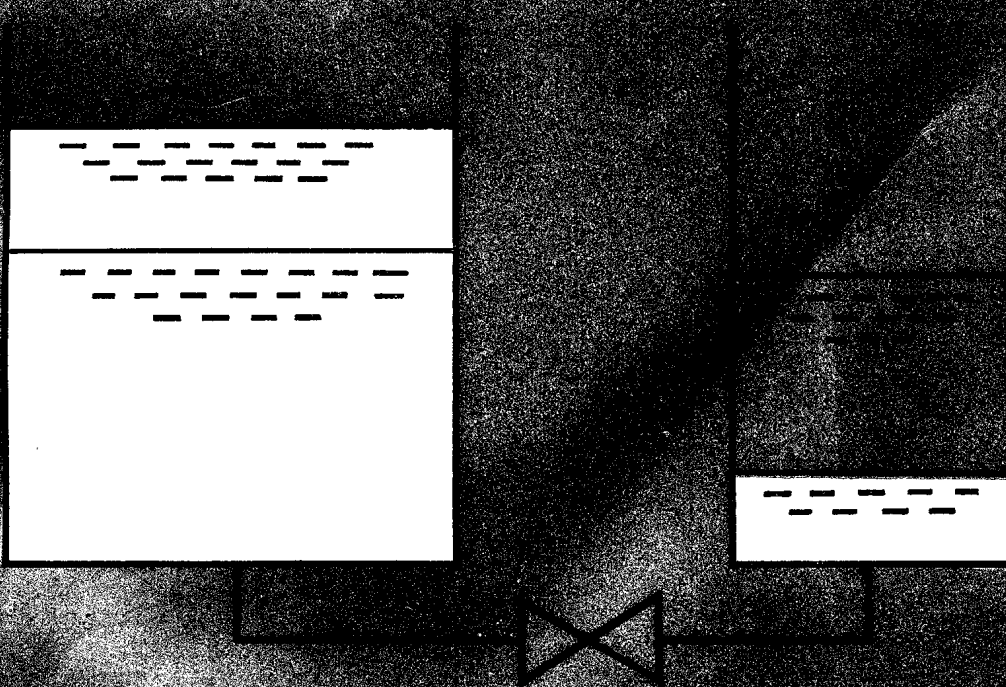


高等學校試用教材

化工基础

下 册

上海師範學院 滬南師範大學 編



人民教育出版社

高等学校试用教材

化 工 基 础

上 册

上海师范学院 福建师范大学 编

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新华书店上海发行所发行

常州人民印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 $16 \frac{4}{8}$ 字数 377,000

1980年11月第1版 1981年6月第1次印刷

印数 00,001—26,000

书号 13012·0536 定价 1.25 元

前 言

本教材是为高等师范院校《化工基础》课程编写的。根据该课程的教学要求,本书除绪论外,分为三篇:(1)传递过程——包括流体动力过程、传热过程及传质过程的吸收和蒸馏,以代表性的单元操作对传递工程作了系统的分析和讨论;(2)化学反应工程——通过对基本反应器、气固相催化反应器以及物料停留时间分布和流动模型的阐述,简明扼要地说明了化学反应工程中的主要内容;(3)化学工艺——以硫酸、合成氨和石油化工为范例,对工艺路线和技术方案及有关问题作了概括而全面的综述和评价。

在编写过程中,我们认真地考虑了本课程的目的要求和化工学科的特点,特别注意了以下几个方面:

(1) 在介绍基本概念和阐述基础理论时,尽可能地对它们所具有的物理概念予以清晰而准确的叙述,在这基础上再作简化而合理的数学推导来巩固概念,说明运用方法,以期学生在学习时能对有关内容有明确的理解。

(2) 化工学科需要综合运用物理和化学的理论,并结合本学科的概念和原理来解决化工生产中的问题。为此,本书力求与先行课程相衔接,又有意识地介绍综合运用多方面的知识来考察、分析和评价化工单元或生产过程的方法和思路,以提高学生综合分析和解决问题的能力。

(3) 为了便于自学,本书选取合宜的数据和图表来加强认识的形象化,又安排了一定数量的例题来巩固重要的概念和原理,介绍解决问题的基本方法,并提高化工运算的能力。

(4) 鉴于近年来化工生产的迅速发展,对照国外教材中的变革,本书尽量选取一些较新的内容,以适当地反映化工生产中的新成就。

(5) 为适应科学技术的发展和计量的国际化,本书全面地采用国际单位制,所用数据(包括公式以及附录)也作了相应的换算。

(6) 考虑到各高等院校和各地区的特点以及学时数等因素,本教材在编写时赋以较大的机动性,各章在一定程度上可以独立用来教学,各院校可根据教学大纲选用。例如为完成教学大纲的基本要求,可以对传质过程的蒸馏和吸收选讲其中之一(或都讲)。书中带有*号的部分可以作为完成教学大纲基本要求后的补充内容(如第三章)。在讲授各章节时对具体内容也可有所增删。此外,我们建议,教材中的例题,教师可选取少量在课堂示教,其余供学生在复习时自学,以巩固概念或明确运算方法。

(7) 为便于对本书内容检索,并为丰富有关化工术语的外文知识,本书书末编有中英文对照的索引备用。

本书由上海师范学院主编,其中绪论和第一篇由福建师范大学蒋家俊编写,叶恺荣,杨造鄯等参加了有关工作(上册部分);第二篇由上海师范学院钱白水编写,第三篇由上海师范学院吴迪胜编写,徐苏海、皮耐安、蒋银旗等参加了有关工作(下册部分)。

