

高等学校教材

# 化工设计学

Chemical Engineering Design

上册

赵云发 主编



黄河出版传媒集团  
宁夏人民出版社

高等学校教材

# 化工设计学

上册

主 编 赵云发  
副主编 张 霞 苏 倩 赵 密  
主 审 李 东



黄河出版传媒集团  
宁夏人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

化工设计学:全2册/赵云发主编. —银川:宁夏人民出版社, 2014.1  
ISBN 978-7-227-05731-4

I. ①化… II. ①赵… III. ①化工设计 IV. ①TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第002271号

化工设计学

赵云发 主编

责任编辑 管世献  
封面设计 徐静雅  
责任印制 杨海军

黄河出版传媒集团 出版发行  
宁夏人民出版社

地 址 银川市北京东路139号出版大厦(750001)  
网 址 <http://www.yrpubm.com>  
网上书店 <http://www.hh-book.com>  
电子信箱 [renminshe@yrpubm.com](mailto:renminshe@yrpubm.com)  
邮购电话 0951-5044614  
经 销 全国新华书店  
印刷装订 银川金利丰彩色印刷有限责任公司  
印刷委托书号 (宁) 0013166

---

开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 28.5  
字 数 680千字  
版 次 2014年1月第1版  
印 次 2014年1月第1次印刷  
书 号 ISBN 978-7-227-05731-4/TQ·2

---

定 价 62.00元(上、下册)

---

版权所有 侵权必究

# 前言

化工设计是高校化学工程类各专业的一门专业必修课,它是专业知识和专业基础知识在化工生产过程中的综合应用。本课程的学习对培养学生的工程设计能力、应用能力和解决实际工程技术的能力十分重要,也是使大学生向工程师转化的一个重要环节。化工设计课对大多数高校化工类学生来说,无论毕业后是否从事设计工作,都具有重要的影响。化学工程技术人员在实际工作中会遇到与化工设计基础知识相关的各种问题,在学校能够学到化工设计的基本知识与方法,将有助于学生迅速地适应工作岗位的需要,提高就业的工作质量。学好化工设计学对提高综合运用已学过的化工原理、物理化学、化工热力学、反应工程、分离工程、化工工艺学、化工计算和化工制图等方面知识的能力,应用提高文字编辑、数据计算、绘制图纸及制表汇编的能力,以及分析问题和解决问题的能力,均会起到重要的作用。

编者根据多年来从事化工设计、化工厂技术改造、化工厂安装与调试、高校化工设计课教学和指导毕业设计等工作的体会,参考有关资料写成本书,目的在于为高校化工类各专业的高年级教学提供一本适应面较广,且与实践衔接较佳的化工设计教材和毕业设计的参考书。

为了培养学生的应用能力,本书介绍了一些化工设计的内涵和外延知识,增加了化工设计知识与其他领域的相关性,这有助于扩充学生的知识领域,增加学生的学习兴趣。

为了培养学生具有的基本素质,本书系统地介绍了化工设计的四个基本要素和四个关键环节的内容,这些内容有助于学生在化工设计中由易到难、由浅入深地分析问题和解决问题,从而敦实学生在化工设计中的实际工作能力。

为了培养学生的动手能力,减少化工设计中的盲目性,本书明确提出了化工设计的四个表达方法,即文字表达、数据计算、图纸绘制及表格汇编,这有助于化工设计的作品条理清楚、章法有度。

为了培养学生的科学工作能力,减少化工设计中实际困难,本书详细地叙述了化工设计中的四个计算方面的知识内容,这有助于学生理论联系实际,提高科学计算实际能力。

为了培养学生的综合素质,本书叙述了化工设计中的四个前置许可的内容,即环境保护评价、安全生产评价、消防安全评价、职业病危害评价,这有助于提高学生以人为本和安全发展的设计及工作理念。

为了培养学生研究化工设计过程中的经济问题,本书介绍了与化工设计息息相关的工程概算与技术经济评价的有关内容,从而培养学生工程设计的经济性理念。

总之,本书从化工设计的层次性和广泛性,尤其是实践性方面做了一些探索,为了阅读方便,全书分为上、下册,有八篇,共计三十章内容,学校可根据学时多少,选择相关章节进行讲解。

