

PETROLEUM GEOLOGY
ELEMENTS OF

石油地质学

Richard C. Selley, Stephen A. Sonnenberg 著

程远锋 译



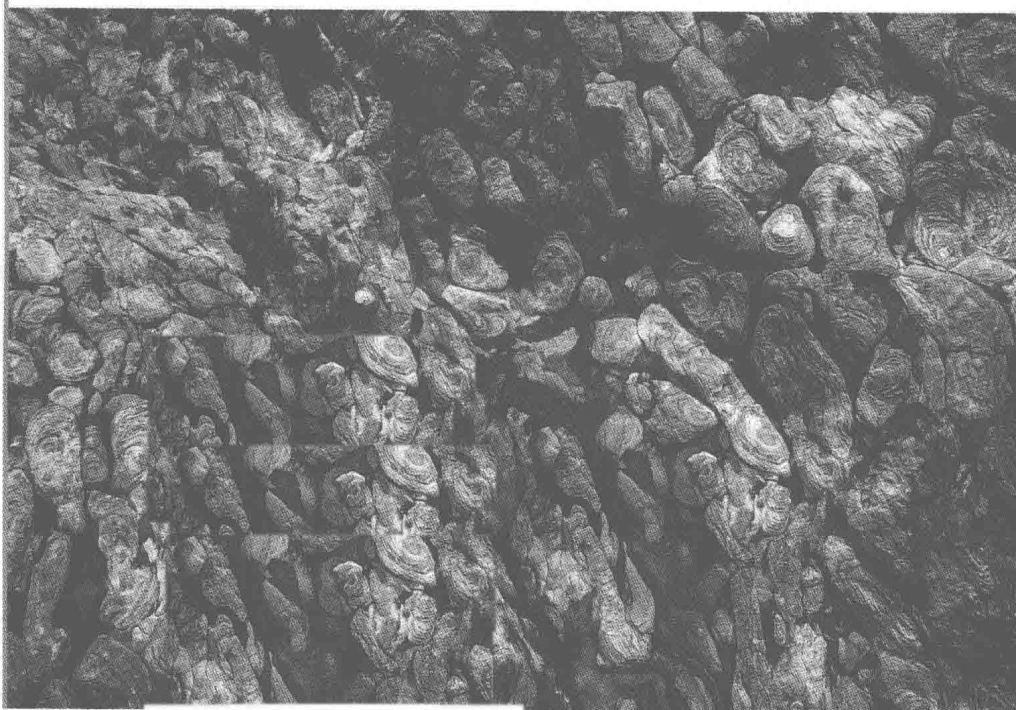
中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

PETROLEUM GEOLOGY

石油地质学

Richard C. Selley, Stephen A. Sonnenberg 著

程远锋 译



中国石化大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

石油地质学 / (英)塞利, (美)索南伯格著; 程远
锋译. —东营: 中国石油大学出版社, 2016. 2

书名原文: Elements of Petroleum Geology

ISBN 978-7-5636-5078-1

I. ①石… II. ①塞… ②索… ③程… III. ①石油天
然气地质 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 045411 号

ELEMENTS OF PETROLEUM GEOLOGY, third edition (ISBN 978-0-12-386031-6)
by RICHARD C. SELLEY and STEPHEN A. SONNENBERG published by Academic Press
2015

Copyright © 2015, 1998, 1985 Elsevier Inc. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any
means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information stor-
age and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Details on how to
seek permission, further information about the Publisher's permissions policies and our ar-
rangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Li-
censing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright
by the Publisher (other than as may be noted herein).

