



高职高专“十一五”规划教材

流体输送与 非均相分离技术

LIUTI SHUSONG YU FEIJUNXIANG FENLI JISHU

——刘承先 张裕萍 主编 汤立新 主审——



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

流体输送与非均相分离技术

刘承先 张裕萍 主编
汤立新 主审

图书在版编目(CIP)数据

流体输送与非均相分离技术 / 刘承先, 张裕萍主编. — 北京: 化学工业出版社, 2008.7

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-02860-0

I. 流… II. 刘… 张… III. ①流体输送—化工过程 ②流体输送—化工过程—教材 ③非均相分离—化工过程—教材 ④非均相分离—教材 IV. TQ022.1 TQ028 化学工业出版社 2008.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第103803号

文字编辑: 张裕萍
封面设计: 张裕萍

责任编辑: 张裕萍
文字编辑: 张裕萍

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南路13号 邮政编码100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 廊坊市龙印印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12 字数375千字 2008年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64218288 (传真: 010-64218288) 邮购: 010-64218288



化学工业出版社

· 北京 ·

本套教材是以化工过程单元操作为主线,辅以设备、电器、仪表等相关知识与操作的模块化课程教材,包括《流体输送与非均相分离技术》、《传热应用技术》和《传质分离技术》。整套教材以“过程的认识”、“装备的感知”、“操作知识的准备”、“过程操作控制与设备维护”、“安全生产”及“技术应用与知识拓展”等全新的思路组织编写,倡导“能力本位”,更加突出“实用、实际和实践”的高职特色,力求体现对学生职业素质及学习能力的培养。本书为《流体输送与非均相分离技术》分册,其内容包括:流体输送技术、流体输送过程的电器及自动化和非均相分离技术。

本套教材适合作为生物与化工技术、制药技术、环保及其相关专业的高职教材,也可作为与化工及制药技术类相关专业职业学校的参考教材和职工培训教材,还可供化工及其相关专业工程应用型本科学生和其他相关工程技术人员参考阅读。

主编 刘承先 张裕萍
副主编 蒋宇

图书在版编目(CIP)数据

流体输送与非均相分离技术/刘承先,张裕萍主编.
北京:化学工业出版社,2008.7
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-02860-0

I. 流… II. ①刘…②张… III. ①流体输送-化工过程-高等学校:技术学院-教材②相分离-化工过程-高等学校:技术学院-教材 IV. TQ022.1 TQ028

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第103603号

责任编辑:旷英姿 窦臻

文字编辑:咎景岩

责任校对:蒋宇

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张15 字数372千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:27.00元

版权所有 违者必究

前 言

本套教材是化工技术类专业模块化课程教学改革产物，并在参照国内相关院校教材和工程手册的基础上编写而成的。全套书分《流体输送与非均相分离技术》、《传热应用技术》和《传质分离技术》三大模块，并以系列教材（共计3本）的形式出版。

整套教材以化工过程单元操作为主线，整合了化工设备、参数测量与控制仪表的相关知识与操作技术，以任务为导向，采用了“过程的认识”、“装备的感知”、“操作知识的准备”、“过程操作控制与设备维护”、“安全生产”及“技术应用与知识拓展”等全新的思路组织编写。教材依据高职高专人才培养目标，倡导能力本位，其教学内容的安排更注重与生产实际的结合，并将各类单元操作设备的工艺计算与安全操作等内容重点编入，更加突出了“实用、实际和实践”的高职特色。

全套教材力求强调学生能力、知识、素质培养的有机统一。以“能”做什么、“会”做什么明确学生的能力目标；以“掌握”、“理解”、“了解”三个层次明确学生的知识目标；并从注重学生的学习方法与创新思维的养成，情感价值观、职业操守的培养，安全节能环保意识的树立和团队合作精神渗透等方面明确了学生的素质培养目标。

为便于教学和学生对所学内容的掌握、理解，在每个模块前设立了学习目标，每个模块后列出较多数量的习题与思考题。

整套教材中，除特别指明以外，计量单位统一使用我国的法定计量单位。物理量符号的使用是以在GB3100~3102-93规定的基础上，尊重习惯表示方法为原则，并在每个模块开始前列有“本模块主要符号说明”以供查询。设备与材料的规格、型号尽可能采用最新标准，以利于实际应用。

本套教材适用于作为生物与化工技术、制药技术、环保及其相关专业的高职教材，也可作为与化工及制药技术类相关专业职业学校的参考教材和职工培训教材，还可供化工及其相关专业工程应用型本科学生和其他相关工程技术人员参考阅读。

