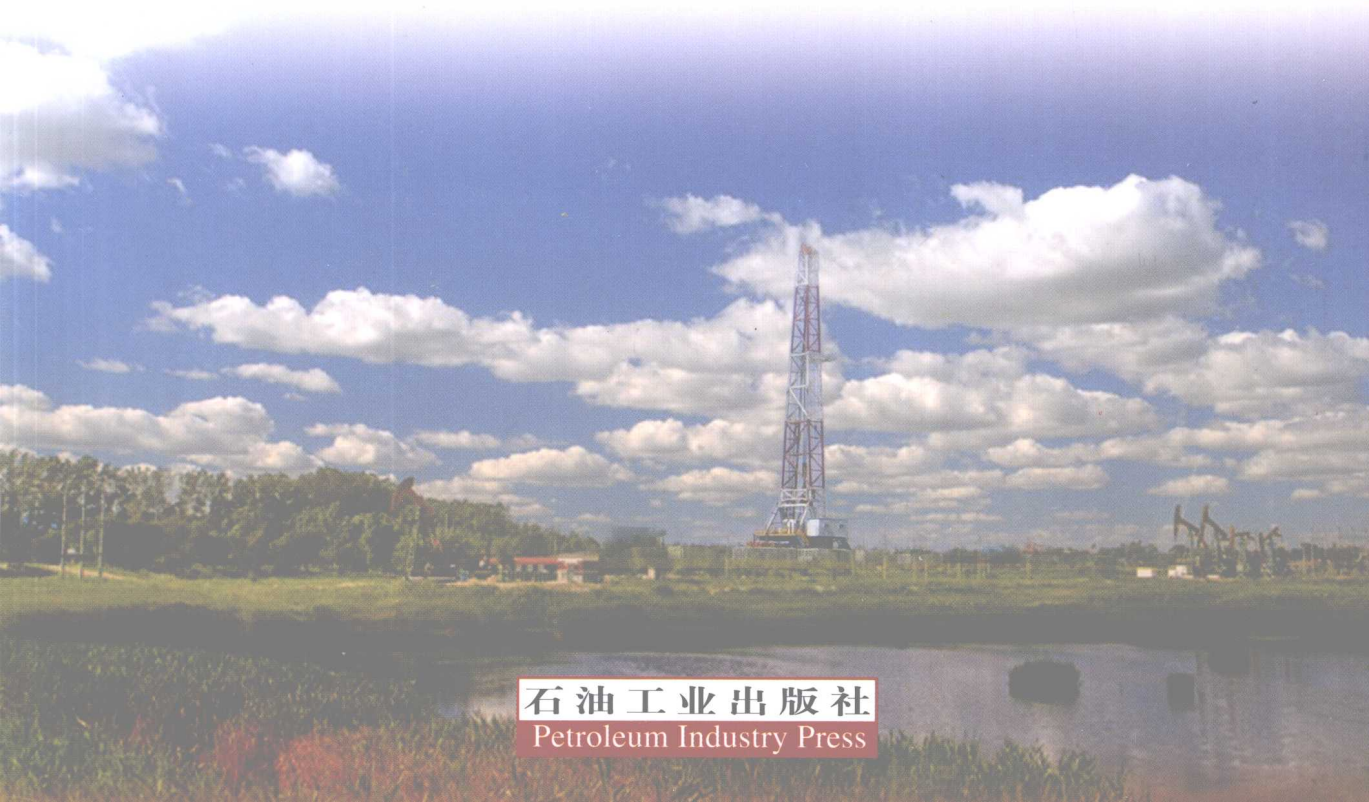




石油高等院校特色教材

油气田环境保护概论

屈撑囤 马云 谢娟 编著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油教材出版基金资助项目

石油高等院校特色教材

油气田环境保护概论

屈撑囤 马云 谢娟 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了石油工业主要工艺过程、各主要工艺过程中环境污染物的主要性质及控制技术、石油工业 HSE 发展进程及其现状、油气田环境评价等内容。在内容编排上注重理论与生产实践的结合,使其能较全面地反映近年来油气田环境保护技术的发展水平。

本书可作为石油高等学校环境工程专业的教学用书,也可供从事油气田环境保护工作的管理人员、科技人员及高等学校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气田环境保护概论/屈撑囤,马云,谢娟编著.

北京:石油工业出版社,2009.6

石油高等院校特色教材

ISBN 978-7-5021-7117-9

I. 油…

II. ①屈…②马…③谢…

III. 油气田-环境保护-高等学校-教材

IV. X74

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 060893 号

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) 64523612 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 中国石油报社印刷厂

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 15.5

字数: 394 千字

定价: 25.00 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

前 言

在过去的几十年里，我国石油工业取得了举世瞩目的成就，形成了勘探、钻井、采油、集输、加工等完整的产业链。由于石油工业涉及的施工类型多、工艺复杂、工序差别大，其污染具有地域分布广阔性、点源分布高度分散性、面污染源分布区域性的特征，不同工艺环节污染物组成性质、产生量等差异大。本书以“关注来源、侧重应用”为指导思想，以石油行业污染物的产生原因、特点及其危害为基点，系统阐述了石油工业主要工艺环节产生的污染物性质及治理技术。

本书共分十二章：第一章介绍了石油工业主要工艺过程及我国石油企业环境状况；第二章至第八章介绍了石油工业主要工艺过程中环境污染物的主要来源、性质及其主要控制技术；第九章就海洋石油开发过程中的环境污染与控制技术进行了阐述；第十章介绍了石油工业环境污染控制与治理新技术；第十一章对石油工业健康、安全与环境管理体系（HSE）发展进程及其现状进行了简要介绍；第十二章介绍了油气田环境评价基本知识。书中第一、四、八、九、十、十一章由马云执笔，第十二章由谢娟执笔，其余五章由屈撑囤执笔并负责全书的统稿工作。

