



高等学校化学化工专业系列教材
GAODENG XUEXIAO HUAXUE HUAGONG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

化工原理课程设计

李同川 主编



HUAGONG YUANLI
KECHENG SHEJI



化学工业出版社

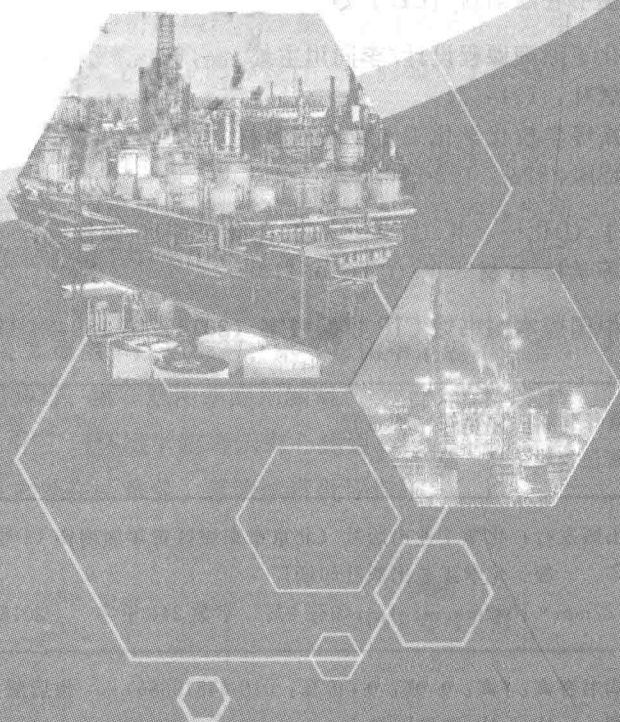


高等学校化学化工专业系列教材

GAODENG XUEXIAO HUAXUE HUAGONG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

化工原理课程设计

李同川 主编



化学工业出版社

本书主要内容包括化工原理课程设计的要求与基础知识、换热器设计、精馏塔设计、填料吸收塔设计、干燥装置设计等。本书注重理论联系实际,所介绍的设计单元是化工生产中常用的单元操作。可供化工类专业课程设计时选用,便于学习者方便地掌握设计的基本方法与步骤。

本书可作为高等学校化学工程与工艺、制药工程、应用化学、生物工程、材料科学与工程、过程装备与控制工程、环境工程等相关专业的化工原理课程设计教材,也可供相关行业的设计人员、生产人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理课程设计/李同川主编. —北京: 化学工业出版社, 2014. 11

高等学校化学化工专业系列教材

ISBN 978-7-122-21620-5

I. ①化… II. ①李… 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 (2014) 第 189474 号

责任编辑: 徐雅妮 于志岩

装帧设计: 韩

责任校对: 吴 静



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: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 244 千字 2015 年 2 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: 25.00 元

版权所有 违者必究

>>> 前 言

化工原理课程设计是化学工程与工艺及相关专业学生学习化工原理课程必修的三大环节（化工原理理论课、化工原理实验课及化工原理课程设计）之一。课程设计是化工原理教学中综合性和实践性较强的教学环节，是理论联系实际桥梁，是使学生体察工程实际问题复杂性、学习化工设计基本知识的初次尝试。通过课程设计，培养学生综合运用化工原理及有关选修课程的基本知识去解决实际工程问题的能力，使学生掌握化工设计的基本程序和方法，并通过查阅技术资料，选用公式和数据，用简洁的文字和图表表达设计结果，并使化工制图能力得到一次基本训练。

化工原理课程设计要求学生综合运用物理、化学、化工原理和机械制图等课程的理论知识，决定工艺流程、确定主要设备结构，并计算设备具体尺寸，对相关辅助设备选型。为了有助于学生顺利进行课程设计，我们编写了本书作为学生设计和教师指导的参考教材。

本书按照化工原理课程教学的基本要求，根据多年教学实践经验编写而成，重视理论与实践相结合，提倡先进的设计思想、科学的设计方法。在内容选择上，包括了设计的基础知识，并选取了化工中常用的精馏、吸收、换热、干燥四个单元操作。

