

食品生產过程与机械

第一册

南京工学院食品工业系

食品生产过程与机械教研组編初稿

食品生產過程與機械講義

第一章

緒論

第一節 本課程的意義及內容

第一項 本課程意義：

在各種不同的食品工廠中有很多原理相同的操作，應用着很多同類型的機械，如流體的輸送，熱的傳遞，蒸發、乾燥、蒸餾等，這些共同的操作我們稱為“單元操作”；食品生產過程與機械過程就是學習與研究，食品工廠中這些共同操作的原理，及其有關的生產量，所用的功率，所用的熱量，機械效率等的計測及初步設計問題，並對於進行各種操作的設備構造作初步的認識，並以後的專業學習（如發酵劑製造工藝，制糖工業，油脂工業，食糧加工等）中，把這些單元操作按照生產需要前後聯繫起來，對本專業的生產知識，作更進一步的研究，並在生產實習中取得工廠實際經驗，就完全可能在畢業時合於工程師的要求，食品工程師在業務上應當具備下列條件：

- (1) 熟諳本專業生產過程及化工操作的原理
- (2) 熟諳本專業的各种機械設備及實際操作，以管理特別是改進生產操作。

第二項 本課程的內容

按照蘇聯食品工業高等學校各工藝專業用的食品工業生產過程及設備課程的教學大綱，共分下列各項單元

I. 熱操作——包括熱的傳遞、加熱及冷凝（為講授方便將加熱附於傳熱章內，冷凝則附於蒸發章）蒸發、蒸餾、乾燥等。

II. 物理化學的處理過程——包括吸附，萃取，結晶等。

III. 機械處理過程——包括氣相懸浮系的分離，液相懸浮系的分離，混合固體粉碎及節析及固體輸送等。另外有關流體輸送部分，則另由單獨課程“水力學，泵與鼓風機”講授，不包括在本課程之內。

第三項 各種單元操作中的基本現象

食品工業的單元操作內容雖多，但隨生產方法的是否連續而有所不同，但基本現象，不外兩者，即

- (1) 傳熱——熱量的傳遞
- (2) 傳質——質量的傳遞

傳熱和傳質可以單獨地進行，也可以同時兼有傳熱和傳質

要说明传热和传质的基本现象，主要是了解热量和质量是怎样传递的？控制的因素是什么？根据不同的情况怎样来选择或创造有利的条件。

第二节 食品工程师应具备的基本概念

第一项 物料平衡（或称物料核算，亦名物料清称）

由物质不灭定律，知道在加工处理前物料的总重量 G_1 必与处理后所得物料的总重量 G_2 相等，即

$$\text{进口量} = \text{出口量}$$

$$\text{或 } G_1 = G_2 \text{ --- (1-1)}$$

但在实际上，处理过程中，物料常有损失，因而处理后的总重量 G_2 ，常较处理前的总重量 G_1 为小，故(1)式应写为

$$G_1 = G_2 + G_n \text{ --- (1-2)}$$

式中 G_n = 损失的物料，与处理前后物料同一单位，(2)式为物料平衡方程式，适用于任何操作的整个过程或任一步骤，此式亦可同任一成份为基准，在物料清称时常选择最便于计算的成份作为基准，以列出物料平衡式，在对化学过程中其物料作出物料平衡时，还必须依靠反应方程式

物料平衡对于制造过程的正确进行上，有很大的实用意义，在设计新的生产工作中，可以使我們更正确地选择制造过程的流程图及机械大小，在实际生产操作过程中，物料平衡可以揭示物料的浪费，定出副产品及杂质的成份和数量，以及拟定减少副产品及杂质的途径。

物料平衡反映着生产过程完善的程度及生产情况，物料平衡列得越完全，则该技术操作研究得愈细致，损耗及副产品愈少，则操作进行愈为正确。

如果不能列出物料平衡，就表示该操作还研究得不够，在物料平衡式中如有大量损耗存在，则表示操作经营不善，生产工作恶劣，无严密的操作规程。

第二项 成品率

操作进行完毕后所得的产品数量与输入处理进料数量之比，以百分数表之，称为成品率，以字母 η 表示，得

$$\eta = \frac{G_2}{G_1} \times 100\%$$

成品率由于损耗，实际上往往小于100%，显然，成品率越接近于100%，操作越完善，原料的消耗越少，成品价格越低。

若生产过程由几个步骤所组成而其中每一个都有相对应的一定成品率，则整个过程中的总成品率可由下式求得：

$$\eta = \left(\frac{\eta_1}{100} \cdot \frac{\eta_2}{100} \cdot \frac{\eta_3}{100} \cdots \frac{\eta_n}{100} \right) 100\%$$

