



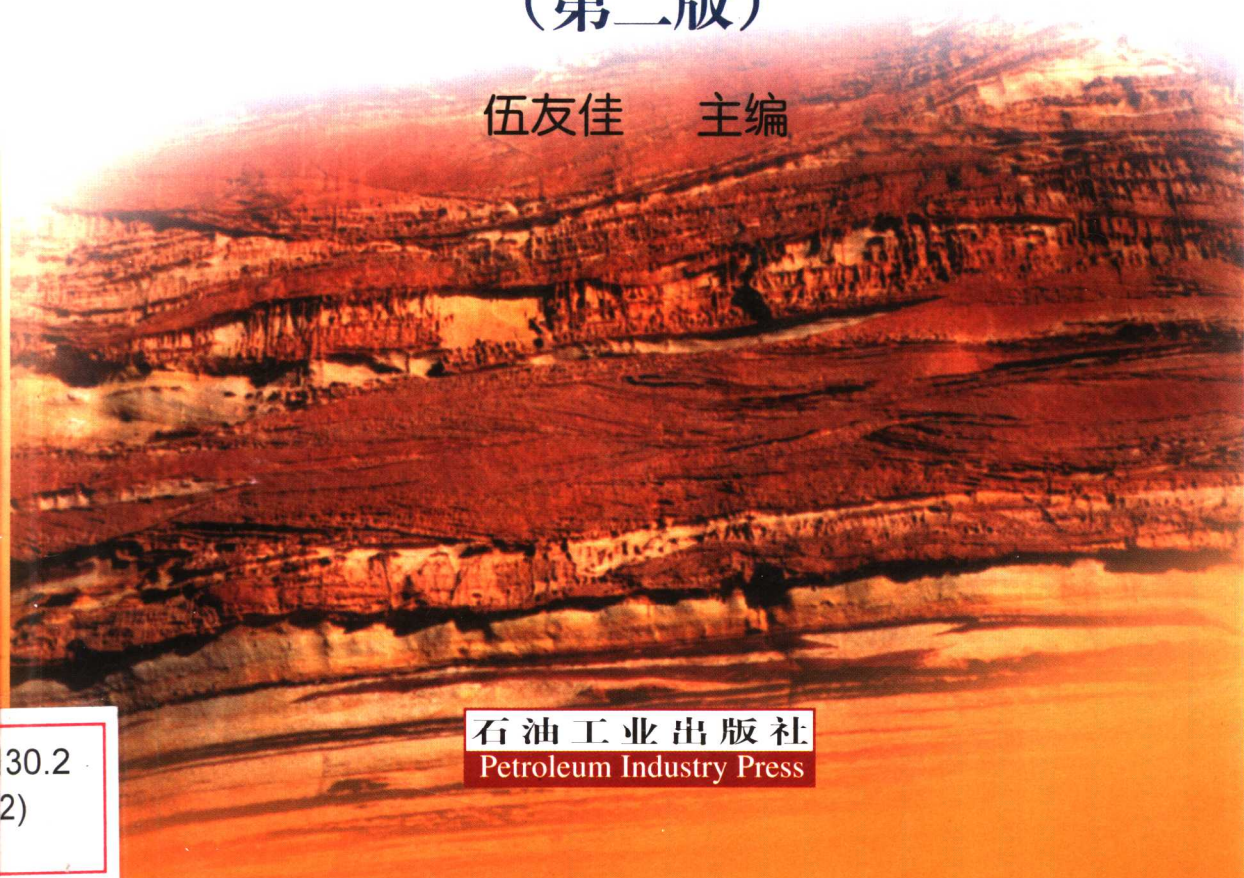
面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

高等院校石油天然气类规划教材

油藏地质学

(第二版)

伍友佳 主编



30.2
(2)

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

高等院校石油天然气类规划教材

油藏地质学

(第二版)

伍友佳 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统介绍油藏形成、油藏描述展示及油藏在开发中的地质变化等油藏地质知识，目的在于让从事石油上游行业工作的非地质人员了解掌握关于油藏地质的基本知识，为其进一步学习石油专业课程及从事相关工作打下一个全面、适中的油藏地质知识的基础。

本书的主要服务对象是石油工程、石油物探、石油测井等工程专业人员，此外也可作为从事油田化学、油田经营管理等专业人员学习掌握油藏地质知识的教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

油藏地质学/伍友佳主编. —2 版.