本书由李同川老师统稿，第1、2章由申红艳编写，第3章由李裕编写，第4章由袁志国编写，第5章由焦纬洲编写，第6章由李同川编写。在此对编写工作给予大力支持的中北大学教务处、化工与环境学院表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者
2014年11月

目 录

第1章 绪 论

1

1.1 化工原理课程设计概述	1
1.2 化工原理课程设计基本要求及基本内容	1
1.2.1 基本要求	1
1.2.2 基本内容	2
1.3 工艺流程设计	2
1.4 主体设备设计	4
1.5 化工过程技术经济评价的基本概念	5

第2章 化工原理课程设计基础

7

2.1 计算基础	7
2.1.1 物料衡算	7
2.1.2 热量衡算	8
2.1.3 混合物物性数据估算	8
2.2 绘图基础	12
2.2.1 工艺流程图的绘制	12
2.2.2 主体设备图的绘制	13

第3章 换热器设计

14

3.1 换热器概述	14
3.2 列管式换热器的结构	17
3.2.1 管程结构	17
3.2.2 壳程结构	18
3.2.3 管程和壳程数的确定	20
3.2.4 流动空间的选择	20
3.3 换热器的参数确定	21
3.3.1 流体流速的选择	21
3.3.2 流动方式的选择	22

3.3.3	加热剂和冷却剂的选择	22
3.3.4	流体出口温度的确定	22
3.3.5	材质的选择	23
3.4	列管式换热器的设计步骤	23
3.4.1	列管式换热器的设计与选用计算步骤	23
3.4.2	计算传热系数	24
3.4.3	传热温差的计算	24
3.4.4	污垢热阻	27
3.4.5	压降的计算	28
3.5	列管式换热器的设计实例	30
3.5.1	设计任务	30
3.5.2	确定设计方案	30
3.5.3	确定物性数据	30
3.5.4	总传热系数计算	31
3.5.5	传热面积计算	31
3.5.6	传热系数核算	32
3.5.7	壳侧压力降计算	33
3.5.8	管侧压降计算	33
3.5.9	面积裕度计算	34
3.5.10	接管设计	35
3.5.11	壁厚的确定	36
3.5.12	封头的确定	36
3.5.13	管板的设计	37
3.5.14	换热管的设计	38
3.5.15	进出口设计	40
3.5.16	壳体与管板	44
3.5.17	折流板或支持板	47
3.5.18	其他	50
	符号说明	54

第 4 章 精馏塔设计

55

4.1	精馏塔概述	55
4.1.1	精馏操作对塔设备的要求	55
4.1.2	板式精馏塔的设计原则与步骤	56
4.2	设计方案的确定	56
4.2.1	操作条件的确定	56
4.2.2	设计方案的确定原则	58
4.3	精馏塔的工艺计算	58
4.3.1	物料衡算与操作线方程	59
4.3.2	常规塔	59

4.3.3	理论塔板数的计算	60
4.3.4	塔板效率和实际塔板数	63
4.4	精馏塔的结构设计	64
4.4.1	常用板式塔类型及结构	64
4.4.2	塔板结构参数的确定	68
4.4.3	塔板的流体力学计算	75
4.4.4	负荷性能图	79
4.5	塔的结构	80
4.5.1	塔的总体结构	80
4.5.2	塔体总高度	81
4.5.3	塔板结构	81
4.6	附属设备	82
4.6.1	回流冷凝器	82
4.6.2	管壳式换热器的设计与选型	82
4.6.3	再沸器	84
4.6.4	接管直径	85
4.6.5	加热蒸汽鼓泡管	86
4.6.6	离心泵的选择	86

第5章 填料吸收塔设计

87

5.1	填料吸收塔概述	87
5.1.1	吸收过程	87
5.1.2	吸收过程对塔设备的要求	87
5.1.3	填料吸收塔设计的主要内容	88
5.2	设计方案的确定	88
5.2.1	吸收流程选择	88
5.2.2	吸收剂的确定	89
5.2.3	吸收操作温度与压强	90
5.3	塔填料的选择	90
5.3.1	填料的性能	90
5.3.2	填料的类型	91
5.3.3	填料的尺寸	95
5.3.4	填料的材质	95
5.4	吸收操作中的气液平衡	96
5.4.1	概述	96
5.4.2	溶解度	96
5.4.3	亨利定律	97
5.5	填料吸收塔的工艺计算	100
5.5.1	物料衡算与操作线方程	100
5.5.2	最小吸收剂用量与吸收剂用量	101

