

技工学校轻工专业试用教材

化 工 原 理

王忠厚 王少辉 主编

中国轻工业出版社

(京)新登字 034 号

内 容 提 要

本书根据技工学校教学的特点,结合轻化工行业的生产实际,简明、系统地介绍了轻工业化工原理与设备的基础知识。主要包括:流体力学、流体输送机械、非均相系的分离和固体流态化、传热、蒸发、蒸馏、吸收、干燥、萃取、离子交换和制冷技术等单元操作的基本理论与设备。旨在通过此门课程的教学,使学生达到轻工行业中级技工所必需的应知要求。

本书可作为轻工业技工学校各相关专业(工种)的通用教材,也可供轻工业技工培训及职工中专和职业高中等相关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理/王忠厚 王少辉主编. —北京:中国轻工业出版社, 1995. 6

技工学校轻工专业试用教材

ISBN 7-5019-1761-2

I. 化… I. 王… III. 化工原理-技工学校-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 06160 号

中国轻工业出版社出版
(北京市东长安街 6 号)
三河市宏达印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

787×1092 毫米 1/16 印张: 20.5 字数: 492 千字

1995 年 6 月 第 1 版第 1 次印刷

印数: 1—5000 定价: 29.50 元

主 编 王忠厚 王少辉

副主编 张品文 艾连增

编 委 (以姓氏笔划为序)

丁文捷 王用宾 王少辉 王元珑

王忠厚 刘继滨 何贞国 张品文

周克文 金成淑 孟 刚 宫丽梅

高 峰 黄健康 操四清 廖向阳

前 言

本书是由全国轻工业技工教育学会造纸专业教学研究会根据1990年制定的《技工学校造纸专业教学计划》及教学大纲,组织全国十几所重点轻工业技工学校的专业骨干教师编写的技工学校造纸专业试用教材之一,本套教材共包括四门课程:《制浆造纸工艺》、《制浆造纸设备与操作》、《制浆造纸化验与物检》和《化工原理》(轻工行业各专业通用)。

为了加强对学生操作技能的培养,加大造纸设备与操作方面知识的容量,本套教材将工艺与设备两部分内容分成两门课程,《制浆造纸工艺》侧重工艺理论方面的内容,而《制浆造纸设备与操作》则注重重点设备与操作方面的知识,两门课既有侧重,又相辅相应,避免了内容的重复。

《化工原理》紧紧围绕轻化工行业单元操作的特点,密切联系轻化工生产实际,可供造纸、发酵、食品、酿造、日化、制盐、制糖等轻化工专业作为通用教材。

《化工原理》共分十一章,共约120~160学时。可供轻工技工学校轻化工类专业两年制或三年制的教学。由于本书内容比较系统完整,各地技工学校可根据行业生产特点及学制的长短,对教学内容进行取舍。

本套教材的编写和出版,在推荐作者并支持作者的创作以及提供信息资料方面给予大力支持的学校有:黑龙江省造纸技工学校、广州造纸厂职工技术学校、广州市轻工技校、上海宏文造纸厂技工学校、安徽省安庆造纸技工学校、宁夏轻纺技工学校、湖北轻工技校沙市分校、福建青州纸厂技校、辽宁丹东鸭绿江造纸厂技校、四川宜宾造纸厂技工学校、四川内江轻化技校、四川乐山轻纺化技校、四川长江造纸厂技校、吉林石岷造纸厂技校、山东潍坊一轻技校、山东临沂一轻技校、山东省轻工业技工学校、山东烟台轻工技校、山东青岛轻工技校等,谨此表示感谢。

