



全国高等院校化工类专业规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

化工原理

(上册) 第三版

何潮洪 刘永忠 窦 梅 冯 霄 / 主编



科学出版社



全国高等院校化工类专业规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

化 工 原 理

(上册) 第三版

何潮洪 刘永忠 窦 梅 冯 霄 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书由浙江大学、西安交通大学等 8 所院校的有关教师共同编写,作为浙江大学等院校的专业基础课教材。本书是在《化工原理》(上、下册)第二版(何潮洪等,科学出版社,2007 年)使用多年的教学实践基础上修订再版的。本书分上、下两册出版,上册包括绪论、流体力学基础、流体输送机械、机械分离与固体流态化、搅拌、热量传递基础、传热过程计算与换热器、蒸发 8 章;下册包括质量传递基础、气体吸收、蒸馏、气-液传质设备、萃取、干燥、吸附与膜分离 7 章。本书重视基本概念,阐述力求严谨,且选配了一些典型的工程案例,以强化相关的实际应用与工程观念的培养。在内容上重点论述化学工程中单元操作的基本原理,并简明扼要地介绍相关的传递过程基础。

本书可作为高等院校化工类相关专业化工原理课程的教材,也可供化工部门从事研究、设计与生产的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理.上册/何潮洪等主编. —3 版. —北京:科学出版社,2017
全国高等院校化工类专业规划教材 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-053704-1

I. ①化… II. ①何… III. ①化工原理-高等学校-教材 IV. ①TQ02
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 137624 号

责任编辑:陈雅娴 丁 里 / 责任校对:郑金红

责任印制:赵 博 / 封面设计:黄华斌

特邀编辑:俞 菁

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>

安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 8 月第 二 版 印张:21 3/4

2017 年 8 月第 三 版 字数:552 000

2017 年 8 月第十八次印刷

定价:56.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《全国高等院校化工类专业规划教材》 编写委员会

顾 问 金 涌 戴千策

主 编 王静康

副主编 冯亚青 于建国 李伯耿 曲景平

陈建峰 梁 斌 山红红 胡华强

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

鲍晓军 陈 砾 陈建峰 陈卫航 崔 鹏

冯亚青 管国锋 何潮洪 胡华强 黄玉东

计伟荣 纪红兵 乐清华 李伯耿 李文秀

李小年 梁 斌 刘永忠 刘有智 骆广生

马连湘 马晓迅 曲景平 山红红 孙克宁

汤吉彦 王静康 王延吉 谢在库 于建国

张凤宝 钟 宏 钟 秦 周小华 朱家骅

《化工原理》(上册) 第三版 编写委员会

主 编 何潮洪 刘永忠 窦 梅 冯 霄

副主编 姚克俭 郑育英 刘桂莲 伍 钦

魏凤玉 南碎飞

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

窦 梅 方岩雄 冯 霄 何潮洪 刘桂莲

刘永忠 南碎飞 魏凤玉 伍 钦 闫孝红

姚克俭 负军贤 郑育英

总 序

近十几年是国内外工程教育研究与实践的一个快速发展期，尤其是国内工程教育改革，从教育部立项重大专项对工程教育进行专门研究与探索，到开展工程教育认证，再到 2016 年 6 月我国成为《华盛顿协议》正式成员，我国的工程教育正向国际化、多元化、产学研一体化推进。在工程教育改革的浪潮中，我国的化工高等教育取得了一系列显著的成果，从各级教学成果奖中化工类专业的获奖项目占比可见一斑。尽管如此，在当前国家推动创新驱动发展等一系列重大战略背景下，工程学科及相应行业对人才培养又提出更高要求，新一轮的“新工科”研究与实践活动已经启动，在此深化工程教育改革的良好契机下，每位化工工人都应积极思考，我们的高等化工工程教育如何顺势推进专业改革，进一步提升人才培养质量。

专业教育改革成果很重要的一部分是要落实到课程教学中，而教材是课程教学的重要载体，因此，建设适应新形势的优秀教材也是教学改革的重要组成部分。为此，科学出版社联合教育部高等学校化工类专业教学指导委员会以及国内部分院校，组建了《全国高等院校化工类专业规划教材》编写委员会(以下简称“编委会”)，共同研讨新形势下专业教材建设改革。编委会成员均参与了所在院校近年来化工类专业的教学改革，对改革动向及发展趋势有很好的把握，同时经过多次编委会会议讨论，大家集各院校改革成果之所长，对建设突出工程案例特色的系列教材达成了共识。在教材中引入工程案例，目的是阐述学科的方法论，训练工程思维，搭建连接理论与实践的桥梁，这与工程教育改革要培养工程师的思想是一致的。

