



中石化上海工程有限公司
工程硕士实践教学用书

化工装置工艺设计 上册

HUAGONG ZHUANGZHI
GONGYI SHEJI

吴德荣 © 主编



中石化上海工程有限公司

化工装置工艺设计 上册

吴德荣 主编

 华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

化工装置工艺设计.上册/吴德荣主编.—上海:华东理工大学出版社,
2014.4

ISBN 978-7-5628-3659-9

I. ①化… II. ①吴… III. ①化工设备-设计 IV. ①TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 236803 号

工程硕士实践教学用书

全国工程硕士教指委“加强实践基地建设,提升实践教学质量”课题立项支持

上海市教委“专业学位研究生实践教学基地建设(中石化上海工程有限公司)”课题立项支持

化工装置工艺设计(上册)

主 编 / 吴德荣

责任编辑 / 焦婧茹

责任校对 / 李 晔

封面设计 / 戴晓辛 裘幼华

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地 址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电 话: (021)64250306(营销部)

(021)64252344(编辑室)

传 真: (021)64252707

网 址: press.ecust.edu.cn

印 刷 / 常熟新骅印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 17.75

字 数 / 437 千字

版 次 / 2014 年 4 月第 1 版

印 次 / 2014 年 4 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-3659-9

定 价 / 48.00 元

联系我们: 电子邮箱 press@ecust.edu.cn

官方微博 e.weibo.com/ecustpress

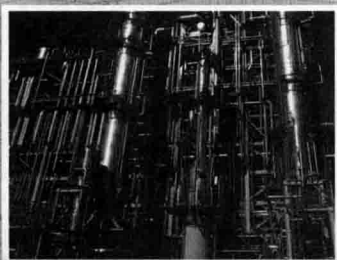
淘宝官网 <http://shop61951206.taobao.com>



工程硕士实践教学用书

全国工程硕士教指委“加强实践基地建设，提升实践教学质量”课题立项支持
上海市教委“专业学位研究生实践教学基地建设（中石化上海工程有限公司）”课题立项支持

HUAGONG ZHUANGZHI GONGYI SHEJI



本书编委会

主编

吴德荣

顾问

堵祖荫

编委(以姓氏笔画为序)

马紫峰	王江义	王玉枫	王祖真	申国勤
叶海	印立峰	叶文邦	吕世军	陈明辉
陈为群	陈迎	陈愈安	何琨	何勤伟
李真泽	沈江涛	沙裕	邵以华	张斌
张红	张永生	杨建平	杨兆银	周莹
费建良	洪蕾	柴卫工	徐尔玲	夏庭海
崔春霞	崔文钧	黄玉英	葛春方	曾颖群
缪晔	薛宏庆			

序

为了更好地服务于我国经济社会的发展,培养具有较强的专业能力和职业素养、能够创造性地从事实际工作的高层次工程人才,国务院学位委员会于1997年第十五次会议审议通过了《工程硕士专业学位设置方案》,由此拉开了我国工程硕士专业学位研究生教育的序幕。

16年间,我国工程硕士专业学位教育获得了快速发展,培养高校不断增加,工程硕士培养规模迅速扩大,培养领域迅速拓展。2009年,全国范围内开始招收全日制工程硕士研究生。目前上海市共有23所高校及科研院所开展全日制工程硕士研究生的培养,涉及现有40个工程领域中的35个。2013年3月,教育部、国家发展改革委和财政部颁布了《关于深化研究生教育改革的意见》(教研[2013]1号),强调研究生教育“以服务需求、提高质量”为主线。如何面向特定职业领域,培养适应专业岗位的综合素质,建立以提升职业能力为导向的专业学位研究生培养模式?如何使这些未走出校门的研究生的理论与实践相结合,真正培养他们的应用能力,服务经济社会的需求?在此背景下,我们必须更好地构建符合专业学位特点的课程体系和实践教材,改革教学内容和方式,探索不同形式的实践教学。

为此,上海市学位办多次组织相关高校从事工程硕士教育的专家和管理干部对如何加强实践教学的工作进行研讨,推动高校在构建实践教材和课程体系方面取得积极进展,以不断满足工程硕士专业学位研究生培养的实践教学需求。华东理工大学作为全国首批工程硕士培养单位之一,已经积累了丰富的工程硕士培养经验,并形成了自己的特色。华东理工大学与中石化上海工程有限公司结合行业岗位的实际要求,合作编写了这本工程硕士实践教学用书。该书具有实践性强、应用面广、内容通俗易懂的特点,可供相关领域工程硕士研究生开展实践学习时选用,也可为广大从事工程实践的工程技术人员提供相关参考。

