

高等学校化工原理课程系列教材

化工原理 课程设计

■ 柴诚敬 贾绍义 主编

■ 王玥 李真 姜峰 马红钦 王立轩 夏清 等编



高等教育出版社

高等学校化工原理课程系列教材

化工原理课程设计

Huagong Yuanli Kecheng Sheji

柴诚敬 贾绍义 主编

王玥 李真 姜峰 马红钦 王立轩 夏清 等编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是天津大学化工学院组织编写的化工原理课程系列教材之一。本书注重理论对工程设计的指导作用,强调在设计过程中采用现代化的科学设计方法和手段,突出“整体优化”的观念。

全书共八章,内容包括过程工业中最常用到的搅拌、传热、蒸发、精馏、吸收、干燥和结晶等单元操作的设计。

本书可作为高等院校化工、制药、环境等专业的课程设计教材,也可供有关部门从事科研、设计及生产管理的工程科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理课程设计/柴诚敬,贾绍义主编;王玥等编.——北京:高等教育出版社,2015.10

ISBN 978-7-04-043858-1

I. ①化… II. ①柴… ②贾… ③王… III. ①化工原理-课程设计-高等学校-教材 IV. ①TQ02-41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 215367 号

策划编辑 翟 怡
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 翟 怡
责任校对 刘 莉

封面设计 张申申
责任印制 赵义民

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京市白帆印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 14.5
字 数 350 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2015 年 10 月第 1 版
印 次 2015 年 10 月第 1 次印刷
定 价 23.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 43858-00

前 言

本书是天津大学化工学院组织编写的化工原理课程系列教材之一,旨在通过对课程理论教学与实践教学环节有机的衔接,特别是通过“课程设计”综合实践环节的基本训练,加深对“化工原理”基本概念、基础理论、基本方法(技术)的理解和运用,提高学生的工程实践能力和创新意识,力求突出高素质应用型人才培养的特色。

本书编者均具有化工原理课程教学的丰富经历和指导课程设计的成熟经验。在本书编写过程中,编者吸取了多年来教学改革的经验 and 工程实践的成果,力求在内容和体系上有新意。本书更注重理论对于工程设计的指导作用,强调在设计过程中采用现代化的科学设计方法与手段,力求实现过程参数及设备参数的优化,使学生逐步建立“整体优化”的观念。

在选材上,本着“保基础、强实践、重创新、增强专业适用性”的主导思想,在传统单元操作设计的基础上,增添了“搅拌”“结晶”等单元操作的设计。每个单元操作的设计示例,均具有工业生产或科研实践的背景,有利于培养学生的工程观念和综合运用知识解决工程实际问题的能力。全书包括了过程工业中最常用到的搅拌、传热、蒸发、精馏、吸收、干燥和结晶等单元操作的设计。

参加本书编写的人员及分工如下:

主 编	柴诚敬	贾绍义	
分 章	第 1 章	绪论	柴诚敬
	第 2 章	搅拌设备的设计	王 玥
	第 3 章	管壳式换热器的设计	李 真
	第 4 章	蒸发装置的设计	姜 峰
	第 5 章	板式精馏塔的设计	贾绍义
	第 6 章	填料吸收塔的设计	马红钦
	第 7 章	流化床干燥装置的设计	王立轩
	第 8 章	结晶器的设计	夏 清

对上述所有的单元操作设计,除讨论流程方案的确定原则、设备选型、工艺尺寸的设计原理和程序外,还介绍了一些成熟的化工过程及设备设计软件及辅助设备的计算或选型。所介绍的单元操作都有设计示例,并附设计任务数则,可供不同专业课程设计时选用。

