

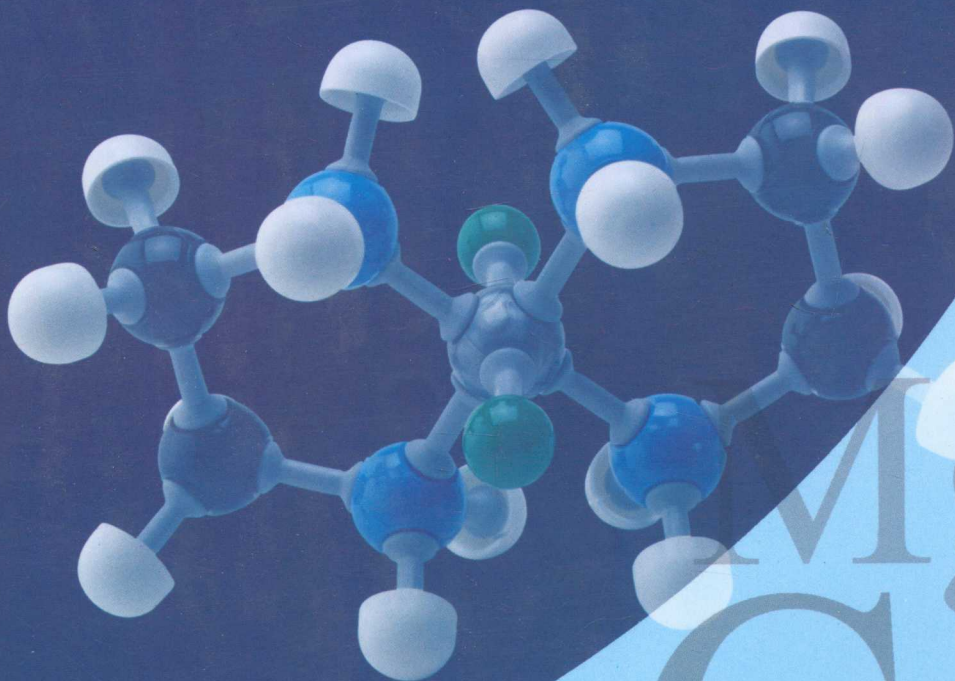


“十二五”化学类专业本科规划教材

HUAGONG YUANLI

化工原理

赵俊廷 主编



河南科学技术出版社

“十二五”化学类专业本科规划教材

化工原理

赵俊廷 主编

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

化工原理/赵俊廷主编. —郑州:河南科学技术出版社,2011.9
(“十二五”化学类专业本科规划教材)
ISBN 978-7-5349-5129-9

I. ①化… II. ①赵… 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(2011)第104014号

出版发行:河南科学技术出版社

地址:郑州市经五路66号 邮编:450002

电话:(0371)65788629 65788613

网址:www.hnstp.cn

策划编辑:范广红

责任编辑:杨艳霞

责任校对:司芳

封面设计:张伟

版式设计:栾亚平

责任印制:张巍

印刷:河南鑫基印务有限公司

经销:全国新华书店

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:23 字数:560千字

版次:2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷

定价:38.00元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系。

《“十二五”化学类专业本科规划教材》
编审委员会名单

主 任	吴养洁			
副主任	王键吉	宋毛平	常俊标	屈凌波
	王利亚			
委 员	(以姓氏笔画排序)			
	王利亚	王国庆	王敏灿	王键吉
	方少明	尹志刚	石秋芝	卢会杰
	吉保明	刘寿长	杜玲枝	李德亮
	吴养洁	宋毛平	张继昌	张福捐
	卓克垒	屈凌波	赵文献	赵俊廷
	贾春晓	贾晓红	徐 琰	徐茂田
	徐翠莲	郭彦春	唐明生	黄建华
	常俊标	常照荣	渠桂荣	路纯明
	缪 娟	潘振良		

《化工原理》编写人员名单

主 编 赵俊廷

副主编 张继昌

编 者 (以姓氏笔画排序)