著作权合同登记号: 图字 15-2016-116 号

书 名: 石油地质学

作 者: (英)塞利, (美)索南伯格

译 者: 程远锋

责任编辑: 方 娜(电话 0532—86983560)

封面设计: 赵志勇

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: fangna8933@126.com

印 刷 者: 沂南县汶凤印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86983584, 86983437)

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 25.5 字数: 629 千字

版 次: 2016 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1~1 500 册

定 价: 89.00 元

内容提要

《Elements of Petroleum Geology》(《石油地质学》)第三版新增内容:

- 更新了全书的统计资料
- 增加了额外的图表来说明关键点和新的发展
- 增加的内容包括了三维地震解释、压力封存箱、源岩中油气的吸附与吸收、非常规石油系统
- 更新了油砂和油页岩的内容

系统性更新与修订的第三版《石油地质学》反映了本领域自第二版出版以来的巨大变化,包括了钻采技术信息。对油气工业界的地球物理学家、地质学家和石油工程师来说,本书是他们拓展自身专业领域知识的优秀入门书。本书也能作为石油地质科学领域的大学教材。

《石油地质学》开篇介绍了石油的物理和化学性质,综述了石油勘探与开发的技术方法,这些方法包括钻探、地球物理勘探技术、缆线测井技术以及地下地质成图方法。之后描述了地下温度与压力的环境情况以及封存流体的流体动力学。《石油地质学》考察了石油的产生与运移、源岩和圈闭机理、盆地中的石油。新增加了压力封存箱、油气吸附与吸收、非常规石油的章节,及时更新后的版本涵盖了油砂和油页岩的组成与形成的内容,结尾给出了远景风险分析、储量估计和其他经济学议题的简述。

作者简介

Richard C. Selley, 伦敦帝国理工学院(Imperial College, London)的高级研究员、退休教授。他的职业生涯大部分受雇于北海(North Sea)以及海外的石油公司。拥有 50 多年的教学、研究、将地质科学应用于石油勘探的实践经验。Richard 获得过各种国家级和国际级荣誉,包括伦敦地质学会(Geological Society of London)的银奖,以奖励其在石油地质科学方面的优异表现。此外,他也是英国石油勘探学会(Petroleum Exploration Society of Great Britain)的荣誉会员。

Stephen A. Sonnenberg, 科罗拉多矿业学院(Colorado School of Mines)石油地质系的 Charles Boettcher 席位杰出教授。专门研究非常规储层、层序地层学、构造运动对沉积的影响、石油地质学。曾经担任多个组织的主席职务,包括美国石油地质学家协会(American Association of Petroleum Geologists, AAPG)、落基山地质学家协会(Rocky Mountain Association of Geologists)、科罗拉多科学学会(Colorado Scientific Society)。获得过许多奖励,包括 2013 年 AAPG 颁发的 Halbouty 奖章。

第三版前言

《Elements of Petroleum Geology》(《石油地质学》)第一版面世于大约 30 年前的 1985 年。本书的目的是介绍石油地质学的基础知识,首先介绍油源岩的沉积与成熟,接着是石油从源岩运移到含孔隙度和渗透率的储层岩石中,并被圈闭在不渗透性盖层之下。本书也介绍了石油勘探与生产的科学和技术,涵盖从最初阶段的地球物理调查到最后阶段的提高采收率的内容。

1988 年第二版问世的时候,石油地质学的基本要素几乎没有发生变化,但是石油勘探和生产的科学技术却发展了,例如,快速提高的计算能力催生了三维地震调查技术,解释反射轴的能力已演化至解释单个地震道的振幅特性上。

当 Elsevier 请求编写第三版的时候,RCS(Richard C. Selley)正处于退休生活的黄金期,对这项工作有些畏惧。因此,Elsevier 推荐了一位合著者。SAS(Stephen A. Sonnenberg)接受了这项挑战,对改版做出了主要贡献。在第二版和第三版期间,人们意识到了非常规油气资源的重要性,相应的技术也进步了,尤其是水平井和水力压裂技术使得人们可以直接从源岩层中开采出天然气和石油,而不存在石油运移过程和常规储层的圈闭。页岩气、页岩油和煤层甲烷气的开采激增。这种变化具有较高的经济价值和环境价值,特别是对燃煤的依赖性降低了,减少了二氧化碳的排放。

我们期望第三版会像前两版一样,对地质科学和工程学方面的学生来说,有助于他们为入职能源行业做准备,对石油工业上游经验丰富的从业者来说,也有助于拓展他们在科学和工程学领域的视野。

