



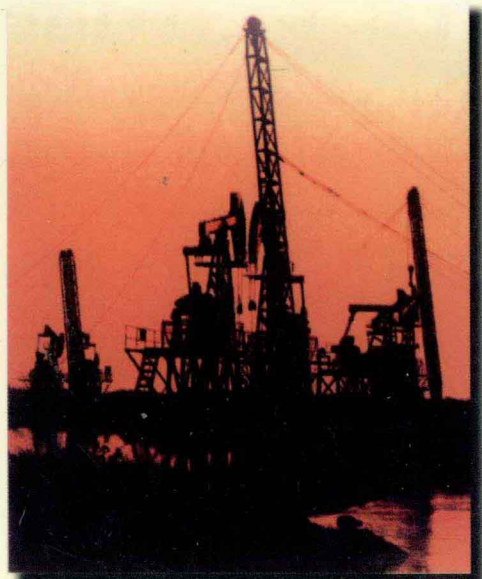
当代石油和石化工业技术普及读本

开 采

(第三版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

董恩环 陈国风 冯汝勇 执笔



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

当代石油和石化工业技术普及读本

开 采

(第三版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

董恩环 陈国风 冯汝勇 执笔

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

开采 / 中国石油和石化工程研究会组织编写. —3
版. —北京: 中国石化出版社, 2012. 3
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 978-7-5114-1414-4

I. ①开… II. ①中… III. ①油气开采-普及读物
IV. ①TE3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 030807 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭,
或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 4. 625 印张 85 千字

2012 年 3 月第 3 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

定价: 12.00 元

前 言

《当代石油和石化工业技术普及读本》(以下简称《普及读本》)第一版共包括了11个分册,2000年出版发行;2005年起根据石油石化工业的新发展和广大读者的要求,在修订了原有分册的基础上,补充编写了海洋石油开发、天然气开采等8个新的分册,于2007年出版发行了《普及读本》第二版;2009年我们又组织编写了煤制油、乙醇燃料与生物柴油等7个分册。至此,《普及读本》第三版共出版了26个分册,涵盖了陆上石油、海洋石油、开采与储运、天然气开发与利用、石油炼制与化工、石油化工绿色化及信息化、炼化企业污染与防治等石油石化工业相关领域的内容。

《普及读本》以企业经营管理人員和非炼化专业技术人员为读者对象,强调科普性、可阅读性、实用性、知识及技术的先进性,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业各个技术领域的概貌有一个基本了解,使其能通过利用阅读掌握的知识更好地参与或负责石油石化业的管理工作。这套丛书作为新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版项目,从开始组织编写到最后出版,我们在题材的选取、大纲的审定、作者的选择、稿件的审查以及技术内容的把关等方面,都坚持了高标准、严要求,力求做到通俗易懂、深入浅出、由点

及面、注重实用。出版后，在社会上，尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响，受到了广泛好评。为了满足读者的需求，其中部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行，对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用，并荣获2000年度中国石油化工集团公司科技进步三等奖。

近年来，石油石化工业的发展日新月异，先进技术不断涌现；随着时间的推移，原有部分分册中的一些数据已经过时，需要更新。为了进一步完善《普及读本》系列读物，使其内容与我国石油石化工业技术的发展相适应，我们决定邀请国内炼油化工领域的专家对第一版及第二版的19个分册进行修订，组织该书第四版的出版发行，从而使该系列读物与时俱进，更加系统全面。

《普及读本》第四版的组织编写和修订工作得到了中国石油、中国石化、中国海油、中国神华以及中化集团的大力支持。参与丛书编写、修订工作的专家、教授精益求精、甘于奉献，精神令人感动。在此，谨向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢！

中国工程院院士



二〇一一年八月八日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

(第四版)

编 委 会

主任：曹湘洪

编委：(按姓氏笔画为序)

王子康	王少春	王丙申	王协琴
王国良	王毓俊	尤德华	亢峻星
刘积文	刘跃文	刘镜远	孙梦兰
孙殿成	孙毓霜	陈宝万	陈宜焜
张广林	张玉贞	李润清	李维英
吴金林	吴明胜	法琪璞	庞名立
赵 怡	宫 敬	贺 伟	郭其孝
贾映萱	徐嗶东	翁维琬	龚旭辉
黄志华	黄伯琴	梁朝林	董恩环
程曾越	廖谟圣		

引 言

在油气勘探开发领域中，首先是勘探，然后才是油气田的开采，但它却十分重要，因为在勘探中找到的油气储量，能否把它更多更好地开采出来，并获得最佳的经济效益，完全依靠油气田的合理开发和生产。

