

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
高等院校石油天然气类规划教材

# 石油地质学

(第五版)

柳广弟 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书遵循从感性到理性的认识规律,在介绍油气水特征、储集层和盖层、圈闭和油气藏等感性知识的基础上,重点阐述了现代油气成因的基本理论、油气藏形成的基本原理以及油气在地壳中的分布规律。为了充分反映非常规油气聚集等石油地质学新进展,本书拓展了储集层、圈闭、油气藏等基本概念的内涵,完善了圈闭与油气藏的分类体系,将“常规油气”聚集与“非常规油气”聚集纳入了统一的油气成藏理论体系。

本书可作为高等学校资源勘查工程专业和地质工程专业石油地质学课程的教材,也可供勘查技术与工程(物探和测井)和石油工程等相关专业教学参考,还可供从事油气田勘探和开发工作的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油地质学 / 柳广弟主编. — 5 版. — 北京: 石油工业出版社, 2018. 8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-5183-2820-8

I. ①石… II. ①柳… III. ①石油天然气地质—高等学校—教材 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 199257 号

---

出版发行: 石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址: [www.petropub.com](http://www.petropub.com)

编辑部: (010) 64523693

图书营销中心: (010) 64523633 (010) 64523731

经 销: 全国新华书店

排 版: 保定彩虹印刷有限公司

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2018 年 8 月第 5 版 2018 年 8 月第 20 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 31

字数: 790 千字

---

定价: 60.00 元

(如发现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)

版权所有, 翻印必究

# 《石油地质学（第五版）》 编写人员名单

主 编：柳广弟 中国石油大学（北京）

参编人员：（按姓氏拼音顺序排列）

陈冬霞 中国石油大学（北京）

付 广 东北石油大学

高先志 中国石油大学（北京）

黄志龙 中国石油大学（北京）

姜福杰 中国石油大学（北京）

李平平 中国石油大学（北京）

廖明光 西南石油大学

林小云 长江大学

吕延防 东北石油大学

孙明亮 中国石油大学（北京）

王凤琴 西安石油大学

王雅春 东北石油大学

张枝焕 中国石油大学（北京）

赵卫卫 西安石油大学



# 第五版前言

《石油地质学（第四版）》自 2009 年出版已经 9 年，共印刷 8 次，发行 58000 册。该教材受到了国内广大师生的欢迎，被近 20 所高校选为教学用书或参考教材。9 年来，世界及我国油气勘探形势发生了重大变化，取得了重要进展。以页岩气为代表的非常规油气已成为油气勘探的重要领域。非常规油气勘探开发的突破不仅改变了世界能源格局，也极大地促进了石油地质学的发展。可以说，“页岩气革命”也引发了一场“石油地质学革命”，新概念、新理论应运而生，传统概念和理论得到发展和拓宽，石油地质学得到了进一步的发展和完善。因此，编写一本新的《石油地质学》教材已迫在眉睫。

事实上，以页岩油气、致密储集层油气、煤层气、天然气水合物等为代表的“非常规油气”也是含油气盆地中不同类型油气聚集大家庭中平等的一员，本来就应占有其应有的一席之地，只不过人类对它们认识较晚而已。从石油地质学的角度讲，油气聚集本无“常规”与“非常规”之分别，“常规”与“非常规”是人们从勘探开发技术角度对油气资源类型的描述，因此，“常规”与“非常规”更多的是一种工程术语，而非学术术语。本书在阐述所谓“非常规油气聚集”时，并未采用“非常规”这一术语，而是在油气藏分类体系中给予它们以应有的地位，增加了一个新的圈闭和油气藏大类——致密储集层圈闭与致密储集层油气藏，并修正了储集层、圈闭、油气藏等基本概念，拓展了油气成藏理论，将目前关于“非常规油气聚集”的概念和理论有机地融入了本教材的学术体系中。因此，本书仍继承了《石油地质学（第四版）》的教材体系。

