

# 石油与天然气地质学

陈昭年 主编

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 简 介

本书旨在阐明石油与天然气地质学基本原理。全书始终围绕油气藏这一核心，以油气藏的基本要素 形成理论 油气分布 资源评价为主线，首先剖析了构成油气藏的基本要素，包括油气藏中流体的成分和性质、储集层和盖层以及圈闭和油气藏；其次分析了油气藏形成的理论，包括油气成因理论与烃源岩、石油与天然气运移以及油气藏的形成与破坏；然后探讨了油气聚集单元与油气分布关系；最后对油气资源评价进行了初步介绍。

本书可作为高等院校油气地质勘探专业及其他相关专业本科生教材，也可供广大油气地质工作者阅读与参考使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

石油与天然气地质学 / 陈昭年主编 . — 北京: 地质出版社,  
2005. 8

ISBN 7-116-04518-X

. 石... . 陈... . 石油天然气地质 . P618. 13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 083831 号

---

责任编辑: 孙亚芸

责任校对: 丁海云

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324573 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: [zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京市朝阳区小红门印刷厂

开 本: 787 mm× 1092 mm

印 张: 18. 5

字 数: 450 千字

印 数: 1—2000 册

版 次: 2005 年 8 月北京第一版 · 第一次印刷

定 价: 28. 00 元

ISBN 7-116-04518-X/P · 2598

---

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)

# 前 言

本书是中国地质大学（北京）资助出版的教材，按石油地质专业本科四年制教学大纲编写而成，同时适用于资源勘查工程和石油工程专业四年制本科教育。

石油、天然气作为优质的能源和重要的化工原料，其产品广泛地应用于工业、农业、国防及人类日常生活的各个领域。油气工业的发展同世界各国的经济发展有着十分密切的关系。为了更好地指导石油、天然气的勘探和开发，结合近年来油气地质领域研究的新成果，编写一本既能反映目前国内外油气地质学科的新进展，又能对我国新时期油气勘探有实际指导意义的《石油与天然气地质学》教材，意义十分重大。

本教材围绕油气藏这一核心，以油气藏的基本要素 形成理论 油气分布 资源评价为主线，首先剖析了构成油气藏的基本要素，包括油气藏中流体的成分和性质（第二章）；储集层和盖层（第三章）及圈闭和油气藏（第四章）；其次分析了油气藏形成的理论，包括油气成因理论与烃源岩（第五章）、石油与天然气运移（第六章）以及油气藏形成与破坏（第七章）；然后探讨了油气聚集单元与油气分布（第八章）；最后介绍了油气资源评价的概念、层次和方法（第九章）。这样既符合人们对油气藏及其理论的认识过程，也有利于应用这些理论去指导油气勘探实践。

本教材在承袭以往中国地质大学主编教材的主体内容基础上，吸收了近年来石油与天然气勘探和研究的新成果，在探讨现代油气成因理论普遍性内容的同时，论述了油气成因的某些进展；在分析常规油气藏形成的同时，介绍了非常规油气藏形成的内容；在油气二次运移讨论中，突出了有效通道空间和油气运移的优势通道；将含油气系统作为介于盆地和区带之间的聚集单元加以介绍；为实现低风险、高效益并获得最大油气资源的最终目的，简要介绍了不同层次油气资源的评价。教材编写过程中，编者力求采用最新成果资料，力争使学生能够区分并把握油气成藏过程中的机理、机制和模式。

石油与天然气地质学是一门实践性很强的学科，为了更好地贯彻“学以致用”、“理论联系实际”的原则，培养学生分析问题和解决问题的能力，本书另配有实习指导书。

本书由中国地质大学（北京）陈昭年主编。全书共分九章，其中大部分章节由陈昭年编写，第五章第五节、第八章第三节由黄海平编写，第七章第五节、第九章由贾庆素编写。全书由陈昭年负责统一修改和定稿。

本书在编写过程中得到了中国地质大学（北京）教务处、能源学院和石油教研室领导和同事们的关心和支持；参考和引用了大量文献，限于篇幅，在书后所附参考文献中未能全部列出，在此谨向有关研究单位和文献作者表示衷心感谢。如有不当之处，敬请广大

同仁和读者指正。

本教材承蒙中国地质大学（北京）陈发景教授和中国石油大学（北京）柳广第教授主审，他们在百忙中抽出时间认真审查，提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

