



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

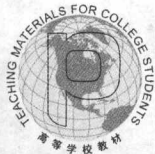
石油天然气· 工业概论

SHI YOU TIAN RAN QI GONG YE GAI LUN

王瑞和 张卫东 孙友 主编

韩志勇 主审

中国石油大学出版社



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

石油天然气工业概论

王瑞和 张卫东 孙 友 主编
韩志勇 主审

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

石油天然气工业概论/王瑞和,张卫东,孙友主编.
东营:中国石油大学出版社,2007.3
ISBN 978-7-5636-2329-7

I. 石… II. ①王…②张…③孙… III. ①石油工业—概
论—高等学校—教材②天然气工业—概论—高等学校—
教材 IV. F407.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 007727 号

中国石油大学(华东)规划教材
书 名:石油天然气工业概论
作 者:王瑞和 张卫东 孙 友

责任编辑:高 颖(电话 0546-8393394)
封面设计:九天设计

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: shiyoujiaoyu@126.com
排 版 者:中国石油大学出版社排版中心
印 刷 者:沂南县汇丰印刷有限公司
发 行 者:中国石油大学出版社(电话 0546-8392791,8392563)
开 本: 180×235 印张:20 字数:403 千字
版 次:2007年3月第1版第1次印刷
定 价:26.00 元

内 容 提 要

本书以油气的勘探开发与利用为脉络,系统地展现了世界石油天然气工业:简要回顾了世界石油天然气工业的发展历程;介绍了油气的生成运移与聚集的基本知识;主要介绍了石油天然气工业完整的工艺流程、原理和方法;讲述了石油工业科技现状与发展趋势;解析了石油天然气工业的可持续发展。本书力图以通俗易懂的语言和大量的插图来解说,以期让读者获得一个完整的石油天然气工业概貌。书中还有小知识链接和思考题,以便于读者自学。

本书可作为大学生学习石油专业的入门教材,也可作为大学生、科技工作者、管理人员了解石油天然气工业的重要参考书。



前 言

Preface

能源是推动经济和社会发展的重要物质原动力。人类社会任何时期的发展都离不开能源的支撑,它推动着社会的快速发展。人类经过了漫长的农业社会的“柴薪时代”,于19世纪进入到工业社会的“煤炭时代”;随着石油工业的迅速发展,人类于20世纪又进入了“石油时代”;由于天然气具有洁净、高效的优点,天然气工业已迎来了快速发展期,实际上当今社会已进入了“石油天然气时代”。石油天然气工业已成为当代社会发展的经济支柱。

自1993年起,我国已成为石油纯进口国;2004年,我国的石油消费首次超过日本,成为世界第二大石油消费国。我国石油工业的发展和油气产品的利用不仅对我国的国民经济建设,也对国际社会产生着越来越重要的影响。因此,了解、关注石油天然气工业,推动石油天然气工业的快速发展是石油院校的每一位大学生义不容辞的责任和使命。

本书作为面向石油高校各专业学生的教材,力图完整、系统地介绍石油天然气工业的工艺流程、技术进步及其对社会发展的影响,目的在于使学生更加深刻地认识石油天然气在国民经济和社会发展中的重要作用,从而牢固树立起“学石油、懂石油、热爱石油事业”和“科学技术是第一生产力”的观念,使石油高校的石油文化特色更加浓厚。本书在编写上力求图文并茂、文理兼顾,注重介绍石油基本知识和相关工艺流程,以使其更具可读性;同时书中还指出了相关方面的科技难点及发展趋势,以增强本书的前沿性和时代感。对于理工专业的学生,帮助他们从系统工程的角度对石油的生产过程进行全面的了解,明确自己所学专业在石油工业中的地位,了解各有关专业之间的相互关系,尽早接触学科前沿,以便他们有意识地学习更多的专业知识;对于文科学生来说,帮助他们了解石油天然气及其生产的最基本知识,提高自身的科学素养,强化石油文化特色。

本书是中国石油大学(华东)“十一五”规划教材,也是重点教改项目“《石油工业概论》立体化教材建设”的重要组成部分。本书于2004年开始以《石油工业概论讲义》的形式试用,在试用期间有上千名大学生参加了本课的教学实践,为教材的修改提供了第一手资料。本书由韩志勇教授担任主审,同时,张琪教授、陈月明教授、夏道宏教授、蒋有录教授、李明忠教授、曹学文教授、夏从亚教授、张传平教授及中石化、中石油的相关专家等给予了悉心的指导,并提出了大量宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢!



