

“十二五”上海重点图书
※ 高等院校应用型化工人才培养丛书

化工单元操作 设备设计

张洪流 张茂润 © 编著



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

图书在版编目(CIP)数据

化工单元操作设备设计/张洪流, 张茂润编著. —上海:
华东理工大学出版社, 2011. 12

(高等院校应用型化工人才培养丛书)

ISBN 978-7-5628-3174-7

I. ①化… II. ①张… ②张… III. ①化工原理—课程
设计—高等学校—教学参考资料②化工设备—课程设
计—高等学校—教学参考资料③化工机械—课程设计—高
等学校—教学参考资料 IV. ①TQ02 ②TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 232643 号

“十二五”上海重点图书 高等院校应用型化工人才培养丛书 化工单元操作设备设计

编 著 / 张洪流 张茂润

责任编辑 / 焦婧茹

责任校对 / 金慧娟

封面设计 / 陆丽君 裘幼华

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

社 址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电 话: (021) 64250306 (营销部) 64252344 (编辑室)

传 真: (021) 64252707

网 址: press.ecust.edu.cn

印 刷 / 上海展强印刷有限公司

开 本 / 787mm×1092mm 1/16

印 张 / 22.25 插页 3

字 数 / 540 千字

版 次 / 2011 年 12 月第 1 版

印 次 / 2011 年 12 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-3174-7/TQ·165

定 价 / 45.00 元

(本书如有印装质量问题, 请到出版社营销部调换。)

前 言

随着我国高等教育事业的迅猛发展，社会用人机制的变革，化工类专业质量体系认证及卓越工程师教育培养计划的实施，实用型教材建设工作已迫在眉睫。本教材正是基于上述因素组织编写的。

化工单元操作设备设计是将化工原理及化工设备机械基础课程结合的一个总结性教学环节，是学生综合运用所学知识从事化工单元操作设备设计的训练过程。通过该环节，可培养学生实事求是的科学态度和独立工作的能力，是化工类及其相关专业极为重要的实践性教学环节之一。

本教材从培养本科应用型人才目标出发，本着理论必须、够用为度，强化应用技能培养的原则编写。主要介绍化工单元操作设备设计的基本概念，以及典型设备的工艺设计和结构设计知识，侧重对学生工程应用能力的培养。

为了便于实施目标教学和自学，全书共分上下两篇：上篇工艺设计篇主要介绍化工单元操作设备的工艺设计方法，包括单元操作设备工艺设计基础以及列管式换热器、浮阀式精馏塔、填料吸收塔、搅拌反应釜等典型单元操作设备的工艺设计方法及设计示例；下篇机械设计篇主要介绍化工单元操作设备的结构设计方法，包括单元操作设备机械设计基础以及贮罐、反应釜、列管式换热器等典型设备的结构设计方法和设计示例。内容组织上按设计基础知识、典型设备的设计方法、设计示例三部分编排，从总体到个别并通过设计示例教学以达到理解和熟练掌握单元操作设备设计方法的要求。

本书由安徽理工大学张洪流和张茂润担任主编。参与编写的人员及其具体分工为：张洪流（绪论、第1章、第2章）、关进华（第3章）、赵权（第4章）、陈刚（第5章）、张茂润（第6章、第8章）、彭成松（第7章）和杨忠连（第9章）。

