

普通高等教育“九五”国家级重点教材

石油炼制工程

(第三版)

林世雄 主编



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 炼 制 工 程

(第 三 版)

林世雄 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书对第二版的结构和内容作了重大的修改和补充。本书从石油的化学组成、性质和对石油产品的要求出发,阐述石油加工的方法、过程及有关的理论。全书共分十九章,其中包含了新增的涉及全厂性的若干重要问题的论述。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/林世雄主编 .—3 版
北京:石油工业出版社,2000.7
(普通高等教育“九五”国家级重点教材)
ISBN 7-5021-2886-7

I.石…

II.林…

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 (1999) 第 76917 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 44.25 印张 1 插页 1117 千字 印 1—2500

2000 年 7 月北京第 3 版 2000 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2886-7/TE·2249 (课)

定价: 60.00 元

第三版前言

十年动乱结束，我国迎来了科学技术和教育发展的春天。为了满足当时的迫切需要，原华东石油学院（现为石油大学）部分教师组织编写了《石油炼制工程》第一版（由林世雄任主编），并于1979年由石油工业出版社出版发行。作为高等学校专业教材和科技参考书，该书出版后，受到了广泛的欢迎，并且于数年后被国家教委评为全国高校优秀教材。本书第一版经部分修改、补充后，又于1988年出版发行第二版。第二版出版至今已有十二年了，在此期间，国内外的炼油技术有了长足的进步，国内的改革开放和教育改革也有了重要的发展。同时，许多读者也对本书提出了一些宝贵的建议和要求。为了满足发展的需要，国家教委把编写、出版《石油炼制工程》第三版列入国家“九五”教材建设计划。

本书的第三版对第二版作了重大的修改和补充。首先，在全书的结构上作了重大的改动。在第二版，全书的内容基本上是按生产流程和产品类别顺序来编写的，而这种编排方式已不太适应炼油技术发展的现状。例如，有些工艺过程不仅适用于生产燃料，而且适用于生产润滑油，甚至是化工原料的生产。采用原来的编写结构方式不仅会造成重复，而且也不利于引导读者形成较全面的认识。因此，在第三版，按照把基本原理相似的内容归属于同一章的思路将全书编成十九章。在这十九章中，除了包括第二版原有的基本内容外，还新增了六章与全厂性问题有关的内容：例如炼油厂的构成、能量利用原理、环境污染防治、技术经济分析等。其次，在具体的内容编写上特别注意了除旧补新，力求采用最新的科技成果。例如在重质油化学、重质油加工、清洁燃料等诸方面补充了较多的新内容。此外，第三版的篇幅比第二版略有减小。

在第三版的编写中，注意了遵从国家对出版物的有关具体规定，例如在计量单位方面力求都采用法定计量单位。由于在国际石油市场和科技领域仍然广泛采用英制计量单位和其他非法定计量单位，其中有些不便于换算成国内法定计量单位，因此，在本书的个别地方仍然保留少量以英制单位和其他非法定计量单位表示的形式。

参加本书第三版编写工作的同志有：林世雄（担任本书主编并编写第1，5，6，8，9，11，13，15章）、阙国和（编写第2章）、梁文杰（编写第3，4，17，18章）、赵忠德（编写第7，12，14，19章）、徐春明（编写第10章）、罗雄麟（编写第16章）。主审是杨光华教授、汪燮卿院士。

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 石油的化学组成	(5)
第一节 石油的一般性状、元素组成、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	(37)
第四节 石油中的微量元素	(49)
第五节 渣油以及渣油中的胶质、沥青质	(54)
参考文献	(62)
第三章 石油及油品的物理性质	(63)
第一节 蒸气压、沸程和平均沸点	(63)
第二节 密度、相对密度、特性因数和平均相对分子质量	(70)
第三节 油品的粘度	(79)
第四节 临界性质、压缩因子及偏心因子	(86)
第五节 热性质	(96)
第六节 其他物理性质	(107)
参考文献	(112)
第四章 石油产品的质量要求	(114)
第一节 汽油	(114)
第二节 柴油	(126)
第三节 喷气燃料(航空煤油)	(134)
第四节 燃料油	(141)
第五节 润滑油	(143)
第六节 石油沥青	(158)
第七节 石油蜡	(162)
第八节 石油焦	(165)
参考文献	(167)
第五章 原油评价	(168)
第一节 原油评价方法概述	(168)
第二节 原油的分类方法	(173)
第三节 渣油的评价	(175)
第四节 原油加工方案的确定	(181)
参考文献	(184)
第六章 炼油厂的构成和工艺流程	(185)
第一节 炼油厂的构成	(185)
第二节 炼油装置工艺流程	(186)

