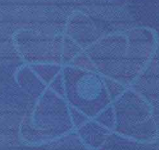
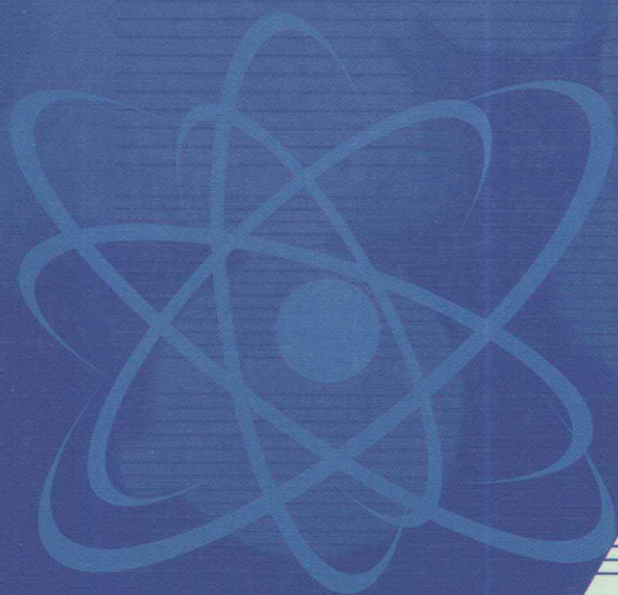


全国高等师范院校化学类规划教材

化工基础

彭盘英 娄向东 主编



科学出版社

内 容 简 介

本书根据高等院校“化学工程基础”课程教学要求编写。全书共分 12 章,以化工过程开发方法为引导,系统地介绍了化学工程中典型单元操作与反应器基本原理,主要包括流体流动过程、传热过程、传质分离过程的基本原理、反应工程基本原理、合成氨及硫酸生产工艺。

本书可作为综合性大学和师范院校理科化学专业及环境科学专业的化工基础课程教材或教学参考书,也可供相关专业的教师和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工基础/彭盘英,姜向东主编. —北京:科学出版社,2011.7

全国高等师范院校化学类规划教材

ISBN 978-7-03-031807-7

I. ①化… II. ①彭…②姜… III. ①化学工程-师范大学-教材
IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 132202 号

责任编辑:陈雅娴 丁 里/责任校对:朱光兰

责任印制:张克忠/封面设计:迷底书装

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>

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011 年 7 月第一次印刷 印张:21

印数:1—4 000

字数:533 000

定价:43.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《化工基础》编写委员会

主 编 彭盘英 姜向东

编 委(按姓氏拼音排序)

陈玉琴 崔世海 韩爱鸿 姜向东

彭盘英 王玉萍 赵晓华

前 言

根据教育部有关“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的实施意见,在科学出版社的大力支持与精心组织下,由河南师范大学娄向东教授与南京师范大学彭盘英教授共同主持召开了“《化工基础》编写研讨会”,会议于2010年11月在南京召开,参会代表基于当前“化学工程基础”课程教学的现状与发展趋势,确定了《化工基础》教材编写的基本原则。

(1) 教材必须具有规范性与实用性,内容必须适应高等院校培养目标的需要,适应课程教学的实际需求,同时体现绿色化工、低碳经济、可持续发展的时代要求。

(2) 当前理科专业学生普遍缺乏工程意识,教材内容的编写必须能使学生建立工程概念和技术经济观点,培养学生应用开发、科技管理及分析和解决一般生产问题的能力,提高学生科技创新和科技成果产业化的意识和能力。

(3) 针对理科学生缺乏工程技术知识的实际情况,适当增加基础化学工业及化工过程开发知识的介绍。

(4) 教材内容适合72课时教学,选用教材的兄弟院校可根据实际情况讲授相应章节内容。

参与本书编写的有南京师范大学王玉萍(第1章、第9章)、河南师范大学赵晓华(第2章)、山东师范大学陈玉琴(第3章、第10章、第11章)、河南师范大学娄向东(第4章)、沈阳师范大学韩爱鸿(第5章、第12章)、南京师范大学崔世海(第6~8章)。全书由彭盘英和娄向东统稿、定稿。

