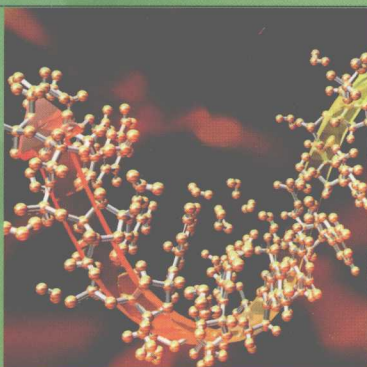
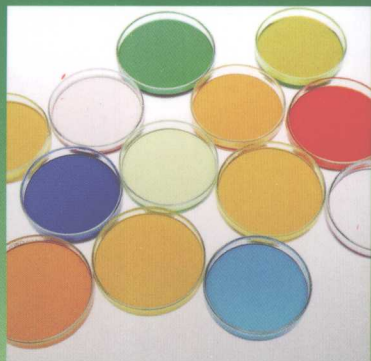




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



郭宗新 主编

王玉玲 温守东 许东升 副主编

化工原理



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

主要内容

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

化工原理

郭宗新 主编

王玉玲 温守东 许东升 副主编

ISBN 7-04-018918-9

2008.2

ISBN 9 58 - 819 918 - 9

1. 化工原理 - 高等学校 - 教材

2007.10

2007.10 (2007.10) 第1版 (2007.10) 第1次印刷

责任编辑

封面设计

文字编辑

校对

封面设计

封面设计

封面设计

封面设计

封面设计

封面设计

封面设计

封面设计

封面设计

ISBN 7-04-018918-9
2008.2
ISBN 9 58 - 819 918 - 9
2007.10
2007.10 (2007.10) 第1版 (2007.10) 第1次印刷

ISBN 7-04-018918-9
2008.2
ISBN 9 58 - 819 918 - 9
2007.10
2007.10 (2007.10) 第1版 (2007.10) 第1次印刷

ISBN 7-04-018918-9
2008.2
ISBN 9 58 - 819 918 - 9
2007.10
2007.10 (2007.10) 第1版 (2007.10) 第1次印刷

ISBN 7-04-018918-9
2008.2
ISBN 9 58 - 819 918 - 9
2007.10
2007.10 (2007.10) 第1版 (2007.10) 第1次印刷

高等教育出版社

ISBN 7-04-018918-9

2008.2

ISBN 9 58 - 819 918 - 9

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书是化工类和冶金类专业一门重要的专业技术基础课教材,着重介绍化工和冶金生产中常用单元操作的基本原理、典型设备和有关计算方法。全书内容包括:绪论、流体流动、流体输送机械、非均相物系的分离、传热、蒸发、吸收、蒸馏、干燥、其他单元操作(包括萃取、结晶、吸附、膜分离和固体流态化技术)简介等内容。每章都提出了明确的知识目标、能力目标和教学建议。书中编有大量的例题和习题,书后附录有常用物性参数图表及管子、泵、通风机、换热器的部分规格等,供学习和使用参考。

本书适用于应用性、技能型人才培养的各类教育的化工类、冶金及相关专业的“化工原理”课程教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理/郭宗新主编. —北京:高等教育出版社, 2008.9

ISBN 978 - 7 - 04 - 024328 - 4

I. 化… II. 郭… III. 化工原理 - 高等学校 - 教材
IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 122819 号

策划编辑	周先海	责任编辑	刘佳	封面设计	于涛	责任绘图	尹莉
版式设计	王艳红	责任校对	王效珍	责任印制	陈伟光		

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
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市京南印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 22.5
字 数 570 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 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>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 9 月第 1 版
印 次 2008 年 9 月第 1 次印刷
定 价 30.40 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 24328 - 00

前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书在编写过程中,充分考虑高职高专教育人才培养目标的要求、教育对象特点以及不同专业的需求等因素,坚持理论联系实际,结合化工和冶金生产的最新发展,合理选择并精心整合有关内容。本书的主要特点是:

1. 体现工科教育特色。“化工原理”是化工类、冶金及其他相关专业一门重要的技术基础课程,也是一门工程学科的课程。因此,在本书的编写过程中,坚持反映工科教育的特色,突出实用性和实践性,注意强化工程观念,注重培养学生综合素质、科学思想方法与创新能力。

2. 符合培养目标要求。高职高专教育培养的是具有一定理论基础和较强实践能力的在生产、建设、管理和服务一线能“用得上、留得住”的高级技术应用型人才。本书紧紧围绕这一培养目标,紧密结合技术应用型人才的特点,根据实际生产、建设、管理和服务工作对技术应用型人才的要求,力求理论密切联系实际,坚持基础理论以“必需、够用”为度的原则,重点强调实际应用能力、操作能力的培养。

3. 兼顾不同专业需要。本书适用于化工、冶金类及其他相关专业。教材内容充分考虑了不同专业人才培养方向的差异和对相关知识的不同需要,既力求做到内容全面丰富,又力求做到不同章节的内容详略有别,便于不同专业根据自身特点选讲不同的内容。

4. 关注教育对象特点。针对高职高专教育的特点,在不影响知识连贯、不破坏知识体系的前提下,本书内容尽量做到深入浅出、浅显易懂、易教易学,避免抽象与深奥,减少纯理论性的分析与研究,减少纯理论性计算式的推导,将重点放在培养学生应用基础理论分析解决实际问题的能力上,并做到图文并茂。

5. 力求前后知识贯通。本书编写过程中,力求优化课程内容体系,做到避繁就简、避难就易,又注意前后知识的连贯性、逻辑性,利于完整知识体系的构建。以便发挥专业技术基础课的作用,在“必需、够用”为度的前提下,为后续课程的学习和学生的终身学习奠定坚实的基础。

6. 紧跟技术创新步伐。当今,新知识、新技术、新方法日新月异、层出不穷,作为培养技术应用型人才的教材,力求做到紧跟技术创新的步伐,充分了解实际生产中的知识创新、技术创新和方法创新,并消化吸收到教材内容之中。在充分借鉴已有其他优秀教材的特点和长处的基础上,做到有创新、有发展、有特色。

本书由山东铝业职业学院郭宗新主编,山东铝业职业学院王玉玲、承德石油高等专科学校温守东、四川化工职业技术学院许东升任副主编。绪论、第一章、第二章由郭宗新编写,第三章、第四章、第五章、附录由王玉玲编写,第六章、第七章由温守东编写,第八章、第九章由许东升编写,全书由郭宗新统稿。参与编写工作的还有山东铝业公司范文峰等。

本书由杭州职业技术学院谢萍华副教授和贵州科技工程职业学院王成琼副教授主审,提出了一些建设性的意见;高等教育出版社的相关同志对本书的出版给予了关怀、指导,做了大量的组织、协调工作,付出了辛勤劳动;编者所在学校的领导也从多方面给予支持和帮助。在此特向他们表示

衷心感谢。

由于编写时间仓促和编者水平、教学经验有限,书中不免存在疏漏,甚至有错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008年7月

