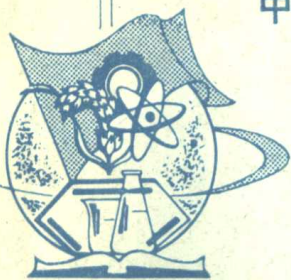


中等专业学校试用教材



# 化工原理

上册

兰州化学工业公司化工学校等合编

张弓主编

化学工业出版社

中等专业学校试用教材

# 化 工 原 理

上 册

兰州化学工业公司化工学校等 合编  
张 弓 主编

化 学 工 业 出 版 社

本书为试用教材，供化工中等专业学校有机化工、无机化工、化工机械和化工仪表等专业使用。

全书分为上、下两册。上册内容包括流体力学、液体输送机械、气体压缩和输送机械、流体与粒子相对运动的过程、传热基本原理和换热器、蒸发等。下册内容包括蒸馏、吸收、精馏和吸收塔设备、干燥、冷冻等。每章均有练习题。每册末均有附录，供解题时查数据使用。

中等专业学校试用教材

化 工 原 理

上 册

兰州化学工业公司化工学校等 合编

张 弓 主编

\*

化学工业出版社 出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张16字数368千字印数1—35,150

1980年6月北京第1版1980年6月北京第1次印刷

书号15063·500(K-214)定价1.25元

## 前 言

本书系根据1978年6月在兰州召开的全国中等专业学校有机化工专业教材会议所通过的编写大纲和会议精神编写的。

本书在体系上以化工单元操作为基础，着重讲清楚成熟的基础理论，努力反映本学科的现代特点。书中对传统的内容进行了精选，以流体力学、传热基本原理、蒸馏和吸收操作为重点。

为了适应四个现代化的需要，本书采用了国际单位制(SI)。但是由于传统的化工数据和机械性能数据的单位都不是国际制，本书引用的技术资料不可避免地会出现工程制单位或习用单位，又由于我国各部门目前采用的是工程制或其它单位制，为了联系我国实际，学习国际单位制时，应了解SI与其它单位制的关系。为此，本书附录中除选编SI数据外，并列SI与其它单位制换算关系。

本书全部内容讲课时数约180学时。各专业可按需要选讲其中内容。

本书的绪论、第一章、第二章和第三章由兰州化学工业公司化工学校张弓编写；第四章、第十章和第十一章由北京化工学校程祖球编写；第五章和第六章由石家庄化工学校金德仁编写；第七章、第八章和第九章由兰州化学工业公司化工学校顾辉编写；全书由张弓主编。

由于时间仓促及编者水平有限，书中必有不少不妥或错误之处，希望读者予以批评指出。对本书的意见请寄兰州化学工业公司化工学校。

编者 1979年5月

# 上册目录

绪论 .....	1
第一章 流体力学 .....	12
第一节 流体静力学 .....	12
1-1 流体的主要物理量 .....	13
1-2 流体静力学基本方程式 .....	22
第二节 流体动力学 .....	30
1-3 流量和流速 .....	30
1-4 稳定流动和不稳定流动 .....	34
1-5 稳定流动的连续性——连续性方程式 .....	35
1-6 柏努利方程式 .....	36
第三节 流体阻力 .....	47
1-7 流体的粘度 .....	47
1-8 流体流动的类型 .....	55
1-9 流体在圆管中流速的分布 .....	59
1-10 流体阻力 .....	63
第四节 简单管路的计算和管路布置 .....	77
1-11 简单管路的计算 .....	78
1-12 管路布置和安装的一般原则 .....	84
第五节 流量的测量 .....	86
1-13 孔板流量计 .....	86
1-14 文氏管流量计 .....	90
1-15 转子流量计 .....	91
1-16 堰 .....	93
练习题 .....	94

