



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

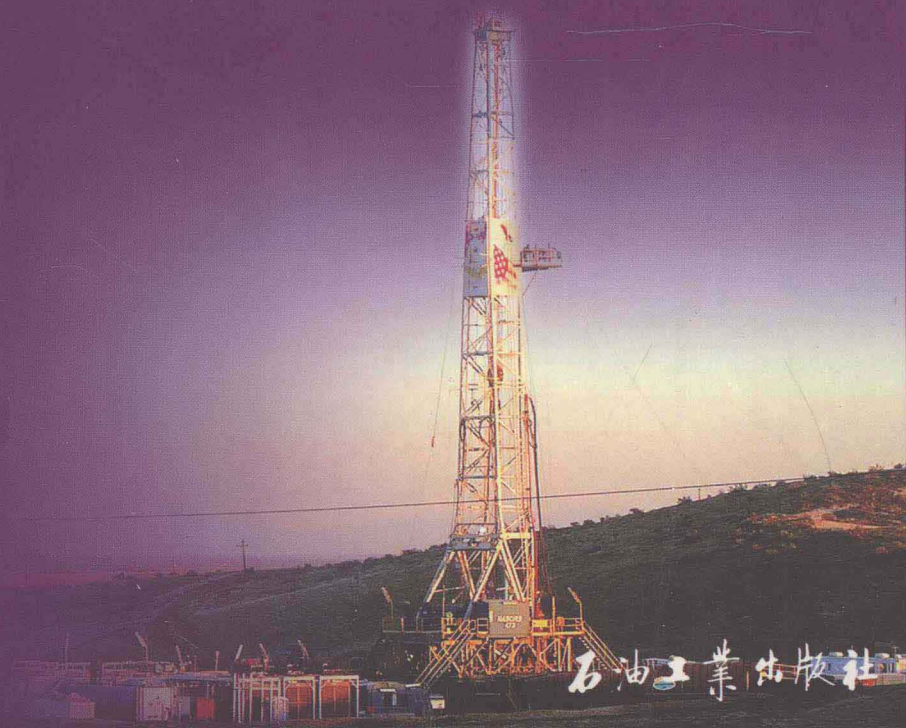
石油

钻井

Drilling Technology in Nontechnical Language

作者: Steve Devereux

翻译: 胡月亭



石油工业出版社



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

石油

钻井

Drilling Technology in Nontechnical Language

作者: Steve Devereux

翻译: 胡月亭



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是潘威尔(PennWell)公司所推出的通俗系列读本之一,是非专业技术人员及石油工程专业低年级学生的理想读物,作者把涉及海上到陆上、从钻井基础地质到钻井作业的整个过程都作了系统介绍。此外,本书还涉及了诸如安全、环保及作业规则等一些关键问题,每一章都有概述、小结及术语。

图书在版编目(CIP)数据

石油钻井 / (美) Steve Devereux 著; 胡月亭译.
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: Drilling Technology
ISBN 978-7-5021-7131-5

I . 石…
II . ① S…② 胡…
III . 油气钻井
IV . TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 069229 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
编辑部: (010) 64523583 发行部: (010) 64523620
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: 17.75
字数: 300 千字

定价: 48.00 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

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。

王宜林

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》、《石油化学产品》、《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

作者简介

斯迪夫·戴卫瑞克斯是英国钻井研究所总经理，他是壳牌公司办公室钻井工作手册的作者。曾作为钻井顾问为在埃及的英国天然气勘探开发公司工作，他同时还是英国航天公司工程师。斯迪夫具有 20 余年钻井工作经验，先是作为壳牌公司受训钻工，一直做到钻井经理。他现在是英国矿业工程师学会的一名注册工程师。他同时还是《实用钻井设计与钻井手册》一书的作者，该书有书和光盘同时发售。

译者的话

本书是写给那些没有技术背景而又想了解石油钻井这一复杂工程的人们，本书的读者群体应是：

1. 私有企业、公共事业及政府部门的那些与钻井作业打交道的管理人员。
2. 那些在石油行业其他部门工作的，欲对从事钻井工作的同事们的工作有所了解的人们。
3. 那些想在工业系统工作或意欲从事咨询工作、教师工作的学子们。
4. 那些从事钻井工作人员的伴侣们，她们想了解自己的伴侣长期离家在外，究竟做的是什么样的工作。
5. 所有对钻井工作好奇或感兴趣的人们。