5.5.3	塔径计算	102
5.5.4	填料层高度的计算	105
5.5.5	填料层的压降	112
5.5.6	吸收剂循环泵功率计算和选泵	113
5.6	填料塔的辅助构件	113
5.6.1	液体分布器	113
5.6.2	液体再分布器	116
5.6.3	填料支撑板	117
5.6.4	填料压板与床层限制板	118
5.6.5	除雾沫器	118
5.7	填料吸收塔设计示例	118

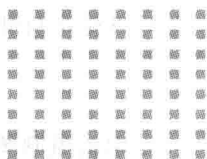
第6章 干燥装置设计

126

6.1	干燥概述	126
6.2	干燥过程基本原理	126
6.2.1	湿气体和湿物料的性质	126
6.2.2	湿物料的性质	129
6.3	干燥过程基本计算	132
6.3.1	干燥过程计算的目的	132
6.3.2	总体热质衡算	132
6.4	干燥方法和干燥器	134
6.4.1	干燥机理概述	134
6.4.2	干燥速率	134
6.4.3	干燥时间的计算	136
6.4.4	干燥器的分类	138
6.5	干燥器的设计	139
6.5.1	设计方案确定	139
6.5.2	干燥条件的确定	139
6.5.3	干燥器的设计	140
6.6	干燥过程的辅助系统	143
6.6.1	供料器及排料装置	143
6.6.2	热风系统	143
6.6.3	收尘系统	144

参考文献

145



第1章 绪论

1.1 化工原理课程设计概述

工程设计是工程建设的灵魂，又是科研成果转化为现实生产力的桥梁和纽带，它决定着工业现代化的水平。工程设计是一项政策性很强的工作，它涉及政治、经济、技术、环保、法规等诸多方面，而且还会涉及多专业、多学科的交叉、综合和相互协调，是集体性的劳动。先进的设计思想、科学的设计方法和优秀的设计作品是工程设计人员应坚持的设计方向和追求的目标。化工原理课程设计是化工原理课程的一个重要的教学环节，是培养化工类及其相关专业学生综合运用“化工原理”课程和有关先修课程所学知识完成以化工单元操作为主的一次设计实践。通过化工原理课程设计，对学生进行设计技能的基本训练，培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力，注重提高学生分析与解决工程实际问题的能力，同时为毕业设计打下坚实的基础。因此，化工原理课程设重在培养学生的技术经济观、过程优化观、生产实际观、工程全局观，是提高学生实际工作能力的重要教学环节。

1.2 化工原理课程设计基本要求及基本内容

1.2.1 基本要求

通过化工原理课程设计，培养学生以下几个方面的能力。

(1) 查阅资料能力

根据设计任务要求，许多物性参数数据需由设计者去搜集，有些数据要查取或估算，计算公式也由设计者自行选用，这就要求设计者运用各方面的知识，详细而全面地考虑后方能确定。当缺乏必要数据时，需要通过实验测定或到生产现场进行实际查定。

(2) 决策能力

能正确评价各类化工装置或设备的优缺点，兼顾工程上先进性、可行性，经济上合理性的前提下，综合分析设计任务要求，确定化工工艺流程，进行设备选型，并提出保证过程正常、安全运行所需的检测和计量参数，同时还要考虑改善劳动条件、操作维修的方便和环境

