

高职高专“十二五”规划教材

化工单元操作 设计及优化

蔡 源 孙海燕 主编 季锦林 主审

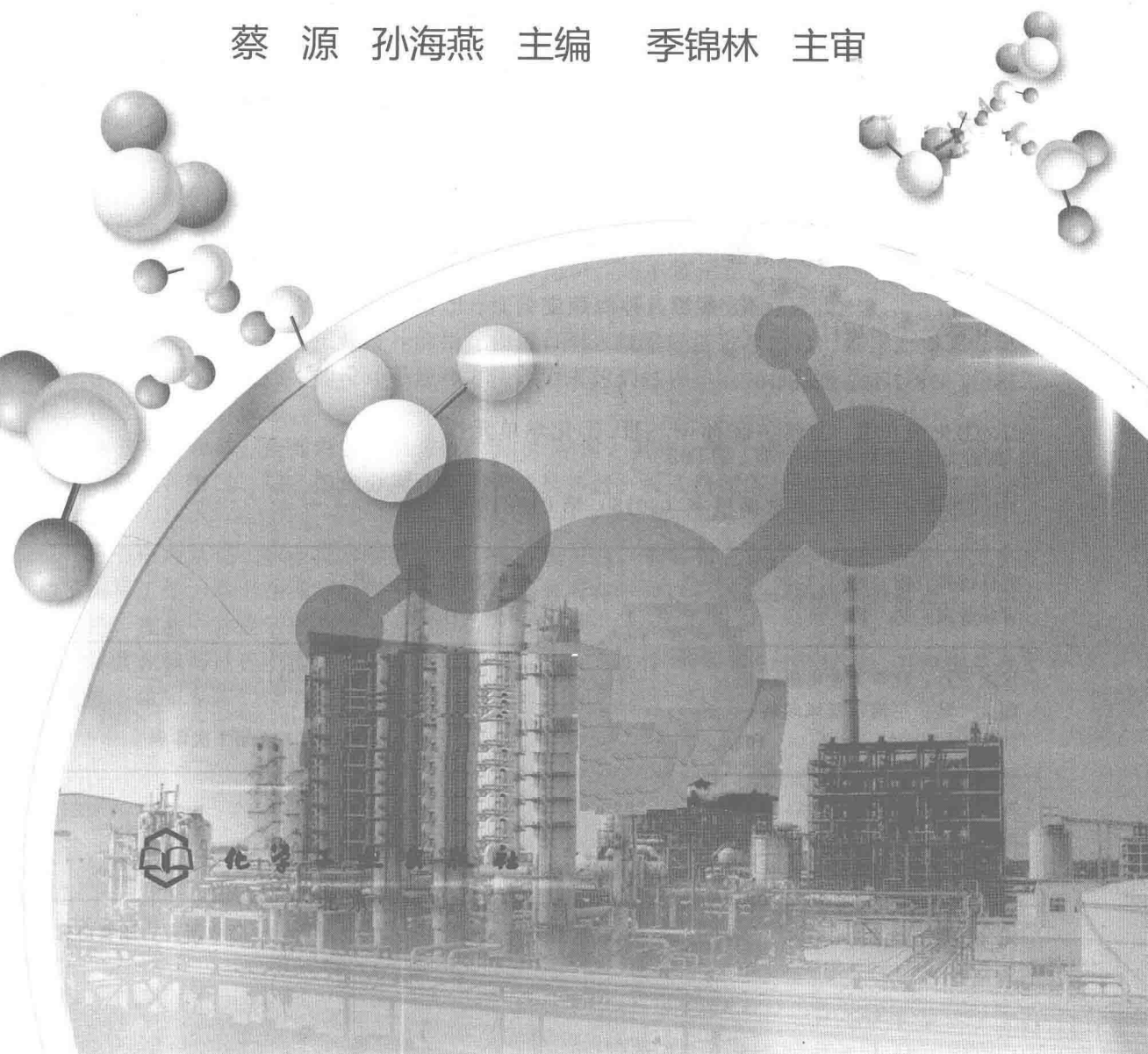


化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

化工单元操作 设计及优化

蔡 源 孙海燕 主编 季锦林 主审



本书主要是为化工类专业的高职高专学生编写的教材。根据高职高专教育的特点,围绕化工单元操作设计与优化教学的基本要求,从培养学生化工设计及优化基本技能出发展开内容。全书共有四章,介绍了列管式换热器、板式精馏塔、填料吸收塔三类常见化工单元操作的理论基础、设计及优化方法和步骤的详细说明,每章均编有实际应用示例。此外教材中还安排了一些实际案例分析,目的是培养学生分析和解决实际问题的能力。

本书可作为高职高专化工及相关专业相应课程的教材或教学参考书,也可供化工企业一般工程技术人员及工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工单元操作设计及优化/蔡源,孙海燕主编. —北京:化学工业出版社,2015.4
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-22884-0

I. ①化… II. ①蔡…②孙… III. ①化学单元操作-高等教育-教材 IV. ①T02

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第018815号

责任编辑: 窦臻

文字编辑: 李玥

责任校对: 边涛

装帧设计: 张辉

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: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张10½ 字数267千字 2015年6月北京第1版第1次印刷