像钻井这样复杂的技术工作，如果不借助一些数学、物理、化学及工程学知识，而把它介绍得明明白白是不太可能的。所以，我想在介绍钻井技术之前，先把一些有关的基本原理给读者进行尽可能详细解释，以期能够有助于对这种复杂技术的理解。

我建议读者们先阅读前四章，在具有了一些基本概念之后，你们就可以挑选一些自己感兴趣的章节进行阅读。

本书不像其他的书籍那样只是孤单地一本小册子，我在这里还给读者提供了一个可与大家进行沟通的便捷方式，你们可以通过我的网站 (<http://www.drillers.com>) 进行咨询或下载问题及问题解答。

总之，我希望你能够对阅读本书感兴趣，我最不愿意看到的就是，您把本书买回去之后就束之高阁，尘封了事。

最后，感谢您对本书的厚爱！

目 录

1	钻井地质	1
1.1	本章概述	1
1.2	火成岩、变质岩与沉积岩	1
1.3	板块构造	2
1.4	岩石学	3
1.5	岩石的强度和应力	7
1.6	静液柱和压力	8
1.7	本章小结	9
1.8	术语	10
2	石油与天然气的产生、运移及储集层	11
2.1	本章概述	11
2.2	生油岩及碳氢化合物的产生	11
2.3	岩石的重要性质	13
2.4	最初的运移	14
2.5	结构性圈闭	14
2.6	储集层岩石	15
2.7	盖层	16
2.8	二次运移	16
2.9	油藏驱动	17
2.10	油藏中与流体相关的问题	18
2.11	本章小结	19
2.12	术语	19
3	在陆地上钻勘探井	20
3.1	本章概述	20
3.2	确定远景构造	20
3.3	钻井建议书	21
3.4	资料收集	23
3.5	钻井设计	25
3.6	编写钻井作业程序	27

3.7	钻井	34
3.8	产能测试	55
3.9	油井的废弃	58
3.10	本章小结	59
3.11	术语	59
4	设计规划钻一口海上开发井	62
4.1	本章概述	62
4.2	油井的规划设计	62
4.3	井眼和套管的尺寸	64
4.4	编写钻井程序	66
4.5	钻井	67
4.6	本章小结	79
4.7	术语	79
5	钻机的选择及其设备的配套	81
5.1	本章概述	81
5.2	如何选择合适的钻机	81
5.3	钻机系统及其相应设备	89
5.4	本章小结	102
5.5	术语	102
6	钻头	104
6.1	本章概述	104
6.2	牙轮钻头	104
6.3	固定切削齿钻头	106
6.4	取心钻头	108
6.5	优化钻井参数	108
6.6	钻头的磨损分级	111
6.7	钻头的选择	112
6.8	钻头经济学	113
6.9	本章小结	114
6.10	术语	114
7	钻井液	115
7.1	本章概述	115
7.2	钻井液的作用	115
7.3	钻井液体系的基本类型	116

7.4	钻井液的设计	120
7.5	本章小结	132
7.6	术语	133
8	定向钻井与水平钻井	135
8.1	本章概述	135
8.2	为什么要钻定向井?	135
8.3	定向钻井的工具和技术	138
8.4	斜井的井眼轨迹控制	141
8.5	水平井	144
8.6	多分支井	145
8.7	测量	146
8.8	参照油气藏的导向	149
8.9	本章小结	150
8.10	术语	150
9	下套管与固井	151
9.1	本章概述	151
9.2	套管在油气井中的重要性	151
9.3	套管柱的设计	153
9.4	套管外水泥的作用	158
9.5	驱替钻井液	158
9.6	水泥浆	160
9.7	固井设计	161
9.8	下套管及固井作业	167
9.9	表层套管的固井	169
9.10	固井质量评价	170
9.11	其他的固井工作	170
9.12	本章小结	172
9.13	术语	173
10	评价	174
10.1	本章概述	174
10.2	评价技术	174
10.3	地面物理样本分析	174
10.4	井下物理样本	178
10.5	电测	182

