

化学工业过程及设备 例题与习题

天津大学化工原理教研组编

高等教育出版社

本书系由天津大学无机化工系化工原理教研室的全体教师集体编写而成。本书的内容和顺序,概以1956年本社出版的张洪沅、丁绪淮、顾毓珍编著的“化学工业过程及设备”一书为依据,可作为配合该书的一本“例题与习题集”。

本书共包括十五章。除绪论外,在流体动力过程方面有流体力学的基本原理,液体的输送,气体的压缩与输送,气相非均一系的分离,液相非均一系的分离和物料的搅拌等章;在热过程方面有传热,加热、冷却与冷凝,蒸发和结晶等章;在扩散过程方面有物质传递原理,干燥,液体的蒸馏和吸收等章;在冷冻操作方面有冷冻一章。在书末有备查用的附表和附图。

本书可以作为化工学院及化工系各专业学生学习“化学工业过程及设备”课程的教学参考书,也可作为化学工业过程及设备方面的一般性参考书。

化学工业过程及设备例题与习题

天津大学化工原理教研室编

高等教育出版社出版 北京宣武门内承恩寺7号

(北京市书刊出版业营业许可出字第054号)

民族印刷厂印装 新华书店发行

统一书号 15010·808 开本 850×1168 $1/32$ 印张 9

字数 202,000 印数 0001—5,000 定价(7) 1.20

1959年9月第1版 1959年9月第1次印刷

目 录

緒論	1
物料衡算	3
因次式的建立与单位的换算	7
习题	11
第一章 流体力学的基本原理	14
例题	14
习题	31
第二章 液体的輸送	38
例题	38
习题	48
第三章 气体的压缩与輸送	52
例题	52
习题	61
第四章 气相非均一系的分离	65
例题	65
习题	74
第五章 液相非均一系的分离	76
例题	76
习题	93
第六章 物料的攪拌	97
例题	97
习题	99
第七章 傳热	100
例题	100
习题	124
第八章 加热、冷却与冷凝	130
例题	130
习题	142
第九章 蒸发	147

01544

例题	147
习题	159
第十章 结晶	163
例题	163
习题	166
第十一章 物质传递原理	167
例题	167
习题	169
第十二章 干燥	171
例题	171
习题	187
第十三章 液体的蒸馏	192
例题	192
习题	203
第十四章 吸收	207
例题	207
习题	222
第十五章 冷冻	226
例题	226
习题	233
附表	235
附表 I. 公制单位内部换算	235
附表 II. 英制单位换算公制单位	236
附表 III. 某些元素的原子量	237
附表 IV. 固体物料的重度和整体重度	238
附表 V. 某些液体在 0—20° 时的重度	239
附表 VI. 某些气体的主要物理性质	240
附表 VII. 水的物理性质	242
附表 VIII. 水的粘度	243
附表 IX. 某些水溶液的粘度	244
附表 X. 计算粘度用的原子常数	245
附表 XI. 计算粘度的原子常数校正值	245
附表 XII. 局部阻力的当量长度 ($L_{\text{当量}} = nd$)	246
附表 XIII. 局部阻力系数	246
附表 XIV. 无缝钢管(苏联标准)	248

