

化工基础

李再资 庄乃光 编
张应茂 郑惠国

华南理工大学出版社



内 容 提 要

本书主要是为与化工生产有关而又非化学工程专业的人员编写的简明教程或参考书。它由物理化学、化工原理、化学反应工程三门主要的化工技术基础课及化工工艺学的有关内容进行精简、提炼汇编而成。可使读者用较少的学时数学到从事化工生产必须掌握的基础知识,符合非化学工程专业技术人员的特点和要求。

本书可作为非化学工程类专业,如管理工程、化工仪表、化工分析、化工机械、轻工、食品、炼油、冶金、精细化工、环境保护等专业及师范类的大中专教材或教学参考书。也可供化工企业一般工程技术人员及工人参考。

责任编辑 杨昭茂

前言

在化工及相关企业（如轻工、食品、医药、炼油、冶金、机械等）中，除专业技术人员外，凡和生产有关的工作人员，如企业管理、仪表自控、分析化验等专业人员，都要求能对化工生产的基本原理，操作过程及基本操作设备有一个基本的了解，以便能在生产中更好地发挥作用。编者为了适应这一要求将物理化学、化工原理、化学反应工程三门主要的化工技术基础课及化工工艺课的有关内容进行精简、汇编而成本教材，目的是使学生能在较少的学时内学到从事化工生产必须掌握的基础知识。

编写过程中，编者遵循理论联系实际的原则，着重物理概念的阐述，介绍成熟的基础理论，并努力反映学科的现代特点。既避繁就简，又保证有一定的广度和深度，使学生对化工生产过程有一个基本的了解，达到举一反三的目的。在文字上力求简炼，由浅入深，通俗易懂，尽量符合非化工专业类技术人员的特点和需要。

本书包括三部分内容，第一部分介绍化工生产中重要的单元操作和设备，包括流体流动和流体输送机械，传热基本原理和换热器，吸收和蒸馏等章节。第二部分简述热化学和化学平衡，以及化学反应工程基本原理和基本的反应设备。第三部分介绍几个典型化工产品的生产工艺。

本书可作为非化学工程专业类如企业管理、化工仪表及

自动化、化工分析、化工机械、轻工、食品、炼油、冶金、环保等专业以及师范大中专的教材或教学参考书，也可供化工企业工程技术人员及工人参考。

本书由华南理工大学李再资（主编并撰写第5、6、7章）、庄乃光（撰写第3、4章）、张应茂（撰写第1、2章）、郑惠国（撰写第8章）四人合编。编写中得到了反应工程教研组同志们的许多具体帮助。

限于水平，缺点错误难免，望读者予以批评指正。

编 者

1989年5月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 本课程的内容和任务.....	(1)
第二节 化工过程中的几个基本概念.....	(2)
第三节 单位制和单位换算.....	(6)
复习思考题.....	(9)
习 题.....	(9)
第二章 流体流动及流体输送	(12)
第一节 流体力学基本概念.....	(13)
一、流体的密度.....	(13)
二、流体的压强.....	(16)
三、流量和流速.....	(19)
第二节 流体力学基本方程式.....	(21)
一、稳定流动与不稳定流动.....	(21)
二、稳定流动下的物料衡算.....	(22)
三、流体能量衡算方程.....	(24)
四、柏努利方程式的应用.....	(29)
第三节 流体力学基本测量.....	(33)
一、压强测量.....	(34)
二、流量测量.....	(36)
第四节 流体流动的阻力.....	(41)
一、流体阻力的来源及其影响因素.....	(41)
二、粘度.....	(42)

三、流体的流动型态.....	(44)
四、流体在圆管中点流速的分布.....	(47)
五、流体阻力.....	(48)
第五节 化工管路.....	(54)
一、管子的种类.....	(54)
二、管径的选择.....	(56)
三、管件.....	(57)
四、阀件.....	(58)
五、简单管路的计算.....	(60)
第六节 流体输送机械.....	(62)
一、离心泵.....	(62)
二、其他类型泵.....	(71)
三、离心风机.....	(73)
复习思考题.....	(76)
习 题	(77)
第三章 传热基本原理和换热器.....	(81)
第一节 热量传递的基本方式	(82)
一、热传导.....	(82)
二、对流传热.....	(93)
三、幅射传热.....	(99)
第二节 传热基本方程式.....	(100)
一、传热过程分析和传热基本方程式.....	(100)
二、热负荷.....	(101)
三、传热平均温度差.....	(103)
四、传热系数.....	(107)
五、垢层热阻.....	(112)
六、强化传热的途径.....	(114)
第三节 传热设备.....	(115)
一、列管式换热器.....	(115)

