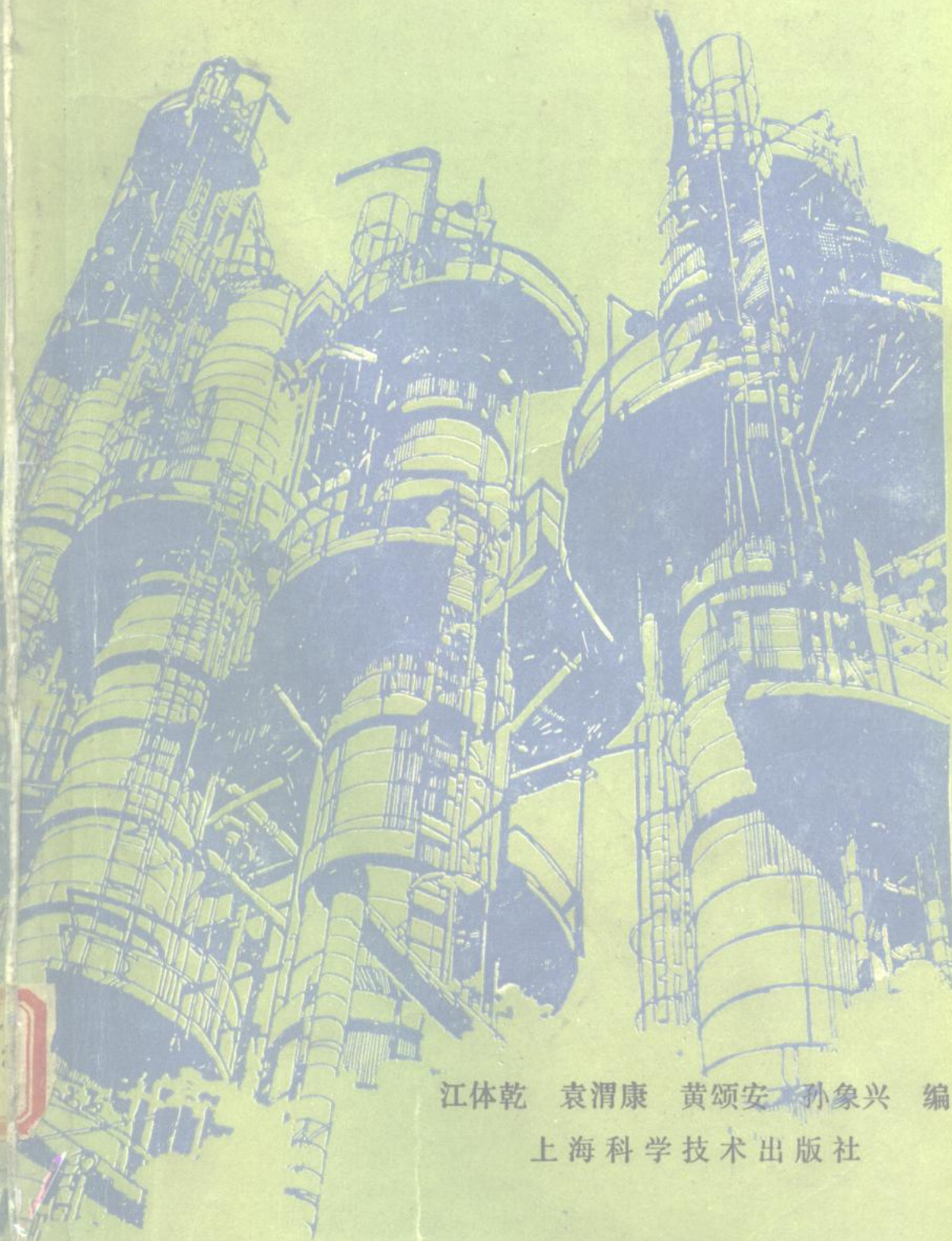


基础化学工程

修订版

(上册)