本书可作为高等院校化工、制药、环境等专业的化工原理课程设计教材,也可供有关部门从事科研、设计及生产管理的工程科技人员参考。

由于编者的水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2015年3月

目 录

第 1 章 绪论	1	第 4 章 蒸发装置的设计	65
1.1 课程设计的目的和要求	1	4.1 概述	65
1.2 课程设计的内容	2	4.1.1 蒸发器的类型	65
1.3 化工设计的基本原则	5	4.1.2 多效蒸发的效数及流程	69
第 2 章 搅拌设备的设计	7	4.1.3 蒸发设备和蒸发技术的发展	71
2.1 概述	7	4.2 多效蒸发装置的设计	72
2.1.1 搅拌操作的原理和工业应用	7	4.2.1 多效蒸发的工艺计算	72
2.1.2 机械搅拌设备的基本结构	8	4.2.2 蒸发器的主要结构尺寸	79
2.1.3 机械搅拌器的类型和选择	9	4.2.3 蒸发装置的辅助设备	81
2.1.4 搅拌器的发展	10	4.3 三效蒸发装置设计示例	85
2.2 机械搅拌设备的设计	11	附:蒸发装置设计任务两则	92
2.2.1 搅拌功率的计算	11	本章符号说明	94
2.2.2 搅拌设备中的传热计算	16	参考文献	95
2.2.3 搅拌槽内的附件	22	第 5 章 板式精馏塔的设计	96
2.3 机械搅拌设备设计示例	22	5.1 概述	96
附:机械搅拌设备设计任务两则	27	5.1.1 塔设备的类型与性能	96
本章符号说明	28	5.1.2 塔设备的比较与选型	96
参考文献	29	5.1.3 塔设备技术的发展	98
第 3 章 管壳式换热器的设计	30	5.2 板式精馏塔的设计	100
3.1 概述	30	5.2.1 设计步骤与设计方案的确定	100
3.1.1 传热原理及应用	30	5.2.2 塔板的类型与选择	101
3.1.2 换热器的分类	30	5.2.3 塔体工艺尺寸计算	103
3.1.3 管壳式换热器的结构	32	5.2.4 塔板工艺尺寸确定	105
3.1.4 换热器的强化	34	5.2.5 塔板的流体力学验算	113
3.1.5 换热器设计的新进展	35	5.2.6 板式精馏塔的结构与附属设备	117
3.2 换热器的设计	36	5.3 板式精馏塔设计示例	121
3.2.1 设计方案的确定	36	附:板式精馏塔设计任务两则	136
3.2.2 管壳式换热器的设计计算	48	本章符号说明	138
3.3 管壳式换热器设计示例	56	参考文献	139
附:换热器设计任务两则	63	第 6 章 填料吸收塔的设计	140
本章符号说明	63	6.1 概述	140
参考文献	64		

6.2 填料吸收塔的设计	141	7.2.4 流化床干燥器的结构设计	184
6.2.1 设计方案的确定	141	7.2.5 干燥装置的附属设备	189
6.2.2 工艺尺寸的计算	146	7.3 流化床干燥装置设计示例	192
6.2.3 填料层压降的计算	153	附:流化床干燥装置设计任务两则	200
6.2.4 填料塔内件的类型与设计	155	本章符号说明	202
6.3 填料吸收塔设计示例	157	参考文献	203
附:填料吸收塔设计任务两则	164	第 8 章 结晶器的设计	204
本章符号说明	166	8.1 概述	204
参考文献	167	8.1.1 结晶原理与应用	204
第 7 章 流化床干燥装置的设计	168	8.1.2 溶液结晶方法	205
7.1 概述	168	8.1.3 结晶器	206
7.1.1 干燥操作在工业中的应用及 对流干燥机理	168	8.2 结晶器的设计	210
7.1.2 干燥器的主要类型及干燥器 的性能要求	168	8.2.1 结晶器的设计步骤	210
7.1.3 流态化现象及流化床干燥器	170	8.2.2 设计方案的确定原则	211
7.1.4 对流干燥的节能	173	8.2.3 物料衡算和热量衡算	212
7.2 流化床干燥装置的设计	174	8.2.4 成核和晶体生长动力学	213
7.2.1 流化床干燥装置的设计步骤 及工艺条件的确定	174	8.2.5 粒数衡算和粒度分布	215
7.2.2 干燥过程的物料衡算和热量 衡算	177	8.2.6 结晶器设计方法	217
7.2.3 流化床干燥器主要工艺尺寸 的计算	179	8.3 结晶器设计示例	220
		附:结晶器设计任务两则	222
		本章符号说明	224
		参考文献	225

第1章 绪论

工程设计是工程建设的灵魂,又是科研成果实现产业化的桥梁和纽带,它决定着工业现代化的水平。先进的设计理念、科学的设计方法及优秀的设计作品,是工程设计人员关注的永恒主题和追求的目标。

化工设计包括化工过程设计、化工设备设计和化工厂设计。化工原理课程设计是学生初次接触到的化工设计教学环节,它涉及化工过程设计与化工设备设计两个方面。

1.1 课程设计的目的和要求

一般说来,化工原理课程教学划分为三个模块,即理论教学、实验教学和课程设计。其中,课程设计是化工原理课程教学中综合性和实践性较强的重要教学环节,是理论联系实际的桥梁,是使学生体察工程实际复杂性、学习化工设计基本知识、增强工程观念、提高独立工作能力的有效途径。

在课程设计中,要求学生能够综合运用本课程和前修课程的基本知识,进行融会贯通的独立思考,在规定的时间内完成规定的单元操作过程及设备设计任务。设计中需要学生做出决策,即自己确定设计方案、选定流程、查取资料、进行过程和设备计算,并要对自己的方案做出科学论证和详细核算,经过反复的分析比较,进行充分的技术经济评价,择优选定设计方案和合理设计。

同时,通过课程设计,还可以使学生树立正确的设计理念,培养实事求是、严肃认真和具有高度责任感的科学精神,养成与他人合作共事的良好团队精神。

通过课程设计,要注意训练学生提高如下几个方面的能力:

① 学习化工设计的基本原理,掌握化工设计的程序和方法,综合运用相关知识,根据设计任务的要求,按时完成具有特色的设计任务。

② 熟悉文献资料查阅、有关数据搜集,正确选用公式。当缺乏必要数据时,尚需要自己通过实验测定或到生产现场进行实际查定。

③ 综合分析设计任务要求,在兼顾技术上先进性、可行性,经济上合理性的前提下,确定工艺流程,进行设备选型,并提出保证过程正常、安全运行所需的检测或计量参数。同时,还需考虑劳动条件改善和环境保护的有效措施。

④ 准确而迅速地进行过程计算及主体设备的工艺设计计算。

⑤ 用精练的语言、简洁的文字、规范的图表来表达自己的设计思想和计算结果。

⑥ 学习运用化工流程模拟软件与设备设计软件实现优化设计,提高运算能力和绘图能力。

1.2 课程设计的内容

完整的课程设计由论述、计算和绘图三个部分组成。具体来说,课程设计一般应包括如下内容。

1. 确定设计方案

根据设计任务书的要求和所提供的条件,通过对现有资料的分析对比,或对生产现场的调查研究,选定适宜的工艺路线和设备类型,初步确定方框流程图和生产工艺流程简(草)图,以便于进行物料衡算、能量衡算和有关设备的工艺计算。

对选定的工艺流程、主要设备的型式进行必要的论述。

2. 工艺过程和主要设备的工艺计算

包括主要工艺参数的选定、物料衡算、能量衡算、主要设备的工艺尺寸计算及结构设计等内容。

3. 典型辅助设备的工艺计算和选型

包括主要工艺尺寸计算和设备型号规格的选定。

4. 确定控制方案

选定必要过程参数(如温度、压力、物料流量与组成等)的测量与控制方法。

5. 带控制点的工艺流程简图

完成 2 和 3 两项计算、确定控制方案之后,便可绘制带控制点的工艺流程简图(在进行车间布置的设计过程中,可能会对流程简图作局部调整)。图中应包含如下内容:

(1) 物料流程

包括设备示意图、设备流程号、物料及动力管线与流向箭头、管线上的主要阀门及必要附件(如疏水器、过滤器和阻火器等)、必要的计量和控制仪表(如流量计、液位计、压力表、温度计等)、简要的文字注释(如冷却水、热水、加热蒸汽、半成品去向等)。

(2) 图例

将物料流程中画的有关管线、阀门、设备附件、计量和控制仪表等图形用文字予以说明。

(3) 图签

写出图名、设计单位(签名)、制图人员(签名)、审核人员(签名)、图纸比例尺寸、图号等项内容的一份表格,其位置在工艺流程简图的右下角。

图 1-1 所示精馏装置生产工艺流程图即为带控制点的工艺流程简图示例。

6. 主体设备设计条件图

图中应包括如下内容:

(1) 设备图形

标出主要尺寸、接管与人(手)孔等。

(2) 技术特性

标明装置设计和制造检验的主要性能参数,如设计压力、操作压力、设计温度、操作温度、介质名称、腐蚀裕度、焊缝系数、容器类别和装置尺度等。

(3) 管口表

注明各管口的符号、公称尺寸、连接方式及用途等。

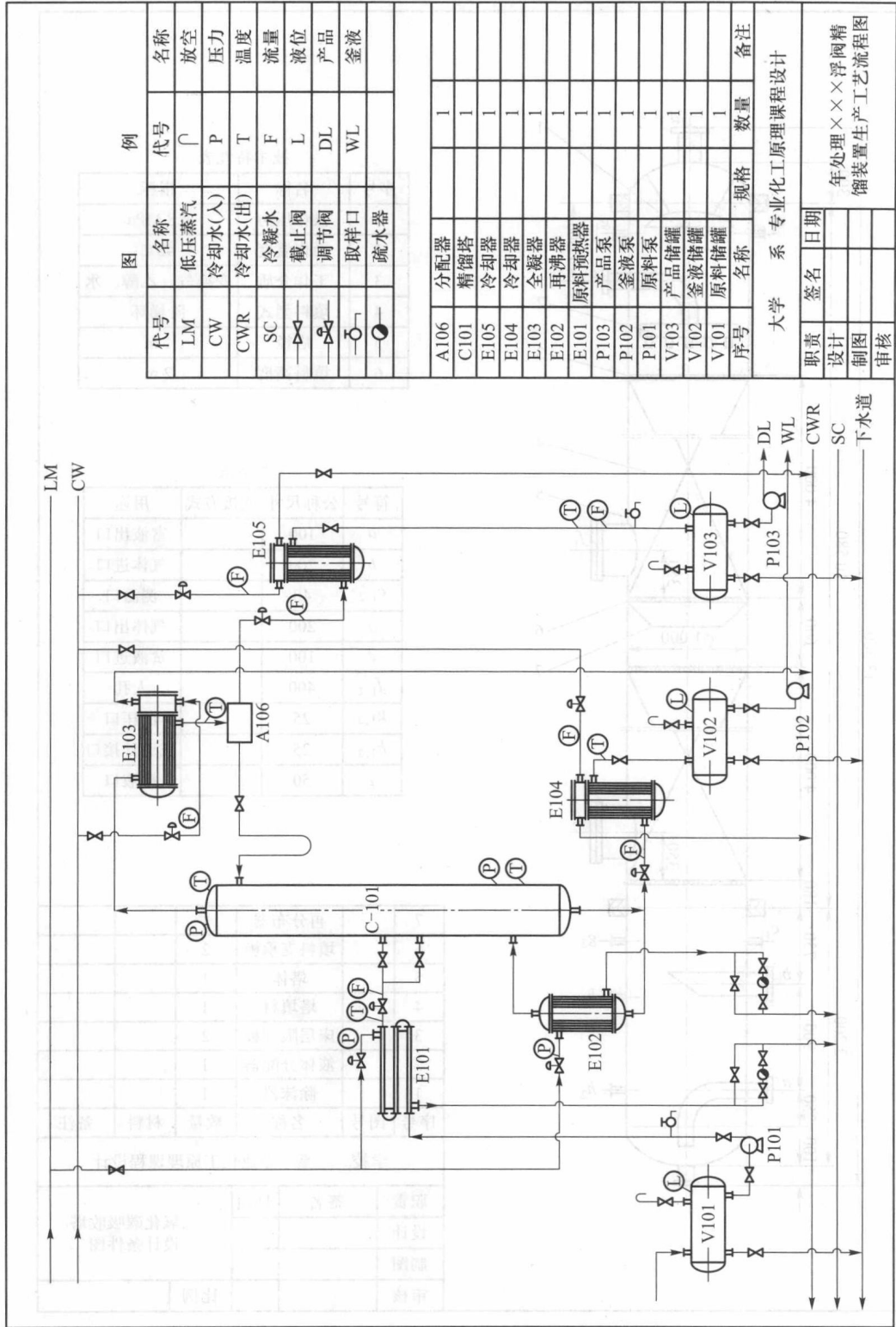


图 1-1 精馏装置生产工艺流程图

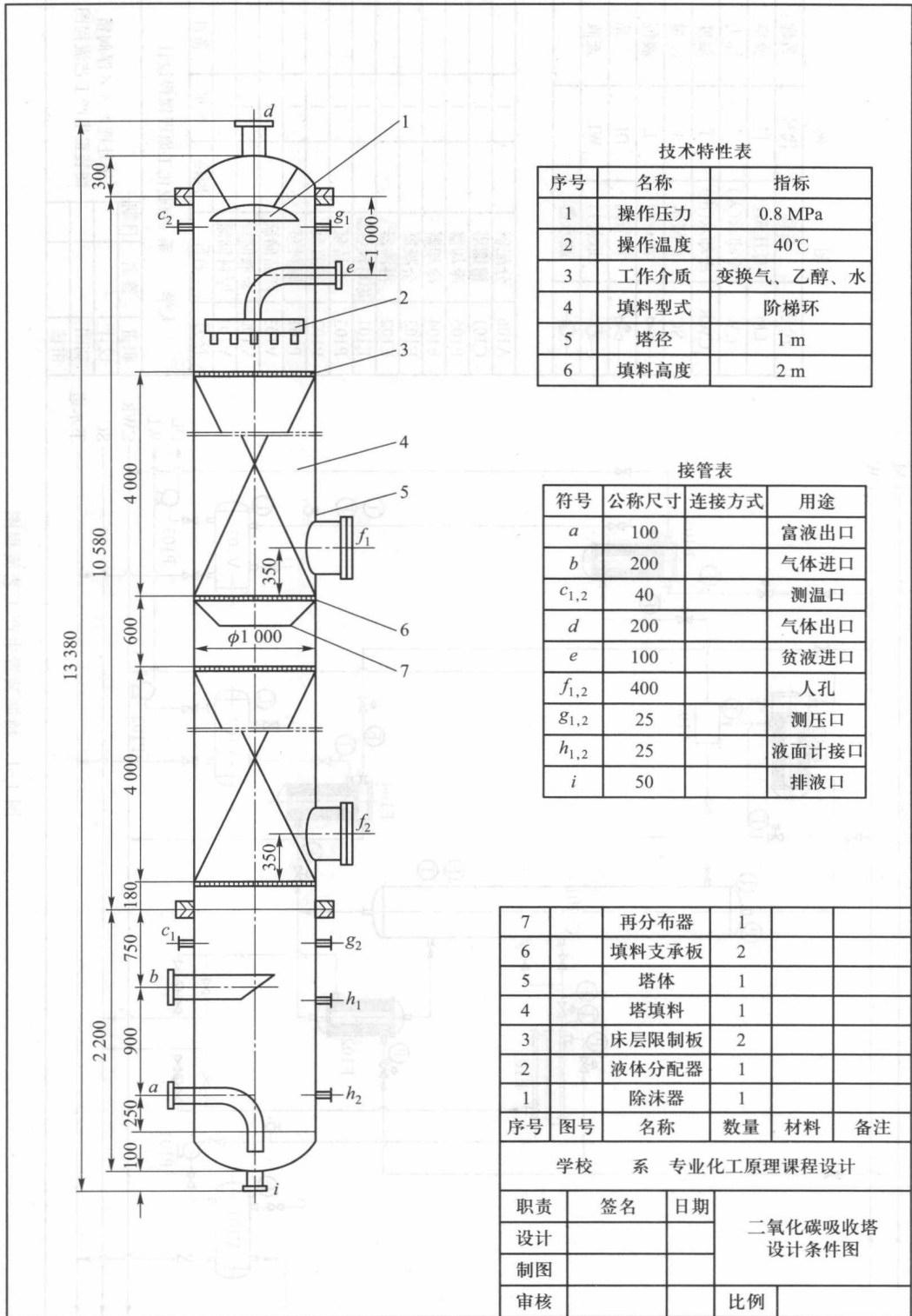


图 1-2 填料吸收塔设计条件图

(4) 设备部件一览表

注明构成设备各部件的名称和数量。

图 1-2 所示填料吸收塔设计条件图即为主体设备设计条件图示例。

7. 课程设计报告

课程设计的最终成果是课程设计报告,由设计说明书和附图两部分构成。

(1) 设计说明书

包括所有的论述、原始数据、计算、表格等,编排顺序为:

- ① 标题页[课程设计题目、设计者、指导教师(签字)、成绩等];
- ② 课程设计任务书;
- ③ 目录;
- ④ 设计方案简介;
- ⑤ 工艺流程简图及说明;
- ⑥ 工艺计算及主体设备设计;
- ⑦ 辅助设备计算及选型;
- ⑧ 设计结果概要或设计结果一览表;
- ⑨ 对本设计的评述及有关问题的讨论;
- ⑩ 主要符号说明;
- ⑪ 参考书目。

(2) 附图

带控制点的工艺流程简图,主体设备设计条件图。

1.3 化工设计的基本原则

工程设计本身存在一个多目标优化问题,同时又是一项政策性很强的工作,它涉及政治、经济、技术、安全、环保、法律等诸多方面,而且还会涉及多专业、多学科的交叉、综合和相互协调,体现着多兵团的合作精神及创新精神。

化工设计具有一般工程设计的共同特点。但是由于化工生产原料、工艺路线的多样性,物料性质的差异性,工艺条件、产品规格及技术要求的特殊性,于是形成了化工设计的某些特殊性。化工设计人员必须具有优化意识,严格遵守国家战略、政策、法规及行业规范,在进行化工设计时必须遵循如下原则。