本书由河北师范大学主审。审稿过程中,华东师范大学、天津师范学院、北京师范大学、北京师范学院、东北师范大学、华中师范学院、华南师范学院、西南师范学院、南京师范学院、陕西师范大学、四川大学、武汉大学和华东化工学院以及其他一些院校的同志提出了许多宝贵的建设性的意见,对本书的修改定稿起了积极的作用。我们谨表示衷心的感谢。由于我们水平有限,书中必然存在不少错误和缺点,恳切希望各方面提出意见和批评。

编 者 1980 年 7 月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 本课程的内容	1
§ 1-2 学习本课程的目的	3
§ 1-3 化学工程和工艺中的一些基本规律	5
1-3.1 物质守恒	5
1-3.2 能量守恒	5
1-3.3 平衡关系	5
1-3.4 过程的速率	6
§ 1-4 国际单位制介绍	6

第一篇 传递过程

第二章 流体的流动和输送	13
§ 2-1 一些基本概念	14
2-1.1 理想流体和实际流体	14
2-1.2 流体的密度、比重和重度	14
2-1.3 流体的压强及其测量	16
2-1.4 流量和流速	20
2-1.5 稳定流动和不稳定流动	22
§ 2-2 流体稳定流动时的衡算	22
2-2.1 流体稳定流动时的物料衡算	22
2-2.2 流体稳定流动时的能量衡算	23
2-2.3 柏努利方程的应用举例	25
2-2.4 流体流量的测量	27
§ 2-3 实际流体的流动	32
2-3.1 粘度	32
2-3.2 流体流动的形态	36
§ 2-4 流体在圆管内流动时的阻力计算	38
2-4.1 滞流时的摩擦阻力	38
2-4.2 湍流时的流动阻力	39
2-4.3 局部阻力	43
2-4.4 管路计算	44
*2-4.5 化工管路布置	46
§ 2-5 液体输送机械	48
2-5.1 离心泵	48
*2-5.2 往复泵	52
*2-5.3 旋转泵	53
§ 2-6 气体输送和压缩机械	54
2-6.1 离心式风机	55
*2-6.2 旋转式风机	56
2-6.3 往复式压缩机	57
2-6.4 喷射泵	59

本章符号	50
复习题	60
习题	60
*第三章 流体通过床层的流动和流态化	63
§ 3-1 流体通过填充床层的流动	63
3-1.1 流体通过毛细管的流动	63
3-1.2 流体通过颗粒床层的流动	64
3-1.3 流体通过填料床层的流动	69
§ 3-2 固体颗粒在流体中的运动	70
3-2.1 球形颗粒的沉降	71
3-2.2 沉降速度的计算	73
3-2.3 重力沉降的应用	75
3-2.4 离心沉降	76
§ 3-3 流态化	77
3-3.1 流态化现象	78
3-3.2 床层的压强降	80
3-3.3 临界流化速度	80
3-3.4 带出速度	83
3-3.5 计算公式小结	85
§ 3-4 流化床	86
3-4.1 流化床的类型	86
3-4.2 流化床的床径和总高	88
3-4.3 气体分布板	89
本章符号	90
复习题	91
习题	91
第四章 传热过程	93
§ 4-1 概述	93
4-1.1 化工生产中的传热过程	93
4-1.2 传热中的一些基本物理量和单位	93
4-1.3 稳定传热和不稳定传热	94
§ 4-2 传导传热	94
4-2.1 热传导基本方程——傅立叶定律	94
4-2.2 平面壁的稳定热传导	95
4-2.3 圆筒壁的传导传热	98
§ 4-3 对流传热	99
4-3.1 对流传热机理	99
4-3.2 对流给热系数	100
4-3.3 对流给热系数的值	105
§ 4-4 热交换的计算	105
4-4.1 总传热方程	105

4-4.2	传热系数的大致范围	107
4-4.3	传热温度差	108
4-4.4	强化传热过程的途径	112
*4-4.5	间歇操作中的传热过程	112
§ 4-5	热交换器	117
4-5.1	列管式热交换器	117
4-5.2	其他热交换器	119
*§ 4-6	辐射传热	123
4-6.1	基本概念	123
4-6.2	管式炉	126
4-6.3	三种传热方式的概括比较	127
本章符号		128
复习题		128
习题		129
第五章 吸收		131
§ 5-1	概述	131
5-1.1	吸收的类型	131
5-1.2	吸收剂的选择	132
5-1.3	吸收操作的条件	132
§ 5-2	吸收的相平衡	133
5-2.1	亨利定律	133
5-2.2	用比摩尔分率表示的相平衡关系	134
5-2.3	气体在液体中的溶解度	136
§ 5-3	吸收速率	136
5-3.1	吸收机理——双膜理论	136
5-3.2	分子扩散定律——费克定律	137
5-3.3	吸收速率方程	141
*5-3.4	对流扩散和界面动力状态理论	144
§ 5-4	填料吸收塔的计算	146
5-4.1	填料层高度的计算式	146
5-4.2	吸收塔中的物料衡算——操作线方程	148
5-4.3	传质单元数的计算	150
5-4.4	传质单元高度的求算	154
§ 5-5	填料塔	156
5-5.1	填料	157
5-5.2	填料塔的附属设备	158
5-5.3	液泛速度和塔径的计算	159
5-5.4	喷淋密度和填料表面润湿率	162
5-5.5	填料层的压强降	162
*5-5.6	湍球塔	163
*§ 5-6	绝热吸收	164
*§ 5-7	化学吸收	169
本章符号		171
复习题		172
习题		172

