

炼油化工一体化 图形建模优化系统

何小荣等 编著

中國石化出版社

炼油化工

一体化图形建模优化系统

何小荣等 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书在充分论述实现石化企业炼油化工一体化优化的必要性、优化空间、效益来源和主要研究内容的基础上,提出了炼油化工一体化优化应从管理入手的理念。着重阐述了作为其技术支持的GIOPIMS系统,即可视化交互式图形建模系统。这一系统允许用户通过可视化界面对实际生产单元一对一地建立图形化模型。这种基于克隆技术的建模方法不需要用户有专业的数学规划知识及计算机语言的相关专业知识,只需通过窗口界面输入相关的物性数据和工艺过程参数,系统内部就可自动产生模型并求解,从而解决用户所关心的数学建模问题。这一系统和方法重用性和适应性好,具有强大的纠错功能、矛盾约束侦破功能、不理解的自动诊断功能、丰富的输入输出功能和不同方案经济效益分析对比功能。

另外,本书对炼油二次加工装置和乙烯裂解装置的收率、生产装置加工成本的建模和方法,以及模型的求解算法等进行了详尽的论述。并对GIOPIMS系统的运行环境、安装调试和工业应用都做了说明。

本书可供石化企业从事炼油、化工生产计划优化和炼油化工一体化优化的领导者、组织者和工程技术人员学习和参考,也可作为高等院校石油化工类高年级本科生和研究生产系统优化时的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

炼油化工一体化图形建模优化系统/何小荣等编著.
—北京:中国石化出版社,2005
ISBN 7-80164-927-3

I.炼… II.何… III.石油炼制—最佳化—数学
模型—研究 IV.TE62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 140699 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

读者服务部电话:(010)84289974

<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

北京大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 379 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

前 言

石油加工产业链向化工方向的延伸，生产高附加值产品和实现炼油化工一体化经营，其效益会呈指数级增长，这已成为全球炼油企业提高经济效益及市场竞争力的重要手段。因此，我国自 20 世纪 80 年代以来，建成了一大批炼油化工一体化石化企业。但由于认识、体制、技术水平等方面的原因，炼油厂和化工工厂的生产、经营活动仍然互相隔裂，形成两套相对独立的体系。从原料采购、生产组织、营销等诸多方面，并没有实现一体化优化。探寻我国炼油与石油化工一体化优化和协调发展的科学发展之路，越来越引起大家重视。

在全球经济环境中，原材料、能源和产品的价格瞬息万变，石化企业应及时调整各种生产经营活动，才能在市场竞争中立于不败之地。因此，炼油化工一体化优化应从决策管理入手，必须在寻求炼油化工整体最优的目标下，来考虑原油的优化选择、原料的优化配置、能源的相互利用、产品的最佳结构和信息的相互共享。实现石化企业炼油化工一体化优化，不能只停留在认识上、定性上，要给出定量的一体化优化方案，供生产的组织者、领导者作为科学安排生产的决策依据。

炼油化工一体化优化的主要理论基础是运筹学、系统工程和现代控制论，最大特征是决策过程的模式化和定量化。本书在全面论述实现石化企业炼油化工一体化优化的必要性、优化空间、效益来源和炼油化工一体化优化主要有哪些研究内容的基础上，着重论述了实现石化企业炼油化工一体化优化的技术支持 GIOPIMS(Graphic I/O Petro-chemical Industry Modeling System)系统。该系统建立了一种“科学家与工程师的共同语言”，完全以一种崭新的理念、工艺工程师的思想和方法把石化企业炼油化工一体化建模优化工作完全流程化、图形化。GIOPIMS 系统是一套可视化交互式图形建模系统，这一系统对用户隐藏了复杂的生产计划优化模型的产生过程。系统允许用户通过可视化界面中利用对实际生产单元一对一的克隆体建立图形化模型，并且通过窗口界面输入相关的物性数据，然后在不需要用户介入的情况下系统内部自动产生模型并求解。由于模型的生成是自动的且对用户是透明的，因此这种基于克隆的建模方法不需要用户有专业的数学规划知识及计算机语言的相关专业知识，就可直接使用此技术解决其主要关心的应用、维护、更新管理等问题，重用性和适应性好，适用于各类石化企业。

另外,该系统的强大的纠错功能、矛盾约束侦破功能可以让用户消除模型无解时的困惑;不理解的自动诊断功能可以让用户对 L_p 求解所得到的最优解更符合实际;丰富的输入输出功能和不同方案经济效益分析对比功能会使任何用户感到得心应手,满足各种需求。

为了提高炼油、化工生产计划优化和炼油化工一体化优化模型的精度,本书还对炼油二次加工装置和乙烯裂解装置的收率预测、生产装置的加工成本等的建模原理、方法进行了详细的论述。石化企业炼油、化工生产计划优化和炼油化工一体化优化求解的核心算法是线性规划的单纯形法,对其原理有个初步的了解,才能更好地驾驭任何相关的软件系统。因此,书中对建模理论、模型求解的算法理论,模型求解的方法步骤等也都做了深入浅出的论述。

本书作者在石化企业生产计划优化领域做了 20 余年的研究工作和工业实践,经历了我国石化企业生产计划优化的不同时期,积累了大量的经验,取得了可喜的成果。同时,对国内在该领域中的现状、存在的问题以及国外的发展趋势也很了解。多年来,针对国内存在的问题一直梦想开发出一套图形化、具有 Microsoft office 软件界面风格的、多种功能的、适合我国用户使用特点和习惯,且具有自己知识产权的炼油化工一体化生产计划建模优化系统,以满足国内石化企业的用户需求,通过与企业界的合作这一愿望终于得到实现。GIOPIMS 系统自 2004 年 9 月至今,在中国石油兰州石化公司得到充分利用,为企业日常生产计划优化方案的制定、资源的优化利用、装置开停工的决策和投资效益测算发挥了巨大的作用,取得了显著的经济效益。

