

[美] Robert E. Maples 著

Petroleum Refinery
Process Economics



2nd Edition

石油炼制工艺与经济

吴辉 译 (第二版)



中国石化出版社

石油炼制工艺与经济

(第二版)

[美] Robert E. Maples 著

吴辉 译

中国石化出版社

内 容 提 要

本书为单个加工装置和整个炼油厂的经济评价提供了系统的说明。内容包括收率关联和操作消耗(公用工程、催化剂、化学品等),以及所有重要的、工业化的石油加工典型装置的投资费用。还包含各加工过程的简单描述和示意流程图。读者从中可以获得建立和使用参数关联、进行原油和加工过程的经济比较和进行单个加工过程和整个炼油厂的经济评价知识和方法。

本书对炼油厂工程师、炼油厂计划人员、炼油厂管理人员、工程建设工程师、投资工程师、炼油化工行业的咨询人员、市场研究人员以及工艺工程和工程经济专业的大学生都是非常有用。

著作权合同登记 图字:01-2001-4846 号

Petroleum Refinery Process Economics (2nd Edition)

by Robert E. Maples

Copyright© 2000 by PennWell Corpration. All rights reserved.

中文版权(2001)为中国石化出版社所有。版权所有,不得翻印。

图书在版编目(CIP)数据

石油炼制工艺与经济(第二版)/(美)梅普尔斯(Maples, R. E.)
著;吴辉译.

—北京:中国石化出版社,2002

ISBN 7-80164-278-3

I. 石… II. ①梅…②吴… III. ①石油炼制-生产工艺 ②炼油
厂-经济评价 IV. ①TE624 ②F407.226.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 065435 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

三河市三佳印刷装订有限公司印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 27.75 印张 437 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

定价:58.00 元

致 谢

我要感谢我的好朋友 Bob Jones，他为我提供了很有帮助
的鼓励、建议和对本书结构的审定；我还要特别感谢我的妻
子，是她使我在五十多年的时间里，能够安心沉湎于炼油产
品产率和性质数据工作中。

我休斯顿的同事 Ed Swain 经常为我提供市场信息，我的
新朋友、计算机辅导教师 John Christie 为许多图表进行了修
饰。同时，我还很想说，在与非常称职的编辑 Linda Robinson
一起工作时感到非常愉快。

序 言

本书是多年的数据收集、编辑并关联这些数据成为需要形式的结果。本书以方便的结构形式提供了当今工业化的炼油重要过程的产率(加上其他有用的信息)数据。

同时,演示了从经济角度评估技术时如何应用这些数据。本书所强调的是产品收率和性质本身,而不是其实现的过程。读者可以从其他途径了解对所列举过程的详细描述。

本书描述数据关联的方法,并举例说明关联结果的使用。这样做的目的是能够使得读者在需要时自己进行数据关联和应用关联结果。

目 录

第一部分 绪论

第一章 引言	(3)
第二章 关联方法	(7)
2.1 在关联加工过程收率中使用的参数	(8)
2.2 数据关联一般程序	(9)
2.3 结果所表示的意义	(10)
2.4 在一个现有加工装置上的应用	(12)
第三章 原油、碳氢化合物和炼制产品	(14)
3.1 石油供需一瞥	(14)
3.2 原油的性质	(15)
3.3 碳氢化合物的性质	(18)
3.4 炼制产品	(23)
第四章 炼制过程概述	(25)
4.1 组织结构变化	(28)
4.2 炼油加工流程和能力	(28)
4.3 产品构成	(30)
4.4 加工过程发展趋势	(32)
4.5 润滑油	(34)
4.6 管线和终端	(34)
第五章 能源和运输燃料	(35)
5.1 能源	(35)
5.2 替代燃料	(35)
5.3 汽油	(37)
5.4 柴油	(50)
5.5 喷气燃料(航煤)	(55)
第六章 环境与炼油厂商	(62)
6.1 问题的提出	(62)

2 石油炼制工艺与经济

6.2	法规	(63)
6.3	补救办法	(67)
6.4	效果	(68)
第七章	原油加工	(73)
7.1	原油加工概述	(73)
7.2	馏分的收率	(74)
7.3	化验分析	(76)
7.4	原油分割步骤	(77)
7.5	原油蒸馏操作消耗	(79)
7.6	原油蒸馏装置投资费用	(79)

