

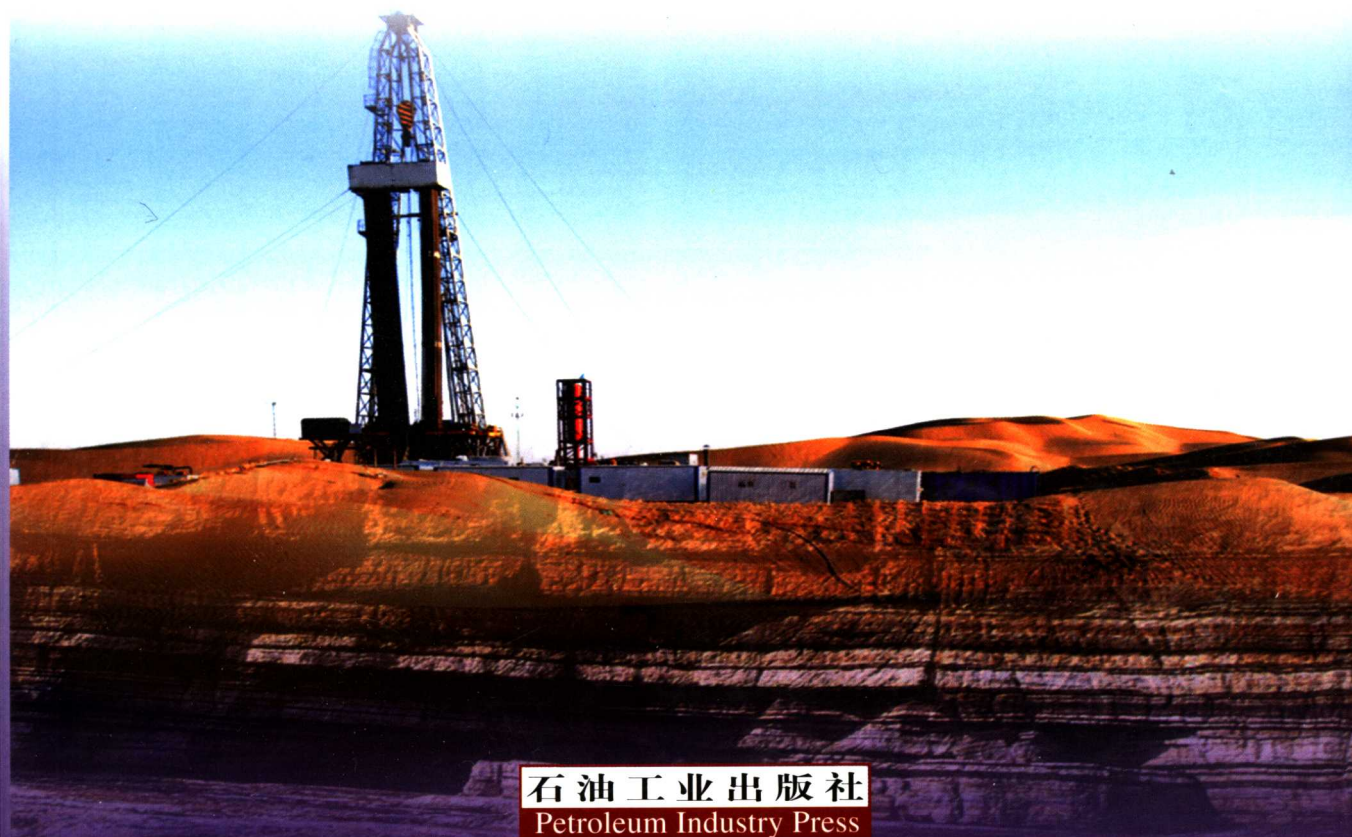


普通高等教育“十五”国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

# 石油天然气地质与勘探

蒋有录 查明 主编



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十五”国家级规划教材  
高等院校石油天然气类规划教材

# 石油天然气地质与勘探

蒋有录 查明 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书主要阐述石油和天然气在地壳中的生成、运移、聚集成藏的基本原理与分布规律,以及油气勘探的方法、程序及任务。内容体系以油气成藏原理为核心,按照油气藏形成及分布的正演顺序,从认识石油、天然气和油田水的基本特征入手,系统阐述油气成藏的静态要素烃源岩、储集层、盖层和油气生成、运移、聚集动态作用过程,重点阐述油气生成、运移、聚集成藏的基本原理,系统介绍油气藏类型、油气聚集单元及分布规律,在此基础上阐述了油气勘探的理论与方法、程序 and 任务。

本书可作为高等学校资源勘查工程、地质工程、地质学、勘查技术与工程、地球物理学等专业的教材,也可供石油工程等相关专业师生以及生产和科研单位的油气地质与勘探工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油天然气地质与勘探/蒋有录,查明主编.

北京:石油工业出版社,2006.5

普通高等教育“十五”国家级规划教材.高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 7-5021-5680-1

I. 石…

II. ①蒋…②查…

III. ①石油天然气地质-高等学校-教材

②油气勘探-高等学校-教材

IV. P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第097552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5月第1版 2006年5月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 27

字数: 686千字 印数: 1—3000册

---

定价: 36.00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

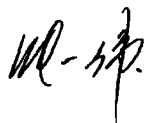
## 序

人类发现和利用石油与天然气的历史悠久，在中东、原苏联、我国四川等地都有大量的记载，并进行了小规模地开采油气。但人类大规模地寻找和开发油气，则大约只有 150 年的历史。

近代石油勘探开发工业开始于 19 世纪中叶。由于寻找油气需要理论依据，石油天然气地质学应运而生，并伴随着油气勘探实践而不断发展和完善。人类最初的找油活动主要是根据地面油气苗，19 世纪中后期提出了著名的“背斜聚油理论”，地质家们通过测量地面地质构造可以圈定地下的背斜构造，使找油减少了盲目性，大大提高了人类寻找油气的水平，也使找油工作已具有专业性特点，石油地质学家逐渐成为找油不可缺少的专业人才。20 世纪初诞生了对现代油气勘探起重要作用的地球物理方法，使人们认识到不仅背斜可以聚集油气，地层圈闭、岩性圈闭也可以聚集油气，从而形成了找油的圈闭理论。近 20 多年来，油气生成、运移和聚集理论的不段发展，提高了人们认识油气藏的水平，同时各种先进技术的应用，使人们对地下地质体的刻画和预测更加准确，在勘探程度较低的地区获得了许多重要突破，在一些勘探程度较高的地区，找到了一大批隐蔽油气藏。因此，油气勘探技术和相关学科的发展，促进了油气地质学的发展。