这是笔者第二次看到华东理工大学根据自身的学科特色,与企业合作编写工程硕士实践教学用书,短短一年时间有三本这样实用的教材能够面世,笔者感到十分高兴。笔者相信华东理工大学经过若干年的不懈探索和努力,工程硕士的实践教学必定会取得更好的成就,研究生的教育质量将更上一层楼。

上海市学位办 束金龙

2014年3月

前 言

中石化上海工程有限公司(以下简称上海工程公司)的前身是上海医药工业设计院,创建于1953年。60年来,公司不断发展壮大的历程铸就了企业深厚的文化底蕴,在诸多工程技术领域创下了永志史册的“全国第一”。众多创新成就在各个领域跻身先进行列,为我国国民经济发展做出了积极贡献。

上海工程公司本次受全国工程硕士教指委、上海市教委和华东理工大学的委托,负责编写工程硕士实践教学用书《化工装置工艺设计》。上海工程公司集60年企业工程建设实践与理念为一体,组织多名设计大师和国家注册资深设计专家,融入了多年工程建设的智慧和经验,吸收了工程技术人员的最新创新成果,依据既注重基本理论、更着力于实践应用的原则,使教材基于理论,源于实践,学以致用,力求将专家、学者、行家里手在长期工程实践活动中积累的心得体会和经验介绍给广大的青年学子,借此希望能对工程硕士培养教育和工程实践企业基地建设有所启发、借鉴和指导。

全书分上、下两册,上册共6章,主要介绍过程工程,过程工程和化工工艺设计,典型的有机化工生产工艺,化工设计主要过程和HAZOP研究,项目管理和HSE管理等内容。下册共6章,主要介绍典型化工单元设备工艺设计,管道流体力学计算,安全泄放设施的工艺设计,典型管道配件工艺设计,工艺管道及仪表流程图P&ID设计,公用工程分配系统和辅助系统的设计等内容。本书资料翔实,内容丰富,具有应用性强、章节分明、解释准确等特点,既可作为相关领域工程硕士实践教学用书,亦可供从事化工工艺设计的工程技术人员作参考。

本书的出版获得全国工程硕士教指委“加强实践基地建设,提升实践教学质量”课题和上海市教育委员会“专业学位研究生实践教学基地建设”课题立项支持,在此表示感谢。同时,编者在编写过程中参考了许多文献,引用了一些行业资料和数据,亦在此向相关作者致谢。本书编委会的各位专家在编写过程中付出了辛勤的劳动和努力,在此表示衷心的感谢!

由于化工装置工艺设计博大精深,涉及知识浩如烟海,且在工程建设实践中不断充实、完善和发展,因此书中的不足之处在所难免,希望广大师生、同行专家和其他读者提出宝贵的意见和建议,以便我们提高水平,不断改进。

编 者

2014年3月

内容提要

《化工装置工艺设计》是工程硕士教育用书,全书分上、下两册,重点叙述化工工艺设计的基本概念、设计程序和设计方法。

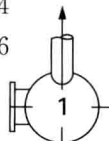
全书的编制参考了《化工工艺设计手册》等书籍和有关期刊文章、标准规范。全书编制的目的是为了适应在大学教学中如何将工程设计的知识融会到教学中,同时也开拓了学生的视野,为学生走出校门后尽早适应社会工作创造条件。全书对化工装置工艺设计中的过程工程,化工设计的过程、管理,化工工艺设计的计算、设计方法和典型的有机化工生产工艺等方面作了较全面的介绍,基本覆盖了化工装置工艺设计从基础到专业的知识。通过全书的学习,读者可以为成为一名合格的石油化工装置工艺设计技术人员打下扎实的基础。

