

化工原理

上册

天津大学化工原理教研室 编

天津科学技术出版社

责任编辑：吴孝钧

化 工 原 理

上 册

天津大学化工原理教研室 编

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津新华印刷二厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/16 印张28.75 字数704,000

1983年3月第1版

1987年6月第2版

1987年6月第4次印刷

印数：1—17,000

书号：15212·77 定价：6.05元

ISBN 7-5308-0112-0/O·8

内 容 提 要

本书是1983年出版的《化工原理》的修订版。书中重点介绍各个化工单元操作的基本原理、典型设备及计算方法。全书分上下两册出版。上册除绪论外，包括流体流动、流体输送设备、非均相物系的分离、固体流态化、搅拌、传热及蒸发等七章。下册包括蒸馏、吸收、蒸馏和吸收塔设备、液-液萃取、干燥、空气的调节和水的冷却、结晶及冷冻等八章。每章都编入较多的例题，各章末均附有典型的习题和思考题。上册末尾有做化工原理习题时常用的物性参考图表及管子、泵、通风机和热交换器部分规格。

全书采用国家法定计量单位制。

本书可用作高等院校化工类各专业的教材，也可供化工方面有关科研、设计及生产单位的技术人员参考。

全书由姚玉英主编。上册执笔人有：绪论及第三章刘邦孚、第一章及第二章黄凤廉、第四章曾敏静、第五章柴诚敬、第六章及第七章陈常贵、附录姚玉英。下册执笔人有：第一章及第六章陈常贵、第二章及第三章刘邦孚、第四章靳怀璿、第五章李宗堂、第七章李阿娜、第八章刘国维。

目 录

绪论	(1)
第一章 流体流动	(10)
本章符号说明	(10)
第一节 流体静力学基本方程式	(11)
1-1-1 流体的密度	(12)
1-1-2 流体的静压强	(13)
1-1-3 流体静力学基本方程式	(14)
1-1-4 流体静力学基本方程式的应用	(16)
第二节 流体在管内的流动	(21)
1-2-1 流量与流速	(22)
1-2-2 稳定流动与不稳定流动	(23)
1-2-3 连续性方程式	(24)
1-2-4 柏努利方程式	(25)
1-2-5 柏努利方程式的应用	(30)
第三节 流体在管内的流动阻力	(35)
1-3-1 牛顿粘性定律与流体的粘度 <small>< 非牛顿</small>	(35)
1-3-2 流动类型与雷诺准数	(38)
1-3-3 滞流与湍流	(40)
1-3-4 边界层的概念	(43)
1-3-5 流动阻力	(46)
1-3-6 流体在直管中的流动阻力	(47)
1-3-7 管路上的局部阻力	(58)
1-3-8 管路总能量损失的计算	(59)
第四节 管路计算与流量测量	(64)
1-4-1 管路计算	(64)
1-4-2 流量测量	(71)
×柏努利方程式的另一种推导方法	(79)
习题	(86)
思考题	(91)
第二章 流体输送设备	(93)
本章符号说明	(93)
第一节 液体输送设备	(94)
2-1-1 离心泵	(94)
2-1-2 其它类型泵	(125)

第二节 气体输送和压缩设备	(129)
2-2-1 离心通风机、鼓风机与压缩机	(130)
2-2-2 旋转鼓风机、压缩机与真空泵	(133)
2-2-3 往复压缩机	(135)
习题	(145)
思考题	(146)
第三章 非均相物系的分离	(147)
本章符号说明	(146)
第一节 重力沉降	(149)
3-1-1 沉降速度	(149)
3-1-2 降尘室	(156)
3-1-3 悬浮液的沉聚过程	(159)
3-1-4 沉降槽的构造与操作	(160)
3-1-5 连续沉降槽的计算	(160)
第二节 离心沉降	(163)
3-2-1 惯性离心力作用下的沉降速度	(164)
3-2-2 旋风分离器的操作原理	(165)
3-2-3 旋风分离器的性能	(167)
3-2-4 旋风分离器的结构型式与选用	(174)
3-2-5 旋液分离器	(177)
第三节 过滤	(178)
3-3-1 过滤操作的基本概念	(178)
3-3-2 过滤基本方程式	(180)
3-3-3 恒压过滤	(185)
3-3-4 恒速过滤与先恒速后恒压的过滤	(187)
3-3-5 过滤常数的测定	(188)
3-3-6 过滤设备	(193)
3-3-7 滤饼的洗涤	(197)
3-3-8 过滤机的生产能力	(198)
第四节 离心机	(202)
3-4-1 一般概念	(202)
3-4-2 离心机的结构与操作	(202)
第五节 气体的其它净制方法	(205)
3-5-1 惯性分离器	(205)
3-5-2 袋滤器	(206)
3-5-3 静电除尘器	(206)
3-5-4 文丘里除尘器	(207)
习题	(208)
思考题	(211)
第四章 流态化	(212)

