

高等学校教材

石油及天然气 地质学

陈荣书 主编

中国地质大学出版社

高等学校教材

石油及天然气地质学

陈荣书 主编

中国地质大学出版社

• (鄂)新登字第 12 号 •

内 容 简 介

本书为石油及天然气地质学,旨在阐明地壳中油气藏的基本特征、形成机制、分布规律及油气资源评价诸方面的基本原理。

本书以油气勘探获得的、充实的地质和测试资料为基础,通过实验、模拟和地质分析,重建油气盆地中油气生成、运聚、成藏的历史过程,进而探讨控制油气分布的基本因素。

根据近 10 多年来石油及天然气地质学研究进展,本书重点补充了:①与天然气有关的内容;②油气运聚、成藏方面的定性、定量研究成果;③盆地模拟和油气资源定量评价简介(第十章)。其他方面也作了相应的补充和修改。

本书可作为石油及天然气地质勘查专业及其他地学专业大学本科生教材,也可供广大油气地质工作者、地学教学人员和科研人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油及天然气地质学/陈荣书主编. —武汉:中国地质大学出版社, 1994
ISBN 7-5625-0932-8

I. 石…

II. 陈…

III. ①石油地质②天然气地质

IV. P317

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市·喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 吴巧生 责任校对 熊华珍 封面设计 王 涛

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数 420 千字

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月第 1 次印刷 印数 1—2000 册

定价: 9.40 元

前言

本书系根据部颁“石油地质学”教学大纲的基本精神,在我校负责主编的多种《石油地质学》和《天然气地质学》基础上,重点吸收80年代以来油气地质,特别是定量研究方面的成果,编写而成的新著作。

尽管早在80年代初,编者已意识到油气地质科学正逐步且迅速地由定性向定量方向发展,但限于当时还缺乏这方面的科学实践,加之编者知识水平有限,不得不放弃在1982年版《石油地质学》中增加定量研究方面内容的设想。自1985年以来,编写组的同仁们在这一方面作了不懈的努力,前后完成了10多项研究,累积了不少资料和经验。同期,国内外在这一领域的研究发展很快,发表了大量有关文献,为《石油及天然气地质学》的编写提供了十分有利的条件。

经全组同仁们2年多的努力,《石油及天然气地质学》一书的编写工作终于完成了。本书与现有《石油地质学》相比,补充以下几方面的内容:一是与天然气有关的内容;二是油气运聚,成藏方面的定性、定量研究成果;三是盆地模拟和油气资源定量评价简介(第十章)。其他各章也作了部分相应的修改和补充。总之,编者企图使这一新著向定量化方向前进一步。编者深知,这一转变可能要经历相当艰难的过程,但坚信,这个方向是正确的,只要坚持不懈地努力,使油气地质学的内容和教材水平有一个质的变化也是可能的。如果本书的出版,能对我国的油气地质研究的深化和新一代油气地质人才的培养起一定促进作用,编者将十分高兴。

参加本书编写的人有:何生(第二、五章)、徐思煌(第三、六章)、宋廷光(第八章)、张建林(第十章)和陈荣书(第一、四、七、九章)。全书由陈荣书负责统一修改和定稿。

本书编写过程中参考和引用了大量文献,因限于篇幅,在参考文献中未能全部列出,在此仅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。本书编写过程中得到教材科、出版社及校、系和教研室领导的关心和支持,书名由朱立教授题写,本书图件由校绘图室清绘。在此一并表示衷心感谢!

编者

1993年10月于武汉

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 石油及天然气地质学的内容	(1)
一、石油及天然气地质学的内容	(1)
二、课程体系和具体内容	(1)
第二节 近代油气勘探和地质研究发展概况	(1)
一、1859—1900 年为前地质原始直接找油阶段	(1)
二、1901—1925 年为地质测量找油阶段——石油地质学奠基阶段	(2)
三、1926—1960 年为地球物理勘探找油阶段	(2)
四、1961—现在为协同勘探阶段，天然气地质学逐步走向独立	(3)
第三节 世界油气资源的储、产形势和前景	(3)
一、石油的储、产形势和资源前景	(4)
二、天然气的储、产形势和资源前景	(5)
第四节 油气在能源结构中的地位和能源替代	(5)
第五节 我国近代油气工业发展概况和前景	(6)
第二章 油气藏中的流体——石油、天然气、油田水的产状和性质	(9)
第一节 石油	(9)
一、石油的概念及组成	(9)
二、石油的化合物类型及特征	(12)
三、石油的分类	(15)
四、海、陆相石油的基本区别	(16)
五、石油的物理性质	(17)
第二节 天然气	(19)
一、天然气的概念和产状	(19)
二、天然气的化学组成	(22)
三、天然气的物理性质	(24)
第三节 油田水	(28)
一、油田水的概念及产状	(28)
二、油田水的来源及形成	(29)
三、油田水的化学组成及矿化度	(30)
四、油田水的类型	(31)
第四节 油气显示	(32)
一、油气显示的概念	(32)
二、油气显示的主要类型及特征	(33)
三、油气显示的评价	(35)

