



全国高等院校化工类专业规划教材

化工单元操作及设备课程设计

——板式精馏塔的设计

王雅琼 张晓红 张淮浩 许文林 主编
姚干兵 编著



科学出版社

全国高等院校化工类专业规划教材

化工单元操作及设备课程设计

——板式精馏塔的设计

许文林 主编

王雅琼 张晓红 张淮浩 姚干兵 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共7章,包括绪论、物性数据的查取与计算、板式精馏塔的工艺设计、精馏塔辅助设备的设计和选型、精馏塔的自动控制、塔设备的机械设计、化工流程图及设备图的绘制。本书以板式精馏塔的工艺设计及设备设计为主线,通过辅助设备的设计与选型引入换热、流体输送等单元操作过程,通过精馏塔操作参数的控制引入化工自动控制方法。采用“基本概念+设计实例”的组织形式,将化工原理、物理化学、化工设备、化工过程自动控制、化工制图等课程的内容有机地融为一体,旨在将理论与实际相结合来分析解决工程实际问题。在精馏塔的工艺设计中还引入了 Excel 及 Origin 软件的计算及图形处理功能,使数据计算更加准确、快捷,图形的处理更加精确、规范。

本书可作为高等学校化学工程与工艺及其相关专业化工原理及(或)化工设备课程设计的教材或教学参考书,也可为化工、石油、环境、食品、医药等领域的技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工单元操作及设备课程设计:板式精馏塔的设计/许文林主编;王雅琼等编著. —北京:科学出版社,2013

全国高等院校化工类专业规划教材

ISBN 978-7-03-037511-7

I. ①化… II. ①许…②王… III. ①化工单元操作-课程设计-高等学校-教材 ②化工设备-课程设计-高等学校-教材 ③精馏塔-设计-高等学校-教材 IV. ①TQ02 ②TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 103619 号

责任编辑:赵晓霞 丛洪杰 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:阎磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏志印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年5月第一版 开本:787×1082 1/16

2013年5月第一次印刷 印张:16 1/2 插页:3

字数:405 000

定价:39.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

化工单元操作及设备课程设计是学生完成化工原理、化工设备及化工过程自动控制等专业技术基础课后进行的设计实践。课程设计不同于平时的作业,在课程设计中要求学生针对给定的设计任务自行确定设计方案,并通过查取文献资料,进行过程及设备的设计计算。因此,作为综合运用所学知识进行的实践性训练,课程设计应使学生在以下几个方面得到培养和训练。

(1) 初步掌握化工设计的基本过程及程序,熟悉物性数据及设计参数的查阅及计算方法;了解相关技术标准的内容,并能合理地使用标准。

(2) 培养学生的工程计算能力,掌握物料衡算、热量衡算、设备的工艺设计及结构设计的基本方法,能运用工程技术语言表述设计思想和设计结果,完成工艺及设备的设计计算;掌握设计说明书的基本内容,掌握工艺流程图以及设备装配图的基本要求和绘制方法。

(3) 培养学生的工程意识和经济观念,在设计时不仅要考虑技术上的先进性与可行性,还要考虑经济上的合理性,同时还应考虑过程和设备的可操作性、安全性以及对环境的保护等,使学生能在“优质、高产、低耗、安全、环保”的设计原则指导下去分析和解决设计中所遇到的问题。

(4) 课程设计既需要基础理论的指导,又有很多参数和变量需要学生从工程角度出发自行选择和确定。因此,设计的依据应科学合理,设计的过程应严谨规范,设计的结果应正确可信。通过课程设计,培养学生实事求是的科学态度和严谨认真的工作作风。

本书选择了典型的化工单元操作——精馏过程为设计对象,该过程不仅包括精馏塔,同时还包括换热器、流体输送、气液分离等单元操作,是一个集多种单元操作于一体的化工过程。另外,在精馏过程的设计中还涉及精馏塔的结构设计以及温度、压强、流量、液位等参数的测量与控制。因此,精馏过程的设计将多种化工单元操作以及化工设备、化工过程自动控制、物理化学等课程融为一体,为学生综合运用所学知识解决工程实际问题构建了平台。本书的特点主要体现在以下几个方面。

