

338224

成都工学院图书馆

基本馆藏

中等专业学校教材

化工过程及设备

上册

兰州化工学校 北京化工学校 大连化工学校 合编



中国工业出版社

中等专业学校教材



化工过程及设备

上册

兰州化工学校 北京化工学校 大连化工学校 合編

中国工业出版社

本书系根据化学工业部教育司1964年8月修訂的中等专业学校“化工过程及设备教学大纲(草案)”編写的。全书分上、下两册出版,上册除緒論外,包括流体力学基本原理,液体的輸送,气体的压缩和輸送,非均一系的分离,传热学基本原理,加热、冷却和冷凝,以及蒸发等七章;下册包括吸收,蒸馏,干燥,冷冻,以及固体的机械操作等五章。每章末附有复习題和练习題,每册末附有計算用的数据图表,以供选用与查閱。

本书可作为化工类中等专业学校試用教科书,也可作为化工厂有关人員的一般参考书。

本书上册由北京化工学校程祖球,大連化工学校蔣斐两位同志編写,并由兰州化工学校张弓同志主編,北京化工学校孙振申同志审閱。

化 工 过 程 及 設 备

上 册

兰州化工学校 北京化工学校

大連化工学校 合編

*

化学工业部图书編輯室編輯(北京安定門外和平里7区8号楼)

中国工业出版社出版(北京修德閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $8^{3/4}$ ·字数220,000

1965年9月北京第一版·1965年9月北京第一次印刷

印数0001—8,052·定价(科四)1.00元

*

統一书号: K15165·4091(化工-408)

目 录

緒 論	1
1. 化工过程及设备课程的研究对象和任务	1
2. 化工过程的分类	3
3. 物料衡算和能量衡算	3
4. 物理量的单位制	4
第一章 流体力学基本原理	8
第一节 概述	8
第二节 流体的主要物理性质	8
1-1 重度和密度	9
1-2 粘度	12
第三节 流体静力学	15
1-3 压强	15
1-4 流体静力学基本方程式	18
1-5 液柱压强计	21
第四节 流体动力学	24
1-6 流量和流速——流量方程式	24
1-7 流体稳定流动时的物料衡算——連續性方程式	27
1-8 流体稳定流动时的能量衡算——柏努利方程式	30
1-9 粘性流体的流动型态和雷诺准数	34
第五节 流体的损失压头	37
1-10 流体在管路中流动时的损失压头	37
第二章 液体的輸送	53
第一节 概述	53
第二节 泵的主要性能	53
2-1 泵的送液能力	53
2-2 泵的压头	54

IV

2-3 泵的功率和效率	56
2-4 泵的吸入高度	59
第三节 离心泵	61
2-5 离心泵的作用原理、分类和构造	61
2-6 离心泵的特性曲线	65
2-7 离心泵的操作、开调和调节	67
第四节 往复式	69
2-8 往复式的作用原理、分类和构造	69
2-9 往复式的送液能力	73
2-10 往复式的操作、开调和调节	76
2-11 离心泵和往复式的比较	76
第五节 其它类型泵	77
2-12 轴流泵	77
2-13 旋转变	78
2-14 涡流泵	79
2-15 酸蛋	79
第三章 气体的压缩和输送	84
第一节 概述	84
3-1 气体的压缩和输送机械的分类	84
第二节 气体压缩的基本原理	85
3-2 理想气体状态方程式	85
3-3 气体的压缩过程	85
第三节 往复压缩机	89
3-4 往复压缩机的分类	89
3-5 往复压缩机的作用原理	89
3-6 往复压缩机的送气能力	91
3-7 单级压缩机	92
3-8 多级压缩机	94
3-9 往复压缩机的操作	95
3-10 往复真空泵	95
第四节 旋转变	97
3-11 旋转变的作用原理、分类和构造	97

