

化工工人中级技术培训教材 第二版

化工基础

王锡玉 刘建中 主编



化学工业出版社



(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工基础/王锡玉, 刘建中主编. —北京: 化学工业出版社, 2000.9
化工工人中级技术培训教材 第二版
ISBN 7-5025-2940-3

I. 化… I. ①王… ②刘… II. 化学工业-技术培训-教材 IV. TQ01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 37683 号

化工工人中级技术培训教材 第二版

化 工 基 础

王锡玉 刘建中 主编
责任编辑: 白洁 陈丽
责任校对: 顾淑云
封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市燕山印刷厂印刷
北京市燕山印刷厂装订
开本 850×1168 毫米 1/32 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 352 千字
2000 年 9 月第 2 版 2000 年 9 月北京第 9 次印刷
印 数: 120171—124170
ISBN 7-5025-2940-3/TQ·1280
定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

为了适应社会主义市场经济发展对目前职工教育培训的需要,积极配合化工技术工人进行培训和职业技能鉴定,根据《化工特有工种职业技能鉴定规范》(讨论稿)对中级工应该掌握和了解的有关技术理论知识(应知)和工艺操作能力(应会)的内容,我们对1986年出版的《化工工人中级技术培训试用教材》进行了修订。

在本套书编写过程中,编者多次学习讨论了《化工特有工种职业技能鉴定规范》(讨论稿),在对其内容范围和深浅程度有了充分理解的基础上,兼顾中、高级技术工人在操作技能上的差别及其在基本技术理论知识上的共性特点,并考虑到成人学习的特点,注重理论联系实际,紧紧围绕化工生产的实际和检修维护的特点,由浅入深、由易到难地提出问题、分析问题、解决问题,并例举了生产或计算实例。在文字表述方面注意做到用语通俗易懂;图表清晰;术语、名词及符号符合新规定。

此次修订删减了部分目前化工企业生产中已淘汰的工艺、设备等方面的内容,增加了近年来在化工企业生产及管理中的新标准、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。

本书的绪论、第六章由吉林化工学院刘建中编写;第一章、第三章、第四章、第五章、第八章由吉林化工学院张振坤编写;第二章、第七章、第九章、第十章、第十一章由吉化公司有机合成厂王锡玉编写。

全书由王锡玉、刘建中主编。

在编写过程中,李守忠、刘建中、王锡玉、陈云明、刘勃安等进行了全套书审稿工作。天津大沽化工厂王慧伦对本书进行了审阅,并提出了宝贵意见。本书还参考了王慧伦主编的《化工基础》和刘盛宾

主编的《化工基础》的部分内容。全套书由刘勃安组织，在此一并致谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2000 年 6 月

目 录

绪论	1
一、化工过程及单元操作	1
二、本课程的地位和任务	2
三、单位制及单位换算	2
四、单元操作中的基本规律	4
第一章 流体流动	6
第一节 流体静力学	6
一、流体的主要物理量	6
二、流体静力学基本方程式	11
第二节 流体动力学	17
一、基本概念	17
二、稳定流动的连续方程	20
三、柏努利方程式	21
第三节 流体阻力	28
一、流体的粘度	29
二、流体的流动形态与雷诺准数	29
三、流体阻力计算	32
第四节 管路布置及安装原则	37
第五节 流量的测量	39
一、孔板流量计	39
二、文氏管流量计	40
三、转子流量计	40
第二章 流体输送机械和搅拌	42
第一节 离心泵	42
一、离心泵工作原理	42
二、离心泵的主要部件	43
三、离心泵的主要性能和特性曲线	45
四、离心泵的安装高度	49
五、离心泵的分类和型号	51