(1) 点与面的结合。本书以板式精馏塔的工艺及设备设计为核心,通过辅助设备的设计与选型引入换热、流体输送等化工单元操作过程。通过课程设计,将化工原理课程不同章节中的内容有机地结合在一起,形成一个完整的化工生产过程,既突出了“点”,也覆盖了“面”,既培养了学生组织化工流程的能力,同时也利于学生工程意识的培养。

(2) 课程之间的有机融合。本书以精馏过程的设计为主线,在完成精馏过程工艺设计及设备设计的过程中将化工原理、物理化学、化工设备、化工过程自动控制、化工制图等课程的内容有机地融为一体,通过课程设计培养和提高学生综合运用知识解决工程实际问题的能力。

(3) 基本理论与设计实例的结合。本书采用了“基本概念+设计实例”的编排形式,结合板式精馏塔的设计有重点地介绍化工单元操作、化工设备设计、化工过程控制的基本概念和基本理论,然后通过设计实例将理论与实际相结合,加深学生对专业理论和相关知识的理解,架构起“学用结合”的平台。

本书第1章和第2章由许文林、王雅琼编写,第3章由许文林、张淮浩编写,第4章由张淮

浩、王雅琼编写,第5章由姚干兵、许文林编写,第6章由张晓红、姚干兵编写,第7章和附录由王雅琼、张晓红编写。张小兴为本书的编著做了大量的资料整理工作,在此深表谢意。感谢扬州大学出版基金的资助。

在本书编著过程中参阅了大量的文献资料,在此也对所有被引用文献资料的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥及欠缺之处,恳请读者给予批评指正。

编者

2013年1月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 化工设计的设计文件及类型	1
1.1.1 设计文件	1
1.1.2 化工设计的类型	3
1.2 课程设计的目的和要求	5
1.3 课程设计的内容和步骤	6
第 2 章 物性数据的查取与计算	7
2.1 获取物性数据的途径	7
2.2 纯物质物性数据的查取与计算	8
2.2.1 气体或蒸气的密度	8
2.2.2 纯物质的蒸气压	8
2.2.3 纯物质的热容	9
2.2.4 纯物质的气化潜热	10
2.2.5 纯物质的热导率	11
2.2.6 纯物质的表面张力	12
2.2.7 纯物质的临界常数	13
2.3 混合物物性数据的计算.....	14
2.3.1 混合物的平均摩尔质量	14
2.3.2 混合物的密度	14
2.3.3 混合物的黏度	14
2.3.4 混合物的蒸气压	15
2.3.5 混合物的热容	15
2.3.6 混合物的热导率	15
2.3.7 混合物的气化潜热	16
2.3.8 混合物的表面张力	16
2.3.9 混合物的临界常数	17
第 3 章 板式精馏塔的工艺设计	19
3.1 概述.....	19
3.1.1 精馏操作对塔设备的要求.....	19
3.1.2 板式塔的类型	19
3.1.3 板式精馏塔的设计原则及步骤	20
3.2 板式精馏塔设计方案的确.....	21
3.2.1 精馏流程.....	21
3.2.2 操作压强.....	22

3.2.3	进料热状态	22
3.2.4	回流比	23
3.2.5	加热方式	23
3.2.6	产品纯度或回收率	23
3.2.7	热能的利用	24
3.3	板式精馏塔塔体的设计	24
3.3.1	物料衡算及操作线方程	24
3.3.2	理论塔板数的计算	26
3.3.3	实际塔板数的确定	28
3.3.4	塔径的计算	30
3.3.5	塔高的计算	31
3.4	板式精馏塔塔板的设计	33
3.4.1	塔板结构	33
3.4.2	溢流装置的设计	34
3.4.3	塔板板面设计	38
3.5	塔板的流体力学验算及负荷性能图	40
3.5.1	塔板压降	40
3.5.2	液面落差	42
3.5.3	漏液	42
3.5.4	液沫夹带	42
3.5.5	液泛	42
3.5.6	负荷性能图	43
3.6	精馏塔接管尺寸的计算	44
3.7	筛板塔的工艺设计实例	46
3.7.1	苯-氯苯连续精馏塔的工艺设计	46
3.7.2	甲醇-水连续精馏塔的工艺设计	63
第4章	精馏塔辅助设备的设计和选型	80
4.1	列管式换热器的设计	80
4.1.1	设计方案的确定	80
4.1.2	列管式换热器的结构	84
4.1.3	列管式换热器的工艺设计	88
4.2	塔釜再沸器的设计	93
4.2.1	再沸器类型及选用	93
4.2.2	立式热虹吸再沸器的工艺设计	95
4.3	换热器的设计实例	103
4.3.1	原料预热器的设计	103
4.3.2	回流冷凝器的设计	108
4.3.3	塔釜再沸器的设计	113
4.4	流体输送机械的选择	121
4.4.1	泵的类型	121