本册内容包括以流体动力过程为主体的两大单元操作、三个模块，即流体输送技术模块、流体输送过程的电器及自动化模块和非均相分离技术模块。本册教材由常州工程职业技术学院刘承先、张裕萍主编。绪论，模块一的任务一、二，模块二及附录由刘承先编写；模块一的任务三和模块三的任务一由张裕萍编写；模块三的任务二由健雄职业技术学院顾准编写；模块一的任务四由刘承先和张裕萍共同编写；模块三的任务三由刘承先和顾准共同编写。南京化工职业技术学院汤立新担任本书的主审。常州工程职业技术学院化工原理教研室的蒋晓帆、李雪莲、姜春扬也参与了审稿。

本书在编写过程中，得到了编写学校领导和老师的大力支持与帮助，在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2008年4月

目 录

绪 论

一、课程的性质和任务	1
二、课程的主要内容	1
三、课程解决问题的主要方法	3
四、单位的正确使用	6
五、本教材的特点	6
习题与思考题	7

模块一 流体输送技术

本模块学习目标	8
本模块主要符号说明	8
任务一 认识流体输送设备	10
一、贮罐	10
二、化工管路	21
任务二 认识流体输送机械	29
一、离心泵	29
二、往复式泵	45
三、其他类型的化工泵	47
四、常用化工用泵的性能比较	50
五、气体输送与压缩机械	51
任务三 流体输送知识准备	60
一、流体的基本物理量	60
二、静力学基本方程式	64
三、连续性方程式	68
四、伯努利方程式	71
五、流体阻力	74
任务四 流体输送过程操作	83
一、流体输送方式及输送机械的选用	83
二、液体输送机械的运行操作	84
三、气体输送和压缩机械的运行操作	91
四、真空机械运行操作	98
习题与思考题	102

模块二 流体输送过程的电器与自动化

本模块学习目标	108
本模块主要符号说明	108
任务一 流体输送过程常用仪表	109
一、压力检测及仪表	109
二、液位检测及仪表	110
三、流量检测及仪表	115
任务二 认识常用电器与电机	121
一、三相正弦交流电	121
二、电工测量	123
三、常用低压电器	125
四、异步电动机	128
五、安全用电常识	131
六、化工企业电气安全	136
任务三 认识流体输送过程的自动控制	137
一、自动控制系统	137
二、简单控制系统图	139
三、常用控制规律	142
四、常用控制装置	145
五、自动控制系统的品质指标	151
六、控制方案的确定	155
七、控制器的参数整定	156
八、简单控制系统的投运	158
九、复杂控制系统	160
十、流体输送过程的自动控制	167
十一、常规控制流程图识图	169
习题与思考题	171

模块三 非均相分离技术

本模块学习目标	174
本模块主要符号说明	174
任务一 认识非均相物系的分离设备	175
一、沉降设备	175
二、过滤设备	177
三、其他分离设备	183
任务二 非均相物系分离技术知识准备	187
一、沉降	187
二、过滤	195

任务三 非均相物系分离操作	206
一、分离方法和分离设备的选择	206
二、典型过滤操作及故障处理	207
习题与思考题	210

附 录

一、计量单位换算	213
二、某些气体的重要性质	215
三、某些液体的重要物理性质	216
四、空气的重要物理性质 ($p=101.3\text{kPa}$)	217
五、水的重要物理性质	218
六、水的饱和蒸气压 ($-20\sim 100^{\circ}\text{C}$)	219
七、饱和水蒸气表 (以温度排列)	220
八、水的黏度 ($0\sim 100^{\circ}\text{C}$)	221
九、液体黏度共线图和密度	222
十、气体的黏度共线图	223
十一、铁碳合金在某些介质中的腐蚀速度	224
十二、管子规格	225
十三、常用离心泵的规格 (摘录)	226
十四、4-72-11 型离心式通风机的规格	231

参考文献

绪 论

一、课程的性质和任务

“化工单元操作技术”是化工技术类专业核心课程，具有很强的技术性、工程性及实用性，是培养学生工程技术观点与化工核心实践技能的重要课程。

本课程研究化工单元操作过程规律在化工生产中的应用，主要任务是使学生获得常见化工单元操作的基础知识，培养学生化工生产单元岗位技能，具备一定的分析和解决单元操作中常见故障的能力，具备一定的设备、仪表选用能力以及安全用电常识，使学生得到用工程技术观点观察问题、分析问题和解决问题的训练，使学生初步具备实施常规工艺、常规管理的能力，初步树立创新意识、安全生产意识、质量意识和环境保护意识，为学生学习后续课程和将来从事化工生产、建设、管理和服务作准备，为提高职业能力打下基础。