工程素养的培养是一项系统工程，需要学科内外基础知识和专业知识的系统搭建。为此，编委会对国内外高等学校化工类专业的教学体系进行了细致研究，确定了系列教材建设计划，统筹考虑化工类专业基础课程和核心专业课程的覆盖度。对专业基础课教材的确定，基本参照国内多数院校的课程设置，符合当前的教学实际，同时对各教材之间内容衔接的科学性、合理性和可行性进行了整体设计。对核心专业课教材的确定，在立足当前各院校教学实际的基础上，充分考虑了学科发展和国家战略及产业发展对专业人才培养的新需求，以发挥教材内容更新对新时期人才培养质量提升的支撑作用。

将工程案例引入课程和教材，是本系列教材的创新探索。这也是一项系统工程，因为实际工程复杂多变，而教学需要从复杂问题中抽离出其规律及本质，做到举一反三。如何让改编的案例既体现工程复杂性和系统性，又符合认知和教学规律，需要编写者解放思想、改变观念，既要突破已有教材设计思路和模式的束缚，又能谨慎下笔。对此，系列教材的编写者进行了有益的尝试。在不同分册中，读者将看到不同的案例编写模式。学科不断发展，工程案例也不断推陈出新。本系列教材在给任课教师提供课程教学素材的同时，更希望能给任课教师以启发，希望任课教师在组织课程教学过程中，积极尝试新的教学模式，不断积累案例教学经验，把提高化工类专业学生工程素养作为一项长期的使命。

教学改革需要一代代教师坚持不懈地努力,需要不断探索、总结和反思,希望本系列教材能够给各院校教师以借鉴和启迪,切实推动化工高等教育质量不断迈上新台阶。在针对化工类专业构建一套体系、内容和形式较为新颖的教材目标指引下,我们组建了一支强大的编委会队伍,为推进这项工作,大家群策群力,积极分享教育教学改革成功经验和前瞻性思考,在此我代表编委会对各位委员及参与各分册编写的所有教师致以衷心的感谢。同时,也希望以本系列教材建设为契机,以编委会为平台,加强化工类高等学校本科人才培养、师资培训、课程建设、教材及教学资源建设等交流与合作,携手共创化工的美好明天。

王静康

中国工程院院士

2017年7月

第三版前言

《化工原理》(上、下册)第二版在 2007 年出版后经过十年的使用,广大读者在给予肯定的同时,也提出了一些意见和建议,主要是部分例题偏理想化,与实际工程问题有一定的距离,希望再版时能有合适的工程案例,以更有利于学生工程观念的培养。为此,结合科学出版社“全国高等院校化工类专业规划教材”的建设,编者对第二版进行了修订。

为体现案例特色,第三版中在每章的开头以“引例”的方式简介了该章相关的典型工程案例,并在后续内容中编写了与该案例相关的重要例题,进而对其进行了求解、讨论,以突出理论知识和工程实际的联系,更好地培养学生学以致用能力。此外,第三版中还新增了一章“搅拌”(第 4 章)。同时,为了更好地适应不同院校的教学要求,仍将部分难度较大、要求较高的内容作为选学内容(用小号字体编排)。

本次修订,上册由何潮洪、刘永忠、窦梅、冯霄担任主编,姚克俭、郑育英、刘桂莲、伍钦、魏凤玉、南碎飞担任副主编;下册由何潮洪、伍钦、魏凤玉、姚克俭担任主编,黄国林、王成习、诸爱士、刘永忠、窦梅、冯霄担任副主编,并由浙江大学、西安交通大学、华南理工大学、合肥工业大学、浙江工业大学、浙江科技学院、东华理工大学和广东工业大学 8 所院校的有关教师共同努力完成。具体修订分工如下:绪论(浙江大学何潮洪),第 1 章(浙江大学窦梅、南碎飞),第 2 章(浙江大学窦梅、南碎飞),第 3 章(广东工业大学郑育英、方岩雄),第 4 章(浙江工业大学贡军贤、姚克俭),第 5 章(西安交通大学刘永忠),第 6 章(西安交通大学闫孝红、刘永忠),第 7 章(西安交通大学刘桂莲),附录(浙江大学窦梅、南碎飞),第 8 章(华南理工大学伍钦),第 9 章(合肥工业大学魏凤玉),第 10 章(浙江大学王成习),第 11 章(浙江工业大学姚克俭、沈绍传),第 12 章(浙江科技学院诸爱士),第 13 章(华南理工大学伍钦),第 14 章(东华理工大学戴荧、邓慧宇、黄国林)。

编者虽尽了很大的努力,书中仍难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。对过去指出教材不足的读者,在此表示深切的谢意!