致 谢

编写石油地质学方面的书需要克服两个主要的困难。石油地质学的主题太广泛,涵盖从分子生物化学到地震数据处理的内容,前者晦涩而后者具有数学背景,同时,石油地质学的发展又太快,新数据不断出现,新理论层出不穷。我非常感谢审读手稿的人,他们指出了许多事实错误和重点,给出了改进措施。其中的大量工作都是由伦敦帝国理工学院的同事完成的。Thomas-Betts 博士、Weildon 先生和 Williamson 先生审读了地球物理学部分, Kinghorn 博士审读了地球化学部分, Wall 教授审读了石油工程学部分,其余的部分主要是由 Stoneley 教授完成的。Schlumberger 的 Maret 先生审读了储层评价部分。

我非常感谢下列组织机构和个人允许我使用他们之前发表过的图表: Academic Press, the American Association of Petroleum Geologists, Applied Science Publishers, Badley Earth Sciences Ltd., Blackwell Scientific Publications, BP Exploration, Gebruder Borntraeger, Geoexplorers International Inc., Cambridge University Press, the Canadian Association of Petroleum Geologists, Chapman and Hall, Esso UK plc., Coherence Technology Company, W. H. Freeman and Company, *Geology*, The Geologists Association of London, *Geological Magazine*, the Geological Society of London, the Geological Society of South Africa, Gulf Coast Association of Geological Societies, the Geophysical Development Corporation, GMG Europe Ltd., GVA International Consultants, the Institute of Petroleum, the *Journal of Geochemical Exploration*, the *Journal of Petroleum Geology*, *Marine and Petroleum Geology*, McGraw-Hill, the Norwegian Petroleum Society, NUMAR UK Ltd., the Offshore Technology Conference, Paradigm Geophysical Corporation, Princeton University Press, Sachnowitz & Co., Schlumberger Wireline Logging Services, Schlumberger Oil-field Review, the Society of Petroleum Engineers, the Society of Professional Well Log Analysts, Springer-Verlag, John Wiley & Sons, World Geoscience UK Ltd., 以及 World Oil。

RCS

Richard C. Selley
Royal School of Mines
Imperial College
London, UK

SAS

Stephen A. Sonnenberg
Colorado School of Mines
Golden
Colorado, USA

目录

Contents

第1章 绪言	1
1.1 石油勘探的历史回顾	1
1.1.1 石油:从诺亚到石油输出国组织	1
1.1.2 石油勘探理念与技术的演化	4
1.2 石油地质学的含义	6
1.2.1 石油地质学与科学的关系	6
1.2.2 化学与石油地质学	6
1.2.3 物理学与石油地质学	6
1.2.4 生物学与石油地质学	7
1.2.5 石油地质学与石油勘探和生产的关	7
第2章 石油的物理性质和化学性质	10
2.1 天然气	11
2.1.1 烃气	11
2.1.2 非烃类气体	13
2.2 天然气水合物	17
2.2.1 成分和赋存状态	17
2.2.2 识别和经济价值	18
2.3 原油	21
2.3.1 化学性质	22
2.3.2 分类	25
第3章 勘探方法	30
3.1 钻井与完井	30
3.1.1 顿钻	30

3.1.2 旋转钻井	31
3.1.3 各种类型的钻井装置	35
3.1.4 垂向井、定向井和水平井	36
3.1.5 水平钻井与多级水力压裂增产	38
3.1.6 各种类型的采油装置	39
3.2 储层评价	42
3.2.1 电测井	44
3.2.2 烃饱和度的定量计算	47
3.2.3 放射性测井	48
3.2.4 声呐或声波测井	52
3.2.5 联合孔隙度测井	53
3.2.6 核磁共振测井	55
3.2.7 介电测井	55
3.2.8 随钻测量或随钻测井	56
3.2.9 倾斜计测井和井眼成像	57
3.2.10 岩石物理分析中测井的应用:总结	60
3.2.11 测井在地质相分析中的应用	65
3.3 地球物理勘探方法	69
3.3.1 磁法调查	69
3.3.2 重力调查	72
3.3.3 磁法调查与重力调查:总结	74
3.3.4 地震调查	75
3.3.5 地震数据解释	80
3.4 井中地球物理和四维地震	92
3.4.1 垂直地震剖面(VSP)	92
3.4.2 四维地震	94
3.5 地下地质	96
3.5.1 地质剖面图	96
3.5.2 地下地质图	99
3.6 遥感	103
3.6.1 图像遥感	104
3.6.2 雷达	105
3.6.3 多谱扫描	105
3.6.4 结论	106
第4章 地下环境	112
4.1 地下水	112
4.1.1 分析	112
4.1.2 来源	112
4.1.3 地下水的化学性质	113

