

化工原理

王元忠 罗崇云
主 编

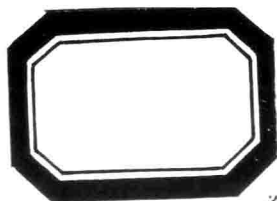
云南大学出版社

化工原理

江苏工业学院图书馆
藏书章

王元忠 罗紫云 主编

云南大学出版社



责任编辑 王登全
封面设计 张继荣

化 工 原 理

王元忠 罗崇云 主编

*

云南大学出版社

(云南大学校内)

昆明理工大学印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 9 字数 229 千

1996 年 10 月第 1 版 1996 年 10 月第 1 次印刷

印数 0001—1000

ISBN 7-81025-838-9/TQ·1

定价: 15.00 元

内容提要

本书讲述流体动力过程的化工单元操作,全书由两篇七章组成。第一篇流体流动过程,内容包括基本概念,流体流动、液体输送机械,气体输送机械四章。第二篇非均相物系讨论了沉降、过滤、固体流态化三章。

本书可作为高等学校的教学用书,也可供科研、设计和生产单位的工程技术人员作参考用书。全书由王元忠、罗崇云主编,第五、六、七章和附录由罗崇云编写;第一、二、三章由王元忠编写;第四章由张田福编写。

编者

一九九五年十月

目 录

第一篇 流体流动过程	(1)
第一章 基本概念	(1)
第一节 物料衡算与能量衡算	(1)
1—1 物料衡算	(1)
1—2 能量衡算	(3)
第二节 物理量的因次式与单位换算	(5)
1—3 物理量的因次式	(5)
1—4 单位制与单位换算	(6)
习题	(9)
第二章 流体流动	(11)
第一节 流体的性质	(11)
2—1 流体的密度	(11)
2—2 流体的静压强	(13)
2—3 流体的粘度	(14)
第二节 流体静力学基本方程式	(17)
2—4 流体静力学基本方程式的建立	(17)
△2—5 流体静力学基本方程式的应用	(19)
第三节 流体在管内的流动	(23)
2—6 流量与流速	(23)
2—7 稳定流动与不稳定流动	(26)
2—8 连续性方程式	(27)
△2—9 柏努利方程式	(28)

2—10	柏努利方程式的应用	(32)
第四节	流体流动的内部结构	(37)
2—11	流动类型与雷诺准数	(37)
2—12	流体在园管内流动的速度分布	(40)
2—13	边界层概念	(44)
第五节	流体流动的阻力	(48)
2—14	概述	(48)
2—15	直管阻力计算	(49)
2—16	摩擦系数	(51)
2—17	非园形管内的流体阻力	(57)
2—18	局部阻力	(58)
第六节	管路计算	(63)
2—19	简单管路	(63)
2—20	复杂管路	(67)
第七节	流量测量	(69)
2—21	测速管	(70)
2—22	孔板流量计	(71)
2—23	文丘里流量计	(77)
2—24	转子流量计	(78)
	习题	(81)
第三章	液体输送机械	(89)
第一节	离心泵	(89)
3—1	离心泵的工作原理与部件	(89)
3—2	离心泵的主要性能参数	(93)
3—3	离心泵特性曲线	(97)
3—4	离心泵的安装高度与汽蚀现象	(100)
3—5	离心泵的工作点与流量调节	(104)
3—6	离心泵的类型与选用	(107)

第二节 其它类型泵	(112)
3—7 往复泵	(112)
3—8 旋转泵	(116)
3—9 旋涡泵	(117)
习题	(119)
第四章 气体输送机械	(122)
第一节 通风机	(122)
4—1 离心式通风机	(122)
第二节 鼓风机	(126)
4—2 罗茨鼓风机	(126)
4—3 离心式鼓风机	(127)
第三节 压缩机	(128)
4—4 往复式压缩机	(128)
4—5 离心压缩机	(135)
第四节 真空泵	(136)
4—6 往复真空泵	(136)
4—7 旋转真空泵	(137)
4—8 喷射泵	(138)
习题	(140)
第二篇 非均相物系	(141)
第五章 沉降	(142)
第一节 重力沉降	(142)
5—1 重力沉降速度	(142)
5—2 沉降速度的计算	(146)
5—3 降尘室	(149)
5—4 沉降槽	(151)
第二节 离心沉降	(152)
5—5 离心沉降速度	(153)