六、离心泵的安装和操作	56
第二节 往复泵	57
一、往复泵的工作原理	57
二、往复泵的主要性能	59
三、往复泵的使用与维护	61
第三节 其他类型泵及各类泵的比较	62
一、计量泵	62
二、齿轮泵	62
三、螺杆泵	64
四、屏蔽泵	64
五、液下泵	64
六、旋涡泵	65
七、流体作用泵	65
八、各类泵的比较	66
第四节 液体搅拌	68
一、搅拌的作用	68
二、搅拌器	68
三、强化搅拌的措施	71
第五节 往复式压缩机	72
一、往复式压缩机的结构和主要部件	72
二、往复式压缩机的主要性能	73
三、实际压缩循环	75
四、多级压缩	76
五、往复式压缩机的分类和型号	77
六、往复式压缩机的正常操作	79
第六节 离心式压缩机	79
一、离心式压缩机工作原理和结构	80
二、离心式压缩机的操作	81
第七节 各类风机简介	82
一、鼓风机	82
二、通风机	82
第八节 真空泵	84
一、往复式真空泵	84
二、液环式真空泵	84
三、旋片式真空泵	85

四、喷射式真空泵	86
第九节 流体的接收和贮存	87
一、液体的接收和贮存	87
二、气体物料的验收和贮存	89
第三章 流体与粒子间的相对运动过程	92
第一节 混合物的分离	92
第二节 重力沉降	93
一、重力作用下的沉降速度	93
二、除尘室	97
三、沉降器	98
第三节 过滤	99
一、悬浮液的过滤	99
二、过滤机的构造与操作	103
第四节 离心分离	109
一、离心作用下的沉降速度	109
二、离心分离设备	110
第五节 其他气体净制过程及设备	117
一、惯性分离器	117
二、袋滤器	118
三、静电除尘器	119
四、文丘里除尘器	120
第六节 固体流态化	121
一、基本概念	121
二、流化床的不正常现象	123
三、流化床的操作范围	124
第七节 气力输送	125
第四章 传热及传热设备	130
第一节 传热的基本方式	130
一、热传导	130
二、对流	131
三、辐射	131
四、间壁式换热器中的传热过程	131
第二节 传热计算	132
一、换热器的热负荷计算	132
二、载热体的用量及其终温	135

三、平均传热温差的计算	136
第三节 热传导	141
一、导热基本定律	141
二、多层平壁的导热	143
三、圆筒壁的导热	145
第四节 对流传热	146
一、对流传热方程式	147
二、给热系数的经验公式	147
第五节 传热系数的计算和讨论	149
一、通过平壁面的传热系数 K	149
二、通过圆筒壁面的传热系数 K	150
三、污垢热阻	151
第六节 传热面积和套管换热器计算	152
一、所需传热面积的计算	152
二、套管式换热器的计算	154
第七节 强化传热的途径与热绝缘方法	155
一、强化传热的途径	155
二、管路和设备的热绝缘方法	157
第八节 换热设备	158
一、换热器的分类	158
二、列管式换热器	159
三、其他换热器	165
第九节 加热方法和载热体	176
一、加热方法和加热剂	176
二、常用冷却剂	178
第五章 溶液的蒸发	180
第一节 概述	180
一、蒸发的特点	180
二、蒸发操作的分类	181
第二节 单效蒸发	182
一、单效蒸发流程	182
二、单效蒸发计算	182
第三节 多效蒸发与流程	187
一、概述	187
二、多效蒸发流程	187

第四节 蒸发设备简介	189
一、蒸发锅	190
二、蛇管式蒸发器	190
三、标准式蒸发器（中央循环管式蒸发器）	190
四、悬筐式蒸发器	191
五、外加热式蒸发器	191
六、列文蒸发器	192
七、强制循环蒸发器	192
八、液膜蒸发器	192
九、除沫器与冷凝器	194
第五节 蒸发过程的分析	195
一、影响生产强度的因素	195
二、影响溶液沸点升高的因素	196
三、降低热能消耗的措施	196
第六章 结晶	198
第一节 概述	198
一、结晶过程	198
二、结晶产品的纯度	199
三、溶解度和溶液的过饱和度	200
四、晶核的形成与晶体的长大及影响因素	203
第二节 结晶方法	205
第三节 结晶设备	205
一、结晶设备的类型及特点	205
二、移除部分溶剂的结晶器	206
三、不移除溶剂的结晶器	209
四、结晶操作应注意的问题	212
第四节 结晶操作的物料和热量衡算	213
一、物料衡算	213
二、热量衡算	214
第七章 溶液的蒸馏	216
第一节 概述	216
一、蒸馏操作及应用	216
二、蒸馏的分类	217
三、蒸馏在石油化工生产上的应用	217
第二节 溶液汽液平衡关系	218