4.4.2 泵的选用原则	122
4.4.3 离心泵的选用	123
第5章 精馏塔的自动控制	126
5.1 仪表的表达及图形符号	126
5.2 参数的检测及控制	130
5.2.1 参数的检测	130
5.2.2 温度控制	130
5.2.3 压强控制	131
5.2.4 流量控制	132
5.2.5 液位控制	133
5.3 自动控制系统	133
5.3.1 简单控制系统	133
5.3.2 串级控制系统	134
5.3.3 分程控制系统	135
5.3.4 前馈控制系统	136
5.3.5 超驰控制	137
5.3.6 比值控制系统	138
5.4 精馏塔的控制方案	140
5.4.1 精馏塔的控制要求	140
5.4.2 精馏过程的干扰因素	140
5.4.3 精馏塔的控制方案	141
5.4.4 精馏塔的控制实例	145
第6章 塔设备的机械设计	149
6.1 板式精馏塔的结构设计	149
6.1.1 塔盘的结构设计	150
6.1.2 裙式支座的结构设计	151
6.1.3 附件的结构设计	157
6.1.4 焊接接头的结构设计	164
6.2 塔设备的强度设计和稳定性校核	165
6.2.1 塔设备壁厚确定及质量计算	166
6.2.2 弯矩计算	167
6.2.3 应力计算	172
6.2.4 地脚螺栓座的设计计算	176
6.2.5 裙座与塔壳连接焊缝的强度校核	180
6.2.6 塔设备法兰当量设计压强计算	181
6.3 精馏塔的机械设计实例	181
6.3.1 塔设备壁厚确定及质量计算	182
6.3.2 弯矩计算	185
6.3.3 应力计算	188
6.3.4 地脚螺栓座的设计计算	190

6.3.5 裙座与塔壳连接焊缝的强度校核	192
本章符号说明	192
第7章 化工流程图及设备图的绘制	195
7.1 化工流程图	195
7.1.1 流程图的类型及特点	195
7.1.2 流程图的表达和标注	196
7.2 化工设备图	206
7.2.1 设备图的表达特点	206
7.2.2 设备装配图的绘制	213
参考文献	219
附录	220
附录1 二元体系的气-液平衡组成	220
附录2 液体的物理性质	222
附录3 常用加热冷却介质	231
附录4 列管式换热器传热系数的经验值	232
附录5 常见物料的污垢热阻	233
附录6 焊缝代号或接头方式代号的规定	233
附录7 塔设备常用零部件	235
附录8 无缝钢管规格	253

第 1 章 绪 论

化工单元操作及设备课程设计是综合化工原理、化工设备、化工过程自动控制、化工制图等专业技术基础课进行的设计实践环节,是初步的化工设计训练。为了使学生了解课程设计的基本过程及程序,本章将对化工设计的设计文件、设计的类型、课程设计的基本要求等作简要介绍。

1.1 化工设计的设计文件及类型

化工产品的生产需要在化工生产装置上进行,而化工过程及设备的设计是化工生产装置建设的基础。化工设计的基本任务就是将一个工厂、车间或一套生产装置的建设任务用文字、图、表的形式表述出来。化工设计应满足以下基本要求。

(1) 技术性要求。所设计的化工过程及设备在技术上可行,其产品的数量和质量达到规定的指标要求。

(2) 经济性要求。一般情况下,化工生产装置不仅应该有利润,而且其技术经济指标应该有竞争性,即要求最经济地使用资金、原材料、公用工程和人力等。要达到这个目标,必须进行流程和参数的优化。

