

江苏省中等职业教育试用教材

化 工 专 业

化 工 基 础

第 一 册



江苏教育出版社

江苏省中等职业教育试用教材

化 工 基 础

第 一 册

李 文 希

江苏教育出版社出版

江苏省新华书店发行 徐州印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张7.25 字数158,000

1985年5月第1版 1985年5月第1次印刷

印数1——8,150册

书号: 7351·149 定价: 1.00 元

责任编辑 朱宝栋

编写说明

一、本书是根据江苏省教育厅1984年制订的职业高中化工类专业教学计划和化工基础教学大纲(试行)编写的,共三册,供职业高中化工类各专业使用;也可供化工企业技术培训及具有高中文化水平的化工工人、技术人员自学参考。

二、本书注意从职业高中和化工工人技术培训的实际出发,贯彻少而精和理论联系实际的原则,内容精炼,结构严谨,概念清楚,文字流畅。

三、根据职业高中化工类专业教学计划的规定,本课程开设三个学期,共204学时。考虑到化工类各专业的特点,本书在编写时赋予较大的灵活性。有少数内容,与最基本要求相比稍难,改用正体排印,各专业班可根据教学大纲选讲其中部分内容;有些公式的推导过程涉及到简单的微积分,可在课前补充必要的基础知识,或略去公式的推导过程,只讲结论。

四、本书第一册由徐州师范学院李文希编写。初稿写成后,听取了江苏省部分职业高中化工教师的意见,并请扬州师范学院诸治副教授和江苏教育学院郑淑铭老师最后审稿。

五、成书过程中,除得到江苏省教育厅和徐州市教育局的大力支持外,编者所在单位亦给予多种方便,黄志玲同志协助绘制了部分插图,对此编者一并致以深切谢意。

限于编者的水平和时间仓促,书中不妥之处,敬请读者提出宝贵意见,以助日后修订。

一九八五年元月

目 录

绪言	1
第一章 流体流动	9
第一节 流体静力学	9
1-1 密度、重度和比重	9
1-2 压力	13
1-3 流体静力学基本方程式	17
1-4 压力差的测量	20
第二节 流体动力学	23
1-5 流速和流量	23
1-6 稳定流动和不稳定流动	25
1-7 稳定流动的物料衡算——连续性方程式	26
1-8 流体流动的机械能衡算——柏努利方程式	27
第三节 化工管路	40
1-9 管子的规格	41
1-10 管材	41
1-11 管件和阀门	42
1-12 管路安装和布置的一般原则	44
第四节 流体流动的阻力	46
1-13 粘度	47
1-14 流体的流动形态	49
1-15 摩擦阻力的计算	53
1-16 局部阻力的计算	60
习 题	
第二章 流体输送机械	66
第一节 离心泵	67

2-1 离心泵的工作原理和结构	67
2-2 离心泵的性能	70
2-3 离心泵的型号和选用	78
2-4 离心泵的工作点与流量调节	81
2-5 离心泵的安装与运转	83
第二节 其它类型泵	84
2-6 往复泵	84
2-7 齿轮泵	88
2-8 旋涡泵	89
第三节 往复压缩机	90
2-9 往复压缩机的构造和工作原理	90
2-10 往复压缩机的余隙系数和容积系数	97
2-11 多级压缩	98
2-12 往复压缩机的分类和型号	101
2-13 往复压缩机的安装和运转	103
第四节 其它类型的气体压送机械	104
2-14 通风机	104
2-15 离心鼓风机和压缩机	106
2-16 旋转式鼓风机和压缩机	108
2-17 真空泵	110

习 题

第三章 流体与颗粒间的相对运动 114

第一节 沉降..... 115

3-1 颗粒的特性	115
3-2 重力沉降	117
3-3 沉降速度的计算	121
3-4 重力沉降器	122
3-5 离心沉降和旋风分离器	126
3-6 气体的湿法净制和电净制	128