目 录

绪论	1	三、文氏流量计	41
一、单元操作	1	四、转子流量计	42
二、课程的性质、内容和任务	2	本章小结	44
三、基本原理概述	2	习题	45
四、单位制和单位换算	4		
第一章 流体流动	5	第二章 流体输送机械	50
第一节 概述	5	第一节 概述	50
一、连续性假设	5	一、流体输送机械的作用	50
二、可压缩流体和不可压缩流体	5	二、流体输送机械的分类	50
第二节 流体的基本性质	6	第二节 离心泵	51
一、密度、相对密度和比体积	6	一、离心泵的基本结构与工作原理	51
二、流体的压强	8	二、离心泵的主要性能参数	53
三、流体的黏度	9	三、离心泵的特性曲线及其影响因素	56
第三节 流体静力学	11	四、离心泵的工作点和流量调节	57
一、流体静力学基本方程	11	五、离心泵的汽蚀现象与安装高度	59
二、流体静力学基本方程的应用	12	六、离心泵的联用、安装和运转	63
第四节 流体动力学	16	七、离心泵的类型与选用	64
一、流量与流速	16	第三节 其他类型的泵	67
二、稳定流动与不稳定流动	18	一、往复泵	67
三、稳定流动物料衡算——连续性方程	19	二、计量泵	69
四、伯努利方程	19	三、旋转泵	69
第五节 流体在管内的流动阻力	25	第四节 气体输送机械	70
一、流体的流动类型与雷诺准数	25	一、离心式通风机	70
二、流体在圆管内的速度分布	26	二、鼓风机	72
三、流体流动阻力	27	三、压缩机	72
第六节 管路计算	35	四、真空泵	73
一、管路类型	35	本章小结	74
二、简单管路的计算	36	习题	75
第七节 流速和流量的测定	38		
一、测速管(皮托管)	38	第三章 非均相物系的分离	77
二、孔板流量计	39	第一节 概述	77
		第二节 沉降	78
		一、重力沉降	78

二、离心沉降	84	七、传热面积	138
第三节 过滤	90	第六节 换热器	140
一、过滤操作的基本概念	90	一、换热器的分类	140
二、过滤基本方程	92	二、间壁式换热器的类型	140
三、过滤设备	95	三、传热过程的强化	148
第四节 气体的其他净化方法	103	本章小结	149
一、惯性分离器	103	习题	149
二、袋滤器	103		
三、静电除尘器	104	第五章 蒸发	152
四、文丘里除尘器	105	第一节 概述	152
五、水膜除尘器	106	一、蒸发操作的概念	152
本章小结	106	二、蒸发操作的目的	152
习题	107	三、蒸发操作的特点	153
		四、蒸发操作的分类	153
第四章 传热	108	第二节 单效蒸发	154
第一节 概述	108	一、单效蒸发流程	154
一、传热在生产中的应用	108	二、单效蒸发过程的计算	154
二、传热的基本方式	109	三、溶液的沸点和温度差损失	157
三、传热速率和热通量	109	四、蒸发器的生产能力和生产强度	160
第二节 热传导	109	第三节 多效蒸发	161
一、傅里叶定律和导热系数	109	一、多效蒸发的流程	161
二、平壁的稳定热传导	112	二、多效蒸发的最佳效数	163
三、圆筒壁的稳定热传导	114	三、蒸发过程的节能措施	164
第三节 对流传热简介	116	第四节 蒸发设备	165
一、对流传热基本方程和对流传热系数	116	一、蒸发器	165
二、影响对流传热系数的主要因素	118	二、蒸发器的附属设备	169
三、对流传热系数的确定	118	本章小结	171
第四节 热辐射	121	习题	171
一、热辐射的基本概念	121		
二、物体的辐射能力	122	第六章 吸收	173
三、两固体间的辐射传热	124	第一节 概述	173
四、对流-辐射联合传热	125	一、吸收操作的基本概念	173
第五节 传热计算	127	二、吸收操作在生产中的应用	173
一、总传热速率方程	127	三、吸收剂的选择	174
二、换热器的热负荷计算	127	四、吸收与解吸流程	174
三、传热平均温度差的计算	129	五、吸收操作的分类	175
四、总传热系数	133	六、混合物相组成的表示方法	175
五、污垢热阻	135	第二节 吸收过程的气液相平衡	179
六、壁温的计算	137	一、气体在液体中的溶解度	179

