

普通高等教育“九五”国家级重点教材



# 石油地质学

张厚福 方朝亮 高先志 编  
张枝焕 蒋有录

石油工业出版社  
PETROLEUM INDUSTRY PRESS



普通高等教育“九五”国家级重点教材

# 石 油 地 质 学

张厚福    方朝亮    高先志    编  
            张枝焕    蒋有录

石 油 工 业 出 版 社

## 内 容 提 要

本书从石油、天然气、油田水特征等感性知识入手,重点阐述现代油气成因理论及生、储、盖等基本成藏地质要素,油气的运移、聚集乃至各类油气藏的形成机制与特点,地温场、地压场、地应力场与油气藏形成的关系,还扼要介绍了流体势分析、异常压力流体封存箱、油气系统、流体历史分析、凝析气藏,固态气体水合物等与“三场”有关的新进展,通过油气生成及油气藏形成的研究,最终呈现为各级油气聚集单元,形成了我国及世界油气资源的分布轮廓,剖析了前陆、裂谷、克拉通等主要盆地类型的形成及特点,概括了解油气资源评价的任务与方法。

本书可作为高等院校石油地质专业教材,也可供地球物理勘探、地球物理测井、油气田开发等相关专业师生以及生产和科研单位石油地质工作者参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

石油地质学/张厚福等编.

北京:石油工业出版社,1999.9

普通高等教育“九五”国家级重点教材

ISBN 7-5021-2804-2

I. 石…

II. 张…

III. 石油天然气地质-高等学校-教材

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 51819 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 22½印张 554 千字 印 3001—6000

1999 年 9 月北京第 1 版 2002 年 1 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5021-2804-2/TE·2193 (课)

定价:28.00 元

## 序

人类有史以来,虽然早已在中国四川、中东波斯湾、原苏联巴库和美国宾夕法尼亚州发现了各种产状的石油和天然气苗,并进行了小规模의钻井采油采气,但对油气分布规律性的认识,早期仅限于在油苗附近找油找气。直到1885年美国地质学家I. C. 怀特发表背斜学说的理论后,油气勘探才在全世界获得了蓬勃的发展。石油地质学家从此根据地质构造的知识和测量来预测哪里有石油和天然气。由于运用背斜学说在全世界各含油气盆地找到了许多重要的油气田,这个学说现在还是像当时一样为勘探家所遵循。1917年在委内瑞拉马拉开波盆地发现了单斜型的玻利瓦尔湖岸大油田;接着,1930年美国在得克萨斯盆地东缘发现了大型地层圈闭东得克萨斯油田。这些事实令石油地质学家极大地振奋,并在认识上有了提高。1956年美国著名石油地质学家A. I. 莱复生在出版的《石油地质学》一书中提出了“圈闭”(Trap)的概念。在该书中,他把储油圈闭划分成构造圈闭、地层圈闭和混合圈闭三大类。其后,在世界范围内以寻找“圈闭”为主线的石油勘探活动推向前所未有的规模,发现了众多的大油气田,使世界原油年产量由1900年产 $2000 \times 10^4 \text{t}$ ,至1950年产 $5 \times 10^8 \text{t}$ ,1980年后达到 $30 \times 10^8 \text{t}$ 的水平。天然气年产量亦由1900年产几十亿立方米,至1950年产 $3000 \times 10^8 \text{m}^3$ ,1990年后达到 $22000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1991年在美国AAPG62号报告中,由L. B. Magoon和W. G. Dow主编的“油气系统——从烃源岩到圈闭”出版。他们提出了石油地质学中的一个全新的概念——Petroleum System。这一概念总结了70年代以来石油地质学、石油勘探地球物理学和有机地球化学的新方法、新成果,试图找出一条由盆地模拟到趋势带到勘探目标区的较精确的油气地质定量化的评价和预测方法,试图在国际竞争和低油价市场形势下用加强区域性综合研究来降低投资的风险性。“最终目的是要找到可以获得利润的石油和天然气。”

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。“石油”一词是北宋著名科学家沈括(1031—1095年)在《梦溪笔谈》中首次提出的。南宋1253年在四川自流井即有深58丈的钻井记录。清代1840年自贡磨子井更创造了钻达井深1200m的嘉三深部主气层的记录。我国在900多年前已经展开了钻井地质录井工作,每口井建有“岩石簿”,是一种日志式的钻井地质记录,至今还保留在自贡市盐业博物馆内。清政府于1878年在台湾苗栗出磺坑开设矿油局,1905年在陕西延长设石油官厂从事石油开采。我国老一辈地质学家李四光、黄汲清、谢家荣、孙健初和潘钟祥等对创建我国近代石油地质学均作出了贡献。1939年甘肃老君庙油田的发现、1939—1944年四川石油沟气田和圣灯山气田的发现标志着我国近代油气工业的开始。

