



当代石油和石化工业技术普及读本

开采

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

董恩环 执笔



中国石化出版社

当代石油和石化工业技术普及读本

开 采

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

董恩环 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. —2版.
—北京:中国石化出版社,2005
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 7-80043-963-1

I.开… II.中… III.①石油开采-普及读物
②天然气开采-普及读物 IV.TE3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 112845 号

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.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 3.875 印张 70 千字

2006 年 3 月第 2 版第 3 次印刷

定价:10.00 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》)第一版于1999年组织编写,2000年完成全部出版工作。第一版《普及读本》共出版了11个分册,其中上游4个分册,包括勘探、钻井和完井、开采、油气集输与储运系统;下游7个分册,包括石油炼制——燃料油品、石油炼制——润滑油和石蜡、乙烯、合成树脂、合成橡胶、合成纤维、合成氨和尿素。

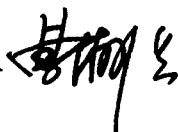
从一开始组织编写《普及读本》,我们就把这套书的读者对象定位在管理人员和非本专业技术人员,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业技术的概貌有一个整体了解。这套丛书列入了新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版规划;出版后在社会上,尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响;为了满足读者的需求,部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行,对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用,并荣获2000年度中国石化集团公司科技进步三等奖。

近年来,石油石化工业又有了快速发展,先进技术不断涌现;海洋石油勘探开发、天然气开发与利用在行业发展和国民经济中的地位越来越重要;随着时间推移,原有分册中的一些数据已经过时,需要更新;各方

面读者也反映，要求继续补充编写一些新的分册等。在征求各方面专家意见的基础上，我们决定对原先出版的11个分册进行修订，并补充编写9个新的分册，包括海洋石油勘探、海洋石油开发、天然气开采、天然气利用、石油沥青、炼油催化剂、炼油助剂、加油站、绿色石油化工。这9个分册分别邀请中海油、中石油、中石化以及中国石油和石化工程研究会相关领域的专家进行编写。原有分册的修订工作主要是补遗、更新、完善，不做大的结构性变动。

《普及读本》第二版修订、增补工作得到了中国石油化工股份有限公司的大力支持；参与丛书修订、编写工作的离退休专家、教授，勤勤恳恳、兢兢业业，其奉献和敬业精神令人感动。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



二〇〇五年八月八日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

(第二版)

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	法琪琪	庞名立	赵 怡
官 敬	贺 伟	郭其孝	贾映萱
徐嘯东	秦瑞岐	翁维琬	龚旭辉
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；什么叫油气田开发总体方案，它包括哪些内容，方案是如何编制的，并且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；还强调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，寻找用户市场要与编制方案同步进行；此外，本书还介绍了油田注水、油井举升采油、酸化压裂增产和采用先进技术等。

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.....	(11)
第四节 油层压力与温度.....	(15)
第五节 油井试油.....	(17)
第二章 油田开发	(20)
第一节 油藏驱动类型.....	(21)
第二节 储量计算.....	(26)
第三节 油田注水方式.....	(30)
第四节 油田开发总体方案.....	(36)
第三章 注水工程	(43)
第一节 水源及水质.....	(43)
第二节 水的处理.....	(46)
第三节 注水站.....	(52)
第四节 注水井分层注水.....	(53)
第五节 注水开采简要过程.....	(55)
第四章 采油与增产	(58)
第一节 采油.....	(59)

第二节	增产措施·····	(70)
第五章	采用先进技术·····	(79)
第一节	分层注水、调剖堵水·····	(80)
第二节	复杂断块油田滚动勘探开发·····	(82)
第三节	以油田群方式联合开发 边际油田·····	(83)
第四节	油藏描述、数值模拟·····	(87)
第五节	聚合物驱油(三次采油)·····	(88)
第六节	稠油热采·····	(90)
第七节	油砂开采·····	(93)
第六章	气田开发·····	(95)
第一节	气藏驱动类型·····	(96)
第二节	储量计算·····	(100)
第三节	气田开发·····	(103)
第七章	开采技术发展展望·····	(109)
	参考文献·····	(112)