由于水平有限，加之设计规范新老交错，书中不完善之处敬请广大同仁和读者指正，以使本书日臻完善。

张洪流 张茂润

2011年7月

主要符号说明

英文字母

- a ——填料的比表面积, m^2/m^3 ;
 c ——摩尔浓度, kmol/m^3 ;
 d ——直径, m ; 叶轮直径, m ;
 D ——塔径, m ; 扩散系数, m^2/s ; 搅拌槽内径, m ;
 E ——液流收缩系数, 量纲为一; 亨利系数, kPa ;
 F_1 ——泛点率, %;
 g ——重力加速度, m/s^2 ;
 h ——液层厚度, m ;
 H ——板式塔结构高度参数, m ; 压头, m ;
 H_{OG} ——气相传质单元高度, m ;
 H_{OL} ——液相传质单元高度, m ;
 k ——吸收分系数, 对应不同的推动力有多种单位;
 K ——吸收总系数, 对应不同的推动力有多种单位;
 L ——吸收剂用量, kmol/s ;
 L_s ——液相体积流量, m^3/s ;
 m ——相平衡常数, 量纲为一;
 M ——物质的摩尔质量, kg/kmol ;
 N ——吸收速率, $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 搅拌器的功率消耗, W ;
 N_{OG} ——气相传质单元数, 量纲为一;
 N_{OL} ——液相传质单元数, 量纲为一;
 R ——通用气体常数, $\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$ 或 $\text{kPa} \cdot \text{m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{K})$;
 T ——气体的温度, K ;
 u ——液流速度, m/s ;
 V ——惰性气体的摩尔流量, kmol/s ; 搅拌槽体积, m^3 ;
 V_s ——气相体积流量, m^3/s ;
 x ——组分在液相中的摩尔分数, 量纲为一; 功率关联式中雷诺准数的指数;
 X ——组分在液相中的比摩尔分数, 量纲为一; 功率关联式中弗鲁德准数的指数;
 y ——组分在气相中的摩尔分数, 量纲为一;
 Y ——组分在气相中的比摩尔分数, 量纲为一;
 Z ——填料层高度, m ;
 A ——吸收因子, 量纲为一;

G ——空塔质量流速, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;

Fr ——弗鲁德准数, 量纲为一;

H_i ——叶轮距离槽底的深度, m ;

H_l ——液面距离槽底的高度, m ;

n ——叶轮转速, r/min ;

P_o ——功率准数, 量纲为一;

q_v ——体积流量, m^3/s ;

Q_g ——通气速率, m^3/s ;

r ——叶片长度, m ;

Re ——雷诺准数, 量纲为一;

s ——圆盘涡轮式叶轮的圆盘径, m ;

u_T ——叶轮末梢速度, m/s ;

w ——叶片宽度, m ;

We ——韦伯准数, 量纲为一;

z ——叶片数, 个。

希腊字母

ρ ——密度, kg/m^3 ;

ϕ ——填料因子, l/m ; 功率因数;

Φ ——发泡系数、焊缝系数和焊接接头系数, 量纲为一;

Ψ ——液体密度校正系数, 量纲为一;

η ——回收率, 量纲为一;

Δ ——差值, 单位视具体情况而定;

Ω ——塔截面积, m^2 ;

μ ——黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

σ ——表面张力, N/m ;

γ ——恩田式中由填料类型决定的系数, 量纲为一; 汽化(冷凝)潜热, kJ/kg ;

θ ——恩田式中由填料类型决定的系数, 量纲为一;

α ——有打漩现象的搅拌器功率计算式中的系数;

β ——有打漩现象的搅拌器功率计算式中的系数。

目 录

主要符号说明	1
绪 论	1
0.1 化工单元操作设备设计的性质与意义	1
0.2 化工单元操作设备设计的内容与步骤	2
0.2.1 工艺设计的内容与步骤	2
0.2.2 结构设计的内容与步骤	3
0.3 课程设计的组织与成绩评定	3
0.3.1 课程设计的组织	3
0.3.2 成绩评定	4

上篇 单元操作设备工艺设计篇

第1章 单元操作设备工艺设计基础	7
1.1 设计方案的筛选与评价	7
1.1.1 技术与经济上的可行性	7
1.1.2 满足工艺和操作的要求	8
1.1.3 满足节能减排要求	9
1.1.4 确保安全生产	9
1.2 工艺设计图	9
1.2.1 工艺流程图	9
1.2.2 主体设备工艺条件图及其画法	15
1.3 化工管路	16
1.3.1 化工管路的基本构成	17
1.3.2 管材的选用与连接	21
1.3.3 管路布置的一般原则	22
1.3.4 典型设备的管路布置	23
1.4 化工工艺数据的采集与计算	27
1.4.1 物性数据的采集与计算	27
1.4.2 化工工艺设计过程的基本计算方法	31
1.5 单元操作设备工艺设计方法论	32
1.5.1 方案的确定	33
1.5.2 工艺流程的设计	33
1.5.3 对设计意外状况的预见	34

