

试 用 教 材

# 石 油 地 质 学

(石油物探专业)

袁炳存 王淑珍 蔡樺芬 编

武汉地质学院石油地质教研室

一九八四年九月



# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
一、石油地质学的研究对象、内容和任务.....	( 1 )
二、石油地质学的特点及学习目的.....	( 1 )
三、石油、天然气在国民经济中的作用.....	( 1 )
四、世界石油业发展简况.....	( 2 )
五、我国石油业发展概况.....	( 3 )
<b>第二章 石油、天然气、油田水的化学组成及物理性质</b> .....	( 5 )
§ 1 石油的化学成分.....	( 5 )
一、石油的元素组成.....	( 5 )
二、石油的族组成.....	( 6 )
三、石油的组份组成.....	( 10 )
四、石油的馏份组成.....	( 11 )
五、石油的分类.....	( 12 )
§ 2 石油的物理性质.....	( 13 )
§ 3 天然气.....	( 15 )
一、天然气的概念及分类.....	( 15 )
二、石油气的主要类型及其产状.....	( 15 )
三、天然气的化学成分.....	( 16 )
四、天然气的物理性质.....	( 17 )
§ 4 石油的衍生物.....	( 19 )
§ 5 油田水.....	( 19 )
一、油田水的产状.....	( 19 )
二、油田水的化学特征.....	( 21 )
三、油田水的物理性质.....	( 22 )
四、油田水的垂向变化.....	( 22 )
<b>第三章 储集层和盖层</b> .....	( 23 )
§ 1 储集层的基本特征.....	( 23 )
一、储集层的孔隙性.....	( 23 )
二、储集层的渗透性.....	( 24 )
三、储集层的孔隙结构.....	( 25 )
四、储集层的类型.....	( 28 )

§ 2 碎屑岩储集层	( 28 )
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	( 28 )
二、碎屑岩储集层的沉积环境及分布	( 30 )
§ 3 碳酸盐岩储集层	( 35 )
一、碳酸盐岩储集层的储集空间	( 35 )
二、影响碳酸盐岩储集层物性的主要因素	( 38 )
三、碳酸盐岩储集层的沉积环境和地理分布	( 39 )
§ 4 盖层	( 40 )
<b>第四章 圈闭和油气藏</b>	( 43 )
§ 1 圈闭及油气藏的基本概念、分类及度量	( 43 )
一、圈闭及油气藏的基本概念	( 43 )
二、圈闭及油气藏分类	( 43 )
三、圈闭及油气藏的度量	( 44 )
§ 2 构造圈闭和油气藏	( 46 )
一、背斜圈闭及背斜油气藏	( 46 )
二、断层圈闭与断层油气藏	( 57 )
三、裂缝性圈闭和裂缝性油气藏	( 62 )
四、刺穿圈闭和刺穿油气藏	( 66 )
§ 3 地层圈闭及地层油气藏	( 68 )
一、岩性圈闭及油气藏	( 68 )
二、不整合圈闭及油气藏	( 75 )
§ 4 流体圈闭及油气藏	( 80 )
一、概念	( 80 )
二、分类	( 81 )
<b>第五章 石油的成因</b>	( 83 )
§ 1 概述	( 83 )
一、石油无机成因假说	( 83 )
二、石油有机成因假说	( 84 )
§ 2 生油的原始有机物质	( 85 )
一、近代沉积中的有机质	( 85 )
二、生物体的有机组成	( 86 )
三、沉积物中有机质的来源	( 88 )
四、沉积物中有机质的保存和早期转化	( 89 )
五、干酪根的概念、类型	( 91 )
§ 3 干酪根热降解成油机理	( 94 )
一、干酪根热降解成油的实例	( 94 )
二、干酪根的天然热降解与模拟实验	( 95 )
三、干酪根热降解的控制因素	( 97 )
四、干酪根演化的阶段	( 100 )
§ 4 生油率	( 102 )

一、基本概念	( 102 )
二、生油岩的类型及岩性特征	( 102 )
三、生油岩的识别	( 103 )
四、生油岩的评价	( 106 )
<b>第六章 油气运移和聚集</b>	( 107 )
§ 1 概述	( 107 )
§ 2 初次运移	( 108 )
一、初次运移时的物理化学条件	( 108 )
二、油气初次运移时的相态	( 110 )
三、初次运移的通道和主要驱动力	( 115 )
§ 3 油气二次运移	( 118 )
一、地层中的水势和水的力场强度	( 118 )
二、含水地层中油势、气势和油、气的力场强度	( 120 )
三、二次运移中的毛细管压力	( 122 )
四、实现油气二次运移的条件, 运移方向、限度和距离	( 123 )
§ 4 油气聚集	( 128 )
一、单一圈闭的油气聚集	( 128 )
二、系列圈闭中的油气差异聚集	( 130 )
<b>第七章 油气藏的形成</b>	( 134 )
§ 1 油气藏形成的基本地质条件	( 134 )
一、✓充足的油源	( 134 )
二、✓有利的生储盖组合	( 136 )
三、✓有效的圈闭	( 138 )
§ 2 油气藏形成的时间	( 142 )
一、利用主生油期来确定油气藏形成时间	( 142 )
二、利用区域性倾斜发生的时期确定油气藏形成时间	( 143 )
三、根据圈闭形成时期确定油气藏形成时间	( 143 )
§ 3 油气藏的破坏和油气再分布	( 144 )
一、油气藏的破坏和油气显示	( 144 )
二、油气藏的破坏和油气再分布作用	( 146 )
<b>第八章 含油气盆地</b>	( 148 )
§ 1 含油气盆地的概念	( 148 )
§ 2 含油气盆地的结构和构造	( 149 )
一、含油气盆地的结构	( 149 )
二、含油气盆地的构造	( 152 )
§ 3 控制盆地油气丰度的地质因素	( 153 )
一、适于有机物繁殖、保存的古地理环境	( 153 )
二、适于油气生成的大地构造条件	( 154 )
三、热力背景和古地温梯度对盆地油气生成的影响	( 155 )
§ 4 含油气盆地内的油气聚集	( 156 )