1951年孟尔盛著《石油地质学》在上海龙门书店出版,这是他为南京矿专学员所写的讲课教材。其后,1959年北京地质学院出版了由苏联Г. Е. 梁布兴和我国潘钟祥主编的《石油地质学原理》,1961年北京石油学院主编的《石油地质学》教科书亦由中国工业出版社公开发行,西北大学等院校亦编著了相应的教材。这些教材都为培养我国石油地质专业人才起了重要作用。这批学员毕业后努力工作,四处奔波;从西部玉门油田、克拉玛依油田、青海油田,到东部大庆油田,渤海湾盆地胜利、大港、辽河、华北、中原油田和渤海海域,

东南沿海大陆架，中部四川和鄂尔多斯油气田，到全国各探区，都布满了他们的足迹。1950年我国原油产量仅  $200 \times 10^4 \text{t}$ ，天然气年产量仅  $1000 \times 10^4 \text{m}^3$ 。由于数百个新油气田的发现和投入开发，1980年原油产量达到  $1.05 \times 10^8 \text{t}$ ，天然气年产量达到  $142 \times 10^8 \text{m}^3$ 。石油地质学理论的发展与油气勘探开发的进展相辅相成。油气勘探开发的进展不断提出石油地质的新问题，通过研究解决这些问题丰富了我国石油地质学的理论。以“源控论”为核心的陆相生油理论，中国含油气盆地构造分析，中、新生代陆相湖盆沉积储层精细研究，复式油气聚集带油气分布规律研究，古潜山油气藏理论，煤成烃理论及海相古生界油气藏勘探等方面逐步建立了有中国特色的石油地质理论体系，为我国油气工业的发展作出了贡献。

进入80年代以来，是我国《石油地质学》的繁荣创作时期。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、张厚福主编《石油地质学》（第一版）1981年由石油工业出版社出版发行。王尚文主编《中国石油地质学》1983年由石油工业出版社出版发行。潘钟祥主编《石油地质学》1986年由地质出版社出版发行。陈荣书、袁炳存编《天然气地质学》1986年由武汉地质学院出版社出版发行。包茨主编《天然气地质学》1988年由科学出版社出版发行。张厚福、张万选主编《石油地质学》（第二版）1989年由石油工业出版社出版发行。陈荣书主编《天然气地质学》（第二版）1989年由中国地质大学出版社出版发行。戴金星、戚厚发、郝石生主编《天然气地质学概论》1990年由石油工业出版社出版发行。戴金星、裴锡古、戚厚发主编《中国天然气地质学》（卷一）1992年由石油工业出版社出版发行。陈荣书主编《石油及天然气地质学》1994年由中国地质大学出版社出版发行。

最近，由石油大学（北京）张厚福主编的《石油地质学》将由石油工业出版社出版。该教材引进了90年代以来石油地质学原理的新进展，包括“三场”（地温场、地压场、地应力场）与油气藏形成分布的关系，油气系统，异常压力流体封存箱，异常地层压力，气体水合物，未熟—低熟油，煤成烃，油气无机成因，生储最佳厚度组合等国内外最新科研成果，并在油气资源分布一章增加了前陆盆地、裂谷盆地、克拉通盆地等典型解剖。该教材可作为高等院校学生和研究生教材，也可供广大石油地质工作者参考使用。

中国科学院院士



1999年1月

## 前 言

《石油地质学》(第二版)自1989年问世以来,受到兄弟院校师生和现场科技人员的欢迎与好评,荣获1995年中国石油天然气总公司优秀教材特等奖,这些都是对我们的鞭策与鼓励,同时也是对我们的更高要求与期望。根据国家教育委员会教高[1997]16号文件的精神,确定笔者申请立项的《石油地质学》教材,列为为培养跨世纪人才而编写的“九五”期间国家级重点教材,要求树立精品意识,努力提高教材的内在质量。同时,结合学校为培养石油地质学教学及教材建设的接班人,特地组织了老新结合、以老带新的教材编写小组,制定了新编《石油地质学》教材的编写计划。

在笔者剖析了美、俄、澳、英、日等国著名石油地质学教材<sup>[99,95,117,135,94]</sup>及国内各院校所编教材<sup>[91,44,30]</sup>特点的基础上,编写小组广泛开展了国内外文献、专著及科研成果的调查研究,结合90年代以来培养大学生、研究生的教学经验,建立新的教材体系,拟定新的编写大纲。