10.6	生产测试	188
10.7	本章小结	190
10.8	术语	191
11	井控	192
11.1	本章概述	192
11.2	一级井控、二级井控及三级井控	192
11.3	防喷器组	194
11.4	井涌监测装置	201
11.5	压井	201
11.6	浅层气	206
11.7	特殊情况下的井控措施	208
11.8	井控资格培训	212
11.9	本章小结	212
11.10	术语	212
12	钻井作业管理	214
12.1	本章概述	214
12.2	钻井作业中的组织机构和人员分工	214
12.3	钻井合同的类型	218
12.4	激励计划	220
12.5	现场决策	221
12.6	办公室决策	222
12.7	与服务公司之间的工作接口	222
12.8	钻井成本的估算	223
12.9	后勤保障工作	229
12.10	重大事故的处理	229
12.11	本章小结	231
12.12	术语	231
13	钻井过程中出现的问题及其解决办法	232
13.1	本章概述	232
13.2	循环漏失	232
13.3	卡钻	238
13.4	落鱼的打捞	245
13.5	本章小结	252

14	安全与环境问题	253
14.1	本章概述	253
14.2	安全会议	253
14.3	新招聘的员工	256
14.4	培训及合格证的发放	256
14.5	演练	257
14.6	工作（作业）许可体系	258
14.7	安全警报	259
14.8	设备合格证	260
14.9	安全设施、设备	261
14.10	停止牌	262
14.11	使废物的排放和抛洒最小化	262
14.12	环境影响研究	264
14.13	恶劣天气——终止作业	264
14.14	本章小结	265
14.15	术语	265

1 钻井地质

1.1 本章概述

本章将介绍一些与钻井作业相关的地质方面的知识，因为要弄清钻井过程及其所遇到的问题，有必要对岩石的物理、化学性质有一定的了解。另外，本章还将对静态液体压力的概念作以简要介绍。

本章所介绍的一些重要概念将有助于读者对后面一些章节的理解，如欲进一步阅读相关内容，可参考书后所提供的参考文献。

1.2 火成岩、变质岩与沉积岩

地球形成之初，整个地球处于一种熔化状态。当地球逐渐冷却时，表面的岩浆就慢慢固化下来。这种由熔化的岩浆固化后所形成的岩石称作火成岩，玄武岩和花岗岩都属于火成岩。

当地球持续冷却的时候，地球表面的水和气体就形成了海洋和大气层。地球的旋转以及太阳与月球对它的引力等，使得海洋和大气层发生运动而形成天气变化和潮起潮落。由于昼夜的变化和季节的交替，地球的温度起伏波动，岩石不断发生膨胀和收缩。当温度降到零摄氏度以下时，岩石微裂缝中的水会因冷却而膨胀，从而使岩石不断剥落，这种现象就叫岩石的风化。

各种大小不同、形态各异的岩石，或被风吹或被水冲，运移了很长的距离，当驱动这些岩石运移的外力减少时，这些被运移的岩石或飘落到地面或沉入水底而形成的一层新的岩石，这层岩石就叫沉积岩。当风速或水流减弱时，体积大的岩石最先落下，而体积较少的岩石则会被带到更远的地方。这样，由岩石运移过程中剥落的一些碎片就形成了一种特殊的沉积岩——碎屑岩，碎屑岩中岩石碎片体积的大小基本相同。大块的岩石一般都沉积在能量相对高的环境中，如流速较快的河流，与之相反，小块岩石就沉积在能量相对较低的环境中，如沼泽、湖泊等。

经过数百万年的地球运动和变化，这些沉积岩慢慢地被埋在了地壳的下面，它们在那里承受着高温（随埋深的增加温度随之增加）、高压（位于其上面的岩石对它的压力）。这样，在高温、高压的作用下，沉积岩里面的一些矿物质也在发生着相应的变化，如发生了脱水，并在一定温度、压力的作用下，在结构上也发生了化学变化，它们结合在一起形成岩石，这一过程就叫成岩作用。由一些小颗粒矿物质通过与其周围所接触的一些物质进行胶结而形成一些新的岩石类型，这类岩石形成的过程叫做胶结作用。通过成岩作用和胶结作用所形成的岩石叫做沉积岩。页岩、砂岩及石灰岩等就是典型的沉积岩。