第三项 生产能力

一个工厂或一部机器，在单位时间内处理量称为生产能力，是指示生产最重要的指标之一，时间常用小时表示亦有日、分秒表示的，处理量可用重量、容量或件数表示，例如某研磨机的生产能力为1000千克/小时，某泵的生产能力为60立方米/小时等，处理量可用成品或原材料，或其中某一成份为标，机械愈大，其生产能力也愈大，同样大小的机械运输愈快，其生产能力愈大。

第四项 生产强度

单是生产能力是不能指明操作情况的好坏，例如已知两个食品工厂所出成品的质和量都相等，还不能判断那一个厂较为先进，但如已知有一个厂的同样设备较多，则较小的厂生产情况必较好，因此我们还必需将生产能力与机械大小比较，机械的生产能力与此机械某一基本单位之比，称为生产强度，例如糖厂蒸发器以每一小时，每一平方米加热面所蒸发之水分数量来表示。

在生产强度增加时，表示同样的设备和劳动力超额地完成生产任务，相对的减轻了人力的设备费及操作费，此即称为生产的强化，表示了劳动生产力和技术水平的提高，是工程师的重要任务之一。

例如苏联的工业历史中塔室硫酸生产的强化如下表所示：

年度	1935	1940	1947	1948
生产强度(千克/24小时·平方米)	18	40	100	200

平炉钢生产的强化如下表所示

年度	1933	1940
生产强度(公吨/24小时·平方米)	2.8	4.8

强化生产，即增加生产操作的强度，为将工业过渡到较高技术水平及提高劳动生产率之最重点任务之一。生产操作的强化，可使同一机械，同一装置，同一单位时间，同一操作人员所得产品的数量提高。

第五项 能量平衡（亦称能量核示，或能量清示）

根据能量不减定律，可类似(2)式同样列出：

$$E_1 = E_2 + E_n \cdots \cdots (1-3)$$

式中 E_1 = 过程中输入的能量，

E_2 = 过程后所得的能量，

E_n = 过程中损失的能量。

本課程中所涉及的能量多为热量,因为热量平衡最常遇到的有:

令 Q_1 = 随物料引入操作中的热量 (仟卡)

Q_2 = 自外界加入操作中的热量 (仟卡)

Q_3 = 化学过程中放出的热量 (仟卡)

Q_4 = 随物料自操作后引出的热量 (仟卡)

Q_5 = 损失于外界的热量 (仟卡)

则内热量平衡得:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 0 \quad (1-4)$$

如任四量为已知则可求出其他一量,通常在設計时希望由热量平衡式求出所需外界加入热量

如能量的单位不同,在列出能量平衡式之前,先要换算成同一单位,单位之换算见下。

第六项 功率和效率

机械的另一特性以单位时间内因运转所消耗的能量 (电能或机械功) 表示,称为它所需要的功率,工程以仟瓦馬力或仟克米/秒表示。

机械一般为馬达所带动,此时由于能量在馬达本身及传递中的损失,消耗了机械运转的功率 N 必小于输入馬达的功率 N_e , 两者之比称为此设备的机械效率, 因此

$$\eta = \frac{N}{N_e} \quad (1-5)$$

η 必小于 1, 愈近于 1, 则机械设备的运转情况愈完善。

前项所讨论的产率,实际上就是一种化学过程中的效率

第三节 物理量的度量

参与工业过程中的物质都具有各种物理性质 (如密度、粘度等) 及各种物理变数 (如速度、压力等), 这许多物理量,可用各种不同单位来度量,表示物理量大小的度量结果有两个因素,其一是“数值”,其二是“单位”,例如量出某物件的长度是 3 尺,其中数值是“3”单位是“尺”,缺一不可,就不能说明这个物件量的大小,如果只说明某物件长度是 3,而未指明单位是寸、尺、米或里,就不可能知道有多长? 所以表明一个物理量的大小,必需在数值之后,跟随其单位,否则是没有意义的。

