

2004

THE UNIVERSITY OF

CHICAGO

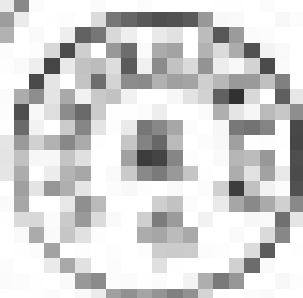
GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS

DEPARTMENT OF

MANAGEMENT

PH.D. PROGRAM

IN

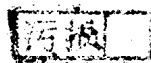


2004

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

30846

高等学校试用教材



石油地质学简明教程

陈作全 主编

地 质 出 版 社

内 容 简 介

本书的基本内容是阐述石油和天然气在地壳中形成、运移、聚集的基本原理和油气藏在地壳上的分布规律。全书除绪论外，共分九章。第一章介绍油、气、水的化学组成和物理性质。第三章介绍储集层和盖层。第二、四、五章介绍油气的生成、运移和聚集。第六章介绍圈闭和油气藏类型。第七、八章分别介绍地壳上各级油气聚集单元和盆地内油气分布及控制因素。第九章介绍油气田的调查与勘探。

本书可作为高等院校石油物探专业的教材，也可供油田开发、采油工程、地球物理测井等专业师生及从事生产和科研的人员参考。

* * *

本书由陈庸勋主审，经地矿部石油地质编委会1986年1月22日组织的评审会议审议，同意作为高等学校试用教材出版。

* * *

陈作全 王编

*

责任编辑：韩耀文

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：10⁵/₈ 字数：250,000
1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷
印数：1—3,000册 定价：1.80元
统一书号：13038·教284

前 言

随着科学技术的发展和油气田勘探的广泛实践,要求物探与地质紧密结合,互相渗透。基于此,近十年来,石油物探专业愈来愈多地将“石油地质学”作为一门必修的专业基础课,列于教学计划之中,但一直缺乏一本与之相适应的教材。为了深入教学改革、提高教学质量,地矿部石油地质专业教材编委会决定编写本书,并制定了教学大纲。本教材就是根据这个大纲、按60学时编写的。它仍以传统石油地质学的基本原理、概念和一般规律为基础,但在深度、广度和侧重点上,有所选择。在地质学和地球化学关系上,强调以地质为主。同时,根据专业培养目标的要求,在书的末尾特增补了“油气田的调查与勘探”一章。在编写过程中,注意了贯彻理论联系实际和“少而精”的原则;切实保证必要的基础理论、基本技能和基本知识;努力体现与本学科相适应的科学水平,更新教学内容和反映现代科学的新成就。

本书由三院校合编、陈作全同志主编,分工如下:武汉地质学院袁炳存同志编写第三章、蔡樨芬同志编写第六章;长春地质学院李福迎同志编写第一章;成都地质学院李世章同志编写第七、八章、朱世新同志编写第九章,陈作全同志编写绪论及第二、四、五章。

初稿完成后,曾提交评审会评审,参加评审会的有成都地质学院测试中心主任、副教授陈庸勋,西南石油地质局科学技术委员会副主任、高级工程师刘向,四川石油管理局总工程师、高级工程师包茨,西南石油学院勘探系主任、副教授韩耀文及成都地质学院有机地化教研室主任、副教授贝丰。在充分听取意见的基础上,由主编作了修改、补充,最后定稿。

本书编写过程中,曾得到石油地质专业教材编委会和地质出版社教材室的关心和指导;评审组同志提出了许多有益意见;应用了国内外许多作者的宝贵资料;责任编辑对本书的出版,付出了辛勤劳动;成都地质学院绘图室为本书绘制了插图,谨向上述各单位和同志们表示深切感谢。