编 者

2017 年 4 月

第二版前言

本书第一版于 2001 年出版后,经过几年的使用,广大读者给予了肯定的评价,同时也提出了不少的意见和建议,主要是部分章节数学推导过多、难度偏大、内容不够精练,并存在一些印刷错误等。加之近几年的教学情况也有所变化,因此编者对第一版教材进行了修订。修订版被列入“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”建设。

此次修订对第一版发现的错误作了更正,不够确切或严密的提法作了修改,对某些内容尤其是第一、三、五、十三章作了较大的调整。为了更好地适应不同院校的教学要求,将部分难度较大、要求较高的内容调整为选学内容(用小号字体进行编排),同时将原教材分成上、下两册出版。修订时,上册由何潮洪、冯霄主编,下册由冯霄、何潮洪主编,并由浙江大学、西安交通大学、浙江工业大学、西南石油大学、浙江科技学院和东华理工大学等 6 所院校的有关教师共同努力完成。具体修订分工如下:绪论(浙江大学何潮洪),第 1 章(浙江大学窦梅、南碎飞),第 2 章(西安交通大学李云),第 3 章(浙江大学窦梅、南碎飞),第 4 章(西安交通大学刘永忠),第 5 章(西安交通大学冯霄),第 6 章(西安交通大学王黎),附录(浙江大学窦梅、南碎飞),第 7 章(浙江大学何潮洪),第 8 章(西南石油大学王兵),第 9 章(浙江大学何潮洪、钱栋英),第 10 章(填料塔:西南石油大学诸林;板式塔、塔设备的比较和选型:浙江工业大学姚克俭、俞晓梅),第 11 章(浙江科技学院朱以勤、诸爱士),第 12 章(浙江大学窦梅、南碎飞),第 13 章(吸附:东华理工大学刘峙嵘、黄国林、邹丽霞;膜分离:浙江大学陈欢林)。

由于编者学识有限,书中难免有错误不妥之处,恳请广大读者批评指正。并在此对指出第一版教材不足的读者表示深切的谢意!

编 者

2007 年 5 月

第一版前言

本书是根据原化学工业部人事教育司面向 21 世纪化工原理教材的要求而编写的。

本书重点论述化学工程中单元操作的基本原理，并简明扼要地介绍了相关的动量、热量、质量传递过程基础。之所以这样安排，是考虑到单元操作和传递过程之间的紧密依赖关系，希望以传递机理来深化单元操作，也能使传递理论更好地联系实际。编写过程中，力求阐述清楚基本概念、基本理论和方法，同时注意引导学生从工程角度考虑问题。

本书由浙江大学何潮洪、西安交通大学冯霄主编，由浙江大学、西安交通大学、浙江工业大学、西南石油大学、杭州应用工程技术学院和华东地质学院等 6 所院校的有关教师共同编写而成。执笔分工如下：绪论(浙江大学何潮洪)，第一章(浙江大学南碎飞、窦梅)，第二章(西安交通大学李云)，第三章(浙江大学南碎飞、窦梅)，第四、五章(西安交通大学刘永忠)，第六章(西安交通大学王黎)，第七章(浙江大学何潮洪、吕秀阳)，第八章(西南石油学院王兵)，第九章(浙江大学钱栋英、施耀)，第十章(填料塔：西南石油学院诸林；板式塔、塔设备的比较和选型：浙江工业大学姚克俭、俞晓梅)，第十一章(浙江科技学院朱以勤、诸爱士)，第十二章(浙江大学南碎飞、窦梅；浙江工业大学田军、姚克俭)，第十三章(吸附：华东地质学院邹丽霞、黄国林；膜分离：浙江大学陈欢林)，附录(浙江大学南碎飞、窦梅)。