江体乾 袁渭康 黄颂安 孙象兴 编

上海科学技术出版社

基础化学工程

(修订版)

上册

江体乾 袁渭康 黄颂安 孙象兴 编

3K539/15

上海科学技术出版社

基础化学工程 (上册) 修订版 江体乾 袁渭康 黄颂安 孙象兴 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行

商务印书馆上海印刷厂印刷

开本 787 × 1092 1/16 字数 732, 000

1990 年 3 月第 2 版

1991 年 1 月第 6 次印刷

印数: 1~ 3, 600

ISBN7-5323-1136-8/TQ·23

定价: 18.90 元

修订版序

《基础化学工程》又名《化工原理》，是化工类及其邻近工业部门的专业技术基础读物。自本书初版发行以来，已累计印刷十余万册，反映了本书受欢迎的程度。广大读者反映：此书文字流畅，概念清晰，理论联系实际，便于参考，便于自学；可作教材，亦可作教学参考读物；为大、中、小工厂技术人员案头必备，借以解决中小化工厂中的技术问题时可以无师自通，因而，受到广大读者，特别是化工类普通高校、成人高校师生以及技术人员的欢迎。惟初版时采用工程单位制，自1984年国务院明令全国采用统一的法定计量单位以来，造成诸多不便。又，现在看来初版的理论叙述失之过简，不能适应当今的要求。本书作者有鉴于此，特予修订。修订后的第二本除保持初版的特色与优点外，将全书改用国家公布的法定计量单位，每章末增加习题若干，适当提高理论水平，并对内容加以精选，原上、中、下三册改为上、下两册出版，特别增加了分离方法——吸附、膜分离两章新内容，以应当今化工技术与改革的需要。需要说明的是，习题中间或有非法定单位出现，这只是考虑到国内外计量单位的现状，为了让读者熟悉单位换算而设的少量例外。

由于电子计算机迅速地普及，原第十四章“数字计算机应用举例”，已不再有单独辟为一章的必要；根据学科的发展，结合我们的研究工作，一并编入本书各有关章节之中。

本书内容分为十四章，每册七章。此次具体编写分工如下：

江体乾（第一章、第二章、第四章、第八章），吴俊生（第九章、第十章、第十一章、第十四章），黄颂安（第三章、第六章、第十二章、第十三章），袁渭康（第五章）以及孙象兴（第七章）。

由于本书对化学工程的基础——单元操作作了全面的叙述，所以，本书适合作为普通高校、成人高校中化工系各专业学生《化工原理》课程的教材或参考之用；由于本书理论密切联系工厂实际且有必要的大型设计或设备选型例题，又适合化工领域中从事研究、设计以及工厂技术人员参考，特别适合广大乡镇企业中技术人员自学之用。

本书再版虽经修订，但遗漏、疏忽甚至错误之处在所难免，恳请热爱本书的读者继续提出宝贵意见。作者对他们预致谢忱！

作者

1988. 10. 3. 上海

目 录

绪论	1
第一章 流体流动	5
第一节 管径的选择	6
一、流体的密度、比重和比容	6
二、流量和流速	9
三、管径的选择	9
第二节 流体的压强及其测量	11
一、压强的定义及单位	11
二、压强的表示方式	12
三、测压仪表	13
第三节 流体流动过程中的物料和能量衡算	17
一、稳定流动和不稳定流动	17
二、流体作稳定流动时的物料衡算	18
三、流体作稳定流动时的能量衡算	19
四、能量衡算方程的应用	26
第四节 流体的阻力	32
一、流体阻力产生的原因及其影响因素	32
二、粘度	33
三、流体流动的类型	35
四、当量直径与水力半径	38
五、流体在圆管中的速度分布	38
六、边界层的形成、发展及分离	44
七、流体阻力的计算	47
八、直管阻力的计算	47
九、管壁粗糙度及其对摩擦系数的影响	49
十、滞流时的摩擦系数	50
十一、湍流时的摩擦系数	51
十二、局部阻力的计算	54
十三、减低流体阻力的途径	61
第五节 管路的计算和布置	62