主 编

2005年5月于北京

# 目 录

## 前 言

第一章 绪 论 .....	(1)
第一节 石油与天然气地质学的内容 .....	(1)
一、石油与天然气地质学概念 .....	(1)
二、本课程的体系和具体内容 .....	(1)
三、本课程的特点 .....	(2)
第二节 石油与天然气地质学的形成和发展 .....	(2)
第三节 世界油气工业概况与资源现状 .....	(4)
一、世界油气工业概况 .....	(4)
二、世界油气资源现状 .....	(4)
第四节 中国油气工业概况与资源现状 .....	(6)
一、中国油气工业概况 .....	(6)
二、中国油气资源现状 .....	(9)
第二章 油气藏中流体成分和性质 .....	(11)
第一节 石油 .....	(11)
一、石油的化学组成 .....	(12)
二、石油的分类 .....	(18)
三、海陆相石油的基本区别 .....	(20)
四、石油的物理性质 .....	(22)
第二节 天然气 .....	(25)
一、天然气的概念及产状 .....	(25)
二、天然气的化学组成 .....	(28)
三、天然气的物理性质 .....	(29)
四、天然气与石油的差别 .....	(31)
第三节 油田水 .....	(32)
一、油田水的概念 .....	(32)
二、油田水的产状 .....	(32)
三、油田水的来源 .....	(33)
四、油田水的化学组成 .....	(34)
五、油田水的类型 .....	(35)
六、油田水的物理性质 .....	(37)

第四节	油气的碳、氢稳定同位素 .....	(37)
一、	同位素的概念及同位素分馏作用 .....	(38)
二、	稳定同位素在自然界的丰度、比值、标准及表示方式 .....	(38)
三、	油气中的稳定碳同位素 .....	(39)
四、	油气中的氢同位素 .....	(40)
第三章	储集层和盖层 .....	(42)
第一节	储集层物理性质 .....	(42)
一、	储集层的孔隙性 .....	(42)
二、	储集层的渗透性 .....	(44)
三、	储集层的孔隙结构 .....	(47)
四、	含油气饱和度 .....	(49)
第二节	储集层类型 .....	(50)
一、	碎屑岩储集层 .....	(50)
二、	碳酸盐岩储集层 .....	(54)
三、	其他岩类储集层 .....	(57)
第三节	盖层 .....	(59)
一、	盖层的概念及类型 .....	(59)
二、	盖层的封闭机理 .....	(60)
三、	盖层的评价 .....	(63)
四、	盖层的相对性 .....	(64)
第四章	圈闭和油气藏 .....	(66)
第一节	圈闭和油气藏概述 .....	(66)
一、	圈闭理论的形成与发展 .....	(66)
二、	圈闭的现代概念及可预测标志 .....	(67)
三、	油气藏的概念与工业标准 .....	(69)
四、	圈闭和油气藏的度量 .....	(70)
五、	圈闭和油气藏的分类 .....	(73)
第二节	构造油气藏 .....	(74)
一、	背斜油气藏 .....	(75)
二、	断层油气藏 .....	(76)
三、	裂缝性背斜油气藏 .....	(81)
四、	刺穿油气藏 .....	(83)
第三节	地层油气藏 .....	(86)
一、	岩性油气藏 .....	(86)
二、	不整合油气藏 .....	(92)
三、	礁型油气藏 .....	(98)
四、	沥青封闭油气藏 .....	(100)

第四节	水动力油气藏 .....	( 101)
一、	水动力圈闭形成机理.....	( 101)
二、	水动力油气藏的特点和主要类型.....	( 101)
第五节	复合油气藏 .....	( 103)
一、	复合圈闭和油气藏的基本概念和分类.....	( 103)
二、	复合油气藏的主要类型.....	( 104)
第五章	油气成因理论与烃源岩 .....	( 108)
第一节	油气成因理论发展与现状 .....	( 108)
一、	油气无机成因学说.....	( 109)
二、	油气有机成因学说.....	( 109)
第二节	现代油气成因理论 .....	( 111)
一、	有机成因的证据.....	( 111)
二、	有机成因的物质基础.....	( 111)
三、	油气生成的理化条件.....	( 122)
四、	成烃演化与模式.....	( 127)
五、	油气成因理论进展.....	( 130)
第三节	天然气成因类型与判别 .....	( 134)
一、	天然气的成因类型及特点.....	( 135)
二、	天然气成因类型判别.....	( 140)
第四节	烃源岩及其评价 .....	( 143)
一、	烃源岩的概念.....	( 143)
二、	烃源岩的评价.....	( 143)
第五节	油气地球化学对比 .....	( 152)
一、	对比参数的选取.....	( 152)
二、	对比结果的解释.....	( 153)
三、	油源对比.....	( 153)
四、	气源对比.....	( 155)
第六章	石油与天然气运移 .....	( 157)
第一节	油气运移概述 .....	( 157)
一、	基本概念.....	( 157)
二、	主要内容.....	( 158)
第二节	油气初次运移 .....	( 158)
一、	初次运移的介质条件.....	( 158)
二、	初次运移的机制与模式.....	( 161)
三、	初次运移的其他问题.....	( 172)
第三节	油气二次运移 .....	( 174)
一、	二次运移的介质条件.....	( 174)