限于编者的科学水平有限,书中的缺点和错误在所难免,恳切希望读者批评指正。

编者

1986.4月

目 录

前言

绪论	(1)
----------	-----

第一节 石油和天然气在国民经济中的作用	(1)
---------------------------	-----

一、石油矿产的基本特点	(1)
-------------------	-----

二、石油矿产的用途	(1)
-----------------	-----

三、石油矿产在国计民生中的作用	(2)
-----------------------	-----

第二节 世界石油产区	(3)
------------------	-----

第三节 我国石油工业	(5)
------------------	-----

第四节 石油地质学的任务、性质和内容	(7)
--------------------------	-----

第一章 石油、天然气、油田水	(9)
----------------------	-----

第一节 石油	(9)
--------------	-----

一、石油的化学组成	(9)
-----------------	-----

二、石油的物理性质	(14)
-----------------	------

第二节 天然气	(17)
---------------	------

一、概述	(17)
------------	------

二、天然气的化学组成	(17)
------------------	------

三、天然气的物理性质	(18)
------------------	------

第三节 油田水	(18)
---------------	------

一、油田水的化学组成	(18)
------------------	------

二、油田水的分类(苏林分类)	(19)
----------------------	------

三、油田水的产状	(21)
----------------	------

四、油田水的矿化度	(21)
-----------------	------

五、油田水的物理性质	(21)
------------------	------

第二章 石油、天然气的成因与生油岩	(22)
-------------------------	------

第一节 概述	(22)
--------------	------

第二节 生油的原始物质	(23)
-------------------	------

一、生油的原始物质—有机残体	(23)
----------------------	------

二、生油的原始物质—分散有机质	(25)
-----------------------	------

三、生油的原始物质—干酪根	(25)
---------------------	------

第三节 有机质向油气转化的地质环境和作用因素	(27)
------------------------------	------

一、有利于油气生成的地质环境	(27)
----------------------	------

二、有机质转化成油的作用因素	(30)
----------------------	------

第四节 有机质的演化和油气生成的阶段性	(32)
---------------------------	------

第五节 生油岩	(35)
---------------	------

一、生油岩的岩石类型	(35)
------------------	------

II

二、生油岩的有机地球化学研究	(36)
小结	(38)
第三章 储集层和盖层	(40)
第一节 储集层的基本特性	(40)
一、储集层的孔隙性	(40)
二、储集层的渗透性	(41)
三、储集层的孔隙结构	(42)
四、储集层的类型	(43)
第二节 碎屑岩储集层	(43)
一、碎屑岩储集层的孔隙类型及其影响储油物性的主要因素	(44)
二、碎屑岩储集层的沉积环境及分布	(46)
第三节 碳酸盐岩储集层	(47)
一、碳酸盐岩储集层的储集空间	(47)
二、影响碳酸盐岩储集层物性的主要因素	(49)
三、碳酸盐岩储集层的沉积环境和地理分布	(50)
第四节 盖层	(51)
第四章 石油和天然气的运移	(53)
第一节 油气运移的概念及其证据	(53)
第二节 油气的初次运移	(53)
一、油气初次运移的动力	(53)
二、油气在初次运移中的理化状态	(58)
三、油气初次运移的时间、深度、方向和距离	(64)
第三节 油气的二次运移	(65)
一、油气二次运移的概念和动力	(65)
二、二次运移的机理	(68)
三、二次运移的时期和距离	(71)
小结	(71)
第五章 油气藏的形成和破坏	(73)
第一节 油气藏的形成	(73)
一、油气在单一圈闭中的聚集	(73)
二、油气在系列圈闭中的聚集	(74)
三、圈闭及油气藏分类	(76)
四、圈闭及油气藏的度量	(78)
五、有效圈闭	(80)
六、油气藏形成时间的确定	(85)
第二节 油气藏的破坏	(87)
一、油气藏的破坏因素	(87)
二、油气藏的破坏产物—地面油气显示	(88)
第六章 圈闭和油气藏各论	(90)
第一节 构造圈闭和构造油气藏	(90)
一、背斜圈闭和背斜油气藏	(90)

二、断层圈闭和断层油气藏	(98)
三、裂缝性圈闭和裂缝性油气藏	(101)
四、刺穿圈闭和刺穿油气藏	(104)
第二节 岩性圈闭和岩性油气藏	(106)
一、概述	(106)
二、岩性圈闭和岩性油气藏类型	(106)
第三节 地层圈闭和地层油气藏	(114)
一、地层圈闭和地层油气藏的基本概念	(114)
二、不整合圈闭和油气藏类型及实例	(114)
小结	(119)
第七章 地壳上各级油气聚集单元	(120)
第一节 含油气盆地	(120)
一、盆地的概念	(120)
二、含油气盆地概念及特征	(121)
三、含油气盆地的结构	(122)
四、含油气盆地的内部构造	(125)
五、含油气盆地类型	(126)
六、我国含油气盆地概况	(131)
第二节 油气聚集带	(132)
一、油气聚集带的概念	(132)
二、油气聚集带的形成	(132)
三、油气聚集带的类型	(133)
第三节 油气田	(135)
一、油气田的概念	(135)
二、油气田类型	(135)
第八章 油气分布及控制因素	(138)
第一节 油气在时间上的分布	(138)
一、前寒武纪	(138)
二、古生代	(138)
三、中生代	(139)
四、第三纪	(140)
五、第四纪	(140)
第二节 油气在空间的分布	(141)
一、在地理上的分布	(141)
二、在区域构造上的分布	(141)
三、在局部构造上的分布	(142)
四、在储集层埋藏深度上的分布	(143)
五、在海域上的分布	(143)
六、大油气田在油气分布上的特殊重要性	(145)
第三节 油气分布的若干控制因素	(146)
一、丰富的油源	(146)
二、发育良好的储集层	(147)