本章符号说明	(212)
第一节 固体流态化	(213)
4-1-1 基本概念	(213)
4-1-2 流体阻力	(218)
4-1-3 流化床的操作范围	(221)
4-1-4 影响流化质量的因素	(224)
4-1-5 浓相区高度与分离高度	(229)
第二节 气力输送	(230)
4-2-1 基本情况	(230)
4-2-2 固体颗粒在水平管内的稀相输送	(233)
4-2-3 垂直管中稀相输送时的最低气速(噎塞速度)	(236)
4-2-4 倾斜管中的最低气速	(237)
4-2-5 稀相气力输送的压强降	(237)
习题	(240)
第五章 液体搅拌	(242)
本章符号说明	(242)
第一节 机械搅拌装置	(243)
5-1-1 搅拌器的类型	(243)
5-1-2 混合机理	(246)
5-1-3 “打旋”现象	(246)
5-1-4 搅拌槽及附件	(248)
5-1-5 “标准”搅拌装置的构型	(249)
5-1-6 搅拌槽内的液体循环量和压头	(249)
第二节 搅拌功率	(250)
5-2-1 功率关联式	(250)
5-2-2 功率曲线	(251)
第三节 搅拌器放大的基本概念	(255)
5-3-1 放大的基础	(255)
5-3-2 按功率数据的放大	(256)
5-3-3 按搅拌效果的放大	(257)
习题	(258)
第六章 传 热	(260)
本章符号说明	(260)
第一节 概述	(261)
6-1-1 传热的基本方式	(261)
6-1-2 典型的传热设备	(262)
6-1-3 稳定传热和不稳定传热	(264)
第二节 热传导	(264)
6-2-1 热传导的基本概念和傅立叶定律	(264)

6-2-2	导热系数	(265)
6-2-3	平壁的热传导	(266)
6-2-4	圆筒壁的热传导	(271)
第三节	对流传热	(274)
6-3-1	对流传热的分析	(274)
6-3-2	壁面和流体间的对流传热速率	(274)
6-3-3	热边界层	(273)
第四节	传热计算	(277)
6-4-1	能量衡算	(277)
6-4-2	总传热速率方程	(278)
6-4-3	平均温度差	(279)
6-4-4	总传热系数	(286)
6-4-5	传热单元数法	(291)
第五节	对流传热系数关联式	(297)
6-5-1	对流传热系数的影响因素	(297)
6-5-2	对流传热过程的因次分析	(298)
6-5-3	流体无相变时的对流传热系数	(300)
6-5-4	流体有相变时的传热系数	(303)
6-5-5	壁温的估算	(315)
第六节	辐射传热	(316)
6-6-1	基本概念和定律	(316)
6-6-2	两固体间的辐射传热	(320)
6-6-3	对流和辐射的联合传热	(324)
第七节	换热器	(325)
6-7-1	换热器的类型	(325)
6-7-2	列管式换热器的基本型式和设计计算	(329)
6-7-3	新型的换热器	(340)
6-7-4	各种间壁式换热器的比较和传热的强化途径	(344)
习题		(345)
思考题		(348)

第七章 蒸发 (350)