二、课程的主要内容

1. 化工生产过程与单元操作

以聚氯乙烯树脂生产为例，聚氯乙烯的生产是以乙炔和氯化氢为原料在催化剂作用下进行加成反应制取氯乙烯单体，然后在 0.8MPa、55℃左右进行聚合反应获得聚氯乙烯。在进行反应前，必须将乙炔和氯化氢中所含的有害杂质除去，以免反应器中的催化剂中毒失活。反应生成物（氯乙烯单体）中含有未反应掉的氯化氢及其他反应副产物。氯化氢必须首先除去，以免对过程的设备、管道的腐蚀，然后将反应后的气体进行压缩、冷凝并除去其他杂质，以达到聚合反应所需的纯度和聚集状态。聚合所得的物料是固、水悬浮物，须经脱水、干燥后成为产品。这一生产过程如图 0-1 所示。

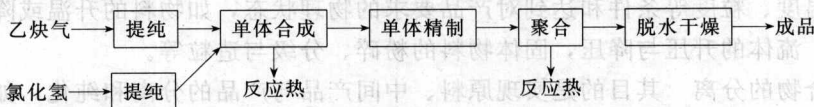


图 0-1 聚氯乙烯生产过程

在此生产过程中，除单体合成、聚合属化学反应过程外，原料的提纯和产物的精制等工序均属物理过程。

分析众多化工产品的生产过程，一个完整的化工生产过程如图 0-2 所示。

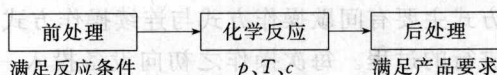


图 0-2 化工生产过程

除特定的化学反应过程外，前后处理过程所包含的物理过程并不是很多，而且有相似性。如：流体不论用来输送何种物料，其目的都是将流体从一个设备输送至另一个设备；加

热或冷却的目的均是为了得到需要的工作温度；分离提纯的目的均是为了得到指定浓度的物质等等。包含在不同化工产品生产过程中，采用相似的设备，具有相同功能，遵循相同的物理学规律的基本操作，称为单元操作。

单元操作作为化学反应过程创造适宜条件，将反应产物分离，制得满足要求的产品，在生产过程中占有极其重要的地位。通常，它们在工厂的设备投资和操作费用中占主要的比例，决定了整个生产的经济效益。

2. 单元操作的分类与遵循的基本规律

按照操作的主要物理特征和基本原理，单元操作大致可分为 6 类，常见的化工单元操作如表 0-1 所示。

表 0-1 常用单元操作

类 别	名 称	目 的
流体动力过程	流体输送	将流体从一个设备输送到另一个设备
	过滤	从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒
	沉降	从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒、液滴或气泡
传热过程	传热	升温、降温或改变相态
	蒸发	使非挥发性物质中的溶剂汽化，溶液增浓
传质过程	蒸馏	利用组分挥发度不同，通过汽化、冷凝，分离均相混合液体
	吸收	利用气体在液体（吸收剂）中溶解度不同，分离气相混合物
	萃取	利用液体在液体（萃取剂）中溶解度不同，分离液相混合物
	吸附	利用组分在固体吸附剂上吸附量不同，分离气相或液相混合物
	膜分离	利用固体或液体膜分离气体或液体混合物
热质传递过程	干燥	使固体湿物料中所含湿分部分汽化除去
	结晶	使溶液中某种溶质变成晶体析出
热力过程	冷冻	将物料温度冷却到环境温度以下
	压缩	提高气体的压力
机械过程	粉碎	用外力使固体物料变成尺寸更小的颗粒
	颗粒分级	将固体颗粒分成大小不同的部分

按照操作的目的，单元操作可以分为 3 类：

(1) 改变物料的状态 其目的是使物料满足实现化学反应或其他单元操作所需要的组成、压力、温度、粒度等条件和达到对产品要求的物理状态，如物料的升温或降温，空气的增湿与减湿，流体的升压与降压，固体物料的粉碎、分级与造粒等。

(2) 混合物的分离 其目的是实现原料、中间产品与产品的分离和纯化，如用沉降或过滤的方法分离非均相混合物，用蒸馏、吸收、萃取等方法分离气体或液体均相混合物。

(3) 物料的输送 包括流体的输送与固体的输送。

3. 单元操作的操作方式

根据操作过程参数的变化规律，单元操作可以分为定态操作状态（稳定操作）和非定态操作状态（非稳定操作）两种形式。

单元操作过程进行的方式主要有间歇操作方式与连续操作方式。

间歇操作方式即分批进行的过程。每次操作之初向设备投入一批原料，经过处理之后，排除全部产物，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、压力、流速等参数随时间而改变，属于不稳定操作状态。

连续操作方式恰似流水作业。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、压力、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操作的，在正常情况下的操作状态是稳定的，但在开车、停车、发生波动与故障以及调节过程中属于暂时的不稳定操作状态。

除间歇操作和连续操作方式外，还存在半连续（半间歇）式操作。原料与产物只要其中的一种为连续输入或输出而其余为分批加入或卸出的操作，均属半连续操作，半连续操作具有连续操作和间歇操作的某些特征。连续流动的物料与连续操作相似，有分批加入或卸出的物料，因而生产是间歇的，这反映了间歇操作的特点。由于这些原因，在半连续（半间歇）操作设备里，组成、温度、压力、流速等参数必然既随时间而改变，也随位置而改变。