与第四版相比，本教材主要有以下变化：

- (1) 拓展了储集层、圈闭、油气藏等基本概念的内涵，以使其适应非常规油气聚集。
- (2) 完善了圈闭与油气藏的分类体系，提出了将致密储集层圈闭与致密储集层油气藏作为与构造圈闭与构造油气藏、地层圈闭与地层油气藏、岩性圈闭与岩性油气藏并列的一大类新的圈闭与油气藏类型。
- (3) 第五章单辟一节阐述地层压力成因与分布。
- (4) 第六章提出了油气聚集过程中的力平衡、相平衡和物质平衡三大基本原理，在此基础上阐述了不同类型油气藏的形成机制，将“常规油气”聚集与“非常规油气”聚集纳入了统一的油气成藏理论体系。
- (5) 合并了第四版的第七章和第八章。
- (6) 各章都增加了思考题。

本教材是在《石油地质学（第四版）》的基础上修订而成。在教材修订之前，石油工

业出版社组织相关院校及参加第四版编写的全体作者在北京召开了教材编写启动会。教师们集思广益，对修订原则、教材体系、教材内容、术语概念和修订分工进行了广泛的研讨，制定了教材修订大纲。

本教材由柳广弟主编。各章分工如下：绪论由柳广弟编写；第一章由王凤琴和赵卫卫编写；第二章由廖明光和付广编写；第三章由陈冬霞和高先志编写；第四章由柳广弟、高先志、张枝焕和李平平编写；第五章由黄志龙、柳广弟和姜福杰编写；第六章由柳广弟和孙明亮编写；第七章由林小云、王雅春和吕延防编写。

本教材的立项和编写得到了石油工业出版社的大力支持，也得到了中国石油大学（北京）地球科学学院及相关院校领导和石油地质学教师的指导和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于我们水平所限，教材一定还有许多不当之处，在此诚请使用本教材的广大师生和阅读本书的读者提出宝贵意见与建议。书面意见和建议可以寄给本人，衷心欢迎和感谢！

本人通信地址：北京昌平中国石油大学（北京）地球科学学院，邮编：102249。

电子邮箱地址：lgd@cup.edu.cn。

柳广弟

2018年8月 于北京昌平

# 第四版前言

中国石油大学张万选、张厚福教授主编的《石油地质学》教材于1981年出版；1989年张厚福、张万选两位教授又对教材进行了修订，出版了《石油地质学》的第二版；1999年以张厚福教授为主编，组织我校一部分青年教师编写出版了新版《石油地质学》教材。1999年版《石油地质学》从教材体系到主要内容都继承了前两版《石油地质学》的基本框架，应为《石油地质学》的第三版。本次编写的《石油地质学》教材是在前三版的基础上，经前三版主编张厚福教授授权重新编写而成的。为了体现教材的延续性，充分尊重历史和老一代教师对教材建设的贡献，本书作为《石油地质学》的第四版。

本教材的编写以辩证唯物主义思想为指导，遵循加强基础理论、理论联系实际、反映国内外石油地质学发展新水平的原则，立足于石油地质学基本原理的阐述，充分反映成熟的新理论，突出中国石油地质特色。

本次编写的《石油地质学》对前三版教材的体系进行了调整，按照从感性到理性的认识规律建立教材体系。本教材首先介绍油气成藏要素（油气水、储集层和盖层、圈闭和油气藏），使学生对地下客观存在的油气藏有一个感性的认识；再阐述油气藏形成的基本原理（油气的生成、油气运移、油气聚集与油气藏的形成）；最后总结油气分布规律和控制因素。

在教材内容的选择上，加强了对石油地质学基本理论的阐述，注意吸收比较成熟的石油地质新理论和新概念（如未—低成熟油理论、煤成油理论、压力对油气演化的影响、油气系统思想、流体封存箱和输导体系概念等），增加了非常规油气资源的内容，同时删除了一些尚不成熟和超出课程大纲的内容。为了突出中国石油地质特色，注意石油地质学基本原理与我国石油地质特征相结合，增加成熟的中国石油地质理论的内容，如源控论、复式油气聚集带理论、叠合盆地油气聚集规律等，加强中国含油气盆地和典型油气藏实例的介绍。本教材的另一个特点是加强了天然气地质学的有关内容，其中特别充实了天然气成因的内容，增加了对天然气成藏原理方面的阐述。同时增加了对油气在盆地内部分布规律和控制因素的阐述，增加了世界油气资源分布特征等内容。

本教材继承了北京石油学院1961年《石油地质学》（中国工业出版社）和1966年《石油地质学》（校内铅印）教材、华东石油学院1972年《油田地质》（校内铅印）以及本教材前三版的精华，力求反映中国石油大学三代石油地质学教师50多年教学经验的积累。同时，为了充分反映我国石油高等院校广大石油地质学教师的科研成果和教学经验，组织了以中国石油大学（北京）教师为主，其他四所石油高校教师参加的教材编写组。参加本教材

