

化工生产过程及机器设备

化工机械检修工人中级技术培训教材



化工生产过程 及机器设备

张应玲 主编

张应玲 主编

成都科技大学出版社

Q051

化工生产过程及机器设备

张应玲主编



成都科技大学出版社

内 容 提 要

本书经化工部教育司、劳资司批准，按照化工部（87）化教字03文件颁发的化工机械检修工中级技术理论培训的教学计划和《化工生产过程及机器设备》教学大纲编写而成。

本书内容主要包括：流体输送、非均相系的分离、传热、气液传质及干燥等主要化工过程的基本规律以及完成这些过程所用的机器设备的结构、性能和工作原理；化工容器及其附件的结构、基本受力分析及简单强度计算等共四篇十二章。另外配有插图及附录。

本书为化工机械检修工中级技术理论培训试用教材，也可供制糖、制药等机械检修工人理论培训参考，也可供轻工、化工技工学校师生参考。

化工生产过程及机器设备

张应玲 主编

成都科技大学出版社出版、发行
四川省新华书店经销
成都科技大学印刷厂印刷
开本：787×1092 1/16 印张：18.125
1988年9月第1版 1988年9月第1次印刷
字数：429千字 印数：14,000

ISBN7-5616-0126-3/TQ·13 定价：5.00元

前 言

对广大工人进行比较系统的技术理论培训，是一项战略任务。开展这项工作，教材是个关键。为了统一培训目标及教学内容，逐步建立起比较正规的工人技术教育制度，我们在全中国化工技术培训教材编委会的领导下，根据化工部颁发的《化工检修工人中级技术等级标准》和《化工机械检修工人中级技术理论培训教学大纲》，组织编写了化工机械检修九个工种（检修（综合）钳工、机泵检修钳工、橡胶设备检修钳工、管工、铆工、电焊工、气焊工、起重工、无损探伤工）用的五门技术基础课教材：《工程制图》、《机械基础》、《金属工艺基础》、《化工生产过程及机器设备》、《橡胶制品机械》和七门专业课教材：《化工检修钳工工艺学》、《化工管工工艺学》、《化工铆工工艺学》、《化工焊工工艺学》、《化工起重工艺学》、《化工无损探伤工艺学》、《橡胶设备检修钳工工艺学》。

这套教材主要用于化工机械中级检修工人培训，也适用于技工学校、职业学校的相关专业，还可作为中专、大专院校有关专业实践性教学的参考书。考虑到在职培训的特点，同时也为了便于教学，这套教材在内容上贯彻“少而精”的原则，力求做到结构合理、份量恰当、联系实际、学用结合、由浅入深、循序渐近，在将基本概念、基本理论、基本技能阐述清楚的前提下，注意到知识的科学性、系统性和适合读者自学的需要。各门教材之间既注意相关的联系衔接，又使有一定的独立性和灵活性，使用单位既可利用整套教材对工人进行系统培训，又可选用其中的一种或几种进行短期的、专门的单项技术训练。

在编写过程中，吸取了不少职工教育工作者的意见。很多省市化工厅（局）、企业、学校和研究单位提供了大力支持和许多方便。书稿完成后，又在全国范围内组织了在工厂、学校、研究设计单位的许多同志进行审阅。对于参与编写工作和审稿工作的同志，我们致以诚挚的谢意。

编写化工机械检修工人技术理论培训的统一教材，建国以来还是第一次，由于时间仓促和编写经验不足，书中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望使用单位和广大读者批评指正，以便进一步修改完善。

化工部技术培训教材编委会

西南、西北地区组

1987年8月

编者的话

《化工生产过程及机器设备》是化工机械检修工人中级技术理论培训的一门技术基础课教材。编写该教材的主要依据是化工部颁发的化工机械检修工人中级（4~6级）技术等级标准和本课程的部颁教学大纲。

本课程的任务是使化工机械检修工人比较系统地掌握化工生产过程及化工机器设备的基本知识和基本理论，以提高工人分析和解决生产中实际问题的能力，同时为后继专业课打下必要的基础。也为技术工人进一步进行高级技术培训作好准备。

