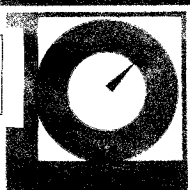


化工工人中级技术理论培训试用教材

化 工 基 础 (下)

魏安邦 主编



吉林科学技术出版社

化工工人中级技术理论培训试用教材

化 工 基 础

(下)

魏安邦 主编

●
吉林科学技术出版社出版 长春科技书刊发行中心发行
长春市第八印刷厂印刷

●
787×1092毫米32开本 8.25印张 179,000字

1986年12月第1版 1986年12月第1次印刷

印数: 1—10,000册

统一书号: 15376·40 定价: 1.50元

目 录

(下册)

第六章 蒸馏	(1)
第一节 溶液的气-液相平衡	(2)
1—1 气体和液体的性质	(2)
1—2 溶液的性质	(6)
1—3 溶液组成的表示方法	(8)
1—4 溶液的气-液相平衡关系	(13)
第二节 精馏原理	(26)
2—1 简单蒸馏原理和流程	(26)
2—2 两组分溶液精馏的原理及过程	(28)
2—3 典型的精馏流程及主要设备	(37)
第三节 精馏塔的物料衡算	(39)
3—1 全塔物料衡算	(41)
3—2 精馏段的物料衡算——精馏段操作线方程式	(43)
3—3 提馏段的物料衡算——提馏段操作线方程式	(45)
3—4 进料状态对操作的影响	(47)
3—5 操作线在 $y-x$ 图上的作法	(53)
第四节 精馏过程的计算	(55)
4—1 理论塔板的概念及板效率	(55)
4—2 逐板计算法求理论塔板数	(58)
4—3 图解法求理论塔板数	(60)
4—4 适宜的进料位置	(63)
第五节 精馏过程的操作分析	(70)
5—1 回流比对精馏操作的影响及选择	(70)

5—2 精馏塔的热量衡算	(77)
5—3 操作压强的影响	(84)
5—4 操作温度的影响	(85)
第六节 特殊蒸馏	(85)
6—1 恒沸蒸馏	(86)
6—2 萃取蒸馏	(88)
6—3 水蒸气蒸馏	(91)
复习思考题	(92)
练习题	(93)
第七章 萃取	(97)
第一节 液-液萃取过程	(97)
1—1 液-液萃取基本原理	(97)
1—2 液-液萃取操作流程	(99)
1—3 萃取操作的特点	(101)
1—4 萃取剂的选择	(102)
第二节 液-液萃取设备	(104)
2—1 混合-沉降槽	(105)
2—2 筛板萃取塔	(106)
2—3 填料萃取塔	(107)
2—4 离心萃取机	(109)
2—5 萃取设备的选用	(110)
复习思考题	(113)
第八章 吸收	(114)
第一节 概述	(114)
第二节 吸收推动力	(121)
2—1 相组成的表示法	(121)
2—2 气体在液体中的溶解度	(124)
2—3 气、液相平衡关系	(125)
2—4 吸收推动力	(131)

2-5 平均吸收推动力	(133)
第三节 吸收系数	(136)
3-1 吸收机理——双膜理论	(137)
3-2 吸收总系数	(140)
第四节 吸收速率	(143)
4-1 由生产任务确定的吸收速率	(143)
4-2 吸收操作线方程	(147)
4-3 吸收剂用量的确定	(147)
4-4 吸收剂的选择	(151)
第五节 所需吸收面积及填料层高度的计算	(151)
5-1 所需吸收面积及填料体积	(151)
5-2 填料塔内径及填料层高度的计算	(154)
第六节 吸收流程及吸收操作的影响因素	(159)
6-1 吸收流程	(159)
6-2 影响吸收操作的因素	(161)
第七节 解吸	(165)
7-1 解吸概念	(165)
7-2 解吸计算	(166)
复习思考题	(167)
练习题	(168)
第九章 固体干燥	(173)
第一节 去湿方法和干燥	(173)
1-1 去湿方法	(173)
1-2 干燥方式	(174)
1-3 干燥过程的实质	(175)
第二节 湿空气的性质及湿度图	(176)
2-1 湿空气的性质	(176)
2-2 湿空气的湿度图及其用法	(183)
第三节 干燥过程的物料衡算和热量衡算	(187)