本书可作为高等学校化学工程类专业及相关专业的教材,也可供从事化工行业研究、设计、生产一线的工程技术人员参考。

本书第一章、第二章由宁夏大学化学化工学院刘万毅编写;第三章、第四章由北方民

族大学化学与化学工程学院扬晋编写；第五章、第六章由银川大学石油化工学院常璇编写；第七章、第十二章由国电英力特能源化工集团技术中心刘新文编写；第八章、第九章、第十章、第十一章由中国矿业大学银川学院化学工程系张霞编写；第十三章、第十四章、第十五章由中国矿业大学银川学院化学工程系赵云发编写；第十六章、第十七章、第十八章、第十九章由中国矿业大学银川学院化学工程系苏倩编写；第二十章、第二十一章、第二十二章、第二十三章由宁夏美邦寰宇化学有限公司张利岗、周新明编写；第二十四章、第二十五章由银川三建集团有限责任公司五分公司刘吉云编写；第二十六章、第二十七章、第二十八章由银川赵工机械有限公司赵密编写；第二十九章、第三十章由中国矿业大学银川学院化学工程系李东、闫龙成编写。本书第一章至第三十章的习题由中国矿业大学银川学院化学工程系苏雪、代静编写。全书由赵云发撰写提纲，组织编写并统稿。全书由美籍注册化学工程师李东博士，闫龙成高级实验师审定书稿。

在编写此书过程中，得到了天津大学化工学院张金利教授的热情支持和帮助，提出了许多宝贵意见，在此谨致谢意。

本书承蒙中国矿业大学银川学院学报编辑部刘瑛教授对书稿进行了审阅，提出了许多积极的建议，帮助编者提高了书稿质量，在此表示衷心感谢。

本书承蒙原兰州炼油化工设计院院长张岳南高级工程师，宁夏宝塔石化集团设计院院长郭明志高级工程师，国电中国石化宁夏能源化工股份公司王长华高级工程师，河北美邦工程科技有限公司高文杲高级工程师、张玉新高级工程师给予审阅，提出了在设计方面的许多真知灼见，在此一并表示谢意。

本书的出版得到了中国矿业大学银川学院董事长冯捷东、院长吴国光、副院长王禄林、副院长汝宇林等领导的关怀、指导和帮助，在此表示谢意。

由于化工设计涉及的知识面较广，而编者的知识和经验有限，书中错误和不妥之处在所难免，热情希望广大读者批评指正。

赵云发

2013年6月于银川

# 上册目录

## 前言

### 第一篇 化工设计概述

第1章 化工设计的内涵与外延 .....	2
1.1 化工设计在设计学中的地位 .....	2
1.1.1 化工设计的涵义 .....	2
1.1.2 化工设计在设计学中的位置 .....	2
1.1.3 化工设计的特性 .....	2
1.2 化工设计的步骤和性质 .....	3
1.2.1 化工设计的主要步骤 .....	3
1.2.2 化工设计的性质 .....	3
1.3 化工设计的理念 .....	4
1.3.1 简单稳健的过程工厂设计 .....	4
1.3.2 世界级制造 .....	5
1.3.3 本质安全和环境友好的设计 .....	6
1.3.4 考虑三大规程的化工设计 .....	7
习题1 .....	7
第2章 化工设计的基本程序和内容 .....	8
2.1 基本建设概述 .....	8
2.1.1 基本建设的阶段 .....	8
2.1.2 基本建设程序 .....	9
2.1.3 设计工作程序 .....	9
2.2 基本建设各主要阶段的设计内容 .....	9
2.2.1 设计前期工作阶段 .....	9
2.2.2 设计中期工作阶段 .....	12
2.2.3 设计后期工作阶段 .....	17
习题2 .....	17
第3章 化工设计资料与文档的整理 .....	18
3.1 设计资料的收集 .....	18
3.1.1 设计所需数据及资料 .....	18
3.1.2 资料来源 .....	19
3.2 建设项目文档的整理 .....	20
3.2.1 建设项目文档的概念 .....	20
3.2.2 项目建议书 .....	20
3.2.3 可行性研究报告 .....	20