第二节 流体通过颗粒床层的流动	131
3-7 颗粒床层的特性	131
3-8 流体通过颗粒床层的压力降	133
第三节 悬浮液的过滤	136
3-9 过滤操作中的基本概念	136
3-10 过滤设备	138
3-11 过滤基本方程式	143
第四节 离心分离	147
3-12 离心分离的一般概念	147
3-13 离心机	148
第五节 固体流态化	150
3-14 固体流态化现象	151
3-15 流化床的优缺点	154
3-16 流化床设备的构造	155
习 题	
第四章 传热	159
第一节 基本概念	160
4-1 热	160
4-2 载热体	161
4-3 工业换热方式	163
4-4 传热的基本方式	164
第二节 热传导	166
4-5 热传导的基本定律	166
4-6 平面壁的稳定热传导	168
4-7 圆筒壁的稳定热传导	171
第三节 对流传热	174
4-8 牛顿冷却定律	174
4-9 影响传热膜系数的因素	175

4-10	流体在管内作强制湍流时的传热膜系数	177
4-11	自然对流时的传热膜系数	179
4-12	流体的聚集状态变化时的传热膜系数	181
第四节	热辐射	183
4-13	热辐射中的基本概念	183
4-14	两物体间的相互辐射	185
4-15	设备热损失的计算	187
第五节	两流体间的热交换	189
4-16	传热速率方程式	189
4-17	传热速率	190
4-18	传热系数	191
4-19	温度差	195
第六节	换热器	197
4-20	蛇管式换热器	198
4-21	列管式换热器	199
4-22	板式换热器	201
4-23	换热器的强化途径	204

习 题

附 录

绪 言

一、化工基础的研究对象

化学工业是将原料经过物理加工和化学处理，使之变成生产资料或生活资料的工业部门。例如，三酸两碱、化肥、农药、塑料、合成橡胶、化学纤维和各种化学试剂的生产都属于化学工业的范畴。化学工业分门别类，产品成千上万，生产过程错综复杂，原料必须经过化学处理或化学变化后才能成为产品。

有关化工生产过程的研究，一直有两种不同的方法。一种方法是分门别类地研究各种化工产品的原料路线、反应原理、生产工艺流程和操作条件等等，这种方法称为工艺学的研究方法。另外一种方法是将化工生产过程划分成单元操作和单元过程来进行研究，即工程学的方法。人们在对各种化工产品的生产工艺过程进行分析比较时发现，尽管各种化工产品的生产工艺过程千差万别，但其中许多操作的原理却是相同的。例如，在硫酸生产中，用浓硫酸吸收二氧化硫炉气中的水蒸汽，以使炉气干燥；用98.3%的硫酸吸收三氧化硫，以制造浓硫酸或发烟硫酸；在合成氨生产中，用碳酸钾溶液吸收脱除原料气中的二氧化碳；在氯碱工业中用水吸收氯化氢气体以制造盐酸；在氧氯化法生产氯乙烯的过程中用有机溶剂吸收尾气中的二氯乙烷等等。如果我们抽去这些操作中溶质和溶剂的具体含义，它们都可以看作是气体中的溶质组分转入溶液的过程。因为这些操作的原理相同，所以可把它们归并在一起，统称为气体的吸收。象这样把原理相同的操作归并在一起，就可以从几乎无限的化工产品生

产工艺过程中归纳出有限的几十种基本单元来，称为单元操作。气体的吸收是一种单元操作，液体的蒸馏也是一种单元操作。至于象固体、液体、气体物料的输送和热量的交换等等，更是每一个化工厂都不可缺少的基本操作。总之，单元操作就是指各种化工生产过程中普遍采用的、遵循共同的操作原理、使用相似的机械设备的那些基本操作。

同样，化学反应过程也可以划分成氧化、还原、中和、脱水、硝化、磺化、裂解、聚合等基本单元，称为单元过程。

任何一种化工产品的生产工艺过程，无论它是简单还是复杂，都可以看作是由这些（物理的）单元操作和（化学的）单元过程按照一定的规律排列组合而成的。这种将化工生产过程划分成单元操作和单元过程来进行研究的方法，称为工程学的方法。