4.2 地下温度	117
4.2.1 基本原理	117
4.2.2 局部热变化	120
4.2.3 区域热变化	121
4.3 地下压力	121
4.3.1 测量	121
4.3.2 基本原理	123
4.3.3 异常高压	125
4.3.4 异常低压	129
4.3.5 压力封存箱	130
4.4 地下流体动力学	131
4.4.1 压力-温度关系	131
4.4.2 石油的二次运移	132
4.4.3 年轻盆地与衰老盆地的流体动力学:总结	134
第5章 石油的产生和运移	140
5.1 石油起源:有机还是无机	141
5.1.1 起源于地幔的烃类	144
5.1.2 Fischer-Tropsch 合成石油起源论	145
5.1.3 石油的无机起源说与有机起源说:总结	146
5.2 地表处发生的现代有机过程	146
5.2.1 有机物的生产率和保存	148
5.2.2 古代沉积物中有机质的保存	152
5.3 干酪根的形成	153
5.3.1 有机物的浅层成岩作用	153
5.3.2 干酪根的化学性质	155
5.3.3 干酪根的成熟	158
5.3.4 古温度表	160
5.4 石油运移	167
5.4.1 以初级石油的形式排出	171
5.4.2 烃在水溶液中排出	171
5.4.3 石油在气态溶剂中排出	173
5.4.4 游离态石油的初次运移	173
5.4.5 烃吸附在源岩中的重要性	176
5.5 石油系统	176
5.5.1 石油运移距离的测量	177
5.5.2 石油系统与盆地模拟	178
5.5.3 石油的产生和运移:总结	180

第 6 章 储层	191
6.1 孔隙度	191
6.1.1 定义与分类	191
6.1.2 孔隙度的测量	197
6.2 渗透率	198
6.2.1 基本原理	198
6.2.2 渗透率的测量	198
6.2.3 对渗透率数据的解释	199
6.3 毛细管压力	201
6.4 孔隙度、渗透率和构造之间的关系	202
6.4.1 孔隙度、渗透率和颗粒形状的关系	203
6.4.2 孔隙度、渗透率和颗粒大小的关系	203
6.4.3 孔隙度、渗透率和颗粒分选的关系	203
6.4.4 孔隙度、渗透率和颗粒排列方式的关系	204
6.4.5 孔隙度、渗透率和沉积过程的关系	205
6.4.6 孔隙度、渗透率和颗粒取向的关系	205
6.5 成岩作用对储层质量的影响	206
6.5.1 成岩作用对砂岩储层的影响	207
6.5.2 成岩作用对碳酸盐岩储层的影响	215
6.5.3 非典型储层和裂缝储层	220
6.6 储层的连续性	221
6.6.1 沉积坝体	221
6.6.2 成岩作用坝体	224
6.6.3 构造坝体	225
6.7 储层表征	226
6.8 储量计算	228
6.8.1 初步体积储量计算	228
6.8.2 发现后的储量计算	229
6.9 开采方法	230
6.9.1 水驱	230
6.9.2 气顶驱	232
6.9.3 溶解气驱	232
6.9.4 人工举升与提高采收率	234
第 7 章 圈闭与盖层	243
7.1 引言	243
7.2 圈闭的术语	243
7.3 石油在圈闭内的分布	245
7.3.1 沥青膜	245
7.3.2 倾斜流体接触面	245

