



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

石油炼制工程

(第四版)

徐春明 杨朝合 主编

林世雄 主审



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等院校石油天然气类规划教材

石油炼制工程

(第四版)

徐春明 杨朝合 主编

林世雄 主审

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在第三版基础上未对结构作重大调整,主要是在内容上除旧补新。本书共分为十七章,从石油的化学组成、性质和对石油产品的要求出发,阐述了石油加工的方法、过程及相关理论。本书重视从基本原理来分析石油加工中的有关问题。

本书可作为高等学校相关专业的教材和炼油工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油炼制工程/徐春明,杨朝合主编.—4版

北京:石油工业出版社,2009.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材.高等院校石油
天然气类规划教材

ISBN 978-7-5021-6986-2

I. 石…

II. ①徐…②杨…

III. 石油炼制-高等学校-教材

IV. TE62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 007090 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

编辑部:(010) 64523585 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2009年9月第4版 2009年9月第9次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:44.25 插页:1

字数:1131千字

定价:60.00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

第四版前言

《石油炼制工程》第三版出版至今已近十年。在此期间，国内外的炼油技术有了长足的进步，产品标准要求等也都有了很大的提高，国内的教育改革也有了重要的发展，同时，许多读者对本书也提出了一些宝贵的建议和要求。为了满足发展的需要，对本书的第三版作了较大的修改和补充，作为第四版出版发行。

本书的第四版在全书的结构上未作重大改动，按照把基本原理相似的内容归属于同一章的思路进行编写。与第三版相比，第四版将第三版的第五章与第六章合并为第五章“原油评价及加工方案流程”，将第三版的第十七章内容分解到第四版的有关章节中。第四版全书共十七章，各章节内容主要是在第三版基础上除旧补新，尤其是对石油蒸馏、能量利用、技术经济分析等内容做了较大调整。

本书第四版的主编为徐春明、杨朝合，主审为林世雄。参加编写工作的同志有：中国石油大学徐春明（第一、第十章）、杨朝合（第三、第四、第十六章）、阙国和（第二章）、赵锁奇（第五、第十二章）、刘艳升（第六章）、高金森（第八章）、刘晨光（第九章）、王宗贤（第七章）、刘植昌（第十一章）、夏道宏（第十三章）、罗雄麟（第十五章）。此外，还特别邀请了吉林化工学院的魏奇业教授及中国石油天然气股份有限公司规划总院刘蜀敏研究员等分别编写了第十四章和第十七章。感谢孟祥海和李瑞丽等老师所做的大量文字校对工作。

编者

2009年2月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 石油炼制工业概述	1
第二节 “石油炼制工程”课程的学习	3
第二章 石油的化学组成	5
第一节 石油的一般性质、元素组成和馏分组成	5
第二节 石油馏分的烃类组成	10
第三节 石油中的非烃化合物	28
第四节 石油中的微量元素	39
第五节 渣油以及渣油中的胶质、沥青质	44
参考文献	52
第三章 石油及油品的物理性质	54
第一节 蒸气压、沸程和平均沸点	54
第二节 密度、特性因数和平均相对分子质量	59
第三节 油品的粘度	68
第四节 临界性质、压缩因子及偏心因子	75
第五节 热性质	83
第六节 其他物理性质	92
参考文献	98
第四章 石油产品的质量要求	99
第一节 汽油	99
第二节 柴油	113
第三节 喷气燃料	123
第四节 燃料油	130
第五节 润滑油	133
第六节 石油沥青	148
第七节 石油蜡	154
第八节 石油焦	157
参考文献	159
第五章 原油评价及加工方案流程	161
第一节 原油评价方法概述	161
第二节 原油的分类方法	165