在本书编写过程中，化工部技术培训教材编委会西南西北地区组对全书初稿组织了会审，参审者提出了许多宝贵意见，对提高本书的质量起了积极的作用。对此，编者谨表示衷心的感谢。由于编写时间短，编者水平有限，书中难免存在不少欠妥或错误之处，恳切地希望各使用单位和广大读者批评指正，以便进一步修改完善。

本书编审者：

主审 黄世焕

主编 张应玲（绪论、第一、四篇）

参编 罗玉先（第二、三篇）

参加审稿的还有：韩昌林、张明桥、孙永驰、林汇泉、刘绍初、杨通权。

1987年10月

目 录

绪 论.....	1
复习题.....	8
练习题.....	8

第一篇 流体流动过程及输送机械

第一章 流体流动的基本知识.....	9
第一节 流体的主要物理性质.....	9
第二节 流体静力学.....	12
第三节 流体动力学.....	19
第四节 流体阻力.....	28
复习题.....	40
练习题.....	41
第二章 液体输送机械——泵.....	43
第一节 概述.....	43
第二节 离心泵.....	43
第三节 往复泵.....	53
复习题.....	56
练习题.....	57
第三章 气体的压缩与输送机械.....	58
第一节 概述.....	58
第二节 活塞式压缩机.....	60
第三节 回转式压缩机.....	68
第四节 透平式压缩机.....	70
复习题.....	74
练习题.....	74
第四章 非均相系的分离及分离设备.....	75
第一节 概述.....	75
第二节 气体非均相系的分离及分离设备.....	76
第三节 液体非均相系的分离及分离设备.....	84
复习题.....	95

第二篇 传热过程及设备

第五章 传热基本原理.....	96
-----------------	----

第一节 概述	96
第二节 传热基本方程式	100
复习题	114
练习题	114
第六章 换热器	115
第一节 概述	115
第二节 蛇管换热器	116
第三节 列管换热器	118
第四节 其它类型的换热器	128
复习题	132

第三篇 传质过程及设备

第七章 气液传质过程基本理论	133
第一节 概述	133
第二节 蒸馏	136
第三节 吸收	145
复习题	156
练习题	156
第八章 气液传质设备	157
第一节 概述	157
第二节 板式塔	158
第三节 填料塔	171
复习题	181
第九章 固体的干燥及干燥设备	182
第一节 概述	182
第二节 干燥的基本原理	184
第三节 干燥设备	186
复习题	195

第四篇 化工容器

概 论	196
第十章 薄壁容器	199
第一节 内压薄壁容器强度计算	199
第二节 内压封头的结构及强度计算	207
第三节 外压容器的稳定性及结构	215
第四节 压力试验	218

思考题.....	222
练习题.....	223
第十一章 容器附件.....	223
第一节 容器法兰.....	223
第二节 容器的开孔与补强.....	232
第三节 容器支座.....	235
复习题.....	243
第十二章 厚壁容器.....	244
第一节 厚壁容器的总体结构及筒体结构.....	244
第二节 厚壁容器的密封结构.....	250
复习题.....	257

绪 论

一、化工生产过程及单元操作

化工产品的种类很多，生产过程更是千差万别。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过程，并遵循着一定的变化规律。