本书是在西安石油大学石油工业环境污染与控制技术课程讲义的基础上编写的。在编写过程中得到了西安石油大学王新强、秦芳玲和李便琴老师的大力支持和帮助；在资料收集、分析、整理过程中，参考引用了一些从事教学科研、工程设计与现场操作人员所撰写的论文、论著、手册、操作规程以及国内外企业的网站资料等，在此深表感谢。

编者希望读者通过阅读此书可初步获得石油工业环境保护方面的知识，了解石油行业污染物控制与治理技术及其在油田的应用状况，共同促进我国石油工业环保工作的发展，提高我国环境保护工作的整体水平。

限于编者学识水平有限，书中不足和错误之处在所难免，恳请读者给予批评指正！

编 者
2009 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 石油工业简介	1
第二节 石油勘探简介	8
第三节 钻井工程简介	10
第四节 井下作业简介	13
第五节 采油工程简介	15
第六节 石油集输简介	17
第七节 石油加工简介	18
第八节 我国主要石油生产企业的环境状况	24
思考题	45
第二章 石油勘探中的环境污染与防治技术	46
第一节 石油勘探中的环境污染	46
第二节 石油勘探中的污染防治技术	48
思考题	49
第三章 钻井工程中的环境污染与控制技术	50
第一节 钻井工程中产生的环境污染物	50
第二节 钻井工程污染物的控制与治理技术	53
思考题	60
第四章 测井中的环境污染与控制技术	61
第一节 测井中的环境污染	61
第二节 测井过程中污染的防治措施	62
思考题	68
第五章 井下作业中的环境污染与控制技术	69
第一节 井下作业中的污染源及污染物	69
第二节 井下作业中的污染控制技术	74
思考题	79
第六章 采油工程中的环境污染与控制技术	80
第一节 采油工程中产生的环境污染物	80
第二节 采油工程中的污染物控制与治理技术	86
第三节 采油污水处理技术	88
第四节 气田污水处理技术	105
第五节 油田水处理药剂	115
第六节 污水处理站设计	125
思考题	132

第七章 石油集输中的环境污染与控制技术	133
第一节 石油集输中产生的环境污染物.....	133
第二节 石油集输中环境污染物的控制与治理技术.....	139
思考题.....	141
第八章 石油加工过程中的环境污染与控制技术	142
第一节 石油加工中产生的环境污染物.....	142
第二节 石油加工过程中污染物控制技术.....	145
第三节 炼油废水处理技术.....	151
思考题.....	164
第九章 海洋石油开发过程中的环境污染与控制技术	165
第一节 海洋石油开发过程中产生的环境污染物.....	165
第二节 海洋石油开发过程中污染物控制与治理技术.....	169
思考题.....	178
第十章 石油工业环境污染控制与治理新技术	179
第一节 新技术.....	179
第二节 新技术在油田中的应用.....	186
思考题.....	193
第十一章 石油工业 HSE 发展及现状	194
第一节 HSE 发展及现状	194
第二节 石油工业 HSE 的进展	200
思考题.....	204
第十二章 油气田环境影响评价	205
第一节 环境影响评价基础知识.....	205
第二节 油气田建设项目工程分析.....	209
第三节 环境要素评价.....	214
第四节 清洁生产与循环经济分析.....	225
第五节 油气田生产环境风险评价.....	229
第六节 环境影响报告书的编制要点.....	233
思考题.....	236
参考文献	237

第一章 绪 论

第一节 石油工业简介

一、石油工业

石油工业是从事石油勘探、石油开发和石油加工的能源和基础原材料的生产部门。就生产而言,石油工业由两大部分构成,即石油勘探与开发、石油炼制与石油化学。前者称为石油工业的上游,后者称为石油工业的下游。一般说来,石油工业是一个高风险、高投入和技术密集型行业,涉及油气地质开发、应用地球物理、地球物理测井、钻井工程、油气田开发、石油加工、海洋石油、油气集输、石油钻采机械与设备、油田化学近十大学科 200 多个专业方向。

(一) 石油工业发展史

根据石油工业的发展历程,可将其分为以下四个发展阶段。

1. 石油工业的诞生阶段 (1859—1900 年)

这一时期的主要特点是:

(1) 石油主要被加工成煤油用作点灯,同时被用作润滑油,因此 1900 年以前的石油工业被称为灯油时代;随着内燃机的出现,石油逐步成为内燃机燃料。从这一阶段的历史可以看出,石油工业自其诞生就是一种涉及国计民生的工业。

(2) 这一时期是石油科学技术的幼年时期,石油地质学开始萌芽。19 世纪 60 年代,加拿大地质学家斯泰利·亨特就提出背斜理论的雏形,总结早期找油实践,指出了石油储集必需的四个条件。另外,由于石油源源不断地被开采出来,必须把它们储存和运输,因此,油气储运技术进展最快。

2. 跨国石油公司兴起和第二次世界大战期间 (1900—1945 年)

这一时期的主要特点是:

(1) 汽车工业的迅速发展和汽车进入千家万户,汽油的需求急剧增加,汽油取代煤油成为主要的石油产品,石油工业进入了汽油时代。

(2) 世界上石油生产的范围和规模迅速扩大,除了 20 世纪 10 年代在古巴、哥伦比亚、委内瑞拉、捷克斯洛伐克、摩洛哥、埃及、阿尔巴尼亚、巴基斯坦先后发现油田外,20 世纪 20~40 年代,又有五大洲的一批国家进入产油国的行列,其中最主要是委内瑞拉迅速上升为第二大产油国、中东阿拉伯国家相继发现大型和巨型油田。