三、圈闭聚集油气的实际能力	(147)
第四节 三角洲、不整合、推覆体对油气的分布和控制	(147)
一、三角洲沉积对油气的分布和控制	(147)
二、不整合对油气的分布和控制	(148)
三、推覆体对油气的分布和控制	(148)
第九章 油气田的调查与勘探	(151)
第一节 概述	(151)
一、油气田调查勘探的工作特点	(151)
二、油气田调查勘探的工作方法	(151)
第二节 油气调查勘探阶段的划分	(152)
一、普查	(153)
二、详查	(154)
三、预探	(155)
四、详探	(157)
第三节 油气勘探程序	(158)
主要参考文献	(161)

绪 论

第一节 石油和天然气在国民经济中的作用

一、石油矿产的基本特点

石油是一种可燃有机矿产。与其它矿产比较起来具有如下一些特点：

(一) 燃烧的充分性及高的热值。石油的单位发热量在所有燃料中最高(见表绪—1)。而且, 引燃容易, 燃后几无灰烬。这正合乎内燃机燃料的要求。

表绪—1 几种主要燃料的热值

燃料名称	木 柴	烟 煤	无 烟 煤	焦 炭	石 油	汽 油	天 然 气
热值(大卡*/公斤)	2000—2500	5000	6500	7000	10000	11000	7000—12000

*: 大卡 (KCal) = 4.1868KJ

(二) 比重小, 具流动性。石油的比重约相当于煤的50—60%, 加以具流动性, 不仅便于运输, 更主要的是可以大大简化机器内部转递程序(以管线输送), 提高机械效能。

(三) 开采较易, 成本低廉。石油在地下是承压的液体矿产, 通常钻井后即能自动喷出地表, 比其它固体矿产的开采简便得多。在沙特阿拉伯, 开采一桶石油所获得的利润比成本高出五十倍以上。在一些国家, 采一吨油的成本大约仅及采一吨煤的1/3。

(四) 蕴藏丰富。1985年世界石油产量为 26.74×10^8 t, 1983年在英国伦敦召开的十一届世界石油会议上, 科学家们估计已经探明和预期可开采的蕴藏量有 1030×10^9 t。按现有速度开采, 还可生产约40年, 何况, 目前还有七十多个国家和地区在积极进行油气勘探, 每年都有新的油气产地发现, 不断补充新的储量; 他们还在老的油气产地进行深层勘探, 目前, 世界钻井深度已达万米以上, 这意味着随着科学技术的进步, 在此深度范围内的油气尽管过去无法考虑, 现在则有可能被开采出来, 加以利用。

二、石油矿产的用途

由于石油与其它矿产比较起来具有如上一些独特的优点。因此, 人们广泛应用石油虽然只不过有一个世纪的历史, 但在国民经济和社会生活中却引起了巨大的变化。

石油的用途非常广泛, 汽车、轮船、火车、拖拉机、联合收割机以及推动各种机械工作的发动机都离不开它, 在这个意义上, 人们把石油喻为“工业的血液”。石油也是军事工业的重要支柱, 它为飞机、导弹、坦克、战舰提供动力能量, 现在超级大国搞宇宙飞行, 争夺星际空间, 也只有石油的优质产品问世之后才有可能。

石油作为工业原料, 是一切原料中最重要的一种。石油和天然气的产品乙烯, 是合成橡胶、合成纤维、合成塑料等三大合成材料的基本原料; 石油和天然气的另一些产品如苯、甲苯、二甲苯既是三大合成材料的重要原料, 也是医药、农药、炸药等的重要原料。

以石油为原料的石油化工产品有油漆、防锈剂、照相材料、肥皂、香水、洗涤及清洁材料；还有农田及园林用肥料，农用杀虫材料，高质量的纸张和防水纸以及可以保鲜的食品容器等几千种，广泛应用于工业部门和现代化家庭，几乎为每一个人所必需。石油化学工业是第二次大战后才发展起来的新兴工业，是当前世界上最大最重要的工业之一。

三、石油矿产在国计民生中的作用

自五十年代末，主要工业国家的主要能源完成由煤到油的过渡以来，石油便成为促进工业现代化的第三代主要能源，它在能源消费结构中的比例日益高涨（如表绪—2、表绪—3），已成为工业发达国家经济增长的主要动力。国民生产总值的增长，与能源（其中石油的比重）消费量的增长成正比。石油工业在资本主义国家的十大主要工业部门（即钢铁、汽车、石油、机械、造船、飞机、纺织、食品、化学、电器电子）中，利润最大，营业额最高。从二十世纪初开始，世界上形成了七个巨大的国际石油垄断资本组织：即美国的埃克森石油公司、莫比尔石油公司、德士古石油公司、加里福尼亚美孚石油公司、海湾石油公司，英、荷壳牌石油公司、英国石油公司。又称“七姊妹”。他们依仗着石油势力，主宰了资本主义世界贸易的一半，到了六十年代，这种统治才被逐步打破，到1978年和1979年，这七家石油公司，仍名列西方五十家最大工业公司的前九名。

