏工程的科研及石油矿藏技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气田开发与调整/李振银主编.

北京:石油工业出版社,2012.9

(石油高职教育“工学结合”教材)

ISBN 978-7-5021-9240-2

I. 油…

II. 李…

III. 油气田开发-高等职业教育-教材

IV. TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 197899 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: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010) 64240656 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京华正印刷有限公司

2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:16

字数:408千字

定价:29.00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

油品的储存与装卸是油库加油站的主要业务作业,其专业性和技术性都很强,而且具有很大的严密性与危险性。为了确保油库安全、保证油库各项业务工作进行顺利,强化学习,提高操作技能适应企业的发展,编者编写了本教材。

本书是国家示范性高职院校建设项目成果之一,是高等职业技术教育油气储运技术专业的专业核心课程教材,既可以作为该专业的教学用书,同时又可以作为油气储运工程技术与设备操作人员的应用参考手册。全书共有4个学习情境,分别为对油气储存与装卸生产任务和意义的认识、油品的储存与装卸作业、天然气的储存作业、油气储运消防。本书在内容取舍上遵循能力本位,基于工作过程,以项目为载体。在满足该专业毕业生储油、储气库生产运行及调度,节能降耗以及安全生产等能力培养的同时,兼顾了油气储运工程技术人员和油气储运设备操作人员的专业需要。

本书由祝守丽任主编,由马志荣任副主编,由李智勇主审,龚伟全协助审定。在编写过程中,编者得到了校企合作单位新疆油田油气储运公司和中国石油天然气股份有限公司西部管道分公司的大力支持,在此谨致感谢。

由于编者能力有限,书中的不足甚至谬误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 3 月

前 言

本书作为高职高专国家重点专业（油气开采技术专业）示范性建设的核心教材，根据油气开采技术专业实践专家研讨会指导思想，从油藏实际开发过程出发，在大量的工作任务中，分析出典型工作任务，以项目和任务为驱动，打破了学科式课程体系的思维模式，建立和完善了“基于工作过程的课程设计、基于工作任务的课程内容结构和基于工作质量的课程学习要求”的“工作过程三维导向”的课程体系结构。本书编写所遵循的原则是：

（1）从培养高技能人才出发，以强化技术应用能力为主线，着眼于培养学生岗位综合能力、操作和组织管理等技能，同时兼顾了学生可持续发展的需要。

（2）本书的编写突出了教学任务，根据典型工作任务，设计了以工作过程为导向的课程教学情境，引入了以项目和任务为驱动，以油藏为载体的教学理念，体现了“教、学、做”一体化，为把学生培养成高技能的合格人才奠定了扎实的基础。

（3）兼顾了教材的实用性及不同层次各类培训班的教学需要。

本书共分为六个学习情境，十二个项目，三十五个典型工作任务。

本书由李振银任主编，其中廖作才编写了学习情境三中的项目二；艾塞提编写了学习情境六中的项目一；罗川编写了学习情境一中的两个任务（项目一中的任务二和任务三）；宋胜军编写了学习情境五项目一中的任务五，其余内容均由李振银编写。全书由李振银统稿，廖作才审核。新疆油田公司教授级高级工程师沈建林任本书的主审，并提出了许多宝贵的修改意见，在此表示感谢。

本书充分体现了编写教师的教学经验和教学改革成果，体现了油气开采专业示范性建设项目组的团结协作及其教学经验和成果，也体现了“工学结合、校企合作”的教学理念。

由于编写人员水平有限，书中难免存在不妥之处，希望使用本书的师生及读者提出批评并给予指正。

编 者

2011 年 3 月

目 录

学习情境一 油藏流体运动的规律	1
项目一 渗流的基本定律	1
项目二 单相不可压缩液体的稳定渗流	18
习题	51
学习情境二 试井分析	55
项目一 压力恢复试井	56
项目二 其他试井分析方法	69
习题	80
学习情境三 油藏评价	83
项目一 油气藏压力与温度系统	83
项目二 储量评价及采收率测算	89
习题	109
学习情境四 油田开发设计基础	111
项目一 油田开发前的准备	111
项目二 油田开发方案的编制	121
项目三 油田的注水开发	138
习题	154
学习情境五 油藏动态分析方法	155
项目一 油藏动态分析的物质平衡方法	155
项目二 油藏动态分析的经验方法	180
习题	210
学习情境六 油藏管理	213
项目一 油藏开发的管理与监测	213
项目二 油田开发调整	224
参考文献	251