第二部分 渣油加工

第八章	溶剂脱沥青	(83)
8.1	溶剂脱沥青(SDA)过程描述	(83)
8.2	SDA 数据关联	(84)
8.3	与其他关联的比较	(96)
8.4	操作消耗	(99)
8.5	投资费用	(99)
第九章	减粘和湿法转化	(103)
9.1	减粘过程描述	(103)
9.2	减粘数据关联	(104)
9.3	与其他关联的比较	(113)
9.4	操作消耗	(114)
9.5	投资费用	(114)
9.6	湿式转化	(114)
第十章	延迟焦化	(118)
10.1	延迟焦化过程描述	(118)
10.2	延迟焦化数据关联	(119)
10.3	与其他关联的比较	(126)
10.4	延迟焦化操作消耗	(127)
10.5	延迟焦化投资费用	(128)
第十一章	流化焦化/灵活焦化	(131)

11.1	灵活焦化过程描述	(131)
11.2	流化焦化和灵活焦化数据关联	(132)
11.3	与其他关联的比较	(140)
11.4	灵活焦化操作消耗	(140)
11.5	灵活焦化投资费用	(140)
第三部分 重馏分油加工		
第十二章 流化催化裂化 (145)		
12.1	催化裂化过程描述	(146)
12.2	催化裂化数据关联	(147)
12.3	与其他关联的比较	(166)
12.4	催化裂化操作消耗	(168)
12.5	催化裂化投资费用	(168)
第十三章 重油裂化 (176)		
13.1	重油裂化(HOC)过程描述	(176)
13.2	重油裂化(HOC)收率关联	(176)
13.3	与其他关联的比较	(185)
13.4	重油裂化操作消耗	(186)
13.5	重油裂化投资费用	(186)
第十四章 加氢裂化 (190)		
14.1	加氢裂化过程描述	(190)
14.2	加氢裂化数据关联	(191)
14.3	与其他关联的比较	(209)
14.4	加氢裂化操作消耗	(211)
14.5	加氢裂化装置投资费用	(211)
第十五章 加氢处理 (215)		
15.1	加氢处理过程描述	(215)
15.2	加氢处理数据关联	(215)
15.3	与其他关联的比较	(226)
15.4	加氢处理操作消耗	(226)
15.5	加氢处理投资费用	(226)

4 石油炼制工艺与经济

第四部分 轻馏分油加工

第十六章 石脑油脱硫	(235)
16.1 石脑油加氢处理过程描述	(235)
16.2 石脑油加氢处理关联	(236)
16.3 石脑油加氢处理操作消耗	(243)
16.4 石脑油加氢处理投资费用	(243)
第十七章 催化重整	(246)
17.1 催化重整过程描述	(248)
17.2 催化重整数据关联	(250)
17.3 与其他关联的比较	(265)
17.4 催化重整操作消耗	(266)
17.5 催化重整投资费用	(266)

第五部分 轻烃加工

第十八章 异构化	(273)
18.1 丁烷异构化	(273)
18.2 C_5/C_6 异构化	(275)
第十九章 烷基化	(280)
19.1 烷基化过程描述	(281)
19.2 烷基化收率关联	(282)
19.3 烷基化操作消耗	(283)
19.4 烷基化投资费用	(283)
第二十章 催化聚合	(286)
20.1 催化聚合过程描述	(287)
20.2 催化聚合产率关联	(289)
20.3 催化聚合操作消耗	(289)
20.4 催化聚合投资费用	(289)
第二十一章 催化脱氢	(291)
21.1 脱氢过程描述	(292)
21.2 脱氢操作消耗	(293)
21.3 脱氢投资费用	(294)

第六部分 含氧化合物

第二十二章 含氧化合物	(299)
22.1 醇类	(300)
22.2 醚类	(303)

第七部分 处理及其他辅助过程

第二十三章 芳烃抽提	(315)
第二十四章 制氢	(318)
第二十五章 酸性水汽提	(320)
第二十六章 脱臭	(322)
第二十七章 气体脱硫	(325)
第二十八章 硫回收	(327)
第二十九章 尾气净化	(329)
第三十章 废物处理	(331)

第八部分 调合

第三十一章 调合	(335)
31.1 汽油调合	(336)
31.2 中间馏分油调合	(347)
31.3 原油调合	(352)

第九部分 过程经济

第三十二章 经济学	(359)
32.1 炼油厂经济学要素	(359)
32.2 石油炼制经济学史	(366)
32.3 经济分析的几个例子	(372)

附录	(396)
1. ASTM 标准中的表	(396)
2. 图索引	(417)
3. 表索引	(424)
4. 缩略语表	(428)

第一部分 绪 论



第一章 引言

“需求是创新之母”。正如这句谚语所说的，本书的编写出版也是源于实际工作的需要。在超过 55 年的工程生涯中，作者常常感到十分需要一些包含在本“工具箱”中的工具。

在《石油炼制工程》第一版的前言中，W. L. Nelson 写道：“目前文献上的内容大多是有用的，但是，由于文献是如此浩瀚，以至对繁忙的工程师来说，文献上的东西就变得无用了，除非把这些内容重新整理后以较为系统的形式出现”^[1]。本书的目的就是把炼制过程的产率数据进行重新组织后呈现出来，供读者在进行各种加工工艺比较或过程经济性研究时使用。同时，说明在进行这样的研究中如何使用相关信息，也是本书的目的。