二、二次运移的机制与模式.....	( 175)
三、二次运移的其他问题.....	( 187)
第七章 油气藏形成与破坏 .....	( 190)
第一节 油气聚集 .....	( 190)
一、油气聚集方式.....	( 190)
二、油气聚集机制.....	( 193)
三、油气聚集模式.....	( 195)
第二节 油气聚集过程 .....	( 197)
一、油气充注过程.....	( 198)
二、油气混合过程.....	( 199)
三、油气富集过程.....	( 201)
第三节 油气藏形成的条件 .....	( 202)
一、必要条件.....	( 202)
二、充分条件.....	( 203)
第四节 油气藏形成时间与期次 .....	( 209)
一、地质分析方法.....	( 209)
二、储集层成岩矿物分析法.....	( 212)
第五节 非常规油气藏形成 .....	( 213)
一、深盆气藏.....	( 213)
二、煤层气藏.....	( 216)
三、甲烷水合物 .....	( 218)
第六节 油气藏的破坏与油气再分布 .....	( 219)
一、油气藏的破坏.....	( 219)
二、油气藏的再分布.....	( 222)
第八章 油气聚集单元与油气分布 .....	( 225)
第一节 含油气盆地的概念与分类 .....	( 225)
一、含油气盆地的概念 .....	( 225)
二、盆地分类概述 .....	( 226)
第二节 含油气盆地的类型与特点 .....	( 228)
一、裂陷盆地 .....	( 228)
二、压陷盆地 .....	( 230)
三、拉分盆地 .....	( 233)
第三节 含油气系统 .....	( 234)
一、含油气系统的基本概念 .....	( 234)
二、含油气系统的组成 .....	( 234)
三、含油气系统的命名 .....	( 237)
四、含油气系统的地质内涵 .....	( 238)

第四节	油气聚集带 .....	( 239)
一、	油气聚集带的基本概念和分类 .....	( 239)
二、	油气聚集带的主要类型 .....	( 240)
第五节	油气田 .....	( 246)
一、	油气田的概念及分类 .....	( 246)
二、	构造型油气田 .....	( 247)
三、	地层型油气田 .....	( 248)
四、	复合型油气田 .....	( 249)
第六节	油气分布及其控制因素 .....	( 251)
一、	油气资源概述 .....	( 251)
二、	油气分布 .....	( 253)
三、	控制油气分布的主要因素 .....	( 260)
第九章	油气资源评价 .....	( 266)
第一节	油气资源评价概述 .....	( 266)
一、	油气资源评价的概念 .....	( 266)
二、	油气资源评价的内容 .....	( 266)
三、	油气资源评价的对象 .....	( 267)
四、	油气资源评价的特点 .....	( 267)
五、	总体思路及一般程序 .....	( 268)
第二节	油气资源评价层次及其方法 .....	( 272)
一、	含油气大区评价 .....	( 272)
二、	盆地评价 .....	( 272)
三、	区带评价 .....	( 273)
四、	圈闭评价 .....	( 275)
第三节	油气资源评价系统 .....	( 276)
一、	盆地评价系统 .....	( 277)
二、	区带评价系统 .....	( 278)
三、	圈闭评价系统 .....	( 280)
主要参考文献	.....	( 282)

# 第一章 绪 论

## 第一节 石油与天然气地质学的内容

石油、天然气作为优质的能源和重要的化工原料，其产品广泛地被用于工业、农业、国防及人类日常生活的各个领域；油气工业的发展同世界各国经济有着十分密切的关系，在和平时期油气工业的发展状况代表一个国家的综合国力，而在战争时期是关系到一个国家胜败存亡的重要战略物资；鉴于天然气在环保方面所占的优势，它在世界经济发展中的重要性正在日益提高。为了更好地指导石油、天然气的勘探和开发，人们十分重视油气藏的形成及富集规律的研究，并使其发展成为一门独立的地质学科——石油与天然气地质学。

### 一、石油与天然气地质学概念

石油与天然气地质学是研究地壳中油气藏及其形成条件和分布规律的地质科学。它属于矿产地质科学的一个分支学科，是石油、天然气勘探与开发相关专业的专业理论课。

石油与天然气地质学研究的主要对象是油气藏。油气藏不仅是油气地质勘探人员从事油气勘探的直接对象，而且也是油气地质研究人员进行油气成因、运移、聚集和分布规律等油气地质理论研究的基础。石油与天然气地质学的理论和假说，均来源于实践并直接指导实践。它是根据对已知的油气藏的研究、总结出来的实践成果，并又在油气藏的勘探实践中得到检验。油气藏的研究是石油与天然气地质学的核心内容。

### 二、本课程的体系和具体内容

石油与天然气地质学的任务就是围绕油气藏这一核心，掌握油气藏的基本特征、形成原理、分布规律，用以指导油气田的调查与勘探，以便更有效地发现和探明地下油气藏。因此，课程将油气藏研究作为核心，知识体系以油气藏的基本要素 形成理论 油气分布规律 油气资源评价为主线。教材共分九章，具体内容是：首先剖析了构成油气藏的基本要素，包括油气藏中的流体成分和性质（第二章）、储集层和盖层（第三章）和圈闭和油气藏（第四章）；其次分析了油气藏形成的理论，包括油气成因理论与烃源岩（第五章）、石油与天然气运移（第六章）以及油气藏形成与破坏（第七章）；然后探讨了油气聚集单元与油气分布（第八章）；最后对油气资源评价（第九章）做了初步介绍。这样既符合人们对油气藏及其理论的认识过程，也有利于应用这些理论去指导油气勘探实践。