学习情境一 油藏流体运动的规律

油藏一般是由含油区、含气区（当存在气顶时）和含水区（当存在边水或底水时）组成。整个油藏系统内是由微细的孔隙通道相连，流体各质点间是相互制约、相互作用的，每一个局部变化都会影响到整体。了解油气水在油藏中的分布状况，以及驱油流动的能量来源，进一步从油层中油、气、水储存的客观状况出发，通过对渗流特点的分析，找到渗流的基本规律，为以后对具体问题进行深入研究、解决油田实际问题奠定基础。

本学习情境包含两个项目：

项目一 渗流的基本定律

项目二 单相不可压缩液体的稳定渗流

项目一 渗流的基本定律

在油田开发过程中，为了确保油田长期稳产高产，就必须认识和掌握油层中油、气、水的流动规律，达西定律是描述流体在多孔介质中流动的基本定律。本项目主要包括三项任务：认识油气藏、油藏驱动方式的分析和渗流方式的分析。

任务一 认识油气藏



知识目标

- (1) 掌握油气储层的概念；
- (2) 掌握油气储层的特点；
- (3) 了解油气储层内部空间结构；
- (4) 掌握油气藏的静态参数。



技能目标

能画出油气藏的外部形状及其简化示意图。



相关知识

一、渗流的基本概念

渗流是流体通过多孔介质的流动。多孔介质是由毛细管或微毛细管组成的介质，或内部含有众多孔隙的固体材料，如孔隙介质、裂缝介质等。

渗流力学是研究流体在多孔介质中运动规律的科学，即研究流体的运动形态和运动规律的科学。

在工程技术领域内所出现的渗流称为工程渗流，如化学工业中的催化塔，冶金工业中用氢气通过多孔耐火砖进行钢液脱气等。凡是发生在地下的渗流，如油气在地下的流动统称为

地下渗流。生物体内发生的渗流称为生物渗流，如光和作用产生的养料传送给树根，树根吸收土壤中的水分传送给枝叶；动物体内血液流动及矿物质的输送等。由此可见，在生产过程中和科学实验中，如开发油气田，利用地下水及地质资源，水利工程、农业灌溉、土壤改良、生物工程、化学生产、机械冶金及环境保护、地震研究、防止城市沉降等都和渗流力学有着密切的关系。

油气层渗流力学是渗流力学的一个非常重要的分支学科，油气层渗流力学研究的是地下油层中流体运动的规律。

渗流力学的研究对象主要是油、气、水及其混合物在地层中的渗流形态和规律。它是油气田开发、油水井开采及提高采收率的理论基础。

二、油气储层的内部空间结构

油气储层是油气储集（存储）的场所和油气运移的通道，是流体发生渗流的前提条件。

（一）粒间孔隙结构

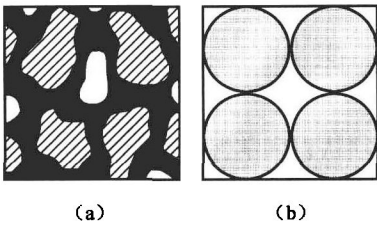


图 1-1 粒间孔隙结构示意图
(a) 真实情况；(b) 理想情况

粒间孔隙结构是由大小和形状不同的颗粒堆集组成，颗粒之间被胶结物充填。没有被胶结物充填的那些空间既是储油空间又是油流的通道，如图 1-1 所示。其中黑色部分为胶结物，斜线部分为固体颗粒，空白部分为孔隙空间。由此可见，孔隙的结构是随机的和极不规则的，对油气渗流的影响也是极难预测的，为此，人们对其提出了种种假设模型，如图 1-2 所示。这些简化的模型对渗流规律的研究具有较大的意义。