(3) 第二次世界大战对于世界石油工业既是巨大的破坏,更是巨大的机遇。第二次世界大战期间,盟军的胜利,很大程度上得益于石油。

3. 石油工业的成长与石油输出国组织 (OPEC) 的崛起阶段 (1945—1973 年)

从第二次世界大战结束到 20 世纪 70 年代中期,是世界石油工业急速成长的黄金时期,

其主要特点是：

(1) 世界石油产量和探明可采储量以很高的速度增长，20 多年间石油产量翻了两番。

(2) 这一阶段最突出的是中东发展成为世界石油工业的中心。人们在波斯湾周围的陆上和海上，获得了油气勘探重大成果。除第二次世界大战前已发现的科威特的大布尔干油田、伊朗的阿家贾里油田在这个时期先后投入开发以外，还有许多大型油田相继投入开发。在 1960 年成立的石油输出国组织（OPEC）开始发挥其影响力，并逐步崛起。

(3) 苏联经历了两次石油生产的战略接替，探明储量和产量迅速上升，1973 年苏联石油产量超过了美国而成为世界第一大产油国。

(4) 中国石油工业迅速发展。1949 年中华人民共和国成立前，玉门、乌苏、延长三个油矿及东北几座人造油厂的石油年产量仅为 $12 \times 10^4 \text{t}$ 。但之后在中央人民政府领导下，集中国家的力量，促进了石油工业的恢复和迅速发展。

4. 现代石油工业的发展（1973 年至今）

这一阶段，世界石油工业发生了重要的变化，主要表现在：

(1) 世界石油工业的基本特点是在大动荡、大改组中继续波浪式发展。一是为了争夺中东石油控制权的战事不断；二是石油价格大起大落；三是原本处于殖民地、半殖民地状态的石油生产国团结战斗，为维护本国的石油权益和主权开展了艰苦的斗争；四是整个世界石油工业在动荡中大分化、大改组。

(2) 世界石油的储量和产量在 20 世纪 70 年代达到了高峰，而且在 70~80 年代，世界许多主要产油国的产量也先后达到高峰。80 年代以来石油生产的总量增长，不再使少数国家起擎天柱作用，由于更多的地区发现了石油，使更多的国家加入产油国的行列。

(3) 20 世纪 70 年代末 80 年代初，中东石油产量和出口量达到高峰。中东仍然是世界石油储量最丰富、产量最高的地区，但其地位在相对下降。

(4) 世界海洋石油资源的开发，最早始于 20 世纪初。当时，黑海边的巴库地区及美国加利福尼亚海滨，发现陆上油田向浅海延伸，于是修筑木桥进入滩海钻井和采油。

(5) 世界石油生产从以往一直上升，转变为在波动中起伏。1980 年前后形成一个高峰，80 年代中期出现一个低谷，90 年代有所起伏，呈现缓慢增长。

(6) 世界石油工业经历着信息技术革命。以信息高速公路为标志，在世界范围内 20 世纪 80 年代开始的以信息技术为核心的技术革命，正深刻地影响石油工业。

(7) 世界石油工业出现了大规模的并购浪潮。自 1998 年以来的新一轮石油公司并购超越了以往的任何时期，表现在跨国界和巨大规模上。一些大的石油公司之间实现了合并，如埃克森与莫比尔、道达尔与菲纳和埃尔夫、雪佛隆与德士古等，从而改变了国际石油公司竞争的局面。

（二）主要石油组织

1. 世界石油大会（World Petroleum Congress—WPC）

世界石油大会是一个国际性的石油代表机构，是非政府、非营利的国际石油组织，被认为是世界权威性的石油科技论坛。它的全称是“世界石油大会——石油科学、技术、经济及管理论坛”（World Petroleum Congresses - Forum for Petroleum Science, Technology, Economics and Management）。

世界石油大会 1933 年 8 月在伦敦成立，每四年举行一次，从第 14 届大会以后改为每三

年举行一次。第二次世界大战期间曾中断活动,1951年恢复活动。其宗旨是为了人类的利益,加强对世界石油资源的管理,不断促进世界石油工业对先进的石油科学技术的应用和对有关的经济、金融及管理问题的研究;在全世界范围内推动和促进石油科学技术的发展;加强成员国之间的合作;在世界范围内为石油科技人员、管理者和行政人员交流信息和讨论研究提供论坛。组织机构有大会、常任理事会和执行局。总部设在伦敦,主要出版物为《大会公报》。

至2008年,该组织共有63个主要石油生产国和石油消费国入会,代表着世界上90%以上的石油天然气主要生产国和消费国。

1979年9月13日,在布加勒斯特举行的第10届大会通过决议,中国国家委员会被接纳为该组织常任理事会成员。1997年10月12日至16日,第15届大会在中国北京举行。

2. 石油输出国组织 (Organization of the Petroleum Exporting Countries—OPEC)

1960年9月,由伊朗、伊拉克、科威特、沙特阿拉伯和委内瑞拉的代表在巴格达开会,决定联合起来共同对付西方石油公司,维护石油收入,14日,五国宣告成立石油输出国组织。随着成员的增加,欧佩克发展成为亚洲、非洲和拉丁美洲一些主要石油生产国的国际性石油组织。欧佩克总部设在维也纳。2007年该组织成员石油总储量为 $1824.43 \times 10^8 \text{ t}$,约占世界石油储量的69.6%,其中排在前三位的成员分别是沙特阿拉伯($362.02 \times 10^8 \text{ t}$)、伊朗($189.61 \times 10^8 \text{ t}$)和伊拉克($157.55 \times 10^8 \text{ t}$)。2007年该组织成员原油产量为 $17.08 \times 10^8 \text{ t}$,约占世界原油产量的43.7%,其中排在前三位的成员分别是沙特阿拉伯($4.93 \times 10^8 \text{ t}$)、伊朗($2.12 \times 10^8 \text{ t}$)和阿拉伯联合酋长国($1.36 \times 10^8 \text{ t}$)。为使石油生产者与消费者的利益都得到保证,欧佩克实行石油生产配额制。为防止石油价格飙升,欧佩克可依据市场形势增加其石油产量;为阻止石油价格下滑,欧佩克则可依据市场形势减少其石油产量。