(3) 安全性要求。化工生产中大量物质是易燃、易爆或有毒性的。因此,化工设计必须充分考虑各种可能存在的危险,保证生产人员的健康和安全。

(4) 环境保护要求。化工生产装置要符合国家及地方各级政府制定的环境保护法律和法规,尽量减少有毒有害物质的使用、产生及排放,对排放的废气、废水、废渣则要有相应的处理、处置措施。

(5) 操作性要求。整个系统必须可操作、可控制,化工生产装置的设计不仅要满足常规操作的要求,而且也要满足开停车、检修等非常规操作的要求,同时系统要有可控制性,能抑制外部扰动的影响,安全稳定运行。

这五项要求可以概括为十个字,即“优质、高产、低耗、安全、环保”,这也是化工设计应遵循的最基本的原则。在该设计原则指导下,设计者在做出选择和判断时需要考虑各种常常是相互矛盾的因素,最终给出优化的设计方案。因此,化工设计并非只有唯一的答案,而是一个多目标的优化问题。一个完整的化工设计不仅仅涉及化工工艺、化工设备的设计,而且还涉及材料、仪表、控制、运输、土建、照明、通风、公用工程、“三废”处理等多方面的设计内容,化工设计是多学科领域相互渗透与交融的结果。

1.1.1 设计文件

化工设计的基本任务就是将一个工厂、车间或一套生产装置的建设任务用文字、图、表等形式表述出来,这些文字、图、表等称为设计文件。一套完整的化工生产装置的建设不仅包含化工工艺及化工设备的设计,而且包含材料、仪表、控制、运输、土建、照明、通风、公用工程、三废处理等多方面的设计,而化工工艺及化工设备的设计是整个设计工作的核心。

化工工艺设计的设计文件主要包括设计说明书、流程图(如工艺流程图、管道及仪表流程图等)、布置图(如设备布置图、管道布置图、单线图、管口方位图、平台梯子图及管道轴测图等)、设备图(如设备总图、装配图、部件图、零件图等)、各类表格(如设备一览表、管道等级表、控制点及控制测量仪器仪表汇总表等)。

下面对部分设计文件作简要说明。

1.1.1.1 设计说明书

设计说明书主要包括以下内容。

(1) 设计依据。包括可行性报告、计划任务书、相关的批文以及实验报告、调查报告等技术资料。

(2) 设计原则。设计所遵循的具体政策及规范,工艺路线、设备、材质、自动控制水平等的选用原则。

(3) 原材料、产品等的主要技术规格。包括原材料的规格、辅助材料的要求、生产规模、产品的规格、界区条件、公用工程的规格等。

(4) 工艺流程简述。结合工艺流程简图简述工艺过程,说明所发生的主、副化学反应,说明工艺流程的特点及温度、压强、流量等操作条件等。

(5) 车间(装置)组成和生产制度。主要包括车间(装置)组成、年操作时间、操作班制、操作方式(间歇或连续生产)等。

(6) 工艺计算。主要包括物料衡算、热量衡算、主要设备的计算及选型等。

(7) 主要原材料、动力消耗定额及消耗量。列出主要原材料、动力的每日或每年的消耗量,列出每吨产品的原材料消耗定额。

(8) 生产控制。包括流程中主要控制方案的原则及控制要求,并在工艺流程图、管道及仪表流程图上表示出控制方案,同时还要列出控制点及控制测量仪器仪表汇总表。

(9) 装置的操作说明。包括开停车过程说明、操作原理及故障排除方法等。

(10) 分析方法及说明。包括分析点的编号和所在位置、分析项目和控制指标、分析频率及分析方法等。

(11) 公用工程。包括供电、给排水、蒸汽、冷冻及空压(压缩用气及仪表用气)等。根据系统模拟计算结果,汇总公用工程消耗,列出单位时间和单位产品的消耗量。

(12) “三废”治理及综合利用。对“三废”的排放点、排放量、主要成分及处理方法等予以说明。

(13) 土建。对土建、管道及阀门的材质和设计安装等工程设计予以说明,列出车间建筑物、构筑物表及建筑的相关图纸。

(14) 安全技术与劳动保护说明。说明装置危险区的划分,列出所处理介质的特性和允许浓度,事故处理及劳动保护应设置的特殊措施。

(15) 产品成本计算。产品成本主要从原材料、动力消耗、工资、副产品及其他回收费用等方面进行计算,列出成本计算表。

(16) 存在的问题及建议。说明设计中存在的主要问题,并提出解决的办法和建议。

1.1.1.2 设计图纸

化工设计图纸的内容因设计阶段的不同而异,主要包括工艺流程图、管道及仪表流程图、

设备布置图、管道布置图、设备装配图等。

工艺流程图(process flow diagram, PFD)主要表达工艺流程、主要设备、主要工艺管道及介质流向、主要工艺操作条件、物流的流率及物流组成、主要参数的控制方法等,它是化工设计中最重要、最本质、最基础性的图纸。