二、亨利定律	180	第四节 精馏	211
三、相平衡关系的应用	182	一、精馏原理	211
第三节 传质机理与吸收速率	183	二、连续精馏装置流程	212
一、分子扩散	183	第五节 精馏塔设备及双组分连续 精馏塔的计算	213
二、涡流扩散	184	一、精馏塔设备	213
三、对流扩散	184	二、双组分连续精馏的计算	217
四、吸收过程机理	184	第六节 连续精馏装置的热量衡算	231
五、吸收速率方程式	185	一、再沸器的热量衡算	232
第四节 吸收塔设备及吸收塔的计算	187	二、冷凝器的热量衡算	232
一、吸收塔设备简介	187	第七节 蒸馏操作的节能与技术 创新	232
二、物料衡算和操作线方程	194	一、蒸馏操作的节能技术	232
三、吸收剂用量的确定	195	二、蒸馏操作的技术创新	234
四、塔径的计算	196	本章小结	235
五、低浓度气体吸收过程填料层高度的 计算	196	习题	236
六、理论板层数的计算	197	第八章 干燥	238
第五节 强化吸收操作的措施及技术 创新	198	第一节 概述	238
一、强化吸收操作的措施	198	一、固体物料的去湿方法	238
二、强化吸收操作的技术创新	198	二、干燥过程的分类	239
第六节 解吸简介	199	三、对流干燥的流程	240
一、解吸概念	199	四、对流干燥过程进行的条件	240
二、解吸的方法	199	第二节 湿空气的性质及湿度图	240
三、解吸的目的	199	一、湿空气的性质	240
本章小结	200	二、湿空气的湿度图及其应用	245
习题	200	第三节 干燥过程的物料衡算和热量 衡算	250
第七章 蒸馏	203	一、干燥过程的物料衡算	250
第一节 概述	203	二、干燥过程的热量衡算	252
一、蒸馏操作的依据	203	三、干燥器出口空气状态的确定	255
二、蒸馏操作在生产中的应用	204	四、干燥器的热效率	256
三、蒸馏操作的分类	204	第四节 干燥速率和干燥时间	258
第二节 双组分溶液的气液相平衡	204	一、物料中所含水分的性质	258
一、理想溶液的气液相平衡	204	二、恒定干燥条件下的干燥速率	260
二、非理想溶液的气液相平衡	207	三、恒定干燥条件下干燥时间的计算	263
第三节 平衡蒸馏与简单蒸馏	208	四、影响干燥速率的因素	265
一、平衡蒸馏(闪蒸)	208	第五节 干燥设备	266
二、简单蒸馏(微分蒸馏)	209	一、常用干燥设备	266

二、干燥操作的技术创新	271	附录	302
本章小结	272	1. 单位换算表	302
习题	272	2. 饱和水蒸气表(按温度排列)	307
第九章 其他单元操作简介	274	3. 饱和水蒸气表(按压强排列)	308
第一节 萃取	274	4. 水的饱和蒸气压(-20°C 至	
一、萃取的基本概念	274	100 $^{\circ}\text{C}$)	310
二、液-液相平衡	276	5. 水的重要物理性质	312
三、萃取过程在相图上的表示	279	6. 水的黏度(0°C 至 100°C)	313
四、萃取设备	281	7. 某些液体的重要物理性质	314
第二节 结晶	283	8. 液体黏度共线图	315
一、结晶的基本原理与相平衡	283	9. 液体比热容共线图	317
二、结晶机理和结晶过程	284	10. 液体汽化潜热共线图	319
三、结晶方法	285	11. 某些液体在 20°C 时的导热系数	320
第三节 吸附	286	12. 无机盐水溶液在常压下的沸点	321
一、吸附现象和吸附剂	286	13. 空气的重要物理性质	
二、吸附平衡和吸附速率	286	(101.33kPa)	322
三、吸附的工业方法与设备	287	14. 某些气体的重要物理性质	323
第四节 膜分离	288	15. 气体导热系数共线图	
一、膜分离过程的基本特点与膜组件	289	(101.33kPa)	324
二、膜分离过程的种类及其特点	291	16. 气体比热容共线图(101.33kPa)	326
第五节 固体流态化技术	293	17. 气体黏度共线图(101.33kPa)	328
一、固体流态化的一般概念	294	18. 某些固体材料的重要物理性质	330
二、流化床的流体力学特性	295	19. 某些固体材料的黑度	331
三、流化床中常见的不正常现象	296	20. 管子规格	332
四、提高流化质量的措施	297	21. 泵规格(摘录)	333
五、气力输送简介	298	22. 离心通风机规格(摘录)	340
本章小结	300	23. 换热器系列标准(摘录)	341
习题	301	主要参考资料	348