表绪—2 世界能源消费构成

年 份		1900	1920	1940	1950	1960	1970	1976	1977
消费构成 (%)	煤 炭	94.2	86.7	74.6	61.1	52.1	35.2	32.4	26.92
	石 油	3.8	9.5	17.9	27.0	31.2	42.7	44.6	46.41
	天然气	1.5	1.9	4.6	9.8	14.6	19.9	20.3	18.61
	水电、地热、原子能	0.5	2.0	2.9	2.1	2.1	2.2	2.7	8.06
	总 计	100	100	100	100	100	100	100	100

表绪—3 一些国家的能源消费构成（1981年10月情况）

国 家	能源总消费量 (吨/日)	消 费 构 成 (%)					
		煤 炭	石 油	天 然 气	水力、地热	原 子 能	其 它
美 国	497 × 10 ⁴	20.5	44.9	26.9	4.1	3.5	0.1
加 拿 大	64 × 10 ⁴	9.8	39.3	17.6	29.9	29.9	3.4
墨 西 哥	23 × 10 ⁴	5.0	63.1	24.6	7.3	0	0
英 国	55 × 10 ⁴	36.9	37.0	21.5	0.6	4.0	0
日 本	101 × 10 ⁴	16.7	66.4	6.0	5.7	5.1	0.1
新 加 坡	2.4 × 10 ⁴	0	100	0	0	0	0

资料来源：联合国统计年报《世界能源供应》1977年材料取自英国石油公司统计资料不含我国

石油在国民经济和世界经济中的重要地位，以及在军事上的重要作用，决定了帝国主义和超级大国把石油资源作为对外政策的主要问题之一，而拥有丰富石油资源的第三世界国家，却把石油作为与帝国主义进行经济和政治斗争的武器。世界上靠进口石油来维持经

济运转和繁荣的，有三大地区，即美国、日本和西欧。尤其是日本，据1978年资料，它的年耗油量近 $3 \times 10^8 \text{t}$ ，几乎100%靠进口，其主要来源是波斯湾。日、美、西欧的石油消耗量为世界石油总产量的近1/2，进口量占世界石油总消费量的近1/3，而这1/3中有2/5来自波斯湾，占波斯湾总出口量的7/10。基于此，帝国主义和超级大国在波斯湾地区的争夺以及超级大国与这个地区第三世界产油国之间的控制和反控制斗争十分激烈。

石油的用途如此广泛，石油的价值如此巨大，于是人们又将石油喻为“黑色金子”。哪里有丰富的石油，那里的经济状况就将发生巨大变化。沙特阿拉伯的历程就是很好的例证，那里原来是世界上最大的荒野之一，一片沙漠，杳无人烟，无限荒凉，生活在那里的只是为数甚少（至今也不过700万）的牧民，当他们在恶劣的气候条件下艰难地生存下去的时候，从来也没有想到就在那块荒芜之地，竟然蕴藏着世界上最大的“黑金”矿。而且，这个“黑金”矿一经开发，荒芜穷困之地，便一变而成为沙漠中的乐园。现在那里有现代化的城市，世界上最大的飞机场，世界第一流的医院、街道、旅馆和用40亿美元建成的超现代化大学。人均收入1970年为478美元，到了1980年，即增长为14049美元。到1981年外汇储备已达 0.18×10^{12} 美元，石油收入已成为它的最重要的社会发展因素。

第二节 世界石油产区

现在世界上勘探和开发石油的国家和地区有七十多个，它们分属于亚洲一大洋洲、中东、欧洲、非洲和美洲。据美国《油气杂志》报道，1985年产油 $0.1 \times 10^8 \text{t}$ 以上的国家和地区共29个。年产量最高的是苏联为 $5.9525 \times 10^8 \text{t}$ ，其次是美国 $4.4595 \times 10^8 \text{t}$ 和沙特阿拉伯 $1.6477 \times 10^8 \text{t}$ 。年产油一亿吨以上的国家有七个，它们是苏联、美国、沙特阿拉伯、伊朗、英国、墨西哥及我国。世界上多年来存在的三大石油势力，即波斯湾、苏联、美国。

波斯湾即阿拉伯湾，又称海湾。位于亚洲西南部，介于伊朗与阿拉伯半岛之间，面积约 $328 \times 10^4 \text{km}^2$ ，其周围有伊朗、伊拉克、科威特、沙特阿拉伯、巴林、卡塔尔、阿拉伯联合酋长国（包括阿布扎比、迪拜、沙迦等七个酋长国）及阿曼等八个国家，全都生产石油。这里是世界上石油资源最丰富、最集中的地区。最早于1908年，在伊朗西南部，根据油苗，发现了第一个油田，即著名的麦斯杰德伊苏莱曼（Masjed-e-Suleyman）油田。之后，在波斯湾其它国家虽也有一些发现，但产量并不大，直到1932年在巴林岛找到石油后，才打开了局面。使波斯湾地区的石油工业迅速发展起来。现在已找到油气田180多个，石油产量约占全世界产量的1/3，储量约占全世界储量的1/2，在所找到的油气田中，多数分布在四个国家，即沙特阿拉伯、科威特、伊朗、伊拉克的陆地和海洋。