编写的有中国石油大学（北京）柳广弟、高先志、黄志龙、张枝焕、刘震和高岗，大庆石油学院吕延防和付广，西南石油大学廖明光，长江大学林小云，西安石油大学王凤琴。

本教材由柳广弟担任主编。各章编写分工如下：绪论由柳广弟编写；第一章由王凤琴编写；第二章第一节至第四节由廖明光编写，第五节由付广编写；第三章由高先志编写；第四章第一节至第四节由柳广弟和张枝焕编写，第五节和第六节由高先志编写，第七节由张枝焕编写；第五章由柳广弟编写；第六章第一节和第二节由柳广弟编写，第三节由黄志龙编写，第四节和第五节由柳广弟编写；第七章由林小云和柳广弟编写；第八章第一节至第四节由吕延防编写，第五节由高岗编写，第六节由柳广弟和刘震编写。

本书各章初稿完成后，主编对各章内容进行了仔细审阅，就有关问题与编者进行了深入讨论，对初稿进行了修改和统稿。初稿完成后，除参编各校教师互审外，特邀请教材前三版主编张厚福教授和中国石油大学（华东）蒋有录教授对教材进行了审查，张厚福教授担任主审。审稿专家对教材初稿进行了认真审查，提出了许多宝贵意见。根据审稿专家的意见，主编和编者又对教材进行了进一步的修改，于2008年8月定稿。

在教材立项和编写过程中，得到中国石油大学（北京）教务处和资源与信息学院领导的支持，也得到相关院校领导的支持，在资料选取和收集过程中得到了中国石油勘探开发研究院和有关油田领导和专家的帮助，并参考了大量公开出版的文献、内部资料及少量网上资料，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，教材中一定还有许多不当之处，在此诚请使用本教材的广大师生和阅读本书的读者提出宝贵意见，以便教材再版时修改。书面意见可寄给本人，衷心欢迎和感谢！

本人通信地址：北京昌平中国石油大学（北京）资源与信息学院，邮编 102249。

电子邮箱地址：lgd@cup.edu.cn。

柳广弟

2008年8月 于北京昌平

# 目 录

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 绪论 .....                   | (1)  |
| 第一节 石油和天然气在当代社会中的地位 .....  | (1)  |
| 第二节 石油地质学的研究内容 .....       | (2)  |
| 第三节 油气勘探简史 .....           | (3)  |
| 一、世界油气勘探简史 .....           | (3)  |
| 二、中国油气勘探简史 .....           | (5)  |
| 第四节 石油地质学的发展历史 .....       | (10) |
| 一、石油地质学的形成与发展 .....        | (10) |
| 二、中国对石油地质学发展的贡献 .....      | (14) |
| 第一章 石油、天然气、油田水的成分和性质 ..... | (16) |
| 第一节 石油的成分和性质 .....         | (16) |
| 一、石油的族分和组分 .....           | (16) |
| 二、石油的化学组成 .....            | (16) |
| 三、石油的物理性质 .....            | (24) |
| 第二节 天然气的成分和性质 .....        | (26) |
| 一、天然气的产状 .....             | (26) |
| 二、天然气的化学组成 .....           | (27) |
| 三、天然气的物理性质 .....           | (29) |
| 第三节 油田水的成分和类型 .....        | (30) |
| 一、油田水的概念及形成 .....          | (30) |
| 二、油田水的化学组成 .....           | (31) |
| 三、油田水的类型 .....             | (31) |
| 四、油田水在油气勘探中的应用 .....       | (32) |
| 第四节 石油和天然气中的碳、氢同位素 .....   | (33) |
| 一、碳、氢的同位素 .....            | (33) |
| 二、油气中的稳定碳同位素 .....         | (33) |
| 三、油气中的稳定氢同位素 .....         | (33) |
| 思考题 .....                  | (34) |
| 第二章 储集层和盖层 .....           | (35) |
| 第一节 储集层的概念 .....           | (35) |
| 第二节 岩石的孔隙性和渗透性 .....       | (36) |
| 一、孔隙性与孔隙度 .....            | (36) |
| 二、渗透性和渗透率 .....            | (39) |
| 三、孔隙度与渗透率的关系 .....         | (42) |
| 四、孔隙结构 .....               | (43) |