<b>第二章 液体输送机械</b> .....	98
<b>第一节 离心泵</b> .....	99
2-1 离心泵的工作原理和结构 .....	99
2-2 离心泵的性能 .....	108
2-3 离心泵的型号和选用 .....	120
2-4 离心泵的操作与调节 .....	129
<b>第二节 往复泵</b> .....	134
2-5 往复泵的工作原理 .....	134
2-6 往复泵的分类和构造特点 .....	135
2-7 往复泵的主要性能 .....	138
2-8 往复泵的运转和调节 .....	140
<b>第三节 其它类型泵</b> .....	141
2-9 旋涡泵 .....	142
2-10 齿轮泵 .....	143
2-11 螺杆泵 .....	144
2-12 流体作用泵 .....	144
2-13 其它化工用泵 .....	146
<b>第四节 各类泵的比较</b> .....	147
2-14 各类泵的比较 .....	147
<b>练习题</b> .....	150
<b>第三章 气体压缩和输送机械</b> .....	152
<b>第一节 往复压缩机</b> .....	153
3-1 往复压缩机的主要构造和工作原理 .....	153
3-2 往复压缩机的生产能力 .....	159
3-3 多级压缩 .....	162
3-4 往复压缩机的分类及型号 .....	165
3-5 往复压缩机的安装与运转 .....	168
<b>第二节 离心鼓风机和离心压缩机</b> .....	169
3-6 离心鼓风机和离心压缩机的工作原理、 主要构造和型号 .....	169

3-7	离心压缩机的性能曲线与调节 .....	172
第三节	通风机 .....	173
3-8	通风机的类型 .....	173
3-9	离心通风机的性能、型号和选型 .....	174
第四节	旋转鼓风机和旋转压缩机 .....	177
3-10	罗茨鼓风机 .....	177
3-11	液环压缩机 .....	178
第五节	真空泵 .....	179
3-12	往复式真空泵 .....	180
3-13	液环式真空泵 .....	180
3-14	喷射式真空泵 .....	181
练习题	.....	183
<b>第四章</b>	<b>流体与粒子间相对运动的过程</b> .....	<b>184</b>
第一节	重力沉降 .....	185
4-1	重力作用下的沉降速度 .....	185
4-2	沉降器的构造和计算 .....	195
第二节	过滤 .....	198
4-3	基本概念 .....	198
4-4	过滤操作中液体通过颗粒层的流动 .....	204
4-5	过滤基本方程式 .....	205
4-6	过滤机的构造和操作 .....	211
第三节	离心机 .....	219
4-7	离心力作用下的沉降速度 .....	219
4-8	离心机的构造和操作 .....	222
第四节	气体净制设备 .....	230
4-9	旋风分离器 .....	231
4-10	其它气体净制设备 .....	244
第五节	固体流态化 .....	247
4-11	基本概念 .....	248

4-12	流化床的流体力学 .....	250
第六节	气力输送 .....	256
4-13	气力输送 .....	256
练习题	.....	260
<b>第五章</b>	<b>传热基本原理和换热器 .....</b>	<b>263</b>
第一节	基本概念 .....	264
5-1	传热的基本方式 .....	264
5-2	工业的换热方法 .....	265
第二节	传热计算 .....	267
5-3	传热方程式 .....	267
5-4	传热过程的热量衡算 .....	269
5-5	平均温度差的计算 .....	272
5-6	流体流动方向的选择 .....	282
5-7	传热系数K的测定和估算 .....	284
第三节	热传导 .....	290
5-8	导热基本定律 .....	290
5-9	多层平壁的导热 .....	294
5-10	圆筒壁的导热 .....	296
第四节	对流传热 .....	301
5-11	对流传热方程式 .....	301
5-12	对流传热膜系数的经验公式 .....	302
第五节	传热系数K的计算和讨论 .....	322
5-13	传热系数与膜系数关系式 .....	322
5-14	垢层热阻 .....	330
5-15	强化传热过程的途径 .....	332
第六节	热辐射 .....	334
5-16	热辐射的基本概念 .....	334
5-17	两物体间的辐射传热 .....	338
5-18	热损失 .....	341



第七节	换热器	342
5-19	列管式换热器 (管壳式换热器)	342
5-20	其它换热器	346
5-21	各种换热器的比较	359
第八节	加热方法和载热体	361
5-22	加热方法和加热剂	361
5-23	常用冷却剂	364
第九节	列管换热器的工艺设计	364
5-24	工艺设计中应考虑的问题	365
5-25	工艺设计计算方法与步骤	376
	练习题	391
<b>第六章</b>	<b>蒸发</b>	<b>396</b>
第一节	蒸发器	397
6-1	蒸发器的结构	397
6-2	除沫器、冷凝器	409
第二节	单效蒸发	411
6-3	单效蒸发的计算	411
6-4	温度差损失	418
第三节	多效蒸发	421
6-5	多效蒸发流程	421
6-6	多效蒸发的计算	424
6-7	多效蒸发的效数	445
第四节	影响蒸发器生产强度的因素	446
6-8	影响蒸发器生产强度的因素	446
	练习题	448
<b>附录</b>		<b>451</b>
一、	单位换算表	451
二、	管子规格	458
三、	水的粘度 (273~373 K)	460