本課程按照苏联制度采用公制,但目前国内某些工厂仍沿用英美制,所以我们也必需知道其间的换算方法,即在公制单位中

用的是工程单位,与大家熟悉的CGS制有基本上的不同,必须在开始时弄得很熟悉,免得以后计算时发生困难。

第一项: 单位的制度

(1) C.G.S制——以长度、质量、时间为基本单位,长度以厘米(Cm)质量以克(g)、时间以秒(SeK)为单位,这是实验上及理论化学等常用的单位。

(2) M.T.S制——亦以长度、质量、时间为基本单位,但长度以米(M),质量以公吨(T),时间以秒(SeK)为单位,这是工程上所采用的一种制度。

(3) M.K.S制——以长度、力、时间为基本单位,长度及时间亦以米、秒为单位,但此处以力为基本单位而不用质量与过去所采用的均不相同,力是以一仟克质量在地面上所受的引力,即一仟克重力为单位。

(4) 英美制——以长度(呎)质量(磅)及时间(秒)为基本单位。

本课程采用 M.K.S制

第二项: 基本单位,导来单位和因次

(1) 基本单位,导来单位,

不同的物理量间,可用关系式相连系,如订出某些量为计算,基础(为已知),则其他量可从关系式求出,同样,如果以某些量的单位为基本单位,则其他量可以用这些基本单位来表示,称为导来单位。

例如: 速度为 w , 长度为 x , 时间为 t , 其间有以下关系

$$w = x / t$$

如按照 M.K.S制,长度单位为米,时间单位为秒,则可导来速度的单位为米/秒

所需注意的就是所谓基本单位与导来单位是相对的,即是人为的,例如上例中,不以长度和时间为基础单位,而用长度和速度,同样可以将时间的单位导出来,并可由此推出另一套单位制度,习惯上研究部门采用长度、质量、时间为基本单位,即CGS制,工程上采用长度、力、时间为基本单位,即M.K.S制

(2) 因次——是表示物理量的另一特性,一个物理量不论用甚么单位去度量,所得结果中数值会有不同,但只有一个因次,例如量一个物件的长度,不论采用的单位是厘米、尺、或米,所得结果的因次都是“长度”,以字母L代表,另外以M表示质量,T表示时间,F表示力的因次,则在C.G.S制和M.T.S制的三个基本单位的因次是L、M、T,而在M.K.S制的三个基本因次是L、F、T,速度的因次是L/T,或LT⁻¹,加速度的因次是LT⁻²。关于因次的讨论和应用,留待第二章对流传热中

來說明,在此从略。

第三項 单位的換称

同一物理量若以不同的单位去量,則所得結果中數值也不應相同,单位之間的換称,系根据以下的两个原則:

(1) 当新单位所代表的量較原位小2倍則換称成新单位时,數值应乘上2,

例如桌子長2米,需以厘米表示时,因1厘米所代的量較米小100倍,換称值中应乘以100,即200厘米

(2) 若所需換称的单位为导来单位,則在換称时根据基本单位間的关系,按乘除法合併計称,例如C.G.S制中重力加速度 $g = 981$ 厘米/秒²,換称至M.K.S制因

$$1 \text{ 厘米} = \frac{1}{100} \text{ 米} \quad 1 \text{ 秒} = 1 \text{ 秒} \quad \text{故}$$

$$\text{M.K.S 制中 } g = 981 \times \frac{1}{100} = 9.81 \text{ Cm/秒}^2$$

又如将 米³/小时 化成公升/分钟

$$\because 1 \text{ 米}^3 = 1000 \text{ 公升} \quad 1 \text{ 小时} = 60 \text{ 分钟}$$

$$\text{故 } 1 \text{ 米}^3/\text{小时} = 1000/60 = 16.7 \text{ 公升/分钟}$$

关于各种不同单位的換称,詳見本章末附錄:

第四節 常用的計称方法

第一項 試称差誤法

应用于①称式比較複雜

②數據不能用列式表示

③未知數必須已知后,方能运用到列式計称者

此法則是先拟一數值代入計称式,求其結果是否正確,如有差誤,再設一數值代入,待正確而止。

第二項 圖解积分法

根据积分法的基本原理,应知定积分

$$\int_{x_a}^{x_b} f'(x) dx$$

之值,是 $f'(x)$ 对 x 的曲線,与縱軸 $x = x_a$, $x = x_b$ 及 x 橫軸間所包括的面积,所以一切定积分都可无须用积分表以求其值,只要以 $f'(x)$ 对 x 标绘,画出两条相当于极限的垂直線,然后測量这条曲線和两极限及 x 橫軸間所包括的面积,例如在圖1中,假定 $abcde$ 曲線代表 $f'(x)$ 对 x 的标绘,并假定 a 点和 e 点各相当于 x_a 和 x_b 之值,則 $abcde$ 的整个面积就是所要求的积分之值。

