

(美) J. H. 加里 G. E. 汉德韦克 著

石油炼制技术与经济

(第二版)

中国石化出版社

石油大学(北京)

52165



TE 62

011

石油炼制技术与经济

(第二版)

J. H. 加里
〔美〕 著
G. E. 汉德韦克

王加玮 胡德铭 译

沙展世 校



52165



中国石化出版社

(京)新登字048号

内 容 提 要

本书系统叙述了炼油工业的技术和经济问题。书中详细介绍了主要炼油过程以及石油和石油产品的物理、化学性质。对主要炼油装置和辅助加工装置如制氢、硫磺回收等提供了为确定产品产率、投资和操作费用所需的数据和计算方法,还介绍了对一个项目的技术经济评价方法。这对开展一个项目的初步可行性研究工作有很大帮助。

本书采用了案例研究法,即举具体实例来说明问题,并在每章的末尾提出问题供读者思考和演算,目的是帮助读者易于理解书中所介绍的内容和掌握计算方法和经济评价方法。

为了方便计算,除了在每章中收集了很多有关的数据和图表外,还在附录中补充了一些有用的数据。

本书可供从事炼油工业的工程技术人员和管理干部使用,亦可作为石油炼制专业的师生参考。

PETROLEUM REFINING
Technology and Economics
Second Edition

James H. Gary - Glenn E. Handwerk
Marcel Dekker, Inc., 1984

石油炼制技术与经济
(第二版)

〔美〕J.H.加里 G.E.汉德韦克 著
王加鼎 胡德铭 译
沙展世 校

中国石化出版社出版
(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)
海丰印刷厂排版
海丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 14印张 1插图 344千字 印1—1520
1991年9月北京第1版 1991年9月北京第1次印刷
ISBN 7-80043-163-0/TE·020 定价:6.65元

序

石油炼制工业自1950年以来有很大的发展和变化,突出表现在加工装置的大型化、新的催化加工工艺的出现、产品结构的变化以及新的原油资源(油砂和油页岩)的开发等方面,使今天炼油工业的技术和经济成为一门相当复杂的科学。

美国的杂志和文献资料对这些变化虽有较详细的记载,但都不很系统,不便于参考。为此,本书对当前的炼油工业在技术和经济的基本方面作了系统的叙述,以供炼厂经理、工程师、大学教师、大学化工毕业生或高年级学生们参考。

本书在叙述主要炼油工艺过程的同时,对石油和石油产品的物理、化学性质也作了介绍,对所有主要炼油装置包括辅助加工装置如制氢、硫磺回收等的产品产率、投资和操作费用所需的数据也作了汇集。但对炼油操作中涉及的生态问题只作了一般的名词解释。

本书所搜集的有关投资、操作费用和公用工程消耗等数据均为1982年的典型数据。对催化反应数据尽可能地做到能代表先进的工艺过程和专用催化剂所能达到的平均产率。这些数据均适用于各种炼油装置和辅助装置的经济评价,也是炼厂经理、工程师们作初步可行性研究时的一种方便的参考工具。当然,用这些数据作为某两个具体装置进行详细经济比较的依据还是不够准确的。所举计算例题只是为了帮助理解。

全书内容的安排是以方便用案例研究法讲课为原则。附录中提供的一些数据可供进行计算产率、公用工程消耗、操作费用和产品性质等之用。

石油化工生产以及比较陈旧的工艺如热裂化等特殊的加工装置,限于篇幅均予省略。

附录包括基本工程数据、催化剂费用、美国矿务局的一些原油常规分析、经济评价问题例解等内容。在本书各章后还注有各种有价值的参考文献。

J.H.加里

G.E.汉德韦克

目 录

序	和公用工程消耗	42
第一章 引言	十一、减粘	42
一、炼厂总流程	第六章 催化重整和异构化	46
第二章 炼油厂产品	一、原料预处理	46
一、低沸点产品	二、催化重整工艺	46
二、汽油	三、重整催化剂	48
三、汽油规格	四、反应器的设计	48
四、馏分燃料油	五、产率和费用	49
五、喷气燃料	六、异构化	50
六、车用柴油	七、投资和操作费用	52
七、机车柴油	八、异构化产率	53
八、炉用油	九、案例和问题：石脑油加氢处理和催化重整	53
九、残渣燃料油	第七章 催化裂化	56
第三章 炼厂原料	一、流化床催化裂化	57
一、原油性质	二、流化催化裂化装置的新设计	58
二、原油的组成	三、裂化反应	61
三、适合制造沥青的原油	四、烷烃裂化	62
四、原油蒸馏曲线	五、烯烃裂化	62
第四章 原油蒸馏	六、环烷烃裂化	62
一、原油脱盐	七、芳烃裂化	62
二、常压蒸馏装置	八、裂化催化剂	62
三、减压蒸馏	九、工艺参数	63
四、辅助设备	十、热回收	65
五、原油蒸馏装置的产品	十一、估算产率	65
六、案例和问题：原油蒸馏装置	十二、投资和操作费用	68
七、问题的叙述	十三、案例和问题：催化裂化装置	68
八、一般程序	第八章 加氢处理	73
第五章 焦化和热加工过程	一、加氢处理催化剂	73
一、工艺说明——延迟焦化	二、反应	74
二、除焦——延迟焦化	三、工艺参数	75
三、石油焦的性质和用途	四、投资和操作费用	75
四、延迟焦化操作	第九章 催化加氢裂化和重油加氢	78
五、延迟焦化产率	一、加氢裂化反应	78
六、案例和问题：延迟焦化	二、原料预处理	80
七、工艺说明——灵活焦化	三、加氢裂化工艺	80
八、工艺说明——流化焦化	四、加氢裂化催化剂	82
九、灵活焦化和流化焦化的产率		
十、灵活焦化和流化焦化的投资费用		