附表 IV. 鋼质气体导管(苏联标准).....	249
附表 XVI. 国产部分有縫鋼管規格.....	249
附表 XVII. 国产甲式 K 型水泵規格(附剖面图).....	250
附表 XVIII. 国产乙式 K 型水泵規格.....	252
附表 XIX. 苏联 KH3·XH3 与 4H3 型耐酸泵規格.....	254
附表 XX. 苏联若干种鼓风机規格.....	256
附表 XXI. 各种海拔的大气压强.....	259
附表 XXII. 某些液体的表面張力.....	259
附表 XXIII. 某些水溶液的表面張力.....	260
附表 XXIV. 某些固体在 0—100°C 时的平均比热.....	261
附表 XXV. 某些液体的平均比热.....	262
附表 XXVI. 某些气体在 $p=1$ [绝对大气压] 下的分子比热.....	262
附表 XXVII. 定容时从 0° 到 t °C 的平均分子比热的温度函数.....	262
附表 XXVIII. 某些固体物料在 0°—100°C 时的导热系数.....	263
附表 XXIX. 某些水溶液的导热系数.....	264
附表 XXX. 某些气体在 $p=1$ [绝对大气压] 下的导热系数 λ	264
附表 XXXI. 某些液体的气化热.....	265
附表 XXXII. 水的体积膨胀系数.....	266
附表 XXXIII. 某些液体在 $\sim 20^\circ\text{C}$ 时的体积膨胀系数.....	266
附表 XXXIV. 某些水溶液在大气压下的沸点.....	267
附表 XXXV. 某些盐类在水里的溶解热.....	268
附表 XXXVI. 飽和水蒸汽在从 -20° — $+100^\circ\text{C}$ 时的压强.....	268
附表 XXXVII. 飽和水蒸汽(以溫度計).....	270
附表 XXXVIII. 飽和水蒸汽(以压强計).....	272
附图.....	274
附图 I. 导管算图.....	274
附图 II. 管壁具有不同糙度的管内摩擦系数与 Re 准数的关系.....	275
附图 III. 液体的比热算图.....	276
附图 IV. 自然对流的 α 算图 ($Gr \cdot Pr < 20 \times 10^3$).....	278
附图 V. 自然对流的 α 算图 ($Gr \cdot Pr > 20 \times 10^3$).....	280
附图 VI. 蒸汽冷凝时的 α 算图.....	281
附图 VII. 溶液沸点升高与濃度(重量%)的关系.....	282

緒 論

化工过程及设备的計算問題，可以归納成下列两大类：

(一)給予一定的生产任务：(1)計算原料与产品之間的数量关系；(2)計算能量、蒸汽、水及其他热能介质的消耗量；(3)計算所需设备的尺寸(也包括设备的正确安排，操作条件的合理选择)。这种計算称为設計計算，用于設計新的设备，以实现一定的化工过程，完成指定的生产任务。

(二)針對已在运轉的设备，計算其原料消耗、能量消耗、设备尺寸是否与所完成的生产任务相称。各种数据都是在生产过程中測得的。这种計算称为查核計算，其目的是分析操作条件是否合理，設計是否完善，作为改善设备与操作方法的依据，以便提高生产操作强度。有时，查核計算中所求得的结果，也可拿来作为設計計算的参考資料。

进行上述二类計算时所应用的工具，也就是“化学工业过程及设备”一課程中所論述的基本原理：物料衡算、热量衡算、平衡关系、速率关系。物料衡算用于决定产品量与原料消耗量的关系；热量衡算用于决定热能消耗量；平衡关系与速率关系，則是計算设备尺寸时所必須的。

本課程中的例題与习题，并不是每一个都可以归入上述两类計算之中，实际上例題与习题的大多数，都是为了闡明基本原理，訓練計算工具的运用，而为全面的計算作准备。所以，一个題目往往只涉及問題的一个部分，問題的全面解决，属于課程設計的范围。但是学生如果不能切实掌握解决問題各別部分的原則与方法，則全面的計算是无法进行的。所以，学生不仅要對課程的内容

理解透彻,并且要对上述计算工具灵活而熟练地运用。

为了作到能在计算上技巧熟练而少出错误,应该开始练习作题之时,养成下面的良好习惯并于以后坚持不懈。

着手解题时,首先绘出设备的简图,一般只需以一小方块表示一设备(有时也可用设备的简略外形来表示),重要的是用箭头表示物料与能量的流动方向。图中要注明已知的尺寸(长度、直径等)及各种量(加料量、流动速率等),并连符号一并注出;对于未知的量,可只注符号。

其次应将题中所给的数据及其单位(如重度、比热以及各种速率系数等)列出。最好是预先将各种数据都换算成合用的单位,以便于进行运算时直接使用,这样作还可以避免于计算当中引入不合适的单位,而致结果错误。这种事情,在运算不够熟练时,稍一疏忽往往就会遇到的。

