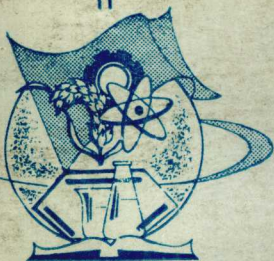


化学工人自学丛书



化工单元操作

气体吸收

中国化工学会科普工作委员会组织编写

林义英 编

化学工业出版社

化学工人自学丛书

化工单元操作

气 体 吸 收

中国化工学会科普工作委员会组织编写

林义英 编

化学工业出版社

《化学工人自学丛书》

出版说明

为了普及化工生产技术知识及理论知识，提高我国化工企业广大工人的科学技术水平，以适应加速实现化学工业现代化的需要，特组织编写这套《化学工人自学丛书》。

这套丛书的内容包括化学、化工技术、基础理论以及化工生产工艺和设备，并反映当代新技术、新工艺、新设备、新材料。叙述力求深入浅出，理论联系化工生产实际，便于自学。根据化学工业多行业、多工种的特点，本丛书除分册出版无机化学、有机化学、化工生产原理等基础理论和基础技术读物外，还将陆续出版主要化工生产的工艺操作、主要化工设备机器的安装和检修、生产分析、化工仪表及自动化等方面的图书。

本丛书主要供化工企业具有初中以上文化程度的工人和其他有关人员自学。通过自学，达到或接近中等专业学校毕业的水平。也可作为各化工企业的技工学校教学参考书和考评等级的参考读物，还可供化工中等专科学校教师和学生参考。

前 言

提高全国人民的科学文化水平是实现我国社会主义现代化建设的当务之急。化学工业及化工类型生产的操作工，在进行安全教育及熟悉工艺流程与反应条件，能按操作规程于本岗位进行熟练操作后，都必须进一步地具备化工单元操作知识。

化工单元操作是从各种化工生产过程中，将以物理变化为主的处理方法，概括出其共同特点的基本操作。其内容可归纳为：流体流动过程；传热过程；传质过程；机械过程等操作。目前这方面的书籍大都是各级教材，内容侧重于理论和计算。这套化学工人自学丛书中的《化工单元操作》则以具有初中水平的在职操作工为对象，使他们以多年实践经验，结合化工单元操作的理论学习，可提高生产操作水平，而且可应用本岗位的数据，验算设备能力，既能挖潜，又能避免超负荷运转，做到心中有数。

由于我们初次组织编写这类图书，缺点与不妥之处在所难免，希广大读者提出宝贵意见，以便今后再版时修订。

拟出版的这套《化工单元操作》丛书有：《化工计算》、《流体输送》、《传热及换热器》、《蒸馏》、《吸收》、《萃取》、《干燥》、《冷冻》。

目 录

概述	1
第一章 吸收流程	4
第一节 吸收流程应考虑的问题	4
第二节 吸收流程	5
一、部分吸收剂再循环的吸收流程	5
二、串联的逆流吸收流程	5
三、部分吸收剂再循环的吸收与解吸流程	7
第二章 溶解度	8
第一节 浓度的表示方法	8
一、重量浓度	8
二、摩尔浓度	8
三、比摩尔分数	9
四、比重量分数	9
第二节 溶解度	11
一、影响溶解度的主要因素	11
二、平衡分压	12
第三节 吸收剂	13
一、吸收剂选择的依据	13
二、吸收剂的选用	14
第三章 双膜理论	16
第一节 扩散的基本方式	16
一、分子扩散	16
二、对流扩散	16
第二节 双膜理论	17

一、双膜理论的基本假定	17
二、双膜理论的局限性	18
第三节 亨利定律	18
一、亨利定律的表达式	18
二、亨利系数	19
第四节 吸收推动力	20
一、推动力概念	20
二、气相推动力与液相推动力	20
第五节 吸收速率	28
一、速率的基本概念	28
二、吸收速率方程式	28
第六节 吸收系数	30
一、气膜控制	30
二、液膜控制	30
第四章 吸收设备	32
第一节 填料塔	32
一、填料	32
二、填料塔的附属结构	39
三、填料塔的计算	45
第二节 板式塔	50
一、板式塔与填料塔的比较	50
二、板式塔的类型	51
三、几种板式塔的简介	54
第五章 吸收操作	59
第一节 吸收操作线	59
一、吸收操作线方程	59
二、操作线在坐标图上的表示	60
第二节 吸收剂用量	62
一、吸收剂用量对操作线的影响	62