在作为工艺工程师生涯的早期，作者就发现自己要面对某一特定加工装置的大量操作数据。为了确定该装置最优的操作状态，需要根据原料或者某一产品的一些性质来调校产品的收率，以便评估该工艺各种操作方案的相对经济价值。

之后，发展到需要在具有相互竞争性的各种加工工艺之间进行比较，这就需把所有加工过程产率的关联包含在比较过程中。再后来，需要建立整个炼油厂各种各样复杂的加工方案，尔后对这些方案进行经济比较。

这样做的结果就形成了所有重要的、商业化生产的石油炼制过程产率关联的集合。也许，一些读者在其工作中不想用经验的方法，而选择纯数理分析途径。对于这部分读者，作者想再次引用 Nelson 先生的话给予劝慰。他说：“工业发展史表明，工业装置通常在其过程的理论被充分搞明白之前就建成了。”^[1]许多过程过于复杂，以至不能简化地进行描述。而这种描述对许多工程师在进行诸如加工方案的初步比选时是需要的。

本书中，在各个加工过程数据关联之后，都伴随着操作消耗（公用工程、催化剂、化学品等）和典型规模装置的投资费用。一些工程师常

4 石油炼制工艺与经济

常以每桶加工能力需要多少美元来思考加工装置的投资费用。这样的投资值至多能对不同的装置规模进行校正，而不能对时间进行校正。很显然，把去年或五年前或更长远一些被认为是合适的投资值用于今天或明天，就可能会严重出错。本书采用的投资估算曲线法较适用于初步研究，而且对于特定加工过程规模变化范围较大的情况，更能体现其优势。

对于 A 和 B 两套装置，可以用下面的方程式^[2]来较好地对这一方法加以表达：

$$\frac{C_A}{C_B} = \left[\frac{Q_A}{Q_B} \right]^x$$

式中， C 表示投资， Q 表示能力， x 是“朗格”指数^[3]。

上述方程式在“log - log”对数坐标图上是一条直线，直线的斜率是 X 。但在“log - log”坐标纸上描绘实际的投资数据时，并不总是呈现出直线。这一现象表明，某一加工装置的投资指数值可能随着能力大小而变化。同时也意味着装置之间除规模以外还在许多方面存在差异。

这里所采用的产率关联方法中，一个很重要的步骤就是对来源于各种渠道数据的收集汇总，并使这些数据连贯一致起来。如果来源于一种或多种渠道的某些数据与该组数据的平均值有较大的不同，则可以从数据图上或者从回归（关联）直线的计算偏差上明显看出。

使用 Nelson - Farrar 炼油厂建设费用指数^[4]和合适的“朗格”投资 - 规模指数，可以把给定规模装置的投资费用换算到不同时间、不同规模下的投资费用。除非有特殊的规定，通常把一个给定加工装置的朗格指数设定为 0.6，即 6/10。

有了同一起来源的产率、产品性质、操作消耗和投资费用的数据，使用者就具备了进行单个加工过程和整个炼油厂加工方案初步经济评估所需要的全部信息。

除对每个加工过程进行产率关联之外，也给出加工过程示意图和简要的过程描述。这些过程描述有时还包括一些典型操作条件的参考价值。当然，给出这些条件并不是本书的主要目的。本书主要关注的是加工过程生产什么（产率和性质），而不是如何生产。更加完整的炼油加工过程描述可以从其他许多专门的书籍中找到^[5,6,7,8]。

本书使用一些相对完整的例子来演示如何使用给出的关联数据和经

济技术指标。这些关联的精度能适用于初步的经济分析，并能与计算机模型结合起来用于炼油厂模拟或线性规划(LP)优化。但是，对于那些精度要求较高的过程比较或实际的工厂设计，所使用的有关基础数据应该从有资质的工程师那里获取，或者，如果采用专利技术，其工艺设计基础应从相应的专利商那里获取。为提供这样的基础数据，通常需要在中型试验装置上对特定原料进行试验。

本书尽可能地对在推导关联方程式中所采用的方法进行详细地解释，以便读者只要愿意就可以自己进行类似的关联。最后，本书将会证明，对炼油厂工程师、炼油厂计划人员、炼油厂管理人员、工程建设(E&C)工程师、投资工程师、炼油化工行业的咨询人员、市场研究人员以及工艺工程和工程经济专业的大学生都是非常有用的。