北京: 石油工业出版社, 2004. 2

面向 21 世纪课程教材. 高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 7-5021-4583-4

I. 油…

II. 伍…

III. 油田开发-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 (2004) 第 012016 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.cn

总 机: (010) 64262233 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印刷

2004 年 2 月第 2 版 2004 年 2 月第 2 次印刷

787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 22.75

字数: 406 千字 印数: 2001—5000 册

ISBN 7-5021-4583-4/TE·3207 (课)

定价: 30.00 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

初版前言

《油藏地质学》是为非地质专业的本科学生学习油气地质知识而开设的一门课程。在学习了《地质学基础》课程之后，为使学生了解、掌握油气藏形成、油气藏描述、油藏地质在开发过程中的变化等油气地质知识，特意编写了这本《油藏地质学》教材。本书内容包括油气生成与运移聚集的石油地质知识、油气藏描述知识，以及油藏在开发过程中的地质变化等开发地质知识。目的在于让从事石油上游行业工作的非地质勘探人员通过本书的学习就可基本了解、掌握油藏或油田地质的基本知识。这就为从事钻井、采油、油藏工程、石油物探及其他石油上游行业工作的同志学习后续专业课程打下一个全面的油藏地质知识的基础。

本书绪论、第一章~第三章及第八章~第九章由伍友佳高级地质师编写，第四章~第七章由蔡正旗副教授编写，全书由伍友佳统稿。由于水平所限，加之时间仓促，错漏之处在所难免，望各位专家、同行及广大读者给予指正。

编者

2000年11月

本版前言

本书出版两年，所印2 000册已销售一空，不得不于今年再版。不少专家、老师、同学、和读者对本书提出了许多意见和建议，足见他们对本教材的关心和爱护。籍此再版之时，首先向关心本书的专家、师生和读者表示深切的谢意。

本次再版，对全书做了较大修订。主要考虑与石油工程、石油物探等非地质的石油上游专业的《地质基础》课程的衔接，对初版第四章~第七章中较深的内容和与《地质基础》课程衔接不好的部分做了全面改动。对初版第八章~第九章和第一章~第三章中的部分内容做了次序调整。此外，对全书的字句做了进一步的斟酌、订正。

本次再版，由于蔡正旗副教授忙于其他工作，全书由伍友佳高级地质师结合教学实践和各方面意见进行了全面修订。虽然如此，限于个人的业务水平，书中的不足与错漏仍在所难免，切望各位专家、同仁和广大读者给予批评指正。

伍友佳
2003年10月

目 录

绪论	1
第一章 石油生成	5
第一节 石油组成及性质	5
第二节 石油的生成	17
第三节 生油岩与生油层	26
第四节 天然气的成因类型	29
第二章 油气储集层	33
第一节 基本特征	33
第二节 碎屑岩储集层	39
第三节 碳酸盐岩储集层	48
第四节 其他岩类储集层	58
第五节 盖层与生储盖组合	64
第三章 油气藏	68
第一节 油气运移	68
第二节 圈闭与油气藏	72
第三节 油气藏形成的基本条件	77
第四节 油气藏分类及油气勘探简介	80
第四章 油藏描述的资料	88
第一节 概念及内容	88
第二节 钻井地质资料	99
第三节 测井资料	124
第四节 物探资料	124
第五节 试油资料	133
第六节 油田动态资料	140
第五章 储集层研究	145
第一节 概述	145
第二节 油层对比	150
第三节 沉积微相研究	168
第四节 非均质性研究	182
第五节 地质模型与综合评价	202

第六章 油藏特征研究	211
第一节 油藏构造研究.....	211
第二节 油藏断层研究.....	215
第三节 油藏流体与压力、温度系统.....	225
第四节 油藏原始能量与原始驱动类型.....	236
第七章 油气储量计算	244
第一节 概述.....	244
第二节 容积法油气储量计算.....	249
第三节 油气采收率测算.....	268
第四节 油气储量评价.....	279
第八章 油藏开发期地质特征	284
第一节 油藏开发地质基础.....	284
第二节 开发过程中的油藏地质变化.....	301
第三节 油层水洗规律.....	320
第九章 剩余油分布研究	332
第一节 剩余油概念及检测研究方法.....	332
第二节 剩余油分布研究.....	340
参考文献	354
编后语	356