解题时可能遇到题中所给数据不足的情况,这时应于教科书、参考书或各种手册中将所需数据查出(张洪沅、丁绪淮、顾毓珍编著的“化学工业过程及设备”书之末以及本例题习题书之末,均附有若干图表,解题时用到的数据,一般都已包括在内)。查出的数据,亦应清楚列出。如数据是从不常用的图书中查得的,应注明书名页次,以备查考。

进行计算时不免要应用各种公式。在运用一个公式之先,首要的事情是查明该公式之适用范围,式中各符号所代表的意义与单位,确实认定该式可应用于本问题之解决并明了其用法以后,才能将已知数字代入。寻找现成的公式,机械地套用,往往是造成错误的主要原因;即使因而求得正确之答案,对真正掌握计算方法亦没有甚么帮助。如能从普遍公式出发解题,即由普遍式自行推导到适合于题中的特殊情况。然后代入已知数字,有时收获更大。这样一方面可以发挥独立思考,灵活运用公式,另一方面也可以研

究題中各因素所起的影响,使得对問題的了解更深入。

对比較复杂的算題,应将其分成若干步驟而求解,每一步驟应标以小标题,以資醒目,以便复核。每一步完結之后,应即檢驗所求得之数字是否正确,否則中途发生錯誤,后面的計算方法虽然正确,結果仍属錯誤,浪費精力。檢驗的方法,除复查計算方法而外,分析結果是否合理,是否与实际情况相去甚远,有时亦很有帮助。

对計算結果所要求的准确程度,很难一概而論。首先要看所根据的数据本身的可靠程度,所使用的計算公式(尤其是經驗式)对所考慮的問題的适用程度。在化工設計的計算中,20%的差誤是可容許的,在特殊情况下,可容許的差誤还可以更大。但是,在作习题时,純粹由于运算而引起的差誤,一般应以5%为限。在計算当中过分地追求数字的精确,也是不切实际的,这只有徒然增加解題所費時間。大多数化工計算,算至第三位有效数字便可以,这也就是使用計算尺所能达到的。同时学生也应善于判断对数字准确程度的要求。例如某一結果須由一个大数字(譬如說,500)加上或减去一个小得多的数字(譬如說,1.5)而求得,則小数字算得过分精确,是沒有意义的。有时,某一結果須从两个相差很小的数字相減而求得(例如 $50.5 - 49.55$),則該两数字都应力求使其尽量精确,而且,只其中之一充分精确也是沒有用的。

以上所述,主要是針對較复杂的問題的求解来說的,但初学者在作較簡單的算題时,同样也应加以注意。

物料衡算

进行物料衡算时,有两点应特別注意。首先是要規定出衡算的系統,即計算对象所包括的范围。在工艺計算中,往往是以一个生产过程作为衡算的系統,而在化学工业过程与設備的計算中,則通

常是以一組設備或一个設備作为一个系統。根据已知量与未知量所牽涉的范围，有时可以将主要設備与附属設備联合而构成一个系統，在少数个别情况下，也有以設備的一部分作为一个系統的。規定出的系統即認為与其他部分脫离而独立，此系統与其他設備或与周圍空間之間的物流方向，都于图中用箭头表示出来：凡是指向此系統的，都属輸入(G_1)，凡是从此系統引出的，都属輸出(G_2)，而令 $\sum G_1 = \sum G_2$ 。

其次，要規定出一个衡算的基准。在間歇操作中，一般以一次操作为基准；在連續操作中，則以单位時間(例如 1 小时)为基准。代入上述物料衡算方程式中的一切物料量，均应符合于此基准所規定的大小。显而易见，在一个物料衡算方程式中絕不能应用两个不同的基准。所以，在进行計算之先，明确地定出所用的基准，以便計算过程中时时注意，是十分重要的。