本书为上册,共6章,主要介绍过程工程、过程工程和化工工艺设计、典型的有机化工生产工艺、化工设计主要过程和HAZOP研究、项目管理和HSE管理等内容。

本书适用于化学工程、石油化工、油气储运工程等有关专业的教学,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 过程工程	1
1.2 有机化工生产工艺	2
1.3 化工设计主要过程及 HAZOP 研究	2
1.4 工艺设计和工艺系统设计	3
1.5 项目管理	4
第 2 章 过程工程	5
2.1 过程工程	5
2.1.1 过程工业与过程工程	5
2.1.2 从化学工程到过程工程	6
2.2 过程工程分析	9
2.2.1 过程工程分析理论基础	10
2.2.2 过程工业系统分析与模拟	13
2.3 过程工程综合	17
2.3.1 过程系统综合基本方法	18
2.3.2 几种经典的过程系统综合问题	19
2.3.3 过程工业综合设计	22
第 3 章 过程工程和化工工艺设计	24
3.1 乙烯裂解原料优化	24
3.1.1 裂解原料的性质与裂解反应的关系	24
3.1.2 乙烯裂解原料的优化	24
3.1.3 乙烯原料改质优化的方法	26
3.1.4 芳烃抽提工艺进行裂解原料预处理	26
3.2 乙烯裂解炉	31
3.2.1 乙烯裂解技术	31
3.2.2 乙烯裂解炉的工艺设计	33
3.2.3 蒙特卡罗法和辐射传热模型	34
3.2.4 蒙特卡罗模型优化设计辐射炉管	36



3.2.5	蒙特卡罗模型在开发新型裂解炉中的应用	37
3.2.6	结论	40
3.3	节能分析	41
3.3.1	乙烯装置能耗分析	41
3.3.2	裂解工艺节能	41
3.3.3	分离工艺节能	43
3.3.4	配套设施节能	44
3.3.5	综合结果与讨论	44
3.4	联合减排	45
3.4.1	热力学基本原理	45
3.4.2	几种热电联产发电工艺路线	46
3.4.3	裂解炉与热电联产组合	49
3.4.4	结论	52
3.5	工艺方案	53
3.5.1	市场需要	53
3.5.2	思路	54
3.5.3	选择	55
3.5.4	产品方案	56
3.5.5	经济评估	57
3.6	过程工程和化工工艺设计	57
3.6.1	过程工程研究对象的多尺度和多阶段特性	57
3.6.2	实现过程工程综合的方法	58
3.6.3	过程工程和化工工艺设计	59
第 4 章 典型的有机化工生产工艺		60
4.1	有机化工产品链	60
4.1.1	石油的化工利用	61
4.1.2	煤的化工利用	61
4.1.3	天然气的化工利用	62
4.1.4	乙烯的化工利用	62
4.1.5	丙烯的化工利用	63
4.1.6	碳四烯烃的化工利用	63
4.1.7	芳烃的化工利用	64
4.2	炼油	64
4.2.1	概述	64
4.2.2	石油特性与主要炼油工艺	65
4.2.3	炼油加工总概略流程	70
4.3	乙烯	71
4.3.1	概述	71

4.3.2	乙烯分离技术	71
4.3.3	流程描述和流程示意图	79
4.4	丙烷脱氢制丙烯	82
4.4.1	概述	82
4.4.2	工艺技术	83
4.4.3	流程描述	84
4.4.4	流程示意图	85
4.5	丁二烯	86
4.5.1	概述	86
4.5.2	工艺技术	86
4.5.3	流程描述	87
4.5.4	流程示意图	88
4.6	裂解汽油加氢	89
4.6.1	概述	89
4.6.2	工艺技术	89
4.6.3	流程描述	90
4.6.4	流程示意图	91
4.7	芳烃抽提	92
4.7.1	概述	92
4.7.2	工艺技术	92
4.7.3	流程描述	92
4.7.4	流程示意图	93
4.8	C5分离	94
4.8.1	概述	94
4.8.2	工艺技术	94
4.8.3	流程描述	96
4.8.4	流程示意图	97
4.9	环氧乙烷/乙二醇	97
4.9.1	概述	97
4.9.2	工艺技术	98
4.9.3	流程描述	98
4.9.4	流程示意图	99
4.10	乙苯/苯乙烯	100
4.10.1	概述	100
4.10.2	工艺技术	100
4.10.3	流程描述	101
4.10.4	流程示意图	103
4.11	环氧丙烷	104
4.11.1	概述	104