第五节 油气的碳、氢稳定同位素	(35)
一、有关同位素的基本概念	(35)
二、碳、氢稳定同位素在自然界的丰度、比值、标准和 δ 值	(36)
三、碳稳定同位素的分馏作用	(37)
四、油气中的碳稳定同位素	(38)
五、油气中的氢稳定同位素	(39)
第三章 储集层和盖层	(41)
第一节 储集层的物理性质	(41)
(1) 一、储集层的孔隙性	(41)
(1) 二、储集层的渗透性	(42)
(1) 三、储集层的孔隙结构	(43)
(1) 四、流体饱和度	(45)
第二节 储集层类型	(45)
(5) 一、砂岩储集层	(46)
(8) 二、碳酸盐岩储集层	(52)
(8) 三、其他岩类储集层	(53)
第三节 储集层的模式	(54)
(8) 一、储集层的非均质性	(54)
(2) 二、储层模式	(55)
第四节 盖层	(56)
(8) 一、盖层的类型	(56)
(9) 二、盖层的封闭机制	(57)
(9) 三、盖层的评价	(58)
第四章 圈闭和油气藏	(61)
第一节 圈闭的理论和基本概念	(61)
(81) 一、圈闭的概念和分类概述	(61)
(71) 二、圈闭的现代概念和可测性标志	(62)
(81) 三、圈闭和油气藏分类	(64)
(81) 四、圈闭和油气藏的度量	(64)
第二节 构造油气藏	(67)
(18) 一、背斜油气藏	(67)
(83) 二、断层油气藏	(68)
(85) 三、裂缝性背斜油气藏	(70)
(85) 四、刺穿油气藏	(74)
第三节 地层油气藏	(76)
(18) 一、岩性油气藏	(76)
(88) 二、不整合油气藏	(80)
(88) 三、礁型油气藏	(86)
(88) 四、沥青封闭油气藏	(87)
第四节 水动力油气藏	(88)

一、水动力圈闭形成机制	(88)
二、水动力油气藏的基本特征和主要类型	(90)
第五节 复合油气藏	(92)
一、复合圈闭和油气藏的基本概念和分类	(92)
二、复合油气藏的主要类型及实例	(92)
第五章 油气成因和烃源岩	(96)
第一节 油气成因概述	(96)
一、油气无机成因说	(96)
二、油气有机成因说	(97)
三、油气有机成因的证据	(97)
第二节 沉积有机质	(98)
一、沉积有机质的生物物质	(98)
二、沉积有机质的原始生物化学组成	(98)
三、沉积有机质的形成	(99)
四、沉积有机质的分布和丰度	(100)
五、沉积有机质中的干酪根	(102)
第三节 沉积有机质的成烃演化	(105)
一、有机质的成烃演化阶段与油气生成	(105)
二、干酪根热演化成烃与热模拟实验	(108)
三、促使沉积有机质演化成烃的因素	(112)
第四节 天然气成因	(116)
一、天然气成因概述	(116)
二、生物成因气	(117)
三、油型气	(118)
四、煤型气	(118)
五、无机成因气	(120)
第五节 烃源岩	(121)
一、概述	(121)
二、有机质的数量	(121)
三、有机质的类型	(123)
四、有机质的成熟度	(126)
五、成熟度标尺和 TTI	(129)
第六节 油气地球化学对比	(131)
一、对比的意义	(131)
二、对比参数的选取	(131)
三、对比结果的解释	(132)
四、油源对比	(132)
五、气源对比及天然气成因分类	(137)
第六章 石油、天然气运移	(139)
第一节 概述	(139)

(第二节 石油、天然气的初次运移	(140)
(一、油气初次运移的介质条件	(140)
(二、油气初次运移的机理	(142)
(三、初次运移的其他问题	(147)
(第三节 油气二次运移	(149)
(一、油气二次运移的动力和阻力	(149)
(二、运移流体的势和力场强度	(151)
(三、油气二次运移的一般规律	(154)
第七章 油气藏形成	(157)
(第一节 成烃坳陷和充足油气源	(157)
(一、成烃坳陷	(157)
(二、充足油气源——油气丰度	(159)
(第二节 有利的生、储、盖组合和油气输导	(163)
(一、有利的生、储、盖组合	(163)
(二、油气输导型式	(164)
(第三节 油气聚集和有效圈闭	(169)
(一、油气聚集	(169)
(二、有效圈闭	(172)
(第四节 油气藏破坏和油气再分布	(175)
(一、关于油气藏破坏和油气再分布的概念	(175)
(二、圈闭破坏、改变引起的油气藏破坏	(175)
(三、引起油气再分布的地质作用	(175)
(四、油气藏中烃类流体的蚀变	(176)
第八章 含油气盆地、油气聚集带和油气田	(181)
(第一节 含油气盆地的概念与分类	(181)
(一、含油气盆地的概念	(181)
(二、盆地分类概述	(181)
(第二节 含油气盆地的类型与特点	(183)
(一、张性环境发育的含油气盆地——张性盆地	(183)
(二、压性环境发育的含油气盆地——压性盆地	(185)
(三、走滑环境发育的含油气盆地——拉分盆地	(187)
(四、盆地的叠加	(188)
(第三节 油气聚集带	(189)
(一、油气聚集带的基本概念和分类	(189)
(二、油气聚集带的主要类型	(189)
(第四节 油气田	(195)
(一、油气田的概念及分类	(195)
(二、构造型油气田	(196)
(三、地层型油气田	(198)
(四、复合型油气田	(198)