管道及仪表流程图(piping and instrumentation diagram, PID)除了要给出工艺流程、主要设备外,还要表达所有开停车和正常操作所需的管道以及检测、控制、报警、切断等仪表和联锁系统,同时也要表达出特殊管线的等级、公称直径、保温要求等。PID的工作重点是管道流程和控制方案。

设备布置图要表达主要建筑结构(如厂房的柱、墙、门、窗、楼梯等)、设备轮廓、定位尺寸(设备、操作台、吊装孔、地坑等的定位尺寸以及柱网间距等)。设备布置图一般由若干张设备的平面布置图及立面布置图组成。

设备装配图则是通过一组视图表达设备的主要结构形状和零部件之间的装配关系,在装配图中要标出表示设备总体大小的总体尺寸、表示规格大小的特性尺寸、表示零部件之间装配关系的装配尺寸、表示设备与外界安装关系的安装尺寸等,提出设备在制造、检验、安装、材料、表面处理、包装和运输等方面的要求,为设备的制造、装配、安装、检验等提供依据。

流程图及设备图的基本要求及制图方法详见第7章。

1.1.2 化工设计的类型

当实验研究中有了新发现(如采用了新原料、获得了某种新产品、利用了某种新的催化剂、采用了某种新技术或者是实现了某一新的化学反应等),在对这种新发现作了充分的技术和经济评价后,就要进行化工过程开发,从而实现从实验室成果到工业生产装置的成功开车和运转。

化工设计是化工过程开发的重要环节,一个新产品或新工艺从实验研究到工厂、车间或生产装置的建成,其不同阶段所需进行的化工设计工作也不同。依据化工过程开发阶段的不同,化工设计一般分为两大类,一是技术开发阶段的设计,二是工程建设阶段的设计。

1.1.2.1 技术开发阶段的设计

技术开发阶段的设计包括概念设计、中试装置设计、基础设计等,这类设计是新技术开发过程的重要环节,一般由研究单位的工程开发部门来完成。

1) 概念设计

概念设计是工程研究的重要环节,它是在应用研究进行到一定阶段后,按未来的工业生产装置规模所进行的假想设计,其内容主要是根据研究所提供的概念和数据,确定工艺流程和工艺条件、主要设备的类型和材质、“三废”处理措施等,最终得出基建投资、产品成本等主要技术经济指标。一般情况下,概念设计在中试以前进行。通过概念设计可判断实验研究得到的工艺条件是否合理,数据是否充分,为工业化提供指导和依据。

2) 中试装置设计

当某些开发项目不能采用数学模型法放大,或者其中有若干研究课题无法在小试中进行,一定要通过相当规模的装置才能取得数据或(和)经验时,需要进行中试设计。中试装置的任务包括验证基础研究得到的规律;考察从小试到中试的放大效应;研究一些出于各种因素没有条件在实验室进行研究的课题;进行新设备、新仪器、新材料、新控制方案等的试验。

因此,中试装置设计的内容基本上与工程设计相同,但由于规模小,若不影响安装,可以不出管道、仪表、管架等安装图纸。

3) 基础设计

基础设计是一个完整的设计技术文件,是化工过程开发阶段的研究成果。基础设计的内容应包含将要建设的生产装置的一切技术要点,是一个能达到一定的产量和质量指标、安全可靠的生产装置的设计。基础设计主要包括以下内容。

