

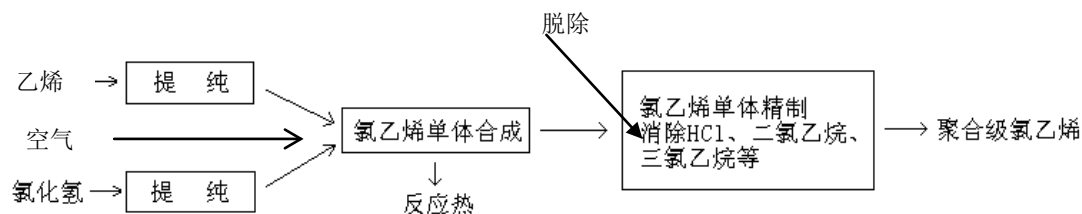
绪 论

0.1 化工生产过程与单元操作

0.1.1 化工生产过程

化学工业是将原料进行化学和物理方法加工而获得产品的工业。化工产品不仅是工业、农业和国防部门的重要生产资料，同时也是人们日常生活中的重要生活资料。近年来，传统化学工业向石油化工、精细化工、生物化工、环境、医药、食品、冶金等工业领域延伸与结合，并出现“化工及其相近过程工业”的提法，更显见其在国民经济中的重要地位。

化工产品种类繁多，生产过程十分复杂，每种产品的生产过程也各不相同，但加以归纳，均可视为由原料预处理过程、化学反应过程和反应产物后处理三个基本环节组成。例如，乙烯法制取氯乙烯生产过程是以乙烯、氯化氢和空气为原料，在压力为 0.5MPa、温度为 220℃、 CuCl_2 为催化剂等条件下反应，制取氯乙烯。在反应前，乙烯和氯化氢需经预处理除去有害物质，避免催化剂中毒。反应后产物中，除反应主产物氯乙烯外，还含有未反应的氯化氢、乙烯及副产物，如二氯乙烷、三氯乙烷等，需经后处理过程，如氯化氢的吸收过程，二氯乙烷、三氯乙烷与氯乙烯的分离过程等，最终获得聚合级精制氯乙烯。其生产过程简图如下。



上述生产过程除单体合成属化学反应过程外，原料和反应产物预、后处理环节中的提纯、精制分离，包括为反应过程维持一定的温度、压力需进行的加热、冷却、压缩等均为物理加工过程。据资料报道，化学与石油化学、制药等工业中，物理加工过程的设备投资约占全厂设备投资的 90% 左右，由此可见它们在化工生产过程中的重要地位。

0.1.2 单元操作

通常，一种产品的生产过程往往需要几个或数十个物理加工过程。但研究化工生产诸多物理过程后发现，根据这些物理过程的操作原理和特点，可归纳为若干基本的操作过程，如流体流动及输送、沉降、过滤、加热或冷却、蒸发、蒸馏、吸收、干燥、结晶及吸附等，并列于表 0-1。工程上将这些具有共性的基本操作称为**单元操作**（Unit operation）。由于各单元操作均遵循自身的规律和原理，并在相应的设备中进行，因此，单元操作包括过程原理和设

备两部分内容。

表 0-1 化工常用单元操作

单元操作名称	过程原理与目的	基本过程（理论基础）
流体输送 沉降 过滤 搅拌 流态化	输入机械能将一定量流体由一处送到另一处 利用密度差，从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒、液滴或气泡 根据尺寸不同的截留，从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒 输入机械能使流体间或与其他物质均匀混合 输入机械能使固体颗粒悬浮，得到具有流体状态的特性，用于燃烧、反应、干燥等过程	流体动力过程 （动量传递）
换热 蒸发	利用温差输入或移出热量，使物料升温、降温或改变相态 加热以汽化物料，使之浓缩	传热过程 （热量传递）
蒸馏 吸收 萃取 吸附 膜分离	利用各组分间挥发度不同，使液体混合物分离 利用各组分在溶剂中的溶解度不同，分离气体混合物 利用各组分在萃取剂中的溶解度不同分离液体混合物 利用各组分在吸附剂中的吸附能力不同分离气、液混合物 利用各组分对膜渗透能力的差异，分离气体或液体混合物	传质过程 （质量传递）
干燥 增减湿 结晶	加热湿固体物料，使之干燥 利用加热或冷却来调节或控制空气或其他气体中的水汽含量 利用不同温度下溶质溶解度不同，使溶液中溶质变成晶体析出	热、质同时传递
压缩 冷冻	利用外力做功，提高气体压力 加入功，使热量从低温物体向高温物体转移	热力过程
粉碎 颗粒分级	用外力使固体物体破碎 将固体颗粒分成大小不同的部分	机械过程