经过 150 年的油气勘探实践，油气地质理论和方法不断发展，已逐渐形成了日臻完善的油气地质理论，建立了系统的油气生成、运移、聚集及分布理论，这些理论和方法反映在不同时期出版的教材和专著中。如 A. I. 莱复生的《石油地质学》(1956)，R. E. 查普曼的《石油地质学》(1982 年)；北京石油学院主编的《石油地质学》(1961)，西北大学石油地质教研室主编的《石油地质学》(1979)，张万选和张厚福主编的《石油地质学》(1981)，潘钟祥主编的《石油地质学》(1986)，陈荣书主编的《石油及天然气地质学》(1994)，张厚福等编的《石油地质学》(1999) 等。出版的油气田勘探教材，如胡朝元和张一伟等编著的《油气田勘探及实例分析》(1985)，丁贵明和张一伟等编著的《油气勘探工程》(1997 年) 等。这些教材为培养我国大量油气地质及勘探专业人才发挥了重要作用。20 世纪 80 年代以来，国内出版了一批天然气地质学教材和专著，如包茨主编的《天然气地质学》(1988)，戴金星等主编的《中国天然气地质学》(1992) 等。这些教材和专著为发展我国天然气地质学和人才培养发挥了重要作用。

由中国石油大学(华东)蒋有录和查明主编的《石油天然气地质与勘探》将原来分属于《石油地质学》和《油气田勘探》两本教材的内容统一起来，即将油气藏形成及分布的基本油气地质理论与如何应用这些理论去寻找油气田实践结合起来，统一到一本教材中，并综合了前人同类教材的成果，吸收了近 10 多年来油气地质及勘探方面的新进展，加强了天然气地质方面的内容，具有一定特色。该教材可作为高等院校资源勘探类专业本科生和研究生的教材，也可供广大油气地质及勘探工作者参考使用。



# 前 言

油气藏的形成是发生在地质历史中的事件，我们今天要经济、有效地寻找到这些深埋地下的油气矿藏，需要油气地质理论作为指导，搞清油气在地壳中的分布规律，同时还需要先进的勘探技术手段。那么地壳中的油气藏是如何形成及分布的？我们通过何种方法才能有效地找到这些油气藏？这就是本书要回答的主要问题。本教材主要阐述了油气在地壳中的生成、运移、聚集成藏的基本原理与分布规律，以及油气勘探的方法、程序和任务，核心内容是油气成藏原理。

本教材的内容体系遵循油气藏形成及油气勘探的“正演”顺序，即围绕油气藏的形成、分布及油气勘探这一主线，按照事物发生、发展的顺序展开论述。教材主要内容分为九章，并建立了以下体系：首先从认识石油、天然气和油田水的基本特征入手；之后讨论石油和天然气的成因，以及生成、储存和封盖油气的烃源岩、储集层和盖层；然后重点阐述油气的运移、聚集与油气藏形成的基本原理；之后介绍油气聚集的最基本单元油气藏及其特征，以及油气田、油气聚集带、含油气盆地，油气在地壳中的分布规律及控制因素；在系统阐述了含油气盆地油气藏形成及分布规律的基础上，最后介绍油气勘探的方法、程序和任务。

石油天然气地质学是矿床学的一个分支，是在石油和天然气勘探及开采的大量实践中总结出来的一门新兴学科。20世纪中叶以来，国内外学者出版了一系列石油天然气地质学及勘探方面的教材及专著。本教材是在参考和综合了国内外代表性教科书基础上，同时补充了国内外油气地质及勘探方面的新进展和作者的科研成果编写而成的。主要参考的代表性教科书包括：张厚福等编（1999）的《石油地质学》，陈荣书主编（1994）的《石油及天然气地质学》，张一伟编（1981）的《油气田勘探》（内部），胡朝元和张一伟等编著（1985）的《油气田勘探及实例分析》，丁贵明和张一伟等编著（1997）的《油气勘探工程》，A. I. 莱复生（1967）的《石油地质学》等。本教材将原来分属于《石油地质学》和《油气田勘探》两本教材的内容统一起来，即将油气地质学原理和油气勘探统一到《石油天然气地质与勘探》一本教材中。

本教材被列为普通高等教育“十五”国家级规划教材。由中国石油大学（华东）蒋有录教授和查明教授主编。教材的申请立项、编写大纲及各章节内容体系安排、编写组织工作由蒋有录负责。具体编写分工如下：前言、绪论、第五章和第六章由蒋有录编写；第一章由谭丽娟编写；第二章由任拥军编写；第三章由张立强编写；第四章由张卫海编写；第七章由王纪祥编写；第八章和第九章由查明编写。全书由蒋有录审查定稿。

承蒙我国著名石油地质学家、中国石油大学张一伟教授为本书作序，他对我们编者给予了鼓励和鞭策，在此表示衷心的感谢！刘华、张小莉、鲁雪松、曲江秀、陈涛、蔡东梅等参加了本教材的资料收集整理及图件清绘和文字校对工作，在此表示感谢。

本教材采用了新的体系，尽管作了很多努力，但由于编者水平有限，书中错误在所难免，敬请专家和读者批评指正。

编 者

2005年12月

# 目 录

绪论	( 1 )
第一节 石油和天然气在现代社会中的地位	( 1 )
第二节 人类利用石油和天然气的历史	( 2 )
第三节 近现代油气地质与勘探发展简况	( 3 )
第四节 油气地质与勘探的任务及主要内容	( 10 )
第一章 石油、天然气及油田水的基本特征	( 12 )
第一节 石油	( 12 )
第二节 天然气	( 31 )
第三节 油田水	( 36 )
第四节 油气中的稳定同位素	( 40 )
思考题	( 42 )
第二章 石油和天然气的成因	( 43 )
第一节 油气成因概述	( 43 )
第二节 生成油气的原始物质	( 48 )
第三节 有机质演化生烃的影响因素与模式	( 60 )
第四节 天然气的成因类型及特征	( 68 )
第五节 烃源岩评价	( 78 )
第六节 油源对比	( 90 )
思考题	( 95 )
第三章 储集层和盖层	( 97 )
第一节 储集层的岩石物性参数	( 97 )
第二节 碎屑岩储集层	( 103 )
第三节 碳酸盐岩储集层	( 116 )
第四节 特殊岩类储集层	( 124 )
第五节 盖层的类型及其封盖机制	( 128 )
思考题	( 135 )
第四章 石油和天然气的运移	( 136 )
第一节 油气运移的概念和研究内容	( 136 )
第二节 油气初次运移	( 140 )
第三节 油气二次运移	( 159 )
第四节 油气运移研究方法	( 173 )
思考题	( 183 )
第五章 油气聚集与油气藏的形成	( 184 )
第一节 圈闭与油气藏的概念及度量	( 184 )
第二节 油气聚集原理	( 188 )