四、液体粘度和在293K时的密度 .....	461
五、气体在常压下的粘度 .....	464
六、常用泵规格 .....	466
七、8-18、9-27型离心通风机综合特性曲线图 .....	473
八、水在273~373K时的饱和蒸汽压和比容 .....	474
九、比热列线图 .....	475
十、液体汽化潜热列线图 .....	479
十一、饱和水蒸汽表 .....	481
十二、饱和水蒸汽表（按温度排列） .....	485
十三、某些固体的导热系数 .....	487
十四、某些液体的导热系数 .....	488
十五、某些气体和蒸汽的导热系数 .....	490
十六、壁面污垢的热阻系数（污垢系数）， $m^2 \cdot K/W$ .....	493
十七、列管换热器的传热系数K的参考值 .....	494
十八、管壳式换热器系列标准（摘录） .....	497
十九、某些水溶液在1atm下的沸点 .....	503

# 绪 论

## 一、本课程的性质、内容和任务

化学工业是多行业、多品种的生产部门。很久以前，各种化工产品的生产技术，被看作是很少相同之处。那时，只从一种产品到另一种产品，逐个地去认识化工生产过程的规律；反映化工生产技术的科学，是每一种化工产品的工艺学，如硫酸工艺学、纯碱工艺学、制糖工艺学等等。

实践是认识发展的基本来源。经过长期的生产实践和科学实验，至本世纪二十年代初期，提出了化工单元操作的概念。认为每一种化工产品的生产过程，都是运用若干单元操作技术，来处理某些化学反应的原料、产品的过程的总和。化工产品虽有成千上万种，但化工单元操作只有为数不多的十几种。单元操作好像拼音文字的字母的作用那样，几十个字母可以组合成无数的字、词和文章，十几种单元操作与一些化学反应过程结合，构成了整个多行业、多品种的化学工业。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，具有相同的作用的那些基本操作。例如，液体的输送，在化肥工业中需要，在石油化工厂中和其他化工产品的生产中也需要，而在输送各种液体的操作中，都遵循着流体力学的规律，都用泵进行工作，其目的都是把液体从一个地方送到另一个地方，所以，液体输送就是应用最广泛的单元操作之一。总结了化工单元操作这个概念，相应地设置了化工原理课程，用来阐述各种单元操作的规律和所用的典型

设备。换句话说，化工原理课程是讲述化工生产过程的单元操作及所用设备的基本理论知识的课程，不是专门研究某一种化工产品生产过程的专业工艺课。

在中等专业学校，化工原理课程的内容只包括一些应用较广的化工单元操作，如液体输送、气体输送、非均一相分离、固体流态化、传热、蒸发、蒸馏、吸收、干燥和冷冻等。

各个单元操作并不是没有互相联系的，经过研究，按照各单元操作遵循的基本规律，可把它们归纳为几个过程。

1. 流体动力过程 包括遵循流体力学原理的单元操作，如流体输送、气体输送、过滤、固体流态化等。这个过程也称动量传递过程。

2. 热量传递过程（简称传热过程） 包括传热、蒸发等。

3. 质量传递过程（简称传质过程） 在这类过程中，某种物质的质量从一个相（液体或气体）转移到另一个相（液体或气体）。这类过程包括遵循传质理论的操作，如蒸馏、吸收和干燥等。

4. 热力过程 包括遵循热力学定律的操作，如冷冻。

目前，人们还研究探讨三个传递过程（即动量传递过程、热量传递过程、质量传递过程）的基本理论中相似之处，对化工过程的认识又将进一步的提高。

认识世界的目的在于改造世界。学习本课程的主要任务是，掌握各个单元操作的基本规律，熟悉所用设备的工作原理、性能和运转注意事项等，并能把这些认识用于化工研究、设计和生产中，使生产技术不断改进。