本章符号说明	(350)
第一节 蒸发器的型式	(352)
7-1-1 蒸发器的结构和特点	(352)
7-1-2 蒸发器的选型	(359)
第二节 单效蒸发	(360)
7-2-1 溶液的沸点和温度差损失	(360)
7-2-2 单效蒸发的计算	(364)
7-2-3 蒸发器的生产能力和生产强度	(370)
第三节 多效蒸发	(372)

7-3-1	多效蒸发的操作流程	(372)
7-3-2	多效蒸发的计算	(374)
7-3-3	多效蒸发和单效蒸发的比较	(385)
7-3-4	多效蒸发中效数的限制及最佳效数	(386)
第四节	蒸发器的设计	(386)
7-4-1	蒸发器的设计举例	(386)
7-4-2	蒸发器的辅助装置	(390)
习题		(391)
思考题		(392)

附录..... (393)

一、中华人民共和国法定计量单位	(393)
二、常用单位的换算	(394)
三、某些气体的重要物理性质	(398)
四、某些液体的重要物理性质	(399)
五、干空气的物理性质 (101.33kPa)	(402)
六、水的物理性质	(403)
七、水在不同温度下的粘度	(404)
八、水的饱和蒸气压 (-20°C至100°C)	(405)
九、饱和水蒸气表 (以温度为准)	(407)
十、饱和水蒸气表 (以用kgf/cm ² 为单位的压强为准)	(409)
十一、饱和水蒸气表 (以用kPa为单位的压强为准)	(411)
十二、某些液体的导热系数	(413)
十三、某些气体和蒸气的导热系数	(415)
十四、某些固体材料的导热系数	(416)
十五、常用固体材料的密度和比热	(418)
十六、液体的粘度和密度	(419)
十七、气体粘度共线图的坐标值	(423)
十八、液体的比热	(425)
十九、101.3kPa压强下气体的比热	(428)
二十、蒸发潜热 (气化热)	(430)
二十一、液体的表面张力	(432)
二十二、某些有机液体的相对密度 (液体密度与4°C水的密度之比)	(435)
二十三、壁面污垢的热阻 (污垢系数) m ² ·°C/W	(437)
二十四、无机盐溶液在101.33kPa下的沸点	(438)
二十五、101.3kPa下溶液的沸点升高与浓度的关系	(439)
二十六、管子规格 (摘录)	(439)
二十七、泵规格 (摘录)	(442)
二十八、4-72-11型离心通风机规格 (摘录)	(447)

二十九、管板式热交换器系列标准 (摘录)..... (448)

主要参考资料..... (451)

绪 论

化工生产是以化学变化或化学处理为主要特征的工业生产过程,其原料来源广泛,产品种类繁多,加工过程复杂多样。但是,在各种加工过程中,除化学反应外,其余步骤皆可归纳为若干种基本的物理过程,如流体的输送与压缩、沉降、过滤、搅拌、传热、蒸发、结晶、干燥、蒸馏、吸收、萃取、冷冻等等。这些基本的物理过程称为单元操作。若干单元操作与化学反应串联组合则可构成一个工艺制造过程。

单元操作不仅在化工中占据重要地位,也广泛应用于石油、冶金、轻工、制药、原子能等工业中。

不同工艺过程中的同一种单元操作,具有共同的基本原理和通用的典型设备。譬如,制糖工业中糖水的浓缩与制碱工业中苛性钠溶液的浓缩,都是通过蒸发这一单元操作而实现的,它们共同遵循热交换原理并且都采用蒸发器。又如酿造工业中酒精的提纯与石油工业中烃类的分离都是通过蒸馏这一单元操作而实现的,它们共同遵循物质传递原理并且都采用精馏塔。但是,不同工艺过程又各有其独特的条件与要求,制糖工业中蒸发操作的条件以及对蒸发器的要求就有别于制碱工业的,酿造工业中与石油工业中的蒸馏操作也是如此。

自本世纪初逐渐形成化学工程学科以后,于二十年代明确提出了单元操作的概念,并在高等院校化工系中就这一领域开设了相应的课程,称之为《化工原理》。我国解放以来,这一课程的教材名称虽曾几经变革,如称为《化学工业过程及设备》、《化学工程》等等,但其基本内容与体系,仍保持了相对的稳定。