二、夹套式换热器	(116)
三、翅片管式换热器	(116)
四、螺旋板式换热器	(117)
五、板式换热器	(118)
六、板翅式换热器	(119)
七、热管	(119)
复习思考题	(121)
习 题	(121)
第四章 吸收与精馏	(123)
第一节 气(汽)液传质过程的机理	(123)
一、单相中物质的传递	(123)
二、相间传质	(128)
第二节 气体的吸收	(130)
一、基本概念	(130)
二、气液平衡	(131)
三、吸收速率方程	(137)
四、吸收塔的工程计算	(140)
五、吸收流程	(149)
六、解吸	(150)
第三节 蒸馏和精馏	(151)
一、精馏的理论基础	(151)
二、精馏设备和精馏流程	(158)
三、精馏过程计算	(159)
四、精馏塔操作条件的确定	(168)
复习思考题	(169)
习 题	(170)

第五章 反应器的热量衡算与化学反应的方向	(173)
第一节 化学反应热的来源	(174)
第二节 化学反应热的计算	(176)
一、热化学定律	(177)
二、由标准生成热计算反应热	(180)
三、由标准燃烧热计算反应热	(184)
四、燃料和食物的燃烧热值	(188)
第三节 反应热与温度的关系	(190)
第四节 反应器的热量衡算	(193)
第五节 化学反应的方向与限度	(195)
第六节 化学平衡	(198)
第七节 平衡产率的计算	(204)
第八节 各种因素对化学平衡的影响	(208)
一、温度对平衡的影响	(208)
二、压力对平衡的影响	(210)
三、配料比对平衡的影响	(213)
四、惰性组分对平衡的影响	(215)
复习思考题	(217)
习 题	(218)
第六章 反应器的动力学基础及基本反应器	(221)
第一节 反应速度的浓度效应	(222)
一、化学反应速度	(222)
二、反应速度方程式	(224)
三、速度方程的实际应用	(227)
第二节 反应速度的温度效应	(237)
一、温度对反应速度影响的经验关系式	(238)
二、化学反应的活化能	(240)

第三节	化学反应器的基本类型	(242)
一、	反应器的类型	(242)
二、	理想流动与理想反应器	(245)
第四节	间歇釜式反应器	(246)
第五节	管式反应器	(251)
第六节	连续釜式反应器	(255)
第七节	反应器型式和操作方法的评选	(263)
一、	反应器大小的比较	(264)
二、	关于收率的分析	(265)
第八节	连续流动反应器的停留时间	
	分布与流动模型	(270)
一、	停留时间分布	(270)
二、	流动模型	(273)
复习思考题		(275)
习 题		(276)
第七章	催化作用与气固催化反应器	(280)
第一节	催化作用的基础知识	(280)
一、	催化剂为什么能加快反应速度	(281)
二、	催化剂作用的基本特征	(285)
第二节	固体催化剂概述	(289)
一、	对工业催化剂的性能要求	(289)
二、	固体催化剂的组成	(292)
三、	固体催化剂的制备	(293)
四、	固体催化剂的吸附作用	(294)
第三节	工业催化过程的机理	(298)
一、	外扩散控制过程	(300)
二、	内扩散控制过程	(300)
三、	化学动力学控制过程	(303)

第四节 固定床催化反应器..... (305)

一、固定床反应器的类型..... (305)

二、固定床反应器的温度控制..... (310)

第五节 流化床催化反应器..... (311)

一、流态化现象..... (311)

二、流化床反应器的类型..... (313)

三、流化床反应器的构造..... (315)

复习思考题..... (318)

第八章 化学工艺..... (319)

第一节 概 述..... (319)

第二节 硫 酸..... (322)

一、硫酸工业在国民经济中的重要作用..... (322)

二、生产硫酸的原料与生产流程..... (322)

三、二氧化硫炉气的制造..... (324)

四、炉气的净化..... (327)

五、炉气的干燥..... (333)

六、二氧化硫的催化氧化..... (335)

七、三氧化硫的吸收..... (344)

八、接触法制酸的全流程..... (346)

第三节 合成氨..... (346)

一、合成氨在国民经济中的重要作用..... (346)

二、氨的生产方法简介..... (347)

三、氢氮原料气的制备..... (348)

四、原料气的净化..... (351)

五、氨的合成..... (353)