一、盆地中的油气聚集·····	( 156 )
二、生油拗陷与盆地内油气聚集·····	( 157 )
三、盆地内地层不整合与油气聚集·····	( 157 )
四、三角洲与油气聚集·····	( 160 )
五、盆地中厚度梯度巨变带与油气聚集·····	( 161 )
§ 5 盆地含油气远景评价条件·····	( 162 )
一、区域构造条件·····	( 162 )
二、区域地层岩性岩相条件·····	( 162 )
三、圈闭条件·····	( 162 )
四、油气藏的保存条件·····	( 163 )
§ 6 我国主要含油气盆地的特点及分布·····	( 163 )
一、我国大地构造的基本特征·····	( 163 )
二、我国含油气盆地的特点·····	( 166 )
三、我国主要含油气盆地的分布·····	( 167 )
四、我国主要含油气盆地概况·····	( 167 )
<b>第九章 油气在地壳中的分布特征</b> ·····	( 179 )
一、油气在空间上的分布特征·····	( 174 )
二、油气在时间上的分布特征·····	( 180 )
三、油气在深度上的分布·····	( 183 )
四、油气在沉积相上的分布特征·····	( 184 )
五、天然气分布比石油更广泛·····	( 187 )

# 第一章 绪 论

## 一、石油地质学的研究对象、内容和任务

石油地质学又称石油及天然气地质学，是研究地壳中的油气藏及其形成原理和分布规律的科学。

石油地质学研究的主要对象是油气藏。油气藏不仅是石油地质勘探人员从事石油勘探的直接对象，又是石油地质研究人员进行油气成因、运移、聚集和分布规律等石油地质理论研究的基础。一切石油地质学的理论和假说，都是根据对已知的油气藏的研究、总结出来的，并在油气藏的勘探实践中得到检验，决定取舍。因此，离开了对油气藏的研究，一切理论和假说都将成为无源之水。

学习石油地质学的任务就是掌握油气藏的基本特征、形成原理、分布规律，用以指导油气田的调查、勘探，以便更有效地发现和探明地下油气藏。为此，本课程的内容安排，首先从认识油气藏的基本要素（油气藏中的流体、储集层、圈闭）入手，对各种不同类型油气藏的特点及形成机制进行具体分析。在此基础上，进一步对油气藏形成的理论问题，即油气生成、运移、聚集的基本原理，含油气盆地对油气的控制作用及油气在地壳中的分布规律等进行探讨。这样既符合人们对油气藏及其理论的认识过程，也有利于应用这些理论去指导找油实践。

## 二、石油地质学的特点及学习目的

石油地质学是一门综合性的科学，涉及的面很广。由于石油和天然气不同于其它任何矿产，具有其特殊的性质：油气藏形成时间的漫长；石油组成成份和生油物质的复杂性；油气本身具有流动性，其聚集地点与生成地点的不一致等等，使得油气藏的研究显得十分复杂。漫长的地质时期中发生的一切地质现象，要求我们要有较强的综合分析能力和具有丰富的想象力。这是本课与数理等课程具较大的区别之所在。

学习这门课必须具备多方面的知识，必须全面地综合地质、地球化学、岩石矿物学、构造地质学、地史学、水文地质学及数学、物理等多种学科的知识，才能深入认识和掌握油气藏的特征，真正学好石油地质学。

石油物探工作人员是为找油工作服务的，因此石油地质学是必修的专业基础课。石油物探人员只有很好地掌握了石油地质学原理，才能更好的完成各方面的工作，例如在各种不同的地质条件下，选择最有效的物探方法，对各种物探工作进行合理的综合部署；对物探资料进行科学的分析和整理；结合地质、钻井等其它资料，对物探成果作出合乎地质实际的综合解释等等。只有这样才能与石油地质人员、钻井地质人员、物探测井人员密切配合，协调一致地进行工作，充分发挥物探工作在石油勘探中的重要作用。

## 三、石油、天然气在国民经济中的作用

石油与天然气是随着人类生产实践的发展而被逐步认识和广泛利用的。到目前为止，石

油和天然气在国民经济中占有越来越重要的地位，成为重要的动力资源和化工原料，被广泛地应用到工农业、军事和人民日常生活的各个领域。

石油和天然气首先是一种优质的动力燃料，因此常被人们称为“工业的血液”、“发动机的粮食”。石油和天然气作为燃料具有燃烧完全、发热量高，运输方便等优点。

表 1—1 不同种类燃料的发热量

燃料种类	发热量(千卡/公斤)	燃料种类	发热量(千卡/公斤)
木柴	2000~2500	无烟煤	6,500
泥炭	2000~3500	石油	10,000
褐煤	2000	汽油	11,000
烟煤	5000	天然气	7,000~12,000

由表 1—1 可见，石油和天然气的发热量远远高于木柴和各种煤炭类。正因如此，近百年来，油气作为燃料被广泛的应用于工业、农业、交通运输以及国防各方面。目前，石油和天然气在世界能源结构中所占的比例已达到 70% 左右。而一些工业发达的国家所占的比例还要高些，且逐年有所上升，而煤所占比例则有相对下降趋势。

石油和天然气又是一种十分重要的化学工业原料。目前利用石油和天然气作原料制造的化工产品大约已超过五千种，广泛的应用于工业、农业、日常生活等国民经济的各个部门。如以乙烯为基本化工原料的合成纤维、合成橡胶和合成塑料等三大合成材料。其中合成橡胶不仅是交通运输、工业、农业、人民生活中的重要物资，而且也是现代尖端科学和国防工业发展不可缺少的重要材料。另外，苯、甲苯、二甲苯也是三大合成材料以及医药、农药、炸药的主要原料。以石油、天然气为原料制成的合成氨、硫酸氨、硝酸氨及尿素等化肥，是发展农业必不可少的。因此，大力发展石油化学工业不仅意义重大，而且有十分广阔的前景。