1. 可持续及清洁生产

在所选定的方案中,应尽可能将生产装置本身产生的废弃物和能量循环利用,达到废弃物的“零排放”,实现“节能高效”和“绿色生产工艺”。

2. 技术的先进性和可靠性

运用先进的设计工具和方法,采用当前先进的技术及设备,实现生产装置的优化集成,使其具有较强的市场竞争力。同时,对所采用的先进技术进行充分论证,以保证设计的先进性、科学性、与可靠性的统一。

3. 经济上的合理性

在多种可采取方案的分析比较中,不断地、逐步深入地进行经济分析与评价就像一条主线贯穿于各个步骤中,以求得用最小的投资获得最大的经济效益。

4. 过程的安全性

要充分考虑各个生产环节可能出现的危险(燃烧、爆炸和毒物排放等),采取有效的安全措施,确保生产装置的可靠运行、人员的健康和平安。

5. 过程的可操作性及可控性

生产装置应便于稳定可靠操作。当生产负荷或某个操作参数在允许范围内波动时,能有效、快捷地进行调节和控制。

6. 行业规范

诸如药品生产装置的设计和运行,必须符合“药品生产及质量管理规范(GMP)”的要求。

优秀的化工设计者,必须具有扎实的理论基础,丰富的实践经验,熟练的专业技能,自如运用先进设计工具及手段的能力。

附录 1 设计基础

设计基础是化工设计的重要组成部分,也是化工设计人员进行设计工作的基础。设计基础包括:设计原理、设计方法、设计标准、设计软件等。

设计原理是设计工作的指导思想,也是设计人员进行设计工作的依据。设计方法是指设计人员进行设计工作所采用的方法和手段。设计标准是指设计人员进行设计工作所遵循的规范和标准。设计软件是指设计人员进行设计工作所使用的软件和工具。

设计基础是化工设计人员进行设计工作的基础,也是设计人员进行设计工作的依据。设计基础包括:设计原理、设计方法、设计标准、设计软件等。

设计原理是设计工作的指导思想,也是设计人员进行设计工作的依据。设计方法是指设计人员进行设计工作所采用的方法和手段。设计标准是指设计人员进行设计工作所遵循的规范和标准。设计软件是指设计人员进行设计工作所使用的软件和工具。