本书着重介绍当油气田发现之后，是如何进行开发和生产的，需要做哪些工作。油气田开发分三个阶段：试采(油藏评价)阶段、油田建设(方案实施)阶段和油田生产阶段。试采(油藏评价)阶段主要任务是通过试油和试采录取各项资料，在此基础上编制油田总体开发方案；油田建设(开发实施)阶段主要任务是按照总体开发方案设计要求进行钻井、完井和地面工程建设；油田生产阶段主要任务是精心管好油田日常生产，进行油藏动态研究，不断地进行油田开发调整，使油田保持旺盛生产能力。注水和采油是油田生产阶段两项非常重要的工作。我国已经投产的油田多数需要注水维持地层压力，才能达到预期的采收率和经济效益，因此书中重点介绍注水和采油工程方法。书中还强调油气田开发必须以经济效益为中心，没有效益的油田不能投入开发。气田开发要在编制开发方案的同时，积极寻找用户市场，签订供气合同。此外，本书还介绍了油气田开发方面的先进技术等。

目 录

引言

第一章 油气藏地质基础	(1)
第一节 油气藏分类	(2)
第二节 储层物理性质	(5)
第三节 油、气、水性质	(10)
第四节 油层压力与温度	(14)
第五节 油藏流体高压物理性质	(17)
第六节 油藏驱动类型	(24)
第二章 油田开发	(30)
第一节 试油、试采和生产试验	(31)
第二节 储量计算	(39)
第三节 油田总体开发方案	(43)
第四节 油田建设	(49)
第五节 油田生产	(55)
第三章 注水工程	(62)
第一节 油田注水方式	(62)
第二节 水源及水质	(69)
第三节 水的处理	(72)
第四节 注水站	(77)
第五节 注水井分层注水	(78)

第四章 采油工程	(81)
第一节 采油	(82)
第二节 增产措施	(94)
第五章 先进技术	(103)
第一节 油藏描述、油藏模拟	(104)
第二节 分层注水、调剖堵水	(105)
第三节 异型井的开采	(107)
第四节 稠油热采	(109)
第五节 油砂开采	(112)
第六节 聚合物驱油	(113)
第七节 其他	(116)
第六章 气田开发	(119)
第一节 气藏驱动类型	(120)
第二节 储量计算	(123)
第三节 气田开发	(127)
第七章 开采技术展望	(133)
参考文献	(136)

第一章 油气藏地质基础

为了更好地了解石油天然气的开采，我们先介绍一些油气藏地质的基础知识。

由于地壳构造运动和沉积环境的变迁，在含油气盆地中，形成各种不同类型的地质圈闭，所谓地质圈闭，就是有盖层、储层和阻止油气继续运移的封闭条件。盖层一般为泥岩、页岩或石膏等不渗透岩层；储层可以是砂岩、碳酸盐岩、白云岩和其他可渗透的岩层；封闭条件是指储层受不渗透层覆盖和封堵、断层封闭或岩性遮挡。一个地质圈闭具备了上述条件，就有可能成为油气聚集的场所。在勘探期间，首先对含油盆地中的地质圈闭，进行评价并分类排队；然后，挑选出最有利的地质圈闭进行钻探。当探井发现油气流之后，应进行试油和试采。第一口发现油气流的探井叫做发现井，为了弄清这个油气发现的规模有多大，有没有开发价值，接着就要钻几口评价井，取全取准有关地质及油藏资料，开展油田地质及油藏研究，进行油藏评价和编制油气田总体开发方案。当总体开发方案获得批准之后，油田便进入油田建设(开发方案实施)阶段和油田生产阶段。以上这些工作都同油藏地质息息相关。

第一节 油气藏分类

圈闭是油藏形成的必要条件，圈闭的类型及其形成的条件，对油气藏的类型起着决定作用。在进行油气藏分类时，以圈闭的成因为基础，将油气藏分为构造油气藏、地层油气藏和岩性油气藏三大类。

一、构造油气藏

油气聚集在构造圈闭中，叫做构造油气藏。其共同的特点是：构造圈闭是由于地质构造运动形成的，构造油气藏是分布最多的一类。其中又可分为背斜油气藏和断层圈闭油气藏。

1. 背斜油气藏

是油气藏中最重要的一类，国内外已发现或已开发的油气田中，多数以背斜油气藏为主。而背斜油气藏按其构造成因又可分为：①与褶皱作用有关的挤压背斜油气藏，如图1-1。②基底隆起背斜油气藏，如图1-2。③逆牵引背斜(又叫滚动背斜)油气藏，如图1-3。