1.5.4	经验参数的选取原则	35
1.5.5	设计简化计算方法	35
1.5.6	设计说明书的撰写	36
第2章	列管式换热器的工艺设计	37
2.1	概述	37
2.1.1	列管式换热器的结构类型	37
2.1.2	列管换热器的型号与规格	39
2.2	列管式换热器工艺设计中的共性问题	43
2.2.1	加热剂或冷却剂的选择	43
2.2.2	加热剂（或冷却剂）进、出口温度的确定	44
2.2.3	流动空间的选择	45
2.2.4	列管换热器的结构类型选择	45
2.2.5	管程数与壳程数	46
2.2.6	管子规格及长度	47
2.2.7	管子排列方式与管间距	48
2.2.8	折流挡板与支持板	51
2.2.9	拉杆与定距管	52
2.2.10	防短路装置	53
2.2.11	防冲挡板与导流筒	55
2.2.12	管板与壳体的连接方式	56
2.2.13	管箱	57
2.2.14	布管图与换热器的筒体直径	57
2.2.15	进、出口接管	58
2.2.16	支座	58
2.3	换热器的校核与设计计算	59
2.3.1	所需传热面积的估算	59
2.3.2	换热器的传热性能校核	60
2.3.3	列管换热器的压强降校核	61
2.4	列管换热器的选型设计	62
2.4.1	选型设计的一般步骤	62
2.4.2	标准列管的选型示例	62
2.5	非标准列管换热器的工艺设计	66
2.5.1	非标准列管换热器工艺设计的一般步骤	66
2.5.2	非标准列管换热器工艺设计示例	67
第3章	浮阀式精馏塔的工艺设计	74
3.1	概述	74
3.1.1	浮阀塔的结构与性能	74

3.1.2	板上液体的流动方式及选择	77
3.1.3	板式塔的异常操作现象及其控制	77
3.1.4	单溢流塔板的基本结构	79
3.1.5	精馏塔配套设备	86
3.2	浮阀式精馏塔的工艺设计	89
3.2.1	分析待分离物系, 确定分离方案	89
3.2.2	绘制带控制点的工艺流程图	89
3.2.3	确定工艺参数	90
3.2.4	选择设计塔板, 确定物性参数	91
3.2.5	塔板结构参数设计	91
3.2.6	板式塔的流体力学验算与结构参数推广	97
3.2.7	附件设计	104
3.3	非标准浮阀式精馏塔的工艺设计	110
3.3.1	非标准浮阀塔的工艺设计步骤	110
3.3.2	非标准浮阀塔板设计示例	110
3.4	标准浮阀式精馏塔盘的选型设计	116
第4章	填料吸收塔的工艺设计	117
4.1	概述	117
4.1.1	填料吸收塔的构造与流程	117
4.1.2	填料	120
4.1.3	填料塔附件	123
4.2	填料吸收塔的工艺设计	126
4.2.1	分离方案与流程的确定	127
4.2.2	吸收剂的选择	127
4.2.3	填料选择	129
4.2.4	工艺基本参数计算	130
4.2.5	操作液气比及溶剂用量的确定	131
4.2.6	塔径计算	132
4.2.7	流体力学验算	134
4.2.8	吸收系数	135
4.2.9	填料层高度计算	139
4.2.10	填料塔附件设计	140
4.3	填料吸收塔工艺设计示例	141
4.3.1	填料吸收塔的工艺设计步骤	141
4.3.2	填料吸收塔设计示例	141
第5章	搅拌装置的放大设计	146
5.1	概述	146

5.1.1	搅拌装置的构成	146
5.1.2	搅拌器中的流型及其控制	151
5.1.3	搅拌效果	153
5.1.4	搅拌器的液体循环量、压头及功率消耗	154
5.2	搅拌功率计算及搅拌器选型	155
5.2.1	标准搅拌器构型	156
5.2.2	功率关联式	156
5.2.3	功率曲线	157
5.2.4	非均相物系搅拌功率的计算	160
5.2.5	搅拌器选型	161
5.3	搅拌器放大	164
5.3.1	单元设备的放大基础	164
5.3.2	搅拌器的放大方法	165
5.4	搅拌器放大设计示例	167
5.4.1	搅拌釜放大设计步骤	167
5.4.2	搅拌釜放大设计示例	167