物料衡算的基本原則是列出若干个独立的方程式，其数目与未知量的数目相等。因为物料衡算可以按参与过程的物料总量而进行，也可以按其中之某一組分而进行，故列出不止一个独立的方程式是可能的，張洪沅等編著的“化学工业过程及设备”上册第 5 頁中的例題(一)，就是这种情形。

最后，还应附帶說明一下，物料衡算中物料的量，可以重量表示，也可以分子数表示，但一般都不宜用体积表示。只有理想气体及系統中温度压强不变时，因体积与分子数成正比，物料衡算中的物料量才可以用体积来表示。同时，記住理想气体的体积%与分子%相等这个关系，在計算时也是很有用的。为了闡明上举各要点的实际意义，更举二例子后。

例 1. 某一間歇操作的真空干燥器，每次操作可干燥 500 [千克]物料。湿物料中含溶剂 10% (重量)，干燥后的物料含溶剂 1%。問每次操作中排除的溶剂是多少。

解：本題的系統即干燥器本身，基準為一次操作，即 500 [千克] 未干燥的物料。於是本題之解法如下。先繪出簡圖：

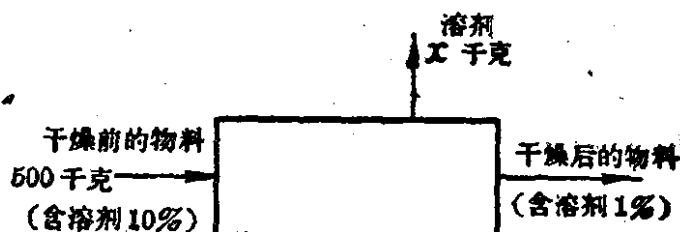


圖 0-1.

基準——500 [千克] 未干燥的物料

設蒸出的溶劑重量 = x [千克]，則

干燥后的物料重量 = $(500 - x)$ [千克]

溶劑的物料衡算：

$$500(0.1) = x + (500 - x)(0.01) \quad 50 = x + 5 - 0.01x$$

解上式，得： $x = 45.5$ [千克]。

附注 表面上看，上解只用了一個物料衡算方程式，即溶劑的物料衡算。實質上，我們規定干燥后的物料量為 $(500 - x)$ [千克]，也就是作了一個總物料衡算。

本題還有更簡捷的解法，而不必涉及解方程式以求未知項。我們知道，對於 1 [千克] 含溶劑 10% 的濕物料來說，其中有 0.1 [千克] 溶劑，0.9 [千克] 絕對干燥的物料（即不含溶劑的物料），也就是每 1 [千克] 絕對干燥物料帶有 $\frac{0.1}{0.9}$ [千克] 溶劑。同樣，對於干燥后的物料來說，每 [千克] 絕對干燥的物料帶有溶劑 $\frac{0.01}{0.99}$ [千克]。在每一次操作中，共處理 (500×0.9) [千克] 絕對干燥物料，故移去的溶劑量可通過下式直接求出：

$$(500 \times 0.9) \left(\frac{0.1}{0.9} - \frac{0.01}{0.99} \right) = 45.5 \text{ [千克]。}$$

這一解法的關鍵，是取過程中不起變化的一個量作為計算的基準，在這里是以 (500×0.9) [千克] 絕對干燥物料為基準。以後可以看

到,这个方法在化工计算中很有用。

例 2. 有一连续操作的酒精蒸馏塔, 每小时送入 40% (重量) 的酒精 3 吨。从塔顶蒸出的蒸气, 含酒精 90%, 通入一冷凝器全部冷凝, 所得的液体 (90% 酒精) 取出一部分作为产品, 其余部分回流入塔。回流量与产品量之比为 2.5:1。从塔底送出的残液中含酒精 5%。试求每小时的产品量与残液量, 又求每小时送入冷凝器的蒸气量。