第三节	炼油过程的结构分析	(188)
参考文献		(190)
第七章	石油蒸馏过程	(191)
第一节	石油及其馏分的气—液平衡	(194)
第二节	原油精馏塔	(232)
第三节	原油精馏塔工艺计算	(254)
第四节	减压蒸馏塔	(265)
第五节	原油蒸馏装置工艺流程	(278)
第六节	裂化产物分馏塔	(290)
参考文献		(295)
第八章	热加工过程	(297)
第一节	石油烃类的热反应	(297)
第二节	焦炭化过程	(302)
第三节	减粘裂化	(311)
第四节	其他渣油热转化过程	(315)
参考文献		(316)
第九章	催化裂化	(317)
第一节	概述	(317)
第二节	石油烃类的催化裂化反应	(322)
第三节	催化裂化催化剂	(338)
第四节	裂化催化剂的失活与再生	(345)
第五节	流态化基本原理	(354)
第六节	反应—再生系统	(365)
第七节	反应—再生系统工艺计算	(374)
参考文献		(387)
第十章	催化加氢	(389)
第一节	加氢过程的化学反应及动力学	(389)
第二节	加氢过程的催化剂	(409)
第三节	加氢过程的影响因素、工艺流程及操作条件	(416)
第四节	渣油加氢转化	(431)
第五节	加氢过程的工艺计算	(442)
第六节	加氢反应器及其他高压设备	(457)
参考文献		(468)
第十一章	催化重整	(469)
第一节	概述	(469)
第二节	催化重整的化学反应	(473)
第三节	重整催化剂	(486)
第四节	重整反应器	(496)
第五节	重整反应器的工艺计算	(504)
参考文献		(520)

第十二章 高辛烷值组分的合成	(521)
第一节 叠合过程.....	(521)
第二节 烷基化过程.....	(526)
第三节 异构化过程.....	(532)
第四节 高辛烷值醚类的合成.....	(536)
参考文献.....	(539)
第十三章 溶剂萃取过程	(540)
第一节 溶剂萃取基本原理.....	(540)
第二节 芳烃抽提.....	(545)
第三节 渣油溶剂脱沥青过程.....	(557)
第四节 润滑油溶剂精制.....	(569)
第五节 润滑油溶剂脱蜡.....	(580)
参考文献.....	(591)
第十四章 石油产品精制	(592)
第一节 酸碱精制.....	(594)
第二节 轻质油品脱硫醇.....	(598)
第三节 炼厂气脱硫.....	(600)
第四节 白土精制.....	(603)
第五节 油品调合.....	(605)
第六节 润滑油和燃料添加剂.....	(608)
参考文献.....	(617)
第十五章 炼油厂的能量利用	(618)
第一节 概述.....	(618)
第二节 用能过程分析的基本原理.....	(619)
第三节 炼油过程的有效能分析.....	(623)
第四节 炼油装置和炼厂用能分析.....	(630)
第五节 炼油厂节能途径.....	(636)
参考文献.....	(642)
第十六章 炼油过程的模拟、优化和先进控制	(643)
第一节 炼油过程的数学模拟.....	(643)
第二节 炼油过程的优化.....	(651)
第三节 炼油过程先进控制.....	(655)
参考文献.....	(661)
第十七章 炼厂气化工综合利用	(662)
第一节 炼油厂干气的利用.....	(662)
第二节 炼油厂丙烯的化工利用.....	(667)
第三节 炼油厂丁烯的化工利用.....	(671)
参考文献.....	(673)
第十八章 炼油厂污染的防治	(674)
第一节 废水处理.....	(674)

第二节	废气处理	(681)
第三节	噪声控制	(683)
	参考文献	(684)
第十九章	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	(692)
	参考文献	(697)