绪 论

一、油藏地质学课程设置与定名

1. 油藏地质学课程的设置

“油藏地质学”一词，对许多人来说，虽然不难理解，但却是较为陌生的。因为迄今为止，在中外石油高校中，尚未见到“油藏地质学”这一课程设置或这一课程的专用教材。之所以开设这门课程，主要是因为有以下两点。

(1) 石油高校系科改革与专业合并的需要

自1995年以来，国内各石油高校已全部将钻井工程、采油工程、油藏工程三个专业合并为石油工程专业，将物探、测井专业合并为石油地球物理探测专业等。随着专业的合并，专业知识面势必扩宽，专业课程数目将会增多，显然，对一些课程进行适当调整合并，既必要，又必须。

(2) 专业地质课程系统性的需要

非石油地质专业的师生常感到地质课程分散，缺乏系统性、连贯性，遂有集地质课程于一门课程的建议。传统的石油地质专业知识分布在《普通地质学》、《矿物学》、《普通岩石学》、《沉积岩石学》、《地层古生物学》、《构造地质学》、《石油地质学》、《油矿地质学》、《开发地质学》等课程中，这对于非石油地质专业的师生来说确有分散之嫌。在考虑上述意见并全面权衡以后，各方比较一致的意见是，将石油工程专业、石油地球物理探测专业的地质课程集中合并为两门：一门是《地质基础》，集中讲述普地、岩矿、沉积岩与沉积相、构造等地质基础知识；另一门是《油藏地质学》，集中介绍油藏形成、油藏描述、油藏开发等专业地质知识。这样的课程设置，便于非地质专业学生能对石油地质的专业知识形成一个系统连贯的认识。

2. 油藏地质学课程的定名

本课程所以定名为《油藏地质学》，是考虑到以下两项原因：

(1) 本学科涉及油藏的各种问题

非地质勘探人员的石油业务工作主要集中在油藏和较油藏略作扩展的油田，他们一般不需要从整个盆地或整个油区来思考地质问题。“油藏地质”或“油藏地质学”一词，已较为准确地概括了他们的专业地质知识范围。

(2) 本学科与开发地质有明显区别

有同志建议定名为“开发地质学”，以突出其适应石油工程及相关专业的特点。但考虑到《开发地质学》这门课程已于数年前在一些石油高校的

地质专业中开设，并且已有书名为《开发地质学》的教材出版，其内容则是在学习了《石油地质学》、《油矿地质学》之后的地质知识的延伸扩展，这显然与我们这里的“油藏地质学”所涵盖的内容大不一样。若采用“开发地质学”一名，则势必造成混乱。

基于以上原因，《油藏地质学》课程的名称就这样确定了。

3. 油藏地质学的定义

在了解了上述关于《油藏地质学》的设置与定名的情况以后，我们就可以对“油藏地质学”做如下定义：

油藏地质学就是关于油藏形成、油藏地质特征、油藏在开发中的地质变化的理论和研究方法的学科。

二、油藏地质学研究的内容

油藏地质学主要研究以下三方面的内容。

1. 石油及油藏的形成

石油与油藏都是在漫长的地质历史时期中逐渐形成的，它们的形成和演化都有其自身的规律性。这部分内容传统上是属于《石油地质学》的研究范畴，但现行的《石油地质学》教材都是以勘探找油为目的编写的，其内容大量涉及石油与油藏的形成、赋存和分布的学说、理论和研究，这对于非地质专业的学生来说显然太多、太专、太深。因此，本教材只择取其中关于石油与油藏形成的基本部分，而将主要基于勘探找油目的的油气藏类型及分布规律等内容予以大量舍弃。在资料与研究成果的使用、介绍中，尽可能补充近年来较为流行或公认的研究成果，由此形成了本教材的第一章~第三章。

2. 油藏特征的认识描述

油藏深埋地下，石油渗浸在地层岩石中，人们看不见摸不着。它们像什么样？怎样探测认识它们？怎样掌握并展示它们的形态特征、油层分布状况、资源数量与质量等，这便是油藏描述的内容。《石油地质学》也讲述油藏描述的有关内容，但它仅仅局限于勘探阶段的粗线条的描述；《油矿地质学》大量讲述油藏描述的内容，但仍然兼顾勘探较多，立足开发甚少。本教材的主要服务对象既然是石油工程专业人员，当然应该立足开发来讲述油藏描述的内容。因此，根据近年油藏描述、储集层研究方面的最新成果和流行认识进行了适当的补充增删，由此形成了本教材的第四章~第七章。