刘丽华 李 晨 李 鑫 李延升

张 雷 张建立 张顺泽 张继昌

赵俊廷 臧运波

前 言

根据教育部关于高等学校本科面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的精神,为了更好地实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”,促进精品课程建设,河南科学技术出版社组织河南省高校专家、教师编写“十二五”化学类专业本科规划教材,《化工原理》是本套教材之一。

高等学校担负着培养拥有扎实基础、具有创新意识和实践能力的高层次专门人才的基本任务。《化工原理》课程作为化工类及相关专业的技术基础课,是理论与实践连接的纽带课程,在培养学生理论联系实际、创新能力和实践技能中具有重要的作用。伴随着我国高等学校的扩招和本科教学内容与课程体系的改革,对化学类专业及普通高校非化工类专业《化工原理》课程的教学内容提出了新的要求。结合多年一线教学的经验与体会,本教材在内容编排中,以基本化工单元操作为主线,注重基础理论的阐述,重点介绍化工单元操作的基本原理、典型设备结构特性及工艺设计计算,考虑到内容的相关性和适用范围,将流体输送机械的内容并入流体流动单元,作为流体流动对应设备专设一节介绍,删除了一般《化工原理》教材中的蒸发、萃取、搅拌、流态化等内容,同时注重化学工程学科与化学、材料、食品、环境和生物等领域的交叉融合,强化该课程的工程基础学科的作用。

本教材可供大学本科 60~90 学时化工原理课程的教学选用,如化学、应用化学、环境科学与工程、食品科学与工程、材料科学与工程、生物工程等相关专业。本教材内容包括流体流动、非均相物系分离、传热、精馏、吸收、干燥等单元操作。各单元操作内容涉及前学课程中主要讲授内容的,本教材不做详细介绍,重点体现其在该领域的应用方法。针对本教材适用于非化工类专业、少学时化工原理课程教学的特点,编写时注意加强基础,理论联系实际,以工程、经济观点分析和解决问题,力求内容的逻辑严谨、系统、完整,但对一般化工原理课程中所涉及的在化工类专业后续课程中重点讲解的内容,如精馏操作中的侧线进出料、特殊精馏方式等,本教材只做简要介绍,不做详细讲解。

本教材由河南工业大学、安阳工学院、河南农业大学、河南城建学院、许昌学院、商丘师范学院合作编写完成。河南工业大学赵俊廷任主编,安阳工学院张继昌任副主编。第 1 章由赵俊廷编写,第 2 章由赵俊廷、河南工业大学张雷编写,第 3 章由河南农业大学李鑫编写,第 4 章由赵俊廷、许昌学院张建立、李延升编写,第 5 章由河南城建学院刘丽华、张顺泽编写,第 6 章由张继昌编写,第 7 章由商丘师范学院臧运波编写,附录部分由河南工业大学李晨编写。全书由主编负责统稿、定稿。

编写过程中,河南工业大学的各级领导和化工系的老师在工作上给予了各种协助和支持,河南科学技术出版社为本教材的组织编写和稿件的顺利完成提供了有力的支持,在此一并表示衷心感谢。由于水平有限,在教材编写方面缺乏经验,书中存在错误和缺点,敬请同仁提出宝贵意见和建议,以便今后修订改进。