3—1 物料衡算	(188)
3—2 热量衡算	(193)
第四节 干燥速率和干燥时间	(196)
4—1 物料中所含水分的种类	(196)
4—2 干燥速率及干燥速率曲线	(198)
4—3 影响干燥速率的因素	(201)
4—4 干燥时间的计算	(202)
第五节 干燥设备	(204)
5—1 干燥器应具备的条件及分类	(205)
5—2 干燥器的主要型式和特点	(206)
5—3 干燥器的选型	(217)
复习思考题	(218)
练习题	(218)
第十章 冷冻	(220)
第一节 冷冻过程的基本原理	(220)
1—1 冷冻循环	(221)
1—2 冷冻系数	(222)
第二节 冷冻能力	(226)
2—1 冷冻能力的表示法	(226)
2—2 冷冻能力的计算	(227)
2—3 标准冷冻能力	(229)
第三节 冷冻剂和载冷体	(230)
3—1 冷冻剂	(230)
3—2 载冷体	(233)
第四节 两级压缩冷冻循环	(235)
4—1 采用两级压缩的原因	(235)
4—2 两级压缩流程	(236)
4—3 复迭式冷冻循环	(237)
第五节 冷冻装置的主要设备	(239)

5—1 压缩机	(239)
5—2 冷凝器	(240)
5—3 蒸发器	(241)
5—4 膨胀阀	(242)
复习思考题	(242)
练习题	(243)
附 录	(244)

第六章 蒸 馏

在石油、化工生产过程中，经常要把一些由若干组分组成的液体混合物进行分离，得到比较纯净的或接近纯净的各种物质。例如，原油是由多种碳氢化合物组成的液体混合物，为了利用或进一步加工，需要把原油分离成汽油、煤油、柴油及重油等。又如，聚氯乙烯在聚合前要求单体氯乙烯纯度超过99.9%。以上例子都说明工业生产中往往要求将混合物分离到指定的纯度。这些分离要求可以采用蒸馏、萃取、吸收等方法来完成，而其中蒸馏是分离均相液态溶液最常用的方法。

蒸馏过程可以按不同方法分类。例如，按操作方式可分为间歇和连续蒸馏，生产中多以后者为主。间歇蒸馏主要应用于小规模生产或某些有特殊要求的场合。按分离混合物中组分的数目可以分为两（双）组分和多组分精馏。但多组分和两组分精馏的基本原理、计算方法均无本质的区别，常以两组分溶液的精馏原理为计算基础，然后引伸用于多组分精馏的计算中。本章只讨论常压下两组分的连续精馏。

第一节 溶液的气-液相平衡

1-1 气体和液体的性质

一、气体及液体的特性

1. 气体的特性 气体是由许多分子组成的，这些分子在它们所占据的容积内以很快的速度运动着。运动中分子间互相碰撞或与器壁碰撞，就产生了作用于器壁的力。作用在单位面积上的这种力即为气体的压强。由于气体分子碰撞的次数非常多，速度非常大，所以虽然分子很小，但由于碰撞而产生的压强却可以宏观地表现出来。

在一般情况下，气体分子本身的体积比它所占据的容积要小得多，气体分子间的相互作用力也比较小，但是它随着压强的增加以及分子间距离的缩短而作用力增大。

为了研究问题方便，将气体分为理想气体和非理想气体。当忽略气体分子本身的体积和分子之间的相互作用力时，则称此种气体为理想气体。否则为非理想气体。一般在低压高温情况下，分子间距离比较大的气体，如：空气、氧气、氮气等都可以视为理想气体。通过大量的实验，人们发现了一定质量的气体，其压强、体积和温度间遵循一定的规律。如果把理想气体的压强、体积、温度和物质质量四者之间用数学式子联系起来，所得到的关系式称为理想气体状态方程式。

(1) 理想气体状态方程式

$$PV = nRT \quad (6-1)$$

式中：P——气体的压强， kN/m^2 ；

T ——气体的温度, K;

V ——气体的体积, m^3 ;

R ——通用气体常数, 其值为 8.314 kJ/kmolK ;

n ——气体的量, 其值等于质量 G 被摩尔质量 M 除得的商。

$$\text{所以} \quad PV = \frac{G}{M} RT \quad (6-2)$$

式中 G ——气体的质量, kg;