3. 油藏开发中的地质变化与剩余油分布

油藏投入开发以后，不仅有地下油气水的运动变化，而且还有地下油层自身及其与流体相互作用的变化，这些变化共同影响着油气的采出和油田开发效果。而开发过程中的油水运动变化和剩余油分布，则是油田开发

工作者所全力追寻的目标。这部分内容传统上是由《开发地质学》讲述的。本教材将这部分内容集中并系统化，尤其注意补充新的研究资料，注重介绍现场生产应用情况，由此形成了本教材的第八章~第九章。

三、油藏地质在油气田开发中的地位和作用

油藏从发现到开发结束，要经历很长的时间，其间要经过评价勘探、开发设计与实施、开发生产、开发调整及提高采收率等多个工作阶段。在油田从发现到开发结束的整个过程中，油藏地质从始至终都是整个勘探开发工作的起点和基础。离开油藏地质，油田开发无从谈起；油藏地质情况不清，这样的油藏开发起来必然问题重重；只有油藏地质情况清楚，才谈得上科学合理地开展油田。因此可以这样说，油藏地质在油气田开发中处于一种基础、核心、关键和支配的地位，油藏地质工作在油气田开发中起着智囊团或参谋部的作用。“油田开发工作者的工作岗位在地下，斗争对象是油层”，这句话深刻地揭示了油藏地质知识和油藏地质工作在油气田开发中的重要地位与作用。

油藏从勘探到开发结束的整个过程分阶段的主要地质工作见表1。在表1中，只有区域勘探阶段的地质工作不属于油藏地质研究的范围。

表1 石油勘探开发的基本过程与各阶段的主要地质工作

分 项	区域勘探阶段	评价勘探阶段	开发设计与开发实施阶段	开发生产阶段	调整及提高采收率阶段
目的	找油	探明油藏	设计实施开发方案	采出油气	提高采油速度与采收率
成果	提供油藏	提交开发储量	提供油气生产能力	提供商品原油	改善开发效果，增加可采储量
时间	1~几年	1~3年	1~3年		20~50年
主要地质工作	生储评价，成藏条件研究，指示有利勘探方向	钻探取资料，油藏描述，油藏评价及储量计算	试采及开发试验，编制开发方案，钻井，油建，编制射孔、投产、投注方案	动态分析，开发管理，油藏静态研究，开发治理研究	油藏开发的整体解剖研究，编制调整方案，剩余油研究与提高采收率方案编制

四、怎样学习油藏地质学

油藏地质学的学习，既有一般学科的共性，也有其自身的特点。要想学好一门课程，需要了解其特点，并采取有助于该课程学习的针对性措施，方能收到事半功倍的效果。建议大家从以下三个方面进行努力。

1. 了解学科性质

从学科性质来说，油藏地质学具有如下两个重要的特性。

(1) 综合性

油藏地质学作为石油工程专业和石油物探专业学生的地质专业课，它涵

盖了该专业的全部地质知识；从横的方面来说，油藏地质学与油层物理、渗流力学、石油物探、石油测井、油藏工程与采油工程关系紧密，互为基础或相互穿插补充。要学习油藏地质学这门课程，就应该学好各门相关课程。

(2) 应用性

油藏地质学从科学或学科这一角度来看，可能是不够系统、不够完善的，但它确是油田开发的起点和基础，是油田开发极端重要、必不可少的核心工作。油藏地质学的存在并不在于其理论体系的严密，而在于生产实践的需要。因此，怎样学习和应用油藏地质学知识来解决生产实际问题，指导油田开发生产，改善开发效果，提高油气采收率，就显得特别重要。

2. 学好相关课程

鉴于油藏地质学较强的综合性和重要的应用性，必须努力学好这门课程。为达到此目的，必须学好相关课程，比如《地质基础》课程中的《沉积岩与沉积相》、《构造地质学》、《油层物理》、《渗流力学》、《石油测井》，及后续的《油藏工程》、《采油工程》等课程。只有学好相关各课程，才能学好油藏地质学。