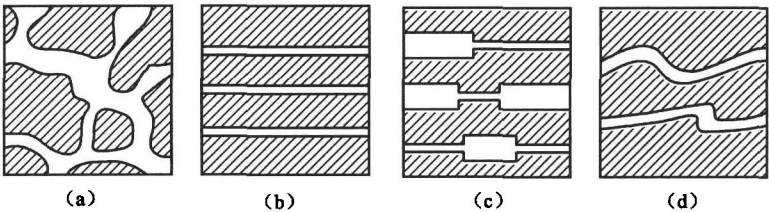


图 1-2 孔道及其简化示意图
(a) 真实孔道；(b)、(c)、(d) 简化孔道

（二）纯裂缝结构

在不渗透的致密碳酸盐岩中只具有微裂缝，这种结构就属于纯裂缝结构。这种结构一般存在于致密的碳酸盐岩中。裂缝既是储油的空间，又是油流的通道，如图 1-3 所示。

（三）纯溶洞结构

致密的碳酸盐岩中，若只存在溶洞（洞穴）的结构，就属于纯溶洞结构。

粒间孔隙结构、纯裂缝结构和纯溶洞结构三种介质为单纯介质。所谓的单纯介质是指只存在一种孔隙结构的介质，如孔隙介质、裂缝介质等。

（四）裂隙结构（裂缝—孔隙结构）

裂隙结构是指在具有粒间孔隙的岩石中产生了

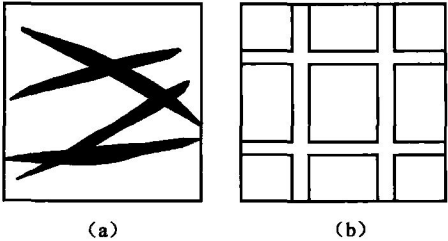


图 1-3 纯裂缝结构示意图
(a) 真实裂缝；(b) 理想裂缝

裂缝，即岩层中既有裂缝又有粒间孔隙，如图 1-4 所示。

(五) 洞隙结构（溶洞—孔隙结构）

洞隙结构是指粒间孔隙中产生了洞穴，既有洞穴又有孔隙的结构，如图 1-5 所示。洞穴的尺寸一般大于毛细管。孔道半径大于 0.25mm 的为超毛细管，小于 0.0001mm 称为微毛细管，而在 0.25 ~ 0.0001mm 的称为毛细管。

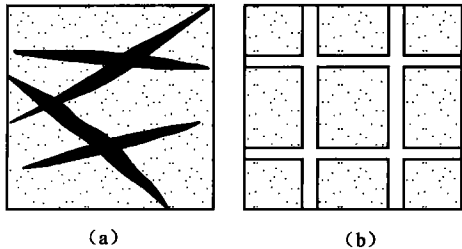


图 1-4 裂缝—孔隙结构示意图
(a) 真实情况；(b) 理想情况

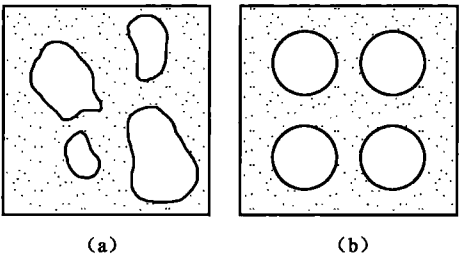


图 1-5 溶洞—孔隙结构示意图
(a) 真实情况；(b) 理想情况

粒间孔隙中的流体流动是渗流，而洞穴中的流体流动不是渗流，只是流体力学所讲的流动规律。

(六) 缝洞结构（裂缝—溶洞结构）

缝洞结构是指在裂缝结构中产生了溶洞。

裂隙结构、洞隙结构和缝洞结构三种介质为双重介质。同时存在两种或两种以上孔隙结构的介质称为多重介质。

(七) 洞缝隙结构（裂缝—溶洞—孔隙结构）

在裂隙结构中，再加上大的洞穴或者是大的裂缝，形成粒间孔隙、微裂缝、大洞穴或大裂缝并存的混合结构。

三、油藏外部几何形状及其简化

油藏是指两个不渗透层中夹着渗透含油层的封闭体系。在开发前，整个油藏处于相对平衡状态。地下流体常常储集在各种构造中，最常见和最典型的构造是背斜构造。下面以背斜构造为例，阐明在静态条件下的地下流体在构造中的分布情况，并对其外部几何形状进行简化，如图 1-6 所示。