编者

2011 年 7 月

目 录

1 绪论	(1)	程的应用	(16)
1.1 化工过程与单元操作	(1)	2.4 流体流动的基本方程	(19)
1.2 化工原理课程的内容、研究方法和任务	(1)	2.4.1 流速与流量	(20)
1.2.1 化工原理课程的性质和基本内容	(1)	2.4.2 稳态流动与非稳态流动	(20)
1.2.2 化工原理课程的研究方法	(2)	2.4.3 连续性方程	(21)
1.2.3 化工原理课程的任务	(2)	2.4.4 伯努利方程	(22)
1.3 单位制与单位换算	(3)	2.5 流体的流动现象	(28)
1.3.1 单位和单位制	(3)	2.5.1 流体的流动类型与雷诺数	(28)
1.3.2 单位换算	(3)	2.5.2 湍流的基本特征	(30)
1.4 物料衡算与能量衡算	(5)	2.5.3 流体在圆管内流动时的速度分布	(32)
1.4.1 物料衡算	(6)	2.5.4 边界层及边界层分离	(34)
1.4.2 能量衡算	(8)	2.6 流体在管内流动的阻力损失	(37)
2 流体流动	(9)	2.6.1 直管阻力损失的计算	(38)
2.1 概述	(9)	2.6.2 局部阻力损失的计算	(46)
2.2 流体物理性质	(9)	2.7 管路计算	(51)
2.2.1 连续介质模型	(9)	2.7.1 简单管路	(52)
2.2.2 流体的密度与可压缩性	(10)	2.7.2 复杂管路	(56)
2.2.3 流体的黏度	(11)	2.8 流量测量	(57)
2.3 流体静力学	(14)	2.8.1 测速管	(57)
2.3.1 静止流体的压强	(14)	2.8.2 节流式流量计	(59)
2.3.2 流体静力学基本方程	(15)	2.8.3 变截面流量计	(63)
2.3.3 流体静力学基本方			

2.9 流体输送机械	(65)	传导	(131)
2.9.1 离心泵	(66)	4.2.3 圆筒壁的稳态热	
2.9.2 离心式通风机 ...	(78)	传导	(134)
2.9.3 其他类型的流体输		4.3 对流传热	(137)
送机械	(80)	4.3.1 对流传热分析 ...	(137)
3 非均相混合物的分离	(90)	4.3.2 对流传热速率方程和	
3.1 概述	(90)	对流传热系数.....	(137)
3.2 重力沉降分离原理及设		4.3.3 无相变时流体的对	
备	(90)	流传热关联式 ...	(140)
3.2.1 曳力和曳力系		4.3.4 流体有相变时的对	
数	(91)	流传热系数	(145)
3.2.2 重力沉降过程 ...	(92)	4.4 热辐射	(149)
3.2.3 重力沉降设备 ...	(95)	4.4.1 热辐射的基本概	
3.3 离心沉降分离原理及设备		念	(149)
.....	(99)	4.4.2 物体的辐射能力与	
3.3.1 离心沉降过程 ...	(99)	斯蒂芬-玻耳兹曼	
3.3.2 离心沉降分离设		定律	(150)
备	(100)	4.4.3 克希霍夫定律 ...	(152)
3.4 过滤	(106)	4.5 两流体间传热过程的	
3.4.1 过滤的基本概		计算	(152)
念	(107)	4.5.1 热量衡算	(153)
3.4.2 过滤操作的基本		4.5.2 总传热速率微分方程	
原理	(108)	和总传热系数 ...	(153)
3.4.3 恒压过滤	(113)	4.5.3 总传热速率方程和传	
3.4.4 恒速过滤	(115)	热平均温度差 ...	(157)
3.4.5 过滤设备及其生产		4.5.4 壁温估算	(160)
能力	(115)	4.5.5 传热计算示例 ...	(161)
4 传热	(126)	4.6 换热器	(162)
4.1 概述	(126)	4.6.1 换热器的分类 ...	(162)
4.1.1 传热过程的应		4.6.2 间壁式换热器的类	
用	(126)	型	(162)
4.1.2 热量传递的基本		4.6.3 传热过程的强	
方式	(126)	化	(167)
4.1.3 热量传递的基本		4.6.4 列管式换热器的设	
概念	(128)	计和选用	(168)
4.2 热传导	(128)	5 蒸馏	(175)
4.2.1 傅里叶定律和热		5.1 双组分溶液的汽液相平	
导率	(128)	衡	(175)
4.2.2 平壁的稳态热		5.1.1 理想溶液汽液相平衡	