7.4 密封与盖层岩石	247
7.5 圈闭的分类	247
7.6 构造圈闭	248
7.6.1 背斜圈闭	248
7.6.2 断层和与断层有关的圈闭	252
7.6.3 构造圈闭与构造系统的关系	258
7.7 底辟圈闭	259
7.7.1 盐丘	260
7.7.2 泥底辟	262
7.8 地层圈闭	262
7.8.1 与不整合面无关的地层圈闭	263
7.8.2 与不整合面有关的地层圈闭	273
7.8.3 地层圈闭与沉积相的关系	276
7.9 水动力圈闭	277
7.10 复合圈闭	279
7.11 圈闭:结论	281
7.11.1 圈闭的形成时间与石油运移和储层沉积之间的关系	281
7.11.2 各种圈闭类型出现的相对频率	282
第8章 沉积盆地与石油系统	289
8.1 基本概念与术语	289
8.2 盆地形成的机理	291
8.3 沉积盆地的分类	296
8.4 克拉通盆地	297
8.4.1 克拉通内部盆地	297
8.4.2 外克拉通海湾盆地	300
8.5 海槽	305
8.5.1 地槽与板块构造学	305
8.5.2 弧后海槽	307
8.5.3 前弧海槽	310
8.6 裂-漂系列盆地	311
8.6.1 裂谷	311
8.6.2 夭折裂谷盆地:拗拉谷	315
8.7 走滑盆地	318
8.8 沉积盆地与石油系统	320
8.8.1 油气在不同类型盆地中的分布	320
8.8.2 油气在盆地内的分布	321
第9章 非常规石油资源	330
9.1 导言	330

9.2 塑态烃和固态烃	330
9.2.1 塑态烃和固态烃的存在形式	330
9.2.2 成分	333
9.3 沥青砂	335
9.3.1 沥青砂的成分	335
9.3.2 沥青砂在地质上的分布	338
9.3.3 沥青砂的来源	340
9.3.4 从沥青砂中提取石油	341
9.4 油页岩	343
9.4.1 油页岩的化学成分	344
9.4.2 油页岩的分布	345
9.4.3 从油页岩中提取石油	348
9.5 致密油储层	350
9.6 煤层甲烷气	353
9.7 页岩气	357
9.8 致密气储层	363
第10章 结论	374
10.1 远景区与概率	374
10.1.1 远景区评价	375
10.1.2 地质学方面	375
10.1.3 经济学方面	375
10.2 储量和资源	376
10.2.1 盆地储量的估算	378
10.2.2 全球储量和资源的评估	380
附录1 单位与缩写	386
附录2 术语表	387
附录3 地质年代表	390
附录4 美国和加拿大部分政区图	391

第 1 章

绪 言

神对诺亚说……你要用歌斐木造一个方舟；一间一间地造，并且里外都要抹上松香。创世纪 6:13-14

1.1 石油勘探的历史回顾

1.1.1 石油：从诺亚到石油输出国组织(OPEC, 欧佩克)

如开头语录中所描绘的那样，石油勘探是一项自古就有的工作。《圣经》中记载了很多使用树脂和沥青的例子，因为中东地区广泛存在这些物质的天然渗溢。希腊历史学家 Herodotus 在公元前 450 年的作品中描述了突尼斯 Carthage 地区和希腊 Zachynthus 岛的石油渗溢(Herodotus, 约公元前 450 年)。他描绘了在现代伊朗 Ardericca 地区人们从井中提取石油的细节，当然，这些井并不可能很深，因为液体是从一个酒囊中被提取上来的，酒囊位于一根长杆的一端，长杆则是被安置在一个支点上。这些井同时生产石油、盐和沥青。公元 1 000 年之前，在世界许多地方，石油与沥青都是通过自然渗溢被采集到的。石油早期被应用于药物、防水以及军事领域。石油可外用于伤口和治疗风湿，内服则可以作为泻药。从诺亚时代起，沥青就被用于船的防水。沥青、沥青烯和石油早就被应用于战争当中了。当亚历山大大帝在公元前 326 年入侵印度时，他的骑兵挥舞着燃烧着沥青的瓦罐，驱散了印度象军团。Nadir Shah 在 1739 年使用了类似的装备，将驼峰浸入石油中，点燃后扔向印度象军团(Pratt 和 Good, 1950)。古城 Heliopolis 的 Callinicus 王在公元 668 年发明了希腊火。其确切的配方不详，但是人们认为其中包括生石灰、硫黄和石脑油，即使在潮湿状态下也能被点燃，是拜占庭时期海战中的有力武器。