图0-1所示为尿素生产流程示意图，图0-2为丙烯腈生产流程示意图

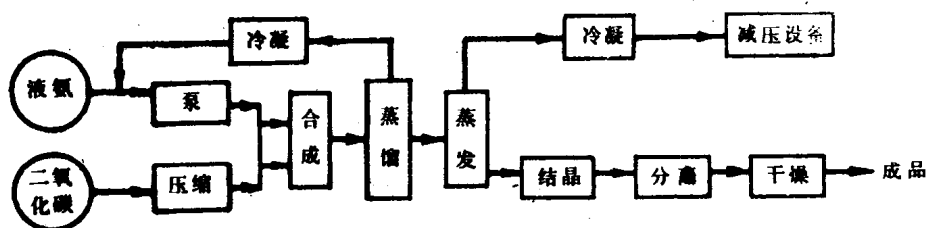


图0-1 尿素生产流程

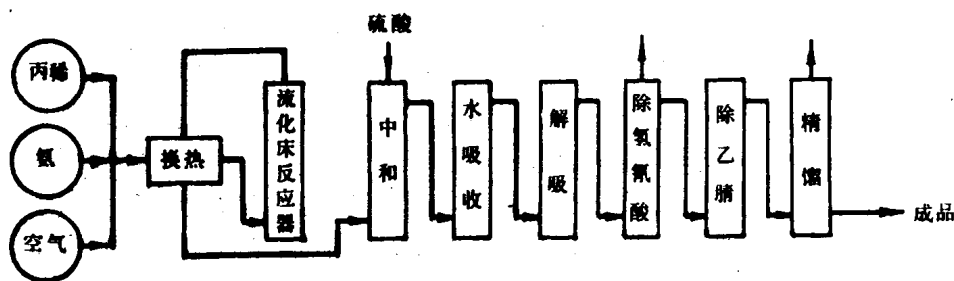


图0-2 丙烯腈合成的流程

尿素和丙烯腈是两种迥然不同的产品，但是，统观它们的生产过程或其它化工产品的生产过程就不难看出：任何一种化工产品的生产过程都是将原料进行一系列物理的或化学的处理，最后制得化工产品；不同的化工产品的生产过程有着相同或相似的物理过程（如流体的输送、加热、冷却、压缩、精馏、吸收等）或化学过程（如裂解、中和、合成、聚合等）。人们经过长期的生产实践和科学实验，发现这些相同或相似的操作都遵循着某一共同的客观规律。例如，不管是尿素生产中的冷凝操作还是丙烯腈生产中的换热操作都遵循着热量传递的基本规律，即传热过程原理。人们把这种化工生产过程中具有共同的物理过程原理的操作称之为化工单元操作，把化学反应的操作叫化学反应过程。

按照化工操作所遵循的共同规律，可以归纳成以下几个过程：

1. 流体动力过程 包括遵循流体力学基本规律的液体、气体和悬浮物系的运动及输送。属于流体动力过程的有液体和气体的输送，液体介质中物料的搅拌，非均相系的分离（过滤、沉降、离心分离）等。

2. 传热过程（热量传递过程） 传热过程即热量从某一物质传递到另一物质，它遵循热交换基本定律。属于传热过程的有加热、冷凝、蒸发和结晶等。

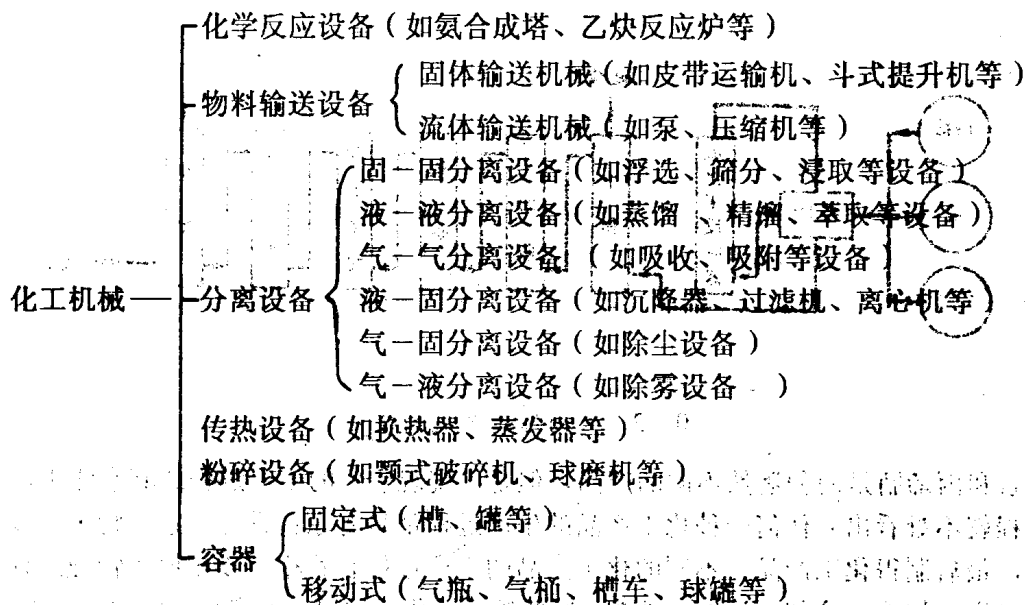
3. 传质过程（质量传递过程） 传质过程即物质以扩散方式进行相际间的传递，它遵循物质扩散的基本规律。属于传质过程的有蒸馏（物质从液相转入气相，同时从气相转入液相）、吸收（物质从气相转入液相）、吸附（物质从气相转入固相）、解吸（物质从液相转入气相）、液液萃取（物质从某一液相转入另一液相）、干燥（物质从固相转入气相）等。