由于本书涉及面广,历史跨度大,同时又试图将油气的找、采、用的方法与工程工艺和科技发展趋势有机地融合在一起,所以在编写过程中一定会有很多取舍不当之处,恳请专家和读者批评指正!

编者
2007.1



目 录

Contents

第一章 石油天然气工业发展历程	1
第一节 石油天然气工业的兴起	1
一、石油天然气工业的萌芽	1
二、石油工业的诞生	3
三、天然气工业的诞生	6
第二节 石油天然气工业的蓬勃发展	7
一、两次世界大战中的石油天然气工业	7
二、战后的石油天然气工业	11
第三节 石油危机对石油天然气工业的影响	16
一、第一次石油危机	16
二、第二次石油危机	17
三、两次石油危机的影响	17
四、第三次石油危机	19
五、天然气工业的大发展	20
第四节 石油天然气工业新时代	20
一、高油价时期	20
二、石油天然气能源新局势	21
三、天然气工业受宠	22
第二章 石油天然气及其产品	25
第一节 油气的性质	25
一、石油	25
二、天然气	26
三、油气的化学组成和结构	27
四、天然气的分类	28
第二节 油气炼制产品	28
一、燃料油品	29
二、润滑油品	31
第三节 油气化工产品	33



一、合成树脂	33
二、合成纤维	35
三、合成橡胶	36
四、其他产品	37
第四节 油气精细化工产品	37
一、精细化工产品	38
二、石油有机化学与高新技术	41
第三章 油气的生成与聚集	46
第一节 地球的形成与沉积盆地	46
一、地球的诞生与演化	46
二、岩石的风化与沉积岩的形成	48
三、沉积盆地	52
四、地层及地质构造	54
第二节 油气的生成	57
一、油气有机成因说	57
二、生成油气的物质基础	58
三、生成油气的条件	59
四、有机质演化成烃模式	60
第三节 油气田的形成及其聚集	62
一、生油气层	62
二、油气的储集层	63
三、油气的盖层	64
四、地质圈闭	64
五、油气运移	66
六、油气藏	69
七、油气聚集单元	72
第四章 油气勘探工程	75
第一节 油气勘探方法与原理	75
一、野外地质调查技术	76
二、遥感技术	77
三、重力、磁力、电法勘探技术	77
四、地震勘探技术	79
五、地球物理测井技术	81
六、地球化学勘探技术	84
七、地质录井技术	84



八、测试技术	85
第二节 油气勘探程序	85
一、区域普查	86
二、区带详查	88
三、圈闭预探	90
四、油气藏评价勘探	91
第三节 油气地质勘探工程的发展趋势	94
一、油气地质理论研究趋势	94
二、地震勘探技术研究趋势	97
三、地球物理测井技术研究趋势	98
第五章 油气藏工程	102
第一节 油气藏工程原理与方法	102
一、油田开发方式的选择	102
二、开发层系的划分与组合	107
三、油田开发井网部署	107
四、提高采收率的方法	108
五、油藏数值模拟	109
六、气田开发	110
第二节 油气田开发程序	112
一、油气田开发前的准备阶段	112
二、油气田开发方案的编制	114
三、油气田开发调整	115
四、三次采油	117
五、滚动勘探开发	119
第三节 油藏经营管理	121
一、油藏经营管理的内涵	122
二、油藏经营管理的基本原则和基本要素	123
三、油藏经营管理团队和协同作用	123
四、油藏经营管理的基本过程	128
第四节 油气藏工程难点及发展趋势	129
一、难点	129
二、发展趋势	131
第六章 油气井工程	137
第一节 钻井方法及原理	137
一、人工挖井方法	137