### 三、本课程的特点

石油与天然气地质学是一门综合性的学科，涉及的面很广。由于石油和天然气不同于其他任何矿产，有其特殊性。油气藏形成时间的漫长；油气组成成分和成烃物质的复杂性；油气本身具有流动性，其聚集地点与生成地点的不一致等等，使得油气藏的研究显得十分复杂。漫长的地质时期中发生的一切地质现象在短时间内难以再现，这就要求我们要有较强的综合分析能力和丰富的想像力。这是本课程与其他固体矿床分支学科及数理等课程之间存在较大区别之所在。

石油与天然气地质学属地质学范畴，除涉及部分相关的物理、化学基础知识外，还与较多地质基础学科相关联。它与流体力学、有机地球化学、地球物理学、构造地质学、沉积岩石学和岩相古地理学等有密切的关系。例如，有机地球化学的发展，以及色谱、色谱-质谱、红外光谱、电子显微镜和同位素分析等技术的广泛采用，为解决石油成因问题打下了良好的基础；一些重要的油气藏与河道砂、三角洲砂、浊积砂等类型沉积砂和礁密切相关，而这些类型的砂体和礁的分布受沉积体系的控制，因此，只有通过研究沉积岩石学和岩相古地理，才能确定储集岩分布的有利地带；油气地质学与构造地质学关系亦十分密切，油气的运移和聚集受盆地区域构造和局部构造条件的控制，要想成功地找到与背斜构造、断裂构造以及不整合面有关的油气田和油气聚集带，就必须深入掌握有关构造地质学的知识；为了确定储油气构造、各类沉积砂体以及生物礁等的位置和形态，常常需要借助于地球物理学中地震勘探方法的理论和技术。其中沉积学、构造地质学及地球化学等三方面的知识是学习石油与天然气地质学的重要基础。

## 第二节 石油与天然气地质学的形成和发展

石油与天然气地质学的产生、发展和不断完善始终与地质学的发展直接相关，同时与油气勘探实践紧密相随。1859年埃·德雷克先生（Edwin Drake）在美国宾夕法尼亚州首钻的油井，是近代油气勘探（或工业）的开始。在其后的最初年代，油气钻探只是选择在天然的油气苗或先期成功井附近，没有油气地质学理论的指导。

19世纪中叶，加拿大的亨特（T. S. Hunt, 1861）、美国的怀特（I. C. White, 1885）等先后提出了石油储集的“背斜学说”，使油气探井选择开始有了地质理论的指导，是近代石油地质学的开始，至今仍然具有指导意义。

20世纪初，1917年美国石油地质学家协会（AAPG）的成立和AAPG简报的出版，为石油地质学的诞生起了重要促进作用，而且至今仍是最大、最广泛、最活跃的专业学科的学术团体。埃蒙斯（Emmons, 1921）的《石油地质学》专著，是标志着石油地质学科走上独立发展道路的里程碑。在随后的几十年间，几部有重要影响的石油地质学论著相继问世，包括前苏联古勃金（Губкин, 1937）院士的《石油论》，布罗德（Бродский, 1940）的《石油与天然气矿藏》以及加拿大地质学家格索（W. C. Gussow, 1954）和前苏联学者拉宾（Лавин, 1959）对“差异聚集”原理的论述。1953年美国学者莱复生

(A. I. Levorsen) 的《石油地质学》问世，这是一部总结性的、集石油地质学各领域之大成的著作，标志着现代石油地质学理论走向系统化。

20 世纪初 60 年代，欧、美一批石油地质和地球化学家，从干酪根天然热降解和热模拟实验两个途径获得相同的结果，使有机晚期生油说发展为具有独立证据的石油成因理论，为定量计算生油潜量提供了一种可靠的新方法，在此基础上逐步深入开展沉积埋藏史、热（成熟）史、生烃史、流体压力史、排烃史的研究，进而发展为盆地规模的成藏过程的数值模拟——盆地模拟。在这一进程中，蒂索和威尔特（B. P. Tissot & D. H. Welte, 1978, 1982）合著的《石油形成和分布》、亨特（J. D. Hunt, 1979）著的《石油地球化学和石油地质学》可以说是油气地质由定性向定量化过渡时期最有代表性的卓越著作。