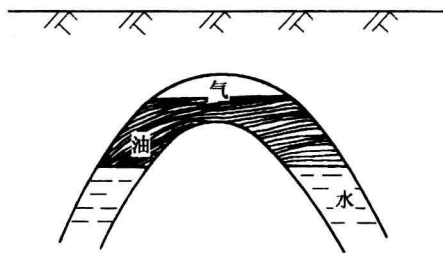


图1-1 挤压背斜油气藏示意图

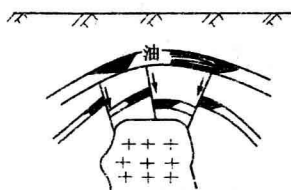


图 1-2 基底隆起背斜油气藏示意图

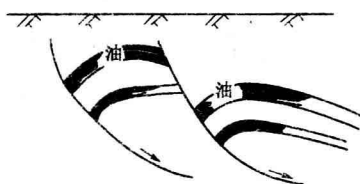


图 1-3 逆牵引背斜油气藏示意图

2. 断层圈闭油气藏

是指在储集层的上倾方向受断层遮挡而形成的圈闭。油气聚集在这类圈闭中，叫做断层圈闭油气藏，简称断层(或断块)油气藏。断层油气藏分布比较复杂，在多断层的构造断裂带内，形成许多大小不同的断块。断层的分隔性强，各断块之间的油、水分布自成系统，油井产量差别较大，给油气田的勘探和开发工作带来一定的复杂性。我国华北地区这类油田分布较多，如大港、胜利油田等都有一批类似的油田。断层油气藏示意图如图 1-4。

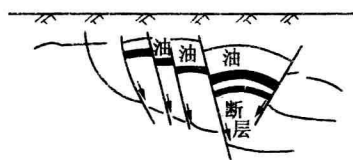


图 1-4 断层油气藏示意图

二、地层油气藏

由于地层连续性的中断而形成的圈闭，油气聚集在其中的，叫做地层油气藏。地层圈闭的形成与构造圈闭的形成不同。有的地层油气藏与沉积间断和剥蚀作用有关，如古潜山油气藏，如图 1-5。有的地层油气藏是

由于地层变形或变位的结果，较新的岩系超越、覆盖在较老的岩系上，形成超覆不整合圈闭，如地层超覆油藏，如图 1-6。



图 1-5 古潜山油藏示意图

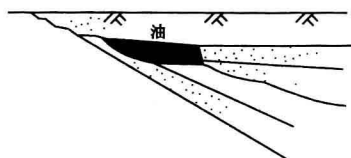


图 1-6 地层超覆油藏示意图

三、岩性油气藏

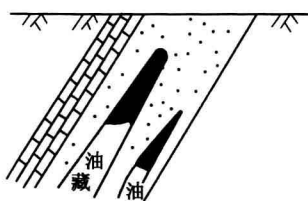


图 1-7 岩性尖灭油气藏示意图

由于沉积环境变迁，使沉积物的岩性发生横向变化，形成岩性尖灭体和透镜体圈闭，油气聚集在这类圈闭中，叫做岩性油

气藏。其特点是在平面上常常成群成组连片，或互不相连的无规则分布；在剖面上，储集层呈层状、羽状或相互参差交错。常见的岩性油气藏有：岩性尖灭油气藏，如图 1-7；透镜体油气藏，如图 1-8。

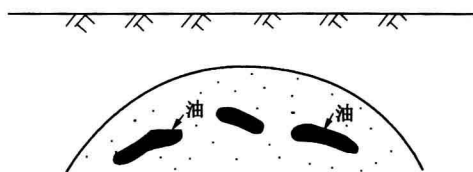


图 1-8 透镜体油藏示意图

第二节 储层物理性质

储层是油气聚集的场所，其物理性质的好与差，以及其分布规律与特征，与油田开发方式和油井产量有直接关系。

一、岩石孔隙度

储层岩石孔隙空间的大小，通常用孔隙度 ϕ 来表示，它是岩石本身的孔隙体积 V_p (包括孔隙、洞穴、裂缝等)与岩石总体积 V_f 之比，用百分数表示。

$$\phi = \frac{V_p}{V_f} \times 100\%$$

有效孔隙度 ϕ_e ，是指流体可以在其中流动而互相连通的孔隙体积 V_{ep} ，与岩石总体积 V_f 之比，以百分数表示。

$$\phi_e = \frac{V_{ep}}{V_f} \times 100\%$$

有效孔隙度与无效孔隙度之间的关系，如图 1-9。

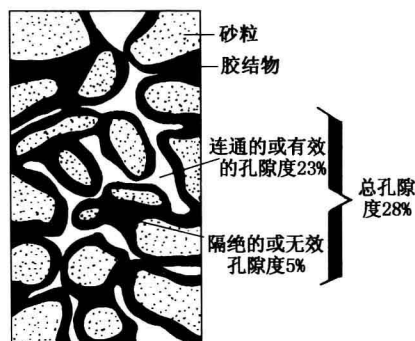


图 1-9 有效孔隙度和无效孔隙度的关系图

二、岩石渗透率

储油岩石是由弯弯曲曲的细小孔道组成，油气在这些孔道中流动叫做渗流（也叫渗透），岩石通过油气的能力叫做渗透性。渗透性的大小用渗透率表示，渗透率的数值愈大，储油层的渗透性愈好，油气越容易流过。