三、课程解决问题的主要方法

本课程所要解决的问题均具有明显的工程性，主要原因是：①影响因素多（物性因素、操作因素及结构因素等）；②制约因素多（原辅材料来源、设备性能、自然条件等）；③评价指标多（经济、健康、安全、环保等评价指标）；④经验与理论并重。因此，解决单元操作问题仅仅通过解析的方法是难以实现的，常常需要理论与实践相结合。在解决相关单元操作问题时，主要运用物料衡算、能量衡算方法及平衡关系和过程速率。

1. 物料衡算

将质量守恒定律应用到化工生产过程中，以确定过程中物料量及组成的分布情况，称为物料衡算。其通式为：

$$\sum F = \sum D + A$$

式中 $\sum F$ ——时间 t 内输入系统的物料量；

$\sum D$ ——时间 t 内输出系统的物料量；

A ——时间 t 内系统中物料的积累量。

衡算时，方程两边计量单位应保持一致。在物料衡算时，首先要选择衡算范围（可以框出）和衡算基准（时间基准和物质基准），然后再列方程计算。

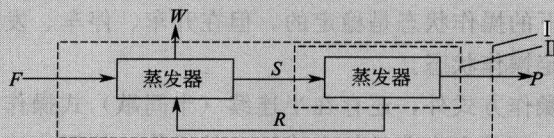
化工单元操作过程不涉及化学反应变化（由《化学反应过程及设备》专门讨论），全部物质的总量是平衡的，其中任何一个组分也是平衡的。

对于定态连续操作，过程中没有物质的积累，输入系统的物料量等于输出系统的物料量，在物料衡算时，物质的量通常以单位时间为计算基准；对于间歇操作，操作是周期性的，物料衡算时，常以一批投料作为计算基准。

在化工生产中，物料衡算是一切计算的基础，是保持系统物质平衡的关键，能够确定原料、中间产物、产品、副产品、废弃物中的未知量，分析原料的利用及产品的产出情况，寻求减少副产物、废弃物的途径，提高原料的利用率。

【例 0-1】 某化肥厂在生产中副产含 10%（质量分数） KNO_3 的水溶液，为了充分利用资源，减少环境污染，提高经济效益，工厂准备采用连续蒸发工艺，浓缩 KNO_3 水溶液，然后冷却结晶得到 KNO_3 晶体。连续蒸发工艺将 10% 的 KNO_3 水溶液以 1000 kg/h 的流量连续送入蒸发器，蒸发浓缩到 50%，再送入结晶器，冷却结晶得到含水 4% 的 KNO_3 晶体，并不断取走，浓度为 37.5% 的母液则返回蒸发器循环处理。试计算结晶产量 P 、水的蒸发量 W 及循环母液量 R 。

解 根据题意, 画出流程示意图如下:



(1) 求结晶产品量 P 以图中框 I 作为物料衡算的范围, 以 KNO_3 为物质对象, 以 1h 为衡算基准, 则有物料衡算式:

$$Fx_{\text{WF}} = Px_{\text{WP}}$$

式中, $F=1000\text{kg/h}$; $x_{\text{WF}}=20\%$; $x_{\text{WP}}=1-4\%=96\%$ 。代入得:

$$P = \frac{1000 \times 0.20}{0.96} = 208.3 \text{ (kg/h)}$$

(2) 求水分蒸发量 W 以图中框 I 作为物料衡算的范围, 以水为物质对象, 以 1h 为衡算基准, 则有物料衡算式:

$$F = W + P$$

因此

$$W = F - P = 1000 - 208.3 = 791.7 \text{ (kg/h)}$$

(3) 求循环母液量 R 以图中框 II 作为物料衡算的范围, 并设进入结晶器的物料量为 S , 单位为 kg/h 。分别以总物料和 KNO_3 为物质对象, 以 1h 为衡算基准, 则有物料衡算式:

$$S = R + P$$

$$Sx_{\text{WS}} = Rx_{\text{WR}} + Px_{\text{WP}}$$

式中, $x_{\text{WS}}=50\%$; $x_{\text{WR}}=37.5\%$; 其他同前。两式联合解得:

$$R = 766.6 \text{ kg/h}$$

从这个例题, 可以体会如何根据需要取不同的系统和不同的衡算对象。在很多化工过程中主要涉及物料温度与热量的变化, 所以热量衡算是化工计算中最常用的能量衡算。热量衡算的基础是能量守恒定律, 通式为:

$\sum H_F + q = \sum H_P + A_q$
 式中 $\sum H_F$ ——单位时间内输入系统的物料的焓总和;
 $\sum H_P$ ——单位时间内输出系统的物料的焓总和;
 q ——单位时间内系统与环境交换的热量;
 A_q ——单位时间内系统中热量的积累量。