《化工原理》编写组

1994年12月

目 录

绪论	1
一、化工原理的性质及研究对象	1
二、化工原理的内容和任务	1
三、化工原理的研究方法	2
四、化工计算中的单位及单位换算	2
思考题	4
练习题	4
第一章 流体力学	5
第一节 概述	5
第二节 流体静力学	5
一、流体的主要物理量	5
二、流体静力学基本方程式	9
三、流体静力学基本方程式的应用	11
第三节 流体动力学	12
一、流体流动的基本概念	12
二、流体流动时的物料衡算——连续性方程式	14
三、流体流动时的能量衡算——柏努利方程式	14
四、柏努利方程式的应用	17
第四节 管内流体流动的现象	21
一、流体的粘度	21
二、流体流动类型和雷诺准数	22
三、流体在圆管内的速度分布	23
四、浆料的流动特性	24
第五节 流体的阻力及其计算	25
一、流体在圆形直管中的阻力计算	25
二、管路上的局部阻力计算	26
三、流体输送时总阻力的计算	27
四、非圆形管内的流动阻力	29
第六节 管路的布置及计算	29
一、管路组成	29
二、工艺管路的设计、安装和布置	30
三、管路计算	32
第七节 流量测量计简介	34
一、孔板流量计	34

二、文氏管流量计	34
三、转子流量计	35
思考题	35
练习题	36
第二章 流体输送机械	40
第一节 概述	40
第二节 离心泵	40
一、泵的分类	40
二、离心泵的构造	40
三、离心泵的工作原理	42
四、离心泵的主要性能参数	42
五、离心泵的安装高度与气蚀现象	44
六、离心泵的特性曲线和工作点	45
七、流量调节	47
八、并联操作与串联操作	48
九、离心泵的类型和选用	49
十、离心泵操作中的故障分析与排除	50
第三节 往复泵	51
一、往复泵的构造和工作原理	51
二、往复泵的流量与调节	52
三、往复泵的压头	53
四、往复泵操作中易出现的故障及排除	54
第四节 其他类型的液体输送机械	54
一、计量泵	54
二、旋转泵	54
三、旋涡泵	55
四、纸浆泵	56
第五节 各种类型泵的比较和选用	57
第六节 气体输送机械	58
一、通风机	58
二、鼓风机	59
三、压缩机	60
四、真空泵	62
思考题	63
练习题	64
第三章 非均相物系的分离和固体流态化	65
第一节 概述	65
第二节 重力沉降	66
一、重力沉降速度	66
二、重力沉降设备	69
三、沉降器的生产能力和沉降面积	70
第三节 过滤	71

一、过滤操作的基本概念	71
二、过滤机械	74
三、过滤机的物料衡算	78
第四节 离心分离	78
一、离心分离因数	78
二、离心沉降速度	79
三、离心机	80
四、旋风分离器	81
五、旋液分离器	82
第五节 固体流态化	83
一、流态化过程的基本概念	83
二、固体流态化技术在轻工业中的应用	85
第六节 气力输送	87
一、气力输送的基本概念	87
二、气力输送在轻工业中的应用举例	88
第七节 机械搅拌	89
一、基本概念	89
二、搅拌器在轻工业中的应用举例	92
思考题	92
练习题	93
第四章 传热基本原理和传热设备	94
第一节 概述	94
一、基本概念	94
二、传热的基本方式	94
三、常用的换热方法	95
第二节 传热过程的热量衡算	96
一、传热过程的热量衡算式	96
二、热负荷的计算	96
三、载热体的用量计算	98
第三节 热传导	98
一、热传导速率方程式	98
二、导热系数	99
三、平面壁的导热计算	100
四、圆筒壁的导热计算	102
第四节 对流传热及对流传热膜系数	104
一、间壁两侧的对流传热分析	104
二、对流传热速率方程式	105
三、对流传热膜系数的关联式	105
四、无相变时对流传热膜系数的求算	107
五、流体有相变时的膜系数	109
第五节 辐射传热	111
一、热辐射的基本概念	111