第三节	油气藏形成的基本地质条件	(196)
第四节	油气藏的保存、破坏与再形成	(206)
第五节	油气藏形成时间的确定	(211)
第六节	凝析气藏的形成	(216)
第七节	气藏与油藏形成及保存条件的差异	(220)
第八节	非常规气藏的形成特征	(224)
第九节	三场与油气藏形成的关系	(233)
	思考题	(245)
<b>第六章</b>	<b>油气藏的类型及特征</b>	(246)
第一节	概述	(246)
第二节	构造油气藏	(250)
第三节	地层油气藏	(270)
第四节	岩性油气藏	(280)
第五节	水动力油气藏	(289)
第六节	复合油气藏	(290)
	思考题	(293)
<b>第七章</b>	<b>油气聚集单元与分布规律</b>	(294)
第一节	油气田	(294)
第二节	油气聚集带及含油气区	(299)
第三节	含油气盆地	(302)
第四节	含油气系统	(316)
第五节	我国及世界油气资源分布特点	(321)
第六节	油气分布的控制因素	(329)
	思考题	(335)
<b>第八章</b>	<b>油气勘探的理论与方法</b>	(336)
第一节	油气勘探的理论	(336)
第二节	油气勘探方法	(345)
第三节	油气资源评价方法概述	(352)
第四节	盆地模拟技术	(358)
第五节	我国油气勘探的前景领域	(365)
	思考题	(372)
<b>第九章</b>	<b>油气勘探的程序和任务</b>	(373)
第一节	油气勘探的程序	(373)
第二节	区域勘探	(378)
第三节	圈闭预探	(386)
第四节	油气藏评价勘探	(401)
第五节	滚动勘探开发	(411)
	思考题	(418)
	<b>参考文献</b>	(419)

# 绪 论

## 第一节 石油和天然气在现代社会中的地位

能源是现代工业生命的基础，并广泛地影响着经济。石油和天然气作为一种重要的能源和战略资源，在现代社会中越来越显示其重要性，在世界各国经济发展中都占有非常重要的地位，并已渗透到人类生活的方方面面。近几年来，世界油气价格的大幅上涨，使石油和天然气这种战略资源更为各国所重视。许多国际争端，尤其是像中东这样的富油气地区，无论是以何种理由发动战争或引起纠纷，其真实意图都与争夺巨大的油气资源有关。

石油和天然气在我国国民经济中占有举足轻重的地位。我国在大庆油田投入开发前一直需要进口石油。随着大庆油田的开发，自产石油除自足外还能出口赚取外汇。20世纪80年代中期石油创汇曾是我国外汇的主要来源，1985年石油创汇占全国出口创汇总额的26.9%（石宝珩，1999）。近20年来，我国实行改革开放政策，国民经济获得了快速发展，对石油和天然气的需求也随之增加。虽然我国石油产量每年仍有所增长，但已不能满足经济快速发展的需求。1993年以后，我国石油的进口量逐年上升，由出口国变为石油的净进口国，目前进口石油已占到我国石油消耗量的近40%，而且这种短缺情况还有继续加大的趋势。因此，我国的石油安全问题已提到重要议事日程，政府十分重视石油和天然气这一战略问题，制定了各种措施促进石油和天然气工业的发展。

石油是现代工业的血液，从石油中提炼的汽油、煤油、柴油等是优质动力燃料。石油和天然气具有发热量大、燃烧完全、运输方便、空气污染小等优点，这使油气在世界能源消费结构中所占的比例越来越大。据统计，从1950年到2003年，世界能源消费结构发生了很大变化，煤炭、石油、天然气、水电和核能所占能源消费的比例分别从1950年的61.2%、26.9%、10.1%和1.8%变化为2003年的26.5%、37.3%、23.9%和12.3%，煤炭所占比例大大降低，而石油和天然气所占比例显著增大（表0-1）。不同国家或地区能源构成不同，经济越发达地区，石油和天然气所占能源消费的比例越高，如2003年，北美、欧洲地区的能源消费中，油气所占比例分别为65.3%、66.8%，煤炭只占20%左右。相比之下，我国的能源消费结构仍然以煤炭为主，油气约占能源消费比例的1/4。但从全球来说，石油和天然气无疑已成为最重要的能源，而且与煤相比，其重要性还在日益增加。

石油又是重要的润滑油料，从微小精密的钟表到庞大高速的发动机，都需要润滑才能转动，所以人们将润滑油料视为机器的“食粮”。

石油和天然气还是非常重要的化工原料，乙烯、丙烯等化学工业应用的主要基础原料多来自石油和天然气。作为化工原料，石油和天然气更体现出它们的价值。目前已从石油中提炼出3000多种产品，应用到各个领域。由石油和天然气为原料生产的品种繁多的石油化工产品，是国民经济不可缺少的重要材料。

由于人类对环保的要求越来越高，天然气作为更洁净、更高效的能源正越来越受到世界各国的重视。据专家预测，21世纪上半叶，天然气将逐渐取代石油成为第一能源。



表 0-1 世界及我国能源消费结构变化

年 份	煤炭,%	石油,%	天然气,%	水电和核能,%
1950	61.2	26.9	10.1	1.8
1960	49.9	33.0	14.9	2.1
1970	34.9	42.9	19.8	2.4
1980	30.6	44.1	21.8	3.5
1995	27.2	39.7	23.1	10
2003	26.5	37.3	23.9	12.3
2003 (中国)	68.3	22.9	2.7	6.1