第五节 离心送风机	100
3-12 离心送风机	100
3-13 轴流送风机	102
第六节 气体喷射泵	102
3-14 气体喷射泵的作用原理、分类和构造	102
3-15 各类压缩机的比较和选择	104
第四章 非均一系的分离	107
第一节 概述	107
(甲) 液相非均一系的分离	108
第二节 重力沉降	108
4-1 沉降速度	108
4-2 沉降器的构造	109
4-3 沉降器的生产能力	111
第三节 过滤	112
4-4 过滤操作的基本原理	112
4-5 过滤机的构造和操作	114
第四节 离心分离	120
4-6 离心机的分类和构造	120
(乙) 气相非均一系的分离	124
第五节 气体的净制设备	124
4-7 降尘气道和降尘室	124
4-8 旋风分离器	125
4-9 袋滤器	127
4-10 文丘里除尘器	128
4-11 泡沫除尘器	129
第五章 传热学基本原理	131
第一节 概述	131
第二节 热量衡算	133
5-1 热量衡算方程式	133
第三节 传热方程式	137
5-2 传热方程式	137

VI

第四节 传热温度差	139
5-3 恒温 and 变温传热时温度差的计算	139
5-4 变温传热时流体流向的选择	143
第五节 导热	146
5-5 导热方程式和导热系数	146
第六节 给热	152
5-6 给热方程式和给热系数	152
第七节 传热系数	160
5-7 传热系数的计算	160
5-8 污垢热阻	170
第八节 管路和设备的热损失与热绝缘	172
5-9 损失于周围介质的热量	172
5-10 管路和设备的热绝缘	173
第六章 加热、冷却和冷凝	179
第一节 热源和加热方法	179
6-1 烟道气加热	179
6-2 水蒸汽加热	180
6-3 其它加热方法	183
第二节 冷却和冷凝方法	184
6-4 冷却和冷凝方法	184
第三节 换热器的构造和计算	185
6-5 换热器的分类	185
6-6 蛇管换热器	186
6-7 套管换热器	191
6-8 列管换热器	192
6-9 其它类型的换热器	204
第四节 各类换热器的比较和选择	207
6-10 各类换热器的比较和选择	207
第七章 蒸发	211
第一节 概述	211
第二节 蒸发设备	212
7-1 蒸发器的基本结构	212

7-2 蒸发器的构造	213
7-3 各类蒸发器的比较和选择	218
第三节 单效蒸发的流程和计算	219
7-4 单效蒸发的流程	219
7-5 蒸发装置中真空的造成	221
7-6 单效蒸发的计算	222
7-7 蒸发器的生产强度	232
第四节 多效蒸发	233
7-8 多效蒸发的基本原理	233
7-9 多效蒸发的流程	234
7-10 多效蒸发效数的限度	236
附录	240
附表1. 物理单位制和工程单位制之间的换算	240
附表2. 英制单位和公制单位之间的换算	241
附表3. 固体物料的重度和单位体积的重量	242
附表4. 某些液体在 $0 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 时的比重	243
附表5. 某些气体的主要物理性质	244
附表6. 水在不同温度时的粘度	246
附表7. 某些水溶液的粘度	247
附表8. 承插式铸铁管规格	248
附表9. 水煤气管的规格	248
附表10. 无缝钢管	249
附表11. 某些固体在 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时的平均比热	250
附表12. 某些液体的平均比热	251
附表13. 某些气体在常压下的分子比热	251
附表14. 某些物质的导热系数	252
附表15. 各种液体的导热系数	253
附表16. 某些水溶液的导热系数	254
附表17. 某些气体在常压下的导热系数	254
附表18. 饱和水蒸汽的温度和压力的关系	255
附表19. 饱和水蒸汽的物理性质	256

VI

附表20. 飽和水蒸汽的性质 (以压強計)	258
附表21. 飽和水蒸汽的性质 (以温度計)	260
附表22. 在 $p = 1 \frac{\text{公斤}}{\text{厘米}^2}$ 时干空气的物理性质	262
附表23. 水的物理性质	264
附表24. 某些液体的汽化热	266
附表25. 某些水溶液在常压下的沸点	267
附图1. 液体的粘度	268
附图2. 气体的粘度	269
附图3. 某些液体的比热	270
附图4. 常压下水溶液的沸点升高 与濃度 (重量%) 的关系	272