(一) 油气藏的有关参数

(1) 油气分界面：气和油的交界面（接触面）。

(2) 油水分界面：油 and 水的交界面（接触面）。

(3) 含气边缘（含气边界、气顶边界）：油气分界面的往下投影，即油气接触面与油层顶面的交线。

(4) 含油外边缘：油水接触面与油层顶面的交线，在此边缘以外无油存在，交线以外为纯含水区。

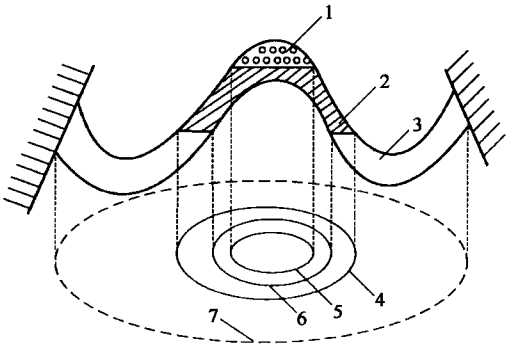


图 1-6 油藏外部形状及其简化示意图
1—气顶区；2—含油区；3—含水区；4—含油外边缘；
5—含气边缘；6—含油内边缘；7—封闭边缘

(5) 含水边界 (含油内边缘、含水边缘): 油水接触面与油层底面的交线。在交线以内圈闭的面积为纯油区。

(6) 计算含油边缘: 内外含油边缘的中线。一般常说的含油边缘都是指计算含油边缘。

(7) 边水: 位于含油边缘外部的水。

(8) 底水: 位于原油之下的水。

(二) 开敞式油藏

油藏外围有天然露头, 并与天然水源相连通的油藏。所谓的露头是指油藏边水与天然水源相连通。

供给边缘: 开敞式油藏的外廓的投影, 如图 1-7 所示。

供给压力: 供给边缘上的压力。

(三) 封闭式油藏

油藏外围封闭 (断层或尖灭), 无水源的油藏称为封闭式油藏。

封闭边缘: 封闭式油藏的外廓的投影, 如图 1-8 所示。

由于实际背斜构造在平面上的投影的几何形状很不规则, 为了研究问题方便, 常对其进行简化, 将其简化成条形油藏和圆形油藏两种形状规则的几何形状。方法是若长轴与短轴的比小于 3, 则简化成圆形油藏; 若长轴与短轴的比大于 3, 则简化成条带形油藏。

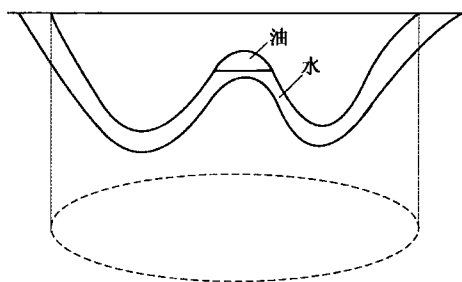


图 1-7 油藏供给边缘示意图

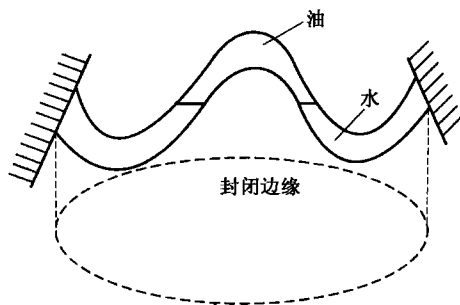


图 1-8 油藏封闭边缘示意图

四、油气储层的特点

(一) 储容性

油气储层作为一种多孔介质, 最重要的特点之一就是储容性, 即储存和容纳流体的能力。孔隙度是表征储容性的一个重要物理量。

孔隙度是指岩石孔隙体积与岩石总体积之比, 或岩石内总孔隙体积占岩石体积的百分数。

$$\phi_a = \frac{V_p}{V_b} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 V_p ——岩石总孔隙体积, m^3 ;

V_b ——岩石外表体积, m^3 ;

ϕ_a ——岩石绝对孔隙度。

孔隙分为连通孔隙、死胡同孔隙、微毛细管束缚孔隙和孤立的孔隙四种, 其中有效孔隙体积包含了相互连通的“死端孔隙”, 如图 1-9 所示。因此, 岩石的孔隙度又分为绝对孔

隙度、有效孔隙度和流动孔隙度。

有效孔隙度是指岩石中的有效孔隙体积与岩石总体积的比值，即

$$\phi_e = \frac{V_{ep}}{V_b} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 V_{ep} ——岩石中的有效孔隙体积， m^3 ；

V_b ——岩石外表体积， m^3 ；

ϕ_e ——岩石有效孔隙度。

流动孔隙度是指流体在岩石内能够流动的孔隙体积与岩石总体积之比。

$$\phi_f = \frac{V_{fp}}{V_b} \quad (1-3)$$

式中 V_{fp} ——岩石中的流动孔隙体积， m^3 ；

V_b ——岩石外表体积， m^3 ；

ϕ_f ——岩石流动孔隙度。

不同孔隙度之间的关系为： $\phi_a > \phi_e > \phi_f$ 。

(二) 渗透性

渗透性是指多孔介质允许流体通过的性质。表示渗透性大小的物理量是渗透率。

渗透率可分为绝对渗透率、有效渗透率和相对渗透率三种。

(1) 绝对渗透率。岩石孔隙中只有单相液体时，岩石允许流体通过的能力，称为绝对渗透率。此时流动为层流，且岩石和液体之间不起任何作用。

(2) 有效渗透率（相渗透率）。岩石孔隙中存在多相流体时，岩石允许某一相流体通过的能力，称为该相流体的有效渗透率（相渗透率）。

(3) 相对渗透率。岩石孔隙中存在多相流体时，某一相流体的有效渗透率与绝对渗透率的比值称为该相流体的相对渗透率。

(三) 比表面性（表面性）

由于岩石中存在大量的孔隙空间，因此岩石中孔隙的内表面积也非常大，流体在岩石中与岩石的接触面积就非常大，因此流体在岩石中流动时，具有很大的渗流阻力。岩石中孔隙的内表面积越大，流体在岩石中流动时的渗流阻力就越大。