本书第一~六章及附录由冯霄、何潮洪统稿，第七~十三章由何潮洪、冯霄统稿。

由于编者学识有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正，尽量指出其不足，以助日后之修订。

编 者

2001 年 5 月

目 录

总序

第三版前言

第二版前言

第一版前言

绪论	1
参考文献	4
第1章 流体力学基础	5
1.1 概述	6
1.2 流体静力学及其应用	7
1.2.1 静止流体所受的力	7
1.2.2 流体静力学基本方程	8
1.2.3 静力学原理在压力和压力差测量上的应用	9
1.3 流体流动的基本方程	12
1.3.1 基本概念	12
1.3.2 质量衡算方程——连续性方程	18
1.3.3 运动方程	21
1.3.4 总能量衡算和机械能衡算方程	28
1.4 管路计算	45
1.4.1 简单管路	45
1.4.2 复杂管路	49
1.4.3 管网简介	53
1.4.4 可压缩流体的管路计算	53
1.5 边界层及边界层方程	56
1.5.1 普朗特边界层理论	56
1.5.2 边界层方程及其应用简介	58
1.5.3 边界层分离	61
1.6 湍流	61
1.6.1 湍流的发生与发展	61
1.6.2 湍流特点及其研究方法	62
1.6.3 湍流应力	63

1.7 流速、流量测量	64
1.7.1 变压头流量计	64
1.7.2 变截面流量计	67
本章主要符号说明	70
参考文献	71
习题	71
第2章 流体输送机械	77
2.1 概述	78
2.2 离心泵	78
2.2.1 离心泵的构造和工作原理	78
2.2.2 离心泵主要构件的结构及功能	79
2.2.3 离心泵的主要性能参数	81
2.2.4 离心泵的特性曲线及其影响因素	86
2.2.5 离心泵的安装高度及气蚀余量	88
2.2.6 离心泵的工作点与流量调节	90
2.2.7 离心泵的类型、选用、安装与运转	94
2.2.8 离心泵的操作型问题定性分析及计算	97
2.3 其他类型泵	99
2.3.1 其他速度式泵	99
2.3.2 容积式泵	100
2.3.3 其他形式泵	104
2.3.4 各类泵的适用范围	105
2.4 气体压送机械	106
2.4.1 风机	106

2.4.2 压缩机	110	特性	157
2.4.3 真空泵	112	4.3.5 固-液悬浮搅拌过程的流体力学特性	158
本章主要符号说明	113	4.3.6 液-液及气-液分散搅拌过程的流体力学特性	159
参考文献	114	4.4 搅拌功率的计算	162
习题	114	4.4.1 搅拌功率的分配	162
第3章 机械分离与固体流态化	117	4.4.2 功率曲线	163
3.1 概述	118	4.5 搅拌设计与放大	164
3.2 颗粒及颗粒群的特性	118	本章主要符号说明	165
3.2.1 单一颗粒的特性	118	参考文献	165
3.2.2 颗粒群的特性	119	习题	166
3.2.3 筛分	121	第5章 热量传递基础	167
3.3 沉降	121	5.1 概述	169
3.3.1 重力沉降原理	121	5.1.1 热量传递的方式与机理	169
3.3.2 重力沉降设备	124	5.1.2 热量传递过程的概念及定义	170
3.3.3 离心沉降原理	126	5.2 热传导	171
3.3.4 离心沉降设备	127	5.2.1 热传导的基本定律	171
3.4 过滤	130	5.2.2 导热系数	171
3.4.1 概述	130	5.2.3 热传导微分方程	172
3.4.2 过滤基本方程	131	5.2.4 稳态热传导	175
3.4.3 过滤常数的测定	135	5.2.5 非稳态热传导	180
3.4.4 滤饼洗涤	136	5.3 对流传热	183
3.4.5 过滤设备及过滤计算	136	5.3.1 对流传热过程	183
3.5 离心分离	143	5.3.2 因次分析法在对流传热中的应用	186
3.6 固体流态化	145	5.3.3 管内强制对流传热	187
3.6.1 基本概念	145	5.3.4 管外强制对流传热	192
3.6.2 流化床的主要特性	147	5.3.5 冷凝传热	195
3.6.3 流化床的操作气速范围	148	5.3.6 沸腾传热	200
本章主要符号说明	148	5.3.7 自然对流传热	204
参考文献	149	5.4 辐射传热	205
习题	149	5.4.1 基本概念	205
第4章 搅拌	151	5.4.2 辐射的基本定律	207
4.1 概述	152	5.4.3 固体间的辐射传热	209
4.2 机械搅拌设备	152	5.4.4 气体的热辐射	217
4.2.1 搅拌设备的基本构成	152	5.4.5 对流与辐射的复合传热	219
4.2.2 搅拌叶轮	154	本章主要符号说明	220
4.3 搅拌容器内的流体力学特性	155	参考文献	222
4.3.1 总体流动状况	155	习题	222
4.3.2 流动状况的变化	156		
4.3.3 搅拌雷诺数	156		
4.3.4 互溶液体搅拌过程的流体力学			

