



石油科技知识系列读本

SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

石油勘探 与开发

*Nontechnical Guide to Petroleum Geology,
Exploration, Drilling, and Production*

作者: Norman J. Hyne

翻译: 刘云生 康新荣 李莉 等

审校: 黎发文



石油工业出版社



石油科技知识系列读本
SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

石油勘探 与开发

*Nontechnical Guide to Petroleum Geology,
Exploration, Drilling, and Production*

作者: Norman J. Hyne

翻译: 刘云生 康新荣 李莉 等

审校: 黎发文



石油工业出版社

内 容 提 要

本书用简练的语言全面系统地介绍了石油工业上游行业的大量基础知识,包括油气性质、地壳的研究、常见岩石和矿物的鉴别、地质年代、沉积岩、储集岩、绘图、海洋环境和板块构造、烃源岩及油气的生成、运移和聚集、石油圈闭、油气勘探、钻井、试井、完井、油气的地面处理和储存、海上钻井和完井、修井、油气藏驱替机理、油气开采、储量、提高原油采收率等,内容涵盖石油地质、勘探、钻井以及油田开发的各个方面。

本书可供从事石油勘探与开发专业的科研和工程技术人员、管理人员,以及大专院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油勘探与开发 / (美) Norman J. Hyne 著; 刘云生等译.
北京: 石油工业出版社, 2009.12
(石油科技知识系列读本)
书名原文: Petroleum Geology, Exploration, Drilling, and Production
ISBN 978-7-5021-6578-9

I . 石…
II . ① N…② 刘…
III . ① 石油天然气地质
② 油气勘探
③ 油气钻井
④ 油田开发
IV . P618.13 TE

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 060143 号

本书经 Penn Well Publishing Company 授权翻译出版, 中文版权归石油工业出版社所有, 侵权必究。著作权合同登记号: 国字 01-2002-3655

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: www.petropub.com.cn
发 行 部: (010) 64210392
经 销: 全国新华书店
印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷
787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 24
字数: 400 千字

定价: 65.00 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

《石油科技知识系列读本》编委会

主 任：王宜林

副 主 任：刘振武 袁士义 白泽生

编 委：金 华 何盛宝 方朝亮 张 镇

刘炳义 刘喜林 刘克雨 孙星云

翻译审校：（按姓氏笔画排列）

尹志红 王 震 王大锐 王鸿雁 王新元

王瑞华 艾 池 乔 柯 刘 刚 刘云生

刘怀山 刘建达 刘欣梅 刘海洋 孙晓春

朱珊珊 吴剑锋 张 颖 张国忠 李 旭

李 莉 李大荣 李凤升 李长俊 李旭红

杨向平 杨金华 汪先珍 苏宇凯 邵 强

胡月亭 赵俊平 赵洪才 唐 红 钱 华

高淑梅 高雄厚 高群峰 康新荣 曹文杰

梁 猛 阎子峰 黄 革 黄文芬 黎发文

丛书序言

石油天然气是一种不可再生的能源，也是一种重要的战略资源。随着世界经济的发展，地缘政治的变化，世界能源市场特别是石油天然气市场的竞争正在不断加剧。

我国改革开放以来，石油需求大体走过了由平缓增长到快速增长的过程。“十五”末的2005年，全国石油消费量达到3.2亿吨，比2000年净增0.94亿吨，年均增长1880万吨，平均增长速度达7.3%。到2008年，全国石油消费量达到3.65亿吨。中国石油有关研究部门预测，2009年中国原油消费量约为3.79亿吨。虽然增速有所放缓，但从现在到2020年的十多年时间里，我国经济仍将保持较高发展速度，工业化进程特别是交通运输和石化等高耗油工业的发展将明显加快，我国石油安全风险将进一步加大。

中国石油作为国有重要骨干企业和中央企业，在我国国民经济发展和保障国家能源安全中，承担着重大责任和光荣使命。针对这样一种形势，中国石油以全球视野审视世界能源发展格局，把握国际大石油公司的发展趋势，从肩负的经济、政治、社会三大责任和保障国家能源安全的重大使命出发，提出了今后一个时期把中国石油建设成为综合性国际能源公司的奋斗目标。

中国石油要建设的综合性国际能源公司，既具有国际能源公司的一般特征，又具有中国石油的特色。其基本内涵是：以油气业务为核心，拥有合理的相关业务结构和较为完善的业务链，上下游一体化运作，国内外业务统筹协调，油公司与工程技术服务公司等整体协作，具有国际竞争力的跨国经营企业。

