

石油化工技工学校统编教材

炼油工艺基础

吕逸华 编

中国石化出版社



号840字登祥(京)

要 容 内

石油化工技工学校统编教材

炼油工艺基础

吕逸华 编

(020)

187x1093毫米 32开本 13.1(厘米) 1.5(厘米) 1.5(厘米)

1982年11月第1版 1982年11月第1次印刷

中国石化出版社

ISBN 7-80011-001-0 1.50元

(京)新登字048号

内 容 提 要

本书为中国石油化工总公司技工学校非炼油专业的专业基础课教材。书中系统地讲述了石油及石油产品、燃料油和润滑油生产的原理及过程、炼油生产设备等方面的基础知识。全书共分五章，包括：石油的组成及物理性质；石油产品的分类及应用；流体力学；炼油单元过程及设备；炼油工艺装置。

本书适用于石油化工技工学校的油品分析、油品储运、炼厂仪表、炼厂机械等专业，也可作为上述工种的工人培训教材。

石油化工技工学校统编教材

炼油工艺基础

吕逸华 编

中国石化出版社出版发行

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码：100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

787×1092毫米 32开本 12¹/₄印张 240千字 印1—2500

1995年5月北京第1版 1995年5月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-553-9/TE·067 定价：6.00元

绪 论

石油是一种宝贵的地下矿藏，它在地壳下已经埋藏了几千至几百万年。从地下开采出来的天然石油也称原油。它是一种粘稠状的褐色液体。

地下石油的储量很丰富，全世界已探明的可开采储量约为1368亿吨。发现油田约两万多个，其中以中东尤为突出，约占世界已探明可开采储量的64.2%，石油产量也占世界总产量的一半以上。我国石油蕴藏量也很丰富，估计石油储量约为200~600亿吨，目前已探明储量仅约80亿吨。

石油埋藏在地下三、四千米深处，要经过勘探、钻井、采油、储运四个生产过程，才能将石油送往各加工厂。再经过多种工艺过程的加工，方可得到各种石油及化工产品。

一、石油化学工业在国民经济中的作用

我国石油化工从20世纪60年代才开始发展，当前正处于方兴未艾的“朝阳”时期。它对促进全国的工农业生产，增加财政收入，加快技术进步，提高人民生活水平都起着重要的作用，已经成为国民经济的支柱产业之一。它在国民经济中的作用有以下几个方面：

(一) 石油化学工业是国民经济的基础工业之一

从石油中生产出来的石油化工产品有上千种。这些产品既是国家主要的能源，又是化学工业的原材料，它直接关系到整个国民经济的发展。

石油炼制是能源工业，其产品是汽油、喷气燃料、柴油等

燃料油品，约占石油产品总量的82%。这些产品是汽车、飞机、轮船、军舰、坦克、内燃机车和各种农用机械不可缺少的动力燃料。就连导弹、火箭燃料也离不开石油产品。所以人们常把石油产品称为工业的血液。没有它，国防与国民经济各部门，都将陷于停顿状态。

从石油中炼制出的各种润滑油是工业上各种机械设备不可缺少的润滑材料，没有润滑油各种机械也将陷于瘫痪。

石油化工产品是有机合成、化肥、农药等工业不可缺少的原料和材料。石油化工产品的种类繁多，用途广泛，已全面进入国防、科研、工农业生产和日常生活各个领域。各种合成塑料、合成橡胶、合成纤维等都是以石油为基本原料而生产出来的。

(二) 石油化学工业是国家积累资金的重要源泉

石油化学工业是产值、利税较高的部门，一吨原油加工成石油产品的产值约为原油产值的1.5倍；进一步加工成石油化工产品，产值又可增加1倍；再加工成轻纺消费品，产值又可增加4~5倍。从原油到轻纺消费品，经济效益可提高20~30倍。所以，大力发展石油化学工业，是石油综合利用的合理方向，其前景蔚然可观。

(三) 石油化学工业推动了科学技术的发展

目前我国石油化工行业是国内各工业部门中技术装备比较先进的行业。70年代以来从国外引进的大型成套设备、单机设备和技术专利，如加氢裂化、烷基化、连续重整、30万吨乙烯等在工艺设计、自动化及电子计算机应用等方面都有较高的技术水平。通过对引进技术的消化和吸收，提高了石油化工技术水平，也带动了冶金材料、机械制造、电子计算机、研究设计和基建施工等各个领域的技术进步。