注：数据来自 BP Statistical Review of World Energy, June 2004；中国数据来自国家统计局。

## 第二节 人类利用石油和天然气的历史

石油和天然气是人类为了各种目的而最早利用的矿产之一。早在人类开始利用金属和煤以前，人类就已开始利用石油。世界上关于石油利用和开采的记载最早见于公元前 40 年左右用楔形文字写的美索不达米亚藏书中，以及埃及金字塔中用象形文字写的书中（H. 贝克曼，1984）。

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。最早的石油记载见于班固著《汉书·地理志》：“高奴，有洧水，可醺。”高奴系指今陕西省延安县一带，洧（音渭）水是延河的一条支流，醺乃古代燃字。这是描述水面上有像油一样的东西可以燃烧。可见早在近 2000 年前我国就发现了能够燃烧的陕北石油。由于天然气比石油更易从地层中逸出，遇到野火、雷鸣就会燃烧，因此，在历史上认识天然气早于石油（张厚福等，1999）。

科学术语“石油”是北宋著名科学家沈括在《梦溪笔谈》中首次提出的：“鄜延境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也。”“石油……生于水际沙石，与泉水相杂惛惛而出”。沈括在描述了陕北富县、延安一带石油的性质和产状后，进一步推论了石油的利用远景：“此物后必大行于世，……盖石油至多，生于地中无穹，不若松木有时而竭。”

在人类历史上，石油在照明、医药、宗教、建筑、军事等方面都起过重要作用。在不同的时期，石油具有不同的用途。考古学家在近东挖掘出的古老城镇、教堂和坟墓中，发现了大量当时人们借助于石油和沥青做成的日常生活用品，提供了古代利用石油的一些证据。如从埃及坟墓中曾发掘出一些用富含多硫化物的石油保存下来的木乃伊（H. 贝克曼，1984）。

几千年来，人们一直用中质和较轻质的石油来照明。几乎在所有的国家都可以看到各种不同形式的小型陶制油灯，而且常常用石油作为燃料。直到现在，在那些没有电的偏僻乡村仍在使用类似的煤油灯。但自从电灯发明以来，碳氢化合物用于照明的重要性就变得微不足道了。

某些石油含有防腐的硫化物，也就是含有杀菌的硫化物。甚至在现代药店中都在出售许多由多硫化物制成的药，它们可以医治皮肤病及其他疾病。至今仍有很多的药和药水是用石油制造的。石油在医药方面的应用，目前首先是药品的包装器材，而不是药品，大部分装药瓶和管都是由一些用石油或天然气生产的塑料物质制成的。现代石油工业的分支之一是用石油或天然气生产食品，尽管还存在一些困难，但将来一定会利用石油碳氢化合物生产出大量

食品，尤其是蛋白质（H. 贝克曼，1984）。

在历史上，石油不仅用于润滑、照明、燃烧和医药，而且很早就用于军事上，石油与战争有着密切关系。我国《元和郡县志》记载，公元576年，酒泉人民用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”，加工石油制作兵器。世界上最早的一批燃烧弹是由石油、硫磺和类似物质组成的。这种装在陶器瓶或玻璃瓶中的混合物用手掷出去，当碰着水或湿气时就会突然燃烧起来，其最重要的用途是攻击船只和城镇。起先，这些燃烧弹是手投掷的，后来，这类燃烧弹改为用抛弹机和投射器来发射，这种武器就成了杀伤力很大的武器。第一次世界大战中，士兵们使用了一种称为火焰喷射器的武器，它是由装有石油的钢瓶和另外一个含有压缩氧气的钢瓶组成。在第二次世界大战期间，曾有成千上万的平民被装有苯和磷的燃烧弹杀害。军事工业在这方面的新“成就”是胶化汽油弹，其中除石油和磷之外还含有金属粉末，这是一种真正的大规模杀伤性武器。另一方面，如果没有石油供给汽车、卡车、坦克和飞机，就不可能进行现代化的战争。

石油和天然气曾与中东国家拜火教徒的宗教信仰有密切的联系，拜火教徒的名字就是因为其教堂中具有永不熄灭的火而得来的。这些“永恒之火”实际上就是天然气苗。拜火教的祭司们必须使火总是在燃烧着，他们常常用石油或天然气来达到这个目的。古代的旅行者曾报道过这样的教堂——这些教堂用铅制导管从几百米外的油苗处引来天然气点火。所以由此看来，拜火教的祭司们是几千年以前最早能够用下套管和安装井口装置的方法来完成气井以及建造天然气管线的人们（H. 贝克曼，1984）。

我国四川劳动人民最早利用天然气煮盐在世界上都是闻名的。晋朝常璩（音渠）在《华阳国志》中记载了2200年前（公元前221年—公元前210年）的秦始皇时代，四川临邛县郡（即今邛崃县）西南劳动人民钻井开采天然气煮盐的情景：“有火井，夜时，光映上照。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，可拽行终不灭也。”有时1口火井可烧盐锅700口。随着天然气煮盐，促进了我国钻井技术的迅速发展。公元前256年—公元前251年，李冰为蜀守时发明了顿钻，并在四川广都成功地钻成了第一口采盐井。至公元前221年—公元前210年，四川邛崃出现了用顿钻钻凿的天然气井（张厚福等，1999）。

到了近现代，石油和天然气主要用做工业用途，由石油和天然气提炼或作为原料制成的各种产品转化为工业和民用产品。19世纪后半叶，人们从石油中提炼煤油点灯照明，称为石油工业发展缓慢的“煤油时代”。20世纪初，内燃机的广泛使用促进了石油工业蓬勃发展，从1900年—1940年，石油主要用于提炼汽油，可称为“汽油时代”。1940年后，化学工业的发展需要利用石油产品作为基础原料，提炼出的3000多种产品渗透到国民经济的各个领域，同时石油和天然气及其产品还是世界各国的动力燃料，在世界能源消费结构中已占60%~70%。所以现代石油工业已发展到“燃料和化工原料时期”。

### 第三节 近现代油气地质与勘探发展简况

人类发现并利用石油和天然气的历史悠久，但真正有意识地、较大规模地寻找和开发油气，则只有近两百年的历史。19世纪中叶，近代石油工业诞生，标志着人类大规模勘探、开采石油和天然气的开始。人类最初利用油气苗寻找油气，后来提出了经典的“背斜学说”；

到 20 世纪初, 诞生了对现代油气勘探起重要作用的地球物理方法, 油气地质理论和方法不断发展完善, 指导油气勘探活动的理论——油气地质学也获得了突飞猛进的发展。回顾近现代油气勘探与油气地质学发展历史, 对认识现代油气地质与勘探理论有重要意义。