4. 机械过程 包括遵循固体力学基本规律的过程。属于机械过程的有固体的粉碎、固体的筛析、固体的输送等。

5. 化学反应过程 包括遵循化学反应基本规律的过程。属于化学反应过程的有催化、氧化、还原等。

二、化工机械的分类

由于化工操作原理的共同性，在设备结构方面也有许多共同特点。因此，化学工业所采用的机器设备，可以按其过程原理及功能整理为数不多的几大类，如下所示。



三、化工生产对化工机械的基本要求

化工机器及设备是进行化工生产的工具，是为化工生产过程服务的，脱离了机器和设备就无从进行化工生产。同时，化工产品的质量、数量、成本及其发展，在相当的程度上决定于化工机器及设备的完善程度和潜力的发挥以及是否安全正常地运转。

化工机器及设备所应满足的基本要求，大体上可分为技术经济指标和结构要求两大类。这些要求归根到底就是要力求降低产品成本和保证机器设备安全正常运转。机器及设备的完善程度亦可以从是否充分满足这些要求来衡量。

1. 技术经济指标

主要技术经济指标是：生产能力、消耗系数、设备价格、操作费用和产品总成本。

生产能力 设备的生产能力以单位时间内所能完成的生产任务表示，例如泵的生产能力以 $[\text{米}^3/\text{小时}]$ 表示。设备的生产能力又常用单位生产能力来表示。所谓单位生产能力是指机器及设备每单位体积、单位重量或单位面积在单位时间内所能完成的生产任务，例如硫酸吸收塔〔填料塔〕的单位生产能力以每小时每立方米容积所处理硫酸的公斤数来表示，即 $[\text{公斤}/\text{米}^3 \cdot \text{小时}]$ 。单位生产能力实际上就是设备的处理量与效率都同时考虑的综合指标。单位生产能力又称为生产强度。生产强度愈高说明机器设备愈好。

消耗系数 消耗系数是指生产每单位重量或单位体积产品所需消耗的原材料及能量，包括原料、燃料、蒸汽、水、电能等。消耗系数不仅与工艺路线有关，而且与设备的性能及是否正常运转有关。设备的效率愈高则消耗系数愈低，产品的成本也就愈低。

价格 设备的价格影响到工厂投资的大小，因此采用价廉的设备是很必要的。但有时设备的价格虽然高一些，却有较高的单位生产能力，能确保产品的质量，提高产品的数量。经过全面经济核算后，也可采用这种较贵的设备。

操作费用 操作费用包括劳动工资、维护和检修费用。设备愈完善，操作费用就愈低。

产品成本 产品成本是整个生产中一切经济效果的综合反映。机器及设备的结构是否完善，潜力是否发挥，运转是否正常将直接影响着产品的总成本。

2. 结构要求

除了技术经济指标外，化工机器及设备还要满足一系列结构上的要求。下面讨论其中最主要的一些要求。

强度 强度即构件在外力作用下抵抗破坏的能力。强度是对任何机器设备最基本的要求，设备的所有部件和零件都应有足够的强度，也就是说这些部件或零件在运转过程中不能断裂或破裂，否则就不能保证生产和工人的安全。

刚度 刚度即构件在外力作用下保持原来形状的能力。有时零件的破坏不是由于强度不够，而是由于刚度不够引起变形过大导致破坏。例如高速减速箱中的齿轮轴如果刚度不够，就会使齿轮互相撞击而导致全部打坏。

