

## 教师简介

范贵生：副教授，1982年毕业于原内蒙古农牧学院农牧业机农牧业机械设计与制造专业。自1982年元月在本校任教，1982年至1989年，在本校力学教研室从事《材料力学》、《理论力学》和《工程力学》教学；1989年至现在在本校食品科学与工程学院从事《食品工程原理》、《食品工厂设计》和《食品包装学》等课程的教学与科研。



# 《食品工程原理》课程

(教案)

## PRINCIPLES OF FOOD ENGINEERING

( INSTRUCTION )

授课教师：范贵生

INSTRUCTOR : FAN-GUISHENG

# 绪 论

## 一、化工过程与单元操作

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。

化学工业产品种类繁多。各种产品的生产过程中，使用着各种各样的物理加工过程。根据它们的操作原理，可以归纳为应用较广的数个基本操作过程，如流体输送、搅拌、沉降、过滤、热交换、蒸发、结晶、吸收、蒸馏、萃取、吸附以及干燥等。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、硝酸及硫酸等生产过程中，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。

这些基本操作过程称为单元操作（unit operation）。任何一种化工产品的生产过程，都是由若干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。单元操作不仅在化工生产中占有重要地位，而且在石油、轻工、制药及原子能等工业中也广泛应用。

## 二、《化工原理》课程的内容、性质及任务

为学习化工单元操作而编写的教材，在我国习惯上称之为《化工原理》(Principles of Chemical Engineering)。单元操作按其理论基础可分为下列三类：

(1) 流体流动过程 (fluid flow process) 包括流体输送、搅拌、沉降、过滤等。

(2) 传热过程 (heat transfer process) 包括热交换、蒸发等。

(3) 传质过程 (mass transfer process) 包括吸收、蒸馏、萃取、吸附、干燥等。

流体流动时，其内部发生动量传递 (momentum transfer)，故流体流动过程也称为动量传递过程。流体流动的基本原理，不仅是流体输送、搅拌、沉降及过滤的理论基础，也是传热与传质过程中各单元操作的理论基础，因为这些单元操作中的流体都处于流动状态。传热的基本原理，不仅是热交换和蒸发的理论基础，也是传质过程中某些单元操作 (例如干燥) 的理论基础。因为干燥操作中，不仅有质量传递而且有热量传递。因此，流体力学、传热及传质的基本原理是各单元操作的理论基础。

《化工原理》是化工各专业学生必修的一门基础技术课程，其主要任务是介绍流体流动、传热、传质的基本原理及主要单元操作的典型设备构造、操作原理、

计算、选型及实验研究方法；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。

### 三、单位与单位换算

#### 1. 单位制

由于科学技术的迅速发展和国际学术交流的日益频繁，以及理科与工科的关系进一步密切，国际计量会议制定了一种国际上统一的国际单位制，其国际代号为SI（法文Syst`eme International d Unites的缩写）。国际单位制中的单位是由基本单位、辅助单位和具有专门名称的导出单位构成的，分别列于表1、表2及表3中；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4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
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s

电 流	安 培	A
热力学温度	开尔文	K
物质的量	摩 尔	mol
发光强度	坎德拉	cd

表 2 国际单位制的辅助单位

量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号
平面角	弧度	rad
立体角	球面角	sr

表 3 国际单位制中具有专门名称的导出单位（只列出本书常用的单位）

量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	其它表示式 示例
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	瓦特	W	J/s
摄氏温度	摄氏度		*

表 4 用于构成十进倍数和分数单位的词头（只列出本书常用的词头）

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	$10^{-4}$	微	$\mu$

我国已开始实行法定计量单位。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，列于表 5 中。本书采用法定计量单位，但因目前常用的物理、化学数据和工程用数、表、列线图仍有许多是用物理制（CGS 制）单位和工程单位，尚未换算过来，故本书兼用这些单位制中的个别单位（如例题、习题中），望注意这些单位，并要掌握单位的换算方法。CGS 与工程单位制中的基本单位如表 6 所示。工程单位制中以“力”为基本量，用符号 kgf 表示。