#### 四、世界石油业发展简况

世界石油工业的发展，自 1859 年美国宾夕法尼亚第一口油井成功起，只有一百多年的历史。

近代石油工业是在世界资本主义发展初期发展起来的。十九世纪中叶，欧美各国工业革命后，对燃料需求的急剧增长，为石油工业发展提供了良好的条件。由于石油作为燃料具有发热量高的性质，能为资本家带来巨额利润，于是各国资本家掀起了找油热潮。在 1860~1890 的三十年间，原油产量几乎以每五年翻一翻的速度剧增。由于发现一个高产油田、高产并能使资本家发财致富，所以石油工业充满着投机与竞争，资本家争先恐后地在本国滥采石油，往往一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。二十世纪初期美、俄等国石油工业就是这样畸形发展起来的。

第一次世界大战后，各帝国主义国家都强烈地感到石油在战争中的重要性。一方面加紧对本国石油资源的勘探和开发，同时加强对殖民地石油资源的掠夺。首先侵入墨西哥、委内瑞拉、加拿大和印度尼西亚等国，后来在中东发现极丰富的石油资源后，石油垄断集团纷纷侵入中东各国，先后控制了伊朗、伊拉克、科威特、沙特阿拉伯等国的石油开采权，使中东石油产量急剧增长。六十年代初期，中东各国相继实行石油国有化，丰富的石油资源才回到中东各国手中。现在除上述四国外，中东的土耳其、叙利亚、巴林、卡塔尔、阿布扎比、阿曼和阿拉伯联合酋长国等都产石油，并在波斯湾发现了许多海上油、气田。1978 年中东石油

产量占世界总产量的34.5%。其中沙特阿拉伯、伊朗、伊拉克、科威特和阿拉伯联合酋长国近几年来的石油产量一直居世界前茅。

在世界石油开采史中，美国的石油产量居世界之首的地位几乎同石油生产历史一样长地持续了一百多年。第二次世界大战后，苏联相继开发了伏尔加—乌拉尔和西西伯利亚等新区，发现若干油、气田，自1975年产量超过美国，一直居世界第一位。

近二十年来，北非撒哈拉大沙漠、西非尼日尔河三角洲，西欧北海、东南亚和中国都陆续发现了许多大油、气田，大大改变了世界油气资源不均衡的状态，尼日利亚、利比亚、阿尔及利亚和中国都成为世界主要产油国。

海上油气勘探开展较晚，1928~1930年委内瑞拉首先发现蒂·胡安纳和巴恰奎罗两个海上大油田后，许多国家都相继重视开展海上勘探，钻探技术设备陆续有了显著改善，大大促进了海上油气勘探的迅速发展，现在全世界已有45个国家在海上取得了油气勘探成果，发现了三百多个海上油气田。海上油田产量占世界总产量的20%左右，今后还将有较大增长。

### 五、我国石油业发展概况

我国石油和天然气资源蕴藏丰富，我国劳动人民对石油、天然气的认识和利用更有着悠久的历史。据史料记载已有两千多年，是世界上最早发现、开采和利用石油及天然气的少数国家之一。

由于天然气比石油更易从地层中逸出，遇火即燃，因此，在历史上认识天然气早于石油。我国关于天然气的文字记载，最早见于公元前1122年至公元前770年间，西周时代《易经》一书中。书中记述的“泽中有火”很可能是沼气或天然气在水中燃烧的现象。较可靠的发现天然气的记载是在公元前256—251年秦孝文王派李冰为蜀守时，曾兴修都江堰和开凿盐井，在四川邛崃县发现了天然气且引起了通天大火。

对石油的记载，最早见于1900多年前东汉历史学家班固著的《书·地理志》。书中写道：“高奴，有洧水，可燃”。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，藪乃古代燃字。这是描述水面上的油状物可以燃烧。公元267年晋朝张华著《博物志》详细描述了甘肃酒泉石油的特征：“酒泉延寿县南山出泉水，大如笮，注地为沟，水有肥，如肉汁，取著器中，始黄后黑，如凝膏，燃极明。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，用作润滑油和燃烧、照明。

“石油”一词是北宋著名科学家沈括在《梦溪笔谈》中首次提出来的。他写道：“富延境内有石油，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”。“此物后必大行于世，……盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭”。预见石油利用的广阔前景。

我国劳动人民不仅对石油和天然气的发现、认识和利用是最早的，而且在开采油气的钻井技术上也远远走在世界的前列。晋代张华的《博物志》和常璩的《华阳国志》都记载了我国四川地区，从两千多年前的战国秦代就开始凿井取气煮盐的情况。到1521年前后我国已钻成第一批油井，井中同时产出盐水和石油。这比美国1859年在宾夕法尼亚钻的第一口油井早三百多年，而且在钻井深度上也大大超过了美国（当时美国第一口钻井深仅21.69米）。1835年四川自流井的兴海井深达1001.4米，日产气约5000—8000（米）<sup>3</sup>。1840年又钻成井深1200米的磨子井，钻穿嘉陵江灰岩深部主气层。当时发生井喷，火光冲天，三十里外可见。