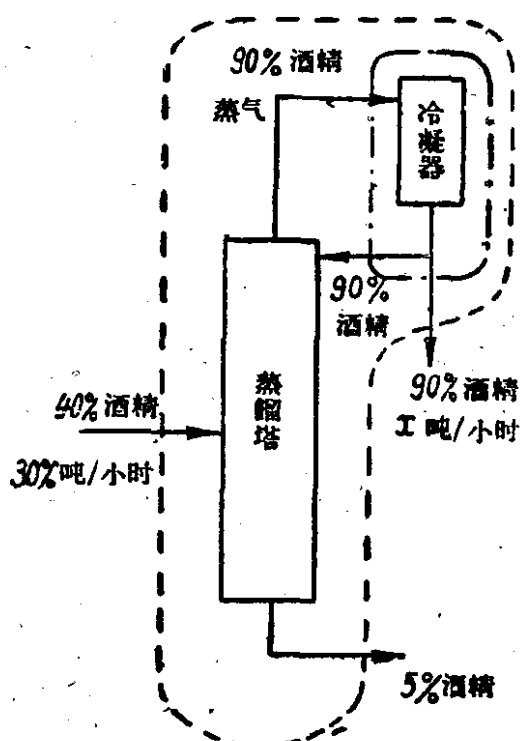


图 0-2.

器的蒸气量。

解: (1) 求产品量与残液量

因料液是流入蒸馏塔的, 废液是从蒸馏塔流出的, 而产品是从冷凝器中取出的, 故必须以蒸馏塔 (主设备) 与冷凝器 (附属设备) 联合而成一系统, 如图中的折线所示。

此为一连续过程, 故可取:

基准——1 小时

设 x = 产品量, [吨]。

则 $3-x$ = 残液量, [吨] (从系统的总物料衡算)。

从系统的酒精衡算, 即可求得产品量:

$$3(0.4) = x(0.9) + (3-x)(0.05)$$

$$1.2 = 0.9x + 0.15 - 0.05x$$

$$x = \frac{1.2 - 0.15}{0.9 - 0.05} = \frac{1.05}{0.85} = 1.24 \text{ [吨]} \text{ (每小时产品量)}$$

$$\text{小时残液量} = 3 - 1.24 = 1.76 \text{ [吨]}。$$

(2) 求送入冷凝器的蒸气量

显然, 此时的系统可只包括冷凝器, 如图中的点折线所示。又

所用之基准同前。

因回流量与产品量的比率为 2.5:1, 今已求得产品量为每小时 1.24[吨], 故每小时之回流量为

$$1.24 \times 2.5 = 3.1[\text{吨}].$$

由系统的总物料衡算, 即可求得每小时进入冷凝器的蒸汽量为

$$1.24 + 3.1 = 4.34[\text{吨}].$$

同样, 如以蒸馏塔本身作为一个系统, 亦可求得此结果。

因次式的建立与单位的换算

因次式的建立 要确定某一量的因次式, 可以根据这个量的定义, 也可以从表示这个量的公式来推导。

例 3. 求压强在绝对单位制(C. G. S.) 与工程制(M. K. S.) 中的因次式。

解: 压强为每单位面积上所作用的力, 即

$$p = \frac{P}{F}.$$

(1) C. G. S. 制

$$[p] = \left[\frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2} \right] = \left[\frac{\text{克(质)} \cdot \text{厘米}/\text{秒}^2}{\text{厘米}^2} \right] = \left[\frac{\text{克(质)}}{\text{厘米} \cdot \text{秒}^2} \right] = [ML^{-1}\tau^{-2}];$$

(2) M. K. S. 制

$$[p] = \left[\frac{\text{千克}}{\text{米}^2} \right] = [FL^{-2}].$$

例 4. 通过平壁而传导的热量, 可用下式表示:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F (t_1 - t_2) \tau$$

式中, Q ——热量; δ ——壁的厚度; F ——壁的面积; $t_1 - t_2$ ——

壁两面之间的温度差； τ ——时间。

试根据此一关系式，定出导热系数 λ 在C. G. S. 制的因次式，其中温度一项，可用第四个独立的因次 T 来表示。

解：热量是能量的一种形式，故仍具有能量（即功）的因次，在C. G. S. 制中为 $ML^2\tau^{-2}$ 。所以

$$[\lambda] = \left[\frac{Q\delta}{F \cdot \Delta t \cdot \tau} \right] = \left[\frac{ML^2\tau^{-2} \cdot L}{L^2 \cdot T \cdot \tau} \right] = [ML\tau^{-3}T^{-1}]$$