耐久性 化工机器及设备的耐久性是根据所要求的使用年限来决定的。化工厂主要设备的使用年限一般规定为10—12年，但实际使用年限往往是超过这个数字。高压设备使用年限要长些，一般设计使用年限为20—25年，因为高压设备的外壳成本很高，通常只将内部装置加以改进或更换，而仍然保留和使用原来的外壳。

密封性 机器设备的密封性是一个十分重要的问题。密封的可靠性是保证安全生产的重要措施之一，因为化工厂所处理的物料中，有很多是易燃、易爆或有毒的。设备内的物料如果泄漏出来，不但在生产上会造成损失，更重要的是会使操作工人中毒，甚至引起爆炸；相反，如空气漏入负压的设备，亦会影响过程的进行以及可能引起爆炸事故。值得提出的是，在高压设备中，对密封一般是很注意的；但在低压或常压设备中，对密封性一般就不很重视，这是不对的。

另外，化工机器及设备的结构必须满足制造、操作和运输的要求。

一个结构性能优良的机器和设备如果不能得到正确的使用或在使用中得不到良好地维护和修理，也不可能发挥它应有的作用。

四、化工过程中的几个基本规律

前面已经谈到任何一种化工产品的生产都是将原料进行一系列化学或物理的处理过程，最后得到产品。物料在进行这些化学或物理的过程中遵循着以下四个基本规律：（1）质量守恒定律；（2）能量守恒定律；（3）过程的平衡关系；（4）过程速率

下面分别说明这些基本规律在化工过程中的应用。

1. 质量守恒 这是宇宙间一切事物所必须遵循的共同规律。在化工生产过程中，随着过程的进行，物质在不断的起着变化，但在一个固定的系统或固定的设备内，它必须符合：
输入的物料量 = 输出的物料量 + 物料的损失量

按照这一规律进行的计算，称为物料衡算。物料衡算的计算式看上去很简单，但在化工生产中却起着十分重要的作用。

例0-1 今用一蒸发器浓缩氢氧化钠水溶液，蒸发器每小时能处理2吨氢氧化钠溶液。溶液最初浓度为15%（重量），最终浓度为25%（重量），如附图所示。问每小时被蒸发的水量为多少kg？

解： 设每小时被蒸发的水分为Wkg

根据质量守恒定律，以氢氧化钠为基准进行物料衡算，即每小时进入蒸发器的氢氧化钠量等于每小时输出蒸发器的氢氧化钠量，假设蒸发过程中氢氧化钠的损失为零。

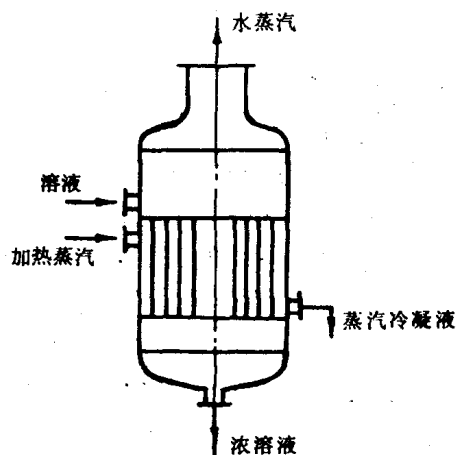
则 输入的氢氧化钠量 = 输出的氢氧化钠量

即 $2000 \times 15\% = (2000 - W) \times 25\%$

$$W = 2000 \times \left(1 - \frac{15}{25}\right) = 800 \text{ kg/h}$$

上述计算说明，通过物料衡算，可以计算参加过程的任何一种物料的数量，如所需原料量和生产的产品量等。

必须指出，任何过程总是有损耗的。损耗越小，说明操作越完善，经济效益越高，否则说明生产状况不正常，就应该找出原因加以改进。



例0-1 附图

2. 能量守恒 能量守恒同样是宇宙间的一条根本规律。在化工生产中，除了物质的变化，还必须伴随着能量的转换。例如：在流体流动与输送中，就存在着流体的位能、动能、静压能和外加机械能的转换问题。在热量传递过程和质量传递过程中，也存在着冷热流体之间以及和环境之间的热量交换问题。根据能量守恒定律，在任何一个系统中：