第三节	渣油的评价	167
第四节	原油加工方案的确定	171
第五节	炼油厂的构成	174
第六节	炼油装置工艺流程	176
第七节	炼油过程的结构分析	177
	参考文献	179
第六章	石油蒸馏	180
第一节	蒸馏概述	180
第二节	石油体系的表征及其气—液平衡	185
第三节	原油蒸馏塔的操作特征	221
第四节	原油蒸馏塔工艺计算	248
第五节	常减压蒸馏的流程及技术发展	257
第六节	其他石油蒸馏塔	262
	参考文献	269
第七章	热加工过程	271
第一节	石油烃类的热反应	271
第二节	焦化过程	277
第三节	减粘裂化	287
第四节	其他渣油热转化过程	291
	参考文献	292
第八章	催化裂化	294
第一节	概述	294
第二节	石油烃类的催化裂化反应	298
第三节	催化裂化催化剂	315
第四节	裂化催化剂的失活与再生	324
第五节	流态化基本原理	333
第六节	催化裂化工艺过程	345
第七节	反应—再生系统工艺计算	356
	参考文献	370
第九章	催化加氢	372
第一节	加氢过程的化学反应及动力学	372
第二节	加氢过程的催化剂	392
第三节	加氢过程的工艺流程及操作条件	401
第四节	重油加氢工艺	415
第五节	加氢过程的工艺计算	424
第六节	加氢反应器及其他高压设备	437
第七节	氢气的制取	448

参考文献	456
第十章 催化重整	459
第一节 概述	459
第二节 催化重整的化学反应	463
第三节 重整催化剂	475
第四节 重整反应器	484
第五节 重整反应器的工艺计算	491
参考文献	504
第十一章 高辛烷值组分的合成	506
第一节 烷基化过程	507
第二节 异构化过程	515
第三节 高辛烷值醚类的合成	519
参考文献	523
第十二章 溶剂分离过程	525
第一节 渣油溶剂脱沥青过程	525
第二节 润滑油溶剂精制	536
第三节 润滑油溶剂脱蜡	546
第四节 芳烃抽提	557
参考文献	569
第十三章 石油产品精制	570
第一节 概述	570
第二节 电化学精制	572
第三节 轻质油品脱硫醇	574
第四节 炼厂气脱硫及脱硫醇	578
第五节 白土精制	581
第六节 润滑油和燃料添加剂	583
第七节 油品调合	591
参考文献	594
第十四章 炼油厂的能量利用	595
第一节 概述	595
第二节 用能过程分析的基本原理	597
第三节 炼油过程的有效能分析	600
第四节 炼油装置和炼油厂用能分析	607
第五节 炼油厂节能途径	615
参考文献	629
第十五章 炼油过程先进控制	630
第一节 过程控制工程	630

第二节	炼油过程数学模型·····	638
第三节	软测量技术·····	647
第四节	模型预测控制技术·····	657
	参考文献·····	667
第十六章	炼油厂污染的防治·····	668
第一节	废水处理·····	668
第二节	废气处理·····	679
第三节	固体废弃物处理·····	682
第四节	噪声控制·····	683
	参考文献·····	684
第十七章	炼油厂技术经济分析·····	685
第一节	炼油工程项目的 basic 建设程序·····	685
第二节	投资及成本的估算·····	687
第三节	经济评价·····	693
第四节	改扩建与技术改造项目经济评价简述·····	698
	参考文献·····	700

第一章 绪 论

第一节 石油炼制工业概述

一、石油炼制工业在国民经济中的地位

石油炼制工业是国民经济重要的支柱产业之一，是提供能源，尤其是交通运输燃料和有机化工原料的最重要的工业。据统计，全世界总能源需求的约 40% 依赖于石油产品，汽车、飞机、轮船等交通运输工具使用的燃料几乎全部是石油产品。有机化工原料也主要来源于石油炼制工业，世界石油总产量的约 10% 用于生产有机化工原料。表 1-1 列出了 1995 年和 2006 年各类能源在世界总能源需求中的比例(按能量计算)，还给出了我国 2004 年的能源消费结构。

表 1-1 世界能源需求结构

%

年 份	1995 年	2006 年	2004 年(中国)
石油	40.1	37.3	22.7
天然气	22.9	23.9	2.6
煤	27.1	26.5	67.7
核能、水力及其他	9.9	12.3	7.0
合计	100.0	100.0	100.0