本书内容丰富,系统性、理论性、实践性较强。我国实现炼油化工一体化优化还有相当一段路程,本书的出版对石化企业从事炼油、化工生产计划优化和炼油化工一体化优化的领导者和工程技术人员,对科技工作者和研究生是有裨益的。作为炼油化工一体化优化这一多学科研究领域的著作,一定会有许多待改进和提高之处。希望本书的出版能对我国石化企业炼油化工一体化优化起到一定的促进作用。

参加本书编写工作的有何小荣(主编及第一、二、三、五章)、李初福(第一、二、六章)、陈丙珍(第一、二、三章)、郭彦(第二、三、五章)、刘朝玮(第二、四章)、邱彤(第四章)、陈勃(第四、六章)、龚真直(第二、三章)、张秋怡(第一章)。

目 录

1 石化企业炼油化工一体化优化	(1)
1.1 石化企业炼油化工一体化	(1)
1.2 石化企业炼油化工一体化优化的可能性	(1)
1.2.1 炼油化工一体化优化的空间分析	(1)
1.2.2 炼油化工一体化优化的主要内容	(5)
1.2.3 炼油化工一体化优化的效益来源分析	(8)
1.2.4 炼油化工一体化优化应从决策管理入手	(8)
1.3 石化企业炼化一体化优化的数学模型	(9)
1.3.1 数学模型的作用	(9)
1.3.2 建立模型的一般步骤及模型的类型	(10)
1.4 石化企业炼油化工一体化优化软件的发展历程	(12)
1.4.1 基于 DOS 系统的建模优化系统	(13)
1.4.2 基于半方程半图形的建模优化系统	(20)
1.4.3 基于 Excel 表格的建模优化系统	(25)
2 炼油化工一体化图形建模优化系统	(33)
2.1 基于 GIOPIMS 系统的图形化生产计划建模过程	(34)
2.1.1 关于流线	(36)
2.1.2 关于设备	(37)
2.1.3 图形与模型	(37)
2.2 GIOPIMS 系统	(37)
2.2.1 GIOPIMS 系统的结构	(37)
2.2.2 GIOPIMS 系统的图形绘制工具	(40)
2.2.3 GIOPIMS 的系统菜单	(41)
2.2.4 图形编辑	(43)
2.2.5 数据的分散输入	(51)
2.2.6 数据的集中输入	(63)
2.2.7 优化计算	(69)
2.2.8 不可行解的提示	(69)
2.2.9 解的合理性分析	(70)
2.2.10 报表的生成与显示	(70)
2.2.11 帮助系统	(85)
2.3 GIOPIMS 系统的功能特点	(86)
2.3.1 具有很强的图形编辑功能	(86)
2.3.2 数据信息输入灵活方便	(86)

2.3.3	可进行分页绘制流程和各子流程集成的功能	(86)
2.3.4	自动建模	(86)
2.3.5	炼化化工一体化优化	(88)
2.3.6	矛盾约束的自动诊断	(89)
2.3.7	不理解的判断分析	(95)
2.3.8	灵敏度分析	(96)
2.3.9	多种形式的结果输出	(99)
2.3.10	经济效益分析系统	(99)
2.4	结束语	(102)
3	二次加工装置收率对计划优化的影响	(103)
3.1	炼油二次加工装置的收率预测	(103)
3.1.1	炼油二次加工装置收率的意义	(103)
3.1.2	催化裂化装置	(103)
3.1.3	炼油二次加工装置收率预测模型	(105)
3.1.4	数据处理及建模方法	(108)
3.1.5	催化裂化装置收率的计算	(125)
3.1.6	收率预测模型与 GIOPIMS 系统的关系	(126)
3.2	典型化工生产装置的收率预测	(127)
3.2.1	乙烯裂解装置	(127)
3.2.2	石脑油裂解分子反应动力学模型	(127)
3.2.3	乙烯裂解炉数学模型	(128)
3.2.4	裂解炉加速模拟模型	(130)
3.2.5	一次反应选择性系数的估计方法	(133)
3.2.6	乙烯裂解炉产物收率计算方法	(136)
3.2.7	乙烯工业裂解炉模拟软件 PYRO - SimP 系统	(141)
3.2.8	PYRO - SimP 与 GIOPIMS 的连接	(149)
4	石化企业生产装置的加工成本	(152)
4.1	产品成本与生产成本	(152)
4.1.1	产品成本	(152)
4.1.2	生产成本	(153)
4.2	成本函数的建模方法	(155)
4.2.1	常数函数	(155)
4.2.2	分段函数	(156)
4.2.3	多项式函数	(157)
4.2.4	其他非线性函数	(159)
4.3	生产成本计算的软件实现	(159)
4.3.1	回归分析介绍	(159)
4.3.2	可变加工成本建模	(161)

4.4 应用实例	(163)
4.4.1 简单实例	(163)
4.4.2 综合实例	(165)
5 炼化化工一体化优化模型的求解算法	(168)
5.1 模型求解的基本原理	(168)
5.1.1 Lp 问题及其数学模型	(168)
5.1.2 Lp 问题的求解基础	(170)
5.1.3 单纯形法的基本理论	(175)
5.1.4 单纯形法(Simplex Method)	(181)
5.1.5 单纯形法的计算步骤	(189)
5.1.6 大 M 法和两阶段法	(196)
5.1.7 线性规划计算过程的矩阵向量法	(205)
5.2 灵敏度分析在炼化一体化优化中的应用	(207)
5.2.1 目标函数系数的变化	(207)
5.2.2 约束条件右端值的变动	(209)
5.2.3 几个参数同时变动	(211)
5.2.4 技术水平矩阵元素的变化	(213)
6 GIOPIMS 系统的安装和应用	(218)
6.1 GIOPIMS 系统的运行环境	(218)
6.2 GIOPIMS 系统的安装	(218)
6.3 GIOPIMS 系统的工业应用	(223)
6.3.1 炼油、化工及炼化化工一体化优化生产计划的制定	(223)
6.3.2 原油优选	(224)
6.3.3 实沸点切割点优化	(227)
6.3.4 乙烯裂解原料优选	(229)