M ——气体的摩尔质量, kg/kmol。

当气体为非理想气体时, 引进压缩因子 z , 则气体状态方程式就成为

$$PV = znRT \quad (6-3)$$

z 是温度和压强的函数。当为理想气体时 $z = 1$, 当已知压强 P 和温度 T 时, z 值可由有关文献中查取。

(2) 气体的分压定律和分容定律 在化工生产中, 经常碰到气体混合物。例如: 空气、气态烃等。气体混合物也分为理想气体混合物和非理想气体混合物。所谓理想气体混合物是指混合物所处的压强很低, 温度很高, 混合物中每一种组分都可以看成是理想气体, 各组分的性质和单独存在时一样, 不受它种气体分子存在的影响。理想气体混合物符合两个定律, 即分压定律和分容定律。

在同一温度下, 混合气体中某一种气体单独占有与混合气体相同的体积时, 对器壁所产生的压强, 称为该种气体的分压。分压和总压之间的关系, 可由道尔顿分压定律来说明。该定律指出: 混合气体的总压等于各组分气体分压之和, 即

$$P_{\text{总}} = P_1 + P_2 + \cdots + P_i \quad (6-4)$$

因为式 (6-1) 不仅适用于某一纯净的气体, 对于理想混合气体亦适用, 即

$$P_{\text{总}}V = n_{\text{总}}RT \quad (6-5)$$

或 $(P_1 + P_2 + \cdots + P_i)V = (n_1 + n_2 + \cdots + n_i)RT$ (6-6)

所以 $P_1V = n_1RT$ (6-7)

$$P_2V = n_2RT \quad (6-8)$$

.....

$$P_iV = n_iRT \quad (6-9)$$

将式 (6-9) 除以式 (6-5) 得

$$\frac{P_i}{P_{\text{总}}} = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} \quad (6-10)$$

或 $P_i = \frac{n_i}{n_{\text{总}}}P_{\text{总}}$

令 $\frac{n_i}{n_{\text{总}}} = y_i$

则 $P_i = y_i P_{\text{总}} \quad (6-11)$

式 (6-11) 为道尔顿分压定律的又一表达形式, 式中的 y_i 为组分 i 在混合气体中所占的摩尔分数。此式说明: 混合气体中, 某种气体的分压等于混合气体的总压乘以该气体的摩尔分数。

根据同样方法, 可以引出气体的分容定律。据混合气体总体积等于各组份气体容积之和, 即

$$V_{\text{总}} = V_1 + V_2 + \cdots + V_i \quad (6-12)$$

得 $V_i = y_i V_{\text{总}} \quad (6-13)$

所谓分容就是在同一温度下, 混合气体中某一气体具有与混合气体相同的压强时, 所占有的体积。

2. 液体的性质 在液体中，分子间距离比在气体中小得多，分子间作用力比气体大得多。所以，在任何情况下也不能忽略液体分子的体积和相互间的作用力。由于液体分子间作用力大，表现出液体的粘度远远大于气体。可压缩性远远小于气体（可认为不可压缩），并且和空间有显著的分界面。

3. 物相的转化 物质的分子由一相通过界面转移到另一相中去，即为物相的转化。

将某种液体物质装入密闭的容器中，容器保持一定的温度，液体表面上有的分子能冲出表面变成气体而产生气化。由于液面上方气液两相分子的作用力不同，即液体分子间的吸引力大于气液分子间的吸引力，使液体表面分子受到一个指向液体内部的力作用。因此液体表面分子必须具有足够的能量克服这个力才能冲出界面进入气相空间。对液体进行加热可使液体分子运动加快，气化量增加。液体表面分子进入气相空间时为克服指向液体内部的力的作用所需要吸收的热量叫做气化热。反之，气体空间的分子也能与液体表面分子碰撞受到液体内部分子拉引而冷凝。冷凝时放出冷凝热，其数值和相同条件下的气化热相同。由于物质气化时所吸收的气化热只能使液体气化而不能使液体温度升高，所以气化热也叫气化潜热。