面积的测量法是把它割裂成许多长方形,如图1中的斜线部分所示,长方形的高度应选择得当,务使在此长方形和曲线间所割去的小三角形的面积,和曲线上之长方形中所拦入的小三角形(有斜线的)的面积,约略相等,若曲线的曲率不十分大,且若 Δx 选择得够小,则长方形的高度即使全凭眼力估出,亦必能非常准确地符合上述的条件。于是所要求的面积,就是所有这些长方形的总和,图1仅画出其中的一个。

任何函数与一导函数的乘积的积分,一般的规则是:不记函数本身如何复杂,总是将导函数的变数沿X轴,此函数沿Y轴而标绘,然后测定所得曲线和X轴在所定的极限间所包含的面积。

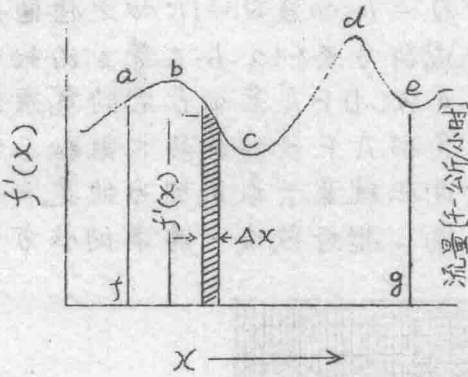


图1-1 图解积分法的原理

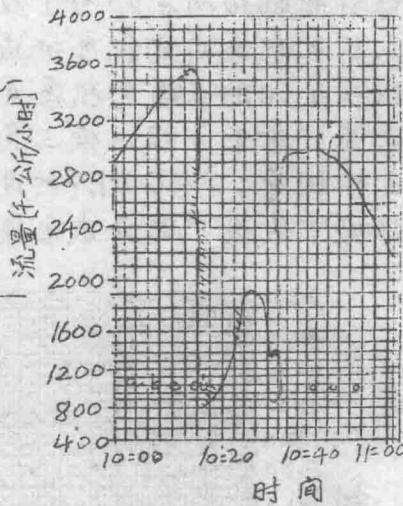


图1-3 例题一的解法

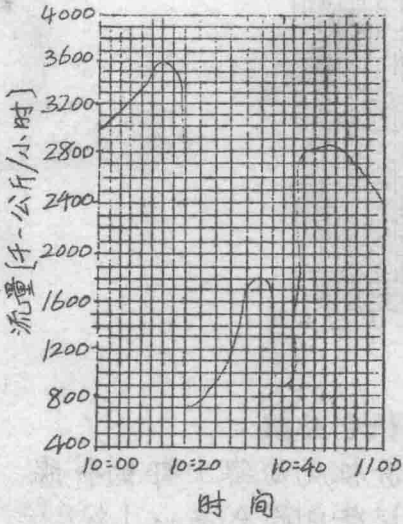


图1-2 例题一的数据

例题一 图2示蒸汽在管路中的流速,以 { 仟-公斤/小时 } 计。

此项积分法特别有用,因在许多实例中, $f'(x)$ 的量不能用数学式直接表示出来,在许多实例中可能有的只是对 x 的实验标绘,所以无法写成简单的数学式。想用正规的方法,从这些数据求出积分 $\int_a^b y dx$ 之值,非常困难,因为先须根据这些数据写出一个经验式来。

(a) 问在 10:00 与 11:00 时之间, 蒸汽流过的总重量应为若干?

