



全国高等师范专科学校教材

化学工艺学

(第二版)

崔恩选 主编

高等教育出版社

全国高等师范专科学校教材

化 学 工 艺 学

(第 二 版)

崔恩选 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

高 等 教 育 出 版 社

内 容 提 要

本书是根据国家教委师范司1988年制订的二年制师范专科学校“化学工艺学教学大纲”(1989年4月颁布)的要求,在1985年《化学工艺学》(第一版)基础上修订而成的。全书共十二章,分两大部分。第一部分为化学工程基本原理,内容包括流体的流动与输送、传热过程、吸收、蒸馏、化学反应器;第二部分为化学工艺学,内容包括硫酸工业、合成氨工业、氯碱工业、石油化学工业、纯碱工业、高分子化学工业、农药工业,以及有关复习题、习题。本书的最后三章(标有“*”号)不包括在教学大纲范围之内,供各校选讲时参考。

本书除用作高等师范专科学校化学系教材外,亦可供其他化学、化工技术人员参考。

全国高等师范专科学校教材

化 学 工 艺 学

(第 二 版)

崔恩选 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 20.25 字数 470 000

1985年4月第1版 1990年5月第2版 1990年5月第1次印刷

印数0001—10 420

ISBN 7-04-002867-0/O·926

定价 4.00 元

第二版 前 言

本书是根据国家教委师范司 1988 年制订的二年制师范专科学校《化学工艺学教学大纲》(1989 年 4 月颁布)的要求,在 1985 年出版的《化学工艺学》(第一版)基础上修订而成的。

在修订过程中,基本保持了第一版教材的体系,删去了与 1988 年制订的教学大纲要求不符的内容,使本书更加符合当前我国师范专科学校教学实际。本书仍保留了部分供各校选讲的内容,可不作教学要求,用“*”号标出。

本书由河北师范大学崔恩选主编。执笔人有:绪论及第三、四、五章崔恩选;第一、二、六章谢锐;第七、八章顾登平;第九、十一章潘鸿章;第十章郑河;第十二章周兆金。

本书经上海师范大学吴迪胜审稿,提出了许多宝贵意见,在此表示谢意。

编 者

1989 年

第一版 前 言

本书是根据1982年12月教育部在四川江津召开的会议上制定的师范专科学校化学专业《化学工艺学》教学大纲编写的。

化工学科包括化学工艺学、化学工程和化工机械等许多分支。根据师范专科学校的培养目标,本书选编了作为化工学科理论基础的化学工程基本原理部分和在中学化学教学中较常涉及到的并有代表性的无机化学工艺与有机化学工艺部分。其中*符号的部分章节为选讲内容,可根据学时和地区特点自行选用。

本书在内容上力求少而精,并以定性阐述基本概念和基础理论为主。少量必要的定量计算是为了进一步加深对基本概念和基础理论的理解。全书各物理量的量纲基本采用国际单位制(SI),但也兼顾某些暂时并用的单位。化学工程基本原理部分的各章都配有适当数量的习题及复习题,主要工艺部分配有复习题。化学工艺部分的取材,注意到某些典型化工产品的先进工艺内容,适当反映了化工生产中的某些新成就。

由于各种化学工艺过程都不可避免地要涉及有关的化学工程基本原理和设备。因此,本书在编写次序上先是化学工程基本原理部分(第一~五章),后是化学工艺部分(第六~十二章)。鉴于师专化学专业学生在学习本课程以前没有或很少接触化工生产,缺乏化工生产方面的感性知识,编者建议在讲授化学工程基本原理之前,先选讲一章简单的典型工艺,例如硫酸工业或合成氨工业,并通过现场教学或参观,使学生对化工生产实际有一定的认识,在此基础上再进行化学工程基本原理部分的教学以及化学工艺部分的教学,这样可能有利于对各部分内容的理解。

本书由河北师范大学崔恩选担任主编。绪论和第三、四、五章由崔恩选编写;第一、二、六章由河北师范大学谢锬编写;第七、八章由河北师范大学顾登平编写;第九、十一章由河北师范学院潘鸿章编写;第十章由唐山师范专科学校郑河编写;第十二章由重庆师范专科学校周兆金编写。全部书稿最后由崔恩选、谢锬统一修订定稿。

本书由上海师范学院吴迪胜主审。审稿过程中承武汉大学曹正修、北京师范大学王定锦、东北师范大学沈鸿福、华东师范大学孙国清、上海师范学院钱白水、临沂师范专科学校李景固、廊坊师范专科学校赵彦茹、安阳师范专科学校陈泰安、鞍山师范专科学校林瑞民、天水师范专科学校李永康等同志提出了许多宝贵的意见,对本书的修改定稿起了积极的作用。我们在此表示感谢!