3.2.4 设计任务书 .....	20
3.2.5 设计说明书 .....	21
3.2.6 设计图纸 .....	21
3.2.7 工程概算 .....	22
3.2.8 设计计算书 .....	22
3.2.9 设计表格册 .....	22
3.2.10 技术经济方案综述 .....	22
3.2.11 工程验收技术文件 .....	22
3.2.12 工程项目的四个评价报告 .....	22
习题 3 .....	22

## 第二篇 化工设计的四个基本要素

第 4 章 目标产品的选择与确定 .....	24
4.1 目标产品的确定原则 .....	24
4.2 目标产品的市场需求预测内容 .....	24
4.2.1 产品需求量预测 .....	24
4.2.2 市场占有率预测 .....	24
4.2.3 技术发展预测 .....	25
4.2.4 资源预测 .....	26
4.3 目标产品预测的方法 .....	26
4.3.1 经验判断法 .....	26
4.3.2 分析计算法 .....	27
习题 4 .....	29
第 5 章 项目规模的选择与确定 .....	30
5.1 影响生产规模选择的主要因素 .....	30
5.2 合理规模的选择 .....	30
5.2.1 定性分析 .....	31
5.2.2 定量分析 .....	31
习题 5 .....	32
第 6 章 技术方案的选择与确定 .....	33
6.1 工艺流程的选择及确定因素 .....	33
6.1.1 工艺流程的选择 .....	33
6.1.2 确定工艺路线的因素 .....	34
6.2 主要设备的选择 .....	34
6.3 合理布置总平面 .....	35
6.4 技术选择中的环境制约 .....	36
习题 6 .....	36
第 7 章 厂址的选择与确定 .....	37

7.1 厂址选择的原则 .....	37
7.2 建厂地点选择的步骤 .....	37
7.2.1 拟定建厂条件指标 .....	37
7.2.2 进行现场踏勘并收集选厂基础资料 .....	38
7.2.3 方案比较和分析论证 .....	39
7.2.4 提出选址报告 .....	39
7.3 厂址选择的经济方法 .....	39
7.3.1 最小费用法选择厂址 .....	39
7.3.2 评分优选法 .....	40
7.4 厂址在安全方面的考虑 .....	40
7.4.1 危险和防护的一般考虑 .....	40
7.4.2 工厂的定位问题 .....	41
7.4.3 工厂选址的安全问题 .....	42
7.4.4 工厂布局的安全问题 .....	43
习题 7 .....	44
<b>第三篇 化工设计的四个基本表达方式</b>	
第 8 章 文字表达的内容 .....	46
8.1 项目建议书 .....	46
8.2 可行性研究报告 .....	47
8.3 设计任务书 .....	47
8.4 初步设计说明书 .....	47
8.5 施工图设计说明 .....	47
8.5.1 工艺设计说明 .....	47
8.5.2 设备布置设计说明 .....	48
8.5.3 管道设计说明 .....	48
8.5.4 隔热隔声设计说明 .....	48
8.5.5 防腐设计说明 .....	48
8.6 项目建设的四个评价 .....	48
习题 8 .....	48
第 9 章 数据计算表达的内容 .....	49
9.1 数据计算程序图 .....	49
9.2 物料衡算计算书的编写 .....	50
9.2.1 物料衡算原理 .....	50
9.2.2 物料衡算计算模型 .....	50
9.2.3 物料衡算设计依据的确定 .....	50
9.2.4 物料衡算的计算过程 .....	51
9.2.5 物料衡算计算书的编写内容 .....	51
9.3 能量(热量)衡算计算书的编写 .....	53