保护的有效措施。从工程的角度综合考虑各种因素，从总体上得到最佳结果。

(3) 计算能力

能正确获取有关数据，运用设计手册、设计规范和基础理论进行化工计算，并能掌握典型化工设备的设计计算方法。能运用计算机进行相关计算。

(4) 结构与绘图能力

根据生产实际与文献资料，设计合理的设备结构，并运用机械制图技能，绘制出合乎工程要求的化工设备图纸。

(5) 总结能力

掌握化工设计的基本程序和方法，学会用精练的语言、简洁的文字和清晰的图表表示自己的设计思想和设计计算结果。并对设计过程进行完整的叙述与总结。

1.2.2 基本内容

化工原理课程设计应以化工单元操作的典型设备为对象，课程设计的题目尽量从科研和生产实际中选题。其基本内容包括：

① 设计方案简介，包括对给定或选定的工艺流程、主要设备的型式进行简要论述；

② 主要设备的工艺设计计算，包括工艺参数的选定、物料衡算、热量衡算、设备工艺尺寸计算及结构设计、流体力学验算；

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和设备型号规格的选定；

④ 带控制点的工艺流程图，以单线图的形式绘制，标出主体设备和辅助设备的物料流向、物流量、能流量及化工参数测量点；

⑤ 主体设备工艺条件图，图面上应包括设备的主要工艺尺寸、技术特性表和接管表及组成设备的各部件名称等。

整个设计由论述、计算和图表三个部分组成，论述应该条理清晰，观点明确；计算方法正确，误差小于设计要求，计算公式和所有数据必须注明出处；图表应能简要表达计算的结果。

完整课程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所有论述原始数据、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 设计方案简介

⑤ 工艺流程草图及说明

⑥ 工艺计算及主体设备设计

⑦ 辅助设备的设计及选型

⑧ 设计结果概要或设计一览表

⑨ 对本设计的评述

⑩ 附图

⑪ 参考文献

⑫ 主要符号说明

1.3 工艺流程设计

工艺流程设计分为初步设计阶段和施工图设计阶段。工艺流程设计和化工装置中的各个设计阶段的设计成果都是用各种工艺流程图和表格表达出来的，按照设计阶段的不同，先后有方框流程图、工艺流程草图、工艺物料流程图、带控制点的工艺流程图和管道仪表流程图

等。方框流程图是在工艺路线确定后,工艺流程进行概念性设计时完成的一种流程图,不编入设计文件。工艺流程草图是一个半图解式的工艺流程图,它实际上是方框流程图的一种变体或深入,只带有示意的性质,供化工计算时使用,也不列入设计文件;工艺物料流程图和带控制点工艺流程图列入初步设计阶段的设计文件中;管道仪表流程图列入施工图设计阶段的设计文件中。

(1) 方框流程图和生产工艺流程草图

为便于进行物料衡算、热量衡算以及有关设备的工艺计算,在设计的最初阶段,首先要绘制方框流程图,定性由原料转化为产品的过程、流向以及所采用的各种化工过程及设备。工艺流程草图是一个半图解式的工艺流程图,为方框流程图的一种变体或深入,带有示意的性质,仅供工艺计算时使用,不列入设计文件。

(2) 工艺物料流程图

工艺物料流程图是在完成物料衡算和热量衡算后绘制,它主要反映物料衡算和热量衡算的结果,使设计流程定量化,它是初步设计阶段的主要设计成品,其作用如下:

- ① 为下一步设计提供依据;
- ② 为接受审查提供资料;
- ③ 可供日后操作参考。

物料流程图中的设备应采用标准规定的标准图形符号表示,不必严格按比例绘制,但图上需标注设备的位号及名称。

物料流程图最重要的部分就是物料表,它是人们读图时最为关心的内容。物料表包括物料名称、质量流量、质量分数、摩尔流量和摩尔分数。物料表的格式见表 1-1。

表 1-1 物料流程图中物料表

名 称	kg/h	%(质量分数)	kmol/h	%(摩尔分数)

(3) 带控制点的工艺流程图

在设备设计结束、控制方案确定之后,便可绘制带控制点的工艺流程图。图中应包括如下内容。

1) 物料流程

物料流程包括以下内容:

- ① 设备示意图,其大致依设备外形尺寸比例画出,标明设备的主要管口,适当考虑设备合理的相对位置;
- ② 设备在流程图的位号;
- ③ 物料及动力(水、汽、真空、压缩机、冷冻盐水等)管线的流向箭头;
- ④ 管线上的主要阀门、设备及管道的必要附件,如冷凝水排除器、管道过滤器、阻火器等;
- ⑤ 必要的计量控制仪表,如流量计、液位计、压力表、真空表及其他测量仪表等;
- ⑥ 简要的文字注释,如冷却水、加热蒸汽来源、热水及半成品去向等。