5—6	旋风分离器	(154)
5—7	旋液分离器	(163)
第三节	电沉降	(164)
5—8	电除尘器	(164)
	习题	(166)
第六章	过滤	(168)
第一节	概述	(168)
6—1	过滤操作的基本概念	(168)
第二节	过滤设备	(170)
6—2	板框压滤机	(170)
6—3	叶滤机	(174)
6—4	转筒真空过滤机	(175)
第三节	过滤操作的计算	(176)
6—5	过滤基本方程	(176)
✓6—6	恒压过滤方程	(179)
6—7	恒速过滤方程	(181)
6—8	过滤常数的测定	(182)
6—9	滤饼的洗涤	(184)
✓6—10	过滤机的生产能力	(186)
	习题	(190)
X第七章	固体流态化	(193)
第一节	基本概念	(193)
7—1	流态化现象	(193)
7—2	流化类型与不正常操作	(195)
7—3	流化床的主要特性	(197)
第二节	流化床的操作范围	(198)
7—4	临界流化速度 u_{mf}	(198)
7—5	带出速度 u_t	(199)

第三节	流化床的直径与高度	(201)
7—6	流化床直径	(201)
7—7	流化床的高度	(201)
第四节	气力输送	(202)
7—8	气力输送的特点与类型	(203)
7—9	稀相输送中气流速度的确定	(204)
	习题	(206)
附录一	化工常用法定计量单位	(207)
附录二	常用单位的换算	(208)
附录三	某些气体的重要物理性质	(212)
附录四	某些液体的重要物理性质	(214)
附录五	干空气的物理性质(101.33KPa)	(218)
附录六	水的物理性质	(219)
附录七	饱和水蒸汽表(按温度排列)	(220)
附录八	饱和水蒸汽表(按压强排列)	(222)
附录九	某些有机液体的相对密度共线图	(225)
附录十	液体的粘度共线图	(227)
附录十一	气体及蒸汽的粘度共线图	(230)
附录十二	管子规格(摘录)	(232)
附录十三	泵规格(摘录)	(235)
附录十四	4—72—11 型离心通风机规格(摘录)	(243)
	主要参考文献	(245)

第一篇 流体流动过程

本篇重点讨论流体流动与流体输送机械等。

第一章 基本概念

第一节 物料衡算与能量衡算

1—1 物料衡算

物料衡算是质量守恒定律在工业生产中的具体应用。根据质量守恒定律，输入系统的质量应该等于离开系统的质量与积存于该系统中的质量之和，即

$$\text{输入} = \text{输出} + \text{积存}$$

对于稳定过程，系统的积存量为零，上式简化为

$$\text{输入} = \text{输出}$$

物料衡算在工业生产中具有重要的指导意义。在生产操作中，物料衡算可以反映生产过程的完善程度，揭示物料的浪费和设备操作的反常情况，从而制订改进方案，以提高产品率和减少副产物。此外，物料衡算在设计新的生产过程时，可以帮助正确地选

择流程和设备大小。

进行物料衡算时，应确定衡算的系统、衡算的基准与衡算的对象。衡算的系统可以是一个生产过程，也可以是一个或一组设备，甚至是一个微分单元。衡算的基准对于连续操作常以单位时间为基准；对于间歇操作，则以处理一批物料（一个操作循环）为基准。衡算的对象可以是总的物料，也可以是某一种物质。对于没有化学反应的过程，物料衡算也适用于物料中的任一组分；对于有化学反应的过程，它只适用于某一元素。