五、移动床加氢裂化工艺	82	第十三章 润滑油	141
六、工艺参数	83	一、润滑油加工过程	142
七、加氢裂化产率	84	二、丙烷脱沥青	142
八、投资和操作费用	87	三、溶剂抽提	144
九、重油加氢	89	四、脱蜡	146
十、案例和问题：加氢裂化装置	90	五、加氢补充精制	148
第十章 烷基化和叠合	93	第十四章 石油化工原料	149
一、烷基化反应	93	一、芳烃生产	149
二、工艺参数	94	二、不饱和烃类生产	153
三、烷基化过程的进料	95	三、饱和烷烃	154
四、烷基化产品	95	第十五章 投资估算	156
五、催化剂	96	一、经验估算法	156
六、氢氟酸烷基化过程	97	二、投资-曲线估算法	156
七、硫酸法烷基化过程	99	三、主要设备因数估算法	156
八、过程比较	100	四、详细估算法	157
九、烷基化的产率和费用	102	五、投资估算法的汇总形式	157
十、叠合	103	六、储运设施	157
十一、案例和问题：烷基化	105	七、占地和储存要求	157
第十一章 产品调合	108	八、蒸汽系统	158
一、雷德蒸汽压	108	九、冷却水系统	158
二、辛烷值的调合	112	十、其他公用工程系统	158
三、其他性质的调合	113	十一、投资估算技术的应用	160
四、案例和问题：汽油调合	117	十二、例题的说明	160
第十二章 辅助工艺过程	123	第十六章 经济评价	170
一、制氢	123	一、定义	170
二、气体加工装置	126	二、原始投资利润率	171
三、酸性气脱除	129	三、支付时间	171
四、硫回收过程	130	四、折现现金流量利润率	171
五、石油炼制过程中的生态考虑	134	五、案例和问题：经济评价	173
六、炼厂大气污染的控制	135	六、案例和问题：经济题解	174
七、炼厂噪音等级的控制	136	附录一 物理性质	179
八、案例和问题：气体回收装置，胺吸收装置和硫回收装置	136	附录二 催化剂费用	186
九、案例和问题：制氢装置	137	附录三 美国矿务局的一些原油常规分析	187
十、炼厂气加工装置	137	附录四 经济评价问题例解	201
十一、胺气体处理装置	138	附录五 炼油名词解释	204
十二、硫回收装置	138		

第一章 引言

现代化的炼油厂操作非常复杂。对一个不熟悉炼油工业的人来说，欲将其复杂性简化到易懂的程度，那是很难做到的。本书的目的是，将炼厂的加工方法尽可能地按原油在炼厂的加工顺序，来说明各加工装置的目的和彼此之间的关系。本书所采用的案例研究法是一种最好、最易懂的说明问题的方法。当你在按加工顺序研究其加工方法时，我们建议选取一种原油并计算其产率和费用，在第十五章中举了一个简单炼厂的例子。