输入的能量 = 输出的能量 + 能量损失

按照这一规律进行的计算，称为能量衡算。能量衡算在化工生产中，可以帮助我们选择最佳的生产条件，检验能量的消耗程度，制定既经济又合理的能量消耗方案，确定能量综合利用的途径等。在本教材以后章节中将应用能量守恒规律进行能量衡算。

3. 平衡关系 任何一个物理或化学变化过程，在一定条件下必然沿着一定的方向进行，直至达到平衡状态为止。例如，在一定温度下盐在水中溶解时，要一直进行到成为饱和溶液为止，即液固达到了平衡状态，多余的盐就不能再溶解了。可见平衡关系表示物理或化学过程的极限。用平衡关系可以确定一个过程是否能进行，以及可能达到的程度。化工操作中涉及到的平衡关系很多，如汽—液相平衡，汽—固相平衡，液—液相平衡以及热平衡等。

4. 过程速率 过程速率表示过程进行的快慢。如吸收过程的速率为单位时间内所吸收量的多少，传热过程速率为单位时间内传递热量的多少。过程速率越大，则设备的生产能力越大。由于影响过程速率的因素很复杂，在大多数情况下，过程速率近似地用以下关系式表示：

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

从此式可看出，过程速率与推动力成正比，与阻力成反比，增加推动力或减少阻力都可以提高过程速率。

不同的过程表现出的推动力是不同的，例如流体流动的推动力是压力差；传热过程的推动力是温度差；传质过程的推动力是浓度差等。

提高过程速率以强化生产过程，对化工生产有着非常重要的意义。

五、单位、单位制和单位换算

1. 单位 一个未知的量和一个定为标准的量作比较的过程，叫做计量。这个定为标准的量叫做单位。例如，以“米”作为标准来测量长度，“米”就是长度的单位；以“秒”作为标准来计量时间，“秒”就是时间的单位。

2. 单位制 化学工业涉及的量是多种多样的，但只要定了几个基本量，如长度、质量、时间、温度等，就可按照一定的物理关系推出其他种种物理量。基本量的单位叫做基本单位，推导出来的量的单位叫做导出单位。例如，由长度单位“米”、质量单位“千克（公斤）”、时间单位“秒”导出的速度单位为米/秒，加速度单位为米/秒²，力的单位为公斤·米/秒²等等。基本单位及其导出单位组成单位制。选取不同的一组基本单位为基础，就组成不同的单位制，目前国际上广泛采用的有米制和英制两大类。我国采用米制。

米制包括力学单位制和国际单位制（英文缩写SI）。力学单位制常用的有三种：长度以“厘米”（cm）、质量以“克”（g）、时间以“秒”（s）为基本单位的，叫做厘米·克·秒制（CGS制）；长度以“米”（m）、质量以“千克（公斤）”（kg）、时间以“秒”（s）为基本单位的，叫做米·千克·秒制或米·公斤·秒制（MKS制）。以上两种单位制都是选取质量作为三个基本量之一，力是导出单位。这样的单位体系称为绝对制。长度以“米”（m）、时间以“秒”（s），重力或力以“千克力（公斤力）”（kgf）为基本单位的，叫做米·千克力·秒制或米·公斤·秒制（MKfS）。此单位制是选取重力或力作为三个基本量之一，质量是导出量，故亦称为重力制，又常称为工程单位制。以上三种单位制的基本单位列于表0-1中。必须注意的是，“公斤力”和“公斤”是两种不同的基本量的单位，分属于两个不同的单位制。但在习惯上往往把“公斤力”简称为“公斤”，

这样容易造成概念上的混乱，有时导致计算上的错误。

表0-1 常见力学单位制的基本单位

基本量	长 度		质 量		力		时 间	
单位制度	中文名称	代号	中文名称	代号	中文名称	代号	中文名称	代号
CGS 制	厘米	cm	克	g	—	—	秒	s
MKS 制	米	m	千克 (公斤)	kg	—	—	秒	s
MKfS 制	米	m	—	—	公斤力	kgf	秒	s