(四) 石油化学工业和人民生活息息相关

石油化学工业为人们的衣、食、住、行提供了品种繁多的日用必需品。如合成纤维有尼龙、涤纶、维纶、人造羊毛等，而各种合成纤维织成的衣料服装更是琳琅满目；大量化肥、农药、农用塑料薄膜、合成饲料（石油蛋白）等，保证了农作物的生长和增产，为人民生活提供了必需的食品；各种合成树脂和塑料有可塑性好、成型简便、重量轻、不生锈和耐腐蚀等优点，逐渐代替钢材、木材，成为建房、家具、室内装饰和日常生活用品的良好材料；各种燃料油品则是现代化交通的必要能源。所以石油化工产品已经渗透到人们生活的各个领域。

二、我国石油化学工业的发展概况

我国在解放前被认为是贫油国家，石油资源的开发和炼油工业都十分落后。1949年底全国原油产量仅有12万吨，原油加工能力不足17万吨，石油产品总量约3.5万吨，品种仅有12种，当时我国石油产品基本依靠进口。

新中国成立以后，在党和政府的重视和关怀下，石油资源不断开发，原油产量逐步增长。到1959年全国原油产量达到2.76Mt。相应炼油工业也得到恢复和发展，1958年在兰州建成第一座现代化炼油厂，使原油加工能力达到5.79Mt。

1960年大庆油田的开发是中国石油发展史上一次伟大的转折，从此原油产量急剧增长，到1965年原油产量达到11.31Mt。炼油工业也依靠自己的力量，冲破国外技术封锁，取得了巨大进展。炼油技术水平提高较快，先后开发应用和推广了流化催化裂化、铂重整、延迟焦化、尿素脱蜡和有关催化剂、添加剂等工艺技术，改变了炼油工业落后的面貌，缩短了与世界先进炼油技术的差距。到1963年实现了石

油产品基本自给，结束了我国石油产品依靠进口的历史。

此后，随着大庆油田的持续高产，胜利、大港、辽河、任丘等新油田相继投入生产，到1978年全国原油产量已突破一亿吨，进入世界产油国前列。炼油工业也得到迅速发展，在炼油技术方面，开发应用了提升管催化裂化、多金属重整、柴油和润滑油加氢、分子筛脱蜡等新工艺和设备，使我国形成了具有一定规模和技术水平的现代化炼油工业体系。

在原油产量和原油加工能力逐渐增长的情况下，集中力量以提高质量、增加品种、革新工艺、节约能源、搞好环保为重点，全面提高炼油技术水平，增强产品在国际市场上的竞争能力。几年来在重油催化裂化、加氢裂化、连续重整、炼厂气综合利用等方面，引进、消化、吸收国外先进技术。在提高我国原油加工深度，提高产品质量，提高经济效益等方面取得很大成绩。

70~80年代又建设了北京、齐鲁、大庆、辽阳、金山、扬子等大型石油化工厂。先后引进了大型乙烯、合成氨、合成纤维、尿素等装置。这些石油化工厂的投产使标志着石油化工发展水平的乙烯产量不断增长，到1992年达到2.0Mt（1972年仅为44kt）。相应合成氨、合成纤维、合成橡胶、合成树脂和塑料等产品大幅度增长，改变了我国石油化工落后的面貌。

我国石油化学工业经过40多年的艰苦创业，已发生了天翻地复地变化。到1992年我国年产原油已达到142Mt。全国有大中型炼油厂和石油化工厂45座，原油总加工能力达到153Mt。形成了具有一定规模和技术水平的现代化石油化工体系。

要 容 内

前 言

本书是根据1989年中国石油化工总公司审订的技工学校《炼油工艺基础》教学大纲编写的。

《炼油工艺基础》为石油化工技校油品分析、油品储运、炼厂仪表、炼厂机械等专业的专业基础课。为了使教材内容能兼顾不同类型炼厂和不同专业的特点和要求，书中涉及的知识面较广，按126学时编写。各校、各专业可按需要选讲有关章节。

本书在编写过程中，除尽力保持各章节内容的科学性和系统性外，还考虑到各章节间的有机联系和选讲方便。取材力求简单扼要，并结合炼油工业的现状。

本书由金陵石化公司炼油厂技工学校吕逸华编写。初稿于1990年3月经中国石油化工总公司审订后试用。在试用的基础上经再次修改而定稿。参加审订的有高桥石化公司炼油厂技校陆士庆、济南化工经济学校陈岩、大连石化公司炼油厂技校张俊清、抚顺石油二厂技校李春阳等同志。在初稿修改过程中曾得到本校蒋国瑞、丁绍宁、张明喜等老师的大力协助。在试用中抚顺、石家庄炼油厂技校等也提出了不少宝贵意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中尚存在不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

目 录

绪论	三
第一章 石油的组成及其物理性质	一
第一节 石油的性状及组成	1
一、石油的一般性状	1
二、石油的元素组成	1
三、石油的烃类组成	3
四、石油中的非烃类组成	7
五、渣油	13
第二节 石油及油品的物理性质	15
一、蒸气压	15
二、馏程及平均沸点	18
三、密度	22
四、特性因数	27
五、平均分子量	28
六、粘度	29
七、低温流动性能	35
八、燃烧性能	42
九、热性质	46
十、其他物理性质	47
习题	51
第二章 石油产品的分类及应用	一
第一节 石油产品的分类	54
一、燃料油	54
二、润滑油和润滑脂	55