二、最小吸收剂用量	63
第三节 适宜操作气速	66
一、操作气速的计算	66
二、液泛气速	66
第四节 操作分析	68
一、吸收率	68
二、压力降	71
第五节 吸收操作的调节	72
一、流量的调节	72
二、温度与压力的调节	73
三、塔底液位的维持	73
四、解吸塔操作的控制条件	74
复习思考题	74
习题	75
参考读物	76
附录	77
主要符号说明	86

概 述

各种气体在液体中的溶解度不同，选择适当的液体吸收混合气体中的某一组分，使与其它组分分离，这种过程为气体吸收。

气体吸收在工业上的应用十分广泛，主要有以下几个方面：

1. 将最终气体吸收制成溶液，如用水吸收氯化氢气体制成盐酸等。

2. 分离气体混合物或回收气体混合物中 的一定组分，如用水吸收丙烯氨氧化法反应气中的丙烯腈等。

3. 净化气体以除去其中所含的有害成分，例如用次氯酸钠溶液吸收聚氯乙烯原料气中的杂质硫化氢，合成氨工厂中除去原料气中所含的二氧化碳等。

吸收操作所用的液体称为吸收剂（或溶剂）；吸收后的液体称为溶液，被吸收的气体称为溶质（或吸收质），不被吸收的气体称为惰性气体或载体，而吸收质与惰性气体之总和称为气体混合物。例如，用水吸收煤气中的氨，称水为吸收剂，氨为吸收质，煤气为惰性气体或载体，经吸收后的液体则称为氨水溶液。

表 1 列出了工业上若干重要的气体吸收体系。

在吸收过程中，有的不伴有明显的化学反应，如用水吸收二氧化碳等；有的则在吸收过程中伴有化学反应，如用碱吸收二氧化碳等。因而通常按照吸收过程是否伴有化学反应

将吸收区分为物理吸收与化学吸收两大类，而后者远比前者复杂。

吸收操作又可分为单组分吸收与多组分吸收。前者是指混合气体中只有一个组分能溶解于液体，比较简单；后者是指能溶解的组分不止一个，比较复杂。本书主要讨论单组分、物理吸收。

由于液体吸收气体的速度较慢，为了提高吸收率，必须选择适当的吸收剂，增加液体与气体的接触面积，并选择适宜的吸收流程及操作条件。

本书所涉及的内容有以下几个方面：

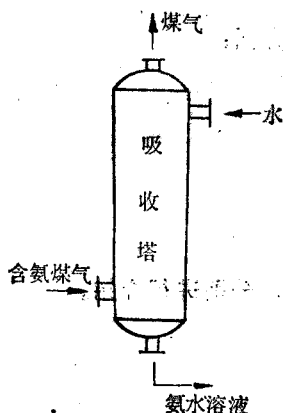
1. 吸收流程；
2. 溶解度；
3. 双膜理论；
4. 吸收设备；
5. 吸收操作。

以下将围绕上述几方面的内容，分别进行介绍。

第一章 吸收流程

第一节 吸收流程应考虑的问题

图 1-1 所示为一氨水吸收流程，含氨的煤气从吸收塔底部进入，水由塔顶引入。塔内通常装有填料，吸收剂均匀地喷洒在填料表面上，以保证整个



填料表面能得到很好的润湿。气体自下而上地在填料的缝隙中曲折地上升，使气液两相互成逆流在填料表面上进行接触。由于煤气在水中的溶解度很小，而氨在水中的溶解度很大，因而用水来吸收煤气，能使原含于煤气中的氨，大部分溶解于水中，使氨从煤气中分离出来。

实际吸收流程应考虑如下一些问题。

图 1-1 吸收流程示意图

首先是流动方向。一般采用逆流吸收，即液体向下，气体向上。如果没有特殊原因，大都采用逆流流动。

其次是吸收剂是否需要再循环的问题。这主要应该从喷淋密度和散热两个方面来考虑。为了保证填料能被液体充分润湿，要求有一定喷淋密度。所谓喷淋密度是指每小时每平方米塔截面上的液体喷淋量（立方米）。一般要求喷淋密度不

能低于 $5 \text{ 米}^3/\text{米}^2 \cdot \text{小时}$ 。采用吸收剂再循环流程，是将吸收塔出来的溶液的一部分重新引入塔内，这种流程不但会降低吸收推动力，而且还会增加动力消耗。从这个角度来看，吸收剂再循环并不十分有利。但如果吸收剂喷淋密度过小，不能保证填料表面完全润湿，或在吸收塔中需要排除的热量很大，需要大量吸收剂提高吸收效果，就必须采用部分吸收剂再循环流程。