|            |                            |       |
|------------|----------------------------|-------|
| 第三节        | 碎屑岩储集层 .....               | (49)  |
| 一、         | 碎屑岩储集层的储集空间类型 .....        | (50)  |
| 二、         | 影响碎屑岩储集层储集物性的主要因素 .....    | (51)  |
| 第四节        | 碳酸盐岩储集层 .....              | (62)  |
| 一、         | 碳酸盐岩储集层的储集空间类型 .....       | (62)  |
| 二、         | 影响碳酸盐岩储集层物性的主要因素 .....     | (66)  |
| 三、         | 碳酸盐岩储集层的类型 .....           | (72)  |
| 第五节        | 火山岩储集层 .....               | (78)  |
| 一、         | 火山岩储集层的储集空间类型 .....        | (79)  |
| 二、         | 影响火山岩储集层储集物性的主要因素 .....    | (81)  |
| 第六节        | 结晶岩储集层 .....               | (84)  |
| 第七节        | 页岩储集层 .....                | (85)  |
| 一、         | 页岩储集层的储集空间类型 .....         | (85)  |
| 二、         | 影响页岩储集层储集物性的主要因素 .....     | (87)  |
| 第八节        | 盖层及其封闭能力评价 .....           | (91)  |
| 一、         | 盖层类型 .....                 | (91)  |
| 二、         | 盖层封闭油气机理 .....             | (92)  |
| 三、         | 盖层封闭能力的影响因素 .....          | (93)  |
| 四、         | 盖层封闭能力评价 .....             | (97)  |
| 思考题        | .....                      | (98)  |
| <b>第三章</b> | <b>圈闭与油气藏</b> .....        | (99)  |
| 第一节        | 圈闭与油气藏的概念 .....            | (99)  |
| 一、         | 圈闭的概念和含义 .....             | (99)  |
| 二、         | 圈闭的度量 .....                | (100) |
| 三、         | 油气藏的概念 .....               | (102) |
| 四、         | 油气藏的度量 .....               | (103) |
| 第二节        | 圈闭与油气藏的分类 .....            | (104) |
| 一、         | 圈闭和油气藏分类的基本原则 .....        | (104) |
| 二、         | 圈闭成因类型及油气藏按圈闭成因的分类 .....   | (104) |
| 三、         | 油气藏按相态的分类 .....            | (106) |
| 四、         | 有关油气藏类型的其他术语和概念 .....      | (106) |
| 第三节        | 构造圈闭与构造油气藏 .....           | (109) |
| 一、         | 背斜圈闭与背斜油气藏 .....           | (109) |
| 二、         | 断层圈闭与断层油气藏 .....           | (120) |
| 三、         | 岩体刺穿接触圈闭与岩体刺穿接触油气藏 .....   | (124) |
| 第四节        | 地层圈闭与地层油气藏 .....           | (126) |
| 一、         | 地层不整合遮挡圈闭与地层不整合遮挡油气藏 ..... | (127) |
| 二、         | 地层超覆圈闭与地层超覆油气藏 .....       | (132) |
| 第五节        | 岩性圈闭与岩性油气藏 .....           | (135) |
| 一、         | 储集岩上倾尖灭圈闭与储集岩上倾尖灭油气藏 ..... | (136) |