图1-1示出一个完整的复杂的炼厂加工流程及其产品。所示加工设备是对加工一种中等比重和硫含量的原油而言。对比重大、含硫高的原油的加工还要增加加氢精制设备。

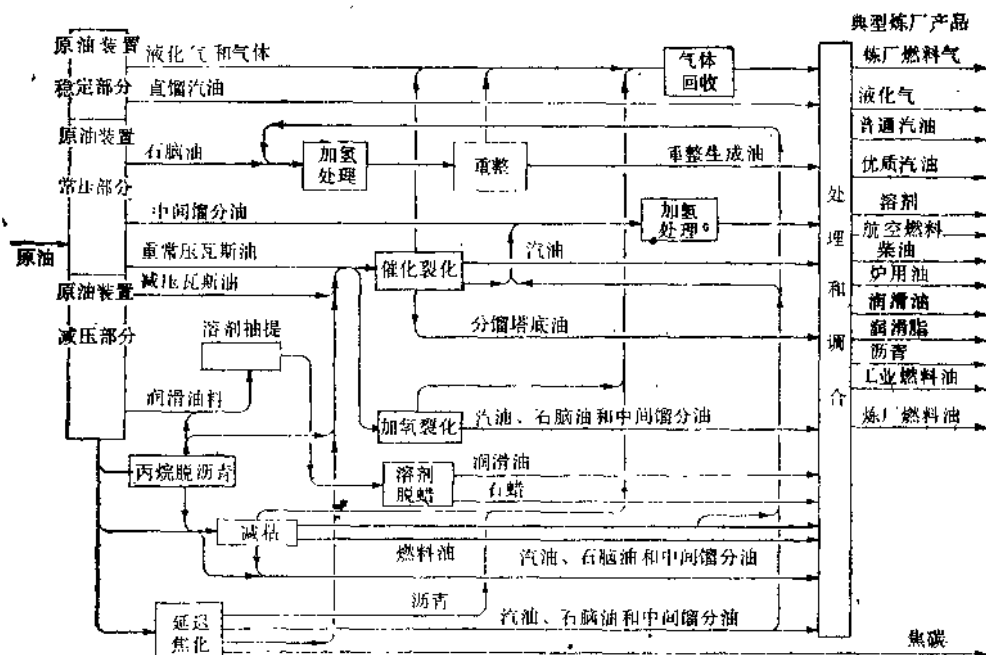


图 1-1 炼厂流程图

在美国，炼厂加工原油的质量在最近的将来有逐渐变坏的趋势，对重质燃料的需求也日趋减少。因此，要求炼厂不仅加工小于566℃的馏分，而且要加工它的全馏分。对焦炭、燃料油中含硫量的限制也同样影响渣油的加工方法。这些因素促使炼厂增加现代化设备。另外，商品市场对运输燃料中汽油和柴油需求量的改变也促使催化剂供应商和炼厂工程师们考虑开发解决上述问题的办法。

环境保护对燃料的制备和消耗的影响促使产品分布可能有显著的改变（即按占原油的百分数计，要少产汽油，多产馏分燃料）。这对炼厂的过程操作都有很大的影响，加重了炼厂建设在增加处理高硫、重质原油的能力方面的负担。

炼油工业所用术语对其他人可能是不熟悉的。为了便于入门，我们在介绍炼厂加工装置前，先叙述原料和产品的各种规格。

一、炼厂总流程

图1-1表示了一个现代化炼厂的加工顺序和主要的加工装置。

原油在加热炉中加热后进入一常压蒸馏塔，在那里分出丁烷和较轻的富气、未稳定的汽油、重石脑油、煤油、重瓦斯油和拔头原油。拔头原油送入减压塔，塔顶出减压瓦斯油，塔底出减压渣油。

减压塔底的减压渣油在延迟焦化装置中热裂解成富气、焦化汽油、瓦斯油和焦炭。

常压和减压装置出的瓦斯油和焦化瓦斯油一起作为催化裂化或加氢裂化装置的原料。这些装置将重分子裂解成汽油和馏分燃料馏程的油品，加氢裂化产品是饱和的。催化裂化的不饱产品和在催化重整或加氢精制装置中饱和并改质。

常压、焦化和裂化装置来的汽油送催化重整装置以提高辛烷值，产品可调入普通汽油和优质汽油中出售。

常压、焦化和裂化装置来的富气在气体回收部分分馏出燃料气、液化气、不 饱和 烃 类（丙烯、丁烯和戊烯）、正丁烷和异丁烷。燃料气作为炼厂的加热炉燃料，正丁烷可调入汽油或液化气中，不饱 和 烃 类和异丁烷可送至烷基化装置进行加工。

烷基化装置，用硫酸或氢氟酸作催化剂，使烯烃和异丁烷作用生成沸程在汽油范围内的异构烷烃。产品叫烷基化油，是优质汽油和航空汽油的高辛烷值调合组分。

常压、焦化和裂化装置出来的中间馏分可调入柴油和喷气燃料或炉用油。

在有些炼厂，石蜡基或环烷基原油的减压重瓦斯油和渣油可加工成润滑油。渣油在丙烷脱沥青装置中除去沥青后与减压重瓦斯油一起在一轮换操作的工段中生产润滑油基础油。

减压重瓦斯油和脱沥青油首先用溶剂抽提以除去重芳烃类物质，然后脱蜡以改进倾点，最后用特殊白土处理改进颜色和稳定性后调合成各种润滑油。

每个炼厂都有它特殊的加工流程，取决于现有设备、操作费用和产品需求。任一炼厂的最佳流程决定于经济上的考虑。没有两个炼厂的加工流程是完全一致的。

第二章 炼油厂产品

在一般用户的印象中，石油产品只有几种，如车用汽油、喷气燃料、煤油等。但美国石油学会（API）经过对石油炼厂和石油化工厂调查后，得出有不同规格的产品达二千多种^[1]。表2-1列出了十七个大类中的各类产品数^[2]。

一般来说，炼厂设计的产品品种是相对少的。炼厂的基本加工过程是以生产大宗产品如汽油、喷气燃料和柴油为基础的。储存和废物处理都是费钱的，故即使某些油品例如重质燃料油的价格低于原油价格，也一定设法将生产的所有产品卖出去或加以利用。有些原油馏分是作为产品出售，还是进一步加工成更有价值的产品，这取决于经济评价。一般地说，烃类产品的最低价值是其热值或当量燃料（POE）值。该值往往由下列因素所确定，诸如地点、需求情况、是否易得、燃烧性能、硫含量以及与之竞争的燃料价格等。