2) 图例

图例是将物料流程图中画的有关管线、阀门、设备附件、计量-控制仪表等图形用文字予以说明。

3) 图签

图签是写出图名、设计单位、设计人员、制图人员、审核人员、图纸比例尺、图号等项内容的表格，其位置在流程图的右下角。

带控制点的工艺流程图一般由工艺专业和自控专业人员合作绘制。作为课程设计，只要要求能标绘出测量点位置即可。

4) 管道及仪表流程图

管道及仪表流程图是化工装置工程设计中最重要的图纸之一，与工艺过程相关的信息均反映在该图纸上。其设计过程就是化工装置从工艺设计实施工程设计的过程。它是设计、施工的依据，也是企业管理、试运行、操作、维修和开停车各方面需要的完整技术资料的一部分。

(4) 工艺流程设计的基本原则

工程设计本身存在一个多目标优化问题，同时又是政策性很强的工作，设计人员必须有优化意识，必须严格遵守国家的有关政策、法律规定及行业规范，特别是国家的工业经济法规、环境保护法规、安全法规等。一般设计者应遵守如下一些基本原则。

① 技术的先进性和可靠性。掌握先进的设计工具和方法，尽量采用当前的先进技术，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，对所采用的新技术要进行充分的论证，以保证设计的科学性和可靠性。

② 装置系统的经济性。在各种可采用方案的比较中，技术经济评价指标往往是关键要素之一，以求得以最小的投资获得最大的经济效益。

③ 可持续及清洁生产。树立可持续及清洁生产意识，在所选定的方案中，应尽可能利用生产装置产生的废弃物，减少废弃物的排放，乃至达到废弃物的“零排放”，实现“绿色生产工艺”。

④ 过程的安全性。在设计中要充分考虑到各个生产环节可能出现的危险事故，采取有效的安全措施，确保生产装置的可靠运行及人员健康和人身安全。

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。当生产负荷或一些操作参数在一定范围内波动时，应能有效快速地进行调节控制。

⑥ 行业性法规。例如，药物生产装置的设计，要符合“药品生产质量管理规范 (GMP)”。

1.4 主体设备设计

(1) 主体设备条件图

主体设备是指在每个单元操作中处于核心地位的关键设备，如传热中的换热器，蒸馏和吸收中的塔设备，干燥中的干燥器等。

主体设备条件图是将设备的结构设计和工艺尺寸的计算结果用一张总图表示出来。通常由负责工艺的人员完成，它是进行装置施工图设计的依据。图面上应该包括如下内容。

① 设备图形，指主要尺寸、接管、人孔等。

② 技术特性，指装置设计和制造检验的主要性能参数。通常包括设计压力、设计温度、工作压力、工作温度、介质名称、腐蚀裕度、焊缝系数、容器类别及装置的尺度。

③ 管接口表，注明各管口的符号、公称尺寸、连接尺寸、用途等。

④ 设备组成一览表，注明组成设备的各部件的名称等。

(2) 主体设备装置图

一台化工设备的装置图一般应包括下列内容。

① 视图 根据设备复杂程度,采用一组视图,从不同的方向清楚表示设备的主要结构形状和零部件之间的装置关系。视图采用正投影方法,按国家标准《机械制图》要求绘制。

② 尺寸 图上应注写必要的尺寸,作为设备制造、装配、安装检验的依据。这些尺寸主要有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。注写这些尺寸时,除数据本身要绝对正确外,标注的位置、方向等都应严格按照规定来处理。如尺寸线应尽量安排在视图的右侧和下方,数字在尺寸线的左侧或上方,不允许注封闭尺寸,参考尺寸和外形尺寸例外。尺寸标注的基准面一般从设计要求的结构基准面开始,并应考虑所注尺寸便于检查。

③ 零部件编号及明细表 将视图上组成该设备的所有零部件依次用数字编号。并按编号顺序在明细栏中,从下向上逐一填写每个编号的零部件名称、规格、材料、数量、质量及有关图号或标准号等内容。

④ 管口符号及管口表 设备上所有管口均需用英文小写字母依次在主视图和管口方位图上对应注明符号。并在管口表中从上向下逐一填写每个管口的尺寸、连接尺寸及标准、连接面形式、用途或名称等。