经过多年的发展，中国石油已经具备了相当的规模实力，在国内勘探开发领域居于主导地位，是国内最大的油气生产商和供

应商，也是国内最大的炼油化工生产供应商之一，并具有强大的工程技术服务能力和施工建设能力。在全球 500 家大公司中排名第 25 位，在世界 50 家大石油公司中排名第 5 位。

尽管如此，目前中国石油仍然是一个以国内业务为主的公司，国际竞争力不强；业务结构、生产布局不够合理，炼化和销售业务实力较弱，新能源业务刚刚起步；企业劳动生产率低，管理水平、技术水平和盈利水平与国际大公司相比差距较大；企业改革发展稳定中的一些深层次矛盾尚未根本解决。

党的十七大报告指出，当今世界正在发生广泛而深刻的变化，当代中国正在发生广泛而深刻的变革。机遇前所未有，挑战也前所未有，机遇大于挑战。新的形势给我们提出了新的要求。为了让各级管理干部、技术干部能够在较短时间内系统、深入、全面地了解和学习石油专业技术知识，掌握现代管理方法和经验，石油工业出版社组织翻译出版了这套《石油科技知识系列读本》。整体翻译出版国外已成系列的此类图书，既可以从一定意义上满足石油职工学习石油科技知识的需求，也有助于了解西方国家有关石油工业的一些新政策、新理念和新技术。

希望这套丛书的出版，有助于推动广大石油干部职工加强学习，不断提高理论素养、知识水平、业务本领、工作能力。进而，促进中国石油建设综合性国际能源公司这一宏伟目标的早日实现。

2009 年 3 月

丛 书 前 言

为了满足各级科技人员、技术干部、管理干部学习石油专业技术知识和了解国际石油管理方法与经验的需要，我们整体组织翻译出版了这套由美国 PennWell 出版公司出版的石油科技知识系列读本。PennWell 出版公司是一家以出版石油科技图书为主的专业出版公司，多年来一直坚持这一领域图书的出版，在西方石油行业具有较大的影响，出版的石油科技图书具有比较高的质量和水平，这套丛书是该社历时 10 余年时间组织编辑出版的。

本次组织翻译出版的是这套丛书中的 20 种，包括《能源概论》、《能源营销》、《能源期货与期权交易基础》、《石油工业概论》、《石油勘探与开发》、《储层地震学》、《石油钻井》、《石油测井》、《油气开采》、《石油炼制》、《石油加工催化剂》、《石油化学品》、《天然气概论》、《天然气与电力》、《油气管道概论》、《石油航运（第 I 卷）》、《石油航运（第 II 卷）》、《石油经济导论》、《油公司财务分析》、《油气税制概论》。希望这套丛书能够成为一套实用性强的石油科技知识系列图书，成为一套在石油干部职工中普及科技知识和石油管理知识的好教材。

这套丛书原名为“Nontechnical Language Series”，直接翻译成中文即“非专业语言系列图书”，实际上是供非本专业技术人员阅读使用的，按照我们的习惯，也可以称作石油科技知识通俗读本。这里所称的技术人员特指在本专业有较深造诣的专家，而不是我们一般意义上所指的科技人员。因而，我们按照其本来的含义，并结合汉语习惯和我国的惯例，最终将其定名为《石油科技知识系列读本》。

总体来看，这套丛书具有以下几个特点：

(1) 题目涵盖面广，从上游到下游，既涵盖石油勘探与开发、工程技术、炼油化工、储运销售，又包括石油经济管理知识和能源概论；

(2) 内容安排适度，特别适合广大石油干部职工学习石油科技知识和经济管理知识之用；

(3) 文字表达简洁，通俗易懂，真正突出适用于非专业技术人员阅读和学习；

(4) 形式设计活泼、新颖，其中有多种图书还配有各类图表，表现直观、可读性强。

本套丛书由中国石油天然气集团公司科技管理部牵头组织，石油工业出版社具体安排落实。

在丛书引进、翻译、审校、编排、出版等一系列工作中，很多单位给予了大力支持。参与丛书翻译和审校工作的人员既包括中国石油天然气集团公司机关有关部门和所属辽河油田、石油勘探开发研究院的同志，也包括中国石油化工集团公司江汉油田的同志，还包括清华大学、中国海洋大学、中国石油大学（北京）、中国石油大学（华东）、大庆石油学院、西南石油大学等院校的教授和专家，以及BP、斯伦贝谢等跨国公司的专家学者等。需要特别提及的是，在此项工作的前期，从事石油科技管理工作的老领导傅诚德先生对于这套丛书的版权引进和翻译工作给予了热情指导和积极帮助。在此，向所有对本系列图书翻译出版工作给予大力支持的领导和同志们致以崇高的敬意和衷心的感谢！