第九章 油气分布及控制因素	(201)
第一节 油气分布的基本统计特征	(201)
一、油气在层位上分布特征	(201)
二、油气在地域上分布特征	(202)
三、油气在深度上分布特征	(205)
四、油、气、煤分布的相关性	(207)
第二节 控制油气分布的主要因素	(208)
一、关于成烃的若干问题	(208)
二、控制盆地带油气富集的主要因素	(210)
三、控制盆内油气富集的地质因素	(210)
第十章 盆地模拟及油气资源定量评价简介	(216)
第一节 盆地模拟概述	(216)
一、盆地模拟的概念及主要内容	(216)
二、盆地模拟研究概况	(216)
第二节 盆地模拟的主要数学模型	(217)
一、介质连续性方程	(217)
二、流体流动方程	(217)
三、热流方程	(217)
第三节 盆地模拟分述	(218)
一、地质概念模型及其建立	(218)
二、构造模拟	(221)
三、热史模拟	(226)
四、生烃史模拟	(229)
五、排烃史模拟	(236)
六、油气运移聚集模拟	(237)
第四节 油气资源定量评价简介	(243)
一、油气资源的概念和分级	(243)
二、油气资源预测原理和方法	(244)
主要参考文献	(250)

因此，本书增加了第十章——盆地模拟及油气资源定量评价简介。

第二节 近代油气勘探和地质研究发展概况

油气具有独特的物理、化学性质，极易燃烧，很早就被人们所认识，并加以初步利用。但近代油气勘探和工业发展历史较晚，大致经历了以下5个阶段。

一、1859—1900年为前地质原始直接找油阶段

尽管世界许多国家的油气勘探、开发和研究有更悠久的历史，但目前比较公认1859年在美国宾夕法尼亚州所钻的钻井，是近代油气勘探（或工业）的开始。欧美各国经历第一次工业革命后，对能源的需求有明显的增长，同时累积的资金和发展的技术为油气勘探准

第一章 绪 论

第一节 石油及天然气地质学的内容

一、石油及天然气地质学的内容

被称为工业血液和黑色金子的石油，对人类社会生活各个方面具有重大意义。为了更好地指导油气资源的勘探和开发，人们特别重视油气藏及富集规律的研究，并使其发展成为一门独立的地质科学——石油及天然气地质学。

到目前为止，还没有对它给出统一的、确定性的定义。但从已出版的众多的石油（及天然气）地质学著作来看，有不同的理解。根据我国的具体条件，石油及天然气地质学的主要内容（或称定义）应是“研究地壳中油气藏及其形成条件和分布规律的地质科学”，属矿产地质科学的一个分支，是石油地质专业的专业理论课。

二、课程体系和具体内容

油气藏不仅是勘探的直接对象，而且一切有关油气成因、运移、聚集和分布规律的假说和理论都是根据对油气藏的研究总结出来的，或根据它的检验决定其扬弃。离开油气藏的研究，一切理论就将成为无源之水，无本之木。因此，本课程将油气藏研究作为基础，首先剖析构成油气藏的三个基本要素：油气藏中的流体——油、气、水（第二章）、储集层和盖层（第三章）、圈闭和油气藏（第四章），进而分析控制油气藏形成的基本因素：油气生成和烃源岩（第五章）、油气运移（第六章）以及油气藏形成的基本条件（第七章）。本书的第三部分是油气分布规律及控制因素，包括：油气盆地（第八章）和油气分布规律及控制因素（第九章）。目前我国已出版的《石油（及天然气）地质学》教材大多到此为止。考虑到 80 年代以来油气资源评价和油气地质过程的研究正向定量化方向突飞猛进，掌握这方面的知识是十分必要的。因此，本书增加了第十章——盆地模拟及油气资源定量评价简介。

第二节 近代油气勘探和地质研究发展概况

油气具有独特的物理、化学性质，极易燃烧，很早就被人们所认识，并加以初步利用。但近代油气勘探和工业发展历史较晚，大致经历了以下 5 个阶段：

一、1859—1900 年为前地质原始直接找油阶段

尽管世界许多国家的油气勘探、开发和研究有更悠久的历史，但目前比较公认 1859 年 Drake 在美国宾夕法尼亚州所钻的油井，是近代油气勘探（或工业）的开始。欧美各国经历第一次产业革命后，对能源的需求有明显的增长，同时累积的资金和发展的技术为油气勘探准