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| 二、储集岩透镜体圈闭与储集岩透镜体油气藏 .....     | (138)        |
| 三、生物礁圈闭与生物礁油气藏 .....           | (142)        |
| 四、成岩后生岩性圈闭与成岩后生岩性油气藏 .....     | (146)        |
| 第六节 致密储集层圈闭与致密储集层油气藏 .....     | (149)        |
| 一、致密砂岩油气藏 .....                | (149)        |
| 二、页岩油气藏 .....                  | (158)        |
| 三、煤层气藏 .....                   | (168)        |
| 第七节 复合圈闭与复合油气藏 .....           | (174)        |
| 一、概述 .....                     | (174)        |
| 二、构造—岩性圈闭与构造—岩性油气藏 .....       | (175)        |
| 三、构造—地层圈闭与构造—地层油气藏 .....       | (175)        |
| 四、岩性—地层圈闭与岩性—地层油气藏 .....       | (176)        |
| 五、水动力圈闭与水动力油气藏 .....           | (178)        |
| 思考题 .....                      | (180)        |
| <b>第四章 石油和天然气的生成与烃源岩 .....</b> | <b>(182)</b> |
| 第一节 油气成因理论发展概况 .....           | (182)        |
| 一、无机成因说 .....                  | (182)        |
| 二、有机成因说 .....                  | (184)        |
| 第二节 油气生成的物质基础 .....            | (186)        |
| 一、原始有机质及其化学组成 .....            | (186)        |
| 二、干酪根 .....                    | (188)        |
| 第三节 油气生成的动力条件 .....            | (195)        |
| 一、温度和时间的作用 .....               | (196)        |
| 二、细菌的生物化学作用 .....              | (200)        |
| 三、催化作用和放射性作用 .....             | (201)        |
| 第四节 有机质演化与生烃模式 .....           | (201)        |
| 一、有机质演化阶段的划分 .....             | (201)        |
| 二、有机质演化的基本特征 .....             | (203)        |
| 三、有机质生烃模式 .....                | (207)        |
| 四、煤成油问题 .....                  | (210)        |
| 五、压力在有机质演化和油气生成中的作用问题 .....    | (210)        |
| 第五节 天然气的成因类型及特征 .....          | (212)        |
| 一、天然气的生成特点 .....               | (212)        |
| 二、天然气的成因类型和基本特征 .....          | (214)        |
| 三、不同成因类型天然气的鉴别 .....           | (218)        |
| 第六节 烃源岩 .....                  | (225)        |
| 一、烃源岩的概念 .....                 | (225)        |
| 二、烃源岩的岩石类型 .....               | (225)        |
| 三、烃源岩形成的控制因素 .....             | (226)        |
| 四、烃源岩形成的地质环境 .....             | (228)        |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 五、烃源岩的地球化学特征 .....           | (230)        |
| 六、烃源岩下限标准问题 .....            | (239)        |
| 第七节 油气源对比 .....              | (241)        |
| 一、油源对比 .....                 | (241)        |
| 二、气源对比 .....                 | (249)        |
| 思考题 .....                    | (251)        |
| <b>第五章 石油和天然气的运移 .....</b>   | <b>(253)</b> |
| 第一节 与油气运移有关的基本概念 .....       | (253)        |
| 一、初次运移和二次运移 .....            | (253)        |
| 二、界面现象 .....                 | (254)        |
| 三、溶解和扩散 .....                | (257)        |
| 第二节 地层压力及其分布 .....           | (259)        |
| 一、地层压力的概念 .....              | (259)        |
| 二、异常压力成因 .....               | (260)        |
| 三、沉积盆地压力分布 .....             | (269)        |
| 第三节 石油和天然气的初次运移 .....        | (276)        |
| 一、油气初次运移的相态 .....            | (276)        |
| 二、油气初次运移的主要动力 .....          | (281)        |
| 三、油气初次运移的通道 .....            | (285)        |
| 四、油气初次运移模式 .....             | (287)        |
| 五、烃源岩有效排烃厚度 .....            | (288)        |
| 第四节 石油和天然气的二次运移 .....        | (289)        |
| 一、油气二次运移的相态 .....            | (289)        |
| 二、油气二次运移过程中力的作用 .....        | (290)        |
| 三、流体势与流体运移 .....             | (294)        |
| 四、油气二次运移的通道和输导体系 .....       | (299)        |
| 五、油气二次运移的方向 .....            | (306)        |
| 六、油气二次运移的距离 .....            | (315)        |
| 七、油气二次运移的主要时期 .....          | (316)        |
| 思考题 .....                    | (317)        |
| <b>第六章 油气聚集与油气藏的形成 .....</b> | <b>(318)</b> |
| 第一节 油气藏形成的基本条件 .....         | (318)        |
| 一、充足的油气来源 .....              | (318)        |
| 二、有利的生储盖组合配置关系 .....         | (324)        |
| 三、有效的圈闭 .....                | (326)        |
| 四、良好的保存条件 .....              | (330)        |
| 第二节 油气聚集与成藏过程 .....          | (332)        |
| 一、油气聚集的基本原理 .....            | (332)        |
| 二、力平衡与物质平衡控制的油气成藏过程 .....    | (341)        |
| 三、相平衡控制的油气成藏过程 .....         | (347)        |