绪论

一、单元操作

化工或冶金过程是将原料或矿石经过化学和物理方法加工而制成产品的过程。化工和冶金过程的产品种类繁多,生产过程各不相同。图 0-1、图 0-2 分别为福尔马林和铝冶金生产工艺流程图。

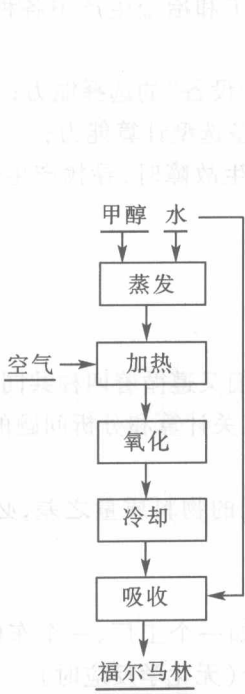


图 0-1 福尔马林生产流程

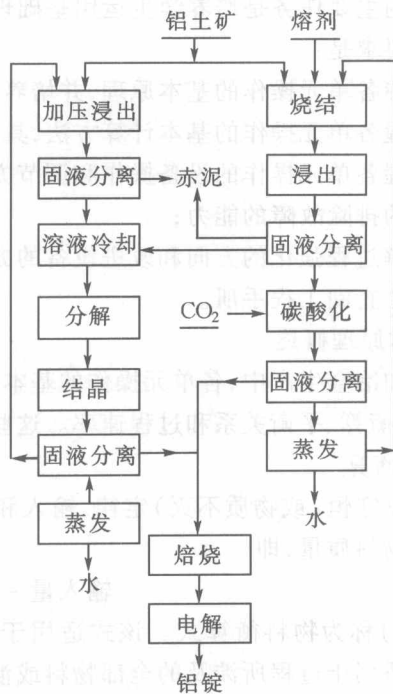


图 0-2 铝冶金生产流程

在福尔马林(甲醛水溶液)生产过程中,氧化为化学反应过程,蒸发、加热、冷却和吸收均为物理操作过程。同样,在铝冶金生产过程中,加压浸出、分解(烧结、浸出、碳酸化)、焙烧和电解为化学反应过程,固液分离、冷却、结晶和蒸发均为物理操作过程。可见,不同的化工和冶金生产过程都是由化学反应过程和物理操作过程组成。经常遇到的物理操作过程有流体流动与输送、非均相物系分离、传热、蒸发、蒸馏、干燥、吸收、萃取等等,这些最基本的物理操作过程称为化工单元操作。每一个单元操作都遵循某一基本原理,并在一类特定的设备中进行。任何一种化工或冶金产品的生产过程都是由化学反应过程和若干个单元操作组合而成。

单元操作具有以下特点:

(1) 单元操作都是物理操作过程,即只改变物料的状态或物理性质,并不改变其化学性质;
 (2) 单元操作都是化工或冶金过程中共有的操作过程,但不同的生产过程所包含的单元操作数目、名称、顺序各异;

(3) 一种单元操作应用于不同的化工或冶金过程,其基本原理相同,设备也往往通用。

二、课程的性质、内容和任务

本课程是化工和冶金类专业的一门重要的专业基础技术课,也是一门工程学科的课程。

本课程主要研究的内容是化工和冶金生产中各单元操作的基本原理、设备及其计算方法。具体内容包括:

(1) 流体流动过程 包括流体流动、流体输送设备、非均相物系分离等单元操作;

(2) 传热过程 包括传热、蒸发等单元操作;

(3) 传质过程 包括蒸馏、吸收、干燥、萃取等单元操作。

本课程的主要任务是培养学生运用基础理论,分析和解决化工和冶金生产中各种实际问题的能力。具体要求是:

(1) 掌握各单元操作的基本原理,并培养形成一定的“过程和设备”的选择能力;

(2) 掌握各单元操作的基本计算方法,具备过程的计算和设备选型计算能力;

(3) 掌握各单元操作的设备操作和调节方法,能够在操作发生故障时,寻找产生故障的原因,并具有一定的排除故障的能力;

(4) 了解过程强化的方向和改进设备的方法;

(5) 学会查阅工程手册。

三、基本原理概述

在化工和冶金生产中,各单元操作的基本原理不同,但是,它们又遵循着四种共同的规律,即物料衡算、能量衡算、平衡关系和过程速率。这些规律是本课程的有关计算和分析问题的基础。

1. 物料衡算

根据质量守恒(或物质不灭)定律,输入和输出一个单元过程的物料质量之差,必等于积累在该过程中的物料质量,即

$$\text{输入量} - \text{输出量} = \text{积累量} \quad (0-1)$$

式(0-1)称为物料衡算式。该式适用于任何指定的系统,如一个工厂、一个车间、一个设备等。该式也适用于过程所涉及的全部物料或混合物中的某一组分(无化学反应时)。

在连续生产中,稳定操作时,质量守恒定律也可叙述为:单位时间内进入某一单元过程的各物料的质量总和 $\sum m_{\text{入}}$ 应与输出该过程的各物料质量的总和 $\sum m_{\text{出}}$ 相等,即

$$\sum m_{\text{入}} = \sum m_{\text{出}} \quad (0-2)$$

式(0-2)也称为物料衡算式,此式更为常用。

如图0-3所示,在某冶金过程中,若输入某单元过程的原料和外加物质的质量分别是 m_A 、 m_B ,输出该过程的产品和副产品的质量分别是 m_C 、 m_D ,存在于上述物料中的某种金属x的质量分数分别是 w_{Ax} 、 w_{Bx} 、 w_{Cx} 、 w_{Dx} ,则该单元过程的总物料衡算式为

$$m_A + m_B = m_C + m_D$$

金属x的物料衡算式为

$$m_A w_{Ax} + m_B w_{Bx} = m_C w_{Cx} + m_D w_{Dx}$$

一般外加物料中不含金属x,即 $w_{Bx} = 0$,则

$$m_A w_{Ax} = m_C w_{Cx} + m_D w_{Dx}$$

$$m_C w_{Cx} / (m_A w_{Ax}) = (m_A w_{Ax} - m_D w_{Dx}) / (m_A w_{Ax})$$

称为单元过程中金属 x 的回收率。

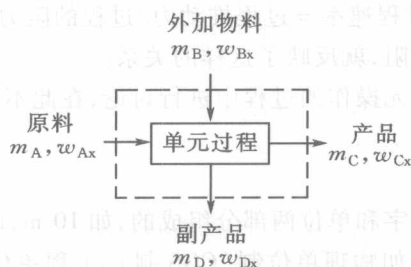


图 0-3 单元过程物料平衡

由此可见,进入副产品的金属 x 的量越小,回收率越高。另外,在单元过程中往往存在物料损失,此时,在计算物料平衡和金属平衡时应予以考虑。

物料衡算式看上去很简单,但对于化工和冶金过程中的设备设计和生产过程的正确进行起着重要的指导作用。

2. 能量衡算

根据能量守恒定律,输入一个单元过程的总能量,必等于操作后得出的总能量。

能量的形式很多,如机械能、热能、电能、化学能等,在一个单元过程中,各种能量之间可以相互转换,如机械能转换为热能等,但在本课程研究的冶金和化工单元过程中,一般只进行机械能衡算和热量衡算。