一、简单管路的计算	62
二、串联管路和并联管路的计算	68
第六节 流量的测量	72
一、测速管	74
二、孔板流量计	77
三、喷嘴流量计和文氏流量计	79
四、转子流量计	84
五、电磁流量计	85
本章符号说明	87
参考文献	87
习 题	87
第二章 流体输送机械	93
第一节 化工用离心泵	93
一、作用原理及结构	94
二、主要零部件结构	97
三、主要性能参数	100
四、离心泵的基本方程	103
五、特性曲线	105
六、特性曲线的换算	107
七、吸入真空高度及汽蚀现象	110
八、离心泵的工作点及流量调节	112
九、离心泵的并联与串联操作	114
十、化工厂常用离心泵的类型与型号	118
十一、离心泵的选用	120
十二、旋涡泵	123
第二节 化工用其他类型泵	123
一、往复泵	127
二、旋转泵	128
三、流体作用泵	129
第三节 各种化工用泵的比较	131
第四节 气体压缩和输送机械	131
一、通风机	135
二、鼓风机	137
三、压缩机	143
第五节 化工厂用真空泵	143
一、往复式真空泵	144
二、旋转式真空泵	145
三、蒸汽喷射泵	146
四、水喷射真空泵	147
五、真空泵的选型和计算	147

本章符号说明	149
参考文献	151
习 题	151
第三章 液体搅拌	153
第一节 概述	153
第二节 搅拌操作及搅拌器的类型	154
一、搅拌器的分类	154
二、搅拌设备的其他结构问题	158
三、间歇搅拌和连续搅拌	158
第三节 混和程度	159
一、混合物的调匀度	159
二、混合物的分隔尺度和分隔强度	160
三、过程对混和程度的要求	161
第四节 搅拌釜内液体的流动	162
一、总体流动和湍流	162
二、搅拌过程中机械能的输入	163
三、湍流混和机理	164
第五节 搅拌器的选型	165
一、选型原则	165
二、搅拌能量的分配	166
三、搅拌器的选型	168
第六节 搅拌器的放大	169
一、几何相似	169
二、搅拌设备的放大试验	170
三、搅拌功率估定	174
本章符号说明	178
参考文献	178
习 题	178
第四章 气固分离	180
第一节 概述	180
第二节 重力沉降	182
一、沉降室	182
二、沉降速度	184
第三节 旋风分离器	190
一、旋风分离器的基本概念	190
二、旋风分离器的分离效率和压降	193
三、粒径和粒度分布的测定	198
四、影响旋风分离器性能的因素	202
五、几种常用的旋风分离器	206

六、旋风分离器的设计选型	211
第四节 袋式过滤器	213
一、振动式袋滤器	215
二、脉冲反吹式袋滤器	215
三、气环反吹袋滤器	217
第五节 其他除尘方法及设备	218
一、湿法除尘	218
二、电除尘器	221
本章符号说明	223
参考文献	225
习 题	225
第五章 悬浮液的分离	226
第一节 概述	226
第二节 沉降	227
一、重力沉降的原理及沉降器	227
二、沉降速度及沉降实验	228
三、各种浓度沉降速度的确定	230
四、连续沉降槽的设计	231
五、旋液分离器	236
第三节 过滤	236
一、过滤操作在化工生产中的应用	236
二、化工中常用过滤设备	237
三、过滤机的生产能力及其影响因素	243
四、过滤介质的选用和助滤剂	245
五、流体通过滤饼层的分析	247
六、过滤基本方程	248
七、过滤基本方程的应用	250
八、过滤常数的测定	251
九、滤饼的洗涤	252
十、过滤机的工艺计算	254
十一、过滤的工程放大	256
第四节 离心机	259
一、离心机及其在化工生产中的应用	259
二、常用离心机的结构与操作	260
第五节 各种分离方法的分析比较	265
本章符号说明	267
参考文献	268
习 题	268
第六章 传 热	271