岩石比面是指单位岩石体积内总孔隙的内表面积。岩石颗粒越小，其比面就越大。

$$S = \frac{A}{V_b} \quad (1-4)$$

式中 S ——岩石的比面（比表面）， cm^2/cm^3 或 $1/cm$ ；

A ——岩石孔隙的总内表面积， cm^2 ；

V_b ——岩石体积（外表体积）， cm^3 。

(四) 孔隙结构复杂

储层的孔隙结构是指岩石所具有的孔隙和喉道的几何形状、大小、分布及其相互连通关系。岩石孔隙结构特征是影响储层流体（油、气、水）的储集能力和开采油气资源的主要

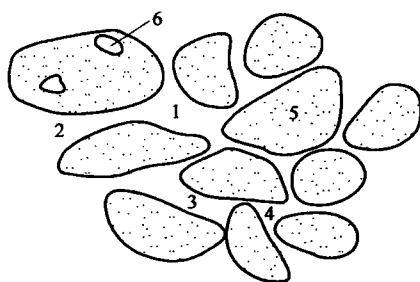


图 1-9 砂岩储层的孔隙和喉道
1—连通孔隙；2—喉道；3—死胡同孔隙；
4—微毛细管束缚孔隙；5—颗粒；
6—孤立的孔隙

因素,因此明确储层岩石的孔隙结构特征是充分发挥油气产能和提高油气采收率的关键。

由于多孔介质具有复杂的孔隙结构和比面大的特点,这就决定了流体在其中的渗流阻力很大,渗流速度小的特性。渗流速度一般小于 10^{-6}m/s 。

拓展知识

一、多孔介质的特点

流动有很多种,如管流、大气流等,由于这些流动的环境不同,及流动环境的特殊性,就造成了流动的特殊性及其规律存在差别。要想掌握渗流的基本特点,首先要了解多孔介质的特征,即渗流环境的特征。

(1) 具有巨大的比面。砂岩比面一般小于 950cm^{-1} ,细砂岩比面一般为 $950 \sim 2300\text{cm}^{-1}$,粉砂岩比面一般大于 2300cm^{-1} 。

(2) 复杂的孔隙结构。由于岩石的孔隙结构复杂,会造成各种毛细现象及表面现象的发生。

(3) 表面极为粗糙。岩石表面极为粗糙,使流体在岩石中流动的渗流阻力增加。

(4) 孔隙极小。岩石孔隙极小,一般孔隙半径是在 $0.1 \sim 1\mu\text{m}$ 之间,导致流体的渗流阻力很大,渗流速度很小。

二、真实速度与渗流速度

(一) 真实速度

流体在多孔介质中流动的真实速度是指流体通过单位孔道面积的体积流量。

$$\text{真实速度} = \frac{\text{流量}}{\text{孔道面积}}$$

即
$$v_{\phi} = \frac{Q}{A_{\phi}} \quad (1-5)$$

式中 v_{ϕ} ——流体通过垂直于岩石横截面积方向上的真实速度, m/s ;

Q ——流体通过岩石的体积流量, m^3/s ;

A_{ϕ} ——真实渗流面积,即与渗流方向垂直的岩石横截面积上的孔隙面积之和(又称透光面积), m^2 。

(二) 渗流速度

渗流速度是指流体通过单位岩石渗流面积的体积流量。

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1-6)$$

式中 v ——渗流速度, m/s ;

Q ——体积流量, m^3/s ;

A ——与渗流方向垂直的岩石横截面积, m^2 。

渗流速度不是真实速度,客观上是不存在的,而是一个假想的速度。

(三) 真实速度与渗流速度的关系

$$v = v_{\phi}\phi \quad (1-7)$$

$$\phi = \frac{V_p}{V} = \frac{A_\phi L}{AL} = \frac{A_\phi}{A}$$

$$A_\phi = \phi A$$

$$v_\phi = \frac{Q}{A_\phi} = \frac{Q}{A\phi} = \frac{v}{\phi}$$

$$v = v_\phi \phi$$

即渗流速度等于真实速度与孔隙度的乘积，因此，流体通过岩石的渗流速度小于其真实速度。

流体在多孔介质中的流动环境具有如下特征：

- (1) 流动的孔道截面很小，一般 $10^{-4} \sim 10^{-8} \text{cm}^2$ ；
- (2) 孔道形状不规则，弯曲多变，流动的途径弯曲复杂；
- (3) 流体和固体接触面积很大；
- (4) 孔道表面极为粗糙；
- (5) 渗流阻力很大，渗流速度很小。