⑤ 技术特性表 用表格形式表达设备的制造检验方要数据。

⑥ 技术要求 用文字形式说明图样中不能表示出来的要求。

⑦ 标题栏 位于图样左下角,用以填写设备名称、主要规格、制图比例、设计单位、设计阶段、图样编号以及设计、制图、校审等有关责任人签字等内容。

1.5 化工过程技术经济评价的基本概念

在化工、轻工、制药等工业中,为达到同一工程目的,可以采取多种不同方案 and 手段。不同的技术方案往往各具独特的技术、经济或其他特性。为了从这些可供选择的众多工艺方案中选取技术上先进合理、经济上有充分的市场条件、具有旺盛竞争生命力的方案,就需要把这些方案进行技术上和经济上的综合研究、分析、比较,即进行技术经济评价。

技术经济评价是化工规划、设计、施工和生产管理中的重要手段和方法,经过反复修改和多次重新评价,最终可确定最佳的方案,达到化工过程最优化的目的。

(1) 技术评价指标

评价一个化工过程技术的可行性、先进性和可靠性,主要根据如下几项指标:

- ① 产品的质量和销路;
- ② 原料的质量、价格、加工难易、运输性能及供应的可靠性;
- ③ 原料的消耗定额(产品的回收率);
- ④ 能量消耗定额与品位;
- ⑤ 过程设备的总数目和总质量,工艺过程在技术上的复杂性,操作控制的难易程度等;
- ⑥ 劳动生产率;
- ⑦ 环境保护及生产的安全性。

(2) 经济评价指标

所谓经济评价,是指在开发投资项目的技术方案中用技术经济观点和方法来评价技术方

案的优劣，它是技术评价的继续和确认。一般经济评价包括如下项目：

- ① 基本建设投资额；
- ② 化工产品的成本；
- ③ 投资的回收期或还本期；
- ④ 经济效益——利润和利润率；
- ⑤ 其他经济学指标。

建设投资和产品成本是进行设计方案经济分析、评价与优化的重点和基础。化工过程的优化方案在经济方面的目标函数是基本投资、生产成本或由这二者确定的利润额。投资与成本估算也是设计工作的一个重要组成部分。

(3) 工程项目投资估算

投资的估算方法有多种，目前国内常用的估算方法有化工投资因子法、化工范围内的设计概算法。

① 化工投资因子法 该法是以工艺流程中所有设备的购置费总和为基础，根据化工厂的加工类型，选取适当的乘数因子，快速估算出固定投资或企业的总投资。

② 设计概算法 项目建设是指拟建项目从筹建起到建筑、安装工程完成及试车投产的全过程。它是由单项工程综合估算、工程建设其他费用项目估算和预备费三部分构成。工程项目的其他费用是指未包括在单项工程项目估算内，但与整个建设项目有关，并且按国家规定可在建设项目投资中支出的费用，包括土地购置及租赁费、迁移及赔偿费、建设单位管理费、交通工具购置费、临时工程设施费等。预备费是指一切不能预见的有关工程费用。

(4) 化工产品的成本估算

1) 成本的构成

化工产品的成本是产品生产过程中各项费用的总和。在经济可行性研究中，生产成本是决策过程中的重要依据之一。产品成本可分为车间成本、工厂成本、经营成本和销售成本。

2) 成本估算

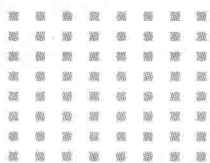
在化工生产过程中，往往在生产某一产品的同时，还生产一定数量的副产品，这部分副产品应按规定的价格计算其产值，并从工厂成本中扣除。有时还有营业外的损益，即非生产的费用支出或收入，如停工损失、三废污染超标赔偿、科技服务收入、产品价格补贴等，都应计入成本或从成本中扣除。

3) 固定成本和可变成本

产品的总成本分为固定成本和可变成本。可变成本是指随产量而变化的那部分费用，如原料费、计件工资制的工人工资、动力费、运输费等。产量增加，可变费用加大，而单位产品成本保持不变。固定成本是指在产品总成本中，不随产量变化而变化的那部分费用，如在一定生产能力范围内，设备的折旧费、车间经费、计时工资等。但在单位产品成本中却随产量的变化而变化。