在本书编写过程中,得到参编高校相关院系及相关部门领导和老师的支持,特别是科学出版社陈雅娴编辑给予的帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本书不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2011年4月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 化学工程学的形成与发展	1
1.2 化学工程学的性质、任务、内容和研究方法	2
1.2.1 化学工程学的性质和任务	2
1.2.2 化学工程学的内容	2
1.2.3 化学工程学的研究方法	3
1.2.4 本课程的学习目的	3
1.3 化学工程学的基本规律	4
1.3.1 物料衡算	4
1.3.2 能量衡算	5
1.3.3 平衡关系	6
1.3.4 过程速率	6
1.4 化学与化工生产	6
1.4.1 从实验室研究到工业化生产	6
1.4.2 化工开发过程及步骤	7
1.5 化学工程学的发展趋势	8
1.5.1 化工过程与系统工程结合	8
1.5.2 化学工程与材料科学结合	9
1.5.3 化学工程与信息工程结合	9
1.5.4 化工过程的绿色化	9
第 2 章 流体的流动过程与输送机械	10
2.1 流体静力学基本方程式	10
2.1.1 密度和比容	10
2.1.2 压强	11
2.1.3 流体静力学基本方程式及应用	12
2.2 流体流动基本规律	15
2.2.1 流量与流速	16
2.2.2 定态流动与非定态流动	17
2.2.3 理想流体与实际流体	17
2.2.4 连续性方程	18
2.2.5 伯努利方程	18
2.2.6 伯努利方程的应用	21
2.3 流体流动阻力	24
2.3.1 牛顿黏性定律与流体的黏度	24

2.3.2 流体的流动现象	26
2.3.3 流体管内流动阻力的计算	29
2.4 管路计算	37
2.4.1 管路计算的类型和基本方法	37
2.4.2 简单管路	38
2.4.3 复杂管路	38
2.5 流速和流量的测量	39
2.5.1 测速管	39
2.5.2 孔板流量计	41
2.5.3 文丘里流量计	42
2.5.4 转子流量计	43
2.6 流体输送机械	44
2.6.1 离心泵	45
2.6.2 往复压缩机	51
习题	54
第3章 热量传递	58
3.1 概述	58
3.1.1 传热过程在化工生产中的应用	58
3.1.2 传热的基本方式	58
3.1.3 定态传热与非定态传热	60
3.1.4 载热体及其选择	60
3.1.5 工业中的换热方式	61
3.1.6 传热速率与热通量	62
3.2 热传导	63
3.2.1 傅里叶定律	63
3.2.2 导热系数	63
3.2.3 平壁热传导	64
3.2.4 圆筒壁的定态热传导	67
3.3 对流传热	69
3.3.1 对流传热机理	69
3.3.2 对流传热基本方程	70
3.3.3 对流传热分系数	70
3.3.4 对流传热分系数准数关联式	72
3.4 传热计算	75
3.4.1 热量衡算式及热负荷的计算	75
3.4.2 总传热速率方程	76
3.4.3 总传热系数的计算	77
3.4.4 传热平均温度差的计算	80
3.5 传热设备——换热器	85
3.5.1 间壁式换热器	85

3.5.2 强化传热的途径	87
习题	90
第4章 气体吸收	93
4.1 概述	93
4.1.1 气体吸收过程	93
4.1.2 吸收过程的分类	94
4.1.3 吸收剂的选择	95
4.1.4 吸收操作的流程	95
4.2 吸收的气、液相平衡关系	95
4.2.1 气体在液体中的溶解度	95
4.2.2 亨利定律	96
4.2.3 相平衡关系与吸收过程中的关系	98
4.3 吸收速率方程	99
4.3.1 单一相内物质的传递	100
4.3.2 双膜理论	103
4.3.3 吸收速率方程	104
4.4 填料吸收塔的计算	109
4.4.1 吸收剂用量的计算	109
4.4.2 填料层高度的计算	113
4.4.3 吸收塔塔径的计算	119
4.5 填料塔	120
4.5.1 填料塔结构简介	120
4.5.2 填料	120
4.5.3 填料塔内的流体力学性能	122
4.5.4 填料塔的附件	124
4.5.5 强化吸收过程的措施	125
4.6 其他气体分离技术简介	126
4.6.1 变压吸附技术	126
4.6.2 膜分离技术	127
习题	129
第5章 蒸馏	131
5.1 概述	131
5.1.1 蒸馏过程的分类	131
5.1.2 蒸馏分离的特点	132
5.2 双组分溶液的气、液相平衡	132
5.2.1 相律	133
5.2.2 双组分理想体系的气、液相平衡	133
5.2.3 双组分非理想体系的气、液相平衡	136
5.3 简单蒸馏和平衡蒸馏	138
5.3.1 简单蒸馏	138