第六章 精馏	175
§ 6-1 精馏原理	175
6-1.1 理想的二组分互溶体系	175
6-1.2 相对挥发度	177
6-1.3 非理想的二组分互溶体系	179
6-1.4 压强对气液平衡的影响	180
6-1.5 以 $t-x-y$ 相图表示的蒸馏过程	181
6-1.6 以 $x-y$ 相图表示的蒸馏过程	182
§ 6-2 简单蒸馏	183
6-2.1 简单蒸馏的操作和应用	183
*6-2.2 简单蒸馏的计算	184
*6-2.3 闪发蒸馏	186
§ 6-3 连续精馏	187
6-3.1 精馏的依据	187
6-3.2 精馏塔中物相组成的变化	188
6-3.3 回流比	190
6-3.4 连续精馏的流程	190
§ 6-4 连续精馏理论塔板数的计算	191
6-4.1 计算的前提	191
6-4.2 精馏段操作线方程	191
6-4.3 提馏段操作线方程	192
6-4.4 理论塔板数的图解求算	192
6-4.5 理论塔板数图解求算的原理	194
6-4.6 $t-x-y$ 相图的精馏图解	195
6-4.7 回流比与精馏的关系	196
*6-4.8 进料状态对精馏的影响	199
6-4.9 捷算法求理论塔板数	200
*§ 6-5 间歇精馏	202
6-5.1 回流比不变下的间歇精馏	203
6-5.2 间歇精馏的回流比的选择	204
§ 6-6 多组分精馏	205
6-6.1 多组分精馏的方式	205
6-6.2 多组分的气液平衡	206
6-6.3 关键组分	209
6-6.4 捷算法求理论塔板数	210
*§ 6-7 特殊蒸馏	212
6-7.1 恒沸蒸馏	212
6-7.2 萃取蒸馏	214
§ 6-8 板式塔	215
6-8.1 泡罩塔	216
6-8.2 浮阀塔	217
6-8.3 筛板塔	219
*6-8.4 浮舌塔	220
*6-8.5 穿流塔	220
6-8.6 塔板效率	221
6-8.7 填料塔与板式塔的对比	222
本章符号	223
复习题	223

习题	224	五、饱和水蒸气表	12
本篇主要参考书刊	226	六、一些气体的物理性质	14
附录 因次分析和单位换算	1	七、一些固体材料的导热系数	17
一、因次分析	1	八、扩散系数	18
二、单位换算	3	九、气体在液体中的溶解度	20
附表	6	十、二组分气液平衡数据	22
一、单位换算	6	十一、B型水泵性能表(摘录)	27
二、水的物理性质	7	十二、管壳式换热器系列标准(摘录)	28
三、一些液体的物理性质	10	十三、一些传热系数的数据	29
四、一些有机物的蒸气压	11	十四、一些填料的性质	30