这些事实说明了我国劳动人民的高度智慧，证明中国是世界文明发达最早的国家之一。我国劳动人民用自己勤劳的双手在世界石油开发史上写下了不可磨灭的光辉篇章。



但是近百年来，由于长期封建制度的黑暗统治、帝国主义的侵略和国民党反动派的卖国求荣，使我国石油工业停滞不前，处于极端落后的状态。

从1904年开采台湾苗栗县出矿坑油田、1907年发现陕北油田开始，到1948年解放前夕四十五年间，我国天然石油的产量总共只有63万吨，加上人造石油也不过295万吨。国内产油量只占石油消耗量的10%，而90%依赖进口，完全靠“洋油”过日子。旧中国遗留下来的石油工业是极其薄弱的，至1949年全国只有八台钻机；钻井进尺总计只67055米；原油加工能力不到17万吨，只能生产十二种简单的石油产品；全国只有两个地质调查队，几十名地质勘探人员；共发现十二个小油气田（包括台湾省5个）。

但是，我国老一辈的石油地质学家，在极端困难的条件下，为发展祖国的石油工业，历经千辛万苦，作出了许多有益的贡献。孙建初先生不仅对老君庙油田的发现及开发作了大量工作，还对我国含油气远景进行了初步评价，对我国近代石油工业的发展作出了重要贡献。潘钟祥教授自1933年至1936年，分别对陕北、四川等地进行地质调查，并于1941年发表了与外国人唯海相生油说相对立的我国陕北、四川石油陆相成因问题的研究论文，为我国石油地质研究的发展起了一定的促进作用。

1949年中华人民共和国成立后，我国石油工业才得到迅速的发展。解放三十多年来，我国油气勘探工作取得了辉煌成就，一批批油气田相继发现。1960年大庆油田的发现，使我国原油基本自给。以后我国油气产量持续稳定增长，1979年产油量达1.06亿吨，产气量达140亿立方米<sup>3</sup>，跃居世界第五位。我们伟大祖国彻底甩掉了“贫油国”帽子，中国人民使用“洋油”的时代已经一去不复返了。

与此同时我国还成长起来一支油气地质勘探和科学研究的队伍。在石油地质理论研究领域也作出了很大贡献。特别在生油理论研究方面，我们冲破了国外唯海相生油论的偏见，建立了陆相沉积盆地能够大量生油并形成大型油气田的新理论，找到了一批重要的象大庆那样的陆相大油田。在储集层研究方面，根据大量井下资料，对古三角洲和古河床砂岩体储集特征进行了研究，找出形成高产油气田的有利地区。近年来，对碳酸盐岩、变质岩和岩浆岩等多种类型储集层的研究都取得了可喜的进展。随着油气勘探实践的不断积累，从中国大地构造特征出发，对不同类型油气藏的聚油规律及油气藏形成有了系统的认识，初步掌握了我国油气藏的形成和分布规律，为更大规模地开展油气勘探工作奠定了坚实的理论基础。

从我们油气勘探工作的现状看出，我国有着极为广阔的石油勘探前景。大陆上发现了大小300多个沉积盆地，可供勘探的总面积大约可占我国领土总面积的44%以上。另外，我国还拥有黄海、东海、南海等广阔的浅海海域，根据大地构造和石油地质条件预测，都是含油气十分丰富的远景区。总之，我国地大物博，油气资源非常丰富，不久的将来，我国一定会成为世界上一个重要的产油国。

## 第二章 石油、天然气、油田水的化学组成及物理性质

从油田里开采出来的石油称为天然石油，俗称原油。它是一种比水稠，但是比水轻的油脂状液体，一般呈黄绿色或黑褐色，液态石油中通常含有相当数量的气体（天然气），尤其是在地层条件下，有时一吨石油所含的气体多达几百(米)<sup>3</sup>。

自然界中油、气和水总是相伴而存在的，石油和天然气往往与水一起运移并聚集成油气藏，油气藏中的水称为油田水，油、气、水在地下储存在具有良好渗透性和孔隙性的岩石中。它们按重力分异呈垂直分带。油、气、水，油、水或气、水的界面不是一个简单的平面，由于岩石颗粒表面对水的吸附作用及毛细管力的作用，它常常是一个过渡带。

### § 1 石油的化学成分

石油的成份十分复杂，主要是由碳、氢以及少量的氧、硫和氮等元素组成的化合物的混合物，它受生成物质、生成条件及后期演化的影响很大。

#### 一、石油的元素组成

石油的化学成分虽很复杂，但组成石油的元素却比较简单，主要由碳(C)、氢(H)、硫(S)、氮(N)、氧(O)这五种元素组成。不同地区，不同时代的石油尽管化学组成、物理性质差别很大，但原油的元素组成是极相似的，它们主要的元素成份及百分含量如表2—1所示。

表2—1 石油的元素组成（重量百分比）

元素	石油	天然气
C	82.2—87.1%	65—80%
H	11.7—14.7%	1—25%
S	0.1—5.5%	痕量—0.2%
N	0.1—1.5%	1—15%
O	0.1—4.5%	
C/H	5.7~7.7	

从上表可以看出其中碳氢占绝对优势，通常这两个元素之和大于96%，有的高达99%。石油的碳氢比则介于5.7—7.7之间。在所有有机可燃矿产中石油的C/H比值最低。

硫、氮、氧的总量一般 $< 2 \sim 3\%$ ，硫的含量在0.5—5.5%，个别情况下可高达7%，

通常情况下N的含量 $<0.1\%$ ，而氧的含量则 $<0.5\%$ ，很少超过 $2\%$ 。

此外，在石油的灰分中还有30多种微量元素，包括铁(Fe)、铝(Al)、镁(Mg)、铜(Cu)、铅(Pb)、锡(Sn)、砷(As)、锑(Sb)、锌(Zn)、银(Ag)、镍(Ni)、铬(Cr)、钼(Mo)及钒(V)等，其中V、Ni在生物、煤、油页岩中也有分布，且比较稳定；因此V、Ni被认为是在沉积过程中与生物的富集作用有关，V/Ni比值可以做为区分石油是海相沉积环境，还是陆相沉积环境的标志，一般比值 $>1$ 的是海相环境， $<1$ 的是陆相环境。

