



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

油气

开采

Petroleum Production in Nontechnical Language

作者: Forest Gray

翻译: 李莉 汪先珍 李旭 康新荣

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

油气

开采

Petroleum Production in Nontechnical Language

江苏工业学院图书馆
藏书章

作者: Forest Gray

译者: 李莉 汪先珍 李旭 康新荣

审校: 黎发文

石油工业出版社

内 容 提 要

本书用简练的语言介绍了油气开采相关的方法和技术。内容包括石油工业概述与结构,油气的生成和分类,油气开采的相关环节,增产措施和提高采收率的方法,本书最后还介绍了油气开采新技术,并对开采前景进行了展望。

本书适合设有石油工程、石油地质等相关学科知识背景的石油工作者及想查阅油气开采基础知识的有关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

油气开采 / (美) Forest Gray 著; 李莉, 汪先珍, 李旭等译.
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 Production
ISBN 978-7-5021-7377-7

I . 油…
II . ① F…② 李…③ 汪…④ 李…
III . ① 石油开采② 天然气开采
IV . TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 161474 号

本书经 PennWell 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: 图字 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: 14.75
字数: 226 千字

定价: 40.00 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。

王臣明

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

本书前言

我与石油工业打交道约 36 年，深知缺乏有助于非石油工程师了解石油开采知识的可用书籍之苦。在石油工业界，由于专业技术人员似乎都要保守技术秘密，或在油公司中存在等级系统，那些有工程学位的专业技术人员不需要油气开采初级技术读物，而那些没有工程学位的人员又不需要了解这方面的知识，所以没有专业技术人员试图清楚地阐述油气开采的基本原理。

本人也不同程度地经历了这两种情况，所以着手对本书第一版提出质疑减少第二版的错误。本书适用于没有石油工程、石油地质或相关学科的年轻工作者。对有关公司从事石油金融、供应、运输、配送、公共关系、广告业和销售行业的很多人也有参考价值。

本书的设计格局是，每次给读者一些启蒙知识，然后阐述一些前人的工作经验。一般来说，读者看完这本书，以后在工作中可能不会被技术行话吓倒，至少也能提出油气开采方面的更多敏锐问题。这就是非石油工程师了解油气开采知识的可喜进步。

本书的素材大多取自美国矿冶和石油工程师学会的石油工程师协会、美国石油学会生产公司、美国天然气协会和美国石油地质协会，尤其是 LG 的《油田开发》(1946)，T C 等《石油生产工程》，石油工程师协会（一、二卷，1962），以及美国能源部、国家石油委员会出版的文献。此外，本书著者感谢许多作者给其他各种书刊撰写了大量石油文稿。

目 录

1 石油工业概述	1
1.1 石油工业历史发展阶段	1
1.2 经济背景	6
1.3 近代石油史	14
1.4 近代天然气发展史	16
2 石油工业的结构	24
2.1 综合性大型公司	24
2.2 独立型公司	33
2.3 世界石油工业	36
3 产层	38
3.1 油气聚集和产状	39
3.2 油气分离和油藏驱动力	43
3.3 石油分类	44
4 开发	46
4.1 土地部门的职能	46
4.2 钻井作业	47
4.3 油田开发	50
5 钻井设备与方法	57
5.1 钻机类型	57
5.2 钻井方法	58
5.3 钻井液	61
6 地层评价测井、取心和中途测试	64
6.1 录井	64
6.2 取心	76
6.3 中途测试	78
7 完井	79
7.1 常规射孔套管完井	79
7.2 永久性完井	82
7.3 多层位完井	82

7.4	防砂完井	84
7.5	防水和防气完井	84
8	下套管和注水泥作业	90
8.1	套管	90
8.2	套管附件	94
8.3	注水泥	96
9	采油基本原理	102
9.1	采油机理和影响因素	102
9.2	采油的动态控制	103
9.3	最高合理产量	104
9.4	有效油井动态	105
10	采油方法—设备与测试	107
10.1	生产井装备	107
10.2	油井举升类型	107
10.3	人工举升	108
10.4	试井	141
11	地面设备	143
11.1	井口装置	143
11.2	分离方法	145
11.3	处理方法	146
11.4	储油罐	150
11.5	产油量的计量	150
12	生产问题和修井作业	153
12.1	生产问题	153
12.2	修井作业	157
13	增产措施	159
13.1	酸化	159
13.2	酸化添加剂	163
13.3	地层压裂	169
13.4	其他增产方法	172
14	提高原油采收率 (EOR)	175
14.1	水驱作业	175
14.2	强化开采或三次采油方法	180
15	天然气加工和热电联合生产工艺	185

15.1	基本概念	185
15.2	天然气加工方法	187
15.3	经济与污染	189
15.4	热电联产	190
16	新技术	193
16.1	水平井和大位移井	193
16.2	随钻测井	196
16.3	连续油管	196
16.4	三维地震	198
16.5	油田范围圈定以及管理和监测	199
17	前景展望	200
	专业术语表	207

