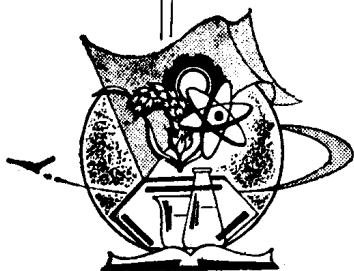


化学工人自学丛书



化工计算基础

马栩泉 雷良恒 周荣琪 编著

015

化学工业出版社

化学工人自学丛书

化工计算基础

马栩泉 雷良恒 周荣琪 编著

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是一本有关化工基础知识的普及读物。它较为通俗、细致地介绍了化工计算中涉及到的最基本的概念、公式和方法,包括单位制与单位换算,基本参数和基础物理性质的定义、关系及其计算,物料衡算,能量衡算,相平衡及过程速率。书中列有例题54题,这些例题尽量注意比较结合生产实际。

本书可供化学操作工人和化工系统管理干部自学或进修用,也可作为中等专业学校化工专业学生学习化工原理或化学工程的参考书。

化学工人自学丛书

化 工 计 算 基 础

马翔泉 雷良恒 周荣琪 编著

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张4 字数87千字 印数1—13,000

1982年11月北京第1版 1982年11月北京第1次印刷

统一书号15063·3452 定价 0.35 元

《化学工人自学丛书》

出版说明

为了普及化工生产技术知识和理论知识，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，特组织编写出版这套《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工评级的参考读物；还可供化工中等专科学校教师和学生学习参考。

目 录

绪 言	1
第一章 化工计算导论	3
第二章 基础物性及其计算	23
第三章 物料衡算	50
第四章 能量衡算	71
第五章 相平衡和过程速率	91
附录一 几种单位制的单位	116
附录二 单位换算	117

绪 言

在化工生产中，无论是工艺流程的确定、设备的设计，还是操作参数的选定，乃至经济分析等，都需要了解原料消耗量、产品产量、能量消耗、产品和中间产物的成分及其相互关系等等，为此必须进行定量的计算。不仅工程技术人员要掌握这些计算，工人也需要学习、掌握和运用化工基本计算。比如，为了配制一定浓度的溶液，必须知道要用多少体积或多少重量的各种物质，这就要求我们会进行准确而熟练的浓度计算。在炼油厂气体分离操作中，经常碰到气体的流量、体积和压力的计算问题。在精馏操作中，如果进出物料不平衡，便会引起操作不正常，使产品质量不合格，为了改善操作，使产品质量尽快合格，就要运用物料平衡的基本原理进行计算并指导调节。总之，运用化工基本计算解决生产问题的例子举不胜举。由此可知，化学操作工人掌握化工计算的基本知识，对于改善操作、降低成本、提高产品质量、减少生产过程的盲目性都是十分重要的。

物料衡算、能量衡算和平衡关系与变化速率的计算是化工工艺的基础，也是决定生产过程所需设备的数目及其主要尺寸的根据。在设计中，通过这些计算可以分析流程和设备中的物料分配或能量供需是否合理；在生产中，通过这些计算可以判断是否出现物料和能量的浪费以及操作的不正常情况。而要进行这些计算，单位换算、基本参数和基础物性计算又是必不可少的。

化工基本计算主要包括以下内容：

1、化工过程基本参数如温度、压力、流量、浓度的计算。

2、基础物理性质特别是混合物物性的计算。

3、物料衡算：计算生产过程中各种物料的数量与组成的关系。

4、能量衡算：计算生产过程中各种物料的状态与能量变化的关系。在许多情况下，操作所涉及的能量只有热能，这时能量衡算即为热量衡算。

5、化学或物理过程的平衡关系的计算：解决过程进行的方向与限度。

6、化学或物理过程的速率的计算：解决过程进行的快慢问题。

为了熟练地进行化工基本计算，不仅要牢固地掌握有关的概念、公式和方法，而且应具有分析问题和解决问题的能力。为此，必须进行严格认真的基本功训练。

第一章 化工计算导论

在任何一个化工生产过程中，都会遇到温度、压力、流量、组成或浓度这些量，它们在一定的条件下有固定的数值，而它们又是可以变化的，也就是说在不同的条件下数值不同，这样的量就叫作“参数”。本章主要介绍流体的温度、压力、流量、浓度等的基本概念、计算方法以及它们之间的相互关系。