石油是十分复杂的烃类及非烃类化合物的混合物，组成石油的化合物的相对分子质量从几十到几千，相应的沸点从常温到 500℃ 以上，其分子结构也是多种多样。因此，石油不能直接作为产品使用，必须经过各种加工过程，炼制成多种在质量上符合使用要求的石油产品。石油产品种类繁多，市场上各种牌号的石油产品达 1000 种以上，包括燃料(汽油、柴油、喷气燃料、重质燃料等)、润滑油(内燃机油、机械油等)、有机化工原料(乙烯的裂解原料、各种芳烃和烯烃等)、沥青(铺路沥青、建筑沥青、防腐沥青、特殊用途沥青等)、蜡(食用、药用、化妆品用、包装用的石蜡和地蜡)、石油焦(电极用焦、冶炼用焦、燃料焦等)等。

从上述石油产品品种之多和用途之广也可以看到石油炼制工业在国民经济和国防中的重要地位。

二、石油炼制工业的发展概况

石油炼制工业最早主要是生产家用煤油，其主要加工手段是简单蒸馏。20 世纪初，汽车工业的发展和第一次世界大战对汽油的需求猛增，从石油蒸馏直接取得的汽油在数量上已不能满足需要，从较重的馏分油或重油生产汽油的热裂化技术应运而生。20 世纪 40 年代，催化裂化技术出现并且发展迅速，逐渐成为生产汽油的主要加工过程。与此同时，润滑油生

产技术也有了较大的发展。50年代,为满足对汽油抗爆性的要求,出现了铂重整技术,促进了催化重整技术的大发展。由于催化重整产出廉价的副产品氢气,也促进了加氢技术的发展。在此期间,各种催化反应技术在炼油工业中有了全面的、较大的发展。60年代,分子筛催化剂的出现并首先在催化裂化过程中大规模地使用,使催化裂化技术发生了革命性的变革。同时,分子筛催化剂也在其他的催化反应过程中得到广泛的应用。70年代,由中东石油禁运引起的石油危机促进了节能技术的发展。同时,石油来源受限和石油价格上涨促进了重质油轻质化技术的发展。在此期间,计算机技术、过程系统优化技术等也在炼油工业中得到了广泛的应用。进入20世纪80年代,从世界范围来看,炼油工业的规模和基本技术构成相对比较稳定,而且对于具体的各项技术,例如在工艺设备、催化剂、系统优化、过程模拟和先进控制、环境保护等方面,都有了重要的进步和发展。

我国的炼油工业发展较晚,虽然在1907年就建立了陕西石油官矿局炼油房,但是直到1949年,全国仅有几个小规模的炼油厂。1958年,建立了我国第一座现代化的处理量为 1.0×10^6 t/a的炼油厂。20世纪60年代,在大庆油田的发现和开发的带动下,我国炼油工业迅速发展。目前,我国炼油工业的规模已位居世界第二位,炼油技术水平也进入世界先进行列。

表1-2列出了2006年世界炼油能力位于前15位的国家(按原油蒸馏能力计算),同时也列出了这些国家的石油储量和产量。由表1-2可见,炼油工业是一个规模庞大的产业。

表1-2 世界主要炼油大国的炼油能力及其石油储量和产量

国家或地区	2006年原油蒸馏能力, 1.0×10^6 t/a	2009年1月份石油储量, 1.0×10^8 t	2008年石油产量 1.0×10^6 t/a
美国	864	29.2	245
中国 ^①	312	21.9	190
俄罗斯	267	82.2	488
日本	234	0.06	0.8
韩国	129	—	—
德国	121	0.4	3
意大利	117	0.6	5
印度	113	7.7	33.4
沙特阿拉伯	105	361.9	445
加拿大	102	244.0	128.5
法国	98	0.1	1.0
巴西	95	17.3	90.8
英国	94	4.7	70
墨西哥	77	14.4	140
伊朗	73	186.5	195
世界合计	4259	1839	3648