(1) 设计基础。包括设计依据、技术来源、生产规模、年操作时间、原材料及辅助材料的规格、产品要求、界区条件以及公用工程规格等。

(2) 工艺流程说明。详细说明工艺生产过程、主要工艺特点、反应原理、工艺参数和操作条件等。

(3) 工艺流程图。在该流程图中应反映出工艺流程、主要工艺操作条件、物流组成、主要设备特性和主要控制要求。

(4) 管道及仪表流程图。该流程图包括管道流程及控制方案,并对特殊管线的等级、公称直径、保温等提出要求。

(5) 设备布置建议图。表示出主要设备的相对位置,一般由若干张设备的平面布置图及立面布置图组成。

(6) 设备名称表和设备规格说明书。主要包括非标准设备的简图、表示设备性能的主要参数、设备操作温度及压强、材料选择要求等;对关键设备及有特殊要求的设备提出详细的结构说明、设备结构条件图及防腐要求等。

(7) 对工程设计的要求。主要包括对土建的要求、对管道及阀门等的材质和设计安装的要求以及对工程设计的一些特殊要求等。

(8) 装置的操作说明。主要包括开停车过程说明、操作原理及故障排除方法以及分析方法及相关说明等。

(9) 自控设计说明。包括流程中主要控制方案的原则及控制要求,控制点数据一览表,主要仪表选型及特殊仪表的技术条件说明等。

(10) 分析规程。主要包括分析点的编号和所在位置、分析项目和控制指标、分析频率以及分析方法等。

(11) 安全技术与劳动保护说明。阐述装置危险区的划分,列出所处理介质的特性和允许浓度,说明为了安全生产、事故处理以及劳动保护所设置的特殊措施等。

(12) 装置的“三废”排放。包括“三废”的排放点、排放量、主要成分及处理方法,对工业卫生及安全生产的要求。

(13) 消耗定额。列出原材料、辅助材料、公用工程等消耗定额。

(14) 有关的技术资料、物性数据等。

1.1.2.2 工程建设阶段的设计

工程建设阶段的设计包括初步设计和详细设计,这是化工装置进行基本建设及实施的依据,该阶段的设计需要由具备化工设计资质的单位负责进行。

1) 初步设计

初步设计的设计内容比基础设计更完整,它是根据基础设计的内容,再结合建厂的具体条件所作出的工程设计阶段的设计文件,各设计阶段完成的文件和版次见表 1-1。

表 1-1 各设计阶段完成的文件和版次

项目	基础设计	初步设计	详细设计
设计说明书	I	II	III
工艺流程图(PFD)	I	I	I
管道及仪表流程图(PID)	I	II	III
设备规格说明书	I	II	II
设备布置图	I	II	III
设备一览表	I	II	II
配管工程说明	—	I	II
管道等级表	—	I	II
管道布置图	—	—*	I
单线图	—	—	I

注：I、II、III表示设计的版次；—表示该阶段不出此文件；*表示有的初步设计出此文件

初步设计的作用是为工厂的建设者(或工程主管部门)审查该项目是否先进、安全、环保,投资、原料、燃料、关键设备、其他材料的来源和运输等是否落实提供技术资料,为工厂的建设者(或工程主管部门)最终决定是否进行该项目的建设提供依据。

2) 详细设计

详细设计的设计内容比初步设计更深入。它要提供进行工程建设和生产所需的一切施工图和文件,编制精确的投资计算。

初步设计和详细设计的内容可参考化工设计类教材及手册,在此不再详述。

不同设计阶段所需完成的设计文件和版次如表 1-1 所示。

1.2 课程设计的目的和要求

作为学生综合运用专业知识进行的一次设计实践,课程设计应达到以下目的和要求。

(1) 初步掌握化工设计的基本过程及程序,熟悉物性数据及设计参数的查阅及计算方法;了解相关技术标准的内容,并能合理地使用标准。

(2) 培养学生的工程计算能力,掌握物料衡算、热量衡算、设备的工艺设计及结构设计的基本方法,能运用工程技术语言表述设计思想和设计结果,完成工艺及设备的设计计算;掌握设计说明书的基本内容,掌握工艺流程图以及设备装配图的基本要求和绘制方法。

(3) 培养学生的工程意识和经济观念,在设计时不仅要考虑技术上的先进性与可行性,还要考虑经济上的合理性,同时还应考虑过程和设备的可操作性、安全性以及对环境的保护等,使学生能在“优质、高产、低耗、安全、环保”的设计原则指导下去分析和解决设计中所遇到的问题。