1 石油工业概述

petroleum 一词来自拉丁语，petro 的意思是岩石，oleum 的意思是油——用于指液态烃很合适，液态烃是原油极佳的同义词。petroleum 一词也广泛用于表示天然气。术语“石油工业”一般指的是石油和天然气工业，本书通篇用的都是这个意义。因此，石油是由大量复杂的基团液态、气态和半固态烃也就是碳氢化合物组成，常含有一些“杂质”，如氮、氧和硫。

人们认为组成石油、天然气和煤的复杂烃类源自沉积于古代海底死亡的动植物。后来，后续的沉积层产生的高温高压使动植物有机质发生了转变（见第3章）。在漫长的地质年代中，这种有机质的原始沉积相对来说不是很久远。迄今所发现的所有油气藏都形成于古生代、中生代和新生代第三纪，为地球年龄的10%（2百万~400百万年前）。

现在让我们先来叙述石油工业的发展历史与经济情况，对石油技术的简要描述放在后面。

1.1 石油工业历史发展阶段

1859年，美国钻了两口综合估价为40000美元的油井，产出原油2000bbl（1bbl=0.159m³）。一个多世纪以后，现在美国有几十万口生产井，每年生产原油23亿多桶，预计井口价值超过350亿美元。

当然，在这两个时间段之间，石油工业内外均发生了很多事情。

美国的石油工业发展历史可以划分为五个明显不同的阶段，描述如表1.1所示。

表 1.1 美国石油工业历史发展阶段

阶段	主要事件
阶段 1	初期开采阶段（1859—1875年）
阶段 2	俄亥俄美孚石油集团占统治地位（1870—1910年）
阶段 3	现代，俄亥俄美孚石油集团帝国解体，出现新的石油公司（1911—1928年）

续表

阶段	主要事件
阶段 4	20 世纪 30 年代经济大萧条，首次出现有关油气的政府生产法规（1930—1945 年）
阶段 5	竞争重组及世界范围油气增长阶段；天然气工业得到迅速发展（1945 年至今）

第一阶段：初期开采阶段始于 1859 年，当时，陆军上校德雷克 (Edwin L. Drake) 在宾夕法尼亚泰特斯维尔 (Titusville) 附近成功钻探了第一口工业油井。这个阶段一直持续到 19 世纪 70 年代，是竞争激烈、以生产为中心的经济自由竞争年代，以能源贪婪和对加利福尼亚淘金热的日子无知回忆为综合特征。无规律的石油价格结构使有些人非常容易地得到了财富，而另外其他一些人则很快破产。因此，美国东部石油生产潜力的成功开发，为石油大工业的发展奠定了基础。

第二阶段：从 1870 年俄亥俄美孚石油公司 (Ohio) 成立开始，共持续 40 年，石油工业的所有活动都以俄亥俄美孚石油集团占统治地位。这个阶段，俄亥俄美孚石油集团控制了石油行业的炼油、运输和市场的许多业务，因此，确保了对第四个主要价格控制功能——石油生产的控制。19 世纪 80 年代初，俄亥俄美孚石油集团控制了美国所有炼油厂的 80% ~ 90%。到 1904 年，标准销售体系——一个庞大的铁路、管线、石油销售站和联营市场运输网络遍布美国大部分地区。当时，全美将近 90% 石油商都是从俄亥俄美孚石油集团购买石油。

在精炼厂阶段，俄亥俄美孚石油集团通过横向合并得到发展并提高了竞争力，后来通过连续与铁路和管道公司、其他地区的生产者、原油购买者和炼油者、集油站和干线以及其他各地区和局部市场组织联营发展成纵向统一管理。

当俄亥俄美孚石油集团利用纵向统一管理实行垄断时，其他工业部门开始利用它作为在竞争生存努力中的防御机制。合并是俄亥俄美孚石油信托公司 40 年统治发展的结果，现在仍然是石油工业生存的一个重要手段。

第三阶段：1911—1915 年间俄亥俄美孚石油公司解体，恢复了石油行业的竞争，不仅出现了很多新的公司，而且较大的石油公司通过合并继续寻求安全。有时称第三历史阶段为现代石油工业。

第一次世界大战期间，随着竞争的恢复和石油需求的增加，石油

工业扩大以满足美国萌芽工业和所有新开发的利用石油产品作为燃料和润滑油的陆地、海上和空中运输的需要。石油行业活动显著增加，大量复杂工业逐步产生，范围从大型综合性全球作业公司（包括原俄亥俄美孚石油组织继承人）到致力于石油勘探、开发和零售某个方面的独立公司。

第四阶段：20世纪30年代美国发生经济大萧条，政府颁布了一些生产法规，这些法规从此一直作为石油工业的重大政治和经济生活规则持续至今。

石油工业的主要问题一般起因于生产过剩：产出太多，需求太少，价格太低，利润太少。原油生产者试图自发限制原油产量以恢复有利的价格结构，当所做的这些努力在原油生产者（包括特许权所有者）屈服于经济需要压力或利润的引诱时往往会失败。导致自我调节失败的另外的因素就是不断怀疑原油储量会很快接近枯竭。在这种情况下，很显然，精明的作业者往往会疯狂地寻找和拼命地勘探开发石油。即便有些最大的公司也发现很难忽视这种怀疑的作用并克制其行为。实际结果导致联邦政府受石油工业急切的请求进行了一系列的干涉行动。这些联邦政府的一系列干涉行动正像新战争就要来临一样变得有效，需求远景似乎无限。