此外石油中还含有铀，在许多天然气及油田水中还有放射性衰变的产物，另外研究石油中某些元素的同位素对探讨石油生成、运移等理论问题有一定的帮助。如研究 $C^{12}$ 和 $C^{13}$ 的相对丰度，石油中的 $^{12}C/^{13}C$ 比值较其他无机含碳物质为高，介于90—95之间，且多为91—94，此特性与生物体情况相似。人们一般认为，石油的这一特点是直接从生物体继承来的。因此把石油的碳同位素组成与生物体相似，看作是石油有机成因的重要证据。石油中硫(S)的同位素有七种 $^{32}S$ 、 $^{33}S$ 、 $^{34}S$ 、 $^{35}S$ 、 $^{36}S$ 、 $^{37}S$ 、 $^{38}S$ ，一般只测定 $^{32}S$ 与 $^{34}S$ ，不同时代的石油 $^{32}S/^{34}S$ 比值变化较大，而同时代的石油，该比值较为接近。这可作为不同时代对比石油的指标。

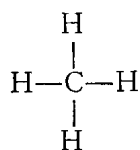
## 二、石油的族组成

在有机化学中把纯粹由碳和氢两种元素组成的化合物叫碳氢化合物，简称为烃。目前石油的烃类化合物有425种以上，烃可以分成几个族，天然石油主要是由烷族烃、环烷族烃和芳香族烃三种化合物组成的，所以他们被称为石油的烃族组成。除了烃族组成外，石油中还包含有少量非烃类化合物称为石油的非烃组成。

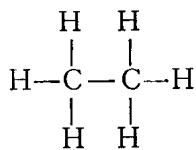
### (一)石油的烃族组成

#### 1. 烷族烃

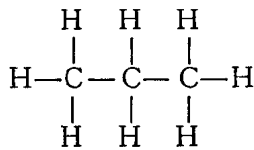
烷族烃又称为石蜡族烃，简称烷烃，它是一种饱和烃。它们共同的分子式(通式)为 $C_nH_{2n+2}$ ，其分子结构为直链式。烷族烃化学性质不活泼，是不易起化学反应的稳定的化合物。它们通常占原油体积的15—25%；在原油中的含量仅次于环烷族烃。烷烃中最简单的一个化合物为甲烷，它只有一个碳原子与四个氢原子，是最稳定的烷类，也是天然气的主要成份，其次为乙烷、丙烷和丁烷，它们都为单链状的分子结构：



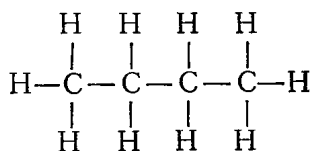
甲烷( $CH_4$ )



乙烷( $C_2H_6$ )



丙烷( $C_3H_8$ )

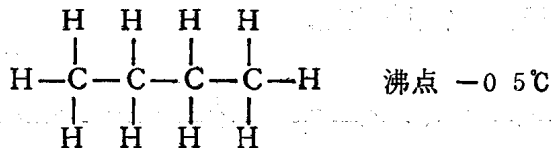


丁烷( $C_4H_{10}$ )

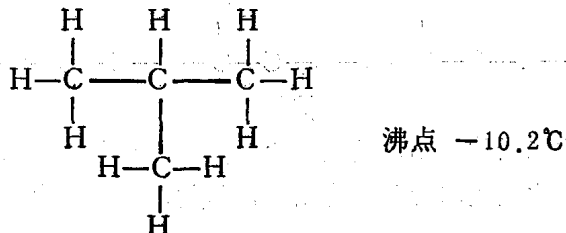
在常温下甲烷至丁烷为气体，戊烷—15烷为液体，16烷以上为固体。烷族最复杂的分子其碳原子的数目可达60个以上，但常见的大多小于 $C_{35}$ 。以上为烷族烃的正常分子结构，此外还有同分异构体存在。所谓同分异构体，即一个物质具有相同的成份，但分子结构不同

(除单链状结构外, 带有支链) 亦具有不同的性质。烷族同分异构体自丁烷开始, 一直到具有较高碳原子的复杂分子在理论上均可有它们各自的同分异构体。

正丁烷  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$



异丁烷  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_3$



在较高级的碳氢化合物中, 同分异构体迅速增加, 如戊烷( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )有三种, 己烷( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )可能有五种, 辛烷( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ )可能有十八种。

根据现有的资料, 一般石油中具有正常结构的烷族碳氢化合物远较其同分异构体多。并且多数石油不同碳原子数正烷烃相对含量的分布曲线(简称正烷烃分布曲线)有三个共同点, 第一, 正烷烃分布曲线是一条连续曲线, 表明石油中正烷烃同系物是一个连续序列。第二, 不同类型原油正烷烃主峰碳数位置不同(主峰碳数  $< 15$ 、 $> 25$  或  $\text{C}_{15} \sim \text{C}_{25}$  间)表示不同的沉积环境。第三, 在较高分子的正烷烃部分, 奇数和偶数碳原子烃的分布很规律, 二者的相对含量接近相等。不象一般生物体或现代沉积那样, 奇数碳原子正烷烃明显多于偶数碳原子正烷烃。

