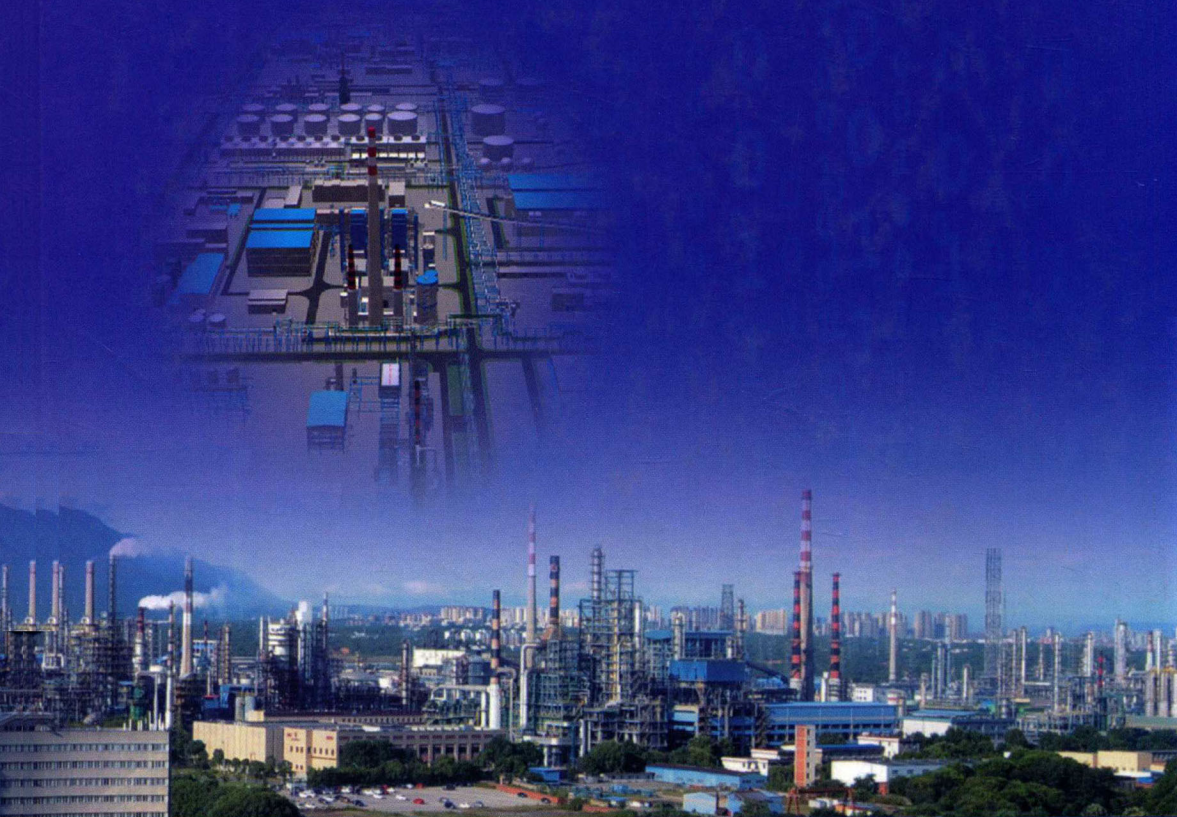


“十三五”国家重点出版物
出版规划项目



石油化工智能制造

覃伟中 谢道雄 赵劲松 等编著



化学工业出版社

“十三五”国家重点出版物
出版规划项目



石油化工智能制造

覃伟中 谢道雄 赵劲松 罗重春 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

《石油化工智能制造》系统总结了中石化九江石化建设国家级“石化智能工厂”和国家级“绿色制造示范工厂”的先进经验以及国家自然科学基金委员会重大项目“炼油生产过程全局优化运行的基础理论与关键技术”系列成果，全面阐述了以智能化为手段实现企业经济效益最大化的卓越运营路径，系统描述了基于预知预防的安全环保和设备管理等智能化应用领域，详细讲述了石油化工智能制造的基础设施和保障条件，明确提出了实现智能制造所必需的体制机制与管理创新。

《石油化工智能制造》是作者及其团队多年来的一线研究成果，是国内外首部系统论述石油化工企业智能制造的专著，紧紧围绕“经济效益最大化”和“本质安全环保”两个目标，系统论述了石化企业智能制造路径、方法和策略。本书的出版将为石油化工行业节能降耗、提质增效、转型发展，贯彻实施“中国制造2025”战略和“互联网+协同制造”行动计划，建设智能工厂、绿色工厂等提供具体指导。