“运输燃料”和“环境与炼油商”两章原先没有计划包含在本书中。但是，考虑到社会对“我们的环境究竟发生了什么”这样一个问题的关注程度在不断增加，决定在本书中包含这一内容。来自于各种(使用运输燃料)机动车的排放物数量约占大气污染物总量的一半^[9]。炼油厂不仅生产了这些导致环境污染的燃料，而且在生产过程中还向大气排放了废气以及液态和固态废料，这些废物从保护生态的角度都是需要进行处理的。

本书在内容和结构上力图设计成对具有各种不同背景的广大读者都会有用：

- 第二章描述将在第八至第十六章中所使用的推导收率关联式的回归方法。对一些读者而言，这一方法是较为陌生的。
- 第三、第四和第五章将为那些不太熟悉石油炼制(其关键问题、产品和性质)的读者提供一些背景资料。
- 第六章将讨论运输燃料对环境的影响，并指出，为了更加环境友好地生产和生产更加环境友好的产品，炼油厂在建设 and 生产过程中需要发生什么相应的变化。
- 第七章描述如何从别处提供的分析数据中获取原油产品收率值。
- 第八章至第十七章提供由作者开发的对基本炼油转化过程所进行的关联方法和数据。
- 第十八章至第二十九章涉及的是那些相对反应简单、结果变化较小的加工过程。因此，对于这些过程将引用典型的产率和性质。

6 石油炼制工艺与经济

- 第三十章是本修订版所插入的，主要涉及污水处理和废物处置。
- 第三十一章将讨论炼油商在对炼油厂生产出的组分进行调合时出现的异常问题，并提出解决这些问题的方法。
- 第三十二章将演示如何运用前面各章所包含的材料进行比较、技术评估、概念性过程设计和可行性研究。

注 释

1. Nelson, W.L., *Petroleum Refinery Engineering*, 1st ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1936
2. Nelson, W.L., *Oil & Gas Journal*, January 4, 1965, p. 112
3. Lang, H.J., *Chemical Engineering*, June 1948, p. 112
4. Published in the first issue each month in the *Oil & Gas Journal*
5. Meyers, R.A., *Handbook of Petroleum Refining Processes*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986
6. Gary, J.H., and Handwerk, G.E., *Petroleum Refining Technology and Economics*, 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., New York, 1984
7. Leffler, W.L., *Petroleum Refining for the Nontechnical Person*, 2nd ed., PennWell Books, Tulsa, 1985
8. Shaheen, E.I., *Catalytic Processing in Petroleum Refining*, PennWell Books, Tulsa, 1983
9. Kuhre, C.J., and Sykes, J.A., Jr., *Clean Fuels from Low Priced Crudes and Residues*, AIChE Meeting, New Orleans, March, 1973

第二章 关联方法

有许多有关石油炼制各种加工工艺的实验装置和工业装置的操作数据的文献。但是，要用来进行经验关联时，只有那些在原料和/或操作条件覆盖范围内的数据才能满足要求。也就是说，在按照有意义的方法进行收集和关联之前，这些数据没有多少价值。

很少有人能发现一组正好能满足所感兴趣的特定条件(原料、产品辛烷值、产品烟点等)的数据。通常，从理想的关联结果中获取数据要比使用孤立的一些数据来得好。当在参数值(如产品辛烷值)覆盖范围内评估过程结果时，更是如此。通过关联获得的绝对值可能价值不大，但各点之间的相对值却是很有指导意义的。

就我们的目的而言，一组数据应由一个装置在某一固定的温度、压力、催化剂类型、空速等条件下，加工特定原料时的连续和稳态的产品产率(和相应的产品性质)组成。每个产品的产率和性质构成了该组数据中的数据点。

对收集到的数据组进行关联的第一步，是按照以各组为行、各变量为列的方式进行列表。通常以每个产品作为因变量，但有时也可作为自变量。其他的自变量可能是原料的类型、和/或原料的一个或多个性质，或者产品的性质(相对密度、沸程、特性因素K等)。

正如我们所预料的那样(后面将会看到)，来源于文献的实际操作结果在某些程度上是发散的。其原因是我们所涉及的系统非常复杂(各种类型的碳氢化合物系列)以及观察的不确定性(测量、阅读和记录上的误差)和无法获得真正的稳定状态等。

为了关联这些数据，我们一直在努力发现一种相对简单的表达方式(方程式)来表征一个非常复杂系统中两个或多个变量之间的关系。通过诸如反应机理和动力学等化学方面的分析，我们可以推断出一组变量之间可能的关系。从基于这种方法所得到的数据曲线的状态(收敛和发散)，可以判断出所假设的关联方程式是否能满足这些数据。

通过改变其中一个变量次值(增加或降低量级)，常常能帮助我们