例 1—1 现有一两效蒸发器，已知原料液为 $F=6000\text{kg/h}$ ，含无机盐浓度为 15%，经一效蒸发后，成品含无机盐 25%；经二效蒸发后，产品含无机盐 45%。求一、二效蒸发的水份量和最终产品量。

解：依题意画出过程的示意图。

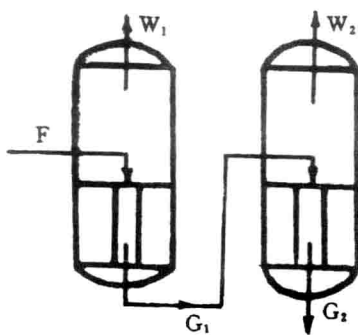


图 1—1 物料衡算

(1) 求第一效蒸发的水份量 W_1 ：

以第一效蒸发器为衡算系统，以一小时为衡算基准，并以总物料为衡算对象可得下式：

$$6000 = W_1 + G_1$$

再以纯无机盐为衡算对象可得下式：

$$6000 (0.15) = W_1 (0) + G_1 (0.25)$$

联立解上述两式可得： $W_1 = 2400 \text{ (kg/h)}$ ， $G_1 = 3600 \text{ (kg/h)}$ 。

(2) 求第二效蒸发的水份量 W_2 和最终产品量 G_2 ：

以两效蒸发器为衡算系统，以一小时为衡算基准，仍以总物料为衡算对象，得：

$$6000 = W_1 + W_2 + G_2$$

再以纯无机盐为衡算对象，得

$$6000 (0.15) = W_1 (0) + W_2 (0) + G_2 (0.45)$$

联立解上述两式可得： $W_2 = 1600 \text{ (kg/h)}$ ， $G_2 = 2000 \text{ (kg/h)}$ 。

上题说明，根据解题需要，可以取不同的衡算系统和不同的衡算对象。

1—2 能量衡算

能量衡算是能量守恒定律在工业生产中的具体应用。我们将要讨论的柏努利方程式，就是流体在流动过程中的一个机械能守恒式。能量有不同的形式，如机械能、热能、电能、磁能、化学能、原子能等，它们之间可以相互转换，但我们涉及的问题主要还是总能量恒算。若过程只涉及到热能，能量衡算式便简化为热量衡算式。对于稳定过程，热量衡算式仍为

$$\text{输入} = \text{输出}$$

能量衡算的意义和计算过程中的注意事项与物料衡算类似，所不同的是进行热量衡算时，除需确定衡算系统、衡算的时间基准外，还应该确定物态与温度基准，因为反映物料的焓值是温度

与物态的函数，在计算过程中常以 273K 物质的液态为计算基准。

例 1—2 某溶液以 0.5kg/s 的流量在换热器里自 298K 加热到 353K，溶液的平均比热为 3.5KJ/kg · K。加热介质为 383K 的饱和水蒸汽，已知该饱和蒸汽冷凝成同温度的水被排出，换热器的热损失为 15KW。试计算所需的加热蒸汽量。

解：依题意画出过程的示意图。

以换热器为衡算系统，以秒为时间的衡算基准，并以 273K 为液体衡算的物态温度基准。查附录可得 383K 时饱和水蒸汽的焓为 2693.4KJ/kg，饱和水的焓为 460.97KJ/kg。假设消耗的加热蒸汽量为 D (kg/s)，根据热量衡算式可得

