

化工工人技术理论培训教材



吸 收

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

吸收/化学工业部人事教育司, 化学工业部教育培训中心组织编写. —北京: 化学工业出版社, 1996
化工工人技术理论培训教材
ISBN 7-5025-1753-7

I. 吸… II. ①化… ②化… III. 吸收-技术培训-教材
N. TQ021.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 12746 号

化工工人技术理论培训教材

吸 收

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 陈有华

责任校对: 顾淑云

封面设计: 于 兵

*

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)

新华书店北京发行所经销

北京市燕山联营印刷厂印刷

北京市燕山联营印刷厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 1 $\frac{5}{8}$ 字数 41 千字

1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-1753-7/G·441

定 价: 3.50 元

版权所有 盗印必究

凡购买化工版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术的发展 and 现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册：《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应（一）》、《有机化学反应（二）》、《有机化学反应（三）》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册：《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表（一）》、《化工分析仪表（二）》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册：《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册：《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册：《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材，尚是一种尝试，由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意，为此建议：

一、各单位在组织教学过程中，应按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容，以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

本套教材的组织编写，得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司
化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

该书为化工工人技术理论培训教材。该书就吸收和解吸的基本原理及气液传质设备这两部分内容，分别重点阐述了吸收和解吸的基本原理、工艺过程及有关计算，塔设备的基本构造、类型及塔设备基本尺寸的确定方法和选用依据。

该书可供从事化工生产的工人阅读和学习。

目 录

吸收和解析的基本原理 (检 001)	1
第一节 基础知识	2
第二节 相平衡原理	9
第三节 亨利定律	12
第四节 传质机理	18
气液传质设备 (检 002)	25
第一节 塔设备的基本结构及传质机理	26
第二节 填料塔	28
第三节 板式塔	35
第四节 塔设备基本尺寸的确定及选用依据	39

吸收和解析的基本原理

(检 001)

上海市染料工业公司第二技工学校 王辉 编

吸收和解吸是一对相反的化工单元操作过程。吸收是用适当的溶剂处理气体混合物,利用不同的气体组分在溶剂中溶解度的差异使其中的某一组分从气体混合物中分离出来。而解吸是将溶于液相中的物质释放到气相中的操作。吸收和解吸原理相同,其计算方法和所用设备相似,在操作上也有相通之处。

第一节 基础知识

在具体讨论吸收和解吸的基本原理前,我们先来熟悉一下学习本章内容所必需的基础知识。

一、物理量及法定计量单位

1. 物理量

物理量是指量度物质的属性和描述其运动状态时所用的量值。它可用来定量地描述各种物理现象。物理量有时又可简称为量。

在日常生活和生产中,我们用长度来描述物体的大小,用温度来描述物体的冷热程度等。在此长度、温度即为物理量。

任何一个物理量的量值包含有两个要素:数值和单位即由数值和单位的乘积表示量的大小,其表达式为:

$$\text{量值} = \{\text{数值}\} \times [\text{单位}]$$

如由数值 10 和单位 m (米) 相乘所得的积 10m 就是长度的量值之一,又如 $\{5\} \times [s] = 5s$ 表示时间间隔 5s (秒), $\{9\} \times [kg] = 9kg$ 表示质量为 9kg (公斤) 等均为量值。

2. 法定计量单位

由于历史的原因,用以度量物理量的单位有各种不同的单位制。如 $1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$; 1.033kgf/cm^2 ; 1atm ; 760mmHg 所描述的是一个物理现象,但在表达形式上却看不出任何共同之处。为了适应我国国民经济、文化教育事业的发展,以及推进科学技术进步和扩大国际经济、文化交流的需要,我国国务院于 1984 年 2 月 27 日颁布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》。规定在 1990 年底以前全国各行业应全面完成向法定计量单位的过渡;自 1991 年 1 月起,除个别特殊领域外,不允许再使用非法定计量单位。因此,我们在学习具体的科学

知识时，首先应对法定计量单位有明确的认识。

我国的法定计量单位，是以国际单位制（SI）为基础。根据我国的实际情况，补充了15个国内外习惯通用的非国际单位制单位构成的。其主要内容为：

- (1) 国际单位制的基本单位（见表1-1）；
- (2) 国际单位制的辅助单位（见表1-2）；
- (3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位（见表1-3）；
- (4) 国家选定的非国际单位制单位（见表1-4）；
- (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（见表1-5）。

表 1-1 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（公斤）	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