1 石化企业炼油化工一体化优化

1.1 石化企业炼油化工一体化

原油的加工深度愈高，经济效益愈显著。根据国内石化行业的统计，如果以原油仅仅作燃料发电的经济效益(利润和税收之和)为 1 考虑，则原油加工成汽油、柴油等油品的收益可为 1.4~2.2，加工成基本化工原料的收益可为 3.8~4.3，如果再进一步深加工成合成树脂、合成纤维等合成材料，则经济效益可以提高到 10.3~15.6。日本研究中心的研究也证实：单纯生产油品的炼油厂的利润率约为 20%，炼油与乙烯一体化企业的利润率为 29%~30%，炼油与芳烃一体化企业的利润率为 23%。美国斯坦福国际咨询及研究所的研究也表明：炼油/石化联合企业的利润一般高于单独炼厂。可见，石油加工产业链的延伸，效益会呈指数级增加。炼厂向化工方向延伸，生产高附加值产品，实现炼油/化工一体化经营，已成为全球炼油企业提高经济效益及市场竞争力的重要手段。因此，我国自 20 世纪 80 年代以来，建成了一大批炼油化工一体化石化企业，如大庆、抚顺、大连、燕山、天津、齐鲁、上海、金陵、广州、茂名等十多个不同规模的这类企业，还有一批新的炼油化工一体化企业正在酝酿建设当中。改革开放以来，随着经济的快速稳步发展，我国石油和化工产品的消费量明显提高。据统计 1990 年我国石油表观消费量(国内原油产量+原油进口量-原油出口量+成品油进口量-成品油出口量，暂不考虑库存变化)为 1.15 亿吨，2002 年约为 2.39 亿吨，12 年间年均增长 6.28%。2003 年我国石油表观消费量达 2.52 亿吨，已超过日本，成为仅次于美国的世界第二大石油消费国。1990~2002 年的 12 年间，我国原油加工量年均增长 6.1%，汽、煤、柴、润四大类油品产量年均增长 8%，而乙烯产量年均增长 10.5%，化工轻油(含加氢裂化尾油)产量年均增长 8.6%，超过了油品的年均增长速度。预计 2010 年前，我国汽、煤、柴三大类油品将以平均 4%~5% 的速度增长，而化工轻油的增速将是油品增长速度的一倍。化工原料油已成为炼厂的重要目标产品，不仅是炼化(炼油与化工)一体化企业，包括多数炼厂都承担有提供化工原料油的任务，化工原料油成为柴油、汽油之后的第三位产品。如此发展，我国油品与化工原料在数量平衡、质量兼顾、成本变化、经济效益等诸多方面存在的矛盾和问题将逐渐显现且日益突出。我国石油资源不足，对进口原油的依存度不断提高，宝贵的石油资源必须优先用来生产难以大规模替代的运输燃料。因此，探寻我国炼油与石油化工一体化协调发展的科学发展之路，越来越引起大家重视。

1.2 石化企业炼油化工一体化优化的可能性

1.2.1 炼油化工一体化优化的空间分析

毋庸置疑，炼油化工一体化的必要性，是大家所共识的。炼化一体化可使炼油和化工紧密衔接，实行物料、能量互供，信息共享，从而优化资源配置，实现效益的最佳化。那么，对于现有的石化企业，要实现炼化一体化优化是否存在优化的空间呢？

(1) 原料空间

① 进口原油数量不断增长

2000 年以来,我国原油进口量每年基本保持在 6000 ~ 7000 万吨的水平。2003 年原油进口量增至 9113 万吨,净进口量约为 8300 万吨,占国内原油加工总量的 34.6%。进口原油支撑了我国东南沿海炼厂的发展,逐步形成了大连、镇海、高桥、金陵等几个千万吨级炼厂,以及上海石化、扬子石化、茂名石化等新兴炼化一体化企业,加上内地的大庆、抚顺、燕山、齐鲁、兰州等大型炼化一体化企业,成为我国石化工业的主体。此外,还有一批新的大型炼化一体化企业正在建设中。近几年,进口原油数量加大,进口原油与国内大多数原油相比,其轻组分含量高,选择余地也比较大,可根据各企业一体化优化的需要,“宜烯则烯、宜芳则芳”地选择原油品种,最大可能地优化生产,为石油化工的发展提供了良好空间。

另外,一体化企业的炼油装置正是炼油技术发展最快的炼厂核心装置。如加氢裂化是炼化结合的核心装置。我国最初的加氢裂化是以生产航空煤油和优质柴油为主要目标的,随着化工原料需求的增加,出现了多产石脑油的全循环加氢裂化和多产裂解原料尾油的单程一次通过加氢裂化,以及以生产尾油为主的中压加氢裂化,使加氢裂化家族技术和催化剂不断发展。