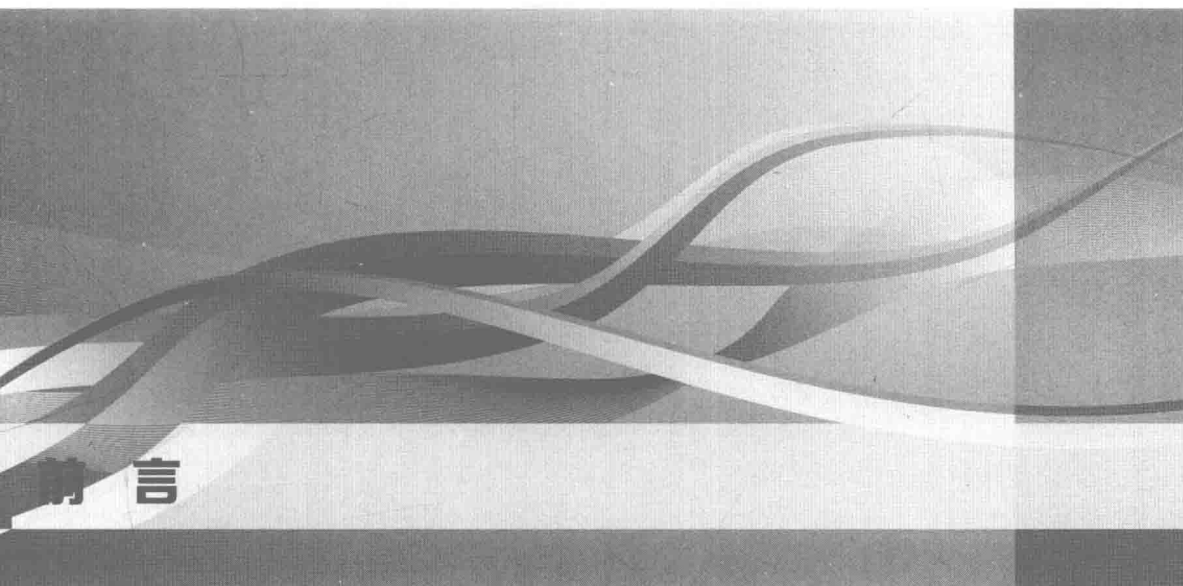
购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

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: 28.00 元

版权所有 违者必究



本书是根据职业教育的特点和要求,为高职高专院校化工类专业编写的技术基础课教材,也可作为化工机械、化工仪表、化工分析、环境保护、轻工、制药及其相近专业相应课程的教材或教学参考书。

为适应职业技术教育应用性、针对性、岗位性以及专业性的特点,本书所编写的内容体现了必需、够用、实用的高职高专特色,在介绍了常用单元操作工艺及设备设计后,增加了实用的设计案例。尽量简化但保留够用的成熟基础理论,努力反映学科的现代特点,强调实际应用技能和分析能力的培养。在文字上力求简练,通俗易懂,尽量符合化工专业技术人员的特点和需要。全书侧重于常用单元操作基础知识、基本理论在实际设计及优化中的应用,注意培养和启发学生解决问题的思路、方法及能力。本书与传统的《化工原理课程设计》教材相比,更注重理论对于工程设计的指导作用,引入技术经济分析评价的概念,强调在设计 and 优化过程中采用现代化的设计手段和方法,力求达到过程参数和设备参数的优化,使学生初步建立“效益”观念。

本书共分四章,全部内容讲课时数约为 60 学时,其中,第一章是化工单元操作设计及优化的概述,第二、三、四章分别介绍列管式换热器、板式精馏塔和填料吸收塔的工艺设计及优化。

本书由南京化工职业技术学院蔡源、孙海燕主编,季锦林主审,汤立新、杨宇、王亮参加了编写工作。本书在编写过程中,得到了编者所在学校领导的关心和相关教研室老师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