緒 論

1. 化工过程及设备课程的研究对象和任务

在化学工业的生产中，常常采用空气、煤、海水等天然资源或玉米、甘薯等农作物作为原料，进行加工处理，制成产品。这些从原料到成品的生产程序，称为化学工业的制造过程，例如无机肥料工业、有机合成工业、塑料工业和硅酸盐工业等。这些化学工业产品的生产方法、原理、流程和設備等问题都在各类的工艺学中研究，例如，无机物工艺学、有机合成工艺学、塑料工艺学和硅酸盐工艺学等。

尽管化学工业的門类繁多，产品和制造方法是多样的，但是在制造过程中都要用到一些类型相同、具有共同特点的基本过程和設備，例如，流体的輸送、过滤、加热、冷却、蒸发、精餾和干燥等。这些基本过程和設備都是大多数化学工业制造过程中所共有的。例如，在烧碱的生产中，碱液的濃縮是采用蒸发来完成的，同样在食盐精制和制糖等生产中，也采用蒸发来濃縮溶液。可見蒸发是一个化工基本过程。又如，在氮肥工业中，所得的晶体肥料需要干燥，而在純碱生产中，純碱也需要干燥。所以干燥也是一个化工基本过程。这些具有共同的物理变化特点的化工基本过程，也称为单元操作。

化工基本过程与化工制造过程是不同的，任何化工制造过程，都是按照不同的生产要求，由若干个化工基本过程組合而成。

本課程研究各种化工制造过程中常見的化工基本过程及其典型設備的操作原理、构造和計算以及今后的发展方向。与工艺学不同，本課程主要是研究化工制造过程中物理变化过程的共同原

理，所以本課程也可以称为化工原理。

对于从事化学 工程技术的人員来说，这是一門很重要的課程，因为各种化学工业的生产中都离不开化工基本过程、典型设备的构造操作等問題。学习本門課程，有助于了解这些典型设备的构造和操作，并且可以帮助解决化工生产中的具体問題。

由于生产和生活的需要，我国在很早以前，就已采用过滤、蒸发、蒸馏和干燥等单元操作。十九世紀初，各国的制糖、制盐和酿酒工业有了很大的发展，相应的出现了真空蒸发的装置、精馏塔和压滤机等一系列的設備。十九世紀末和二十世紀初期，机械工业中出现了电机和蒸汽透平机等高速发动机，因此在化学工业中就相应的出现了高速轉动的离心机、离心泵和涡轮压缩机等。近几十年来由于工业生产实践不断的发展和改进，又出现了許多高效能的新型設備，如固体物料的流态化、液体的泡沫乳化和设备等，使得传热和传质的速率有了很大的提高。随着生产实践和科学技术的不断发展，本課程的内容也日益丰富起来。

解放前，我国的化学工业曾长期处于落后状态。解放后，我国人民在中国共产党和毛主席的英明领导下，化学工业同其它工业一样，也取得了迅速的发展。特别是1958年以来，在党的总路线、大跃进和人民公社三面紅旗的光輝照耀下，在全国各地新建了許多大、中、小型的化工厂，并扩建了一些老厂。近几年来，化工战线的职工通过技术革命和技术革新运动，涌现了許多新的发明創造，增加了許多化工产品的品种，大大地提高了生产效率和产品的质量，并且逐步地采用了不少新的技术和高效能的設備，使我国化学工业获得了更进一步的发展，为国民經济各部門，提供了更多更好的化工产品。

但是，目前我国化学工业的現有基础，还不能充分滿足社会主义建設高速度发展的需要。这就需要我們繼續努力，不断总结經驗，有所发现，有所发明，有所創造，以便把祖国的化学工业提高到一个新的水平，更好地为社会主义革命和社会主义建設服务。