第四节 苯乙烯.....	(356)
一、苯乙烯的性质.....	(356)
二、苯乙烯的用途.....	(357)
三、乙苯脱氢生产苯乙烯.....	(358)
复习思考题.....	(364)

第一章 绪 论

第一节 本课程的内容和任务

化学工业是国民经济中的一个重要部门。化学工业生产数以万计的产品，包括各种生产资料和生活资料，与工业、农业、国防、科学文化以及人民生活等各方面都有密切联系。许多其他工业部门如冶金工业、造纸工业、食品工业、原子能工业等，其中也包含有化学加工过程。

化学工业是多门类、多品种的生产部门，如酸、碱、化肥、医药、农药、染料、橡胶、塑料、化学纤维、石油化工等等。任何一种化工产品的生产都是将各种原料进行一系列加工处理，最后制得产品，中间经过许多生产工序，每一步都是在一定的工艺条件下，在一定的设备内完成的。尽管化学工业门类繁多，产品的制造过程多种多样，但都要用到一些类型相同、具有共同特点的基本过程和设备，如流体的输送、过滤、加热、蒸馏及化学反应等典型操作及设备是生产大多数化工产品所共有的。由于有这些共性的过程，于是提出了化工“单元操作”的概念。“单元操作”是指在各种化工产品的生产过程中，具有共同的物理变化、遵循共同的物理学定律和具有共同作用的基本操作。如在硫酸、合成氨和石油炼制及其它化学工业中都需要输送各种流体，而且输送的操作过程都遵循流体力学的规律，因此，流体输送就属于化工生产

中的一个单元操作。

在对这许多单元操作进行研究后发现：这些操作遵循着某些为数更少的基本规律，可以归纳成如下几个基本过程：

1 . 动量传递过程 包括遵循流体学基本规律的一些单元操作，如流体的流动与输送、沉降、过滤、离心分离等。

2 . 热量传递过程 简称传热过程，包括遵循热交换基本规律的一些单元操作，如传热、蒸发、结晶等。

3 . 质量传递过程 简称传质过程，即物质通过扩散，从一个相（液相或气相）转移到另一相的过程，包括蒸馏、吸收、干燥、萃取等单元操作。

为适应工业管理人员及操作人员的学习需要，本课程只包括一些最基本的化工单元操作，如流体输送、传热、蒸馏、吸收等，同时也包括化学工程的另一个分支——化学反应工程以及化学工艺如硫酸生产工艺等。

本课程作为一门基础课程，其任务是使读者能够了解化工生产的基本原理、典型设备的构造、操作、应用和简单的计算方法；了解物理和化学定律在化工生产中的应用，影响操作的因素；懂得如何提高化工设备的生产能力和产品质量，了解分析和解决化工生产中工程实际问题的途径，化工过程的发展方向等。

第二节 化工过程中的几个基本概念

在分析单元操作或工艺过程中，我们经常要用到物料衡算、能量衡算、平衡关系和过程速率这四个基本概念，它们是分析任一化工过程的出发点。

一、物料衡算

物料衡算的依据是质量守恒定律，它说明在一个过程中，进入的物料量必等于排出的物料量和过程中的积累量（或减少量）。即

$$\Sigma G_{\text{入}} = \Sigma G_{\text{出}} + G_{\text{累}}$$

式中 $\Sigma G_{\text{入}}$ ——输入物料量的总和； $\Sigma G_{\text{出}}$ ——排出物料的量总和； $G_{\text{累}}$ ——积累量或减少量。

进行物料衡算时，必须注意以下几点。首先是要规定出衡算的系统，即计算对象所包括的范围。在工艺计算中，通常是以一个生产过程为衡算系统，而在设备计算中，则以一个设备或一组设备作一个系统，也有以设备的一个部分作为一个系统的。规定出的系统应绘出流程方框图（或简图），并用箭头标出各股物料的进出方向、数量以及温度、压力和组成等条件。

其次，要规定一个衡算基准。对于一个系统究竟用什么作衡算基准较为适宜，这要看具体情况，难于作硬性规定。一般来说是取过程中不起变化的一个量作为计算基准。在连续操作中则以单位时间作基准较为方便，也可应用已知组成的进料开始计算。如果产品量是确定的，则可用单位产品量作基准，反算出进料的原料量。

最后，计算时物料量可以用质量或摩尔数表示，但一般不宜用体积表示，因体积特别是气体的体积会随温度和压强的变化而变化。同时采用的单位应该统一，计算结果最好整理成表格，使人易于看出明确的结论。