注：热力学温度与我们日常生活中常用的摄氏温度的换算关系为： $TK = tC + 273.15$ 。

表 1-2 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
立面角	球面度	sr

表 1-3 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	其他表达示例
力，重力	牛〔顿〕	N	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
压力，应力	帕〔斯卡〕	Pa	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
能，功，热量	焦耳	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
功率	瓦〔特〕	W	$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$

表 1-4 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	换算关系
时间	分	min	1min=60s
时间	〔小〕时	h	1h=3600s
时间	天, 日	d	1d=86400s
质量	吨	t	1t=10 ³ kg
体积	升	L, (l)	1L=10 ⁻³ m ³

表 1-5 用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表的因数	词头名称	词头符号
10 ⁹	兆	M
10 ³	千	k
10 ²	百	h
10 ¹	十	da
10 ⁻¹	分	d
10 ⁻²	厘	c
10 ⁻³	毫	m
10 ⁻⁶	微	μ
10 ⁻⁹	纳〔诺〕	n

表 1-3、表 1-4、表 1-5 仅摘录本课程中常用部分。

二、气体的分压、分体积

气态是物质的一种聚集状态, 在化工生产中, 原料或成品在许多场合是以气体形式出现的, 在一些化工单元操作中也将涉及物质在气态时的性质。在此, 我们先讨论一下气体的一些性质。

1. 气体状态方程

气体性质中最常用的有密度、粘度、导热系数、扩散系数、热容等。它们的具体数值依赖于温度、压力以及化学组成等, 在应用上常将这种依赖关系制成图表或经验方程。在这些性质中, 密度是最基本的。由于密度=质量/体积, 对于一定的物质, 需要知道体积 (V) 与温度 (T)、压力 (p) 之间的关系。

理想气体状态方程:

$$pV=nRT \quad (1-1)$$

式中 p ——气体的压力, Pa;

V ——气体的体积, m³;

n ——气体物质的量, mol;

T ——气体的温度, K;

R ——摩尔气体常数 (当上述各项取所示单位时, 其值为 $8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$)。

理想气体是一种人为的气体模型, 认为气体分子只是一个几何点, 只有位置而不占体积, 且这种气体分子之间无相互吸引力。虽然这种气体实际上并不存在, 但当实际气体在高温、低压条件下, 其性质与理想气体非常接近, 因此可用理想气体状态方程式来处理高温、低压条件下的实际气体。

式 (1-1) 表明:

(1) 在一定温度下, 一定量气体的体积与其压力成反比。

$$\text{即} \quad V \propto \frac{1}{p} \quad \text{或} \quad pV = \text{常数}$$

(2) 在一定压力下, 一定量气体的体积与温度成正比。

$$\text{即} \quad V \propto T \quad \text{或} \quad \frac{V}{T} = \text{常数}$$

(3) 在一定的温度与压力下, 气体的体积与气体物质的量成正比, 或者说在一定的温度与压力下, 同体积的气体其物质的量相同。

$$\text{即} \quad V \propto n \quad \text{或} \quad \frac{V}{n} = \text{常数}$$

根据式 (1-1) 在已知 3 个变量的条件下, 就可以求算出第 4 个变量。

例 1 求在 0°C (273.15K), 1atm ($1.01325 \times 10^5\text{Pa}$) 下[●], 1mol 气体所占有的体积。

解: 由 $pV = nRT$ 将已知数据代入, 得:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1 \times 8.314 \times 273.15}{1.01325 \times 10^5} = 2.24 \times 10^{-2} \text{m}^3$$

答: 在 0°C , 1atm 下, 1mol 气体占有体积 $2.24 \times 10^{-2} \text{m}^3$ 。

0°C , 1atm , 又称标准状态。 $2.24 \times 10^{-2} \text{m}^3$ 折算成容积单位为 22.4L , 这一体积又称为气体的摩尔体积。

[●] atm 代表标准大气压。

2. 气体的分压

工业上实际遇到的绝大多数是混合气体,在高温、低压条件下,真实混合气体也可近似地看作理想气体。

各种气体混合后,气体混合物的总压等于各组分气体分压之和。这一表述即为道尔顿 (Dalton) 分压定律。所谓气体的分压是指在同一温度下,各组分气体单独占据混合气体的体积时所具有的压力。

设 p 为混合气体的总压, p_1 、 p_2 、 p_3 …… p_n 分别为气体组分 1, 2, 3…… n 的分压。则

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_n \quad (1-2)$$

上式即为道尔顿分压定律的数学表达式。

因为混合气体的物质的量 n 与各组分气体的物质的量 n_i 之间有如下关系:

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_n \quad (1-3)$$

设在温度为 T 、体积为 V 的容器中充有混合气体,对 i 组分而言,则

$$p_i V = n_i RT \quad (1-4)$$

对混合气体则:

$$pV = nRT \quad (1-5)$$

比较两式得

$$\frac{p_i}{p} = \frac{n_i}{n} \quad (1-6)$$

式中 n_i/n 为任一组分气体物质的量与混合气体物质的量之比,称为摩尔分率(按一般约定,气体的摩尔分率用 y 表示,液体等用 x 表示),则式 (1-6) 可变为:

$$\frac{p_i}{p} = y_i \quad \text{或} \quad p_i = y_i p \quad (1-7)$$

上式表明气体组分 i 的分压与混合气体总压之比等于气体组分 i 的摩尔分率。

不言而喻,所有组分的摩尔分率之和为 1。即

$$y_1 + y_2 + y_3 + \cdots + y_n = 1 \quad (1-8)$$

对高温、低压下的气体混合物，其气体混合物的总体积是各组分气体分体积之和。即阿玛格（Amagat）分体积定律。所谓分体积是指在混合物的温度、压力下，各组分气体单独存在时所占有的体积。

设混合气体的总体积为 V_t ，各组分气体的分体积为 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ ，则

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (1-9)$$

上式即为阿玛格分体积定律的数学表达式。

$$\text{因为对 } i \text{ 组分有} \quad V_i = \frac{n_i RT}{p} \quad (1-10)$$

$$\text{又} \quad V_i = \frac{n_i RT}{p} \quad (1-11)$$

比较式 (1-10) 与式 (1-11) 得

$$\frac{V_i}{V_t} = \frac{n_i}{n_t} = y_i, \quad V_i = y_i V_t \quad (1-12)$$

上式表明气体组分 i 的分体积与混合气体的总体积之比也等于气体组分 i 的摩尔分率。

在实际应用时，常将分体积与总体积之比称为体积分率，所以对低压气体而言，体积分率即为摩尔分率。

三、物质的量浓度

1. 物质的量浓度

物质的量浓度^①，简称浓度，用 c 表示。其定义是：溶质的物质的量与溶液的体积之比。即：

$$c = \frac{n}{V} \quad (1-13)$$

如表示一种具体物质的浓度，例如 H_2SO_4 的浓度可写作 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。在处理一些理论问题时，也可以用方括号表示，如 $[\text{H}_2\text{SO}_4]$ 。

例 2 将 12.00g 食盐溶于水，制成 250ml 溶液，求其浓度为多少？

解： $\because \quad n = \frac{W}{M_{\text{NaCl}}} = \frac{12.00}{58.50}$

① 物质的量浓度在稍早一些的教材和文献中称作摩尔浓度，用 M 表示。

$$\therefore c(\text{NaCl}) = \frac{n}{V} = \frac{12.00/58.50}{0.25} = 0.82 \text{ mol/dm}^3$$

答：制成的食盐水溶液的浓度为 0.82 mol/dm^3 。

2. 摩尔分率

在混合物系中，某组分的物质的量 n_i 与混合物系的物质的量 n_t 之比 $\left(\frac{n_i}{n_t}\right)$ 称为组分 i 的摩尔分率。记作 $x_i = \frac{n_i}{n_t}$ 。

3. 比摩尔分率

在吸收计算中常可以认为惰性气体组分不进入液相，吸收剂也没有明显的气化现象，因而在塔的任意横截面上，气相中惰性组分 B 的摩尔流量和液相中吸收剂 S 的摩尔流量始终不变。若以 B 和 S 的量作为基准分别表示溶质 A 在气液两相中的浓度，对吸收的计算会带来一些方便。为此，常采用比摩尔分率 Y 和 X 分别表示气液两相的组成，其定义为：

$$X = \frac{\text{液相中溶质的物质的量 (mol)}}{\text{液相中吸收剂的物质的量 (mol)}}$$

$$Y = \frac{\text{气相中溶质的物质的量 (mol)}}{\text{气相中惰性气体的物质的量 (mol)}}$$

对于液相，由 x 的定义〔溶质 A 在液相中的浓度（摩尔分率）〕得

$$x = \frac{n_A}{n_S + n_A} = \frac{\frac{n_A}{n_S}}{\frac{n_S}{n_S} + \frac{n_A}{n_S}} = \frac{X}{1 + X} \quad (1-14)$$

式中 n_A ——液相中溶质 A 的物质的量；

n_S ——吸收剂 S 的物质的量。

或

$$X = \frac{x}{1 - x} \quad (1-15)$$

同理：对于气相，由 y 的定义〔溶质 A 在气相中的浓度（摩尔分率）〕得

$$y = \frac{n_A}{n_B + n_A} = \frac{\frac{n_A}{n_B}}{\frac{n_B}{n_B} + \frac{n_A}{n_B}} = \frac{Y}{1 + Y} \quad (1-16)$$