为师范专科学校化学专业编写《化学工艺学》教材,对我们来说还是初次尝试。限于编者的水平,无论在观点、方法或取材、叙述等方面,都会存在不少的缺点和问题。希望使用本书的广大师生批评指正,俾使以后有机会时加以修改。

编 者

1983年12月

目 录

绪论	1	第二章 传热过程	34
§ 1 化学工艺学的课程内容	1	§ 1 概述	34
§ 2 化学工业的分类	2	1-1 化工生产中的传热过程	34
§ 3 化学工艺学中的一些基本概念	3	1-2 工业上的换热方法	35
3-1 物料衡算	3	1-3 稳态传热与非稳态传热	35
3-2 能量衡算	4	1-4 传热的基本方式	35
3-3 平衡关系	4	§ 2 传导传热	36
3-4 过程速率	4	2-1 热传导基本方程——傅立叶定律	36
3-5 经济核算	5	2-2 导热系数	36
第一章 流体的流动与输送	6	2-3 传导传热计算	37
§ 1 概述	6	§ 3 对流传热	39
1-1 化工生产中流体的流动与输送	6	3-1 对流传热分析	39
1-2 理想流体与实际流体	7	3-2 对流给热方程——牛顿冷却定律	40
§ 2 流体静力学	7	3-3 对流给热系数	40
2-1 流体的密度	7	§ 4 热交换的计算	43
2-2 压强	7	4-1 总传热速率方程	44
2-3 流体静力学基本方程式	8	4-2 热量衡算——热负荷与载热体的计算	46
2-4 流体静力学基本方程式的应用	8	4-3 传热平均温度差	47
§ 3 流体稳态流动时的物料衡算和能量衡算	10	4-4 总传热系数	50
3-1 稳态流动与非稳态流动	10	§ 5 强化传热过程的途径	51
3-2 流体稳态流动时的流量与流速	10	5-1 增大传热面积	51
3-3 流体稳态流动时的物料衡算——连续性方程	11	5-2 增大传热温度差	52
3-4 流体稳态流动时的能量衡算——伯努利方程	12	5-3 提高传热系数	52
§ 4 实际流体的流动与阻力计算	17	§ 6 热交换器	52
4-1 流体的粘度	17	6-1 热交换器的种类及主要类型	53
4-2 流体流动的类型	18	6-2 列管式热交换器	53
4-3 实际流体流动过程的阻力计算	20	复习题	57
§ 5 流体输送机械	25	习题	57
5-1 液体输送机械——泵	25	第三章 吸收	59
5-2 气体的输送与压缩机械	30	§ 1 概述	59
复习题	32	1-1 吸收及其在化工生产中的应用	59
习题	33	1-2 吸收操作的类型	59
		1-3 吸收方法和流程简述	60
		§ 2 吸收的相平衡	61
		2-1 吸收的相平衡和气体的溶解度	61

2-2 相组成的表示方法及其换算	64	§ 6 精馏塔	105
§ 3 吸收速率	65	6-1 泡罩塔	105
3-1 吸收过程的机理	65	6-2 筛板塔	107
3-2 吸收速率方程式	66	6-3 浮阀塔	107
§ 4 强化吸收的途径	69	6-4 并流喷射塔	107
4-1 提高吸收传质系数	69	6-5 填料塔	108
4-2 增大吸收推动力	70	复习题	108
4-3 增大气液接触面积	71	习题	109
§ 5 典型吸收设备	71	第五章 化学反应器	111
5-1 吸收设备的主要类型	71	§ 1 概述	111
5-2 典型吸收设备性能比较	71	1-1 化学反应器与化学反应工程学	111
5-3 填料吸收塔	74	1-2 化学反应器的分类	111
§ 6 填料吸收塔的计算	76	1-3 流体在反应器内的流动	114
6-1 吸收塔的物料衡算	76	1-4 反应器的物料衡算	115
6-2 吸收剂的用量	76	§ 2 间歇操作反应釜	115
6-3 填料塔直径的计算	80	2-1 反应时间的计算	116
6-4 吸收推动力的计算	81	2-2 反应釜实际体积的计算	117
6-5 填料高度的计算	82	2-3 间歇操作反应釜的特点及应用	118
复习题	84	§ 3 管式反应器	119
习题	84	3-1 恒容过程管式反应器体积的计算	119
第四章 蒸馏	86	3-2 空间时间与空间速度	120
§ 1 概述	86	3-3 管式反应器的特点	121
§ 2 气液相平衡	87	§ 4 连续操作反应釜	121
2-1 理想溶液的气液相平衡	87	4-1 连续操作单级反应釜的体积	121
2-2 相对挥发度	87	4-2 连续操作单级反应釜的特点	123
2-3 t - x - y 相图和 y - x 相图	89	4-3 多级串联反应釜	124
§ 3 蒸馏原理	90	§ 5 均相反应器的性能比较与选择	125
3-1 简单蒸馏的原理	90	5-1 简单反应的反应器体积	125
3-2 精馏塔的作用	92	5-2 复杂反应的操作条件与反应器的型式	127
3-3 精馏塔内气液组成的变化	92	5-3 反应器型式的选择	129
3-4 回流比与塔板数的关系	95	§ 6 气-固相催化反应器	130
§ 4 间歇精馏	96	6-1 气-固相催化反应过程	130
4-1 间歇精馏的流程	96	6-2 固定床催化反应器	131
4-2 间歇精馏的回流比控制	96	6-3 流化床催化反应器	133
4-3 多组分混合物的间歇精馏	98	习题	135
§ 5 连续精馏	99	第六章 硫酸工业	137
5-1 连续精馏的流程	99	§ 1 概述	137
5-2 连续精馏的物料衡算和操作线方程	100	1-1 硫酸工业在国民经济中的重要地位	137
5-3 图解法计算理论塔板数	102	1-2 硫酸工业发展史	138
5-4 实际塔板数的计算	103	1-3 我国的硫酸工业	138

