

石油勘探开发 基础知识

蔡燕杰 许静华 魏世平 周德华 编著



北京)

9.18

7

中国石化出版社

1324411
P618.130.8
037

石油勘探开发基础知识

蔡燕杰 许静华 编著
魏世平 周德华

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是关于石油勘探开发方面的初级读物，书中深入浅出地叙述了石油形成与分布规律、陆上及海上石油勘探开发与原油开采等基础知识，并简要介绍了油田企业的机构设置、生产运作和管理方法，以及石油行业的经济规律。本书适合石油、石化企业非石油勘探开发专业的管理人员、技术干部和一般读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

石油勘探开发基础知识/蔡燕杰等编著. - 北京: 中国石化出版社, 1999

ISBN 7-80043-802-3

I. 石… II. 蔡… III. ①油田-地质勘探-基本知识②油田-开发-基本知识 IV. TE

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 29864 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

北京金剑照排厂排版

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 5.125 印张 119.25 千字印 1—2000

1999 年 9 月第 1 版 1999 年 9 月第 1 次印刷

定价: 10.00 元

序 言

石油、石化两大公司重组后，中国石化集团公司实现了上下游、内外贸、产销一体化经营。为适应集团公司“三个一体化”的要求，根据李毅中总经理的指示精神，中国石化出版社组织编写了《石油勘探开发基础知识》一书，旨在帮助石化企业内非石油勘探开发专业的管理干部和技术干部人员尽快了解油田、认识油田，全面提高管理水平。

该书系统全面地介绍了石油形成与分布、陆上与海上石油勘探开发、钻井、采油等基础知识，并介绍了油田企业的机构设置、生产运作和管理方法，以及不同于其他工业部门的经济规律。本书内容深入浅出，结构安排合理，可以使读者在短时间掌握油田基本知识。

中国石油化工集团公司

油田勘探开发管理部总工程师

常子恒

目 录

第一章 石 油	1
第一节 沉积岩	3
一、沉积岩的形成	4
二、沉积岩分类	6
三、沉积岩的形成环境	7
四、沉积岩的沉积构造	8
五、沉积韵律和沉积旋回	9
六、地层单位和地质年龄	9
七、地质构造	11
第二节 油气藏	14
一、油气藏形成过程	15
二、油气藏形成条件	18
三、油气藏中油、气、水分布形式	22
四、油气藏类型	23
五、油气藏分布规律	27
第二章 石 油 勘 探	30
第一节 石油勘探的基本方法与原理	31
一、石油勘探的基本方法	31
二、地震勘探的基本原理	33
三、地震勘探的生产、工作程序	35

四、其它物探方法	37
第二节 海洋石油勘探	38
一、海洋石油勘探范围	38
二、海洋地震勘探特点	39
第三节 石油勘探步骤	40
一、区域勘探	40
二、圈闭预探	41
三、油气藏评价勘探	42
四、滚动勘探	42
第四节 油气勘探的发展趋势	43
一、寻找大型油气田仍然是首要目标	43
二、加强海洋油气田勘探	44
三、加强天然气勘探	44
四、大力寻找非构造油气藏	45
第三章 钻井与完井	46
第一节 钻井设备	46
一、钻机	46
二、钻头	48
三、钻井液	49
第二节 钻井过程	51
一、准备工作	51
二、钻进	52
三、固井	55
第三节 完井	56
一、裸眼完井	57
二、射孔完井	58

三、衬管完井	59
四、砾石充填完井	59
第四节 定向井、丛式井和水平井	60
第五节 海洋石油钻井	62
一、海上钻井装置	62
二、海洋钻井工艺特点	68
第四章 油田开发	72
第一节 油田的开发方针和基本原则	73
一、油田开发方针	73
二、油田开发原则	73
第二节 油田的合理开发程序	74
一、非均质多油层大型油田的合理开发程序	75
二、断块油田的合理开发程序	76
第三节 油田开发方案的编制	77
一、合理划分开发层系	78
二、油田开发方式及注水方式的选择	79
三、合理井网部署和井的合理工作制度	83
四、开发方案指标计算及综合评价	84
第四节 油田开发阶段的划分	85
一、按产量划分开发阶段	85
二、按开采方法划分开发阶段	86
三、按油田综合含水划分开发阶段	87
第五节 油田动态分析及开发调整	88
一、油田动态分析	88
二、油田开发调整	89
第六节 常用的采油方法	91