|             |                           |              |
|-------------|---------------------------|--------------|
| 第三节         | 油气藏的破坏及其产物 .....          | (355)        |
| 一、          | 油气藏破坏的主要地质作用 .....        | (355)        |
| 二、          | 油气藏破坏的产物 .....            | (358)        |
| 第四节         | 油气藏的寿命和形成时间 .....         | (362)        |
| 一、          | 油气藏的寿命 .....              | (362)        |
| 二、          | 油气藏形成时间的确定 .....          | (363)        |
| 第五节         | 油气成藏系统 .....              | (370)        |
| 一、          | 油气系统 .....                | (370)        |
| 二、          | 油气运聚单元 .....              | (374)        |
|             | 思考题 .....                 | (378)        |
| <b>第七章</b>  | <b>油气分布规律</b> .....       | <b>(380)</b> |
| 第一节         | 油气田与油气聚集带 .....           | (380)        |
| 一、          | 油气田 .....                 | (380)        |
| 二、          | 油气聚集带 .....               | (386)        |
| 第二节         | 含油气盆地 .....               | (394)        |
| 一、          | 含油气盆地的基本特征 .....          | (395)        |
| 二、          | 含油气盆地的类型 .....            | (398)        |
| 第三节         | 典型盆地石油地质特征与油气分布规律 .....   | (401)        |
| 一、          | 裂谷盆地 .....                | (401)        |
| 二、          | 前陆盆地 .....                | (414)        |
| 三、          | 走滑盆地 .....                | (420)        |
| 四、          | 克拉通盆地 .....               | (427)        |
| 五、          | 叠合盆地 .....                | (431)        |
| 第四节         | 世界油气资源分布特征 .....          | (440)        |
| 一、          | 资源与资源量的概念 .....           | (440)        |
| 二、          | 世界油气资源 .....              | (441)        |
| 三、          | 油气资源的地理分布 .....           | (442)        |
| 四、          | 油气资源的盆地分布 .....           | (443)        |
| 五、          | 油气资源的地层分布 .....           | (444)        |
| 六、          | 油气资源的深度分布 .....           | (445)        |
| 七、          | 全球油气勘探趋势 .....            | (447)        |
| 第五节         | 油气分布的控制因素 .....           | (449)        |
| 一、          | 烃源岩和生排烃中心对油气分布的控制作用 ..... | (449)        |
| 二、          | 二级构造带和古隆起对油气分布的控制作用 ..... | (454)        |
| 三、          | 局部构造和沉积相带对油气分布的控制 .....   | (455)        |
| 四、          | 断裂对油气分布的控制 .....          | (458)        |
| 五、          | 地层不整合对油气分布的控制 .....       | (459)        |
| 六、          | 区域性盖层对油气分布的控制作用 .....     | (460)        |
|             | 思考题 .....                 | (462)        |
| <b>参考文献</b> | .....                     | <b>(463)</b> |



# 绪 论

## 第一节 石油和天然气在当代社会中的地位

石油和天然气作为一种重要的能源和战略资源，在当代社会和国民经济中占有极其重要的地位。党中央和国务院对油气资源高度重视，将油气资源与粮食、水资源一同列为影响经济社会可持续发展的三大战略资源。石油已经不仅仅是“工业的血液”，它已经渗透到社会生活的方方面面，并且在国际战略中具有举足轻重的地位。

石油和天然气工业在世界经济中占有极其重要的地位。据 2017 年《财富》杂志统计，在世界 500 强公司的排行榜前 10 名中，就有 5 家石油公司，分别是中国石油（CNPC）、中国石化（SinoPEC）、皇家壳牌（Shell）、埃克森美孚（ExxonMobil）和英国石油（BP）。可见，石油天然气工业是世界经济的支柱产业，在世界经济中占有极其重要的地位。

石油和天然气是非常宝贵的燃料。石油是工业的血液，从石油中提炼的汽油、煤油、柴油等是汽车、火车、飞机、轮船的优质动力燃料，火箭、导弹等现代化武器的燃料也离不开石油产品。石油和天然气的发热量大、燃烧完全、运输方便和污染小等优点，使其在世界能源消费结构中所占的比例越来越大。据 2017 年《BP 世界能源统计年鉴》，2016 年世界能源消费总量为  $132.76 \times 10^8$  t 油当量，其中石油占 33.3%，煤炭占 28.1%，天然气占 24.1%，水电占 6.8%，核能占 4.5%，可再生能源占 3.2%。石油和天然气占世界能源消费的 57.4%。