随着世界油气勘探的进展,石油工业形势日趋严峻,地质、地理条件较好的易找油气田愈来愈少,勘探难度日益增大,世界剩余石油可采储量及总可采资源量均呈下降趋势。这种勘探形势迫使油气勘探理论和技术必须有巨大进展,才能适应世界油气勘探的持续发展。因此,从全球范围看,除70年代以来相关边缘学科蓬勃发展外,90年代前后石油地质学基本原理也获得了显著进展,“三场”(地温场、地压场、地应力场)对油气藏形成分布的控制作用、油气系统、异常压力流体封存箱、固态气体水合物等新理论、新思维、新方法,为石油地质综合评价研究提供了新的科学依据;国内“七五”、“八五”科技攻关取得了许多可喜成果,煤成烃、轻质油、未熟—低熟油的确认与研究、天然气成因类型及其地球化学特征、油气运移机理及油气藏类型、含油气盆地的形成与类型、第二次全国油气资源评价方法及成果等新理论、新方法,促进了我国一系列大油、气田的发现及滨浅海、新疆三大盆地等新领域的油气勘探,保证了油气储量、产量的持续增长。

近10多年来,我们主持或参加完成了我国大中型油气田成藏模式、区域储层评价技术、我国天然气成因类型及其特征、京津地区油气分布重新评价、南方海相油气系统评价、陕甘宁盆地上古生界天然气藏形成与分布、吐哈盆地油气藏形成机理、柴达木盆地石油地质综合研究与评价等国家级或部级重大科技攻关项目,多项获得国家级或部级科技进步奖。我们经过提炼上升,吸取精华充实教学内容,1990年为中国石油天然气总公司轮训全国各油田技术领导干部的“滚动勘探开发微机工作站培训班”开设了“石油地质学进展”课,讲授与油气勘探有关的边缘学科新技术,受到好评;近几年来,综合国内外石油地质学原理的重要进展,结合自己的科研成果,在石油大学(北京)地球科学系开设了研究生学位课——高等石油地质学,并为多期各种地质、物探培训班讲授,引起各界注意,随后应邀赴大庆、胜利、新疆、四川、江苏、昆明、杭州、涿州、高碑店、上海、广州等油田院所讲授;并为油气勘探高级管理技术人员编写了培训教材《石油地质学新进展》<sup>[55]</sup>,这些新理论、新技术将会促进“九五”乃至下世纪初的油气地质科技攻关并为本教材的编写奠定了基础。

为了充分反映本学科上述国内外的最新科技成果,充分反映以教材内容和课程体系改革

为重点的教学改革成果,贯彻“少而精”的原则,我们在新编《石油地质学》教材编写过程中采取了下列措施:

(1) 根据自然界油气生成到油气矿藏形成的客观发展过程,根据学生循序渐进、由浅入深的认识规律,建立了三篇十章的全新教材体系,三篇名为现代油气成因理论及储盖要素、油气成藏原理、油气分布及资源评价,体现了各篇的重点内容。

(2) 删去以往教材中某些陈旧、繁琐、重复的内容,如油气田类型(与油气藏重复)、碎屑岩储集层形成条件(陈旧,改写)、压实公式推演(繁琐)、油气资源评价(与其他课程重复,方法陈旧,改写为概述)。

(3) 增加“三场”与油气藏形成的关系、油气系统、异常压力流体封存箱、固态气体水合物、未熟—低熟油、煤成烃、油气无机成因、天然气成因类型、生储最佳厚度组合、流体史研究等国内外最新科技成果。

(4) 为引导学生掌握要点、复习思考,在体例上每章列有提要及思考题;重要参考文献加角注,便于学生课外查阅。

(5) 为培养学生动手及综合分析—写作能力,配合教材内容另编《石油地质学实验—习题集》。

编写中采用全国自然科学名词审定委员会公布的石油名词以及量和单位的国家标准。对部分引用国外资料,保留了英制单位,但给出了换算关系。

本教材由石油大学(北京)张厚福教授主编。编写人员分工如下:张厚福主持并组织新编教材的申请立项、体系结构、编写大纲、分工起草及全部书稿的审查定稿,并执笔编写前言、绪论、第六章、第八章、第九章第1、2节;方朝亮编写第一章、第五章、第九章第4节、第十章第1节;高先志编写第二章第5节、第三章、第四章、第九章第3节;张枝焕编写第二章(除第5节)、第九章第5节、第十章第2、3节;蒋有录编写第七章。

根据中国石油天然气集团公司学科教学指导委员会的安排,聘请石油大学(北京)郝石生教授和大庆石油学院陈章明教授担任本教材的主审人,他们在百忙中抽时间认真审查,提出的宝贵意见对提高教材质量起了重要作用;承蒙中国科学院院士、我国著名石油地质学家李德生教授亲自挥笔为本教材作序,是对我们编著者的巨大鼓舞与鞭策;石油大学(北京)教务处及地球科学系的领导和老师们给予了热情支持与帮助,在此一并致以衷心谢意。