4) 利润和利润率

年销售收入扣除销售成本即为企业的年利润。年利润与基建投资之比为资金利润率。单位产品的利润与销售成本之比为成本利润率。基建投资总额与年利润之比为投资回收期或还本期。



第 2 章

化工原理课程设计基础

2.1 计算基础

2.1.1 物料衡算

工艺设计中,物料衡算是在工艺流程确定后进行的。目的是根据原料与产品之间的定量转化关系,计算原料的消耗量,各种中间产品、产品和副产品的产量,生产过程中各阶段的消耗量以及组成,进而为热量衡算、其他工艺计算及设备计算打下基础。

(1) 定义

物料衡算是研究某个系统内进、出物料量及组成的变化。所谓系统就是物料衡算的范围,它可以根据实际需要人为地选定。系统可以是一个设备或几个设备,也可以是一个单元操作或整个化工过程。进行物料衡算时,必须首先确定衡算的系统,以质量守恒定律为基础对物料平衡进行计算。物料平衡是指“在单位时间内输入系统的全部物料质量必定等于输出该系统的全部物料质量再加上累积起来的全部物料质量”。

(2) 物料衡算式

$$\sum G_{\text{输入}} = \sum G_{\text{输出}} + \sum G_{\text{累积}} \quad (2-1)$$

式中 $\sum G_{\text{输入}}$ ——输入系统的物料总量;

$\sum G_{\text{输出}}$ ——输出系统的物料总量;

$\sum G_{\text{累积}}$ ——系统中累积的物料总量。

若此过程为稳态过程,则式(2-1)简化为:

$$\sum G_{\text{输入}} = \sum G_{\text{输出}} \quad (2-2)$$

上述关系可在整个过程的范围内使用,亦可在一个或几个设备的范围内使用。它既可针对全部物料运用,在没有化学反应发生时还可针对化合物的任一组分来运用。

(3) 物料衡算步骤

① 画出简单过程流程图,并用箭头指明输入、输出物流和累积物流,把有关的已知量和未知量标在图上;

② 写出化学方程式(如有化学反应);

③ 用虚线框标明物料衡算范围;

④ 确定衡算对象并选择计算基准;

⑤ 建立方程式求解。

【例 2-1】 图 2-1 表示无化学反应的稳态过程物料流程。图中方框表示一个系统，虚线表示系统边界。共有三个流股，进料 F 、出料 P 和累积 W 。每个流股的流量及 A 组分的组成如图所示， x 为质量分数。

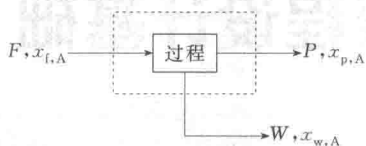


图 2-1 无化学反应的稳态过程物料流程

因为这是一个无化学反应的稳态过程，所以总物料衡算式：

$$F = P + W \quad (2-3)$$

组分 A 的物料衡算式：

$$Fx_{f,A} = Px_{p,A} + Wx_{w,A} \quad (2-4)$$

2.1.2 热量衡算

化工生产中所需的能量以热能为主，用于改变物料的温度与聚集状态以及提供反应所需的热量等。若操作中有几种能可相互转化，则其间的关系可通过能量衡算确定；若只涉及热能能量衡算便简化为热量衡算。

根据能量守恒定律，热量衡算式可以写为：

$$\sum Q_{\text{输入}} = \sum Q_{\text{输出}} + \sum Q_{\text{累积}} \quad (2-5)$$

式中 $\sum Q_{\text{输入}}$ ——输入系统的物料总量；

$\sum Q_{\text{输出}}$ ——输出系统的物料总量；

$\sum Q_{\text{累积}}$ ——系统中累积的物料总量。

热量衡算中需要考虑的项目是进、出设备的物料的焓与外界输入或向外界输出的热，有化学反应时则还包括反应所吸收或放出的热（反应热）。

2.1.3 混合物物性数据估算

设计计算中的物性数据应尽可能使用实验测定值或从有关手册和文献中查取。有时手册上也以图表的形式提供某些物性的推算结果。常用的物性数据可从《化工原理》或《物理化学》附录、《化学工程手册》、《石油化工手册》、《化工工艺手册》、《化工工艺算图》等工具书中查取。物性手册中收集的物性数据常常是纯组分的物性，而设计所遇到物系一般为混合物。通常采用一些经验混合规则作近似处理，从而获取混合物的物性参数。下面就部分常规物系经验混合规则简要介绍如下。