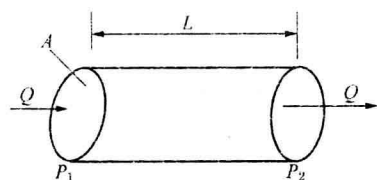


图 1-10 测试渗透率实验示意图

岩心试验发现，如图 1-10，设岩心的断面为 A ，长度为 L ，通过岩心流体的流量 Q 分别与岩心断面 A 和两端压力之差 $(P_1 - P_2)$

成正比，而与流体黏度 μ 和岩心长度 L 成反比，比例常数 K 就是渗透率。其关系式为：

$$Q = K \frac{A(P_1 - P_2)}{\mu L}$$

渗透率公式为：

$$K = \frac{Q\mu L}{A(P_1 - P_2)}$$

式中 K ——岩石的渗透率，平方米；

Q ——流体通过岩心的稳定流量，立方米/秒；

A ——岩石的截面积，平方米；

μ ——流体的黏度，帕·秒；

L ——岩心长度，米；

P_1 ——流入端压力，帕；

P_2 ——流出端压力，帕。

试验室一般利用空气测试岩心的渗透率，因此，测得的渗透率通常为空气渗透率，也叫绝对渗透率。在油藏中往往同时存在油、气、水三种流体，储层岩石允许其中某一种流体通过的能力，叫有效渗透率。渗透率的大小与油田的生产能力关系很大，渗透率高可能成为高产油田，而渗透率低多数成为低产油田。

三、油、气、水饱和度

储层岩石孔隙被流体充满的程度，叫该种流体的饱和度，如储层的含油饱和度、含气饱和度和含水饱和度等。通常是以该流体所占孔隙体积的百分数来表示，其公式分别为：

$$\text{含油饱和度 } S_o = \frac{V_o}{V_p} \times 100\%$$

$$\text{含气饱和度 } S_g = \frac{V_g}{V_p} \times 100\%$$

$$\text{含水饱和度 } S_w = \frac{V_w}{V_p} \times 100\%$$

式中， S_o 、 S_g 、 S_w 分别代表岩石所含油、气、水的饱和度，%； V_o 、 V_g 、 V_w 分别代表油、气、水所占据的岩石孔隙体积，立方米； V_p 为岩石的总孔隙体积，立方米。

油、气生成之后，从生油层运移到储油层，包括了一个油驱水的过程，在油藏逐步形成的过程中，原来储存在储集层中的水，不是全部都被原油驱替出去，有一部分水仍然与油气一起留在储层中，这种水叫做束缚水。

四、润湿现象

润湿现象是指流体在其表面分子力的作用下，将其滴放在固体表面上时，所呈现的流散现象。如果将油水两相液体同时呈现在固体表面，其中某一种流体优先润湿固体的能力，叫做润湿性(润湿程度)。通常以接触角 θ 的大小来表示润湿性，接触角 θ 是油、水和固体介质三相界面张力达到平衡的结果，如图1-11。

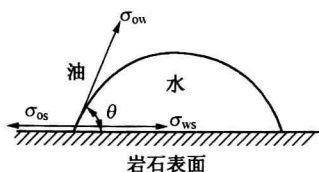


图1-11 油、水和岩石表面上力的平衡关系

储层岩石的表面，容易被水润湿的，叫做亲水(水湿)岩石；容易被油润湿的，叫做亲油岩石；如果油、水对该岩石的润湿程度相差不多，则称为中性岩石。润湿性取决于流体和岩石的化学成分，以及油藏饱和的历史。接触角 θ 在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间，以油、水两相为例， θ 角小于 90° 为亲水， θ 角大于 90° 为亲油， θ 角等于 90° 为中性，如图1-12。

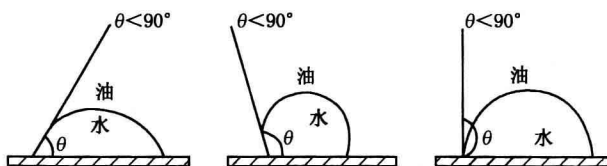


图1-12 岩石润湿性与接触角

油层岩石的润湿性对水驱油的效率有明显影响，亲水的岩石当采用注水驱油开采时，有利于提高采收率。