目 录

第二篇 化学反应工程

第七章 基本反应器228

§ 7-1 化学反应器的类型228

7-1.1 按物料的相态分类228

7-1.2 按反应器的结构型式分类228

7-1.3 基本反应器230

7-1.4 理想流动和理想反应器230

§ 7-2 化学动力学基本方程式231

7-2.1 化学反应速率式231

7-2.2 均相定容过程的化学动力学方程式235

*7-2.3 均相变容过程的化学动力学方程式236

§ 7-3 间歇釜式反应器240

7-3.1 反应器有效容积的计算240

7-3.2 反应器总容积的计算242

§ 7-4 理想排挤反应器243

7-4.1 定容过程的反应器容积计算243

*7-4.2 变容过程的反应器容积计算246

§ 7-5 理想混和反应器247

§ 7-6 多釜串联反应器249

7-6.1 代数法250

7-6.2 图解法252

§ 7-7 反应器型式和操作方法的评比

和选择253

7-7.1 反应器生产能力的比较253

7-7.2 关于收率的分析256

§ 7-8 非等温过程264

7-8.1 温度对化学反应的影响265

7-8.2 热量衡算及其应用268

7-8.3 图解法求绝热式反应器的容积271

7-8.4 非等温反应器换热方式的选择272

§ 7-9 反应器的热稳定性272

7-9.1 热稳定性原理273

*7-9.2 热稳定性的控制因素275

本章增添符号277

复习题278

习题279

*第八章 物料停留时间分布和流动

模型282

§ 8-1 物料返混和停留时间分布282

8-1.1 返混与停留时间分布282

8-1.2 停留时间分布表示方法283

§ 8-2 停留时间分布的测定285

8-2.1 脉冲输入法285

8-2.2 阶跃输入法287

§ 8-3 停留时间分布曲线的定性应用288

§ 8-4 停留时间分布的数字特征288

8-4.1 平均停留时间289

8-4.2 停留时间分布的离散度290

§ 8-5 理想反应器的停留时间分布291

8-5.1 理想排挤反应器的物料停留时间分布291

8-5.2 理想混和反应器的物料停留时间分布291

§ 8-6 多釜串联模型294

§ 8-7 非理想流动反应器物料转化率的

计算297

§ 8-8 扩散模型298

8-8.1 有效扩散系数298

8-8.2 扩散模型的数学表达式299

8-8.3 扩散模型参数的确定301

本章增添符号304

复习题304

习题304

第九章 气固相催化反应器307

§ 9-1 固相催化剂概述307

9-1.1 催化剂的物理结构参数307

9-1.2 吸附作用308

§ 9-2 气固相催化反应过程310

9-2.1 气固相催化反应过程分析310

9-2.2 表面动力学过程311

9-2.3 外扩散过程315

9-2.4 内扩散过程315

9-2.5 反应过程的控制阶段318

§ 9-3 固定床催化反应器320

9-3.1 反应器的结构320

9-3.2 固定床的传热过程322

9-3.3 固定床的传质过程324

§ 9-4 流化床催化反应器324

9-4.1 反应器的类型324

9-4.2 流化床中各部分的动态325

本章增添符号328

复习题329

习题	330
本篇主要参考书刊	331

第三篇 化 学 工 艺

第十章 硫酸生产333

§ 10-1 硫酸概述	333
10-1.1 硫酸的用途和产品规格	333
10-1.2 原料	334
10-1.3 以硫铁矿为原料的生产原则流程	334
§ 10-2 炉气的生产和净制	335
10-2.1 硫铁矿焙烧原理	335
10-2.2 焙烧流程	337
10-2.3 炉气的净制	338
§ 10-3 二氧化硫的催化氧化	340
10-3.1 平衡转化率	340
10-3.2 催化剂与反应动力学	342
10-3.3 最佳工艺条件	343
10-3.4 生产流程	347
§ 10-4 三氧化硫生成硫酸	349
10-4.1 吸收成酸	349
10-4.2 冷凝成酸	350
§ 10-5 接触法制硫酸的全流程	351
10-5.1 水洗法二转二吸流程	352
10-5.2 干法净化制酸流程	353
§ 10-6 若干技术经济问题	354
10-6.1 技术经济指标	354
10-6.2 物料衡算与能量衡算	355
10-6.3 热能的合理利用	359
10-6.4 环境保护和综合利用	359
复习题	361

第十一章 合成氨362

§ 11-1 概述	362
11-1.1 重要性	362
11-1.2 原料	362
11-1.3 原则流程	363
§ 11-2 氨合成的热力学基础	363
11-2.1 化学反应与反应热	363
11-2.2 平衡常数	363
11-2.3 影响平衡时氨浓度的因素	365
§ 11-3 氨合成动力学	366
11-3.1 催化剂	366
11-3.2 宏观动力学过程	368
11-3.3 微观动力学过程	370
§ 11-4 氨的合成过程	371
11-4.1 最佳工艺条件	371

11-4.2 合成塔	373
11-4.3 合成流程	378
§ 11-5 原料气生产	380
11-5.1 以无烟煤为原料在固定层炉的气化法	381
11-5.2 其他生产方法及方法对比	383
11-5.3 变换和净制	384
§ 11-6 氨生产全流程	387
§ 11-7 技术经济分析和综合利用	389
11-7.1 生产规模大型化	389
11-7.2 热量综合利用	390
11-7.3 联合生产	391
复习题	393

第十二章 石油化工395

§ 12-1 概述	395
12-1.1 石油化工在国民经济中的重要性	395
12-1.2 原油	396
12-1.3 石油化工生产体系	396
§ 12-2 炼制	397
12-2.1 炼制方案	397
12-2.2 常减压蒸馏	398
12-2.3 催化裂化	400
§ 12-3 裂解与深冷分离	404
12-3.1 裂解反应	405
12-3.2 裂解最佳工艺条件	407
12-3.3 裂解炉与裂解流程	409
*12-3.4 裂解气的深冷分离	410
*§ 12-4 重整与萃取分离	415
12-4.1 重整反应	415
12-4.2 催化剂与最佳工艺条件	416
12-4.3 重整流程	418
12-4.4 萃取分离原理	419
12-4.5 萃取设备和流程	422
§ 12-5 氯乙烯的合成	425
12-5.1 氯乙烯的生产方法	426
12-5.2 氧氯化法生产氯乙烯	427
§ 12-6 石油化工生产中的环境保护	430
12-6.1 污染物来源	430
12-6.2 防治途径	430
§ 12-7 石油化工发展动态	432
12-7.1 生产规模大型化	432
12-7.2 原料	432
12-7.3 能量的综合利用	433
12-7.4 新工艺	436
复习题	437

附录1

索引7

第一章 绪 论

化学工业是国民经济的重要部门之一。化学工业的产值在国民经济的总产值中占显著的比值,并以高的增长率持续发展,例如 1976 年世界国民经济总产值中化工产值占 5.4%;2000 年时预计总产值将比 1976 年增长 56%,而化工产值将比 1976 年增长 87%。化学工业生产数以万计的产品,包括各种生产资料和生活资料,与工农业生产、国防、科学研究和人民生活有着重大的关系。例如,1977 年世界化肥产量为 4.73 亿吨(2000 年时预计为 14.7 亿吨),以有效成分计的农药为 220 万吨,这些对促进农业高产增产起决定性的作用。例如三大合成材料中,化学纤维在 1976 年生产 1260 万吨,已接近于天然纤维的产量,在 2000 年时预计将达 3863 万吨,远远超过天然纤维。塑料工业是发展很快的部门,1977 年产量为 5000 万吨,2000 年时预计将达 3.5 亿吨。高聚物的发展已经逐步改变了国民经济中的材料结构,在很多场合下代替了金属和非金属材料,并表现出其优良的性能。再如医药方面,1977 年世界年产值 470 亿美元,平均达 11 美元/人·年,2000 年时预计产值 2500 亿美元,平均将为 40 美元/人·年。此外,化学工业提供的新型材料(耐高温、抗腐蚀和侵蚀、具有特种光学和电学性能、特硬、高强度以及特殊功能的材料)也加速了新兴工业和科学研究的发展。化工的新技术,不仅减少了化工自身对原料和能量的消耗,开发了新工艺,也对能源和原料提供新的有希望的技术路线,如煤的气化、合成气化工、水制氢的新技术、模拟酶的应用等。

§ 1-1 本课程的内容

化学工业本身包括有种类繁多、形态殊异的各种化工生产过程,各个生产过程也由多个环节所组成。尽管如此,任何化工生产过程总涉及到两个基本内容:工程和工艺。与此相应,本课程的内容也包括化学工程和化学工艺两个部分。