(b) 绘一曲线以表示蒸汽总流量对时间的关系。

解 设以 R 为在任何时间 Q 的流速, 则在极短时间 dQ 内蒸汽的流量应为 dW (斤-公斤) 即 $dW = R dQ$, 在全时间内的总流量 W_T , 必为上式的积分值, 即

$$\int_0^{W_T} dW = \int_{10:00}^{11:00} R dQ = W_T \quad (8)$$

如欲用正规方法求积分 $\int_{10:00}^{11:00} R dQ$ 之值, 则须先将 R 用 Q 来表示, 一个能与图 2 的曲线符合的方程式, 显然是极难求的, 即使求出了也一定非常复杂, 但此积分可用图解法容易地解出, 因为所需要的积分值, 就等于曲线时间轴和两条相当于 $Q = 10:00$ 及 $Q = 11:00$ 之值的垂直线间所圈入的面积, 此项面积可分成许多类似 a, b, c 等: 的细长条, (图 3), 细长条 a 的正确面积是 $ABCDEA$, 若细长条的宽度取得够小, 则可添置一条 FG 线, 以使三角形 AFB 的面积, 大致和三角形 BCG 的面积相等, $FBGDEF$ 的面积就易于求出, 因为他是一个长方形, 照这样做下去, 整个所要求的面积, 都可改成一连串的长方形,

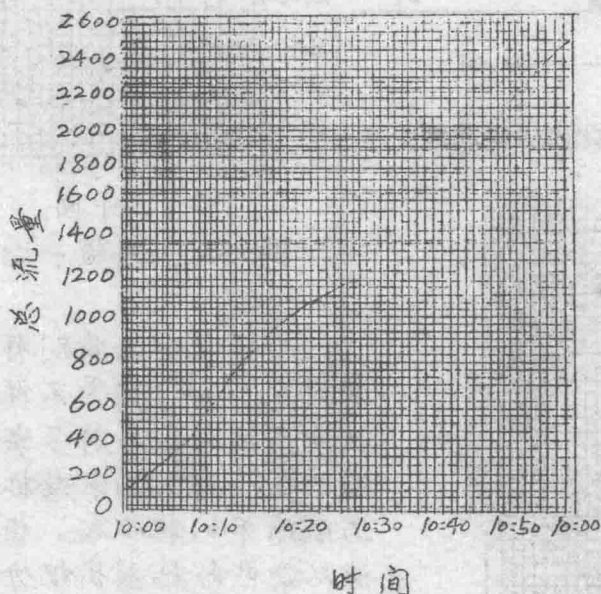


图 1-4 例题一的积分曲线

长方形的高度 $a, b, c, \dots, p$ 应该要为选择务使底曲线上部的斜线面积, 适等于曲线下部的斜线面积, 为了要使这些面积代表以 [公斤] 计称的流量, 长方形的高度必须以 [公斤/小时] 来表示, 而长方形的底则用 [小时] 来计称, 因为

$$\frac{\text{公斤}}{\text{小时}} \times \text{小时} = \text{公斤}$$

由下表即可明瞭计标的方法,并可看出总面积是代表2.412 [公斤],亦就是从10:00到11:00蒸汽流过受子的总重量。

由这样的积分,不仅可获知该全部时间内的总流量,亦可获知从10:00开始,到以后任何时间的总流量直至11:00为止,例如由表的项6可以查出10:20(在长方形e的终末)时,已有1.098 [公斤]的蒸汽流过管子,在10:35,流过了1.410 [公斤]等,由项1和项6的数据,可以作成图4,表示到任何时间为止的总流量此一曲线,称为式(8)的积分曲线。

长方形	时间	长方形 高度	长方形宽度		长方形 面积 [公斤] (项2×项4)	总面积 = 总流量, [公斤] (项5之和)
			[分]	(小时) ($\frac{\text{项3}}{60}$)		
	项 1	项 2	项 3	项 4	项 5	项 6
	10:00	-----	-----	-----	-----	c
a-----	10:05	3.100	5.0	0.0833	258	258
b-----	10:10	3.340	5.0	0.0833	278	536
c-----	10:15	3.560	5.0	0.0833	297	833
d-----	10:17.5	3.550	2.5	0.0417	148	981
e-----	10:20	2.800	2.5	0.0417	117	1.098
f-----	10:22.5	1.100	2.5	0.0417	46	1.144
g-----	10:27.5	900	5.0	0.0833	75	1.219
h-----	10:32.5	1.440	5.0	0.0833	120	1.339
i-----	10:35	1.700	2.5	0.0417	71	1.410
j-----	10:37.5	1.350	2.5	0.0417	56	1.466
k-----	10:40	900	2.5	0.0417	37	1.503
l-----	10:42.5	2.350	2.5	0.0417	98	1.601
m-----	10:45	2.850	2.5	0.0417	119	1.720
n-----	10:50	2.900	5.0	0.0833	242	1.962
o-----	10:55	2.830	5.0	0.0833	236	2.198
p-----	11:00	2.570	5.0	0.0833	214	2.412