重整装置是生产高辛烷值汽油组分和芳烃的主要装置,副产氢气是炼厂加氢装置的宝贵资源。由于生产芳烃的需要,重整的苛刻度不断提高,也由于装置的大型化,连续再生式重整在我国发展迅速。引进的第一套连续重整就建于炼化一体化企业,目前我国已有国外最先进的 UOP(Universal Oil Products 美国环球油品公司)和 IFP(Institute Francais Du Petrole 法国石油研究院)第二代、第三代连续重整装置。为满足化工原料的需要,多产丙烯和碳四烯烃的催化裂化技术也应运而生,最近正在开发以重油为原料生产乙烯、丙烯的裂化技术。又由于汽油产品质量的提高,近几年各类催化裂化家族技术发展更快,包括催化裂化汽油循环反应以降低汽油烯烃含量的 MGD(Maximizing Gas and Diesel 催化裂化多产液化气和柴油的技术)、MIP(Maximum production of Iso - Paraffin 多产异构烷烃的催化裂化工艺(降低催化裂化汽油烯烃含量))、FDFCC(Flexible Dual - riser Fluid Catalytic Cracking 灵活多效催化裂化工艺(降低催化裂化汽油烯烃和硫含量、提高催化裂化装置柴汽比和汽油辛烷值的同时富产丙烯的催化裂化新工艺))技术等。焦化装置已不仅仅是炼厂的重油加工手段,焦化石脑油是重要的乙烯裂解原料,也可作为重整原料,因此焦化装置的作用和地位大大提高。上述装置成为炼化一体化炼厂的主体装置,与油品加氢精制一起,在油品质量提高和化工原料需求增加的双重压力下,成为技术创新发展最快的装置。总之,炼化一体化为石油化工的发展提供了良好空间以外,又促进了我国炼油工业的发展。

② 化工原料对炼油的依赖

目前,我国化工原料绝大部分立足于国内炼厂供给,这种状况短期内很难改变。2002 年国内乙烯产量为 541 万吨,消耗裂解原料约 1700 万吨,其中除 6% 左右轻烃(含油田及炼厂轻烃)外,石脑油占 65%,其余 AGO (Atmospheric Gas Oil 常压瓦斯油)及加氢裂化尾油原料也全部由炼厂提供。加上化纤原料、烷基苯类和化肥原料,2002 年全国化工原料油表观消费量为 2038 万吨,占当年原油加工量的 9.4%。油品与化工原料生产基本上没有矛盾,成品油基本上满足了国内需求,乙烯满足了国内当量需求的 38%。2003 年我国乙烯产量达到 612 万吨,之后增长更为迅速,预计 2005 年将达到 900 万吨左右,2010 年有可能达到 1400 万

吨,分别可满足国内乙烯当量需求的 47%和 54%,国内市场占有率将大大提高。但这期间平均每年需增加约 100 万吨乙烯,仅此每年就要增加 310 万吨裂解原料。再加上对二甲苯(PX)的发展,初步测算,2010 年我国需各类化工原料 5300 万吨,届时化工原料占原油加工量的比例平均将要提高到 16% 左右。除了像上海石化、扬子石化这种完全以生产化工原料为目标,二次加工以多产石脑油的加氢裂化为主,重整装置完全以生产芳烃为主,甚至将部分直馏 AGO 也作为裂解原料的企业,其化工原料占原油加工的比例可以高达 30%~40% 以外,其他炼厂,包括原先以炼油为主、后建化工的炼化一体化企业,按已有的装置结构最大限度地生产化工原料,平均比例达到 16%~18% 也已是经济生产的极限。也就是说,如果化工仍以这样的速度发展,化工原料仍要依靠炼厂提供,就只有增加原油加工量。按此计算,2010 年占原油加工收率 60% 左右的汽、煤、柴油产量将会出现过剩,油品与化工原料产量将出现比例失衡。解决问题的办法是,或者出口油品,或者寻求其他增加化工原料的途径。这一问题在 2010 年以后将更为突出。

③ 高辛烷值汽油生产与化工原料的矛盾

目前,轿车使用的 93# 以上高标号汽油消费量约占汽油总消费量的 40% 左右。未来 10 年我国汽车工业发展中增长最快的是轿车,对高标号汽油的需求将增长迅速。而我国汽油组分以催化裂化汽油为主,2003 年其比例约占 74%。高辛烷值组分主要是重整汽油,约占 14.7%,其他如 MTBE、烷基化油占到不足 2%。重整原料和裂解石脑油原料为同一馏分,重整生成油既可作为汽油调合组分,又可生产芳烃作为聚酯原料。除辛烷值因素外,重整汽油的调入还可直接降低汽油的烯烃含量和硫含量,全面提高汽油质量。由于企业的主要目标产品不同,炼厂重整油主要调合汽油产品,以提高质量;炼化一体化企业则既要满足生产烯烃、芳烃需要,又要顾及油品质量,相互矛盾很大。因此,炼化一体化企业,特别是以化工产品为主的企业,在油品质量升级方面能否既满足最基本的规格要求,又能生产高品质的油品呢?

(2) 价格空间

① 深加工生产的化工原料成本很难降低

我国原油性质偏重,且多数处于采油的后期,故轻烃资源很少。乙烯裂解原料主要靠炼厂直馏及二次加工石脑油、直馏 AGO 和加氢裂化尾油。近年来,由于柴油需求增长高于汽油,直馏 AGO 作为裂解原料受到限制,其比例不断降低,裂解原料中石脑油和尾油的比例明显增加(见表 1-1)。石脑油中包括直馏石脑油和二次加工石脑油(主要为经加氢后的焦化汽油、加氢裂化轻石脑油、重整拔头油等)。除增加原油加工量可增加直馏石脑油数量外,其余裂解原料的增加只能靠深加工生产二次加工石脑油和尾油。由于化工原料构成变化必然会导致原料成本变化,而且化工原料构成的变化又影响全厂产品构成,甚至原油的选择,需要进行全厂炼化测算。如果仅以装置加工费用按产品收率分摊的粗略计算,焦化石脑油比直馏石脑油的成本每吨约增加 20 元;加氢裂化尾油的成本约增加 30~40 元(尾油收率按 30% 计)。而我国目前无论哪种裂解原料均按统一价格结算,实际上由炼厂承担了裂解原料成本增加的效益损失。这部分成本不管由谁承担,今后裂解原料成本增加都是不变的事实。化工产品处于高价位时一体化企业还可以承受高成本原料,而当化工产品价格低迷时企业就难以承受了。