附注 在C. G. S. 制中，热量的单位为[卡]，机械能的单位[尔格]，二者之间的数值关系可以通过一个无因次的“热功当量” J 互相转换。（ $J = 4.185 \times 10^7$ ，即1[卡] = 4.185×10^7 [尔格]）

单位换算 单位换算在化工计算中非常重要。化学工程师的工作，与小规模的实验室操作和大规模的工业生产同时发生关系，因此两种单位制的换算问题，经常遇到。此外，在外国文献中，还会遇到用F. P. S. 制（呎—磅—秒）表示的单位，所以也有必要懂得如何将其换算成C. G. S. 制或M. K. S. 制。

经验证明，化工计算中的单位换算，不仅常常令初学者造成混乱，就是很有经验的人，如在运算中不遵守一定的规则，也会发生错误。然而，换算的规则是非常简单的，问题是要切实遵守它。

进行单位换算，应先知道各种量用不同的单位表示时，它们的数值大小的关系，即换算因数。本书附录中的附表I是公制单位内部的换算因数，附表II是英制单位换算成公制单位时所用的换算因数。

单位换算所应遵守的一条基本规则是，一个复合单位中任何一个各别的单位，要换算成其他单位时，要连同其换算因数一起换算。例如要将密度从[克(质)/厘米³]换算成[千克(质)/米³]，可将“克(质)”改写成“ $\frac{1}{1000}$ 千克(质)”，“厘米”改写成“ $\frac{1}{100}$ 米”，然后代入原来的单位，即

$$1 \left[\frac{\text{克(質)}}{\text{厘米}^3} \right] = 1 \left[\frac{\frac{1}{1000} \text{ 千克(質)}}{\left(\frac{1}{100} \right)^3} \right] = 1000 \left[\frac{\text{千克(質)}}{\text{米}^3} \right].$$

在牽涉到質量與重量(力)之間的換算時, 記住: $1 [\text{千克(力)}] = 9.81 [\text{千克(質)米/秒}^2]$ 以及 $1 [\text{达因}] = 1 [\text{克(質)·厘米/秒}^2]$ 或 $1 [\text{克(力)}] = 9.81 [\text{克(質)·厘米/秒}^2]$, 於是

$$\begin{aligned} 1 \left[\frac{\text{克(質)}}{\text{厘米}^3} \right] &= 1000 \left[\frac{\text{千克(質)}}{\text{米}^3} \right] = 1000 \left[\frac{\text{千克(力)·秒}^2/9.81 \text{ 米}}{\text{米}^3} \right] \\ &= \frac{1000}{9.81} \left[\frac{\text{千克(力)·秒}^2}{\text{米}^4} \right]. \end{aligned}$$

將上述規則稍加改變, 也可以用來將以一種單位制表示的公式轉換成以另一種單位制表示的公式。

例 5. 在氣體方程式 $pV = nRT$ 中, $R = 82.07 [\text{大氣壓·厘米}^3/\text{克分子·}^\circ\text{K}]$

(1) 若壓強 p 用 $[\text{千克/米}^2]$ 、體積 V 用 $[\text{米}^3]$ 、分子數 n 用 $[\text{千克分子}]$ 、溫度 T 用 $[\text{}^\circ\text{K}]$ 表示, 求 R 的數值與單位。

(2) 若 R 的單位以 $[\text{千卡/千克分子·}^\circ\text{K}]$ 表示, 求它的數值。

(3) 若壓強 p 用 $[\text{磅/呎}^2]$ 、體積 V 用 $[\text{呎}^3]$ 、分子數 n 用 $[\text{磅分子}]$ 、溫度 T 用 $[\text{}^\circ\text{R}]$ 表示, 求 R 的數值與單位。