下篇 单元操作设备机械设计篇

第6章	化工设备机械设计基础	171
6.1	化工设备机械设计的一般步骤	171
6.1.1	准备阶段	171
6.1.2	设计阶段	172
6.1.3	设备装配图及零部件图的绘制	174
6.2	化工设备图的表达特点	174
6.2.1	化工设备的结构特点	174
6.2.2	化工设备的图示表达特点	176
6.2.3	化工设备图中的简化画法	178
6.2.4	化工设备图的尺寸标注	181
6.3	化工设备的焊接及质量检验	184
6.3.1	化工设备的焊接结构	185
6.3.2	接头的坡口型式、焊接方法及焊缝的标注	186
6.3.3	容器焊接结构设计准则及焊条的选择	191
6.3.4	焊缝的探伤要求及标准	194
6.4	装配图的绘制	199
6.4.1	化工设备装配图的视图选择	199
6.4.2	化工设备装配图的绘制方法及步骤	200
6.4.3	管口符号的编排原则和方法	201
6.4.4	技术特性表的编制	202
6.4.5	图面技术要求的撰写	203

6.4.6	总标题栏的内容和格式	203
6.4.7	化工设备零部件图的绘制	204
6.5	技术要求的编写	205
6.5.1	钢制焊接压力容器	205
6.5.2	不锈钢耐酸钢制焊接容器	206
6.5.3	塔类技术要求	206
6.5.4	列管式换热器	207
6.5.5	带搅拌设备的技术要求	207
第7章	贮罐(槽)的机械设计	211
7.1	固定式卧式圆筒形贮罐设计的基本理论	211
7.1.1	罐体的结构型式	211
7.1.2	筒体的直径和高度	212
7.1.3	内压筒体壁厚的设计	213
7.1.4	封头壁厚的设计	214
7.1.5	压力试验	215
7.1.6	人孔的设计及补强计算	216
7.1.7	管法兰的连接结构	219
7.1.8	管口结构	221
7.1.9	支座的选型及验算	223
7.1.10	液面计的设计	226
7.1.11	焊缝结构的设计	227
7.1.12	装配图的绘制	227
7.2	贮罐机械设计的应用举例	228
7.2.1	罐体的设计	230
7.2.2	罐体附件的选型及设计	232
7.2.3	罐体的开孔补强及附件	238
7.2.4	焊缝结构的设计	240
7.2.5	液氨贮罐的装配图及部件图	241
第8章	立式带夹套的反应釜机械设计	243
8.1	反应釜机械设计基本理论	243
8.1.1	釜体的结构型式	244
8.1.2	筒体的直径和高度	244
8.1.3	釜体内压筒体壁厚的设计	246
8.1.4	釜体内压封头壁厚的设计	246
8.1.5	釜体外压圆筒壁厚的设计	246
8.1.6	外压封头壁厚的设计	248
8.1.7	釜体的压力试验	249

8.1.8	反应釜夹套的设计	249
8.1.9	夹套的压力试验	250
8.1.10	传热装置的设计	250
8.1.11	釜体容器法兰的连接结构	253
8.1.12	管法兰的连接结构	254
8.1.13	管口结构	254
8.1.14	工艺接管口与仪表接管口	256
8.1.15	人孔的设计	256
8.1.16	视镜	256
8.1.17	反应釜的搅拌装置	257
8.1.18	反应釜的传动装置	260
8.1.19	传动装置附件	263
8.1.20	反应釜的轴封装置	267
8.1.21	支座设计	270
8.1.22	反应釜装配图的绘制	272
8.2	立式带夹套的反应釜设计应用举例	273
8.2.1	反应釜釜体的设计	276
8.2.2	反应釜夹套的设计	279
8.2.3	反应釜釜体及夹套的压力试验	280
8.2.4	反应釜附件的选型及尺寸设计	282
8.2.5	搅拌装置的选型与尺寸设计	287
8.2.6	传动装置	290
8.2.7	反应釜的轴封装置设计	291
8.2.8	支座的选型及设计	291
8.2.9	焊缝结构的设计	293
8.2.10	人孔的开孔及补强计算	293
8.2.11	反应釜的装配图及部件图	295
第9章	列管式换热器的结构设计	297
9.1	非标准列管式换热器结构设计中的共性问题	297
9.1.1	材料及选用	297
9.1.2	结构设计中的共性问题	298
9.1.3	管板计算	308
9.2	列管式换热器结构设计示例	314
9.2.1	设计说明	314
9.2.2	计算示例	315
	附录	335
	参考文献	343