(4) 课程设计既需要基础理论的指导,也有很多参数和变量需要学生从工程角度出发自行选择和确定。因此,设计的依据应科学合理,设计的过程应严谨规范,设计的结果应正确可信。通过课程设计,培养学生实事求是的科学态度和严谨认真的工作作风。

1.3 课程设计的内容和步骤

课程设计是以化工单元过程为设计对象,综合化工原理、化工设备、化工过程自动控制、化工制图等课程的知识进行的初步的化工设计实践,涵盖化工基础设计的基本程序和主要设计内容。

课程设计的设计任务书可以由教师给定,也可由学生自定。设计任务书主要包括生产规模、原材料及产品的规格、年操作时间、精馏塔的操作条件等基础参数。学生根据任务书提供的设计条件和要求完成下述设计任务。

(1) 设计方案的确定。针对设计任务书给定的体系,结合生产实际查阅有关文献资料,通过分析研究,选定适宜的流程方案和设备类型,确定原则性工艺流程,同时对选定的流程方案和设备类型进行简要的阐述。

(2) 精馏塔的工艺设计计算。依据有关资料进行工艺设计计算,主要包括物料衡算、热量衡算、相关物性数据的计算、精馏塔塔体工艺尺寸的设计计算(塔高、塔径)、塔板工艺尺寸的设计计算等。

(3) 辅助设备的设计和选型。辅助设备的设计和选型包括辅助设备的主要工艺尺寸计算和设备型号、规格的选定。对于精馏操作,可能用到的辅助设备有进料预热器、塔顶冷凝器、塔底再沸器、塔顶产品冷却器、塔釜产品冷却器、进料泵、出料泵、回流泵等。

(4) 精馏塔的机械设计。结合化工设备课程进行精馏塔的结构设计、强度设计及稳定性校核。

(5) 绘制精馏工艺流程图。

(6) 绘制精馏塔的装配图。

完整的课程设计文件由设计说明书和设计图纸两部分组成,其中设计说明书主要包括以下内容。

(1) 封面(设计题目、班级、姓名、指导教师、设计时间)。

(2) 目录。

(3) 设计任务书。

(4) 设计方案评述。

(5) 精馏塔的工艺设计。

(6) 主要辅助设备的设计及选型。

(7) 精馏塔的机械设计。

(8) 设计评述及有关问题的讨论。

(9) 参考文献。

设计图纸包括工艺流程图及设备装配图。

课程设计的步骤主要包括:动员和任务布置、查阅资料及现场调查、设计计算、编写设计说明书、绘制工艺流程图和设备装配图、考核等。

考核可以采取答辩的形式。通过答辩可以了解学生对专业知识理解和掌握的程度,发现学生在设计中存在的问题和不足,也可以为学生构建起交流和讨论的平台。答辩后,学生针对答辩中发现的问题对设计文件进行修改补充,进一步完善设计文件。

第 2 章 物性数据的查取与计算

物性数据是化工设计不可缺少的基础数据,常用的物性数据包括密度、黏度、沸点、蒸气压、热容、气化潜热、热导率、表面张力、溶解度等。由于化工生产过程所涉及物质成千上万,不同化工过程设计计算所需要的物性数据各异,因此,掌握获取物性数据的方法和途径非常重要。

2.1 获取物性数据的途径

获取物性数据主要可通过以下几个途径。

(1) 从手册或物性数据库中获取。常用物质的物性数据,已由前人进行了系统测定及归结总结,通常以表格和(或)图的形式示于化学化工类手册、专业性的书籍或物性数据库中。化工设计常用的物性数据手册包括《化学工程手册》、《化工工艺设计手册》、《化工物性算图手册》、*Perry's Chemical Engineers' Handbook*、*CRC Handbook of Chemistry and Physics* 等,化工原理教材的附录中也会列出常见体系的物性数据。专业设计软件(Aspen Plus、Pro II、ChemCAD 等)都带有丰富的物性数据库。通过手册、物性数据库获取物性数据是化工设计最常用和最便捷的方法。

(2) 从真实的生产过程中收集数据。进行相同类型的工艺、设备设计时,也可以直接从已有的生产操作过程中收集物性数据作为设计的参考数据。

(3) 实验测定。直接通过实验测定得到的数据是最可靠的,但实验测定需要相应的实验技术和设备,而且实验测得的数据尚需经过数据处理方可使用(数据处理可参阅有关实验数据处理的专门书籍)。通过前面两种方法无法获得物性数据时可采用此法。