表 1-1 我国乙烯裂解原料构成变化

	乙烯产量/万吨	原料单耗/(t/t)	轻烃/%	石脑油/%	AGO/%	加氢尾油/%
1996	304	3.378	6.9	47.0	38.6	7.5
1997	358	3.318	5.8	48.6	33.9	9.9
1998	377	3.267	6.5	47.5	30.2	10.9
1999	435	3.234	6.9	58.2	19.2	8.8
2000	470	3.204	6.1	61.5	12.6	11.9
2001	480	3.184	6.0	64.2	8.4	13.2

② 化工原料油与成品油之间的价格制约

炼化一体化企业除自身最大量生产化工原料外，还必须有一部分原料由其他炼厂提供，而且互供量较大。化工原料与汽柴油之间的价格差直接影响着炼厂效益。按当前不含税(扣除增值税和消费税)价格来看，化工原料与 90 # 汽油出厂价相当，比 93 # 汽油出厂价约低 160 元/吨，比 97 # 汽油出厂价约低 320 元/吨。一般油品高价位时差价大，低价位时差价小。在企业仍是利润中心的情况下，化工原料与汽柴油之间的价格差肯定会影响炼厂对化工原料供应的积极性。解决了这个问题才能保证炼厂最大可能地供给化工原料。

(3) 油品与化工产品市场的空间

2003 年我国进口原油约占加工总量的 35%，预计 2010 年将达 50% 左右，该比例与美国的相当。预计 2020 年前我国原油进口量就会突破 2 亿吨，与日本的进口量相当，占加工量的比例将达到 60% 左右。能源安全的重要性日益凸现。由于目前世界上还没有在经济上能与石油竞争的替代燃料，宝贵的石油资源必须优先用于生产在国民经济中有重大作用的发动机燃料汽、煤、柴油。因此，炼厂必须首先考虑油品生产，其数量要基本满足国内需求，其质量要逐步与国际接轨，要在国内市场上占据绝对优势。同时，也要尽最大可能生产化工原料，实现炼化共同发展。但是与油品相比，生产化工原料还应是第二位的。

总体来看，我国炼厂发展大体可以归纳为三种类型：第一类是以生产化工原料为首要目标的。其特点是加氢裂化规模大而催化裂化能力小；加氢裂化采用多产化工原料(石脑油和尾油)生产方案；重整规模大，并以生产芳烃为主，操作条件苛刻度高；渣油加工以焦化为主，石脑油加氢作裂解原料。所产油品数量相对较少，特别是汽油少，而煤、柴油比例较大。汽柴油质量大多只能满足基本规格标准，高档油品数量很少。此类企业化工原料占原油加工量的比例可以高达 30% ~ 40% 以上。第二类是炼化兼顾的炼厂。此类炼厂是先有炼油，后有化工，装置构成早已形成以生产油品为主，后为适应化工需要而进行调整。这些炼厂规模多为大型炼厂，催化裂化、加氢裂化和重整能力都比较大。其生产方案既要满足化工原料需要，又要生产各类油品；渣油加工有多种途径，包括焦化、加氢、溶剂脱沥青等。此类炼厂加工手段一般比较齐全，生产灵活性大，化工原料占原油加工的比例为 10% ~ 20%，同时也是生产高档油品的主要企业。这些企业随着化工的不断发展和油品质量的不断提高，装置结构也在不断进行调整。第三类是以生产油品为主，适当为周边炼化一体化企业提供补充化工原料。此类多为内陆、沿江中等规模炼厂，以加工国内原油为主；二次加工以催化裂化为主；重整规模不大，以生产高辛烷值汽油组分为主；渣油主要靠催化掺渣和焦化加工。这些炼厂着力于围绕提高油品质量进行结构调整，化工原料数量很少。从上述分析来看，在目前石化产品国内市场占有率 38% 的基础上，一定程度地提高市场占有率是必要和可能的，但追求很高的占有率也是不现实的。这其中既有品种质量竞争力的问题，也有原料供给的问题。

目前我国基本上没有进口石脑油，极少的进出口量基本抵消。根据国际权威机构预测，未来我国可以有一定数量的石脑油进口资源作保证(见表 1-2)。从表中可以看出，1999 年以后世界石脑油产量略大于需求。石脑油出口地主要是中东，其次是非洲。预计到 2010 年，中东地区石脑油富余量为 65 万桶/日(约 3200 万吨/年)，非洲富余量约为 29 万桶/日(1400 万吨/年)。目前石脑油进口量最大的日本每年的进口量在 2000~2500 万吨，占石脑油出口市场的一半，且主要来源于中东，其次是欧洲和我国台湾省。但预计油气资源短缺的制约，利用国际油气资源面临形势复杂多变的风险；二是国内市场进一步开放，石化市场的竞争日趋加剧；三是科技进步步伐加快，技术市场的竞争更加激烈；四是环保要求日趋严格，给我国石化工业的发展带来巨大的成本压力。我国石化工业要把确保运输燃料的生产供应放在优先位置，最大限度地挖掘石油资源潜力，提高石油资源的综合利用率，走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、生态环境得到保护、人力资源得到充分利用的可持续发展之路。