一、自喷采油	91
二、深井泵采油	92
三、电动潜油泵采油	95
四、其它采油方法	96
第七节 油田注水	97
一、水源及水处理	98
二、注水站	99
三、配水间和注水井	99
第八节 三次采油	100
一、注蒸汽采油	100
二、聚合物驱采油	102
三、微生物采油	104
第九节 油层改造与油层保护	104
一、油层改造	104
二、油层保护	106
第十节 海洋油气田的开发与开采	108
一、海洋油气田开发的特点	108
二、海洋油气田开采	110
第五章 油田企业管理简介	112
第一节 油田企业的技术经济特点	112
一、油气资源分布的隐蔽性	112
二、油气勘探开发投资多、风险大	112
三、油气勘探开发的经济效益受资源和 地理条件的制约	113
四、油田开发过程中成本、产量、利润 的变化有自身的特点	114

五、油田企业的再生产是不断外延下的	
简单再生产	116
六、石油生产具有技术复杂性和协作紧密性	117
第二节 油田企业的机构设置	117
第三节 油田企业勘探开发业务的运作	120
一、油气勘探运作	122
二、油田开发生产运作	123
三、专业施工运作	124
第四节 油田企业综合资料	133
第六章 石油勘探开发术语	134
第一节 勘探术语	134
第二节 开发术语	143

第一章 石 油

石油被喻为“工业的血液”，石油工业是国民经济的支柱产业。因为石油资源的不可再生性，石油工业具有重要的战略地位。石油的用途概括为两个方面：第一，石油和天然气是当今世界最重要的能源，石油在世界能源中的比例超过50%，天然气的比例正逐渐增大；第二，石油是重要的化工原料，目前以石油为原料生产的化工产品达3000多种，广泛应用于农业、工业、国防、科学技术等领域。

✓石油是一种复杂的天然有机物，主要成分是碳（C）和氢（H），也含有少量的氧（O）、硫（S）、氮（N）。C含量一般为80%~88%，H为10%~14%，O、S、N等只有0.3%~7%。由这些元素组成的化合物以烃类为主，也有少量含O、S、N的非烃化合物。

✓石油中的烃类主要是烷烃（饱和烃），分子通式为 C_nH_{2n+2} 。一般室温下1~4个C的烷烃为气体（天然气）。如甲烷（ CH_4 ）、乙烷（ C_2H_6 ）、丙烷（ C_3H_8 ）、丁烷（ C_4H_{10} ）都是气体；5~16个C的烷烃为液体（石油）；17个以上C的烷烃为固体，如石蜡、沥青等。

石油的组分有油质、胶质、碳质、沥青质等。沥青质含量很高的为固体，油质含量高的石油质量较好。天然气的组分有甲烷、乙烷、丙烷、丁烷等。

石油形成于地下几千米的深处，经历了数百万年甚至几亿年的演化历史，不同地质环境生成的组分不同，导致石油

物理性质不同，不同油田所产原油的密度、粘度、凝固点和初馏点不同。大部分石油相对密度介于 0.75 ~ 1.0 之间，小于 0.94 的为轻质油，大于 0.94 的为重质油。石油粘度相差很大，地下粘度大于 50mPa·s 为稠油。天然气的相对密度大多在 0.6 ~ 1 之间，粘度比石油小得多，20℃ 时大致为 0.012mPa·s，发热量一般为 $3.35 \times 10^7 \text{J/m}^3$ 。