设计基础是化工设计人员进行设计工作的基础,也是设计人员进行设计工作的依据。设计基础包括:设计原理、设计方法、设计标准、设计软件等。

第2章 搅拌设备的设计

2.1 概 述

使两种或多种不同的物料在彼此之间分散,从而达到均匀混合的单元操作称为物料的搅拌或混合。搅拌是常见的化工单元操作之一,在医药、废水处理、化工、建材、食品等领域有着广泛应用。搅拌操作可以实现物料的均匀混合、分散、悬浮、乳化,或强化传热与传质。化工生产过程所涉及的物料多为流体,而且实际的搅拌混合设备多为机械搅拌,因此本章主要介绍流体介质的机械搅拌设备设计。

2.1.1 搅拌操作的原理和工业应用

一、搅拌操作的原理

搅拌器叶轮的旋转造成搅拌槽内液体的强制对流扩散。强制对流扩散包括总体对流扩散和涡流扩散(湍流扩散)。

1. 均相液体的混合机理

均相液体的混合包括涡流扩散,总体对流扩散和分子扩散。对于大多数混合过程,上述三种混合机理同时发挥作用。涡流扩散使大尺寸的液体团块分割成较小尺寸的液体微团;总体流动将液体微团带到搅拌槽内各处,达到宏观上的均匀混合;分子扩散使液体微团最终消失,达到槽内液体分子尺寸的均匀混合。一般来说,涡流扩散在整个混合过程中占主导地位。

对于高黏度液体的混合主要依赖于充分的总体流动,但同时也依赖于速度梯度的剪切作用引起的液体微团的分散和破碎。采用带上、下往复运动的旋转搅拌器加强轴向流动,可以使混合效果更佳。

对于非牛顿流体,大多为假塑性流体,具有明显的剪切稀化作用。欲达到均匀混合效果,宜采用大直径搅拌器以促进总体流动,且应使搅拌槽内的剪切力场尽可能均匀。

前述强化搅拌槽内液体湍流流动的一切措施,都会使涡流扩散作用得到加强。

2. 非均相物系的混合机理

对于非均相物系,为达到小尺度的宏观混合,同样应强化湍动,使分散相尺寸尽可能减小。

(1) 不互溶液液体系的分散

为达到分散相液滴尺寸大小的均匀分散,可采取的措施是:

① 整个搅拌设备内保持湍动的均匀分布;

② 条件允许的话,在混合液中加入少量保护胶,以阻止小液滴碰撞时聚并。

(2) 气液体系的分散

小气泡不但能提供较大的相际接触面积,还能在液体中保持较长的停留时间。所以,气泡的分散度非常重要。搅拌能达到气泡尺寸通常为 2~5mm。气泡的破碎主要靠高度湍动,即强剪切作用。

(3) 固体颗粒在液体中的悬浮

固体颗粒在液体中的悬浮经历液体取代颗粒表面气体(润湿)和使颗粒团聚体被液体动力打散(分散)两个基本步骤。通常,搅拌过程中颗粒尺寸的大小不会发生变化,只能实现原来颗粒尺度上的均匀混合。

能够使全部颗粒都悬浮起来的最低转速,称为搅拌器的临界转速。显然,实际操作时,搅拌器的转速必须大于临界转速。

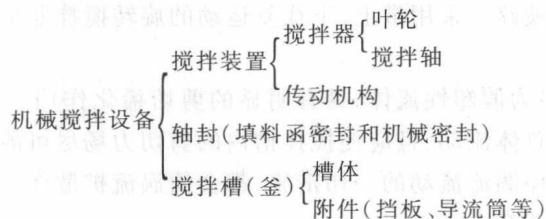
二、搅拌操作的工业应用

搅拌操作在工业生产中的应用很广泛,尤其是在化学工业中,很多的化工生产或多或少地应用着搅拌操作。化学工艺过程的种种化学变化,是以参加反应物质的充分混合为前提的。对于加热、冷却、液体萃取及气体吸收等物理变化过程,也往往要采用搅拌操作使之达到好的效果。搅拌设备在许多场合是作为反应器来应用的。例如,在三大合成材料的生产中,搅拌设备作为反应器的约占反应器总数的 90%。其他如燃料、医药、农药、油漆等行业,搅拌设备的使用也很广泛。有关部门对全国有色冶金行业中的搅拌设备做了调查及功率测定,结果显示在许多湿法车间搅拌操作之所以应用这样广泛,还因为搅拌设备操作条件(如浓度、温度、停留时间等)的可控范围较广,同时又能适应多样化的生产。

在某些情况下,搅拌是在反应过程中创造良好条件的一个重要因素。例如,使传热作用加强,减少局部过热,以及避免加热过程中物质的焦化等。如高压聚乙烯生产中,由于搅拌器的作用,使物料在反应器内有一定的停留时间,更重要的是使催化剂在器内均匀分布,以防止因局部猛烈的聚合作用而造成爆炸。因此搅拌操作在工业生产中起着非常重要的作用。