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、碳酸盐岩和白云岩；封闭条件是指储层的倾斜、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，测试油井的产量和地层压力。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。主要的研究工作有：油气藏的类型；储层的物理性质；油、气、水的性质；油层压力和温度；油气井的生产能力和油气田的储量等。

第一节 油气藏分类

国内已发现的油气藏种类很多，不同类型的油气藏勘探方法及开发方式不同，因此，正确判断油气藏的类型是必要的。

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。因此，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，叫作构造油气藏。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

是油气藏中最多最重要的一类，国内外已发现或已开发的油气藏中，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。

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

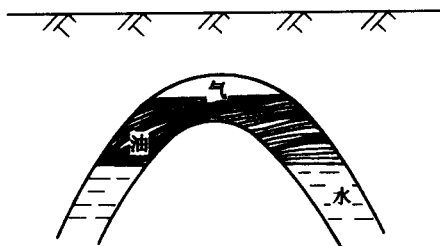


图 1-1 挤压背斜油气藏示意图

闭。油气聚集在这类圈闭中，叫做断层圈闭油气藏，简称断层油气藏。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。

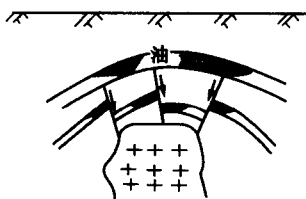


图 1-2 基底隆起背斜油气藏示意图

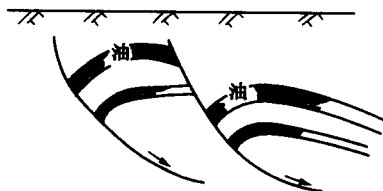


图 1-3 逆牵引背斜油气藏示意图

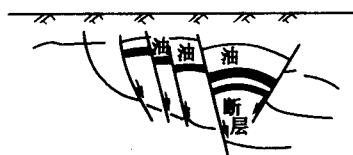


图 1-4 断层油气藏示意图

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

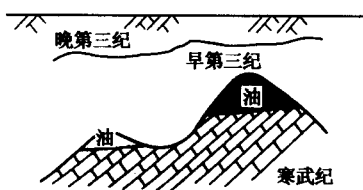


图 1-5 古潜山油藏示意图

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。

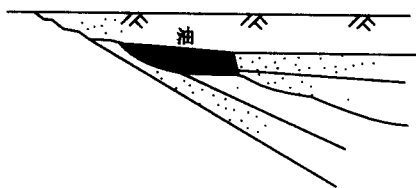


图 1-6 地层超覆油藏示意图

三、岩性油气藏

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，或互不相连的不规则分布；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。

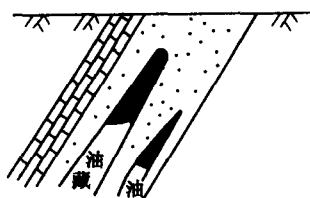


图 1-7 岩性尖灭油气藏示意图

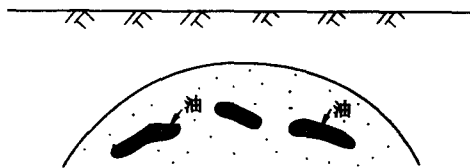


图 1-8 透镜体油藏示意图

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，对于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。

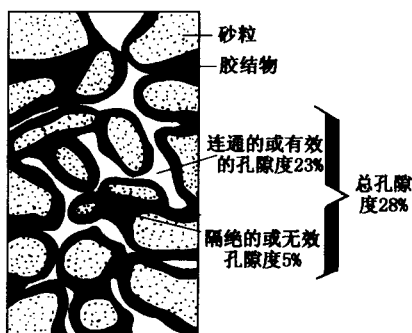


图 1-9 有效孔隙度和无效孔隙度的关系图

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。

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，米²；
 Q ——流体通过岩心的稳定流量，米³/秒；
 A ——岩石的截面积，米²；
 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。

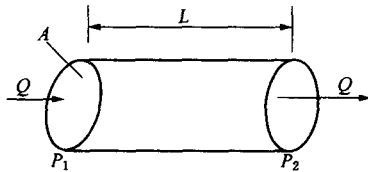


图 1-10 测试渗透率实验示意图

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和，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(米³)； V_p 为岩石的总孔隙体积(米³)。

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