尽管在编写过程中得到了许多教师的支持和帮助,但由于编者水平有限,书中难免有欠妥之处,希望专家、读者予以批评指正,以便再版时修正。

编者

2014 年 12 月

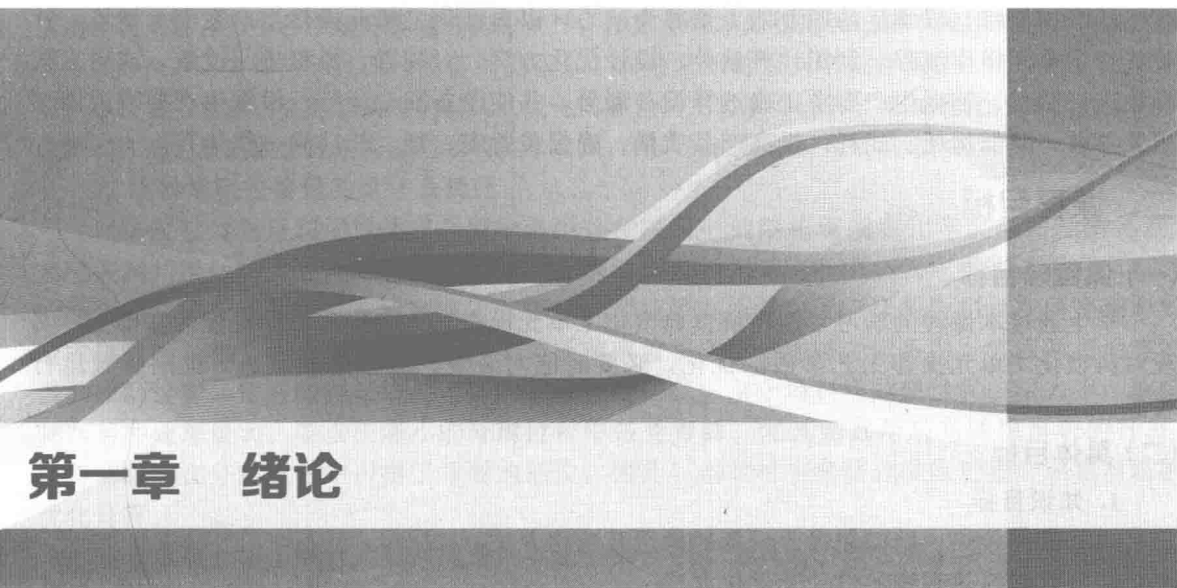
录

第一章 绪论	1
第一节 化工单元操作设计及优化课程简介	1
一、化工单元操作设计及优化的性质	1
二、课程目标	2
三、《化工单元操作设计及优化》的主要内容	2
四、化工单元操作设计及优化的步骤	3
第二节 化工设计及优化过程中的参数	4
一、物性参数	4
二、过程参数	7
三、结构参数	8
第三节 PID 图和主体设备工艺条件图	9
一、PID 图（带控制点的工艺流程图）	9
二、主体设备的工艺条件图	10
第四节 化工过程技术经济评价的基本概念	10
一、技术评价指标	10
二、经济评价指标	11
三、工程项目投资估算	11
四、化工产品的成本估算	13
五、利润和利润率	13
参考文献	13
第二章 列管式换热器工艺设计及优化	14
第一节 概述	14
一、列管式换热器的应用	14
二、换热器的设计要求	15
第二节 列管式换热器的设计	16
一、设计方案的确定	16
二、估算传热面积	20

三、工艺结构尺寸的确定	23
第三节 列管式换热器设计及优化示例一	26
一、设计任务和操作条件	26
二、确定设计方案	27
三、设计及优化步骤	28
第四节 列管式换热器设计及优化示例二	33
一、设计任务和操作条件	33
二、确定设计参数	34
三、设计及优化步骤	34
主要符号说明	38
参考文献	39
第三章 板式精馏塔工艺设计及优化	40
第一节 概述	40
一、精馏过程对塔设备的要求	40
二、板式塔与填料塔的比较	40
三、板式精馏塔的分类	41
四、板式精馏塔设计及优化的主要内容	43
第二节 精馏装置设计及优化方案的确定	44
一、精馏装置的流程	44
二、操作压力的选择	45
三、进料热状况的选择	45
四、加热方式和加热剂的选择	45
五、回流比的选择	46
六、精馏过程的节能措施	46
第三节 精馏塔塔板数的设计及优化	47
一、相平衡关系	47
二、精馏塔的物料衡算	49
三、精馏操作回流比的确定	50
四、精馏塔理论塔板层数的确定	53
五、精馏塔实际塔板层数确定	55
第四节 精馏塔主要尺寸的设计及优化	55
一、塔高的确定	56
二、塔径的确定	56
三、溢流装置的确定	59
四、塔板及其布置的确定	64
五、浮阀塔板的流体力学校核	69
六、塔板负荷性能图	72
第五节 板式塔的结构与附属设备	79
一、板式塔的结构	79
二、附属设备的确定	82
第六节 接管的确 定	87
一、塔顶蒸气出口管的直径 d_v	87
二、回流管管径 d_R	87

三、进料管管径 d_F	87
四、塔底出料管管径 d_w	88
五、塔底至再沸器的接管管径 d_L	88
六、再沸器返塔连接管管径 d_b	88
第七节 精馏装置带控制点的工艺流程图	89
一、带控制点的工艺流程图	89
二、工艺流程说明	89
第八节 精馏塔的工艺条件图	89
主要符号说明	92
参考文献	93
第四章 填料吸收塔工艺设计及优化	94
第一节 概述	94
一、吸收操作及其应用	94
二、吸收过程对塔设备的要求	94
三、填料吸收塔装置设计主要内容	95
第二节 设计方案的确定	95
一、吸收方法的选择	95
二、吸收剂的选择	96
三、吸收操作条件的确定	96
四、能量的综合利用	97
五、典型吸收-解吸过程流程	97
六、各类吸收设备	98
第三节 填料塔性能及简介	100
一、填料塔概述	100
二、填料塔的结构和特点	100
第四节 塔填料性能及选择	101
一、传质过程对塔填料的基本要求	101
二、塔填料分类	101
第五节 填料吸收塔设计及优化	103
一、气-液平衡关系的获取	103
二、确定吸收剂用量	103
三、塔径的计算	105
四、填料层高度的计算	106
五、气体压降的计算	108
六、管径及泵的选择	109
七、主要设计参数的核算及优化	110
第六节 填料塔附属内件选型	111
一、填料支撑装置	111
二、液体分布装置	111
三、液体再分布装置	112
四、液体出口装置	112
五、气体进口装置	112
六、除沫装置	113