第二节 吸收流程

一、部分吸收剂再循环的吸收流程

图 1-2 所示为部分吸收剂再循环的吸收流程。如图示，用泵 2 从吸收塔 1 抽出吸收剂，经过冷却器 3 再打回塔内；抽出其中一部分用过的吸收剂，再导入新鲜的吸收剂加以补充。吸收剂的抽出和新吸收剂的补充，不论在泵前或泵后，进行都可以，不过应先抽出而后补充。

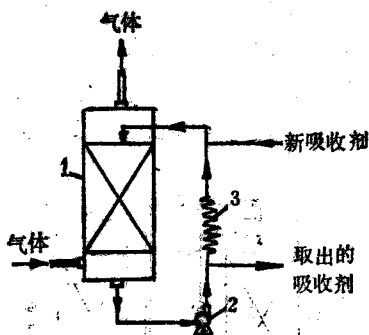


图 1-2 部分吸收剂再循环的吸收流程
1—吸收塔；2—泵；3—冷却器

二、串联的逆流吸收流程

如果所采用的吸收塔尺寸过大，不能保证足够的喷淋密度，在这种情况下，可将一个大塔分为几个较小的塔相互联结起来而组成一套吸收塔组。吸收塔组可以串联使用，也可以并联使用。在串联或并联时，可以是气体串联，液体并联，

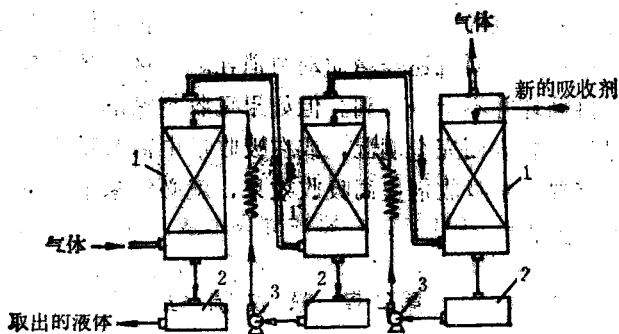


图 1-3 串联的逆流吸收流程

1—吸收塔；2—贮罐；3—泵；4—冷却器

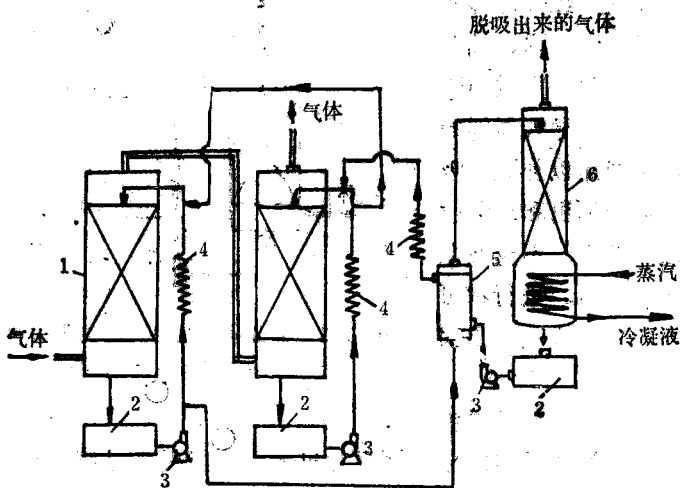


图 1-4 部分吸收剂再循环的吸收与解吸流程

1—吸收塔；2—贮罐；3—泵；4—冷却器；5—换热器；6—蒸馏塔

或相反，也可以是气体与液体同时串联或并联；还可以根据操作的需要，使吸收塔的全部或局部采取吸收剂再循环的操作。

图 1-3 所示为一串联的逆流吸收流程。它是用泵将液体从一个吸收塔抽送到另一个吸收塔。吸收剂不再循环使用。在吸收塔中气体与液体均为逆流流动。在液体（有时亦在气体）的通路上，可以根据散热的需要，装设冷却器。

三、部分吸收剂再循环的吸收与解吸流程

在吸收流程中，当吸收后的溶液是作为产品或废液排出时，则无需考虑吸收剂的回收问题。但当吸收后的溶液，需要进一步回收时，如用一乙醇胺水溶液吸收二氧化碳，一乙醇胺与二氧化碳溶液需进一步回收，被回收的一乙醇胺可作为吸收剂循环使用，而二氧化碳可用于制造尿素等。这时在吸收流程中，就必须考虑吸收剂再生的问题。吸收剂再生是用解吸方法在解吸塔中进行。解吸条件与吸收条件恰恰相反，吸收是在低温、高压下操作；而解吸在高温、低压下操作。经解吸塔回收的吸收剂，称为再生液，它将返回吸收塔中作为吸收剂循环使用。解吸塔的操作情况，将直接影响到吸收的情况。