在化工和冶金生产中需要计算的最常用的能量形式是热量。当不计热损失时,热量衡算式为随各种物料进入单元过程(或设备)的热量总和 $\Sigma Q_{\text{入}}$ 与各种物料带出单元过程(或设备)的热量总和 $\Sigma Q_{\text{出}}$ 相等,即

$$\Sigma Q_{\text{入}} = \Sigma Q_{\text{出}} \quad (0-3)$$

能量衡算在生产过程和设备的设计时,可以揭示热量是否需要由外界引入或向外界输出。在生产操作中,可以帮助选择操作条件和检验能量消耗程度,以便于制定既经济又合理的能量消耗方案。

3. 平衡关系

由物理学和化学知识我们知道,当两种物质(或物体)存在速度差时,该两种物质(或物体)接触后,会在其两者间产生动量传递;当两种物质(或物体)存在温度差时,该两种物质(或物体)接触后,会在其两者间产生热量传递;当两种物质存在浓度差时,该两种物质接触后,会在其两者间产生质量传递。这些均反映了物质的运动或过程的进行是沿一定方向的,总是由不平衡到平衡的。

平衡关系可以用来判断一个过程在一定条件下能否进行、进行的方向及进行的极限。

4. 过程速率

平衡关系只说明过程进行的方向和极限,并没有说明过程进行的快慢,而后者对于生产过程更为重要。过程进行的快慢用过程速率表示:单位时间内,过程的变化量称为过程速率。如传热过程的速率为单位时间内传递的热量,称为传热速率;传质过程的速率为单位时间内传递的物质质量,称

为传质速率。一般而言,总希望过程速率快些,从而可以提高设备的生产能力。影响过程速率的因素很多,要把各种情况下影响过程速率的规律都找出来十分困难。目前,通常是用归纳法来概括这类问题,即过程速率用如下关系表示:

$$\text{过程速率} = \text{过程推动力} / \text{过程的阻力} \quad (0-4)$$

以电学为例,电流 = 电压/电阻,就反映了这样的关系。

过程速率问题将在学习各单元操作的过程中进行讨论,在此不详述。

四、单位制和单位换算

1. 单位制

任何物理量的大小都是由数字和单位两部分组成的,如 10 m, 15 kg 等。用以表示各个物理量大小的单位,又有不同的单位制,如物理单位制(CGS 制)、工程单位制、国际单位制(SI)等。在工程计算时应将物理量的数字和单位一并纳入计算式中,如果物理量用不同单位制的单位表示,则在计算前应进行单位换算,使其统一计量单位。目前,我国正在实施的法定计量单位制度是以国际单位制为基础而制定的。但是,由于目前工程手册中所引用的物理、化学数据及工程计算用的表、数、列线图等仍有许多是用物理单位制及工程单位制,故本书附录 1 中列出单位换算表,供查用。

2. 单位换算

同一物理量可用不同的单位制进行度量。物理量的单位在不同单位制之间进行换算时需要换算因数或换算系数。本书附录 1 中列出常见的单位换算因数供查用。

例如,在国际单位制和物理单位制中长度的单位分别是米和厘米,米和厘米之间的换算因数为 100,即 $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$;力的单位千克(力)和牛顿之间的换算因数是 9.807,即 $1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$ 。其他物理量单位之间的换算依次类推。对于一些非常用物理量可以根据其定义或导出关系进行不同单位制之间的单位换算。这些,不作详细介绍,在今后的学习中将有所涉及。

第一章 流体流动

知识目标:

- * 掌握:流体的主要性质:密度、压强、黏度,流体静力学基本方程、连续性方程、伯努利方程及其应用,流体流动类型及其判断,雷诺准数的计算,流体在管内的流动阻力计算;
- * 理解:流体在圆管内流动的速度分布,管路的类型及简单管路的计算,测速管、孔板流量计、文氏流量计和转子流量计的工作原理、结构和计算;
- * 了解:流体连续性、可压缩流体和不可压缩流体、稳定流动和不稳定流动、牛顿型流体、非牛顿型流体、层流内层的概念,复杂管路的计算要点。