9.3.1 能量衡算原理 .....	53
9.3.2 能量(热量)衡算计算模型 .....	53
9.3.3 能量(热量)衡算设计依据的确定 .....	53
9.3.4 能量(热量)衡算的计算过程 .....	54
9.3.5 能量(热量)衡算计算书的编写内容 .....	54
9.4 设备选型设计计算书的编写 .....	56
9.4.1 设备设计及其选型原则 .....	56
9.4.2 设备设计计算书的编写内容 .....	56
9.4.3 典型设备计算书的编写 .....	56
习题 9 .....	62
第 10 章 图纸表达的内容 .....	63
10.1 工艺流程图 .....	63
10.2 化工设备图 .....	63
10.2.1 化工设备的图示特点 .....	64
10.2.2 化工设备中的标准化通用零部件 .....	69
10.2.3 化工设备图的绘制 .....	78
10.3 化工设备图的阅读 .....	81
10.3.1 化工设备图读图的基本要求 .....	81
10.3.2 阅读化工设备图的方法和步骤 .....	81
10.4 工艺设备布置图 .....	81
10.5 管道布置图 .....	82
习题 10 .....	82
第 11 章 表格表达的内容 .....	83
11.1 表格的作用 .....	83
11.2 表格的设计表达原则 .....	83
11.2.1 表达原则 .....	83
11.2.2 自明性原则 .....	83
11.3 三线表及其规范使用 .....	83
11.3.1 三线表的构成 .....	83
11.3.2 三线表的制作规范 .....	84
习题 11 .....	85

#### 第四篇 化工设计的四个关键环节

第 12 章 工艺流程设计 .....	88
12.1 工艺流程设计概述 .....	88
12.1.1 工艺流程设计的重要性 .....	88
12.1.2 工艺流程的设计原则 .....	88
12.1.3 工艺流程的设计方法 .....	90
12.1.4 工艺流程设计的任务 .....	93

12.2 工艺流程图的绘制 .....	93
12.2.1 方框流程图 .....	93
12.2.2 工艺流程草图 .....	94
12.2.3 工艺物料流程图 .....	95
12.2.4 管道仪表流程图 .....	96
12.3 工艺包设计的主要内容 .....	108
12.3.1 工艺包设计的内容 .....	108
12.3.2 工艺包设计阶段的工艺流程说明 .....	111
12.3.3 工艺设备数据表及工艺设备表 .....	111
12.3.4 工艺包设计的工作程序 .....	111
12.4 工艺流程设计的一般操作方式 .....	113
12.4.1 连续操作方式 .....	113
12.4.2 间歇操作方式 .....	113
12.4.3 联合操作方式 .....	113
12.4.4 以提高设备利用率的操作方式 .....	113
12.4.5 以化学单元反应为中心的操作方式 .....	116
12.4.6 采用循环流程的操作方式 .....	116
12.4.7 通过排列组合选优的操作方式 .....	117
12.4.8 提高能量利用率的操作方式 .....	118
12.4.9 要充分考虑流程缺陷的操作方式 .....	119
12.5 化工典型设备的自控流程 .....	120
12.5.1 泵的流量自控 .....	120
12.5.2 换热器的温度自控 .....	122
12.5.3 蒸馏塔的控制方案 .....	122
12.5.4 釜式反应器的釜温自控 .....	124
12.5.5 固定床反应器床层温度自控 .....	125
12.5.6 流化床反应器床层温度自控 .....	126
12.6 工艺流程的组合设计 .....	126
12.6.1 总流程的组合设计 .....	126
12.6.2 蒸馏过程流程的组合设计 .....	129
12.6.3 吸收过程流程的组合设计 .....	137
12.6.4 带有物料循环流程的组合设计 .....	142
习题 12 .....	144
第 13 章 工艺设备的选型设计 .....	145
13.1 工艺设备选型设计的内容 .....	145
13.2 泵的选型设计 .....	146
13.2.1 对化工用泵的要求 .....	146
13.2.2 泵型式的确定 .....	146
13.2.3 泵的流量与扬程的确定 .....	147
13.2.4 泵的轴功率的校核 .....	147