表 1-2 1990~2010 年世界石脑油供需及预测

万桶/日

年 份		1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2005	2010
世 界	产量	270.7	312.7	330.8	362.3	374.8	396.3	408.0	490.9	612.6
	需求	277.9	331.0	341.6	359.5	378.0	389.9	404.1	486.5	608.5
北 美	产量	63.2	60.9	66.2	70.5	70.9	71.8	72.5	74.8	76.1
	需求	67.2	61.4	71.2	74.9	73.8	74.5	75.3	78.9	82.9
美 国	产量	53.7	479	53.2	57.4	57.6	58.1	58.6	59.8	60.5
	需求	58.7	49.6	59.0	62.6	61.7	62.6	63.6	67.4	71.5
欧 洲	产量	70.8	79.5	79.7	81.3	82.3	83.8	84.5	89.1	95.6
	需求	88.7	100.6	104.2	103.5	104.7	106.4	108.3	114.6	125.0
亚 太	产量	52.3	75.0	83.5	98.3	105.4	116.7	124.8	159.3	209.8
	需求	79.4	124.7	126.2	136.4	149.3	155.2	162.8	213.6	289.0
日 本	产量	14.0	21.9	22.1	22.1	20.0	21.0	24.0	26.0	30.0
	需求	52.5	69.6	66.0	70.0	71.6	71.7	71.8	75.0	78.3
新加坡	产量	10.0	12.2	12.1	12.0	15.0	15.0	15.0	17.2	20.3
	需求	3.0	4.2	4.5	6.6	8.0	9.2	10.8	15.2	20.0
韩 国	产量	9.7	16.7	23.5	35.9	32.9	33.3	34.2	38.0	41.4
	需求	9.8	31.7	32.2	34.4	34.4	34.4	34.5	39.0	45.0
中国 台湾省	产量	3.4	1.9	2.9	2.9	3.0	3.2	3.6	4.4	5.4
	需求	6.0	6.9	7.3	7.3	8.8	10.0	11.5	15.5	20.0
中 东	产量	25.0	42.6	46.5	49.2	52.8	56.9	58.4	72.8	103.9
	需求	7.1	13.4	12.8	14.4	16.4	17.7	19.2	27.1	38.5
非 洲	产量	14.3	16.0	16.2	19.0	19.3	19.7	19.7	24.0	33.6
	需求	2.8	2.9	3.0	3.1	3.4	3.5	3.6	3.9	4.2

1.2.2 炼油化工一体化优化的主要内容

要真正实现炼化一体化优化还存在着巨大的原料、价格和产品市场的空间，但由于认

识、体制、技术水平等方面的原因，过去人们往往把炼油厂和化工厂的规划、建设、生产运营互相隔裂开来。即使布局在一起，炼油和化工也是两套相对独立的体系，从原料采购、生产组织、营销等诸多方面，并没有实现一体化优化。实现炼化一体化优化有哪些主要内容呢？

(1) 原油的优化

前已述及进口原油与国内大多数原油相比，轻组分含量高，有很大的选择余地，沿海、沿江各企业可根据一体化优化的需要，“宜烯则烯、宜芳则芳”地选择原油品种。内地企业随着石油化工工业的发展，绝大多数炼油厂也加工多种不同的原油。以兰州石化公司为例，原油的来源相当复杂，目前所加工的原油有北疆原油、南疆原油、牙哈原油、彩南原油、吐哈原油、青海原油、长庆原油，另外有时还加工哈萨克斯坦原油。不同的原油性质、组成相差很大，表 1-3 列出了不同原油的石脑油馏分的三烯收率。

表 1-3 不同原油的石脑油馏分在相同条件下裂解时的三烯收率

石 脑 油	乙烯收率/w%	丙烯收率/w%	丁二烯收率/w%	三烯总收率/w%	芳烃潜含量/%
长 庆	29.52	13.75	5.77	49.04	41.56
吐 哈	31.99	13.72	5.99	51.70	36.86
南疆(库西)	32.69	13.69	5.34	51.72	24.56
北疆(乌石化)	33.06	14.69	4.66	52.41	25.50
青 海	30.08	12.30	5.44	47.82	36.66
哈萨克斯坦	27.37	13.67	5.78	46.82	—
玉门(2005 年)	29.19	13.83	5.29	48.31	—

所以不论作为乙烯原料，或作为油品生产都有优化配置的必要。不同原油的馏分油加工应用方法有所不同。北疆油为低硫中间基原油，其减压馏分油可作润滑油的基础油；吐哈原油为石蜡基原油，其减压馏分油残炭低、金属含量低，很适宜于作加氢裂化的原料；长庆原油、吐哈原油的渣油饱和烃含量高，胶质、沥青质含量低，残炭低，金属含量低，适于作重油催化裂化的原料；南疆原油和北疆原油的渣油中重芳烃、胶质、沥青质含量高，饱和烃含量低，不宜作重催料而适于作溶剂脱沥青的原料。将原油进行分馏分炼，各种馏分油和渣油可以按照其不同的性质和特点，合理配置，做到物尽其用，将是企业内部挖潜增效的简便易行而效益可观的手段，是精细管理的科学方法，是炼油化工一体化优化主要内涵之一。

(2) 原料的优化配置

石油化工是以原油、天然气、油田气为主要原料生产燃料、润滑油、石蜡、沥青、油焦、基础原料(乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘)、基本有机原料、合成塑料、合成纤维、合成橡胶、合成氨以及其他有机化工产品的工业部门。石化产品是石油链的自然延伸。石油化工的基础，也就是烯烃和芳烃，来自于炼油产品，如液化气、石脑油和减压瓦斯油；石油化工业能向炼油业提供许多有价值的产品，如：氢气、燃料油及蒸汽和电等公用工程。炼油企业具有发展石油化工的原料优势，如催化裂化产生的炼厂气用途广泛，其中丙烯可转化为聚丙烯，苯和乙烯可转化为聚苯乙烯；催化重整装置可生产芳烃，芳烃中的三苯和重芳烃是重要的基础化工原料；渣油或焦炭气化生产合成气，通过联合循环，还可发电、制氢。炼厂向化工延伸，可降低原料运输损耗、减少储量，充分利用公用工程和设备，从而使资源得以充分利用。炼厂气、芳烃的综合利用以及渣油气化制合成气，是炼厂提高加工深度向石化延伸的主要手段。炼油化工一体化中的乙烯厂在乙烯原料优化上有非常大