直到 19 世纪中期，沥青、石油及其副产品才从地面渗溢、浅矿坑、手工挖掘的竖井中被采集到。1694 年英国皇室向 Eele、Hancock 和 Portlock 大师颁发了一项专利，“从一种岩石中制备出了大量的沥青、焦油和油脂”(Eele, 1697)。这里提到的岩石是石炭纪的，出现在由此而得名的 Shropshire 郡的 Pitchford(Torrens, 1994)。西方专门用于寻找石油(而不是水和盐)的第一口井出现于 1745 年，位于法国的 Pechelbronn。人们注意到了这个地区的油砂露头，路易十五颁发给 M. de la Sorbonniere 一个许可证，他钻了几口井，当年又建立了一个冶炼厂(Redwood, 1913)。油页岩工业的来临要归功于 James Young，他于 1847 年在苏格兰的 Torban 开始从石炭纪页岩中干馏石油。早期冶炼厂中得到的产品包括氨气、固态石

蜡和液态石蜡系石油(煤油和煤馏油)。石蜡被用于制作蜡烛,煤油被用于照明。煤油比鲸鱼油更便宜,因而在 19 世纪中期液态烃的市场份额迅速扩大。起初,油页岩、自然渗溢的石油以及从矿坑、手工挖掘的竖井和煤矿中得到的石油是可以满足需求的。在石油勘探出现之前,冲击钻井是一项成熟的技术,在世界许多地区都被用于采集水和盐(见图 1.1)。西方第一口专门用于开采石油的井是 1859 年由 Drake 上校在 Pennsylvania 州的 Oil Creek 钻取的(Owen,1975)。之前在 Appalachians 地区和其他地区的水井中产出的石油只是被当作污染物。Drake 井的钻取技术来自中国的工匠,他们是来美国修铁路的。公元前 1 世纪之前,中国就有了顿钻技术,钻具自 60 m 高的竹塔上悬挂下来。然而,在中国,发展这种钻井技术是用来采集井盐的,而不是石油(Messadie, 1995)。第一口“油矿”是 Ignacy Lukasiewicz 于 1854 年初在波兰的 Bobrka 挖掘的(Frank, 2005; Wikipedia, 2014“History of the Petroleum Industry”)。Lukasiewicz 关注利用渗溢出的石油来取代更昂贵的鲸鱼油,是世界上第一位从渗溢石油中提炼煤油的人。

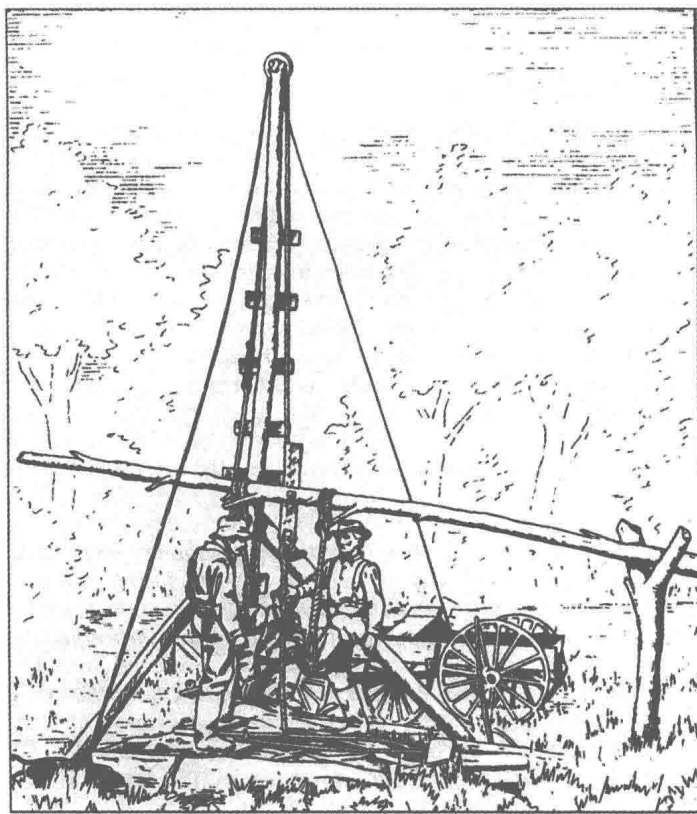


图 1.1 早期在北美使用的冲击钻机。

原动力由一个人和一根弹性杆来提供。(该图由 British Petroleum 提供。)

