



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

石油工业概论

何耀春 赵洪星 主编
田乃林 主审



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

石油工业概论

何耀春 赵洪星 主编

田乃林 主审

石油工业出版社

内 容 提 要

本书按石油上、下游的顺序,全面而简略地介绍了从石油生成、聚集到石油炼制、石油化工的整个石油工业流程,以及 HSE 的基础知识,是融系统性、技术性与可读性为一体的石油基础知识教材。

本书可供石油院校广大师生教学之用,也可作为其他人员关心和了解石油的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

石油工业概论/何耀春,赵洪星主编.

北京:石油工业出版社,2006.9

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 7-5021-5667-4

I. 石…

II. ①何…②赵…

III. 石油工业—高等学校:技术学校—教材

IV. TE

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 094227 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

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

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 10.25

字数: 248 千字 印数: 1—3000 册

定价: 15.00 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

本书以石油工业生产流程为主线，力求系统、概要地论述石油和天然气的生成与聚集、油气勘探、开发、集输、加工与石油化工、石油企业的安全和环境保护等基本知识。

本教材可供石油院校各专业学生使用，目的在于使学生了解石油工业，掌握油气生成和油气勘探、开发、加工、集输的基本过程和基本理论知识，增加石油院校学生对石油工业的了解，增强学生在石油企业工作的适应能力。

全教材共分九章，内容包括石油和天然气的生成和聚集、油气田勘探方法和阶段、钻井技术、油井试油与开采技术、油气田开发技术、油气集输技术、石油炼制与石油化工和HSE基础知识。编写分工为：承德石油高等专科学校何耀春负责前言、第二章，陈忠玲负责第八章；大庆职业学院王岚负责第一章，李娟负责第五章，陈德东、王岚负责第六章；天津石油职业技术学院李树森负责第三章；天津工程职业技术学院赵洪星、刘桂和负责第四章；山东胜利职业学院马存栋、崔彬澎负责第七章；重庆科技学院李文华负责第九章。全书何耀春、赵洪星为主编，马存栋、陈德东、李树森为副主编，最后由何耀春负责修改、统稿，由田乃林教授审定。

尽管本教材曾以校内教材使用多年，但作为规划教材，其编写是在2005年的大庆会议上才得以确定和完成分工，又要保证2006年的秋季用书，时间仓促，加之经验缺乏，难免有一些错误和不足之处，请广大师生在使用过程中多多包涵；更欢迎广大读者向有关编者和出版社反馈信息，以利于本书重印和修订时改正和提高。

编者

2006年6月

目 录

第一章 我国石油工业与世界石油工业	1
第一节 我国石油工业.....	1
第二节 世界石油工业.....	7
第二章 石油和天然气的生成与聚集	10
第一节 组成地壳的主要物质——矿物和岩石	10
第二节 地层及形变	15
第三节 地层中的流体——油气水的化学组成及物性	20
第四节 石油和天然气的生成	23
第五节 油气的聚集	25
第三章 油气田勘探方法和阶段	36
第一节 油气田勘探方法简介	36
第二节 地球物理测井	39
第三节 油气田勘探阶段	48
第四章 钻井	50
第一节 钻井分类	50
第二节 钻井设备	51
第三节 钻井工具	54
第四节 钻井液	58
第五节 钻井技术	60
第六节 固井与完井	68
第七节 钻井事故的预防与处理	72
第五章 油井试油及开采技术	74
第一节 油井试油工艺	74
第二节 自喷与气举采油	75
第三节 机械采油法	78
第四节 油水井增产增注措施	82
第五节 修井	86
第六章 油气田开发技术	89
第一节 油田开发方案的编制	89
第二节 油藏天然能量及驱动方式	93
第三节 油田注水开发技术	96
第四节 提高采收率技术.....	102

第七章 油气储运技术	107
第一节 油气集输系统简介.....	107
第二节 油气管道输送.....	115
第三节 油气的储存及天然气的液化应用.....	119
第八章 石油炼制与石油化工	130
第一节 石油产品的分类与质量要求.....	130
第二节 原油蒸馏.....	133
第三节 燃料油生产工艺.....	136
第四节 润滑油的生产工艺.....	141
第五节 石油化工.....	145
第九章 HSE 基础知识简介	150
第一节 HSE 管理体系的产生	150
第二节 HSE 管理体系的运行模式及关键因素	151
第三节 HSE 管理体系的文件体系	153
第四节 HSE 风险管理	153
参考文献	155

第一章 我国石油工业与世界石油工业

近代人类社会的现代化，有赖于能源的大规模开发和高效率运用。人类可利用的来自地下、地面和太空的能源虽然很多，但在今后相当长一段时间内，石油和天然气仍是世界上主要的能源之一。