## 一、我国近现代油气勘探与油气地质理论发展简况

### (一) 新中国成立前的油气勘探简况

我国是世界上最早开发气田的国家, 四川自流井气田的开采约有 2000 年的历史。《自流井记》关于“阴火潜燃于炎汉”的报道表明, 早在汉朝就已在自流井发现了天然气。据《富顺县志》记载, 晋太康元年(公元 280 年)彝族人梅泽在江阳县(今富顺自流井)发现石缝中流出泉水, “饮之而咸, 遂凿石三百尺, 咸泉涌出, 煎之成盐”。

宋末元初(13 世纪), 已大规模开采自流井的浅层天然气。1840 年钻成磨子井, 在 1200m 深处钻达今三叠系嘉陵江统石灰岩第三组深部主气层, 强烈井喷, 火光冲天, 号称“火井王”, 估计日产气量超过  $40 \times 10^4 \text{m}^3$ , “经二十余年犹旺也”(见《自流井记》)。从汉朝末年大规模开采天然气煮盐以来, 四川自流井地区共钻井数万口, 采出了几百亿立方米天然气和一些石油。这样长的气田开采历史在世界上也是罕见的(张厚福等, 1999)。

近代世界石油工业诞生以前, 我国在认识、利用和开采石油及天然气资源方面一直走在世界前列, 积累了丰富的知识和宝贵的经验。但在 19 世纪中叶近代石油工业诞生以后至新中国诞生前的 100 年时间, 与其他民族工业一样, 我国的油气勘探开发工业发展极为缓慢, 远远落在了西方国家后面。加上当时国外一些地质家以惟海相生油论对中国陆相盆地含油气远景的错误推论, 认为中国贫油, 大大影响了我国油气勘探的进程。我国长期依赖“洋油”的历史直到发现大庆油田后才得到改变。

中国近代石油勘探从 1878 年台湾省钻探第一口油井开始, 已有近 130 年的历史。借助于国外技术力量, 1878 年清政府在台湾省苗栗打了中国第一口油井, 1907 年在陕西延长打成了中国大陆的第一口油井(延 1 井), 1909 年在新疆独山子开凿油井。1913 年美国某公司组成调查团到我国陕西、山东、河南、河北、甘肃、东北等地进行首次石油地质调查, 并于 1914 年在陕北打井 7 口, 均未获工业油流。1922 年 2 月, 美国地质家 E. Blackwelder 撰写论文《中国和西伯利亚石油资源》指出: “中国没有中、新生代海相沉积, 古生代沉积也大部分不生油, 除了中国西部、西北部某些地区外, 所有各个年代的岩层都已剧烈褶皱、断裂, 并或多或少被火成岩侵入。因此, 中国绝不会生产大量石油。”从此, 中国贫油论在世界传播(张文昭, 1999)。

1937 年抗日战争爆发, 石油来源断绝, 国民党政府不得不自己加紧勘探、开发石油。1938 年冬, 孙健初等一行 9 人骑骆驼顶寒风, 在戈壁滩上开始石油勘探, 地质人员在酒泉盆地和河西走廊地区进行地质普查、构造细测, 于 1939 年 8 月 1 日, 1 号井钻至 88.18m 获工业油流日产油 10t, 发现了老君庙油田。

20 世纪 40 年代, 中国地质学家李四光、谢家荣、翁文灏、翁文波、潘钟祥、黄汲清等通过亲身的地质考察和勘探实践, 指出中国石油勘探前景广阔。在一系列勘探实践的基础上, 中国石油地质理论开始萌芽。如 1941 年潘钟祥在美国石油地质协会会志(AAPG)发表《论中国陕北和四川白垩系陆相生油》的论文; 1947 年黄汲清、翁文波等提出“陆相生油, 多期、多层含油的理论”; 1948 年翁文波撰写了《从定碳比看中国石油远景》。这些杰出的地质学家开创了中国和世界陆相生油理论, 为我国陆相盆地油气勘探提供了坚实的理论基础。

但在新中国成立之前,我国在石油勘探和开发方面的基础极其薄弱。到1949年,除台湾省外,全国只有玉门老君庙、陕北延长和新疆独山子3个小油田,以及四川自流井、圣灯山、石油沟3个小气田;8个地质调查队,大小钻机只有7台;石油职工 $1.1 \times 10^4$ 人,各类技术人员仅有623人,地质技术人员只有28人,油田生产单位只有玉门、延长两个,1949年产原油 $12 \times 10^4$ t,最高年产石油 $32 \times 10^4$ t(1943年)。从1904年到1949年,累计生产原油不超过 $310 \times 10^4$ t,而同期进口洋油 $2800 \times 10^4$ t。

## (二) 新中国油气勘探及油气地质理论发展简况

中国石油勘探开发工业真正的发展是在新中国成立之后。经过半个多世纪,几代石油人的艰苦奋斗,石油工业创造了辉煌业绩,成为支撑我国国民经济的支柱产业。回顾新中国50多年的油气勘探历程,我国油气勘探的历史可分为初期发展阶段、快速发展阶段和稳定发展阶段3个大的发展时期。

### 1. 初期发展阶段

新中国成立初期至大庆油田发现的10年是我国石油勘探的初期发展阶段。这一时期的勘探重点在中西部地区的四川、陕甘宁、酒泉、准噶尔、柴达木、吐鲁番等盆地,这些地区地表油气显示较多,已有少数油气田,地层出露较好,构造比较明显。除原有的老君庙、延长、圣灯山等油气田继续详探开发外,又陆续发现克拉玛依、冷湖、油砂山、鸭儿峡、蓬莱镇、南充等油田和川南一批气田,石油工业有了显著发展,尤其是准噶尔盆地西北缘克拉玛依大油田的发现,是新中国石油勘探史上的第一次重大突破。但还没有从根本上改变进口石油的局面。

### 2. 快速发展阶段

从1959年大庆油田的发现到20世纪80年代中期,我国石油勘探进入快速发展阶段。1959年9月26日,松辽盆地松基3井获得了工业油流,发现了大庆油田,实现了中国石油工业发展史上历史性的重大突破,也标志着我国石油勘探进入了第二个大的阶段,由此中国石油勘探开始战略转移,即重点由中西部地区转向东部地区。大庆油田发现的理论意义在于突破了惟海相生油论,从实践上证明了陆相盆地,尤其是大型湖泊沉积物不仅能够生油,而且可以形成大型油田。这极大地解放了中国油气地质学家的思想,开创了在陆相盆地寻找大油田的新篇章。