第一章 绪 论

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最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 40% 依赖于石油产品，汽车、飞机、轮船等交通运输器械使用的燃料几乎全部是石油产品，有机化工原料主要也是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 2000 年（预测）各类能源在世界总能源需求中的比例（按能量计算）。

表 1-1 世界能源需求比例

%

能 源	1995 年	2000 年（预测）
石油	40.13	40.04
天然气	22.94	23.23
煤	27.10	26.89
核能	7.26	7.08
水力及其他	2.57	2.76
合计	100.00	100.00

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，大体上可以分为以下几类：

- ①燃料：如各种牌号的汽油、航空煤油、柴油、重质燃料油等。
- ②润滑油：如各种牌号的内燃机油、机械油等。
- ③有机化工原料：如生产乙烯的裂解原料、各种芳烃和烯烃等。
- ④工艺用油：如变压器油、电缆油、液压油等。
- ⑤沥青：如各种牌号的铺路沥青、建筑沥青、防腐沥青、特殊用途沥青等。
- ⑥蜡：如各种食用、药用、化妆品用、包装用的石蜡和地蜡。
- ⑦石油焦炭：如电极用焦、冶炼用焦、燃料焦等。

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

石油炼制工业的建立大约可追溯到 19 世纪末。1823 年，俄国杜比宁兄弟建立了第一座釜式蒸馏炼油厂，1860 年，美国 B. Siliman 建立了原油分馏装置，这些可以看做是炼油工业

的雏型。20世纪初，内燃机的发明和汽车工业的发展，尤其是第一次世界大战对汽油的需求推动了炼油工业的迅速发展。20世纪中叶，炼油工业就已发展成为一个技术先进、规模宏大的产业。中国的炼油工业起步较迟，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炼油厂。1958年，建立了我国第一座现代化的处理量为 $100 \times 10^4 \text{t/a}$ 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四位，炼油技术水平也已进入世界先进行列。

表1-2列出了世界主要炼油大国的炼油工业规模（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。由表可见，炼油工业是一个规模很大的产业。

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	原油蒸馏能力 10^6t/a	储量 10^8t/a	产量 10^6t/a
美国	795	30.3	320
俄罗斯	615	66.8	295
日本	248	0.08	0.05
中国	148	33	160
中东地区	252	899	988
加拿大	92	6.6	94
英国	91	6.9	131
法国	93	0.2	1.8
德国	109	0.6	2.7
委内瑞拉	59	98	159
挪威	15	14	158
全世界	3915	1402	3247

注：据O.G.J, Dec.29, 1997。表中数字是按原油密度为 0.865g/mL (32°API) 换算而得，即 1 bbl/cd 约相当于 50t/a 。储量按 $7 \text{ bbl} = 1 \text{t}$ 换算。

炼油技术的发展大体上经历了以下几个发展阶段。最早的炼油工业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30年代末、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也得到了广泛的应用。进入 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，但是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。

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的性质、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进步对促进炼油技术发展也起了重要的作用。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 $>500^{\circ}\text{C}$ 的减压渣油达 40%~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。据估计，仅为满足此项要求，美国的炼厂即须再增投资 360 亿美元以上。其他发达国家也有类似的情况。从世界范围来看，环境保护将会对炼油技术提出越来越多的要求。

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计算机技术的应用对提高炼油技术水平的作用日益重要。

三、“石油炼制工程”课程的学习

1. 石油炼制工程课的特点

炼油工业属于广义的化学工业的范畴。从所属学科来看，炼油工程是化学工程的一个分支，或者说，炼油工程本质上是化学工程在炼油技术中的应用。它的主要的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，炼油工程有以下两个重要特点：

①炼油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。在处理其物理和化学性质时都要考虑到复杂混合物的特点。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，由此所得的基本原理虽也适用于石油和石油产品，但是在对具体问题的处理时，常常必须不同程度地依据经验、有条件地进行适当的简化处理。

②炼油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炼油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。

2. 石油炼制工程课的学习方法

根据上述的石油炼制工程课程的内容和特点，对于如何学习本门课程可以提出以下建议：

①十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。从本课程的特点来看，此项原则显得尤为重要。在这里，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考虑问题。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课程有很大的益处。