13.2.5 泵的台数和备用率 .....	147
13.2.6 离心泵安装高度的校核 .....	148
13.3 贮罐的选型设计 .....	149
13.3.1 贮罐存贮量的确定 .....	149
13.3.2 贮罐设计的一般操作程序 .....	150
13.3.3 套用国家部门及有关设计院的标准图纸 .....	151
13.4 换热器的选型设计 .....	152
13.4.1 换热器型式的确定 .....	152
13.4.2 换热器设计参数的选择 .....	153
13.4.3 换热器的系列化选型 .....	166
13.5 塔器的选型设计 .....	167
13.5.1 塔型的选择 .....	167
13.5.2 板式蒸馏塔的设计 .....	168
13.5.3 填料蒸馏塔的设计 .....	174
13.5.4 填料吸收塔的设计 .....	181
13.5.5 板式吸收塔的设计 .....	183
13.6 反应器的选型设计 .....	184
13.6.1 常用工业反应器的类型 .....	184
13.6.2 釜式反应器的设计 .....	185
13.6.3 固定床催化反应器的设计 .....	187
13.6.4 流化床反应器的设计 .....	191
13.7 非定型设备的设计程序和设计条件 .....	197
13.7.1 非定型设备的设计程序 .....	197
13.7.2 非定型设备设计条件图(表) .....	197
13.7.3 设备管口方位图 .....	197
13.8 工艺设备一览表 .....	199
习题 13 .....	200

# 第一篇

## 化工设计概述

作为一个化工设计的学习者,首先应明白化工设计的地位问题,这是由于有奉献者有地位,有本事者有地位。目前发达国家和我国的项目建设中涉及化工类的产业是钢铁类产业之后的第二大产业,但就其经济效益和经济效率而言,化学产业是第一位的,能为化学工程项目进行设计或者是技术服务,无疑是学习者的一大幸事。化工设计有其规律性的内涵,本篇既介绍化工设计的基本步骤和程序,更强调的是化工设计理念的建立,以及化工设计的养性和悟性。

初学化工设计者从无知到有知,从认识到动手,源于学习资料的整理和文档内容的积累,基于化工设计的有序、有趣、有知、有创的感悟,借此能和学习者共同开始学好本门课程,正是上述一段小文的深意。

# 第 1 章 化工设计的内涵与外延

## 1.1 化工设计在设计学中的地位

### 1.1.1 化工设计的涵义

就设计而言,是人们在正式做某项工作之前,根据一定的目的要求,预先制定方法、图样等一系列的过程,称为设计。

化工设计是指在化工领域中的工程(或称工程化)设计。

工程设计是科学技术转化生产力的桥梁和纽带,是整个工程项目建设的灵魂,决定着工业现代化的水平,在工程项目建设中处于先导地位,它对工程质量、项目投资、建设周期、投资效益,以及投产后的经济效益和社会效益起着关键性作用,而化工设计是工程设计领域中的一个重要分支。

### 1.1.2 化工设计在设计学中的位置

就设计学而言,化工设计是设计学的重要内容之一,它属工程设计的范畴。在设计学分类中,设计学包括工程设计或非工程设计部分内容。化工设计在设计学中位置可参见图 1-1。

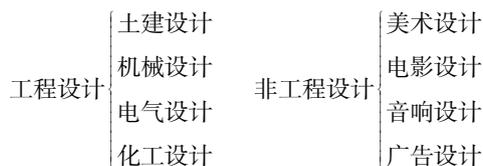


图 1-1 设计学树状图

就工程设计中历史顺序来看,最早的工程设计是“土建设计”,发展至今,不断丰富,这与人类历史发展的衣食住行密切相关,土建设计常称第一设计。随着蒸汽轮机的发明和使用,机械设备代替了人们笨重的手工劳动,提高了工效,剩余价值的需求大大地衍生了“机械设计”的发展,机械设计常称第二设计。时代在发展,特别是电灯的出现,一个新的电气时代产生了,“电气设计”也就伴随着历史的进展而发展完善了,电气设计称为第三设计。化工设计是 18 世纪初以硫矿石和硝石为原料的铅室硫酸厂(1791 年)路布兰法制碱工艺,才逐步启动了化工设计的研究和开发工作。化工设计是继土建设计、机械设计、电气设计之后出现的第四大设计,也是设计学工程设计中四大设计的新成员。