《石油化工智能制造》可供石油化工企业和研究机构的管理人员、信息化科研人员和生产技术人员阅读，也可供钢铁、冶金、食品、电力等流程型企业科技人员和高等院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油化工智能制造/覃伟中等编著. —北京: 化学工业出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-122-32520-4

I. ①石… II. ①覃… III. ①石油化工-智能制造系统-九江 IV. ①TE65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 139233 号

责任编辑: 杜进祥 丁建华

装帧设计: 韩 飞

责任校对: 王 静

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 河北鹏润印刷有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 24½ 彩插 1 字数 483 千字 2019 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 188.00 元

版权所有 违者必究

序 言

我国石化行业在全球占据重要地位，炼油、乙烯能力均位居世界第二位，但是“大而不强、快而不优”以及安全环保问题依然突出。认真学习贯彻并落实党的十九大精神，“加快建设制造强国，加快发展先进制造业，推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”，推行智能制造、绿色制造势在必行。

“十二五”以来，九江石化致力于探索传统石化企业智能制造，率先在国内建成“装置数字化、网络高速化、数据标准化、应用集成化、感知实时化”的石化智能工厂框架，初步打造了一个集绿色、高效、安全和可持续发展于一体的石化智能工厂，2015年7月入选国家工信部首批智能制造试点示范项目（行业唯一）。

本专著的取材一方面考虑了系统性、学术性；另一方面又突出了实用性，以实例贯穿全书，包含了作者及其团队“十二五”及“十三五”初期在石油化工领域智能制造方面的研究成果，不论对相关领域的工程技术人员还是广大师生和科研工作者，都有很好的指导作用和参考价值。全书内容新颖而系统，具有以下特点：

一是原创性强。本书是国内外首部系统论述石油化工智能制造的专著，具有鲜明的时代特征，填补了国内外石油化工领域智能制造工程技术类图书的空白。

二是实用性强。基于对石油化工行业的熟悉，以及对智能制造的深刻理解，提出了传统石化企业实现智能制造的路径与方法、策略，具有较强的实用性和参考价值。

三是理念、方法得到实践验证。本书着重阐述了“经济效益最大化”和“基于预知预防的安全环保和设备管理”两条主线，是在长期成功实践基础上的理论总结。

本专著针对流程工业的特点和难点，探索出了一条适合石化流程型制造业面向数字化、网络化、智能化制造的路径，对于钢铁、冶金、食品、电力等流程型制造业“建成什么样的智能工厂”以及“怎样建设智能工厂”等问题，也具有非常强的借鉴、指导作用。

中国工程院院士

陈丙珍

2018年5月于清华大学

前 言

石油化工是我国国民经济支柱产业。加快推进智能制造，是顺应时代发展的迫切需要，是落实党中央战略部署的具体行动，也是企业转方式调结构、提质增效升级的内在需求。当前，石油化工行业除面临生产运行自身特点带来的挑战外，市场竞争加剧、能源供应转变、生产方式变化、全球地缘政治等因素也给企业生产运行带来重大挑战。主要表现在：一是受全球气候及环境因素制约，产品质量升级、节能减排、绿色低碳成为能源生产与消费主流；二是能源多元化、页岩气（油）、煤基燃料化工等石油替代产业快速发展，推动了替代能源的迅速发展；三是原油价格波动、市场需求放缓、炼油产能过剩、产品结构不合理、市场化改革方向等导致国内外市场竞争加剧；四是信息技术发展、信息化与工业化深度融合以及新商业模式等，对能源生产供应及消费方式产生深刻影响。

特别是，以信息技术为龙头的新一轮科技革命，引起了各国政府的高度重视。发达国家纷纷制定以重振制造业为核心的再工业化战略，加快推进智能制造进程，重塑竞争优势；发展中国家抓住产业链重组和调整机遇，积极参与产业再分工，开启智能制造进程，力求掌握更多主动权。2012年，美国政府和一些跨国企业利用其互联网优势提出“工业互联网”概念，通过人机连接，结合软件和大数据分析，升级关键工业领域；2014年启动以先进传感器、工业机器人、先进制造和测试设备等为代表的智能制造，力图重塑其制造业的全球竞争优势。2013年，德国基于其制造业基础发布的《实施“工业4.0”战略建议书》和路线图，将虚拟网络——信息物理系统（CPS）定义为工业4.0，智能制造是其重点内容之一。2014年，印度提出物联网策略，打造“印度制造”和“数字印度”。与此同时，日本、英国、法国、韩国等都相继推出了各自的制造业智能制造计划，以期实现传统产业的转型或开拓新兴产业，占领产业竞争的制高点。2015年，中国政府发布《中国制造2025》纲要，进一步推进信息化和工业化深度融合，这是增强我国综合国力、提升国际竞争力，推动中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变，实现从制造大国向制造强国迈进的重大战略部署。国家工信部以此推出了智能制造试点示范专项行动计划，在各行业企业大力推进数字化、网络化、智能化制造，遴选试点示范企业，实施创新发展战略，加快经济转型升级。