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5$$

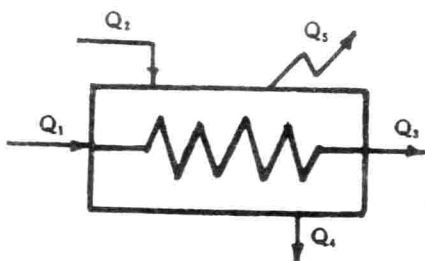


图 1—2 热量衡算

溶液带入热量 $Q_1 = 0.5 \times 3.5 (298 - 0) = 521.5 \text{ (kw)}$

饱和蒸汽带入热量 $Q_2 = 2693.4D \text{ (kw)}$

溶液带出热量 $Q_3 = 0.5 \times 3.5 (353 - 0) = 617.75 \text{ (kw)}$

冷凝水带出热量 $Q_4 = 460.97D \text{ (kw)}$

热损失 $Q_5 = 15 \text{ (kw)}$

将上述之值代入热量衡算式：

$$521.5 + 2693.4D = 617.75 + 460.97D + 15$$

解之可得： $D = 0.0431 \text{ (kg/s)} = 155.2 \text{ (kg/h)}$ 。

第二节 物理量的因次式与单位换算

1—3 物理量的因次式

参加生产过程的物质都有一定的物理性质(如密度、粘度、导热系数)和参数(如温度、压强、速度),总称为物理量。这些物理量常常可以通过一些基本符号以及这些符号组成的式子来表示。常用的基本符号有:

长度 $[L]$

质量 $[M]$

时间 $[t]$

温度 $[T]$

常见的组合式子有:

速度 $[Lt^{-1}]$

加速度 $[Lt^{-2}]$

力 $[MLt^{-2}]$

这些基本符号以及它们组成的式子叫物理量的因次式或量纲式。物理量可分成基本量和导出量两种。用基本符号表示的物理量叫基本量,如长度、质量、时间、温度等;用符号组成的式子表示的物理量叫导出量,如速度、加速度、力等。

物理量的因次式有如下的作用:

- (1) 可简单明了地表示导出量和基本量之间的关系;
- (2) 检查复杂方程式的正确与否;
- (3) 帮助归纳准数。

应指出,物理量的因次式随所取单位制的不同而变化。例如,密度在国际制中的因次式为 $[ML^{-3}]$,而在工程单位制中的因次式却是 $[F\theta^2L^{-4}]$ 。此外,读者应该掌握因次的一致性原则,即物理

方程等号两边各项的因次必须相等的原则，它是科技工作者规划实验、减少变量的有用工具，这对于帮助人们建立新的关系式具有很大的实用价值。

1—4 单位制与单位换算

由于历史、地区的差异以及不同学科的要求等原因，在世界上形成了不同的单位制度，主要可分为绝对单位制与工程单位制两类。每种单位制又有米制与英制之分。绝对单位制以长度、质量、时间为基本量，工程单位制以长度、力、时间为基本量。两者的主要区别在于前者以质量为基本量，力为导出量；后者则以力为基本量，质量为导出量。

物理量是由数字和单位组成的，同一物理量在不同单位制中有不同的单位与数值，这不仅给计算带来不便，也给国际间的科技交流和贸易往来带来麻烦。1960年10月第十一届国际计量大会制订了一种新的计量单位制，即国际单位制，代号为SI。目前SI制已为世界各国广泛采用，我国也实施了以国际单位制为基础的法定计量单位。本书采用法定计量单位。

当前，我们常遇到的单位制有以下三种：

一、物理制 (CGS制)：其基本单位是：长度单位厘米 (cm)、质量单位克 (g)、时间单位秒 (s)。

二、工程制：其基本单位是：长度单位米 (m)、力或重量单位千克 (kgf)、时间单位秒 (s)。

三、国际制 (SI制)：其基本单位是：长度单位米 (m)、质量单位千克 (kg)、时间单位秒 (s)、温度单位开尔文 (K)、物质数量单位摩尔 (mol)、电流强度单位安培 (A)、光强单位坎得拉 (cd)。

本教材常用的法定计量单位有以下几个：

长度——米 (m) [L]

质量——千克 (kg) [M]

时间——秒 (s) [θ]

力 —— 牛顿 (N) [MLθ⁻²]

能量——焦耳 (J) [ML²θ⁻²]

功率——瓦特 (W) [ML²θ⁻³]