我国是世界上最早发现和利用石油、天然气的国家。早在《周易》中就有对天然气的记载，《汉书·地理志》记载了石油的发现。2000 年前，我国西北地区人民用石油点灯；北魏时期用石油润滑车轴；唐宋以来用石油制作蜡烛及油墨；北宋时，开封出现了炼油作坊，所炼的油用于军事，作燃烧器的燃料；元朝时用于医药、治六畜疥癣。我国古代的石油钻井工艺也不断改进。北宋中期开始以简单的机械冲击钻井（即顿钻）代替手工掘井。宋末元初，开始了以畜力绞车的钻井工艺。由上所述，古代的中国在石油天然气勘探和利用方面曾作出过重大贡献。但是由于封建社会的束缚，以及近代半封建半殖民地制度的制约，使我国的石油工业未能得到应有的发展，1949 年，全国年产石油只有 12 万 t。新中国成立后，我国石油工业有了蓬勃发展，从一个“贫油国”发展成为世界产油大国，跻身于世界产油大国之列，1978 年产油量突破 1 亿 t。

石油和天然气是一种流体矿床，它们与一般矿床的区别在于：一是具有可流动性，它现今分布位置与其生成位置有时相差很远；二是附存在岩石的细小孔隙中，开采时要靠地层的高压或人工加压才能把它挤出来，而且最终只能采出一部分，不能完全采出来。可见，油层绝不是像地下河一样纯的液体层，而是一种带孔隙的岩层，观察从钻井取出油层的

岩芯，油层可看作是被油“浸染”的石头。人的肉眼看不见孔隙，可在实验室测出孔隙体积，一般油层孔隙体积可占岩石体积的 10% ~ 35%（即孔隙度）。油气矿床的特殊性决定了它的勘探和开发难度较大，迄今为止，还没有十分有效的探测手段解决直接找油的问题。油田开发方面，石油采收率一般在 50% 以下，我国平均采收率为 30% 左右。

从区域上讲，石油分布于沉积盆地中，所谓沉积盆地是指在一定的地质时期为接受沉积物的沉降区，致使现今形成较厚的沉积岩。石油就是由沉积岩中的有机质经过埋藏和热演化作用生成的。伴随地壳运动，大量油气运移到有封闭储存能力的圈闭（详见第二节）中，储集在渗透性较好的岩石孔隙或裂缝之中，形成了油气藏。油气藏形成于沉积岩中，并且绝大多数储集在沉积岩中，所以要认识石油的形成与分布规律必须从沉积岩开始。

第一节 沉积岩

地壳是一个近椭圆的球形体，半径约为 6300 公里。地球由表及里分为地壳、地幔和地核三个部分。它们的分界面在不同地区深度不同，地壳厚度为 5 ~ 65 公里，地幔介于地壳底面到约 2900 公里深度之间，从 2900 公里直到地心称地核。地壳是由三大类岩石（通常叫石头）组成的，即岩浆岩、变质岩和沉积岩。其中沉积岩覆盖地表面积的 60% 以上，我们见到很多地区的地表是泥土或砂砾，那是岩石风化形成的表层风化壳，或者是新沉积的松散物质。

（1）岩浆岩：岩浆岩是由岩浆冷凝而成的岩石。岩浆处在很深的地下，随着巨大压力，在地壳构造运动作用下，它

可以沿着地壳裂隙渗涌到地壳的上层或直接喷出地面（火山爆发），由于压力下降，岩浆中挥发性物质大量逸出，温度也逐渐下降，岩浆逐渐冷凝、结晶成为岩浆岩。

(2) 变质岩：变质岩是原来的岩石在外界条件（温度、压力等）作用下变质而形成的新岩石。常见的变质岩有大理岩（可以做装饰材料）和石英岩等。

(3) 沉积岩：沉积岩就是原来的母岩（岩浆岩、变质岩和沉积岩）遭受风化剥蚀，经搬运、沉积和成岩作用而形成的岩石。沉积岩是组成地壳表层的最重要的一类岩石。它蕴藏着丰富的矿产，如金、银、铜、铁、锡等绝大部分都蕴藏在沉积岩中，石油也生成于沉积岩，而且绝大部分储存在沉积岩中。