“十二五”以来，石油化工行业认真落实党的“十八大”战略部署，积极推进“两化”深度融合，以智能制造为重要抓手，有效应对经济新常态下面临的各

种挑战，特别是中石化、中石油、中海油等中央企业及其下属单位，将先进的信息技术与传统石化流程型工业的核心业务紧密结合，涌现了一批石油化工智能制造典型企业。中石化“十二五”期间在九江石化、镇海炼化、茂名石化、燕山石化开展石化智能工厂试点建设，取得了较好的应用效果，围绕生产运行核心业务建成投用的炼化一体化全流程优化平台大幅提升了资源优化和调度指挥水平，提高了经济效益；“环保地图”系统实时在线监测废水、废气排放和环境空气，确保了清洁生产；安全管理系统实现生产的“全员、全过程”安全管理，提升了安全管理水平和应急指挥能力；能源管理和优化系统有效推进了节能减排工作；设备状态监测和预防性维护维修支撑装置设备安全稳定可靠运行；新增各类系统实现了集中集成和标准化，有效减少了“信息孤岛”和“业务孤岛”现象。中石化九江石化 2015 年被国家工信部评为全国首家石化智能工厂试点示范企业，2017 年被国家工信部评为全国首批国家级绿色工厂、“两化”融合管理体系贯标示范企业。

石油化工行业智能制造是一项复杂的系统工程，涉及专业面广、流程长、内容多。本书以石油化工企业的智能工厂试点建设为主要切入点，结合高校院所、石油化工行业系统集成商、国内知名自动控制系统供应商以及 ICT（信息通信技术）厂商相关理论与经验，梳理、总结“十二五”以来围绕企业发展、经济效益、安全生产、环境保护以及企业管理等核心业务建设智能工厂的一些具体做法和经验，编撰成书。

本书是“十三五”国家重点出版物出版规划项目并获得化学工业出版社出版基金资助出版。本书编写的目的，是为持续推进石油化工行业数字化、网络化、智能化制造的发展，可为高等院校、科研院所、工业企业、ICT 企业的研究人员、工程技术人员或管理人员提供借鉴和参考。

本书由覃伟中、谢道雄、赵劲松、罗重春等编著。第一章由覃伟中、马健、罗敏明、覃水负责编写；第二章由覃伟中、谢道雄、邹圣武、邱彤、宋光、王涛、袁志宏、何恺源、郑京禾、余伟胜、雷凡负责编写；第三章由覃伟中、罗重春、王敏、姜积群、赵劲松、杨小珺、帅海平、王振东、唐安中、刘华强、邹志斌负责编写；第四章由覃伟中、刘平、马健、何恺源、徐燕平、康伟清、刘长鑫、王琤、舒勇、李代青、龚剑、郑朝阳、孙伟、武金伦、何辉、朱彤负责编写；第五章由覃伟中、仲建文、王海松、袁健、刘平、郑欣、沈七三、刘志忠负责编写，全书由覃伟中定稿。全书为完整体系，各章也可独立阅读；书中配有二维码，通过扫描可观看智能工厂、智能巡检、三维数字化工厂等六个视频动画以及部分彩色图片，方便读者深入了解。

由于作者水平和时间有限，书中难免疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正，以期日后的不断修订和提高。

编著者

2018年5月30日

目 录

第一章 绪论

1

第一节 国内外石化工业的现状与发展趋势	1
一、全球石化工业最新格局	1
二、中国石化工业发展趋势	7
第二节 全球新一代信息化技术的发展趋势	10
一、网络与通信	10
二、工业物联网	15
三、云平台与大数据	19
四、虚拟/增强现实	24
五、人工智能	27
第三节 石化工业智能制造现状及面临挑战	32
一、石化工业特点及智能制造进展	32
二、国内外重点石化企业信息化建设进展	33
三、新一代通信技术用于工业环境	42
四、石化过程数字化建模的复杂性	49
五、石化流程企业智能化升级挑战	53
参考文献	54