欲了解炼厂需要哪些加工方法，对产品的物理和化学性质方面的知识是必不可少的。为了有顺序地描述炼厂各种产品，我们将按比重的逐步加大和挥发度的逐步减小的次序在下面的各节中分别加以叙述。

表 2-1 美国石油工业生产的石油产品

种 类	数 量	种 类	数 量
燃料气	1	白 油	100
液化气	13	防锈剂	65
汽 油	40	变压器和电缆用油	12
车用汽油	19	润滑油	271
航空汽油	9	石 蜡	113
其他（拖拉机、船舶用油等等）	12	沥 青	209
燃气轮机（喷气）燃料	6	石油焦	4
煤 油	10	炭 黑	5
馏分油（柴油和轻燃料油）	27	化学药剂、溶剂及其他	300
残渣燃料油	16		2347
润滑油	1156		

一、低沸点产品

低沸点类产品包括常温常压下是气体的产品，如甲烷、乙烷、丙烷、丁烷以及相应的烯烃。

甲烷（C₁）一般作炼厂燃料，但又可作裂解制氢的原料。其数量一般用磅、在 60°F 和 14.7 磅/英寸²（绝）时的标准英尺³（scf）或桶 FOE（等热值燃料油的当量桶数）来表示。其物理性质见表2-2。

乙烷（C₂）可用作炼厂燃料或在石油化工装置中作制氢或乙烯的原料，乙烯和氢有时在炼厂中回收并出售给石油化工厂。

丙烷（C₃）也常作炼厂燃料，但也作液化气出售。它的性质在天然气加工者协会（NGPA）有详细规定^[3]。典型的规格包括 100°F 时的最大蒸汽压为 210 磅/英寸²（表）和在 760 毫米

表 2-2 烷烃的物理性质

	C.	沸点, °F	熔点, °F	重度, 60/60°F	比重指数, °API
甲 烷	1	-258.7	-296.5	0.30	340
乙 烷	2	-128.5	-297.9	0.356	265.6
丙 烷	3	-43.7	-305.8	0.508	147.2
丁 烷					
正丁烷	4	31.1	-217.1	0.584	110.6
异丁烷	4	10.9	-225.3	0.563	119.8
辛 烷					
正辛烷	8	258.2	-70.2	0.707	68.7
2,2,4-三甲基戊烷	8	210.6	-161.3	0.696	71.8
2,2,3,3-四甲基丁烷	8	223.7	219.0	0.720	65.0
癸烷, 正	10	345.5	-21.4	0.734	61.2
正十六烷	16	555.0	64.0	0.775	51.0
正二十烷	20	650.0	98.0	0.782	49.4
三十烷					
正三十烷	30	850.0	147.0	0.783	49.2
2,6,10,14,18,22-六甲基二十四烷	30	815.0	-31.0	0.823	40.4

一般规律:

1. 沸点随分子量的增加而增加。
2. 带支链烃类的沸点比同分子量直链烃类的沸点低。
3. 熔点随分子量的增加而提高。
4. 带支链烃类的熔点比同分子量直链烃类的熔点低, 但有对称支链的除外。
5. 重度也随分子量的增加而增加。
6. 烷烃的其他更多的性质见一般文献资料。

汞柱大气压下的95%沸点 $\leq -37^{\circ}\text{F}$ 。在有些场合, 出售分出的丙烯去制造聚丙烯。

原油中存在的丁烷和炼厂加工过程中产生的丁烷可作汽油组分和液化气。由于它的蒸汽压比异丁烷低, 故可用于调节汽油的蒸汽压以改进汽油冬季的起动性能。正丁烷的雷德蒸汽压为52磅/英寸², 而异丁烷为71磅/英寸², 故在汽油的蒸汽压规格要求范围内可多掺入正丁烷。按体积计, 汽油的售价高于液化气, 故汽油中尽可能多掺入正丁烷是有好处的。正丁烷还可作异构化装置的原料生产异丁烷。

异丁烷作为烷基化原料有很高的价值, 它能与不饱和化合物如丙烯、丁烯和戊烯化合生成汽油沸程范围的高辛烷值组分。原油中虽然含一些异丁烷, 但它主要来源于加氢裂化装置和天然气加工厂。异丁烷如不作烷基化原料, 可作为液化气出售或制丙烯的原料。如作为液化气出售, 则须符合NGPA中商业丁烷的规格要求, 如100°F时的蒸汽压要 ≤ 70 磅/英寸² (表) 和在760毫米汞柱大气压时的95%沸点 $\leq 36^{\circ}\text{F}$ 。丁烷作液化气的缺点是它的沸点较高 (760毫米汞柱时为32°F), 故在冬季, 如储存在气温经常低于冰点时, 作为加热使用不太理想。