一、沉积岩的形成

沉积岩的形成大致可以分为四个阶段：风化和剥蚀→搬运→沉积→成岩。

1. 风化和剥蚀

暴露地表的岩石，经风吹雨淋，温度升降、生物破坏、大气氧化等联合影响，岩石发生物理、化学成分的变化，这种自然现象称为风化，如光滑的岩石表面变粗糙，或者产生裂缝，甚至裂成碎块或粉末。风化产物有碎屑物质（砾石、砂、泥土等）和溶解性物质。

具有能量的介质如流水、风、冰川等将风化表层从母岩体上剥离，使岩石新鲜面暴露，这种作用就叫剥蚀。

2. 搬运

地质上把风化产物离开母岩而向新地区移动的过程称做搬运。进行搬运的载体有流水、风、冰川等，最普遍的是流

水搬运。风化产物最常见的是以碎屑物质形式搬运，此外在流水中还有溶解形式和胶体形式的搬运。

3. 沉积

风化产物经过一定时间和距离的搬运之后，由于搬运力逐渐减小或物理化学条件的改变，被搬运的物质从搬运的载体中分离，而沉积下来，形成沉积物的过程，称为沉积。搬运的途中会有部分物质沉积，河流既是搬运载体，又是沉积场所，例如：河床沙滩沉积、河岸外的泥漫滩沉积。

不同物质具有不同的沉积过程。较粗较重的先沉积；悬浮物只有当水流进湖、海等静水区时，才会慢慢沉积下来；溶解性物质运到海洋或湖泊，随着水分的不断蒸发，溶液的浓度逐渐增大，当超过饱和状态以后，就会产生盐类沉淀，如石灰岩就是碳酸钙（ CaCO_3 ）的沉淀。

4. 成岩

沉积物变成坚固岩石需要一个成岩过程。成岩主要包括：压实作用，胶结作用和重结晶作用。

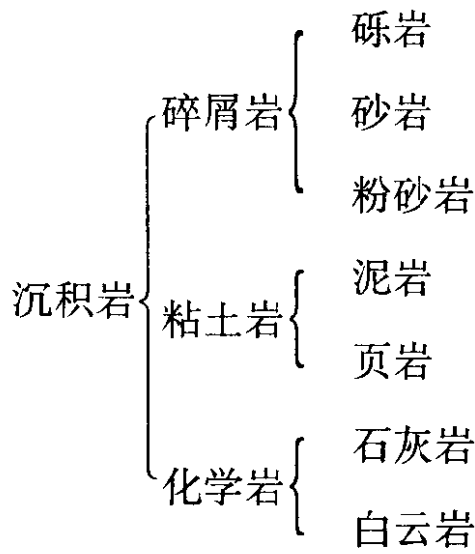
（1）压实作用：随着沉积物一层一层地堆积，沉积物的重量越来越大，孔隙会逐渐减小，孔隙中的水分逐渐被挤出，颗粒排列更加紧密，这种松散沉积物失去水分紧密排列的作用叫压实作用。

（2）胶结作用：碎屑物质沉积时，颗粒之间有孔隙，孔隙内充满着胶体溶液，随着物理化学条件的变化，难溶胶体物质沉淀在颗粒之间，把颗粒粘结起来，这就叫胶结作用。起粘结作用的物质叫胶结物，常见的胶结物有钙质、泥质、硅质、铁质等。