一、双组分理想溶液的汽液平衡关系	218
二、沸点-组成图 (t - x - y 图)	220
三、汽液平衡相图 (y - x 图)	222
四、挥发度和相对挥发度	223
第三节 精馏原理	225
一、简单蒸馏原理和流程	225
二、精馏原理	227
三、精馏流程	230
第四节 精馏塔的物料衡算	232
一、全塔物料衡算	232
二、精馏段的物料衡算	233
三、提馏段的物料衡算	235
四、进料状况对操作线的影响	236
五、理论塔板数的计算	239
第五节 回流比	244
一、全回流	245
二、最小回流比	245
三、实际回流比的选择	246
第六节 连续精馏塔的热量衡算	247
一、全塔热量衡算	247
二、塔顶冷凝器冷却水消耗量的计算	250
第七节 特殊蒸馏	250
一、共沸蒸馏	251
二、萃取蒸馏	253
三、水蒸气蒸馏	255
第八节 精馏塔	256
一、精馏塔的分类和选择	256
二、泡罩塔	256
三、筛板塔	258
四、浮阀塔	258
五、喷射型塔	259
六、斜孔筛板塔	262
七、填料塔	262
第九节 精馏塔的操作	262
一、汽、液相负荷对精馏操作的影响	262

二、精馏塔的操作控制	263
第八章 吸收	266
第一节 概述	266
第二节 吸收的物理基础	267
一、汽相和液相组成的表示方法	267
二、气体在液体中的溶解度	271
三、汽液平衡关系	271
四、传质的基本方式	274
五、吸收机理——双膜理论	275
第三节 吸收速率方程式	277
一、吸收速率方程式	277
二、气体溶解度对吸收系数的影响	279
第四节 吸收过程的计算	281
一、全塔物料衡算与操作线方程	281
二、吸收剂消耗量的计算	284
三、填料的选择及类型	287
四、填料吸收塔塔径的确定	289
五、填料层高度的确定	290
第五节 吸收设备及影响因素	293
一、吸收设备	293
二、影响吸收操作的因素	296
第六节 解吸	297
第七节 吸收流程	299
第九章 萃取	302
第一节 液-液萃取过程	302
一、三元物系的相平衡	302
二、液-液萃取的基本原理	305
三、液-液萃取操作流程	307
四、萃取剂的选择	309
五、萃取操作的影响因素	310
第二节 液-液萃取设备	312
一、液-液萃取设备的分类	312
二、混合-沉降槽	312
三、重力流动萃取塔	313
四、输入机械能的萃取设备	316

五、离心萃取机	317
六、萃取设备的选择	318
第十章 干燥	320
第一节 概述	320
一、去湿方法	320
二、干燥方式	320
三、干燥过程的实质和必要条件	321
第二节 湿空气的性质及湿度图	322
一、湿空气的性质	322
二、湿度图	330
三、物料中所含水分的性质	335
四、固体物料干燥机理	336
第三节 干燥器的物料衡算和热量衡算	338
一、物料含水量的表示方法	338
二、干燥后的物料量和水分蒸发量	339
三、空气消耗量	340
四、干燥器热量衡算	341
第四节 干燥速率	342
一、干燥速率	342
二、影响干燥速率的因素	342
第五节 干燥的操作方式	343
一、干燥的操作方式介绍	343
二、其他干燥方式	345
第六节 流态化干燥技术	346
一、概述	346
二、流化床结构	347
三、流态化干燥的应用	349
第七节 干燥器	349
一、干燥器应具备的条件和分类	349
二、干燥器的主要形式和特点	350
三、干燥器的选择	360
第十一章 冷冻	362
第一节 概述	362
一、冷冻方法	362
二、冷冻的分类	363