三、蜡、沥青和石油焦	55
四、石油化工产品	56
第二节 石油燃料的使用要求及规格	56
一、汽油	56
二、喷气燃料	67
三、柴油	74
第三节 润滑油的使用要求及规格	82
一、内燃机润滑油	82
二、全损耗系统用油	85
三、齿轮油	89
四、电器绝缘油	89
五、其他专用润滑油	90
习题	91
第三章 流体力学	
第一节 流体静力学	94
一、压强	94
二、流体静力学基本方程	98
三、流体静力学方程的应用	101
第二节 流体动力学	108
一、流量与流速	108
二、稳定流动下的物料平衡——连续性方程	112
三、稳定流动下的能量平衡——柏努利方程	115
第三节 流体在管路中的流动阻力	127
一、流体阻力的表现形式——压强降	127
二、流体的流动类型与雷诺准数	128
三、流体流动阻力计算	132
第四节 流量测量	139
一、孔板流量计	139
二、文氏管流量计	144
三、转子流量计	145

习题	147
第四章 炼油单元过程及设备	
第一节 流体输送设备	151
一、泵	152
二、鼓风机和压缩机	163
第二节 换热器	166
一、传热的基本方式	166
二、常用换热器的类型和结构	171
三、换热器的传热计算	178
第三节 管式加热炉	183
一、加热炉的炉型及比较	183
二、加热炉的结构	185
三、燃料的燃烧	188
四、辐射传热	190
五、加热炉的传热计算	192
六、加热炉的自动控制	195
第四节 蒸馏塔	196
一、蒸馏的基本知识	197
二、精馏原理	201
三、回流的作用和方式	203
四、精馏塔的工艺特点及结构	206
五、原油蒸馏塔的工艺特点	207
六、分馏精确度	209
七、精馏塔的结构和塔板类型	209
八、蒸馏塔的工艺计算	215
习题	218
第五章 炼油工艺装置	
第一节 原油的加工方案	221
一、燃料型流程	222
二、燃料-润滑油型流程	222

三、化工型流程	222
第二节 原油蒸馏	226
一、原油的预处理	226
二、蒸馏气化段数的选择	227
三、原油蒸馏的工艺流程	230
四、原油蒸馏的操作参数分析	234
五、蒸馏设备的腐蚀与防腐	235
第三节 延迟焦化	237
一、概述	238
二、焦化的化学反应	238
三、延迟焦化的工艺流程	240
四、延迟焦化的主要设备	245
第四节 催化裂化	249
一、概述	249
二、催化裂化的化学反应	251
三、催化裂化的催化剂	254
四、流态化原理	259
五、催化裂化的工艺流程	261
六、催化裂化的主要设备	268
第五节 加氢裂化	275
一、概述	275
二、加氢裂化的化学反应	278
三、加氢裂化的催化剂	278
四、加氢裂化的工艺流程	280
五、加氢裂化反应器	286
第六节 催化重整	290
一、概述	290
二、催化重整的化学反应	291
三、催化重整的催化剂	294
四、重整的原料及预处理	297

五、催化重整工艺流程	299
六、芳烃抽提	306
七、芳烃精馏	311
第七节 炼厂气精制与分馏	314
一、炼厂气及其利用	314
二、炼厂气的精制	315
三、炼厂气分馏	319
第八节 烷基化	321
一、概述	321
二、烷基化的化学反应	322
三、烷基化的原料	323
四、烷基化的工艺流程	324
五、烷基化的主要设备	329
六、氢氟酸的腐蚀与毒性	332
第九节 甲基叔丁基醚	335
一、概述	335
二、MTBE的合成反应	335
三、MTBE的催化剂	336
四、MTBE的工艺流程	337
五、MTBE的主要设备	339
第十节 加氢精制	340
一、概述	340
二、加氢精制的化学反应	341
三、加氢精制的催化剂	342
四、加氢精制的工艺流程	344
第十一节 润滑油生产过程	345
一、概述	345
二、润滑油生产过程	345
第十二节 渣油丙烷脱沥青	346
一、概述	346

二、丙烷脱沥青的原理及影响因素	348
三、丙烷脱沥青的工艺流程	350
第十三节 润滑油溶剂精制	354
一、概述	354
二、溶剂精制的原理及影响因素	354
三、溶剂精制的工艺流程	357
第十四节 润滑油溶剂脱蜡	364
一、概述	364
二、溶剂脱蜡的原理及影响因素	366
三、溶剂脱蜡的工艺流程	369
习题	374