石油被誉为“黑色的金子”、“工业的血液”，在国民经济中的地位和作用是十分重要的。

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生产部门。它是一个高风险、高投入、高技术密集的行业。

石油工业由两大部分构成，即原油勘探与生产、石油炼制与石油化工。前者称为石油工业的“上游”，后者称为石油工业的“下游”。

石油工业生产流程见图 1-1。

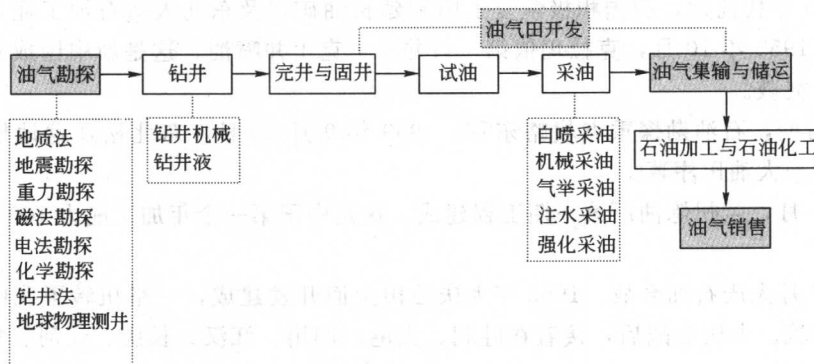


图 1-1 石油工业生产流程

第一节 我国石油工业

一、历史回顾

我国石油工业的发展有着悠久的历史。

(一) 我国古代石油、天然气的开采和利用

我国发现、利用石油和天然气已有 2000 多年历史。公元前 3~1 世纪，四川临邛（邛崃县）发现“火井”。13 世纪开始，四川自贡一带浅层天然气进行过大规模开发利用。历史上，石油曾被称为石漆、膏油、肥、石脂、脂水、可燃水等，直到北宋时科学家沈括（公元 1031—1095 年）才在世界史上第一次提出了“石油”这一科学的命名。沈括于 11 世纪末成书的《梦溪笔谈》中说：“鹿延境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也”，并预言“此物后必大行于世”。

(二) 旧中国的石油工业

我国第一口油井是 1878 年在台湾西部苗栗钻成。当时，清政府从美国雇来技师、买来

钻机，钻成了一口深为 133.8m 的井，大约在 90m 深处见到油流，每天可采出原油 750kg。

我国大陆第一口油井是 1907 年清政府从日本聘请技师、购进一部顿钻钻机，在陕西延长油矿钻成，井深 80m 多，日产原油 1~1.5t，至今仍在出油。

1936 年至 1943 年，独山子油矿在与前苏联的合作下，共钻井 33 口，年产量最高的 1942 年产原油 6909t。

1936 年，四川油矿勘探处成立，从德国购进现代旋转钻机，至 1949 年，共钻井 6 口，累计产气 $2350 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

1935~1938 年，我国著名的地质学家孙健初曾三次对我国最大的油矿——甘肃玉门油矿进行实地考察，确定井位。1939 年 3 月 27 日打出第一口井，日产原油 10t 左右。至 1949 年共计钻井 48 口，生产原油 $49 \times 10^4 \text{ t}$ ；约占旧中国 44 年间产油总和的 78.4%。

到 1949 年时，石油年产量只有 $12 \times 10^4 \text{ t}$ （其中含 $5 \times 10^4 \text{ t}$ 人造油）；天然气年产量 $0.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ；石油探明储量为 $2900 \times 10^4 \text{ t}$ 。原油加工能力为 $17.5 \times 10^4 \text{ t}$ （未包括台湾省）

（三）新中国的石油工业

新中国成立后，党和政府高度重视石油工业，使石油工业得以快速发展。

上世纪 50 年代前期，我国积极恢复玉门和延长油矿，及东北人造石油工业，主要在西北勘探石油。1955 年 10 月，克拉玛依第一口井——克 1 井喷油。这是新中国成立后石油勘探上的第一个突破。

50 年代后期，石油勘探重点战略东移。1959 年 9 月 26 日，东北松辽盆地松基三井喷油，揭开了发现大油田序幕。

1958 年 9 月，兰州炼油厂第一期工程建成。这是中国第一个年加工能力 $100 \times 10^4 \text{ t}$ 的大型炼油厂。

1960 年 2 月大庆石油会战。1963 年大庆油田全面开发建成，一举扭转了我国石油工业长期落后的面貌。大庆会战后，接着在胜利、大港、四川、江汉、长庆、辽河、华北进行了石油会战。

1963 年全国原油产量达到 $648 \times 10^4 \text{ t}$ ，其中大庆油田生产原油超过 $400 \times 10^4 \text{ t}$ 。同年 12 月 3 日，周恩来总理在第二届全国人民代表大会第四次会议上庄严宣告：“我国石油基本自给，中国人民使用‘洋油’的时代，已经一去不复返了”。1964 年初，毛泽东主席向全国工交战线发出了“工业学大庆”号召。

1962 年，兰州化学工业总公司年产 5000 吨炼厂气裂解、分离装置建成投产。这是我国第一次以石油气为原料生产出乙烯。1963 年至 1965 年，我国先后攻下了被誉为“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、添加剂等五个炼油技术攻关项目。此外，还研究、设计、建设了加氢裂化等装置。

1967 年海上石油工业开始起步，6 月 14 日在渤海用自制的钢平台打成了第一口油井，喜喷油流。

1976 年，大庆油田年产量突破 $5000 \times 10^4 \text{ t}$ 。1978 年全国原油年产量突破 $1 \times 10^8 \text{ t}$ （ $1.04 \times 10^8 \text{ t}$ ）大关，进入世界产油大国。

