

化工工人中级技术培训教材

第三版



化工基础

张振坤 王锡玉 主编



化学工业出版社

chemical industry press

化工工人中级技术培训教材 第三版

化 工 基 础

张振坤 王锡玉 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书共分十二章,介绍了化工单元操作的基本原理和计算。包括绪论、流体流动、流体输送机械和搅拌、流体与粒子间的相对运动过程、传热及传热设备、溶液的蒸发、结晶、蒸馏、吸收、萃取、干燥、冷冻及新型传质分离方法等。

本书力求深入浅出,简明扼要,概念准确,表述清晰,图文并茂。

本书可作为化工及相关企业中级技术工人的培训教材,也可作为非化工专业人员及管理干部的自学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

化工基础/张振坤,王锡玉主编. —3版. —北京:化学工业出版社,2007.5

化工工人中级技术培训教材

ISBN 978-7-122-00053-8

I. 化… II. ①张…②王… III. 化学工程-技术培训-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 029788 号

责任编辑:陈丽 袁海燕

装帧设计:关飞

责任校对:顾淑云

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:北京市彩桥印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张14 字数387千字

2008年6月北京第3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:29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

为了适应社会主义市场经济发展对目前职工教育培训的需要，积极配合化工技术工人进行培训和职业技能鉴定，根据国家《职业标准》对中级工应该掌握和了解的有关技术理论知识（应知）和工艺操作能力（应会）的内容，我们对 2000 年出版的《化工工人中级技术培训教材》进行了修订。

在对《职业标准》内容范围和深浅程度有了充分理解的基础上，兼顾中、高级技术工人在操作技能上的差别及其在基本技术理论知识上的共性特点，并考虑到成人学习的特点，注重理论联系实际，紧紧围绕化工生产的实际和检修维护的特点，由浅入深、由易到难地提出问题、分析问题、解决问题，并列举了生产或计算实例。在文字表述方面注意到用语通俗易懂；图表清晰；术语、名词及符号符合新规定。

此次修订删减了部分目前化工企业生产中已淘汰的工艺、设备等方面的内容，增加了近年来在化工企业生产及管理中的采用的新标准、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。

本书的绪论、第六章由吉林化工学院刘建中编写；第一章、第三章、第四章、第五章、第八章、第十二章由吉林化工学院张振坤编写；第二章、第七章、第九章、第十章、第十一章由吉化公司有机合成厂王锡玉编写，参加修订工作的人员还有廖旭红、常树森等。

随着科学技术的不断发展，新技术在化工生产过程中被广泛应用。作为新技术的介绍，新增加第十二章新型传质分离方法简介，使读者再增加些化工单元操作方面的知识。为了尽量达到知识结构的完整性，在原部分章节补充少量内容。并删去部分生产过程中少有的过程方面的内容。

为了便于读者理解和巩固本书内容，本次修订时各章配有思考题与习题（附在全书最后），在每道习题后给出答案，标记在括号内供参考。

全书由张振坤、王锡玉主编。

在编写过程中，李守忠、张振坤、王锡玉、陈云明、刘勃安等进行了全套书审稿工作。天津大沽化工厂王慧伦对本书进行了审阅，并提出了宝贵意见。本书还参考了王慧伦主编的《化工基础》和刘盛宾主编的《化工基础》的部分内容。全套书由刘勃安组织，在此一并致谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2006 年 12 月

目 录

绪论	1
一、化工过程及单元操作	1
二、本课程的地位和任务	2
三、单位制及单位换算	2
四、单元操作中的基本规律	4
第一章 流体流动	6
第一节 流体静力学	6
一、流体的主要物理量	6
二、流体静力学基本方程式	11
第二节 流体动力学	16
一、基本概念	16
二、稳定流动的连续方程	19
三、伯努利方程式	20
第三节 流体阻力	27
一、流体的黏度	28
二、流体的流动形态与雷诺准数	28
三、流体阻力计算	31
第四节 化工管路	36
一、管子的类型	36
二、管件、阀以及管路的连接方式	38
三、管路布置及安装原则	41
第五节 流量的测量	43
一、孔板流量计	43
二、文氏管流量计	44
三、转子流量计	44