与拉乌尔定律 … (176)	态和性能 …… (222)
5.1.2 非理想溶液汽液相平衡 …… (179)	5.6.3 塔板效率 …… (224)
5.1.3 相对挥发度 …… (181)	5.6.4 板式塔设计 …… (226)
5.2 蒸馏与精馏原理 …… (183)	6 吸收 …… (239)
5.2.1 平衡蒸馏与简单蒸馏 …… (183)	6.1 概述 …… (239)
5.2.2 精馏原理及操作流程 …… (185)	6.1.1 吸收操作流程 … (239)
5.2.3 理论板及恒摩尔流假设 …… (188)	6.1.2 吸收过程的分类 … (240)
5.2.4 精馏流程的工业实例 …… (190)	6.1.3 吸收设备 …… (241)
5.3 双组分连续精馏的计算与分析 …… (191)	6.2 吸收过程的气液平衡关系 …… (242)
5.3.1 全塔物料衡算 … (191)	6.2.1 气体在液体中的溶解度 …… (242)
5.3.2 精馏段操作线方程 …… (193)	6.2.2 亨利定律 …… (243)
5.3.3 提馏段操作线方程 …… (194)	6.2.3 气液平衡关系在吸收中的应用 …… (244)
5.3.4 进料热状态的影响 …… (195)	6.2.4 吸收剂的选择 … (245)
5.3.5 理论板数计算 … (200)	6.3 吸收过程的传质速率 … (246)
5.3.6 回流比对精馏过程的影响及其选择 … (207)	6.3.1 分子扩散与费克定律 …… (246)
5.3.7 理论板数的简捷计算法 …… (213)	6.3.2 等摩尔逆向扩散 … (247)
5.4 精馏操作影响因素 …… (216)	6.3.3 组分 A 通过静止组分 B 的扩散 …… (248)
5.4.1 物料平衡 …… (216)	6.3.4 两相间的对流传质 …… (250)
5.4.2 回流比 …… (216)	6.4 低浓度气体吸收的计算 … (254)
5.4.3 进料状态 …… (216)	6.4.1 物料衡算与操作线方程 …… (254)
5.5 其他蒸馏方式简介 …… (217)	6.4.2 吸收剂的用量与最小气液比 …… (256)
5.5.1 间歇精馏 …… (217)	6.4.3 塔径的计算 …… (258)
5.5.2 直接蒸气加热 … (218)	6.4.4 填料层高度的计算 …… (258)
5.5.3 特殊精馏 …… (219)	6.4.5 吸收塔的操作计算 …… (264)
5.6 板式塔 …… (220)	6.4.6 解吸塔的计算 … (265)
5.6.1 板式塔及塔板结构、分类 …… (220)	6.5 填料塔 …… (266)
5.6.2 板式塔流体力学状	6.5.1 填料塔的结构及填料性能 …… (266)
	6.5.2 填料塔的流体力学

	特性	(268)		算	(287)
	6.5.3 填料塔的附件 ...	(270)	7.3.3 干燥过程热量		
7 干燥		(276)	衡算		(289)
7.1 概述		(276)	7.3.4 空气通过干燥器的		
7.1.1 干燥在生产中的应			状态变化		(292)
用		(276)	7.4 物料的平衡含水量与干燥		
7.1.2 固体去湿方法 ...		(276)	速率		(293)
7.1.3 对流干燥的			7.4.1 物料水分的性质 ...		(293)
特点		(277)	7.4.2 干燥时间的计算 ...		(295)
7.2 湿空气的性质与湿度图 ...		(277)	7.5 干燥设备		(300)
7.2.1 湿空气的性质 ...		(277)	7.5.1 干燥器的主要类		
7.2.2 湿空气的湿度图及			型		(300)
应用		(284)	7.5.2 工业常用干燥器 ...		(301)
7.3 干燥过程的物料衡算与焓			7.6 干燥器的选用及设计 ...		(305)
衡算		(286)	附录		(309)
7.3.1 湿物料的性质 ...		(287)	参考文献		(357)
7.3.2 干燥系统的物料衡					

1 绪 论

1.1 化工过程与单元操作

化学工业中,往往需要将自然界的各种物质经过化学和物理方法处理,使其不仅在物理性质上发生变化,而且在化学性质上也发生变化,制造出具有特定物理化学性质的产品。该过程即化学工业的生产过程,简称化工过程。原料的多样性、生产的各类化工产品又具有各自特定的物理化学性质,使得化工生产过程非常复杂,形成了数以万计的化工生产工艺过程。一种产品,从原料到成品,往往需要几个或几十个加工过程,涉及若干个或若干组设备,采用多种方式的加工处理之后才能成为最终产品。原料和产品的多样性,使得各种化工过程步骤多、差别大。