丁烷-丙烷混合物也作液化气出售, 它的性质和标准试验方法在NGPA中均有规定。

商品丙烷和丁烷的性质见表2-3。

二、汽油

虽然在API调查报告中⁽¹⁾炼厂生产的汽油达40种, 但在美国, 约90%的汽油用作汽车燃料。多数炼厂生产两种等级的汽油, 即普通和优质汽油, 另外还供应低铅或无铅汽油以满足环保要求。两种汽油的主要区别在于抗爆性能。1982年, 普通汽油的抗爆指数 (PON) 约

表 2-3 商品丙烷和丁烷性质

性 质	商 品 丙 烷	商 品 丁 烷
蒸汽压, 磅/英寸 ² (表):		
70°F	124	31
100°F	192	59
130°F	286	97
液体比重, 60/60°F	0.509	0.582
14.7磅/英寸 ² (绝)时的初馏点°F	-51	13
14.7磅/英寸 ² (绝)时的露点°F	-46	24
60°F时液体比热(容), 英热单位/磅·°F	0.588	0.549
60°F时气体比热(容), 英热单位/磅·°F	0.404	0.382
燃烧极限, 在空气中气体%		
低 限	2.4	1.9
高 限	9.6	8.6
沸点时的蒸发潜热, 英热单位/磅	185	165
高热值		
液体, 英热单位/磅	21550	21170
气体, 英热单位/英尺 ³ (60°F, 14.7磅/英寸 ² (绝))	2560	3350

为88, 优质汽油为91。无铅汽油平均的研究法辛烷值 (RON) 约为87 (见下节)。抗爆指数 (PON) 是马达法辛烷值和研究法辛烷值的算术平均值, 大约比研究法辛烷值平均低4个单位。

汽油是碳氢化合物的复杂混合物, 它的馏程范围 ASTM法测定为从100°F到400°F。各种汽油组分经调合后, 可改进抗爆、起动、快速缓机、不易气阻和低发动机沉渣等特性。格鲁斯 (Gruse) 和史蒂文斯 (Stevens) (4) 对汽油的性质和调合组分如何影响的情况作了非常全面的叙述。对于炼厂的初步设计, 用作汽油的调合组分限于直馏汽油、催化重整汽油、催化裂化汽油、加氢裂化汽油、迭合汽油、烷基化油和正丁烷等几种。抗氧剂、金属钝化剂、防阻剂等添加剂此时没有分别予以考虑, 可笼统地包括在添加的抗爆药剂费用中。如用抗爆剂, 其数量和成本必须通过计算。

轻直馏 (LSR) 汽油系原油蒸馏切出的 $C_6 \sim 190^\circ\text{F}$ 石脑油馏分, 有的炼厂切到 180°F 或 200°F, 但无论如何, 这个馏分用催化重整方法不能提高多少辛烷值, 故可将它从直馏汽油中分出来, 一般经碱洗或轻度加氢后即可作为汽油的调合组分。有时它还须经脱臭, 使残留的硫醇转化为二硫化物, 以便能通过博士试验。为了生产无铅最高辛烷值汽油, 有些炼厂建设了异构化装置以处理直馏轻馏分。

催化重整油是催化重整装置生产的 C_6 以上汽油产品。直馏重馏分 (HSR) 和焦化汽油是重整装置的原料。如要求更高的辛烷值, 催化裂化和加氢裂化汽油也可作为重整原料以提高辛烷值水平。催化重整的操作条件可控制在产品无铅研究法辛烷值为 90~100 范围内。

催化裂化和加氢裂化汽油一般直接作为汽油调合组分, 有些情况下在调合之前经催化重整以提高辛烷值。

迭合汽油是用烯烃经迭合生成汽油馏程范围内的烃类。但炼厂宁愿用烷基化方法而不愿用迭合法, 因为前者可从轻烯烃中得到较大量的高辛烷值产品。

烷基化汽油是异丁烷和丙烯、丁烯或戊烯作用生成的在汽油馏程范围内的支链烃类。一

定数量的烯烃用烷基化法可生产两倍于适合法的高辛烷值内燃机燃料。另外，烷基化油的抗爆指数和感铅性也比适合汽油高。

正丁烷可按汽油的蒸汽压直接掺入汽油中。汽油的蒸汽压（以RVP表示）介于高RVP（改进起动性能）和低RVP（防止汽阻和减少蒸发损失）之间，根据季节和海拔在夏季10磅/英寸²和冬季13.5磅/英寸²范围内变动。由于丁烷有很高的调合辛烷值，故是汽油的很好组分，炼厂将在蒸汽压允许范围内尽量多掺入正丁烷。异丁烷也可掺入汽油，但不如正丁烷好，因为它的蒸汽压高，掺入量不如正丁烷多。

自40年代汽油成为炼厂的主要产品以来，直到1962年，汽油在美国是所有基础工业部门中产量最大的产品，生产的2.04亿吨汽油超过了钢和木材以及其他大宗产品^[5]的产量。这些汽油中有90%以上用于小汽车和卡车。