图 1-4 为部分吸收剂再循环并与解吸设备相结合的流程。流程中每一个吸收塔都有部分吸收剂再循环。由吸收塔出来的液体由泵 3 排出经冷却器 4 而打回原吸收塔中。由第一吸收塔的循环系统所引出的部分吸收剂，则进入下一个吸收塔的吸收剂循环系统。吸收剂从最后的吸收塔（按照液体流程）经换热器 5 而进入提馏塔 6，在这里释出所溶解的气体。经解吸后的吸收剂，从提馏塔出来，再通过换热器与即将解吸的溶液进行换热后，再经冷却器而回到第一个吸收塔（按照液体流程）的循环系统中。

第二章 溶解度

气体在液体中的溶解度是表示在一定条件吸收过程可能达到的最大浓度。根据气液两相浓度表示方法的不同，溶解度有多种的表示形式。本章将介绍浓度的表示方法并分析影响溶解度的主要因素。

第一节 浓度的表示方法

吸收操作岗位，常常需要对气相和液相浓度加以分析控制。从使用及计算方便出发，可以有多种表示方法，如在吸收操作岗位记录上常常可以看到如下的数据：

入塔气体含××	5%
出塔气体含××	70ppm或8克/标准米 ³
×液中含××	0.24摩尔/升
×液中含××	100克/升

下面将分别介绍这些数据的含义以及它们之间的关系。

一、重量浓度

重量浓度是指单位体积中所含溶质的重量，如氨水溶液中每升含氨100克，即100克/升。

二、摩尔浓度

摩尔浓度是指单位体积中所含溶质的摩尔数，若某溶液每升含苯酚0.24摩尔，即0.24摩尔/升。

重量浓度与摩尔浓度常用以表示液相的浓度。液相的浓度还可能碰到用当量浓度和滴度来表示。所谓当量浓度是指

液相单位体积中所含溶质的当量数 (1/20当量浓度工业上称为滴度)。当组分含量较低时,常用ppm来表示液相的浓度。
 $1\text{ppm}=1\text{毫克/升}$ 。

三、比摩尔分数

比摩尔分数是指溶质的摩尔数与载体摩尔数之比。如用水吸收空气中的氨,水与空气分别为液相与气相的载体,其气相与液相的比摩尔分数可分别表示为摩尔氨/摩尔空气及摩尔氨/摩尔水。由此可见,载体不包含溶质,载体在吸收塔中并不被吸收,它起到输送溶质作用,而本身在吸收过程中数量并没有改变。正因为这一点,以载体为基准所表示的浓度,将给吸收计算带来许多方便。

由于吸收计算大多采用比摩尔分数,这就要求我们能将不同的浓度换算为比摩尔分数。

比摩尔分数 X (或 Y)与摩尔分数 x (或 y)之间的换算关系为

$$X = \frac{x}{1-x}, \quad Y = \frac{y}{1-y} \quad (2-1)$$

或

$$x = \frac{X}{1+X}, \quad y = \frac{Y}{1+Y} \quad (2-2)$$

四、比重分数

比重分数是指溶质的重量与载体重量之比,如氨水溶液中含氨表示为克氨/克水。

例 2-1 氨的比摩尔分数

在合成氨生产中,出合成塔气体中含氨10% (摩尔百分数)。试求其中氨的比摩尔分数。

解: 取100千摩尔混合气体作为计算基准,其中氨的摩

尔数为:

$$100 \times 0.1 = 10 \text{ 千摩尔氨}$$

惰性气体的摩尔数为:

$$100 - 10 = 90 \text{ 千摩尔惰性气体}$$

氨的比摩尔分数为:

$$Y_{\text{氨}} = \frac{10}{90} = 0.11 \text{ 千摩尔氨/千摩尔惰性气体}$$

例 2-2 浓度换算

已知总压为760毫米汞柱, 温度为20℃时, 氨在水中的溶解度数据为:

氨水浓度 (克氨/1000克水)	13	55	70	100
氨的分压 (毫米汞柱)	18	35	46	70

试将上述浓度换算为比摩尔分数。

解: 以第一组数据为例, 氨水浓度为每1000克水中含氨13克。1000克水所相当的摩尔数为:

$$\frac{1000}{18} = 55.6 \text{ 摩尔水}$$

此式中18为水的分子量。

13克氨的摩尔数为:

$$\frac{13}{17} = 0.764 \text{ 摩尔氨}$$

上式中17为氨的分子量。

液相中氨的比摩尔分数为:

$$X = \frac{0.764}{55.6} = 0.0136 \text{ 摩尔氨/摩尔水}$$