注:本表原油蒸馏能力数据来源于 Oil & Gas Journal, Dec, 2006; 石油储量和石油产量数据来源于 Oil & Gas Journal, Dec, 2008。原文中单位为 bbl/d 或 bbl, 本表用 $1\text{t}=7.3\text{bbl}$ 进行换算。

①中国原油蒸馏能力、石油储量和石油产量均未包括中国台湾省。

综观炼油技术发展的历史,促进炼油技术发展的最基本的动力是如何从具有一定性质、组成的原油生产出能满足不断发展的质量要求和数量要求(各种产品的比例)的石油产品。换句话说,就是如何解决原油与石油产品之间在质量上和数量上的矛盾。科学技术的发展和社会的进步对促进炼油技术发展发挥了重要的作用。近十余年,炼油技术发展中有几个重要的趋势值得重视:

①重质油轻质化技术日益受到重视,其背景是世界石油市场的原油在近十余年明显变重,原油中的轻质馏分含量减少。对我国炼油工业来说,此问题更有特殊的重要性。国产原油多数偏重,多数原油含大于 500°C 的减压渣油达 $40\% \sim 50\%$,而且国产原油在数量上也日益不能满足高速发展的国民经济的需要。

②环境保护的要求逐渐成为推动炼油技术发展的一个新的、重要的动力。明显的例子是1990年美国的清洁空气修正法案(CAAA)从环境保护要求出发对汽油的质量提出了一系列新的要求,促使美国炼油厂对炼油过程的结构及工艺进行了一系列的变革,也促进了一些新工艺的开发。我国2008年率先在北京执行轻型汽车污染物排放限值第IV阶段标准(国IV标准),也对我国炼油技术提出了新的挑战。从世界范围来看,环境保护将对炼油技术提出越来越高的要求。

③石油化学工业的发展将会在原料的品种和数量上对炼油工业提出更多的要求。从炼油厂本身来说,为了充分利用原油资源和提高经济效益,也必须更多地与石油化工相结合,对炼油厂的产品和副产品进行化工综合利用。

④计算机和信息技术的应用对提高炼油技术水平的作用日益重要。

第二节 “石油炼制工程”课程的学习

一、“石油炼制工程”课程的特点

炼油工业属于广义的化学工业的范畴。从所属学科来看,石油炼制工程是化学工程的一个分支,本质上是化学工程在炼油技术中的应用。它的主要理论基础是化学工程(包括流体流动、传热、传质、反应工程等)和基础化学(如物理化学、有机化学等)。因此,如果缺乏上述的理论基础,欲求较深入地理解、掌握炼油技术是不可能的。作为一门专业课程,“石油炼制工程”有以下两个重要特点:

①“石油炼制工程”研究的对象是含有极多组分的复杂混合物,无论是加工的原料还是产品均是如此,在表征其物理和化学性质时都要考虑复杂混合物的特点。传统的化学和化学工程研究的对象是纯物质或有限组分数量的混合物,由此所得到的基本原理虽也适用于石油和石油产品,但是在处理具体问题时,常常必须不同程度地依据经验,有条件性地进行适当的简化处理。

②“石油炼制工程”的主要任务是如何高效、合理地把原油加工成各种石油产品。在现代炼油厂,通常需要通过多个加工过程才能完成此任务,而每一个加工过程通常又是由多个单元过程所组成。如何最优地把多个单元过程组合成一个加工过程,并进而组合成一个总加工流程是“石油炼制工程”研究的核心问题之一。因此,比较广泛的基础知识和综合分析问题的能力以及丰富的实践经验对较好地解决此问题是很有必要的。

二、“石油炼制工程”课程的学习方法

根据“石油炼制工程”课程的内容和特点，对于如何学习本门课程提出以下建议：

①充分重视理论联系实际。学习任何一门工艺、工程性课程，理论联系实际都是一个十分重要的原则。理论联系实际有双重含义，一方面，对于实际的经验、数据等要努力运用基本原理对其进行分析，从而较深入地了解其本质或内在的规律性；另一方面，在解决一些具体问题时，注意在基本原理的指导下结合实际的经验或数据来分析问题。对于对炼油生产实际了解不多的同学，努力利用各种机会丰富自己对炼油生产实践的感性认识会对学好本门课程有很大的益处。