根据各个单元操作和单元过程所遵循的客观规律及内在联系和区别，又可将它们归纳为如下几个化工基本过程：

1. 流体动力过程：遵循流体力学规律的过程，又称为动量传递过程。包括流体的输送、过滤、沉降、离心分离和固体流态化等单元操作。

2. 传热过程：遵循传热学规律的过程。包括热交换、蒸发、结晶等单元操作。

3. 传质过程：遵循相平衡和物质相间扩散规律的过程。包括气体的吸收、液体的蒸馏、萃取、固体的干燥、吸附和离子交换等单元操作。

4. 热力过程：包括气体的压缩、冷冻和深度冷冻等。

5. 机械过程：包括固体物料的破碎、筛分和输送等。

6. 化学反应过程：遵循化学平衡和化学动力学规律的

过程，如氧化、还原、中和、脱水、磺化、硝化、裂解、聚合等单元过程。

将化工生产过程划分成单元操作和单元过程进行研究，可以发现各个化工产品生产工艺过程的内在联系和共同性的问题，便于举一反三地讨论强化生产过程的普遍规律和高效设备，有利于把某一化工产品生产过程中的技术成果推广应用到其它产品的生产过程中去，以促进整个化学工业的发展和技术进步。当然，在应用普遍规律解决具体问题时，必须处理好普遍性和特殊性之间的关系，注意对具体情况进行具体分析。

应当指出，上述化工基本过程的划分并不是十分严谨和恰当的，而且随着化工生产技术的发展，还会出现一些新的单元操作和单元过程。

在一般化工生产中，以 1、2、3、6 四种基本过程较为常见，统称为“三传一反”，即动量传递过程、热量传递过程、质量传递过程和化学反应过程。本课程的内容包括“三传一反”的基础知识，某些单元操作的基本原理、通用设备和有关化学反应工程的基本概念，并在这些基础知识、基本原理和基本概念的基础上，简单介绍几种典型的化工生产工艺过程。

二、四个基本概念

在分析化工单元操作和化学反应过程时，常常要用到下列四个基本概念：

1. 物料衡算：对生产过程中的物料比例和转化关系进行定量的计算，称为物料衡算。物料衡算的依据是质量守恒定律，根据此定律，引入某一体系的物料总质量必等于从体系排出的物料总质量加上在体系中积累的物料量。如果物料

在体系中没有积累，这种操作就属于稳定操作，否则就是不稳定操作。化工生产过程大多是连续的稳定操作，本课程的研究对象也以此为主。

物料衡算可用于整个生产过程，也可以用于过程中的任何一个步骤或者某一个设备；既可以对全部物料进行衡算，也可以对某一个组分进行衡算。在进行物料衡算时，必须首先确定计算对象所包括的范围，同时还要规定衡算的基准。

物料衡算是所有工艺计算的基础，是确定原料的消耗定额、产品的产量和产率、体系中各部分的物料量及组成的依据，通过物料衡算还可以核定设备的生产能力，确定设备的工艺尺寸，发现生产中的问题，从而找出解决方案。

2. 能量衡算：能量衡算的依据是能量守恒和转化定律，根据此定律，引入一个体系的总能量必等于从体系输出的总能量。化工生产中的能量衡算主要是热量衡算。

在进行热量衡算时，必须要有物料衡算的数据作基础，同时还要选择一个基准温度。如果过程中物质的聚集状态不发生变化，一般选取 0°C 作为基准温度；如果过程中物质的聚集状态发生了变化了，或者有化学反应发生时，还必须规定一个基准状态。

通过热量衡算可以求出燃料、加热剂和冷却剂的消耗量，可以揭示生产过程的热量利用是否合理。在开发一个新的生产过程时，是需要从外界补充热量，还是有余热可供利用，也可以通过热量衡算确定。此外，选择换热方式和确定换热面积的大小，也需要热量衡算提供数据。

3. 平衡关系：任何过程进行的方向和所能达到的限度都是由体系的平衡关系决定的。例如，根据热平衡关系，热量将由高温处传向低温处，直到体系中各部分的温度相等为

止。又如，根据相平衡关系，在液体蒸馏时，易挥发组分将由液相转入汽相，难挥发组分将由汽相转入液相，直到组分在汽、液两相间的分配达到平衡时为止。一个可逆化学反应的进行方向，可以根据化学平衡来确定，而任何一个可逆反应达到平衡状态时就在表面上停滞了。所以，平衡状态是一切过程的极限。

必须指出，任何平衡状态都是在一定条件下过程的矛盾因素暂时的、相对的统一状态，如果条件变化了，原来的平衡状态就要被破坏，直到再建立起新的平衡状态。因此，只要我们采取适当的措施，改变影响平衡关系的条件，就可以使过程朝着我们所希望的方向进行。

