



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

过程原理与设备

GUOCHENG YUANLI YU SHEBEI

张 斌 主 编



东北大学出版社
Northeastern University Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

过程原理与设备

张 斌 主编

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 张 斌 2010

图书在版编目 (CIP) 数据

过程原理与设备 / 张斌主编 .— 沈阳 : 东北大学出版社, 2010.12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-81102-901-7

I .①过… II .①张… III .①过程控制—理论—高等学校—教材②过程控制—控制设备—高等学校—教材 IV .①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 262549 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www . neupress . com

印 刷 者: 沈阳市池陆广告印刷有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 37.25

字 数: 954 千字

出版时间: 2010 年 12 月第 1 版

印刷时间: 2010 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘宗玉 刘 莹

责任校对: 辛 思

封面设计: 刘江旻

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-81102-901-7

定 价: 80.00 元

前 言

20 世纪 90 年代末期, 中国高等学校经历了新中国成立以来最大规模的专业调整。在这次大规模的专业调整中, 化工学部化工机械教学指导委员会向教育部提出了在原有“化工设备与机械”本科专业基础上改造建设“过程装备与控制工程”本科专业的总体设想和专业发展规划建议书。该建议于 1998 年 3 月获得教育部的正式批准, 并将“过程装备与控制工程”新专业归入机械学科教学指导委员会, 并在 2001 年第 11 号文件中明确了“过程装备与控制工程专业教学指导分委员会下属于机械学科教学指导委员会”。由此, 在传统的专业得到保留的同时, 形成了拓宽后的“过程装备与控制工程”新专业。

此后的数年间, 一批院校利用原有相近专业(如真空技术及设备、粮食机械、轻工机械、食品机械、造纸机械、制药机械、石油机械等)的办学条件, 也纷纷成立了“过程装备与控制工程”专业, 使全国具有该专业的院校数量剧增, 该专业的培养规模迅速扩大。新专业在专业内涵、覆盖领域和影响力等方面有了广泛的加强与扩展。

过程装备与控制工程专业主要以过程工业为专业背景。过程工业是指以流程性物料(如气体、液体、粉体等)为主要对象, 以改变物料的状态和性质为主要目的的工业。“过程装备与控制工程”专业面向化学工程、生命科学、石油炼制、制药、食品、冶金、环保、制冷、能源、动力机械、安全工程等行业与部门。过程工业一直与保障人类生活需要、发展生产力密不可分, 在国民经济中占有重要的地位。过程工业涉及物理、化学过程, 主要有传质过程、传热过程、流动过程、反应过程、机械过程、热力学过程等。过程工业的生产可以分成两大类: 一类以化学反应过程为主, 从本质上改变物质, 是原化学工业类生产的核心; 另一类以物理过程为主, 是过程工业生产所必需的。

过程装备与控制工程的主要研究内容包括: 过程装备设计与制造, 高效节能装备的开发, 成套装置的开发与设计, 成套工程, 设备结构及强度理论, 过程安全理论、技术与装备, 流程参数控制理论与技术, 制冷技术与装备, 粉体理论与技术等。

按照传统的观点来看, 过程工业的技术装备可涵盖以下几大类: ①流体输送过

程及装备；②传热过程及装备；③传质过程及装备；④流体动力和热力过程及装备；⑤机械过程及装备；⑥化学反应过程及装备。从单元操作与控制的层面上分析并给予支撑理论的概括，可以得出的结论是：凡是涉及热量传递、能量传递及质量传递过程的工业，均属于过程工业，而不仅仅是化学工业。过程工业（或流程工业）中涉及的所有的机器和装备，均属于过程装备。

近一个世纪以来，“过程原理（化工原理）”作为一门课程，在我国已开设了近70年，在生产和教学实践中，为培养过程工业的技术人才起到了重要的作用。20世纪中叶，学者们就将这些单元操作归纳为三种传递过程：①动量传递过程；②热量传递过程；③质量传递过程。并进一步形成了“传递过程”这门工程类学科的分支。在加强理论基础的同时，它作为高等学校的一门专业课程，更侧重于实际应用。

科学技术的不断发展和各个学科的相互交叉，使“过程原理（化工原理）”的应用对象已远远超出了原化学工程学科涵盖的范围，几乎覆盖了所有物理和化学的物质加工过程，因此，将“化学工程（原理）”改称为“过程工程（原理）”已越来越多地成为广大学者的共识和希望。