限于我们的水平与时间,错误及欠妥之处,恳请读者批评指正。

主 编

1999年1月 北京

# 目 录

|              |     |
|--------------|-----|
| 绪论           | (1) |
| 第1节 石油地质学的任务 | (1) |
| 第2节 石油地质学的内容 | (2) |
| 第3节 我国油气勘探简史 | (2) |
| 第4节 世界油气勘探简史 | (5) |
| 第5节 油气地质勘探动向 | (7) |

## 第一篇 现代油气成因理论及储盖要素

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 第一章 石油、天然气、油田水的成分和性质    | (13) |
| 第1节 石油沥青类概述             | (13) |
| 一、石油沥青类与可燃有机矿产          | (13) |
| 二、可燃有机矿产的元素组成           | (13) |
| 三、可燃有机矿产分类              | (14) |
| 第2节 石油的成分和性质            | (14) |
| 一、石油的化学成分               | (14) |
| 二、石油的物理性质               | (21) |
| 第3节 天然气的成分和性质           | (24) |
| 一、天然气的化学成分              | (25) |
| 二、天然气的物理性质              | (27) |
| 第4节 油田水的成分和性质           | (28) |
| 一、油田水的概念及来源             | (28) |
| 二、油田水的矿化度及化学组成          | (29) |
| 三、油田水的类型                | (29) |
| 第5节 重质油的成分和性质           | (30) |
| 一、重质油的概念                | (30) |
| 二、重质油的成分和性质             | (33) |
| 第6节 固体沥青的成分和性质          | (33) |
| 第7节 石油沥青类中的碳、氢、硫、氧、氮同位素 | (34) |
| 一、碳同位素                  | (35) |
| 二、氢同位素                  | (36) |
| 三、硫同位素                  | (36) |
| 四、氧同位素                  | (37) |
| 五、氮同位素                  | (38) |
| 思考题                     | (38) |
| 第二章 现代油气成因理论            | (39) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第1节 油气成因理论发展概况 .....          | (39)  |
| 第2节 生成油气的物质基础 .....           | (43)  |
| 一、生油气母质及其化学组成 .....           | (43)  |
| 二、干酪根 .....                   | (45)  |
| 第3节 油气生成的地质环境与物理化学条件 .....    | (52)  |
| 一、油气生成的地质环境 .....             | (53)  |
| 二、物理化学条件 .....                | (55)  |
| 第4节 有机质演化与成烃模式 .....          | (62)  |
| 一、有机质向油气转化的阶段及一般模式 .....      | (62)  |
| 二、现代油气成因理论新进展 .....           | (70)  |
| 第5节 天然气的成因类型及特征 .....         | (73)  |
| 一、天然气的成因类型 .....              | (73)  |
| 二、生物化学气形成特点 .....             | (73)  |
| 三、油型气形成特点 .....               | (75)  |
| 四、煤型气形成特点 .....               | (77)  |
| 五、无机成因气概述 .....               | (79)  |
| 六、不同成因类型天然气的识别 .....          | (80)  |
| 第6节 生油层研究与油源对比 .....          | (83)  |
| 一、生油层研究 .....                 | (83)  |
| 二、油源对比 .....                  | (93)  |
| 思考题 .....                     | (100) |
| <b>第三章 储集层和盖层</b> .....       | (101) |
| 第1节 岩石的孔隙性和渗透性 .....          | (101) |
| 一、孔隙性 .....                   | (101) |
| 二、渗透性 .....                   | (102) |
| 三、孔隙结构 .....                  | (105) |
| 四、孔隙度与渗透率的关系 .....            | (106) |
| 第2节 碎屑岩储集层 .....              | (107) |
| 一、碎屑岩储集层的孔隙类型及储集物性的影响因素 ..... | (107) |
| 二、碎屑岩储集体类型及其沉积环境 .....        | (109) |
| 三、砂岩次生孔隙 .....                | (110) |
| 第3节 碳酸盐岩储集层 .....             | (112) |
| 一、碳酸盐岩原生孔隙的形成与分布 .....        | (112) |
| 二、碳酸盐岩溶蚀孔隙的形成与分布 .....        | (113) |
| 三、碳酸盐岩的裂缝 .....               | (116) |
| 第4节 其他岩类储集层 .....             | (117) |
| 一、火山岩储集层 .....                | (118) |
| 二、结晶岩储集层 .....                | (119) |
| 三、泥质岩储集层 .....                | (119) |
| 第5节 盖层的类型及其封盖机制 .....         | (120) |

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 一、盖层类型·····       | (120) |
| 二、盖层封油气机理·····    | (120) |
| 三、影响盖层有效性的因素····· | (122) |
| 思考题·····          | (124) |