二、物质的辐射能力	112
三、两物体间辐射传热速率方程	113
第六节 换热器的计算	114
一、总传热速率方程和总传热系数	114
二、平均温度差的计算	115
三、传热系数K的求算	119
第七节 传热设备的热损失	123
第八节 换热设备	125
一、列管式换热器	125
二、其它型式的换热器	127
三、列管式换热器的型号表示	131
四、传热过程的强化	132
第九节 常用的加热剂和冷却剂	133
一、加热、冷却和冷凝	133
二、常用的加热剂	134
三、常用的冷却剂	134
第十节 传热在轻工业生产中的应用	135
一、传热在造纸生产中的应用	135
二、传热在发酵工业中的应用	136
思考题	137
练习题	138
第五章 蒸发	141
第一节 概述	141
第二节 蒸发设备	142
一、蒸发器的种类、结构及特点	142
二、蒸发器的附属设备	147
第三节 蒸发的流程及计算	148
一、单效蒸发流程	148
二、多效蒸发流程	148
三、单效蒸发的计算	150
四、温度差损失	153
第四节 蒸发器的生产能力和生产强度	155
一、蒸发器的生产能力	155
二、蒸发器的生产强度及其影响因素	155
第五节 蒸发在轻工业中的应用及蒸发器的操作	156
一、正常操作条件	156
二、管垢的形成与消除	157
思考题	157
练习题	157
第六章 蒸馏	159
第一节 概述	159

一、蒸馏的基本概念	159
二、相组成的表示法	159
第二节 蒸馏的基本原理	162
一、溶液的蒸气压及拉乌尔定律	162
二、气、液相平衡图	163
三、非理想溶液	166
四、挥发度及相对挥发度	167
五、简单蒸馏的原理	169
六、精馏的原理	170
第三节 双组分混合液精馏的计算	172
一、全塔物料衡算	172
二、恒摩尔流的假定和理论塔板	173
三、操作线方程式	174
四、理论板数的计算	176
五、进料状态的影响	176
六、回流比的选择	177
七、热量衡算	181
第四节 板式精馏塔结构与计算	182
一、板式塔的结构	182
二、塔板效率	183
三、塔径的计算	183
四、塔板形式	184
第五节 其它类型的精馏	187
一、水蒸汽蒸馏	187
二、恒沸蒸馏及应用	188
思考题	189
练习题	190
第七章 吸收	193
第一节 概述	193
第二节 吸收过程的速率	194
一、气液相平衡	194
二、气体在液体中的溶解度	197
三、亨利定律	198
四、相平衡与吸收过程的关系	200
第三节 传质原理	201
一、传质理论简介	201
二、双膜理论	203
三、单相传质速率方程及传质系数	203
四、两相间的传质界面组成的确定	205
五、总的吸收速率方程式	206
第四节 吸收塔的计算	210
一、填料的类型	210

二、全塔物料衡算——操作线方程式	212
三、吸收剂用量的确定	213
四、塔径的确定	215
五、填料层高度的计算	217
六、板式吸收塔的塔板数	219
七、解吸	222
第五节 吸收设备	223
一、填料塔	223
二、湍球塔	227
三、喷射式吸收器	228
四、吸收操作要点	228
思考题	228
练习题	229
第八章 干燥	231
第一节 概述	231
一、去湿方法	231
二、干燥过程的分类	231
三、干燥过程分析	232
第二节 湿空气的性质和湿度图	232
一、湿空气的性质	232
二、湿空气的湿度图及其应用	237
第三节 干燥器的物料衡算和热量衡算	241
一、空气干燥器的操作过程	241
二、空气干燥器的物料衡算	241
三、空气干燥器的热量衡算	244
四、干燥器出口空气状态的确定	245
第四节 干燥速度和干燥时间	247
一、物料所含水分的性质	247
二、固体物料的干燥机理	248
三、恒定干燥条件下的干燥速度	248
四、恒定干燥条件下干燥时间的计算	250
第五节 干燥设备及其选择	251
一、工业生产中常用的干燥器	251
二、干燥器的选择	256
思考题	258
练习题	258
第九章 萃取	259
第一节 概述	259
一、萃取分离的概念	259
二、萃取的分类	260
第二节 萃取分离的基本原理	261