二、冲击钻井方法	138
三、旋转钻井方法	140
第二节 油气井工程工艺流程	148
一、钻前准备	148
二、钻进	149
三、固井	150
四、完井	152
第三节 油气井工程技术前沿及发展趋势	157
一、钻井工程的基本技术难题	157
二、国内外近年来发展的重要钻井技术	159
三、钻井技术发展趋势	168
第七章 油气开采工程	171
第一节 采油工程原理与方法	171
一、自喷采油法	171
二、人工举升	173
三、油田注水	176
四、油层酸化压裂	179
第二节 采气工程原理与方法	182
一、气藏气井开采	182
二、排水采气	185
第三节 复杂条件下的开采技术原理	189
一、防砂	189
二、防蜡与清蜡	190
三、油井堵水	191
四、稠油及高凝油开采技术	191
五、井底处理新技术	193
第四节 油气开采技术面临的挑战及发展趋势	197
一、油气开采技术面临的挑战	197
二、油气开采关键技术	198
第八章 油气储运工程	205
第一节 石油储运工程	205
一、矿场油气集输	205
二、长距离输油管道	211
三、油料的储存	215
第二节 天然气储运工程	218



一、天然气矿场集输	219
二、天然气输送方法	222
三、长距离输气管道	225
四、供气调峰与储气设施	226
第三节 油气储运技术发展趋势	229
一、油气水的多相混输技术	229
二、易凝高粘原油的改性、改质常温输送技术	231
三、天然气产供销系统的发展趋势	233
四、建立石油战略储备系统	234
五、管道自动化与监控技术向智能化方向发展	236
第九章 油气加工工艺	237
第一节 石油炼制工艺	238
一、原油的初加工	238
二、原油的深加工	240
三、油品的精制与调和	244
四、润滑油的生产	245
五、炼厂气加工	246
第二节 石油化工工艺	249
一、乙烯	249
二、塑料的加工工艺	250
三、合成橡胶的生产工艺	251
四、合成纤维的生产工艺	251
五、精细化工	252
第三节 天然气化工工艺	253
一、天然气制合成气	253
二、天然气制合成油	254
三、天然气制甲醇	255
四、天然气制氨	256
五、以天然气为主要原料的其他产品	257
第四节 油气加工技术难点及发展趋势	258
一、难点	258
二、油气加工发展趋势	259
第十章 石油天然气工业经营管理	264
第一节 油气资源与油气成本	264
一、油气资源与产量	264



二、油气成本	266
三、国外石油公司降低油气成本战略	268
第二节 石油天然气工业投融资体制	272
一、发达国家的石油天然气工业投融资体制	272
二、发展中国家的石油天然气工业投融资体制	273
三、石油天然气工业投融资体制比较	274
第三节 石油定价权与期货交易	277
一、石油定价权的演变	277
二、国际石油期货交易	278
三、影响石油期货发展的因素	280
第四节 石油工业中的 HSE 管理	280
一、HSE 管理体系的由来	281
二、HSE 管理体系	282
三、HSE 管理发展趋势	284
第十一章 石油天然气工业的可持续发展	287
第一节 石油天然气工业发展带来的问题	287
一、人类使用能源的历程	287
二、石油天然气工业所带来的问题	288
第二节 石油天然气工业的可持续发展	292
一、可持续发展的由来	292
二、石油天然气工业的可持续发展战略	293
三、石油天然气工业发展中的循环经济	298
第三节 石油天然气工业的发展方向	302
参考文献	307



第一章 石油天然气工业发展历程

石油工业是以原油为生产对象并以原油为原料发展起来的工业体系,包括原油的勘探与生产(上游)和石油炼制与石油化学工业(下游)两大部门。现代世界石油工业走过了140多年的风雨历程,对世界产生了重大的影响。由于世界石油生产和消费的地域分布极不平衡,所以石油工业从一开始就是一个国际性极强的行业,受国际环境的影响极大。石油工业的盛衰与世界政治、经济和军事格局紧密联系在一起,常常有联动效应,由石油争端引发的政治、经济、军事冲突事件时有发生。

天然气工业包括勘探开发(上游)、储运(中游)和天然气利用(下游)三大部门。与石油工业不同,由于运输困难,天然气工业刚开始并没有形成一个有效的全球市场,因此它的发展相对缓慢。直到二战后,在输气技术的发展、石油危机对天然气生产的刺激、人们对清洁高效能源的需求等因素的影响下,世界天然气工业才取得了长足的进步,天然气有可能超越石油成为第一大能源。