上式中, 当系统获得热量时, 系统与环境交换的热量取正值, 否则取负值。

衡算时, 方程两边计量单位应保持一致。与物料衡算相似, 进行热量衡算时首先也要划定衡算系统和选取衡算基准。但是与物料衡算不同, 进行热量衡算时除了选取时间基准外, 还必须选取物态与温度基准, 因为反映物料所含热量的焓值是温度与物态的函数。计算基准通常以简单方便为准, 通常包括基准温度、压力和相态。比如, 物料都是气态时, 基准态应该选气态, 都是液态时应该选择液态。基准温度常选 0°C , 基准压力常选 100kPa 。还要考虑数据来源, 应尽量使基准与数据来源一致。

对于定态连续操作, 过程中没有焓的积累, 输入系统的物料的焓与输出系统的物料的焓

之差等于系统与环境交换的热量，通常以单位时间为计算基准；对于间歇操作，操作是周期性的，热量衡算时，常以一批投料作为计算基准。

在化工生产中，热量衡算主要用于保持系统能量的平衡，能够确定热量变化、温度变化、热量分配、热量损失、加热或冷却剂用量等，寻求控制热量传递的办法，减少热量损失，提高热量利用率。

【例 0-2】 在一列管式换热器中，用 373K 的饱和水蒸气加热某溶液，溶液流量为 1000kg/h。从 298K 加热到 353K，溶液的平均比热容为 3.56kJ/(kg·K)。饱和水蒸气冷凝放热后以 373K 的水排出。换热器向四周的散热速率为 10000kJ/h。稳定操作。试计算所需的加热蒸汽用量。

解 首先根据题意画出过程示意图：

虚线所示的整个换热器为系统，时间基准为 1 h，温度基准为 273 K，物态基准为液体。

设饱和水蒸气用量为 D (kg/h)，查得 373K 的饱和水蒸气的焓为 2677kJ/kg，饱和水的焓为 418.68kJ/kg，故：

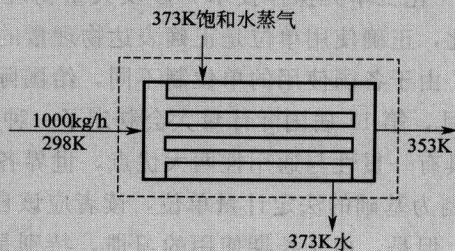
$$\sum H_F = 1000 \times 3.56 \times (298 - 273) + 2677D$$

$$\sum H_P = 1000 \times 3.56 \times (353 - 273) + 418.68D$$

$$q = -10000 \text{ kJ/h}$$

解得：

$$D = 90.8 \text{ kg/h}$$



2. 平衡关系

平衡是过程进行的极限状态。平衡状态下，各参数是不随时间变化而变化的，并保持特定的关系。平衡时各参数之间的关系称为平衡关系。平衡是动态的，当条件发生变化时，旧的平衡将被打破，新的平衡将建立。

在化工生产中，平衡关系用于判定过程能否进行以及进行的方向和限度。操作条件确定后，可以通过平衡关系分析过程的进行情况，以确定过程方案、适宜设备等，明确过程限度和努力方向。

例如在传热过程中，当两物质温度不同时，热量就会从高温物质向低温物质传递，直到两物质的温度相等为止，此时过程达到平衡，两物质间再也没有热量的净传递。又如吸收过程，在一定条件下，含氨的空气与水接触，氨在两相间呈不平衡状态，空气中的氨将溶解进入水中，当水中的氨含量增加到一定值时，氨在气、液两相间达到平衡，氨在空气与水两相间再没有净传递，水吸收氨达到了极限，反过来，也能根据所要得到的氨水的浓度或尾气中氨的浓度，分析需要的吸收条件。

3. 过程速率

当实际状态偏离平衡状态时，就会发生从实际状态向平衡状态转化的过程，过程进行的快慢，称为过程速率。影响过程的因素很多，如物料性质、操作条件设备结构及性能、自然条件等等，况且，不同过程影响因素也不一样，因此，没有统一的解析方法计算过程速率。工程上，仿照电学中的欧姆定律，认为过程速率正比于过程推动力，反比于过程阻力，即

$$\text{过程速率} \propto \frac{\text{过程推动力}}{\text{过程阻力}}$$

过程推动力是实际状态偏离平衡状态的程度，如传热过程，过程推动力就是温度差，对传质来说，就是浓度差等。显然，在其他条件相同的情况下，推动力越大，过程速率越大。

过程阻力是阻碍过程进行的一切因素的总和，与过程机理有关，阻力越大，速率越小。

在化工生产中，过程速率用于确定过程需要的时间或需要的设备大小，也用于确定控制过程速率的办法。比如，通过研究影响过程速率的因素，可以确定改变哪些条件，以控制过程速率的大小，达到预期目的。这一点，对于一线操作人员来说非常重要。