沙特阿拉伯面积 $240 \times 10^4 \text{km}^2$ ，其中约一半为沙漠，人口约 700×10^4 。在巴林发现石油的影响下，于1933年开始油气勘探，现共有油气田40多个，其中可采储量在一亿吨以上的就有15个，主要含油层系为侏罗系碳酸盐岩。最大的油田是加瓦尔（Ghawar），发现于1948年，产层为侏罗系，储量达 $107 \times 10^8 \text{t}$ ，是世界上最大的油田。1978年，仅此一个油田就生产原油 $2.25 \times 10^8 \text{t}$ 。其次为萨法尼亚—卡夫奇（Safaniya—Khafji）油田，发现于1951年，产层为白垩系砂岩，可采储量 $33.2 \times 10^8 \text{t}$ ，是世界上最大的海上油田。沙特阿拉伯的油田大部分是第二次世界大战后发现的，虽然石油工业发展较晚，石油的增长速度

却很快。1965年便过了亿吨大关，到七十年代和八十年代便一直处于世界第三位或第二位，成为世界上石油出口最多、外汇收入最高的国家。沙特阿拉伯不仅石油的产量巨大，而且蕴藏量十分丰富。到1983年底尚有剩余储量 $227.40 \times 10^8 \text{ t}$ ，分别为苏联和美国剩余储量的2.5倍和6倍，是世界上后备储量最充裕的国家。

科威特面积 $1.78 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，多沙漠，人口90多万，是一个很小的国家，但拥有世界上第二大油田—布尔干（Burgan）油田，其储量为 $94 \times 10^8 \text{ t}$ 。1972年产油 $1.67 \times 10^8 \text{ t}$ ，达到最高峰，以后为保护资源，控制生产，到现在尚有剩余储量 $87.53 \times 10^8 \text{ t}$ ，仅次于沙特阿拉伯，居世界第二位。就储采比而言则居世界第一位。主要含油层系为白垩—侏罗系砂岩和碳酸盐岩。

伊朗1985年产油 $1.1395 \times 10^8 \text{ t}$ 居世界产油国的第七位，主要产层为第三系阿斯玛利石灰岩、白云岩。现有油气田80多个，其中气田20多个，天然气储量达 $13.584 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，仅次于苏联，是世界上第二个天然气储量最丰富的国家。

伊拉克的石油产量也很高，拥有基尔库克（Kirkuk）和鲁迈拉（Rumaila）等特大油田，含油层系为白垩系和第三系。

苏联的产油历史悠久，第一口油井是1864年在北高加索钻凿的。之后，经过37年，到1901年找到了23个油气田，形成了两个最老的油区，即巴库油区和格罗兹内油区，产油 $1150 \times 10^4 \text{ t}$ ，曾名列世界第一，其中95%产自巴库。

第二次世界大战期间，北高加索地区被德国法西斯占领，被迫将普查勘探重点转移到俄罗斯地台东部伏尔加—乌拉尔地区，先后发现30多个油气田，形成新的产油基地，称“第二巴库”。战后又连续发现了罗马什金（Ромашкин）等大油田，使产、储量迅速增长，超过老区，到1965年，产油 $2.4 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全苏石油产量的71%。现该区共有油气田630多个，主要产油层为石炭系和泥盆系碎屑岩，主要气层为二叠系碳酸盐岩。

六十年代是苏联油气勘探取得特大丰收的年代，其突出成果是，又找到一个新油气区，即西西伯利亚。在那里，共发现油田120多个，其中储量在1亿吨以上的大油田十多个，如萨莫特洛尔（Самотлор）（20多亿吨）、苏维埃（Советское）（6亿吨）等；气田110多个，其中储量在 $0.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上的大气田近20个；储量在 10^{12} m^3 的特大气田七个，如乌连戈伊（Уренгой）（ $7.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ）、尤别连（Юбилейн）（ $1.98 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ）等。油气均产自白垩系砂岩。一个新区，在不长的时间内，发现这么多油气田和这么多大型油气田是罕见的。到1978年该区产油 $2.45 \times 10^8 \text{ t}$ 超过第二巴库，占全国石油产量的43%，成为苏联最主要的产油区。

同期在中亚等地区也有重大发现，从而使苏联的石油工业发生巨大变化，1975年石油产量一跃而超过美国成为世界第一，此后持续上升，一直保持第一，而且与第二位的美国的差距愈来愈大，到1983年已高出近 $2 \times 10^8 \text{ t}$ 。天然气的储量为 $39.62 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，遥遥领先于世界各国，约三倍于第二位的伊朗。

美国的石油工业自1859年在东部宾夕法尼亚的一个小镇—泰特斯维尔（Titusville）钻第一口油井开始，至今已有100多年的历史，油气蕴藏丰富，分布广泛。美国一共50个州，其中约40个州，都或多或少产有油气。二十世纪以前，石油的主要产地是东部阿巴拉契亚盆地及其毗邻的辛辛那提隆起，它们是美国石油工业的发源地。进入二十世纪后，特别是20—30年代引进先进技术—地球物理之后，勘探工作有很大进展，发现了几十个大型