一、化工计算中的几个重要参数

1. 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量。为了衡量温度，需要规定一些标准，这些标准就是所谓温标。温标规定了温度的起点（零点）和测量温度的基本单位“度”。常用的温标有以下三种：

（1）摄氏温标：以1大气压下水的冰点为 0° ，水的沸点为 100° 。其单位代号为 $[^{\circ}\text{C}]$ 。

（2）华氏温标：以冰-盐混合物的温度为 0° ，以健康人的血液温度为 96° ，其单位代号为 $[^{\circ}\text{F}]$ 。这是英、美等国常用的温标。

（3）绝对温标：又叫开尔文温标，其单位代号为 $[^{\circ}\text{K}]$ （1967年第十三届国际计量大会通过以 $[\text{K}]$ 代替 $[^{\circ}\text{K}]$ ）。这种温标以 -273.15°C 作为零度（一般按 -273°C 计）。

这三种温标的关系是：

$$1 [K] = 1 [^{\circ}C]$$

$$1 [^{\circ}C] = 1.8 [^{\circ}F]$$

$$T_K = T_C + 273$$

$$T_C = \frac{T_F - 32}{1.8}$$

$$T_F = 1.8 T_C + 32$$

例1 将100 [°C] 换算成 (a) [K], (b) [°F]。

[解] (a) $T_K = 100 + 273 = 373 [K]$

(b) $T_F = 1.8 \times 100 + 32 = 212 [^{\circ}F]$

2. 压力

化工中的压力就是物理中的压力强度 (压强), 它是均匀垂直作用于单位面积上的力。在化工计算中, 压力常用的单位为 [公斤力/厘米²] ([kgf/cm²]), 有时也用 [公斤力/米²]。此外, 常用的压力单位还有: [标准大气压] ([物理大气压]), [工程大气压], [毫米汞柱] ([mmHg]), [米水柱] 等。英美等国常用 [磅力/英寸²] (绝压) (psia), [磅力/英寸²] (表压) (psig) 作压力单位。

这几种压力单位之间的关系为:

$$1 [\text{标准大气压}] = 760 [\text{毫米汞柱}]$$

$$= 1.0336 [\text{公斤力/厘米}^2]$$

$$= 10.336 [\text{米水柱}]$$

$$= 14.7 [\text{磅力/英寸}^2]$$

$$1 [\text{工程大气压}] = 735.6 [\text{毫米汞柱}]$$

$$= 1 [\text{公斤力/厘米}^2] = 10^4 [\text{公斤力/米}^2]$$

$$= 10 [\text{米水柱}]$$

不同的压力单位是根据适用的场合方便与否而选择的。

例如, 高压聚乙烯的聚合釜压力为几百个大气压, 就不能用

[毫米汞柱]表示,而常压塔的每块塔板的阻力降一般不大,只有几十[毫米水柱]或几[毫米汞柱],此时就不能用[大气压]或[公斤力/厘米²]来表示了。

在进行压力计算以及测量时,应注意绝对压力($p_{绝}$)、大气压($p_{大}$)、表压($p_{表}$)和负压($p_{负}$)的区别。

大气压:即大气的压力,它并不是一个定值,其大小与海拔高度、温度等条件有关。前面已经说过,在化工计算中常用的大气压值有“标准大气压”和“工程大气压”。

绝对压力:指设备内部或某处的真实压力。

表压:指设备内部或某处的真实压力与大气压之差(真实压力大于大气压时可用表压)。

负压力:若设备内部或某处的绝对压力值低于大气压,则大气压与它之差为负压力,一般又称真空度($p_{真}$)。

$$p_{表} = p_{绝} - p_{大}$$

$$p_{真} = p_{大} - p_{绝}$$

工业上使用的压力计的读数一般都是表压。真空计所读数值为真空度。

对于液体来说,其在深度 h 处的压力为:

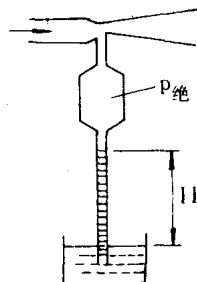
$$p = p_0 + \gamma h$$

式中 γ ——液体的重度(关于重度将在下一章中详细介绍)

p_0 ——液体表面上的绝对压力

使用此公式时,注意单位要保持一致。

例2 蒸气喷射泵水冷器上真空计读数为600[毫米汞柱],(1)求冷凝器内绝对压力为多少[公斤/厘米²],



(2) 大气腿内水的上升高度 H 为多少 [米]? 设外界大气压为 760 [毫米汞柱]。

[解]

$$(1) p_{\#} = 760 - 600 = 160 \text{ [毫米汞柱]}$$

$$= \frac{160 \text{ 毫米汞柱}}{735.6 \text{ 毫米汞柱}} \times \frac{1 \text{ 公斤/厘米}^2}{1}$$

$$= 0.218 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]}$$

$$(2) H = \frac{600 \text{ 毫米汞柱}}{735.6 \text{ 毫米汞柱}} \times \frac{10 \text{ 米水柱}}{1}$$

$$= 8.16 \text{ [米]}$$

例 3 某精馏塔塔顶压力为 0.1 [公斤/厘米²] (表压), 每块塔板压降为 50 [毫米水柱], 共 60 块板, 求塔釜绝对压力为多少? 表压为多少?

[解]

$$\text{塔釜压力 } p_{\#} = 1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} + 0.1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]}$$

$$+ \left(\frac{50 \text{ 毫米水柱}}{1000 \text{ 毫米水柱}} \times \frac{1 \text{ 米水柱}}{1} \times \frac{1 \text{ 公斤/厘米}^2}{10 \text{ 米水柱}} \right) \times 60$$

$$= 1.4 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]}$$

$$\text{表压 } p_{\#} = 1.4 - 1 = 0.4 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]}$$

例 4 一油罐表压为 0.1 [公斤/厘米²], 罐内油深 3 [米], 求罐底任何一点的压力。油的重度为 880 [公斤/米³]。

[解]

$$p = p_0 + \gamma h$$

$$= 1.1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} + 880 \text{ [公斤/米}^3\text{]} \times 3 \text{ [米]}$$

$$= 1.1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} + 2640 \text{ [公斤/米}^2\text{]}$$

$$= 1.1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} + \frac{2640 \text{ 公斤}}{\text{米}^2} \times \frac{1 \text{ 米}^2}{10^4 \text{ 厘米}^2}$$

$$= 1.1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} + 0.264 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} \\ = 1.364 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]}$$

3. 流量与流速

流量是指单位时间内流过管道或设备的某一截面的流体量。它有二种表示方法:

重量流量: 单位时间流过某一截面的流体的重量, 以 G 表示, 单位为 [公斤/秒] 等。

体积流量: 单位时间流过某一截面的流体的体积, 以 V 表示, 单位为 [米³/秒] 等。

重量流量和体积流量的关系为:

$$G = \gamma V$$

式中 γ 为流体的重度。

由于气体体积是随温度、压力变化的, 所以对于气体流量必须指明该气体所处的温度压力状态。通常以 [标准米³/小时] 表示气体流量, 这是指气体在 0 °C 和 760 [毫米汞柱] 下的体积流量。其它温度和压力下必须用气体状态方程进行校正 (气体状态方程将在下面介绍)。