从 1973 年起，我国开始对日本等国出口原油，近 30 年我国累计出口原油 $4.61 \times 10^8 \text{ t}$ ，成品油 $1.22 \times 10^8 \text{ t}$ ，为国家换取外汇 851.54 亿美元，曾一度占外贸出口额的 30%。

从 1981 年起，全国原油产量逐年增长，到 1985 年达到 $1.25 \times 10^8 \text{ t}$ ，为世界第六位。2000 年我国石油产量达 $1.62 \times 10^8 \text{ t}$ （见图 1-2），是继产油大国沙特阿拉伯、俄罗斯、美

国、伊朗后，连续 13 年名列世界第五位。2000 年天然气产量 $277 \times 10^8 \text{ m}^3$ （见图 1-3），列世界第 15 位。截止到 1999 年底，建成长距离输油管线 $1.13 \times 10^4 \text{ km}$ 、输气管线 $1.18 \times 10^4 \text{ km}$ ，基本形成了东北、华北、华东地区的输油管网和华北、川渝地区的输气管网。全行业形成了油气勘探、开发、设计、施工、科研和技术服务配套的工业体系。

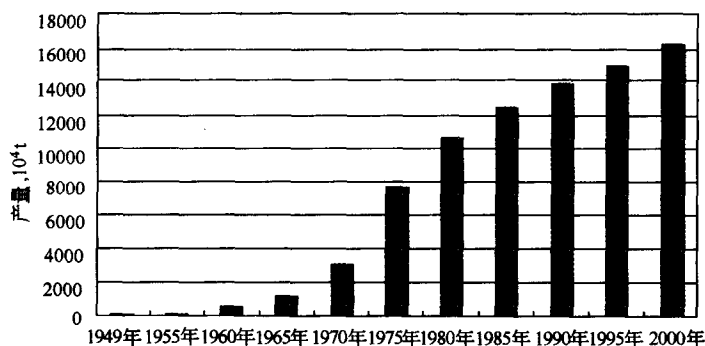


图 1-2 中国石油年产量示意图

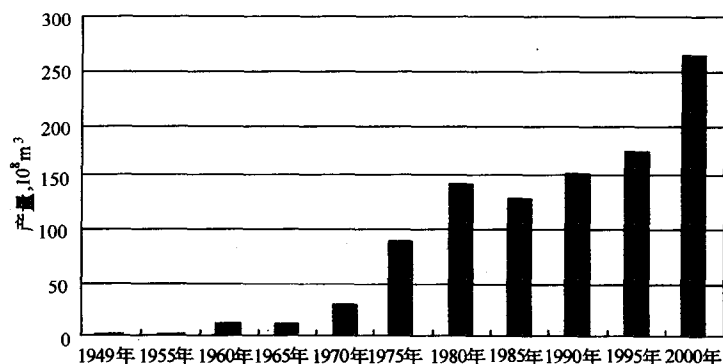


图 1-3 中国天然气年产量示意图

我国石油工业管理体制的沿革

建国以后，我国石油工业隶属于石油工业部（于 1955 年 7 月成立）；1970 年 6 月，石油、煤炭、化工三部合并，成立燃料化学工业部；1975 年 2 月，撤销燃料化学工业部，成立石油化学工业部；1978 年 3 月，撤销石油化学工业部，设立石油工业部。实行市场经济后，我国于 1982 年成立了中国海洋石油总公司。1983 年 7 月，中国石油化工总公司成立。1988 年撤销石油工业部，成立中国石油天然气总公司。1998 年 7 月 1 日，中国石油天然气总公司与中国石油化工总公司重组，成立中国石油天然气集团公司与中国石油化工集团公司，不再承担行业管理职能，由国家经贸委管理。与世界石油公司一样，改制后的我国三大石油公司也是由油气勘探、开发、储运、炼制加工、销售组成的纵向联合体，采取上下游、内外贸一体化的体制，自主经营、自负盈亏、自我约束、自我发展。在油公司以外，形成一大批为石油工业各个环节服务的专业技术服务公司，如物探、钻井、测井、油田和管道建设、机械制造等。

二、前景展望

(一) 油气资源量

我国油气资源丰富,陆上和海上可供找油找气的沉积岩有 670 多万平方公里(在世界各国沉积岩面积位次中居第三位),其中陆上 $520 \times 10^4 \text{ km}^2$ (占全国国土面积 44%),近海大陆架面积 $150 \times 10^4 \text{ km}^2$,大大小小的沉积盆地有 500 余个。石油资源主要分布在东部地区、环渤海地区和西北地区,天然气资源主要分布在中部地区和西部地区。到目前为止,全国 25 个省、市、自治区和近海海域发现了 688 个油气田,形成了六大油气区,建成了大庆、胜利、辽河、新疆、四川、长庆、渤海和南海等 24 个油气生产基地。

首届中国探矿者年会公布了一份报告:根据陆相石油地质理论,中国勘探发现的石油地质资源量已达 $1041 \times 10^8 \text{ t}$,石油可采资源量为 $150 \times 10^8 \text{ t}$ 左右。截至 2003 年年底,我国累计探明可采石油储量 $65 \times 10^8 \text{ t}$,占可采石油资源探明程度的 43%。按照国际通用划分标准,探明程度 30%~60%,为勘探中期阶段。扣除已探明可采储量,尚有待发现和探明资源 $85 \times 10^8 \text{ t}$ 左右。因此,我国还有较大石油资源潜力,储量处在高基值稳定增长期。依据这一论断,我国石油实现储量稳定增长 20 年是有可能的。