第七节 填料吸收塔设计及优化示例一	113
一、设计任务和操作条件	113
二、确定设计方案	114
三、设计及优化步骤	114
第八节 填料吸收塔设计及优化示例二	127
一、设计任务和操作条件	127
二、确定设计方案	128
三、设计及优化步骤	129
主要符号说明	135
参考文献	136
附录	137
附录一 法定计量单位及单位换算	137
附录二 常用数据表	140
附录三 常见气体、液体和固体的重要物理性质	144
附录四 一些气体溶于水的亨利系数	153
附录五 某些二元物系的气液平衡组成	153
附录六 乙醇-水溶液的一些性质	154
附录七 常用管子的规格	155
附录八 设计代号及图例	156



第一章 绪论

第一节 化工单元操作设计及优化课程简介

一、化工单元操作设计及优化的性质

化工单元操作设计及优化是《化工单元操作》课程教学后的综合性和实践性较强的实践教学环节。本课程面向的对象是化工类专业学生，学生在学完《化工单元操作》课程后，能够针对某特定单元操作流程，利用计算机软件，设计优化方案，对装置、流程进行改造，或对工艺参数进行调整，使得在产品质量有保证的基础上，降低能耗，节约成本，提高装置运行效益。本课程注重培养学生分析问题、解决问题的能力，是对学生学完化工单元操作课程后岗位技能的再次提升。教学方法采取任务驱动式的理论实际一体化教学，注重培养学生的方法能力、社会能力、职业素养，最终形成化工生产的职业综合能力。

本课程不同于平时的作业，在设计及优化环节中需要学生自己作出决策，即自己确定方案、确定流程、查取资料、进行过程和设备计算，并要对自己的选择作出论证和核算，经过反复的分析比较，择优选定理想的优化方案。所以，本环节是有益于提高学生独立工作能力的实践环节。

1. 本课程在化工类专业中的定位

本课程是化工类专业必修课程，是在进入专业方向类课程前的技术基础课程。

该课程的学习是化工类专业学生职业能力和职业素质养成的重要环节，同时为后续课程的学习打下坚实基础，在化工类专业技术型高技能人才的培养中具有举足轻重的地位。

2. 本课程的基本教学理念

采用以工作过程为导向、任务驱动的课程教学方式，依据不同的教学内容、教学目标，结合学生特点，灵活采用不同的教学方法。通过具体任务的设计与实施，融理论知识学习及素质培养于实践操作中，发挥学生在学习中的主体作用，有效提高学生解决实际问题的综合能力。

3. 本课程的设计思路

本课程内容与《国家职业技能鉴定标准》中蒸馏工等典型化工单元操作岗位工种的职业

技能标准相衔接,以学生的职业能力培养为核心,以典型化工单元操作生产案例为情境,针对某特定单元操作流程,利用计算软件,设计优化方案,对装置、流程进行改造,或对工艺参数进行调整,根据生产要求正确选择设备型号,并使设备安全运行;根据生产要求,调整相关参数,降低物耗、能耗,提高产品质量;确保装置安、稳、长、满、优运行。

二、课程目标

(一) 课程总目标

学生通过本课程的学习,能在解读典型化工单元操作工艺流程和操作规程的基础上,实现对典型化工单元操作工艺参数的优化,必要时能对装置、流程进行改造,提高装置运行效益。

(二) 具体目标

1. 知识目标

- (1) 掌握传热、精馏和吸收设备的构造及选用方法。
- (2) 掌握换热系统的设计及优化方法。
- (3) 掌握精馏系统的设计及优化方法。
- (4) 掌握吸收系统的设计及优化方法。
- (5) 了解待优化系统费用组成以及影响操作费用和设备费用的因素。

2. 能力目标

- (1) 能设计和绘制传热、吸收和精馏系统的流程图。
- (2) 能选用合适的传热、吸收和精馏设备,完成给定的生产任务。
- (3) 能进行换热系统、吸收系统和精馏系统的操作优化和设计优化,如操作参数优化、换热器选择优化、管路布置优化等。

3. 素质目标

- (1) 具有良好的思想道德素质、健康的身心素质、过硬的职业素质和人文素质。
- (2) 具有安全意识,依据规范进行安全生产。
- (3) 注重生产过程中的环境保护。
- (4) 具有节能意识。
- (5) 具有化工生产工程观点。
- (6) 具有生产成本、效益意识。
- (7) 良好的团队合作精神。
- (8) 通过文献、传媒、多媒体素材等学习新知识的素质。

三、《化工单元操作设计及优化》的主要内容

考虑到教学实际,本着少而精的原则,本教材选择以下几个方面的内容。

1. 列管式换热器的设计及优化

传热过程是化工生产过程中存在的极其普遍的过程。实现这一过程的换热设备有很多种类,其中以列管式换热器的应用最为广泛。本教材主要介绍列管式换热器的优化设计,内容包含换热器类型的选择、换热器物料及热量衡算、换热器传热动力学和换热器流动阻力核算等,以及确定换热设备的主要工艺尺寸。