2.1.2 机械搅拌设备的基本结构

图 2-1 为典型机械搅拌设备的结构简图。机械搅拌设备一般由三部分构成:即搅拌装置、轴封和搅拌槽(釜)。其构成结构如下:



搅拌器是机械搅拌设备的核心组成部分,它将能量直接传递给被搅拌的物料,搅拌效果主要取决于搅拌器的结构尺寸、操作条件、物料性质及其工作环境。

轴封是密闭搅拌设备的重要组成部分,在实际生产中也是最易损坏的部分。与泵轴的密封相似,机械搅拌设备多采用填料函密封和机械密封。当轴封要求较高时,一般采用机械密封,如

易燃、易爆物料的搅拌及高温、高压、高真空、高转速的场合。

搅拌槽又称为搅拌釜,它由槽体和槽体内的附件构成。工业上常用的搅拌槽多为立式圆筒形容器,搅拌槽底部与侧壁的结合处为避免有死角,常常以圆角过渡。为了满足不同的工艺要求,或因搅拌槽本身结构的要求,槽体上常装有各种不同用途的附件,其中与搅拌混合效果有关的附件有挡板、导流筒及温度计套管等。

2.1.3 机械搅拌器的类型和选择

一、机械搅拌器的类型

典型的机械搅拌器型式有桨式、涡轮式、推进式、锚式、框式、螺带式、螺杆式等。

1. 按桨叶形状分类

搅拌器按桨叶形状可分为平叶(如平叶桨式、平直叶涡轮式)、折叶(如折叶桨式)和螺旋面叶(如推进式、螺带式 and 螺杆式)三种搅拌器。

2. 按流型分类

根据搅拌操作时桨叶主要排液的流型(又称为流向),又可将搅拌器分为径流型叶轮和轴流型叶轮两类。平叶的桨式、涡轮式是径流型,螺旋面叶的推进式、螺杆式是轴流型,折叶桨式则居于两者之间,它更接近于轴流型。

3. 按对液体黏度适应性分类

按搅拌器对液体黏度的适应性可分为两类:第一类是适用于低、中黏度的,如桨式、涡轮式、旋桨式(推进式)及三叶后掠式;第二类是适用于高黏度的大叶片、低转速搅拌器,如锚式、框式、螺带式、螺杆式及平叶开启涡轮式等,其中涡轮式搅拌可有效完成几乎所有的化工生产过程对搅拌的要求。

4. 组合式

为了达到特定的搅拌目的,可将典型的搅拌器进行改进或组合使用,如可将快速型桨叶和慢速型桨叶组合在一起,以适应黏度变化较大的搅拌过程。对高黏度流体的搅拌,有时可将螺杆式桨叶和螺带式桨叶组合在一起,使搅拌槽的中央和外围都能得到充分的搅拌,从而达到改善搅拌效果的目的。

二、机械搅拌器的选择

在对搅拌器进行选型时,需要考虑的因素很多,最基本的因素是搅拌介质的黏度、搅拌过程的目的和搅拌器能造成的流动形态。

1. 根据搅拌介质的黏度选型

根据搅拌介质黏度由小到大,各种搅拌器的使用顺序为推进式、涡轮式、桨式、锚式、螺带式 and 螺杆式等。

2. 根据搅拌过程的目的选型

对于低黏度均相流体的搅拌混合,推进式搅拌器最为适用,其消耗功率小,循环容易。

对于乳化或固体溶解过程,要求循环能力大且应具有高的剪切能力,宜选用涡轮式(特别是平直

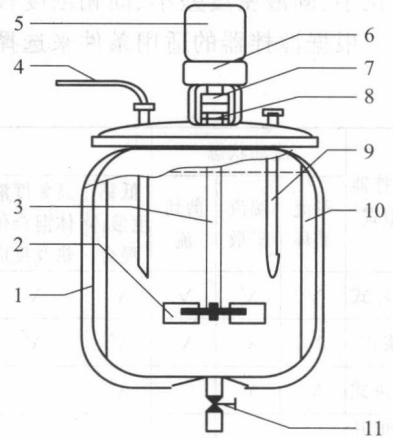


图 2-1 典型机械搅拌设备的结构简图
1—搅拌槽;2—搅拌器;3—搅拌轴;4—加料管;
5—电动机;6—减速机;7—联轴节;8—轴封;
9—温度计套管;10—挡板;11—放料阀