在对上述单元操作进行基础研究归纳后还发现，它们遵循若干类似的基本规律并具有相应的理论基础。从表 0-1 可以看出，除压缩、冷冻、粉碎、颗粒分级分属热力过程和机械过程外，其余单元操作分属以下几类。

流体动力过程（fluid flow process）（动量传递）——遵循流体力学基本规律，以动量传递(momentum transfer)为理论基础的单元操作；

传热过程(heat transfer process)（热量传递）——遵循传热基本规律，以热量传递(heat transfer)为理论基础的单元操作；

传质过程(mass transfer process)（质量传递）——遵循传质基本规律，以质量传递(mass transfer)为理论基础的单元操作；

热、质同时传递的过程——遵循热质同时传递规律的单元操作。

1923 年，美国麻省理工学院教授 W·H·华克尔等出版了第一部关于单元操作的著作《化工原理》（Principles of Chemical Engineering）。解放后，我国也相继出版了以单元操作为主

线的《化工原理》、《化工过程与设备》等教材，至今仍沿用《化工原理》这一名称。

0.2 《化工原理》课程的性质、内容及任务

本课程的性质：本课程是继数学、物理、化学、物理化学、计算机基础之后开设的一门技术基础课，它也是一门实践性很强的课程，所讨论的每一单元操作均与生产实践紧密相连。

本课程的内容：主要研究化工生产中各单元操作的基本原理、典型设备及其设计计算方法，主要内容如下所述（见表 0-1）。

- ① 流体动力过程：包括流体流动与输送、非均相分离等单元操作；
- ② 传热过程：包括传热、蒸发等单元操作；
- ③ 传质过程：包括蒸馏、吸收、吸附、膜分离等单元操作；
- ④ 热质过程：包括干燥、结晶等单元操作。

本课程的任务：培养学生具有运用本学科基础理论及技能（如电算技能等）分析和解决化工生产中有关实际问题的能力。特别是要注意培养学生的工程观点、定量计算、设计开发能力和创新理念。具体要求有以下几点。

- ① 选型：根据生产工艺要求、物料特性和技术、经济特点，会合理地选择单元操作及设备；
- ② 设计计算：根据选定的单元操作进行工艺计算和设备设计，当缺乏数据时会设法获取，如通过实验测取必要数据；
- ③ 操作：熟悉操作原理、操作方法和调节参数。具备分析和解决操作中产生故障的基本能力；
- ④ 开发创新：具备探索强化或优化过程与设备的基本能力。

特别应该指出的是，近年来，随着高新技术产业的发展（例如新材料、生物化工、制药、环境工程等领域的发展和崛起）出现了一系列新兴的单元操作和过程技术，如膜分离技术、超临界流体技术、超重力场分离、反应精馏技术、电磁分离技术等。它们是各单元操作、各专业学科间互相渗透、耦合的结果。因此，注意培养学生灵活运用本学科以及各学科间知识与技术的耦合以开发新型单元操作与设备的基本能力十分重要。

0.3 单元操作中常用的基本概念和观点

在计算和分析单元操作的问题时，经常会用到下列 4 个基本概念和一个观点，即物料衡算、能量衡算、过程平衡和速率这 4 个基本概念和建立一个经济核算观点，它们贯穿了本课程始终，应熟练掌握并灵活运用。这里仅作简单的介绍。

（1）物料衡算（mass balance） 根据质量守恒定律，进入与离开某一过程或设备的

物料的质量之差应等于积累在该过程或设备中的物料质量，即

$$\sum G_{\text{入}} - \sum G_{\text{出}} = G \quad (0-1)$$

式中 $\sum G_{\text{入}}$ — 输入物料量的总和；

$\sum G_{\text{出}}$ — 输出物料量的总和；

G — 积累物料量。

在进行物料衡算时，应注意下列几点。

① 确定衡算系统 式（0—1）既适合于一个生产过程，也适合于一个设备，甚至适合于设备中的一个微元。计算时，应先确定衡算系统，并将其圈出，列出衡算式，求解未知量。

② 选定计算基准 一般选不再变化的量作为衡算的基准。例如用物料的总质量或物料中某一组份的质量作为基准，对于间歇过程可用一次（一批）操作为基准，对于连续过程，通常以单位时间为基准。