备了必要的条件, Drake 所钻油井的成功(其钻深仅 21.69m, 产油量只有 69.5l/d) 为美国新兴的资产阶级提供新的生财之道, 引起轰动效应, 全国掀起一个找油热潮, 对美国以及世界的油气勘探都起明显的促进作用。

该阶段油气勘探的基本特点是, 主要依靠地表油气显示, 直接在油气显示所在地向下钻探, 没有对地下产油的地质条件作分析研究, 也未进行较为系统的地质工作。勘探效率较低, 油气产品中只能利用煤油, 因而成本较高, 发展较慢。该阶段油、气生产国只有美、苏、中、罗、德、阿根廷、马来西亚、秘鲁、特立尼达、加拿大、澳等 12 个国家, 总计石油最高年产量仅 $2043 \times 10^4 \text{t}$ 。

二、1901—1925 年为地质测量找油阶段——石油地质学奠基阶段

该阶段由于内燃机的发明和推广(1860—1908), 石油产品得到有效利用, 对油气的需求大增。此时, “背斜学说” 已为油气勘探公司普遍所接受, 用地质测量圈定背斜构造, 同时钻井技术的进步有可能钻达较深部位保存良好的油气藏。结果, 大大加快了发现油气田的进程。第一次世界大战证明以石油产品为动力的内燃机船舰具有马力大、速度快的特点, 在战争中发挥了重要作用。有人甚至说: “盟军是由石油的浪潮送到胜利之岸的”。这就极大刺激了对石油产品的需求。战后, 各主要资本主义国家除在本土大力发展油气勘探外, 也大大加强海外殖民地的油气勘探, 发现一大批大油气田, 出现第一次发现高潮, 为迅速发展的油气工业提供了充足的资源。1917 年美国石油地质学家协会(AAPG) 成立和 Bull. AAPG 出版, 为石油地质学的诞生起了重要促进作用。1921 年 Emmons 发表的《石油地质学》一书, 就是对这阶段油气勘探成果的初步总结, 也是标志石油地质科学走上独立发展的里程碑。该阶段美国石油工业发展迅速, 到 1923 年, 石油产量达到 $1 \times 10^8 \text{t}$ 高水平。先后有近 30 个国家加入油气生产国行列。

三、1926—1960 年为地球物理勘探找油阶段

1926 年开始先用重力, 后用地震及其他地球物理方法查明地下构造, 使得覆盖区找油工作成为可能。油气勘探迅速向平原区推进, 进而逐步向沙漠、极地、海洋推进, 极大扩展油气勘探领域, 发现众多的大油气田, 使二次大战前后出现第二次发现大油气田的高潮。北非、中东、苏联的乌拉尔—伏尔加油气区和中亚—土库曼油气区、南美委内瑞拉、亚太地区的印尼诸盆地、澳大利亚诸盆地, 都是这一时期重要成果。产油气国增加到 60 多个。到 1960 年世界石油产量达 $10.7 \times 10^8 \text{t}$, 其中美国占 $3.81 \times 10^8 \text{t}$, 居首位, 中东、北非地区占 $2.63 \times 10^8 \text{t}$, 苏联占 $1.48 \times 10^8 \text{t}$ 。

由于油气勘探进展, 累积了大量新资料, 除背斜和断层圈闭外, 更多的非构造圈闭——地层、水动力和复合圈闭逐步被发现, 近代测试技术的引入使石油成因理论研究取得重大进展, 对油气藏形成和分布规律的认识不断深化。1958 年由 Weeks 编辑的 “Habitat of oil” 论文集, 较集中反映了这一时期油气勘探和地质研究成果。

这一时期出现了众多的《石油地质学》。其中尤以 Levorsen 的《石油地质学》(1954) 最为重要, 它将这一分支科学提到新的高度, 为培养两代油气地质学家和工程师作出了重要贡献。

在这一时期, 苏联油气地质研究也有很大进展, 出版了大量石油地质论著。其中 Соколов 教授的两部著作(《石油起源概念》, 1948; 《油气运移》, 1956) 博大精深, 充分反映了苏联

这方面研究所达到的科学水平。其中《油气运移》一书至今仍被广泛引用。Брод 和 Еременко 合著的《石油及天然气地质学原理》曾由原北京地质学院石油教研室译为中文作为石油地质学的教材,对我国油气地质人才的培养起了重要作用。

四、1961—现在为协同勘探阶段,天然气地质学逐步走向独立

该阶段发现油气田的难度和成本明显增加,另外勘探方法、测试技术日益现代化。为了综合利用各种技术和方法,提高勘探成功率,特别强调进行区域性综合研究和多兵种协同勘探,使油气勘探以前所未有的规模,向沙漠、极地、海洋方向推进,在陆地上则特别注意深部及复杂构造带下的隐蔽圈闭的勘探。该阶段在西西伯利亚盆地、阿拉斯加坡、麦肯齐三角洲、北海和撒哈拉沙漠都有重要油气田(区)发现,波斯湾海域和马拉开波湖区,亚太地区的澳大利亚、马来西亚、菲律宾和印尼等都有新的进展。在 70 年代,大油田发现率一度出现明显下降,80 年代后期,中东和墨西哥南部又有新的发现。在 1975 年以前,美国一直处于世界石油生产的领先地位,1975 年苏联产量达到 $4.91 \times 10^8 \text{t}$,超过美国 ($4.71 \times 10^8 \text{t}$,最高年份为 1970 年,达 $5.33 \times 10^8 \text{t}$),此后,一直领先;80 年代中开始出现石油相应过剩,限额生产。