## 第二篇 油气成藏原理

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| <b>第四章 石油和天然气的运移</b> ····· | (127) |
| 第1节 与油气运移有关的几个基本概念·····    | (127) |
| 一、初次运移和二次运移·····           | (127) |
| 二、油气运移的基本方式·····           | (128) |
| 三、岩石的润湿性·····              | (129) |
| 四、油气运移临界饱和度·····           | (129) |
| 五、地层压力、折算压力和测压面·····       | (130) |
| 第2节 石油和天然气的初次运移·····       | (130) |
| 一、油气初次运移的相态·····           | (130) |
| 二、油气初次运移的主要动力和运移方向·····    | (133) |
| 三、初次运移的途径·····             | (140) |
| 四、油气初次运移模式·····            | (140) |
| 五、烃源岩有效排烃厚度·····           | (141) |
| 第3节 石油和天然气的二次运移·····       | (142) |
| 一、二次运移的相态·····             | (142) |
| 二、油气二次运移的主要动力·····         | (143) |
| 三、油气二次运移的通道·····           | (147) |
| 四、油气二次运移时期·····            | (147) |
| 五、油气二次运移的主要方向和距离·····      | (148) |
| 第4节 地下流体势分析·····           | (152) |
| 一、流体势的概念·····              | (152) |
| 二、势梯度与流体运移方向·····          | (153) |
| 三、相对流体势与油气的运移和聚集·····      | (154) |
| 四、存在问题与注意事项·····           | (156) |
| 思考题·····                   | (157) |
| <b>第五章 石油和天然气的聚集</b> ····· | (158) |
| 第1节 圈闭与油气藏的基本概念·····       | (158) |
| 一、圈闭的基本概念·····             | (158) |
| 二、油气藏的基本概念·····            | (159) |
| 第2节 油气藏成藏要素·····           | (161) |
| 一、油气成藏要素·····              | (161) |
| 二、油气富集条件·····              | (163) |
| 第3节 油气聚集·····              | (175) |
| 一、在单一圈闭内的聚集·····           | (176) |

|                                                 |       |
|-------------------------------------------------|-------|
| 二、油气差异聚集原理·····                                 | (176) |
| 三、油气聚集模式·····                                   | (178) |
| 第4节 油气藏的再形成·····                                | (182) |
| 第5节 油气藏形成时间的确定·····                             | (183) |
| 一、根据盆地沉降史、圈闭发育史和生排烃史确定油气藏形成时间·····              | (184) |
| 二、根据饱和压力确定油气藏的形成时间·····                         | (187) |
| 三、气藏形成时间的确定·····                                | (188) |
| 四、流体历史分析方法·····                                 | (189) |
| 思考题·····                                        | (191) |
| 第六章 地温场、地压场、地应力场与油气藏形成的关系·····                  | (192) |
| 第1节 地温场与古地温研究·····                              | (193) |
| 一、地温场·····                                      | (193) |
| 二、古地温的测定·····                                   | (195) |
| 第2节 地压场与地层压力预测·····                             | (199) |
| 一、地压场·····                                      | (199) |
| 二、地层压力预测·····                                   | (200) |
| 第3节 地应力场及其与生运聚保的关系·····                         | (201) |
| 一、地应力场的概念及研究方法·····                             | (201) |
| 二、地应力场与油气藏形成分布的关系·····                          | (202) |
| 第4节 “三场”研究实例·····                               | (203) |
| 一、美国南路易斯安那 Bayou - Calin 湖砂区应用地温场与地压场研究气田 ····· | (203) |
| 二、原苏联田吉兹超级油田的“三场”研究·····                        | (203) |
| 第5节 异常压力流体封存箱·····                              | (207) |
| 一、异常地层压力·····                                   | (207) |
| 二、异常压力流体封存箱的基本概念及类型·····                        | (211) |
| 三、封闭层的成因及特征·····                                | (212) |
| 四、结论·····                                       | (214) |
| 第6节 固态气体水合物·····                                | (215) |
| 一、基本概念·····                                     | (215) |
| 二、理化性质·····                                     | (217) |
| 三、形成与分布·····                                    | (217) |
| 第7节 凝析气藏的形成与分布·····                             | (220) |
| 一、临界温度与临界压力·····                                | (220) |
| 二、凝析气藏的形成条件及分布规律·····                           | (222) |
| 三、地下油气藏相态的识别·····                               | (224) |
| 四、应用实例·····                                     | (225) |
| 思考题·····                                        | (227) |
| 第七章 油气藏类型·····                                  | (228) |
| 第1节 概述 ·····                                    | (228) |
| 一、油气藏分类的基本原则·····                               | (228) |