3. 养成踏实、严细的学风与作风

油藏地质学是一门直接为油气田开发及勘探服务的学科。之所以强调其学风与作风的踏实、严细，理由如下：

1) 油田开发与勘探的高风险与高投入，必须要求在其中起关键作用的油藏地质工作者细致、严格、踏实。在油藏勘探开发工作中，地质工作者以踏实、严细而创造或节省上亿元财富的事迹并非个别；但同样，由于地质工作的疏忽而损失或浪费上亿元的事例确也并不罕见。

2) 油田开采动态反映与开发效果表现的滞后性，使得对开采措施不当或开发决策失误的发现必然较晚，这往往会造成相当的损失和一定的后遗症。如果能通过踏实、严细的工作避免一次或几次这样的失误，或者能更早地发现和纠正这些失误，这不是一个油藏地质工作者一生中值得骄傲、自豪的功劳业绩吗？

3) 油藏地质工作主要是钻研资料。必须搜集油藏从第一口探井开始到至今为止所能得到的一切资料，并进行仔细的分析研究，时时刻刻不能懈怠，方能掌握油藏地下的最新情况，以便随时制定科学合理而又切实可行的对策措施。

4) 油藏地质工作在油田开发中处于参谋部、智囊团的重要地位，一项措施的实施或一个方案的施行，常常牵动千军万马，稍有不慎则师劳无功。

学风与作风不是一个早晨一下决心就能养成的，必须在长期的学习、生活、工作中不懈地自律，并且应从青年时代开始。

第一章 石油生成

石油一词，源出北宋沈括（公元1031~1095年）的《梦溪笔谈》：“富延境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也”。而在更早的唐、晋、汉，甚至周代，我国已有关于石油的记载。比如，周代的《易经》中就有“上火下泽”、“火在水上”、“泽中有火”的记载。英文中，石油一词为“Petroleum”或“Rock Oil”。石油是天然产出的烃类物质，在正常条件下，呈气态者称为天然气，呈液态者称为石油或原油（原状的、未经加工的石油），呈固态者称为沥青。

第一节 石油组成及性质

石油是人类现今使用的最重要的能源。要了解它的生成条件与赋存状况从而加以开采利用，应当首先了解它的物质组成及物理化学性质。

一、石油的化学组成

石油的化学组成极为复杂，它既不是由单一的元素组成，也不是由简单的化合物组成，而是以碳、氢化合物（烃）为主的含多种金属、非金属化合物的复杂混合物。

1. 石油的元素组成

组成石油的化学元素以碳、氢为主，其次为硫、氮、氧，此外尚有30余种微量元素。

一般石油中，碳的含量为84%~87%，氢的含量为11%~14%。碳与氢在石油中以烃的形态出现，两者的含量一般可达97%~99%左右，成为石油组成的主要元素。硫、氮、氧的含量一般只有1%~4%。微量元素虽然多达30余种，但其含量极微，一般合计不到万分之几。

大多数石油含硫量低于1%，但有些油田的石油含硫量高达4%~5%。例如，中东的许多油田所产原油含硫量高达2.8%~4.9%，加拿大阿尔伯达的阿瑟巴什卡重油含硫量高达5.5%，委内瑞拉的波斯坎油田含硫量高达5.4%。

大多数石油含氮量只有千分之几，但个别油田的原油含氮量可以很高，例如美国加利福尼亚第三系的石油含氮量高达1.4%~2.2%。

石油中氧含量一般只有千分之几，个别原油可高达2%~3%。

石油中的微量元素，以金属元素为主，其含量很低，一般低于万分之几，但种类极多。目前发现的微量元素有（按含量多少及常见程度排列，加括号的元素为非普遍含有）：

Fe, Ca, Mg, (Si), Al, V, Ni, Cu, Sb, Mn, Sr,
Ba, B, Co, Zn, Mo, Pb, Sn, (Na), K, P, Li,
Cl, Bi, Be, Ge, Ag, As, Gd, Au, Ti, Cr, Cd

这些微量元素主要存在于炼油剩下的残渣油中，与硫、氮一起常与沥青类分子键合，燃烧后成为主要的灰分物质，故又称为灰分元素。上述微量元素中的 V 和 Ni 由于具有生油指相意义且普遍分布，因而受到广泛的关注。