3. 国际能源署 (International Energy Agency—IEA)

1974年,美国在华盛顿召开国际能源会议并制定了“国际能源计划”。11月签署计划的16个成员国成立了国际能源署(简称IEA)。IEA的宗旨是各成员国间在能源问题上开展合作,包括调整各成员国对石油危机的政策,发展石油供应方面的自给能力,共同采取缩减石油需求的措施,加强长期合作以减少对石油进口的依赖,建立在石油供应危机时分享石油消费的制度,提供市场情报,促进它与石油生产国和其他石油消费国的关系,联合开展能源研究和开发活动。

4. 美国石油工程师协会 (Society of Petroleum Engineers—SPE)

美国石油工程师协会是石油科研工作者的组织,该组织每年举办石油行业各相关学科的学术会议,并把会议论文和该组织出版的期刊论文加工成电子文献,通过网络向全球用户提供服务。

SPE数据库内容涉及地质、应用地球物理、地球化学、钻井、测井、修井等石油生产各个领域。

(三) 世界石油工业的共同特点

世界石油工业的共同之处主要表现在生产力的特征方面,即在现代科学基础上,采用机器和机器体系进行社会化大生产,开采石油和天然气。主要特征如下:

1. 机械化程度高

大规模地采用机器进行生产,系统地应用现代科技于生产活动中。石油工业是使用勘探、钻井、开采、储运等机械、设备、装置、仪表等进行地下石油天然气资源的勘探、开发

和生产。现代石油工业的发展，无不立足于先进的科学技术基础之上，以求获得更多的石油、天然气储量、产量和更高的经济效益和社会效益。

2. 涉及的专业多

石油工业的组成专业多，各专业密不可分、连续性强、程序要求高。石油工业一般由勘探、钻井、开发、采油、储运、炼油等专业生产过程组成，每个过程又分为若干个小的环节。石油工业必须要经过勘探阶段，探明地下油气资源，才能钻井，投入开发建设和采油生产，而后才能集输，直至油气加工处理。这个过程就是石油生产的基本过程，各个专业过程环环相扣，必须遵循一定的程序，并保持其间的连贯性和连续性，而且要按一定的比例发展生产力，方可做到协调发展、后劲充足。因此，从勘探找油开始，直到把石油、天然气产品送到用户手中，需要配套发展各个过程、环节，缺一不可，否则会导致石油工业生产力的发展失调。

3. 发展应适应外部条件的变化

石油工业虽是一个独立的工业体系，但它与外部条件和环境息息相关，从技术上、装备上、产品上都需要立足于国内和国际市场的交流和供销。所需的各种设备、器材皆来自其他工业渠道，其他工业体系技术发展速度和水平的高低快慢，对石油工业影响极大。例如，石油勘探、开发需要各种优质钢管钢材，如果钢铁工业的发展不能适应石油工业的需要，则石油生产的发展必将受到制约；其他如机械、化工、电子等工业对石油工业的制约作用也很强。所以，石油工业要依托其他工业的发展而发展。

石油工业的发展在很大程度上取决于石油和石油产品的市场和油品价格。如果石油产品供过于求，则油价下跌，石油工业就会不景气；如果石油产品求过于供，则油价上涨，石油工业就会竞相发展。所以，石油工业也必然要依托石油供需市场的发展而发展。

4. 必须要有足够的石油储量

石油是不可再生的矿产资源，要维持和发展生产，必须要有足够的石油储量。不论哪个国家，其石油产量的多少，皆取决于油田的多少和地下储量的丰度以及油田地质条件的好坏。储量的多少，决定着产量的多少；而且由于储量的不可再生性，一切油田的产量总趋势都是要递减的，这是不以人们意志为转移的客观规律。因此，没有石油储量，就没有石油产量；没有丰富的石油储量，就不可能有规模宏大的石油工业；没有充足的后备石油储量，就没有石油工业发展的后劲。所以说，石油开采与石油勘探必须同时并举，从某种意义上说，石油勘探比石油开采显得更重要些。大力勘探寻找新油田，增加新储量是世界各国石油工业所经历的共同道路。

5. 生产投资多、风险性大

石油勘探是石油工业必须走的第一步，勘探过程要使用大量先进设备、器材和人力，因而必然要投入大量资金；海上的石油勘探因其作业难度大，投入的资金就更多，风险也更大。一般石油勘探工作投入的资金相当于石油生产总投入的 1/3 左右。由于石油矿藏深埋地下，地质岩层条件各异，人们对地下地质和石油储集的规律限于技术条件和主观能力，不可能认识得很清楚。勘探的结果往往会产生三种情况：一是找到了足够的储量，可供开发生产；二是找到了储量资源，但无开采价值；三是没找到储量。这说明石油勘探本身具有较大的风险性。当代世界石油工业中，随着石油勘探广度和深度的增加、寻找新油田和新储量的难度增大，勘探成功率降低。美国虽拥有先进的技术和丰厚的资金，但其勘探成功率也只有