## 二、化学工业与化学工程的发展简史和当代的特点

化学工程是随着化学工业的发展而逐渐形成和发展的。

我国是世界文明古国之一，古代劳动人民在长期的生产实

践中，在科学技术和化学工艺方面有不少的发明创造，对于我国社会的发展和世界文明，曾作出卓越的贡献。如陶瓷、冶金、火药、燃料、酿酒、染色、造纸和无机盐等的生产技术，一直到西方出现资本主义以前，都走在世界前列。近代许多化工生产是在古代化学工艺的基础上发展起来的。

十八世纪产业革命开始后，古代化工生产方式，已不能适应蓬勃发展的纺织业和印染业的需要。十八世纪末出现了以食盐为原料制造纯碱的新工艺，由此也带动了硫酸、漂白粉等工业的生产，纯碱、硫酸等无机工业便成为近代化学工业的开端。钢铁工业的兴起，促进了炼焦工业的发展，炼焦生产中有恶臭的副产品——煤焦油，成为当时难以处理的“废物”。经过人们长期的实践，根据古代蒸馏酒类似的原理，把煤焦油经过一系列的蒸馏操作，从而在这个“废物”里分离出来苯、甲苯、酚、萘、蒽等多种有用的有机化工原料。这样，为合成染料、药品提供了丰富的原料，推动了染料、医药工业的发展，形成了以煤为原料的有机化学工业。原来的“废物”也变成了至宝。值得提出的是，化学工业的发展，在这些生产过程中应用了吸收、蒸馏、过滤、结晶、干燥等操作，为后来化学工程学的形成与发展奠定了基础。至本世纪三十年代，发展了以电石为原料的乙炔化学工业，四十年代开始，又出现以石油为原料的石油化学工业，化工生产的原料来源更广，化学工业的发展进入新阶段。当时通过总结化工生产过程的规律，形成了化学工程学科。由于石油、天然气资源丰富，成本较低，以及采用化学工程和其他科学技术等等原因，五十年代以来，以石油和天然气为原料的石油化学工业得到了飞速的发展，目前已成为当代化学工业的重要组成部分。

我国，在解放前很长的历史阶段中，由于帝国主义、封建

主义和官僚资本主义的压榨和掠夺，化学工业和其他国民经济部门一样，没有得到发展，仅有少量的日用化学品、纯碱、氯碱和化肥的生产。当时，我国的化学工程学科的教学和研究工作极为薄弱，直至解放前夕，还没有自编的化学工程教材。

新中国成立后，社会主义制度为化学工业的发展开辟了广阔的前景。在伟大的中国共产党的领导下，很快建设了一批化学工业基地，奠定了我国化学工业的基础。接着，由于石油工业飞速发展，我国的化学工业在自力更生的基础上，努力采用世界先进技术和设备，以石油和天然气为原料的石油化学工业也迅速发展起来，建成了一批大型的现代化石油化工厂和天然气化工厂。三大合成材料(塑料、合成纤维、合成橡胶)和化肥的生产能力大幅度增长，技术水平日益提高。随着化学工业的发展，我国的化学工程科学也有相应的发展。

现在，中国共产党领导全国各族人民进行新的长征，全国化工战线为在本世纪内使我国建成现代化的化学工业，使化学工程学科的水平达到世界最前列正在努力奋斗！

### 三、单位制度

表示一个物理量的大小，不能只列出数字，还要列出所计量的单位。例如，某设备的长度是一个物理量，它的大小可以用10米来表示，如果只用数字10就不能说明长度的大小。

化工生产中遇到的很多单位，可分为两大类：基本单位和导出单位。基本单位只有几个；导出单位是由基本单位组成，数量很多。把为数甚多的物理量人为地分为基本量和导出量，选定少数几个基本量，其他导出量可以从物理定律导出。基本量的单位称为基本单位，导出量的单位称为导出单位。例如，长度为基本量，其单位米为基本单位；时间亦为基本量，其单位秒亦为基本单位；速度为路程与时间之比，由长度与时间导

出，是一个导出量，其单位米/秒为导出单位。

由于基本量选择得不同，或对基本单位规定得不同，便产生了不同的单位制度。常见的几种单位制度所用的力学基本量和基本单位如表 1 所示。

表 1 常见单位制度的基本单位

基本量	长度		质量		力		时间	
	中文名称	代号	中文名称	代号	中文名称	代号	中文名称	代号
绝对单位制 (cgs制)	厘米	cm	克	g	—		秒	s
MKS制	米	m	千克 (公斤)	kg	—		秒	s
国际(SI)制	米	m	千克 (公斤)	kg	—		秒	s
重力单位制 (工程单位制)	米	m	—		公斤力	kgf	秒	s