第一节 概述	271
一、化工生产中的传热问题	271
二、换热器及其换热过程中的基本问题	271
三、传热中的单位制换算	274
第二节 热负荷和载热体	274
一、热负荷——工艺对换热能力的要求	274
二、载热体	275
第三节 传热温度差	278
一、逆流和并流时的平均温差	279
二、错流和折流时的平均温差	280
三、流体流向的选择	285
第四节 传热系数 K	286
一、传热系数 K 值	285
二、传热过程的分析	287
第五节 传热原理	288
一、热传导	288
二、对流传热	297
三、热辐射	322
第六节 传热面积计算	335
一、传热系数计算式的推导和讨论	335
二、用 K 的计算式求取 α 的关系式	339
三、传热面积计算	340
四、传热效率和传热单元数	342
第七节 列管换热器的结构和设计计算	348
一、列管换热器的基本结构型式	348
二、列管换热器设计中的几个基本问题	350
三、列管换热器设计的基本步骤	359
四、列管换热器设计和选用实例	364
第八节 其他常用换热器	369
一、套管式换热器	369
二、蛇管式换热器	370
三、夹套式换热器	373
四、翅片管式换热器	375
五、螺旋板式换热器	376
六、石墨换热器	380
第九节 传热强化途径和新型换热器	381
一、传热强化途径	381
二、新型换热器介绍	384
本章符号说明	389
参考文献	391
习 题	391

第七章 蒸 发	395
第一节 概述	395
第二节 蒸发器的型式及应用	397
一、自然循环蒸发器	397
二、强制循环蒸发器	399
三、膜式蒸发器	400
四、浸没燃烧蒸发器	404
五、蒸发器的选型	405
六、蒸发器的改进	407
第三节 单效蒸发器的计算	407
一、单效蒸发器的计算	407
二、溶液的沸点升高和温度差损失	409
三、浓缩热和溶液的焓浓图	413
四、蒸发器的生产强度及其影响因素	414
第四节 多效蒸发及其计算	415
一、多效蒸发操作的流程	415
二、多效蒸发器的计算	417
三、多效蒸发器效数的限度和生产能力	431
四、二次蒸汽再压缩蒸发	431
五、蒸发器设计举例	432
第五节 蒸发辅助设备	437
一、汽液分离器	437
二、混合冷凝器	438
三、疏水器	439
本章符号说明	440
参考文献	441
习 题	442
附 录	443
一、单位因次及其换算	443
1. 一些物理量在三种单位制中的单位和因次	443
2. 单位换算	444
二、水与蒸汽的物理性质	448
1. 水的物理性质	448
2. 水在不同温度下的粘度	449
3. 水的饱和蒸汽压(-20°至100°C)	450
4. 饱和水蒸气表(以压强为准)	451
三、液体及水溶液的物理性质	453
1. 某些液体的重要物理性质	453
2. 有机液体密度列线图	455
3. 有机液体的表面张力列线图	457

4. 某些无机物水溶液的表面张力	459
5. 液体在 20°C 的体积膨胀系数	459
6. 液体粘度列线图	460
7. 液体比热列线图	462
8. 液体汽化潜热列线图	464
9. 无机溶液在大气压下的沸点	465
四、气体的物理性质	466
1. 干空气的物理性质	466
2. 某些气体的重要物理性质	467
3. 气体粘度列线图	468
4. 气体比热列线图	469
五、常用固体材料的重要性质	470
六、管内各种流体常用流速	471
七、通用常数	471
八、管子规格	472
九、泵规格	474
十、离心通风机规格	477
十一、管壳式热交换器系列标准(摘录)	479
十二、浮头式换热器和冷凝器规格型号	481

绪 论

(一)