不久之后,在北美和世界其他地区,从地下井中开采石油的现象出现了快速增长。主要刺激来自 19 世纪 70 年代和 80 年代所发明的内燃机。轻质石油组分的需求逐渐超过了煤油。所有炼制产品都得到了应用,从较轻的天然气,经汽油、石蜡油、柴油、焦油、硫黄,直到重油渣。受第一次世界大战(1914—1918 年)的影响,石油产品的需求急剧增长。到 20 世纪 20 年代,石油工业被七个主要公司所控治,Enrico Mattei 称之为“七姐妹”(Sampson, 1975),其中包括:欧洲的 British Petroleum(英国石油)、Shell(壳牌),美洲的 Exxon(之前称

为 Esso)、Gulf、Texaco、Mobil、Socal(或 Chevron)。BP 和 Shell 分别在中东和远东的海外地区建立了石油储备。因而,早期需要长距离的海运,石油统计由适合航运的公吨作为计量单位。相比之下,美洲的公司不需要长途运输,因而使用桶来作为计量单位。美洲的公司在 20 世纪 20 年代也开始了海外商业冒险活动,主要集中在中美洲和南美洲。20 世纪 30 年代,Socal、Texaco、Mobil 和 Exxon 联合成立了一个财团,即 Arabian-American Oil Company(Aramco,即现在的 Saudi Aramco)。第二次世界大战及战后的经济繁荣期,自由世界建立了石油财团的概念。石油公司为了利益在新的地区勘探石油。独自承担所有的风险是不明智的,因此石油公司涉足多个联合商业风险项目,或称联合企业。表 1.1 给出了一些主要的联合企业,展示了世界范围内七姐妹富丽堂皇的舞姿和舞伴的变换。在此过程中,主要的联合企业之间是爱恨交织的关系。商业的目的是利益最大化,因此它们的利益在于从产油国以尽可能低的价格出口石油,然后在世界范围市场上以最高价格卖出。每个公司都希望以低于其竞争对手的价格来提高自身的销量,这抵消了联合企业的优势。

表 1.1 一些大的跨国石油财团的合作伙伴

公司	The Consortium, 伊朗	I. P. C. , 伊拉克	Aramco, 沙特阿拉伯	Kuwait Oil Co.,科威特	Admar, 阿拉伯联合酋长国	A. D. P. C. , 阿拉伯联合酋长国	Oasic, 利比亚
B. P.	×	×		×	×	×	
Shell	×	×				×	×
Exxon	×	×	×			×	
Mobil	×	×	×			×	
Gulf	×			×			
Texaco	×		×				
Socal	×		×				
C. F. P.	×					×	
Conoco							×
Amerada							×
Marathon							×

注:在各个财团的生命期内,组成成员和利益分配的比例是变化的。

20 世纪 60 年代,在巴格达成立了石油输出国组织(OPEC),最初包括伊拉克、伊朗、科威特、沙特阿拉伯和委内瑞拉(Martinez,1969),后来扩大到了阿尔及利亚、迪拜、厄瓜多尔、加蓬、印度尼西亚、利比亚、尼日利亚、卡塔尔和阿拉伯联合酋长国。获取成员资格的条件是一个国家的经济必须由石油输出来主导。因此,美国和英国是不具备资格的。20 世纪 70 年代中期,OPEC 生产了全世界 2/3 的石油。OPEC 的目标是通过价格控制和公司资产的使用来掌控独立石油公司的能力。对多数 OPEC 成员国来说,石油是它们唯一的自然资源。一旦耗尽,它们就一无所有了,除非它们可以将石油收入最大化,并投入到其他工业的发展当中。OPEC 实现了它的目标,尽管其在 20 世纪 70 年代大规模的提高价格导致了全球经济衰退,但这同时也影响了发达国家和更贫穷的第三世界国家。

OPEC 以国家的方式控制石油公司的做法目前扩大到了 OPEC 范围以外。以前缺乏本土石油经验的国家也组建了国家石油公司(如挪威的 Statoil 和马来西亚的 Petronas),在

有经验的国家也形成了国家石油公司(加拿大的 Petrocan 和之前英国的 Britoil)。以前,石油公司在—个国家的利润是投入到另一个国家的风险资本。对国家石油公司来说,纳税人则分享了风险和利润。

根据 Financial Times(2007,英国金融时报)的报道,在 Organization of Economic Cooperation and Development(经济合作发展组织)之外的国家,最有影响力的国家油气公司是:中国石油天然气集团公司、Gazprom(俄罗斯)、National Iranian Oil Company(伊朗国家石油公司)、Petrobras(巴西)、Petroleos de Venezuela S. A.(委内瑞拉)、Petronas(马来西亚)、Saudia Aramco(沙特阿拉伯)。

这些国有石油和天然气公司曾经被称为“新七姐妹”(Hoyos,2007)。这些由国家控股的公司是新规则的制定者,几乎控制着世界油气产量的 1/3 以及超过 1/3 的世界油气总储量。

1.1.2 石油勘探理念与技术的演化

从诺亚时代到 OPEC 时代,石油地质学家变得越来越专业化而不可或缺。早期的石油发现拿着明火在野外游荡,保持着乐观精神与冒险勇气。一个大的美国石油公司,这里不提及名字,曾经雇用了一个主管地质学家,其勘探理论是在印第安坟墓处钻井。另外一个石油探测者则是习惯于戴上一顶旧帽子,骑马飞奔在大草原上,帽子掉落处就被确定为钻井点。历史记录显示,他非常成功(Cunningham-Craig,1912)。最早的勘探理论是“creekology”(小溪理论)。它出现的原因是钻井工人发现河床处的钻井往往比山上更成功(见图 1.2)。Hunt(1861)详细讲解了石油圈闭的背斜理论,解释了这种现象。直到今天,寻找背斜仍然是最成功的勘探理念之一。

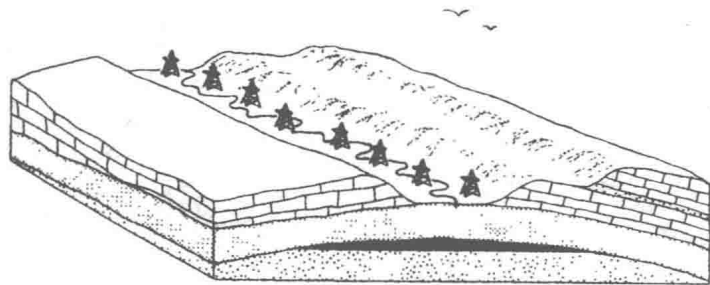


图 1.2 小溪理论——曾有助于寻找石油。

然而,经验很快证明,也存在非构造性石油。Carll(1880)曾经提到,Pennsylvania 州含油的海相 Venango 砂岩的走向不是构造性的,而是沿着古海岸线。因而产生了一种观念,即石油圈闭不仅可以是构造性的,也可以是地层性的。地层圈闭是由沉积变化、侵蚀或储层的成岩作用形成的。

在 19 世纪后期和 20 世纪早期,石油勘探依赖于对背斜的地面绘图。地层圈闭是在测试构造异常的勘探井中得到了勘探数据,进而对地下绘图过程中偶然被发现的。不整合面和不协调褶皱限制了地面绘图用于预测地下构造的深度。20 世纪 20 年代出现了解决办法,即地震(折射波)、重力和磁力方法同时应用于石油勘探。磁法勘探往往是无效的,重力和地震方法在发现墨西哥湾岸和美国的盐丘圈闭上被证明是有效的。在同一时期,地球物理方法也被用于测井,1927 年,电测井首次出现在法国的 Pechelbronn。接下来出现了电测井、声波测井和放射性测井技术。航空测量开始于 20 世纪 20 年代,但是立体三维摄影地质