一、《化工原理》课程的性质、任务与内容

《化工原理》是在高等数学、物理学及物理化学等课程的基础上开设的一门基础技术课程,其主要任务是研究化工单元操作的基本原理,典型设备的构造及工艺尺寸的计算(或选型)。通过学习本课程,可培养学生分析和解决有关单元操作各种问题的能力,以便在化工生产、科研和设计工作中达到强化生产过程,提高产品质量,提高设备能力及效率,降低设备投资及产品成本,节约能耗,防止污染以及加速新技术开发等方面的目的。因此,《化工原理》亦可称为《单元操作》,它是作为一门综合性技术学科的化学工程学的一个基础组成部分。

限于教材篇幅,不能把所有常用的单元操作逐一列述。本书主要讨论以下几方面的问题:

1. 流体动力过程

研究流体的流动及流体和与之接触的固体间发生相对运动时的基本规律,以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作,如流体的输送、沉降、过滤、搅拌及固体的流态化等。

2. 热过程

研究传热的基本规律,以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作,如热交换、蒸发等。

3. 传质过程

研究物质通过相界面的迁移过程的基本规律,以及主要受这些基本规律支配的若干单元

操作，如液体的蒸馏、气体的吸收、固体的干燥以及结晶等。

此外，本书还介绍了属于热力过程的冷冻操作。

随着对各种单元操作的不断研究与发展，人们逐渐认识到它们的共同规律及其内在联系，从而进一步形成了关于动量传递、热量传递及质量传递三种传递过程的理论，即所谓三传理论。有关三传理论的深入讨论不属于本课程的范围。

在研究各种单元操作时，为了搞清过程始末和过程之中各股物料的数量、组成之间的关系及搞清过程中吸收或释放的能量，必需作出物料衡算及能量衡算。物料衡算及能量衡算是本课程中常用的手段。此外，为了计算所需设备的工艺尺寸，必须依赖平衡关系，了解过程进行的方向与极限，依赖速率关系分析过程进行的快慢。平衡关系和速率关系是研究各种单元操作过程原理的基本内容。物料衡算及能量衡算的应用在 0-2 节中作扼要介绍，而平衡关系及速率问题的讨论将在以后各有关的章节中陆续进行。

单元操作过程进行的方式有间歇与连续之分。

间歇过程即分批进行的过程。每次操作之初向设备投入一批原料，经过一番处理之后，排出全部产物，再重新投料。小规模生产多采用间歇操作。间歇操作的设备里，同一位置上在不同时刻进行着不同的操作步骤，因而，同一位置上物料的组成、温度、压强、流速等参数都随时间而改变，属于不稳定操作状态。

连续过程恰似流水作业。原料不断地从设备一端送入，产品不断地从另一端排出。在连续操作的设备里，各个位置上物料的组成、温度、压强、流速等参数可互不相同，但在任一固定位置上，这些参数一般不随时间而变，属于稳定操作状态。多数化工生产过程是连续的，在正常情况下的操作状态都是稳定的，但在开车、停车、发生波动与故障以及调节过程中属于暂时性的不稳定操作状态。

二、物料衡算及能量衡算

1. 物料衡算

根据质量守恒定律，向设备输入的物质质量减去从设备输出的物质质量必等于积累在设备里的物质质量，即：

$$\sum m_I - \sum m_O = m_A \quad (0-1)$$

式中 $\sum m_I$ ——输入物料量的总和；

$\sum m_O$ ——输出物料量的总和；

m_A ——积累物料量。

式 0-1 是物料衡算的通式，它适用于任何指定的空间范围，并适用于过程所涉及的全部物料。当没有化学变化时，混合物的任一组分都符合这个通式；有化学变化时，其中各元素仍然符合这个通式。