第二章 流体输送机械和搅拌	45
第一节 离心泵	45
一、离心泵工作原理	45
二、离心泵的主要部件	46
三、离心泵的主要性能和特性曲线	48
四、离心泵的安装高度	52
五、离心泵的分类和型号	54
六、离心泵的安装和操作	58
第二节 往复泵	59
一、往复泵的工作原理	59
二、往复泵的主要性能	61
三、往复泵的使用与维护	63
第三节 其他类型泵及各类泵的比较	64
一、计量泵	64
二、齿轮泵	65
三、螺杆泵	66
四、屏蔽泵	66
五、液下泵	66
六、旋涡泵	67
七、流体作用泵	67
八、各类泵的比较	68
第四节 液体搅拌	70
一、搅拌的作用	70
二、搅拌器	70
三、强化搅拌的措施	73
第五节 往复式压缩机	74
一、往复式压缩机的结构和主要部件	74
二、往复式压缩机的主要性能	75
三、实际压缩循环	77
四、多级压缩	78
五、往复式压缩机的分类和型号	79
六、往复式压缩机的正常操作	81

第六节 离心式压缩机	81
一、离心式压缩机工作原理和结构	82
二、离心式压缩机的操作	83
第七节 各类风机简介	84
一、鼓风机	84
二、通风机	84
第八节 真空泵	86
一、往复式真空泵	86
二、液环式真空泵	87
三、旋片式真空泵	87
四、喷射式真空泵	88
第三章 流体与粒子间的相对运动过程	90
第一节 混合物的分离	90
第二节 重力沉降	91
一、重力作用下的沉降速度	91
二、除尘室	95
三、沉降器	96
第三节 过滤	97
一、悬浮液的过滤	97
二、过滤机的构造与操作	101
第四节 离心分离	106
一、离心作用下的沉降速度	106
二、离心分离设备	108
第五节 其他气体净制过程及设备	115
一、惯性分离器	115
二、袋滤器	116
三、静电除尘器	117
四、文丘里除尘器	118
第六节 固体流态化	118
一、基本概念	119
二、流化床的不正常现象	121
三、流化床的操作范围	122

第七节 气力输送	123
第四章 传热及传热设备	128
第一节 传热的基本方式	128
一、热传导	128
二、对流	129
三、辐射	129
四、间壁式换热器中的传热过程	129
第二节 传热计算	130
一、换热器的热负荷计算	130
二、载热体的用量及其终温	133
三、平均传热温差的计算	134
第三节 热传导	138
一、导热基本定律	138
二、多层平壁的导热	141
三、圆筒壁的导热	142
第四节 对流传热	143
一、对流传热方程式	144
二、给热系数的经验公式	144
第五节 辐射传热	147
一、辐射传热速率	147
二、设备热损失的计算	147
第六节 传热系数的计算和讨论	148
一、通过平壁面的传热系数 K	149
二、通过圆筒壁面的传热系数 K	149
三、污垢热阻	150
第七节 传热面积和套管换热器计算	151
一、所需传热面积的计算	151
二、套管式换热器的计算	153
第八节 强化传热的途径与热绝缘方法	154
一、强化传热的途径	154
二、管路和设备的热绝缘方法	156
第九节 换热设备	158

一、换热器的分类	158
二、列管式换热器	159
三、其他换热器	164
第十节 加热方法和载热体	175
一、加热方法和加热剂	175
二、常用冷却剂	177
第五章 溶液的蒸发	179
第一节 概述	179
一、蒸发的特点	179
二、蒸发操作的分类	180
第二节 单效蒸发	181
一、单效蒸发流程	181
二、单效蒸发计算	182
第三节 多效蒸发与流程	186
一、概述	186
二、多效蒸发流程	186
第四节 蒸发设备简介	189
一、蒸发锅	189
二、蛇管式蒸发器	189
三、标准式蒸发器（中央循环管式蒸发器）	189
四、悬筐式蒸发器	190
五、外加热式蒸发器	190
六、列文蒸发器	190
七、强制循环蒸发器	191
八、液膜蒸发器	192
九、除沫器与冷凝器	193
第五节 蒸发过程的分析	194
一、影响生产强度的因素	194
二、影响溶液沸点升高的因素	195
三、降低热能消耗的措施	195
第六章 结晶	197
第一节 概述	197