一些油田石油的主要元素组成见表 1-1。

表 1-1 国内外一些油田原油的主要元素组成

油 田	C, %	H, %	S, %	N, %	O, %
大庆	85.74	13.31	0.11	0.15	—
胜利	86.26	12.20	0.80	0.41	—
大港	85.07	13.40	0.12	0.23	—
孤岛	84.24	11.74	2.20	0.47	—
克拉玛依	86.10	13.30	0.05	0.25	0.28
格罗兹尼 (俄)	85.59	13.00	0.14	0.07	0.74
杜玛兹 (俄)	83.90	12.30	2.67	0.33	0.74
文图拉 (美)	85.00	12.70	0.40	1.70	1.20
宾夕法尼亚 (美)	84.90	13.70	0.50	—	0.90
墨西哥	84.20	11.40	3.60	—	0.80
伊朗	85.40	12.80	1.06	—	0.74

2. 石油的烃类组成

石油中的两种主要元素碳与氢组成各种碳氢化合物（烃类）而成为石油的主要组分。这些碳氢化合物按其结构可分为三类：烷烃、环烷烃、芳香烃。

(1) 烷烃

烷烃又名脂肪烃或石蜡烃，其通式为 C_nH_{2n+2} ，属于饱和烃。

在常温、常压下，含 1 个到 4 个碳原子的烷烃（记为 $C_1 \sim C_4$ ）呈气态；含 5 个到 16 个碳原子的烷烃（ $C_5 \sim C_{16}$ ）呈液态；含 17 个碳原子以上的烷烃呈固态。所有烷烃的相对密度均小于 1，难溶于水，易溶于原油及各种有机溶剂。烷烃的密度、熔点、沸点均随相对分子质量的增大而增加（见表 1-2）。

表 1-2 几种正构烷烃的物理常数

名 称	结 构 式	相对密度	熔点,℃	沸点,℃
甲烷	CH ₄	0.4240	-182.5	-161.4
乙烷	CH ₃ CH ₃	0.5462	-182.7	-88.6
丙烷	CH ₃ CH ₂ CH ₃	0.5824	-187.1	-42.2
丁烷	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₃	0.5988	-138.3	-0.5
戊烷	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₃	0.6263	-129.7	36.1
己烷	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₃	0.6594	-95.3	68.7
十二烷	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CH ₃	0.7483	-9.6	216.2
十六烷	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CH ₃	0.7733	18.1	286.5

烷烃分子结构的特点是碳原子间均以单键排列成直链：—C—C—。其中无支链者称为正构烷烃，有支链者称为异构烷烃。

(2) 环烷烃

具有三个以上碳原子的烃可以形成环状结构，其通式为 C_nH_{2n}，这种烃称为环烷烃。有单环的环烷烃，也有双环、三环等多环的环烷烃。石油中的环烷烃多为五元环（称为环戊烷）与六元环（称为环己烷）。

由于环烷烃碳原子的所有价键都已饱和，所以它与烷烃一样，都是比较稳定的。环烷烃的密度、熔点、沸点都比碳原子数相同的烷烃高，但其相对密度仍小于1。

(3) 芳香烃

具苯环结构（其通式为 C_nH_{2n-6}）的烃类化合物，因其具有特殊的芳香味，故称为芳香烃。它属不饱和烃。根据其结构不同，可以划分为单环芳烃（仅含一个苯环）、多环芳烃（含两个或两个以上独立苯环）和稠环芳烃（含两个或多个彼此相连的苯环）三类。例如：

单环芳烃：如苯、甲苯、二甲苯、乙苯等；

多环芳烃：如联苯、三苯甲烷等；

稠环芳烃：如萘、蒽、菲等。

在石油的低沸点馏分中，芳香烃含量较少，且多为单环芳烃，如苯、甲苯、二甲苯等。随着沸点升高，石油馏分中的芳香烃含量增多，除单环芳烃外，出现双环芳烃，如联苯。在石油的重质馏分中还可出现稠环芳烃，如萘和菲，蒽的含量较少。