(4) 计算。若所需的数据无法从手册中查到,而且通过实际生产过程或实验进行测定的条件又不具备时,就需要用一些半经验或经验的公式进行计算。化学化工类手册、专业性的书籍中均收集有此类公式,设计时可根据所处理的物系,选用适宜的公式对物性数据进行计算。

物性数据的单位是物性数据使用时需要特别予以关注的问题。自从 1960 年第十一届国际计量大会正式通过国际单位制(SI),该单位制就以其先进、实用、简单、科学而被世界各国及国际组织广泛采用。1984 年我国颁布的《中华人民共和国法定计量单位》也是以国际单位制为基础制定的。因此,在使用物性数据时应采用国际单位制。

由于一些计算物性数据的半经验或经验公式是在当时的单位制下得到的,公式中往往带有很多系数或参数,因此有些公式的单位不能转换,有些公式经过转换后会给其中一些系数或参数的使用带来不便,故本章中有些半经验或经验公式仍使用的是原有的单位制。使用这些公式计算物性数据时,应特别注意公式中各参数的单位。

对应于各类理想体系和非理想体系、纯组分和混合物体系以及不同的环境条件(不同的温度、压强等),计算物性数据的公式繁多。由于篇幅所限,本章仅就课程设计中用到的物性数据的计算方法作简要介绍,物性数据计算的详细内容请参考相关的数据手册。

2.2 纯物质物性数据的查取与计算

工业上所处理的体系大多为混合物体系,混合物的物性数据往往需要通过纯物质的物性数据来求取。纯物质的物性数据通常可通过化学化工类手册、专业性的书籍或物性数据库等查取。由于物质的物理性质受温度、压强等因素的影响,因此不同温度、压强条件下,纯物质的物性数据需要通过一些相关的公式或经验式进行计算。

2.2.1 气体或蒸气的密度

就工程计算目的而言,在通常情况下,气体或蒸气的密度可用 $pV=nRT$ 来计算,即

$$\rho = \frac{M}{22.4} \times \frac{273}{T} \times \frac{p}{1.103 \times 10^5} \quad (2-1)$$

式中: ρ 为气体或蒸气的密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; M 为气体或蒸气的摩尔质量, $\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$; p 为气体或蒸气的绝对压强, Pa; T 为气体或蒸气的温度, K。

如果体系的压强较高或要求的计算精度高,可用压缩因子法或其他方法进行处理。

2.2.2 纯物质的蒸气压

纯物质(液体或固体)的饱和蒸气压是温度的函数,且随温度的升高而增加。相同温度条件下,不同物质的饱和蒸气压也不同。

饱和蒸气压可以通过实验测定,很多物质的饱和蒸气压都可以从手册或文献中查到。当缺乏实验数据,也无法从手册或文献中查取时,可用下面的方法进行计算。

1) 克劳修斯-克拉贝龙(Clausius-Clapeyron)方程

$$\ln(p_2^0/p_1^0) = -\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2-2)$$

式中: p_1^0 、 p_2^0 分别为 T_1 、 T_2 温度下的饱和蒸气压, Pa; ΔH 为摩尔气化热, $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$; R 为摩尔气体常量, $8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

式(2-2)由热力学关系推导而来,其中 ΔH 在温度变化范围不大时可视为常数。若知道温度 T_1 时的 p_1^0 和 ΔH 值,可用式(2-2)计算其他温度下的饱和蒸气压。

2) 安托因(Antoine)方程

安托因方程是关联饱和蒸气压与温度关系最常用的方程之一,其表达式为

$$\lg p^0 = A - \frac{B}{C+t} \quad (2-3)$$

式中: p^0 为饱和蒸气压, kPa; t 为温度, $^{\circ}\text{C}$; A 、 B 、 C 为安托因方程的系数。

各种手册上所提供的安托因方程系数常有明确的使用温度范围,不宜任意外推。在给定的温度范围内,此方程有很好的精确度。另外,各种手册上所提供的安托因方程系数因其所使用的计量单位不同而有不同的数值,使用时应予以注意。

部分化合物的安托因方程系数及使用温度范围如表 2-1 所示。