尽管化工过程复杂多变,但根据化工过程对物质的加工处理特征,可将其分为两大类。一类是以进行化学反应为主,完成该类操作的主要设备是各种特定的反应器。涉及的化学反应不同,反应机制有各自的特点,影响过程进行的主要参数也各不相同,使得用于不同化学工业中的反应器有较大的差别。例如,石油化工生产中常用的催化裂解炉、化肥生产中的氨合成塔、精细化工产品生产中采用的各种反应釜、油脂水解生产脂肪酸中的油脂水解塔等。另一类是很重要的各种物理加工过程。例如,物料的输送、混合物的分离、流体的加热或冷却、溶液的混合与浓缩等。这类操作具有的共同特点是:只改变物料存在的状态或其物理性质,一般不改变其化学性质。按照作用原理的不同,可将其归纳为若干个基本操作过程,这些基本操作过程称为单元操作(unit operation)。每个单元操作都有对应的设备。不同的化工过程中遵循的原理完全相同,但在操作条件、设备类型或结构上会有很大的差别。任何一个化工生产过程,都是由若干个单元操作及化学反应过程有机组合而成的。其中,化学反应及反应器是化工生产的核心,该部分内容将在化学反应工程课程里研究,而在化工生产中占极其重要地位的、为化学反应过程创造适宜条件、将反应产物分离纯化的各类单元操作的原理及设备在化工原理(Principles of Chemical Engineering)课程中研究。通常,单元操作在工厂的设备投资和操作费用中占有很大的比例,决定着整个生产的经济效益。

1.2 化工原理课程的内容、研究方法和任务

1.2.1 化工原理课程的性质和基本内容

化工原理课程是化工类各专业(包括化工、轻工、生物、制药、环境、材料等)重要的专业

技术基础课,是综合运用数学、物理、化学等基础知识,分析和解决化工生产中各种物理过程问题的工程学科。按照单元操作所遵循的基本规律,可将其分为以下三类:

1. 流体流动过程

流体流动过程(fluid flow process)包括流体输送、沉降、过滤、搅拌等。

2. 热量传递过程

热量传递过程(heat transfer process)包括传热、蒸发等。

3. 质量传递过程

质量传递过程(mass transfer process)包括蒸馏、吸收、萃取、干燥、吸附、离子交换等。

流体流动过程也称动量传递过程,因为在流体流动时,流体的内部发生动量传递(momentum transfer)。实际上,若干单元操作之间存在着类似的规律和内在的联系。从本质上讲,所有的单元操作都可以分解为动量传递、热量传递、质量传递这三种传递过程及它们的协同过程。传递过程是单元操作的理论基础,是联系各单元操作的一条主线。流体流动的基本原理,不仅是流体输送、沉降、过滤等过程的理论基础,也是热量传递和质量传递过程中各单元操作的理论基础,因为在这些单元操作中,进行热量交换或物质扩散的流体都处于流动状态,其传热或传质的效果与流体流动状态密切相关。热量传递的基本原理,不仅是热量交换和蒸发过程的理论基础,也是传质过程中某些单元操作的理论基础。例如蒸馏和干燥操作中,同时伴随有质量传递和热量传递,其过程效果同时受质量传递和热量传递效果的影响。

1.2.2 化工原理课程的研究方法

作为一门理论联系实际的纽带课程,本课程属于实践性很强的工程学科,在其长期的发展过程中,形成了探索其所遵循规律的基本研究方法。

1. 数学分析法

对于特定的物理过程,过程影响因素清晰、数量较少,且各参数之间的关系比较简单,可通过一定的数学分析,推导出能反映其过程规律的数学表达式。

2. 数学模型法(半经验半理论方法)

该方法是在对具体物理过程的机制进行深入分析的基础上,对过程进行特定的简化,建立便于数学描述的物理模型,然后通过数学分析和推导得到数学模型。其中,数学模型中的模型参数通过实验确定。