2. 化工过程的分类

根据化工过程所遵循的基本规律，可分成下列几类：

(1) 流体力学过程 包括遵循流体力学基本规律的过程，如流体的流动和输送、气液相非均一系的分离、物料的搅拌等。

(2) 传热过程 包括遵循热交换基本规律的过程，如传热、蒸发、结晶等。

(3) 传质(扩散)过程 包括遵循扩散基本规律的过程，如吸收、吸附、蒸馏、干燥、萃取等。

(4) 热力学过程 包括遵循热力学基本规律的过程，如冷冻、深度冷冻等。

(5) 机械过程 包括遵循固体力学基本规律的过程，如固体的粉碎、筛析、加料等。

(6) 化学反应过程 包括遵循化学变化基本规律的过程，如氧化、还原、氢化、磺化、硝化、水解等。

除化学反应过程在专业的工艺学中讨论外，其余各类过程将在本课程内概括地加以叙述。根据培养目标、本课程的设课目的和要求，以及教学大纲的规定，上述各类过程中应用较少或理论偏深的一部分单元操作，也不在本教科书中讨论。

应该指出，以上分类方法只是相对的。在最简单的情况下，过程用一个基本定律就能表明，例如，流体力学过程可以用流体运动规律来表明。但是某些过程也可以同时包括有流体动力学现象、热交换现象和传质现象，而某些设备也会随着它在生产中使用目的或条件的不同，起着不同的作用。因此，对同一典型设备，有必要从各个角度，进行全面的分析，应该把一系列共同影响和经常互相矛盾的因素，密切地联系起来研究。

3. 物料衡算和能量衡算

化工过程的内容各不相同，但是在研究基本原理和计算方法

时，都要用到一些基本物理概念，例如，以质量和能量守恒定律为基础的物料衡算和能量衡算。

(1) 物料衡算 物料衡算是质量守恒定律的一种表现形式。根据这一定律，输入某一设备以进行操作的物料重量，必定等于操作后所得产品的重量。但是在实际制造过程中，物料不可避免地有损失，也就是输出的重量较输入的重量为少，两者的差额就是物料损失的重重量。如果物料衡算用数学式表示，则

$$G_1 = G_2 + G_{\text{损}} \quad (1)$$

式中 G_1 是输入的物料重量； G_2 是输出的物料重量； $G_{\text{损}}$ 是损失的物料重量。

这种物料衡算式适用于整个过程，也适用于过程的任一步骤。计算时，既可以作总的物料衡算，也可以对混合物中某一个组份作部分的物料衡算。为了方便，一般对于连续操作取单位时间的处理量进行物料衡算，对于间歇操作则取一次操作的处理量进行物料衡算。

物料衡算可以帮助我们正确地选择生产过程的流程和设备的大小，了解物料的利用率，以及生产过程的完善程度。

(2) 能量衡算 能量衡算是能量守恒定律的一种表现形式。根据这一定律，输入的能量必定等于输出的能量（包括损失的能量）。进行能量衡算时，必须把各种有关的能量（如热能、电能、机械能、辐射能、化学能等）都考虑在内。但是在化工生产中最常遇到的是热能，所以在本课程中，常用下列热量衡算式：

$$Q_1 = Q_2 + Q_{\text{损}} \quad (2)$$

式中 Q_1 是输入的热量； Q_2 是输出的热量； $Q_{\text{损}}$ 是损失的热量。

同物料衡算一样，热量衡算可适用于整套装置或设备的某一部分。通过热量衡算，可以了解热量的利用和损失情况，并确定是否需要加入或向外界散发热量。

4. 物理量的单位制

在本课程的计算中，常常用到各种物理量，如密度、粘度、

导热系数、速度、压强、温度等。所有这些物理量可以用各种单位来量度。因此，应该熟悉单位制度以及单位的换算关系。

目前存在着好几种单位制度。应用最普遍的是物理单位制和工程单位制。

(1) 物理单位制 也称为厘米-克-秒制 (CGS制)，或绝对单位制，是科学研究中最常用的一种单位制度。在这种单位制度中，基本量是长度、质量、时间，其单位是厘米、克、秒。