第二章 以经济效益最大化为目标的卓越运营

56

第一节 石化敏捷生产的关键要素	56
一、原料与产品市场价格快速变化	56
二、原料油性质的快速与准确评价	58
三、采购性能价格比最高的原料油	59
四、最大化产出原料油每馏分价值	63
五、成品油及石化产品的质量效益	64
第二节 石油化工生产装置建模与优化	66
一、石化生产装置的数学模型	66
二、机理建模与数据驱动建模	67
三、石化生产装置与过程模拟	83

四、石化装置建模与优化方法	84
第三节 以月为时间尺度优化生产	86
一、经济效益最大化排产方案求解	86
二、单装置模型修订计划排产参数	88
三、生产装置未知工况下收率预测	90
四、生产装置案例库自动搜索匹配	94
五、计划排产与生产执行闭环反馈	106
六、更短周期优化排产可行性	112
第四节 实时优化与先进过程控制	115
一、实时优化系统及应用	115
二、先进过程控制及应用	122
三、计划调度与操作集成	125
第五节 工业大数据优化技术及应用	127
第六节 工艺技术与能源管理智能化	137
一、工艺技术管理智能化	137
二、能源管理智能化	143
第七节 原油与成品油在线自动调和	147
一、原油在线自动调和	147
二、成品油在线自动调和	154
参考文献	160

第三章 基于预知预防的安全环保和设备管理

163

第一节 报警仪及工业视频集中管理	163
一、全厂报警设施集中管理	163
二、全厂工业视频集中管理	165
三、报警仪与工业视频联动	167
四、生产装置工艺报警管理	169
第二节 施工及作业票证管理	174
一、基于风险管控的作业备案管理	174
二、面向作业管控的许可票证管理	178
三、基于安全资格培训的门禁管理	182
四、基于现场监管的无线视频监控	184
第三节 危险与可操作性分析(HAZOP)	186
第四节 企地联动应急指挥平台	194
第五节 生产装置现场巡回检查	204

第六节 全厂三维立体人员定位	209
第七节 全过程环境监测与管控	219
一、石化企业多层级环境保护体系	221
二、从源头到结果全过程环境管控	225
三、基于 4G LTE 移动可燃气体检测	229
第八节 设备管理智能化	238
一、基于预知预防的设备维护维修	240
二、设备与资产的全生命周期管理	245
参考文献	250

第四章 石油化工智能制造的基础设施

252

第一节 石化流程型企业信息物理系统	252
一、信息物理系统的定义及应用	252
二、石化流程企业信息物理系统	254
三、构建流程工业信息物理系统	257
第二节 复杂工业环境移动宽带专网	260
一、移动宽带网络：智能制造高速路	260
二、4G 企业专网及 4G 运营商公网	266
三、构建复杂工业环境移动宽带网络	267
四、多种制式下的音视频融合通信	272
第三节 窄带无线低功耗企业广域网	278
一、无线低功耗广域网：智能制造的重要基础	278
二、NB-IoT 在工业企业应用：eLTE-IoT	282
第四节 分子级原(料)油物性表征	288
一、原(料)油的常规物性表征方法	288
二、原(料)油分子级物性快速表征	292
三、分子级物性快速表征数据的应用	298
第五节 消除各类“孤岛”实现集中集成	302
一、企业级中央数据库	304
二、企业服务总线(ESB)	311
第六节 质量计量设施自动化智能化	318
一、LIMS 系统支撑智能化升级	318
二、样品采集送检标准化智能化	325
三、计量数据采集自动化智能化	328
第七节 工控与信息安全策略及设施	339

一、工控与信息安全风险分析	339
二、工控与信息安全策略设计	340
三、工控与信息安全基础设施	342
参考文献	346

第五章 智能制造的体制机制与管理创新

349

第一节 管理模式与业务流程优化	349
一、典型石化企业的管理体制与运行机制	349
二、从分散走向集中：智能制造关键一步	350
三、从“烟囱”到“矩阵”：推动智能化升级	353
四、面向未来：从集中管控迈向智能管控	354
第二节 面向智能制造的运行维护	358
一、“管、建、维”分离运行体制机制	358
二、各类软硬件系统的运行维护管理	361
第三节 工程全数字化交付与数字化重建	368
一、工程建设的全数字化交付	368
二、以应用需求为导向的数字化重建	374
第四节 石化企业智能制造决定因素	377
一、植入智能制造基因	378
二、避免若干认识误区	379
三、“人”是决定性因素	379
参考文献	380

致谢

381

绪 论

本章系统分析了国内外石化工业的现状与发展趋势，揭示了全球新一代信息化技术的发展，并从石化工业特点以及智能制造进展、典型石化企业信息系统架构、新一代通信技术用于工业环境、石化过程数字化建模的复杂性、石化流程企业智能化升级挑战等方面，阐述了石化工业智能制造现状及面临的挑战。