由于时间紧迫，加之水平所限，丛书难免存在翻译、审校和编辑等方面的疏漏和差错，恳请读者提出批评意见，以便我们下一步加以改正。

《石油科技知识系列读本》编辑组

2009年6月

目 录

绪论	1
1 油气性质	9
1.1 石油	9
1.2 石油的化学组成	9
1.3 原油	10
1.4 天然气	15
1.5 油气藏中的油气类型	18
2 地壳的研究	20
2.1 岩石和矿物	20
2.2 岩石类型	21
2.3 地壳结构	25
3 常见岩石和矿物的鉴别	28
3.1 矿物的鉴别	28
3.2 矿物	29
3.3 岩石的鉴别	31
3.4 岩石	32
4 地质年代	35
4.1 放射性年龄测定	35
4.2 相对年龄测定	37
4.3 地质年代表	41
4.4 地球历史	43
5 沉积岩的变形	45
5.1 风化、剥蚀和不整合	45
5.2 背斜和向斜	49
5.3 穹隆	52
5.4 单斜	53
5.5 裂缝	54
6 砂岩储集岩	64
6.1 沙丘砂岩	64

6.2	滨岸砂岩	65
6.3	河道砂岩	68
6.4	三角洲砂岩	71
7	碳酸盐岩储集岩	77
7.1	生物礁	77
7.2	石灰岩台地	83
7.3	岩溶石灰岩	84
7.4	白垩	86
7.5	白云岩	86
8	沉积岩的分布	90
8.1	盆地的形成	90
8.2	沉积岩相	93
8.3	地下岩层	96
9	绘图	98
9.1	地形图	98
9.2	地质图	100
9.3	井位图	102
9.4	地下构造图	102
10	海洋环境和板块构造	107
10.1	海洋地形	107
10.2	海洋沉积物	113
10.3	地球内部结构	113
10.4	大陆漂移	113
10.5	海底扩张	114
10.6	板块构造	117
10.7	废弃裂谷盆地	120
10.8	中东油田	121
11	烃源岩及油气的生成、运移和聚集	124
11.1	烃源岩	124
11.2	油气的生成	125
11.3	油气运移	126
11.4	油气聚集	127
11.5	地质年代	129
11.6	储集岩	129

11.7	饱和度	135
11.8	油页岩	136
11.9	沥青砂	137
12	石油圈闭	138
12.1	圈闭描述	138
12.2	构造圈闭	139
12.3	地层圈闭	150
12.4	复合圈闭	155
13	油气勘探：地质勘探和地球化学勘探	162
13.1	油气苗	162
13.2	地质勘探方法	164
13.3	地球化学勘探方法	170
13.4	含油带和油气远景带	171
14	油气勘探：地球物理勘探	173
14.1	重力勘探和磁法勘探	173
14.2	地震勘探	175
15	钻井基础知识	194
15.1	土地和租借权	194
15.2	外国合同	196
15.3	批准预算	196
15.4	钻井合同	197
15.5	联合作业协议和支持协议	198
15.6	井场准备	199
15.7	井的类型	200
15.8	政府条例	201
15.9	顿钻钻机	202
16	钻井机械	204
16.1	动力系统	205
16.2	提升系统	206
16.3	旋转系统	208
16.4	循环系统	216
16.5	钻井作业	222
17	钻井问题	224
17.1	风险	224

17.2	井下环境	224
17.3	钻井问题	226
18	钻井技术	233
18.1	直眼井	233
18.2	定向钻井	234
18.3	空气钻井和泡沫钻井	240
19	试井	242
19.1	岩屑录井或岩性录井	242
19.2	钻时录井	245
19.3	钻井液录井	246
19.4	电缆测井	248
19.5	随钻测量和测井	267
19.6	中途测试	268
19.7	重复地层测试仪	270
20	完井	271
20.1	套管	271
20.2	完井方式	278
20.3	油管	280
20.4	井口装置	281
20.5	油嘴	282
20.6	地面设备	282
20.7	多层完井	290
20.8	智能井	291
21	油气的地面处理和储存	292
21.1	出油管线	292
21.2	分离器	293
21.3	气体处理	297
21.4	储存和测量	298
22	海上钻井和完井	303
22.1	概述	303
22.2	顶部驱动装置	304
22.3	海上钻井队	305
22.4	勘探钻井	306
22.5	海上探井的开钻	309