20%左右；我国勘探成功率的控制指标是40%左右。

在油田开发阶段也存在着一定的风险性，但这种风险性较勘探阶段相对较小。这个阶段是根据勘探所探明的油田面积和地质储量确定开发方案；根据开发方案钻探井、开发井，建设油田地面生产系统工程。在此阶段所存在的风险性主要是在油田开发过程中，由于对油田地下微观地质情况掌握不清，地质结构上的断层和尖灭等形态或岩性变化可能局部存在，因而按开发方案钻开生产井时，可能出现部分井或少数井未钻遇油层的情况，即出现所谓“干井”。“干井”的出现就是一种风险。这种风险性对新开发的油田来说，往往是难于避免的，尤其是滚动勘探开发的断块型油田，这种风险性更大些。现代地震技术的发展有助于减少这种风险性。

6. 经济效益取决于资源和自然条件

石油工业不同于其他工业，投入多不一定效益就高。这主要是由石油工业开采对象和自然条件所决定的。由于各国油田石油资源的生成和储集条件千差万别，地质构造、油层物性、原油性质、驱动类型、产能高低都不相同，再加上地理环境和自然条件也各有差异，所以其投入效果也不可能相同。其经济效益与其他产业不同，有其较特殊的规律。一般地质条件好、油井产量高，其投入效果就好；反之，其投入效果就差。如果遇到高产油田，投入少，收益高，可能得到事半功倍的效果，中东诸国的油田即属此类；如果遇到低产油田，虽投入甚多，但只要在许可的经济界限之内，亦可开采，这类石油资源在世界各国很多，如美国的多数油田皆属此类。如果投入甚多，又无盈利，则一般不予开采，除非国家政策许可或有某种特殊需要。所以，石油工业生产的经济规律不同于其他工业，有其自身的特殊性。

7. 生产水平的不稳定性

油田开发寿命是有限的，在寿命期内的生产水平具有不稳定性。油田开发寿命一般指从投入开发到采出全部可采储量为止的全过程。在寿命期内，一般要经过投入生产、产量上升、产量稳定、产量衰减和产量枯竭几个阶段。寿命期的长短取决于储量的多寡和采油速度的高低及其变化；寿命期内各个阶段的长短又取决于技术水平的高低和投入工作量的多少。所以，在寿命期内，投入和产出的比例是一个不稳定值，越到开发的中后期投入越多，产出越少。从宏观上讲，就要不断以新油田的投入开发进行接替和调节，否则很难从全局上控制石油企业的投入产出效果。

对寿命期内各个阶段剖析可以看出，投入生产阶段到产量上升阶段的过程很短。由于这个阶段油田地层能量充足，单井产量较高，总产量呈上升趋势，较易于达到开发设计指标要求，投入产出的经济效果开始表现出来，而且一般效果较好。当产量上升到高峰期后，一般产量不再升高，在注水补充能量的前提下，进入产量稳定阶段。这一阶段可以维持较长时间，投入产出效果是最好的，经济效益也是最高的。当产量在稳定阶段所采出的地下储量达到可采储量的60%~70%时，再保持稳产就比较困难，或者说投入的工作量和产出的价值相比，已远离合理的经济界限。这时，油田开发将进入产量衰减阶段，这一阶段由于投入的增加和产量的递减，投入产出效果显著变差，甚至可能出现亏损。在这一阶段，如果采取二次、三次采油提高采收率的措施，便可以延长开采期，增加总产油量，但投入的费用和工作量更多。当油田产量衰减到没有开采价值时，即进入产量枯竭阶段，最后油田废弃。

二、中国石油工业

我国是世界上最早发现和利用石油及天然气的国家。中国近代石油工业萌芽于19世纪

中叶，经过了多年的艰苦历程，直到新中国成立前夕，它的基础仍然极其薄弱。1949 年，中国仅有一两个小油田，年产原油仅为 $12 \times 10^4 \text{t}$ 。1950 年到 2007 年，中国已发现油田 500 多个、天然气田 300 多个。2007 年中国生产原油 $1.86 \times 10^8 \text{t}$ ，同 2006 年相比增长 1.6%。由汽油、柴油、煤油三种油品构成的成品油产量为 $1.95 \times 10^8 \text{t}$ ，同比增长 7.2%。与 2006 年相比，原油产量增速回落 0.1 个百分点，保持缓慢小幅增长的态势，但产量绝对值仍然达到历史高位。成品油产量增速比 2006 年加快 2.7 个百分点，产量绝对值也创历史新高。

（一）发展史

中国石油工业发展经历了四个阶段。

1. 恢复与发展

从 1949 年玉门油矿解放到 50 年代末，全国已初步形成玉门、新疆、青海、四川 4 个石油天然气基地。1959 年，全国原油产量达到 $373.3 \times 10^4 \text{t}$ 。其中 4 个基地共产原油 $276.3 \times 10^4 \text{t}$ ，占全国原油总产量的 73.9%，四川天然气产量为 $2.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 。炼油工业在十分薄弱的基础上，先后扩建、新建了上海、克拉玛依、冷湖、兰州、大连等 8 个年加工能力为 $(10 \sim 100) \times 10^4 \text{t}$ 的炼油厂。1959 年生产汽、煤、柴、润四大类油品 $234.9 \times 10^4 \text{t}$ ，主要石油产品自给率达到 40.6%。

2. 历史性转变

从 1955 年起，地质部和石油工业部分工配合，先后在华北平原与松辽盆地展开了全面综合地质调查。

1960 年 3 月，一场关系石油工业命运的大规模石油会战，在大庆揭开了序幕。大庆油田的成功开发，使得原油产量急剧增长，需要炼油工业同步发展。在此期间，扩建了上海炼油厂、石油七厂，将石油一、二、五厂和茂名石油公司由生产人造油改为主要加工天然原油，并大力开发新工艺、新技术、新产品。1963 年至 1965 年，先后攻下了被喻为“五朵金花”的流化催化、铂重整、延迟焦化、尿素脱蜡以及配套所需的催化剂、添加剂 5 个攻关项目。此外，还研究、设计、建设了加氢裂化等装置，到 1965 年，共新建以上装置 13 套，全部实现了工程质量、试车、投产、出合格产品四个一次成功，大大缩小了同当时国外炼油技术水平的差距。1965 年生产汽、煤、柴、润四大类油品 $617 \times 10^4 \text{t}$ ，石油产品品种达 494 种，自给率达 97.6%，实现了我国油品自给。