第三项: 指数方程式和对数标绘a有很多实验数据中所含的X和Y的变数,适合于下列形式的方程式:

$$y = ax^* \quad (9)$$

式中的 a 和 n 是常数，有很多的線亦可用下列形式的方程式來複制：

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots \quad (10)$$

虽然式(10)较式(9)更准确地适合于许多曲线，但式(9)对于很多的实验数据，已能充分适合，而且式(9)中的常数可以很快地定出来，此点将于下节加以说明，反之，如要将式(10)来配合实验数据，手续非常烦琐，且恒需用很多的项。

式(9)可改写成

$$\log y = \log a + n \log x \quad (11)^{\textcircled{1}}$$

由此可立刻看出，假定以 $\log x$ 对 $\log y$ 标绘式(11)是一条直线的方程式，其斜度为 n ，而于 x 等于1时其截距为 $\log a$ ，要标绘一组的数时，若取二变数的数值的对数来标绘固无不可，但若用对数纸，则就方便多多了。

对数纸是一种坐标纸，用的比例尺是对数的，而不是均匀的，换言之，即註1.2.3.……的间距，并不和1.2.3.……成比例，而是和1.2.3.……数字的对数成比例的。对数纸上的刻度，完全相当于普通标尺上的刻度，所以若将比例尺对应有数据作适当的调整，并将二变数的一组之值，在此纸上标绘，其结果和将它们在对数，在普通矩形坐标纸上所作的标绘完全相同。假如这样所标绘的点都落在一条直线上，则此线的方程式就是式(9)；其中的 n 是斜度， a 是 $x=1$ 时的 y 值，固在 $x=1$ 时，式(11)右边的第二项是零。

对数标绘的唯一缺点是比例尺比较小，但在多数情形下，所绘各点的准确度，已足与寻常工程数据的准确度相比拟。对数标绘的优点则是，从一曲线所呈某一定距离的偏差就代表在这一点上变数总值的一定百分率的偏差，而和偏差所占的圈上的地位无关，与此适成对照的是，从普通坐标纸上标绘所呈的某一定距离的偏差，代表一恒值的偏差，即在变数值小时，它可能代表很大的百分率，而在变数值很大时，可能代表很小的百分率，因此对数标绘对于表示某些实验数据上颇有帮助，因为它能把数据用同一百分率的准确度表出来，不问其量的大小如何。

第一章 緒論習題

一. 单位換称

(1) 压力 a. 将30 [吋] 汞柱換称成 [公尺] 水柱, [耗] 汞柱

b. 将100 磅/平方吋 (表压力) 換称成大气压公斤/平方吋 [表压力及绝对压力]

C. 通常物理学上一大气压力为76〔厘米〕汞柱，试将此换算至英制工程单位〔磅/平方吋〕

(2) 温度 将 1200°F 换算成 $^{\circ}\text{C}$ 及 $^{\circ}\text{K}$

(3) 功率 将 25 马力换算成〔呎磅/分〕〔瓩〕及〔仟克-公尺/秒〕

(4) 功能 a. 将 13000〔英国热单位 B.T.U.〕换算成〔C.B.M.〕，〔呎磅〕，〔瓩-小时〕，

b. 将 1000〔卡〕换算成〔克厘米〕〔公斤米〕〔瓩小时〕

(5) 粘度 将下列各值换算成〔厘泊〕

a. 0.672×10^{-3} 〔磅-质量/呎-秒〕

b. 2.42〔磅-质量/呎小时〕

c. $\frac{1}{1000}$ 〔仟克/米秒〕

(6) 传热系数 α 的英制单位为 $\left\{ \frac{\text{B.T.U.}}{\text{平方呎} \cdot \text{小时} \cdot ^{\circ}\text{F}} \right\}$

公制单位为 $\left\{ \frac{\text{仟卡}}{\text{平方米} \cdot \text{小时} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right\}$