思考题

1. 什么是多孔介质？
2. 什么是渗流？
3. 什么是油气储层？
4. 油气储层有哪些特点？
5. 油气储层的内部空间结构有哪几种？
6. 解释：油气分界面、油水分界面、含气边缘、含油外边缘、含水边界、边水、底水、供给边缘、供给压力、封闭式油藏和开敞式油藏。
7. 多孔介质具有哪些特点？
8. 什么是渗流？地下渗流有哪些特点？

任务二 油藏驱动方式的分析

在制订油田开发方案时，既要合理地利用天然能量，又要有效地保持地层能量，以满足对开采速度和稳产时间的要求。这就需要分析地层能量及其驱动方式，采用不同的驱动方式，其油田开发方案也是不相同的。因此，分析油藏的天然能量及其驱动方式，根据油藏的特点选择合理的驱动方式，对提高油田开发的效果和效益是非常重要的。



知识目标

- (1) 掌握油藏的五种天然驱油能量；
- (2) 掌握油藏的五种驱油方式。



技能目标

能够分析油藏的驱油能量及其驱油方式。



相关知识

一、油藏中的驱动能量

(一) 岩石和流体的弹性能

对于没有边水的封闭的未饱和油藏，由于油藏外围不与天然水源相通，或者虽然油藏不封闭，还没有影响到含油区时，在原始条件下，油层流体和岩石都处于高压状态。当打开油层投产后，由于压力下降，油层中的流体和岩石要发生膨胀而释放出弹性能，从而把油层孔隙中的大量原油排挤出来，将油层中的油驱向井底。

(二) 水压能

水压能是指边水或人工注入水的压能。水压能又可分为重力水压能和弹性水压能。对于开敞式油藏，油层外围有天然露头，若与天然水源相连通，则会有源源不断的液源供给，油层所承受的是边水的重力压能，即重力水压能。对于具有有限边水区的油藏，水区压力下降之后，边水靠弹性膨胀进入油层驱油，这就是弹性水压能。

(三) 含油区的溶解气的膨胀能（弹性能）

对于一个没有气顶、边水和底水的油藏来说，如果原始地层压力等于饱和压力，则在油藏投入开发以后，地层压力要下降到饱和压力以下，这时原油中的溶解气就要从油中分离出来；随着压力继续下降，分离出来的溶解气的体积发生膨胀，把油驱向井底。

(四) 气顶区的弹性膨胀能

如果油藏是饱和油藏，在原始状况下存在气顶，气顶的气体是受高压压缩的。开采以后当油层压力降低时，气顶气体体积膨胀，占据油的空间，把孔隙中的油驱向井底。

(五) 原油本身的位能

这种能量只有在其他能量都已枯竭，并且油层倾角较大、渗透率较高、地层油黏度较小的条件下才能发挥作用。当油藏其他能量耗尽时，依靠原油本身的重力迫使原油从油层流向低处的井底。这时，原油本身的位能起主要作用。

以上所述是油层中驱油的几种主要的驱油能量。实际上，不同的油藏可能具有不同的驱油能量。油藏中只存在一种驱油能量是少见的，一般都同时存在几种驱油能量。但是在不同的生产阶段，在这几种驱油能量中，必有一种能量起主导的、决定的作用；而其他几种能量则处于次要和附属的地位。

二、驱动方式

驱使原油流向井底的动力来源方式称为驱动方式。在开采石油的过程中，油气从储层流入井底，又从井底上升到井口的驱动方式有五种驱动方式：弹性驱动、溶解气驱动、水压驱动、气压驱动和重力驱动。

在生产过程中，主要依靠哪种能量来驱油，就把该种能量称为油藏的驱动方式。如以重力水压能驱油为主，则油藏的驱动方式为重力水压驱动方式；若油藏以弹性水压能驱油为主，则油藏的驱动方式为弹性水压驱动方式。

驱动方式也是不断变化的，油藏中驱油的主要动力发生了变化，其驱动方式也随之发生变化。

当油藏的天然能量充足时，油气可以喷出井口；能量不足时，则需采取人工举升措施，把原油从井底举升至地面。

(一) 弹性驱动

主要依靠岩石和流体的弹性能将原油驱向井底的方式称为弹性驱动方式。油藏在开发前, 岩石和流体处于压缩状态, 油藏打开后, 随着原油的采出, 地层压力降低, 岩石孔隙体积缩小, 流体膨胀, 使得油层孔隙中的流体被挤出孔隙, 驱向井底, 其过程就是释放能量的过程, 这种弹性作用可把原油从油层驱至井底, 进而举升至地面。