绪 论

0.1 化工单元操作设备设计的性质与意义

“化工原理”和“化工设备机械基础”课程是高等院校化工类及其相近或相关专业的重要技术基础课程。前者主要研究化工单元操作过程中的动量传递、热量传递和质量传递的基本理论与规律,以及实现这些传递过程的生产设备和技术;后者主要研究化工设备的选材、强度计算理论、检验与调试方法,以及典型化工设备的结构设计技术等。整个课程体系分为理论教学、实习、实验和课程设计四个相互独立而又紧密联系的部分,课程设计则是上述课程的总结性教学环节,是进一步巩固、深化和具体应用课程理论知识与实验技能的重要过程,是培养学生综合运用所学知识完成化工设计任务的全面训练。

“化工单元操作设备设计”由上述两门课程设计整合而来,以便合理利用教学资源,并可用“化工原理课程设计”的成果作为“化工设备机械基础课程设计”的选题,激发学生的再学习与创造热情,加深学生对这两门课程设计上、下层约束关系的理解。因此,化工单元操作设备设计是化工原理及化工设备机械基础课程的重要教学环节,是培养学生综合运用所学知识解决设计任务的训练,是理论教学与化学工程设计相结合的纽带,是学生理论知识的综合运用及解决工程问题的能力的重要升华。

通过课程设计,学生针对设计任务,融汇所学知识查阅资料,经过反复的论证分析,择优选定最理想的设计方案和流程,进行过程和设备的设计计算及核算,从而在查阅资料、选用公式、采集数据、文字表达、化工制图等方面得到全面训练,培养学生独立工作能力与团队协作精神。因此,化工单元操作设备设计是化工类所有专业及石油加工、矿物加工、林产加工、材料工程、食品工程、环境工程、生物工程、制药工程、过程控制与装备等专业的重要实践性教学环节,在整个专业课程教学体系中的地位十分突出,对培养学生的综合应用能力及独立工作能力的作用十分明显,尤其对那些毕业前只做毕业研究论文而不做毕业设计的学生更为重要。

通过化工单元操作设备设计过程,应注意培养学生以下几方面能力。

1. 查阅资料和现场采集数据的能力

包括从设计手册和文献中查取实验数据、选用计算公式,借鉴新技术和设计新理念,套用设备标准、型号、规格等。当手册和文献缺乏所需的数据时,应具备从生产现场搜集或借

助实测来采集数据的能力。

2. 设计方案的综合评价能力

要培养学生既考虑技术上的先进性与可行性,又考虑经济上的合理性,力求节能减排,以提高对人员和环境的保护,降低生产成本的设计指导思想,综合评比、筛选出最优化设计方案。

3. 逻辑思维与工程计算能力

设计过程的影响因素繁杂,对各类问题、可能出现的因果应进行预见性分析,学会抓住主要矛盾,强化逻辑推理训练。公式的选用要尽可能适应现场实际,对设计结果要选择行之有效的方法核算验证,同时还应考虑适当的安全系数。

4. 图文编撰能力

设计的最终结果以设计说明书呈现。说明书的编撰能力反映了设计者对设计任务的态度、设计指导思想、设计过程的严谨性、设计成果的可靠性。学生要注意培养用简练的文字、翔实的论证、清晰的图表来表达自己的设计思想,应具备科学的态度、实事求是的精神做好上述工作。

5. 团队协作精神

在化工设计过程中,由于受设计时限、个人精力和专业面的限制,往往靠一个人是不行的,需要分工协作加以完成。因此,通过课程设计培养学生的团队协作精神是必要的。通过明确的职责分工,和谐的相互协作,组织和落实好设计工作,这对学生在以后的学习与工作中都会有一定的帮助。客观地讲,对那些毕业环节不做工程设计的学校而言,培养学生团队协作能力的大环节也只有课程设计这一项。