第 6 章 传热过程计算与换热器225	
6.1 概述.....225	
6.2 传热过程分析.....226	
6.3 传热过程的基本方程.....226	
6.3.1 热量衡算方程.....226	
6.3.2 传热速率方程.....227	
6.4 传热过程计算.....228	
6.4.1 总传热系数与壁温计算.....228	
6.4.2 传热过程的平均温差计算.....231	
6.4.3 传热效率和传热单元数计算.....237	
6.5 换热器计算.....241	
6.5.1 设计型计算.....241	
6.5.2 操作型计算.....242	
6.5.3 传热系数变化的换热器计算.....245	
6.6 换热器简介.....246	
6.6.1 换热器的分类.....246	
6.6.2 间壁式换热器.....246	
6.6.3 列管式换热器的选用与设计 原则.....252	
6.7 换热器的传热强化与换热网络 优化.....255	
6.7.1 换热器的传热强化概述.....255	
6.7.2 列管式换热器的传热强化.....256	
6.7.3 换热网络优化.....257	
本章主要符号说明.....258	
参考文献.....259	
习题.....259	
第 7 章 蒸发262	
7.1 概述.....263	
7.2 单效蒸发及其计算.....264	
7.2.1 单效蒸发过程.....264	
7.2.2 蒸发水量的计算.....265	
7.2.3 蒸发器热负荷的确定.....265	
7.2.4 传热面积的计算.....266	
7.3 多效蒸发及其计算.....269	
7.3.1 多效蒸发的流程.....269	
7.3.2 多效蒸发的优缺点及效数的 限制.....271	
7.3.3 多效蒸发计算.....273	
7.4 蒸发器及辅助设备.....278	
7.4.1 蒸发器的结构及特点.....279	
7.4.2 除沫器、冷凝器和真空装置.....283	
7.4.3 蒸发器的选型.....284	
7.5 提高蒸发经济性的改进措施.....285	
本章主要符号说明.....286	
参考文献.....287	
习题.....287	
附录289	
一、单位换算表.....289	
二、空气的重要物性.....292	
三、水的重要物性.....293	
四、饱和水蒸气的物性.....296	
五、某些气体的重要物性.....300	
六、某些液体及溶液的物性.....305	
七、常用流速的范围(SH/T3035— 2007).....315	
八、中国石化钢管壁厚系列(SH/T 3405—2012).....318	
九、IS 型单级单吸离心泵和离心通 风机系列.....319	
十、某些固体材料的物理性质.....323	
十一、列管式换热器规格(摘自 JB/T 4714/4715—1992).....324	
十二、壁面污垢热阻(污垢系数).....328	
索引329	

绪 论

1. 本课程的性质、地位和内容

化工原理是化工类及其相关专业的一门重要的技术基础课，在化学工程与工艺专业培养过程中有其特殊的地位和作用：

(1) 在教学计划中，这门课程是承前启后、由理及工的桥梁。先行的数学、物理、化学等相关课程主要是了解自然界的普遍规律，属于自然科学的范畴，而化工原理则属于工程技术科学的范畴，是化工专业课程的基础。

(2) 化工原理课程具有显著的工程性。它要解决的问题是多因素、多变量的综合性的工业实际问题，因此分析和处理问题的方法也就与理科课程有较大的不同，这可能会导致部分学生在学习初期有一个不适应期。

(3) 化工原理的内容主要涉及化工单元操作的基本原理及其相关基础。它来自化工实践，又面向化工实践，是化工技术工作者的看家本领所在，可以说“化工原理”四字恰如其分地表达了这门课程的性质与重要性。

2. 化工过程、单元操作与传递基础

化工过程是指化学工业的生产过程，它的特点之一是操作步骤多，原料在各步骤中依次通过若干个或若干组设备，经历各种方式的处理之后才能成为产品。由于不同的化学工业所用的原料与所得的产品不同，因此各种化工过程的差别很大。