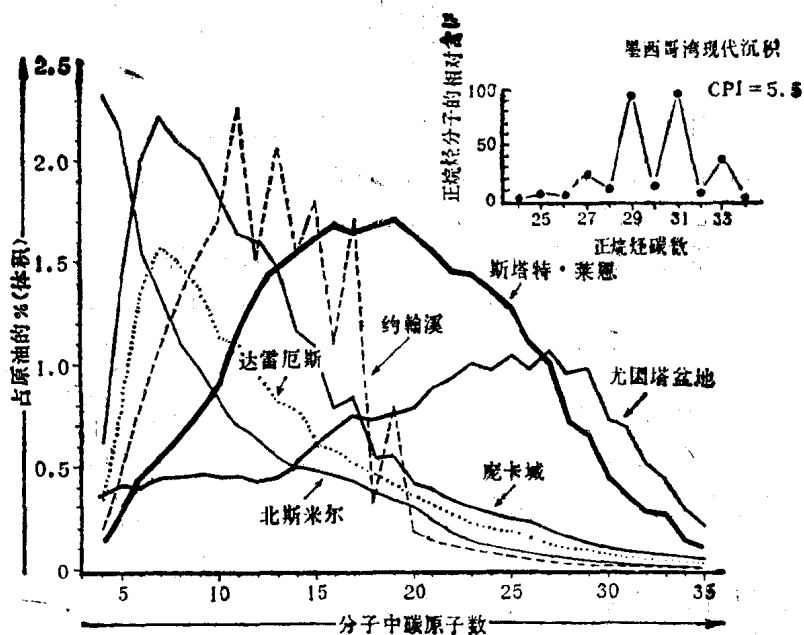
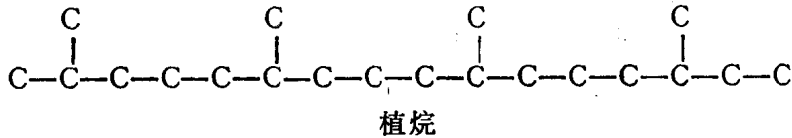
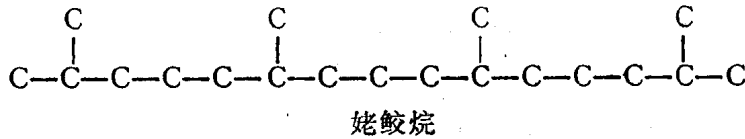


图 2-1 不同类型原油中正烷烃依碳数分布曲线图  
(据马丁等, 1963)

图 2-1 清楚地表明原油正烷烃曲线的这些特征及其与现代沉积中有机质的不同。当前这些特征已被广泛用来鉴别生油岩和研究原油的成熟度。

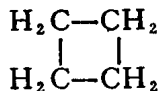
异构烷烃中最有意义的是一种具有特殊结构的异构烷烃——异戊二烯型烃类，这种异构烷烃的特点是每四个碳原子有一个甲基支链。如：



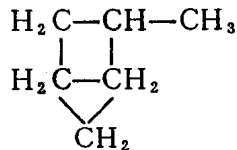
从石油中分离出多种异戊二烯化合物，其量可达石油的 0.5%，研究证明同一来源的石油，其中所含异戊二烯型化合物类型和含量极为相似，因此常用来作为油源对比标志及沉积环境的研究。

## 2. 环烷族烃

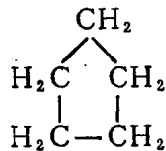
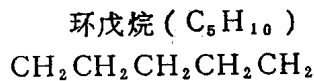
环烷族烃又称环石蜡族烃，简称环烷烃，亦为饱和烃，其通式为  $C_nH_{2n}$ ，分子结构为环状。环丁烷 ( $C_4H_8$ ) 的结构如下：



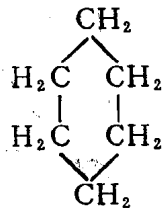
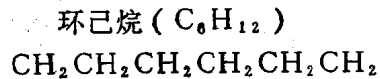
环的本身相当稳定，但环上的氢原子很容易为甲基所代替，例如甲基环戊烷 ( $(\text{CH}_2)_4\text{CHCH}_3$ ) 结构为：



环烷烃的物理性质和化学性质和烷烃相似，所以也是比较稳定的化合物。目前已知环烷烃的环内有三个到三十个以上的碳原子，其中环戊烷 ( $C_5H_{10}$ ) 及环己烷 ( $C_6H_{12}$ ) 是环烷族石油中最主要的碳氢化合物，其分子式、结构式为



分子量 70.13      沸点 49.5°C



分子量 84.16      沸点 81.4°C

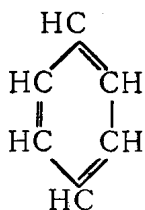
在普通温度和压力下环丙烷 ( $C_3H_6$ ) 和甲基环丙烷 ( $C_4H_8$ ) 为气体，而所有其他单环的环烷族均为液体，它们的分子式和结构如下：



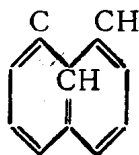
### 3. 芳香族烃

芳香族烃又称苯族烃，是一种不饱和的环烃族，其通式为  $C_nH_{2n-6}$ ，石油中苯、萘、菲均为芳香族中常见的碳氢化合物，它们不是以母体化合物存在，而多数情况下是以烷基的衍生物形式存在于石油中。如苯是芳香族中最普遍的化合物，其衍生物甲苯、二甲苯在石油中常能见到。常见的苯族化合物分子结构为

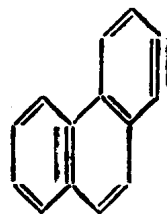
苯  $C_6H_6$



萘



菲



芳香族碳氢化合物在化学性质方面不稳定，较烷族及环烷族易氧化，原油主要由芳香族组成者几乎没有（或很少见），但所有的原油均含相当数量的芳香族（10—40%），轻的原油含量少，重的原油含量多，含芳香族较多的原油含沥青亦较高，这是因为芳香族易氧化的缘故。

#### (二) 石油的非烃组成

石油以烃类组成为主，但尚含有少量的硫、氮、氧非烃类化合物，称为石油的非烃组成。这些化合物对原油的质量、成因及找油标志等方面的研究及应用都有着重要的意义。

##### 1. 硫化物

原油中硫的含量在0.1—5.5%之间，它们大多数呈硫化氢（ $H_2S$ ）及有机含硫化合物的形式存在。如中馏份中以硫醚、硫醇、硫酚、塞酚等等，在重馏份中则以复杂大分子的胶质、沥青质形式存在于原油中。目前硫的化合物在石油中已能分离出100多种，此外尚有少量呈游离状态悬浮于石油中的自然硫。