我国天然气正处在早期勘探阶段,全国天然气资源量已达 $54 \times 10^{12} \text{ m}^3$,累计探明储量只有 $3.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$,探明率仅为 6.85%,增储上产空间较大。

(二) 西部大开发为中国石油工业提供新的发展机遇

西部主要含油气地区有塔里木盆地、准噶尔盆地、吐鲁番—哈密盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地和柴达木盆地,具有明显的油气资源优势。到 2000 年,西部地区原油产量 $2894 \times 10^4 \text{ t}$,占全国的 17.8%;天然气产量为 $152 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全国的 54.6%。根据专家预测,西部地区石油资源总量为 $236 \times 10^8 \text{ t}$,占全国石油资源量的 25%;天然气总资源量 $24 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占全国天然气资源量的 63%。然而西部地区尽管资源丰富,但勘探开采程度较低。到 2000 年底,西部地区石油资源探明程度仅为 17%,天然气资源探明程度只有 8%,勘探开发潜力很大,发展石油天然气工业前景极为广阔。2005 年西部地区原油产量达 $3350 \times 10^4 \text{ t}$,年均增长 32%;天然气产量 $350 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均增长 18.1%。西部地区石油天然气产量的增长将有利于我国陆上石油产量实现稳中有升,并对全国天然气的使用发挥重要作用。

西部石油工业主要的开发建设项目包括:油气田开发和输油输气管道建设两个方面。

在油气田开发建设方面:一是青海柴达木盆地涩北气田。这是“涩北—西宁—兰州”输气管道项目的天然气资源供应基地,每年具有 $(25 \sim 30) \times 10^8 \text{ m}^3$ 的生产能力。二是新疆塔里木盆地克拉 2 号气田。它是“西气东输”管道工程项目的主要天然气供应来源,每年约 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的生产能力。三是鄂尔多斯盆地天然气二期开发工程。它为“西气东输”管道工程建成初期提供天然气源,同时也是陕京复线气源供应地,每年约有 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的生产能力。四是川东地区天然气田,每年约有 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的生产能力,为重庆和湖北武汉提供天然气;2005 年川东北普光气田的发现,探明可采储量超过 $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$,规划 2008 年实现每年 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 商业气量。

在输油输气管道建设方面:一是涩北—西宁—兰州输气管道工程。该管道工程全长 953km,管径为 660mm,年输气能力 $(20 \sim 30) \times 10^8 \text{ m}^3$,对控制西宁、兰州地区的环境污染,促进柴达木盆地的天然气开发将起到积极的促进作用。二是西气东输管道工程。这是西

部大开发的标志性工程,该管道工程总长超过 4000km、管径 1016mm,年输气能力 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$,横跨中国东西部 9 个省(区、市)。“西气东输”工程不但可加快西部新疆塔里木盆地的天然气开发步伐,而且将改善东部地区能源结构,减少环境污染。三是鄂尔多斯盆地长庆气田—内蒙古呼和浩特输气管道工程。该管道工程全长 470km,管径 377mm,最大年输气能力 $12 \times 10^8 \text{ m}^3$,对调整内蒙古呼和浩特、包头等地区的能源消费结构,改善城市大气环境具有十分重要的意义。四是兰州—重庆成品油管道工程。该管道干线工程全长 1207km,设计年输油能力 $500 \times 10^4 \text{ t}$,对解决四川和重庆两地油品运输难度大、成本高,解决西北地区成品油过剩的矛盾,促进西部地区发展具有重要作用。五是西南成品油管道工程。该管道起自云南昆明,终端为广东茂名,干线工程全长 2085km,设计每年输油能力为 $1000 \times 10^4 \text{ t}$,将有效解决广西、贵州、云南成品油运输问题,并带动相关石化产业发展。

三、我国油气资源的可持续发展战略

上世纪 80 年代以来,随着国民经济高速发展,我国能源需求迅速增长。从 1993 年开始我国就成为石油净进口国以来,我国石油进口量逐步扩大。1999 年原油净进口量已接近 $4000 \times 10^4 \text{ t}$,2002 年石油净进口达到 $7180 \times 10^4 \text{ t}$,2003 年达到 $8000 \times 10^4 \text{ t}$ 。2003 年,我国原油年产量为 $1.6886 \times 10^8 \text{ t}$,年需求量为 $2.41 \times 10^8 \text{ t}$,自给率 70%。尽管在我国的能源消费结构中,60%~70%是煤炭,相对发达国家而言,中国对石油的依赖是很小的。但有专家预测,到 2010 年时我国石油需求中有超过一半的部分将依靠进口,进口量将达 $(1.6 \sim 1.8) \times 10^8 \text{ t}$;2020 年时我国的石油进口量可能将达 $(2 \sim 3) \times 10^8 \text{ t}$ 。为了解决石油的供需矛盾,保证国民经济的稳定运行,我国石油工业必须实行可持续发展战略。