5.3.2 平衡蒸馏	139
5.4 精馏	139
5.4.1 精馏原理	139
5.4.2 精馏操作流程	141
5.5 双组分连续精馏的计算	142
5.5.1 恒摩尔流假定	142
5.5.2 物料衡算与操作线方程	143
5.5.3 进料热状态对精馏操作的影响	145
5.5.4 理论板层数的计算	149
5.5.5 回流比的选择	152
5.5.6 理论板数的简捷算法	157
5.5.7 实际塔板数和塔板效率	158
5.6 间歇精馏	159
5.6.1 回流比恒定时的间歇精馏	159
5.6.2 馏出液组成恒定时的间歇精馏	160
5.7 特殊精馏	160
5.7.1 恒沸精馏	161
5.7.2 萃取精馏	162
5.8 板式塔	163
5.8.1 塔板的类型及性能评价	163
5.8.2 板式塔的结构与性能	165
5.8.3 板式塔工艺尺寸的计算	168
习题	168
第6章 工业反应器设计基础	171
6.1 化学反应和工业反应器	171
6.1.1 化学反应的分类	171
6.1.2 工业反应器的基本类型	171
6.2 工业反应器的操作方式	174
6.2.1 间歇操作	174
6.2.2 连续操作	174
6.2.3 半连续操作	175
6.3 反应工程学基础理论中的重要概念	175
6.3.1 化学热力学的有关基本概念	175
6.3.2 化学动力学的有关基本概念	180
6.3.3 传递工程学的有关基本概念	187
6.4 反应器设计的基本方程	188
习题	189
第7章 均相反应过程与理想反应器	191
7.1 釜式反应器	191
7.1.1 釜式反应器的物料衡算式	191

7.1.2 间歇搅拌釜式反应器	191
7.1.3 理想连续搅拌釜式反应器	193
7.1.4 连续搅拌釜式反应器的串联	194
7.1.5 连续搅拌釜式反应器的热稳定性	198
7.2 活塞流管式反应器	200
7.2.1 活塞流反应器的理想假设	200
7.2.2 活塞流反应器的体积计算	200
7.3 理想均相反应器的优化选择	202
7.3.1 以生产强度为优化目标选择反应器	202
7.3.2 以产率和选择性为优化目标选择反应器	205
习题	207
第8章 停留时间分布与非理想反应器的计算	209
8.1 停留时间分布函数	209
8.1.1 停留时间分布函数的定义	209
8.1.2 停留时间分布的实验测定	212
8.1.3 停留时间分布的数学特征	215
8.1.4 理想反应器的停留时间分布	217
8.2 非理想流动模型及实际反应器的计算	220
8.2.1 离析流模型	221
8.2.2 多釜串联模型	221
8.2.3 轴向扩散模型	224
8.2.4 非理想反应器的计算	225
习题	227
第9章 多相催化反应	229
9.1 工业催化简介	229
9.1.1 固体催化剂	229
9.1.2 工业催化剂的要求和特点	229
9.2 气、固相催化反应动力学	230
9.2.1 气、固相催化反应的历程	230
9.2.2 表面动力学控制	231
9.2.3 外扩散过程	234
9.2.4 内扩散过程	236
9.2.5 反应过程的控制阶段	240
9.3 非等温过程	241
9.3.1 操作温度的最优化	241
9.3.2 热量衡算与绝热反应器	243
9.3.3 绝热反应器的容积计算	245
9.4 气、固相催化反应器	246
9.4.1 固定床反应器	246
9.4.2 流化床反应器	248