3. 新的崛起

在大庆石油会战取得决定性胜利以后，为继续加强我国东部地区的勘探，石油勘探队伍开始进入渤海湾地区。从 1966 年到 1978 年，原油产量以每年递增 18.6% 的速度增长，年产量突破了 1 亿吨，原油加工能力增长 5 倍多，保证了国家经济发展的需要，缓解了能源供应的紧张局面。从 1973 年起，我国还开始对日本等国出口原油，为国家换取了大量外汇。

4. 石油工业进入新的发展时期

自 20 世纪 70 年代以来，我国石油工业生产发展迅速。从 1982 年起，石油产量逐年增长，到 2008 年达到 $1.897 \times 10^8 \text{t}$ ，为世界第五位。从 1949 年到 2007 年，中国已发现油田 500 多个，天然气田 300 多个，海上有渤海、南海等十余个气田投入开发。中国已经成为世界上主要油气生产国和消费国之一。

(二) 体制

在国际上,世界各大公司也大多实施的是上下游、内外贸一体化的体制,自主经营。我国目前有三大石油公司:

中国石油天然气集团公司(简称 CNPC)成立于 1988 年,是 1998 年 7 月国家在原中国石油天然气总公司基础上重组成立的特大型石油企业集团,主要从事中国陆地全境(包括岛屿、海滩、水深 0.5 米极浅海在内)的石油天然气资源的勘探、开发及其共生矿藏的开采和利用,建有大庆、胜利、辽河等 21 个大中型石油天然气生产基地。

中国石油化工集团公司(简称 SINOPEC)成立于 1983 年,是 1998 年 7 月国家在原中国石油化工总公司基础上重组成立的特大型石油石化企业集团,主要从事以石油及天然气为原料的石油炼制、石油化工、合成树脂、合成纤维、合成橡胶、化肥以及基本有机化工原料生产的销售与经营。SINOPEC 拥有燕山、齐鲁、扬子、大庆及上海石化股份有限公司、镇海炼化股份有限公司等 24 家特大型和 13 家大型炼油、石化、合纤和化肥生产企业,以及相应的专业公司和设计机构。

中国海洋石油总公司(简称 CNOOC)成立于 1982 年,主要是利用我国丰富的海洋油气资源,采用对外合作和自营的方式勘探开发海上石油、天然气及其产品加工和销售。CNOOC 下属有渤海石油公司,南海东部、西部石油公司,东海石油公司和十几个专业承包公司,设有研究中心等生产实体和科研机构。

(三) 油气资源和生产

石油和天然气是一种沉积矿产,生成石油和天然气的地质单元是沉积盆地,99%以上的油气是从沉积岩中找到的。我国陆上和海上可供找油找气的沉积岩面积约有 $670 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中陆上 $520 \times 10^4 \text{ km}^2$,海上 $150 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。我国油气资源在地域上分布很不均衡。石油资源主要集中于东部地区、环渤海地区和西北地区,天然气资源主要分布于中部地区和西部地区。根据中国含油、气盆地的地质特征和勘探程度,可划分为 6 个含油气区:

东部含油气区,主要包括东北和华北地区。

中部含油气区,主要包括陕、甘、宁和四川地区。

西部含油气区,主要包括新疆、青海和甘肃西部地区。

南部含油气区,主要包括江苏、浙江、安徽、福建、广东、湖南、江西、云南、贵州、广西 10 个省区。

西藏含油气区,包括昆仑山脉以南、横断山脉以西地区。

海上含油气区,包括东南沿海大陆架和南海海域(大陆架指围绕陆地的平浅海底其范围,陆侧起自低潮线,外缘止于海底坡度急剧增大处)。

我国主要油气田有:大庆油田、胜利油田、长庆油田、塔里木油田、克拉玛依油田、辽河油田、吉林油田、大港油田、青海油田、冀东油田、华北油田、延长油田、江汉油田等。

截至 2007 年,在我国陆上盆地中分布着 500 多个陆上油田,300 多个气田;海上有十余个气田投入开发,近 10 年生产原油量维持在 $(1.3 \sim 1.9) \times 10^8 \text{ t}$,居世界第五位。但中国目前石油可采储量较低,人均占有量只有 10t,居世界第 41 位,仅相当于世界平均水平的 11%;油气剩余可采储量多年没有较大的提高,占世界比重较低,而且储采比大大低于世界平均水平(见表 1-1)。

表 1-1 中国石油天然气探明储量

年 份	1981	1991	2001	2002	
				储 量	储采比 (中国/世界)
石油, 10 ⁹ 桶	19.9	24.0	24.0	18.3	14.8/40.6
天然气, 10 ⁹ m ³	0.69	1.00	1.37	1.51	46.3/60.7

三、油气田勘探开发主要工艺过程

油气田勘探开发是一项包含有地下、地上等多种工艺技术的系统工程。油气田勘探开发主要工艺过程包括地质调查、勘探、钻井、测井、采油(气)、油气集输及储运、石油加工。此外还包括辅助配套工艺过程,如供水、供电、通信、排水等。