叶涡轮式)搅拌器。推进式和桨式搅拌器由于剪切力小而只能在液体分散量较小的情况下采用。

对于气体吸收过程,圆盘涡轮式搅拌器最为合适,它流量大、剪切能力强、气体平稳分散。

对于带搅拌的结晶过程,涡轮式搅拌器适用于微粒结晶过程;而桨式搅拌器可用于大晶粒的结晶过程。

对于固体颗粒悬浮操作,以开启涡轮式搅拌器为最好。桨式搅拌器的转速低,仅适用于固体颗粒小、固液密度差小、固相浓度较高、固体颗粒沉降速度较低の場合。

根据搅拌器的适用条件来选择搅拌器可参考表 2-1。

表 2-1 搅拌器的适用条件

搅拌器 型式	流动状态			搅拌目的									搅拌槽 容量范围 m ³	转速范围 r/s	最高黏度 Pa·s
	对流 循环	湍流 扩散	剪切 流	低黏 度液体 混合	高黏度液 体混合 传热及反应	分散	溶解	固体 悬浮	气体 吸收	结晶	传热	液相 反应			
涡轮式	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	1~100	0.17~5	50
桨式	√	√	√	√	√		√	√		√	√	√	1~200	0.17~5	2
推进式	√	√		√		√	√	√		√	√	√	1~1000	1.67~8.33	50
折叶开 启涡轮 式	√	√		√		√	√	√			√	√	1~1000	0.17~5	50
锚式	√				√		√						1~100	0.02~1.67	100
螺杆式	√				√		√						1~50	0.008~0.83	100
螺带式	√				√								1~50	0.008~0.83	100

注:√为适用,空白为不适用或不详。

2.1.4 搅拌器的发展

传统搅拌器的大型化、微型和集成化、连续化、高黏度化及节能化均是近几年搅拌器的研究热点。新近开发的几种适用于低、中黏度流体的高效轴流型搅拌器,由于叶片的宽度和倾角随径向位置而改变,称为变倾角变叶宽搅拌器。这类搅拌器非常适用于均相混合和固体悬浮操作。高效的径流型搅拌器有 Scaba 搅拌器,其特点是叶片形状为弧形,可消除叶片后面的气穴,使通气功率下降较小,常用于发酵罐的底部搅拌,提高气体分散能力。

近年来,随着科学技术的发展,化工、医药及石油化工等各个行业对搅拌操作的要求越来越高,搅拌的物料也呈现出复杂性,不再是低黏度的牛顿流体,高黏度、变黏度的流体也经常碰到。典型的如一些有机聚合过程,开始时物料的黏度很低,随反应的进行黏度会越来越高,有的甚至在反应后期还会析出固体颗粒。为确保搅拌槽内流体得到较好的混合,更好地满足工业生产中不同阶段的搅拌需求,一般选用单一叶片式宽黏度域搅拌器或组合式搅拌器。

在化工、石油化工、医药、生物、农药、日用轻工和香料合成等行业,搅拌易燃、易爆、易挥发、有毒及强腐蚀物料时,常常要求搅拌设备只能微漏,甚至不漏,而采用电磁搅拌器就可以达到上述目的。磁力传动搅拌装置最突出的优势是可以完全限制搅拌设备内的气体介质通过轴封向外

泄漏。这些新型搅拌器具有高效节能、造价低廉、易于大型化的优点,正在传统的搅拌设备改造中发挥着重要作用。

2.2 机械搅拌设备的设计

一般而言,机械搅拌设备的设计遵循以下三个步骤:首先根据搅拌目的和物系性质进行搅拌设备的选型,再在选型的基础上进行工艺设计与计算,最后进行搅拌设备的机械设计与费用评价。工艺设计与计算中最重要的是搅拌功率的计算和传热计算。

2.2.1 搅拌功率的计算

一、搅拌功率的量纲为 1 数群关联式

影响搅拌功率的因素归纳起来主要包括桨、槽的几何参数,桨的操作参数及影响功率的物性参数。对于搅拌过程,一般可采用相似理论和量纲分析的方法得到其量纲为 1 数群关联式。为了简化分析过程,可假定桨、槽的几何参数均与搅拌器的直径有一定的比例关系,并将这些比值称为形状因子。对于特定尺寸的系统,形状因子一般为定值,故桨、槽的几何参数仅考虑搅拌器的直径。桨的操作参数主要指搅拌器的转速。影响功率的物性参数主要包括被搅拌流体的密度和黏度。当搅拌发生打旋现象时,重力加速度也将影响搅拌功率。

通过量纲分析可得

$$P_N = K_0 Re^x Fr^y \quad (2-1)$$

式中 $P_N = \frac{P}{\rho n^3 d^5}$ ——功率数,量纲为 1;

$Re = \frac{\rho n d^2}{\mu}$ ——搅拌雷诺数,量纲为 1,可衡量流体的流动状态;

$Fr = \frac{n^2 d}{g}$ ——弗劳德数,量纲为 1,它表示流体惯性力与重力之比,用以衡量重力的影响;

P ——搅拌功率, W;

d ——搅拌器直径, m;

ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

μ ——流体的黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

n ——搅拌转速, r/s ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

K_0 ——系数,量纲为 1;

x, y ——指数,量纲为 1。

若再令 $\Phi = \frac{P_N}{Fr^y}$, 称为功率因数, 则有

$$\Phi = K_0 Re^x \quad (2-2)$$

在此要注意功率数与功率因数是两个完全不同的概念。