石油又是提炼润滑油料的重要原料。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”。

石油和天然气还是重要的化工原料。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。上述石油化工产品的应用范围很广，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。现在已经能够从石油和天然气中提炼出 3000 多种产品，应用到各个领域。石油化工产品已经成为国民经济和社会生活中不可缺少的重要材料。

石油作为一种战略资源在国际政治中占有越来越重要的地位。以前国际争端是为了领土和主权，现代国际政治争夺的是什么？专家的回答是：石油！从近几十年来国际关系的现实可以看到，石油资源是国家间发生战争和冲突的主要因素，特别是谋求对石油资源的控制成为国际斗争的焦点之一。两伊战争、伊拉克入侵科威特、海湾战争、阿富汗战争、伊拉克战争、巴以冲突、非洲一些国家的内战，以及涉及中国主权的南海问题、东海问题等，其背后都存在着深刻的石油因素。随着石油资源的日益紧缺，石油对社会经济发展的制约作用将愈加突出，以各种形式出现的全球能源争夺战也将愈演愈烈。

我国是世界产油大国，也是石油消费大国。2016 年我国石油产量为  $1.996 \times 10^8$  t，居世界第五位。随着我国社会经济的高速发展，对石油的需求量也越来越大，继 1993 年我国成

为石油净进口国之后，石油需求持续增长，2016年消费石油 $5.778 \times 10^8$ t，是继美国之后的全球第二大石油消费国。我国石油的对外依存度已高达65.4%，从国外进口的石油主要来自中东地区、非洲、前苏联地区和南美等地。从非洲和中东地区进口的石油都要经过长距离海运，霍尔木兹海峡和马六甲海峡是必经之路。目前，阿拉伯地区纷争不断、大国势力不断介入、世界恐怖主义猖獗、海盗活动频繁，这些都严重地影响着我国的石油安全。

我国拥有 $960 \times 10^4 \text{km}^2$ 的陆地领土面积和 $300 \times 10^4 \text{km}^2$ 的海洋国土面积，沉积盆地星罗棋布，沉积岩系分布广泛，不仅有面积巨大的陆相沉积盆地，而且拥有海相碳酸盐岩层系异常发育的广大区域，蕴藏着丰富的石油和天然气资源。加强国内石油勘探和开发仍然是解决我国石油供应和石油安全的基础。在此基础上，应积极拓展海外油气勘探和开发工作。作为石油地质工作者，勘探和开发更多的石油是我们义不容辞的责任。

## 第二节 石油地质学的研究内容

石油和天然气深埋地下数千米，又是流体，其分布十分复杂。由于目前我们无法直接探测到地下的油气，要寻找地下的石油和天然气，必须首先搞清以下一些问题：石油和天然气在地下是如何分布的？石油和天然气在地下的分布受哪些地质因素的控制？地壳上油气的分布有哪些规律？应该到何处去寻找油气宝藏？这些问题就是石油地质学所要解决的主要问题。

要搞清这些问题，必须首先从一些基本问题入手。例如：地下的石油是如何生成的？石油储存在什么地方？石油和天然气都是流体，那么它们为什么能够聚集到一起？它们聚集在什么地方？在地质历史上频繁的构造运动中，石油和天然气为什么能够保存下来？这些问题都是石油地质学研究的基本问题，石油地质学家把它们用“生、储、盖、圈、运、保”六个字来概括。

“生”就是油气生成问题，主要研究油气生成的原始物质、油气生成机理以及烃源岩，即生成石油的岩石特征及其分布。

“储”就是油气储集问题。地下没有石油河或石油湖，油气是储集在孔隙性的岩石中，这样的岩石称为储集岩。储集岩的特征、储集岩的分布以及储集性能的控制因素都是石油地质学要研究的问题。

“盖”就是油气封盖问题。由于地下孔隙性岩石中都含有水，在浮力的作用下，油气将趋于向上运动。油气要保存在地下，必须有一套致密的岩层盖在储集岩之上，以防止油气向上散失，这样的岩层称为盖层。石油地质学要研究盖层的岩性、封闭油气的机理、盖层的分布等。