四、单位的正确使用

“化工单元操作技术”涉及大量物理量，物理量的正确表达是单位与数字统一的结果。因此，正确使用单位是正确表达物理量的前提。

由于各国使用的单位制不同，给国际间的科学技术交流与贸易往来带来不便。1960年10月，第11届国际计量大会制定了一种新的单位制，称为国际单位制，符号SI。国际单位制具有一贯性与通用性两大优点，世界各国都在积极推广SI制，我国也于1984年颁发了以SI制为基础的法定计量单位，读者应该自觉使用法定计量单位。

但是，由于长期使用的习惯，特别是以前出版的科技书籍、手册中大多使用旧的单位制，因此必须了解各种单位制，并能正确掌握不同单位制之间的换算。本课程涉及的公式有两种，一种是物理量方程，另一种是经验公式。前者有严格的理论基础，要么是某一理论或规律的数学表达式，要么是某物理量的定义式，这类公式中各物理量的单位只要统一采用同一单位制下的单位就可以了；而后者则是由特定条件下的实验数据整理得到的，经验公式中，物理量的单位均为指定单位，使用时必须采用指定单位，否则公式就不成立了。如果想把经验公式计算出的结果换算成SI制单位，最好的办法就是先按经验公式的指定单位计算，最后再把结果转换成SI制单位，不要在公式中换算。

单位换算是通过换算因子来实现的，换算因子就是两个相等量的比值。比如， $1\text{m}=100\text{cm}$ ，当需要把m换算成cm时，换算因子为 $100\text{cm}/1\text{m}$ ；当需要把cm换算成m时，换算因子为 $1\text{m}/100\text{cm}$ 。在换算时只要用原来的量乘上换算因子，就可以得到期望的单位了。

【例 0-3】 一个标准大气压（1atm）等于 $1.033\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，等于多少帕？

解 $1\text{atm}=1.033\text{kgf}/\text{cm}^2=1.033\times\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\times\frac{9.81\text{N}}{1\text{kgf}}\times\left(\frac{100\text{cm}}{1\text{m}}\right)^2=1.013\times10^5\text{Pa}$

五、本教材的特点

本教材是根据高职教育以培养职业能力为目标的特点，以化工工艺技术人员在生产一线岗位所需要的职业能力为核心，以化工过程单元操作为主线，辅以设备、电器与仪表知识与操作的模块化综合性教材。主要内容综合化工生产常用设备、电器及自动化及化工单元操作的知识，包含化工单元操作设备的主要构造、正常操作、常见故障分析处理等内容，从而培养学生单元操作的岗位技能和技术应用能力。

按照单元操作的主要物理特征和基本原理，本教材共分为三册。第一册为《流体输送及非均相分离技术》，第二册为《传热应用技术》，第三册为《传质分离技术》。整套教材以“装备的认识”、“操作知识准备”、“过程操作控制”、“技术应用”、“安全生产”等全新的编写思路组织编写，倡导“能力为本”，更加突出“实用、实际和实践”的高职特色。

《流体输送与非均相分离技术》分册包括：流体输送操作技术和非均相分离操作技术。主要内容为：流体输送岗位的相关贮罐、管子管件、输送设备以及电器、仪表、自控知识，流体输送操作技术及故障分析；非均相分离岗位的相关设备以及相关仪表知识，非均相分离操作技术及故障分析。

习题与思考题

1. 单元操作与化工生产的关系如何？通过检索资料，了解单元操作的类型、发展及应用。
2. 单元操作解决工程实际问题的主要方法有哪些？
3. 过程速率的主要影响因素有哪些？过程速率的通式是什么？
4. 试将通用气体常数 $R=82.06\text{atm}\cdot\text{cm}^3/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 换算成 SI 单位。
5. 某容器内装有 1000L 质量分数为 0.95 的乙醇水溶液，其密度为 $804\text{kg}/\text{m}^3$ 。现用纯水以 $100\text{kg}/\text{min}$ 的速率进入容器置换，并以同样的速率放出乙醇溶液，假设容器内混合良好。试求要使容器内乙醇溶液的质量分数变为 0.05，需要多少时间？

模块一 流体输送技术

本模块学习目标

知识目标

1. 掌握流体输送过程中常用贮罐形式；安全装置的结构；常用阀门的性能特点；离心泵主要性能以及气缚、汽蚀现象产生的原因，离心泵的选型与安装高度；流体基本物理量及其相互关系，静力学方程，连续性方程，伯努利方程，流体阻力的形成及影响因素，流体的流动形态及其判定；流体输送过程的操作要领。
2. 理解流体输送中常用材质性质；化工管路的构成、管道连接方式、布置等原则；输送机械的类型及特点；单一管路阻力的估算方法及减小流体阻力的途径；常见故障及其处理方法的理论基础。
3. 了解输送机械的结构及工作过程；管内流速的分布等；压力容器知识及试验方法。