过程装备与控制工程作为一个新的交叉性学科，其内涵集中体现于研究领域在“过程工业理论与技术、过程工业装备研发与制造、过程工程控制”三个方向上的涵盖，主要交叉与融合了机械工程、化学工程、信息技术与控制工程等方向的主体和精髓。在内容上不仅涉及化学工程中的“三传一反”（动量传递、质量传递、热量传递、反应工程），也涉及机械工程中的“三力一机”（固体力学、流体力学、工程热力学、机械原理），同时将行进的设计理念、信息技术、并行工程、精密制造、快速制造、虚拟制造等纳入视野，进而大力地促进了该学科的综合化发展。

过程装备与控制工程专业的综合性和广泛性主要体现于：①多个不同学科的交叉与相互渗透；②研究对象及内容的空间尺度的扩展（小到微、纳米级，大到千米级）；③时域空间的拓展（从微纳秒的瞬态过程到数十年乃至百年的寿命期）；④各种方法的提升（高新科技手段、现代理论成果、科学方法论的应用）；⑤实现强化目标的努力（对各种高性能化、特殊目标等特种要求的追求与实现）。

为适应学科发展，满足迫切的过程装备与控制工程专业人才培养的需要，遵循国家“十一五”普通高等教育发展纲要和国家教委“教高司函〔2005〕195号”通知精神，我们申请立项并组织编写了《过程原理与设备》一书，旨在贯彻科学发展观，适应全球化的竞争性素质教育需要，在教学中培养具有丰富专业知识的创新型人才。

为此，作者尝试以被广泛采用且具有一定的权威性和代表性的《化工原理》教

材为基础,转化了部分与其他先修课程和学科(如流体力学基础、工程热力学与传热学基础)重叠的授课内容,主要内容以突出单元操作原理、补充新单元操作、强调三传一反知识体系、强调典型单元设备、精炼优化内容结构。为适应短学时、宽口径、新知识特点的专业课程设置的要求,以利于广泛的专业人才培养需要为前提;以适用更广泛人群的学习为宗旨,本书重点介绍单元操作中的基本原理、典型设备及其计算;辅以基本概念阐述和应用实例,侧重理论联系实际、突出工程观点,并定名为《过程原理与设备》。

本书在整编部分典型设备内容的同时,特别新增编了部分流体动力机械与热能动力机械的相关内容,以求完善和拓宽过程装备与控制工程专业学生的知识体系。本书结合原有“真空工程”“环境工程”“动力与能源工程”特色专业的需求,立足于学以致用,打牢基础,注重过程工程的基本概念、基本原理和典型设备的工艺计算;例题努力取自与专业相关的工程实际,以便于用工程观点分析解决实际问题的训练,以利于将课内讲授内容转化为自修和研读内容,进而形成可以适应现行教学大纲急需特色专业针对性强、少学时、新结构的“过程原理与设备”课程专门教材。在对原有内容进行整合,以突出特色和本质的同时,也适当地介绍一些技术的发展,以扩大学生知识面,激发学习兴趣。

作者在分析研究了国、内外同类教材的优势与不足之后,针对40~60学时的“过程原理与设备”课程设置、以讲授和自学相结合的教学活动需要为基础编制而成本书。本书由绪论、第1章流体力学基础理论及其应用、第2章流体输送机械及流体动力机械、第3章非均相物系的机械分离过程及设备、第4章传热学基础、换热过程及换热设备、第5章蒸发、第6章蒸馏、第7章吸收、第8章气液传质设备——板式塔与填料塔、第9章萃取和萃取设备、第10章干燥、附录等十二部分内容组成。各章节内容在力求突出单元操作原理、强调“三传一反”知识体系、优化结构、精炼内容与强化重点并重的同时,补充了新单元操作、整合了单元设备的典型内容。本书力求涵括“三类传递过程”、流体输送及动力机械、传统单元操作的理论与实践等核心教学内容,可用于相关专业的教学选用,也可为工程技术人员提供工程参考。为兼顾读者的自学和进修需要,书中给出了较详细的理论解析和实例章节,以供阅读和参考。