由表 1 可以看出，绝对单位制以长度、质量和时间为基本量，它们的单位为基本单位，力是导出量，其单位是导出单位；重力单位制以长度、力和时间的单位为基本单位，质量的单位则属于导出单位；在绝对单位制中，cgs 制的长度、质量的基本单位与 MKS 和 SI 的基本单位是不同的。

过去，自然科学里广泛采用 cgs 制，所以 cgs 制又称为物理单位制。国际单位制系国际度量衡会议于六十年代初期提出的一种新的单位制度，是在米制基础上发展而成，其代号为 SI。由于它的构成比较科学，世界各国有逐步采用 SI 的趋势。我国的教材和技术资料中，多采用 MKS 制、cgs 制和工程单位制。为适应四个现代化的需要，一九七七年我国国家标准计量局指

出，我国将逐步采用国际单位制。本书采用的单位制，主要是SI，但由于历史上用过其它单位制，必要时也涉及别的单位制。

SI共采用七个基本单位，除在力学中采用 m、kg、s 这三个之外；在热学中采用热力学温度的单位开尔文温度，简称开，代号为K；在光学中采用发光强度的单位坎德拉，简称坎，代号为cd；在电学中采用电流的单位，安培，简称安，代号为A；在化学和分子物理学中采用物质的量的单位，摩尔（过去称为克分子、克原子、克离子等），简称摩，代号为 mol。在化工原理中，一般只用m、kg、s、K和mol这五个。

为什么世界上各国都有采用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由基本单位相乘或相除而导出时，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， $1\text{J}=1\text{N}\times 1\text{m}=1\text{N}\cdot\text{m}=1\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$ 。别的单位制中采用卡 cal或千卡 kcal作热的单位，采用焦耳或公斤力米 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ 为能量或功的单位。这样从热的单位换算为功的单位便要通过所谓“热功当量”这个比例常数： $1\text{kcal}=4.187\text{kJ}=427\text{kgf}\cdot\text{m}$ 。SI各单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； $10^{-2}$ 称为厘，代号为c<sup>①</sup>。其他词冠的名称和代号见附录。

① 词冠c通常只限于某些长度、面积和体积的单位使用。



使用国际制词冠时，应遵守下列规则：

(1) 词冠代号用正体，词冠代号和单位代号之间不留间隔，如1km，1Mm，1mm等。

(2) 如带词冠的单位代号上有指数，则表明倍数单位或分数单位的系数值可由词冠自乘而得，例如： $1\text{cm}^3 = 1\text{c}^3\text{m}^3 = 1 \times (10^{-2})^3\text{m}^3 = 10^{-6}\text{m}^3$

$$1\text{cm}^{-1} = 1\text{c}^{-1}\text{m}^{-1} = 1 \times (10^{-2})^{-1}\text{m}^{-1} = 10^2\text{m}^{-1}$$

(3) 不允许用两个以上国际制词冠并列而成的组合词冠，如 $10^6\text{g}$ ，可用1Mg，不许用1kkg。

(4) 选用国际制词冠时，一般应使单位前系数值在0.1~1000之间，如12000m可写成12km，0.00394m可写成3.94mm。

SI还规定具有专门名称的导出单位的代号，可以用它们和基本单位一起表示其他导出单位。今将与化工关系密切的具有专门名称的导出单位列于表2。

表2 具有专门名称的国际制导出单位

物 理 量	国 际 单 位 制				
	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 <sup>①</sup>		$\text{s}^{-1}$
力	牛顿	牛	N		$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
压强、应力	帕斯卡	帕	Pa	$\text{N}/\text{m}^2$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
能、功、热量	焦耳	焦	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
功率	瓦特	瓦	W	$\text{J}/\text{s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$

① 在表示转速时 $1\text{Hz} = 60\text{rpm}$ (每分钟转数)。

表2中也表明了导出单位的书写格式，今补充说明如下：

(1) 两个以上单位的乘积应象表2那样，最好用圆点作