能力目标

能根据生产任务选择合适的贮罐形式及材质；能正确选择流体输送机械形式，正确使用离心泵；会选择合适的阀门等管件；会初步进行管路布置；会用流体静力学测定流体的压力、液位以及计算液封高度；能根据生产工艺的要求应用伯努利方程估算输送流体所需能量以便选用合适的输送机械；能进行离心泵、往复泵、齿轮泵、压缩机等常用流体输送机械基本操作；能对输送过程中的常见故障进行分析处理；能根据生产任务和设备特点制定简单的流体输送过程的安全操作规程。

素质目标

培养学生理论联系实际的思维方式；培养学生追求知识、独立思考、勇于创新的科学态度，逐步形成理论上正确、技术上可行、操作上安全可靠、经济上合理的工程技术观念；培养学生敬业爱岗、勤学肯干的职业操守、严格遵守操作规程的职业素质；培养学生团结协作、积极进取的团队合作精神；培养学生安全生产、节能环保的职业意识。

本模块主要符号说明

英文字母

A ——面积， m^2 ；
 d ——管径， m ；
 d_e ——当量直径， m ；
 D_i ——容器的内径， m ；
 D_N ——容器的公称直径， m ；
 D_o ——容器的外径， m ；

d^0 ——流体的相对密度；
 E_f ——流体的阻力损失， J/kg ；
 F ——剪力， N ；
 g ——重力加速度， m/s^2 ；
 G_s ——流体的质量流量， kg/s ；
 H ——泵的扬程， m ；
 h ——液柱高度， m ；

H_e ——输送机械的外加压头, J/N 即 m;	T ——温度, K;
h_f ——流体的损失压头, J/N 即 m;	T_0 ——标准状况下的温度, 273K;
$H_{g, \max}$ ——离心泵的允许吸上高度, m;	u ——流体的流速, m/s;
H_g ——离心泵的安装高度, m;	V ——流体的体积;
Δh ——离心泵的允许汽蚀余量, m;	V_s ——流体的体积流量, m^3/s ;
l ——管长, m;	w ——质量流速, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
l_e ——管件的当量长度, m;	W_e ——输送机械的外加能量, J/kg;
M ——摩尔质量, kg/kmol;	x ——液相摩尔分数;
m ——流体的质量, kg;	X_w ——质量分数;
n ——气体的物质的量;	y ——气相摩尔分数;
P ——泵的轴功率, kW;	z ——位置高度, m。
p ——压力, N/m^2 或 Pa;	希文字母
P_e ——泵的有效功率, kW;	ρ_0 ——标准状况下的密度, kg/m^3 ;
p_0 ——标准状况下的压力, 101.3kPa;	$\rho_{4^\circ\text{C}, \text{水}}$ ——4℃水的密度, kg/m^3 ;
$p_{\text{表}}$ ——表压, Pa;	ϵ ——管子的绝对粗糙度, mm;
$p_{\text{大}}$ ——大气压, Pa;	η ——机械效率, 无量纲;
$p_{\text{真}}$ ——真空度, Pa;	ν ——流体的比容, m^3/kg ;
Q ——体积流量, m^3/s ;	ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;
R ——气体通用常数, $\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$;	μ ——流体的黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;
Re ——雷诺数, 无量纲数群;	λ ——摩擦系数;
r_H ——水力半径, m;	Φ ——容器装料系数, 无量纲;
S ——流通截面积, m^2 ;	ξ ——阻力系数。

在化工生产过程中, 流体的输送是各种单元操作中普遍涉及的现象。为了满足生产要求, 需要将流体从一个设备输送到另一个设备, 从一个车间输送到另一个车间, 因此, 流体的流动与输送是化工生产过程中最基本和最普遍的单元操作之一。

图 1-1 是盐酸生产工艺流程示意图。氢气和氯气在合成炉内进行化学反应, 生成的氯化氢气体经冷却、降温之后, 在吸收塔内溶解于自上而下流动的水中, 形成了浓度为 31% 左右的盐酸, 从塔底送入产品贮槽内, 然后经泵送到高位槽, 通过槽下阀门的控制, 使其装入贮罐或槽车内作为成品运出。不难看出, 在这一生产过程中, 原料、中间产品和最后的产品全都是流体, 整个生产过程就是一个流体的流动与输送过程。