在教学实践阶段,作者曾得益于大连理工大学化工与环境生命学部马学虎、匡国柱、王喜忠、于才渊、都健等教授的支持和帮助,得到了天津大学化工学院化工基础实验中心的张金利、胡彤宇、胡瑞杰等老师的支持,使作者打下了较好的基础,积累了经验。在申请普通高等教育“十一五”国家级规划教材《过程原理与设备》编写立项并获批准的过程中,东北大学徐成海、巴德纯、张王伟、朱彤教授和

黄永刚讲师，东北大学教务处沈峰满教授、东北大学出版社刘宗玉副社长给予了鼎力支持。本书曾受到沈阳化工大学张建伟教授的支持和关怀。本书中有关传热学理论与换热设备的部分章节也得益于陶文铨院士及其麾下的西安交通大学工程热物理教研室的老师和朋友们。编写初期，东北大学机械工程与自动化学院化工机械和流体机械专业 09 级硕士研究生班的程瑞、王祺、蒋彪、王文伟、姜荣恒、吴延岩、宋广哲、刘冰、肖松文、徐传胜、蔡武全等同学进行了初稿的文字录入、图片绘制和整理工作。东北大学机械工程与自动化学院过程装备与环境工程研究所的全体教师共同参与了本书的编写和校稿工作。张世伟、朱彤教授进行了部分重要章节的校审和完善，全书由徐成海教授审定。

在此，向对本书的出版给予过支持、作出过贡献的专家、前辈、领导、同人、出版单位和所有人士致以诚挚的谢意！

本书参考、引用了同行的大量文献资料，在此也谨向他们致以诚挚的谢意。限于篇幅，编者将被引用的书名和文献列在书后，不再一一详细地罗列被引用出处。

随着新理论的提出、新科学技术手段的应用和推广，《过程原理与设备》也将不断地被补充和完善，限于作者的知识水平和研究视野，书中难免有不当甚至错误之处，希望专家、同行和广大读者给予谅解和批评指正。

编 者

2010 年 9 月于东北大学

目 录

0 绪 论	1
0.1 单元操作	1
0.2 基本概念	3
0.2.1 过程衡算 (包括物料衡算和能量衡算)	3
0.2.2 过程平衡 (物系的平衡关系) 与过程速率	4
0.3 单元操作的基本研究方法	5
0.3.1 实验研究法	5
0.3.2 数学模型法	5
0.4 三传过程的类比及三传过程研究的意义	5
0.4.1 三传类比	5
0.4.2 质量传递过程的研究	7
0.4.3 动量传递过程的研究	8
0.4.4 热量传递过程的研究	8
0.5 工程观点	9
0.6 本书的性质、特点和学习要求	10
0.6.1 本书的性质	10
0.6.2 本书的特点	10
0.6.3 本书的学习要求	10
0.7 单位制度及单位换算	10
0.7.1 单位制度	10
0.7.2 单位换算	11
1 流体力学基础理论及其应用	14
1.1 概 述	14
1.2 流体静力学基础及其应用	16
1.2.1 流体的密度	16
1.2.2 静止流体的压力	17
1.2.3 流体静力学平衡方程	18
1.3 流体动力学基础及其应用	23
1.3.1 流体的流量与流速	23
1.3.2 定态流动与非定态流动	25
1.3.3 定态流体系统的质量守恒——伯续性方程	25

1.3.4	定态流动系统的机械能守恒——伯努利方程	27
1.4	管内流体流动现象	33
1.4.1	流体的黏度	33
1.4.2	流体的流动形态	35
1.4.3	流体在圆管内的速度分布	36
1.4.4	流体流动边界层	38
1.5	流体流动阻力	40
1.5.1	流体在直管中的流动阻力	40
1.5.2	局部阻力	47
1.5.3	流体在管路中的总阻力	50
1.6	管路计算	51
1.6.1	简单管路	51
1.6.2	复杂管路	55
1.6.3	可压缩流体的流动	57
1.7	流速与流量的测量	61
1.7.1	测速管	61
1.7.2	孔板流量计	62
1.7.3	文丘里流量计	66
1.7.4	转子流量计	66
1.7.5	堰	69
1.8	非牛顿型流体流动及多相流	70
1.8.1	非牛顿型流体	70
1.8.2	气液两相流动简介	72
1.9	本章小结	75
2	流体输送机械及流体动力机械	76
2.1	概 述	76
2.2	流体输送机械	76
2.2.1	离心泵	77
2.2.2	离心泵的基本方程	79
2.2.3	离心泵的效率 and 实际压头	83
2.2.4	离心泵的特性曲线	85
2.2.5	离心泵的工作点和流量调节	91
2.2.6	离心泵的选用、安装与操作	98
2.2.7	其他典型液体输送机械	99
2.2.8	各类泵的性能特点比较	102
2.2.9	气体输送和压缩机械	103
2.2.10	真空获得设备——真空泵	117
2.3	流体动力机械	122