表 5 国家选定的非国际单位制单位（只列出本书常用的单位）

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	1min=60s
	小时	h	1h=60min=3600s
	天（日）	d	1d=24h=86400s

平面角	秒	( $''$ )	$1'' = (1/648000) \text{ rad}$
	分	( $'$ )	$1' = 60'' (1/108000) \text{ rad}$
	度	( $^\circ$ )	$1^\circ = 60' (1/180) \text{ rad}$
旋转角度	转每分	r/min	$1 \text{ r/min} = (1/60) \text{ s}^{-1}$
质量	吨	t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$
	原子质量单位	u	$1 \text{ u} = 1.6605655 \times 10^{-27} \text{ kg}$
体积	升	L, (l)	$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$

表 6 CGS 制与工程制的基本单位

	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		m	kgf	s	

## 2. 因次

法定计量单位中，基本量的长度、质量、时间、温度可分别用符号 L、M、T、 $\theta$  表示，则导出量可由这些基本量的符号组合而成。例如，速度可用  $[LT^{-1}]$ 、加速度用  $[LT^{-2}]$ 、力用  $[MLT^{-2}]$  表示。若某物理量以  $[M^a L^b T^c \theta^d]$  表示，则称它为该物理量的因次或量纲 (dimension) (严格地说，指数 a、b、c 称为因次， $[M^a L^b T^c \theta^d]$  称为该物理量的因次式或量纲式)。它表示该物理量的单位与基本量

的单位之间的关系。当  $a=b=c=0$  时，时  $[M^0L^0T^0] = [1]$ ，称为无因次 (dimensionless)。例如，液体的相对密度为该液体的密度与 4 时纯水的密度之比值，其因次为  $[ML^{-3}/ML^{-3}] = [M^0L^0] = [1]$ ，为无因次。

### 3.单位换算

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。法定计量单位刚实行不久，由过去的 CGS 和工程单位制过渡到全部使用法定单位，还需要一段时间。因此，必须掌握这些单位间的换算关系。单位换算时，需要换算因数。化工中常用单位的换算因数，可从本教材附录中查得。要特别注意工程单位制中的“力”的单位 kgf 与国际单位制中“力”的单位 N 之间的换算关系，在这里对这两个单位的换算关系作简要说明。

若物体受地心引力作用产生  $a = 9.80665\text{m/s}^2$  的重力加速度（国际标准重力加速度，即在北纬 45 海面上的重力加速度），则作用于质量为  $m = 1\text{kg}$  的物体上的重力为

$$F = ma = 1 \times 9.80665 = 9.80665\text{N}$$

物体在重力场所受的重力，就是该物体的重量。因此，工程单位制中是把 SI 中的 9.80665N 重量，作为其 1kgf 重量，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 中的质量数值相等。

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

解 从单位换算表查得  $1\text{L} = 10^{-3}\text{m}^3$  ,  $1\text{atm} = 1.013 \times 10^5\text{Pa}$

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

从单位换算表查得  $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2 = 1\text{N} \cdot \text{m}/\text{m}^3 = 1\text{J}/\text{m}^3$

因此, 得  $R = 8.313\text{J}/\text{mol} \cdot \text{K}$

#### 四、单元操作中常用的基本概念

在研究化工单元操作时, 经常用到下列五个基本概念, 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等。这五个基本概念贯串于本课程的始终, 在这里仅作简要说明, 详细内容见各章。

##### 1. 物料衡算

依据质量守恒定律, 进入与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

输入量 - 输出量 = 累积量

对于连续操作的过程, 若各物理量不随时间改变, 即牌稳定操作状态时, 过程中不应有物料的积累。则物料衡算 (material balance) 关系为输入量 = 输出量