第一节 国内外石化工业的现状与发展趋势

近年来，世界经济复苏缓慢、增长乏力，中国经济发展进入新常态，全球能源需求增速放缓。世界能源结构向低碳、清洁化转变，以石油、煤炭为代表的化石能源在一次能源结构中的比例逐渐下降，天然气和以风能、太阳能等为代表的可再生能源快速发展。在美国页岩油快速增长等因素推动下，全球石油市场呈现供需宽松态势，国际油价在中低位运行。

全球石化工业产能增速趋缓、格局深度调整，石油石化产品需求稳定增长，炼油工业继续向深加工、分子级炼油方向发展，石化工业原料趋于低成本、多元化，石化产品转向功能化、个性化，炼化一体化、绿色化、低碳化、智能化特征更加凸显。

我国石化工业经过多年发展，炼油化工能力大幅提升，已迈入全球石化大国行列，但布局结构不尽合理，低端落后产能过剩，高端石化产品仍然大量依靠进口。我国石化工业已进入加快化解过剩落后产能、增产清洁高效燃料，调整成品油产品结构、生产高端石化产品的发展新阶段。

一、全球石化工业最新格局

进入 21 世纪，全球炼油化工格局呈现新的变化，石化产业集聚发展，形成了东北亚、北美、中东、西欧等石化产业集群。东北亚地区石化产业迅速发展，

成为全球最大石化产业生产地；北美地区石化产能因页岩油气开发带动持续增长，位居全球第二位；中东地区石化产能依托低廉原料资源继续快速发展，位居全球第三位；西欧地区石化产能则因成本高、环境保护等因素不断萎缩，目前下滑至第四位。

(一) 炼油及乙烯生产能力

1. 炼油能力增速放缓

世界炼油能力从 2005 年的 42.6 亿吨/年增加到 2016 年的 48.7 亿吨/年，年均增速 1.22%，低于 1995~2005 年期间的 1.36%，见表 1-1。未来 5 年，随着新兴市场地区炼油项目建设继续推进，世界炼油能力逐渐增长，但在成品油需求增速放缓背景下，炼油能力将呈总体过剩、竞争加剧态势。预计到 2020 年，世界炼油能力将达到 51.8 亿吨/年以上^[1]。

表 1-1 世界各地炼油能力

单位：亿吨/年

地区	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	年均增速/%	
						1995~2005 年	2005~2015 年
亚太	7.4	10.1	11.1	12.4	13.2	4.1	1.7
西欧	7.1	7.2	7.5	7.3	6.7	0.6	-1.0
东欧和前苏联	6.4	5.4	5.1	5.2	5.1	-2.1	0.0
中东	2.7	3.0	3.5	3.6	4.7	2.8	2.9
非洲	1.4	1.6	1.6	1.6	1.7	1.3	0.4
北美	9.4	10.0	10.4	10.7	10.8	1.1	0.4
南美	2.9	3.3	3.3	3.3	2.9	1.1	-1.3
世界	37.2	40.6	42.6	44.1	45.1	1.3	0.6

注：数据来源：《油气杂志（Oil & Gas Journal）》。

2. 乙烯主产地转移

2016 年，全球乙烯产能达 16377 万吨/年，产量 14656 万吨^[2]，主要分布在东北亚、北美、中东、西欧和东南亚等地区，见表 1-2。欧洲、日本由于整合乙烯产业，关停落后产能及不再新建乙烯装置，未来该地区乙烯产能将有所下降。但随着北美、中东、中国、印度等国家和地区新装置开车，全球乙烯产量整体呈增长趋势。预计 2020 年前全球乙烯产能年增速 3%，2020~2025 年增速降至 1%。

表 1-2 2016 年全球乙烯产能和市场供需情况

单位：万吨/年

地区	产能	产量	进口量	出口量	消费量
非洲	154	106	4	0	104
中东欧	679	521	16	2	523
印巴	500	485	11	0	440

续表

地区	产能	产量	进口量	出口量	消费量
中东	3229	2813	7	40	2750
北美	3659	3253	2	21	3285
东北亚	4177	4034	211	177	4091
南美	540	415	5	8	445
东南亚	1184	1005	91	50	1084
西欧	2254	2025	13	63	1962
世界合计	16377	14656	361	361	14684

注：数据来源：IHS、中石化经济技术研究院^[2]。

(二) 国际原油价格波动分析

国际油价波动走势受市场供需、金融监管、货币政策、地缘政治等多种因素影响^[3]。从 1859 年世界第一口油井钻探成功以来的 150 多年间，国际原油价格（以 2014 年美元计价）多数时间段在 40 美元/桶以下运行，超过 60 美元/桶的高油价多由短期或意外事件推动，且持续时间较为有限，可以说油价低位运行是国际油价历史常态，如图 1-1 所示。