物料衡算可以帮助我们正确选择生产过程的流程，计算原料消耗定额和产率以及设备的生产能力和主要尺寸。

二、能量衡算

能量衡算的理论基础是能量守恒定律。根据此定律，输入的能量必定等于输出的能量和积累的能量（或损失的能量）。

能量可以随参加操作的物料一起输入或输出过程中，如物料的内能、动能和位能等。也可以通过参加操作的物料或设备分别输入或输出过程中，如泵或压缩机消耗的机械功、通过器壁加热或电流加热输入的热量、从设备损失到周围介质中的热量等。

进行能量衡算时，必须把各种有关的能量（热能、机械能、电能、化学能、辐射能等）都考虑在内。在化工生产中最常用的是热能，按热量进行衡算，其衡算式为：

$$\Sigma Q_{\text{入}} = \Sigma Q_{\text{出}} + Q_{\text{累}}$$

式中 $\Sigma Q_{\text{入}}$ ——输入系统的热量； $\Sigma Q_{\text{出}}$ ——输出系统的热量； $Q_{\text{累}}$ ——系统积累或损失的热量。

同物料衡算一样，这种热量衡算既适用于物理变化过程，也适用于化学变化过程；既适用于整套装置或全部流程，也适用于设备某一部分或某一过程。

通过热量衡算，可以计算单位产品的耗热量，了解热量的利用和损失情况，确定过程中需要输入或向外界散发的热量，以及计算设备的主要尺寸。

三、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方向进行，直至达到动态平衡为止。例如，盐在水中溶解时，要一直进行到成为饱和溶液为止。这类平衡现象在自然

界广泛存在，涉及到化工操作的平衡关系很多，如气—液平衡、气—固平衡、液—液平衡等。

平衡关系表示物理或化学变化过程的极限，可以确定一个过程是否能够进行，以及可能达到的程度。

描述物系平衡关系的定律有：热力学第二定律，表明物系不同相中各组分的浓度之间关系的相平衡定律，以及化学平衡定律等。化学反应的极限是在当时反应物浓度、压力和温度条件下的平衡转化率。当物系条件改变时，平衡关系也相应地改变，建立新的平衡。

四、过程速率

如果一个物系不是处于平衡状态，则必然会发生趋向平衡的过程。单位时间里各种过程进行的变化量称为过程的速率，显然，过程的速率越高，设备的生产能力越大，在同样产量下所需设备的尺寸就可以越小。因此，在工程上，过程的速率问题往往比平衡问题更重要。过程的速率可以用如下的基本关系表示。

$$\text{过程速率} = (\text{过程推动力}) / (\text{过程阻力})$$

过程推动力是过程在该瞬间偏离平衡关系的差额。例如，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；化学反应过程的推动力是浓度差等。而与推动力相对应的阻力则与操作条件和物性有关。可以看出，提高过程速率的途径在于加大过程的推动力和减少过程的阻力。这将在以后各章节中进一步讨论。

此外，本课程中除了引用物理、化学、工程学中的一些基本概念之外，本身也还有一些重要概念（如压头、准数等）、基本原理（如边界层理论、双膜理论等）以及基本方

法（如解析法、图解法等），将在以后各章中加以叙述。

第三节 单位制和单位换算

一、单 位 制

表示一个物理量的大小，不但要列出数字，还要列出所计量的单位，否则便没有意义。物理量的种类很多，人们从其中选定少数几个物理量作为量度的基础，称为基本量，其它根据物理公式由基本量导出的物理量称为导出量。基本量的单位称为基本单位，导出量的单位称为导出单位。由于各国各民族不同文化的发展各自形成了自己的单位制（由基本单位和导出单位构成的完整的单位体系）。例如，欧美国家使用的米制或英制；我国在解放前市制与英制及米制并用，解放后于1959年正式确定米制为我国的基本计量制度，1984年国务院又明文规定在我国实行以国际单位制（SI制）为基础

表 1 - 1 常用单位制的基本单位

基本量	长 度		质 量		力（重量）		时 间	
	名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号
物理单位制 （ cgs制 ）	厘米	cm	克	g			秒	s
实用单位制 （ mkgfs制 ）	米	m	千克 （公斤）	kg			秒	s
国际单位制 （ SI制 ）	米	m	千克 （公斤）	kg			秒	s
工程单位制 （ mkgfs制 ）	米	m			千克 （力）	kgf	秒	s