油气勘探新进展和地质规律更深刻地揭示,加上数学、物理、化学和现代测试技术和计算机在油气地质研究各个领域得到广泛的应用,使油气地质理论更加完善,逐步由定性向定量方向发展。这一过程,首先从石油成因开始突破。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,Tissot 和 Welte (1978, 1982) 合著的《石油形成和分布》、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量化过渡时期最有代表性的卓越著作。而 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,则标志“油气运移”已成为当前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。80 年代晚期以来,众多的盆地模拟方面的文献研究表明,其核心问题都与油气运聚的量化有关。但到目前为止,还没有找到较精确的方法表述极为复杂的运聚和成藏过程。这是一个复杂的石油地质系统,或简称为石油系统(Petroleum System)。1991 年 AAPG 年会上由 Magoon 和 Dow 主持讨论的一个专题“石油系统——从烃源到圈闭”,较明显表述了这种趋向。大到全球,小到一个靶区的“石油系统”研究,将是油气地质量化的一个重要组成部分。

这一时期发展的另一特点是天然气比石油获得更快的发展,“天然气地球科学”逐步成为独立分支科学。这一时期出版的众多“天然气地质学”著作(Высоцкий, 1979, 1982; 陈荣书, 1986, 1989; 包茨等, 1988; 戴金星等, 1989),无疑对推动这一学科的发展,起了重要的促进作用。

第三节 世界油气资源的储、产形势和前景

目前世界上大约有近百个国家进行着油气勘探,其中 70 多国已成为产油气国。

油气储量一般是指探明的剩余可采储量,即探明可采储量减去采出量,它决定较近时期的生产能力和增产的限度;而待探明的储量则为该区油气工业发展前景提供依据。因此,研

究油气储、产形势和资源前景对制定能源政策有重要意义。

一、石油的储、产形势和资源前景

自 1950 年以来，无论探明剩余可采储量，还是产量都有很大增长，储、产形势如表 1-1 所示。

表 1-1 1950—1990 年石油储、产形势简表

项 目	1950	1960	1970	1979	1989
世界探明剩余可采储量 (10 ⁸ t)	186	385.4	734	797.4	1274.5
产量 (10 ⁸ t)	5.2	10.7	23.8	31.76	29.74
储/产	35.8	33.5	30.8	25.1	42.85

* 产量据 “Oil & Gas Journal”，储量据 “World Oil”

从表 1-1 可知，1950—1970 年石油产量每 10 年倍增有余，而储量的增加略低于产量增长速度，储/产由 35.8 降到 30.8；1970—1979 年探明储量增加甚少，而产量仍以较快速度增长，在不到 10 年的时间内储/产降低了 5.7；80 年代以来，供大于求，产量有所下降，而探明储量增长较快，使储/产达到前所未有的高值，一扫 80 年代初期对石油生产前景的悲观气氛。

地壳中到底有多少石油，不同专家预测的数量变化较大。

Bois 等 (1982) 估算已发现的剩余可采储量为 $1277 \times 10^8 \text{m}^3$ ，待发现为 $1522 \times 10^8 \text{m}^3$ ，合计 $2799 \times 10^8 \text{m}^3$ ，按平均密度 0.85t/m^3 计，约 $2380 \times 10^8 \text{t}$ ，最终可采储量 (加上 $636 \times 10^8 \text{t}$ 已采出) 为 $3016 \times 10^8 \text{t}$ 。今后按平均年产量 $30 \times 10^8 \text{t}$ 计，剩余可采储量仍可采 79 年。

Masters 等 (1983) 估计：已探明储量为 $1034 \times 10^8 \text{t}$ ，待发现为 $786 \times 10^8 \text{t}$ (概率为 50%)，总计为 $1820 \times 10^8 \text{t}$ (加上已采出 $636 \times 10^8 \text{t}$ ，总可采储量为 $2456 \times 10^8 \text{t}$)。按这个估计仅可采 60.7 年。1987 年在第 12 届世界石油会议上，Masters 等根据新的资料，调整了已探明储量和待发现储量，但最终可采储量没有明显的变化。

到 1990 年为止，石油累积产量已超过 $900 \times 10^8 \text{t}$ ，探明可采储量也增到 $1274.5 \times 10^8 \text{t}$ ，还有多少石油待发现呢？估计仍然是多种多样的，看来 Masters 等、Bois 等的估计可能偏低些。

Miller (1992) 在综合前人研究基础上，编制出从 1942—1986 年不同研究者对最终可采储量估算散点图 (图 1-1)。多数估计在 $2000 \times 10^8 \text{bbl}$ (或 $2778 \times 10^8 \text{t}$) 左右，最高可达 $4000 \times 10^8 \text{bbl}$ (或 $5555 \times 10^8 \text{t}$)，究竟哪个数据比较符合实际，仍有待实践的进一步检验。