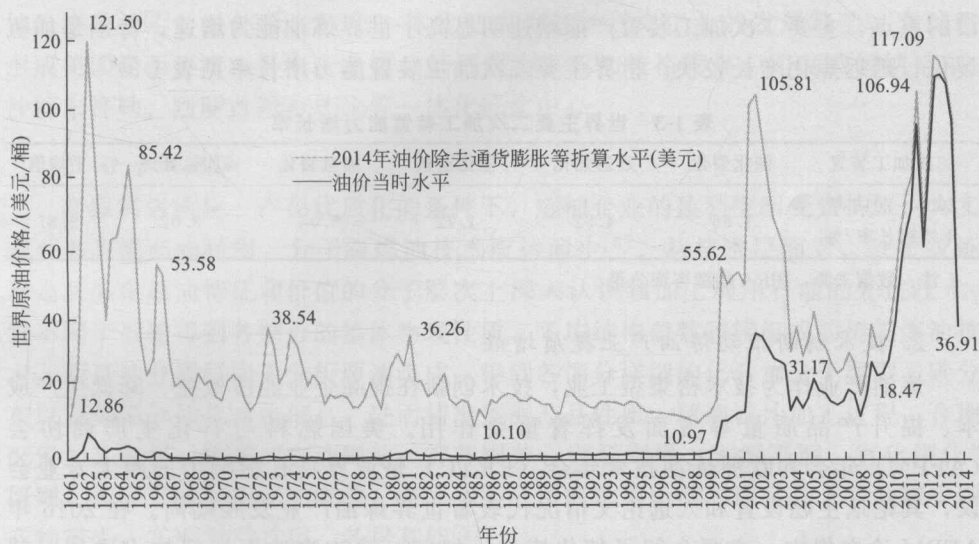


图 1-1 1961~2014 国际原油价格年度走势

数据：1961~1983 年，阿拉伯拉斯塔努拉港轻质原油数据；

1984~2014 年，布伦特数据

进入 21 世纪，随着中国等新兴经济体经济高速发展，引起国际原油需求大幅增长，全球原油市场供需形势不断吃紧，原油价格在 2005 年突破 60 美元/桶

以后迅速攀升，2008 年高点达 147.25 美元/桶；2008 年金融危机推动国际油价短暂下跌后，2011~2014 年再度攀升至 100 美元/桶左右高点。国际油价不仅推动全球油气勘探开发进入热潮，煤层气、页岩气和深海油气田得到快速发展，煤制油、煤制气以及新能源等替代能源也实现快速突破。

特别是美国页岩革命以来，美国石油产量不断刷新预测，大幅增量翻转了国际石油市场平衡状态，并促使美国政府于 2015 年年底解除了长达 40 年的原油出口禁令，美国已成为影响全球油价走势的关键力量。面对美国等非欧佩克成员国原油产量不断增长的巨大压力，欧佩克采取以价格战保护市场份额的不减产策略，与此同时，世界经济复苏缓慢导致石油需求增长乏力，替代能源的快速发展和能效提高也抑制了需求增长^[3]。这种供给侧产量快速增加和需求侧消费增长明显放缓的双重作用，加之金融监管趋严、强势美元等因素，推动 2014 年 7 月~2016 年初国际油价断崖式下跌，并一度跌至 26.21 美元/桶低位。

(三) 炼油继续向深加工发展

1. 炼油产业深加工能力快速提升

为应对原油资源劣质化、重质化趋势，满足石油产品轻质化、清洁化需求，近年来，世界炼油产业深加工水平不断提高，原油深度加工成为新增炼油能力建设的重点，主要二次加工装置产能增速明显高于世界炼油能力增速，特别是加氢裂化、延迟焦化增长较快。世界主要二次加工装置能力增长率见表 1-3^[4]。

表 1-3 世界主要二次加工装置能力增长率

二次加工装置	催化裂化	延迟焦化	催化重整	加氢裂化	加氢处理	平均值
2000~2016 年 年均增长率/%	1.66	4.52	1.72	5.08	3.02	2.87