1. 形成条件

- (1) 油藏无原生气顶;
- (2) 油藏无边水、无底水和无注入水 (或有不活跃的边水、底水);
- (3) 开采过程中, 油藏压力高于饱和压力。

2. 开采特征曲线

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。其开采特征曲线如图 1-10 所示, 其生产特点如下:

- (1) 地层压力随时间增加而下降;
- (2) 产油量随时间增加而下降;
- (3) 生产气油比为一常数。

(二) 溶解气驱动

主要依靠从原油中分离出的溶解气的弹性膨胀作用将原油驱向井底的方式称为溶解气驱动。

溶解气驱动的特点是: 地层压力低于饱和压力, 油藏应无边水 (底水或注入水)、无气顶, 或有边水而不活跃。

1. 形成条件

- (1) 气泡膨胀能为主要的驱油能量;
- (2) 油藏无边水、底水、注入水 (或有不活跃的边水、底水);
- (3) 地层压力小于饱和压力。

如图 1-11 所示的为溶解气驱油藏的剖面示意图。

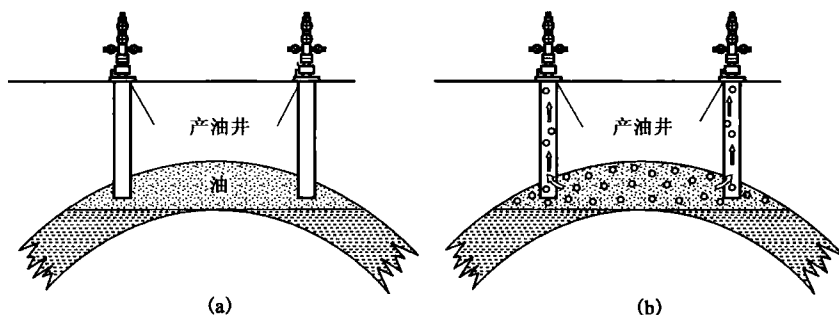


图 1-11 溶解气驱油藏的剖面示意图

(a) 剖面图 (原始状态); (b) 剖面图 (投产之后)

当油层压力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, 气泡膨胀而将石油推向井底。开发初期压降较小时, 气油比急剧增加, 地层能量大大消耗, 最后枯竭, 所以气油比开始上升很快, 然后又以很快的速度下降, 其开采特征如图 1-12 所示。

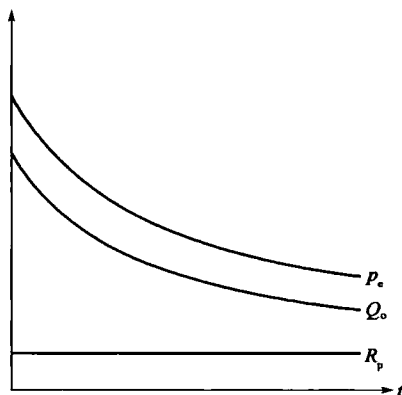


图 1-10 弹性驱动油藏开采特征曲线示意图

Q_o —产油量; R_p —生产气油比; p_e —地层压力

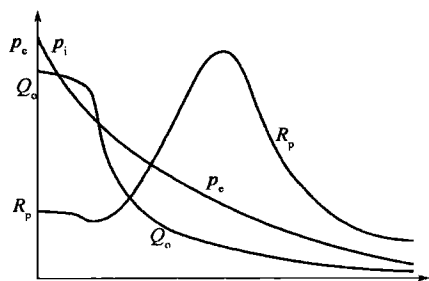


图 1-12 溶解气驱动油藏开采特征曲线示意图

Q_o —产油量； R_p —生产气油比； p_e —地层压力

2. 开采特征曲线

生产气油比的变化可分成三个阶段。

第一阶段，生产气油比缓慢下降。因为在这一阶段，地层压力刚开始低于饱和压力，分离出的自由气量很少，呈单个的气泡状态分散在地层内，气体未形成连续的流动，故自由气膨胀所释放的能量主要用于驱油。

第二阶段，气油比急剧上升。因为此时分离出来的自由气的数量较多，逐渐形成一股连续的气流，因此油层孔隙中便很快形成两相流动，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减少，使油的流动更加困难；同时，原油中的溶解气逸出后，使原油的黏度增加，因而油井产量和累积采油量开始以较快的速度下降。但气体的黏度远比油的黏度小，故气体流动很快，而油却流得很慢。因而油井产量以较快的速度下降。在这个阶段中气体驱油的效率较低。

第三阶段，生产气油比迅速下降。因为这时已进入开采后期，油藏中的气量已很少，能量已近枯竭。

- (1) 地层压力随时间增加而下降很快；
- (2) 油井产量随时间增加而快速下降；
- (3) 气油比开始上升很快，当到达峰值后，又很快下降。
- (4) 采收率一般在 5% ~ 25% 之间。