第二节 冷冻的基本原理	363
一、冷冻循环	363
二、冷冻系数	365
三、操作温度的选定	367
四、过冷操作	367
第三节 冷冻能力	368
一、单位质量冷冻剂的冷冻能力	368
二、单位体积冷冻剂的冷冻能力	368
三、冷冻能力的计算	368
四、标准冷冻能力	371
第四节 两级压缩冷冻循环	372
一、采用两级压缩的原因	372
二、两级压缩冷冻循环	372
三、复叠式冷冻循环	373
第五节 冷冻剂与载冷体	374
一、冷冻剂	374
二、载冷体	376
三、润滑油	377
第六节 压缩蒸气冷冻装置的主要设备	379
一、压缩机	379
二、冷凝器	379
三、蒸发器	380
四、膨胀阀	380
附录	382
一、部分物理量的单位	382
二、单位换算表	382
三、水的物理性质	384
四、饱和水蒸气表（按压力排列）	385
五、某些气体的物理性质	388
六、管道内各种流体常用流速范围	388
七、常用金属管规格	389
八、常见固体的导热系数	391
九、列管式换热器的传热系数	391
十、污垢热阻经验数据	391

绪 论

一、化工过程及单元操作

化学工业是将自然界的各种物质，经过化学和物理方法处理，制造成生产资料和生活资料的工业。一种产品的生产过程中，从原料到成品，往往需要几个或几十个加工过程。其中除了化学反应过程外，还有大量的物理加工过程。这些过程就是化学工业的生产过程，常称作化工过程。

化学工业产品的种类繁多。各生产过程差异很大。每一种化工过程包含着许多操作工序，可分为两类。一类是化学反应，根据生产目的不同，进行不同的化学反应。在这一过程中物质发生了化学变化，改变了其化学性质。用于化学反应过程的设备称反应器。另一类工序并不进行化学反应，在此过程中物质不改变化学性质，只是改变其物理性质。

根据操作原理，化工产品生产过程中的物理加工过程可归纳为应用较广的数个基本操作过程。例如，乙醇、乙烯及石油等生产过程中，都采用蒸馏操作分离液体混合物，所以蒸馏为一基本操作过程。又如合成氨、硝酸和硫酸等生产过程中，都采用吸收操作分离气体混合物，所以吸收也是一个基本操作过程。又如尿素、聚氯乙烯及染料等生产过程中，都采用干燥操作以除去固体中的水分，所以干燥也是一个基本操作过程。这些基本过程称为单元操作。任何一种化工产品的生产过程，都是由若干个单元操作及化学反应过程组合而成的。每个单元操作都是在一定的设备中进行的。例如，吸收操作是在吸收塔内进行的；干燥操作是在干燥器内进行的。所以，单元操作是指在各种化工产品的生产过程中普遍采用的、遵循共同的物理学定律、所用设备相似、具有相同作用的那些基本操作。

二、本课程的地位和任务

化工基础是一门技术基础课，其主要任务是研究和了解各单元操作所依据的原理、遵循的规律、使用的设备和采取的强化措施，培养学生运用基础理论分析和解决化工单元操作中各种工程实际问题的能力。

本课程学习的内容为化工生产过程中的单元操作，包括以下一些内容。

(1) 流体动力过程 符合流体力学原理的一些单元操作，如流体的输送、过滤、离心沉降、固体流态化等；

(2) 热量传递过程 符合物质间热量交换的基本规律的过程，如传热、蒸发等；

(3) 物质传递过程 符合物质的质量从一相转移到另一相的传质理论的单元操作，如蒸馏、吸收、干燥等；

(4) 热力过程 符合热力学原理的一些单元操作，如冷冻等。

三、单位制及单位换算

在化工过程中，有较多的化工计算，涉及到多种物理量。如表示操作状态的有压强、温度等；表示物料性质的有密度、粘度、比热容等；表示设备几何尺寸的有长度、面积、管径等。要说明一个物理量的大小仅用数字是不够的，还必须与单位结合起来。我国实行法定计量单位。