近几年的油气勘探实践表明，随累积产量增加，探明可采储量也在增长，估算的待发现

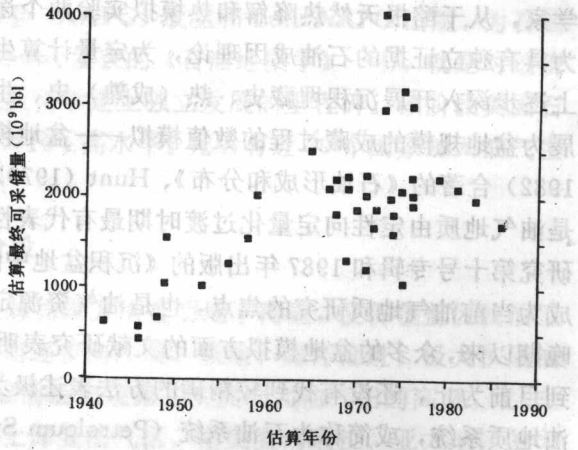


图 1-1 全球最终可采储量估计随时间的变化 (据 Miller, 1992)

① 1bbl=0.158987m³

的石油也在增长（图 1-2）。与 1978 年相比，1988 年英国石油公司估计的储量（最终可采储量），约增加了 60%。

因此，按目前开发的速度，在未来的 21 世纪内，石油供给是有充分保证的。

二、天然气的储、产形势和资源前景

天然气勘探和生产都比石油晚。50 年代开始才逐步注意非伴生气，60 年代以来才快速发展。1960 年以来的储、产形势如表 1-2 所示。

对于天然气最终可采储量的估算，也比石油研究程度低。Halbouty (1983) 认为可达 $271 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。其中已采出的仅 $37.18 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，约占 13.7%，探明 ($90.36 \times 10^{12} \text{m}^3$) 和待探明 ($143.88 \times 10^{12} \text{m}^3$) 的约占 86.4%。由于天然气勘探仍在高速发展中，对其最终可采储量的估算，一般偏低，就按油/气为 1:1，石油储量以 $3 \times 10^{11} \text{t}$ 计，天然气储量可达 $360 \times 10^{12} \text{m}^3$ （按 1t 油 = 1200m^3 气热当量计），剩余天然气按每年 $3 \times 10^{12} \text{m}^3$ 开采（1990 年产量仅 $2.1 \times 10^{12} \text{m}^3$ ），还可生产 100 余年。若按 Miller 估计，天然气最终可采储量可达 $660 \times 10^{12} \text{m}^3$ 以上，则可采 200 多年，前景更为光明。

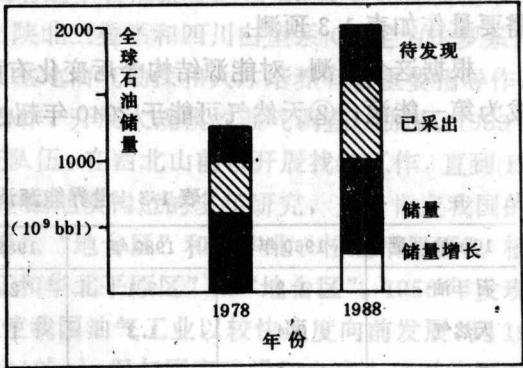


图 1-2 英国石油公司 (BP) 1988 和 1978 年对石油最终可采储量估算对比图
(据 Miller, 1992)

表 1-2 天然气储、产形势简表 (1960—1990)*

项 目	1960	1970	1978	1985	1989
探明剩余可采储量 (10^{12}m^3)	7.46	44.98	70.85	96.33	118.16
产量 (10^{12}m^3)	0.468	1.160	1.525	1.776	2.102
储/产	15.9	38.8	44.3	54.2	56.2

* 产量据 “Oil & Gas Journal”，储量据 “World Oil”

第四节 油气在能源结构中的地位和能源替代

在人类历史上，对能源需求和供给情况，已经历了 3 个替代，即工业革命前的木材、工业革命后的煤和现今的石油。石油于 1963 年超过煤而成为第三代主要能源。70 年代期间，石油探明储量增加少，而产量增加快，显得后备不足，而天然气则较充分，据此 Marchetti 等 (1979) 作出预测，认为 1990 年天然气可能超过石油而成为第四代主要能源（图 1-3）。但从 80 年代油气勘探的结果表明，Marchetti 等对石油资源的储量估计偏低，可能枯竭率估计偏快，而对天然气生产增长速度则估计偏高。在第十三届世界能源会议上（1986 年 10 月在法国戛纳举