除了这种“物理”沉积外，也有化学沉积过程的发生。由盐水湖的盐水蒸发所形成的盐床可能会很厚，由于盐的声波特性，这种厚厚的盐床无论对钻井作业或是地震勘探都会带来一些实际问题，这种盐床的形成就属于化学沉积类型。另外，像古珊瑚礁、煤等的生物沉积作用也比较明显。

有时候，业已存在的一些岩石如火成岩、沉积岩等，在受到外界高温、高压的作用时，如果这种作用足以使其晶格结构发生变化或使其发生化学变化而造成其自身性能的改变，这种岩石就叫变质岩。大理石、板岩等就是典型的变质岩。

在世界上绝大多数地方，沉积岩一般都位于基岩的顶部。沉积岩的厚度也薄厚不均，一般在 $0 \sim 164000\text{m}$ 不等，如在加拿大东部地区，就不存在沉积岩。在一些火山活跃的地区，在地表或接近地表的地方就是火成岩和变质岩，而厚厚的一层沉积岩就埋藏在它的下面。

1.3 板块构造

在地球地幔的下面就是处于熔化状态的地核，这些熔化的岩浆可以从现在的一些活火山口看到。在这些熔化状态的地核之上所浮起的固体岩石就像在水面上所漂浮的木筏那样浮在沸腾的岩浆之上。

地球的壳体被分成七个大块（非洲板块、太平洋板块、印度—澳大利亚板块、南北美洲板块、欧亚大陆板块以及南极洲板块）及许多较小的板块（如阿拉伯板块等），这些板块相互之间都在运动，由此而引起地震的发生。有些板块间彼此相对而去（如大西洋与南印度洋），这样由于液体岩浆的暴露而使其温度降低从而形成新的地层。而另一种情况则恰好相反（如太平洋的西端），在这里一个板块运移到了另一个板块

的下面,从而导致了火山和山体的形成。另外,还有的运动是板块间的相对滑动(如美国西海岸与太平洋板块间的运动),其运动速度在每年1.3 ~ 17.2cm 之间。

在靠近板块边缘的地方(专业称之为活跃区域),岩石承受着比其他地方更大的压力。如果在这里钻井将会是一件比较麻烦的事,因为这里岩石承受的压力较大,造成井壁不稳定,导致井壁坍塌、扩径等井下复杂情况的发生。

地壳板块的运动将会造成岩石的上下移动,也可能因此而导致岩层的折叠、断裂或翻转。岩石内部的液体压力也会随周边岩石的情况而发生剧烈的变化。岩石内部的强度会随不同的方向而发生相应变化。

1.4 岩石学

岩石学研究的就是岩石的一些物理方面的性质,它对岩石的矿物成分、颜色、颗粒体积、纹理等进行描述。诸如页岩含有砂砾(砂页岩),或者说一块岩石就是由一些含有泥质矿物的砂粒组成的。在做钻井设计时,岩石学对于如何设计一口井具有一定的影响作用。如果由于对岩石性质缺乏认识,可能会因错误的决策而造成钻井成本的增加,甚至不能钻抵目的层位。

岩石的成分对于分析其形成提供了一个非常重要的线索,没有海洋生物化石和页岩掺杂的纯净砂岩,可能最初就是以大量砂体的形式沉积的。而河流、波纹和裂缝等则往往能够给出岩石所形成的环境线索。

1.4.1 页岩

页岩由层状黏土矿物质组成,黏土矿物质就是一些金属氧化物和硅酸铝以及不同数量的水分子所组成的晶格结构。这些金属氧化物大多数是铁、镁氧化物,有时也有钠、钾等其他金属的氧化物。它们在黏土矿物质中同时存在,只是相互之间的比例不同,这样就形成了一系列黏土矿物质类型。黏土矿物质最初在沉积岩里,它是通过物理作用和化学反应破坏了其他矿物质的初始形态而形成的。风化了黏土在水流或风的作用下,运移到一个地点沉积下来,以后也许会进一步发生物理或化学变化。或许会有更多的水进入矿物黏土中。

慢慢地,这些黏土矿物质会被其他的沉积物所掩埋,这样它们就会