化工生产中所用的物理量分为两类：① 基本量，人为地选定几个彼此独立的物理量，如长度、时间等，量度这些基本量大小的单位称基本单位；② 导出量，即基本量以外的其他物理量，可通过物理量之间的定义或定律从基本量导出来，其所用的单位称为导出单位。例如速度为路程与时间之比，可由长度和时间两个基本量导出，其单位 m/s 为导出单位。

国际计量会议制定的一种国际上统一的国际单位制，其国际代号为 SI，单位是由基本单位、辅助单位和具有专门名称的导出单位构成的，见表 1、表 2；国际单位制中用于构成十进倍数和分数单位的词头，列于表 3 中。

表 1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m	热力学温度	开尔文	K
质量	千克 (公斤)	kg	物质的量	摩尔	mol
时间	秒	s	发光强度	坎德拉	cd
电流	安培	A			

表 2 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	表示式例
频率	赫兹	Hz	s^{-1}
力, 重力	牛顿	N	$kg \cdot m/s^2$
压力 (压强), 应力	帕斯卡	Pa	N/m^2
能量, 功, 热	焦耳	J	$N \cdot m$
功率, 辐射通量	瓦特	W	J/s
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$	

注: 1. 摄氏温度是按式 $t = T - 273.15$ 定义的, 式中 t 为摄氏温度, T 为热力学温度。

2. 本表只列出本书常用单位。

表 3 用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表示的因数	词头名称	词头符号	所表示的因数	词头名称	词头符号
10^6	兆	M	10^{-1}	分	d
10^3	千	K	10^{-2}	厘	c
10^2	百	h	10^{-3}	毫	m
10^1	十	da	10^{-6}	微	μ

注: 只列出本书常用词头。

法定计量单位是以国际单位制的单位为基础, 根据我国的情况, 适当增加了一些其他单位构成的。国家选定的非国际单位制单位见表 4。另外, CGS 制与工程单位制中的基本单位如表 5 所示。工程单位制中以“力”为基本量, 用符号 kgf 表示。

同一物理量若用不同单位度量时, 其数值需相应地改变。这种换算称为单位换算。单位换算时, 需要换算因数。化工中常用的换算因

数可从本书附录中查得。

表 4 国家选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
时间	分	min	平面角	度	(°)
	[小] 时	h	旋转角度	转每分	r/min
	天 [日]	d	质量	吨	t
平面角	秒	(^{''})		原子质量单位	u
	分	(['])	体积	升	L, (l)

表 5 CGS 制与工程单位制的基本单位

项 目	CGS 制				工程制			
量的名称	长度	质量	时间	温度	长度	力	时间	温度
单位符号	cm	g	s	°C	m	kgf	s	°C

若物体受地球引力作用产生 $g=9.80665\text{m/s}^2$ 的重力加速度，则作用于质量为 $m=1\text{kg}$ 的物体上的重力为： $F=mg=1\times 9.80665\text{N}$ 。

物体在重力场中所受重力，就是物体的重量。因此，工程单位制中是把 SI 中的 9.80665N 重量，作为其 1kgf 重，故有 $1\text{kgf}=9.80665\text{N}$ 。由于质量为 1kg 物体的重量为 1kgf ，所以工程单位制中的重量与 SI 制中的质量数值相等。

例 1 通用气体常数 $R=0.08206\text{L}\cdot\text{atm}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ，试用法定单位 $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 表示。

解 由附录已知 $1\text{L}=10^{-3}\text{m}^3$ ， $1\text{atm}=1.013\times 10^5\text{Pa}$ ， $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2=1\text{N}\cdot\text{m}/\text{m}^3=1\text{J}/\text{m}^3$

因此 $R=0.08206\times 10^{-3}\times 1.013\times 10^5=8.313\text{m}^3\cdot\text{Pa}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

$R=8.313\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

四、单元操作中的基本规律

研究化工生产各单元操作时，经常用五个基本概念来表达各单元操作的规律，即物料衡算、能量衡算、物系的平衡关系，传递速率及经济核算。

物料衡算依据质量守恒定律进行，进入和离开某一化工过程的物料质量之差，等于该过程中累积的物料质量，即