§ 2 生产硫酸的原料和原则流程	139	4-4 气体的净化与精制	186
2-1 硫铁矿为原料生产硫酸	139	§ 5 氮加工	190
2-2 硫磺为原料生产硫酸	141	5-1 碳酸氢铵的生产	190
§ 3 二氧化硫炉气的制备	141	5-2 硝酸	192
3-1 硫铁矿焙烧的反应原理和操作条件	141	5-3 尿素生产简介	195
3-2 沸腾焙烧炉的构造和操作原理	143	复习题	197
§ 4 炉气的净化和干燥	144	第八章 氯碱工业	198
4-1 炉气净化的目的和净化原理	144	§ 1 我国氯碱工业发展概况	198
4-2 炉气净化流程与设备	145	§ 2 电解食盐水溶液的理论基础	199
4-3 二氧化硫炉气的干燥	148	2-1 电解过程的主反应和副反应	199
§ 5 二氧化硫的催化氧化	149	2-2 理论分解电压和槽电压	200
5-1 化学平衡和平衡转化率	149	2-3 电流效率和电能消耗的计算	202
5-2 催化剂和二氧化硫催化氧化反应速率	151	§ 3 食盐水溶液电解方法及其进展	204
5-3 最佳工艺条件	152	3-1 石墨阳极隔膜法	204
5-4 二氧化硫催化氧化的工艺流程与设备	154	3-2 金属阳极隔膜法	205
§ 6 三氧化硫的吸收	156	3-3 水银法	207
6-1 三氧化硫的吸收原理和操作条件	156	3-4 离子交换膜法	207
6-2 三氧化硫吸收工艺流程与设备	157	§ 4 隔膜法电解食盐水溶液的工艺	
§ 7 接触法生产硫酸的全流程	158	流程	208
§ 8 硫酸生产中的技术经济问题	159	4-1 食盐水的制备和净化	209
8-1 硫酸生产中的技术经济指标	159	4-2 食盐水溶液的电解	211
8-2 硫酸生产中热能的回收利用	160	§ 5 稀碱液的蒸发	213
8-3 硫酸生产中的“三废”治理与环境保护	161	5-1 稀碱液蒸发的目的和作用	213
复习题	162	5-2 碱液的蒸发流程	215
第七章 合成氨工业	163	5-3 碱液蒸发的主要设备	216
§ 1 概述	163	§ 6 液氯和合成盐酸	217
1-1 氨在国民经济中的作用及发展概况	163	6-1 液氯	217
1-2 生产方法简介	163	6-2 合成盐酸	218
§ 2 氨合成反应的热力学基础	164	复习题	222
2-1 化学平衡	164	第九章 石油化学工业	223
2-2 平衡氨含量	165	§ 1 概述	223
2-3 影响平衡氨含量的因素	167	1-1 石油化工在国民经济中的作用	223
§ 3 氨合成反应的动力学基础	168	1-2 原油的组成、分类及性质	224
3-1 催化剂	168	1-3 石油化工生产体系	224
3-2 反应机理和动力学方程	169	§ 2 石油炼制	224
3-3 影响反应速率的因素	170	2-1 炼制方案	224
§ 4 氨的生产	172	2-2 常减压蒸馏	226
4-1 氨的合成	172	2-3 催化裂化	227
4-2 氢氮原料气的生产	177	§ 3 裂解	231
4-3 一氧化碳变换	182	3-1 裂解反应	231