第一节 石油天然气工业的兴起

一、石油天然气工业的萌芽

人类发现和利用石油的历史与人类的文明史同样悠久(图1-1)。早在公元前3500年以前,伊拉克人就开始使用沥青来浇灌水坝或将它涂于船体防渗、防腐,当时的巴比伦城墙就是用沥青沾砌而成的。在公元前5世纪,古波斯帝国的古苏萨人就已开始采用原始的手工方式进行掘井采油了,并称其为拉迪那凯(rhadinace,是渗流的意思),这是自有文字记载以来人类给石油所起的第一个名称。



图1-1 古埃及人用原油作车轴油

最早提出“石油”一词的是公元977年中国北宋李昉所编著的《太平广记》。我国北宋时期杰出的科学家沈括(1031—1095年)在所著的《梦溪笔谈》中根据这种油“生于水际砂石,与泉水相杂,惘惘而出”而将其正式命名为“石油”。书中在描述了陕北富



县、延安一带石油的性质和产状后进一步提出了“……盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭”的科学论断，并且预言“此物后必大行于世”。在 14 世纪中期，有人把希腊文中的“Petra”（岩石）和罗马文中的“Oleum”（油）组合成一个新词，即石油的英文单词——“Petroleum”（岩石中的油）。德国人乔治·拜耳于公元 1556 年在一篇关于石油开采与炼制的论文中第一次公开使用“Petroleum”一词，而后一直沿用至今。

世界上有关天然气的记载，可以追溯到公元前 10 世纪以前，在伊朗发现了从地表渗出的天然气，崇拜火的古代波斯人对天然气有了“永不熄灭的火炬”的称谓。“火井”，是古代人对天然气从井中喷出而能够燃烧的形象命名。中国是世界火井之乡，是利用天然气最早的国家，首先开凿天然气井的国家就是中国。

早在中国古代，石油天然气就已开始用于照明、熬盐、润滑、防腐、制墨、治病以及战争武器等，因而有了石油天然气工业的萌芽。

北魏时所著的《水经注》的成书年代大约是公元 512—518 年，当时书中就介绍了中国人从石油中提炼润滑油的情况。英国科学家李约瑟在有关论文中指出：“在公元 10 世纪，中国就已经有石油而且大量使用。由此可见，在这以前中国人就对石油进行蒸馏加工了”。说明早在公元 6 世纪我国就萌发了石油炼制工艺。

北宋时期，我国建立了世界上最早的炼油车间——“猛火油作（作坊）”，开始对石油进行粗加工，生产出当时被广泛应用到军事上的猛火油。有千余人从事猛火油作坊的生产。

世界上第一口天然气井于公元前 250 年前后在四川成都双流一带凿成。北宋时期出现的卓筒井钻井技术实现了世界第一次钻井技术革命。四川富顺县的自流井气田开发是世界上开发最早的天然气田。到了 19 世纪中叶，自流井气田木制的输气管道（图 1-2）有 12 条，总长度超过 150 km，它们纵横交错，翻山越涧，形成输气网络，把天然气输送到烧锅煮盐的工地，推动了气田的开发。当时的天然气达到年产 7 000 多万 m^3 ，数十万人从事天然气和盐业的生产，自贡成为当时中国西南年产 15 万 t 食盐的盐都。



图 1-2 中国古代的输气管道



二、石油工业的诞生

1859—1900年是石油工业的“幼年时期”。近代世界石油工业从1859年在美国开始起步。石油大王洛克菲勒营造的石油帝国的垄断性和跨国性正好符合石油工业的特点,成为现代石油工业发展的基础。石油工业诞生后,俄罗斯、荷兰、英国等国相继登上了石油的历史舞台,它们之间展开的竞争,推动着石油工业的发展。

1. 德雷克(Drake)井

雄厚的资金、先进的技术和一流的人才 是石油工业赖以发展的三大要素。只有两百多年历史的美国由于具有优越的地理条件、较高的工业化程度以及拥有大量游资等,为石油工业的首先兴起准备了“良田沃土”。