航空汽油的市场相对小得多，不足汽油市场的3%，故在炼厂的初步规划中一般不予考虑。

三、汽油规格

汽油有几个主要性质；其中最有影响的有两个，即馏程范围和抗爆性能。

馏程范围控制发动的难易、加速的速率、曲轴箱稀释损失和气阻的倾向。汽油中158°F馏出百分数和ASTM90%馏出温度影响发动机暖机所需的时间。暖机是以在不过分使用油门的条件下达到全负荷功率所需的操作里程数来表示。暖机2~4英里认为是满意的。为得到合理的暖机性质，外界温度和馏出百分数之间的关系为：

158°F时馏出百分数，% 3 11 19 28 38 53

最低环境温度，°F 80 60 40 20 0 -20

曲轴箱稀释是受90% ASTM馏出温度的控制，也是外界温度的函数。为了维持曲轴箱稀释在合理的限度内，其挥发度应为：

最低环境温度，°F 80 60 40 20 0 -20

90% ASTM馏出温度，°F 370 350 340 325 310 300

气阻的倾向与汽油的RVP有直接关系。为了控制气阻，汽油的蒸汽压不能超过下表所列极限值：

环境温度，°F	最大允许RVP，磅/英寸 ² (绝)
60	12.7
70	11.0
80	9.4
90	8.0

在ASTM D-323中，汽油的雷德蒸汽压大致等于汽油在100°F时的蒸汽压，以磅/英寸²(绝)表示。

海拔也影响汽油的某些性质，最主要的是蒸发损失和对辛烷值的要求。海拔高度会大大影响对辛烷值的要求。海拔每高出1000英尺，在先期火花不变时需要的辛烷值约可降低3个单位。实际上，在海拔较高处，火花一般总是先期发生以改善内燃机性能，故总的影响是每增高5000英尺可减少商品汽油的研究法辛烷值约3个单位。对同样型号的内燃机，由于溶剂

清洗内燃机沉渣和间隙的区别，需要的研究法辛烷值可有7到12的变化。表2-4列出了几种典型的变数对辛烷值要求的影响。

表 2-4 变数对辛烷值要求的影响

变 数	对辛烷值要求的影响
海拔高度	-3RON (每提高1000 英尺海拔)
湿 度	-0.5 RON (每增加10%的相对湿度, 70°F)
内燃机转速	-1RON (每增加300转/分)
气 温	+1RON (每升高20°F)
先期火花	+1.5RON (每提前1°)
冷却介质温度	+1RON (每提高10°F)
燃烧室沉积	+1到2 RON (每1000到6000英里)

对汽油机有两种型式的辛烷值：用马达法测定的 MON 和用研究法测定的 RON。两种方法用同样的内燃机做基本试验，但操作条件不同。RON (ASTM D-908) 代表加速相对频繁的低速驱动性能，MON (ASTM D-357) 标志内燃机在高速下或重载条件下的性能。汽油的 RON 与 MON 的差值表示在城市和公路行车时的性能变化，也可称为汽油的“敏感性”。

四、馏分燃料油

馏分燃料油可分为三种型号：喷气燃料，柴油和炉用油。这些产品是由炼厂的各种油品按规格要求调合而成。

从炼厂产品的体积产量来看，炉用油的消耗量仅次于汽油，但煤油型喷气燃料由于空运的发展和飞机的大型化，将来可望有极大的增长潜力。

五、喷气燃料

民用喷气燃料是煤油馏程范围的油品，燃烧必须干净。民用喷气燃料的 ASTM 规格见表 2-5。喷气燃料规格中最关键的是烟点，这就限制了高芳烃含量的裂解产品所能掺合的百分

表 2-5 航空喷气燃料的特性 (ASTM D-1655-81)

性. 质	A 型	B 型	A-1 型
比重指数, °API			
最 大	51	57	51
最 小	37	45	37
蒸馏温度, °F			
10% 蒸发, 最大	400	—	400
20% 蒸发, 最大	—	290	—
50% 蒸发, 最大	—	370	—
90% 蒸发, 最大	—	470	—
终馏点, 最大	572	—	572
闪 点, °F			
最 小	100	—	100
冰点, °F, 最高	-40	-58	-53
含硫量(重), 最大	0.3	0.3	0.3
含芳烃, %(体), 最大	20	20	20

数。规格中限制芳烃浓度为20%。加氢裂化饱和了裂解产品中的芳烃，从而提高了烟点。规格要求冰点很低（-40°F，最低到-58°F），加氢裂化也可用来把烷烃异构化以降低其冰点。加氢裂化在有少量 H₂S 存在时，一般生产烟点很低（14-16）的喷气燃料。

喷气燃料是以低硫或脱硫的煤油，与裂化的和加氢裂化的调合组分调合而成。

喷气燃料的两种基本形式是石脑油和煤油。石脑油喷气燃料的生产主要为军用，其馏程很宽，可从汽油延伸到煤油。一旦发生战争，将需要大量的喷气燃料，为了满足此要求，汽油和煤油两者都要生产。军用JP-4喷气燃料与ASTM B型燃料很相似，它的限制规格一般有冰点（ -60°F 到最低 -76°F ），比重（45到 57°API ），RVP（2.0到3.0磅/英寸²）和芳烃含量（20到最多25%），它的宽馏程（ 150°F 到 550°F ）允许有很大的调合灵活性，煤油、石脑油以及低辛烷值汽油都可用。这些组分的典型含量为：