“圈”就是圈闭问题。有了储集岩和盖层，油气就能够聚集在一起了吗？不能。油气还可能从四周散失掉。为了使油气不至于从四周散失，还必须有一定的遮挡条件。由储集岩、盖层和遮挡条件所构成的适合于油气聚集的场所就是“圈闭”。圈闭的类型、圈闭的形成条件、不同类型圈闭的分布也是石油地质学研究的内容。

“运”就是油气运移问题。油气生成的地方并不一定是它现在聚集的地方。油气必须经过移动才能从它生成的地方（烃源岩）进入它储集的地方（储集岩），最后到达它聚集的地方（圈闭）。这样一个过程就是油气的运移。油气经过运移进入圈闭后就会聚集起来，这样就形成了油气藏。油气运移和聚集过程十分复杂，涉及油气运移的相态、动力、通道、方

向、时间、距离等，也涉及油气聚集和油气藏形成的基本条件等诸多问题，这些都是石油地质学研究的重要问题。

“保”就是油气的保存问题。油气藏都是形成在地质历史时期，成藏以后要经过相当长时间的地质演化。在这一过程中，已经形成的油气藏能否保存下来，在什么条件下才能保存下来，也是石油地质学必须解决的问题。

在搞清了上述问题的基础上，就可以研究油气聚集与分布特征、油气分布控制因素，总结油气分布的规律，为石油和天然气的勘探和开发奠定基础，指导油气勘探和开发工作。

上述石油地质学研究的主要内容也可以概括为三个基本的科学问题，即油气成因问题、油气成藏问题、油气分布控制因素与分布规律问题。因此，石油地质学就是研究地壳中油气成因、成藏的基本原理和油气分布规律的一门学科。石油地质学是矿床学的一个分支。它是石油天然气地质勘探以及油气田开发领域的重要基础理论。

这里还要明确一个概念，石油地质学中的“石油”对应于英文中的“petroleum”，包括液态的石油和气态的天然气。因此“石油地质学”（petroleum geology）实际上就是“石油和天然气地质学”（oil and gas geology）。

### 第三节 油气勘探简史

英文“petroleum”一词来源于希腊文 petra（岩石）和 oleum（油）之意。中文“石油”一词，来源于宋代沈括（1031—1095）的《梦溪笔谈》。实际上，人类认识油气和利用油气的历史由来已久，各文明古国都有类似的传说和记载。据考古考证，早在两河文明时代，苏美尔人（Sumer）曾使用沥青做雕刻品；巴比伦楔形文字中有关于在死海沿岸采集石油的记述；美索不达米亚地区曾用砖和沥青建造教堂；古代苏美尔人曾用石油制成沥青，用作建筑和绝缘材料；波斯帝国时代在首都苏萨附近凿有石油井（吴凤鸣，2000）。早在3000年以前，古代中国人就观察到天然气燃烧的现象，在2000年前就有关于石油的文献记载，1835年我国就钻成了世界上的第一口超过千米的深井。但世界石油界，特别是美国石油界，都把德雷克（Edwin Laurentin Drake, 1819—1881）于1859年8月27日钻成的一口油井作为世界第一口油井，并把这件事看作世界石油工业的开端（吴凤鸣，2000；王才良、周珊，2006a）。

#### 一、世界油气勘探简史

早期利用的石油主要来自从油苗自然流出的石油。在美国宾夕法尼亚州泰特斯维尔城附近有一条小河，河边有一系列油苗，河面上常常漂着原油，人们把这条小河称为石油溪。近代的石油工业就是从这里开始的。1854年，弗朗西斯·布鲁尔医生买下油苗所在的西巴德农场，与合伙人成立了世界上第一个石油公司——宾夕法尼亚岩石油公司，通过挖坑采集这里的石油。后来西巴德农场落到了公司股东之一的杰姆士·汤森手里，他与人合伙于1858年3月23日成立了塞尼卡石油公司，垄断了这里的石油经营。德雷克就是这个公司的股东之一。德雷克尝试用顿钻钻井，并于1859年8月27日在钻到21m深时出油，他用蒸汽动力泵抽出了石油，这口井的日产达到30bbl。实际上，在中国、俄罗斯、罗马尼亚等国都有早于德雷克井的气井和油井（吴凤鸣，2000），但世界石油界还是将德雷克井看作世界第一口油井，并作为近代石油工业的开端。