（3）重结晶作用：沉积物中某些细小颗粒，重结晶变为较大颗粒以及重新排列称为重结晶作用。

二、沉积岩分类

沉积岩大致分为碎屑岩、粘土岩和化学岩三大类。



1. 碎屑岩

碎屑岩是由碎屑物质（矿物碎屑或岩石碎屑）经压实、胶结而形成的岩石，就好像挂浆的大米花一样，由大米粒（碎屑物质）和糖浆（胶结物）两部分组成。碎屑物质有石英、长石、云母、岩屑及少量的重矿物，胶结物质有铁质、硅质、钙质、泥质等。挂浆大米花的米粒之间由糖浆胶结，但米粒之间不是完全被糖浆添塞，是有孔隙的。碎屑岩也一样，碎屑颗粒之间除了胶结物还有一定的孔隙，石油和天然气就储存在孔隙之中。

按碎屑颗粒大小，碎屑岩分为砾岩（1~100mm）、砂岩（0.1~1.0mm）和粉砂岩（0.01~0.1mm）。砾岩再细分为粗、中、细砾岩，砂岩细分为粗、中、细砂岩。

碎屑岩是最重要的石油储集岩，例如大庆油田、辽河油田和胜利油田主要是砂岩油层，而克拉玛依油田则常见砾岩油层。

2. 粘土岩

粘土岩主要是由粘土矿物组成的岩石。粘土矿物是粒径小于0.005mm的极细物质，其主要矿物成分为高岭石、蒙脱石、水云母等。粘土岩的分布范围广泛，约占沉积岩总量的60%。粘土岩又分为泥岩和页岩，侧面（垂直剖面）看像书页一样呈薄层叠置状（称页理）的叫页岩，没有页理的叫泥岩。

粘土岩由于颗粒太细，渗透性差，一般不能成为储油岩，但它是重要的生油岩，因为其中可含大量成油物质——有机质。个别情况下，粘土岩裂缝发育，也可以成为储集岩。

3. 化学岩

最常见的化学岩是碳酸盐岩，它又可分为石灰岩和白云岩，前者的主要成分是 CaCO_3 ，后者的主要成分是 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ 。碳酸盐岩沉积于广阔的海底，因此分布面积广，厚度大。

碳酸盐岩既可为生油岩又可为储集岩，从世界石油储量上看，碎屑岩储层和碳酸盐岩储层各占一半，我国油田如大庆、辽河、胜利、大港、克拉玛依、吐哈等油田主要是碎屑岩油层（以砂岩油层为主），而国外主要是碳酸盐岩油层。

三、沉积岩的形成环境

就像不同人有不同相貌一样，不同沉积环境中所形成的沉积岩具有不同特征，用“沉积相”这个术语描述沉积环境和沉积岩特征。在沉积环境中起决定作用的是自然地理条件，根据自然地理条件的不同，一般把沉积

相分为如下类型。

1. 陆相

陆相是指在大陆环境中形成的沉积相，细分为残积相、山麓相、河流相、湖泊相、沼泽相、冰川相等。河流相、湖泊相、沼泽相和山麓相较常见，其中湖泊相和河流相的碎屑岩具有一定的储集油气能力。

2. 海相

海相即海洋沉积相，细分为滨海相、浅海相、半深海相和深海相。由于海洋水体远大于陆地的河流、湖泊水体，所以海相沉积与陆相沉积相比，具有规模大和分布比较稳定的特点。世界大油田中，海相油田仍占大多数，而我国主要是陆相沉积盆地，所以曾经有“中国贫油”的错误说法。

3. 海陆过渡相

凡处于海陆过渡地带的各种沉积相，统称海陆过渡相，包括泻湖相、三角洲相等。

四、沉积岩的沉积构造

沉积构造是沉积环境特征（水深、水流速度、水流方向和气候）在岩层外表形态上的反映。岩层顶面的特殊痕迹叫层面构造；岩层侧面上具纹理，叫层理构造。

1. 层面构造

常见的有波痕、干裂、雨痕、雹痕、生物钻孔和动物足迹等。

2. 层理构造

常见的有四种，即水平层理、波状层理、单向斜层理和交错层理。