一、溶解度图	261
二、萃取剂的选择	263
第三节 萃取设备	264
一、萃取设备分类	264
二、萃取流程图	266
思考题	267
第十章 离子交换技术	268
第一节 离子交换树脂	268
一、离子交换树脂的外观与颗粒大小	268
二、离子交换树脂的分类	268
三、离子交换树脂的特性	269
第二节 离子交换作用原理	270
一、离子交换树脂作用的原理	270
二、离子交换的亲合力	270
第三节 离子交换操作技术	271
一、树脂的选择和处理	271
二、离子交换装置	271
三、柱上操作	272
第四节 离子交换法的应用	273
思考题	273
练习题	274
第十一章 制冷技术	275
第一节 概述	275
第二节 蒸汽压缩式制冷的原理	275
一、蒸汽压缩式制冷的工作过程	275
二、温熵图	276
三、制冷能力和制冷剂循环量的计算	277
四、多级压缩蒸气冷冻机	282
第三节 冷冻剂和载冷剂	284
一、冷冻剂	284
二、载冷剂	286
第四节 压缩蒸气冷冻机的主要设备	286
一、压缩机	286
二、冷凝器	286
三、蒸发器	287
四、膨胀阀	288
第五节 其它制冷系统简介	288
一、空气压缩制冷	288
二、蒸气喷射式制冷	288
三、溴化钾-水吸收制冷	288
四、半导体制冷	288

五、绝热去磁制冷	288
六、菲利浦制冷机	289
思考题	289
练习题	289
附录	290
一、练习题参考答案	290
二、常见物理量在三种单位制中的单位	292
三、常用单位换算系数表	292
四、水的物理性质	296
五、空气的物理性质	296
六、某些气体在 0.1MPa 下的摩尔比热容	297
七、某些液体的平均比热容	297
八、水的饱和蒸汽压表	297
九、饱和水蒸汽表(以温度为准)	299
十、饱和水蒸汽表(以压力为准)	300
十一、某些液体的汽化潜热	301
十二、水的粘度	301
十三、液体的粘度算图	302
十四、气体的粘度算图	303
十五、某些固体材料的导热系数	303
十六、某些液体材料的导热系数	304
十七、某些气体或蒸汽的导热系数	306
十八、某些水溶液在 0.1MPa 下的沸点	308
十九、流量、流速和管径的关系图	309
二十、管子规格	309
二十一、离心泵(B型水泵)性能表	311
二十二、氨的温熵图	313

绪 论

一、化工原理的性质及研究对象

化工原理是研究轻工业生产过程中，单元操作的基本原理和所用设备的基本理论知识的课程，是轻工各行业的一门技术基础课，不是专门研究某种轻工产品生产过程的专业工艺课。

各种轻工产品的生产过程中，除必要的几种化学反应外，更多存在的则是物理性质的变化，按各物理过程的目的、原理、状态等的共性和个性，可将各物理变化归纳为各个单元操作。轻工产品虽有成千上万种，但单元操作只有为数不多的十几个，若干单元操作与化学反应过程串联组合，构成一个轻工产品的工艺制造过程。单元操作是指各种轻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、具有共同作用的那些基本操作。其主要特点是：(1)单元操作是物理操作，不包括物料化学性质的变化。如：流体输送、过滤等；(2)单元操作具有通用性。如：制糖工业中稀糖溶液的浓缩与制碱工业中苛性钠的浓缩和制盐工业中盐的浓缩与析出，都是通过蒸发这一单元操作实现的；单元操作中应用的设备也是通用的，如：蒸馏操作中的精馏塔、流体输送时应用的泵、风机等。

化工原理的研究对象就是单元操作，就是研究轻工各行业中通用物理操作所遵循的基本规律和所用的典型设备。

二、化工原理的内容和任务

本课程主要讨论一些应用较广泛的单元操作，如：流体输送、压缩、沉降、过滤、传热、蒸发、蒸馏、吸收、干燥、萃取、离子交换、制冷等。这些单元操作按其遵循的基本规律，可归纳为下列几类：