(2) 工程单位制 也称为米-公斤-秒制 (MKGS制)，是工程计算中常用的一种单位制度。在这种单位制度中，基本量是长度、重量或力、时间，其单位是米、公斤、秒。

本课程主要是采用工程单位制，工程单位制同物理单位制的区别在于用重量代替质量作为基本量。为了区别重量和质量起见，当用公斤作为质量的单位时，用公斤 (质) 表示。

在这两种单位制中，温度的单位都是摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 或绝对温度 $^{\circ}\text{K}$ 。在物理单位制中，热量的单位用卡；而在工程单位制中则用千卡。

由基本量导出的物理量称为导出量，而由基本单位导出的单位称为导出单位。表1中列出两种单位制中某些物理量的单位。

表 1 两种公制单位制度中某些物理量的单位表

物 理 量	CGS 制	MKGS 制
长度	厘米	米
质量	克	公斤·秒 ² /米
时间	秒	秒
速度	厘米/秒	米/秒
加速度	厘米/秒 ²	米/秒 ²
重量或力	克·厘米/秒 ² 或达因	公斤
功	克·厘米 ² /秒 ² 或尔格	公斤·米
功率	克·厘米 ² /秒 ³ 或尔格/秒	公斤·米/秒

下面讨论在这两种单位制中，质量和重量单位之间的关系：

(1) 质量 在CGS制中质量是一个基本量，它的单位是

克。在MKGS制中，质量应根据力学基本定律（质量 = $\frac{\text{力}}{\text{加速度}}$ ）导出，它的单位是 $\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}}$ 。

（2）重量或力 在MKGS制中重量是一个基本量，它的单位是公斤。在CGS制中，重量应根据同一个力学基本定律（力 = 质量 × 加速度）导出，它的单位是 $\frac{\text{克} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}^2}$ 或达因。

不同制的量度单位之間存在着一定的比值关系，借助这些比值关系就可以把物理量的单位相互换算。在推演这些关系时，应当記得质量和重量的关系：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 公斤} &= 981,000 \text{ 达因}, \\ 1 \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}} &= 9810 \frac{\text{达因} \cdot \text{秒}^2}{\text{厘米}} = 9810 \text{ 克}. \end{aligned}$$

公制单位制中各种单位之間的换算关系，以及公制和英制之間的换算关系可以查閱附录。

〔例题1〕 将重力加速度 $g = 981 \frac{\text{厘米}}{\text{秒}^2}$ 换算成 $\frac{\text{米}}{\text{秒}^2}$ 。

$$\text{〔解〕 } g = 981 \frac{\text{厘米}}{\text{秒}^2} = 981 \times \frac{1}{100} \frac{\text{米}}{\text{秒}^2} = 9.81 \frac{\text{米}}{\text{秒}^2}.$$

〔例题2〕 将轉数 $n = 1450 \frac{\text{轉}}{\text{分}}$ 换算成 $\frac{\text{轉}}{\text{秒}}$ 。

$$\text{〔解〕 } n = 1450 \frac{\text{轉}}{\text{分}} = 1450 \times \frac{1}{60} \frac{\text{轉}}{\text{秒}} = 24.2 \frac{\text{轉}}{\text{秒}}.$$

〔例题3〕 将速度 $20 \frac{\text{公里}}{\text{小时}}$ 换算成 $\frac{\text{米}}{\text{秒}}$ 。

$$\text{〔解〕 } 20 \frac{\text{公里}}{\text{小时}} = 20 \times \frac{1000 \text{ 米}}{3600 \text{ 秒}} = 5.56 \frac{\text{米}}{\text{秒}}.$$