一个化工过程所包含的操作步骤可分为两大类：一类以进行化学反应为主，通常是在反应器中进行；另一类则为不进行化学反应的物理过程，包括原料预处理过程和反应产物后处理过程。尽管从生产某种产品的意义上说，反应过程是生产过程的核心，但它在工厂的设备投资和操作费用中通常并不占据主要比例，实际上起决定作用的往往是众多的物理过程，它们决定了整个生产经济效益，这一类重要的物理过程就是单元操作。

单元操作有下列特点：①它们都是物理性操作，即只改变物料的状态或其物理性质，而不改变其化学性质；②它们都是化工过程中共有的操作，但不同的化工过程中所包含的单元操作数目、名称与排列顺序各异；③某单元操作用于不同的化工过程，其基本原理并无不同，进行该操作的设备往往也是通用的。当然，具体运用时也要结合各化工过程的特点来考虑，例如原料与产品的物理、化学性质，生产规模的大小等。

随着化学工业的发展，单元操作也不断发展。目前化工生产中常用的单元操作如表 0-1 所示。

表 0-1 常用单元操作

传递基础	单元操作名称	目 的
流体流动 (动量传递)	流体输送	以一定流量将流体从一处送到另一处
	沉降	从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒、液滴或气泡
	过滤	从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒
	搅拌	使物料混合均匀或使过程加速
	流态化	用流体使固体颗粒悬浮并使其具有流体状态的特性
热量传递	换热	使物料升温、降温或改变相态
	蒸发	使溶液中的溶剂受热气化而与不挥发的溶质分离, 达到溶液浓缩目的
质量传递	吸收	用液体吸收剂分离气体混合物
	蒸馏	利用均相液体混合物中各组分挥发度不同使液体混合物分离
	萃取	用液体萃取剂分离均相液体混合物
	浸取	用液体浸渍固体物料, 将其中的可溶组分分离出来
	吸附	用固体吸附剂分离气体或液体混合物
	离子交换	用离子交换剂从溶液中提取或除去某些离子
	膜分离	用固体膜或液体膜分离气体、液体混合物
热、质传递	干燥	加热固体使其所含液体汽化而除去
	增(减)湿	调节气体中的水气含量
	结晶	使溶液中的溶质变成晶体析出

把各种不同的化工过程总结成为由数量不多的单元操作所组成的观点, 是人们对化工过程认识的进步, 它使人们看到了化工生产中的共性。把这种共性的东西抽象出来进行研究, 可以对过程的本质了解得更为透彻。一旦人们对各个单元操作有了较深刻的理解, 就会对由这些单元操作所组成的具体的化工过程有更好的掌握, 这种认识的循环前进推动了学科的发展。

经过对单元操作的深入研究, 人们发现所有单元操作都属于速率过程, 而且在大部分情况下, 是动量、热量和质量的传递速率控制着过程的进行。换句话说, 大部分单元操作中, 其最基本的过程是动量、热量和质量的传递(简称三传)。三个传递过程有时单独地起作用, 有时则两个或三个同时起作用, 如表 0-1 所示。

因此, 本书力求按照单元操作和传递过程之间的内在紧密联系, 把两者有机地结合在一起进行编写, 使学生在重点掌握好单元操作原理和过程特性的同时, 能对过程的机理有较深的了解, 从而对化工过程有一个较完整的把握。

为学习单元操作而开设的课程, 在我国习惯上称为化工原理。

3. 基本研究方法

在单元操作的发展过程中形成了两种基本研究方法, 即实验研究法和数学模型法。

1) 实验研究法

化工过程往往十分复杂, 涉及的影响因素很多, 各种因素的影响有时不能用迄今已掌握的物理、化学和数学等基本原理定量地分析和预测, 而必须通过实验来解决, 此即所谓实验研究法。它一般以因次分析法为指导, 依靠实验建立过程参数之间的相互关系, 而且通常是把各种参数的影响表示成为由若干个有关参数组成的、具有一定物理意义的无因次数群(也称准数)的影响。化工原理的学习过程中, 将经常见到以无因次数群表示的关系式。

2) 数学模型法

数学模型法首先要对化工实际问题的机理作深入分析, 并在抓住过程本质的前提下作出

某些合理的简化,得出能基本反映过程机理的物理模型,然后结合传递过程、物理化学的基本原理,得到描述此过程的数学模型,再用适当的数学方法求解。通常,数学模型法所得结果包括反映过程特性的模型参数,它必须通过实验才能确定,因而它是一种半经验、半理论的方法。