附: $1 [\text{呎}] = 0.3048 [\text{米}] = 30.48 [\text{厘米}]$

$1 [\text{磅}] = 0.4536 [\text{千克}] = 453.6 [\text{克}]$

$1 [^\circ\text{K}] = 1.8 [^\circ\text{R}]$

$1 [\text{大氣壓}] = 10330 [\text{千克/米}^2] = 14.7 [\text{磅/吋}^2]$

$1 [\text{吋}] = 2.54 [\text{厘米}]$

$1 [\text{千卡}] = 427.1 [\text{千克·米}]$

$$\begin{aligned} \text{解: (1) } R &= 82.07 \left[\frac{\text{大氣壓·厘米}^3}{\text{克分子·}^\circ\text{K}} \right] \\ &= 82.07 \left[\frac{10330 \text{ 千克/米}^2 \cdot (\text{米}/100)^3}{\text{千克分子}/1000 \cdot ^\circ\text{K}} \right] \end{aligned}$$

$$= 848 \left[\frac{\text{千克/米}^2 \cdot \text{米}^3}{\text{千克分子} \cdot ^\circ\text{K}} \right],$$

$$(2) R = 848 \left[\frac{\text{千克/米}^2 \cdot \text{米}^3}{\text{千克分子} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

$$= 848 \left[\frac{\text{千克} \cdot \text{米}}{\text{千克分子} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

$$= 848 \left[\frac{\text{千卡}/427.1}{\text{千克分子} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

$$= 1.987 \left[\frac{\text{千卡}}{\text{千克分子} \cdot ^\circ\text{K}} \right];$$

$$(3) R = 82.07 \left[\frac{\text{大气压} \cdot \text{厘米}^3}{\text{克分子} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

$$= 82.07 \left[\frac{14.7 \text{ 磅}/(\text{呎}/12)^2 \cdot (\text{呎}/30.48)^3}{\text{磅分子}/453.6 \cdot 1.8^\circ\text{R}} \right]$$

$$= 1540 \left[\frac{\text{磅}/\text{尺}^2 \cdot \text{尺}^3}{\text{磅分子} \cdot ^\circ\text{R}} \right].$$

例 6. 水分自静止的水面蒸发到空气中的速率 G , 可用下式计算:

$$G = 2.45w^{0.8}\Delta p [\text{磅}/\text{呎}^2 \cdot \text{小时}]$$

式中, w ——水面上空气流动的速度, [呎/秒];

Δp ——在空气温度下水的饱和蒸汽压与空气中水蒸汽分压之差, [大气压]。

试将上式加以转换, 使 G 以 [千克/米²·小时]、 w 以 [米/秒]、 Δp 以 [毫米汞柱] 表示。

解: 本题须要解决的问题, 是将上式转换成另一种形式, 具体说来是改变式中系数的值, 使 w 、 Δp 用以公制单位表示的数值直接代入, 便能求得以公制单位表示的 G , 而不必须将以公制单位表示的 w 、 Δp 先化成英制单位代入, 然后又将求得的 G 化成公制单位。

这样, 便必须将此公式进行单位的转换工作。原来的 w 是以

[呎/秒]表示的,如我們要将用[米/秒]表示的 w' 值代入,应先将这个数值乘以 $\frac{1}{0.3048}$,也就說,应以 $\frac{w'}{0.3048}$ [米/秒] 替換式中之 w [呎/秒]; 同样,应以 $\frac{\Delta p'}{760}$ [毫米汞柱] 替換式中之 Δp [大气压]。故此式变成

$$G = 2.45 \left(\frac{w'}{0.3048} \right)^{0.8} \left(\frac{\Delta p'}{760} \right)$$

这样算出来的 G , 单位仍然是[磅/呎²·小时], 故还要用例 5 的方法将其換算成[千克/米²·小时], 于是

$$G' = 2.45 \left(\frac{w'}{0.3048} \right)^{0.8} \left(\frac{\Delta p'}{760} \right) \left[\frac{0.454 \text{ 千克}}{(0.3048 \text{ 米})^2 \cdot \text{小时}} \right],$$