或较大型油气藏。二次大战后，四十年代后期和五十年代前期，除继续勘探、开发陆地油田外，加强了海上勘探和边远地区勘探，取得了丰硕成果，开辟了新的主要的产油基地，即加利福尼亚区、中部地台区和墨西哥湾沿岸。包含了惠明顿(Wilmington)、长滩(Long Beach)、俄克拉何马城(Oklahoma city)、胡果顿(Hugoton)、耶茨(Yates)、东得克萨斯(East-Texas)等有名的大型油气田。

五十年代后期，油气勘探工作开始走下坡路，表现为钻井减少，探井成功率低(平均17%)。进入六十年代，储量增长停滞，局部甚至下降，而消费量却继续增长，超过生产量，使美国从一个历史上的石油出口国转变为世界上最大的进口国。

根据1977年底资料，美国共发现油气田29280个，其中油田19565个，气田9715个。它们分属于九个油气区，其中油气储量最丰富的是墨西哥湾沿岸油气区，其次为西得克萨斯油气区，再次为加利福尼亚油气区和西内部油气区。生产层较多，从寒武系至第三系均有，以第三系砂岩最重要。砂岩主要分布在墨西哥湾沿岸油气区和加利福尼亚油气区。其次为古生界，多分布在西内部油气区、东内部油气区、西得克萨斯油气区、阿巴拉契亚油气区；中生代油气层在落基山油气区、阿拉斯加油气区为主要产层。美国的石油生产一直处于世界领先地位，只是到了1975年才为苏联超过处于第二或第三。

除上述三大石油势力外，南美的墨西哥和委内瑞拉，也占有很重要的地位。自本世纪二十年代以来，它们的产油量一直处于世界前茅。

近二十年来，在东亚、北海、北非撒哈拉大沙漠以及西非尼日尔河三角洲，都陆续发现许多大油气田，从而使一些产油并不闻名的国家，如英国、尼日利亚、利比亚、阿尔及利亚以及我国，都一跃而成为世界重要产油国，大大改变了世界石油资源分布的状况。

第三节 我国石油工业

我国是世界文明发达最早的国家之一，我国劳动人民很早就发现和利用了石油和天然气。早在公元前250年，秦孝文王派李冰为蜀太守时，李冰领导劳动人民兴修都江堰和用土法凿井取盐，在凿井过程中，首次见到了天然气并引起大火。此后，人们把天然气并称为火井。这口取盐见气的井，也可说是世界上第一口天然气井。在1900年以前，我国就有了关于石油的文字记载，见于东汉历史学家班固所著的《汉书》。到了唐朝，人们把石油叫做“石脂水”。在公元十一世纪北宋时代，我国已能对石油进行加工了。当时，统治者设置的“军器监”(即管理军械的机构)下有一“猛火油作”，就是专门加工石油的。这可说是世界上最早的石油炼制和加工机构。“石油”一词也是我国最先提出的，早在800多年以前，北宋沈括在其所写“梦溪笔谈”中写到：“富延境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也”。又说：石油“生于地中无穷”，预示了石油蕴藏的丰富。西方世界把美国1859年在宾夕法尼亚州泰特斯维尔镇钻的油井称为世界上第一口油井，并以此作为世界石油工业的起点，其实我国早在公元前250年以前，李冰就发明了顿钻，到了明朝正德末年(公元1521年)，在四川的犍为、高顺一带，已能钻三、四百丈(即1050—1400m)深的井了。综上所述，我国劳动人民在油气钻井、开采、炼制等方面是有卓越贡献的。

然而后来，由于长期封建制度的束缚，石油的开采和利用，始终没有得到较大的发展。1840年鸦片战争后，更由于帝国主义的侵入，我国一步步沦为半封建、半殖民地。在

帝国主义、封建主义和官僚资本主义三座大山的压榨下，生产力的发展非常缓慢，近代石油工业，也同其它产业一样，处于奄奄一息的状态之中。旧中国从1904到1949年的45年间，仅仅发现玉门老君庙、隆昌圣灯山、巴县石油沟、新疆独山子、陕北延长等油气田6—7个，总共产油 $295 \times 10^4 \text{t}$ ，年产量最高的1943年也仅为 $32 \times 10^4 \text{t}$ 。解放前夕的1948年，还不到 $10 \times 10^4 \text{t}$ ，而进口油至少有 $200 \times 10^4 \text{t}$ 。与此同时，设备和技术力量也是很可怜的。石油地质技术人员总共才20多人，钻井工程和采油工程技术干部为数更少，钻机一共八台，而且有六台是淘汰了的顿钻。更有甚者某些外国学者发表了“中国贫油论”的观点，他们认为“亚洲腹地包括……中国大陆……几无石油蕴藏可能”，又说“中国沉积盆地多属陆相，绝不会生产大量石油”等等。在崇洋媚外的旧中国，这些论点窒息了我国石油工业的发展。