随着计算机及计算技术的飞速发展,复杂数学模型的求解已成为可能,所以数学模型方法将逐步成为单元操作中的主要研究方法。

在学习化工原理时,应仔细体会不同单元操作中有些采用实验研究法,有些采用数学模型法,有些则同时采用实验研究法和数学模型法的原因所在。掌握这些方法论,将有助于增强分析问题与解决问题的能力。

4. 过程的衡算、平衡与速率

1) 过程衡算

质量衡算、能量衡算是化工原理课程中分析问题的基本手段。质量衡算的依据是质量守恒定律,能量衡算的依据是能量守恒和热力学第一定律。

用衡算的方法来分析时,首先要划定衡算的范围(控制体)。根据范围的大小,衡算分为微分衡算与总衡算两种。微分衡算取设备或管道中的一个微元体为衡算范围,如直角坐标中的 $dx dy dz$;总衡算的范围不是微元体,而是设备的一个大的部分或整个设备,也可以是包括几个设备的一段生产流程或整个车间,甚至整个工厂。

对于给定的控制体,质量衡算、能量衡算的方程为

$$\text{进控制体的量} - \text{出控制体的量} = \text{控制体内的积累量}$$

若过程为稳态(稳定),则控制体内的有关变量均不随时间而变,其积累量为零,所以结果简化为

$$\text{进控制体的量} = \text{出控制体的量}$$

2) 过程的平衡与速率

平衡与速率是分析单元操作过程的两个基本方面。

过程的平衡问题说明过程进行的方向和所能达到的极限。化工过程的平衡是化工热力学研究的问题,所以化工热力学是化工原理的一个重要基础。过程的速率是指过程进行的快慢。当过程不是处于平衡态时,则此过程必将以一定的速率进行。例如传热过程,当两物体温度不同时,即温度不平衡,就会有净热量从高温物体向低温物体传递,直到两物体的温度相等为止,此时过程达到平衡,两物体间也就没有净的热量传递。

过程的速率和过程所处的状态与平衡状态的距离及其他很多因素有关。过程所处的状态与平衡状态之间的距离通常称为过程的推动力。例如两物体间的传热过程,其过程的推动力就是两物体的温度差。

通常存在以下关系式:

$$\text{过程速率} = \text{过程推动力} / \text{过程阻力}$$

即过程的速率与推动力成正比,与阻力成反比。显然,过程的阻力是各种因素对过程速率影响的总的体现。

物料衡算、能量衡算、平衡关系和过程速率将反复出现在本书中,它们所形成的各单元操作的相应计算式,就是各单元操作的主要计算依据。抓住这条主线,会给学习化工原理带

来很大的帮助。

5. 工程观点

通过化工原理的学习,要初步掌握化工过程开发、设计与操作的有关方法。这里的开发是指,以已研究出的某化工过程所包括的步骤为基础,把这些步骤连接起来使得生产进行时经济上合理有利,其主要工作是探索最佳的流程与设备,定出最佳的操作条件。设计通常是规定出设备应具有的性能,选出合适的型式并确定其主要尺寸。操作则除了对生产过程(包括正常工况与非正常工况)进行管理并使设备能正常运转以外,更重要的是对现有的生产过程与设备作各种改进以提高其效率。

需要引起充分重视的是,上述问题都具有强烈的工程性,具体表现在以下几个方面。

1) 过程影响因素多

对于每一种单元操作,其影响因素通常包括物性因素(如密度、黏度)、操作因素(如温度、压力、流量)和结构因素(如设备形状、尺寸)三类。

2) 过程制约条件多

在工业上要实现一个具体的生产过程,客观上存在许多制约条件,如原料来源、冷却水来源、可供应的设备及其结构材料的质量和规格、当地的气温和气压变化范围等。同时,单元设备在流程中的位置也会制约设备的进、出口条件。此外,还受安全防火、环境保护、设备加工、安装以及维修等条件的制约。

3) 经验公式与经验数据多

由于工业过程的复杂性,许多情况下,单纯依靠理论分析还解决不了问题,往往还需结合实验(包括工业试验),因此产生出许多经验公式与经验数据。它们都是在长期的生产实践中总结出来的,熟练地运用这些经验公式与经验数据,做到心中有“数”、“式”,是十分必要的。