(一) 进一步扩大油气资源基础

我国东部地区老油田还有较大的找油气潜力,西部地区油气资源十分丰富,是石油工业发展的重点。

西藏地区有着广泛的沉积地层,是极有希望的含油地区。由于地理、地形复杂,交通条件等种种困难,近期还不具备进行有规模的石油与天然勘探工作。但随着我国科学技术和社会经济的发达,这块油气“处女地”也终究会得到开发和利用的。

云南、贵州、湖南、湖北的广大山区,多为与四川油气田相似的碳酸盐岩地层,可能蕴藏着大油气田。

深层油气资源是一个不可忽视的增储上产的领域。我国深层勘探还刚刚起步,这方面的资料还不多,预计将成为油气勘探潜力很大的一个后备战场。

煤成气是天然气的重要组成部分。我国煤成气资源相当丰富,陆地和海域的含煤盆地总面积达到 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,并且成煤期多,大型隐伏含煤盆地也多,煤系地层厚度大。初步评价估算,煤成气远景资源量将超过 $30 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。这将成为发展我国天然气工业的良好资源基础。

(二) 不断完善和创新油气田开发技术,提高油气采收率

在长期的石油勘探开发实践中,我国不断研究完善的大型非均质砂岩开发理论与分层开采、控水稳油综合治理和三次采油等技术的应用,使大庆油田在年产 $5000 \times 10^4 \text{ t}$ 的水平上稳产 30 年。根据我国石油工业发展的趋势与需要,目前三次采油技术已逐步形成了以化学采油为主体,以微生物采油和物理采油研究为两翼的综合性提高采收率的方法。这些新技术的研究和应用,必将进一步延长老油田开采时间,提高油气采收率。

（三）加大天然气的勘探开发力度，部分实现以气代油

由于“西气东输”、“海气登陆”、“川气出川”等管道工程的带动，天然气储、产量将有一个较快的增长。预计 2010 年至 2015 年可望达到年产天然气 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，从而改善我国能源结构，保持我国油气产业的可持续发展。

（四）参与国外油气开发

自从 20 世纪 90 年代初中国的石油公司开始走出国门至今，中国的几大石油公司已在世界 20 多个国家和地区拥有油气业务，国际化经营已初具规模。

中国的石油公司走向海外、利用国外石油资源曾经出现两大机遇。其一，20 世纪 90 年代初前苏联解体，所属各国实行私有化，与此同时南美许多国家也实行私有化，有较多机会可以从上述国家获得油气田和勘探区块；其二，1998—1999 年东南亚爆发金融危机，油价暴跌至 10 美元/桶，可以用较低代价获得油田项目。中国石油公司也在这一时期获得了一些项目。

进入 21 世纪，上述国家的私有化高潮已经过去。中东产油国有的不对外开放上游领域，有的合同条款愈加苛刻，有的政治不稳定。世界上近 20 年来没有发现新的大含油气区。国际上大部分有利区块已被国际大石油公司占有，有些实力较强的国家石油公司则以自主开发为主。国家石油公司手中的区块，特别是陆上区块日益减少。近两年来的高油价使得油田项目转让的机会少、代价高，竞争十分激烈。但是，世界仍存在较大的油气勘探开发潜力，例如老油田滚动勘探和提高采收率的潜力，处于起步阶段的非常规石油资源，如重油、油砂的利用等。也就是说，仍存在许多利用国外油气资源的机会。

面对国际形势已经发生和正在发生的深刻变化，中国的石油公司在以更大的步伐走出去的同时，也需要总结以往的经验教训，把握当今国际环境的新特点，采取有效的策略和措施，以利于在国际化经营方面取得更大的发展。

（五）加强替代能源和可再生能源的研发力度，石油公司逐步向能源公司转变

我国具有丰富的新能源和可再生能源，如天然气可燃冰（即 300m 以下的海底沉积物及永久冻土带中的冰状气体水合物）以及水能、风能、潮汐能、地热能等。从国家经济发展和能源供给的长远利益出发，几大国家石油公司利用现有的资金、技术和人才的优势，及时地向其他能源领域延伸，积极开展替代能源和可再生能源的研究、开发和利用，在建设国际一流的石油公司的同时，向国际一流的能源公司发展。

（六）建立油气储备，确保国家经济安全

石油作为主要能源，关系到各国经济发展和经济安全，被视为重要的战略物资，越来越与国际政治经济形势的变化交织在一起，因此，建立我国的战略石油储备势在必行。一是资源和产能的储备；二是技术储备；同时，石油进口渠道要多元化，建立双边、多边、地区性或国际性石油能源合作体制，以保证石油开发和供给的稳定与安全。

中国石油精神

中国石油精神概括为“爱国、创业、求实、奉献”。它是 20 世纪 60 年代初期在大庆石油会战中逐步形成的，也叫大庆精神。它是以铁人王进喜为代表的石油人的理想、信念、情感和意志的结晶。

第二节 世界石油工业

一、世界石油储量、产量和消费量

(一) 石油储量及分布

根据《2005 年 BP 世界能源统计评论》最新数据显示, 2004 年末世界剩余的已探明石油储量为 11886 亿桶^①, 按目前的世界石油开采量, 可供开采 40.5 年。