注：数据来源：PIRA 能源咨询公司。

2. 技术创新推动炼油产业提质增效

炼油产业作为技术密集型工业，技术创新在提高企业经济效益、降低生产成本、提升产品质量等方面发挥着重要作用。美国燃料与石化生产商协会 (AFPM) 年会和欧洲炼油技术年会 (ERTC) 是业界具有影响力的两大专业会议，其论坛主题设置和入选论文情况代表着世界炼油产业发展动向。在 2016 年 AFPM 论文集中，主要介绍了催化炼化、加氢、清洁汽油生产等技术进展。其中，在催化裂化领域，巴斯夫公司用于处理渣油的硼基技术 BBT (平台) 的实验室先进裂化评价 (ACE) 结果显示，与基准情况相比，氢气产率降低 27%，焦炭产率下降 22%，石脑油和轻循环油 (LCO) 收率提高 0.75%，基于该技术开发的催化剂 Borocat 在多家炼厂试用取得较好成效；在加氢领域，雅宝公司基于 STAX 技术开发的镍钼催化剂已用于加氢处理；在清洁汽油生产领域，应用

中国石油大学开发的离子液体法技术的 10 万吨/年烷基化装置于 2014 年开车成功,应用 CB&I、雅宝、NestOil 开发的 Alkyclean 固体酸技术的 10 万吨/年烷基化装置于 2015 年开车成功。此外,高辛烷值汽油组分生产、节能减排技术等,已成为当前炼油行业关注热点^[5]。

(四) 炼化一体化及分子级炼油

1. 炼化一体化

石化化工作为流程型制造业,在几次石油危机中,纯燃料型炼厂和纯石化厂(即:没有炼油装置为其提供化工原料)因受原油资源、原油价格等因素影响,暴露出加工成本高、生产灵活性不足、经济效益欠佳等缺点,炼化(炼油和化工)一体化成为石化企业抵御油价波动的重要措施^[6]。随着炼油和石化生产技术的进步,以及先进信息技术的广泛应用,炼油和化工一体化的程度已由初级的以单供原料为主的“松散型”发展到全面互供原料(能量)的“紧密型”,集成度明显提高。炼油和化工一体化具有诸多优势:一是有利于原料的优化配置和综合利用,提高资源利用率,共享公用工程,减少库存和储运费用,降低综合成本;二是有利于提高炼厂竞争能力,可使炼厂 10%~25%的低价值油品转变成成为高价值的石化产品;三是有利于适应石油化工市场结构的改变,提高企业的整体经济效益^[7]。总体看,炼化一体化已成为世界石化工业的发展趋势,全球已形成美国墨西哥湾、日本东京湾、韩国蔚山、新加坡裕廊岛、印度贾姆纳格尔、沙特朱拜勒、阿联酋阿布扎比等一体化炼化中心。

2. 分子级炼油

在原料劣质化、产品优质化的条件下,炼油企业的盈利空间受到挤压,为实现石油资源充分利用,分子级炼油技术应运而生^[8]。从技术层面看,分子级炼油是从体现原油特征和价值的分子层次上深入认识和加工利用石油的先进技术,它不同于只能得到各馏分的整体物理性质、平均结构参数和族组成的传统炼油技术,而是从分子层次上分析原油组成,得到各馏分详细的化合物分子类型、碳分布以及关键单体化合物信息,进而精准预测产品性质、精细设计加工过程、合理配置加工流程,按照“宜油则油、宜芳则芳、宜烯则烯、宜润则润、宜化则化”原则,充分有效利用原油资源,将每一类分子转化为所需的产品分子,并减少副产物产生,实现物尽其用、各尽其能^[5]。

当前,分子级炼油技术已经取得巨大进展,并实现工业应用和获得巨大经济效益,典型分子级炼油技术主要包括清洁汽油生产技术、清洁柴油生产技术、分子化重油加工技术、石脑油正异构烃分离技术和炼厂干气加工利用技术等^[9]。埃克森美孚公司率先提出了“分子级管理”理念,并于 2002 年启动实施分子级炼油项目,利用专有的原油指纹技术建立反应动力学模型,准确选择原油、优化

加工流程及产品调和,最大化生产高价值产品。该公司称通过分子级炼油项目,2007年获益7.5亿美元,2002~2008年均增效5.0亿美元^[10]。

(五) 绿色低碳智能化发展

随着全球气温升高、环境恶化,石化工业对环境的污染越来越引起世界各国关注,淘汰落后的石化工艺,减少石化工业生产对大气、水和土壤的污染已成为全球共识,很多发达国家已把环境保护放在首位,将防治污染确立为基本国策。因此,为应对日益趋严的资源、环境和政策约束,石化工业必须走绿色、低碳、智能化发展之路,实现清洁生产,并生产更加有利于环保的产品。