就设计专业知识结构看,不同的工程设计具有不同的专业侧重。

### 1.1.3 化工设计的特性

#### (1) 趣味性

趣味来源于素质的培养,化工设计的学习,可使学习者得到全面素质的培养,它不仅要对化学反应原理了解清楚,也要对化工设计过程精确的计算,包括物料衡算、能量衡算、设备选型计算、管网计算等,通过一系列的图纸和表格把事物的方方面面表达清楚。因此,学习化工设计将趣味无穷,而趣味是提高学习素质的重要动力。

### (2) 科学性

化工设计不论对整个化工厂的设计,还是一部分车间的设计,或者是一个化工操作单元的设计,都要求规范文字说明、数据运算、绘制图纸、汇总表格等,每一项技术文件的编写和绘制都要求严密科学,在化工设计中严密科学常称为工程设计的养性。

### (3) 创新性

化工设计的每一项设计都是一项新的工作,优化是设计的主题,创新是化工设计的重要表现。在化工设计中,创新常称为工程设计的悟性。

### (4) 成就性

化工设计的每一件作品,既是劳动的成果,又是设计者的成长过程。化工设计的基本目标是确定最佳的工艺流程,达到化工操作单元的最佳组合,寻找最佳操作控制参数,以最低的投资成本和运行成本获得最佳的产率、最佳的经济效益和社会效益。化工设计的每一步都有成就性的感觉和感知。

## 1.2 化工设计的步骤和性质

### 1.2.1 化工设计的主要步骤

化工设计的主要步骤基本内容如下:

- (1) 根据经济考虑和社会情况选择项目;
- (2) 根据项目考虑项目的规模产量、原料来源,产品的市场销售预测,采用的产品路线;
- (3) 根据产品的路线,选择化工过程的合成路线,列举出多套的一系列的流程;
- (4) 根据流程进行定量比较,选择最佳过程流程;
- (5) 根据流程选择确定设计基础,包括确定设计变量和迭代变量;选择单元操作及所需物性的数学模型;选用公用工程设施;
- (6) 根据设计,选择确定设计方法,包括非设计变量初值;选择及收敛方法的确定;
- (7) 根据设计方法,通过物料和能量衡算,列出过程流股股表、公用工程一览表,绘制过程流程图;
- (8) 对以上的设计结果进行详细的经济分析,估计设备投资和操作费,且按一定的评价准则进行经济吸引力评估;
- (9) 进一步考察经济可行性、资源能源利用、热力学效率、可操作性、安全性、环境影响和职业健康等状况;
- (10) 选用适宜的目标函数,用最优化的方法对结构及操作条件进行优化,即优化计算,它包括两层迭代循环,选用的迭代方法要同时,使结构及设计变量得到优化,在过程优化的同时,又使衡算式收敛;
- (11) 提交设计报告,包括:
  - ① 设计所产生的项目特性;
  - ② 设备设计的详情;
  - ③ 设计所需的加热和冷却曲线等。

### 1.2.2 化工设计的性质

根据化工设计的性质,化工设计分为两个不同性质的设计。一是研究性的试验设计。主要设计的内容是工艺包设计、中试设计、检验方案设计等,这些内容大都在专门的研究

院和大学实验室进行,它的目的主要是做技术性储备设计,或称前瞻设计。二是生产性工程建设设计。这一类设计是经过实践检验的成熟工艺的工程设计,一般在设计院或企业进行。本书所述的化工设计主要指后者,参见图 1-2。

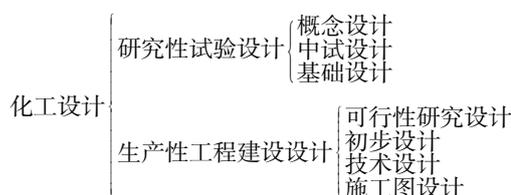


图 1-2 化工设计计划分树状图

### 1.3 化工设计理念

欲实现 21 世纪工厂的设计目标,需要不同的过程设计方法。以下提出 12 个设计理念并从不同的视点加以论述,可归纳为以下四类:

- 简单、稳健的过程工厂设计(Koolen,1998);
- 世界级制造(Schonberger,1986);
- 本质安全和环境友好的化工设计;
- 考虑三大规程的化工设计。

#### 1.3.1 简单、稳健的过程工厂设计

##### (1) 精简设备及管线

多数工厂都存在过量的设备。通常,一些设备可以剔除或在功能上将几个设备合并。在设计中应用逐步递进逻辑,可将这些设备挑选出来。为做到这种简化,需要突破常规思维,而实现简化的过程技术则不难得到。

##### (2) 除非有经济或安全方面的原因,否则就面向可靠、稳健的单一元件进行设计

贯彻该理念需适应简单、稳健设计目标的要求。目前,大多数设计中的预设条件是:元件是不可靠的。这种默认导致冗余的设施,包括泵、反应器及反应器系统、双重及三重仪表、安全设施等。但实际上,现在单元元件的设计是非常可靠的,许多失效是由于元件选取失误、安装错误和误操作造成的。现在,借助可靠性数据以及可靠性工程技术支持并量化单一元件设计理念。

##### (3) 优化设计

该工作可分为过程设计优化和供应链优化。利用商用模拟软件提供的技术和过程综合工具可使过程优化。对于供应链(包括原料、中间产物及产品的供应)的优化,收集的信息必须包括原料和产品供应的可靠性及可用性(及其概率),以及过程的可靠性(计划的和非计划的)和可用性(及其维修和恢复时间)。这项工作可利用可靠性模型完成(Koolen 等,1999)。

##### (4) 巧妙的过程集成

过程设计的一个趋势是尽可能使过程实现集成。这个趋势源于能量优化,现已扩展到水和氢的集成,而且实际上已考虑到所有可回用的物流。从定态角度而言,集成度越高收

益也就越多。集成的不利一面是需要对“服役”物流的可用性及其动态过程有全面的认识。需要加以区分的是：

① 单元内的集成,此时必须关注的是开车以及单元的稳定性;

② 不同单元(或过程)的集成,此时需要精心设计系统,以应对扰动和可用性问题。在动态研究中,倾听控制工程师的意见是必要的,这有助于利用硬件、软件条件解决耦合问题,以实现稳健控制和操作的设计。

(5) 减少人工干预

人类能够开发和利用新事物。事物既有有利的一面,也有不利的一面,这取决于环境。人类也常常在正确与错误之间学习和改进,但这也意味着他们做事并不连贯一致。对于化工厂的操作,这是一个可导致许多过程失误的缺点,并且常常必须通过人的智力在事后解决。克服的最好方法是使常规操作高度自动化并实施稳健控制设计,以实现可靠的闭环运行。近年来,为达到所需的操作质量,多数过程的控制环中都有一个操作器。

(6) 通过操作优化赚钱

过程工厂通常在变动的商业环境中运行,这会影响工厂的经济运营。原材料、能源和产品价格及其需求的变动在很大程度上影响工厂的经济性能。这类变动可以天、周或月计,当然也可以在1小时内发生。其他常见的变动有:

① 昼夜间温度的循环:这可能给持续进行的操作能力的优化带来困难;

② 生产调度,产品扰动;

③ 原料组成;

④ 结垢或催化剂老化。

由于上述变数均对面向操作的经济优化产生影响。因此,着力这方面的优化(通常适宜做闭环优化)是非常值得的。优化的目标是使操作的利润最大化。引入利润计量器(Krist等,1993)是操作优化的必要步骤。利润计量器以工厂物流的质量平衡为基础(优选通过工厂质量平衡协调进行计算),并计及每一股物流经济价格的变化,如此得到连续、实时的经济平衡,以支持实时优化。

### 1.3.2 世界级制造

(1) 准时制生产(JIP)