2.3.1 活塞(往复)式动力机械	122
2.3.2 蒸汽轮机	131
2.3.3 燃气轮机	139
2.3.4 水轮机	142
3 非均相物系的机械分离过程及设备	147
3.1 概 述	147
3.2 颗粒及颗粒床层的特性	147
3.2.1 单颗粒的特性参数	147
3.2.2 混合颗粒的特性参数	148
3.2.3 颗粒床层的特性	149
3.3 流体与颗粒间的相对运动	150
3.3.1 流体绕过颗粒的流动分析	150
3.3.2 颗粒在流体中的流动	151
3.4 沉 降	152
3.4.1 重力沉降速度的计算	152
3.4.2 重力沉降设备	156
3.4.3 离心沉降速度的计算	159
3.4.4 离心沉降设备	160
3.5 流体通过固定床的流动	163
3.5.1 固定床的床层简化模型	163
3.5.2 流体通过固定床的阻力	164
3.5.3 欧根方程的其他形式	165
3.6 过 滤	166
3.6.1 过滤操作的基本概念	166
3.6.2 过滤过程的物料衡算	167
3.6.3 过滤基本方程式	168
3.6.4 过滤过程的计算	170
3.6.5 滤饼的洗涤	173
3.6.6 过滤机及其生产能力	173
3.6.7 离心过滤	181
3.7 固体流态化及气力输送	183
3.7.1 床层的流态化过程	183
3.7.2 流化床的类似液体的特性	184
3.7.3 流体通过流化床的阻力	185
3.7.4 流化床的流化类型与不正常现象	185
3.7.5 流化床的操作范围	187
3.7.6 流化床的高度与直径	190
3.7.7 气力输送的一般概念	191

3.7.8 气力输送的类型	191
3.8 气体的其他净化方法	192
3.8.1 惯性分离器	193
3.8.2 袋滤器	193
3.8.3 静电除尘器	194
3.8.4 湿式除尘器	195
3.9 小 结	196
4 传热学基础、换热过程及换热设备	198
4.1 概 述	198
4.1.1 工业生产中的传热过程	198
4.1.2 传热的基本方式	198
4.1.3 稳态传热和非稳态传热	199
4.1.4 传热速率与热通量	199
4.1.5 温度场与温度梯度	200
4.1.6 本章主要内容与关系	201
4.2 热传导	201
4.2.1 基本概念和傅里叶定律	202
4.2.2 导热系数	202
4.2.3 热传导微分方程及其定解条件	205
4.2.4 平壁热传导	208
4.2.5 圆筒壁热传导	210
4.2.6 球面壁热传导	211
4.3 对流传热	211
4.3.1 固体壁面和流体间的对流传热速率	212
4.3.2 热边界层	212
4.4 辐射传热	213
4.4.1 基本概念和基本定律	213
4.4.2 两固体壁面间的辐射换热	217
4.4.3 气体的热辐射	224
4.4.4 对流和辐射的联合换热	226
4.5 传热计算	228
4.5.1 传热推动力与热流量衡算	228
4.5.2 总传热速率方程和总传热系数	229
4.5.3 平均温度差	233
4.5.4 传热效率与传热单元数	239
4.5.5 换热过程中的固体壁温估算	243
4.5.6 传热过程的数值计算分析方法	243
4.6 对流传热系数关联式	247