1961年,渤海湾盆地东营凹陷的华8井喷油,1962年在营2井获高产油流,发现和证实了胜利油田。1964年勘探重点从松辽盆地转移到渤海湾盆地,相继发现和建成了胜利、大港、辽河、华北、中原等石油生产基地。特别是1975年华北任丘古潜山油田的发现,开拓了石油勘探的新领域。在松辽、渤海湾盆地勘探和开发取得重大进展的同时,全国其他地区石油勘探工作也在蓬蓬勃勃地展开。相继在四川、江汉、陕甘宁、苏北等盆地进行了较大规模的石油勘探,发现了一大批油气田。

这一时期,大庆油区和渤海湾油区的发现和全面开发使石油工业进入前所未有的高速发展时期,是我国石油勘探的黄金时期。该时期石油产量大幅度增长,1965年产量超过 $1000 \times 10^4$ t,1973年超过了 $5000 \times 10^4$ t,1978年突破了 $1 \times 10^8$ t(图0-1),使我国跃居世界产油大国的行列。

### 3. 稳定发展阶段

20世纪80年代中后期至现在,我国石油勘探进入稳定东部、发展西部、油气并举、大力发展海洋勘探和积极开拓海外石油勘探开发市场的新阶段。在东部深化勘探的同时,重点

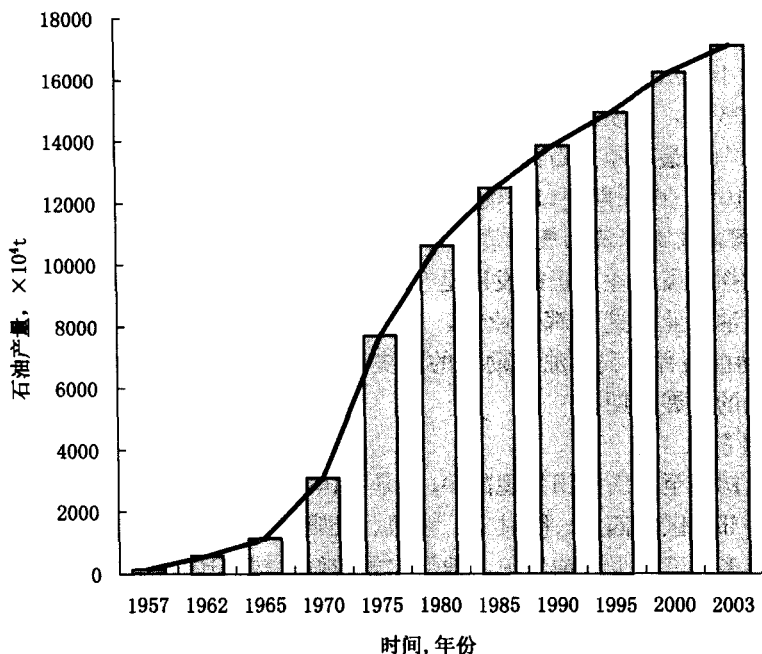


图 0-1 我国历年石油产量变化直方图

加强了西部地区，特别是塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木和鄂尔多斯盆地的油气勘探工作。经过近 20 年的艰苦努力，发现了一大批新油田，保证了我国原油产量的稳定增长，西部盆地探明石油储量较快速增长的趋势还将继续下去。天然气勘探获得了重大突破，相继发现了南海琼东南盆地的崖 13-1、鄂尔多斯盆地的靖边、塔里木盆地的克拉 2 等一大批大气田，探明天然气储量快速增长。我国海洋石油勘探获得了前所未有的快速发展，产量迅速增长，1996 年超过  $1500 \times 10^4 \text{t}$ ，2003 年中国海洋石油产量  $3336 \times 10^4 \text{t}$ ，目前已成为保持我国石油产量增长的主要领域。积极开拓海外石油勘探开发市场，在南美、中亚、非洲、中东等地区已取得重要成果或有了良好的开端。

在油气地质理论方面，以勘探实践为基础，形成了具有中国特色的陆相盆地石油地质理论，主要包括 3 个方面：陆相生油理论、源控论和复式油气聚集带理论。松辽盆地大庆油田的发现使陆相生油理论得到实践的检验，并成为松辽盆地、渤海湾盆地等一批陆相盆地寻找大型油气田的理论依据。根据陆相盆地油气近距离运移聚集的勘探实践建立的“源控论”，成为我国陆相盆地油气勘探的重要理论。以渤海湾盆地断块油田成藏条件与分布规律为主要内容的复式油气聚集（区）带理论的建立，丰富了中国石油地质理论，并有效地指导了中国东部断陷盆地的油气勘探。中国陆相盆地油气地质与勘探理论及实践丰富了世界油气地质与勘探的理论宝库。

## 二、世界近现代油气勘探与油气地质理论发展简况

近现代油气勘探开始于 19 世纪中叶。俄国（1848 年在比比—埃巴特）、美国（1859 年在宾夕法尼亚州）相继钻成了各自的第一口产油井后，标志着近代石油勘探开发工业的开始。由于找油的需要，油气地质理论伴随着找油实践而诞生并发展。

一般认为, 1859年 Drake 在宾夕法尼亚州根据油气苗所钻的 1 口油井标志着近代油气勘探开发工业的开始。尽管这口井钻井深度只有 21.69m, 产油量每天只有 69.5bbl<sup>①</sup>, 但由此产生的巨大利润, 极大地刺激了投资者, 因此迅速掀起了寻找和开采石油的热潮, 使油气勘探和开采进入了工业化阶段。由于发现 1 个高产油田, 很快可以发财致富, 所以在石油工业中充满着投机与竞争, 资本家争先恐后在本国滥采石油, 往往 1 个油田被几家公司分采, 不保护油层压力, 致使能量过早枯竭, 油田遭到破坏。

到 19 世纪结束, 世界上只有美、俄等十几个国家产油, 石油产量迅速增加, 1900 年世界总产油量达到  $2043 \times 10^4 \text{t}$  (表 0-2)。当时找油的主要依据是地面油气苗, 在具有地面油气苗的地方钻井。随着不断进行的油气勘探实践, 地质家们发现油气常常位于背斜的高点, 1861 年怀特提出了著名的“背斜聚油理论”。该理论在 19 世纪结束前的二三十年期间, 在美国、欧洲得到广泛的应用, 取得了油气勘探的极大成功。