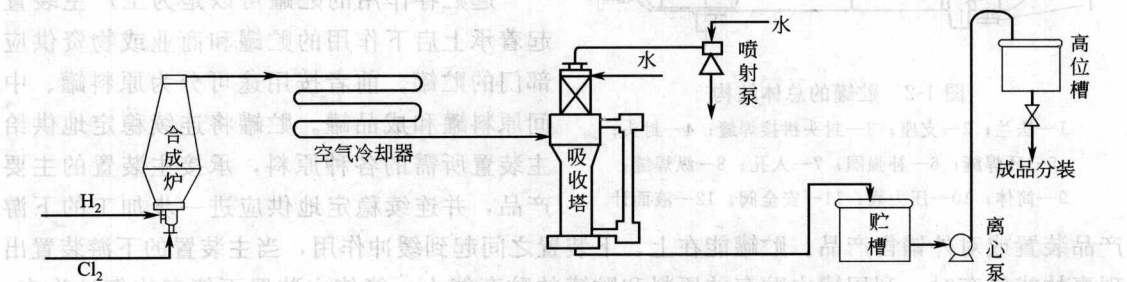


图 1-1 盐酸生产工艺流程示意图

化工产品成千上万, 几乎每一个产品的生产都与流体的流动及输送有关。流体输送系统是由管路、设备、输送机械及仪表等构成的, 但对于不同的生产输送系统, 其管路走向与尺寸、设备的类型与大小、输送机械的类型与规格、仪表的种类与数量等都是不同的。当输送

任务确定后, 应选择什么样的管子, 要安装哪些管件和阀门, 应配备什么样的输送机械, 要使用何种测量与控制仪表, 这些均需要流体输送技术解决。

作为化工工艺技术人员, 在化工生产中, 需要根据生产过程的具体情况, 进行设备、仪表的选用, 分析和处理流体输送过程可能出现的常见故障, 因此, 流体输送岗位除必要的岗位技能外, 更重要的是应用流体输送的基本原理及其规律, 分析问题和处理问题的技术应用能力。具体表现为以下几方面。

① 管径的选择与管路布置 通常用管路来输送流体。因此, 我们就必须选用合适的管材、管径, 并按一定的要求布置管路。

② 流体的输送 欲把流体按所规定的条件, 从一个设备送到另一个设备, 在流体的输送过程中, 常常要采用输送设备, 因此就需要选用合适的输送设备。

③ 压强、流速和流量的测量 为了了解和控制生产过程, 需要对管路或设备内的压强、流速和流量等一系列进行测定, 以便合理选用和安装测量仪表, 而这些测量仪表的操作原理又多以流体的静止或流动规律为依据。

④ 为强化设备提供适宜的流动条件 化工生产的传热、传质等过程中, 都是在流体流动情况下进行的, 设备的操作效率与流体流动状况有密切关系。因此, 研究流体流动对寻找设备的强化途径具有重要意义。

任务一 认识流体输送设备

一、贮罐

化工单元操作的主要部件是静止的, 称为化工静设备。这些静设备作用各不相同, 形状

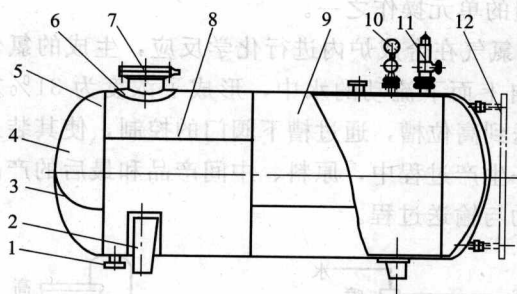


图 1-2 贮罐的总体结构

- 1—法兰; 2—支座; 3—封头拼接焊缝; 4—封头;
5—环焊缝; 6—补强圈; 7—人孔; 8—纵焊缝;
9—筒体; 10—压力表; 11—安全阀; 12—液面计

结构差异很大, 内部构件更是多种多样, 但它们都有一个外壳, 这个外壳统称为化工容器。贮罐是一种最典型的化工容器, 主要用于贮存气体、液体、液化气体等介质, 如氢气贮罐、石油贮罐、液氨贮罐等; 除贮存作用外, 还用作计量。贮罐的总体结构见图 1-2。

起贮存作用的贮罐可以是工厂主装置起着承上启下作用的贮罐和商业或物资供应部门的贮罐。前者按用途可分为原料罐、中间原料罐和成品罐。贮罐将连续稳定地供给主装置所需的各种原料, 承接主装置的主要产品, 并连续稳定地供应进一步加工的下游

产品装置或对外销售产品。贮罐能在上、下装置之间起到缓冲作用, 当主装置的下游装置出现事故或停车时, 利用罐内贮存的原料和贮罐的贮存能力, 能使主装置不停车均衡地生产; 反之, 当主装置出现事故或停车时, 也可以通过贮罐的贮存能力, 保证下游装置维持连续生产。

起计量作用的贮罐主要用于液体的计量。可以是计量化学反应所需液体物料的计量罐或称为高位槽和液体成品销售时的计量罐; 在商业销售中, 当液体商品采用槽车运输时称量不