(1) 遵循流体力学基本规律的单元操作，称为流体动力过程。如：流体输送、沉降、过滤、离心分离等。

(2) 遵循传热基本规律的单元操作，称为传热过程(热量传递过程)。如：加热、冷却、蒸发等。

(3) 遵循传质基本规律的单元操作，称为传质过程(质量传递过程)。如：蒸馏、吸收、萃取、干燥等。

(4) 遵循热力学基本规律的单元操作，称为热力过程。如冷冻等。

学习本课程的任务是掌握各个单元操作的基本规律；典型设备的构造、性能、操作和基本计算；了解物理、化学定律在轻工业生产中的应用；并能用以分析和解决工程技术中的一般问题。

三、化工原理的研究方法

在研究单元操作时，常用下列基本理论：

1. 物料衡算

根据质量守恒定律，输入系统的总物料量必然等于系统的输出量与系统的积存量之和，即：

$$F = D + A \quad (0-1)$$

式中 F ——输入总物料量，kg

D ——输出总物料量，kg

A ——积存于系统中的物料量，kg

该物料衡算式既适应于物理变化也适应于化学变化。

2. 能量衡算

根据能量守恒定律，输入系统的总能量必然等于系统输出的总能量，即

$$E_{\lambda} = E_{\text{出}} + E_{\text{损}} \quad (0-2)$$

式中 E_{λ} ——输入系统的总能量，J

$E_{\text{出}}$ ——输出系统的总能量，J

$E_{\text{损}}$ ——总能量损失，J

能量衡算包括各种形式的能，如热能、机械能、电能、化学能等，它同物料衡算一样，既适合于物理变化，也适应于化学变化的过程。

3. 平衡关系

物系发生的自然变化，必然要达到动态平衡才能停止，例如：盐在水中溶解，将一直进行到饱和为止。平衡关系就是表示物理或化学变化过程的极限，通过平衡关系可以确定一定过程是否能够进行，以及可能达到的程度。平衡是相对的，当物系条件改变时，平衡关系即被破坏，从而建立新的平衡。

4. 过程速率

物系由不平衡趋向平衡的快慢称为过程速率。过程速率的大小与过程的推动力成正比与阻力成反比，即

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

过程推动力是指过程偏离平衡的程度。偏离程度越大，则推动力越大；偏离程度越小，则推动力越小；当过程处于平衡状态时，推动力为0。过程阻力较为复杂，要具体情况具体分析。

四、化工计算中的单位及单位换算

物理量的大小由数字和计量单位表示，如表示时间时要用10秒或10分表示，如果只有数字10就不能表明它代表的意义。物理量的单位分为两类：基本单位和导出单位。首先人为地选定几个独立的物理量，称为基本量，基本量的单位称为基本单位；其它物理量可以通过物理定律由基本量导出，称为导出量，导出量的单位称为导出单位。基本单位与导出单位总称为单位制。

由于基本量的选择不同，或对基本单位规定不同，因而产生了不同的单位制度，表 0-1 中列出几种常见单位制度的基本量和基本单位。

表 0-1 常见单位制度的基本单位

基本量	长度		质量		力(重量)		时间	
	单位名称	符 号	单位名称	符 号	单位名称	符 号	单位名称	符 号
绝对单位制 (cgs 制)	厘米	cm	克	g			秒	s
实用单位制 (MKS 制)	米	m	千克	kg			秒	s
国际单位制 (SI 制)	米	m	千克	kg	牛〔顿〕	N	秒	s
工程单位制	米	m			千克力	kgf	秒	s

国际单位制(SI 制)是 1960 年第十一届国际计量大会通过的一种新单位制度。在 SI 制中规定了七个基本单位和两个辅助单位，即：长度的米、质量的千克、时间的秒、电流的安培、热力学温度的开尔文、物质的摩尔、发光强度的坎德拉为基本单位，以平面角的弧度、立体角的球面度为辅助单位。本教材主要用米、千克、秒、开尔文和摩尔这五个。SI 制有两大优点：(1)通用性，在自然科学和工程技术乃至国民经济各部门中，所有物理量的单位都可用 SI 制的七个基本单位导出，SI 制对所有科学技术领域都适用；(2)一贯性，SI 制中任何一个导出单位都可用基本单位按物理规律直接导出，不必引入比例常数。