2. 板式塔精馏装置的设计及优化

精馏过程是分离液体混合物时最常用的一种单元操作,在化工、炼油等工业中得到了广泛的

应用。利用混合物中各个组分挥发性能的差异,使之在气液两相接触过程中发生传质,将各组分提纯或分离。可实现这一过程的设备种类很多,而最常用的板式塔有浮阀塔、筛板塔、泡罩塔等。本教材主要介绍浮阀塔的优化设计。优化内容包括工艺条件计算、塔板优化计算、流体力学验算等方面。最后绘出浮阀塔工艺结构尺寸简图,同时完成辅助设备的选型。

3. 填料塔吸收装置的设计及优化

气体吸收过程是利用气体混合物中各组分在液相中的溶解度或者化学反应活性的不同,在气液两相接触时发生传质,实现气体混合物的分离。化工生产中,气体吸收过程在原料气的净化、气体产品的精制、治理有害气体保护环境等方面得到了广泛的应用。在研究和开发吸收过程时,在方法上多从吸收过程的传质速率着手,希望在整个设备中,气液两相为连续微分接触过程,这一特点与填料塔得到了较好的结合。由于填料塔的通量大、阻力小,使得其在某些处理量大、要求压降小的分离过程中备受青睐。尤其是近年来高效填料塔的开发,使得填料塔在分离过程中占据了重要的地位。因此,本教材主要结合吸收过程介绍填料塔的优化计算。

吸收章节介绍了吸收过程对设备的要求,如何选定适宜的流程方案、溶剂、填料类型以及操作条件。进而,依据系统的物性及操作条件等选择适宜的数字模型及计算方法,对系统进行物料及能量衡算以及过程传质速率的计算,以确定吸收塔的主要工艺尺寸及内件。通过流体力学的核算,检验系统工艺的合理性,保证塔的正常运行。此外,还介绍了主要辅助设备的选型。

本教材主要选择以上三个方面的内容,每一章节的要求如下:

(1) 设计及优化方案的说明 根据给定任务、工艺流程、操作条件和主要设备的类型,绘出工艺流程简图,给出工艺流程说明。

(2) 主要设备的工艺设计及优化计算 包括工艺参数的选定、物料衡算、热量衡算、设备的工艺尺寸计算及结构设计。

(3) 典型辅助设备的选型和计算 包括典型辅助设备的主要工艺尺寸计算及设备型号规格的选定。

(4) 带控制点的工艺流程图。

(5) 主体设备工艺条件图 图上应包括设备的主要工艺尺寸、技术特性表、相接管表等。

完整的化工单元操作设计报告由说明书和图纸两部分组成。设计说明书中应包括设计优化论述、原始数据、计算、表格等,编排顺序如下:

- ① 标题页;
- ② 设计任务书;
- ③ 目录;
- ④ 优化方案简介;
- ⑤ 工艺流程草图及说明;
- ⑥ 工艺计算及主体设备优化计算;
- ⑦ 辅助设备的计算及选型;
- ⑧ 优化结果核要或设计一览表;
- ⑨ 对本优化的评述。

四、化工单元操作设计及优化的步骤

化工单元操作设计及优化的步骤如下:

- ① 动员和布置任务；
- ② 阅读指导书和查阅资料；
- ③ 现场调查；
- ④ 优化计算，绘图和编写说明书；
- ⑤ 考核。

整个报告主要由论述、计算和绘图三部分组成。论述应该条理清晰，观点明确；计算要求方法正确，误差小于工程计算的要求，计算公式和所用数据必须明确注明出处；图表应该能简要表达优化计算的结果。

课程后期的考核是及时了解学生掌握情况及其设计和优化能力的补充过程，是提高工程实践水平、交流心得和扩大收获的重要过程。考核可按笔试和现场提问等方式进行。

第二节 化工设计及优化过程中的参数

在化工单元操作设计及优化计算过程中，既涉及化工过程，又涉及化工设备及材料等。所以在搜集和查阅文献时，不能只限于教材及化工类资料，而应从多方面查询，才能备齐所有的数据和资料。当制订过程工艺方案时，应从物系所属生产和加工的专业类书籍中查询。当深入了解单元操作过程时，应从查阅单元操作的书籍入手。当考虑设备结构时，则应参考机械制造类手册确定所用规范等。当进行工艺计算时，则要涉及系统物系的参数。这些参数总结起来主要有物性参数、过程参数和结构参数等。

一、物性参数

用来表达物料物理性质的参数称为物性参数。设计计算中常见的有：密度 ρ 、黏度 μ 、比热容、汽化潜热、热导率等。纯物质的物性参数一般均由实验测定，设计时可从有关手册、资料中查取；混合物的物性参数可根据有关经验公式进行计算。