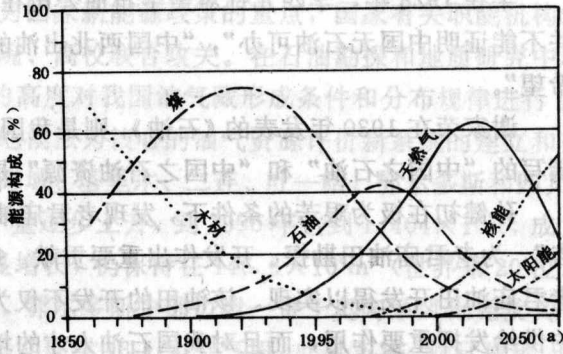


图 1-3 世界主要能源替代图示
(据 Marchetti and Nakicenovic, 1979)

行) 提出“今后能源的紧迫性”(F. U. S. E. R. 项目) 的报告, 对 1960—2060 年各种能源的需要量作如表 1-3 预测。

根据这个预测, 对能源结构今后变化有两点特别重要: ①到 2020 年前煤将重新超过石油成为第一能源; ②天然气可能于 2040 年超过石油成为仅次于煤和再生能源, 归第三位。

表 1-3 世界能源消耗的预测, “中度”发展

10 ⁹ t 油当量	1960 年	1980 年	1985 年	2000 年	2020 年	2040 年	2060 年
石 油	1.2	3.1	2.8	3.4	3.2	2.9	2.3
天然气	0.4	1.3	1.4	1.9	2.6	3.0	3.4
煤	1.3	1.8	2.1	2.9	4.6	5.8	7.0
核 能	—	0.2	0.3	0.8	1.7	2.3	2.8
可再生能	0.7	1.1	1.2	2.1	3.0	4.0	5.2
总 计	3.6	7.5	7.8	11.1	15.1	18.0	20.7

第五节 我国近代油气工业发展概况和前景

作为文明古国, 我国油气开发和利用也有悠久的历史。班固 (32—92 年) 所著汉书中就有“洧水”(即石油) 和火井的记载。13 世纪四川自流井气田已大规模开采浅层气田, 1765 年已钻达 530m, 1840 年前后所钻磨子井超过 1200m, 产气量达 $4 \times 10^5 \text{m}^3/\text{d}$ 以上, 大大领先于近代工业国。但在近代世界油气工业兴起后, 我国却一直停滞不前。

我国近代油气工业除四川开采天然气外, 1907 年开始在延长生产石油。自 1907—1949 年累计产油约 $307.5 \times 10^4 \text{t}$; 天然气产量缺乏统计, 但据自流井文献记录的盐业的规模, 估算可达 10^{10}m^3 以上。1949 年产油量仅 $12.1 \times 10^4 \text{t}$ (其中天然石油仅 $7 \times 10^4 \text{t}$), 产气量为 $1.6 \times 10^7 \text{m}^3$ 。陆上开发的只有: 延长、独山子和老君庙油田, 以及四川的自流井、石油沟、圣灯山等气田; 在台湾还有磺坑油田, 锦水、竹东、牛山、六重溪、冻子脚和竹头崎气田, 大多为小一中等油气田。

在过去艰难岁月中, 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、王尚文等都对我国石油地质研究、油气田调查勘探作出重大贡献。

早在 1928 年, 李四光针对美孚石油公司在陕北、新疆勘探失利时就指出: “美孚的失败并不能证明中国无石油可办”, “中国西北出油的希望虽然最大, 然而还有许多地方并非没有希望”。

谢家荣在 1930 年发表的《石油》, 则是我国近代石油地质研究最早论著。1936 和 1937 年撰写的“中国之石油”和“中国之石油资源”是我国石油资源评价的最早论文之一。

孙健初在极为艰苦的条件下, 发现老君庙油田, 并于 1939 年完成“甘肃玉门油田地质报告”, 为老君庙油田勘探、开发作出重要贡献。翁文波、孙越奇等经多方奔走, 筹措资金, 使老君庙油田开发得以实现。该油田的开发不仅为保障抗战时期西北地区军事、交通运输能源的供给发挥重要作用, 而且对我国石油人才的培养、石油工业发展作出重大贡献, 同样功不可灭。孙健初先生还拟定过“发展中国油矿计划纲要”(1943), 预测了 $175 \times 10^4 \text{km}^2$ 有利含油地区。

潘钟祥教授早在1936年就指出：“四川到处有适于石油聚集之构造，设某处含油稍丰，即可有成为巨大油田之希望”。1941年他明确指出陕北三叠系和四川白垩系（现定为侏罗系）中“石油的非海相成因”。这对新中国成立后在陆相盆地油气勘探和人才培养有着重要指导作用。

新中国成立后，地质矿产部、石油部分工协作，开展大规模的油气调查、勘探。1953年，国家地质总局（后为地质矿产部）筹组石油普查队伍，在西北山前带开展找油工作，直到1955年为止进展不大。李四光教授（1954）根据对中国地质构造的多年研究，充分肯定我国的含油气前景，提出3个找油方向，即“大地槽边缘”、“地台区”和“华北、松辽平原区”。根据这一建议石油普查的重点由山前带，转向“松辽和华北平原区”和“地台区”。1956年发现了克拉玛依大油田、冷湖油田和扩大了川南气区，使我国油气工业以较快速度向前发展，到1959年原油产量达到 $3.7 \times 10^6 \text{t}$ ，天然气产量约 $6.0 \times 10^8 \text{m}^3$ ，但与国家建设和众多人口对能源需求相比，油气产量和探明储量均远远落后。我国油气工业发展的转折是大庆油田的发现和开发。