0.2 化工单元操作设备设计的内容与步骤

化工单元操作设备设计包括工艺设计和结构设计两大部分:工艺设计主要根据工艺任务确定解决问题的方案、流程及相应的操作参数条件、设备类型及主设备的工艺尺寸;结构设计建立在工艺设计的基础之上,主要根据工艺条件进行选材,对主设备进行强度、刚度、稳定性计算及含附件在内的结构细节设计,完善加工和装配技术要求等。

0.2.1 工艺设计的内容与步骤

1. 设计方案的筛选与论证;
2. 主要设备的工艺设计计算;
3. 辅助设备的选型和计算;
4. 绘制带控制点的工艺流程简图;
5. 绘制主体设备工艺条件图;
6. 撰写设计说明书。

说明书和图纸是设计工作的书面总结,也是后续设计工作的主要依据。完整的工艺设

计说明书应包括以下内容:

- (1) 封面——包括设计任务名称、所在专业班级、设计者姓名、指导教师姓名、设计日期等;
- (2) 目录;
- (3) 设计任务书;
- (4) 前言——内容包括设计任务的目的意义、国际国内就同类问题的解决方法、设计方案筛选及经济性、可行性、先进性论证等;
- (5) 设计条件(设定)及主要物性参数表;
- (6) 工艺设计计算——包括物料流及介质流量计算、操作工艺参数计算、设备工艺尺寸计算及校核等;
- (7) 辅助设备计算及选型;
- (8) 设计数据汇总表;
- (9) 结束语——主要对设计实事求是地进行评价,指出设计中存在的不足之处以及解决方法;
- (10) 参考文献。

设计说明书应做到:论述条理清晰,观点明确;计算方法正确,误差小于设计要求,计算公式和所用数据必须注明出处;图表应能简要表达计算结果。

0.2.2 结构设计的内容与步骤

1. 设计方案的筛选与论证;
2. 机械设计阶段;
3. 绘制设备装配图,指明技术要求;
4. 编撰设计计算说明书。

0.3 课程设计的组织与成绩评定

0.3.1 课程设计的组织

为保障设计时间以及与课程的衔接,课程设计一般安排在课程结束前后,视各校的具体情况停课 2~4 周进行(其中:工艺设计 1~2 周、设备设计 1~2 周)。

设计小组一般由 2~4 名学生组成(可考虑以学生寝室为单位,以便灵活掌握时间与进程),组员要有明确的设计分工,群策群力,分工协作,以圆满完成设计任务。

设计进程可分为以下几个阶段:

- (1) 设计动员阶段,包括学生分组与设计任务下达;
- (2) 设计准备阶段,包括查阅资料及现场采集数据等;

(3) 设计阶段,包括相关设计计算、绘图和撰写设计说明书等;

(4) 成绩评定阶段。

指导教师要把握好各个环节的组织与指导。对各进程的开始和完成要有日程安排,设计过程应严格要求在设计室内进行,学生在进行下一进程前必须经过指导教师的审定和认可,对设计计算及绘图等大环节可根据需要拆分为小环节,以便控制进程,及时发现问题、解决问题,减少设计的返工量。

课程设计是一个系统训练学生工程应用能力的环节,涉及文献的查阅、设计方案的筛选、计算公式数据的应用、制图及文字编撰能力的培养等。通过课程设计,可使学生了解、掌握化工设计的相关常识、基本思路和设计方法,可为学生今后从事工程设计打下坚实的基础。同时,课程设计过程也是学生再学习和提高的课程,通过设计促进学生温故知新,对相关课程学习存在的不足进行有针对性的学习和提高。因此,无论指导教师还是学生都应把握好本实践环节。

0.3.2 成绩评定

化工单元操作设备设计环节在工科高等学校中通常列为考查科目,成绩按百分制或学分制(每周1学分)计分。可采取平时表现+设计说明书及图纸质量+答辩(或卷面考试)成绩相结合的方式,以确保成绩评定的客观、公正。

上篇 单元操作设备工艺设计篇