式中 n_A —— 气相中溶质 A 的物质的量;
 n_B —— 气相中惰性气体 B 的物质的量。

或
$$Y = \frac{y}{1-y} \quad (1-17)$$

第二节 相平衡原理

一、相律

相律讨论的是在平衡的体系内相数、独立组分数与自由度（温度、压力等）等变量间的关系。在具体讨论相律前，我们先介绍几个基本概念。

相——在体系中具有相同物理性质和化学性质的均匀部分。体系内相的数目用符号 Φ 表示。

相与相之间有明显的界面，越过此界面，性质的改变是突跃式的。对气体组成的体系，由于任何气体均能无限混合，所以体系内不论有多少种气体，只能有一个气相。对于液体体系，由于不同液体的互溶程度不同，可以是一相（如水与乙醇互溶成一相）、两相（如水和苯不互溶，成为两相）。对于固体体系，如果固体之间不形成固溶体（固体溶液），则不论固体分散得多细，有一种物质就算一相。例如食盐与白糖，尽管表面上色泽和细度都很均匀，但仍应是两个相。在使用相这个词时，并不考虑所含物质的数量，也不计较该相是否连续存在。

独立组分数——体系的组分数是指能够表示出各相组成的最少物种数，用符号 K 表示。例如，水和水蒸汽的两相平衡体系中只含一种化学物质，即 H_2O 。故其独立组分数 $K=1$ 。在食盐水中含两种化学物质，即 H_2O 和 $NaCl$ ，故独立组分数 $K=2$ 。在这里，需将体系的独立组分数与体系的物种数区别开来。体系的物种数是指体系中所含物质的种类，如在 CO 、 H_2 和 CH_3OH 三种物质所构成的化学平衡体系中，其物种数为 3，但由于上述三种物质是处于 $CO + 2H_2 \rightleftharpoons CH_3OH$ 这一化学平衡体系中，受化学平衡常数的约束，只要知道其中两种物质的量就可以确定第三种物质的量，故这个平衡体系的独立组分数是 2，所以在有化学变化的体系中，独立组分数为：

独立组分数 = 物种数 - 独立化学平衡数

如果体系中 CO 和 H₂ 的浓度之间有一定的比例关系, 例如是 1:2, 那么体系的独立组分数又可减少 1, 即只需指定其中一个量, 其他各物质的量便已确定了。此时, 独立组分数又可用下式确定:

独立组分数 = 物种数 - 独立化学平衡数 - 独立浓度关系数

即体系的独立组分数等于物种数减去各物种之间存在的独立的化学平衡数和浓度限制条件的数目。

自由度——在不改变体系中原有平衡相数的条件下, 确定体系的平衡状态所需的独立变量数(如温度、压力等)。称为该体系的自由度, 用符号 f 表示。

假定外界条件只有温度和压力可以改变体系的平衡状态(通常情况确是如此)时, 体系的自由度、组分数, 相数三者间的关系可以用下式表示:

$$f = K - \Phi + 2 \quad (2-1)$$

上式即为相律的数学表达式。相律是各种相平衡系统都必须遵循的普遍规律。

二、气液平衡、单组分相图

对于单组分体系, 由于独立组分数为 1, 所以根据相律有:

$$f = K - \Phi + 2 = 1 - \Phi + 2 = 3 - \Phi$$

如果体系中只有一相 ($\Phi=1$), 则有两个自由度 ($f=2$), 即温度和压力都可以独立改变。以液态水为例, 体系中温度和压力可以独立改变, 而体系的相数不变(仍然为水一相)。〔注意: 这里温度与压力的独立改变以不出现新的相为界, 若 $\Phi \neq 1$, 则 $f \neq 2$ 〕。

如果体系中有两相 ($\Phi=2$), 则自由度只有一个 ($f=1$)。即温度和压力只有一个可以独立变动。例如, 水和水蒸汽的平衡体系中, 温度一定, 水的饱和蒸气压也就具有确定的数值。

如果体系中有三相 ($\Phi=3$)。则自由度为零 ($f=0$), 即温度和压力都不能改变。例如水的三相平衡体系〔冰 $\rightleftharpoons$ 水 $\rightleftharpoons$ 汽〕的温度为 273.16K, 压力为 610.48Pa (4.579mmHg), 此时若温度或压力稍有变动, 就会破坏该体系的平衡。