试求出一英制单位相当若干公制单位

二. 自由水份蒸发于空气中的速度可用下式计算

$$G_{\text{水}} = 2.45 \omega 0.8 \Delta P$$

式中 $G_{\text{水}}$ = 自由水份蒸发于空气中的速度〔磅/小时·平方呎〕

ω = 空气流速〔呎/秒〕

ΔP = 饱和水蒸汽在空气温度时的压力，与空气中水蒸汽分压之差（以大气压表示）

如果 $G_{\text{水}}$ 改用〔仟克/平方米·小时〕 ω 为〔米/秒〕及 ΔP 为〔毫米〕汞柱，上面公式应如何改变。

三. 已知空气的体积成分为 21% O_2 及 79% N_2 ， O_2 的密度为 1.429〔克/升〕 N_2 为 1.251〔克/升〕试算出空气的密度〔克/升〕及其比重

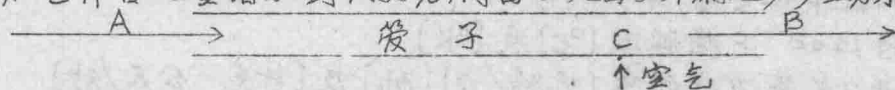
四. 某湿纸板含水份 17%〔重量百分率〕，今用热空气使其乾燥至含水份 1%，每公斤新鲜空气含水汽 0.017 公斤，每公斤废空气（已通过湿纸板之空气）中含水汽 0.075 公斤

今欲乾燥纸板 2000 公斤问须新鲜空气若干公斤？

五. 某食品工厂锅炉所用之煤含水份 3.3%，挥发物 24.8% 固定碳 60.3%，灰分 11.6%，炉栅下之燃余，经细心分析后知其中含水分 34.5%（燃余先经水湿俾免灰塵飞揚故有含水分）挥发物 4.7%，固定碳 18.2%，余者为灰，问此煤全部可燃物中（包括挥发物及固定碳）若干百分因落于炉栅下而归损失？

六. 设由糖厂硫黄炉出来之二氧化硫气作在管内之速率为每分钟 115 立方米，气作含 O_2 2.4%，设管子 C 处因受二氧化硫气作腐蝕

而漏气假定受外大气压力稍大于管内气体压力,由B处取样分析知气体含 O_2 量增加到10.85%,问由C处每分钟漏进多少立方米空气?



七.有一肥皂厂自制烧碱用1500千克碳酸钠(含 Na_2CO_3 96%) 1350千克生石灰(含 CaO 90%)及20,000公升水,在容量为22,000公升的反应槽中处理再经沉降等操作后得出5.5% $NaOH$ 溶液17000公升,其比重为1.06碱化过程在8小时中完毕,计算

1. 产率(碱化率)

2. 生产能力 以吨纯 $NaOH$ /昼夜表示

3. 生产强度 以吨/昼夜,立方米表示

如改进操作后所得 $NaOH$ 溶液达5.8%,比重=1.06比较其生产能力及生产强度。

附录

基本单位换算表

(1) 长度

厘	米	米	吋	呎
1	1×10^2	0.3937	0.03281	
1×10^2	1	39.37	3.281	
2.540	0.02540	1	0.08333	
30.48	0.3048	12.000	1	

(2) 质量

克	仟克	公噸	磅	英吨(美長吨)	美吨(短吨)
1	1×10^{-3}	1×10^6	0.002205	9.842×10^{-7}	1.1023×10^{-6}
1×10^3	1	1×10^3	2.205	9.842×10^{-4}	1.1023×10^{-3}
1×10^6	1×10^3	1	2.205	0.9842	1.1023
453.6	0.4536	4.536×10^4	1	4.464×10^4	5×10^{-4}
1.0160×10^6	1.016.0	1.0160	2.240	1	1.1200
9.072×10^5	907.2	0.9072	2.000	0.8929	1

(3) 时间

秒	分	小时	日	年
1	0.016667	2.778×10^{-4}	1.1574×10^{-5}	3.171×10^{-3}
60	1	1.6667×10^{-2}	6.994×10^{-4}	1.9026×10^{-6}
3.600	60	1	4.167×10^{-2}	1.1416×10^{-4}
8.64×10^4	1440	24	1	2.740×10^{-3}
3.15×10^7	5.236×10^5	8.760	365	1

(4) 面积

平方厘米	平方米	平方吋	平方呎
1	1×10^{-4}	0.15500	0.0010764
1×10^4	1	1.550.0	10.764
6.452	6.452×10^{-4}	1	0.006944
929.0	0.09290	144.00	1