3. 实验研究法(经验法)

该方法是以因次分析和相似论为指导,通过科学的实验设计和实验过程确定过程变量之间的关系,这种关系通过相关的无因次数群构成数学方程得以表达。它是研究工程问题常用的基本方法。

1.2.3 化工原理课程的任务

作为化工及相关专业学生必修的一门专业基础技术课程,化工原理的主要任务是介绍流体流动、热量传递、质量传递的基本原理,与主要单元操作对应的典型设备的结构、操作原理、选型,工艺设计计算及实验研究方法,培养学生运用基础理论知识分析解决化工单元操作中涉及的各种工程实际问题的能力。具体地讲,通过该课程的学习,使学生能够根据物料

特性和生产工艺的要求,合理选择单元操作及相应设备;具备进行典型单元操作设备的工艺设计计算和校核的能力;熟悉和掌握单元操作设备的操作和调节;锻炼和提高学生对该领域的过程开发和科学研究的能力。

1.3 单位制与单位换算

1.3.1 单位和单位制

任何物理量的大小都是由数字和单位共同表达的,二者缺一不可,否则将不具有任何物理意义。同一物理量在不同的单位制中,其数值会相应地改变。在科学技术的发展过程中,历史、地区及学科等原因形成了不同的单位制。常见的单位制有绝对单位制(包括 CGS 制和 MKS 制)、工程单位制、国际单位制(SI 制)和法定单位制。其中,国际单位制是 1960 年 10 月在第十一届国际计量大会上通过的一种新的单位制度,由于其具有通用性和一贯性的优点,在国际上被迅速推广使用。目前,我国采用中华人民共和国法定计量单位制,它以 SI 制为基础,规定了一些我国选定的单位。所有单位制的共性是将物理量分为基本物理量和导出物理量,每种单位制根据使用方便的原则,规定了其基本物理量,其单位称为基本单位。其他物理量为导出物理量,其单位根据其物理意义,由有关基本单位组合而成。常见单位制所规定的基本物理量及单位如表 1.1 所示。

表 1.1 常见单位制的基本物理量及单位

	长度	时间	质量	力	温度	电流	光强度	物质的量
绝对单位制 (CGS 制)	cm	s	g	—	—	—	—	—
绝对单位制 (MKS 制)	m	s	kg	—	—	—	—	—
工程单位制 (重力单位制)	m	s	—	kgf	—	—	—	—
国际单位制 (SI 制)	m	s	kg	—	K	A	cd	mol

1.3.2 单位换算

自从 1960 年颁布国际单位制后,国际单位制已经在世界范围内普遍推广使用,1990 年底我国也完成了向以国际单位制为基础的《中华人民共和国法定计量单位》的过渡。但由于其推广和使用速度在各地区、各学科领域不平衡,而且文献资料中所涉及的物理量又是多种单位制并存,这就需要我们了解和掌握不同单位制及其之间的换算方法。在本学科领域涉及的单位换算包括物理量的单位换算和公式的单位换算两类。

1. 物理量的单位换算

任何物理量都是由数字和单位组成的,即物理量 = 数字 × 单位。就物理量而言,将其从一种单位换算成另一种单位时,量本身不会变化,只是数值要发生改变。同一物理量在进行不同单位制下的单位换算时,需乘以两单位之间的换算因数。换算因数等于两单位制下同一物理量之比。例如,1 m 和 100 cm 是两个彼此相等的物理量,它们分别属于国际单位制和绝对单位制中长度的单位,即

$$1\text{ m} = 100\text{ cm}$$

对应两种单位的换算因数为

$$100\text{ cm}/1\text{ m} = 100\text{ cm}/\text{m}$$

从本质上讲,包括单位的任何换算因数都是纯数 1,任何物理量乘以或除以单位的换算因数,都不会改变原物理量的大小。

例 1.1 水在 20℃ 时的导热系数为 0.515 kcal/(m · h · ℃),试从基本单位换算开始,将水的导热系数单位换算成国际单位制下的单位 W/(m · ℃)。