(三) 水压驱动

主要依靠与外界连通的边水、底水或人工注入水的压能将原油驱向井底的方式称为水压驱动。水压驱动又分为刚性水压驱动和弹性水压驱动两种驱动方式。

1. 刚性水压驱动

油藏流体流动主要依靠边水或注入水推动，采出多少油，同时推进（或注进）多少水，流动的弹性能不起作用或作用很少，这种油藏驱动方式叫做刚性水压驱动。

刚性指流体在运动过程中体积不发生变化。驱动能量主要是边水（或底水、注入水）的重力作用。

1) 形成条件

- (1) 油层与边水或底水相连通。
- (2) 水层有露头，且存在着良好的供水水源，与油层的高差也较大。
- (3) 油水层都具有良好的渗透性，且在油水区间没有断层遮挡。因此，该驱动方式下能量供给充足，其水侵量完全补偿了液体采出量，总压降越大，则采液量越大，反之当总压降保持不变时，液体流量基本不变。

2) 开采特征曲线

油藏进入稳定生产阶段以后，由于有充足的边水、底水或注入水，能量消耗能得到及时的补充，所以在整个开发过程中，保持不变。随着原油的采出及当边水、底水或注入水推至油井后，油井开始见水，含水将不断增加，产油量也开始下降，而产液量逐渐增加。开采过程中气全部呈溶解状态，因此气油比等于原始溶解气油比。其开采特征如图 1-13 所示。

2. 弹性水压驱动

与刚性水压驱动的区别是在弹性水压驱动方式下,注采不能平衡,油层流体流动时,体积要发生变化,因此,要考虑弹性对流体运动的影响。

主要依靠水压能及含水区和含油区压力降低而释放出的弹性能量来把原油推向井底的方式称为弹性驱动方式。

1) 形成条件

- (1) 边水活跃程度不能弥补采液量,一般边水无露头,或有露头但水源供给不足;
- (2) 存在断层或岩性变化等方面原因;
- (3) 若采用人工注水时,注水速度不及采液速度,也会出现弹性水驱的特征。

2) 开采特征曲线

一般地说,弹性水压驱动的驱动能量是不足的,尤其当开采速度较大时,它很可能向着弹性—溶解气驱混合驱动方式转化。

当压力降到封闭边缘后,要保持井底压力为常数,地层压力将不断下降,因而产量也将不断下降,由于地层压力高于饱和压力,因此不会出现脱气,气油比不变。其开采特征曲线如图 1-14 所示。

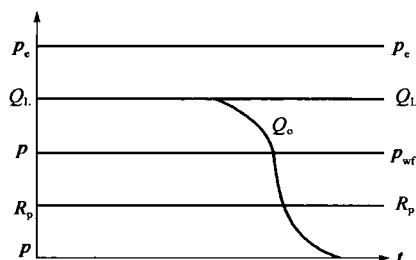


图 1-13 刚性水压驱动油藏开采特征曲线示意图

Q_o —产油量; R_p —生产气油比;
 p_e —地层压力; Q_L —产液量

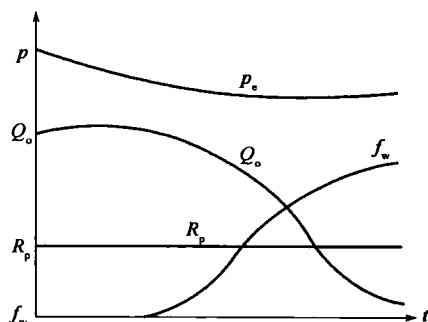


图 1-14 弹性水压驱动油藏开采特征曲线示意图

Q_o —产油量; R_p —生产气油比;
 p_e —地层压力; f_w —含水率

3. 水驱采收率

影响水驱采收率的因素很多,主要有保持地层压力的程度、油层非均质性、油层渗透率、地层油黏度、井网密度和层系划分等。水驱采收率一般为 35% ~ 75%。

(四) 气压驱动

当油藏存在原始气顶时,主要依靠气顶中的压缩气的弹性膨胀作用或人工注入气的压能作用将原油驱向井底的方式称为气压驱动。

气压驱动分为刚性气压驱动和弹性气压驱动两种方式。

1. 刚性气压驱动

刚性气压驱动是指在开采过程中保持地层压力不变的气压驱动方式。

形成刚性气压驱动的条件如下:

- (1) 人工向地层(或气顶)注气,保持地层压力。
- (2) 原生气顶体积特别大,气压驱动开始阶段,地层压力基本不变,或地层压力下降很小,也可视为刚性气压驱动。如图 1-15 所示的为具有原始气顶驱油藏剖面示意图。