现在全世界虽已普遍采用了国际单位制, 但我国工程界曾长期使用英制或工程单位制, 而实验数据还使用物理制, 使旧文献资料中的数据形成了多种单位制并存的现象, 加之人们的习惯和仪器、设备的延续使用, 科技人员难免会遇到不同的单位制度, 因此应了解各种单位制并掌握其换算。

进行单位换算时, 首先要知道各物理量的换算因数。所谓换算因数是指同一物理量采用不同单位制量度时所得数值之比。例如 SI 制中 1 牛顿的力等于 CGS 制中 1×10^5 达因的力, 所以牛顿与达因之间的换算因数为 1×10^5 。其次在进行单位换算时务必代入换算因数, 这是单位换算应遵守的一条基本规则。

例 1—3 1 标准大气压 (1atm) 的压强等于 1.033kgf/cm^2 , 将其换算成法定计量单位。

解: $\because 1\text{kgf} = 9.81\text{N}; 1\text{cm} = 0.01\text{m}$

$$\begin{aligned}\therefore 1\text{atm} &= 1.033\text{kgf/cm}^2 = \frac{1.033 \times 9.81\text{N}}{(0.01\text{m})^2} \\ &= 1.013 \times 10^5 \text{N/m}^2\end{aligned}$$

例 1—4 通用气体常数 $R = 82.06\text{atm} \cdot \text{cm}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$, 将其换算成法定计量单位 $\text{KJ/kmol} \cdot \text{K}$ 。

$$\begin{aligned}\text{解: } R &= 82.06 \frac{\text{atm} \cdot \text{cm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \\ &= 82.06 \left(\frac{1.013 \times 10^5 \text{N}}{\text{m}^2} \right) (0.01\text{m})^3 \left(\frac{1}{0.001\text{Kmol}} \right) \left(\frac{1}{\text{K}} \right) \\ &= 8313 \text{N} \cdot \text{m/Kmol} \cdot \text{K} = 8.313 \text{KJ/Kmol} \cdot \text{K}\end{aligned}$$

工程计算中遇到的公式可分为两大类：第一类为物理方程，它是根据物理定律建立的，如 $F=ma$ ，适用于任何单位制，但式中各个物理量只能采用同一单位制；第二类为经验公式，它是根据实验数据整理而成的，其系数和指数显然与各物理量的单位密切相关，若公式中的各物理量需采用不同的单位时，则应将公式加以变换。变换的依据是：经验公式中的各符号只代表物理量的数字部分，而不是代表整个物理量。所以经验公式又称数字公式。变换方法见例 1—5。

例 1—5 现有一经验公式 $\alpha_T = 6.7u^{0.78}$

式中 α_T ——联合给热系数 $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

u ——空气流速 m/s

试将上述以工程单位制表示的计算式换算成以法定计量单位制表示的计算式。已知 $1\text{Kcal}=4.187\text{KJ}$ 。

解：前已述及，物理量是由数字和单位组成的，物理量除以单位，可得数字。设 α'_T 代表联合给热系数的物理量， u' 代表速度的物理量。这两个物理量在工程单位制中的数字应分别为

$\frac{\alpha'_T}{\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$ ， $\frac{u'}{\text{m/s}}$ 。代入上述以工程单位制表示的数字式：

$$\frac{\alpha'_T}{\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}} = 6.7 \left(\frac{u'}{\text{m/s}} \right)^{0.78}$$

换算因数 $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} = 4187\text{J}/3600\text{m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{K} = 1.163\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

$$\text{代入上式 } \frac{\alpha'_T}{1.163\text{W/m}^2 \cdot \text{K}} = 6.7 \left(\frac{u'}{\text{m/s}} \right)^{0.78}$$

$$\frac{\alpha'_T}{\text{W/m}^2 \cdot \text{K}} = 1.163 \times 6.7 \frac{u'^{0.78}}{\text{m/s}}$$

由上式可得以法定计量单位表示的数字式

$$\alpha'_T = 7.8u'^{0.78}$$