式 0-1 既适用于间歇过程，也适用于连续过程。

进行物料衡算时，首先要圈出衡算的范围（或称系统），并确定衡算对象及衡算基准，然后把穿越系统边界的各股物料逐项列出。对于间歇过程，常以一次（一批）操作为基准，即式 0-1 中各项分别代表每次操作输入、输出及积累物料的质量；对于连续过程，则常以单位时间为基准，而单位时间流过的物料质量即为质量流量，所以式 0-1 中各项分别代表任一瞬间输入、输出物料的质量流量及该瞬间系统内物料质量积累的速率，即：

$$\sum w_i - \sum w_o = \frac{dm_A}{d\theta} \quad (0-1a)$$

式中 w_i 、 w_o ——每一股输入、输出物料的质量流量，kg/s，

$\frac{dm_A}{d\theta}$ ——物料质量积累速率，kg/s。

连续稳定过程中，设备内不应有任何物料积累，即 $\frac{dm_A}{d\theta} = 0$ ，所以，

$$\sum w_i = \sum w_o \quad (0-2)$$

【例 0-1】浓度为 20% (质量百分数) 的 KNO_3 水溶液以 1000 kg/h 的流量送入蒸发器。在 149°C 温度下蒸出一部分水而得到浓度为 50% 的水溶液，再送入结晶器，冷却至 38°C 后，析出含有 4% 结晶水的 KNO_3 晶体并不断取走，浓度为 37.5% 的 KNO_3 饱和母液则返回蒸发器循环处理。试求结晶产品量 P 、水分蒸发量 W 、循环母液量 R 及浓缩溶液量 S 。

解：

(1) 结晶产品量 P 及水分蒸发量 W 首先根据题意画出过程示意图 (见本例附图)。

在图中虚线方框 I 所示的范围内作物料衡算。因过程中无化学反应，且为连续稳定过程，故可依式 0-2 写出总物料衡算式及 KNO_3 的衡算式，即：

$$1000 = W + P$$

及 $1000(0.20) = W(0) + P(1 - 0.04)$

解得 $P = 208.3 \text{ kg/h}$

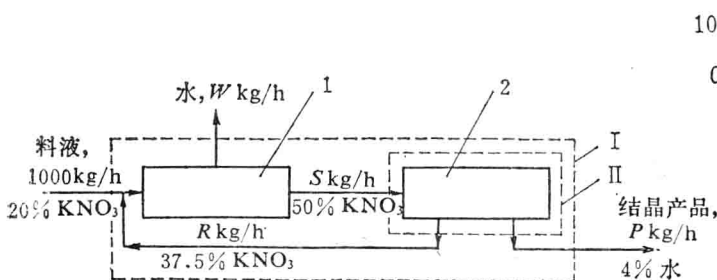
$$W = 791.7 \text{ kg/h}$$

(2) 循环母液量 R 及浓缩溶液量 S 在图中虚线方框 II 所示的范围内作总物料衡算及 KNO_3 衡算：

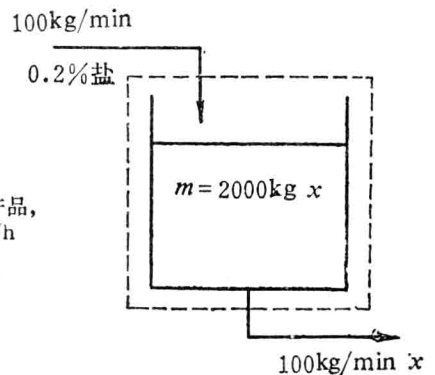
$$S = R + 208.3$$

$$S(0.50) = R(0.375) + 208.3(1 - 0.04)$$

解得 $R = 766.6 \text{ kg/h}$



例 0-1 附图
1—蒸发器 2—结晶器



例 0-2 附图

★ 【例 0-2】桶内存有 2000 kg 浓度为 10% (质量) 的盐水。现以 100 kg/min 的恒定流量向桶内注入浓度为 0.2% 的稀盐水，同时以相同的流量从桶底抽出盐水。若操作过程中桶内液