这个阶段还是液化石油气（LPG）和天然汽油得到应用的阶段。以前这些作为油田的废品，也开始得到应用。前者主要作为加热燃料，后者作为新型“复合”汽油的掺合剂。

第五阶段：第二次世界大战之后，在20世纪40年代末和50年代初，美国公司与许多大的外国公司和其他几乎完全依靠国内生产石油资源的公司竞争重组。在这个阶段，美国石油工业几乎从起初就具有国际化趋势，对世界范围国际政治和经济发展十分敏感。

在这个阶段，天然气工业也得到蓬勃发展。天然气干线超过2000mile，把大量的标准天然气产品输送到全国消费总站。从资本投资方面来看，天然气排为美国10大工业之一，提供了美国能源总需求的25%以上。在受到天然气竞争的冲击年代，原油在能源市场上与煤作用相当。

自从第一次世界大战以来，尽管美国化学工业得到迅速而持续的发展，但早期受到长期存在的炸药企业的限制，直到第二次世界大战之后，石油和天然气才逐渐成为新型塑料和合成材料的主要原料来源。这样美国最新工业之一——石油化工迅速得到发展，成为市场和石油企

业的一部分。现在美国化学工业四分之一以上的总产量来自石油。

承担任何重点工程必须考虑到经济问题。钻井当然是一个重点工程，正如下面的章节要解释的一样，如图 1.1 ~ 图 1.3 所示。

石油工业的早期以经济繁荣和萧条交替循环为标志。在世纪之交，加利福尼亚经历了第二个淘金热——吸引各种冒险者的是一种“黑色金子”。例如，图 1.3 中所示克恩（Kern）河油田大约在 1908—1910 年就是这样（来自石油生产先驱收藏品）。



图 1.1 20 世纪初类似这样的木制井架很普遍
(克恩县博物馆授权)

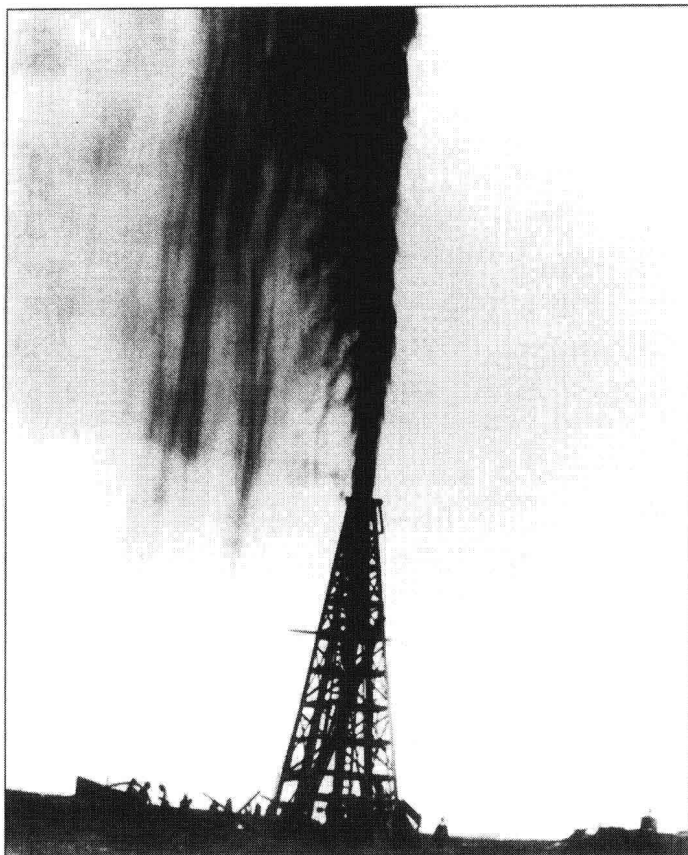


图 1.2 得克萨斯博蒙特 (Beaumont) 附近
(Spindletop 井是预示现代石油繁盛的闻名的自喷井)

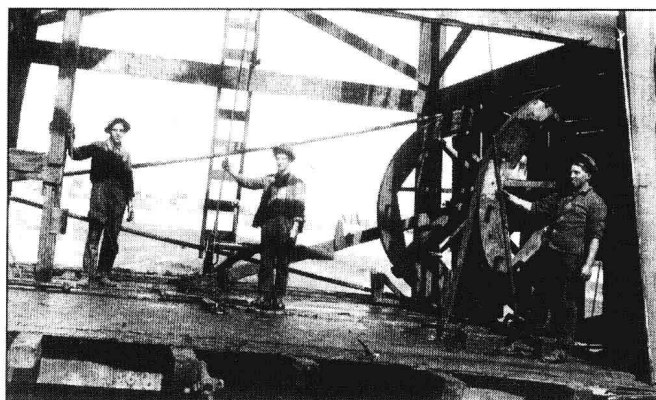


图 1.3 克恩河油田