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 二、油气藏分类方案          | (230) |
| 第2节 构造油气藏          | (231) |
| 一、背斜油气藏            | (231) |
| 二、断层油气藏            | (239) |
| 三、岩体刺穿油气藏          | (245) |
| 四、裂缝性油气藏           | (246) |
| 第3节 地层油气藏          | (249) |
| 一、地层不整合遮挡油气藏       | (250) |
| 二、地层超覆油气藏          | (255) |
| 三、生物礁油气藏           | (257) |
| 第4节 岩性油气藏          | (261) |
| 一、岩性圈闭的形成机理        | (261) |
| 二、岩性尖灭油气藏及透镜体油气藏实例 | (262) |
| 第5节 水动力油气藏         | (265) |
| 一、水动力油气藏的概念和形成机制   | (265) |
| 二、水动力油气藏的主要类型      | (266) |
| 第6节 复合油气藏          | (267) |
| 一、复合油气藏的基本概念       | (267) |
| 二、复合油气藏的主要类型       | (267) |
| 思考题                | (271) |

### 第三篇 油气分布及资源评价

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 第八章 油气聚集单元      | (275) |
| 第1节 油气田及其类型     | (275) |
| 第2节 油气聚集带及含油气区  | (277) |
| 第3节 含油气盆地及其类型   | (281) |
| 一、含油气盆地的历史地质学分类 | (282) |
| 二、含油气盆地的板块构造学分类 | (283) |
| 三、含油气盆地的地球动力学分类 | (285) |
| 第4节 油气系统        | (286) |
| 一、油气系统的概念       | (286) |
| 二、油气系统的组成       | (287) |
| 三、油气系统的分类       | (291) |
| 四、关键技术与必要图件     | (293) |
| 五、在油气勘探中的应用     | (294) |
| 思考题             | (297) |
| 第九章 油气资源分布      | (298) |
| 第1节 我国油气资源分布轮廓  | (298) |
| 第2节 世界油气资源分布轮廓  | (304) |
| 一、亚洲诸板块及其边缘褶皱带  | (305) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 二、北欧板块及其边缘褶皱带·····         | (305) |
| 三、非洲板块及其边缘褶皱带·····         | (305) |
| 四、北美板块及其边缘褶皱带·····         | (310) |
| 五、南美板块及其边缘褶皱带·····         | (310) |
| 六、印度洋板块及其边缘褶皱带·····        | (310) |
| 第3节 前陆盆地·····              | (314) |
| 一、前陆盆地的概念·····             | (314) |
| 二、前陆盆地的石油地质条件·····         | (314) |
| 三、典型实例——波斯湾含油气盆地·····      | (315) |
| 第4节 裂谷盆地·····              | (319) |
| 一、概述·····                  | (319) |
| 二、盆地的形成机制和构造演化特征·····      | (319) |
| 三、石油地质特征·····              | (319) |
| 四、典型实例分析·····              | (321) |
| 第5节 克拉通盆地·····             | (325) |
| 一、概述·····                  | (325) |
| 二、盆地的形成机制和构造演化特征·····      | (325) |
| 三、石油地质特征·····              | (326) |
| 四、典型实例分析·····              | (328) |
| 思考题·····                   | (329) |
| 第十章 油气资源评价概述·····          | (330) |
| 第1节 油气资源概念及序列·····         | (330) |
| 一、资源和储量·····               | (330) |
| 二、油气资源评价的任务·····           | (332) |
| 三、油气资源评价的对象·····           | (332) |
| 第2节 油气资源评价的层次、基本内容及方法····· | (332) |
| 一、含油气大区评价·····             | (332) |
| 二、盆地评价·····                | (333) |
| 三、区带评价·····                | (333) |
| 四、圈闭评价·····                | (334) |
| 第3节 油气资源评价系统简介·····        | (334) |
| 一、综合评价系统·····              | (335) |
| 二、盆地评价系统·····              | (335) |
| 三、区带—圈闭评价系统·····           | (336) |
| 思考题·····                   | (338) |
| 参考文献·····                  | (339) |

# 绪 论

## 第 1 节 石油地质学的任务

石油和天然气在国民经济中占有极其重要的地位,现在已经能够从中提炼出 3000 多种产品,应用到各个领域。在我国实现农业、工业、国防、科学技术四个现代化中,石油和天然气是非常宝贵的燃料、润滑油料及化工原料。石油被誉为工业的血液,从石油中提炼的汽油、煤油、柴油等是汽车、拖拉机、火车、飞机、轮船的优质动力燃料,超音速飞机、火箭、导弹、飞船等现代化武器的燃料也离不开石油产品;石油和天然气具有发热量大、燃烧完全、运输方便、减少空气污染等优点,使其在世界能源消费结构中所占的比例越来越大,目前,各种能源排列顺序是石油 40%、煤炭 27.4%、水电 25.3%、天然气 22.9% 和核能 7.1%<sup>①</sup>。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”。