松辽盆地的石油普查始于1955年。1959年在松基三井获工业油流，随即石油部组织空前规模的石油会战，只用2年多时间就基本上确定它是一个特大型油田，1960年6月1日试采并输出第一列车原油，1963年正式投产使我国原油产量大幅度上升。大庆特大油田的发现和大庆石油会战中形成的艰苦奋斗的创业精神，极大地激发了石油战线广大职工的找油热情。自60年代到70年代期间，前后发现吉林扶余、山东胜利、天津大港、华北任丘、辽宁下辽河、河南南阳和中原、江苏苏北、湖北江汉、广东三水、广西百色等新的油气田；在鄂尔多斯盆地的长庆、四川盆地以及西部的准噶尔、柴达木、塔里木、酒西盆地都有新的发现或突破，累计共发现190个油田，60个气田，已建成16个油气勘探和开发基地和10多个勘探基地，以空前的速度和规模向前发展，到1978年石油产量突破亿吨大关，1979年产油量为 $1.08 \times 10^8 \text{t}$ ，天然气为 $145 \times 10^8 \text{m}^3$ ，成为世界第九产油、气国。

业已取得的成就是辉煌的，但也暴露出一些急待解决的重大问题。

首先，由于我国油气工业起点低，国家建设和创汇急需增产更多的石油，而相应的勘探和研究明显落后于生产，后备资源不足，储/产较低，一度勘探效率出现明显下降趋势，也严重影响石油产量的继续增长，1978—1983年石油产量一直徘徊在 $1.05 \times 10^8 \text{t}$ 左右。

其次，油气生产严重失调，1979年石油产量为 $1.08 \times 10^8 \text{t}$ ，天然气产量为 $145 \times 10^8 \text{m}^3$ ，油/气为8.9（按 1t 油= 1200m^3 气热当量计）。与当时世界平均油/气为2.5相差甚远。

针对前述情况，自80年代以来，制定了以四新（新地区、新层位、新类型和新深度）为主要内容的第二轮石油普查的规划，在老油区开展二次勘探，无论新、老油气区普遍加强地质研究和勘探投入，并将天然气勘探开发作为国家新能源政策的重点，国家有关组织机构组织石油部、地质矿产部和煤炭部、中国科学院、高校联合攻关。在石油勘探和地质研究中不断引进新思想、新方法和先进技术，站在新的高度对我国油气藏形成条件和分布规律进行新的总结，特别是陆相生油理论的总结和以盆地模拟为核心的油气资源评价新系统的建立和完善，使油气勘探向纵深发展。80年代在我国海域、塔里木、二连、吐一哈、鄂尔多斯和四川、松辽南部、冀中等地都有新的发展，使石油产量逐步上升，到1990年达到 $1.404 \times 10^8 \text{t}$ ，成为世界第五位产油大国。天然气产量，没有明显增长，仍保持在 $146.6 \times 10^8 \text{m}^3$ （世界第20位），油/气进一步下降到11.5。但在80年代后期，鄂尔多斯中部边清一带于奥陶系风化壳及其下碳酸盐岩储层中发现大范围的高产气层，南海发现崖13-1大型气田，此外东海、松辽南部、四川川中向川东、川南过渡带上都发现新气田，预示我国天然气勘探和开发即将走出低谷，向好的方向发展。所有这一切，有理由对我国的油气勘探和前景保持乐观态度。

由于我国油气勘探程度仍较低,对我国油气资源前景估计众说纷纭。如果参考美国 80 年代初对油气资源的估算,其石油最终可采储量为 $333.7 \times 10^8 \text{t}$ (其中到 1980 年为止,已采出 $177.1 \times 10^8 \text{t}$, 剩余可采储量为 $42.6 \times 10^8 \text{t}$, 待探明可采储量为 $114 \times 10^8 \text{t}$ ——按概率 50% 计)。平均每平方公里沉积岩中含有 $5.214 \times 10^3 \text{t}$ 石油。我国沉积岩分布区陆地为 $45 \times 10^5 \text{km}^2$, 海上大陆架为 $12 \times 10^5 \text{km}^2$, 合计为 $57 \times 10^5 \text{km}^2$, 略少于美国的 $64 \times 10^5 \text{km}^2$ (陆上 $47 \times 10^5 \text{km}^2$, 大陆架为 $17 \times 10^5 \text{km}^2$)。按前述丰度计,最终石油可采储量可能达到 $297.2 \times 10^8 \text{t}$, 到 1990 年为止,我国已采出石油累计约 $20 \times 10^8 \text{t}$, 已探明和待探明尚有 $277.2 \times 10^8 \text{t}$ 。有的估计可高达 $300\text{—}600 \times 10^8 \text{t}$ 。因此,我国油气资源的前景是相当光明的。