4.6.1	影响对流传热系数的因素	247
4.6.2	层流流动对流传热的近似分析解法	249
4.6.3	对流传热的因次分析法	253
4.6.4	流体无相变时的对流换热系数	255
4.6.5	流体有相变时的对流换热系数	260
4.7	传热设备与换热器	270
4.7.1	换热设备的分类	270
4.7.2	典型传热设备简介	270
4.7.3	管壳式换热器的基本类型和设计计算	279
4.7.4	其他常见类型的换热器	291
4.7.5	间壁式换热器的强化传热的方法	295
5	蒸 发	299
5.1	概 述	299
5.1.1	概 念	299
5.1.2	蒸发操作的目的	299
5.1.3	蒸发流程	299
5.1.4	蒸发过程的分类	300
5.1.5	蒸发操作的特点	301
5.2	蒸发器及辅助设备	301
5.2.1	常用蒸发器的结构及特点	302
5.2.2	除沫器、冷凝器和真空装置	308
5.3	蒸发计算基础	310
5.3.1	蒸发中的温度差损失	310
5.3.2	蒸发过程的传热系数	312
5.3.3	溶液的浓缩热及焓浓图	313
5.4	单效蒸发的计算	314
5.4.1	蒸发器的物料衡算	314
5.4.2	蒸发器的热量衡算	314
5.4.3	蒸发器的传热面积	316
5.5	多效蒸发及其计算	316
5.5.1	多效蒸发的流程	317
5.5.2	多效蒸发的优缺点	319
5.5.3	多效蒸发计算	320
5.6	提高蒸发经济性的其他措施	324
5.6.1	额外蒸气的引出	324
5.6.2	真空蒸发	325
5.6.3	热泵蒸发器	326
5.6.4	冷凝水的闪蒸	326

5.6.5	热泵蒸发	326
5.6.6	多级多效闪蒸	327
6	蒸 馏	329
6.1	概 述	329
6.2	溶液的气、液相平衡	330
6.2.1	气、液相平衡状态	330
6.2.2	体系的分类	330
6.2.3	气、液平衡体系的自由度	330
6.2.4	理想与非理想体系	330
6.2.5	相平衡条件与相平衡关系表述	331
6.3	相组成的表示方法	332
6.3.1	理想体系的气、液相平衡关系	332
6.3.2	非理想体系的气、液相平衡关系	337
6.4	简单蒸馏和平衡蒸馏	338
6.4.1	简单蒸馏(微分蒸馏,瑞利蒸馏)	338
6.4.2	平衡蒸馏(闪蒸)	339
6.4.3	简单蒸馏与平衡蒸馏的比较	342
6.5	精 馏	344
6.5.1	精馏原理	344
6.5.2	精馏过程的数学描述	347
6.6	双组分精馏的设计计算	353
6.6.1	精馏操作方程	353
6.6.2	进料热状态对精馏的影响	354
6.6.3	精馏塔理论板计算	355
6.6.4	进料板位置的讨论	359
6.6.5	回流比的选择	360
6.6.6	理论塔板数简捷计算法	361
6.6.7	几种操作方式精馏的讨论	366
6.6.8	实际塔板数和塔板效率	368
6.7	间歇精馏	370
6.7.1	恒定回流比的间歇精馏	370
6.7.2	恒定产品组成的间歇精馏	371
6.8	恒沸精馏和萃取精馏	372
6.8.1	恒沸精馏	372
6.8.2	萃取精馏	373
6.8.3	萃取精馏和恒沸精馏的比较	374
6.9	精馏操作分析与诊断	375
6.9.1	精馏操作分析	375

6.9.2 精馏过程诊断	375
6.10 多组分精馏	377
6.10.1 多组分精馏的基本概念	377
6.10.2 全塔物料衡算	377
6.10.3 多组分精馏最小回流比	382
6.10.4 多组分精馏塔理论塔板数计算	384
6.10.5 精馏过程的节能	385
6.11 其他特殊精馏	389
6.11.1 反应精馏	389
6.11.2 分子(蒸馏)精馏	390
6.11.3 加盐精馏	390
7 吸 收	393
7.1 吸收操作概述	393
7.2 气、液相平衡	394
7.2.1 气、液相平衡关系及其表示方法	394
7.2.2 相平衡在吸收过程中的应用	396
7.3 传质机理与传质速率	397
7.3.1 传质与吸收过程概述	397
7.3.2 分子扩散与传质	397
7.3.3 扩散系数(分子扩散系数)	401
7.3.4 涡流扩散与对流传质	401
7.3.5 对流传质理论	401
7.3.6 吸收过程(相际传质)的双膜模型	403
7.3.7 吸收过程传质速率方程小结	405
7.4 低浓度气体吸收	407
7.4.1 吸收塔的物料衡算及操作线方程	407
7.4.2 填料层高度的计算	410
7.4.3 传质单元数与传质单元高度	410
7.4.4 传质单元数的计算	412
7.4.5 吸收过程塔板数的计算	415
7.4.6 吸收过程的操作型计算	417
7.5 高浓度气体吸收	417
7.5.1 高浓度气体吸收的特点	417
7.5.2 非等温相平衡及操作线方程	417
7.5.3 填料层高度计算	418
7.6 多组分吸收、化学吸收与解吸	419
7.6.1 多组分吸收	419
7.6.2 化学吸收	419