烷烃原油是生产汽油、柴油的重要原料，环烷烃原油与芳香烃原油则是生产润滑油及其他化工产品的宝贵原料。

原油中的某些烃类具有油源沉积物的“指纹”意义，例如某些长链烷烃、甾类、萜烯类，而最重要的指纹物质则是异戊间二烯型烷烃，其结构

特点是在直链上每隔四个碳原子有一个甲基支链，犹如若干异戊间二烯分子加氢缩合而成。

在石油中，异戊间二烯型烷烃的含量可达0.5%，已发现C₉至C₂₅之间规则的异戊间二烯型烷烃，其中以植烷、姥鲛烷、降姥鲛烷、异十六烷及法呢烷的含量最高（如图1-1所示）。石油中的类异戊间二烯型烷烃，一般认为是由叶绿素的侧链——植醇演化而来，其为生物成因标志化合物。由于同源的石油所含的异戊间二烯型烷烃的类型和含量都非常相似，因此常用作油源对比的指纹标志。

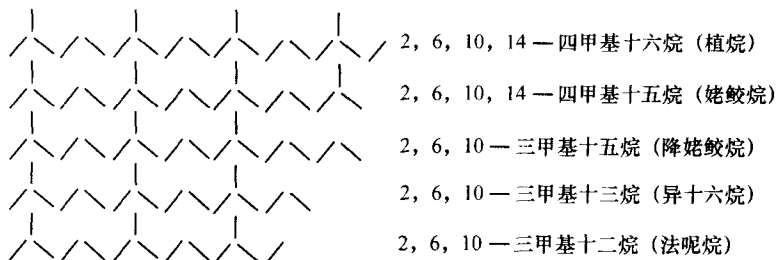


图1-1 常见异戊间二烯型烷烃结构式

3. 石油的非烃组成

石油的非烃组分主要是含硫、含氮、含氧的化合物，此外还有某些金属的有机化合物。天然气中还可以有氢、氦、氩等非烃气组分。

(1) 硫及含硫化物

硫是组成石油的重要元素之一，几乎没有不含硫的石油。硫在石油中的含量变化很大，从万分之几到百分之几，但含硫量超过3%的原油已很少见。

原油中有很少一部分硫以元素硫（溶解态）或H₂S的形态存在（气藏中的硫则多以H₂S的形态存在），很大部分的硫则是与碳结合成有机化合物，如以硫醇（RSH）、硫醚（RSR'）、二硫化物（RSSR'）、噻吩及其同系物等形态出现。

石油中所含的硫是一种有害的杂质，因为它容易产生H₂S，FeS，Fe（RS）₂，H₂SO₃，H₂SO₄等化合物，对管道、机器、油罐、炼塔等金属设备造成严重腐蚀，所以石油中硫的含量高低是评价原油质量的一项重要指标。通常将含硫量大于2%的石油称为高硫原油，而将含硫量低于0.5%的石油称为低硫原油，介于0.5%~2%的石油称为含硫原油。一般含硫量较高的石油多产自碳酸盐岩系或靠近膏盐岩系的地层，而产自砂岩的石油则含硫较少。

(2) 含氮化合物

石油中的氮含量一般在万分之几到千分之几。我国大多数油田原油含氮量低于0.5%（大庆原油含N为0.15%，孤岛原油含N为0.47%）。

石油中的氮主要以氮的有机化合物形式存在（气藏的天然气中可有 N_2 ，NO， NO_2 存在）。石油中的含氮化合物包括碱性与非碱性两类。从石油中检出的碱性氮化物多为吡啶、喹啉、异喹啉和丫啶及其同系物，非碱性氮化物主要是吡咯、卟啉、吡咯和咪唑及其同系物。其中以金属卟啉化合物最为重要，它的分子中包含4个吡咯环，被4个“—CH=”基团相间连接而成（如图1-2所示）。石油中的钒、镍等重金属都与卟啉分子中的氮呈络合状态存在，形成钒卟啉和镍卟啉。