流速是指流体在单位时间内流过的距离。

$$\text{流速 } W = \frac{V}{A} \text{ [米/秒]}$$

上式中 V 为体积流量, 单位为 [米³/秒], A 为管道或设备的横截面面积, 单位为 [米²]。

在稳定状态下, 流体流过管道或设备的重量流量不变, 这就是说:

$$W_1 A_1 \gamma_1 = W_2 A_2 \gamma_2 = \text{常数}$$

式中 W 为流速, A 为截面积, γ 为重度, 下标 1、2 代表管道或设备的不同的地方。此式叫稳定流动连续性方程。当流体

重度不变时，它流过管道或设备的体积流量不变，即：

$$W_1 A_1 = W_2 A_2 = \text{常数}$$

例5 一管路由内径100 [毫米] 和200 [毫米] 的钢管连接而成。已知液体在小管中流速为2 [米/秒]，试求在大管中的流速。

[解]

$$W_1 \frac{\pi d_1^2}{4} = W_2 \frac{\pi d_2^2}{4}$$

$$W_2 = W_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = 2 \times \left(\frac{0.1}{0.2} \right)^2$$

$$= 0.5 \text{ [米/秒]}$$

例6 一蒸馏塔上升蒸气量为1120 [公斤/小时]，允许塔内气体流速为0.8 [米/秒]，气体重度为1.43 [公斤/米³]，求所需塔径是多少。

[解] $\because W = V/A, A = \pi D^2/4, V = G/\gamma$

$$\therefore D = \sqrt{\frac{4G}{\pi W \gamma}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 1120 \text{ 公斤/小时}}{3.14 \times 0.8 \text{ 米/秒} \times 3600 \text{ 秒/小时} \times 1.43 \text{ 公斤/米}^3}}$$

$$= 0.589 \text{ [米]} = 589 \text{ [毫米]}$$

4. 浓度

化工生产中的许多原料和产品都是以溶液的状态存在的。由两种或两种以上的不同物质组成的均匀物料体系叫溶液。通常的溶液指的是水溶液或有机溶液。在一般情况下，溶液中存在量多的物质叫溶剂，存在量少的物质叫溶质。浓度就是用来表示溶液中溶剂与溶质存在的相对量的一个参数。化工中常用的几种浓度及其表示法为：

(1) 重量浓度、克分子浓度：二者都是表示单位体积的溶液中含有多少量的溶质。重量浓度的单位是[克(溶质)/升(溶液)], [公斤(溶质)/米³(溶液)]等, 克分子浓度的单位为[克分子(溶质)/升(溶液)]。至于“克分子”是什么意思, 我们在后面再作介绍。

(2) 重量分数: 若溶液是由组分 1, 组分 2, ……所组成, 组分 1, 2, ……的重量分别为 $G_1, G_2, \dots$, 则组分 1 的重量分数为

$$a_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2 + \dots} = \frac{G_1}{G_{\text{总}}}$$

即
$$\frac{\text{组分 1 的重量}}{\text{溶液的总重量}}$$

重量分数常用于固体或液体, 它不随温度压力而变化, 对固体易于测量。在许多情况下又常用重量百分数(重量分数乘以 100%)表示。

(3) 体积分数: 若溶液是由组分 1, 组分 2, ……所组成, 组分 1, 2, ……的体积分别为 $V_1, V_2, \dots$, 则组分 1 的体积分数为

$$v_1 = \frac{V_1}{V_1 + V_2 + \dots} = \frac{V_1}{V_{\text{总}}}$$

即
$$\frac{\text{组分 1 的体积}}{\text{溶液的总体积}}$$

体积分数常用于气体。在许多情况下应用体积百分数(体积分数乘以 100%)表示。

(4) 分子分数: 若溶液是由组分 1, 组分 2, ……所组成, 组分 1, 2, ……的克分子数分别为 $n_1, n_2, \dots$, 则组分 1 的分子分数为

$$x_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + \cdots} = \frac{n_1}{n_{\text{总}}}$$

即

$$\frac{\text{组分 1 的克分子数}}{\text{溶液的总克分子数}}$$

当知道了溶液中各组分的重量和分子量时，可由下式求得分子分数：

$$x_1 = \frac{\frac{G_1}{M_1}}{\frac{G_1}{M_1} + \frac{G_2}{M_2} + \cdots}$$

式中 $G_1, G_2, \cdots$ 分别为组分 1, 2, $\cdots$ 的重量， $M_1, M_2, \cdots$ 分别为组分 1, 2, $\cdots$ 的分子量。分子分数常用于发生化学反应时。对于气体来说，分子分数与体积分数相等，即 $x = v$ 在许多情况下常用分子百分数（分子分数乘以 100%）表示。