体能达到完全混合，即桶内的盐水浓度均匀，因而任何时刻抽出的盐水与当时存在桶内的盐水浓度相等，试求桶内盐水浓度降至 1% 所需的时间。

解：首先根据题意画出过程示意图（见本例附图）。以盐水桶为衡算范围，如图中虚线方框所示。在本题情况下，因向桶内输入盐水的质量与由桶内抽出盐水的质量相同，故桶内盐水积累质量为零，桶内盐水总质量 m 应维持不变，即：

$$m = 2000 \text{ kg}$$

但就桶内盐水浓度随时间而改变的情况来讲，应属于连续而不稳定的过程。

设任一时刻桶内的盐水浓度为 x ，则在 $d\theta$ 时间内各流股中盐的质量分别为：

$$\text{输入的盐量} = 100(0.002)d\theta$$

$$\text{输出的盐量} = 100xd\theta$$

$$\text{积累的盐量} = d(mx) = m dx + x dm = m dx = 2000 dx$$

依式 0-1 写出微分时间内的盐量衡算式：

$$100(0.002)d\theta - 100xd\theta = 2000 dx$$

$$\text{整理得 } d\theta = \frac{2000 dx}{0.2 - 100x}$$

按照如下边界条件，积分上式，即：

$$\text{开始时刻 } \theta = 0 \quad x = 0.1$$

$$\text{终了时刻 } \theta = \theta \quad x = 0.01$$

$$\int_0^{\theta} d\theta = \int_{0.1}^{0.01} \frac{2000 dx}{0.2 - 100x} = -20 \int_{0.1}^{0.01} \frac{dx}{x - 0.002}$$

$$\text{解得 } \theta = -20 \ln \frac{0.01 - 0.002}{0.1 - 0.002} = 50 \text{ min}$$

2. 能量衡算

能量既不会消灭，也不会创生。能量有多种存在形式，不同形式的能量之间可遵循一定的规律相互转化。

根据能量守恒定律，对于连续稳定过程而言，任何时间内通过各种途径进入系统的总能量（包括输入物料带进系统的能量及外界传入系统的热量）必等于同一时间内系统付出的总能量（包括输出物料带走的能量及系统对外界所做的功）。

各种形式的能量（如机械能、化学能、电能等）与热之间虽可相互转变，但在许多化工设备（如换热器、蒸馏塔等）中，往往没有或者不需考虑这种能量转变，因而化工系统中的总能量衡算有时便简化为特定形式的能量衡算。本课程中的总能量衡算便常简化为热量衡算，而热量衡算的依据仍然是能量守恒定律。

进行热量衡算的基本方法与物料衡算的方法相同，也必须首先明确衡算范围与衡算基准，但热量衡算还有两个值得注意的问题：

(1) 进、出系统的各股物料所携带的热量，包括物料的显热与潜热两部分，称为物料的焓。物料的焓值与其状态有关，而且是相对值。所以，在进行热量衡算时，为确定物料的焓值，必须首先规定基准温度；当有相变化发生时，还须规定基准状态。通常以 0°C 、液态为基准。本书附录九、十、十一的饱和水蒸气性质表中所列水蒸气的焓值，便是以 0°C 的液体水为基准求得的。譬如，从附录九中查得 100°C 饱和水蒸气的焓值为 2677.0 kJ/kg ，是因为将 1 kg 。

0°C的液体水加热至100°C(吸热418.6kJ),再令其汽化成为饱和蒸汽(又吸热2258.4kJ)所吸收的总热量为2677.0kJ。

(2) 热量不仅可以伴随物料进、出系统,而且可以透过设备、管道的壁面而由外界传入系统,或由系统散失到环境里去。只要系统温度与环境温度有差异,就会有这种热量的传入或散失,应当把这部分热量也列入衡算式中。

因此,若以 H 代表单位质量物料的焓值,kJ/kg,而以 w 代表物料的质量流量,kJ/s,则可写出连续稳定过程热量衡算的基本关系式,即

$$\sum(wH)_1 = \sum(wH)_0 + Q_L \quad (0-3)$$

式中 $\sum(wH)_1$ ——伴随各股输入物料进入系统的热(焓)流量, kW;

$\sum(wH)_0$ ——伴随各股输出物料离开系统的热(焓)流量, kW;