3-2 裂解工艺条件	232	1-4 塑料工业的发展动态	267
3-3 裂解炉与裂解流程	234	§ 2 聚氯乙烯的生产	269
3-4 裂解气的净化和深冷分离	234	2-1 氯乙烯的聚合方法	270
§ 4 重整与萃取分离	237	2-2 聚合条件	270
4-1 重整反应	237	2-3 聚合流程	270
4-2 催化剂与工艺条件	239	§ 3 酚醛树脂的生产	271
4-3 重整流程	239	3-1 苯酚与甲醛的缩聚反应	271
4-4 萃取分离	240	3-2 酚醛树脂的生产	273
§ 5 氯乙烯的合成	241	§ 4 塑料制品的生产	274
5-1 氧氯化法合成氯乙烯的主要反应	242	4-1 塑料加工的添加剂	274
5-2 氧氯化法合成氯乙烯的主要生产过程	242	4-2 塑料成型的方法	274
§ 6 石油化工生产中的环境保护	244	第二部分 化学纤维工业	276
6-1 污染物的来源	244	§ 5 化学纤维工业概述	276
6-2 污染的防治	244	5-1 纤维的分类	276
复习题	246	5-2 化学纤维工业的发展	276
*第十章 纯碱工业	247	5-3 主要的合成纤维	277
§ 1 纯碱工业在国民经济中的重要 性及其发展简史	247	§ 6 粘胶纤维的生产	277
§ 2 氨碱法制纯碱的主要反应及生 产流程	248	6-1 制粘胶纤维的反应原理	278
2-1 氨碱法制纯碱的主要反应	248	6-2 主要生产过程	279
2-2 氨碱法制纯碱的生产流程	249	§ 7 聚酰胺纤维的生产	279
§ 3 氨碱法生产的主要工序及其操 作原理	250	7-1 聚酰胺-6 的单体——己内酰胺的制备	280
3-1 盐水的制备与净化	250	7-2 聚酰胺-6 树脂的合成	280
3-2 氯化盐水的制备	251	§ 8 聚酯纤维的生产	280
3-3 氨盐水的碳酸化	253	8-1 酯交换法的反应原理	281
3-4 碳酸氢钠的过滤	257	8-2 涤纶的生产过程	281
3-5 碳酸氢钠的煅烧	258	第三部分 橡胶工业	282
3-6 氨的回收	259	§ 9 橡胶工业的概述	282
§ 4 联合制碱法	261	9-1 橡胶工业的发展	282
4-1 从母液中结晶氯化铵的方法	262	9-2 主要合成橡胶的性能和用途	284
4-2 联合法制纯碱的理论基础	263	§ 10 天然橡胶	284
4-3 联碱法的工艺过程	264	10-1 天然橡胶的制取	284
*第十一章 高分子化学工业	266	10-2 天然橡胶的结构	284
第一部分 塑料	266	10-3 天然橡胶的硫化	285
§ 1 塑料工业概述	266	§ 11 丁苯橡胶的生产	285
1-1 塑料工业在国民经济中的重要作用	266	11-1 生产丁苯橡胶的反应	285
1-2 塑料的分类	266	11-2 丁苯橡胶的生产过程	286
1-3 常用塑料的性质和用途	267	§ 12 橡胶制品的加工	287
		12-1 橡胶配合剂	287
		12-2 橡胶制品的生产	288
		*第十二章 农药工业	289

§ 1 农药的重要性及农药工业的发展动态	289	4-1 杀菌剂的重要性	302
1-1 农药的重要性	289	4-2 杀菌剂的分类及作用方式	302
1-2 农药的分类及主要性能	289	4-3 理想杀菌剂的选择原则	302
1-3 农药工业的发展动态	290	§ 5 植物生长调节剂简介	303
§ 2 有机磷杀虫剂——敌百虫——的生产	291	附录	305
2-1 敌百虫的结构和性能	291	一、重要物理常数	305
2-2 连续法合成敌百虫	294	二、国际单位制(SI)	305
§ 3 除草剂“杀草丹”生产简介	299	三、国际单位制与其他单位制单位的换算	306
3-1 杀草丹的结构和性能	294	四、粘度	308
3-2 反应原理	300	五、常用固体的导热系数	309
3-3 工艺流程	300	六、某些液体的导热系数	310
3-4 杀草丹的杀草性能及效果	301	七、不同温度下某些气体的导热系数	311
§ 4 杀菌剂简介	301	八、干空气的物理性质	311
		九、水的物理性质	312
		十、水的饱和蒸气压和汽化热	312
		十一、水煤气输送钢管规格	313