的潜力，也是降低乙烯生产成本的主要途径。从表 1-1 可以看出，乙烯裂解原料不外乎 4 种，而且石脑油的比例迅速提高。石脑油既可作为乙烯原料，又可作为催化重整的原料，适合作乙烯原料的石脑油，往往不宜作催化重整原料，反过来也一样，芳烃潜含量高的适于作催化重整原料却不宜作乙烯原料。

(3) 能源的充分利用

近年来我国炼油企业的节能工作逐渐向广度和深度进展，取得了很大的成绩，主要工艺装置的能耗大大降低，如常减压蒸馏、焦化等，国内先进装置的能耗基本接近世界先进水平，但从石化企业的整体来看，无论是加工单位原油，还是单位化工产品的能耗都普遍比国外要高出不少，具体表现在全厂的蒸汽动力系统、原料和产品储运系统及其他系统(包括厂区采暖、空调等等)能耗高，主要原因是全厂各工艺装置间及装置与这些系统间缺乏热联合，缺乏对大系统能源的一体化、总体优化利用的考虑。气体分馏装置温度较低，且本身的热源不能满足装置的需要，是很好的低温热阱；而催化裂化装置温度较高，有足够的低温热可以输出。在大系统范围内进行热匹配，也就是通常所说的热联合或热集成，使这些热阱充分利用低温余热源，实现优化匹配；既节约大量高温热源，又减少大量冷却水耗。

从系统工程的角度来看，一个炼化一体化企业，可以把生产系统分成三个子系统：工艺过程子系统、热回收换热网络子系统和全厂蒸汽动力公用工程子系统。其中后两个子系统构成了过程工业生产系统中的能量系统，称为全厂总能系统。总能系统的优化综合是指在各生产过程换热网络优化综合的基础上，通过安排过程之间的热量交换，合理配置热机做功和背压蒸汽加热的关系，以使全厂总能量消耗最小。

从 20 世纪 70 年代末至今，国内外许多学者都以换热网络子系统和蒸汽动力公用工程子系统，以及全厂总能量系统整体优化作为前瞻性课题展开了卓有成效的研究，并应用所开发的过程系统能量优化集成技术对现有能量系统进行改造或设计新过程，取得了很大的节能效益。这方面代表性的工作有英国 Linnhoff 等所开发的夹点技术(Pinch technology)。应用夹点技术设计的换热网络，可使装置加热公用工程和冷却公用工程用量达到最小。80 年代中期，Grossmann 等结合夹点技术提出了基于转运模型的能量系统优化综合数学规划法，可用于解决复杂的大规模能量系统的优化设计问题。随后，全世界有 30 余个国家都报道了采用夹点技术或基于夹点技术的数学规划法在过程工业节能中取得的成效。这些技术/方法在 90 年代又有了新的发展，Linnhoff 提出的总组合线热集成概念可以将动力的发生与热能的供应有效地结合起来，以使系统对外界所需的燃料及动力总消耗量最小，从而使单个换热网络或蒸汽动力系统的热集成优化扩展到全厂总能量系统的优化。

近 20 多年来，我国设计院、高等院校也曾对能量系统优化技术进行了深入的研究，并与企业共同合作，对企业中的换热网络和蒸汽动力系统进行节能改造，取得了相当可观的效益。但由于对全厂层次的总能系统则较少进行综合优化考虑，因此虽然有些装置的能耗已接近世界水平，但整个炼油厂的单位原油加工量的能耗还高达 3~4GJ，相当于每加工 1 吨原油就要消耗 70~95kg 标油，占加工原油量的 7%~9.5%。其主要原因除了一些生产装置，如催化裂化、加氢裂化等的能耗比较高以外，全厂各工艺装置之间以及各装置与全厂蒸汽动力系统、原料和产品储运系统以及其他辅助系统之间还缺乏热联合或热集成。炼化一体化企业的热源、热阱的温位分布很宽，一般在 -160℃到 500℃之间。如果仅在各装置内部进行换热回收，显然节能效益有限，且不一定合理。例如催化裂化、加氢裂化、焦化等高温装置，不仅热源过剩，且相互匹配的热源及热阱间的传热温差都远比最优值高，影响了能量的有效

利用。另一方面,气分、烷基化、污水处理等装置温度较低,且其本身的热源都不能满足装置的需要,显然这些装置内有大量的低温热阱。国内某炼油厂将催化裂化装置和焦化装置的低温油品(低于150℃)与加热锅炉用水和催化剂冷水、生活区供暖和供水作为一个大系统来考虑,通过做功发电与回收余热,全厂能耗降低了0.12~0.16GJ/t。因此,在全厂范围内进行热联合或热集成,既可节约高温热源,又可节省大量冷却水,存在巨大的节能潜力。

总之,全厂能量系统集成优化的空间很大,是降低炼油、化工加工成本、减少能源消耗、改善环境的十分有效的措施。

(4) 产品结构的优化

炼化一体化使石化企业在需求、价格风云经常变幻的市场上有了纵横捭阖的余地。当市场上油品滞销,而化工产品需求旺盛,就可以及时调整产品结构,减少油品生产,多产化工产品。当市场上油品旺销,而化工产品相对疲软的时候,就可以作出相反的决策,真正实现由市场拉动,达到效益最佳化。

1.2.3 炼油化工一体化优化的效益来源分析

对于现有的石化企业,提高效益、改善环境、可持续发展的途经之一,是实现炼化一体化,在一体化的基础上实现优化。炼化一体化优化的主要经济效益来源于:

a. 炼化一体化可使炼油和化工紧密衔接,选择适合自己企业特点的原油。

b. 实行物料、能量互供、信息共享,从而优化资源配置,实现效益的最佳化。如:

• 可使炼厂原来数量少不值得或不可能利用的资源得到充分利用,变废为宝。如:炼油厂催化裂化、延迟焦化等装置的干气,过去主要作为炼油装置所需的燃料被烧掉。这些干气里含有相当量的乙烯、乙烷、丙烯、丙烷,是蒸汽裂解装置的优质原料,但需经过精制。每吨精制干气可得乙烯约0.59吨,若炼厂每年提供10万吨精制干气,可使乙烯生产降低原料成本3000多万元。

• 化工生产中的副产品也可供炼油使用。如乙烯装置副产裂解燃料油可以送到炼厂作焦化原料,碳五、碳九馏分也可送炼厂做调和汽油。

c. 炼化一体化实现原料互供可减少储罐建设,缩短物料运输距离,大大降低储运成本。

d. 产品结构优化,实现效益最佳化。

炼油化工一体化作为一种战略,正为国内外越来越多的石化企业所采用,国外一些大型石油化工企业,如Exxon、Mobil、Shell、BP、Fina公司等多年前就开始了炼油化工一体化的优化策略的研究,并取得了很好的经济效益。如BASF和Fina联合建设的90万吨/年乙烯厂与炼油厂实行一体化,每年产生6000万美元的协同效益。新加坡的炼油厂和石化厂一体化和非一体化对比(乙烯装置能力60万吨/年),投资节省 3510×10^4 美元(节省3.6%),固定操作成本节省14.5%。与国外相似,我国的石化工业也逐步向炼油化工一体化方向发展,依据资源优化配置的需要,对资源流向进行优化调整,使之符合效益最佳化的要求。

1.2.4 炼油化工一体化优化应从决策管理入手

我国进入WTO以后,一切生产经营活动都要与世界接轨,才能在世界市场竞争中真正做好、做大、做强,立于不败之地。对于现有一体化的石化企业,要实现炼油化工一体化优化要从优化管理入手。从发展过程来看,企业的生产经营管理经历了“传统管理”、“科学管理”和“优化管理”三个阶段。

在传统管理阶段,生产的领导者、组织者在多年生产实践的基础上,根据企业生产装置的实际情况,考虑原油、调度、销售等部门的意见,结合上级的行政指令以及原油、成品油、化工产品市场的实际情况,制定出各自的生产计划方案。一般情况下,此方法现实可行,接近企业的实际,而且能随时协调炼油与化工及其他各方面因素的变化。但是,这种方法对企业炼油化工一体化优化计划的制订、调整和各职能部门之间的协调都是凭生产管理人员的经验,用手工计算的方式进行的,数据准确性差,编制时间长,实时性差,人的洞察力、决策力对管理水平有直接的影响,可能会出现决策上的延误。当出现新品种原油、成品油、化工产品或生产流程、装置条件发生新的变化时无从下手。另外,还受人的主观决策能力和管理水平的直接影响,基本上没有实现炼油化工一体化的优化。对于有着复杂工艺过程的大型石化企业,特别是在市场瞬息万变的今天,经验管理的方法显然已无法适应现代生产的要求。在生产形势迅速变化时,常出现决策上的延误。

所谓科学管理,是根据生产过程的特点,按照最经济合理的原则确定合理的层次结构,实现科学的分工和协作,并使用电子计算机采集和加工信息,完成主要的计算工作量。这样极大地提高了工作效率和预测能力,但是从管理人员的决策水平来说仍属于定性的判断。

计算机的广泛应用以及系统工程理论和方法的运用使管理水平提高到“优化管理”阶段。优化管理的基本思想是将生产管理看作是一个管理信息决策系统。从系统整体的目标出发,周密考虑并用数学语言描述系统内各个组成部分相互间的制约关系,建立能反应生产实际的数学模型,定量地寻求系统整体的最优策略。它的主要理论基础是运筹学、系统工程和现代控制论,最大特征是决策过程的模式化和定量化。在市场经济中原材料、能源和产品的价格瞬息万变,及时调整用以指导生产经营的炼油化工一体化优化的生产计划,优化产品结构,提高经济效益是石化企业生产管理的当务之急。管理和科学技术一样也是现代经济发展的要素之一。通过提高管理水平,能使有限的资金、资源、能源和设备在一定的时间内发挥更大的效益。

1.3 石化企业炼化一体化优化的数学模型

1.3.1 数学模型的作用

实现石化企业炼油化工一体化优化不能停留在认识上、定性上,必须给出定量的一体化优化方案。因此,必须首先建立能反映实际情况的,且便于计算求解的数学模型,这是较为困难的一步。经济管理中主要应用数学模型定量地描绘变量和其他重要因素间的关系和影响,数学模型是现实客观事物的表示和体现,既反映实际,又是现实事物的一种抽象。通过数学模型可以定量地研究事物的内在关系和共性,可以解决实际问题,因此所建立的模型必须能够反映实际事物所要研究方面的特征。模型的建立是一个长期的过程。一个成功的模型是经过不断地修改才能得到的,而且模型的修改和完善没有终点。当外界条件改变时,必须对模型进行相应地修改,以符合当前的情况,所以对一个模型的评价也要根据当时的具体条件而论。一般来说,模型的建立遵循着如图 1-1 所示的过程。由图 1-1 可见,后一个模型是对前一个模型的修正、精炼和提高(也可能推倒重来),经过几番修改后得到符合要求的模型,但这是有条件的。当情况变化时,如炼油厂的原料油种类或乙烯原料油发生变化,市场对产品需求的改变,装置的添置或生产能力的改变等都必须重新修改模型以使经济效益达到最大。所以说模型的修改没有终点。当然在第一个模型的基础上,已经有了经验,以后的修