(一) 密度

1. 混合气体的密度

当压力不太高时，混合气体的密度可近似由方程式(1-17)求得。

$$\rho_{gm} = \sum_{i=1}^n \rho_{gi} y_i \quad (1-1)$$

式中 ρ_{gi} , y_i ——分别为混合气体中 i 组分的密度和摩尔分数。

$$\rho_{gm} = \frac{pM_m}{RT} \quad (1-2)$$

式中 p ——混合气体的总压，kPa；

T ——气体的热力学温度，K；

R ——气体常数，数值为 $8.314\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$ ；

M_m ——混合气体的平均摩尔质量，即

$$M_m = M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_n y_n \quad (1-3)$$

式中 $M_1, M_2, \cdots, M_n$ ——气体混合物中各组分的摩尔质量，kg/kmol；

$y_1, y_2, \cdots, y_n$ ——气体混合物中各组分的摩尔分数或体积分数， $y_1 + y_2 + \cdots + y_n = 1$ 。

2. 混合液体的密度

若几种纯液体混合前的分体积之和等于混合后的总体积，则混合液体的平均密度可按式

(1-4) 计算。

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{a_1}{\rho_1} + \frac{a_2}{\rho_2} + \dots + \frac{a_n}{\rho_n}$$

(1-4)

式中 ρ_m ——液体混合物的平均密度, kg/m³;
 $a_1, a_2, \dots, a_n$ ——液体混合物中各组分的质量分数, $a_1 + a_2 + \dots + a_n = 1$;
 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ ——液体混合物中各组分的密度, kg/m³。

(二) 黏度

1. 互溶液体混合的黏度

由 Kendall-Mouroe 混合规则得:

$$\mu_{Lm}^{1/3} = \sum_{i=1}^n (x_i \mu_{Li}^{1/3})$$

(1-5)

式中 μ_{Li} ——混合液中组分 i 的黏度;
 x_i ——组分 i 的摩尔分数。

式(1-5) 适用于非电解质、非缔合性液体, 两组分的相对分子质量差及黏度差不大 ($\Delta\mu < 15\text{mPa} \cdot \text{s}$) 的液体。对油类计算误差为 2%~3%。

2. 混合气体的黏度

(1) 常压下纯气体黏度的计算 常压下纯气体黏度的计算式如下:

$$\mu_{gi} = \mu_{0gi} \left(\frac{T}{273.15} \right)^m$$

(1-6)

式中 μ_{0gi} ——气体 i 在 0℃、1atm (1atm=101325Pa) 下的黏度, mPa·s;
 m ——关联指数。

某些常见气体的 μ_{0gi} 值可由表 1-1 查得, m 值由表 1-2 查得。

表 1-1 0℃时常见气体的黏度 μ_{0gi}

气体	$\mu_{0gi}/\text{mPa} \cdot \text{s}$	气体	$\mu_{0gi}/\text{mPa} \cdot \text{s}$
CO ₂	1.34×10^{-2}	CS ₂	0.89×10^{-2}
H ₂	0.84×10^{-2}	SO ₂	1.22×10^{-2}
N ₂	1.66×10^{-2}	NO ₂	1.79×10^{-2}
CO	1.66×10^{-2}	NO	1.35×10^{-2}
CH ₄	1.20×10^{-2}	HCN	0.98×10^{-2}
O ₂	1.87×10^{-2}	NH ₃	0.96×10^{-2}
H ₂ S	1.10×10^{-2}	空气	1.71×10^{-2}

表 1-2 常见气体的 m 值

气体	m 值	气体	m 值
CH ₄	0.8	CO	0.758
CO ₂	0.935	NO	0.89
H ₂	0.771	NH ₃	0.981
N ₂	0.756	空气	0.768

(2) 压力对气体黏度的影响 有压力时的气体黏度 μ_p , 可用对比态原理从压力对气体黏度的影响图中查出。在对比温度 T_r 和对比压力 p_r 大于 1 的情况下, 可由图 1-1 求得。多数情况下, 误差小于 10%。图中为 μ_1 压力等于 1atm 时纯组分气体的黏度, μ_p 为压力为 p 下的黏度。

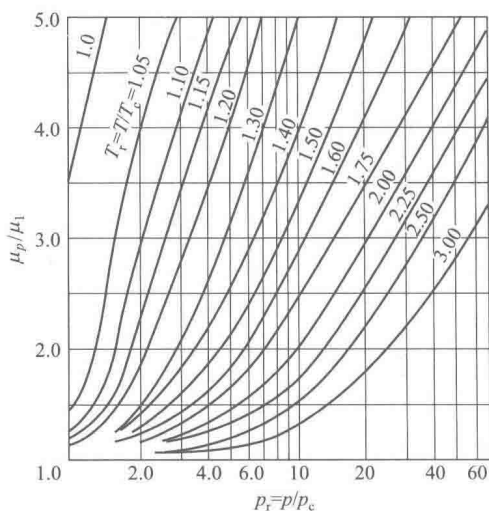


图 1-1 压力对气体黏度的影响

(3) 气体混合物黏度 μ_{gm} 在低压下气体混合物黏度由式(1-7) 计算:

$$\mu_{gm} = \frac{\sum y_i \mu_{gi} M_i^{1/2}}{\sum y_i M_i^{1/2}} \quad (1-7)$$

式中 μ_{gm} ——气体混合物的黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

y_i ——气体混合物中 i 组分的摩尔分数或体积分数;