组 分	调 合 %	限制规格
石脑油	90 ~ 100	API, 馏程
汽 油	25 ~ 40	RVP, API
煤 油	35 ~ 45	冰 点

喷气燃料是由各种组分以最小成本按规格要求调合而成。

出于安全方面的考虑，民用喷气燃料限于窄馏分产品（ $350\sim 550^{\circ}\text{F}$ ），以JP-5，ASTM A型和 A-1型或 Jet50 牌号出售，这些牌号的主要区别是冰点不同，在 -40 到 -58°F 之间变化。除了冰点外，规格还限制闪点（ 110 到 150°F ）馏程和芳烃含量（最大20%）。

六、车用柴油

挥发度、点火性能和粘度是车用柴油的主要性质。一号柴油（有时称作优质柴油）一般从原油中提取，其十六烷值在50以上，它的馏程从360到 600°F ，用于卡车和公共汽车的高速内燃机上。二号柴油与二号燃料油极相似，其馏程范围较一号柴油宽，它一般含有裂化产品，可从石脑油、煤油和轻质裂化循环油调合而成。限制规格是闪点（最低 $120\sim 125^{\circ}\text{F}$ ），硫含量（最大0.5%），馏程范围，十六烷值（最小S2）以及倾点（ -10 到最高 $+10$ ）。

柴油的点火性能用十六烷值表示，这与汽油的辛烷值很相似，即用十六烷（ $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ，高点火性能）在与 α -甲基萘（ $\text{C}_{11}\text{H}_{10}$ ，低点火性能）的混合物中的体积百分数来表示。混合燃料在一标准柴油试验机上按ASTM D-613-62法进行试验。

七、机车柴油

柴油最大的唯一市场是用于铁路柴油机^[6]。1964年统计，这个市场约占所有柴油销路的三分之一强。机车柴油与重内燃机车用柴油相似，但馏程范围较高（干点高至 700°F ），十六烷值较低（40~45）。

八、炉用油

虽然在1965年炉用油的消耗量仅次于汽油，但消耗量随地点和气候变化幅度很大。炉用油的ASTM规格见表2-6。主要的馏分燃料油包括一号和二号两种。一号燃料油非常近似煤

表 2-6 炉用油规格(ASTM D-396-80)

	一 号	二 号	四 号	六 号
闪点, $^{\circ}\text{F}$, 最小	100	100	130	140
倾点, $^{\circ}\text{F}$, 最高	0	20	20	—
蒸馏温度, $^{\circ}\text{F}$				
10%蒸发, 最高	420	—	—	—
90%蒸发, 最高	550	640	—	—
粘度, 厘斯, 100°F				

续表

	一 号	二 号	四 号	六 号
最 大	2.2	3.6	26.4	638*
最 小	1.4	2.0	5.8	92*
比重指数, °API, 最小	35	30	—	—
底部10%的残炭, %, 最大	0.15	0.35	—	—
灰分, %(重), 最大	—	—	0.10	—
硫分, %(重), 最大	0.5	0.5	—	—
水和沉淀, %(体), 最大	0.05	0.05	0.50	2.0

* 在112°F.

油, 但一般倾点和干点较高, 限制规格是馏程范围、倾点、闪点和硫含量。

二号燃料油与二号柴油极相似, 包含裂解油品, 是从石脑油、煤油、柴油和裂化循环油调合而成。限制规格是硫含量 (0.25到最高0.5%), 倾点 (-10到最高+5), 馏程范围和闪点 (最低120°F)。

九、残渣燃料油

在美国, 60%以上的残渣燃料油是进口的。它包含原油中最重部分, 一般为减压蒸馏的塔底油。售价很低 (传统价约为原油价格的70%), 只按副产品考虑。主要规格是粘度 (122°F时最大110SSU) 和硫含量 (最大1.0%)。这种最大硫含量的规格, 今后几年由于大气污染法的限制肯定要降下来。

现在有些地区只允许燃用低硫燃料油, 这种倾向将迅速扩大。在美国西海岸, 最高允许含硫量为0.5% (重)。

参 考 文 献

1. Amer. Petrol. Inst. Inform. Bull. No. 11 (Philadelphia, Pa., 1958).
2. W. F. Bland and R. L. Davidson, Eds., *Petroleum Processing Handbook* (McGraw-Hill Book Company, New York, 1967), p. i-11.
3. Publication 2140-72, *Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods* (Natural Gas Processors Assoc., Tulsa, Okla., 1972).
4. W. A. Gruse and D. R. Stevens, *Chemical Technology of Petroleum*, 3rd Ed. (McGraw-Hill Book Company, New York, 1960), pp. 424-472.
5. W. F. Bland and R. L. Davidson, Eds., *Petroleum Processing Handbook* (McGraw-Hill Book Company, New York, 1967), p. 11-12.
6. Ibid., p. 11-39.