4.11.2	工艺技术	104
4.11.3	流程描述	106
4.11.4	流程示意图	107
4.12	丙烯酸及酯	109
4.12.1	概述	109
4.12.2	工艺技术	109
4.12.3	流程描述	110
4.12.4	流程示意图	112
4.13	苯酚丙酮	113
4.13.1	概述	113
4.13.2	工艺技术	114
4.13.3	流程描述	116
4.13.4	流程示意图	118
4.14	丁/辛醇	119
4.14.1	概述	119
4.14.2	工艺技术	120
4.14.3	流程描述	120
4.14.4	流程示意图	122
4.15	精对苯二甲酸	123
4.15.1	概述	123
4.15.2	工艺技术	123
4.15.3	流程描述	125
4.15.4	流程示意图	128
4.16	聚乙烯	130
4.16.1	概述	130
4.16.2	工艺技术	130
4.16.3	流程描述	132
4.16.4	流程示意图	134
4.17	EVA	135
4.17.1	概述	135
4.17.2	工艺技术	135
4.17.3	流程描述	137
4.17.4	流程示意图	138
4.18	聚丙烯	138
4.18.1	概述	138
4.18.2	工艺技术	139
4.18.3	流程描述	142
4.18.4	流程示意图	143
4.19	聚苯乙烯	144

4.19.1	概述	144
4.19.2	工艺技术	144
4.19.3	流程描述	145
4.19.4	流程示意图	147
4.20	丁苯橡胶	147
4.20.1	概述	147
4.20.2	工艺技术	148
4.20.3	流程描述	149
4.20.4	流程示意图	149
4.21	涤纶	151
4.21.1	概述	151
4.21.2	工艺技术	151
4.21.3	流程描述	152
4.21.4	流程示意图	155
4.22	腈纶	156
4.22.1	概述	156
4.22.2	工艺技术	156
4.22.3	流程描述	157
4.22.4	流程示意图	159
4.23	碳纤维	159
4.23.1	概述	159
4.23.2	工艺技术	159
4.23.3	流程描述	161
4.23.4	流程示意图	163
4.24	煤制合成气	163
4.24.1	概述	163
4.24.2	工艺技术	163
4.24.3	流程描述	168
4.24.4	流程示意图	171
4.25	合成气制甲醇	171
4.25.1	概述	171
4.25.2	工艺技术	172
4.25.3	流程描述	175
4.25.4	流程示意图	175
4.26	合成醋酸	176
4.26.1	概述	176
4.26.2	工艺技术	176
4.26.3	流程描述	178



4.26.4	流程示意图	179
4.27	合成气制乙二醇	179
4.27.1	概述	179
4.27.2	工艺技术	179
4.27.3	流程描述	181
4.27.4	流程示意图	182
4.28	甲醇制烯烃及 C4 综合利用	182
4.28.1	概述	182
4.28.2	工艺技术	183
4.28.3	流程描述	184
4.28.4	流程示意图	193
4.29	生物质能源	194
4.29.1	概述	194
4.29.2	工艺技术	194
4.29.3	流程描述	194
4.29.4	流程示意图	196
第 5 章 化工设计主要过程和 HAZOP 研究		197
5.1	项目前期阶段	200
5.1.1	预可行性研究阶段工艺专业的主要工作内容	200
5.1.2	可行性研究阶段工艺专业的主要工作内容	202
5.1.3	技术询价阶段工艺专业的主要工作内容	203
5.2	技术开发阶段	204
5.2.1	技术路线选择阶段工艺专业的主要工作内容	204
5.2.2	研究开发阶段工艺专业的主要工作内容	205
5.2.3	工艺包编制阶段工艺专业的主要工作内容	206
5.3	工艺包设计阶段	206
5.3.1	化工装置工艺设计包内容	206
5.3.2	工艺手册	210
5.3.3	分析化验手册	211
5.4	总体设计阶段	212
5.4.1	总体院总体设计原则及总的工作内容	212
5.4.2	总体院工艺专业的工作内容	213
5.4.3	装置院工艺专业的工作内容	215
5.4.4	总体设计阶段总体院与装置院的条件关系表	216
5.5	基础设计阶段	218
5.5.1	基础设计开工条件与文件深度	218
5.5.2	基础设计文件中工艺专业设计文件	218
5.5.3	基础设计文件中工艺专业的工作内容	218