习题	249
第 10 章 合成氨工艺	251
10.1 概述	251
10.1.1 合成氨工业的重要性及发展概况	251
10.1.2 合成氨主要原料及原则流程	252
10.2 原料气的生产	253
10.2.1 固体燃料气化法	254
10.2.2 其他造气方法简介	256
10.3 原料气的净化	258
10.3.1 原料气的脱硫	258
10.3.2 一氧化碳的变换	259
10.3.3 二氧化碳的脱除	262
10.3.4 原料气的精制	264
10.4 氨的合成	265
10.4.1 氨合成的热力学	265
10.4.2 氨合成的动力学	267
10.4.3 氨合成最佳工艺条件的确定	269
10.4.4 氨合成流程	272
10.4.5 氨合成的主要设备——合成塔	273
10.5 氨的加工	275
10.5.1 尿素概述	275
10.5.2 合成原理和工艺条件	275
习题	278
第 11 章 硫酸生产工艺	279
11.1 硫酸概述	279
11.1.1 硫酸的性质	279
11.1.2 硫酸的用途和产品规格	279
11.1.3 硫酸工业发展概况	280
11.2 生产硫酸的原料和生产原则流程	281
11.2.1 生产硫酸的原料	281
11.2.2 以硫铁矿为原料的接触法生产硫酸的原则流程	283
11.3 二氧化硫炉气的生产	283
11.3.1 硫铁矿焙烧原理	283
11.3.2 焙烧工艺条件的确定	285
11.3.3 固体流态化和沸腾焙烧炉	286
11.4 二氧化硫炉气的净化与干燥	288
11.4.1 净化的目的	288
11.4.2 净化方法	289
11.4.3 二氧化硫炉气的干燥	290
11.5 二氧化硫的催化氧化	291

11.5.1	SO ₂ 催化氧化的基本原理	291
11.5.2	平衡常数与平衡转化率	291
11.5.3	催化剂与反应速率	293
11.5.4	适宜工艺条件的确定	293
11.5.5	二氧化硫转化流程	296
11.6	三氧化硫的吸收成酸	298
11.6.1	吸收成酸的原理及影响因素	298
11.6.2	吸收成酸的工艺流程	299
11.7	以硫磺为原料制硫酸	300
11.8	硫酸生产中的“三废”治理和环境保护	302
11.8.1	硫酸生产中余热的回收利用	302
11.8.2	硫酸生产中的“三废”治理和环境保护	302
	习题	305
第 12 章	化工过程开发	307
12.1	概述	307
12.2	化工过程开发内容	308
12.2.1	化学工业在人类社会中的地位	308
12.2.2	化工过程开发的特点	309
12.3	化工过程开发基本方法	309
12.3.1	实验研究方法	310
12.3.2	数学模型方法	310
12.4	化工过程开发主要步骤	311
12.4.1	过程研究	311
12.4.2	工程研究	313
12.5	化工过程开发案例	313
	习题	315
	参考文献	315
	附录	317
附录一	干空气的物理性质(101.3 kPa)	317
附录二	IS 型离心泵性能参数(摘录)	318
附录三	无缝钢管规格	319
附录四	水的物理性质	320
附录五	一些气体-水体系的亨利系数	321
附录六	乱堆瓷质拉西环的特性	321
附录七	物质的扩散系数(293 K, 101.3 kPa)	322

第 1 章 绪 论

化学工程学是研究化学工业和其他过程工业生产中所进行的化学过程和物理过程的共同规律的一门工程学科,它以化学、物理和数学为基础,化学反应为核心,同时还需要机械、电气、仪表、控制等工程学科的理论支持和技术上的应用。因此,化学工程学是源自化学同时融合了诸多工程技术学科的综合学科。

化学工程学与化学和化学工业有着密切的联系。化学工业是国民经济中重要的一个组成部分,它既为农业、轻工业、重工业和国防工业提供生产资料,也为人类衣、食、住、行等各方面提供必不可少的化工产品。

化学工程学的任务是研究化工生产过程的基本规律和工程技术,从理论上阐明化工生产的各个过程,找到其中具有规律性的问题,为有效地实现工业生产提供可靠的基础理论和技术。这些基础理论和技术也是实施各种化工类型工业生产和工程(如冶金、医药、核能和环境工程等)的基本依据。

1.1 化学工程学的形成与发展

化学工程学始于 19 世纪末,经历了三个发展阶段:20 世纪 40 年代之前的“单元操作”阶段;20 世纪 60 年代的“三传一反”阶段;1996 年以来提出的“多尺度、多目标”的研究阶段。它是随着化学工业的发展而逐渐形成和发展的。