从表 1-1 可看出, 世界石油资源的分布极不均匀, 主要集中在中东—北非、中亚—俄罗斯两大板块, 合计储量占世界储量的 73.4%; 而亚太及北美地区最缺石油, 分别占 3.5% 和 5.1%。世界上前十大储油国依次为: 沙特阿拉伯、伊朗、伊拉克、科威特、阿拉伯联合酋长国、委内瑞拉、俄罗斯、哈萨克斯坦、利比亚、尼日利亚, 占世界石油储量的 81.7%。前五大储油国都在中东地区, 占世界储量的 59.5%, 其中沙特阿拉伯的储量世界第一, 占 22.1%。

表 1-1 世界石油探明储量及地区分布 (单位: 亿桶)

地区 \ 年份	1984 年	1994 年	2004 年	储采比
北美	1019	898	610	11.8
中南美	363	815	1012	40.9
欧洲及欧亚大陆	967	803	1392	21.6
中东	4308	6617	7339	81.6
非洲	578	650	1122	33.1
亚太	381	392	411	14.2
世界总量	7616	10175	11886	40.5

(二) 石油产量

近 40 年来, 随着世界经济的发展, 世界石油产量呈稳步上升态势。1965—1979 年, 国际石油产量呈强劲增长势头, 但随后日产量从 1979 年的 6605 万桶下降到 1983 年的 5660 万桶; 1983 年后世界石油产量稳步上升, 到 1990 年为日产 6541 万桶, 整个 80 年代石油产量先跌后涨, 呈“V”趋势; 1991—1995 年产量基本处于稳定状态, 未出现明显的大起大落。

近十年世界石油产量总体上不断增长, 从 1995 年日产量 6810 万桶到 2004 年的 8026 万桶, 平均每年增长 1.8%。其中 1999 年略有下降, 2000 年以后又呈上升趋势。2004 年石油产量增速迅猛, 同比增长了 4.5%, 首次突破日产 8000 万桶的大关。

从地区分布看, 世界主要产油地区集中在中东、欧洲及欧亚大陆和北美。2004 年合计日产量为 5630 万桶, 占世界日产量的 70.1%。产量增长较快的依次是非洲、中东、中南美, 分别为 10.1%、6.4%、6.2%。亚太地区近五年来的产量较为稳定, 平均日产量为 790 万桶左右, 2004 年产量为 793 万桶, 比上年略增 0.9%。2004 年惟一负增长的地区是北美, 产量下降了 0.3%。

^① 国际标准原油 1 桶约为 0.136 吨。

从国家看,2004年十大产油国依次是:沙特阿拉伯、俄罗斯、美国、伊朗、墨西哥、中国、挪威、加拿大、委内瑞拉和阿拉伯联合酋长国,总共日产量5043万桶,占世界日产量的62.8%。其中沙特阿拉伯日产量为1058万桶,占世界日产量的13.2%;俄罗斯日产量为929万桶,占11.6%;美国日产量为724万桶,占9.0%。

(三) 石油消费量

近十年世界石油消费量呈明显的上升趋势,年均增速达1.7%。2004年世界石油日消费量首次突破8000万桶,为8076万桶,同比增长3.2%,是近十年增速最快的一年;日消费量最大的地区是北美,为2462万桶。

从国家看,2004年世界十大石油消费国依次为:美国、中国、日本、德国、俄罗斯、印度、韩国、加拿大、法国和墨西哥,总共日消费石油4860万桶,占世界日消费量的60.2%。其中,美国日消费量2052万桶,占25.4%;中国日消费量668万桶,占8.3%;日本日消费529万桶,占6.6%。由于经济的快速增长对能源的强劲需求,中国已经连续三年超过日本,跃居世界石油消费第二大国,而且增速惊人,2004年同比增长15.8%。

二、石油对世界经济和国际社会安全的影响

石油对世界经济和国际社会安全的影响,主要源自石油这一重要能源所具有的三个天然属性:一是高度依赖性。石油是国民经济不可或缺、无法替代的重要能源和化工原料,国民经济对石油具有很强的依赖性。石油占美国整个能源需求的37%,占整个运输部门能源需求的73%。中国运输部门消费中,石油和天然气占69%。二是天然的稀缺性。石油是一种不可再生的能源。由于技术发展的限制,石油储量探明有限。而且经济增长和石油消耗存在一定的比例关系,伴随着经济的增长,世界石油的地质蕴藏总量不断减少,供需矛盾日益突出。三是分布的不均衡性。石油资源分布的不均衡,导致石油供需矛盾更为尖锐。现在,产油的国家和地区已有150多个,发现的油气田已有四万多个。但世界石油资源主要分布在中东、拉丁美洲、北美洲、西欧、非洲、东南亚和中国。其中,中东和北非是石油储量最多的地区,占探明储量的68%和待探明储量的30%。世界上最大的油田是沙特阿拉伯的加瓦尔油田,可采石油储量达104亿吨。中东的沙特阿拉伯、伊朗、科威特、伊拉克和阿拉伯联合酋长国是世界最大的石油产地和输出地区。而这些地区大多是政治、民族和宗教矛盾错综复杂的地区。