我国过去的教材和工程技术中，多采用力学单位制。为了适应四个现代化建设的需要，1984年2月国务院发布了关于在我国统一实行法定计量单位的命令。命令中规定了我国法定计量单位是以国际单位制（SI）单位为基础，保留少数国内外习惯或通用的非国际单位制单位。

SI是米制体系逐步趋于统一和简化的产物，它由七个基本单位和两个辅助单位组成（见表0-2）。

表0-2 国际单位制的基本单位和辅助单位

类 别	物 理 量	单 位 名 称	单 位 代 号
基 本 单 位	长 度	米	m
	质 量	千克（公斤）	kg
	时 间	秒	s
	电 流	安[培]	A
	热力学温度	开[尔文]	K
	物质的量	摩[尔]	mol
	发光强度	坎[德拉]	cd
辅助单位	平 面 角	弧 度	rad
	立 体 角	球面度	sr

化工常用SI中具有专门名称的导出单位列于表0-3中。

我国法定单位制中选定的与国际单位制并用的非国际单位制单位可见本书附录。

目前世界各国有采用SI的趋势，因为SI有两个突出的优点：

（1）自然科学与工程技术领域里的一切单位都可以由SI的七个基本单位导出，所以SI通用于所有科学部门。这是它的通用性。

（2）在SI中任何一个导出单位可由基本单位相乘或相除导出，都不引入比例常数，换句话说比例常数都等于1。例如力的单位采用牛顿N， $1\text{N} = 1\text{kg} \times 1\text{m} / \text{s}^2 = 1\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ ；又如能量、热、功三个量的单位都采用焦耳J， $1\text{J} = 1\text{N} \times 1\text{m} = 1\text{N} \cdot \text{m} = 1\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ 。SI各单

表0-3 具有专门名称的国际制导出单位

物理量	国际单位制 (SI)				
	名称	代号		用其他导出单位表示	用基本单位表示
		中文	国际		
频率	赫兹	赫	Hz ^①		s^{-1}
力	牛顿	牛	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
压强、应力	帕斯卡	帕	Pa	N/m	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
能、功、热量	焦耳	焦	J	N·m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率	瓦特	瓦	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$

①在表示转速时1Hz=60rpm (每分钟转数)。

位之间的换算不用比例常数,使运算简便而不易发生错漏。这是它的一贯性。

SI还规定了一套词冠(单位字头)来表示倍数或分数。如 10^6 称为兆,代号为M; 10^3 称为千,代号为k; 10^{-3} 称为毫,代号为m。其他词冠的名称和代号见附录二。

3. 单位换算 在使用物理量方程进行计算时,一开始便应选定一种单位制度,并贯彻到底,中途绝不能变更。本书采用SI,但由于历史上的原因,很多物理量数据的单位不是SI的,因此,在计算之前,如遇到别的单位,应把它们换算成SI单位。

物理量的大小由一种单位换算成另一种单位,其数值也跟着改变,要将原单位的数值乘以换算系数才得到新单位的数值。所谓换算系数就是原单位与新单位大小的比值。如1m等于 1×10^2 cm,把m换算成cm的换算系数就是100。一些单位的换算系数可查本书附录。

化学工程中常用单位的换算系数,当无表可查时,只要查到有关基本单位的换算系数即可求出。举例说明如下。

例 0-2 求把密度中 g/cm^3 单位换算成 kg/m^3 单位时的换算系数。

解: 查出g换算为kg的换算系数为 10^{-3} , cm换算为m的换算系数为 10^{-2} , 所求的换算系数为 $10^{-3} / (10^{-2})^3 = 10^3$ 。即 $1g/cm^3 = 10^3 kg/m^3$ 。

例 0-3 求把能量中 $kgf \cdot m$ 单位换算成 $N \cdot m$ 单位时的换算系数。

解: 查出 kgf 换算为 N 的换算系数为9.807, 所求的换算系数为 $9.807 \times 1 = 9.807$ 。即 $1kgf \cdot m = 9.807N \cdot m$ 。