化学工程研究和探讨的是化工生产过程中共同性操作的规律及其工程性质的问题。尽管化工生产过程有千殊万别的生产流程,并有型号繁多的装置设备,但它们总可以分解并归纳为在原理上相同或相似的一些基本单元,从属于一定的变化的规律。任举两个化工生产过程,如尿素生产和丙烯腈合成为例,如图 1-1 和 1-2 所示。从工艺上来说,这是两个迥然不同的反应,尿素生产中所涉及的是气液相非催化反应,反应比较简单,经过生成中间产物氨基甲酸铵的阶段,产物只有尿素和水。丙烯腈合成则是气固相催化反应,有多个副反应同时发生,生成多种产物。但从工程角度分析,可以将其单元归纳为一些基本类型,其设备设计、过程放大、操作控制等均遵循某些基本规律,如表 1-1 所示。

按上述方式将繁多的化工反应过程进行分析,可归纳为常称的“三传一反”,即动量传递(常指流体动力过程)、热量传递、质量传递和化学反应工程。包括上述内容的化学工程,是为解决化工生产过程中以下问题的:

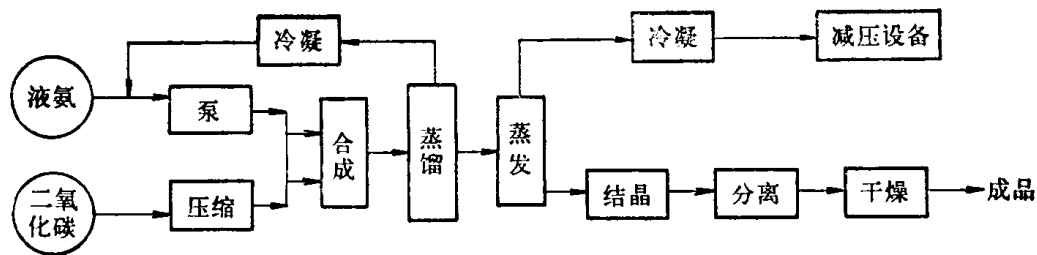


图 1-1 尿素生产流程

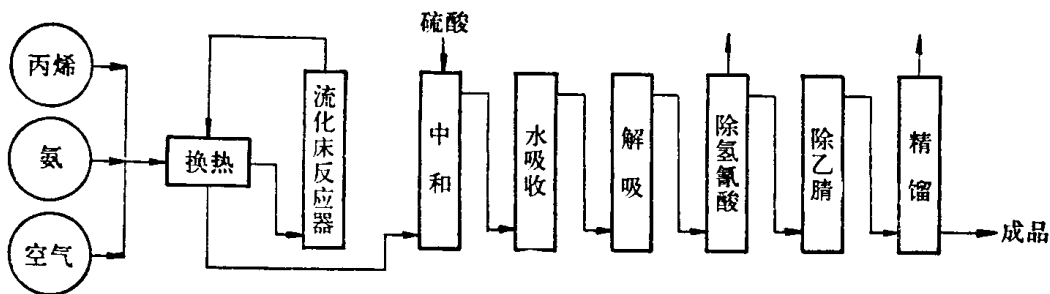


图 1-2 丙烯腈合成的流程

表 1-1 尿素生产和丙烯腈合成中的基本单元

过 程	尿素生产中	丙烯腈生产中	主导规律
流体动力过程	流体的输送 气体的压缩 结晶的分离 系统的减压	流体的输送 催化剂的流化	流体静力学和动力学规律
热量传递过程	蒸馏中的加热 蒸气的冷凝 蒸 发	流体间的换热 加 热 冷 凝	传导、对流、辐射的传热规律
质量传递过程	精馏(气液间传质) 结晶(液固间传质) 干燥(气固间传质)	精馏(气液间传质) 吸收(气液间传质) 解吸(气液间传质)	相平衡和两相间扩散传质规律
化学反应过程	尿素合成反应	丙烯腈合成反应 中和反应	综合传递过程的化学反应规律
机械操作	固体输送		力学规律

(1) 设计高效能的装置和设备,使之具有高的生产能力;改进现有的设备,使其性能更为完善。

(2) 确定操作的适宜条件和允许的变动范围,使生产尽可能地在最高效率点的附近进行,并预先估计到可能发生的波动及预防措施。

(3) 获得高的物料利用率,进行综合利用,并尽可能地充分利用能量和节约能量,取得合适的经济效果。

(4) 将实验室试验或中间工厂中试结果进行工程放大,即进行过程的开发,使科研成果能在工业上迅速得到应用。

(5) 指导实验室或中试工作, 获取能扩大应用于工业生产的试验数据。

以上问题中特别应当提及的是过程的工程放大。众所周知, 科研方法和手段与工业生产实际之间存在相当大的差异。工业设备(包括化学反应器)不可能按实验室仪器或中试装置单纯地以几何放大来设计。仅以催化反应中的热量而言, 科研中仅处理少量的, 一般为几克的催化剂, 要维持反应的进行, 无论对放热反应或吸热反应, 为补偿热的散失, 往往需要外加热量。工业生产中则用大量催化剂, 一般用量为几吨至几十吨, 因此, 工业生产中, 对放热反应必须移出大量热量, 以维持适宜的反应温度, 避免催化剂烧结和发生副反应, 并将这些热量充分利用; 对吸热反应则应尽可能设法使生产过程能利用过程中其它环节所副产的热量, 或用最经济和可靠方式输入热量。与此相应的, 实验室中可用精密的控制使反应基本上在指定的恒温下进行, 工业生产则必定有一定的温度波动范围, 同时, 工业反应器中不仅有纵向的, 并且有径向的温度差异。因此, 要满足均衡的温度分布, 工业反应器的结构相对实验室或小试装置而言, 必须作根本的改变。再例如有的反应在实验室中以固定床进行来求取化学动力学基本数据, 而在生产或中试中则有时要以流化床进行来获取放大数据。这种情况下, 不仅是设备结构, 甚至反应的历程(如内扩散与外扩散的问题, 扩散控制或反应控制的问题)也会发生变化。这些生产过程的开发或是放大, 以往总是按照生产中积累的经验, 逐级试验或逐级放大, 每次只放大几倍或几十倍, 以致旷日持久, 见效很慢。化学工程中新兴的重要分支——化学反应工程, 就是根据化学反应特性, 结合传递过程规律, 研究化学反应器以及反应器的选择和优化等问题。由于化学反应工程应用了数学模拟方法, 使反应器的设计和过程放大的倍数和可靠程度大为提高, 一次可放大几百至几千倍。化学反应工程是二三十年来新发展的学科, 有待于充实完善, 但它对于化工生产的积极作用, 已日益受到重视。