绪 论

§ 1 化学工艺学的课程内容

工艺学是研究如何将原料加工成产品的科学，它是技术科学的一部分。

工艺学可以大致划分为化学工艺学和机械工艺学两大类。化学工艺学与机械工艺学的不同点主要是：在后者所研究的过程中，被加工的原料仅改变其外部形态或物理性质；而在前者所研究的过程中，原料不仅在外形和物理性质上改变，在物质的结构及化学性质上也发生变化。

化学工艺学是按化工生产的不同部门和不同产品种类，分别研究其原料特点、生产原理、生产流程、最适宜操作条件以及所用机械设备的构造和材料等。根据所研究的对象，化学工艺学又可分为无机物工艺学，有机物工艺学等很多门类。

化工生产的部门和产品的种类繁多，生产流程更是千差万别。但是，统观这些化工生产过程就不难看出，它们都是由诸如破碎、混合、加热、冷却、蒸发、干燥、蒸馏等单元操作以及各种化学反应过程以不同形式排列组合而成的。将不同化工生产部门中所共有的单元操作和化学反应过程集中起来，进行研究，便逐渐形成了另一种学科体系——化学工程。化学工程是研究各化工生产过程的基本原理，寻求其内在规律，并据以解决生产中所需设备机械的设计和选择条件的选择等工程问题的一门技术科学。在化学工程中所讨论的具有共性的主要过程及单元操作有：

流体动力过程——流体流动及输送、流体中悬浮物的沉降过滤、物料的搅拌等；

传热过程——加热、冷却、蒸发、冷凝、热交换等；

传质过程——溶解、结晶、萃取、蒸馏、吸收、吸附等；

化学反应过程——各种类型的化学变化过程。

以上这些过程的基本理论，可以概括起来称为三传一反，即动量传递、热量传递、质量传递和化学反应工程。

本书拟首先按化学工程的体系，对主要化工过程的基本原理和典型化工设备作简单介绍，然后在此基础上选择典型的和在国民经济中具有重要意义的化工产品，按照化学工艺学的体系，着重讲授其生产原理、工艺流程、最适宜操作条件及主要设备机械等。

通过本课程的学习，希望使学生在化工生产的理论与实践方面建立起较为完整而清晰的概念；了解化学工业各主要部门在国民经济中的重要地位，以及目前化学工业的生产情况和发展趋势；熟悉物理学、无机化学、有机化学、物理化学的某些基本理论和知识在化工生产中的应用；初步学会运用化学工程的基本理论和知识分析和解决化工生产中的实际问题，为今后在教学工作中更有效地联系化工生产实际，为完成中学化学教学任务打好基础。

§ 2 化学工业的分类

化学工业门类复杂,分类方法也异常繁多。有的按原料或产品的特征来分类,有的按反应过程及操作过程来分类等。但不论用哪一种单一的分类方法,都很难将所有的化学工业部门全都包括进来,因此一般常采用综合分类方法。按综合分类法,主要化工类型的生产部门可以分为:

无机化学工业

- (1) 基本无机化学工业^①(无机酸、碱、盐及化学肥料的生产);
- (2) 精细无机化学工业(稀有元素、无机试剂、药品、催化剂、电子材料等的生产);
- (3) 电化学工业(食盐水溶液的电解——烧碱、氯、氢的生产;熔融盐的电解——金属钠、镁、铝的生产;电热工业等);
- (4) 冶金工业(钢铁、有色金属、稀有金属等的冶炼);
- (5) 硅酸盐工业(玻璃、水泥、陶瓷、耐火材料的生产);
- (6) 矿物性颜料工业。

有机化学工业

- (1) 石油炼制及化学加工工业;
- (2) 煤的焦化及煤焦油工业;
- (3) 基本有机合成工业^②(以一氧化碳、甲烷、乙炔、乙烯、丙烯、丁二烯以及芳烃等为基础原料,合成醇、醛、酸、酮、酯等);
- (4) 精细有机合成工业(染料、医药、有机农药、香料、试剂、合成洗涤剂以及塑料、橡胶的添加剂、纺织印染助剂等的生产);
- (5) 高分子化学工业(塑料、合成纤维、合成橡胶等高分子材料的合成工业);
- (6) 食品化学工业(糖、淀粉、油脂、蛋白质、酒类等食品的生产);
- (7) 纤维素化学工业(以天然纤维素为原料的造纸、人造纤维、胶片等的生产)。

自本世纪五十年代以来,在有机化学工业中,以石油为原料的工业得到了迅速的发展,生产能力和生产规模日趋扩大。很多以乙炔、焦化产品以及农副产品等为原料的生产,也多转向以石油为原料。目前在有机合成工业中,以石油炼厂气、天然气以及石油馏分为原料经过裂解生产乙烯、丙烯、丁二烯、乙炔和芳烃等的有机合成基本原料,以及由这些基本原料合成的中间产品和最终产品的生产占极大的比重。因此,常把由石油制取有机化工基本原料的工业和由这些原料合成化学中间产品的基本有机合成工业以及加工成最终产品——塑料、合成纤维、合成橡胶的高分子化学工业均包括在石油化学工业的范围之内。

应该注意的是,在上述化学工业的分类中,有些工业如冶金工业,由于其本身在国民经济中的重要性和生产上的特殊性,习惯上已从化学工业中分离出来,成为一个单独生产部门;有些工业根据国家在经济管理方面的需要,将其分属于各有关部门管理。例如,水泥分属于建筑材料工

①② 基本无机(有机)化学工业是指生产化工基本原料的化学工业,也称为重化学工业。

业部门, 合成纤维和人造纤维分属于纺织工业部门, 而造纸、塑料工业则分属于轻工业部门, 因此, 从经济管理的角度来看, 化学工业和化工产品的范围要狭窄得多。

§ 3 化学工艺学中的一些基本概念

在进行工艺过程的开发, 设备的设计和操作管理时, 经常运用物料衡算、能量衡算、平衡关系、过程速率和经济核算等基本概念和有关理论。下面逐一加以介绍。

3-1 物料衡算

物料衡算是基于质量守恒定律。其意义是: 引入某一设备以进行处理的原料、辅助原料等的总质量($m_{f_1} + m_{f_2} + m_{f_3} + \dots$)恒等于经过处理所得产品、副产品、废物等的总质量($m_{p_1} + m_{p_2} + m_{p_3} + \dots$)。据此可以列出物料衡算方程式:

$$\sum m_{f_i} = \sum m_{p_i}$$

对于间歇操作, 物料衡算可按每一批处理物料列出; 而对于连续操作, 则可按单位时间输入的物质量和输出的物质量(包括设备内积蓄的量)列出。物料衡算的范围可以是设备的一部分、一个设备或一组设备, 进行衡算的物质可以是所有处理的物质, 或者是其中某一组分。设输入物质与输出物质中某组分的分率分别为 x_{f_i} 与 x_{p_i} , 则对某一组分的物料衡算方程式为:

$$\sum m_{f_i} x_{f_i} = \sum m_{p_i} x_{p_i}$$

在化工生产中, 若能对某些物质的量和组成进行准确测定, 则通过物料衡算还可以求出未知的物质量。

例 由电解食盐水得 1000 kg 的稀碱液, 其组成为: NaOH——10%、NaCl——10%、 H_2O ——80%, 在蒸发器内蒸发浓缩得到浓碱液, 并有大部分食盐自溶液结晶析出, 测得浓碱液的组成为: NaOH 50%、NaCl 2%、 H_2O 48%, 求蒸发的水量 $m_{\text{水}}$ 、析出的食盐量 $m_{\text{盐}}$ 及浓碱液量。

解: 总的物料衡算式为:

$$m_{\text{稀碱}} = m_{\text{浓碱}} + m_{\text{水}} + m_{\text{盐}}$$

对 NaOH 的物料衡算式为:

$$m_{\text{稀碱}} \times 10\% = m_{\text{浓碱}} \times 50\%$$

由此得

$$m_{\text{浓碱}} = 1000 \times 10\% \div 50\% = 200 \text{ kg}$$

对 NaCl 的物料衡算式为:

$$m_{\text{稀碱}} \times 10\% = m_{\text{浓碱}} \times 2\% + m_{\text{盐}} \times 100\%$$

由此得

$$m_{\text{盐}} = 1000 \times 10\% - 200 \times 2\% = 96 \text{ kg}$$

对水的物料衡算式为:

$$m_{\text{稀碱}} \times 80\% = m_{\text{浓碱}} \times 48\% + m_{\text{水}} \times 100\%$$

由此得

$$m_{\text{水}} = 1000 \times 80\% - 200 \times 48\% = 704 \text{ kg}$$

物料衡算对于工艺过程的开发、设备的设计,以及生产操作的改进都具有很大的实际意义:在设计工作中可以使我们正确选择工艺流程和设备尺寸;在实际操作中,通过物料衡算可以确定原料、产品、副产品中某些未知的物料量,掌握物料的利用程度从而找出减少副产品和废料,提高原料利用率的途径。

3-2 能量衡算

能量衡算是基于能量守恒定律。根据此定律,输入操作过程的能量恒等于操作后所输出的能量。

能量可以同进入设备的物料一起输入和随物料一起输出,或者是分别输入或输出。

同物料一起输入或输出的能量包括这些物料的内能(热能、化学能等)、位能和动能;而不随物料输入或输出的能量则有通过器壁加热而输入的热量,泵和压缩机所消耗的机械功,以及设备损失于周围的热量等。

通过能量衡算可以求得在流体输送和压缩时所需要的动力,在加热和冷却时所需要供给和导出的热量,在绝热情况下进行混合或反应时物系的温度变化等。在工艺过程的开发和设备的设计中,通过能量衡算可以确定生产的工艺条件和设备尺寸;在生产操作中,通过能量衡算可以考察能量的损耗,寻求节能的有效途径。

3-3 平衡关系

不论是传热、传质还是化学反应过程,在经过足够的时间后,最终均能达到平衡状态。例如,热量从热的物体传向冷的物体,一直进行到两物体的温度相等为止。又如,盐在水中溶解时,一直进行到溶液达到饱和为止。此时,液相与固相处于平衡状态。在吸收、蒸馏、萃取、结晶等过程中也都存在着相平衡关系。在化学反应中,当正逆两反应速率相等时,反应达到平衡。

平衡是在一定条件下物系变化可能到达的极限。除非影响平衡的条件发生变化,否则物系变化的极限不会改变。通过平衡关系可以判断物系变化能否进行,以及能进行到何种程度。因此,平衡关系对于许多化工生产过程具有重要的意义。

3-4 过程速率

任何物系如果不是处于平衡状态,则必然会发生使该物系趋向于平衡的变化。通常是偏离平衡状态愈远,则变化过程的速率愈大。因此,物系状态与平衡之间的差距是决定过程速率的推动力,此推动力愈大,则过程速率也就愈大;而物系愈接近于平衡状态,则推动力和过程速率也就愈小;当到达平衡状态时,过程速率变为零。

例如,决定物质传递或热量传递速率的推动力是浓度差、分压差或温度差。设在时间 τ [h] 内传递的物质质量或热量为 Q [kg 或 kJ], 则传递速率 $dQ/d\tau$ 与垂直于传递方向的面积 A 及推动力 ΔF 成正比:

$$dQ/d\tau = K \cdot A \cdot \Delta F = \Delta F / (1/K \cdot A)$$

式中 K 为传递速率系数。此式表示传递速率与 ΔF 成正比,而与 $1/K \cdot A$ 成反比。它与电学中的欧姆定律 $I[A] = \frac{V[V]}{R[\Omega]}$ 具有相同的形式,因此 $1/K \cdot A$ 可以视为过程的阻力,而过程的速率可以表示为:

$$\text{过程速率} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}}$$

变化过程的速率是确定化工设备尺寸的主要因素,因为过程速率大,则设备尺寸可以减小,从而能降低设备的投资。

3-5 经济核算

在设计具有一定生产能力的设备时,选用不同的材料,不同的设备型式以及操作条件,可以提出多种不同的设计方案。但是最终应该从技术经济的观点出发进行比较,即从设备的造价、操作的难易、人力、水、电和燃料的消耗、耐用年限等多方面进行综合评价,从中选择经济上最有利的方案。

在进行经济评价时,设备造价和耐用年限折算成设备费(摊派到单位产品上的设备折旧费),而消耗的人力、水电、燃料的费用则总括为操作费。例如,在确定输送流体的管道时,若选用小的管径,则可降低设备费,而由于管径小,阻力大,则需要消耗较多的动力,从而使操作费用增加。反之,采用较大的管径,虽然设备费用有所增加,但却能减少操作费用。此时,总有一个设备费与操作费之和为最小的最适宜的管径,可以通过计算求出。此时管内流速称为最适宜流速。又如,在用某一类型的冷却器进行流体的冷却时,若增大冷却面积,则设备费用增大,然而却可以减少冷却水的用量,从而使操作费降低。这里同样也有一个设备费与操作费之和为最小的最适宜设备尺寸或操作条件。为此,需要通过经济核算来确定最经济的设备尺寸和操作条件。

以上这些基本概念,要在今后学习过程中结合实际反复运用,以加深理解。

第一章 流体的流动与输送

§ 1 概 述

1-1 化工生产中流体的流动与输送

流体是具有流动性的物质。流体的特征在于其质点几乎可以无限地流动，而且可以任意分割或改变其形状。物质三态中，液态与气态无一定形状，能够自由流动，因此，统称为流体。化学工业的生产过程，绝大多数是在气相或液相中进行的，例如硫酸生产中的空气、 SO_2 、 SO_3 、 H_2O 、 H_2SO_4 ；合成氨生产中的半水煤气、水蒸气、液氨等都是流体。化工生产中，无论是大厂还是小厂，所处理的物料大多数或绝大多数是流体。而流体的流动和输送离不开管路和输送机械——泵、压缩机和风机等。近代化工生产中，为了强化生产，实现连续操作，往往将固态物料粉碎，使其在流动情况下操作，例如硫酸生产中硫铁矿的沸腾焙烧等。

图 1-1 为煤气在填料塔内用水洗涤，以除去煤焦油等杂质的示意图。洗涤水用离心泵输送到塔顶，从喷头淋下，在填料塔内与煤气逆流接触后由塔底排出。这里，水和煤气的输送，附属设备——流量计、压差计、水封等的工作原理都是流体力学问题。其中流体在压差计、水封中处于静止状态，是流体静力学问题；而泵、流量计的工作原理以及水在管路中的流动则是流体动力学问题。这就要求我们掌握流体在静止状态和流动状态的规律性，这样才能解决化工生产过程中所涉及到的流体流动和输送问题。例如，计算流体的流速，选择适宜的管路直径；计算流体流动过程产生的阻力，选择流体输送设备的型号和大小；测量流体的流量和压强等，这些都是本章要讨论的内容。

在传热过程和传质过程中，也涉及到流体流动的问题，而且流体的流动状态与这些过程的速率有密切关系。因此，流体力学不仅可以解决流体在静止和运动情况下的各种问题，而且对于传热、传质的研究，也是非常重要的。

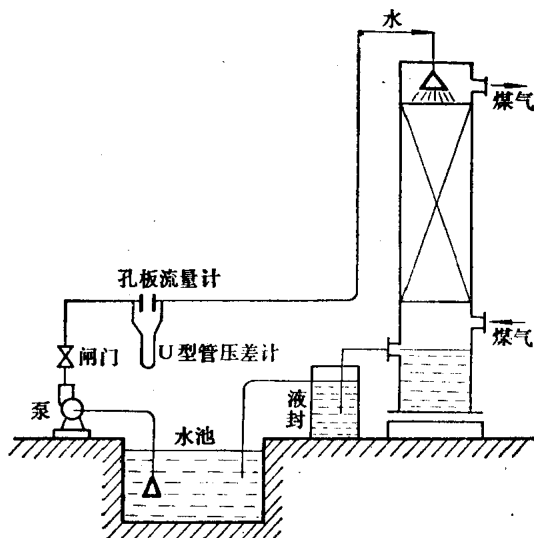


图 1-1 煤气洗涤塔

1-2 理想流体与实际流体

在流体力学中,为了便于研究某些复杂的实际问题,而提出了理想流体这一概念。理想流体没有粘性,在流动过程中没有摩擦阻力产生,是不可压缩的。

实际流体都具有粘性,在流动过程中产生摩擦阻力。实际液体的压缩性很小,可以认为是不可压缩的;实际气体当温度、压强变化时,其体积变化较大,是可以压缩的。

§ 2 流体静力学

流体静力学是研究流体在相对静止或平衡时的规律。静止流体不表现出内摩擦阻力,分子间受力平衡。流体在静止状态时,所受各种力的大小,与流体的密度、压强等性质有关。静止流体遵循的规律可以用静力学基本方程式来表示。

2-1 流体的密度

单位体积流体的质量,称为流体的密度,常以 ρ 表示。若以 V 表示流体的体积, m 代表 V 体积流体的质量,则

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

密度 ρ 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2-2 压强

流体内部任意一点都受到它周围分子的不断撞击,该点受到它周围质点的压力。流体内部任意一点所受压力的大小用流体每单位面积上受垂直力的大小来表示,称为压强,常用 p 表示。若流体在面积 A 上受到垂直该面的作用力为 F ,则该面上的压强为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-2)$$

压强是流体力学和工程上常用的一个物理参数。

1. 压强的单位 国际单位制(SI)中,压强的单位用 Pa 表示, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

2. 压强的表示方法 工业上用来测量系统内压强的仪表称为压强计(或称压力计),压强计上的读数是系统内的绝对压强与当地大气压强的差值。在实际生产系统(设备或管路)内,其绝对压强可能大于或者小于当地大气压强,工程上常把大于大气压的压强用表压强表示;而把小于大气压的压强用真空度表示。系统内的绝对压强、表压强和真空度三者之间的关系可表示如下:

表压强 = 绝对压强 - 大气压强

真空度 = 大气压强 - 绝对压强

它们三者之间的关系,可以用图 1-2 表示。