鉴于 SI 制的优越性，我国于 1984 年 2 月 27 日发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，规定了我国的法定计量单位是以国际单位制为基础，只保留少数国内外习惯或通用的非国际单位制的单位。

我国的法定计量单位包括：(1)国际单位制的基本单位，(2)国际单位制的辅助单位，(3)国际单位制中具有专门名称的导出单位，(4)国家选定的非国际制单位，(5)由以上单位构成的组合形式的单位，(6)由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位。

本书主要用法定计量单位，用于构成十进倍数和分数单位的词头见表 0-2。

表 0-2 SI 制中用于构成十进倍数和分数单位的词头

表示的因数	词头名称	符 号	表示的因数	词头名称	符 号
10^{18}	艾〔可萨〕	E	10^{-1}	分	d
10^{15}	拍〔它〕	P	10^{-2}	厘	c
10^{12}	太〔拉〕	T	10^{-3}	毫	m
10^9	吉〔加〕	G	10^{-6}	微	μ
10^6	兆	M	10^{-9}	纳〔诺〕	n
10^3	千	K	10^{-12}	皮〔可〕	P
10^2	百	h	10^{-15}	飞〔母托〕	f
10^1	十	da	10^{-18}	阿〔托〕	a

注：〔〕内的字，可在不致混淆的情况下省略。

应用 SI 制词头时应注意：(1)词冠代号用正体，词冠代号和单位代号间不留间隔，(2)词冠不能并列使用，如 10^6m 可用 1Mm 表示，不能用 1KKm 表示。

我国虽然已推行法定计量单位，但其它单位制的应用仍然较普遍，因此，当得到以不同单位制度表示的数据时，必须进行单位换算。

物理量从一种单位换算成另一种单位时，将原单位的数值乘以换算因数即可得到新单位的数值。换算因数就是原单位与新单位的比值。

例 0-1 求把密度单位 g/cm^3 换算成 kg/m^3 的换算因数。

解：查附录，得 g 换算成 kg 的换算系数是 10^{-3} ， cm^3 换算成 m^3 的换算因数是 10^{-6} 。所求的换算因数是 $\frac{10^{-3}}{10^{-6}}=10^3$ 。

例 0-2 求把能量中 $\text{kgf} \cdot \text{m}$ 单位换算成 $\text{J}=\text{N} \cdot \text{m}$ 单位时的换算因数。

解：查附录，得 kgf 换算为 N 的换算因数为 9.807，所求的换算因数为 $9.807 \times 1 = 9.807$

例 0-3 把 $7\text{kgf}/\text{cm}^2$ 转换成 N/m^2 和 mmHg

解： $7\text{kgf}/\text{cm}^2=7 \times 98.1 \times 10^3 \text{N}/\text{m}^2=6.867 \times 10^5 \text{N}/\text{m}^2$
 $=7 \times 735.6 \text{mmHg}=5.149 \times 10^3 \text{mmHg}$

例 0-4 把表面张力中 dyn/cm 单位换算成 N/m

解： $\text{dyn}/\text{cm}=\frac{10^{-5}\text{N}}{10^{-2}\text{m}}=10^{-3}\text{N}/\text{m}$ 。

思考题

1. 说明单元操作、平衡关系、过程速率、换算因数的意义。
2. SI 制的基本单位有哪几个？什么叫法定计量单位？
3. 国际单位制有何优点？
4. 如何进行单位换算？

练习题

1. 将通用气体常数 $R=82.06\text{atm} \cdot \text{cm}^3/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 换算成以 SI 制单位表示。
2. 求把压力单位 kgf/cm^2 换算成 Pa 和 kgf/m^2 的换算因数。
3. $1\text{kcal}/\text{h}=\underline{\hspace{2cm}} \text{W}$
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. $5\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{s}=\underline{\hspace{1cm}} \text{N} \cdot \text{m}/\text{s}=\underline{\hspace{1cm}} \text{J}/\text{s}=\underline{\hspace{1cm}} \text{kW}$