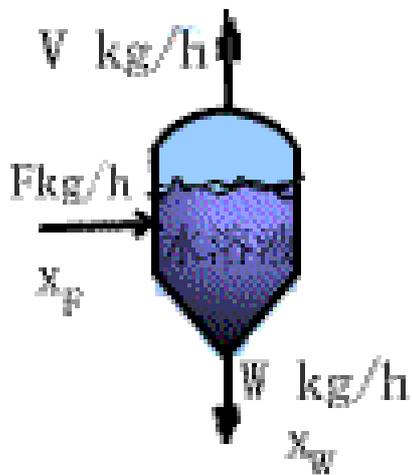
用物料衡算式可由过程的已知量求出未知量。物料衡算可按下列步骤进行:

(1) 首先根据题意画出各物流的流程示意图, 物料的流向用箭头表示, 并标上

已知数据与待求量。(2) 在写衡算式之前, 要计算基准, 一般选用单位进料量或排料量、时间及设备的单位体积等作为计算的基准。在较复杂的流程示意图上应圈出衡算的范围, 列出衡算式, 求解未知量。

例 1 用连续操作的蒸发器把含盐浓度为 (质量分率) 的稀盐水溶液蒸发到浓度为 (质量分率) 的浓盐水溶液, 每小时稀盐水溶液的进料量为  $F\text{kg}$ 。试求每小时所得浓盐水溶液量  $W$  及水分蒸发量  $V$  各为多少。

解: 各股物系的流程图如附图所示, 计算基准取 1, 由于是连续稳定操作, 总物料衡算式为



$$F = V + W$$

溶质衡算式为  $Fx_F = Wx_W$

由此两式解得  $W = (x_F/x_W) F$ ,  $V = (1 - x_F/x_W) F$

## 2. 能量衡算

本教材中所用到的能量主要有机械能和热能。能量衡算 (energy balance) 的依据是能量守恒定律。机械能衡算将在第一章流体流动中说明；热量衡算也将在传热、蒸馏、干燥等章中结合具体单元操作有详细说明。热量衡算的步骤与物料衡算的基本相同。

## 3. 物系的平衡关系

平衡状态是自然界中广泛存在的现象。例如，在一定温度下，不饱和的食盐溶液与固体食盐接触时，食盐向溶液中溶解，直到溶液为食盐所饱和，食盐就停止溶解，此时固体食盐表面已与溶液成动平衡状态。反之，若溶液中食盐浓度大于饱和浓度，则溶液中的食盐会析出，使溶液中的固体食盐结晶长大，最终达到平衡状态。一定温度下食盐的饱和浓度，就是这个物系的平衡浓度。当溶液中食盐的浓度低于饱和浓度，则固体食盐将向溶液中溶解。当溶液中食盐的浓度大于饱和浓度，则溶液中溶解的食盐会析出，最终都会达到平衡状态。从这个例子可以看出，平衡关系 (equilibrium relation) 可以用来判断过程能否进行，以及进行的方向和能达到的限度。

## 4. 传递速率

仍以食盐溶解为例说明。食盐溶液中食盐浓度低时，溶解速率（单位时间内溶解的食盐质量）大；食盐浓度高时，溶解速率小。当溶液达到饱和浓度（即平衡状态）时，不再溶解，即溶解速率为零。由此可知，溶液浓度越是远离平衡浓度，其溶解速率就越大；溶液浓度越是接近平衡浓度，其溶解速率就越小。

溶液浓度与平衡浓度之差值，可以看作是溶解过程的推动力（driving force）。

另外，由实验得知，把一个大食盐块破碎成许多小块，溶液由不搅拌改为搅拌，都能使溶解速率加快。这是因为由大块改为许多小块，能使固体食盐与溶液的接触面积增大；由不搅拌改为搅拌，能使溶液质对流。其结果能减小溶解过程的阻力（resistance）。因此，过程的传递速率（rate of transfer process）与推动力成正比，与阻力成反比，即

$$\text{传递速率} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}}$$

这个关系类似于电学中欧姆定律。过程的传递速率是决定化工设备的重要因素，传递速率大时，设备尺寸可以小。

## 5.经济核算

为生产定量的某种产品所需要的设备，根据设备的型式和材料的不同，可以有若干设计方案。对同一台设备，所选用的操作参数不同，会影响到设备费与操作费。因此，要用经济核算确定最经济的设计方案。