化学工程是工程技术的一个分支,是探讨化工生产装置中所进行过程的规律性,并根据对这些规律性的认识来解决化工生产中的工程问题,例如,实验工作的组织,过程的工程放大,设备的化工设计及操作等等。它对化工生产的发展起着重要的作用。在有关各工业部门,如化学、石油及天然气加工、冶金、食品、造纸、海水综合利用及原子能等工业中,亦占有重要地位。与此同时,化学工程与其他科学技术相互交叉渗透,拓宽了化学工程的应用与发展,产生了一些更新的边缘技术学科,如生物化学工程、医学化学工程、地热化学工程、电化学工程、大气化学工程、环境化学工程、临界条件下的化学工程等等。

化学工程作为一门专门的新兴的工程技术确立于本世纪二十年代,它的诞生与大规模的化工生产紧密相连。1923年 W.H.Walker, W.K.Lewis 和 W.H.Mcadams 共著《化学工程原理》,它是第一部化学工程的教科书,开创了以单元操作为标志的奠基时期。

一切化工过程不论其生产规模大小,除化学反应外,其他均可分解为一系列基本的物理过程,即“单元操作”。不同工艺过程中的同一种单元操作,具有共同的基本原理和通用的典型设备。单元操作的发展,推动了过程的工程放大,促进了单元操作理论的完善。数学和计算机技术的渗入又促使其由经验向技术科学过渡。由此,化学工程在其发展过程中,起初归纳为若干单元操作,尔后又陆续发展出若干分支。至今化学工程包括“单元操作”、“化工热力学”、“传递原理”、“化学反应工程”、“化工系统工程”等分支。纵观其发展,“单元操作”是发展最早而且又是化学工程中奠基性的学科分支,所以,本书定名为“基础化学工程”。

化学工程的基本任务是解决在实现大规模化工生产中出现的工程问题。根据化工生产的特点,化学反应常是构成整个生产过程的中心环节,但是以化工生产中出现的的大量问题来看,多数属于下列几个方面:

- (1) 流体的流动和输送;
- (2) 热量传递;
- (3) 混合物的分离。

本书的第一、二章介绍了流体流动及输送的基本规律和设备。第六章介绍了传热的基本规律及常见换热器。

混合物的分离在化工生产中占有特殊地位。例如,原料经过化学反应生成反应物。由于用于化学反应的原料通常需经分离提纯,为反应创造适宜的反应物配比和清除有害物质等,反应转化通常不可能完全,同时还存在副反应,因此反应的产物必然含有多种组分,这些混合物需进一步分离提纯后方可使用。根据混合物的不同性质,分离方法也各不相同。第四、五章分别介绍了气固混合物和液固混合物分离的基本原理和设备。这些混合物由固体和气体或液体构成,因此是非均相混合物,一般可用机械方法予以分离。

均相混合物,如混合气体、液体溶液等,其分离方法则与上述机械分离方法完全不同,大多是根据物理或物理化学的原理予以分离,有时也用化学的方法,如伴有化学反应的气体吸收。但本书的重点是物理过程。第七章蒸发,系利用加热的方法,使可挥发的溶剂与基本上不挥发的溶质分离。第八、九、十一、十二章的气体吸收、液体精馏、液液萃取和吸附均受混合物中各组分在平衡的两相中的分配支配,合称平衡分离过程。第十三章膜分离,系利用混合物中各组分在一定推动力(如压差、电位差或浓度差等)作用下,通过半透膜的渗透率差异实现分离,其间不发生相的变化。

(二)

本书各章分别介绍一些常见的单元操作的基本原理、各种典型设备,它们的简单设计计算与选用。但组成化工生产的各个环节、各种过程与设备,它们之间有着密切的联系。如何将这些过程和设备尽可能合理地选用、设计、组合,构成一个适宜的流程,则必须根据具体生产条件对这些过程和设备进行全面的考虑。

(1) 工程的现实性。将各种过程和设备进行组合,以实现某种化工生产,首先应考虑的是哪些过程和设备对实现这种化工生产具有工程的现实性,然后再从技术和经济的合理性的角度在这些现实的过程和设备中进行优化。