(5) 容积

公升	立方米	立方呎	(英)加侖	(美)加侖
1	1×10^{-3}	0.03531	0.2200	0.2642
1×10^{-3}	1	35.31	220.0	264.2
28.32	0.02832	1	6.239	7.480
4.546	0.004546	0.16054	1	1.2010
3.785	0.003785	0.13368	0.8327	1

$$1 \text{ [公升]} = 1.000 \text{ [立方厘米]}; \quad 1 \text{ [(英)加侖]} = 277.42 \text{ [立方吋]};$$

$$1 \text{ [(英)加侖]} = 231.0 \text{ [立方吋]}; \quad 1 \text{ [立方吋]} = 16.387 \text{ [立方厘米]};$$

$$1 \text{ [(公)加侖]} = 1.128 \text{ [(英)加侖]}; \quad 1 \text{ [(油)桶]} = 42 \text{ [(英)加侖]};$$

(6) 密度

克/立方厘米	吨/立方米=(克/公升)	克/立方呎	磅/立方呎
1	1×10^{-3}	1×10^{-4}	62.43
0.001	1	1×10^3	0.06243
1×10^{-6}	1×10^{-3}	1	6.243×10^{-5}
0.016018	16.018	1.6018×10^4	1

(7) 速度

米/秒	米/小时	呎米/小时	呎 秒	呎/分(钟)
1	3.600	3.6	3.281	196.85
2.778×10^{-4}	1	0.001	9.144×10^{-4}	0.05468
0.2778	1.000	1	0.9144	54.68
0.3048	1.097.3	1.0973	1	60
0.005080	18.288	0.018288	0.016667	1

(8) 压力

千克/平方厘米	磅/平方吋	大气压 (标准)	汞柱 (32°F)		水柱 (60°F)	
			米	吋	米	吋
1	14.223	0.9672	0.7355	28.96	10.009	394.0
0.07031	1	0.06800	0.05171	2.036	0.7037	27.70
1.0340	14.706	1	0.7605	29.94	10.349	407.4
1.3595	19.337	1.3149	1	39.37	13.607	535.8
0.03453	0.4912	0.03340	0.02540	1	0.3456	13.607
0.09991	1.4211	0.09663	0.07349	2.893	1	39.37
0.002538	0.03610	0.0024564	0.0018666	0.07349	0.02540	1

(9) 粘滞度

泊 (克/(厘米) ²)×(秒)	厘 泊	千克/(米) ² ×(秒)	磅/(米) ² ×(小时)	磅/(呎) ² ×(秒)
1	100	0.1	360	0.06720
0.01	1	0.001	3.6	6.720×10^{-4}
10	1.000	1	3.600	0.6720
2.778×10^3	0.2778	2.778×10^{-4}	1	1.8667×10^{-4}
14.881	1.488.1	1.4881	5.357	1

(10) 流量

公升/秒	立方米/小时	立方米/秒	(美)加侖/分钟	立方呎/小时	立方呎/秒
1	3.6	0.001	15.850	127.13	0.03531
0.2778	1	2.778×10^{-4}	4.403	35.31	0.012×10^{-3}
1.000	3.600	1	1.5850×10^4	1.2713×10^5	35.31
0.06309	0.2271	6.309×10^{-5}	1	8.021	0.002228
7.866×10^{-3}	0.02832	7.866×10^{-6}	0.12468	1	2.778×10^{-4}
28.32	101.94	0.02832	448.8	3.600	1

(11) 重量或力

克	達因	仟克	磅	磅達
1	980.0	1×10^{-3}	0.002205	0.07088
1.0204×10^{-3}	1	1.0204×10^{-6}	2.250×10^{-6}	7.233×10^{-5}
1×10^3	9.8×10^5	1	2.205	77.88
453.6	4.445×10^5	0.4536	1	32.15
14.108	1.3825×10^4	0.014108	0.03110	1

(12) 功率

仟瓦 (1000 焦耳/秒)	仟克-米/秒	呎磅/秒	馬力	仟卡/秒 (平均)	英热单位/秒 (平均)
1	102.04	738.1	1.3410	0.2389	0.9480
0.009800	1	7.233	1.3142×10^{-2}	2.341×10^{-3}	9.291×10^{-2}
1.3549×10^3	0.13826	1	1.8169×10^{-3}	3.237×10^{-4}	1.2845×10^{-4}
0.7457	76.09	550.4	1	0.17814	0.7070
4.186	427.1	3.090×10^3	5.613	1	3.969
1.0548	107.63	778.5	1.4145	0.2520	1