1980 年出版的 AAPG 地质研究第十号专辑和 1987 年出版的《沉积盆地中的烃类运移》论文集，标志着“油气运移”已成为当时油气地质研究的焦点，也是油气资源定量评价和预测研究中最薄弱的环节。20 世纪 80 年代晚期以来，沉积盆地数值模拟成为当代油气地质学领域中发展迅速的又一个活跃的前沿热点，它是新地学思维与当代计算机技术相结合的产物。它能以某种逼真度定量地再现含油气盆地形成和演化的全部动力学过程以及与之伴随的成烃、排烃和运聚过程，并模拟这些过程的时间配置关系和瞬态变化，从而把油气地质学从静态的单因素的定性描述，提升到动态的、整体化的定量模拟。它为含油气盆地早期评价提供了有效途径。借助于地震剖面资料，可早期预测生烃时间、生烃门限、生烃潜力，模拟烃类运聚过程，尤其是对于那些尚未钻探过的远景区、地表条件艰难地区或边远地区，可以应用卫星遥感信息或机载雷达进行油藏类型和资源量的先期预测。鉴于油气盆地数值模拟技术在降低勘探风险，提高勘探成功率方面所带来的巨大效益，国际石油界和跨国公司都竞相将其列入优先发展的战略性研究领域。

1990 年美国南卡罗来纳大学教授莱尔歇（Ian Lerche）和他的合作者们率先推出了专著《用定量方法进行盆地分析》。油气盆地研究的核心问题都与油气运聚的定量化有关。1991 年由马贡和道（L. B. Magoon & W. G. Dow, 1991）主编的 AAPG62 号专集“含油气系统——从烃源到圈闭”出版，标志着“含油气系统”概念形成，它同样也是油气地质定量化研究的一个重要组成部分。

新中国成立后，1951 年孟尔盛著《石油地质学》；1959 年梁布兴和潘钟祥主编《石油地质学原理》；其后北京石油学院和西北大学也编著和出版了相应教材，为我国培养一大批优秀油气地质专业人才起了重要作用。20 世纪 80 年代以来，是我国石油地质学理论高速发展时期，西北大学石油地质教研室主编的《石油地质学》1979 年由地质出版社出版发行；张万选、张厚福教授及其同事，先后于 1981 年、1989 年和 1999 年在石油工业出版社出版发行了三个版本的《石油地质学》；1983 年王尚文教授主编的《中国石油地质学》在石油工业出版社出版发行；潘钟祥教授主编的《石油地质学》于 1986 年由地质出版社出版发行；陈荣书主编的《石油及天然气地质学》于 1994 年由中国地质大学出版社出版发行。这些教材和著作反映了国内外油气地质研究的阶段性进展，适应了我国油气工业快速发展的时代要求。

在石油地质学中，一般只是将天然气当作是生油过程中的伴生物，但随着天然气勘探的深入，人们发现了大量的工业性气藏。天然气的成因具有多样性，既有有机的油型伴生

气、石油裂解气、生物成因气和煤成气，还有无机成因气。其运移聚集和保存条件也与油藏有差别。因此，20世纪80年代以来，有人主张将天然气地质学这一门新学科从石油地质学中独立出来（维索茨基，1982）。自20世纪70年代以来，国内外也出版了多部与天然气地质学有关的著作，其中，有陈荣书（1986，1989）、包茨（1988）和戴金星（1989）等，这些著作的出版发行无疑对推动这一学科的发展，起了重要的促进作用。

## 第三节 世界油气工业概况与资源现状

### 一、世界油气工业概况

世界油气工业的发展已有100多年的历史。美国油气工业生产始于1859年，100多年来，其年产量占世界总产量的一半，直到1975年才被苏联超过。据美国地质调查所统计，2000年其产量为 $4.03 \times 10^8$  t，居世界第二位。苏联的油气工业始于1873年，巴库是苏联石油工业的摇篮。第二次世界大战期间，苏联许多油田被毁，产量大幅度下降，但战后相继开发了伏尔加-乌拉尔和西西伯利亚等含油气区，产量迅速增加，1987年曾成为世界石油产量最高的国家，达到了年产 $5.78 \times 10^8$  t。但随后9年苏联石油产量下降了47%以上。由于投资增加和技术进步，俄罗斯石油产量在2000年出现了35.7%的明显增长，产量达 $3.28 \times 10^8$  t，位于沙特阿拉伯和美国之后，居世界第三位。

第二次世界大战后，中东地区的石油工业在外国资本的参与下发展很快。2000年沙特阿拉伯的石油产量为 $4.13 \times 10^8$  t，居世界第一位。伊拉克的石油产量一直有很大的不确定性。两伊战争使该国1980年和1981年产量急剧下降。在其1990年8月入侵科威特后，其石油产量受到联合国制裁的限制。随着“石油换食品”计划的不断修改，伊拉克石油产量有所增长，2000年产量达 $1.31 \times 10^8$  t。伊朗的石油产量于1974年曾达到年产量 $3.24 \times 10^8$  t的水平。由于连续的政治动荡，8年的两伊战争以及缺乏资金和技术，其石油产量下降，2000年产量为 $1.88 \times 10^8$  t，居世界第四位。中东其他国家，如阿联酋、科威特、卡塔尔和科威特/沙特中立区也有较高的产量，2000年年产量分别为 $1.14 \times 10^8$  t、 $0.9 \times 10^8$  t、 $0.35 \times 10^8$  t和 $0.3 \times 10^8$  t。其他重要的产油国家有：西非的尼日利亚；北非的阿尔及利亚和利比亚；美洲的墨西哥、委内瑞拉和巴西；北欧的挪威和英国；以及亚洲的中国、印度尼西亚和哈萨克斯坦。