(2) 对设备条件和操作条件作全面平衡。设备条件和操作条件的优化,其结果通常可使生产过程尽可能地经济合理。以精馏为例,通常进料组成是已知的,要求产品纯度也是已知的,设计时可供选择的参数通常是:回流比、操作压强和塔径。需对以上设备条件和操作条件进行具体分析,使生产过程尽可能地经济合理。

(3) 能量问题。物料的输送与搅拌、加压或减压操作的提供均涉及到机械能的消耗,而热量(或冷量)的加入或取出,则更是非常频繁,有些分离过程本身就涉及到热量的收支,如蒸馏、蒸发等。经济地利用能量,对于降低燃料的消耗和降低成本有着重要的意义。因此构成一个适宜的流程,能量的消耗和利用是应予权衡的重要因素。

(4) 设备选用。化工生产的合理组织与设备的进展紧密相连。某一生产方法,由于设备方面的原因,一个时期内可能是不现实的,但随着设备的改进与发展,这种方法可能成为应该优选的方法。关于设备问题,大多归结为效率、生产能力和动力消耗(压降)之间的平衡。高的效率通常意味着高的传质系数,而后者往往由于强烈地搅拌,较长的接触时间所造成,而这些与较高的压降和动力消耗联系着。因此设备问题实际上往往就是在效率、生产能力和压降之间,在具体条件下寻求合理的平衡,或者说,是根据具体的生产情况进行各种形式的优选。

(三)

在分析单元操作或化工过程中,常常用到下列几个基本概念:

(1) 物料衡算。它是质量守恒定律在化学工程中的具体应用。它说明在一个化工过程中,进入物料量必等于排出的物料量和过程中的累积量。由此对总物料或其中一组分可列出方程求解,这种运算称为物料衡算。如果在过程中累积量等于零,它是稳定操作。反之,将是不稳定操作。

进行物料衡算时,首先需确定计算对象所包括的范围。它可以是一个单一设备、其中的一部分或一个微分单元,也可以是几个设备或几个处理阶段的全流程。至于选用哪一范围,应视具体情况而定。其次,要规定出衡算的基准。选取过程中未发生变化的物质(惰性物质)可使计算得到简化,对有化学变化的过程还可取某一化学元素作为衡算基准。

物料衡算在设备的设计中和分析过程的运转情况中具有重要的现实意义。在设计新的生产过程时,物料衡算可以帮助我们正确地选择过程的流程及设备的大小;在实际操作中,物料衡算可以揭示用料程度和设备操作的正常情况及生产的完善程度,从而可以订出改进方案,做到既经济又合理。

(2) 能量衡算。能量守恒和转化定律的具体应用。在本书中,首先遇到的是机械能与热能的转化,流体作稳定流动时的能量衡算,就是转化定律的具体应用。而化工过程通常涉及的能量衡算多数是热量衡算。在热量衡算(焓衡算)中基准温度是重要的。这个基准温度应与所选用数据手册上的基准温度相一致。

在生产过程与设备设计中,应用能量衡算可以揭示热量是否需要外界引入或向外界输出。在生产操作中,能量衡算帮助选择操作条件和检验能量消耗程度,制定经济合理的能量消耗方案等等。

(3) 平衡关系。流体流动的压强差,热量传递的温度差,扩散过程的浓度差,均反映了过程进行的一定的方向和限度,由不平衡趋向于平衡。然而,化工上所指的平衡关系常指两相间的物质传递的方向和限度。有关气(汽)体与液体或液液之间的平衡关系以及吸附平衡关系是热力学的內容,在本书的气体吸收、液体精馏、液-液萃取、吸附等各章中得以具体应用。

(4) 过程速率。它是在工程技术中更具有现实意义的概念。一般地讲,总希望过程速率快些,时间就能节省,从而提高设备的生产能力。过程速率与“推动力”或“推动势”成正比,推动力的性质决定于过程的内容:流体流动的推动力是压强差,传热过程的推动力是温度差,传质过程的推动力是浓度差。过程速率与阻力成反比。各过程的阻力性质只有对各个过程进行具体分析后才能搞清楚。