1. 绿色生产已成为石化工业可持续发展的必然选择

当前,在节能减排方面,石化工业普遍采用在生产过程末端治理污染、降低排放的措施,这种治污措施虽然对环境质量改善起到重要作用,但作为一种补救式措施,不仅资源、能源得不到有效利用,而且治理投资和运行费用高,致使企业负担较重,运行效果欠佳。因此,需要通过技术革新,实现石化工业绿色全过程生产,从源头上减少或消除污染。绿色生产不仅使物料能源得到有效利用,而且减少废物产生、降低了废物处理费用,能够同时实现较好的经济效益和环境效益,已成为石化工业发展的趋势。目前,石化工业绿色生产主要有两种做法:一是采用分子理论设计生产石化产品,从源头控制污染物产生;二是采用全生命周期过程控制策略,努力实现原料绿色化、反应介质绿色化、化学反应绿色化和石化产品绿色化,主要技术包括“分子设计”技术、组合化学技术、纳米和微乳化技术等。

2. 炼化企业向智能化方向发展

由于炼化企业规模逐渐扩大、装置结构日益复杂,同时对原料的有效利用和产品质量要求也更加严格,因此对炼厂和装置的运行管控提出了更高的要求。当前,跨国石化企业纷纷把信息技术作为提高竞争力的核心技术之一。将先进的制造模式与网络技术、云计算等信息技术相融合,在炼厂生产经营管理中的应用越来越广泛。一些先进企业的信息化应用已进入智能化应用阶段,实现了经营管理向集中集成、深化应用以及决策分析方向发展,生产运营向感知、预测、优化以及协同智能方向发展,数据挖掘和分析能力不断提高,营运动态实时掌握,商业智能广泛应用,企业核心竞争能力不断加强。如罗克韦尔公司(Rockwell)开发的PlantPAx系统,集信息、自动控制、动力与安全于一体,炼化企业可以借助该系统的解决方案,通过一个平台对全厂的生产运营进行有效控制、优化和管理;霍尼韦尔公司(Honeywell)的Intuition Executive软件,可解决企业信息的可视化与协同问题^[11]。

随着信息技术的发展及其与制造业的深度融合,智能化必将成为炼化企业发

展的必由之路^[12]。可以预计,未来炼油企业将以物联网和无线网络为基础,通过智能数据处理实现全流程优化和实时优化,从而大幅度提升炼厂的经济效益和整体竞争力。

二、中国石化工业发展趋势

经过几十年发展,我国已从石化小国发展成为石化大国,石化工业成为国民经济重要支柱产业。但近些年来,我国石化工业发展形势复杂严峻,低端落后产能过剩,高端石化产品供应不足,亟需由规模扩张向提质增效、转型升级转变。

为推动石化产业发展,我国出台了一系列规划和政策。2014年9月,国家发改委印发《石化产业规划布局方案》。2016年10月,国土资源部印发《关于落实国家产业政策做好建设项目用地审查有关问题的通知》,对过剩行业新增产能以及未纳入石化产业规划布局的新建炼化项目一律不再受理用地预审。2016年10月,国家工信部出台《石化和化学工业发展规划(2016~2020年)》,提出产品结构高端化、原料路线多元化、科技创新集成化、产业布局集约化、安全环保生态化的“五化”发展原则。

(一) 炼油及乙烯在世界地位

2016年,我国炼油能力7.5亿吨/年、乙烯产能2264万吨/年,均位居世界第二位,已建成22个千万吨级炼油、10个百万吨级乙烯基地,形成了长江三角洲、珠江三角洲、环渤海地区三大石化产业集聚区^[13]。其中,镇海炼化、大连石化、茂名石化炼油能力均超过2000万吨/年,跻身世界最大炼厂行列;上海赛科、独山子石化等6套单套乙烯能力均超过100万吨/年。

“十三五”期间,我国将新增炼油能力1.22亿吨/年^[14]、乙烯产能1260万吨/年,预计2020年国内一次加工能力可达到8.8亿吨/年、乙烯产能可达到3400万吨/年。

(二) 石化产品未来需求预测

1. 原油

2010年之后,受商用车需求下滑、石油替代产品迅速发展等因素影响,我国石油消费增速明显放缓,2010~2016年石油消费年均增速为3.1%,由高速增长进入中低速增长时期。2016年,全国石油表观消费量5.56亿吨,同比增加0.15亿吨,增长2.8%(同比下降1.5个百分点)。石油对外依存度64.4%(同比上升3.8个百分点)。随着能效利用提高和替代能源发展,预计我国石油需求将在2030年左右达到峰值(约6.6亿吨),2030~2040年需求保持相对稳定,2040年之后需求下降速度加快。