第二节 石油勘探简介

一、勘探方法

用不同的物理方法和仪器,探测天然的或人工的地球物理场的变化,通过分析、研究所获得的资料,推断及解释地质构造和矿产分布情况,称为地球物理勘探(简称物探)。

地球物理勘探主要包括重力勘探、磁法勘探、电法勘探和地震勘探。

这些方法的共同特点是利用仪器在地面采集(观测)来自地球内部的物理现象进行勘探,这些物理现象与地下的区域结构、局部构造和地层、岩性有关。对采集到的大量资料进行处理,以便提供可以进行地质解释的原始资料。解释后提出有利的圈闭,拟定井位并通过钻探寻找油气藏。油气勘探技术除以上几种外还包括野外地质勘查技术、遥感技术、地质录井技术、地球物理测井技术、测试技术、石油地质综合研究技术等。

(一) 重力勘探

重力勘探是通过研究地球表面的重力值(严格地说是重力加速度)来推断地下地质构造的一种物探方法。

地球表面有起伏,地下物质分布也不均匀,因而地球上重力分布(重力场)十分复杂。其中属于椭球体部分称作正常重力变化,它随纬度的变化,从赤道向两极增大约千分之五,平均约为 9.8m/s^2 。

如果从某点重力观测值中减去正常重力值,再把地球表面起伏引起的重力变化校正(称作布格校正),就只剩下地下物质不均匀造成的重力变化,称作布伽重力异常,简称布伽异常或重力异常。

布伽重力异常图是重力勘探提供地质解释的基础资料,它与地壳上层的岩石成分及其成层条件有关。在有密度较大的致密岩层接近地面的地方重力异常增大,在密度较小的岩层接近地面的地方重力异常减小。在含油气盆地内布伽重力异常,一般只有正常重力值的百万分之几到百万分之十几,需要灵敏度很高的重力仪进行测量。

(二) 磁法勘探

磁法勘探是利用地磁现象进行勘探的方法。地磁场和重力场一样，也有正常磁力场。但磁法勘探比重力勘探在原理及实际应用上都复杂，因为决定岩石磁性的是磁化强度（受磁场磁化的程度），它取决于岩石的磁化率且具有不同的方向和大小；同一点上的磁场强度每日不同时间都有变化，称作日变，是各种原因引起的长期变化和短期变化之和。重力场就没有这些现象。

磁法勘探的观测值减去正常磁力值和日变值，便是磁力异常值。我国大部分沉积盆地已做过磁力普查，现多用航磁做细测。磁力异常图和航磁的平面剖面图是解释的基础，主要能反映基底的起伏或岩性变化、火成岩侵入体。在沉积岩中利用微磁磁化岩层的磁力异常发现沉积岩构造，必须使用高精度磁力仪。

(三) 电法勘探

电法勘探的种类很多，主要是利用岩石的电阻率特性，其次是利用岩石的电化学特性和介电特性（储存电荷的能力）。有些电法勘探技术是应用天然场的，如测量电阻率的大地电流法、大地电磁法、岩性探测法、测量电化学特性的地电流法等。有些电法勘探技术是应用人工场的，如测量电阻率的垂向电测探法、偶极测探法、可控源声频大地电磁法、瞬变电流法、测量介电特性的激发极化法等。

电法勘探还不断出现以直接找油（气）为目的的方法，有的也见到一些效果。但总体来讲，尚处于试验阶段，目前只能作为油气勘探中的一项辅助方法。

各种物探方法都只能提供有利圈闭，只有钻探后才能证实是否储集油气，因而都是间接的找油气方法。其中重力勘探、磁法勘探和电法勘探等方法精度低，成本也低，故多用于勘探初期阶段研究区域性结构，用来划分凹陷与凸起、确定基底深度等，为下步地震勘探指明方向；而地震方法具有精度高、成本高的特点，故多用来研究局部详细的构造。现代石油工业中广泛采用地震勘探方法来寻找地下构造和地层、岩性圈闭，然后拟定井位从而进行钻探，发现石油天然气。可以说没有地震勘探也就很难开展有效的石油勘探工作。

(四) 地震勘探

1. 基本原理

地震勘探是通过分析人工制造的地震波（或称弹性波）来研究地下地质情况的勘探方法。石油勘探中所指的地震波也是一种波动，它是当固体或液体受了激发（如炸药爆炸）而发生的质点弹性振动影响相邻质点而逐渐向四周传播的一种波动方式。可以设想，如果地下是一个完全均质的地层，地面附近爆炸时产生的波动将是一个简单的一直在扩大的（半）球面。但由于实际地下地层是不均匀的，可以视为多层的层状介质所组成，但每一层内部是均质的，因而就要产生反射、透射和折射等各种现象。然后根据仪器接受的各种信号进行系统分析后用于构造解释、地震地层解释及岩性和含油气性解释。地震勘探基本可分为二维地震勘探和三维地震勘探。

2. 二维地震勘探

自从 20 世纪 20 年代出现地震勘探技术以来，都是采用二维地震勘探。它是一条测线一条测线进行采集的，提供的数据是二维的（测线方向 X 和深度方向 L ）剖面图。地震采集

的工作方法主要是：测量→钻井→爆炸→接收。

3. 三维地震勘探

三维地震由于其精度高、效果好，近十几年来在世界各国得到了广泛应用，我国各油田三维地震工作发展也很迅速。

地质体都是在三维空间存在，用三维方法观测才是合理的。三维地震能发现 0.1km^2 的小断块、小构造和复杂岩性的地层圈闭，使得在不同勘探、开发阶段钻井见油成功率提高 $15\%\sim 45\%$ ，攻克了过去进不去的一些工区，加速了滚动开发节奏，找到了过去难以找到的储量，在提高老油田开发效益方面收到了明显的效果。