(四)

凡参与生产过程的物料都具有各种各样的物理性质,如粘度、密度、导热系数等,而且还常常需用各种不同的参变数,如温度、压强、速度等来表示过程的特征。尽管这些物理量种类繁多,各不相同,但都可以通过几个彼此独立的基本量来表示其性质。常用的基本量如长

度[L]、质量[M]、时间[T]和温度[θ]等。它们的因次分别用上述的代号表示。其他物理量都可以通过既定的物理关系与基本量联系起来。所以,这些物理量 Q 称为导出量,其因次可按下列形式表示出来:

$$[Q] = L^a M^b T^c$$

此式称为物理量 Q 的因次。

因次明显地表示导出量和基本量之间的关系,阐明了物理量的特性。它对于单位换算、校验计算结果的正确性,具有实际的意义。

因次的一致性原则——因次分析依据的基本原则,即物理方程等号两边各项的因次必须相等。至今,它仍在化学工程中作为规划实验、减少变量的有用工具,对于发展一些关系式具有很大的实用价值。

国际单位制(简称 SI)是 1960 年 10 月国际计量大会通过的一种新的单位制,它规定了七个基本单位:长度单位 m(米),质量单位 kg(千克),时间单位 s(秒),电流单位 A(安培),热力学温度单位 K(开尔文),物质的量单位 mol(摩尔),发光强度单位 cd(坎德拉)。每个基本单位都有严格的科学定义,它是一种合乎科学而意义明确的体系。它不仅具有一贯性,也就是说,所有的物理量单位均由上述七个基本单位相乘或相除而导出,都不需引入任何比例系数,而且有广泛的通用性。我国已经公布的《计量单位名称与符号方案》(试行)中规定,我国的计量单位以国际单位制为基础,同时沿用某些非国际制单位。1984 年 2 月 27 日国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,决定在采用先进的国际单位制的基础上,进一步统一我国的计量单位。因此,本书采用国际单位制,但是掌握各种单位制之间的换算是必须熟悉的一项基本技能。附录中列出各种单位制的换算表,以便读者参考使用。

第一章 流体流动

气体和液体都是能够流动的,总称为流体。在化工生产中所处理的物料,包括原料、中间体及产品等,绝大多数都是流体。为了使这些流体物料能参与生产过程中的物理变化(如加热、冷却、蒸发、蒸馏及萃取等)和化学变化(如催化、裂化、加氢、氧化等),必须将流体从一个地方输送到另一个地方,从一个设备流到另一个设备,并使流体在设备中保持最适宜的流动条件,以达到小设备大生产低消耗。因此,流体流动是化工生产过程中常遇到的一个十分重要的问题。

现将生产中与流体流动有关的问题介绍如下:

(1) 管径的选择及管路布置

在现代化工厂中,流体是通过管路来输送的,一条管路是用管子、管件(如管接头、肘管、法兰及三通等)和阀门连接而成。有的管路长达上千公里,如大庆原油通过输油管从油田输送到工厂进行炼制;有的管路将一个工厂或车间的产品输送到另一个工厂或车间作为原料;有的管路是用来沟通车间中的设备,如贮槽、计量槽、高位槽、换热器、反应器、分离器及塔器等。除了上述物料管路之外,还有用来输送加热蒸汽、冷却水、压缩空气、废气、废液及连接真空系统等的各种管路。所以,管路在化工厂中起着极其重要的作用,好比人体中的血管一样。要使管径的选择及管路的布置正确合理,须根据被输送流体的性质和输送量的大小,并考虑到生产操作上的方便与安全,节约材料与能量等因素加以确定。