M_i ——气体混合物中 i 组分的摩尔质量, kg/kmol ;

μ_{gi} ——与气体混合物同温度下的 i 组分的黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(三) 热导率

1. 液体混合物的热导率 λ_{Lm}

(1) 有机液体混合物的热导率 有机液体混合物热导率 λ_{Lm} 可近似由式(1-8) 求得:

$$\lambda_{Lm} = \sum_{i=1}^n \omega_i \lambda_{Li} \quad (1-8)$$

(2) 有机液体水溶液的热导率 有机液体水溶液热导率 λ_{Lm} 可由式(1-9) 求得:

$$\lambda_{Lm} = 0.9 \sum_{i=1}^n \omega_i \lambda_{Li} \quad (1-9)$$

式(1-8) 和式(1-9) 中的 ω_i 为组分 i 的质量分数。

(3) 胶体分散液及乳液的热导率 胶体分散液及乳液的热导率 λ_{Lm} 可近似由式(1-10) 求得:

$$\lambda_{Lm} = 0.9 \lambda_c \quad (1-10)$$

式中 λ_c ——连续相组分的热导率。

2. 气体混合物的热导率 λ_{gm}

(1) 非极性气体混合物 由式(1-11) Broraw 法估算非极性气体混合物的热导率 λ_{gm} 。

$$\lambda_{gm} = 0.5(\lambda_{sm} + \lambda_{zm}) \quad (1-11)$$

式中, $\lambda_{sm} = \sum_{i=1}^n \lambda_{gi} y_i$; $\lambda_{zm} = 1 / \sum_{i=1}^n (y_i / \lambda_{gi})$ 。

(2) 一般气体混合物 对于一般的气体混合物, 可由式(1-12) 计算:

$$\lambda_{gm} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{gi} y_i (M_i)^{1/3}}{\sum_{i=1}^n y_i (M_i)^{1/3}} \quad (1-12)$$

式中 λ_{gi} ——组分 i 的热导率。

(四) 比热容

气体或液体混合物的比热容可由式(1-13) 和式(1-14) 计算:

$$c_{pm} = \sum_{i=1}^n x_i c_{pi} \quad (1-13)$$

$$c'_{pm} = \sum_{i=1}^n \omega_i c'_{pi} \quad (1-14)$$

式中 c_{pi} ——组分 i 每千摩尔的比热容, $\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot ^\circ\text{C})$;

c'_{pi} ——组分 i 每千克的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

式(1-13) 和式(1-14) 的使用条件是:

- ① 各组分不互混;
- ② 低压气体混合物;
- ③ 相似的非极性液体混合物 (如碳氢化合物、液体金属);
- ④ 非电解质水溶液 (有机水溶液);
- ⑤ 有机溶液;
- ⑥ 不适用于混合热较大的互溶混合液。

(五) 汽化潜热

混合物汽化潜热可由式(1-15) 和式(1-16) 估算:

$$r_m = \sum_{i=1}^n x_i r_i \quad (1-15)$$

$$r'_m = \sum_{i=1}^n \omega_i r'_i \quad (1-16)$$

式中 r_m ——组分 i 每千摩尔的汽化潜热, kJ/kmol ;

r'_m ——组分 i 每千克的汽化潜热, kJ/kg 。

(六) 表面张力

混合物表面张力 σ 由式(1-17) 计算:

$$\sigma_m = \sum_{i=1}^n x_i \sigma_i \quad (1-17)$$

式中 x_i ——液相组分 i 的摩尔分数;

σ_i ——组分 i 的表面张力。

本式仅适用于系统小于或等于大气压的条件。当大于大气压时, 则参考有关数值手册。由于混合物种类繁多, 性质差异较大, 一种混合规则难以适应各种混合物的需要, 对于一些特殊混合物的性质, 还应查阅专用物性数据手册。

二、过程参数

表明过程进行的状态和特征的物理量称为过程参数。常见的有温度 T 、压强 P 、体积流量 Q 、组成等。其中温度、压强又称状态参数。过程参数可作为控制生产过程进行的主要

操作控制指标。

设计及优化计算时，过程参数一般由任务书给定，少数参数由设计者根据设计目的和条件经反复调整确定，有时也可由算图查取或用经验公式进行计算得到。

度量物体温度的温标有以下四种。

1. 热力学温度

热力学温度习惯上又称绝对温度。规定水的三相点温度为 273.16K。K 代表开尔文，简称“开”，是热力学温度单位。每 1K 是水的三相点热力学温度的 1/273.16。这一温度实际上是以理想气体定律与热力学定律为基础而得出的最低可能温度，并以此作为零点，而水的三相点温度则为 273.16K。开氏温度被定为 SI 制温度单位，也是我国法定单位制单位。

2. 摄氏温度

摄氏温度是以水的三相点温度作为 0℃，水的正常沸点为 100℃ 而规定的温标。它作为一个具有专门名称的导出单位而引入 SI 制，也是我国法定单位制可同时使用的温度单位。