〔例题4〕 将流量 $150 \frac{\text{升}}{\text{分}}$ 换算成 $\frac{\text{米}^3}{\text{小时}}$ 和 $\frac{\text{米}^3}{\text{秒}}$ 。

$$[\text{解}] \quad 150 \frac{\text{升}}{\text{分}} = 150 \times \frac{\frac{1}{1000} \text{米}^3}{\frac{1}{60} \text{小时}} = 9 \frac{\text{米}^3}{\text{小时}} = 9 \times \frac{\text{米}^3}{3600 \text{秒}} =$$

$$0.0025 \frac{\text{米}^3}{\text{秒}}。$$

【例题5】在气体状态方程式 $pV=nRT$ 中, $R=82.07$ $\frac{\text{大气压} \cdot \text{厘米}^3}{\text{克分子} \cdot ^\circ\text{K}}$ 。若压强 p 用 $\frac{\text{公斤}}{\text{米}^2}$ 、体积 V 用 米^3 、分子数 n 用公斤分子、温度 T 用 $^\circ\text{K}$ 表示, 求 R 的数值和单位。

$$[\text{解}] \quad R = 82.07 \frac{\text{大气压} \cdot \text{厘米}^3}{\text{克分子} \cdot ^\circ\text{K}} = 82.07 \times \frac{10330 \frac{\text{公斤}}{\text{米}^2} \times \left(\frac{1}{100}\right)^3 \text{米}^3}{\frac{1}{1000} \text{公斤分子} \times 1^\circ\text{K}}$$

$$= 848 \frac{\frac{\text{公斤}}{\text{米}^2} \cdot \text{米}^3}{\text{公斤分子} \cdot ^\circ\text{K}} = 848 \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤分子} \cdot ^\circ\text{K}}。$$

复 习 题

1. 试举例说明本课程和工艺学的研究对象有何不同?
2. 什么叫做单元操作?
3. 说明物料衡算和能量衡算的意义和应用。
4. 物理单位制和工程单位制中各以那几个单位作为基本单位? 两种单位制的关系怎样?

练 习 题

$$1. \quad 2 \frac{\text{轉}}{\text{分}} = \frac{\text{轉}}{\text{小时}}。$$

$$2. \quad 1.5 \frac{\text{公斤}}{\text{厘米}^2} = \frac{\text{公斤}}{\text{米}^2}。$$

$$3. \quad 150 \frac{\text{厘米}}{\text{秒}} = \frac{\text{米}}{\text{秒}} = \frac{\text{米}}{\text{分}}。$$

$$4. \quad 4 \frac{\text{升}}{\text{秒}} = \frac{\text{升}}{\text{分}} = \frac{\text{米}^3}{\text{秒}} = \frac{\text{米}^3}{\text{小时}}。$$

第一章 流体力学基本原理

第一节 概 述

流体是指具有流动性的物体，包括液体和气体。流体力学就是研究流体平衡和运动的宏观规律的科学。

流体力学分成流体静力学和流体动力学。它们不仅是流体力学过程的基础，而且与传热过程和扩散过程有关。所以，我们首先研究流体力学的基本原理。

流体的输送是化学工厂中经常遇到的单元操作。为了将流体原料或成品沿管路从某一工序输送到另一工序，或者从某个设备输送到其它设备，必须确定流体输送设备和管路的类型、大小和所需的能量。此外，在化学工厂中也经常遇到沉降、过滤、离心分离，以及物料搅拌等单元操作。所有这些单元操作的特征都可以用流体的运动规律来说明，而流体的运动规律又遵循流体力学诸定律。因此，上述化工基本过程称为流体力学过程。

第二节 流体的主要物理性质

流体的特征是分子之间的内聚力极小，几乎有无限的流动性，而且可以几乎毫无阻力地将其形状改变。当流速低于声速时，气体和液体的流动具有相同的规律。

一般地说来，液体的形状与容器相同，具有一定的自由表面，其体积几乎不随压强和温度而改变。与之相反，气体的形状与容器完全相同，完全充满整个容器，其体积随压强和温度的不同而有较大的改变。

实际上，液体的体积也随温度的变化而稍有改变，在流动时分子之间也有摩擦力。在流体力学中，为了研究许多有关液体静止或运动状态的理论问题，引入了实际不存在的理想液体的概念。