所以
$$G' = 0.0406 w'^{0.8} \Delta p' \left[\frac{\text{千克}}{\text{米}^2 \cdot \text{小时}} \right],$$

即
$$G = 0.0406 w^{0.8} \Delta p \left[\frac{\text{千克}}{\text{米}^2 \cdot \text{小时}} \right].$$

值得注意的是,原公式右侧各项的单位換算是从新单位換成原有的单位,以适合原来公式之規定;但是表示公式結果的单位,仍按普通单位換算的規則进行。

习 題

1. 某糖厂用一蒸发設備将 15% (重量) 的蔗糖溶液濃縮至 60%。蒸发器每 1 [小时] 可处理 100 [吨] 稀溶液。試求每小时的水分蒸发量。

2. 取含 21.5% KCl 与 16.9% NaCl 的盐液冷却,使其中之 KCl 部分地結晶而出,而 NaCl 全部留于溶液里。由結晶器放出的母液含 14.1% KCl 与 18.5% NaCl。計算: (1) 每吨最初盐液所得的母液量; (2) KCl 結晶而出的百分率。

3. 含氧 2.4% (体积) 的氦气通过一陶瓷管,为了測定氦气的流量,每分鐘向管中通入 10 [米³] 空气 (含氧 21%), 在管子下游氦气与空气充分混合

处，取混合气体进行分析，得知其中含氧 8.5%。试求管中每分钟原有若干 [米³] 氯气 (含氧 2.4%) 通过 (各气体均可视为理想气体)。

4. 有一连续操作的干燥器，如图 0-3。湿料不断自左方送入，干料不断自右方取出，热空气不断自右方通入，自左方排出，以除去物料中的水分。送入的湿料的水分含量为 w_1 (以绝对干物料为基准，即此湿料中，每 1 [千克] 绝对干燥的物料带有 w_1 [千克] 水分)，送出的干料中，水分降至 w_2 。空气的使用量为每 1 [千克] 绝对干物料用 m [千克] 绝对干空气。空气送入时的湿含量为 x_1 (即此空气中，每 1 千克绝对干空气带有 x_1 千克水分)，排出的空气湿含量提高至 x_2 。试证：

$$m = \frac{w_1 - w_2}{x_2 - x_1}$$

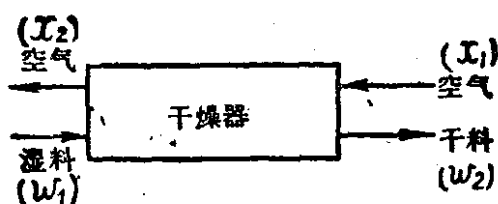


图 0-3.

5. 设从右方出口排出的湿含量为 x_2 的空气中，有 n 千克 (以绝对干燥者为准) 循环送回右方，与送入的 m 千克 (以绝对干燥者为准) 湿含量为 x_1 的空气相混，成为湿含量为 x_3 的空气，送入干燥器，如图 0-4。试证：

$$\frac{n}{m} = \frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_3}$$

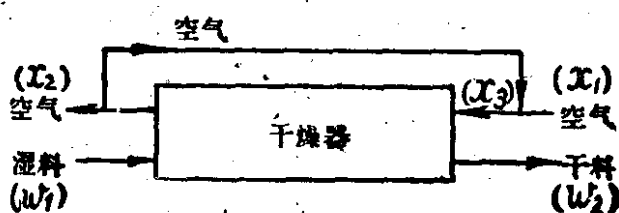


图 0-4.

若其他条件与上题相同，问原空气 (湿含量 x_1) 的使用量有何变化？

6. 液体在一定温度时的表面张力的意义是，为克服液体内部分子的吸引力而形成一单位面积新表面所需的功。试列出表面张力 σ 的因次式，以 C. G. S. 制及以 M. K. S. 制表示。

7. 流体的粘度的定义，是由牛顿粘性定律引出的：