1791 年吕布兰(LeBlanc)发明的吕布兰法制碱工业化标志着化学工业的诞生。19 世纪 70 年代,制碱、制酸、化肥、煤化工等都已有了相当规模,许多新发明、新技术应用到化学工业生产中。1888 年美国的麻省理工学院开设了世界上第一个“化学工程”的四年制学士学位课程,并于 1920 年成立了化学工程系。从此,化学工程这一名词获得应用。1901 年戴维斯(Davis)出版了《化学工程手册》,这是世界上第一部阐述各种化工生产过程共性规律的著作。戴维斯首次将化工生产过程的各个步骤加以分类,系统阐述了化工基本操作过程,如蒸馏、干燥、过滤、吸收和萃取等,从化工产品的生产工艺中归纳出共同规律。化学工程学成为继冶金、机械、土建和电气工程学科之后诞生的第五个学科。这一时期化学工业正在兴起,主要研究对象是化学加工技术、涉及各种行业的化工生产工艺;研究内容涉及原料特点、生产原理、工艺流程、最适宜操作条件以及所用机械设备的构造和使用,开设的课程称为化学工艺学。

1915 年利特尔(Little)提出“单元操作”的概念,他明确提出任何化工生产过程,无论其规模大小都可以用一系列称为单元操作的技术来解决,只有将纷杂众多的化工生产过程分解为构成它们的单元操作来进行研究,才能使化学工程专业具有广泛的适应能力。之后沃克(Walker)、刘易斯(Lewis)和麦克亚当斯(McAdams)完成了《化工原理》一书的初稿并于 1923 年正式出版。该书阐述了各种单元操作的物理、化学原理,提出了定量计算方法,并从物理学等基础学科中吸取了对化学工程有用的研究成果和研究方法,奠定了化学工程成为一门独立学科的基础。单元操作概念提出后,在处理只含有物理变化的化工操作时获得了巨大成功,但在处理含有化学变化的化工操作时却很不成功。对气、固相催化反应的研究使化学工程师认

识到,在工业反应过程中,质量传递和热量传递对反应结果都有影响。20 世纪 40 年代,化工技术的突破发展促进了工程上对化学反应过程的研究,在 50 年代形成了化学反应工程分支。化学反应工程研究反应器内传递过程和化学反应的相互关系和影响,阐明工业反应过程的实质,目的在于控制生产规模下的化学反应过程,实现反应器的最佳设计。在对连续过程的研究中,提出了返混、停留时间、微观混合、反应器参数敏感性和反应器稳定性等一系列概念,同时化学工程师认识到,从本质上看所有单元操作都可以分解为动量传递、热量传递和质量传递三种过程。在工业反应器的研究中应注重传递过程规律的探索。

化学反应工程涉及化工生产过程的核心问题,自创立以后,至今方兴未艾,与早先发展起来的传递过程共同形成化学工程学两大支柱,有力地解释和解决了化学过程中的理论问题。1957 年的第一届欧洲化学反应工程讨论会宣布化学反应工程学科的诞生。而 1960 年伯德(Bird)、斯图尔特(Stewart)、莱特富特(Lightfoot)合著的《传递现象》出版,标志着化学工程进入了“三传一反”的时代。20 世纪 70 年代以后,化工生产日趋大型化、连续化以及随着计算机技术的迅速发展,化学工程学的研究已不再限于单个单元操作或化学反应过程,而是深入整个工厂,甚至是整个行业的大系统研究,从而形成了化学系统工程,其主要任务是研究系统的设计、控制和管理,并用数学模拟方法寻求最有效的化工系统。这种从实际到理论、分解到综合的研究过程是人们认识化学工业生产实际、解决工程实际问题的过程。这就是最新发展起来的化工系统工程学。

1.2 化学工程学的性质、任务、内容和研究方法

1.2.1 化学工程学的性质和任务

化学工业是将自然界的物质经过化学和物理方法的处理,制造成生产资料和生活资料的工业。化工产品生产过程中,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。化学工程学是研究大规模地改变物料的化学组成和物理性质的工程技术学科。化学工程学研究对象包括化工生产装置中进行的化学变化过程,也包括混合物的分离净化过程,以及改变物料物理状态和性质的过程。其任务是从理论上阐明化工生产的各个过程,找出其中具有规律性的问题,减少在化工开发中的盲目性。

1.2.2 化学工程学的内容

化学工业产品种类繁多,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。但是分析发现,任何化工生产过程都包括工程和工艺两个基本内容。因此,相应的课程内容就包括化学工程和化学工艺两个方面。