解:从附录可查得

$$1\text{ kcal} = 4.187 \times 10^3\text{ J}$$

$$1\text{ h} = 3\,600\text{ s}$$

在国际单位制中, W = J/s,则水的导热系数为

$$\begin{aligned}\lambda &= 0.515\text{ kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) \\ &= 0.515\text{ kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) (4.187 \times 10^3\text{ J/kcal}) (\text{h}/3\,600\text{ s}) \\ &= 0.599\text{ J}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}) \\ &= 0.599\text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})\end{aligned}$$

关于物理量的单位换算,常用的方法是从参考资料中查出原单位与要换算的新单位之间的换算因数,用换算因数与原物理量相乘或相除,消去原单位而引入新单位,即可得到换算后的物理量新单位下的数值。本例是为了使读者了解和练习单位换算方法,从基本单位开始进行单位换算。实际上,本题可以从附录中查出:

$$1\text{ kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) = 1.163\text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

则 $0.515\text{ kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) = 0.515 \times 1.163 = 0.599\text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

2. 公式的单位换算

公式是对特定过程中各有关因素之间的数量关系的客观描述。在化工过程的工艺设计计算中所用到的公式可分为以下两类:

一类是根据物理过程规律建立的各物理量之间关系的物理方程,如牛顿第二运动定律

$$F = ma$$

式中, F ——作用在物体上的力;

m ——物体的质量;

a ——物体运动的加速度。

物理方程具有单位一致性(或称量纲一致性)。各物理量的单位可以任选一种单位制,同一物理方程式中绝不允许同时采用两种单位制。

另一类是根据实验数据整理、归纳得到的经验公式,式中各符号仅代表对应物理量的数字部分,其单位必须采用指定的单位,经验公式只反映各物理量的数字之间的关系,故经验公式又称数字公式。运用经验公式计算时,各物理量的单位要先换算成经验公式指定的单

位后再代入公式计算。若要采用非经验公式指定的单位,需先对经验公式进行单位换算,然后再代入数据计算。根据经验公式的特点,对其进行单位换算时,需根据物理量和单位的关系(物理量=数字×单位),将经验公式中的各符号按物理量与规定单位之比的形式列出,然后利用单位之间的换算因数,把原规定单位换算成希望的单位。换算方法及步骤参照例 1.2。

例 1.2 板式精馏塔塔板溢流堰堰上液层高度可用以下经验公式计算

$$h_{ow} = 0.48 (L_h / l_w)^{2/3}$$

式中, h_{ow} ——溢流堰堰上液层高度, in;

L_h ——液体体积流量, gal/min;

l_w ——堰长, in。

试将上式进行单位换算,将 h_{ow} 的单位换算成 mm、 L_h 的单位换算成 m^3/h 、 l_w 的单位换算为 m。

解:从附录可查出以下物理量单位之间的关系为

$$1 \text{ in} = 0.0254 \text{ m}$$

$$1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min}$$

$$1 \text{ gal} = 0.003785 \text{ m}^3$$

若式中各符号加上标“'”,表示对应的物理量,则根据物理量和数字的关系可得到

$$\text{溢流堰堰上液层高度} \quad h_{ow} = \frac{h_{ow}'}{[\text{in}]}$$

$$\text{液体体积流量} \quad L_h = \frac{L_h'}{[\text{gal/min}]}$$

$$\text{堰长} \quad l_w = \frac{l_w'}{[\text{in}]}$$

$$\text{则} \quad \frac{h_{ow}'}{[\text{in}]} = 0.48 \left[\frac{L_h'}{[\text{gal/min}]} / \frac{l_w'}{[\text{in}]} \right]^{2/3}$$

将各单位换算因数代入上式,得

$$\frac{h_{ow}'}{[\text{in}] \cdot \frac{25.4 [\text{min}]}{[\text{in}]}} = 0.48 \left[\frac{\frac{L_h'}{[\text{gal}] \cdot \frac{0.003785 [\text{m}^3]}{[\text{gal}]}}}{\left(\frac{[\text{min}]}{60 [\text{min}]} \right)} / \frac{l_w'}{[\text{in}] \cdot \frac{0.0254 [\text{m}]}{[\text{in}]}} \right]^{2/3}$$

$$\frac{h_{ow}'}{[\text{mm}]} = 2.83 \left[\frac{L_h'}{[\text{m}^3/\text{h}]} / \frac{l_w'}{[\text{m}]} \right]^{2/3}$$