4) 效益是评价工程合理性的最终判据

自然科学研究的目的通常是希望发现规律,而工业过程的目的则是为了最大限度地取得经济效益和社会效益,这是工业过程的出发点,也是评价其是否成功的标志。

因此在分析有关过程时,要从工程实际出发,学会从多种角度尤其是经济角度去考虑技术问题,这是化工原理课程教学的一项重要任务,也是学习过程中必须时时注意的关键所在。

参 考 文 献

- 陈敏恒,丛德滋,方图南,等. 2015. 化工原理. 4 版. 北京: 化学工业出版社
- 陈维桓. 1993. 传递过程与单元操作. 杭州: 浙江大学出版社
- 蒋维钧,戴猷元,顾惠君. 2009. 化工原理(上). 3 版. 北京: 清华大学出版社
- 谭天恩, 窦梅, 等. 2013. 化工原理, 4 版, 北京: 化学工业出版社
- Geankoplis C J. 1993. Transport Processes and Unit Operations. 3rd ed. Engelwood Cliffs: Prentice Hall
- McCabe W L, Smith J C, Harriott P. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering. 5th ed. New York: McGraw-Hill, Inc.

第 1 章 流体力学基础

引 例

某化工厂所用溶剂为甲苯，在生产过程中会产生大量粗甲苯废液(甲苯质量分数约为 98%，水约为 2%)。为降低成本，该废液需回收再利用，为此需将粗甲苯储罐中的废液用泵经过管路系统送至回收装置，该输送过程的流程图如图 1-1 所示，图 1-2 则为工厂照片。

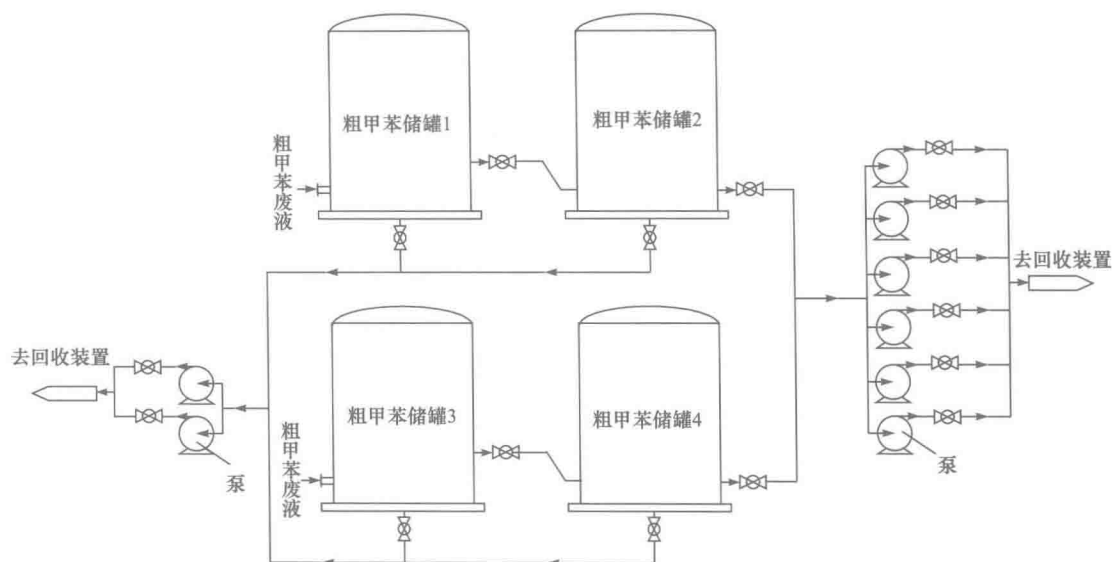


图 1-1 粗甲苯回收装置罐区布置图

在化工生产过程中经常遇到与上述引例类似的流体流动或流体输送问题。要想完成指定的输送任务，需要设计人员确定管道直径、输送机械的功率等物理量。为此，就需要设计人员了解流体在管内或设备中的流动规律。

所谓流体一般指气体或液体，因其具有流动性，故统称为流体。

研究流体流动规律的学科称为流体力学，包括流体静力学和流体动力学两大部分。本章将结合化工过程的特点，对流体静力学原理及其在化工中的应用、流体动力学基本方程及其在化工中的应用进行详细的介绍。