②提高综合分析问题的能力。加强学习和丰富基础理论知识是提高综合分析问题能力的基础。在这方面，除了基础化学和化学工程等基本理论知识外，还须注意学习有关能量利用、系统优化、环境工程、技术经济等领域的理论和知识。同时，经常注意运用这些理论、知识对炼油过程进行整体的、全面的分析，可以有效提高实际的综合分析问题的能力。

第二章 石油的化学组成

第一节 石油的一般性质、元素组成和馏分组成

一、石油的一般性质

石油(或称原油)通常是黑色、褐色或黄色的流动或半流动的粘稠液体,相对密度一般介于0.80~0.98之间。世界各地所产的原油在性质上都有不同程度的差异。

表2-1和表2-2分别为我国陆上和海上主要油区所产原油的一般性质,表2-3为国外部分原油的一般性质。与国外原油相比,我国主要油区原油的凝点及蜡含量较高、庚烷沥青质含量较低、相对密度大多在0.85~0.95之间,属偏重的常规原油。

表2-1 我国陆上主要原油的一般性质

原油名称	大庆	胜利	孤岛	辽河	华北	中原	新疆吐哈	鲁宁管输
密度(20℃), g/cm ³	0.8554	0.9005	0.9495	0.9204	0.8837	0.8466	0.8197	0.8937
运动粘度(50℃), mm ² /s	20.19	83.36	333.7	109.0	57.1	10.32	2.72	37.8
凝点,℃	30	28	2	17(倾点)	36	33	16.5	26.0
蜡含量(质量分数),%	26.2	14.6	4.9	9.5	22.8	19.7	18.6	15.3
庚烷沥青质(质量分数),%	0	<1	2.9	0	<0.1	0	0	0
残炭(质量分数),%	2.9	6.4	7.4	6.8	6.7	3.8	0.90	5.5
灰分(质量分数),%	0.0027	0.02	0.096	0.01	0.0097	—	0.014	—
硫含量(质量分数),%	0.10	0.80	2.09	0.24	0.31	0.52	0.03	0.80
氮含量(质量分数),%	0.16	0.41	0.43	0.40	0.38	0.17	0.05	0.29
镍含量, μg/g	3.1	26.0	21.1	32.5	15.0	3.3	0.50	12.3
钒含量, μg/g	0.04	1.6	2.0	0.6	0.7	2.4	0.03	1.5

表2-2 我国海上主要原油的一般性质

原油名称	渤海油区				南海油区			东海油区
	渤西	渤中	绥中	渤海2号	惠州	潮州	陆丰	平湖(凝析油)
密度(20℃), 52g/cm ³	0.8647	0.8514	0.9571	0.9190	0.8333	0.8624	0.8562	0.7962
运动粘度(50℃), mm ² /s	8.597	5.96	560.7	80.74	5.80	21.08	21.92	1.01
凝点,℃	21	20	13	-30	30	32	42	3
蜡含量(质量分数),%	13.2	21.4	—	3.8	25.8	15.1	26.4	4.19
酸值, mgKOH/g	0.45	0.05	—	3.57	0.11	0.82	0	—
残炭(质量分数),%	2.83	2.0	9.94	5.13	2.33	3.77	4.00	0.06
灰分(质量分数),%	0.008	0.010	0.040	0.024	0.012	0.008	0.008	—

续表

原油名称	渤海油区				南海油区			东海油区
	渤西	渤中	绥中	渤海2号	惠州	涠州	陆丰	平湖(凝析油)
硫含量(质量分数),%	0.17	0.13	0.33	0.28	0.06	0.21	0.10	195 ($\mu\text{g/g}$)
氮含量(质量分数),%	0.16	0.08	0.60	0.41	0.12	0.15	0.13	26.4 ($\mu\text{g/g}$)
镍含量, $\mu\text{g/g}$	8.76	3.22	37.52	27.27	1.11	1.51	1.8	<0.1
钒含量, $\mu\text{g/g}$	0.20	0.12	1.57	0.99	0.17	0.17	0.25	<0.1