原油中的硫一部分来自生油的原始有机物质，有机物质平均含硫量为0.5%，例如浮游生物的卵含硫量为0.5—1.5%。一般比重大的原油含硫较多，比重小的原油含硫较少，这是因为比重大的原油含胶质、沥青质多，而含硫化合物常与胶质有关。含硫多的原油大多产自碳酸盐岩内，因为碳酸盐岩中含少量的硫酸盐，当它们被还原时即使硫份进入石油中去。原油中含硫小于0.5%者叫做低硫原油，高于0.5%者叫做高硫原油，我国大多数原油皆为低硫原油。如大庆含硫0.03—0.16%，玉门0.14—0.25%，大港0.1—1.2%，任丘0.1%，下辽河0.1%，只有江汉地区的原油含硫稍高，可达0.5—5%。

原油中含硫量高会腐蚀机器和设备，还会引起汽缸的爆震，降低功率，损坏设备，故硫是有害物质。现在大多数新式炼油厂都有脱硫装置，可改变油品的质量。

##### 2. 氮化合物

几乎所有的原油都含有少量的氮化合物，目前原油中已能分离出30多种氮化合物，属于碱性氮化合物的有吡啶、喹啉等，属于非碱性氮化合物的有吡咯、喹啉、咪唑等，因为氮是天然气中一种常见的惰性气体，所以原油中所含氮可能在溶解气里，石油中的氮化合物可能来源于生物碱。

石油中最受人们重视的一种氮化合物是吡啶族化合物，又名喹啉族化合物。是一种复合

烃，常成镍卟啉和钒卟啉形式存在于石油中（即在卟啉环中络合一个钒离子或镍离子）。

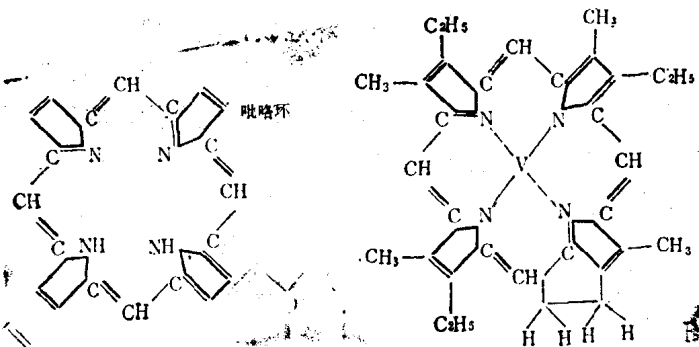


图 2—2 卟啉及钒卟啉结构示意图

石油中卟啉族化合物与生物体中的叶绿素、血红素具有相同的结构，所有的有机物及其它可燃有机矿产均含有卟啉族化合物，所以人们认为卟啉族化合物在石油内的发现是石油有机成因的一种有力证据。一般卟啉族化合物极易氧化，并在 200℃ 以上即被破坏，这一事实可以说明，石油是在还原环境下生成的，生成温度不超过 200℃。此外卟啉族化合物在原油中的含量是极微的。据世界各地采集的样品分析来看，其含量在 0.04—40PPM 之间，但是这类化合物具有极强的吸光性和荧光性，所以用光谱分析的方法很容易加以确定。

石油沿地层运移时其所含的卟啉族化合物可能被粘土矿物吸附，这样石油的运移距离越长，它本身所含的卟啉就愈少，沿途被粘土所吸附的卟啉也相应减少，以至经过长距离运移的石油形成的油田中的原油可以不含卟啉。有人认为根据这一特性进行系统采样，定量分析其所含的卟啉，可以查明石油的生油母岩及其运移途径及运移过程等，有助于进一步阐明石油成因及运移等重大理论问题。

另外有人认为石油中的卟啉化合物是在石油运移过程中从外界攫取而来的，这种次生可能性是上述石油形成问题上的理论争论之一，至今也还是存在的。

### 3. 含氧化合物

原油中含氧化合物主要是脂肪酸、环烷酸和酚类。脂肪酸类是烷烃的衍生物，环烷酸在石油中的含量很低，约为  $10^{-2}\%$  到 1—3%，它主要出现于  $C_6$ — $C_{12}$ ， $C_{14}$ — $C_{19}$  两个区段中属于有一个  $COOH$  的一元酸，其通式为  $C_n C_{2n-1} \cdot COOH$ ，有人认为环烷酸是环烷烃的衍生物，所以它在环烷烃多的石油中含量较多，而在烷烃多的石油中则较少。由于环烷酸具有溶于水的特性，因此成为寻找油藏的重要水化学标志。石油中的酚类主要为甲苯酚，二甲苯酚和萘酚等，都是芳香烃的衍生物。

## 三、石油的组份组成

石油对不同的介质有不同的吸附性和溶解性，所以利用选择性的吸附与溶解可将石油分离为油质、胶质、沥青质和碳类质四种组份。

### 1. 油质

主要是由烃类组成的淡色粘性液体（有时含有固体石蜡），能溶于石油醚中，但不被硅胶所吸附，紫外光照射下成天兰色或青色，为石油的主要组成部分，含量达 60—100%。

### 2. 胶质

黄或褐色粘稠流体，在石油中成真溶液，比重 1—1.07，能溶于石油醚中，并被硅胶吸附。通式为  $C_n H_{2n-m} O_2$ ，其中  $n=18-65$ ， $m=10-12$ ，分子量约在 300—1000 之间，高于油

质而低于沥青质。胶质主要为含有 S、N、O 原子的多环芳香烃，含量约为 0—30%，在轻质油中少，主要集中在蒸馏后的残渣中，或石油的天然低级氧化物（地沥青）中，紫外光下呈绿色或黄色。