本书中涉及的化学工艺, 是在学习化学工程的基础上, 探讨几个典型的化工生产如合成氨、石油化工等的生产全过程及其优化。它的重点是根据物理化学原理, 结合技术经济原则, 如物料及能量的充分利用、降低投资和生产费用、提高劳动生产率、避免污染环境等, 选用可取的原料和技术路线, 确定最优的工艺条件, 制定合理的生产流程等。

§ 1-2 学习本课程的目的

根据化学系的培养目标, 学习《化工基础》课程的主要目的在于:

(1) 熟悉化工生产中的基本原理和典型设备, 以及它们在化工生产中的应用; 学习化工基础, 既可以加强理论与实际的联系, 了解物理、物理化学规律在化工生产中的应用, 它们在实际工作中对设备的选择, 操作条件的优化, 以至对生产流程的确定所起的重要作用; 又可以认识到, 由于实际生产的复杂性和具体过程的特性, 化学工程需要开拓其特定的工程规律和方法来解决这些有关问题, 从而还可以加深对物理和化学原理的理解。

(2) 认识化工生产中分析和解决问题的途径: 例如, 在实际生产中涉及的因素甚多, 需要研究怎样判别它们的主次来确定适宜的设备类型或结构, 优惠的操作条件或经济而适用的加工方案等。又如在反应过程中, 如何根据反应平衡和反应速率(包括催化剂的应用)以得出反应的适宜条件, 以及如何进一步综合技术的、经济的以至环境保护的要求得出较好的工艺流

程。再例如在工业实际生产中,化学反应自身的特性(如可逆或不可逆,简单或复杂,吸热或放热,反应的级数和历程等)固然对反应器的选型和结构有重要的作用,而反应器的操作方式和反应物的流动形态也会对反应的转化率和产物的分布有一定程度的影响;即对影响因素要从多方面来考虑和分析。通过本课程的学习,可以初步了解化工生产中涉及到的问题的特点,分析的思路,以及怎样来判别和解决。

(3) 有助于指导化学科研工作:将实验室试验结果应用到实际生产,称之为过程的开发;将小型或中型试验扩大为工厂规模的生产,称之为过程的放大。过程是否能开发放大或值得开发放大,是评价科研成果能不能取得实效的重要标志。这些不单纯取决于是否在实验室中探索出反应的适宜条件,而是有相当多的工程因素和实际条件应当予以考虑。例如有不少化学科研工作在实验室取得较好的结果,但并不能用于生产。究其原因,主要是因为有关人员缺乏化工生产的基本知识,有的在确定原料路线时没有考虑到技术经济原则,有的在选择加工方案时没有考虑到能量或原料的充分利用,有的在确定工艺条件时没有考虑到实际生产的情况,有的在制订流程时忽略了某些环境保护的要求,有的虽然获得优惠的工艺条件,但没有提供必要的工程放大数据等等。从另一个角度讲,学习化学工程也有助于改进实验室的装置及其组合,以及实验的操作方式、方法和条件,即对实验的优化可提供指导性的意见,使科研取得更好的成果。

各门学科都有它自身的特点。学习时要针对学科的特点改进学习方法,才能取得较好效果。现提出以下几点供学习时参考:

(1) 化工基础是一门综合性的课程,它处理实际化工生产有关的问题并探讨其原理和规律,它涉及的面很广,牵连的因素很多;显然,对这些因素不能等量齐观,而应当通过分析,分清主次,搞清主次间的相互关系。只有这样,才可以理解得较深刻,所获得的知识就不是零碎的和孤立的,而是较系统和较完整的。

(2) 与其他课程一样,学习时首先要理解各章中的基本概念、基本原理和基本运算方法,然后在这基础上联系实际,逐步深入。

以《流体的流动与输送》这一章为例,在基本概念方面,除了了解有关流体的物理概念之外,对新引入的工程学中的流体流动形态、流动边界层和无因次的雷诺准数的涵义及作用要充分理解;在这基础上才能对有关的基本原理和阻力计算公式(泊稷耳公式及范宁公式)有清晰的了解并懂得其应用条件。基本原理中还有柏努利公式,只有对该公式的本质(能量守恒在流体流动中应用时的特殊表达形式)和各项的意义搞清楚,才能灵活应用。

(3) 化学工程中需要相当重视物理量的意义,单位和因次。这是因为工程上涉及到相当多的计算,而计算中又涉及到众多的物理量。如果对物理量缺乏明确的理解,就容易引起混淆。

(4) 化学工程中要求对基本计算方程的物理意义及应用的条件有清晰的了解,但并不要求记熟经验公式或准数关联式(但重要的准数应当记住)。根据以往经验,工程运算中的大部分错误主要来自三个方面:套用公式而不明确公式的物理意义,不掌握公式应用的前提或条件;物理量的运用不严格,单位或因次不统一,或物理量单位没有经过必要的换算;计算时没有选用一定的基准,以致先后数据混淆。