物质由液相向气相转移的分子数大于气相转移到液相的分子数时，则显示出气化，反之，是冷凝过程。所以气化和冷凝的过程是气液两相间分子互相转移的数量差异所造成的。

二、纯物质的饱和蒸气压

在一密闭容器中，在一定的温度下，当液体分子的气化

速度和气体分子冷凝的速度相等时（即气化的分子数等于冷凝的分子数），此时气液两相温度相等。尽管分子仍出入于气液两相界面，但系统的状态参数（温度、压强）不再随时间而改变，这种状态称为气液两相处于相平衡状态。处于相平衡状态下的蒸气称为该温度下的饱和蒸气，液体称为该温度下的饱和液体。气体所表现出的压强为该纯物质在该温度下的饱和蒸气压

各种液相物质，由于它们的化学结构、物理性质的不同，分子从液相逸出的能力也不同。因此，相同温度下达到相平衡状态时饱和蒸气压的数值也不相同。表6-1为一些纯组分在273K时的饱和蒸气压数据。

表6-1 某些组分在273K时的饱和蒸气压

组 分	水	氨	乙烯	丙烯	乙烷	丙烷	正丁烷
饱和蒸气压 P^* , kN/m ²	0.588	414	4217	564	2310	457	99.9

气液两相平衡是相对的，随着外界条件的改变，原来的平衡将会被破坏，直到在新的条件下达到新的平衡。纯物质的饱和蒸气压仅仅与温度有关，而与系统的体积、液体的数量无关。

1-2 溶液的性质

一、溶液的概念

两种或两种以上的物质所形成的均匀混合物叫做溶液。溶液有固体、液体、气体之分。由液态物质形成的溶液叫溶液。

当两种液体均匀混合形成溶液时，一些物质在混合前后

其体积没有发生变化，即混合后的总体积等于混合前各个体积之和；也没有产生吸热和放热现象，即没有热效应产生。当苯和甲苯混合形成溶液时可以认为属于此种类型，这种类型的溶液被称为理想溶液。但是有很多物质在混合时并非如此，例如，硫酸和水混合时就放出大量的热量；酒精和水混合时，其总体积小于原酒精和水的体积之和。这种类型的溶液被称为非理想溶液。

理想溶液和理想气体一样，也是为了研究问题方便而人为规定的。形成理想溶液必须具备以下条件：① 在溶液中不同分子间的作用力与同种分子间的作用力均相等；② 各组分在数量上无论按什么比例均能互溶；③ 各种液体混合时无热效应；④ 混合后形成溶液的总体积等于溶液中各组分单独存在时的体积之和。不符合上述条件的称为非理想溶液。实际上，真正能够满足这些条件的理想溶液极少。有机液体，如苯和甲苯溶液；同族烃类的混合物通常也可以看做是理想溶液。

二、拉乌尔定律

当液体为理想溶液时，在一定温度下，溶液液面上任一组分的蒸气分压 P_i ，等于在同一温度下该组分为纯态时的饱和蒸气压 P_i^0 乘以此组分在液相中的摩尔分数 X_i 。此即为拉乌尔定律。其数学表达式如下：

$$P_i = X_i P_i^0 \quad (6-14)$$

此定律说明了理想溶液中各组分的分子从液面克服阻力进入气体中的趋势只与此组分的性质和它在液体中的摩尔分数有关，而与其它组分在液体中的存在无关。

需要指出的，拉乌尔定律中的分压和液相组成的关系只适用于气液两相呈平衡时，同时液相应为理想溶液，而对于

非理想溶液它将产生正、负偏差，这里就不再讨论了。

1-3 溶液组成的表示方法

蒸馏是利用混合液中各组分在被加热时挥发能力的不同而进行操作的。当加热液体溶液时，其中易挥发组分从液相转移到气相时必然会引起气液两相浓度的变化，因此在讨论蒸馏操作之前，必须熟悉溶液中各组分在气相或液相中浓度表示方法。在化工计算中经常用质量分数和摩尔分数两种方法来表示。