(1) 混合物的密度

① 混合气体的密度 对于压力不太高的气体混合物的密度可由式(2-6)或式(2-7)求得：

$$\rho_m = \rho_1 y_1 + \rho_2 y_2 + \dots + \rho_n y_n \quad (2-6)$$

$$\rho_m = \frac{p M_m}{RT}, \quad M_m = M_1 y_1 + M_2 y_2 + \dots + M_n y_n \quad (2-7)$$

式中 ρ_i, y_i, M_i ——混合气中组分 i 的密度、摩尔分数和摩尔质量；

M_m ——混合气平均摩尔质量。对于压力较高的混合气应引入压缩因子 Z_i 进行校正。

② 混合液体的密度

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{\omega_1}{\rho_1} + \frac{\omega_2}{\rho_2} + \dots + \frac{\omega_n}{\rho_n} \quad (2-8)$$

式中 ρ_i, ω_i ——混合液体中组分 i 的密度和质量分数。

(2) 混合物的黏度

① 混合气体的黏度 常压下气体混合物的黏度可以通过各组分的纯物质黏度、摩尔质量及摩尔分数由式(2-9)求得:

$$\mu_m^0 = \frac{\sum (M_i)^{1/2} y_i \mu_i^0}{\sum (M_i)^{1/2} y_i} \quad (2-9)$$

式中 μ_i^0 ——0℃、常压下组分 i 的黏度, mPa·s;

y_i ——组分 i 的摩尔分数;

μ_m^0 ——0℃、常压下混合气体的黏度, mPa·s;

M_i ——组分 i 的摩尔质量。

压力较高且对比温度 T_r 和对比压力 p_r 大于 1 的情况下, 纯组分 i 的黏度可用式(2-10)进行校正:

$$\mu_i = \left(\frac{T}{273.15} \right)^m \mu_i^0 \quad (2-10)$$

式中 m ——关联指数。

对于常见气体, μ_i^0 和 m 值见表 2-1。

表 2-1 0℃、常压下纯组分气体的黏度 μ_i^0 和关联指数 m

气体组分	μ_i^0 /mPa·s	m	气体组分	μ_i^0 /mPa·s	m	气体组分	μ_i^0 /mPa·s	m
CO ₂	1.34×10^{-2}	0.935	O ₂	1.87×10^{-2}		NO ₂	1.79×10^{-2}	—
H ₂	0.84×10^{-2}	0.771	H ₂ S	1.10×10^{-2}		NO	1.35×10^{-2}	0.89
N ₂	1.66×10^{-2}	0.756	CS ₂	0.89×10^{-2}		HCN	0.98×10^{-2}	—
CO	1.20×10^{-2}	0.8	SO ₂	1.22×10^{-2}		NH ₃	0.96×10^{-2}	0.981
空气	1.71×10^{-2}	0.768						

② 混合液体的黏度

由 Kendall-Mouroe 混合规则得:

$$\mu_m^{1/3} = x_1 \mu_1^{1/3} + x_2 \mu_2^{1/3} + \dots + x_n \mu_n^{1/3} \quad (2-11)$$

式中 μ_i ——与混合液体相同温度下组分 i 的黏度, mPa·s;

x_i ——组分 i 的摩尔分数。

此式适用于非电解质、非缔合性液体两组分的分子量差及黏度差 ($\Delta\mu_i < 15\text{mPa}\cdot\text{s}$) 不大的液体。对油类计算误差为 2%~3%。

(3) 混合物的热导率

① 混合气体的热导率

a. 非极性气体混合物 由 Broraw 法则估算:

$$\lambda_m = 0.5(\lambda_{sm} + \lambda_{rm}) \quad (2-12)$$

式中

$$\lambda_{sm} = \sum y_i \lambda_i$$

$$\lambda_{rm} = \frac{1}{\sum y_i \lambda_i}$$

b. 常压下一般气体混合物

$$\lambda_m = \frac{\sum y_i \lambda_i (M_i)^{1/3}}{\sum y_i (M_i)^{1/3}} \quad (2-13)$$

② 混合液体的热导率