§ 1-3 化学工程和工艺中的一些基本规律

化学工程和工艺中普遍地起作用的基本规律有：物质守恒，能量守恒，以及有关平衡和过程速率的规律。

1-3.1 物质守恒

物质守恒定律在化学工程和工艺中表现为物料衡算。在稳定条件下，物料衡算指出：

$$\text{输入物料} = \text{输出物料}$$

物料衡算虽然简单，但在化工生产过程中起重要的作用，例如：

- (1) 根据处理的物料量，确定设备的某些主要尺寸或规模(如吸收塔的塔径)。
- (2) 拟订加工的方案和选择流程（如按所处理的量确定是否应当综合利用以及三废的处理方案）。
- (3) 确定实际转化率下物系距平衡的远近，从而了解过程推动力的大小(如传质过程中的操作线)。

- (4) 揭示操作偏离正常情况的程度，为进一步改进提供依据。

1-3.2 能量守恒

能量守恒定律在化学工程和工艺中表现为能量衡算。能量衡算指出：

$$\text{输入能量} = \text{输出能量}$$

在有反应热效应的场合下：

$$\text{输入能量} + \text{反应释出能量} = \text{输出能量} + \text{系统中积累能量}$$

化学工程和工艺中也常用到热量衡算。

象物料衡算一样，能量衡算主要起以下作用：

- (1) 根据能量的形式及其转化，确定能量输入或输出的基本方法和措施（如加压或减压，加热、冷却或冷冻，蒸发或冷凝等）。
- (2) 根据过程需要输入或输出能量的数值，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(如副产蒸汽或研究过程能否利用过程释出的能量等)。
- (4) 根据能量衡算，预计反应或过程进行的情况及必需采用的措施(例如预先估算出放热反应可能引起的绝热温升等)。
- (5) 考察操作偏离正常情况或设计条件的程度。

1-3.3 平衡关系

有关平衡的规律可以预告过程能够到达的极限，例如连通器中的液面最终是处于同一水平面，换热的极限是换热终了处冷热液体温度相同，气体吸收的极限是当时条件下气体在液体中的溶解度，反应的极限是当时条件下的平衡转化率等。因此，平衡条件指出：

- (1) 当时条件下物料或能量能够利用的极限，从而可以确定加工的方案(如转化率低的循环利用的方法)。

(2) 考察外界参数(如系统的压强和温度)对平衡的影响和体系物性(如反应物浓度、添加剂的数量)对平衡转化率的作用,可以找出最大程度利用物料或能量所应选择的条件。

(3) 可以用实际操作结果与平衡的数据的比较作为衡量过程的效率,从而找出改进的方法(如塔设备的塔板效率,或是改进塔板结构,或是改进操作条件)。

1-3.4 过程的速率

过程的速率决定设备的生产能力。显然,过程的速率越高,设备生产能力越大,或设备的尺寸越小。过程速率可用如下的基本关系表达:

$$\text{速率}(v) \propto \frac{\text{过程推动力}(\Delta)}{\text{过程阻力}(R)}$$

过程的推动力是过程在该瞬时距平衡的差额,它可以是压强差、温度差或浓度差等。实际生产中都力求有较高的过程速率,它可以用增大过程的推动力来得到,如流体流动过程中加大压强差,热交换时提高温度差,传质时提高浓度差,反应时提高浓度差等。过程速率也可以通过减少阻力的办法来提高,如流体输送时加大管径,对流传热时附加搅拌,传质时提高流体的湍动程度,多相传质时降低扩散阻力,反应时用催化剂降低活化能等。采用各种措施来提高过程速率时,要考虑到所选用的措施不应降低物料和能量的利用率,或引起副作用或副反应的发生,也不宜增添过多设备而使投资过分提高。总之,由于化工生产的多样和复杂,要针对具体过程的特点采用合适的手段和措施。

此外,化学工程和工艺除引用物理、化学、工程学中的重要原理和定律外,本身也有其重要的基本概念(如压头、准数、比摩尔分率等)、基本原理(如边界层理论、双膜理论、扩散模型等)和基本运算(如图解积分、解析积分等)。这些应当在学习以下各章时着重掌握。

§ 1-4 国际单位制介绍

工农业生产、科学实验和日常生活中经常需用一定的计量单位来计量物质及其运动的数量和强度等。化工生产中也是这样。物料的物理性质(如密度、粘度、比热、膨胀系数等)以及过程的参变数(如温度、压强、反应时间等)都对过程的结果(如转化率、产率、生产能力)有显著的影响,过程中都必须加以计量和控制。这些物理性质、参变数等称为物理量。尽管物理量的种类很多,它们都可以用一些基本单位来计量,例如:

$$\text{面积(米}^2\text{)} = \text{长度(米)} \times \text{长度(米)}$$

$$\text{体积(米}^3\text{)} = \text{长度(米)} \times \text{长度(米)} \times \text{长度(米)}$$

$$\text{密度(公斤/米}^3\text{)} = \text{质量(公斤)} / \text{体积(米}^3\text{)}$$

$$\text{力(牛顿)} = \text{质量(公斤)} \times \text{加速度(米/秒}^2\text{)}$$

其中:米(m)是计量长度及其有关物理量的基本单位,公斤或千克(kg)是计量质量及其有关物理量的基本单位,秒(s)是计量时间及其有关物理量的基本单位,另外还有一些其他的计量基本单位。