石油的这些重要属性,使石油成为保障国家经济安全和政治安全的重要战略物资。1973年10月6日,爆发了第四次中东战争,以色列在战争爆发几天后取得了优势,从地面、空中和海上向埃及和叙利亚发起进攻。石油输出国组织立即作出反应,大幅度提高油价,纠正长期以来被人为压低的油价。1974年1月1日将石油标价从每桶3美元提高到11.65美元,标志着“廉价石油时代”结束(西方称“第一次石油危机”)。中东石油是对世界经济影响最为敏感的神经,石油提价使世界资本主义经济大发展开始消退,接着经历了1974年至1975年二次世界大战后的最严重的世界性经济危机,导致美、日、英的GDP平均负增长率为1.23%。1979年初,由于伊朗政局的变化,石油出口停止。1980年,两伊战争爆发,导致石油供应量突然减少,油价从1978年底的平均每桶12.86美元暴涨到现货市场的每桶40~41美元(西方称“第二次石油危机”)。1980年至1982年的经济危机,使美、英的GDP负增长率分别为0.2%和2.4%。两次“石油危机”使美国经济损失达4万亿美元。

1980年后,世界经济不景气,石油进口国开展节油运动,提高能源利用率,发展替代

能源，减少石油消费；另一方面中东以外地区大力发展石油工业，造成石油供过于求，油价疲软，一度降至 10 美元以下。石油输出国组织多方努力，1987 年油价又逐步回升到每桶 16~18 美元的水平。

1990 年 8 月 2 日，伊拉克入侵科威特，海湾危机爆发后，石油价格大起大落。1990 年 8 月 1 日，中东原油价格每桶为 18.10 美元；10 月 9 日，每桶油价上涨到 35.40 美元；10 月 11 日，国际油价飙升到了每桶 41.07 美元的历史高位。1991 年 1 月 17 日，海湾战争爆发，每桶油价又下降到 14.90 美元，低于海湾危机前的水平。以美国为首的多国部队连续轰炸伊拉克及其在科威特的军事目标，直至伊拉克宣布无条件投降，至此海湾战争结束。这是自二次世界大战以来最大的一次局部战争。他们是在争夺海湾地区的石油控制权。正如美国前总统尼克松所说：“美国进行海湾战争，既不是为了民主，也不是为了自由，而是为了石油”。

到 1994 年，世界石油市场供大于求的形势仍未扭转，油价仍在每桶 16~18 美元左右徘徊。2002 年，国际油价每桶仅 20 美元。

根据国际能源署（IEA）报告，2004、2005、2006 年世界每天对原油的需求分别为 8220 万、8330 万和 8470 万桶。2006 年比 2005 年每天需求增加 140 万桶，即使所有石油供应国都开足马力全力生产，全球石油供应仍然有 1500 万桶左右的缺口。由于原油需求快速增长，同时受美国“新经济”泡沫和传统资本市场泡沫相继破裂、房地产市场泡沫濒临崩溃，国际资本的运作主要集中在能源领域，以及主要产油国政治局势不稳定（如伊朗核问题）的影响，2005 年 8 月 30 日，国际油价高达 69.81 美元/桶，9 月 2 日达到 67.72 美元/桶。2006 年 7 月 14 日，国际原油价格突破 75 美元/桶（达到 76.8 美元/桶），创造历史新高。和发达国家相比，这次油价上涨将使更多依赖进口石油的发展中国家的生产成本上升，通货膨胀压力增大，经济增长速度放缓。

世界石油宝库——波斯湾

波斯湾，也称海湾，面积 24 万平方公里，被誉为“世界石油宝库”。到 2000 年底，波斯湾地区探明石油储量 1231.8 亿吨，约占世界石油探明储量的 36.9%；已探明的天然气储量约为 37.2 万亿立方米，约占世界天然气储量的 22.4%。该地区具有油田规模大（集中分布在几个大油田）、地质条件好（83%的油井都是自喷井）、外运方便（海、陆均可），石油产量高、投资小、成本低、效益高的特点，是世界最大的产油地区，也是世界石油出口地区。出口量占世界石油出口总量的 60%左右，主要输往美国、日本和西欧等地。

第二章 石油和天然气的生成与聚集

石油和天然气是从地下开采出来的，它们是怎样生成和聚集的？要了解这个问题，我们必须了解地下岩石的组成和特征，了解生成油气的物质及油气形成模式，了解油气藏形成的各种成油要素。

第一节 组成地壳的主要物质——矿物和岩石

一、地球

地球是太阳系中的一个成员，它是一个赤道半径较长、两极半径较短、北极略微突出、南极略微扁平的旋转椭球体。

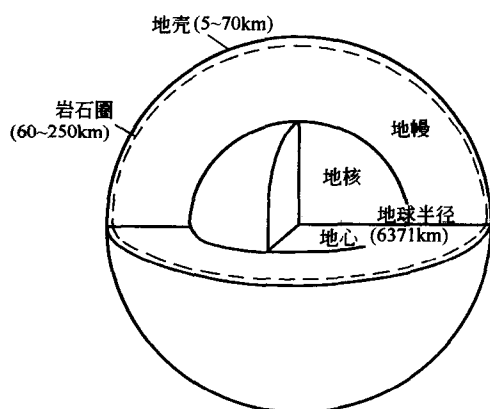


图 2-1 地球的圈层构造

据地震波的传播特征，可将地球内部分为三大圈层构造，从地表到地心依次为地壳、地幔、地核，见图 2-1。地壳处于地球的最外部，主要是由岩石所组成的固体圈层。石油和天然气就存在于地壳岩石的孔隙和裂缝之中。