能力目标:

- * 能够运用流体静力学和流体动力学知识解决流体静止和流动的各种实际问题;
- * 能进行简单管路的设计计算和输送能力的核算;
- * 能正确安装、使用流速和流量测量仪器。

教学建议:

- * 教学学时:本章教学学时 20 学时,其中,第一节、第二节共计 3 学时,第三节 3 学时,第四节 6 学时,第五节 4 学时,第六节 2 学时,第七节 2 学时。
- * 本章重点:流体静力学、流体动力学、流体在管内的流动阻力。
- * 本章难点:流动阻力计算、简单管路计算、流速和流量测量仪器的原理和计算。

第一节 概 述

流体是指具有流动性、本身无固定形状、受外力作用时内部会产生相对运动的物质,它包括液体和气体。流体流动规律是本课程的重要基础。

一、连续性假设

和自然界的其他一切物质一样,流体是由分子组成的,分子之间存在空隙,进行着复杂的微观运动。但是,本课程不研究分子的微观运动,只研究整个流体的宏观机械运动。因此,我们假设:流体是由彼此之间没有空隙,没有微观运动的无数流体质点组成的连续介质。此即为连续性假设。

连续性假设在绝大多数情况下是适用的,但在高真空的情况下,这种假设将不再成立。

二、可压缩流体和不可压缩流体

若流体的体积不随压力和温度变化,则称其为不可压缩流体;若流体的体积随压力和温度变化,则称其为可压缩流体。实际流体均为可压缩流体,但在实际工程问题的处理中,在本书以后的问题讨论中,若无特殊说明,通常认为液体是不可压缩流体,气体是可压缩流体。因为,液体的体积在一般情况下随压力及温度的变化不大,而气体的体积随压力及温度的变化较大。在实际工程问

题的处理和本书以后问题的讨论中,当气体的压力和温度变化不大时,有时将气体也作不可压缩流体处理。

第二节 流体的基本性质

一、密度、相对密度和比体积

流体的密度、相对密度和比体积都是反映流体的体积与质量的关系的性质。

1. 密度

单位体积流体的质量,称为流体的密度,用 ρ 表示。其表达式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中: ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

m ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

如水在 4°C 时的密度为 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$,表示在 4°C 时, 1 m^3 的水具有的质量为 1000 kg 。

流体的密度随压力和温度的变化而变化。

液体的密度随压力的变化一般可忽略不计(极高压力下除外),但温度对液体的密度有一定影响,故查取液体密度时,要注意注明温度条件。

气体的密度随压力和温度的变化较大。当需要计算气体密度时,若压力不太大、温度不太高,气体的密度可近似按理想气体状态方程计算,即

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT \quad (1-2)$$

得

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \quad (1-3)$$

式中: p ——气体的压力, Pa ;

T ——气体的温度(热力学温度), K ;

M ——气体的摩尔质量, g/mol ;

n ——气体的物质的量, mol ;

R ——摩尔气体常数, $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。

气体的密度也可用下式计算:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 p}{T p_0} \quad (1-4)$$

式中: ρ_0 ——标准状况(273 K , 101.33 kPa)下气体的密度, kg/m^3 ;

T_0 ——标准状况温度, K , $T_0 = 273 \text{ K}$;

p_0 ——标准状况压力, Pa , $p_0 = 101.33 \text{ kPa}$ 。

在标准状况下, 1 kmol 的气体体积为 22.4 m^3 , M 为 1 kmol 的气体所具有的质量,所以

$$\rho_0 = \frac{M}{22.4 \text{ m}^3}$$

在一般的工程实践和本书研究内容中所遇到的气体,都可作为理想气体处理。