例 0-4 把面积 $2m^2$ 换算成 cm^2 。

解: 查出m换算为cm的换算系数为 10^2

故 $2m^2 = 2 \times (10^2 cm)^2 = 2 \times 10^4 cm^2$

例 0-5 将速度 $20km/h$ 换算成 m/s 。

解: $20km/h = 20 \times \frac{1000m}{3600s} = 5.56m/s$

复 习 题

1. 化工生产过程可以归纳为哪几个主要的基本过程?
2. 说明以下化工术语的意义: 单元操作、物料衡算、能量衡算、生产能力、生产强度。
3. 按化工过程原理及功能把化工机械分为几大类? 还有其他的分类法吗? 试举例说明。
4. 化工机械在化工生产中的作用是什么? 化工生产对化工机械的基本要求有哪些? 试举例说明。
5. 什么叫单位和单位制? 采用SI有什么优点?

练 习 题

1. 查取将cm换算成m, 将m换算成cm以及将 kgf/m^2 换算成Pa的换算系数。
2. $1.5\text{kgf}/\text{cm}^2 = \underline{\hspace{1cm}} \text{kgf}/\text{m}^2 = \underline{\hspace{1cm}} \text{Pa}$ 。
3. $150\text{cm}/\text{s} = \underline{\hspace{1cm}} \text{m}/\text{s} = \underline{\hspace{1cm}} \text{m}/\text{min} = \underline{\hspace{1cm}} \text{km}/\text{h}$ 。
4. $4\text{L}/\text{s} = \underline{\hspace{1cm}} \text{L}/\text{min} = \underline{\hspace{1cm}} \text{m}^3/\text{s} = \underline{\hspace{1cm}} \text{m}^3/\text{h}$ 。
5. $7\text{kgf}/\text{m}^2 = \underline{\hspace{1cm}} \text{N}/\text{m}^2 = \underline{\hspace{1cm}} \text{Pa}$ 。
6. $5\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{s} = \underline{\hspace{1cm}} \text{N} \cdot \text{m}/\text{s} = \underline{\hspace{1cm}} \text{J}/\text{s} = \underline{\hspace{1cm}} \text{W} = \underline{\hspace{1cm}} \text{kW}$ 。

第一篇 流体流动过程及输送机械

流体是指有流动性的物体，包括液体和气体。

在化学工业生产中，所用的原料或加工后得到的半成品及成品等，很多都是流体。为了制得产品，常需将流体物料按照生产工艺的要求，依次输送到各种设备中（如反应设备、换热设备、塔设备等）进行化学反应或物理变化。通常在设备之间用管道连接，并借助于流体输送设备（如泵和风机等），使流体物料从一个设备输送到另一个设备，或由上一工序送往下一工序，连接成生产流程。可见，流体输送管路和流体输送设备在化工生产中起着很重要的作用。

化工生产的各个单元操作，无论是传热、传质和化学反应等过程，大都是在流体流动状态下进行的。流体流动的状态，直接影响着这些操作过程。因此流体的流动是化工生产中的一个重要的基本过程。

此外，在化工生产中也经常用到沉降、过滤、离心分离等非均相系的分离操作。这些操作的特征都可以用流体流动的规律来说明。所以本篇还包括非均相系的分离及分离设备。

第一章 流体流动的基本知识

第一节 流体的主要物理性质

一、流体的压缩性与气体状态方程式

液体与气体比较，液体的可压缩性和膨胀性都很小。如水当压强增至98.1MPa（1000Kgf/cm²）时，它的体积比原来的只减小5%。因此在工程上，我们往往把液体当作不可压缩的流体。气体则相反，极易被压缩，也易膨胀。只要给予恰当的压强，它们就可以被压进一个很小的空间。反之如果把小量气体放入一个极大的空间中，则能把整个空间填满，这是气体和液体显著不同之点。

根据气体极易膨胀和压缩的特性，通过科学实验的方法，得到了气体在一定条件下的体积、压强和温度之间的关系式

$$\frac{PV}{T} = nR = \frac{G}{M}R \quad (1-1)$$

式中 p ——气体的绝对压强，kPa；

V ——气体的体积，m³；

T ——气体的绝对温度，K；

n ——气体的千摩尔数，kmol；

M ——气体的分子量，kg/kmol；

G ——气体的质量，kg， $G/M = n$ ；

R ——通用气体常数， $R = 8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$ 。