（5）比重量分数、比分子分数：比重量分数为溶质与溶剂的重量之比；比分子分数为溶质与溶剂的克分子数之比。

$$\text{比重量分数} = \frac{G_{\text{溶质}}}{G_{\text{溶剂}}} \quad \text{即} \quad \frac{\text{公斤(溶质)}}{\text{公斤(溶剂)}}$$

$$\text{比分子分数} = \frac{n_{\text{溶质}}}{n_{\text{溶剂}}} \quad \text{即} \quad \frac{\text{克分子(溶质)}}{\text{克分子(溶剂)}}$$

例 7 求重量百分数为 80% 的乙醇 - 水溶液中乙醇的分子百分数（乙醇和水的分子量分别为 46 和 18）。

[解]

$$x = \frac{\frac{80}{46}}{\frac{80}{46} + \frac{20}{18}} = 0.61 = 61\%$$

例8 配制200 [毫升] 乙二醇70%、乙醇15%和水15% (以上组成均为重量百分数) 的混合溶液, 问三个组分各用多少 [毫升]? 它们的比重依次为1.11, 0.79, 1, 混合物比重为1.03。

[解]

$$\frac{G_{\text{乙二醇}}}{G_{\text{总}}} = \frac{V_1 d_1}{V_{\text{总}} d} = \frac{V_1 \times 1.11}{200 \times 1.03} = 70\%$$

$$V_1 = \frac{200 \times 1.03 \times 0.7}{1.11} = 129.9 \text{ [毫升]}$$

同理

$$V_2 = \frac{200 \times 1.03 \times 0.15}{0.79} = 39.1 \text{ [毫升]}$$

$$V_3 = V_{\text{总}} - V_1 - V_2 = 31 \text{ [毫升]}$$

∴ 需用129.9 [毫升] 乙二醇, 39.1 [毫升] 乙醇, 31 [毫升] 水。

二、化工计算中几个重要参数之间的关系

这里主要介绍对于气体来说, 温度、压力、体积和分子分数之间的关系。这些基本关系在化工计算中是很重要的。

1. 气体状态方程

在工业生产中, 经常听到讲气体状态方程。那末, 究竟什么是气体状态方程呢? 在这里, 首先有必要了解一下有关气体的几个基本定律:

(1) 波义耳-马略特定律: 温度不变时, 一定质量的气体的压力 (P) 同它的体积 (V) 成反比。其数学表达式为:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

(2) 给·吕萨克定律: 一定质量的气体, 在压力不变的

条件下，它的体积（ V ）同绝对温度（ T ）成正比。其数学表达式为：

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

（3）查理定律：一定质量的气体，在体积不变的条件
下，它的压力（ p ）同绝对温度（ T ）成正比。其数学表达式为：

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

上述的三个气体基本定律都是在压力不太高（同大气压力比较）、温度不太低（同室温比较）的条件下总结出来的。而且，这几个定律都只是说明了在气体状态的三个物理量——体积、压力、温度中，一个物理量固定不变时其余两个物理量之间的关系。可是，在工业生产中这三个物理量往往是同时发生变化的。所以有人从上述气体基本定律出发，推导出一定质量的气体的体积、压力和温度同时发生变化时它们相互间的关系。表述这些关系的数学式就叫做气体状态方程。它包括理想气体状态方程和实际气体状态方程。

所谓实际气体是指实际存在的气体。一般说来，实际气体能近似地符合上述气体的三个基本定律，但当压力很大、温度很低时，由上述气体基本定律得出的结果和实际测出的结果有很大的偏差。但是，为了研究的方便，有人设想了一种严格遵守上述气体三个基本定律的气体，并把它叫做理想气体。当然，理想气体是不存在的，它只是实际气体在一定程度上的近似。有许多实际气体，在通常的温度和压力下，它们的性质很近似于理想气体的性质，可以把它们当做理想气体来处理。这样处理的结果，误差很小，计算起来却简便