22.6	开发钻井和生产	310
22.7	海底作业	313
22.8	海底完钻井和海底井	314
22.9	不稳固海底	315
23	修井	316
23.1	设备	316
23.2	海上油井的各项采油修理工作	319
23.3	修井准备	319
23.4	井的问题	320
24	油气藏驱替机理	326
24.1	油气藏驱替	326
24.2	最大有效采油速度	331
25	油气开采	332
25.1	井和油藏压力	332
25.2	试井	333
25.3	套管井测井	334
25.4	生产测井	334
25.5	递减曲线	335
25.6	绕流和锥进	336
25.7	气体回注	337
25.8	油井增产措施	338
25.9	油田卤水和溶解气处置	341
25.10	地面沉降	342
25.11	腐蚀	343
25.12	产量图	343
25.13	“鸡肋”气	344
26	储量	345
26.1	采收率	345
26.2	收缩率和地层体积系数	345
26.3	储量计算	346
26.4	储量类型	350
27	提高原油采收率	351
27.1	水驱	351
27.2	提高原油采收率	353

27.3 驱替效率.....	357
27.4 联合开采.....	358
27.5 封井及废弃.....	358
参考文献.....	360
单位换算表.....	366

绪 论

原油和天然气都是由碳原子和氢原子组成的化合物。原油和天然气有多种不同的类型，其中有些类型的经济价值很高。重油非常黏稠，很难开采或不能开采，而轻质油很容易流动，相对来说比较容易开采。含硫原油和含硫化氢的天然气价值较低。有些天然气含有液态天然气和汽油，燃烧时比其他天然气热焓更高，因此价值更大。

天然气或原油要聚集成为具有商业规模的油气矿藏，必须具备三个地质条件。第一，该地区地下必须具有烃源岩，并且在地质历史的某个时期生成了油气；第二，必须有独立的、能够储集油气的储集岩；第三，储集岩处必须有圈闭，使油气聚集成商业规模。

在油气开采区，地壳最上面由沉积岩组成。沉积岩是生成油气的烃源岩和储集油气的储集岩。这些岩石之所以称为沉积岩是因为它们是由沉积物组成的。沉积物包括：(1) 像砂粒一样的颗粒，是以前的岩石发生破碎并被搬运而形成的；(2) 海贝壳；(3) 从水中沉淀出的盐。组成地壳的沉积岩已经有几百万年有些甚至有几十亿年的历史。在漫长的地质年代中，海平面并非是一成不变的。过去，海洋曾多次上升覆盖陆地，然后下降，使陆地出露。其间，沉积了许多沉积物。这些沉积物是相对单一的物质，例如沿海滩沉积的砂，沉积在海底的泥和海贝壳层。这些古沉积物层层堆积形成了沉积岩，钻井就是为了寻找和开采这些沉积岩中的油气。

油气来源于埋藏和保存在古沉积岩中的有机物质。这些沉积岩中不仅含有无机颗粒，如砂粒和泥，也含有死亡的动植物。最常见的富含有机质的沉积岩（生成大多数油气的烃源岩）是黑色页岩，它是富含有机物的淤泥沉积在古海底形成的。在地下，温度是有机质转化为石油最重要的因素。当烃源岩被越来越多的沉积物所覆盖，并且在地下埋藏得越来越深的时候，烃源岩的温度就会变得越来越高。石油生成的最低温度大约是 150°F (65°C)，在地表以下大约 7000ft (2130m) 处生成 (图 1.1)。石油在该深度至约 18000ft (5500 m) 在大约 300°F (150°C) 条件下生成。有机质转变成石油的反应很复杂，并且需要很长的时间。如果烃源岩埋得更深，温度大于 300°F (150°C)，剩余的有机质就会生成

天然气。

与地下沉积岩中的水相比，油气的密度要小些。油气形成后，在浮力作用下通过地下岩石中的裂缝上升。上升的油气可以横贯储集岩层。储集岩是含有无数称为孔隙的微小空间的沉积岩。常见的沉积岩有砂岩，由类似于海滩或河道中的砂粒组成。砂粒是球状的，无法完全黏合在一起。海滩砂粒和砂岩之间的砂粒存在孔隙。另一种常见的沉积岩是石灰岩，由贝壳层或生物礁沉积而成。贝壳和珊瑚礁间有很多孔隙。油气流入储集岩的孔隙之中。