解放前，尽管有帝国主义的侵略压迫和国内反动派崇洋媚外、丧权辱国，但在石油地质战线上，也同其它战线一样，有不少爱国志士，为国家、为人民勇往直前，孙健初先生就是其中之一。他在极端困难的条件下，不畏艰险，背着干粮，骑着骆驼，翻越祁连山，成年累月工作在人烟稀少、气候恶劣的戈壁滩，终于在1939年发现了解放前我国最大的油田——老君庙，为人民做出了贡献。此外，潘钟祥、黄汲清教授等不迷信洋人，不受中国贫油、陆相地层难以生油等论点的束缚，从实际出发，于1941—1947年，针锋相对地提出了陆相生油的观点。这对以后，特别是解放后石油地质调查勘探工作的开展，有重要作用。还有王竹泉、谭锡畴、李春昱等，都对陕北、四川等地的石油地质调查，作出过很大贡献。

“没有一个独立、自主、民主和统一的中国，不可能发展工业”。大陆解放后，在党的英明领导下，石油工业得到迅速发展，只经过短短十四年，到1963年，就最后结束了一个多世纪靠“洋油”过日子的悲惨历史，实现了石油自给自足。又过了十五年，到1978年，我国石油产量便跨过了亿吨大关，进入了世界石油大国的行列。这样的发展速度，在全世界是少有的。回顾发展的进程，大致可分为三个阶段：

第一阶段：1950—1958年，调查勘探的重点，放在西部的准噶尔、柴达木、酒泉、民和、潮水、陕甘宁以及四川等盆地，这个布署是苏联专家帮助制定的。其主要依据是：

（一）这些盆地有很好的油气显示，有的甚至本身就有油气田存在；（二）露头好，背斜多，构造明显。通过勘探找到了克拉玛依、阳高寺、南充、桂花、鸭儿峡、冷湖等油气田，其中以克拉玛依油田、阳高寺气田等最重要，使产、储量成倍增长，初步形成了完整的石油工业体系。

第二阶段：1959—1978年，调查勘探重点，由西部转移到东部。首先在松辽盆地取得突破，发现了世界性的大油田——大庆油田，含油层系为白垩系，储量大，产量高，全国石油产量的一半来自该油田。接着在辽宁省的下辽河，河北省的大港、任丘、山东省的东营，湖北省的潜江，河南省的南阳等地区找到了一系列油气田，从而彻底改变了我国石油工业的落后面貌，给石油工业起飞，奠定了坚实基础。同时，石油工业的布局也更加合理了。这次调、勘上的战略大转移，完全是独立自主进行的，是我国卓越的地质学家李四光倡议的，是他创导的地质力学理论的又一次成功运用和检验。

第三阶段：始于1978年党的十一届三中全会，在这次全会上，党中央作出了把党的工作重点转移到社会主义现代化建设上来的战略决策。为建设有中国特色的社会主义，我国

实行了对外开放、对内搞活经济、实行体制改革等一系列正确政策。在大好形势下，为求得石油工业更迅速的发展，以确保2000年工、农业总产值翻两翻对石油的需要，石油工业采取以自力更生为主，积极对外开放的措施，在继续勘探原有油区的同时，大力加强海域和边远地区的勘探。我国海域处于大陆壳向洋壳过渡的地区，面积大，约为世界大陆架的 $\frac{1}{20}$ 是形成油藏的有利地区。目前，包含渤海盆地等六个盆地，已发现局部构造800多个。

据国外一些石油地质专家估计，拥有储量至少40亿吨，甚至达100亿吨以上。另外大陆上一些巨大而有远景的盆地，如塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地等，由于地处边疆，交通不便等原因，研究程度很低，亟待勘探。当然，勘探这些盆地和海域并不容易，需要更多的资金（仅海域就需400多亿美元）和更高的技术，而实行对外开放、利用外国的技术、设备和资金，将有助于问题的解决。在海域，除东海盆地外，我国已先后与美国、日本、英国、巴西等16个国家，48家公司，签订了地球物理勘测协议和合作勘探开发合同。在陆地与美国、法国等国也签订了协议，正对塔里木盆地等进行地球物理勘测。近几年，已在北部湾、海南岛南面海域，雷州半岛西面海域以及莺歌海盆地、渤海盆地、塔里木盆地找到了工业性油气藏。可以预料，不久的将来，我国东南沿海海域和西北的塔里木等盆地，将成为新的、重要的产油基地。

解放后我国的石油工业发生了根本变化，取得了辉煌成绩，每一项成绩都是党和政府英明领导的结果。这再一次雄辩地说明“只有社会主义才能救中国”。“没有共产党就没有新中国”。