表 2-3 国外部分原油的一般性质

原油名称	沙特 (轻质)	沙特 (中质)	沙特 (轻重混合)	伊朗 (轻质)	科威特	阿联酋 (穆尔班)	伊拉克	印尼 (米纳斯)	哈萨 克斯坦
密度(20℃), g/cm^3	0.8578	0.8680	0.8716	0.8531	0.8650	0.8239	0.8559	0.8456	0.8538
运动粘度(50℃), mm^2/s	5.88	9.04	9.17	4.91	7.31	2.55	6.50 (37.8℃)	13.4	1.088
凝点,℃	-24	-7	-25	-11	-20	-7	-15 (倾点)	34 (倾点)	-13
蜡含量(质量分数),%	3.36	3.10	4.24	—	2.73	5.16	—	—	4.5
庚烷沥青质(质量分数),%	1.48	1.84	3.15	0.64	1.97	0.36	1.10	0.28	—
残炭(质量分数),%	4.45	5.67	5.82	4.28	5.69	1.96	4.2	2.8	3.02
硫含量(质量分数),%	1.91	2.42	2.55	1.40	2.30	0.86	1.95	0.10	1.03
氮含量(质量分数),%	0.09	0.12	0.09	0.12	0.14	—	0.10	0.10	0.20

除了上述类型原油外,近年来国内外相继对蕴藏量很丰富的重质原油(或称稠油)进行开采。表 2-4 列出了国内外几种重质原油的一般性质,这类原油的相对密度均大于 0.93,而且粘度较高,其中若干重质原油酸值较高(例如单家寺、新疆九区等),属含酸重质原油。

表 2-4 国内外几种重质原油的一般性质

原油名称	单家寺	欢喜岭	新疆 (九区)	井楼	委内瑞拉 (博斯坎)	加拿大 (冷湖)	加拿大 (阿萨巴斯卡)
密度(20℃), g/cm^3	0.9731	0.9434	0.9273	0.9531	0.9991	1.0013	1.030
运动粘度 (50℃), mm^2/s	8108	287	381	1539	1832 (60℃)	670 (100℃)	—
凝点,℃	5	-20	-18	11	—	15.6	10
蜡含量(质量分数),%	3.4	2.2	7.4	9.6	—	—	—
庚烷沥青质(质量分数),%	1.2	0	0	0	15.2	15.0	16.9
残炭(质量分数),%	9.7	4.8	5.4	9.1	15.0	13.1	18.5
酸值, mgKOH/g	7.4	—	3.4	4.9	—	0.71	—
硫含量(质量分数),%	0.82	0.26	0.15	0.32	5.7	4.4	4.9
氮含量(质量分数),%	0.72	0.41	0.35	0.74	0.44	0.64	0.40

此外，还有一类相对密度小于0.80的轻质原油，该类原油的特点是相对密度小、轻油收率高、渣油含量少。这类原油目前在世界上的探明储量及产量均较少，表2-5为我国及国外几种轻质原油的一般性质。

表2-5 我国及国外几种轻质原油的一般性质

原油名称	青海 (冷湖5号)	新疆 (塔南)	新疆 (塔中1号)	南海西部 (涠州北2号)	也门 (麦瑞波)	印尼 (巴达)	印尼 (波唐米克斯)
密度(20℃), g/cm ³	0.8042	0.7864	0.7632	0.7719	0.7986	0.7845	0.7907
运动粘度(50℃), mm ² /s	1.46	2.28	—	1.72	1.52	1.00	1.36
凝点,℃	-9	9	-56	17	-24	< -30	< -30
蜡含量(质量分数),%	—	—	0.22	11.9	3.94	2.50	—
庚烷沥青质(质量分数),%	0	0	1.89	0.05	0.12	0.02	0.20
残炭(质量分数),%	0.2	0	0.02	0.3	0.82	0.15	0.29
硫含量(质量分数),%	0.02	0.04	0.02	—	0.08	0.48	0.05
氮含量(质量分数),%	—	0.09	<0.3	—	—	—	0.03