二、油气勘探阶段

油气藏有三个明显的特点：

第一，埋藏较深，一般都在几百米到数千米，说明它有较强的隐蔽性；

第二，由于石油和天然气是液体，往往生成和富集既不在同一岩层，又不在同一地方，而是在运移过程中形成；

第三，已形成的油气藏还可能被破坏。

油气藏既隐蔽又复杂的特点无疑增加了油气勘探的难度，使整个过程需要一个较长的时间，通常按不同时间、油气勘探的工作范围、工作方法及主要任务的不同，将整个过程分为三个阶段：区域勘探、圈闭预探和油田详探。

区域勘探的主要任务是对全区进行整体调查，了解区域基本石油地质条件，初步明确生储油条件，评选有利的油气聚集带，进行早期油气资源量估算，为提供油气钻探做好准备（利用各种物探方法）。

圈闭预探的主要任务是在经过区域评价选定的有利圈闭上，以发现工业油气流及油气田为目的，通过打预探井计算概算储量，为详探提供地质和储量依据（通过地震面积详查、圈闭钻探）。

油田详探的主要任务是查明油气层特征、圈闭含油面积，提出探明储量，为油田开发方案的制订提供所需要的地质基础资料（三维地震进行详查，钻详探井）。

以上三个阶段的勘探，既有区别而又互相衔接。一般情况下，应严格按照以上程序进行，前一阶段为后一阶段做好准备。

第三节 钻井工程简介

一、钻井

钻井是找储量、建产能、保产量的重要生产过程，是油气田勘探开发的重要手段之一。我国是世界上最早掌握钻井技术的国家，远在两千多年前就能钻井取卤制盐了。

石油与天然气勘探、开发的各个阶段都离不开钻井。为了找到石油和天然气，首先要寻找有可能储存石油和天然气的地质构造，为此要进行地质普查工作，要钻地质井、基准井、构造井等。在地质普查之后就是区域勘探阶段，这阶段就是确定前阶段所找到的地质构造中是否含有工业性油气流，并研究其油层性质、含油气情况、面积、储量等，为此需钻预探

井、详探井等。当某一油区已被发现、决定进行开发时，需钻生产井、注水井、资料井等。各阶段钻井的名称、用途、直径大小和深度不同，但它们的钻井过程基本一致。石油、天然气资源的开采，不需人下井，所以井眼直径可以大大缩小，一般为100~500mm，井深一般为几百到几千米，生产井寿命较长，一般为几十年。目前我国最深的井是2006年完成的8408m，美国最深的井是1974年完成的9586m，前苏联最深的井超过12262m。

石油钻井是在钻头上给所钻的地层施加一定压力，使钻头的牙齿嵌入地层，然后旋转钻头，利用旋转钻头的扭矩来切削地层，并用循环的钻井液将钻屑带出井眼，以保证持续钻进。钻井分为勘探钻井和生产钻井；地质探井、预探井、详探井和地质浅井总称探井；检查资料井、生产井、注水井总称开发井。具体区分如下：

地质探井（基准参数井）：为了解地层的各种参数（沉积年代、岩性等），并为地球物理解释提供参数所钻的井。

预探井：在地震详查和地质综合研究基础上所决定的有利圈闭范围内，为了发现油气藏和在已知油气范围内，以发现未知新油气藏所钻的井。

详探井（评价井）：在已发现的油气圈闭上以探明含油气边界和储量，了解油气层结构变化和产能所钻的井。

地质浅井：为配合地面地质和地球物理工作，以了解区域地质构造、地层剖面 and 局部构造为目的（采用轻便钻机）而钻的井，如剖面探井、制图井。

检查资料井：在已开发油气田内，为了研究开发过程地下情况变化所钻的井。

生产井：开发油、气田所钻的采油井、采气井。

注水井：为合理开发油气田，保持油气田压力所钻的用于注水的井。

二、钻井方法与工艺

（一）方法

在长期的生产实践中，人类创造和发明了多种钻井方法，并且随着生产的发展，钻井设备也在进步和完善。常用的钻井方法有：顿钻钻井、转盘（旋转）钻井、井下动力钻井，以及一些新兴的钻井方法如熔化法、热胀裂法、化学反应法、机械诱导应力法等。转盘钻井法是应用最为广泛的方法。

钻井需要有钻井设备、钻井工具、钻井操作和管理人员以及各种钻井专业技术的紧密配合。钻井设备由动力系统、提升系统、旋转系统、循环系统、井控系统和监测系统组成。钻井工具包括钻头、钻铤、钻杆、方钻杆、井下动力钻具及其他钻井工具和钻台上的操作工具等（图1-1）。

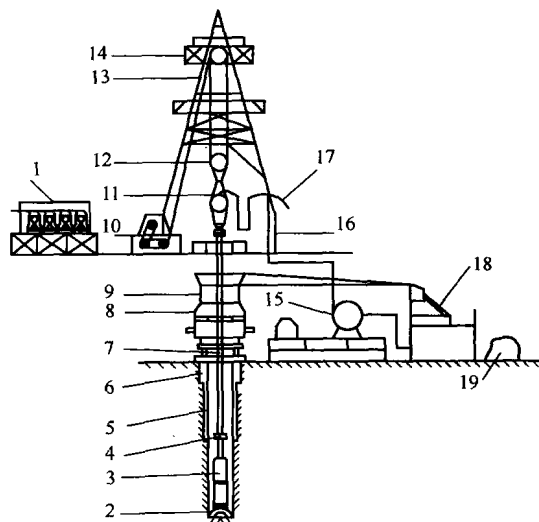


图 1-1 钻井设备示意图

- 1—发动机房；2—钻头；3—钻铤；4—环形空间；5—表层套管；6—导管；7—钻杆；8—防喷器；9—钻井液出口管；10—钻机；11—水龙头；12—游车；13—井架；14—天车；15—钻井泵；16—立管；17—水龙头带；18—泥浆振动筛；19—钻屑