二、矿物

地壳的岩石是由矿物所组成。

矿物是由一种或几种化学元素组成的天然产物。在日常生活中经常见到，例如，食盐、煤、石膏、金、石英、长石、云母、石油、天然气等都是矿物。矿物是一定地质条件作用的产物。如

食盐是在高温炎热的环境下形成的，金刚石是在高温高压条件下形成。

矿物都具有一定的化学组成和内部结构，如食盐是由 Na^+ 离子和 Cl^- 离子所组成，其内部结构是 Na^+ 离子和 Cl^- 离子相间排列而形成的立方体。

矿物具有一定的物理性质和化学性质。矿物的物理性质主要有矿物的形状、颜色、条痕、透明度、光泽、解理、断口、硬度、密度、放射性和磁性等。矿物的化学性质主要有：矿物遇酸反应能力、矿物的染色性等。矿物的物理性质和化学性质主要取决于它的化学组成和内部结构。如食盐是白色、立方体、玻璃光泽、三组完全解理，并有咸味；煤是黑色的且可燃烧；石墨和金刚石虽都是由 C 原子所组成，但由于内部结构不同，石墨是层状结构，金刚石是四面体结构，二者的硬度相差极大；方解石遇冷稀盐酸剧烈反应，而白云石反应微弱。矿物的物理和化学性质是鉴定矿物的重要依据。

目前，世界上已经发现了三千多种矿物，但常见的造岩矿物只有二三十种，如石英、长石、云母、辉石、角闪石、橄榄石、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿、方解石、白云石以及各种粘土矿物（高岭石、蒙皂石、伊利石等）等等。它们的不同组合便形成了各种各样的岩石。

三、岩石

岩石是由矿物组成的集合体。据其成因可将地壳岩石分为三大类，即岩浆岩、变质岩和沉积岩。由于它们的形成条件、内部组成和结构的不同，与油气的关系也极不相同。

(一) 岩浆岩

岩浆岩是由地下深处（地幔软流圈中）处于高温高压状态下、富含挥发性组分的硅酸盐熔浆（称为岩浆），沿着地壳的破碎带向上侵入到上覆地层（称为侵入活动）或喷出到地表（称为喷出活动或火山活动），并冷却凝固形成的岩石。侵入活动形成的岩石称为侵入岩，如花岗岩；喷出活动形成的岩石称为喷出岩（或火山岩），如玄武岩。由于岩浆岩是在高温、高压状态下形成的，不含有机质，且岩性致密，因此，它们不可能生成油气。但由于后期受地壳构造运动的影响使岩石产生裂缝，它们又可以储藏油气。勘探实践表明，在岩浆岩中发现的油气藏极少。

(二) 变质岩

变质岩是由变质作用形成的。变质作用是早先形成的岩浆岩、变质岩、沉积岩在地下深处由于高温、高压、岩浆热液或地壳构造运动的作用下，使岩石的内部矿物成分、结构、构造发生了变化，而生成了新岩石的作用。由沉积岩经变质作用形成的变质岩称为正变质岩；由岩浆岩经变质作用形成的变质岩称为副变质岩。如大理岩、花岗片麻岩、各种片岩都是变质岩。变质岩和岩浆岩形成条件相近，因此与油气关系也不大。

(三) 沉积岩

沉积岩是在地表条件下，由温度变化、风、水、生物、冰川等自然力（地质营力）对母岩（指早先形成的各种岩浆岩、变质岩或沉积岩）的风化剥蚀产物，经过搬运作用、沉积作用和成岩作用而形成的岩石。

与岩浆岩、变质岩相比较，沉积岩形成的地质作用有如下特点：常温常压形成；有生物的参与，可具有生物化石，或生物遗体转化成的石油、天然气、煤、油页岩等；有丰富的水、二氧化碳、氧气参与作用。

沉积岩主要分布于地表，其深度一般很少超过 8~10km，下伏岩石均为古老的岩浆岩或变质岩组成的结晶基底。

沉积岩中有着丰富的矿产资源。可燃有机岩（石油、天然气、油页岩和煤）和化肥、化工生产原料（磷、钾、盐类）几乎都形成于沉积岩中；大量的耐火材料、建筑材料、玻璃与陶瓷、化纤原料也都取自沉积岩；大部分铁、锰等有色金属矿物和一部分有色金属（Al、Zn 及稀有金属元素）都产自沉积岩中。

1. 沉积岩的形成

沉积岩的形成经历了母岩的风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和成岩作用。

1) 风化作用

风化作用是指组成地壳的岩石在常温、常压条件下，由于气温的变化、气体、水溶液和生物活动等因素的作用，促使岩石在原地遭受破坏作用的过程。

气温的昼夜和四季变化，使岩石的表面和内部交替膨胀与压缩；岩石的孔隙裂缝中的水结冰，体积膨胀，产生巨大的压力；岩石孔隙中含潮解性盐类的吸水和结晶等都可以使出露地表的岩石内部产生裂隙而剥离，发生机械崩解，但并不改变岩石的矿物成分，这种作用称为物理风化作用。