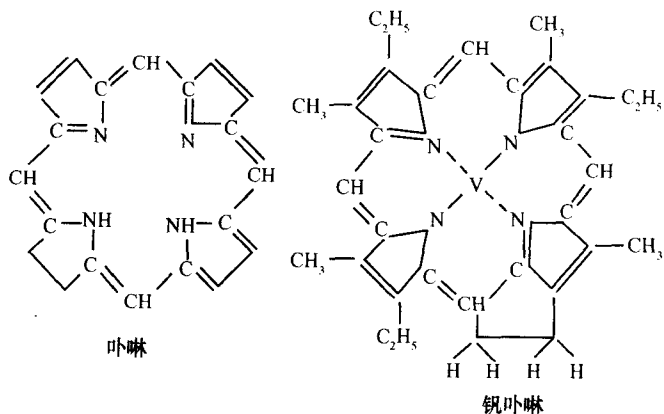


图 1-2 卟啉和钒卟啉的结构式

金属卟啉化合物大多数存在于沥青质中，少数分布于渣油的油分和胶质中。卟啉化合物在石油中的含量变化很大，例如以第三纪陆相生物为母质的东营凹陷，其边部样品几乎不含卟啉，而凹陷中部卟啉含量则达万分之几（最高 2000×10^{-6} ），这与沉积环境和埋藏深度等因素有关。

动物的血红素与植物的叶绿素都属卟啉化合物，前者为卟啉与铁的络合物，后者为卟啉与镁的络合物。它们与石油中的这类化合物结构相同，所以卟啉化合物对研究石油成因有重要意义。

(3) 含氧化合物

氧在石油中均以有机化合物的状态存在（在气藏中氧多以 CO_2 的形式存在）。石油中的含氧化合物可分为酸性氧化物与中性氧化物两类，前者包括环烷酸、脂肪酸及酚（总称为石油酸）；后者包括醛、酮等，但含量较少。

在石油酸中，以环烷酸最重要，它约占石油酸总量的90%。石油中的环烷酸多为一元酸类（即一个羧基），常为环戊烷的衍生物，但高分子环烷酸则有双环、多环的环烷烃的衍生物。石油中的环烷酸含量因地而异，一

般多在1%以下。环烷酸容易生成各种环烷酸盐类，石油中的微量元素大多与环烷酸结合成环烷酸盐的形态存在。

4. 石油的馏分

石油是多种复杂化合物的混合物，而每一种化合物都有一定的沸点，因此用蒸馏的方法可以把石油中不同沸点的化合物分离切割出来。在不同温度下蒸馏出来的产品称为石油的馏分。显然，在石油蒸馏时，随着温度的升高，沸点低的馏分首先分离出来。切割馏分所用的温度因目的不同而有所差异，在石油炼制业界，各馏分的名称及温度大致见表1-3。

表1-3 石油的馏分（据潘钟祥等，1986）

馏分	轻馏分		中馏分			重馏分	
	石油气	汽油	煤油	柴油	重瓦斯油	润滑油	渣油
切割温度,℃	<35	35~190	190~260	260~320	320~360	360~530	>530

汽油是5~11个碳原子的碳氢化合物的混合物。煤油是9~16个碳原子的碳氢化合物的混合物。柴油是13~23个碳原子的碳氢化合物的混合物。汽油、柴油、煤油三大产品是石油加工业的主要成品。

5. 石油的组分

石油的组分是指组成石油的物质成分。由于组成石油的碳氢化合物种类复杂，用一般的方法分析石油的化合物常常发生困难。但根据其对不同溶剂的溶解、吸附性质的不同，可用简便的方法将石油分离为性质不同的组分，即常说的油质、胶质、沥青质。这些组分的特征如下。

(1) 油质

油质是石油的主要组分。它是碳氢化合物（饱和烃及芳香烃）组成的淡色粘性液体，荧光显示为天蓝色。油质的溶解性最强，可以溶于石油醚、苯、氯仿、乙醚、四氯化碳、二硫化碳、丙酮和酒精中，不能被硅胶等吸附剂吸附。油质含量的高低是石油质量好坏的重要标志，油质含量高者，石油质量较好，其汽油、柴油、煤油产出量较高。

(2) 胶质

胶质是粘性的或玻璃状的半固体或固体物质，颜色由淡黄、褐红到黑色均有，其主要成分为芳香烃及含氧、硫、氮的非烃化合物。胶质的相对分子质量比油质大，约为500~1200左右。它的溶解性较差，只能溶解于石油醚、苯、氯仿、乙醚、四氯化碳等溶解性能较强的溶剂中。胶质的特性是能被硅胶吸附，据此可以把它与油质分开。胶质在荧光灯下显示黄色、棕黄色或浅褐色荧光。密度较低的石油，其胶质含量一般在4%~5%左右；而密度较高的石油，其胶质含量可以达到20%或更高。