当表示温度差和温度间隔时，1℃=1K。

3. 华氏温度

华氏温度是英制采用的温标。它是以一种冰-盐混合物的温度作为零点，以健康人的血液温度为 96°F 的温标，单位为华氏度 (°F)。

4. 兰金温度

兰金温度与开氏温度相类似，也是以热力学最低可能温度作为零点的一种热力学温度，其温度间隔与华氏相同，单位为兰金度 (°R)。华氏 0°F 为 -459.58°R (常取 460°R)。

不同温标间的换算关系如式(1-18) 所示：

$$T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273.16 = \frac{5}{9}[t(^{\circ}\text{F}) + 459.58] = \frac{5}{9}t(^{\circ}\text{R}) \quad (1-18)$$

三、结构参数

表征设备形状和大小的几何尺寸称为结构参数。如塔器的内径 (D)、高度 (Z)、塔板间距 (H_T) 等。结构参数是设计者通过自己的计算而确定的，是为设备的机械设计施工和安装提供的基本数据。不同设计对象的结构参数不相同。

除上述三方面的设计参数外，设计过程中还将涉及如下一些生产指标。

1. 生产能力

不同生产过程、不同生产设备表示生产能力大小的方法往往不相同，最常用的方法有两种。一种是用单位时间的处理量来表示，如某设备的生产能力为 1000kg/h，通常指该设备一小时内能将 1000kg 原料生产成为一定数量的合格产品；另一种方法是指单位时间内获得了多少合格产品，如某合成氨厂的生产能力为 50000t/a，表示该厂一年能生产折合成 100% NH_3 的含 NH_3 产品 50000t。某些设备的生产能力常根据其具体特性而定，如蒸发器的生产能力就常用单位时间内蒸发了多少水分量来表示；换热器的生产能力则用单位时间内完成的换热量来表示等。任务书对设计对象的生产能力常有明确的规定，设计者一定要按任务书的具体规定进行有关的优化计算。

2. 生产强度

评价生产设备的性能时，往往用生产强度而不用生产能力。所谓生产强度，是指单位体积 (或单位面积) 设备的生产能力，如蒸发器的生产强度就是指单位传热面积上单位时间内所能蒸发的水分量。

生产强度也是评价设计成果经济性的重要指标，强化过程的主要途径是提高设备的生产

强度。

3. 转化率

生产过程中,通过某一系统(或某一设备)的进料或进料中的某个组分转化为成品的百分数称为转化率。转化率的高低表明了过程进行的完善程度。工业生产总是希望过程的转化率尽量地高一些。

对于纯物理过程的化工单元操作,通常用回收率(或收率)来表示转化率。所谓回收率,是指进入产品的组分量与原料中该组分含量的比值。

除此之外,设计及优化计算中还可能涉及产率、效率等生产指标,计算时均应注意其概念的准确性。

第三节 PID 图和主体设备工艺条件图

一、PID 图(带控制点的工艺流程图)

化工生产工艺流程的确定是所有化工装置设计中最先着手的工作。工艺流程设计的目的是在确定生产方法之后,以流程图的形式表示出由原料到成品的整个生产过程中物料被加工的顺序以及各股物料的流向,同时表示出生产中所采用的化学反应、化工单元操作及设备之间的联系,据此可进一步制订化工管道流程和计量-控制流程。它是化工过程技术经济评价的依据。

生产工艺流程设计一般分为三个阶段:①生产工艺流程草图(也叫方案流程图),是在工艺路线选定后,进行概念性设计时完成的,不编入设计文件,表达物料从原料到成品或半成品的工艺过程及所使用的设备和机器,用于设计开始时的工艺方案的讨论,也可作为施工流程图的设计基础;②在初步设计阶段,完成物料衡算时绘制的物料流程图,用图形与表格相结合的形式,反映设计中物料衡算和热量衡算结果的图样;③带控制点的工艺流程图,是在方案流程图的基础上绘制的内容较为详尽的一种工艺流程图。

(一) PID 图的绘制范围

带控制点的工艺流程图是设计、绘制设备布置图和管道布置图的基础,又是施工安装和生产操作时的主要参考依据。它以形象的图形、符号、代号表示出化工设备、管路、附件和仪表自控等,借以表达出一个生产中物料及能量的变化始末。工艺流程图绘制范围如下:

- (1) 应全部反映出主要物料管路,并表达出进出装置界区的流向;
- (2) 冷却水、冷冻盐水、工艺用的压缩空气、蒸汽(不包括副产品蒸汽)及蒸汽冷凝液系统等的整套设备和管线不在图内表示,仅示意工艺设备使用点的进出位置;
- (3) 标出有助于用户确认及上级或有关领导审批用的一些工艺数据(例如:温度、压力、物流的质量流量或体积流量、密度、换热量等);
- (4) 包括绘制图例必要的说明和标注,并按规定签署相关信息;
- (5) 必须标注工艺设备、工艺物流线上的主要控制点符号及调节阀等。这里指的控制点符号包括被测变量的仪表功能(如调节、记录、指示、积算、连锁、报警、分析、检测及集中、就地仪表等)。

(二) PID 图的绘制方法

流程图的绘制步骤如下:

- (1) 用细实线(0.3mm)画出设备简单外形,设备一般按1:100或1:50的比例绘