Q_L ——系统向环境散失的热流量,或称“热损失”, kW。

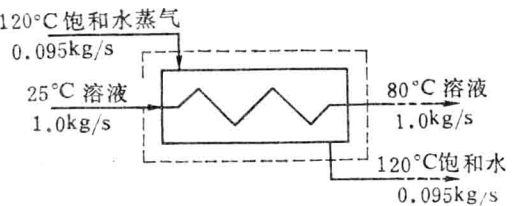
【例0-3】在换热器里将平均比热为3.56kJ/(kg,°C)的某种溶液自25°C加热到80°C,溶液流量为1.0kg/s。加热介质为120°C的饱和水蒸气,其消耗量为0.095kg/s,蒸汽冷凝成同温度的饱和水后排出。试计算此换热器的热损失占水蒸气所提供热量的百分数。

解:首先根据题意画出过程示意图(见本例附图)。

在图中虚线方框所示范围内作热量衡算。进、出系统的各股热流量分别为:

$$\begin{aligned} \text{随溶液进入的热流量} &= 1.0 \times 3.56 (25 - 0) \\ &= 89.0 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{随溶液离开的热流量} &= 1.0 \times 3.56 (80 - 0) \\ &= 284.8 \text{ kW} \end{aligned}$$



例0-3附图

又从附录七查出120°C饱和水蒸气的焓值为2709kJ/kg,120°C饱和水的焓值为503.7kJ/kg。

$$\begin{aligned} \text{随饱和水蒸气输入系统的热流量} &= 0.095 \times 2709 \\ &= 257.4 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{随饱和水离开系统的热流量} = 0.095 \times 503.7 = 47.9 \text{ kW}$$

依式0-3列出热量衡算式,即:

$$89.0 + 257.4 = 284.8 + 47.9 + Q_L$$

解得

$$\text{热损失 } Q_L = 13.7 \text{ kW}$$

$$\text{热损失百分数} = \frac{13.7}{257.4 - 47.9} \times 100\% = 6.6\%$$

三、单位制与单位换算

1. 单位与单位制

任何物理量的大小都是用数字与单位的乘积表示的,因此,物理量的单位与数字应一并纳入运算。例如:

$$5 \text{ m} + 8 \text{ m} = (5 + 8) \text{ m} = 13 \text{ m}$$

$$5 \text{ m} \times 8 \text{ m} = (5 \times 8) (\text{m} \times \text{m}) = 40 \text{ m}^2$$

一般说来,物理量的单位可以任意选择。但是,由于各种物理量间存在着客观的联系,

因此不必对每种物理量的单位都单独进行任意的选择，而可通过某些物理量的单位来量度另一些物理量。通常先任意选定几个独立的物理量(如长度、时间等)，可称为基本量，并根据使用方便的原则制定出这些量的单位，称为基本单位。然后，其它诸量(如速度、加速度等)的单位便可根据它们与基本量之间的关系来确定，这些物理量可称为导出量，其单位称为导出单位。所有导出单位都是由基本单位相互乘、除而构成的。

基本单位与导出单位的总和称为单位制。

由于历史和地区的原因，也由于学科领域的不同，出现了对基本量及其单位的不同选择，因而产生了不同的单位制。过去常见的几种单位制所用的基本量与基本单位列于表 0 - 1 中。

表0-1 绝对单位制与重力单位制

	长 度	时 间	质 量	力
绝对单位制				
CGS制 (物理单位制)	cm	s	g	
MKS制	m	s	kg	
重力单位制 (工程单位制)	m	s		kgf

绝对单位制以长度、时间、质量为基本量，其中MKS制的质量单位为kg。重力单位制以长度、时间、力为基本量，其中力的单位为kgf。1kgf等于质量为1kg的物体在重力加速度为 9.807m/s^2 的海平面上所受到的重力。

长期以来，整个科学技术领域存在着多种单位制并用的局面，同一个物理量在不同的单位制中具有不同的单位与数值，这就给计算和交流带来了麻烦，并且容易引起错误。为改变这种局面以统一计量单位制，1960年10月第十一届国际计量大会通过了一种新的单位制，称为国际单位制，其国际符号为SI。