7.6.3 解吸	420
7.7 吸收过程的几个问题	421
7.7.1 吸收剂的选择	421
7.7.2 吸收操作参数的选择	421
7.7.3 吸收流程	422
8 气液传质设备——板式塔与填料塔	424
8.1 概述	424
8.2 板式塔	424
8.2.1 板式塔概述	424
8.2.2 塔内气、液两相的流动	425
8.2.3 塔板形式	427
8.2.4 板式塔的流体力学性能	429
8.2.5 板式塔的计算	430
8.2.6 塔板设计	433
8.2.7 塔板的校核	435
8.2.8 塔板负荷性能图	439
8.2.9 筛板塔塔板设计实例	442
8.3 填料塔	449
8.3.1 填料和塔填料	449
8.3.2 填料塔的流体力学性能	449
8.3.3 塔料塔的计算	451
9 萃取和萃取设备	453
9.1 概述	453
9.1.1 基本概念	453
9.1.2 萃取操作的基本流程	453
9.1.3 萃取操作的应用范围	454
9.2 萃取原理(液-液相平衡关系)	454
9.2.1 三角形相图及其表示法	454
9.2.2 三角形相图上的各组分平衡关系表述	456
9.2.3 萃取过程在三角形相图上的表示(分配曲线和分配系数)	458
9.3 萃取计算	460
9.3.1 部分互溶物系的萃取计算	460
9.3.2 完全不互溶物系的萃取计算	467
9.4 溶剂的选择及其他萃取方法	472
9.4.1 溶剂的选择	472
9.4.2 其他萃取方法	473
9.5 萃取设备	476

9.5.1 分 类	476
9.5.2 混合-澄清槽	477
9.5.3 塔式萃取设备	477
9.5.4 离心萃取器	479
9.5.5 萃取设备的选择	479
10 干 燥	482
10.1 概 述	482
10.1.1 物料的干燥	482
10.1.2 对流干燥	483
10.2 湿空气性质及湿焓图	483
10.2.1 湿空气的状态参数	483
10.2.2 湿球温度和绝热饱和温度之间的关系	486
10.2.3 湿空气的湿度图	487
10.3 固体物料干燥过程的相平衡	493
10.3.1 基本概念	493
10.3.2 干燥平衡曲线	494
10.3.3 物料中所含水分的性质	494
10.3.4 平衡曲线的应用	496
10.4 恒定干燥条件下的干燥速率	496
10.4.1 干燥速率曲线	496
10.4.2 湿分在湿物料中的传递机理	499
10.5 干燥过程的设计计算	500
10.5.1 干燥过程的物料衡算	500
10.5.2 干燥过程的热量衡算及干燥器的热效率	501
10.5.3 干燥时间的计算	506
10.6 干燥器	515
10.6.1 工业上常用的干燥器	516
10.6.2 干燥器的选择	526
10.6.3 气流式干燥器的设计计算	527
10.6.4 其他干燥技术与设备	533
参考文献	537
附 录	539
附录一 单位换算表	539
附录二 某些气体的重要物理性质	543
附录三 某些液体的重要物理性质	544
附录四 某些固体材料的重要物理性质	546

附录五	水的重要物理性质	547
附录六	干空气的物理性质 (101.3kPa)	548
附录七	水的饱和蒸汽压 (-20~100℃)	549
附录八	饱和水蒸气表 (按温度排列)	550
附录九	饱和水蒸气表 (按压力排列)	552
附录十	水的黏度 (0~100℃)	554
附录十一	液体黏度共线图	555
附录十二	气体黏度共线图	557
附录十三	液体比热容共线图	559
附录十四	气体比热容共线图 (常压下用)	561
附录十五	液体汽化潜热共线图	563
附录十六	管子规格	564
附录十七	IS 型单级单吸离心泵性能表 (摘录)	566
附录十八	8-18, 9-27 离心通风机综合特性曲线图	569
附录十九	列管式换热器	570
附录二十	常用筛子的规格	575
附录二十一	无机物水溶液在 101.3kPa (绝) 下的沸点	577