一、结晶过程	197
二、结晶产品的纯度	198
三、溶解度和溶液的过饱和度	199
四、晶核的形成与晶体的长大及影响因素	202
第二节 结晶方法	204
第三节 结晶设备	204
一、结晶设备的类型及特点	204
二、移除部分溶剂的结晶器	205
三、不移除溶剂的结晶器	208
四、结晶操作应注意的问题	211
第四节 结晶操作的物料和热量衡算	212
一、物料衡算	212
二、热量衡算	213
第七章 溶液的蒸馏	215
第一节 概述	215
一、蒸馏操作及应用	215
二、蒸馏的分类	216
第二节 溶液汽液平衡关系	217
一、双组分理想溶液的汽液平衡关系	217
二、沸点-组成图 (t - x - y 图)	219
三、汽液平衡相图 (y - x 图)	221
四、挥发度和相对挥发度	222
第三节 精馏原理	224
一、简单蒸馏原理和流程	224
二、精馏原理	226
三、精馏流程	229
第四节 精馏塔的物料衡算	230
一、全塔物料衡算	231
二、精馏段的物料衡算	232
三、提馏段的物料衡算	233
四、进料状况对操作线的影响	234
五、理论塔板数的计算	237

第五节 回流比	242
一、全回流	243
二、最小回流比	243
三、实际回流比的选择	244
第六节 连续精馏塔的热量衡算	245
一、全塔热量衡算	245
二、塔顶冷凝器冷却水消耗量的计算	248
第七节 特殊蒸馏	248
一、共沸蒸馏	248
二、萃取蒸馏	251
三、水蒸气蒸馏	252
第八节 精馏塔	253
一、精馏塔的分类和选择	253
二、泡罩塔	254
三、筛板塔	255
四、浮阀塔	256
五、喷射型塔	257
六、斜孔筛板塔	259
七、填料塔	259
第九节 精馏塔的操作	260
一、气、液相负荷对精馏操作的影响	260
二、精馏塔的操作控制	261
第八章 吸收	264
第一节 概述	264
第二节 吸收的物理基础	266
一、气相和液相组成的表示方法	266
二、气体在液体中的溶解度	269
三、汽液平衡关系	269
四、传质的基本方式	272
五、吸收机理——双膜理论	273
第三节 吸收速率方程式	275
一、吸收速率方程式	275

二、气体溶解度对吸收系数的影响	277
第四节 吸收过程的计算	279
一、全塔物料衡算与操作线方程	279
二、吸收剂消耗量的计算	281
三、填料的选择及类型	285
四、填料吸收塔塔径的确定	287
五、填料层高度的确定	288
第五节 吸收设备及影响因素	291
一、吸收设备	291
二、影响吸收操作的因素	293
第六节 解吸	295
第七节 吸收流程	296
第九章 萃取	300
第一节 液-液萃取过程	300
一、三元物系的相平衡	300
二、液-液萃取的基本原理	303
三、液-液萃取操作流程	305
四、萃取剂的选择	308
五、萃取操作的影响因素	309
第二节 液-液萃取设备	310
一、液-液萃取设备的分类	310
二、混合-沉降槽	311
三、重力流动萃取塔	312
四、输入机械能的萃取设备	314
五、离心萃取机	315
六、萃取设备的选择	316
第十章 干燥	318
第一节 概述	318
一、去湿方法	318
二、干燥方式	318
三、干燥过程的实质和必要条件	319
第二节 湿空气的性质及湿度图	320