4. 过程速率：平衡关系只能说明过程的方向和限度，而不能确定过程速度的快慢。过程速率受多种因素的影响，目前还不能用一个简单的数学式来表示一切化工过程的速率及其影响因素之间的关系。为了计算过程的速率，通常将其归纳成下述普遍公式

$$\text{过程速率} \propto \frac{\text{过程的推动力}}{\text{过程的阻力}}$$

过程的推动力又称为推动势。这里所说的“力”并不拘泥于力学中的含义，实际上指的是体系的某一状态偏离平衡状态的“距离”，如传热中的温度差，传质中的浓度差等等。至于过程的阻力则更为复杂，如流体流动过程中的摩擦阻力，传热过程中的热阻等，应视具体情况而定。

三、单位制和单位换算

对于任何过程的分析研究，都不能仅仅停留在定性阶段，必须要有“量”的概念。为了度量物理量的大小，人们创造出了各种各样的单位。化工生产中的问题比较复杂，影响因

素和所涉及的物理量也比较多，而且数据和计算公式又往往来源于各个方面，所采用的单位制可能互不相同，因此，熟悉各种单位制和它们之间的换算关系是很必要的。

本课程采用国际单位制，即SI。国际单位制的基本物理量和基本单位如表1所示。

表1 国际单位制的基本单位

基本物理量	基本单位的名称	符 号
长 度	米 (metre)	m
质 量	千克 (kilogram)	kg
时 间	秒 (second)	s
热 力 学 温 度	开尔文 (Kelvin)	K
电 流 强 度	安培 (Ampere)	A
发 光 强 度	坎德拉 (candela)	cd
物 质 的 量	摩尔 (mole)	mol

国际单位制有两个突出的优点，一个是它的通用性，包括国际上通用和各个科学技术领域通用；另一个是它的一贯性，即把基本单位相乘或相除构成导出单位时，不附加任何数值因数，或者说数值因数都是1。

由于国际单位制的一贯性，使得每一个物理量都只有一个单位。但有的物理量用所规定的单位表示时，数值太大或太小，显得不方便。为此，国际单位制还专门规定了一些词冠，如表2所示。

在使用词冠时要注意，一次只能使用一个词冠，不能把两个词冠叠起来用。例如，1000千克可以写成1兆克，不能写成1千千克。为了防止计算中的错误，除了基本单位千克

以外，所有的词冠都应换算成相应的因数，即10的几次幂或负几次幂。

表2 国际单位制的词冠

国际符号	中文词冠	因 数	国际符号	中文词冠	因 数
d	分	10^{-1}	da	十	10
c	厘	10^{-2}	h	百	10^2
m	毫	10^{-3}	k	千	10^3
μ	微	10^{-6}	M	兆	10^6
n	纳	10^{-9}	G	吉	10^9
p	皮	10^{-12}	T	太	10^{12}
f	飞	10^{-15}	P	拍	10^{15}
a	阿	10^{-18}	E	艾	10^{18}

工业生产中常常要考虑物料的重量和所受到的力，过去都采用工程单位制。工程单位制以长度、力和时间为基本物理量，相应的基本单位是米、千克力和秒。这种单位制目前在化工生产中还广泛使用着。由于单位制不同，同一个物理量在国际单位制中的单位和在工程单位制中的单位往往有很大的差异。例如，质量在国际单位制中的单位是千克，在工程单位制中的单位却是千克力·秒²/米，两者相差9.81倍，因此在化工计算中常需要进行单位换算。必须把计算式中的所有物理量都换算成同一种单位制的单位（一般都换算成国际单位），然后再进行计算，否则很容易发生错误。

四、因次和因次式

基本物理量常用一个符号表示，这个符号只表示该物理量的一般意义而不受单位和数值的约束。例如，长度用 L 表示，质量用 M 表示，时间用 T 表示，温度用 θ 表示，在工程单位制中力用 F 表示等等。这样，导出物理量就可以根据一

定的物理定律用这些符号组成的式子来表示。例如，速度用 LT^{-1} 表示；力用 LMT^{-2} 表示；能量用 L^2MT^{-2} 表示；在工程单位制中质量用 $L^{-1}FT^2$ 表示等等。这些式子称为因次式或量纲式，式中各个符号的指数称为该物理量的因次或量纲。