### 二、世界油气资源现状

据美国地质调查所和国际能源机构统计（美国地质调查所，2000），世界石油储量的分布很不均衡。2000年全世界石油剩余储量为 $1331.89 \times 10^8$  t，大于 $10 \times 10^8$  t的国家有20个，其中中东国家和地区石油储量大约占据世界储量的1/2；其次为俄罗斯，大约占14%（表1-1）。据1998年世界《油气杂志》统计，世界石油剩余储量为 $1331 \times 10^8$  t，待探明储量 $670 \times 10^8$  t，非常规石油资源（4000~7000） $\times 10^8$  t。按现在全世界每年消费

石油  $30 \times 10^8 \text{ t}$  计算, 至少到 2040 年以前, 石油仍然是一种不可替代的优质能源。全世界 2000 年年产量上亿吨的国家有 13 个, 按产量高低顺序为沙特阿拉伯、美国、俄罗斯、伊朗、挪威、墨西哥、中国、委内瑞拉、阿尔及利亚、伊拉克、阿联酋、尼日利亚和英国; 年产量为  $(9000 \sim 3000) \times 10^4 \text{ t}$  的国家和地区有 6 个, 按产量高低顺序为科威特、巴西、利比亚、印度尼西亚、卡塔尔、哈萨克斯坦和科威特 (包括沙特中立区)。除此以外, 还有其他 70 多个国家和地区产油, 如加拿大、澳大利亚、罗马尼亚、特立尼达和多巴哥、埃及、阿塞拜疆、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、安哥拉、丹麦等, 2000 年的产量共计为  $9.28 \times 10^8 \text{ t}$ 。全世界 2000 年总产量为  $39.22 \times 10^8 \text{ t}$  (表 1 - 1)。

据 2000 年资料, 世界天然气剩余储量超过  $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$  的国家共有 16 个。俄罗斯居首位, 达  $48.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 其次是中东的伊朗、卡塔尔、沙特阿拉伯、阿联酋、伊拉克和科威特, 合计  $50.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。这些国家的可采储量占世界的 79%。中国剩余储量为  $1.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 居世界第 15 位 (表 1 - 2)。

表 1 - 1 世界已探明石油剩余储量和石油产量分布

国家和地区	石油剩余储量 $10^8 \text{ t}$	石油产量 $10^8 \text{ t}$	国家和地区	石油剩余储量 $10^8 \text{ t}$	石油产量 $10^8 \text{ t}$
沙特阿拉伯	306.94	4.13	尼日利亚	27.78	1.03
俄罗斯	190.27	3.28	哈萨克斯坦	27.78	0.35
伊拉克	108.33	1.31	挪威	22.22	1.71
伊朗	105.55	1.88	阿尔及利亚	20.83	1.60
阿联酋	81.94	1.14	卡塔尔	20.83	0.35
科威特	76.38	0.9	英国	18.05	1.00
美国	44.44	4.03	印度尼西亚	13.89	0.63
委内瑞拉	41.67	1.47	巴西	12.50	0.78
利比亚	34.72	0.71	科威特/沙特中立区	11.11	0.3
中国	34.72	1.65	其他国家	101.39	9.28
墨西哥	30.55	1.69	合计	1331.89	39.22

(资料来源: 美国地质调查所, 2000)

表 1 - 2 世界各国天然气资源概况

国家和地区	剩余储量 $10^{12} \text{ m}^3$	国家和地区	剩余储量 $10^{12} \text{ m}^3$
俄罗斯	48.1	尼日利亚	3.5
伊朗	22.9	伊拉克	3.1
卡塔尔	11.2	土库曼斯坦	2.8
沙特阿拉伯	6	乌兹别克斯坦	1.8
阿联酋	5.6	加拿大	1.7
美国	4.7	科威特	1.5
阿尔及利亚	4.5	中国	1.4
委内瑞拉	4.2	利比亚	1.3
合计		124.3	

(资料来源: 美国地质调查所, 2000)

## 第四节 中国油气工业概况与资源现状

### 一、中国油气工业概况

#### (一) 古代油气工业

我国是世界上最早发现、开采和利用石油及天然气的国家之一。据史料记载，三千多年前，中国古代已发现了天然气，两千多年前发现了石油。由于天然气比石油更易从地层中逸出，遇火即燃，因此，在历史上人们认识天然气早于石油。