任何流体（水、气或油），无论是在地上还是在地下，总是沿着阻力最小、最容易通过的通道流动。在地下，沿着储集岩层是流动阻力最小的通道。这是因为大多数孔隙是相互连通的，流体可以从一个孔隙流向另一孔隙，并以一定角度向上流入储集岩层直至地表。流体通过岩石流动的性质称为渗透性。油气以一定角度向上面的储层直至地表的运动称为运移。由于运移，油气从它原始形成的地方到最终聚集成藏，在垂向上和水平方向上可以有相当长的距离（图 I.1）。

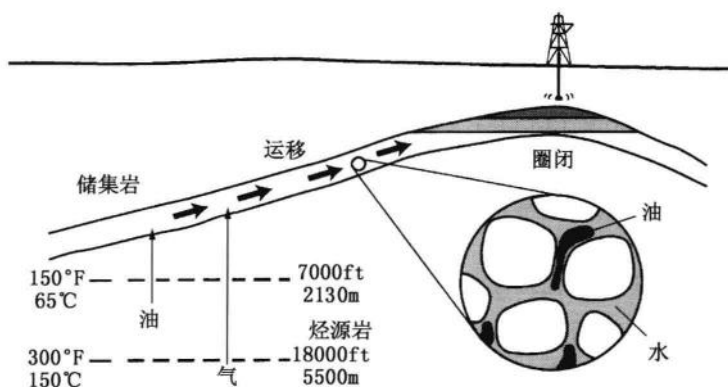


图 I.1 油气的形成和运移

当油气沿着储层向上运移时，可能会遇到圈闭。圈闭是油气停止运移并聚集的场所，位于储层的较高位置。在此处，由于储集岩孔隙中充满了水，油气会流到储集岩的最高部位。有一种圈闭称为穹隆或背斜，是在储集岩中形成的天然拱起（图 I.2）。

圈闭中的流体按密度的大小自然分层。气体最轻，上升至圈闭顶部形成游离气顶。油在中间形成油藏，盐水最重，位于底部。

为了形成闭合的圈闭，储集岩之上必须有盖层。盖层是密封层，不

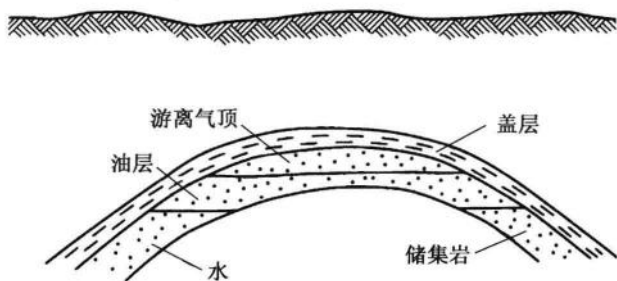


图 I.2 石油圈闭

允许流体通过盖层流动。如果没有盖层，油气就会渗漏到地表。页岩和盐岩是两种常见的盖层。

怎样确定地下油气矿藏的位置呢？在早期钻井过程中，人们认为地下有巨大的、可流动的油河和油池。早期的油气钻探者之所以取得一些成功，是因为很多地下圈闭是渗漏的。盖层中有些小裂缝，有些油气渗出，渗漏到表面。早期钻探者就把井定在有油苗的地方。

到 20 世纪初，地下油气成藏的原理越来越为人们所熟知。石油公司认识到通过对这些出露地表的沉积岩露头的情况进行作图，就可以反映地下沉积岩的情况，从而可以确定圈闭的位置（图 I.3）。地质学家通过岩石露头进行绘图。

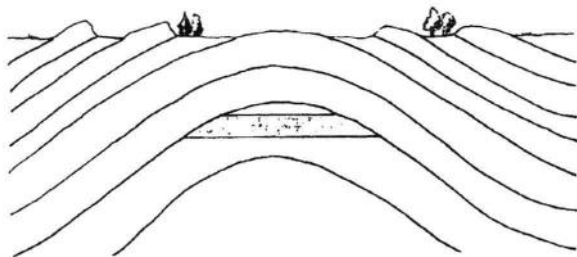


图 I.3 岩石露头

后来，研制出地震方法来探测地下隐蔽圈闭。地震勘探使用震源和检测器（图 I.4）。

震源（如炸药）放于地表或地表附近，向地下发出声能脉冲，声能经沉积岩多次反射回到地面，由检波器记录下来。声音反射波用来绘制