第四节 石油地质学的任务、性质和内容

前面已经提到，石油在社会、政治、经济生活中，起着很重要的作用。因此，如何多、快、好、省地为国家多找油田，找大油田，就是摆在每位石油地质工作者面前的严重任务。本课程将为油气藏的调查勘探提供必要的理论基础。

石油地质学是从矿床学中独立出来的一门新兴学科，是矿床学的一个分支，它的主要内容有：

1. 石油的基本特征。石油的化学组成和物理性质。石油的伴生物—天然气及水。
2. 油气的生成。生成油气的原始物质是什么？这些原始物质是在什么环境和什么因素作用下演化为石油的。
3. 油气在地下形成以后，即处于不停地运动之中。引起油气运移的动力有哪些？油气运移时的状态如何？
4. 在一定有利条件下通过运移，油气必将由分散而聚集起来成为油气藏。导致油气聚集的条件有哪些？油气藏的类型如何？
5. 油气聚集是油气在特定条件下运移的结果，一旦这些条件被破坏，油气又将处于运移之中，油气将由聚集转化为分散。引起油气聚集破坏的因素有哪些？

总的来说，石油地质学的主要内容就是油气的生成、运移、聚集、保存及油气藏类型等基本原理。当然广义的石油地质学还应包括油气田的地质调查与勘探，以及油气田开发等地质学原理和方法、技术。考虑到物探专业培养目标的要求，本课程未涉及油田开发部

分，对油气田的调查与勘探，也只用了一章的篇幅作简要的介绍。

通过本课程的学习、学生可以学会综合运用地质、物理、化学和生物学等学科的基础理论知识，认识油气藏的形成和分布规律，明确找油方向，为油气田的调查勘探奠定理论基础，并在实际工作中，综合分析区域地质特征，科学地预测区域含油气远景。

必须指出，我们正处于一个飞跃发展的技术革命、产业革命的新时代，党和人民对我们的希望是殷切的。我们一定要树雄心、立大志，坚持科学态度，勤奋学习，努力工作，为发展我国石油工业，为国家四化建设作出自己的贡献。

第一章 石油、天然气、油田水

第一节 石油

石油是一种天然产出的、可以燃烧的有机矿产。主要成分为多种碳氢化合物（烃）的液态混合物。在地下石油中常溶有较多的天然气，也混有少量的固体颗粒和重杂原子化合物。多具芳香气味，呈油脂状，比水轻。颜色有黑、褐、棕、绿，浅黄直至透明。要评价石油的质量，首先应对其化学组成及物理性质有所认识。

一、石油的化学组成

（一）组成石油的元素和同位素

1. 组成石油的元素

石油主要由碳、氢及硫、氮、氧等元素组成。其中碳、氢占绝对优势，一般碳含量为83%—88%，氢含量占11—14%，两者总和占95%—99%，余下的硫、氮、氧总量一般还不到2—3%，个别情况下，含硫量可高达7%。除这五种元素外，现在从石油灰分中还发现33种微量元素，它们是：铁（Fe）、钙（Ca）、镁（Mg）、硅（Si）、铝（Al）、钒（V）、镍（Ni）、铜（Cu）、锑（Sb）、锰（Mn）、锶（Sr）、钡（Ba）、硼（B）、钴（Co）、锌（Zn）、钼（Mo）、铅（Pb）、锡（Sn）、钠（Na）、钾（K）、磷（P）、锂（Li）、氯（Cl）、铋（Bi）、铍（Be）、锆（Ge）、银（Ag）、砷（As）、镓（Ga）、金（Au）、钛（Ti）、铬（Cr）、镉（Cd）。其中硅、钠两种元素不是所有石油中都有。这些元素虽然种类繁多，但总量仅占石油重量的万分之几。其中最为石油地质学家重视的是钒、镍两种元素。它们含量高，分布普遍，与煤、油页岩以及某些生物灰分中所见较高含量的钒、镍相似，近来已将其用于确定生油岩相，油源对比，以及研究油气运移等问题。

2. 组成石油主要元素的同位素

在元素周期表上占同一位置，具相同质子数和不同中子数的某种元素的原子，称该元素的同位素。

同位素分稳定的和放射性的两种，自然界稳定的同位素有274种，同油气有关的有碳、氢、氮、氧、硫同位素。

碳同位素有三种，即 ^{12}C 、 ^{13}C 和 ^{14}C ，前两种是稳定的，后一种是放射性的，半衰期为5568年，它们的相对丰度如表1—1。地质学上通常应用的不是丰度的绝对值，而是它们的相对丰度，可用 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比值或 $\delta^{13}\text{C}$ 表示。 $\delta^{13}\text{C}$ 可通过 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 与标准样品的差值率进行计算。其计算为

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{样品}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}} \times 1000\text{‰}$$

为便于对比，国际上趋于使用统一的对比标准，即美国南部卡罗莱纳州白垩系箭石的碳同位素，简称PDB标准，其 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 1123.7 \times 10^{-5}$ 。