一、质量分数

质量分数是指混合物中某组分的质量与混合物总质量之比值，称为该组分的质量分数，用符号 X_w 表示。

设混合物是由A、B两种组分组成。

其中：A组分的质量为 G_A ，kg；

B组分的质量为 G_B ，kg。

混合物的总质量应为： $G_{总} = G_A + G_B$ kg

因此，按质量分数的定义可以知道：

$$A \text{ 组分的质量分数为 } X_{wA} = \frac{G_A}{G_{总}} = \frac{G_A}{G_A + G_B} \quad (6-15a)$$

$$B \text{ 组分的质量分数为 } X_{wB} = \frac{G_B}{G_{总}} = \frac{G_B}{G_A + G_B} \quad (6-15b)$$

很显然，混合物中任一组分的质量分数都小于1，而各组分质量分数之和应等于1，即

$$X_{wA} + X_{wB} + \cdots + X_{wI} = 1$$

混合物中任一组分的质量分数乘100%，即为该组分的质量百

分数。

二、摩尔分数

混合物中某组分的物质的量与混合物总物质的量之比值，称为该组分的摩尔分数，用符号 x_i 表示。

设混合物是由A、B两种组分组成

其中：A组分的物质量为 n_A ，kmol；

B组分的物质量为 n_B ，kmol；

混合物的总物质量应为 $n_{\text{总}} = n_A + n_B$ ，kmol。

由摩尔分数定义可知：

$$A \text{ 组分的摩尔分数 } x_A = \frac{n_A}{n_{\text{总}}} = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad (6-16a)$$

$$B \text{ 组分的摩尔分数 } x_B = \frac{n_B}{n_{\text{总}}} = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (6-16b)$$

很明显，混合物中任一组分的摩尔分数都小于1，而各组分的摩尔分数之和应等于1，即

$$x_A + x_B + \cdots + x_i = 1$$

混合物中任一组分的摩尔分数乘以100%即为该组分的摩尔百分数。

三、质量分数和摩尔分数的相互换算

1. 由质量分数换算成摩尔分数 设混合物由A、B两组分组成，它们的质量分数分别为 x_{wA} 、 x_{wB} ，其分子量分别为 M_A 、 M_B 。如果以混合物的总质量1 kg为计算基准，则

$$A \text{ 组分的质量 } G_A = G_{\text{总}} \cdot x_{wA} = x_{wA}$$

$$B \text{ 组分的质量 } G_B = G_{\text{总}} \cdot x_{wB} = x_{wB}$$

混合物中各组分的物质量分别为：

$$A \text{ 组分的物质量 } n_A = \frac{G_A}{M_A} = \frac{x_{wA}}{M_A}$$

$$\text{B 组分的物质量 } n_B = \frac{G_B}{M_B} = \frac{x_{wB}}{M_B}$$

$$\text{故混合物的总物质量 } n_{\text{总}} = n_A + n_B = \frac{x_{wA}}{M_A} + \frac{x_{wB}}{M_B}$$

根据摩尔分数的定义可得:

$$\text{A 组分的摩尔分数 } x_A = \frac{n_A}{n_{\text{总}}} = \frac{\frac{x_{wA}}{M_A}}{\frac{x_{wA}}{M_A} + \frac{x_{wB}}{M_B}} \quad (6-17a)$$

$$\text{B 组分的摩尔分数 } x_B = \frac{n_B}{n_{\text{总}}} = \frac{\frac{x_{wB}}{M_B}}{\frac{x_{wA}}{M_A} + \frac{x_{wB}}{M_B}} \quad (6-17b)$$

式 (6-17) 即为由质量分数换算成摩尔分数的关系式。

例6-1 已知酒精水溶液中酒精的浓度为75% (质量), 求该酒精的摩尔分数。

解 已知 $x_{wA} = 0.75$ 则 $x_{wB} = 1 - 0.75 = 0.25$

$$M_A = 46 \quad M_B = 18$$

则 酒精的摩尔分数为:

$$x_A = \frac{\frac{x_{wA}}{M_A}}{\frac{x_{wA}}{M_A} + \frac{x_{wB}}{M_B}} = \frac{\frac{0.75}{46}}{\frac{0.75}{46} + \frac{0.25}{18}} = 0.54$$

酒精的摩尔百分数应为 $0.54 \times 100\% = 54\%$ 。

2. 由摩尔分数换算成质量分数 设混合物由 A、B 两种组分组成, 它们的摩尔分数分别为 x_A 、 x_B , 其分子量分别