②努力提高自己的综合分析问题的能力。加强学习和丰富基础理论和基础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的基本理论知识外，还须注意学习有关能量利用、系统优化、环境科学、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、全面的分析以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 石油的一般性状、元素组成、馏分组成

一、石油的一般性状

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。世界各地所产的石油在性质上都有不同程度的差异。

表 2-1 为我国主要原油的一般性质，表 2-2 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

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 2-3 所列国内外几种重质原油的一般性质，这类原油的相对密度一般大于

● 据中华人民共和国国家标准 GB 3102.8—93《物理化学和分子物理学的量和单位》之规定，B 的质量分数的定义为：“B 的质量与混合物的质量之比。”本书均采用这一定义。

0.93, 而且粘度较高。

表 2-2 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)
密度 (20℃) g/cm ³	0.8578	0.8680	0.8716	0.8531	0.8650	0.8239	0.8559	0.8456
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
凝点,℃	-24	-7	-25	-11	-20	-7	-15 (倾点)	34 (倾点)
蜡含量 (质量分数), %	3.36	3.10	4.24	—	2.73	5.16	—	—
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
硫含量 (质量分数), %	1.91	2.42	2.55	1.40	2.30	0.86	1.95	0.10
氮含量 (质量分数), %	0.09	0.12	0.09	0.12	0.14	—	0.10	0.10

表 2-3 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
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 的轻质石油, 该类石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 2-4 为我国及国外几种轻质原油的一般性质。

表 2-4 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 井)	也门 (麦瑞波)	印尼 (巴达)	印尼 (波唐米克斯)
密度 (20℃) g/cm ³	0.804 2	0.786 4	0.763 2	0.771 9	0.798 6	0.784 5	0.790 7
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、氢含量和氢碳比









表 2-5 为国内外一些原油的碳、氢元素质量分数和氢碳比。表 2-5 数据表明,在组成原油的五种主要元素中,碳、氢这两种元素一般占 95% 以上,而硫、氮、氧等杂原子总含量不到 5%。由于不同原油中这些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。然而,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,如表 2-5 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。从表 2-6 数据可以看出,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。表中数据也表明,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。上述数据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。

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部分,整个加工过程氢碳原子比将保持守恒。

表 2-5 原油中的碳、氢元素质量分数和氢碳比

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
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

表 2-6 氢碳原子比与烃类结构的关系

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

2. 硫、氮、氧的含量

在石油元素组成中除了碳、氢外，还有硫、氮、氧以及一些微量元素。在原油中氧含量不仅较少，而且一般不直接测定，常用减差法估算原油中的含氧量，因此数据不准，所以在常规原油评价数据中氧含量不予列出。石油中非碳氢元素也称杂原子，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 2-7 为我国及国外部分原油中硫、氮元素的含量。表 2-7 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% 外 (质量分数)，大多数原油含硫量低于 1% (质量分数)。表 2-7 数据还表明，与国外原油的含氮量相比，我国原油的含氮量偏高，一般在千分之三以上，例如井楼及高升原油含氮量高达千分之七以上，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 2-7 原油中的硫、氮元素含量

我国原油			国外部分原油		
原油名称	S (质量分数), %	N (质量分数), %	原油名称	S (质量分数), %	N (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
二连	0.16	0.44			
江汉	2.09	0.47			

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大得多。这些非碳氢元素的存在对于石油的性质和石油加工过程有很大的影响,必须充分予以重视。

除了碳、氢、硫、氮、氧外,原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

原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,无论是对原油进行研究或进行加工利用,都必须对原油进行分馏。分馏就是按照组分沸点的差别将原油“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,馏分并不就是石油产品,石油产品要满足油品规格的要求,还需将馏分进行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、灯用煤油以及轻柴油的馏分范围间有一段重叠。为了统一称呼,一般把原油中从常压蒸馏开始馏出的温度(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),常压蒸馏 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,在减压下蒸出馏分的沸点再换算成常压沸点。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);同时人们也将常压蒸馏后 > 350℃ 的油称为常压渣油或常压重油(简称 AR)。所以常压渣油实际上也包含了减压渣油这部分。表 2-8 是国内外部分原油的馏分组成。