因次式能明显地表示出导出物理量与基本物理量之间的关系，并对单位换算和检查计算结果正确与否具有一定的指导意义。“因次一致”的原则，即凡是根据物理定律导出的方程式，等号两边各项的因次必然相同，是整理化工实验数据常用的因次分析法的基础。

表3列出了化工中常见的物理量的单位和因次式。

表3 一些物理量的单位和因次式

物理量的名称	国际单位制		工程单位制	
	单位	因次式	单位	因次式
长度	米	L	米	L
质量	千克	M	千克力·秒 ² /米	$L^{-1}FT^2$
力	牛〔顿〕	LMT^{-2}	千克力	F
时间	秒	T	秒	T
速度	米/秒	LT^{-1}	米/秒	LT^{-1}
能量	焦〔耳〕	L^2MT^{-2}	千克力·米	LF
热量	焦〔耳〕	L^2MT^{-2}	千卡	
功率	瓦〔特〕	L^2MT^{-3}	千克力·米/秒	LFT^{-1}
密度	千克/米 ³	$L^{-3}M$	千克力·秒 ² /米 ⁴	$L^{-4}FT^2$
压强	帕〔斯卡〕	$L^{-1}MT^{-2}$	千克力/米 ²	$L^{-2}F$
粘度	帕·秒	$L^{-1}MT^{-1}$	千克力·秒/米 ²	$L^{-2}FT$
温度	开〔尔文〕	θ	℃	θ
比热	焦/千克·K	$L^2T^{-1}\theta^{-1}$	千卡/千克力·℃	
传热系数	瓦/米 ² ·K	$MT^{-3}\theta^{-1}$	千卡/米 ² ·小时·℃	
传热速率	瓦	L^2MT^{-3}	千卡/小时	

第一章 流体流动

流体是液体和气体的统称，与固体比较起来，其主要特征是具有流动性，对分裂或改变其形状的阻力很小。由于流体分子之间的作用力较固体小，所以它们都不能维持固定的形状，气体则连其体积也不能维持，它们总是充满整个的容器。

化工生产中所处理的物料，包括原料、半成品和成品，大多数是流体。因此，对流体的性质和流动状况进行研究，很有必要。

本章主要讲述流体静力学，流体动力学，化工管路和流体流动过程的阻力。流体输送机械将在第二章中介绍。

第一节 流体静力学

1-1 密度、重度和比重

一、密度 单位体积流体的质量，称为其密度。如以 m 表示流体的质量， V 表示流体的体积， ρ 表示流体的密度，则

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

在国际单位制中，质量的单位是千克；体积的单位是米³，所以密度的单位是千克/米³。

流体的密度取决于其本性，同时也与温度和压强有关。各种流体的密度可以从有关手册中查取。在查取流体的密度数据时，必须注意温度和压强条件。

液体的密度随温度变化很小。例如，纯水在277K (4℃) 时的密度为1000千克/米³，在293K时是998.2千克/米³，在373K时是958.4千克/米³。压强对液体密度的影响更小，在一般情况下可以忽略不计。例如，当温度不变时，压强每增加1个大气压，水的密度仅比原来增加0.005%，类似的关系也适用于其它液体。因此，常称液体为不可压缩的流体。

气体是可压缩的流体，其密度随温度和压强有较大的变化。在温度不太低和压强不太高的情况下，气体的密度可近似地用理想气体状态方程式计算。

$$\text{由理想气体状态方程式 } pV = nRT = \frac{m}{M}RT$$

$$\text{得 } \rho = \frac{pM}{RT} \quad (1-2)$$

式中： ρ ——气体的密度，千克/米³；

p ——气体的压强，千帕〔斯卡〕；

M ——气体的摩尔质量，千克/千摩尔；

T ——温度，K；

R ——通用气体常数，8.314千焦/千摩尔·K。

因为在标准状况 (273K, 101.3千帕) 下1千摩尔任何气体的体积都是22.4米³，所以气体在标准状况下的密度

$$\rho_0 = \frac{p_0 M}{RT_0} = \frac{M}{22.4} \quad (1-3)$$

综合式 (1-2) 和式 (1-3)，得到

$$\rho = \frac{M}{22.4} \times \frac{p}{p_0} \times \frac{T_0}{T} \quad (1-4)$$