### 3. 沥青质

为褐—黑色脆性固体，加热不溶化，但高于 300℃ 时分解为气体及焦炭。比重大于 1，紫外光下呈褐色，不溶于石油醚，但可溶于苯、二硫化碳和三氯甲烷等中性有机溶剂中，呈胶体溶液，可被硅胶吸附。它是一种环状结构的物质。从结构上来看，有人推测沥青质为胶质分子的高级缩合产物。所以可以看作是分子量大于 1000 的凝缩胶质，组成元素中除 C、H 外尚含有一定数量的 O、S、N（少于胶质）。沥青质在石油中含量一般少于 1%，只有在特殊情况下可达 3—5%，它的最高含量常见于高环烷烃——芳香烃石油中，在石油的高级氧化物（如石沥青）中较主要。

### 4. 碳类质

主要为非碳氢化合物物质，不溶于中性有机溶剂中（包括石油醚、苯、氯仿、丙酮、乙醚、醇苯、四氯化碳及二硫化碳等），主要由固体碳质组成，石油中一般含量很少，或不含碳类质，主要富集在碳质沥青及碳沥青中。

从油质到碳类质其分子量、比重、C/H 比值及非烃含量都是递增的，比重越轻，其所含油质越高，而胶质、沥青质越少。石油组成主要为油质，其次为胶质，沥青质含量很少，碳类质不含或很少。固体沥青类的组份以胶质、沥青质、碳类质为主，其含量因各种不同的固体沥青而有所差异。

## 四、石油的馏份组成

石油是不能直接应用的，因此需要对它进行各种加工处理，从而获得各种燃料油（汽油、煤油、柴油）、润滑油和石油化工原料，所以从石油应用的角度来了解石油的成份也是很重要的。

石油是各种烃类的混合物，而每种烃都有其自己的沸点和凝点，一般说碳原子愈多其沸点愈高，这样就可以把石油分为具有不同沸点范围的部分（即馏份），石油经过分馏后可得出馏出物及残余物两大部分（表 2—2）。

表 2—2 石油产品大致馏程范围

	馏份	油品	沸点范围℃	碳原子数	理想组分	
原油	低沸馏份 (轻质部分)	石油醚	<90℃	C <sub>5</sub> —C <sub>6</sub>	主要为戊烷己烷	馏出物
		汽油	70—200℃	C <sub>4</sub> —C <sub>11</sub>	芳香烃异构烷烃	
		煤油	200—300℃	C <sub>11</sub> —C <sub>16</sub>	烷烃，环烷烃	
		柴油	200—350℃	C <sub>11</sub> —C <sub>20</sub>	烷烃，环烷烃	
	高沸馏份 (重质部分)	润滑油	>300℃	C <sub>15</sub> —C <sub>35</sub> 以上	少环长侧链烃类	残余物
		渣油	>550℃	C <sub>35</sub> 以上		

最初分馏出来的是石油醚，主要由戊烷和己烷组成，特别易燃，是重要的有机溶剂。随后分离出的为汽油、煤油、柴油、润滑油。最后剩下的即为残余物——渣油。上述石油的



馏分组成仅是一般分馏过程的产物，因为原油品质及对油品质量的具体要求不同，馏程的沸点范围是不相同的。不仅如此，现代炼油工业为了提高原油轻馏分的产量及提高产品质量，除了采用直馏法外还采用催化热裂化、加氢裂化、热裂解，石油的铂重整等一系列技术措施。例如在常压下分馏出的汽油通常只占原油的15—20%，在利用催化热裂化后，可使汽油的产量提高到50—80%以上，从而满足交通运输的需要。由低温到高温的馏份系列，它们的分子量愈来愈大。而热值相应减少，渣油部分是稠度不同的胶状物质，笼统称为柏油，它们主要是一些含S、N、O分子的高分子多环和复环的复杂化合物，目前对它们的了解还很不

## 五、石油的分类

最新的原油分类法是根据原油中不同结构类型烃的含量，如烷烃、环烷烃和芳香烃及N、S、O化合物，同时也考虑了S的含量，把原油分为石蜡型、石蜡—环烷型、环烷型、芳香中间型、芳香沥青型及芳香环烷型六种。

### 1. 石蜡型原油

属轻质原油，含一定量的腊质，油质粘度较高。这是因为大于C<sub>20</sub>正构烷烃含量高的缘故，比重通常低于0.85，树脂和沥青质的含量低于10%，这类原油主要产于北非、美国、南美、西非、利比亚、印度尼西亚以及中欧等地。

### 2. 石蜡—环烷型原油：

芳香族占烃类的25—40%，粘度比石蜡型原油高，但仍为中等，其中树脂加沥青一般为5—15%，硫含量<1%，此类原油主要产于加拿大阿尔伯达、美国及印度尼西亚等地。

### 3. 环烷型原油

表2—3 原油的分类 (据蒂索和威尔特, 1978)

在>210℃的原油中的浓度 S为饱和烃 AA为芳香烃+胶质+沥青质 P为石蜡烃 N为环烷烃		原油类型	原油中硫含量 (近似值)	样品数 (总数=541)
S>50% AA>50%	P>N 且 P>40%	石蜡型	<1%	100
	P≤40%且N≥40%	石蜡—环烷型		217
	N>P且N≤40%	环烷型		21
S≤50% AA≥50%	P>10%	芳香—中间型	>1%	126
	P≤10%	N≤25%		芳香沥青型
		N≥25%	芳香环烷型	一般<1%

仅少数的原油属环烷型油，是未成熟原油。它们产生于石蜡型，石蜡—环烷型原油经生物化学更替作用而成，主要产于南美、墨西哥湾、北海及苏联等地，我国四川巴县石油沟也有这种类型原油。