表 0-2 世界历年石油总产量

年 份	产 量, $\times 10^4 \text{t}$	年 份	产 量, $\times 10^4 \text{t}$
1860	7	1935	22680
1865	37	1940	29450
1870	80	1945	35540
1875	130	1950	53845
1880	410	1955	79701
1885	500	1960	108142
1890	1050	1965	155051
1895	1420	1970	232412
1900	2043	1975	266155
1905	2946	1980	299586
1910	4490	1985	280960
1915	5920	1990	316410
1920	9440	1995	325600
1925	14640	2000	358960
1930	19320	2005	384000

进入 20 世纪后, 背斜学说已成为石油勘探公司普遍接受的理论, 石油勘探人员通过地面地质测量圈定背斜构造, 使油气勘探取得了巨大成功, 找油工作已具有专业性特点, 石油地质学家逐渐成为找油不可缺少的专业人才。1917 年美国石油地质家协会 (AAPG) 成立和 AAPG 会刊出版, 标志着石油地质学的诞生, 石油地质家从此正式走上油气勘探的舞台。

20 世纪二三十年代, 地震、重力及其他地球物理方法的发明和应用, 使在覆盖区查明地下的背斜构造成为可能, 找油工作可在地面没有任何显示的平原区进行, 大大拓展了人们找油的领域, 油气产量迅速增加, 1930 年世界产油量接近  $2 \times 10^8 \text{t}$ 。地球物理方法使人们不仅可识别背斜圈闭, 还可识别地层、岩性等圈闭, 从而形成了找油的圈闭理论。

① 1bbl = 0.158987m<sup>3</sup>。

在第二次世界大战前后发现了一大批油气田和重要的含油气区，尤其是波斯湾巨型富油气区的发现，使世界油气分布格局发生了巨大改变，世界产油国到 20 世纪 50 年代末达到 60 多个。20 世纪六七十年代是世界石油勘探的高峰发现时期，产量大幅度增加，到 1980 年世界石油产量接近  $30 \times 10^8 \text{ t}$  (表 0-2)。

近 20 多年来，各种先进技术的应用，尤其是地震勘探技术的迅速发展，使人们对地下地质体的刻画和预测更加准确，精度越来越高。在勘探程度较低的地区获得了许多重要突破，在一些勘探程度较高的地区，石油勘探向精细化发展，找到了一大批隐蔽油气藏。

海上油气勘探开展较晚，真正离岸在浅水区从沉没驳船上钻的第一批海上钻井，是在 1930 年从美国路易斯安那州滨外、委内瑞拉马拉开波湖和前苏联里海巴库附近开始的，之后许多国家都相继重视开展海上油气勘探，钻探技术设备的进步大大促进了海上油气勘探的迅速发展。世界海洋石油地质储量巨大，约在  $2000 \times 10^8 \text{ t}$  以上。1995 年海洋石油产量占世界总产量的 30%，天然气产量占世界总产量的 21%。

伴随着大量油气勘探实践，油气地质理论不断发展。这些理论反映在不同时期出版的代表性论著中。在 20 世纪五六十年代出版了一批经典的石油地质学专著，其中尤以 A. I. 莱复生 (Levorsen) 的《石油地质学》(1954, 1967) 最为重要，成为当代“石油地质学”的经典论著，为培养大批油气地质勘探人才发挥了重要作用。60 年代开始发展的源控论，使油气勘探进入一个新阶段，而七八十年代以有机地球化学方法为基础建立的油气成因理论，对现代油气勘探起了重要指导作用。经典的著作包括 Tissot 和 Welte (1978, 1984) 的《石油形成与分布》，Hunt (1979) 的《石油地球化学和石油地质学》，Chapman 的 (1982) 《石油地质学》，Hobson (1981) 的《石油地质学导论》等。由于石油与天然气的差异，随着天然气勘探的不断发展，天然气地质学应运而生。在 20 世纪七八十年代，出版了一批天然气地质学专著。

世界经过 100 多年的油气勘探，已逐渐形成了日臻完善的油气地质理论，建立了系统的油气生成、运移、聚集及分布理论体系。油气勘探的实践不断提出新的问题，为油气地质的发展提供了目标和依据；反过来，油气地质理论又对油气勘探起指导作用。因此，反复的勘探实践—认识—再勘探—再认识，使油气地质理论不断发展完善，油气勘探技术手段不断提高，人类对地下油气藏的认识和勘探逐渐科学化。

### 三、油气地质勘探发展趋势

据第 14 届世界石油大会报告，全球最终常规可采油、气资源量分别为  $3133 \times 10^8 \text{ t}$  和  $328 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，可供人类使用 100 年。据世界油气杂志统计 (2004 年底)，世界石油和天然气剩余储量分别已达  $1750 \times 10^8 \text{ t}$  和  $171 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，而 1994 年底石油和天然气油气剩余储量分别是  $1380 \times 10^8 \text{ t}$  和  $140 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。10 年间，世界石油和天然气油气剩余储量分别增加了  $370 \times 10^8 \text{ t}$  和  $31 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。资料表明，世界石油发现量高峰年是在 20 世纪 50 年代末期到 70 年代末，平均发现可采储量  $50 \times 10^8 \text{ t/年}$  以上，80 年代平均发现量为  $20 \times 10^8 \text{ t/年}$  (丁贵明, 1997)。但近 10 年来，世界剩余油气储量有了大幅度增加，产油气量增加较快。据统计，2003 年，世界共生产石油  $34 \times 10^8 \text{ t}$ ，生产天然气  $26.4 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ；我国生产石油  $1.7 \times 10^8 \text{ t}$ ，居世界第 5 位 (表 0-3)，生产天然气  $341 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，居世界 17 位 (表 0-4)。

从国外油气勘探形势来看，近十几年来油气勘探领域呈现了新的特点。世界油气勘探的重大发现主要集中在海洋和新区，新增油气储量相当一部分来自自己发现油气区的深化勘探；剩余常规油气资源多分布在海域，偏僻的沙漠，以及寒冷的极地地区和已开发含油气盆地的深部层位；非常规油气资源越来越受到重视，已成为油气勘探新的重要领域。