(2) 估算输送流体所需的能量,确定输送机械的型式及其所需的功率

流体是由大量质点组成的连续体,当受到外力(如重力或压力等)的作用时,流体便会流动。例如,水受重力的作用,能自动地从水塔沿着管路流到工厂各个地方。但是,要想使流体从位置低或压强低的地方流到高的地方,对于短距离的液体输送,可利用压缩空气或抽真空来达到;而在大多数的场合,流体的输送是依靠流体输送机械(如泵或鼓风机等)对流体作功来提高流体的压强,使流体能从位置或压强低的地方输送到位置或压强高的地方,或者,使流体作长距离的输送,这说明流体流动的推动力是位置的高度差或压强差。同时,流体在管路和设备中流动时是有阻力的,流体输送机械对流体作功所供给的能量,正是为了抵消提高流体的位置或压强以及克服阻力而损耗了的能量。因此,流体机械的选用问题是经常会碰到的。要合理解决它,须根据流体的性质、输送量的多少,通过流体流动过程中的物料衡算、能量衡算及流体阻力计算,求得输送机械所需的能量及流量,然后参照生产操作的经验选用适宜型式的输送机械,确定所需的功率,作为选用电动机的依据。

(3) 流速、流量及压强的测量

为了了解生产过程运行的情况,控制生产在稳定条件下进行,往往需要随时测量管路或设备中流体的流速、流量或压强等参数,须在有关的管路上或设备上装置测量这些参数的仪表。要做到测量精确和仪表选用合理,须了解仪表的操作原理、性能及在管路或设备上的安装要求,以及所要测量的大致范围等。

(4) 提供最适宜的流体流动条件,作为强化设备操作及设计高效能设备的依据

流体流动在化工生产上的应用,除了解决上述问题之外,更重要的是为了强化设备操作及设计高效能设备提供依据。在化工生产过程中的传热、传质、流体与固体的分离、固体流态化及化学反应等过程,都是在流体流动或运动的情况下进行的,因此,流体流动对于上述各个过程的进行及能量损耗等各方面都有密切的联系。最近十多年来,在化工生产上使用的一些新型设备,如板片、板壳及板翅式换热器、新型塔器、新型除尘器以及管道反应器等,它们的出现都是与流体流动的研究分不开的。

要合理解决上述提出的四个方面的问题,必须掌握流体的平衡及流动的规律,诸如流体流动过程中的物料衡算、能量衡算和流体阻力计算等。

本章学习的内容有:管径的选择,流体的压强及其测量,流体流动中的物料和能量衡算,流体阻力,管路的计算以及流量的测量等。

第一节 管径的选择

在化学工业中,流体一般在管路中流动,管径的大小取决于流体的输送量,而计算输送量又要了解流体的特性,如对密度、比重和比容以及流体的流量、流速有一个统一的认识。

一、流体的密度、比重和比容

密度 单位体积流体的质量,称为流体的密度,密度的 SI 单位是 kg/m^3 。如果设 m 为流体的质量, ρ 为流体的密度, V 为流体的体积,则

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

流体密度的单位和数值大小,与采用的单位制度有关。在工程和工业计算中过去习惯上采用的是工程单位制,在化学、物理学中常常采用绝对单位制。 4°C 时水的密度在 CGS 绝对单位中为 $1\text{ g}/\text{cm}^3$,工程单位制中为 $102\text{ kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$,在 SI 单位制中为 $1000\text{ kg}/\text{m}^3$ 。流体密度的数据可从化工手册或设计参考手册中查到。为了使用方便起见,本书附录中列出了某些工业上常用的气体和液体的密度数据。

比重 流体的密度与 4°C 时纯水的密度之比,用符号 S 表示,即

$$S = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可知,比重是没有单位的(无因次),仅仅是一个比值。在物理及化学手册中查到纯苯的比重 $[S]_4^{20} = 0.88$ (方括号右上角数字表示纯苯的温度,右下角数字表示纯水的温度),由此可知纯苯在 20°C 时的密度为 $880\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

比容 单位质量流体的体积,称为流体的比容,其 SI 制单位是 m^3/kg ,如用符号 v 表