我国关于天然气的文字记载，最早见于西周时代（公元前1046年—前771年）《易经》一书中。书中记述的“泽中有火”很可能是沼气或天然气在水中燃烧的现象。

发现天然气较为可靠的记载是在公元前256—前251年秦孝文王派李冰为蜀太守时，曾兴修都江堰和开凿盐井，在四川邛崃县开采盐的过程中，发现了天然气且引起了通天大火。

对石油的最早记载出现在1900多年前东汉历史学家班固著的《汉书·地理志》中。书中写道：“高奴，有洧水，可蘸”。高奴系指今陕西省延安县一带，洧水是延河的一条支流，蘸乃古代燃字。这是描述水面上的油状物可以燃烧。

公元267年晋朝张华著《博物志》详细描述了甘肃酒泉石油的特征：“酒泉延寿县南山出泉水，大如笮，注地为沟，水有肥，如肉汁，取著器中，始黄后黑，如凝膏，燃极明……彼方人谓之石漆水”。表明当时称石油为石漆水，而且已开始观察和采集，用作润滑油、燃烧、照明。

“石油”一词是北宋著名科学家沈括（公元1031年—1095年）在《梦溪笔谈》中首次提出来的。书中记述：“富延境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也。”“石油……生于水际沙石，与泉水相杂惘惘而出”。他用油烟作墨，墨光如漆，比松墨还好。他预言：“此物后必大行于世……盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭”，预见未来石油利用的广阔前景。

在历史上，石油不仅用于润滑、燃烧、照明和医药，而且也用于军事上。据《元和郡县志》记载，在公元578年，酒泉人以油烧毁突厥族攻城的武器，保全了酒泉城。北宋神宗六年（公元1073年）在京都汴梁军器监设有专门的“猛火油作”，加工石油并制作兵器。

《华阳国志》记载，在秦始皇时代，四川临邛郡（今邛崃县）人们已利用钻井开采天然气煮盐。其记载情景为“有火井，夜时光映上昭。民欲其火，先以家火投之，顷许如雷声，火焰出，通耀数十里，以竹筒盛其光藏之，可携行，终不灭也。井有二水，取井火煮之，一水斛得五斗盐，家火煮之，得无几也”。有时一口火井可烧盐锅700口。

我国是世界上最早开发天然气气田的国家。宋末元初（13世纪），已大规模开采自流井的浅层天然气。《富顺县志》描述“火井在县西九十里，深四、五丈，径五、六寸，中无盐水……”。

1835年四川自流井的兴海井深达1001.4m，日产气约5000~8000m<sup>3</sup>。1840年又钻成深1200m的磨子井，钻穿嘉陵江灰岩深部储气层，产气量达40×10<sup>4</sup>t/d以上。当时发生井喷，火光冲天，三十里外可见。

这些事实说明中国是世界文明发达最早的国家之一，我国劳动人民用自己勤劳的双手在世界石油与天然气勘探开发史上写下了不可磨灭的光辉篇章，也给我们留下了珍贵的文化遗产。

## （二）近代油气工业

中国近代油气工业可以上溯到1878年，以清政府在台湾设立中国第一个开发石油的行政管理机构——矿油局、钻成第一口近代油井作为起点，但直到1939年甘肃玉门老君庙油田的投产开发，才称得上建立了近代石油工业的初步基础。中国自从有了近代石油工业以来，已走过了120多年的历程。前70年（1878~1949年）是漫长的断续发展时期。20世纪40年代，相继发现了玉门、延长、独山子油田和四川气田。在这期间，我国许多地质学家，如李四光、谢家荣、孙健初、潘钟祥、黄汲清、翁文波、王尚文等在极其困难的条件下，对我国油气地质研究、油气田调查勘探做出了重大贡献。虽然还缺乏对当时中国油气地质条件的深刻认识，但提出了陆相沉积物中存在石油的可能性。这种认识可以看作是以后发展起来的陆相生油理论的萌芽，这一时期可以称为中国油气地质学的初创时期。

旧中国遗留给我们的是一个力量极其薄弱的烂摊子。1949年，全国只有玉门老君庙、陕北延长、新疆独山子3个小油田和四川圣灯山、石油沟2个小气田；有3个勘探处、8个地质调查队、大小钻机7台；石油职工1万多人，技术干部700人，而石油地质技术干部仅28人；油田生产单位只有玉门、延长两个，实际采油井加起来也只有33口；年产天然原油7×10<sup>4</sup>t；石油地质储量29×10<sup>6</sup>t，估算的远景石油储量仅27×10<sup>8</sup>t。