二、石油的元素组成

研究有机化合物的组成和结构都离不开元素组成，对于石油这样复杂的混合物，其化学组成的研究更是从分析其元素组成入手。世界上各种原油的性质虽然差别甚远，但基本上由五种元素即碳、氢、硫、氮、氧所组成。原油中碳的质量分数一般为83.0%~87.0%，氢的质量分数为11.0%~14.0%，硫的质量分数为0.05%~8.00%，氮的质量分数为0.02%~2.00%，氧的质量分数为0.05%~2.00%。

1. 碳、氢含量和氢碳原子比

表2-6为国内外一些原油中的碳、氢含量和氢碳原子比。在组成原油的五种主要元素中，碳、氢这两种元素一般占95%(质量分数)以上，而硫、氮、氧等杂原子总含量不到5%(质量分数)。由于不同原油中杂原子含量相差甚大，所以单纯用它的碳含量或氢含量不易进行比较。原油的氢碳原子比则更能反映原油的属性，一般说来，轻质原油或石蜡基原油，例如表2-6中的大庆原油和印尼米纳斯原油其氢碳原子比较高(约为1.9)，而重质原油或环烷基原油如欢喜岭等原油其氢碳原子比较低(约1.5左右)。氢碳原子比还包含着重要的结构信息，它是一个与其化学结构有关的参数。由表2-7可以看出，对于不同系列的烃类，在相对分子质量相近的情况下(碳原子数相同)其氢碳原子比大小顺序是：烷烃>环烷烃>芳香烃(简称芳烃)。表2-7中数据也表明，随着烷烃相对分子质量增加以及环烷烃和芳香烃环数的增加，其氢碳原子比逐渐降低。这进一步说明了不同原油或同一原油不同馏分其氢碳原子比差别的原因。

表2-6 原油中的碳、氢元素含量和氢碳原子比





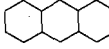
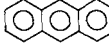
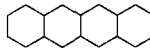
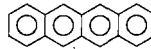
原油名称	C,%	H,%	(C+H),%	H/C(原子比)
大庆	85.87	13.73	99.60	1.90
胜利	86.26	12.20	98.46	1.68
孤岛	85.12	11.61	96.73	1.62

续表

原油名称	C, %	H, %	(C + H), %	H/C (原子比)
辽河	85.86	12.65	98.51	1.75
新疆	86.13	13.30	99.43	1.84
大港	85.67	13.40	99.07	1.86
欢喜岭	86.36	11.13	97.49	1.53
井楼	85.06	12.10	97.16	1.69
江汉	83.00	12.81	95.81	1.84
伊朗(轻质)	85.14	13.13	98.27	1.84
印尼(米纳斯)	86.24	13.61	99.85	1.88
美国(加州文图拉)	84.00	12.70	96.70	1.80
美国(堪萨斯)	84.20	13.00	97.20	1.84
前苏联(格罗兹尼)	85.59	13.00	98.59	1.81
前苏联(杜依玛兹)	83.90	12.30	96.20	1.75

注：表中百分数表示质量分数。

表 2-7 氢碳原子比与烃类结构的关系

分子式	H/C(原子比)	分子式	H/C(原子比)	分子式	H/C(原子比)
C_6H_{14}	2.33	 C_6H_{12}	2.00	 C_6H_6	1.00
$C_{10}H_{22}$	2.20	 $C_{10}H_{18}$	1.80	 $C_{10}H_8$	0.80
$C_{14}H_{30}$	2.14	 $C_{14}H_{24}$	1.71	 $C_{14}H_{10}$	0.71
$C_{18}H_{38}$	2.11	 $C_{18}H_{30}$	1.67	 $C_{18}H_{12}$	0.67

在石油的各种加工过程中，氢碳原子比也是一个重要的参数和指标。对于纯粹的脱碳（无外加氢）加工过程，在生成氢碳原子比高的轻质产物的同时，必然得到氢碳原子比低的重质产物，整个加工过程氢碳原子比将保持守恒。