更为重要的是,石油和天然气作为化工原料的总趋势已经形成,乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘等化学工业应用的主要基础原料多来自石油和天然气。目前,77% 的乙烯是从天然气加工分离出来的乙烷和丙烷热解制成<sup>②</sup>,这种活泼多变的分子,其衍生物成为石油化学工业的主干原料,所以往往用乙烯产量来衡量一个国家的石油化学工业水平;丙烯有 87% 来自石油炼制产品,主要用途是生产高辛烷值汽油;苯、甲苯、二甲苯等环状有机化合物主要来自石油,它们都是汽油的重要辛烷值组分。上述石油化工产品的范围很广,既包括各种染料、农药、医药,又包括生产量大、应用面广的三大合成材料(即合成纤维、合成橡胶、合成塑料),还有重要的无机化工产品,如合成氨及硫磺等。合成氨是主要的化学肥料,世界上 70% 以上合成氨都来自天然气或石油。上述这些品种繁多的石油化工产品都是国民经济不可缺少的重要材料。

所以,我们在建设社会主义现代化强国的过程中,发展石油和天然气工业有着十分重要的意义。

作为石油地质工作者的任务就是要更快地找到更多、更大的油气宝藏,查明地下油、气资源,为高速发展石油工业奠定物质基础。我们伟大的祖国幅员辽阔,在九百六十万平方公里土地上和那一望无垠的沿海大陆架,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。但是石油和天然气深埋地下,又是流体,控制它们分布的自然条件复杂多变。那么,究竟是哪些条件,如何控制地壳上油气资源的分布?应该到何处去寻找油气宝藏?这就是石油地质学所要回答的主要问题。

石油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。它是石油及天然气地质勘探领域的重要理论基础课。学习这门课程的目的

① 据英国 BP 能源统计,1994 年 6 月。

② Heldman, J.D. 等:石油化学品,《美国大百科全书》(中译本),科学出版社。

是培养学生学会以辩证唯物主义为指导,综合运用地质、物理、化学及生物等学科的基础知识,来认识油气矿藏的形成及分布规律,明确寻找油气的方向,以便为勘探及开发油气矿藏奠定理论基础;并且在实际工作中,全面地、综合地、辩证地分析各个区域的具体地质特征,揭露和解决一个又一个矛盾,科学地预测区域的含油气远景。

## 第2节 石油地质学的内容

从油气的生成到油气矿藏的形成,是客观事物不断发展和转化的过程。在石油和天然气的生成阶段,必须探讨有机物质或无机物质能否向石油及天然气转化?当各种条件具备,它们则可能生成石油或天然气。在油气生成之后,必须进一步探讨这些分散状态的油气能否聚集起来形成油气矿藏?又受哪些因素制约?油气矿藏形成之后,事物的发展并未结束。在一定条件下,油气矿藏可能遭受破坏;逸散的油气遇到新的合适条件,仍然可能再集中,引起油气矿藏的再形成……如此螺旋式地前进,不断向前发展,这就是自然界石油和天然气从生成到油气矿藏形成的客观发展过程。所以我们将石油和天然气的生成、运移、聚集、破坏、再聚集……视为一个统一的发展过程。油气来源是基础,油气运移是纽带,油气矿藏是目标,油气资源是结果。石油地质学就是要研究自然界中油气这个复杂系统中的方方面面,探讨油气矿藏形成与破坏的动平衡过程,查明今天地壳上油气宝藏的分布规律。

所以,在建立石油地质学的课程体系时,必须由表及里、由浅入深,正确反映上述客观事物本身的发展规律,以便使学生从掌握感性认识逐步发展到理性认识,又从理性认识能动地指导石油地质的生产实践及科学研究。我们按照这种认识规律,将整个课程内容分为十章,建立了以下体系:首先阐明什么是石油和天然气,它们有哪些特征?使学生获得初步的感性认识;随着认识过程的深化,从感性发展到理性,系统讲授石油和天然气的现代成因理论及运移、聚集等油气成藏的基本原理,分析“三场”(地温场、地压场、地应力场)对油气藏形成全过程的影响;在掌握了油气藏(油气聚集的基本单元)形成机理后,用以剖析各类油气藏的形成条件及分布特征;然后逐步扩大到油气田、油气聚集带、含油气区及含油气盆地等各级油气聚集单元,并用系统论的观点将它们联成一个复杂的整体。最后,再回到实践中去改造世界,指导生产和科学研究,教给学生一些思路,在扼要了解我国及世界油气资源分布轮廓的基础上,使其善于综合应用本课程的基本理论和其他地质基础知识,学会综合分析典型含油气盆地的油气地质特征,做出含油气远景评价,科学地指出寻找油气宝藏的方向。

在选择各部分的具体内容时,根据我国生产实践和科学研究的需要,纵观国内外石油地质科学的现代发展水平,展望21世纪世界油气勘探的新趋势,比较详细地阐释了油气成因、油气成藏原理及油气分布规律,作为石油地质学的核心内容。

## 第3节 我国油气勘探简史

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,根据史料记载已有3000多年的历史。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。