5.6	详细设计阶段	219
5.6.1	详细工程设计文件的组成	219
5.6.2	详细工程设计阶段工艺专业的工作	220
5.7	设计条件和图纸会签	220
5.7.1	设计条件的交接	220
5.7.2	设计图纸会签	223
5.8	常用工具	226
5.8.1	工艺设计中常用的手册和指南	226
5.8.2	工艺设计中常用的计算机软件	228
5.9	HAZOP 研究	231
5.9.1	HAZOP 研究的概况	231
5.9.2	工程项目的 HAZOP 研究	232
5.9.3	HAZOP 研究的应用实例	235
第 6 章	项目管理和 HSE 管理	244
6.1	项目与项目管理	244
6.1.1	项目的概念	244
6.1.2	项目管理	245
6.1.3	项目管理的理论基础	246
6.1.4	现代工程建设项目管理方式	247
6.2	HSE 管理	247
6.2.1	企业安全、环境与健康(HSE)管理体系标准的构成	248
6.2.2	企业安全、环境与健康(HSE)管理体系标准的特点	248
6.3	工程总承包管理	249
6.3.1	EPC 工程总承包	249
6.3.2	工程总承包管理内容	250
6.3.3	工程总承包管理的基本程序	250
6.3.4	工程总承包的优越性	250
6.4	工程公司的项目管理	250
6.4.1	工程公司以项目管理为中心	251
6.4.2	工程公司以专业部室管理为基础	251
6.4.3	项目的矩阵管理	251
6.4.4	实行项目经理负责制	251
6.5	典型项目组织机构	252
6.6	实施基本程序	252
6.6.1	EPC 项目建设的基本过程	252
6.6.2	项目招标(询价)	253
6.6.3	项目投标	253



6.6.4	组织项目报价组	253
6.6.5	编制投标(报价)书	253
6.6.6	投标(报价)书的批准和发送	254
6.6.7	评标活动	254
6.6.8	签订项目建设承包合同	254
6.6.9	组织项目组、编制项目执行计划	254
6.6.10	项目内部开工会议	254
6.6.11	工程设计	254
6.6.12	设备、材料的采购	254
6.6.13	施工管理	255
6.6.14	试车、考核和工程验收	255
6.6.15	项目结束	255
6.6.16	项目回访	255
6.7	各阶段工作主要内容	255
6.7.1	项目初始阶段	255
6.7.2	工程设计	255
6.7.3	项目采购	257
6.7.4	项目施工管理	260
6.7.5	中间交接	262
6.7.6	试车、考核、验收	263
6.7.7	项目收尾	263
参考文献	264

第1章 概述

《化工装置工艺设计》是工程硕士实践教学用书,重点叙述化工工艺设计的基本概念、设计程序和设计方法。

全书分为上、下两册,上册为综合性分册,下册为化工单元设备和工艺系统设计分册。化工工艺设计是化工设计的龙头、基础和核心,本书从引入“过程工程”的概念着手,阐明过程工程分析、综合的基本方法,它们的发展现状,以及和化工工艺设计的内在联系。化工工艺设计的主要内容是工艺流程设计、设备的工艺计算和化工工艺系统设计。工艺物料流程图(PFD)和物料平衡表是工艺流程设计的基本体现,它依据成熟的工艺技术,通过运用过程工程的分析和综合方法及流程模拟软件这一最重要的设计计算工具编制而成。

上册介绍了典型的有机化工生产工艺,以拓展对有机化工产业的视野;描述了化工设计的主要内容和过程及危险性和可操作性(HAZOP)研究,并以知识普及的方式介绍了化工工程项目管理和健康、安全环境(HSE)管理。

下册首先说明了典型化工单元设备的工艺设计和计算方法;然后介绍了化工系统设计的内容和方法:工艺物料流程图(PFD)发展成管道及仪表流程图(P&ID)所需工艺主要构成元素的设计和计算方法——管道流体力学计算、安全泄放设施的工艺设计和典型管道配件的工艺设计;并说明了化工设计中最重要内容——P&ID的设计依据、设计过程及编制内容和方法。

1.1 过程工程

过程工程旨在阐述过程工业中的共性科学理论与技术特点,是以化学工程为基础,以物质的化学与物理分离、转化、合成及能量转化过程优化组合为对象的通用工程技术,从而成为能源、资源、环境、生物技术、材料、制药、石油、化工及电子等领域所不可或缺的技术支撑。随着人类进入信息化、新能源、新材料时代,过程工业将不断进取,为这些具有巨大活力的产业提供更优质的产品和服务。

过程工程分析就是对过程工业进行系统性分析,实施过程分析的手段就是建立过程系统数学模型并对模型进行求解。过程工业系统分析的任务是对给定的过程工业系统建立数学模型,分析各单元过程的设备结构参数和操作参数对系统整体性能的影响。过程工业系统分析的主要用途有:进行单元操作过程的最优设计、系统挖潜改造和实现过程操作最优化。

过程工程综合又称系统综合,是指按照规定的系统特性,寻求所需的系统结构及其各子系统的结构与性能,使系统按规定的目标进行最优组合,这是过程工业系统工程的核心内容。过