一、湿空气的性质	320
二、湿度图	328
三、物料中所含水分的性质	332
四、固体物料干燥机理	334
第三节 干燥器的物料衡算和热量衡算	335
一、物料含水量的表示方法	335
二、干燥后的物料量和水分蒸发量	336
三、空气消耗量	337
四、干燥器热量衡算	338
第四节 干燥速率	339
一、干燥速率	339
二、影响干燥速率的因素	340
第五节 干燥的操作方式	341
一、干燥的操作方式介绍	341
二、其他干燥方式	343
第六节 流态化干燥技术	344
一、概述	344
二、流化床结构	344
三、流态化干燥的应用	346
第七节 干燥器	346
一、干燥器应具备的条件和分类	346
二、干燥器的主要形式和特点	347
三、干燥器的选择	357
第十一章 冷冻	359
第一节 概述	359
一、冷冻方法	359
二、冷冻的分类	360
第二节 冷冻的基本原理	360
一、冷冻循环	360
二、冷冻系数	362
三、操作温度的选定	363
四、过冷操作	364

第三节 冷冻能力	365
一、单位质量冷冻剂的冷冻能力	365
二、单位体积冷冻剂的冷冻能力	365
三、冷冻能力的计算	365
四、标准冷冻能力	368
第四节 两级压缩冷冻循环	368
一、采用两级压缩的原因	368
二、两级压缩冷冻循环	369
三、复叠式冷冻循环	370
第五节 冷冻剂与载冷体	371
一、冷冻剂	371
二、载冷体	373
三、润滑油	374
第六节 压缩蒸气冷冻装置的主要设备	375
一、压缩机	376
二、冷凝器	376
三、蒸发器	377
四、膨胀阀	378
第十二章 新型传质分离方法简介	379
第一节 吸附	379
一、吸附的基本概念	379
二、吸附原理	380
第二节 膜分离	382
一、膜分离的基本概念	382
二、膜分离技术的应用	383
第三节 超临界流体萃取	385
一、超临界流体萃取的特点	385
二、超临界流体萃取基本原理	386
思考题与习题	387
附录	420
一、部分物理量的单位	420
二、单位换算表	421

三、水的物理性质	422
四、饱和水蒸气表（按压力排列）	423
五、某些气体的物理性质	425
六、管道内各种流体常用流速范围	426
七、常用金属管规格	427
八、常见固体的热导率	429
九、列管式换热器的传热系数	429
十、污垢热阻经验数据	429

绪 论

一、化工过程及单元操作

化学工业是将自然界的各种物质，经过化学和物理方法处理，制造成生产资料和生活资料的工业。一种产品的生产过程中，从原料到成品，往往需要几个或几十个加工过程。其中除了化学反应过程外，还有大量的物理加工过程。这些过程就是化学工业的生产过程，常称作化工过程。

化学工业产品的种类繁多。各生产过程差异很大。每一种化工过程包含着许多操作工序，可分为两类。一类是化学反应，根据生产目的不同，进行不同的化学反应。在这一过程中物质发生了化学变化，改变了其化学性质。用于化学反应过程的设备称反应器。另一类工序并不进行化学反应，在此过程中物质不改变化学性质，只是改变其物理性质。

根据操作原理，化工产品生产过程中的物理加工过程可归纳为应用较广的数个基本操作过程。例如，乙醇、乙烯及石油等生产过程中，都采用蒸馏操作分离液体混合物，所以蒸馏为一基本操作过程。又如合成氨、硝酸和硫酸等生产过程中，都采用吸收操作分离气体混合物，所以吸收也是一个基本操作过程。又如尿素、聚氯乙烯及染料等生产过程中，都采用干燥操作以除去固体中的水分，所以干燥也是一个基本操作过程。这些基本过程称为单元操作。任何一种化工产品的生产过程，都是由若干个单元操作及化学反应过程组合而成的。每个单元操作都是在一定的设备中进行的。例如，吸收操作是在吸收塔内进行的；干燥操作是在干燥器内进行的。所以，单元操作是指在各种化工产品的生产过程中普遍采用的、遵循共同的物理学定律、所用设备相似、具有相同作用的那些基本操作。