故单位换算后的原经验公式形式为

$$h_{ow}' = 2.85 (L_h / l_w)^{2/3}$$

1.4 物料衡算与能量衡算

物料衡算与能量衡算是进行化工过程分析计算的基本手段。任何生产过程都是各个单元操作的协同作用过程,要分析和确定过程中各股物料的数量、组成之间的关系及保证工艺过程的顺利实施中需要的能量供给和释放,必须对过程进行物料衡算和能量衡算。同时,要确定工艺过程中涉及的相关设备的工艺尺寸,必须依赖对应的平衡关系和速率关系,从而确定过程进行的极限,分析过程进行的快慢。因此,平衡关系和速率关系是研究各种单元操作原理的基本内容。本节将对物料衡算与能量衡算进行简要介绍,平衡关系和速率关系将在

以后各有关章节中分别讨论。

按操作方式可将生产过程或单元操作分为间歇操作和连续操作。间歇操作多用于小规模生产过程。该操作过程中,同一位置上的物料组成、温度、压强、流量等参数随时间变化而变化,属于不稳定操作状态。在操作中,一次将各物料加入设备,经过处理达到要求后,一次性将产物排出,然后再重新投料。而连续性生产过程中,原料不断从入口送入,产品连续从出口排出。设备内各个位置的物料组成、温度、压强等相关参数可能互不相同,但在任一固定位置上,相关的参数部分或全部随时间变化而改变,属于稳定操作状态。多数化工生产过程是连续的,除在开、停车,故障处理等特殊情况下处于暂时的不稳定状态外,正常情况下的操作状态都是稳定的。

1.4.1 物料衡算

物料衡算的基本依据是质量守恒定律。向系统输入的材料质量减去从系统输出的材料质量等于物料在系统内物料的累积质量,即

$$\sum m_i - \sum m_o = m_A$$

式中, $\sum m_i$ ——输入系统物料量的总和;

$\sum m_o$ ——输出系统物料量的总和;

m_A ——系统内累积的物料量。

上式是物料衡算的通式,既适用于间歇操作,也适用于连续生产过程。衡算系统可以是任何指定的设备、车间、工段等空间范围。对于没有化学变化的过程,任一物质或组分都符合该通式;对有化学变化的过程,涉及各元素也符合该通式。

物料衡算的步骤:

- (1) 划定衡算范围。
- (2) 确定衡算基准(时间基准)。
- (3) 列出化学反应式(无化学反应的过程,此步骤略)。
- (4) 统一单位。
- (5) 列物料衡算式进行计算。

衡算范围根据分析计算的要求和目标参数划定。对于间歇操作过程,衡算一般取一次或一批操作为基准;对于连续操作过程,常以单位时间为基准,从而可确定每股进出物料的质量,对应的物料衡算式也可用下式表示,即

$$\sum w_i - \sum w_o = dm_A/d\theta$$

式中, w_i 、 w_o ——每股输入、输出系统的物料的质量流量;

$dm_A/d\theta$ ——物料在系统内的质量累积速率。

对于连续稳定的生产过程,系统内不可能有物料的积累,即 $dm_A/d\theta = 0$, 故

$$\sum w_i = \sum w_o$$

例 1.3 如图 1.1 所示,用空气将某湿物料从湿基含水率 5% 干燥至湿基含水率 1%, 出干燥器的废气部分循环到预热器进口与新鲜空气混合,废气循环比(循环空气量与废气排空量之比)为 2:1。已知湿物料处理量为 $G_1 = 1000 \text{ kg/h}$, 新鲜空气的湿度为 $H_0 = 0.006 \text{ kg 水/kg 干空气}$, 出干燥器空气湿度为 $H_2 = 0.05 \text{ kg 水/kg 干空气}$ 。求: