

高等學校教學用書

化工過程及設備

下 冊

A. Γ. 卡薩特金 著

大連工學院化工原理組研究生 合譯

重工業出版社

1955

中等专业学校試用教科书



化工过程及設備

上册

上海市化学工业学校等編



本书系根据各校自编教材及有关书籍编辑而成, 做为中等专业学校的试用教材。参加编辑工作的有: 上海市化工学校, 乌溪江化工学院, 温州化工学校, 合肥化工学校, 无锡化工学校以及沈阳药学院等六所学校。

本书分上下两册出版。上册除绪论外包括: 流体力学基础, 管路及管件, 液体输送, 气体的压缩和输送, 气相非均一系的分离, 液相非均一系的分离, 搅拌, 传热学基础, 加热、冷却及其设备等九章。下册包括: 蒸发, 结晶, 冷冻, 传质的理论基础, 传质设备及其计算, 吸收、吸附, 液体的蒸馏, 萃取, 干燥, 固体流态化, 固体的粉碎与筛析, 固体输送与加料等共 13 章。

本书适用于三年制的化工中等专业学校, 亦可供其它与化工接近的专业做参考。

化工过程及设备

上册

上海市化学工业学校等编

*

中国工业出版社出版 (北京修德门内10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

北京印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行, 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 • 印张 15 1/4 • 字数 347,000

1961年7月北京第一版 • 1961年8月北京第一次印刷

印数0001—12,033 • 定价(9—4)1.45元

统一书号: 15165·968(化工-67)

上 册 目 录

绪论.....	5	第二节 泵的基本工作参数.....	67
第一篇 流体力学过程		3-1 泵的压头.....	57
第一章 流体力学基础.....	11	3-2 泵的吸入高度和压出高度.....	59
第一节 概述.....	11	3-3 泵的总扬程.....	59
第二节 流体的主要物理性质.....	12	3-4 泵的功率和效率.....	61
1- 重量.....	12	第三节 往复泵.....	62
1- 密度.....	12	3-5 往复泵的分类、构造及作用原理.....	62
1- 比重.....	12	3-6 往复泵的流量和特性曲线.....	64
1- 粘度.....	13	3-7 往复泵的主要部件结构.....	66
1-1 流体的压缩性.....	15	3-8 往复泵的启动与调节.....	65
第三节 流体静力学.....	15	第四节 离心泵.....	66
1-1 压强与流体静压强.....	15	3-9 离心泵的分类作用原理与构造.....	66
1-2 流体静力学的基本方程式.....	16	3-10 液体在泵内的运动.....	68
1-8 流体静力学基本方程式的应用.....	17	3-11 离心泵的特性曲线.....	69
第四节 流体动力学.....	21	3-12 离心泵的比转数.....	70
1-9 流速与流量.....	21	3-13 离心泵的操作.....	71
1-11 流体稳定流动时的物料平衡——连续性方程式.....	22	3-14 离心泵的并联、串联工作.....	72
1-11 流体稳定流动时的能量平衡——柏努利方程式.....	24	3-15 离心泵的启动、调节与安装.....	72
1-11 粘性流体的流动形态和雷诺数.....	28	3-16 离心泵与往复泵的比较.....	74
第五节 流体的阻力.....	31	3-17 轴流泵.....	74
1-8 流体阻力及其计算.....	31	第五节 旋转变泵.....	75
第六节 流量测定.....	37	3-18 旋转变泵.....	75
1-11 流体速度及流量的测定.....	37	3-19 旋转变泵的性能及调节.....	76
第二章 管路及管件.....	45	第六节 其他类型泵.....	76
第一节 管路的计算以及材料的应用.....	45	3-20 利用流体作用的泵.....	76
2-1 管径的计算和选择.....	45	3-21 各种泵的比较与选择.....	80
2-2 管路的特性曲线.....	46	第四章 气体的压缩与输送.....	82
2-3 管路的种类以及材料的选择.....	47	第一节 概述.....	82
第二节 管件及附件的类型和应用.....	48	4-1 气体的压缩过程.....	82
2-4 管件.....	48	4-2 气体压缩及输送设备的分类.....	82
2-5 附件.....	49	第二节 往复压缩机.....	83
第三节 管路的联接.....	52	4-3 往复压缩机的操作原理.....	83
2-6 联接方式的分类.....	52	4-4 往复压缩机的生产能力与功.....	84
2-7 各种联接方式的結構.....	52	4-5 多级压缩.....	86
第四节 管路的热补偿.....	54	第三节 往复压缩机的构造.....	86
第五节 管路.....	55	4-6 往复压缩机的分类.....	85
2-8 管路布置的基本原则.....	55	4-7 单级压缩机.....	87
2-9 管路支管和管架.....	55	4-8 双级与多级压缩机.....	88
第三章 液体输送机械.....	57	4-9 往复式压缩机的操作、调节和检修.....	89
第一节 概述.....	57	第四节 旋转压缩机.....	90
		4-10 操作原理.....	89
		4-11 旋转压缩机的分类和构造.....	91
		第五节 涡轮鼓风机与涡轮压缩机.....	92

4-12 操作原理	92
4-13 高转速离心机与低速离心机的构造	93
第六节 气体喷射泵	94
4-14 工作原理与分类	94
4-15 冰汽喷射泵的构造	95
第七节 送风机	95
4-16 离心式送风机	96
4-17 轴流式送风机	99
第八节 真空泵	99
4-18 真空泵	99
第九章 压缩机的比较和选择	100
第五章 气相非均一系的分离	101
第一节 概述	101
5-1 分离的目的和意义	103
5-2 颗粒大小的测定与其分离效率	103
5-5 分离方法的分类	104
第二节 过滤精制	104
5-4 过滤精制的工作原理	104
5-5 过滤精制的设备	105
第三节 沉降分离	106
5-6 重力沉降	106
第四节 离心沉降	111
5-7 离心沉降的原理	111
5-8 旋流分离器构造和操作原理	111
第五节 蒸发精制	114
5-9 蒸发精制原理	114
5-10 蒸发精制设备	114
5-11 文丘里除雾器的机理及操作条件	116
第六节 声聚法除尘及电气精制	117
5-12 声聚法	117
5-13 电气精制	118
第七节 分离设备的选择与比较	119
第六章 液相非均一系的分离	121
第一节 液相非均一系的分类及其分离方法	121
6-1 液相非均一系的分类及其性质	121
6-2 液相非均一系的分离方法	121
第二节 沉降	122
6-3 沉降原理	122
6-4 沉降的构造	123
6-5 沉降器的计算	124
第三节 过滤	125
6-6 过滤操作的基本概念	125
6-7 过滤介质及助滤剂	127
6-8 过滤机的构造与操作	130
6-9 过滤的计算	136

第四节 离心分离	138
6-10 基本概念	139
6-11 影响离心分离的因素	139
6-12 离心机的构造	140
6-13 水力旋流分离器	141
6-14 离心机的比较和发展	141
第七章 搅拌	145
第一节 机械搅拌	145
7-1 机械搅拌器的分类	146
7-2 各种机械搅拌器	147
7-3 机械搅拌器的功率计算	149
第二节 气流搅拌	153
7-4 气流搅拌	153
第三节 搅拌效率	154
7-5 搅拌操作的影响因素	154
7-6 搅拌效率	155

第二篇 热过程

第八章 传热学基础	157
第一节 概述	157
第二节 传热基本方程式	158
8-1 传热基本方程式	158
8-2 传热量的计算	159
第三节 传热方程式与给热方程式	161
8-3 传热方程式与给热系数	161
8-4 给热方程式与给热系数	163
第四节 通过圆筒壁的传热	173
8-5 通过平壁的传热	173
8-6 通过圆筒壁的传热	175
第五节 温度差的计算	177
8-7 恒温传热时温度差的计算	177
8-8 变温传热时温度差的计算	178
第六节 热辐射	183
8-9 辐射的基本概念	183
8-10 辐射定律	184
8-11 固体表面间辐射热交换	185
第七节 热传导与热损失	187
8-12 损失于周围介质中的热量	187
8-13 热绝缘与绝热材料	187
第八节 间歇换热过程	188
第九章 加热、冷却与冷凝	191
第一节 概述	191
9-1 换热器的分类	191
第二节 热源和加热方法	192
9-2 直接热源加热	192
9-3 间接热源加热	193

9-4 加热线与加热方法的比较	168
第三节 冷却和冷凝	200
9-5 冷却和冷凝	200
第四节 间壁式换热器	201
9-6 间壁式换热器	201
第五节 传热强化途径及其发展方向	215
9-7 传热强化途径及其发展方向	215
第六节 温度的测量	217
9-8 膨胀温度计	217
9-9 压强温度计	219
9-10 热电偶温度计	220
9-11 电阻温度计	222
9-12 光学温度计	223
9-13 辐射温度计	224

附 录

1. 英制单位换算到公制单位	226	5. 水在不同温度时的粘度	229
2. 单位换算	227	6. 某些水溶液的粘度	230
3. 间壁物料的重量和单位体积的重量	228	7. 液体的粘度	231
4. 某些液体在 $0 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 时的比重	228	8. 气体及蒸汽的粘度	232
		9. 某些气体的主要物理性质	233
		10. 承插式钢管规格	234
		11. 水煤气管的规格	234
		12. 无缝钢管	235
		13. 某些固体在 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时的平均比热	236
		14. 某些液体在 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时的平均比热	236
		15. 气体在 $P=1$ 绝对大气压时的分子比热	236
		16. 某些液体的汽化潜热	237
		17. 某些物质的导热系数	238
		18. 各种不同液体的导热系数	239
		19. 水在不同温度时的物理参数	239
		20. 饱和和水蒸汽的性质(1)	240
		21. 饱和和水蒸汽的性质(2)	241
		22. 水在不同温度时的体积膨胀系数	242
		23. 液体在 20°C 时体积膨胀系数	242

上 册 目 录

绪论.....	5	第二节 泵的基本工作参数.....	67
第一篇 流体力学过程		3-1 泵的压头.....	57
第一章 流体力学基础	11	3-2 泵的吸入高度和压出高度.....	59
第一节 概述.....	11	3-3 泵的总扬程力.....	51
第二节 流体的主要物理性质.....	12	3-4 泵的功率和效率.....	61
1- 重量.....	12	第三节 往复泵	62
1- 密度.....	12	3-5 往复泵的分类、构造及作用原理.....	62
1- 比重.....	12	3-6 往复泵的流量和特性曲线.....	64
1- 粘度.....	13	3-7 往复泵的主要部件结构.....	66
1-1 流体的压缩性.....	15	3-8 往复泵的启动与调节.....	65
第三节 流体静力学	15	第四节 离心泵	66
1-1 压强与流体静压强.....	15	3-9 离心泵的分类作用原理与构造.....	66
1-2 流体静力学的基本方程式.....	16	3-10 液体在泵内的运动.....	68
1-8 流体静力学基本方程式的应用.....	17	3-11 离心泵的特性曲线.....	69
第四节 流体动力学	21	3-12 离心泵的比转数.....	70
1-9 流速与流量.....	21	3-13 离心泵的操作.....	71
1-11 流体稳定流动时的物料平衡——通流 能力公式.....	22	3-14 离心泵的并、串联工作.....	72
1-11 流体稳定流动时的能量平衡——柏努 利方程式.....	24	3-15 离心泵的启动、调节与安装.....	72
1-11 粘性流体的流动形态和雷诺数.....	28	3-16 离心泵与往复泵的比较.....	74
第五节 流体的阻力	31	3-17 轴流泵.....	74
1-8 流体阻力及其计算.....	31	第五节 旋转变泵	75
第六节 流量测定	37	3-18 旋转变泵.....	75
1-11 流体速度及流量的测定.....	37	3-19 旋转变泵的性能及调节.....	76
第二章 管路及管件	45	第六节 其他类型泵	76
第一节 管路的计算以及材料的应用	45	3-20 利用流体作用的泵.....	76
2-1 管径的计算和选择.....	45	3-21 各种泵的比较与选择.....	80
2-2 管路的特性曲线.....	46	第四章 气体的压缩与输送	82
2-3 管路的种类以及材料的选择.....	47	第一节 概述	82
第二节 管件及附件的类型和应用	48	4-1 气体的压缩过程.....	82
2-4 管件.....	48	4-2 气体压缩及输送设备的分类.....	82
2-5 附件.....	49	第二节 往复压缩机	83
第三节 管路的联接	52	4-3 往复压缩机的操作原理.....	83
2-6 联接方式的分类.....	52	4-4 往复压缩机的生产能力与功.....	84
2-7 各种联接方式的結構.....	52	4-5 多级压缩.....	86
第四节 管路的熱补偿	54	第三节 往复压缩机的构造	86
第五节 管路	55	4-6 往复压缩机的分类.....	85
2-8 管路布置的基本原则.....	55	4-7 单级压缩机.....	87
2-9 管路支架和管架.....	55	4-8 双级与多级压缩机.....	88
第三章 液体输送机械	57	4-9 社会压缩机的操作、程序和设备.....	89
第一节 概述.....	57	第四节 旋转压缩机	90
		4-10 操作原理.....	89
		4-11 旋转压缩机的分类和构造.....	91
		第五节 涡轮鼓风机与涡轮压缩机	92

4-12 操作原理	92
4-13 高转速风机与涡轮增压机的构造	93
第六节 气体喷射泵	94
4-14 工作原理与分类	94
4-15 蒸汽喷射泵的构造	95
第七节 送风机	95
4-16 离心式送风机	96
4-17 轴流式送风机	99
第八节 真空泵	99
4-18 真空泵	99
第九节 压缩机的比较和选择	100
第五章 气相非均一系的分离	101
第一节 概述	101
5-1 分离的目的和意义	103
5-2 颗粒大小的测定与其分离效率	103
5-5 分离方法的分类	104
第二节 过滤精制	104
5-4 过滤精制的工作原理	104
5-5 过滤精制的设备	105
第三节 沉降分离	106
5-6 重力沉降	106
第四节 离心沉降	111
5-7 离心沉降的原理	111
5-8 旋风分离器构造和操作原理	111
第五节 湿法精制	114
5-9 湿法精制原理	114
5-10 湿法精制设备	114
5-11 文丘里除雾器的机理及操作条件	116
第六节 声聚法除尘及电气精制	117
5-12 声聚法	117
5-13 电气精制	118
第七节 分离设备的选择与比较	119
第六章 液相非均一系的分离	121
第一节 液相非均一系的分类及其分离方法	121
6-1 液相非均一系的分类及其性质	121
6-2 液相非均一系的分离方法	121
第二节 沉降	122
6-3 沉降原理	122
6-4 沉降的构造	123
6-5 沉降器的计算	124
第三节 过滤	125
6-6 过滤操作的基本概念	125
6-7 过滤介质及助滤剂	127
6-8 过滤机的构造与操作	130
6-9 过滤的计算	136

第四节 离心分离	138
6-10 基本概念	139
6-11 影响离心分离的因素	139
6-12 离心机的构造	140
6-13 水力旋流分离器	141
6-14 离心机的比较和发展	141
第七章 搅拌	145
第一节 机械搅拌	145
7-1 机械搅拌器的分类	146
7-2 各种机械搅拌器	147
7-3 机械搅拌器的功率计算	149
第二节 气流搅拌	153
7-4 气流搅拌	153
第三节 搅拌效率	154
7-5 搅拌操作的影响因素	154
7-6 搅拌效率	155

第二篇 热过程

第八章 传热学基础	157
第一节 概述	157
第二节 传热基本方程式	158
8-1 传热基本方程式	158
8-2 传热量的计算	159
第三节 传热方程式与给热方程式	161
8-3 传热方程式与给热系数	161
8-4 给热方程式与给热系数	163
第四节 通过圆筒壁的传热	173
8-5 通过平壁的传热	173
8-6 通过圆筒壁的传热	175
第五节 温度差的计算	177
8-7 恒温传热时温度差的计算	177
8-8 变温传热时温度差的计算	178
第六节 热辐射	183
8-9 辐射的基本概念	183
8-10 辐射定律	184
8-11 固体表面间辐射热交换	185
第七节 热传导与热损失	187
8-12 损失于周围介质中的热量	187
8-13 热绝缘与绝热材料	187
第八节 间歇换热过程	188
第九章 加热、冷却与冷凝	191
第一节 概述	191
9-1 换热器的分类	191
第二节 热源和加热方法	192
9-2 直接热源加热	192
9-3 间接热源加热	193

9-4 加热线与加热方法的比较	168
第三节 冷却和冷凝	200
9-5 冷却和冷凝	200
第四节 间壁式换热器	201
9-6 间壁式换热器	201
第五节 传热强化途径及其发展方向	215
9-7 传热强化途径及其发展方向	215
第六节 温度的测量	217
9-8 膨胀温度计	217
9-9 压强温度计	219
9-10 热电偶温度计	220
9-11 电阻温度计	222
9-12 光学温度计	223
9-13 辐射温度计	224

附 录

1. 英制单位换算到公制单位	226	5. 水在不同温度时的粘度	229
2. 单位换算	227	6. 某些水溶液的粘度	230
3. 间壁物料的重量和单位体积的重量	228	7. 液体的粘度	231
4. 某些液体在 $0 \sim 20^\circ\text{C}$ 时的比重	228	8. 气体及蒸汽的粘度	232
		9. 某些气体的主要物理性质	233
		10. 承插式铸钢管规格	234
		11. 水煤气管的规格	234
		12. 无缝钢管	235
		13. 某些固体在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 时的平均比热	236
		14. 某些液体在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 时的平均比热	236
		15. 气体在 $P=1$ 绝对大气压时的分子比热	236
		16. 某些液体的汽化潜热	237
		17. 某些物质的导热系数	238
		18. 各种不同液体的导热系数	239
		19. 水在不同温度时的物理参数	239
		20. 饱和和水蒸汽的性质(1)	240
		21. 饱和和水蒸汽的性质(2)	241
		22. 水在不同温度时的体积膨胀系数	242
		23. 液体在 20°C 时体积膨胀系数	242



緒 論

化学工业具有多行业、多品种的特点,它与国民经济各部门,人民生活各方面都有着广泛而密切的关系。

在解放前,由于我国内受国民党反动政府的压榨,外受帝国主义的掠夺,使我国化学工业和其他国民经济部门一样长期处于极端薄弱和落后的状态。全国为数不多的一些小型化工厂,多只能进行一些生活日用品的加工和生产。即使规模较大的民族工业如永利化学公司、天原电化厂等,也都在官行资本主义和帝国主义的重重压榨下,深受材料、设备、技术条件、生产条件等方面的限制,长期不能获得发展和提高。

全国解放后,在共产党的英明领导下,广大职工群众的劳动热忱和聪明智慧得到了充分的发挥,迅速的改造和扩建了旧有化工厂,新建了大批的规模宏大的现代化的化工企业,使化工生产的产品、产量和质量都获得了迅速发展。特别是在1958年大跃进以来,在党的总路线、大跃进和人民公社三面红旗的光辉照耀下,和一整套“两条腿走路”的方针指引下,在全国各地建起了大批的中小型化工厂,使整个化学工业星罗棋布,遍地开花。广大职工在党的领导下,开展了轰轰烈烈的技术革命、技术革新运动,从而涌现出了一系列重大的发明创造和新的化工产品,大大地提高了生产效率和产品质量,使我国化学工业获得了更加高速度的发展,为国民经济各部门和人民生活各方面提供了更多更好的化工产品。

随着我国整个社会主义建设事业的高速度发展,对化工产品的需求量也越来越多,越来越高,我们全体化工生产者必须在已有成就的基础上,进一步加强对化工生产过程和设备的研究改进工作,更好的强化生产,提高劳动生产率,保证安全,减轻劳动强度,把我国化工生产和科学技术推向更高的水平,这就是我们学习化工过程和设备的中心目的和主要任务。

化工过程的分类

化工过程及设备的分类,到现在为止,还没有任何完全固定的分类方法。且根据过程进行的基本规律,按照苏联卡萨特金教授的分类法,将其组成下列几类:

(一)流体动力过程 包括遵循流体动力学诸规律的过程,如流体的流动与输送,气相非均一的分离,液相非均一的分离,物料的搅拌等。

(二)热过程 包括遵循热交换诸规律的过程,如传热、蒸发、结晶等。

(三)扩散过程 包括遵循扩散诸规律的过程,如干燥、蒸馏、吸收等。

(四)热力过程 包括遵循热力学诸规律的过程,如冷冻与深度冷冻等。

(五)机械过程 包括遵循固体力学诸规律的过程,如固体的粉碎,固体颗粒的过筛等。

(六)化学过程 包括遵循化学反应诸规律的过程,如氧化、还原、磺化、硝化、水解等。

除化学过程不讨论外,其余各类过程将在本课程内概括地加以论述。

在最简单情况下,过程只遵循一个基本定律就能表明,例如流体运动规律。但流体的运动往往伴有热量的交换、扩散和其他一些现象。因此物质在互相作用的过程中,经常伴有汽化、溶解和物质从一相转入另一相(扩散)的各种过程,这些过程为流体力学传热、扩散和化

学动力学等方面的定律所表明。这些复杂的现象,使过程也趋于复杂,有时彼此矛盾。因此上述的分类也是相对的。在研究过程中,不能以孤立的方法研究某一现象,而应密切联系起来研究一系列共同影响的即经常彼此矛盾的因素。

从操作的方式而论,上述各项过程的操作,又可分为间歇的、连续的和联合的三种。

(一)间歇操作 间歇操作的特点是所有的工作步骤在同一位置而分别在不同的时间进行。例如,在板框式过滤机中,滤浆的过滤、滤饼的洗涤以及滤饼的去除等项步骤,系依次在不同的时间进行。因之间歇操作的状态是不稳定的,随时间而改变,受处理物料的各个物理量或参变数(如温度、压强、浓度、湿含量、热含量、速度等)亦将在操作中随时间而改变。间歇操作的设备也就间歇地排出产品,卸料完后再加入新料,周而复始地循环操作。

(二)连续操作 连续操作的特点是所有的工作步骤分别在不同的位置而在同一时间进行,操作状态稳定且连续不断地进料和卸除最后产品。例如在回转式干燥器中,加料、干燥和卸料各个工作步骤皆分别在不同区域在同一时间内进行。受处理的物料在进程中任何一点或在连续运转的设备的任一断面上,其物理量或参变数在操作进行时间内,实际均保持不变。

(三)联合操作 联合操作系以上二者的联合处理,其中有些工作步骤为连续操作,有些为间歇操作。例如在沉降器中沉降一种稀薄悬浮液时,悬浮液连续进入,澄清液连续排出,而沉降于器底的沉淀则系经过适当时间后间歇地排除。在一般情况下,联合操作通常可作为连续操作处理。

与间歇和联合操作相比较,连续操作具有下列的重要优点:

(一)可能使操作全部机械化和自动化,减低手工劳动到极小程度,并提高生产能力;

(二)产品均匀,因而提高了产品的质量;

(三)进行操作所需的设备紧凑,因而减低生产设备的基本费用和修理费用。

因之,现代化的工厂均尽可能地不采用间歇操作而采用连续操作。

物料平衡与能量平衡

对于每个生产过程,除了需消耗劳力外,尚需知道被处理物料的数量和所需的能量,以及实现此项过程所必需的设备。

工业上,参与生产过程的物料,无论其为原料、成品或半成品,都不是绝对的纯粹状态,而是几种组份的混合物。混合物的组成,一般以重量百分数、重量份数或重量比率表示。但在许多情况下,为了计算方便,常用分子百分数或分子份数来表示。

物料平衡 物料平衡为质量守恒定律的一种表现形式。依此定律,凡引入某一设备以进行操作的物料重量,必须等于操作后所得产品的重量。但事实上,在实际制造过程中,物料不可避免有损失,亦即输出的量较输入的量较少,其差额即为物料损失量,如式(1)所示:

$$G_1 - G_2 = G_{\text{损}} \quad (1)$$

式中 G_1 为输入的物料量, G_2 为输出的物料量, $G_{\text{损}}$ 为物料的损失量。此种物料平衡式适用于整个过程,也适用于过程的任何一个步骤。在物料平衡中,可以作总的物料平衡,也可以对混合物中某一组份作部分物料平衡。

物料平衡对于制造过程的正确进行,具有重要的指导意义。在实际操作中,物料平衡可以揭示物料的浪费和设备操作的反常情况,从而可以订出改善方案,以提高产品率并减少副产品和杂质。同时,物料平衡也可反映出生产过程的完善程度。如果物料平衡能列得愈完全愈细致,则表示对操作的了解愈全面,而对操作进行的控制也愈正确。在设计新的生产过程中,物料平衡可以帮助正确地选择制造过程的流程和设备的大小。

【例题1】某厂消化车间的废酸,经分析后,得知其中含有23% HNO_3 , 57% H_2SO_4 和20% H_2O ,均以重量表示。现拟掺入93%浓度的 H_2SO_4 和99%浓度的 HNO_3 ,以制备含有27% HNO_3 和60% H_2SO_4 的混合酸。试问制备每1000公斤的混合酸,需要若干公斤的废酸与浓硝酸和硫酸?假定物料无损失。

【解】取1000公斤混合酸为计算基准,分别以 x, y, z 代表需用废酸、浓硝酸与浓硫酸的重量。因无物料损失,故式(1)为 $G_1 = G_2$ 。

$$\text{物料总衡算: } x + y + z = 1000 \quad (1)$$

$$\text{硫酸的衡算: } 0.57x + 0.93y = 1000 \times 0.60 = 600 \quad (2)$$

$$\text{硝酸的衡算: } 0.23x + 0.99z = 1000 \times 0.27 = 270 \quad (3)$$

解上述(1)、(2)、(3)三联立方程式,得

$$x = 415 \text{ 公斤, } y = 390 \text{ 公斤, } z = 192 \text{ 公斤}$$

成品率,生产能力和生产操作强度 成品率系操作完毕后,所得成品数量与输入原料数量之比,以百分数表示;如以 η 代表之,则

$$\eta = \frac{G_2}{G_1} 100\% \quad (4)$$

由于制造中的损耗,成品率恒小于100%;显然 η 愈接近于100%,则操作愈完善。若遇生产过程系由几个步骤所组成,而其中每个步骤都有其成品率,则全部过程的成品率为各个步骤成品率的乘积。

在化学过程中,若已知化学反应方程式,则成品率可表示为实际得到的产品数量与理论上从化学反应式算出的数量的百分比。在无精确的化学反应式可遵循时,成品率可依原料的总数量或其中的任一物料的数量来计算;在后者的情况下,成品率可能小于,也可能大于100%。

生产能力为器械或设备的主要性能,以每单位时间进入物料的数量或所得成品的数量表示。所用的时间单位可为(分)、(小时)、(日),所用的数量单位可用(1)重量单位,如(公斤)、(吨), (2)体积单位,如(公升)、(米³),或(3)件数等等。例如,水泥粉碎机的生产能力以每小时(吨)或(吨/小时)数,液体输送设备的生产能力以每小时(公升)或(公升/小时)数,塑料成型压制机的生产能力以每小时(件)或(件/小时)数表示。

生产操作强度为足以表示器械或设备性能的基本单位的生产能力。例如,蒸发器的操作强度以每小时每平方米加热面所蒸发的水分量表示,硫酸塔的操作强度以每日每立方米塔体积所制成的硫酸量表示。

增加生产操作强度,为提高技术水平和提高劳动生产率的最重要任务之一。生产操作的加强,可使同一器械,同一装置,同一单位时间,同一操作人员所获得产品的数量提高。

能量平衡 能量平衡系基于能量守恒定律,其涵义是:凡引入操作的能量,必须等于操作后输出的能量。正确的能量平衡,应包括与操作有关的各种不同形式的能,如热能,机械

能、电能、辐射能、化学能、原子能等。但在许多情况下,操作所涉及的能仅为热能,则能量平衡即为热量平衡,如式(III)所示:

$$Q_1 = Q_2 + Q_{\text{散}} \quad (\text{III})$$

式中 Q_1 与 Q_2 分别代表热的输入与输出量,而 $Q_{\text{散}}$ 为损失的热量。热量平衡为化工制造过程中用以测验能量运用之是否完善或正常的重要方法之一。在过程设计时,热量之是否需由外界引入或向外界发散,均可由此种衡算来确定。

【例题2】 在贮槽内用饱和蒸汽将 20000 公斤的某溶液自 20°C 加热至 50°C。蒸汽在 110°C 通入贮槽中加热蛇管内,冷却水则在 95°C 排出。溶液的平均比热(或热容)为 0.9 仟卡/公斤·°C。操作期间,贮槽散失于四周的热量共计 60000 仟卡。问需用蒸汽多少公斤?

【解】 此为—热量衡算题。进行计算时,可取 0°C 为基准温度,设蒸汽用量为 W ,热量输入各项为:

溶液本身所含热量, $Q_1' = (0.9)(20000)(20) = 360000$ 仟卡

蒸汽所含热量, $Q_2' = 643.3W$ 仟卡(643.3 为蒸汽在 110°C 的热焓,由蒸汽表查得)

热量输出各项为:

溶液本身所含热量, $Q_2' = (0.9)(20000)(50) = 900000$ 仟卡

冷却水所含热量, $Q_3' = 95W$ 仟卡(95 为水在 95°C 的焓)

热量损失各项为:

贮槽散失的热量, $Q_{\text{散}} = 60000$ 仟卡

故热量衡算式为:

$$Q_1' + Q_2' = Q_2' + Q_3' + Q_{\text{散}}$$

$$360000 + 643.3W = 900000 + 95W + 60000$$

解上式,得

$$W = 1095 \text{ 仟克}$$

物系的平衡关系与变化速率 除了可以通过物料和能量平衡以了解每个生产过程的变化情况外,对于许多化工过程,也同时可从物系的平衡关系和变化速率的角度,加以观察分析。

物系自然发生变化时,其变化必趋向于一定的方向,如果听其自然,结果必将达于平衡。惟须着重指出,此平衡乃是动平衡。例如在一定温度下,不饱和的某盐溶液与该盐接触时,盐向溶液中溶解,直到溶液为盐所饱和,盐即表面上停止溶解,因其与溶液已达于动平衡。因此,平衡为物系变化的极限,除非影响物系的情况(如上述例中的温度)有变,否则其变化的极限不致改变。对于许多化工过程,物系的平衡关系具有实际意义,因为过程之能否进行,以及能进行到何种程度,均可由平衡关系推知。

平衡关系表示物系变化的极限,但物系变化的快慢不决定于平衡关系,而为多种因素所影响。可惜对支配各种不同物系的变化速率的因素,所知还不够完全明确,殊难将变化速率用一种能普遍应用的数学公式来代表。但在化工制造过程中,为了发挥设备的生产能力,时间因素往往较平衡关系所指出的变化极限,更为重要。因此,为了能帮助分析许多化工过程,可将物系变化速率表述为与推动力和阻力之间的关系。例如,冷物体与热物体接触时,由于两物体的温度不同,热由热物体流向冷物体;此传热速率的快慢,视温度差和热阻力的大小而定。直到此二物体的温度相等时,此时温度差为零,传热亦表面上停止,则称此二物体已达到热平衡。

物理量的单位制度

在计算过程和设备时,常需利用参与生产过程有关物质的各种物理性质,如密度、粘度、导热系数等,及用以表明这些物质状态的参变数,如温度、压强、速度等。所有这些物理量均可通过三四个独立的基本量来表示,其大小则可用各种单位来度量。在物理中的基本量为长度 L 、质量 M 、时间 t 和温度 T , 在工程中的基本量为长度 L 、重量或力 F 、时间 t 和温度 T , 各种物理性质都可用上述基本量来表示。

用以表示各个物理量大小的单位,有各种不同的度量衡制度,目前以公制应用最为广泛,因其为国际单位制且为十进制制,远较英制为优越。公制中又有绝对单位制和工程单位制。在绝对单位制中,长度、质量和时间为基本量,并分别以厘米、克和秒为各个基本量的基本单位,其中克为质量单位。在工程单位制中,长度、重量或力和时间为基本量,并分别以米、公斤和秒为各个基本量的基本单位,而公斤为重量或力的单位。

本书所采用的是米-公斤-秒工程单位制。为区别力与质量起见,当以公斤作为质量的单位时,则用公斤(质)表示。在运用计算时,应特别注意,并不得将不同的单位混合使用。

下面将厘米-克-秒绝对单位制和米-公斤-秒工程单位制两种不同制度中某些物理量的单位加以讨论,并将其结果列于表(见 10 页)中,以供参考应用。

(1) 速度 在绝对单位制中的单位是厘米/秒,在工程单位制中的单位是米/秒。

(2) 加速度 在绝对单位制中的单位是厘米/秒²,在工程单位制中的单位是米/秒²。

(3) 质量 在绝对单位制中为一基本量。在工程单位制中,质量则应当自力学基本定律(质量 = $\frac{\text{力}}{\text{加速度}}$)中求得,其单位应为公斤·秒²/9.81 米。

(4) 力(或重量) 力在工程单位中为一基本量。在绝对单位制中,则根据同一力学基本定律(力 = 质量 × 加速度)而求得,其单位应为 $\frac{\text{克} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}^2}$, 等于 1 $\frac{\text{克} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}^2}$ 的力的单位称为达因。

(5) 功 功等于力和距离的乘积。其单位在绝对单位制中为 $\frac{\text{克} \cdot \text{厘米}^2}{\text{秒}^2}$, 等于 1 $\frac{\text{克} \cdot \text{厘米}^2}{\text{秒}^2}$ 的功的单位称为尔格。在工程单位制中功的单位是公斤·米。

(6) 功率 功率是单位时间内所消耗或获得之功,所以它在绝对单位制中的单位为 $\frac{\text{克} \cdot \text{厘米}^2}{\text{秒}^3}$, 在工程单位制中则为 $\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{秒}}$ 。

(7) 压强 压强是单位面积上所受之力,所以它在绝对单位制中的单位为 $\frac{\text{克}}{\text{厘米} \cdot \text{秒}^2}$, 它在工程单位制中的单位为公斤/米²。

(8) 密度 某种物质的密度是该物质在单位体积内的质量,所以它在绝对单位制中的单位为克/厘米³。其在工程单位制中的单位则为 $\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^3}{\text{米}^3}$ 。

除上述物理量外,其他经常涉及的物理量的单位,则在以后有关章节中论及。

两种不同制度中某些物理量的单位表

物 理 量	单 位	
	厘米-克-秒制	米-公斤-秒制
长度	厘米	米
质量	克	公斤·秒 ² /9.81米
时间	秒	秒
速度	厘米/秒	米/秒
加速度	厘米/秒 ²	米/秒 ²
力 (或重量)	克·厘米/秒 ² 或达因	公斤
功	克·厘米 ² /秒 ² 或尔格	公斤·米
功率	克·厘米 ² /秒 ³ 或尔格/秒	公斤·米/秒
压强	克/厘米·秒 ²	公斤/米 ²
密度	克/厘米 ³	公斤·秒 ³ /米 ³

在上述两种制度的单位间存在着一定的比值关系,借助这些比值关系,就可以把物理量的单位由一个制度换成另一个制度。

复 习 题

1. 说明物料平衡、能量平衡及过程的平衡关系的意义及其应用。
2. 什么叫过程的推动力、阻力和反应速率? 试讨论说明。

练 习 题

现用一鼓风机输送焦炉气 50000 米³/小时(标准状况下),鼓风机前煤气温度为 25°C、压强为 730 毫米汞柱,鼓风机后煤气温度为 40°C、压强为 920 毫米汞柱,求鼓风机前后操作状态下的煤气体积为多少米³/小时?

第一篇 流体力学过程

第一章 流体力学基础

第一节 概 述

流体是指具有流动性的物体，它包括气体和液体。化工生产过程绝大多数是在液相或气相中进行，且多数是连续的大量生产。今以化学肥料之一硫酸铵的生产为例，其整个生产是以氨气与硫酸为原料，在一定的温度下，氨气与硫酸反应而生成硫酸铵，如图 1-1 所示。

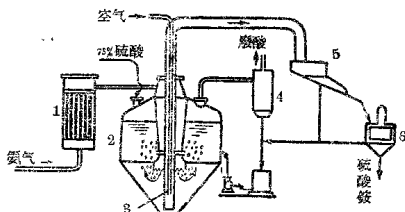


图 1-1 化学肥料——硫酸铵生产流程

1—预热器；2—饱和器；3—升液器；4—分离器；5—沉降槽；6—离心机

由图 1-1 可知，在硫酸铵的生产过程中，从原料到半成品（其成品为固体结晶）都是流体，生产过程全在流体流动的状态下完成。其他如石油工业、固体燃料加工工业以及有机合成等工业中也都有类似的情况，即生产所处理的物料多半是流体或呈流体状态。由此可见，不管是大型工厂还是小型工厂，是洋法生产还是土法生产，处理流体的操作都是其生产过程中所必不可少的。

在化学工厂中为了完成将流体原料或成品沿管路由一工序送往下一工序，由这个设备如热交换器、塔器、反应器等）送往其他设备的输送任务，必须确定流体输送设备的大小及所需功率。具体说来，就是需要解决管路设计、流体沿程的能量损失以及输送机械的选择等问题。为了保证各生产设备中过程能良好的进行，还必须选择最适宜的流体流动条件，以利于小设备大生产低消耗。此外，为了控制生产还必须在输送系统中和各种设备上随时对压强、流量等参数进行一系列的测定。

所有上述问题均与研究流体（气体及液体）宏观运动和平衡规律的流体力学有关。所以，我们先从流体力学的学习入手，为的是能比较深刻的掌握流体平衡与运动的基本规律后，从而解决上述问题以及化工生产中与此有关的其他实际问题。