早在3000多年前(公元前1122—公元前770年间)周代《易经》就有了“上火下泽”、

“火在水上”、“泽中有火”等记载，阐明了可燃的天然气在地表湖沼水面所出露的气苗。

最早的石油记载见于1900多年前班固著《汉书·地理志》：“高奴，有洧水，可燔”。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，燔乃古代燃字。这是描述水面上有像油一样的东西可以燃烧。可见约在2000年前我国就发现了能够燃烧的陕北石油。

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

9世纪初唐朝李延寿在《北史·西域传》中记载了“（龟兹）西北大山中，有如膏者流出成川。行数里入地，状如醍醐，甚臭”。龟兹即今新疆南部库车一带，远在1100多年前我国就发现库车一带的沥青宛如奶酪一样粘稠，具有臭味。

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”。他在描述了陕北富县、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”。他还第一次用油烟做墨，即现代的所谓炭黑。

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。《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。

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—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。井有二水，取井火煮之，一斛水得五斗盐”。有时一口火井可烧盐锅700口。

天然气煮盐促进了我国钻井技术的迅速发展。公元前256—公元前251年秦朝李冰为蜀守时就发明了顿钻，并在四川广都成功地钻成了第一口采盐井。至公元前221—公元前210年，四川邛崃出现了用顿钻钻凿的天然气井。

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年历史。《自流井记》关于“阴火潜燃于炎汉”的报导表明，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”。自流井即因这口井自喷卤水而得名。

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”。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》）。从汉朝末年开钻，在自流井大规模开采天然气煮盐以来，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。

我们中华民族的祖先，以其勤劳、勇敢和智慧，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，给我们留下了一笔极其珍贵的文

化遗产。

可是，近百年来，由于帝国主义的侵略和掠夺，封建主义和官僚资本主义的长期统治，使我国具有光辉历史的石油及天然气工业，解放前陷入奄奄一息的悲惨境地。帝国主义为了扼杀我国的石油工业，把中国当作他们倾销石油的市场，靠推销“洋油”来剥削中国人民，恶意捏造“中国贫油论”。解放前全国只有两个地质调查队，几十个地质勘探人员，90%以上的面积没有进行过石油地质调查。石油产量少得可怜，从1904—1949年45年间，全国只有几个小油田，石油累计产量不超过 $310 \times 10^4 \text{t}$ （表绪-1）。

表绪-1 我国1904—1949年原油产量表

| 年 份, 年 | 产 量, t | 年 份, 年 | 产 量, t |
|--------|--------|--------|--------|
| 1904   | 122    | 1941   | 243082 |
| 1905   | 464    | 1942   | 308064 |
| 1910   | 561    | 1943   | 320970 |
| 1915   | 2569   | 1944   | 300346 |
| 1920   | 1132   | 1945   | 175657 |
| 1925   | 3526   | 1946   | 101010 |
| 1930   | 65229  | 1947   | 65902  |
| 1935   | 125895 | 1948   | 89035  |
| 1940   | 172311 | 1949   | 121000 |

1949年中华人民共和国诞生后，在中国共产党的英明领导下，坚决贯彻自力更生、艰苦奋斗的精神，发现了许多油气田，石油年产量成倍上升，从解放前夕1948年的近 $9 \times 10^4 \text{t}$ ，至70年代末期就突破了 $1 \times 10^8 \text{t}$ 大关。早在1963年，敬爱的周恩来总理就向全世界庄严宣告：“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！”我们伟大的祖国彻底甩掉了“贫油”帽子，一跃而为石油出口国。这是多么翻天覆地的变化啊！

回顾新中国的石油勘探历史，大致经历了四个阶段：解放后前10年为第一阶段，开展全国石油普查，老一代地质学家李四光、黄汲清、潘钟祥、孙健初、谭锡畴、李春昱等陆续做过一些重要的石油地质调查研究工作，勘探重点在西部四川、陕甘宁、酒泉、准噶尔、柴达木、吐鲁番、民和等盆地，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，但还没有根本改变进口石油的局面。1959年9月松辽盆地松基3井喷油使我国石油勘探工作进入了第二阶段，石油勘探的重点从西部转向东部大平原，60年代初期，在我国处在极端困难的情况下，开展了“松辽找油大会战”，拿下了大庆油田。从此，捷报频传，接连发现山东的胜利油田（1963年）、天津的大港油田（1964年）等等，石油年产量迅速增长，根本改变了我国石油工业落后的面貌。1975年任丘古潜山油田的发现，打开了石油勘探的新领域，首次在古老的中、上元古界白云岩中找到了巨大的地层油藏，标志着我国石油勘探工作进入了第三阶段，油气勘探向着更广阔的领域发展：不仅在中、新生界陆相地层，而且在古生界和中、上元古界海相地层中寻找油气藏；不仅找背斜、断层等构造油气藏，而且注意勘探古潜山、地层超覆、古三角洲、古河道等多种类型地层油气藏；1978年我国原油产量逾