SI是在MKS制基础上发展起来的，共规定了七个基本单位，除MKS制中原有的长度单位m(米)、时间单位s(秒)和质量单位kg(千克)外，还加上热力学温度单位K(开尔文)、电流单位A(安培)、光强度单位cd(坎德拉)和物质质量单位mol(摩尔)。这些基本单位都有严格的科学定义。国际单位制有两大优点：一是它的通用性。在自然科学、工程技术乃至国民经济各部门中，所有物理量的单位都可由上述七个基本单位导出，也就是说，SI是所有科学、技术、经济部门都可采用的一套相当完整的单位制。二是它的一贯性。任何一个SI导出单位在由上述七个基本单位相乘或相除而导出时，都不需引入比例系数。SI中每种物理量只有一个单位。譬如，热和功是本质相同的物理量(能量)，但在重力单位制中，热的单位是kcal，功的单位是 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ ，在运算中必须通过所谓“热功当量”(1kcal = 427 $\text{kgf}\cdot\text{m}$)这样一个比例系数来换算。而在SI中，热、功、能三者的单位都采用J(焦耳)，转换时无需换算因数。

国际单位制因其优越性而于近年来得到迅速推广，已被世界上多数国家及国际性组织采用。我国国务院于1977年确定逐步采用国际单位制；1984年又发布命令，确定我国统一实行

500

以国际制单位为基础的、包括国家选定的若干非国际制单位在内的《中华人民共和国法定计量单位》(以下简称SI)，并要求在1990年底前完成向国家法定计量单位的过渡。自1991年1月起，除个别例外外，不允许再使用非法定计量单位。

本书在SI中一律采用我国法定计量单位，在少数例题及习题中引入一些非法定的惯用单位，以便读者练习新旧单位间的换算。

2. 单位换算

要推行国家法定计量单位，要使SI为人们所熟悉并完全取代其它单位制，毕竟尚需经历一定的时间和完成大量的工作。因此还有必要了解已往常用的其他单位制，学会正确地运用单位，并掌握单位间的换算方法。

公式是计算的依据，因为它是对物质运动过程各有关因素间数量关系的客观描述。化工计算中所用到的公式可分两类。一类是根据物理规律建立的理论公式，反映各有关物理量之间的关系，又叫物理量方程。例如牛顿第二运动定律，即：

$$F = ma$$

式中 F ——作用在物体上的力；

m ——物体的质量；

a ——物体运动的加速度。

作用在物体上的力
物质的质量
物体运动的加速度

物理量方程具有单位一致性(或称因次一致性)，对于其中各个符号的单位无须多加限制，只要采用同一单位制便可。

另一类是单纯根据实验数据整理得来的经验公式。由于影响过程的因素颇多，彼此间关系又很复杂，致使许多化工问题未能依靠理论取得完满的解决，而必须借助实验或者半实验、半理论的方法来处理。由此得到的公式称为经验公式，它只反映各有关物理量的数字之间的关系，所以又叫数字公式。经验公式中每个符号并不代表完整的物理量，只代表物理量中的数字部分，而这些数字都是与特定的单位相对应的。因此在使用经验公式时，各物理量必须采用指定的单位。

所谓正确地运用单位，就是要注意到这两类公式对单位的不同要求，并在将各物理量代入公式进行运算之前，预先给它们换上适合公式要求的单位。

(1) 物理量的单位换算 物理量由一种单位换成另一单位时，量本身并无变化，但数值要改变。换算时要乘以两单位间的换算因数。所谓换算因数，就是彼此相等而各有不同单位的两个物理量之比。譬如，1牛顿的力和100000达因的力是两个彼此相等的物理量，但其所用单位不同，即：

$$1 \text{ N} = 100000 \text{ dyn}$$

那么，N与dyn两种单位间的换算因数便是：

$$\frac{100000 \text{ dyn}}{1 \text{ N}} = 100000 \text{ dyn/N}$$

因为任何换算

因为任何换算因数都是两个相等的量之比，所以任何换算因数(包括其单位部分在内)在本质上都是纯数1。所以，任何物理量乘以或除以换算因数，都不会改变原量的大小。

化工中常用单位间的换算因数可由本教材附录二查得。

【例0-4】已知 $1 \text{ atm} = 1.033 \text{ kgf/cm}^2$ ，试改用国家法定单位(Pa)表示此压强。

解：先列出有关各量不同单位间的关系：

试改用国家法定单位