第三章 炼 厂 原 料

炼油厂的基本原料是石油或原油，虽然有的地区也包括其他来源（天然沥青、油砂等）的人造原油。原油的物理性质变化很大，但化学组成却极为一致。其元素组成一般在下列范围内：

元 素	% (重)
碳	84~87
氢	11~14
硫	0~3
氮	0.2

在美国，原油分为石蜡基、环烷基、沥青基或中间基。在远东有一些原油含芳烃高达80%，这种原油称为芳香基油。美国矿务局^(1,2)建立一种把原油按两种基本馏分分类的方法：第一类基本馏分是从250到275℃（常压）；第二类基本馏分是从275到300℃（40毫米汞柱下）。两个馏分的比重用来划分原油的类型。常用的石蜡基和沥青基分类是根据原油的非破坏蒸馏所剩的渣油的性质来定的，这对炼油工作者来说更为形象，因为它沟通了所需产品的性质和必需的加工方法之间的关系。

	基本馏分, °API	
	第一类	第二类
石蜡基	≥40	≥30
石蜡、中间基	≥40	20~30
中间、石蜡基	33~40	≥30
中间基	33~40	20~30
中间、环烷基	33~40	≤20
环烷、中间基	≤33	20~30
环烷基	≤33	≤20

一、原油性质

原油非常复杂。除低沸点组分外，无人试图对原油中的纯组分进行分析。因此只进行相对简单的分析试验，并以此为依据，用经验关联式来评价原油作为某特定炼厂的原料。每种原油与其他已有的原料做比较，并根据所能得到的产品评定其价值。较为有用的性质有：

1. 比重指数，°API

原油的密度多用API比重指数表示而不用比重表示，两者关系是API增加则比重减小。API比重指数的单位是°API，可从比重按下式计算：

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{比重}} - 131.5$$

上式中比重和API比重指数均为60°F时单位体积的重量。原油的比重指数可从<10°API

到 $>50^{\circ}\text{API}$ ，但大部分原油在20到 45°API 之间。 API 比重指数总是对 60°F (15.6°C) 时的液体油样而言。

2. 硫含量

虽然氮和金属含量的重要性在逐渐增长，硫含量和 API 比重指数仍是影响原油价值的两个最主要因素。硫含量用硫的重量百分数表示，并在 $<0.1\%$ 到 $>0.5\%$ 范围内变化。原油中含硫大于 0.5% 一般加工就较复杂。虽然“含硫原油”最初是指溶有硫化氢的原油而非指总含硫量，但目前则指的是含硫高到必须进行专门加工的原油。在高硫和低硫原油之间没有明确的界限，但通常以 0.5% 含硫量作为标准。

3. 倾点

原油的倾点可粗略地表示原油中石蜡和芳烃的相对含量，以 $^{\circ}\text{F}$ 表示倾点越低含石蜡越少，含芳烃越多。

4. 残炭

残炭是在没有空气存在下蒸馏到炭渣测得的，残炭大致与原油的沥青含量有关，并与能被回收的润滑油馏分的量有关。多数情况下，原油的残炭越低价值越大。残炭值是用兰氏或康氏测定法 (ASTM D-524和D-189) 测定，并用重量百分数表示。

5. 盐含量

如原油的盐含量 (用 NaCl 表示) 大于10磅/1000桶，则在加工前必须先脱盐，否则将遇到严重的腐蚀问题。如渣油用催化法加工，要求原油中盐含量脱得更低。

6. 特性因数

在原油的芳香度、石蜡度与产率之间有几种关联式，但最常用的两种是UOP或“华氏特性因数” (K_w) 和美国矿务局的“关联指数” (CI)。

$$K_w = (T_B)^{1/3} / G$$

$$\text{CI} = (87552 / T_B) + 473.7G - 456.8$$

式中 T_B ——中平均沸点， $^{\circ}\text{R}$ ；

G —— 60°F 时的比重。

华氏特性因数从高芳香化合物小于10到高石蜡化合物15范围内变化。原油的 K_w 变化范围较小，从10.5(高环烷基)到12.9(石蜡基)。

关联指数在评价原油的个别馏分时有用。直链烷烃的 CI 为0，苯的 CI 为100。 CI 值不是定量的，但 CI 越低，馏分中石蜡烃的浓度越高。反之， CI 越高，则环烷和芳烃的浓度越高^[9]。

7. 氮含量

原油中不希望有高氮含量，因为有机氮化物在加工时会使催化剂严重中毒。原油含氮超过 0.25% (重)，就需要专门脱氮。

8. 馏程范围

原油的馏程范围表示各种产品存在的数量。最有用的蒸馏形式是实沸点蒸馏 (TBP)，即在一种设备中蒸馏以达到合理的分馏程度。TBP蒸馏没有专门的试验程序，但美国矿务局的Hempel和ASTM D-285蒸馏是最常用的试验方法。这些方法均未规定理论塔盘数或回流比，故有一种倾向宁愿采用15:5蒸馏 (D-2892) 而不用TBP。所谓15:5蒸馏即用15个理论塔盘，回流比为5:1条件下进行的蒸馏。

原油馏程范围还必须与ASTM蒸馏关联起来，因为产品规格一般均以简单的ASTM蒸馏