这个概念早在20世纪80年代初就已提出,主要与单一元件的生产或成组的集成元件的生产有关。使原料、中间产物以及产品的储存最少的原则在过程工业中也是适用的,并且与简单、稳健设计的基本原则完全一致。储存最少可通过将生产线和运输中的储存集成来实现。先前,储存最少甚至零储存只是针对诸如氢、甲烷、乙烯、溴和氨等低沸点液体或极度危险物料。

(2) 面向全面质量控制(TQC)的设计

TQC的概念可分为如下两种不同的概念。

① 小心以避免失误

目前,过程工厂设计中的一个普遍做法是大量采用循环装置,如循环槽和备用储罐。这类装置是用来在开车以及“正常”操作中处理任何意外情形的。除这些装置本身的投资成本外,物料循环也常常需要付出生产能力成本以及额外的操作成本,甚至有时在工厂能力的设计中还包括用于产品循环的部分,这也会增加成本。“小心以避免失误”的原则试图消除所有这类附设的装置。解决的办法是协调操作,这只有通过一定程度的自动化以及精

心的前馈控制才能消除意外。

### ② 面向全面质量控制的设计

这是“小心以避免失误”的一个特例。在工厂的开车中,常需要应对意外的情形。如何避免意外继而根除重复劳动和损失是一个挑战。答案就是面向全面质量控制的设计,这一般与设计的开车程序有关。做法是,从后端开始启动一个连续的过程,并且调整使工厂的精制工段处于热态,即精制工段处于操作和标定工况(例如,精馏塔处于全回流,压缩机在再循环式下运行),已经可以处理来自反应器工段的物料。此外,反应器也应做好应对开车中飞温的准备。这需要对反应器操作有深入认识,即能通过动态模拟给出达到首通主产品的开车程序。为此所能做的硬件改进措施有限,至多也不过是对配管做些改动。Verwijs 等人(1995)曾就此专题写过一篇一流的文章。图 1-3 示出了通过全面质量控制元件最少并且消除冗余的例子。

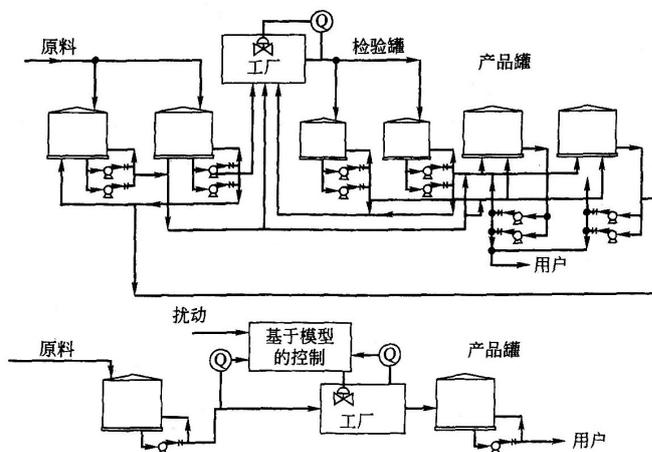


图 1-3 常规的两塔萃取精馏与一个热耦合塔

### 1.3.3 本质安全和环境友好的设计

#### (1) 本质安全的设计

该法旨在通过尽量避免危险场合以使设备的风险降至最低。此处的关键是:降低至最少、替代、适度和简化。

危险物料最少化。这一点可通过存量最少实现,这也和准时制生产目标一致。也可以考虑将液体原料换成气体。对于低沸点物料(如溴、氨和磷)这不失为一个现实的选择。在过程中如何减少存量,如在精馏塔中除去回流罐抑或采用塔填料替代塔板。

降低危险度。此项措施旨在降低有害物质或能量释放的后果,也称为“衰减”或“效果限定”。可以考虑的方法包括在相对安全的温度、压强、浓度和相态下操作及避免化学品间的相互作用。

简化设备。该措施的基本着眼点是避免误操作。

#### (2) 环境友好的设计

当今的化学工厂日益在全球规模上运行,但不同国家的环保标准差别很大。许多全球的标准和发展趋势是首先在西方世界兴起的,但也很快在世界其他范围内被接受。这方面