近十几年来,我国油气勘探难度加大,面临着严峻挑战。在勘探程度较高的地区,新发现油气田越来越小。未发现的剩余资源分布中,地面条件恶劣地区(如沙漠、海滩、沼泽等)的石油剩余资源量约占30%(丁贵明,1997),低渗透和重稠油还有相当大的比例;地面条件较好的常规油剩余资源量中,受岩性、地层控制的油气藏又占很大比重。

表 0-3 2003 世界主要产油国家石油产量

× 10<sup>4</sup>t

位 次	国 家	产 量	位 次	国 家	产 量
1	沙特阿拉伯	42150.0	11	英 国	10475.0
2	俄罗斯	41080.0	12	委内瑞拉	10075.0
3	美 国	28625.0	13	科威特	9250.0
4	伊 朗	18650.0	14	巴 西	7675.0
5	中 国	17075.0	15	利比亚	7000.0
6	墨西哥	16825.0	16	伊拉克	6375.0
7	挪 威	15175.0	17	阿尔及利亚	5250.0
8	阿联酋	11127.5	18	印度尼西亚	5100.0
9	加拿大	11100.0	19	哈萨克斯坦	4435.0
10	尼日利亚	10600.0	20	安哥拉	4375.0
世界总计	340433.5				

注:资料来源:Oil & Gas Journal, 2003-12-22。

表 0-4 2003 世界主要产油国家天然气产量

× 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>

位 次	国 家	产 量	位 次	国 家	产 量
1	俄罗斯	5786	11	土库曼斯坦	551
2	美 国	5495	12	乌兹别克斯坦	536
3	加拿大	1805	13	马来西亚	534
4	英 国	1027	14	阿联酋	444
5	阿尔及利亚	828	15	阿根廷	410
6	伊 朗	790	16	墨西哥	364
7	挪 威	734	17	中 国	341
8	印度尼西亚	726	18	澳大利亚	332
9	沙特阿拉伯	610	19	卡塔尔	308
10	荷 兰	583	20	印 度	301
世界总计	26382				

注:资料来源:BP 能源统计,2004;世界总计数据来自 Oil & Gas Journal, 2004-12-22。

尽管油气勘探的难度在增大,但由于油气价格的持续上涨,极大地刺激了世界各国的油气勘探活动,加速了油气勘探开发工业的发展。归纳起来,未来世界油气勘探的重要领域主要为新区、海洋、深层、隐蔽油气藏以及天然气等。

(1) 新区油气勘探:从世界和我国石油勘探的历史可清楚地看到,新区是寻找大型油气田的主要领域,是一个国家石油生产持续增长的基础。只有新区不断有重大发现,才能接替



老油区的产量递减,才能使一个国家石油生产保持可持续性发展。当然,这些勘探新区一般都是地面条件较恶劣的地区,是过去难以开展勘探工作的地区。

(2) 海洋油气勘探:实际上海洋勘探也是新区勘探。随着海洋地球物理勘探和海上钻井技术及装置的发展,人类向海洋进军的步伐加快,海洋石油勘探不仅可在浅海大陆架钻探,甚至可到更深的水域开展勘探,从而为人类开辟了更加广阔的油气勘探领域。目前海洋油气勘探方兴未艾,将越来越显示其重要性。

(3) 深层油气勘探:随着深层地震和钻井技术的发展,4000m以下的深层油气资源已成为重要勘探领域。尤其是在一些多层系含油气地区,开展深部层系的油气勘探已取得重要突破。近十几年来,我国东部渤海湾及松辽等盆地加强了深部勘探研究,已取得重要成果,尤其是松辽盆地深层天然气勘探已取得重大突破。

(4) 隐蔽油气藏勘探:在一些勘探程度较高的地区,在容易找到的构造油气藏,主要是背斜和断层油气藏都已发现之后,较难发现的以岩性、地层油气藏为主体的隐蔽油气藏就成为主要的勘探目标。一般大型构造油气藏在勘探的早期基本即可被发现,而大量的、单个规模较小的隐蔽油气藏是中高勘探成熟区油气勘探的主要目标。我国渤海湾盆地济阳坳陷的隐蔽油气藏勘探已取得很大成功,近几年每年都在隐蔽油气藏中获得数千万吨的地质储量。

(5) 天然气勘探:包括常规和非常规天然气勘探。近十几年来,世界天然气的储产量增长幅度超过石油,天然气总探明储量当量(1000m<sup>3</sup>天然气折合1t石油)已与石油总探明储量持平,而且天然气快速增长的趋势还在继续。我国天然气储产量近十几年呈快速增长趋势。在不远的将来,天然气可能将取代石油成为第一能源。因此,常规天然气勘探是非常重要的领域。在地下呈吸附或固体状态的非常规天然气,即煤层气和天然气水合物,已越来越受到重视。其中煤层气已成为许多国家天然气产量的重要组成部分。

## 第四节 油气地质与勘探的任务及主要内容

### 一、油气地质与勘探的任务

作为油气地质及勘探工作者,主要任务是多快好省地找到地下油气资源,查明它们的大小和分布,并高效地将其开采出来。

在我国辽阔的陆地和广阔的沿海大陆架,沉积盆地星罗棋布,沉积岩系分布普遍,不仅有面积巨大的陆相碎屑岩沉积盆地,而且拥有海相碳酸盐岩系异常发育的广大区域,蕴藏着丰富的石油和天然气资源。

然而,石油和天然气深埋地下,一般埋深从几百米到数千米,油气又是流体,现在储存的地方一般不是当初形成的地方,而且从油气矿藏的形成到现今,已经历了漫长的地质历史时间,有些可能已被后期的构造运动改造或破坏,可谓时过境迁。那么油气矿藏是如何形成和分布的?哪些条件控制地壳上油气资源的分布?我们应该到何处去寻找油气矿藏?如何多快好省地找到油气田?油气勘探的技术方法和程序是什么?这些就是油气地质与勘探所要回答的主要问题。

### 二、油气地质与勘探的主要内容

《石油天然气地质与勘探》(简称油气地质与勘探)主要阐述油气在地壳中的生成、运移、聚集成藏的基本原理与分布规律,并介绍油气田勘探的方法、程序和实例。内容包括:石油、天然气、油田水的基本特征;储集层和盖层;油气的生成、运移和聚集原理;油气藏