第一章 石油的组成及其物理性质

第一节 石油的性状及组成

一、石油的一般性状

从油田开采出来的石油，其外观性状因产地不同而有所不同。一般来说，石油是褐色到黑色的流动或半流动粘稠状液体（少数为浅黄色半透明液体）。密度通常小于 1g/cm^3 ，大多数石油密度在 $0.8\sim 0.98\text{g/cm}^3$ 之间。石油具有特殊的气味，其流动性能随温度降低而变差，有的在常温下就失去流动性。

石油外观性质上的差异是其化学组成不同的一种反映。石油的颜色与石油中的胶质和沥青质含量有关。含量多颜色深，含量少颜色浅。含胶质和沥青质多的石油，密度和粘度也较大。我国胜利原油密度和粘度较大，流动性差。

石油中的含蜡量也影响其流动性能，含蜡量越多，凝点就越高，石油就越易失去流动性。我国大庆原油含蜡量较高， 24°C 以下就会凝成半固体状。

石油的特殊气味与其中的含硫量有关。我国大庆原油含硫量较低，气味不大，而孤岛原油含硫量很高，有刺激性臭味。

二、石油的元素组成

从化学组成上来说，石油是有机化合物的复杂混合物。

因此要了解石油的组成，首先要从元素组成入手。

石油主要由碳(C)和氢(H)两种元素组成，这两种元素约占其重量的95~99%，其中碳占83~87%，氢占11~14%。碳和氢两种元素生成的化合物称为碳氢化合物，简称为烃。而烃类是石油加工利用的主要对象。

石油中除含有碳、氢元素外，还含有少量的氧(O)、硫(S)、氮(N)元素，其总含量一般仅占1~5%，但是它们与碳、氢元素形成的化合物含量常高达10~20%。石油中碳、氢元素与氧、硫、氮元素所形成的化合物称非烃类化合物。非烃类化合物，特别是硫化物对石油加工过程和石油产品质量会带来不良影响，在石油加工过程中要尽量除去。我国大部分原油中含硫量较低，含氮量偏高，详见表1-1。

表 1-1 某些石油的元素组成

石油产地	C,%(重)	H,%(重)	S,%(重)	N,%(重)	O,%(重)
大庆混合原油	85.74	13.31	0.11	0.15	
大港混合原油	85.67	13.40	0.12	0.23	
胜利	86.26	12.20	0.80	0.41	
鲁宁管输原油	86.27	12.19	0.69	0.36	0.49
克拉玛依	86.1	13.3	0.04	0.25	0.28
孤岛原油	84.24	11.74	2.20	0.47	
苏联杜依玛滋	83.9	12.3	2.67	0.33	0.74
墨西哥	84.2	11.4	3.6		0.80
美国宾夕法尼亚	84.9	13.7	0.5		0.90
伊朗	85.4	12.8	1.06		0.74

此外，石油中还含有约40余种微量元素，包括非金属(如Cl、As等)、碱金属和碱土金属(如K、Na、Ca、Mg、Ba等)、重金属(如V、Ni、Fe、Cu、Pb等)三大类。其含量极少，一般只占0.02~0.03%，但是，它们对石油加工过

程影响很大。K、Na、Ca、Mg、Cl等存在于原油乳化水相中，在原油蒸馏前要脱除；重金属及As存在于渣油中，对催化加工的催化剂危害很大，必须尽可能脱除。我国原油中以Ni元素含量最高，其次为Fe元素。大庆原油中含As量很高。

三、石油的烃类组成

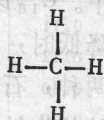
石油是由烃类和非烃类化合物组成，而烃类化合物是其中主要组成部分。石油中烃类化合物种类很多，各种烃类在石油中的含量对石油及其产品的性质影响较大。

石油中所含烃类按其结构不同可分为烷烃、环烷烃、芳香烃三大类。天然石油中一般不含有烯烃，但在石油深度加工的产物中含有数量不等的烯烃。

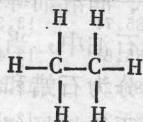
(一) 烷烃

烷烃的结构是分子中各碳原子间以单键连接成链状，每个碳原子中剩余的键（也称为化合价）与氢原子相连接。由于碳原子上的键被氢原子占满，所以烷烃又称为饱和烃。

如：



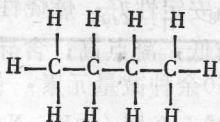
甲烷



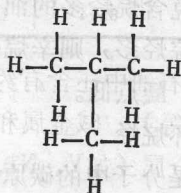
乙烷

烷烃分子中碳原子可以连成直链，也可以在直链上带有支链，通常把直链烷烃称为正构烷烃，把带支链的烷烃称为异构烷烃。

如：



正丁烷



异丁烷