化学工程学研究化工生产过程中共同性操作规律及其工程性质的问题。众多的化工过程可以归纳为动量传递、热量传递、质量传递和化学反应工程,即“三传一反”。研究以“三传一反”为中心的化学工程,可以解决生产中出现的下列问题:

- (1) 设计或改进生产设备和装置,使其效率和性能更佳。
- (2) 确定适宜的操作条件。
- (3) 提高物料利用率以及物料和能量的综合利用。
- (4) 指导实验室或中试研究工作,获得能应用于工业生产的实验数据。

1.2.3 化学工程学的研究方法

化学工程学之所以成为一门学科,除了有具体的研究对象外,还有统一的研究方法。化学工程学作为一门工程技术学科,面临着真实的、复杂的化工生产过程,其复杂性不完全在于过程本身,而首先在于化工设备复杂的几何形状和所处理的物料千变万化的物性。例如,过滤中发生的过程是流体的流动,本身并不复杂,但滤饼提供的则是形状不规则的网状通道,并且过滤物各式各样,使过滤这一过程复杂化。要对其流动过程做出如实的、逼真的描述几乎不可能,采用理论的研究方法困难重重。因此,对实际的化工生产过程,探求合理的研究方法是化学工程学科的重要方面。

化学工程学的发展过程中形成了两种基本的研究方法。一种是经验归纳法,即对一些化工过程,通过大量实验归纳影响过程的变量之间的关系,常采用物理学的相似论和因次分析法等。例如,热交换过程中的传热系数是通过实验测定将其归纳成量纲为一的相似特征数的关系式予以确定的。另一种是数学模型法。化工生产过程中的问题并不是用经验归纳法都能解决,化学反应工程的复杂性用物理学的相似方法和因次分析的方法不能完全解决,它的研究主要借助于数学模型法。数学模型法的实质是使复杂的工程问题简化或分解为一个或若干个单纯的问题。例如,将工业化学反应器中传递过程和反应过程的相互关联、互相制约的复杂问题分解成化学方面、传递过程方面和两者的结合方面的问题。化学方面的问题归纳为研究反应对象,提出反应动力学模型;传递方面的问题归纳为研究不同类型反应器,提出反应器的传递模型;而两者结合的问题则是将各种反应模型和各种传递模型相结合的问题。

数学模型法应用于解决化工生产过程的实际问题,推动了化学反应工程的迅速发展,使化学工程学摆脱了单纯从实验数据归纳过程规律的传统做法。例如,前面涉及的单元操作过滤也可使用数学模型法,将滤饼中的不规则网状通道简化成若干个平行的圆形细管,由此引入的一些修正系数则由实验测定,从而建立起过滤过程的数学模型。

1.2.4 本课程的学习目的

根据化学和化学师范专业的培养目标,学习“化学工程基础”课程的目的如下:

(1) 加深对基本理论的理解。熟悉化工生产中涉及的基本原理和典型设备,了解它们在化工生产中的应用,理解物理化学原理和化学工程基础中的规律在化工生产中的应用,以及这些规律在设备的选择、工艺流程的确定、操作条件的优化等方面所起的作用,加强理论与实际的联系,从而加深对物理和化学原理的理解。

(2) 提高分析问题和解决问题的能力。认识在化工生产中分析问题、解决问题的方法和途径。实际生产过程中存在诸多影响因素,需根据生产特点,抓住主要因素,确定生产流程和设备。

(3) 指导化学科研工作。科研实验的结果能否应用于生产中是检验其能否成为科研成果的标志。在实验室的研究过程中,不仅要探索反应的最适宜条件,而且要考虑工程因素和实际生产条件的各种限制因素。在确定原料路线时既要考虑技术经济的原则,在工艺中又要考虑能量和原料的综合利用,同时还要考虑环保的要求和可持续发展的要求。