2. 硫、氮、氧的含量

在石油的元素组成中，除了碳、氢外，还有硫、氮、氧以及一些微量元素。在石油中氧含量较少，一般不直接测定，常用减差法估算石油中的氧含量。石油中非碳氢元素也称杂质原子，其含量一般不超过 5%（质量分数），但某些原油，例如委内瑞拉（博斯坎）原油含硫量高达 5.7%（质量分数）。大多数原油含氮量很低，一般为千分之几至万分之几。表 2-8 为我国及国外部分原油中硫、氮元素的含量。数据表明，与国外原油相比，我国原油含硫量较

低，除了少数原油含硫量高于1%（质量分数）外，大多数原油含硫量低于1%（质量分数）。与国外原油的含氮量相比，我国原油的含氮量偏高，一般在0.3%以上，例如井楼及高升原油含氮量高达0.7%以上，这在世界上也属于较少见的高氮原油。综上所述，从元素组成上看，含硫低、含氮高是我国原油的特点之一。

表 2-8 原油中的硫、氮元素含量

中国原油			国外部分原油		
原油名称	硫含量 (质量分数),%	氮含量 (质量分数),%	原油名称	硫含量 (质量分数),%	氮含量 (质量分数),%
大庆	0.10	0.16	沙特(轻质)	1.91	0.09
胜利	0.80	0.41	沙特(中质)	2.42	0.12
孤岛	2.09	0.43	沙特(轻重混合)	2.55	0.09
新疆	0.05	0.13	伊朗	1.40	0.12
大港	0.12	0.23	科威特	2.30	0.14
欢喜岭	0.26	0.41	英国(北海)	0.35	0.07
高升	0.56	0.72	前苏联(杜依玛兹)	2.67	0.33
井楼	0.32	0.74	美国(堪萨斯)	1.90	0.45

虽然非碳氢元素在石油中的含量较少，但是这些非碳氢元素都是以碳氢化合物的衍生物形态存在于石油中，因而含有这些元素的化合物所占的比例就很大。这些非碳氢元素的存在对于石油的性质、石油加工过程和石油产品质量有很大的影响。

除了碳、氢、硫、氮、氧外，石油中还含有微量的金属和非金属元素，它们的含量一般为百万分之几甚至十亿分之几。这些元素虽然含量甚微，但它们对石油加工，尤其是石油的催化加工中的催化剂有很大的影响，必须引起充分重视。

关于微量元素在石油中的含量、存在形态及其分布等内容将在本章第四节加以阐述。

三、石油的馏分组成

石油是一个多组分的复杂混合物，其沸点范围很宽，从常温一直到500℃以上。所以，无论是对石油进行研究或进行加工利用，都必须对石油进行分馏。分馏就是按照组分沸点的差别将石油“切割”成若干“馏分”，例如<200℃馏分，200~350℃馏分等等，每个馏分的沸点范围简称为馏程或沸程。

馏分常冠以汽油、煤油、柴油、润滑油等石油产品的名称，但馏分并不就是石油产品，石油产品要满足油品规格的要求，还需将馏分进一步加工才能成为石油产品。各种石油产品往往在馏分范围之间有一定的重叠。例如，喷气燃料与轻柴油的馏分范围间有一段重叠。为了统一称呼，一般把原油在常压蒸馏时从开始馏出的温度(初馏点)到200℃(或180℃)之间的轻馏分称为汽油馏分(也称轻油或石脑油馏分)，200(或180)~350℃之间的中间馏分称为煤柴油馏分，或称常压瓦斯油(简称AGO)。由于原油从350℃开始即有明显的分解现象，所以对于沸点高于350℃的馏分，需在减压下进行蒸馏，再将减压下蒸出馏分的沸点换算成常压沸点。一般将相当于常压下350~500℃的高沸点馏分称为减压馏分或称润滑油馏分，或称减压瓦斯油(简称VGO)；而减压蒸馏后残留的>500℃的油称为减压渣油(简称VR)；