这些物理量的单位中, m^2 中的2(平方), $\text{kg}^1 \cdot \text{m}^{-3}$ 中的1(一次方,通常不写上标)、-3(负立方)等称为因次(或量纲)。所有物理量都可以用一定的基本单位和一定的因次计量。

国际上曾有多种计量单位并行使用,在科学技术和国际交往中造成很大的不便。随着科学技术的发展,要求有统一的度量单位。1875年十七国签订“米制公约”;1889年第一届国际计量会议确定米(长度单位)、千克(质量单位)、秒(时间单位)三个基本单位。之后,基本单位有了扩充,单位的定义也经过多次的修订。1960年第十一届国际计量会议确定了“国际单位制”(代号为SI),1971年国际计量会议将物质的量的单位也作为基本单位。国际单位制已得到国际上的普遍承认和采用。

1977年国务院颁发《中华人民共和国计量管理条例(试行)》,明确规定“我国的基本计量制度是米制(即“公制”),逐步采用国际单位制”。

为适应科技发展的需要,本书中采用国际单位制。为此,本节对国际单位制作扼要的介绍,但介绍将局限于本书涉及到的物理量。

工程上目前还大量应用以重力为基础的工程单位制($m \cdot kgf \cdot s$ 制,即米·公斤力·秒制),从理化手册和已有的科技资料所得的数据还主要是物理单位制(cgs制,即厘米·克·秒),因而在以下有关章节中将介绍这些单位制之间的必要的换算。

国际单位制的基本单位

国际单位制使用7个基本单位,2个辅助单位,其他的物理量的单位都是在这基础上导出的。7个基本单位列于表1-2,2个辅助单位是:平面角(弧度,rad)和立体角(球面度,sr)。

表 1-2 国际单位制基本单位

物 理 量	名 称	代 号	
		中 文	国 际
长 度	米(metre)	米	m
质 量	千克(公斤)(kilogram)	千克(公斤)	kg
时 间	秒(second)	秒	s
电 流 强 度	安培(ampere)	安	A
热力学温度	开尔文(kelvin)	开	K
发 光 强 度	坎德拉(candela)	坎	cd
物 质 的 量	摩尔(mole)	摩	mol

一些基本单位的定义为:

米等于氪-86原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁所对应的辐射在真空中波长的1 650 763.73倍。

千克(公斤)等于国际千克(公斤)原器的质量(原器是指保藏在法国塞夫尔的铂铱合金圆柱体)。

秒等于铯-133原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射周期的9 192 631 770倍的持续时间。

热力学温度单位开尔文等于水三相点热力学温度①的 $1/273.16$ 。

摩尔是一物系的物质的量,该物系中所包含的基本单元数(可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子或这些粒子的特定组合体)与0.012千克(公斤)碳-12的原子数目相等。

① 水的三相点为273.16K(或 0.01°C)。摄氏温度($^{\circ}\text{C}$)可与SI单位并用,也可构成组合单位。

具有专门名称的国际制导出单位

有了基本单位, 其他物理量的单位可以用基本单位通过乘、除关系组合起来, 称为导出单位。导出单位中有十七个给予专门名称, 其中的一些列于表 1-3。

表 1-3 一些用专门名称表示的国际制导出单位

物 理 量	单 位	国际符号	用 SI 基本单位表示	用其他国际制单位表示
力	牛 顿	N	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$
压 强	帕 斯 卡	Pa	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
能、功、热量	焦 耳	J	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$	$\text{N} \cdot \text{m}$
功 率	瓦 特	W	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$	$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$
电 量	库 仑	C	$\text{s} \cdot \text{A}$	
电位、电压、电动势	伏 特	V	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{W} \cdot \text{A}^{-1}$
电 阻	欧 姆	Ω	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$	$\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$
频 率	赫 兹	Hz	s^{-1}	

在这些单位中, 应特别注意到以下几个单位:

力——国际单位制对质量以 kg 为基本单位, 力的单位是导出单位。导出的根据为: 力 = 质量 $\times$ 加速度。力的单位是牛顿 N。1 牛顿是使 1 千克(公斤)质量的物体产生 1 米/秒² 加速度的力。

压强——压强的单位是帕斯卡 Pa。帕斯卡 Pa 是牛顿/米²。

能量和功——能量和功的单位是焦耳 J。焦耳 J 是牛顿·米。无论机械能(功)、电能、热能、化学能或其他形式的能量都以焦耳为单位。

国际计量会议建议, 除某些并用单位外, 其他非国际单位制的单位都应逐渐废除, 尤其目前所用的工程单位制(重力单位制)的力和重量单位(公斤力)及其导出单位(如压强单位——公斤力/厘米², 功的单位——公斤力·米等)都应逐渐用相应的国际制单位代替。常用热量单位卡, 如热化学卡(=4.184 焦耳)和国际蒸汽表卡(≈ 4.1868 焦耳)等也应逐渐废除。cgs 制(物理单位制)中的能的单位(尔格)、力和重量的单位(达因)应尽量避免使用。建议一般不用(或禁用)的一些单位列于表 1-4。

其他的一些导出单位

化学工程中还常用到一些物理量, 这些物理量可以用基本单位组合表示, 但有时单位太多, 而且意义不直观, 这时用有专门名称的导出单位来组合比较方便。工程上常用的一些导出单位列于表 1-5。

与国际制单位并用的单位

有些现在已普遍使用的单位, 由于方便和实用, 虽不属于国际制单位, 还允许与国际制单位并用, 但通常不允许与国际制单位构成组合单位。此外, 有些单位允许暂时与国际制单位并用。这些单位的有关部分列于表 1-6。

国际单位制的词冠

当使用的单位的数值过大或过小时, 可以在单位符号前面加上词冠(表 1-7), 来构成国际制单位的倍数或分数单位。