新中国的油气工业经过半个多世纪的艰苦奋斗，创造了举世瞩目的辉煌业绩。纵观新中国成立后的50多年，我国油气工业的发展大致经过了三个时期。

### 1. 恢复和发展时期（1949~1960年）

这一时期以玉门油矿为基地，在恢复生产的同时，先后在陕北、柴达木、川西北、准噶尔荒地南缘进行石油钻探，相继发现了冷湖油田、克拉玛依油田和四川天然气田。1958年，石油勘探战略东移，找油领域由传统的山前拗陷带，转移到东部覆盖沉降区。经过原地质部和石油部的大量普查工作，松辽石油勘探局于1959年9月26日在松辽盆地中部大庆长垣钻探的松基3井喷油，从而发现了大庆油田。9月27日，在吉林省境内发现了扶余油田。次年组织大庆石油会战，到当年底，探明了大庆油田的地质储量，证实其是个特大型油田。这一重大发现一举改变了中国石油工业的布局。

大庆油田的发现，使非海相沉积物生油成为无可争辩的事实，而且非海相沉积可以形成具有工业价值的油藏，乃至大庆这样的大型油田。尽管从20世纪30年代起，就有不少学者曾明白无误地提出了石油“也能够来自淡水沉积物”的观点，但是，“陆相生油”真正实现观念上的突破，将其作为石油地质学中的重大课题来加以研究，并逐步形成科学理论，则是在50年代末大庆油田发现之后才开始的。

1957年，谢家荣指出：“大陆沉积中有机物可能主要是由陆生植物分异而来的……陆

相地层才是最可能的生油层。”1959年，侯德封在探索西北地区油田形成地质条件时，指出“潮湿与干燥气候的时代转变，有利于生油层的形成”。中国科学院兰州地质研究所则提出了“内陆潮湿拗陷”说，强调了古气候条件对陆相生油的重要性。田在艺等在详细分析总结准噶尔、塔里木、鄂尔多斯、四川、柴达木、酒泉等盆地油气田形成的地质条件时，强调了长期拗陷的作用。石油科学研究院在翁文波院长的主持推动下，于20世纪60年代初期对我国陆相盆地进行了卓有成效的研究，先后出了三集《石油勘探研究报告集》（1960~1964年），强调了“深水拗陷”的作用，指出“长期的深拗陷有利于生油层的形成”、“盆地深拗陷的特征和分布，对油气的分布起着主要的控制作用”。至此，初步形成了中国陆相生油理论的基本轮廓。

## 2. 高速发展时期（1960~1978年）

大庆油田发现后不久，我国石油勘探重点转移到渤海湾盆地。其中，在1961年，东营凹陷华8井喷油，揭开了华北地区渤海湾盆地石油勘探的序幕。1963~1964年，黄骅拗陷黄3井与港5井先后获得工业油流，发现了大港油田。1964年东营凹陷坨2井获高产油流，次年又相继钻成数口日产千吨的油井，从而证实了渤海湾盆地中第一个高产大油田——胜利油田。

继胜利油田和大港油田之后，1965年7月在太平房构造首获工业油流，至1969年相继发现了兴隆台等6个具工业油流的构造，发现了辽河油田。它们的发现，有力地证明了在渤海湾盆地这样构造复杂的地质条件下，同样可以找到大油田。

1975年7月3日冀中拗陷任丘构造上的任4井喷出日产超过千吨的高产工业油流，产油层位为埋藏于第三系之下的震旦系雾迷山组（古风化壳），宣告了我国第一个古潜山类型高产油田的诞生。1975年底，地震勘探证实任丘古潜山成带分布。经过1976年会战，一举拿下古潜山油田，成为继1960年大庆油田探明之后，我国石油储量增长的又一个高峰年。

油气勘探的一系列突破，保证了石油工业的高速发展。1963年我国原油年产量达 $648 \times 10^4$ t，实现了“石油基本自给”的历史性转变，1965年突破千万吨（ $1131.5 \times 10^4$ t），1973年超过 $5000 \times 10^4$ t，1978年突破亿吨（ $1.04 \times 10^8$ t），使我国跃居世界产油大国的行列。

这一阶段高速发展的油气勘探实践，极大地推动了我国油气地质学理论的进展。大庆油田和渤海湾油气区的发现，使陆相生油理论得以确立并不断得到深化和系统化。实践证明我国陆相沉积盆地具有良好的烃源岩，生烃潜力大，这为以陆相沉积盆地为主体的我国提供了丰厚的油气资源基础。通过大庆长垣的油气勘探，总结出了一套拗陷盆地砂岩背斜油藏的勘探思路和油气聚集理论，即“源控论”。

渤海湾油气区经过近20年的勘探，总结出一套断陷盆地复式油气聚集（区）带的理论。这是中国油气地质学理论的一项重大建树和重要组成部分。在油气聚集理论方面的另一个进展便是以任丘古潜山油气藏为代表的“新生古储”潜山油气聚集理论，在渤海湾盆地油气勘探实践中创立的断陷盆地复式油气聚集（区）带理论及相应的滚动勘探、滚动开发技术为石油增储上产做出了重大贡献。

## 3. 稳定发展时期（1978—现在）

在原油产量达到亿吨以后，我国石油工业仍在稳步增长。到2000年原油产量超过