1.3 化学工程学的基本规律

在化学工程研究、化工过程开发及设备的设计、操作时,经常要用到的是物料衡算、能量衡算、平衡关系和过程速率等基本规律。

1.3.1 物料衡算

物料衡算遵循质量守恒定律。对任意化工生产过程的进入物料量、排出物料量和积累物料量进行衡算,其衡算式为

$$\sum m_i = \sum m_o + A \quad (1-1)$$

式中, $\sum m_i$ 为输入系统物料量的总和; $\sum m_o$ 为输出系统物料量的总和; A 为系统内积累的物料量。

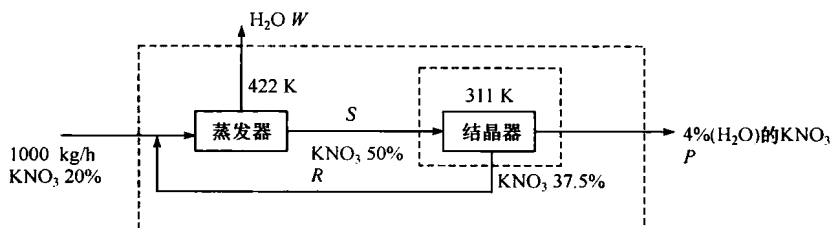
无化学变化时,混合物中的任一组分都符合此通式,当有化学变化时,物料中所具有的各种元素仍然符合此通式。

物料衡算的范围根据衡算目的而定,可以是一个单一设备或其中一部分,也可以是一组设备,还可以是一个生产过程的全流程。进行衡算的物料可以是总物料,也可以是其中某一组分。

物料衡算是化工计算中最基本、最重要的计算,也是其他化工计算的基础。物料衡算概念虽然简单,但它在化工生产过程中起着重要作用:

- (1) 根据处理的物料量,确定设备的某些主要尺寸或规模。
- (2) 拟订加工方案,选择工艺流程。
- (3) 了解操作偏离正常情况的程度,为进一步改进提供依据。

【例 1-1】 KNO_3 溶液浓度为 20%, 以 1000 kg/h 的速率加入蒸发器中, KNO_3 溶液浓度达到 50%, 温度为 422 K, 冷却结晶, 结晶温度为 311 K, KNO_3 晶体含水 4%, 母液中 KNO_3 浓度为 37.5%, 送回蒸馏器浓缩, 计算 KNO_3 晶体的产量 P 、蒸发的水分量 W 、循环的母液量 R 及被浓缩 KNO_3 (50%) 的速度 S 。



解 (1) 总的物料衡算。

$$1000 = W + P$$

KNO_3 的衡算

$$1000 \times 0.2 = P \times (1 - 0.04)$$

H_2O 的衡算

$$1000 \times 0.8 = W + P \times 0.04$$

得 $P = 208.3 \text{ kg/h}$, $W = 791.7 \text{ kg/h}$ 。

(2) 结晶器的物料衡算。

$$S = R + 208.3$$

KNO₃ 的衡算

$$S \times 0.5 = 0.375R + 0.96 \times 208.3$$

H₂O 的衡算

$$S \times 0.5 = 0.625R + 0.04 \times 208.3$$

得 $S = 974.0 \text{ kg/h}$, $R = 766.6 \text{ kg/h}$ 。

1.3.2 能量衡算

能量衡算依据能量守恒定律。根据能量守恒定律,对于连续、稳定的操作过程,输入系统的能量等于输出系统的能量,即

$$\sum E_{\text{输入}} = \sum E_{\text{输出}} \quad (1-2)$$

有化学反应参加的过程,式(1-2)变为

$$\sum E_{\text{输入}} + \sum E_{\text{反应放出}} = \sum E_{\text{输出}} + \sum E_{\text{系统积累}} \quad (1-3)$$

能量可随进、出系统的物料一起输入、输出,也可以分别加入与引出。化工生产过程涉及的能量主要为热量,能量衡算多为热量衡算。

热量衡算以物料衡算为基础,与物料衡算一样,能量衡算主要有下列作用:

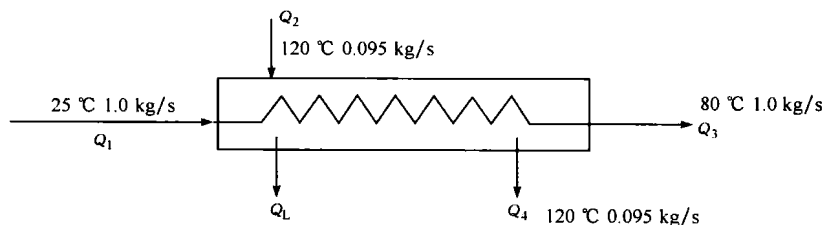
(1) 根据能量的形式及其转化,确定能量输出或输入的基本方法和措施(如加压、减压、加热、冷却、蒸发等)。