1854年,以美国乔治·比斯尔(律师)和詹姆斯·汤森(银行经理)为首的投资群体成立了世界第一家石油公司——宾夕法尼亚石油公司。比斯尔从画有几座像盐井一样的钻井塔的药剂广告中获得灵感,试图把凿井采盐水的技术直接用到采油上。公司派遣德雷克去宾夕法尼亚州作公司总代理,主持原油生产。德雷克雇用了具有打盐井经验的史密斯当钻工。1859年8月27日星期六下午,当井钻到69 ft(1 ft=0.304 8 m)深的时候钻头钻到一个裂缝,接着又下滑了6 ft便收工了。第二天星期天,他们发现有一股黑色液体经管道流到地面上来。他们把当地的啤酒桶都收集起来,用于盛放原油,这就是“桶”作为石油计量单位的最初来源。德雷克钻出了第一口现代工业油井。这口井用一台蒸汽机驱动的油泵抽油,井深21.7 m,日产原油35桶(约5 t),被命名为“德雷克井”(图1-3)。

这是世界上首次以工业或商业目的钻探的石油矿脉,它标志着世界石油工业的开端。

2. 早期美国石油工业的发展

德雷克井的消息传开后,人们接踵而来,迅速带动了石油产量的上升。宾夕法尼亚石油公司的产量急剧上升——从1860年的45万桶猛增到1862年的300万桶。由于市场不能迅速消化掉快速增长的石油,导致油价从1861年1月的10美元/桶跌到了1861年年底的10美分/桶,许多石油生产商都破产了。但是低廉的价格使宾夕法尼亚石油在市场上迅速取得了决定性的胜利,把消费者很快地争取过来并且把煤馏油和其他照明油逐出市场,需求和供应很快就取得了平衡。到了1862年年底,油价就上升到4美元/桶,1863年9月又升到7.25美元/桶。

19世纪60—70年代,石油工业从勘探、开采、炼制加工、储运直到销售等在美国迅速发展起来。美国煤油迅速地在全世界赢得了市场。

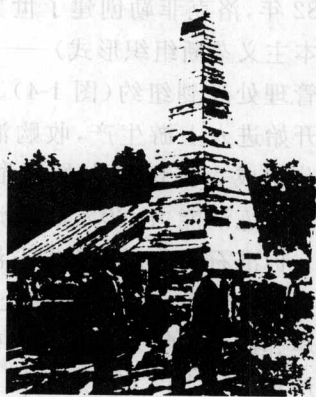


图1-3 德雷克井



小知识 1: 早期的美国石油生产的“捕获规则”

早期的美国石油生产照搬英国的“捕获规则”。这个规则规定,如果被猎的鸟兽从一块地盘逃入另一块地盘,那么后者的主人完全有权将进入他地界所有猎物宰杀,即土地的所有人有权开采他土地下面的财富。所以,在当时的美国,谁买下或租下一片土地,如果找到石油,那么土地下面的油藏就归他所有,不需要经过政府的许可,也不必缴纳矿产资源税。“捕获规则”是人们踊跃参与石油勘探开采的一个因素。这种混乱无序的捕获规则直到 20 世纪 30 年代才被取消。

3. 早期的世界石油三大产地及诞生的石油公司

1) 美国——标准石油公司成立

在石油工业的发展史上,成立最早、影响最大的跨国公司当属洛克菲勒创建的标准石油公司(Standard Oil Company)。因该公司进入中国市场的中文名字是“美孚石油公司”,因而两者通用。

约翰·洛克菲勒于 1865 年涉足炼油业。因为他当时认为从事上游石油生产风险大、生产秩序混乱、钻井设备落后、连接生产地与消费城市的运输管道不良等,使原油价格波动太大,很难获取巨额利润,所以决定从市场相对稳定的炼油业起步。

1870 年 1 月 10 日,洛克菲勒在俄亥俄州创建了股份制的标准石油公司,标榜他们出产的石油是顾客可以信赖的“符合标准的产品”。到 1879 年年底,标准石油公司已控制了全美 90% 的炼油业。1882 年,洛克菲勒创建了世界第一家托拉斯(一种资本主义垄断组织形式)——标准石油托拉斯,并把总管理处迁到纽约(图 1-4)。1888 年,标准石油公司开始进入上游生产,收购油田。1890 年,标准石油公司成为美国最大的原油生产商,垄断了美国 95% 的炼油能力、90% 的输油能力、25% 的原油产量。标准石油公司对美国石油工业的垄断一直持续到 1911 年。



图 1-4 洛克菲勒中心大楼

从一开始,洛克菲勒就把目光投向国际市场。他在纽约开设的办事处,专门向东海岸和国外出售公司产品。在 19 世纪 70 年代和 80 年代,煤油出口占到全部美国石油产量的一半以上。从价值上说,煤油占美国出口货的第四位;在工业制品中占第一位,欧洲则是它的最大市场。19 世纪 70 年代末,美国至少有 90% 的出口煤油是经过标准石油公司之手出去的。洛克菲勒被誉为“世界石油大王”。

1890 年,美国国会通过了反托拉斯法。洛克菲勒对托拉斯采取明撤暗存的办法,把重心转移到新泽西标准石油公司,因为新泽西州的法律允许该州的公司持有其他州公司的股权。从而在“合法”旗帜下把“队伍”重新集合起来,注册资本从 1 000 万美元扩大到 1.1 亿美元。



2) 巴库——石油公司群雄争鹿

里海西岸的巴库是阿塞拜疆的领地,19世纪初并入俄罗斯帝国。俄国政府在19世纪70年代初期废除了国家垄断,私营企业获得了爆炸性的发展。俄国的第一架钻机于1871—1872年间开工。到1873年,投产经营的小型炼油厂已有20多家。在1873年之前,俄罗斯的石油市场(煤油)大都被美国占领,随着诺贝尔家族和罗思柴尔德家族进入石油领域,市场逐渐被夺回。

19世纪70年代,瑞典人路德维格·诺贝尔获得一个为俄国政府生产来复枪的大规模合同。由于制造枪托需要木材,他就派遣其兄罗伯特·诺贝尔(化学家)南行去高加索寻找俄罗斯胡桃木。1873年3月,罗伯特·诺贝尔来到巴库,正遇到巴库发生井喷。他擅自用路德维格交给他采购胡桃木的“胡桃木资金”买下了一座小型炼油厂。诺贝尔家族于是进入了石油业,并于1878年注册为诺贝尔兄弟石油公司。路德维格努力学习美国石油工业的经验,成为了“巴库石油大王”,由路德维格创建的高度一体化的大型石油联合企业很快就主宰了俄国的石油贸易。1884年,俄国的石油产量达到1 080万桶,几乎相当于美国产量的1/3。

诺贝尔兄弟石油公司支配俄罗斯帝国境内的石油销售的同时,为了在诺贝尔兄弟石油公司控制的北线以外另找一条运输线,诞生了另一个石油家族——罗思柴尔德家族。俄国石油是巴黎罗思柴尔德银行的投资项目,罗思柴尔德贷款使以巴库为起点到巴统的铁路在1883年完成,几乎一夜之间就使巴统成了世界上最重要的油港。1886年,罗思柴尔德开设了里海和黑海石油公司,罗思柴尔德家族进入石油领域,后来以其名称的俄文首字母组成的简称“Bnito”而闻名。

俄国比美国晚20多年登上石油舞台,但俄国石油的产量急剧增长。从1879年到1888年,俄国的石油产量增长了10倍,达到2 300万桶,相当于美国产量的4/5多。由于石油像洪水般上涨,标准石油公司和罗思柴尔德家族、诺贝尔公司等其他俄国产油商展开了激烈竞争。

3) 东印度(印度尼西亚)——皇家荷兰/壳牌石油公司成立

1880年的某一天,东印度苏门答腊烟草公司的经理詹斯·齐吉尔根到苏门答腊海边狭长的沼泽地察看烟草种植场。当地一个监工燃起了一根火炬吸引住了齐吉尔根。后来他在当地采集了一些粘糊糊的物质化验,结果是:这种物质含有59%~62%的煤油。他从当地获得石油租借地,取得了石油开采权,在1885年钻出了第一口成功的油井。然后他在家乡荷兰争取到前荷属东印度总督等名人的支持,荷兰国王威廉三世同意授予这项投机事业在名称上冠以“皇家”称号的特权。1890年,皇家荷兰石油公司成立。皇家荷兰石油公司不断扩大海外市场,积极建立自己的销售组织,在1895—1897年之间,产量增加了5倍,开拓了世界上第三个重要产油区。

英国商人马库斯·塞缪尔创立的壳牌贸易公司的前身是1833年开办的以贩卖贝壳(当时是一种时髦的摆设)为主的古玩店。他在1890年参观巴库油田后,便与罗思