③ 确定对象的物理量和单位 物料量可用质量或物质的量表示，但一般不用体积表示。因为体积（特别是气体体积）会随温度和压强的变化而改变。另外，在衡算中单位应统一。

【例 0-1】 某一连续操作的蒸发器将含 NaOH 为 x_F （质量分数）的稀溶液蒸发浓缩到质量分数为 x_W 。该蒸发器每小时的进料量为 F 千克，试求每小时所得浓碱液量 W 及水分蒸发量 V 各为多少千克。

解（1）画出过程示意图，圈出衡算范围，标出各物理量，如图 0-1 所示；

（2）确定衡算基准，过程为定态，时间基准取 1h，则总物料衡算式为

$$F = V + W$$

溶质衡算式为

$$Fx_F = Wx_W$$

由上两式解得

$$W = \frac{x_F}{x_W} F$$

$$V = (1 - \frac{x_F}{x_W}) F$$

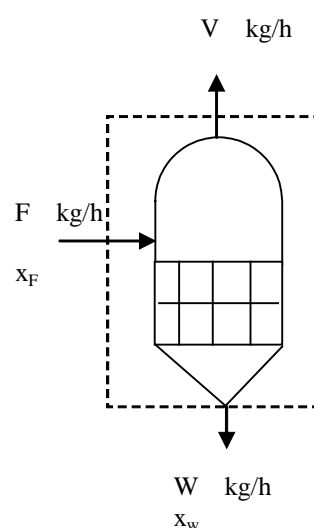


图 0-1 例 0-1 附图

（2）能量衡算(energy balance) 本教材中讨论的能量衡算主要为机械能和热能衡算。

机械能衡算将在第 1 章中介绍。热量衡算将在传热、蒸馏、干燥等章节中介绍。其衡算步骤和注意事项与物料衡算基本相同。

(3) 物系的平衡关系 (equilibrium relation) 是指物系的传热或传质过程进行的方向和能达到的极限。例如,当两物质温度不同,即温度不平衡时,热量就会从高温物质向低温物质传递,直到温度相等为止,此时传热过程达到极限,两物质间不再有热量的净传递。

在传质过程中,例如吸收过程,当用清水吸收氨-空气混合物中的氨时,氨在两相间不平衡,空气中的氨将进入水中,当水中的氨含量增至一定值时,氨在气液两相间达到平衡,即不再有质量的净传递。

由上可知过程平衡可以用来判断过程能否进行,以及进行的方向和能够达到的极限。

(4) 过程传递速率 (rate of transfer process) 指过程进行的快慢,通常用单位时间内过程进行的变化量表示。如传热过程速率用单位时间内传递的热量或用单位时间单位面积传递的热量表示;传质过程速率用单位时间单位面积传递的物质质量表示。显然,过程传递速率越大,设备生产能力越大,或在完成同样产量时设备的尺寸越小。工程上,过程传递速率问题往往比过程平衡问题更为重要。过程传递速率通常可表示成以下关系式

$$\text{过程传递速率} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}}$$

过程的推动力(driving force)是指过程在某瞬间距平衡状态的差值。如传热推动力为温度差,传质推动力为实际浓度与平衡浓度之差。过程的阻力(resistance)则取决于过程机理,如操作条件、物性等。显然提高推动力和减少过程阻力均可提高过程传递速率,但各有什么利弊,这将结合各单元操作的实际情况予以讨论。

(5) 经济核算 在设计具有一定生产能力的设备时,根据设备型式、材料不同,可提出若干不同设计方案。对于同一设备,选用不同操作参数,则设备费和操作费也不同,因此,不仅要考虑技术先进,同时还要通过经济核算来确定最经济的设计方案,达到技术和经济的优化,而且,不仅应考虑单一设备的优化,还必须满足过程的系统优化。当今,对于工程技术人员而言,建立优化的技术经济观点十分重要和必要。