(2) 根据过程需要输入或输出的数值,确定设备的基本尺寸(如流体输送泵的功率、换热器的面积等)。

(3) 根据能量的关系,确定能量综合利用的途径。

(4) 根据能量衡算的结果,考察操作偏离正常情况或偏离设计条件的程度,为改进工艺或条件提供依据。

【例 1-2】 在换热器内将平均比热容为 $3.56 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 的某种溶液自 25°C 加热到 80°C , 溶液流量为 1.0 kg/s , 加热介质为 120°C 的饱和水蒸气, 其消耗量为 0.095 kg/s , 水蒸气冷凝成同温度的饱和水后排出, 试计算此换热器的热损失占水蒸气所提供能量的百分数 (120°C 水蒸气的 $H = 270 \text{ kJ/kg}$, 水的 $H = 503.7 \text{ kJ/kg}$)。



解 求 $\frac{Q_L}{Q_2 - Q_4} \times 100\%$ 。

热量衡算式:

溶液带入系统的热量(Q_1) + 饱和水蒸气带入的热量(Q_2)

= 溶液带出系统的热量(Q_3) + 饱和水带走的热量(Q_4) + 换热器的热损失(Q_L)

因为 $Q_1 = 1 \times 3.56 \times (25 - 0)$, $Q_2 = 0.095 \times 2709$, $Q_3 = 1 \times 3.56 \times (80 - 0)$, $Q_4 = 0.095 \times 503.7$, $Q_L =$

13.7 kJ/s , 所以 $\frac{Q_L}{Q_2 - Q_4} \times 100\% = 6.5\%$ 。

1.3.3 平衡关系

平衡是在一定条件下物系变化可能达到的极限。化工生产中的许多过程,无论在何种条件下,只要经过足够长的时间,都会达到平衡状态。例如,热量从热物体传向冷物体,过程的极限是两物体的温度相等。又如,食盐在水中溶解时,一直进行到溶液达到饱和为止,此时食盐和溶液处于平衡状态。在化学反应中,当正、逆反应的速率相等时,反应达到平衡。

通过平衡关系可以判断过程能否进行,以及进行的方向和能达到的程度,对分析化工过程具有重要意义。例如,考虑外界参数对平衡的影响和系统物系对平衡转化率的作用,寻求最大限度利用物料或能量所应选择的操作条件。当操作条件确定后,依据此时物料或能量能够达到的极限,选取合理的加工方案和适宜的设备。

1.3.4 过程速率

任何系统如果不处于平衡状态,则必然会发生趋向平衡的过程。物系所处状态与平衡状态的偏离是造成这种过程进行的推动力,其大小决定着过程的速率。推动力越大,过程速率越大;物系越接近于平衡态,推动力和过程速率越小;当达到平衡时,过程速率变为零。过程速率也可通过减少过程阻力的办法来提高,这已在很多科学定律或定理中得以证实。例如,电学中的欧姆定律,电流反比于电阻。实际上,自然界中任何过程的速率都可表示为

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

推动力和阻力的性质取决于过程的内容。传热过程的推动力是温度差,阻力为热阻;传质过程的推动力是浓度差,阻力则为扩散阻力。阻力的具体形式与过程中物料特性和操作条件有关。过程速率是决定设备尺寸的重要因素。当处理的物料量一定时,较高的过程速率通常可采用较小的设备。

1.4 化学与化工生产

化学工程学是以化工生产过程为主要研究对象的学科,化工生产过程是将自然界的物质经过化学与物理方法的处理,制造成生产资料和生活资料的工业制造过程。因此,化工生产过程与化学有着密切的关系。

1.4.1 从实验室研究到工业化生产

在化工生产过程的研究中,无论是新产品的研制,还是新的生产工艺过程的开发,或原来的生产方法和工艺的改进等,都是在化学理论研究和应用研究的基础上,从实验室研究开始的。而将实验室的研究成果在工业生产上实施的研究过程称为化工开发过程。

从实验室研究到实现工业化生产,不仅有生产量的变化,而且有本质的飞跃。两者既有联系又有很大的差异。

(1) 实验室的研究设备较小,难以对工业设备中出现的传热、传质以及物料的流动和混合等因素做充分的考察。

(2) 实验室一般采用较纯的化学试剂为原料,物料配比也较准确,而工业生产中的原料来源不同,纯度和工艺条件的控制等很难达到实验室研究的精密程度。因此,工业生产中获得的产品其产量、质量和收率都较难达到实验室研究的水平。