

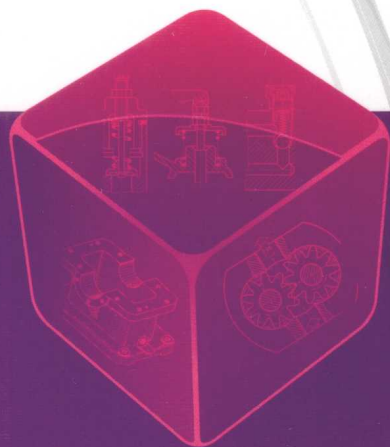


高职高专“十一五”规划教材

# 化工单元操作

何灏彦 禹练英 谭平 主编

易卫国 主审



HUAGONG  
DANYUAN  
CAOZUO



化学工业出版社

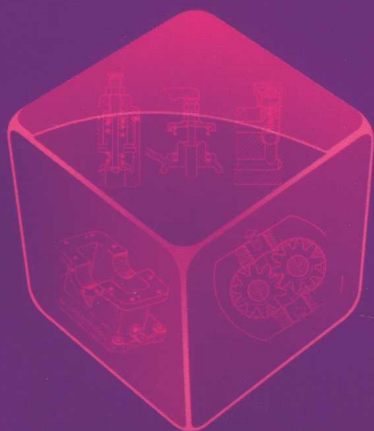


www.cip.com.cn

读科技图书 上化工社网

# 化工单元操作

## HUAGONG DANYUAN CAOZUO



ISBN 978-7-122-09023-2



9 787122 090232 >

定价：35.00元

高职高专“十一五”规划教材

# 化工单元操作

何灏彦 禹练英 谭平 主编  
易卫国 主审



化学工业出版社

·北京·

本教材根据高职教育的特点、要求和教学实际,按照“工作过程系统化”课程开发方法,打破本科教材的常规,不再以传统的“三传”为主线来安排教学次序,而是将化工原理、化工装备、电器与仪表等课程的相关知识有机融合,以典型化工生产单元操作及其设备为纽带,进行理实一体化的模块化内容设计,且精简理论,删除繁琐的公式推导过程和纯理论型计算,放弃对过程原理及理论计算“过深、过细、过全、过难”的描述。

全书共分“流体流动及输送技术、传热技术(传热、冷冻)、分离技术(非均相物系的分离——沉降和过滤、蒸发、干燥、蒸馏、吸收、萃取、结晶、新型分离方法——膜分离和吸附)”三大模块,十一个子模块,各子模块均涵盖“技术应用”、“设备或流程认知”、“相关知识获取”、“操作方法”、“故障处理”、“安全生产”及“节能”等内容,突出对学生工程应用能力、实践技能和综合素质的培养。

本教材可作为高职高专化工技术类及相关专业的教材,亦可供化工企业生产一线的工程技术人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

化工单元操作/何灏彦,禹练英,谭平主编. —北京:化学工业出版社,2010.8

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-09023-2

I. 化… II. ①何… ②禹… ③谭… III. 化工单元操作-高等学校:技术学院-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第125773号

---

责任编辑:旷英姿

文字编辑:管景岩

责任校对:吴静

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)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张20 $\frac{3}{4}$  字数518千字 2010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: 35.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

化工单元操作是化工技术类及相关专业的一门重要的专业基础课，其传授的知识和技能在化工生产中被广泛应用。

本教材根据高职教育的特点、要求和教学实际，按照“工作过程系统化”课程开发方法，根据专业人才培养方案中课程体系的重构思路，打破本科教材的常规，不再以传统的“三传”为主线来安排教学次序，而是将化工原理、化工装备、电器与仪表等课程的相关知识有机融合，以典型化工生产单元操作及其设备为纽带，进行理实一体化的模块化内容设计。

全书共分“流体流动及输送技术、传热技术（传热、冷冻）、分离技术（非均相物系的分离——沉降和过滤、蒸发、干燥、蒸馏、吸收、萃取、结晶、新型分离方法——膜分离和吸附）”三大模块，十一个子模块，各子模块均涵盖“技术应用”、“设备或流程认知”、“相关知识获取”、“操作方法”、“故障处理”、“安全生产”及“节能”等内容，突出对学生工程应用能力、实践技能和综合素质的培养，初步构建了“以职业岗位为课程目标，以职业标准为课程内容，以教学模块为课程结构，以最新技术为课程视野，以职业能力为课程核心，以‘双师’教师为课程主导”的课程新体系，高职特色较鲜明。

在具体内容编排上也与以往教材有所不同：教学内容模块化、任务化、全面化；精简理论，删除繁琐的公式推导过程和纯理论型计算，放弃对过程原理及理论计算“过深、过细、过全、过难”的描述；增加与实际生产相关的操作知识，拓宽了工程技术视野；力求理论联系实际，注重知识和技能的实用性、工程性、多样性、先进性；设备外观图片相片化、现场化、直观化；增加生产应用型案例，习题更具有针对性、实用性、典型性、实训性。

为帮助学生了解所学内容、明确学习将要达到的目标，每模块前提出了本模块的“知识、技能、素质”目标，引导学生开展自我学习和自我评价。

本教材可作为高职高专化工技术类及相关专业的教材，亦可供化工企业生产一线的工程技术人员参考。

本教材由何灏彦、禹练英、谭平主编，易卫国主审。绪论、模块二、模块十一由何灏彦编写，模块一由于津津编写，模块三由谭平编写，模块四、模块五由杨文渊编写，模块六由余媛媛编写，模块七由梁美东编写，模块八由禹练英编写，模块九由刘绚艳编写，模块十由张果龙编写。全书由何灏彦提出细化的编写提纲、统稿并作最后的修改。

在本书的编写过程中，得到了编写学校（湖南化工职业技术学院、贵州工业职业技术学院、湖南机电职业技术学院）的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，不妥之处在所难免，敬请读者和同仁们指正，以便今后修订。

编者  
2010年5月

# 目 录

<b>绪论</b> .....	1	<b>模块二 传热</b> .....	71
任务一 了解化工生产过程及单元操作 .....	1	任务一 了解传热过程及其应用 .....	71
一、化工生产过程与单元操作 .....	1	一、传热在化工生产中的应用 .....	71
二、单元操作的分类 .....	2	二、传热过程的类型 .....	72
任务二 了解本课程的性质、内容和课程目标 .....	2	三、载热体及其选择 .....	72
一、本课程的性质、内容 .....	2	四、传热的基本方式 .....	73
二、课程目标 .....	3	任务二 认知传热设备 .....	73
任务三 了解解决工程问题的基本思路和方法 .....	3	一、换热器的分类 .....	73
任务四 正确使用单位 .....	5	二、间壁换热器的结构与性能特点 .....	75
一、单位和单位制 .....	5	三、列管换热器的型号与系列标准 .....	81
二、单位换算 .....	5	任务三 获取传热知识 .....	82
习题 .....	5	一、传热速率方程及其应用 .....	82
<b>模块一 流体流动及输送</b> .....	7	二、传热速率与热负荷 .....	83
任务一 认知流体输送设备及管路 .....	7	三、传热推动力 .....	86
一、贮罐 .....	8	四、传热系数 .....	90
二、化工管路 .....	10	五、强化与削弱传热 .....	103
三、输送设备 .....	16	六、传热计算案例 .....	107
任务二 获取流体输送知识 .....	17	任务四 列管换热器的操作 .....	109
一、流体的基本物理量 .....	17	一、操作方法 .....	109
二、静力学方程式及其应用 .....	20	二、故障分析及处理 .....	111
三、连续性方程式及其应用 .....	24	三、安全生产 .....	111
四、柏努利方程式及其应用 .....	26	习题 .....	111
五、流体流动阻力及降低措施 .....	29	<b>模块三 冷冻</b> .....	114
六、流体的基本物理量的检测 .....	39	任务一 了解冷冻过程及其应用 .....	114
任务三 熟悉流体输送机械 .....	46	一、制冷在工业生产中的应用 .....	114
一、液体输送机械 .....	46	二、制冷方法 .....	114
二、气体输送机械 .....	62	三、压缩制冷过程 .....	115
任务四 离心泵的操作 .....	66	四、制冷剂与载冷体 .....	117
一、操作方法 .....	66	任务二 认知冷冻设备 .....	120
二、故障分析及处理 .....	67	一、压缩机 .....	120
习题 .....	68	二、冷凝器 .....	120
		三、蒸发器 .....	121
		四、节流膨胀阀 .....	122
		任务三 获取冷冻知识 .....	122

一、冷冻能力 .....	122	二、故障分析及处理 .....	172
二、操作温度的选择 .....	123	三、安全生产 .....	172
习题 .....	124	习题 .....	172
<b>模块四 非均相物系的分离</b> .....	126	<b>模块六 干燥</b> .....	174
任务一 了解非均相物系的分离过程及其应用 .....	126	任务一 了解干燥过程及其应用 .....	174
一、常见非均相物系分离的方法 .....	126	一、干燥在化工生产中的应用 .....	174
二、非均相物系分离在化工生产中的应用 .....	127	二、固体物料的去湿方法 .....	174
任务二 认知非均相物系的分离设备 .....	127	三、干燥操作的分类 .....	175
一、沉降设备 .....	127	四、对流干燥流程 .....	175
二、过滤设备 .....	129	任务二 认知干燥设备 .....	176
三、离心机 .....	132	一、对干燥设备的基本要求 .....	176
四、气体的其他净制方法及设备 .....	136	二、常用的工业干燥器 .....	176
五、分离方法和设备的选用 .....	139	三、干燥器的选用 .....	178
任务三 获取沉降和过滤知识 .....	140	任务三 获取干燥知识 .....	179
一、沉降 .....	140	一、湿空气的性质 .....	179
二、过滤 .....	144	二、湿空气的湿度图 .....	182
任务四 沉降和过滤设备的操作 .....	147	三、干燥过程的工艺计算 .....	184
一、操作方法 .....	147	四、干燥速率 .....	189
二、故障分析及处理 .....	149	五、干燥操作的节能 .....	191
习题 .....	150	任务四 喷雾干燥器的操作 .....	191
<b>模块五 蒸发</b> .....	152	一、操作方法与日常维护 .....	191
任务一 了解蒸发过程及其应用 .....	152	二、故障分析及处理 .....	192
一、蒸发在化工生产中的应用 .....	152	三、安全生产 .....	192
二、蒸发操作的特点 .....	152	习题 .....	193
三、蒸发操作的分类 .....	153	<b>模块七 蒸馏</b> .....	195
四、蒸发流程 .....	154	任务一 了解蒸馏过程及其应用 .....	195
任务二 认知蒸发设备 .....	155	一、蒸馏在化工生产中的应用 .....	195
一、蒸发器的形式与结构 .....	156	二、蒸馏操作的分类 .....	195
二、蒸发器的辅助设备 .....	161	三、蒸馏流程 .....	196
三、蒸发器的选用 .....	162	任务二 认知蒸馏设备 .....	198
任务三 获取蒸发知识 .....	163	一、板式塔的结构 .....	198
一、蒸发水量 .....	163	二、板式塔的类型 .....	199
二、加热蒸汽消耗量 .....	163	三、板式塔的流体力学性能 .....	200
三、蒸发器的传热面积 .....	165	四、塔板负荷性能图 .....	202
四、蒸发器的生产强度 .....	168	任务三 获取蒸馏知识 .....	203
五、蒸发器的节能措施 .....	169	一、蒸馏的气液相平衡 .....	203
任务四 蒸发器的操作 .....	170	二、精馏的工艺计算 .....	207
一、操作方法与日常维护 .....	170	三、精馏操作的节能 .....	217
		四、其他蒸馏方式 .....	218
		任务四 精馏塔的操作 .....	220
		一、精馏操作的分析 .....	220

二、操作方法	222	二、萃取的工艺计算	267
三、故障分析及处理	222	三、超临界流体萃取技术	269
四、安全生产	224	任务四 萃取塔的操作	270
习题	225	一、操作方法	270
<b>模块八 吸收</b>	227	二、故障分析及处理	271
任务一 了解吸收过程及其应用	227	习题	272
一、工业生产中的吸收操作过程	227	<b>模块十 结晶</b>	274
二、吸收在化工生产中的应用	228	任务一 了解结晶过程及其应用	274
三、吸收操作的分类	228	一、结晶在化工生产中的应用	274
四、吸收剂的选择	228	二、结晶操作的特点	274
任务二 认知吸收设备	229	三、结晶操作的分类	274
一、填料塔的构造	229	任务二 认知结晶设备	275
二、填料的类型	229	一、结晶器的形式与结构	275
三、填料的特性	231	二、结晶器的选用	278
四、填料塔的流体力学性能	232	任务三 获取结晶知识	278
五、填料塔的附件	233	一、固液体系相平衡	278
任务三 获取吸收知识	235	二、结晶过程	279
一、吸收的气液相平衡	235	三、影响结晶操作的因素	280
二、吸收的传质机理	239	任务四 结晶器的操作	281
三、吸收速率方程	241	一、操作方法	281
四、吸收塔的计算	242	二、故障分析及处理	282
五、其他吸收与解析	249	习题	283
任务四 填料吸收塔的操作	251	<b>模块十一 新型分离方法</b>	284
一、吸收操作的分析	251	任务一 认知膜分离技术	284
二、操作方法	255	一、膜分离在化工生产中的应用	284
三、故障分析及处理	256	二、膜分离操作的特点	285
四、安全生产	256	三、膜的性能及分类	285
习题	257	四、膜分离装置与工艺	286
<b>模块九 萃取</b>	260	五、典型膜分离过程及应用	290
任务一 了解萃取过程及其应用	260	任务二 认知吸附技术	292
一、萃取在化工生产中的应用	260	一、吸附在化工生产中的应用	292
二、萃取操作及其特点	260	二、吸附操作的特点	292
三、萃取流程	261	三、吸附剂	293
四、萃取剂的选择	262	四、吸附速率	294
任务二 认知萃取设备	263	五、吸附的分离过程及工艺	295
一、萃取塔的形式与结构	263	习题	296
二、萃取设备的选用	264	<b>附录</b>	297
任务三 获取萃取知识	265	<b>参考文献</b>	324
一、部分互溶物系的相平衡	265		



# 绪 论

## 任务一 了解化工生产过程及单元操作

### 一、化工生产过程与单元操作

化学工业、石油化学工业、医药工业及轻工、食品、冶金等工业，尽管它们所生产的产品种类、加工方法、工艺流程以及设备等并不完全相同，甚至相差很大，但是它们的生产过程却具有一些共同的特点。将原料大规模进行加工处理，使其在物理性质、化学性质及机械性质上发生变化并生成新的、符合要求的产品，这就是化工生产过程。

图 0-1 表示的是用甲醇氧化法生产福尔马林的流程图。甲醇和水混合液由泵送到高位槽内，然后送入蒸发器内蒸发成气态，与此同时，鼓风机把氧化剂（空气）送入，这两种气态原料经加热器加热至 923K 左右，在氧化器内进行化学反应，生成甲醛，然后使其迅速通过氧化器下部的冷却器降温至 353~393K，最后在吸收塔内被水吸收后而成为产品。

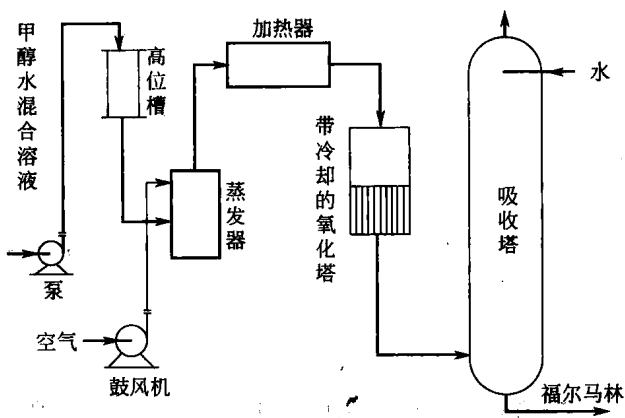


图 0-1 福尔马林的生产流程示意图

从福尔马林生产过程中可以看出，任何一个化工生产过程，都是由一系列化学反应操作和一系列物理操作所构成的。习惯上把化学反应操作称为化工单元过程，把物理操作称为化工单元操作，简称单元操作。化工单元操作（又名化工原理）就是研究这些物理操作的。应当指出，世界上所有化工性质的工业生产过程，全都是由一系列化工单元过程和化工单元操作，按照不同方式串联组合而成的。这就像英文中的 26 个字母，虽为数不多，却可以组成不同的单词。

在化工生产过程中，化学反应是核心，而化工单元操作是为化学反应这一核心服务的，为其提供适宜的反应前、反应后条件（如组成、温度、压力、流量流速等），同时满足环境保护、安全生产的需求。有时单元操作也可直接制造产品，如海水蒸发制盐和淡水。

## 二、单元操作的分类

根据单元操作的原理、功用不同，常用的单元操作可分为流体流动及输送、传热、冷冻、非均相物系的分离（沉降、过滤）、蒸发、干燥、蒸馏、吸收、萃取、结晶、膜分离、吸附等，见表 0-1。

表 0-1 常用的化工单元操作

类别	名称	功能与用途
流体流动及输送技术	流体流动及输送	将流体从一个设备输送到另一个设备、提高或降低气体的压力
传热技术	传热 冷冻	升温、降温或改变相态 将物料温度冷却到环境温度以下
分离技术	沉降 过滤 蒸发 干燥 蒸馏 吸收 萃取 结晶 膜分离 吸附	从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒、液滴或气泡 从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒 使非挥发性物质中的溶剂汽化，溶液增浓 使固体湿物料中所含湿分汽化除去 利用组分的挥发度不同，分离均相混合液体 利用气体在液体（吸收剂）中溶解度不同，分离气相混合物 利用液体在液体（萃取剂）中溶解度不同，分离液相混合物 使溶液中某种溶质变成晶体析出 利用固体或液体的膜来分离气体或液体混合物 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

根据操作方式的不同，单元操作可以分为连续操作和间歇操作两种方式。

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（稳定操作）和非定态操作（不稳定操作）两种形式。

定态操作指操作参数只与位置有关而与时间无关的操作，如定态流动和定态传热等。连续化工生产通常属于定态操作。定态操作的特点是过程进行的速率是稳定的，系统内没有物质或能量的积累。

非定态操作指操作参数既与位置有关又与时间有关，如非定态流动和非定态传热等。间歇生产通常属于非定态操作。非定态操作的特点是过程进行的速率是随时间变化的，系统内存在物质或能量的积累。

## 任务二 了解本课程的性质、内容和课程目标

### 一、本课程的性质、内容

化工单元操作是化工类专业的一门核心技术基础课，其主要内容是以化工生产中的物理加工过程为背景，依据操作原理的共性，分成为若干单元操作，学习各单元操作的基本原理、基本计算、典型设备及生产中的操作控制方法。课程所涉及的知识 and 技能在实际生产中具备很高的应用价值，是培养学生专业职业能力的一门必不可少的工程课程。

化工单元操作要求综合运用基础化学、物理化学、化工制图等基础知识来分析和解决化工生产过程中的工程问题，在培养化工技术人才中担负着由理及工、由基础到专业的过渡，在培养学生运用工程观点分析、解决化工生产实际问题方面起着十分重要的作用，在化工类专业的教学体系中处于承上启下、不可或缺的地位。

在企业调研的基础上，本教材根据化工类专业的人才培养目标和学生将要面对的实际工

作岗位和工作任务，安排本课程的教学内容：以原化工原理课程内容为基础，将化工装备、电器与仪表的相关知识进行适度的有机融合，课程内容共分三大项目，十一个教学模块。各教学模块以化工生产职业岗位的作业流程、工作任务为导向，根据生产技术的功能与用途不同，按企业的具体职业岗位的职能而设置，可根据不同的人才培养方向、职业岗位进行选择。其教学内容充分体现了化工职业标准的要求，反映了职业素质、安全规范等方面的要求。

## 二、课程目标

使学生获得常见化工单元操作的操作技能、基础知识和基本计算能力，并受到足够的操作技能训练和职业素质培养，为学生学习后续专业课程和将来从事工程技术工作，实施操作控制、工艺调整、生产管理奠定知识、技能、素质基础。

(1) 知识目标 能正确理解各单元操作的基本原理和规律；掌握基本计算公式的物理意义、使用方法和适用范围；了解典型设备的构造、性能和操作原理，并具有设备初步选型及设计的能力。

(2) 技能目标 熟悉常见化工单元操作的操作方法；掌握主要单元操作过程及设备的基本计算方法；具备查阅和使用常用工程计算图表、手册、资料的能力；初步具有选择适宜操作条件、寻找强化过程途径、提高设备效能从而使生产获得最大限度的经济效益的能力；具有安全、环保的技能和意识；具有从过程的基本原理出发，观察、分析、综合、归纳众多影响生产的因素，运用所学知识解决工程问题的学习能力、应用能力、写作能力、创新能力、协作能力。

(3) 素质目标 形成安全生产、环保节能、讲究卫生的职业意识；树立工程技术观念，养成理论联系实际的思维方式；培养追求知识、勤于钻研、一丝不苟、严谨求实、勇于创新的科学态度；培养敬业爱岗、服从安排、吃苦耐劳、严格遵守操作规程的职业道德；培养团结协作、积极进取的团队合作精神。

## 任务三 了解解决工程问题的基本思路和方法

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、操作因素及设备结构因素等）；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（质量、经济、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，做到“理论正确、技术可行、方法可靠、操作安全、经济合理”。

在解决有关单元操作的问题时，主要运用物料衡算、能量衡算、平衡关系和过程速率等方法。

### 1. 物料衡算

物料衡算是质量守恒定律在化工计算中的一种表现形式。根据质量守恒定律，任何一个化工生产过程中，凡向该系统输入的物料总和必等于从该系统中输出的物料量与积累于该系统中的物料量之和。即

$$\sum G_1 = \sum G_2 + G_A \quad (0-1)$$

式中  $\sum G_1$ ——单位时间内输入系统物料量之和，kg/h；

$\sum G_2$ ——单位时间内输出系统物料量之和，kg/h；

$G_A$ ——积累在系统中的物料量, kg/h。

式(0-1)是总物料衡算式。当过程没有化学反应时,它适用于物料中任一组分的衡算;当有化学反应时,它只适用于任一元素的衡算。若过程中积累的物料量为零,则式(0-1)可简化为:

$$\sum G_1 = \sum G_2 \quad (0-2)$$

进行物料衡算时,首先按题意画出简单流程示意图,并用虚线框画出衡算范围,在工程计算中,可以根据具体情况以一个生产过程,或一个设备,甚至设备某一局部作为衡算范围。其次,确定衡算基准,对连续操作,常以单位时间为基准;对间歇操作,常以一批操作为基准。

式(0-1)、式(0-2)中各股物料可用质量或物质的量衡算,对于液体还可用体积衡算。

## 2. 能量衡算

机械能、热能、电能、化学能、原子能等统称为能量,各种能量可以相互转换,若计算中不需考虑能量间的转换问题,可只进行总能量衡算,有时甚至简化为热能或热量衡算。

能量衡算的依据是能量守恒定律,对热量衡算可以写成:

$$\sum Q_1 = \sum Q_2 + Q_L \quad (0-3)$$

式中  $\sum Q_1$ ——随物料进入系统的总热量, kJ/h;

$\sum Q_2$ ——随物料离开系统的总热量, kJ/h;

$Q_L$ ——向衡算范围外散失的热量, kJ/h。

热量衡算和物料衡算一样,需要确定衡算范围和衡算基准。

## 3. 平衡关系

物系在自然变化时,其变化必趋于一定方向,如任其发展,在一定的条件下,过程变化必达到极限,即平衡状态。例如:盐在水中溶解时,将一直进行到饱和状态为止;热量从高温物体传到低温物体,直至两物体的温度相等为止。

任何一种平衡状态的建立都是有条件的。当条件改变时,原有平衡状态被破坏并发生移动,直至在新的条件下建立新的平衡。

在生产中常用改变平衡条件的方法使平衡向有利于生产的方向移动。为了能有效地控制生产,对许多化工生产过程,应了解过程的平衡状态和平衡条件的相互关系。可以从生产过程中物系的平衡关系来推知过程能否进行以及能进行的程度。

## 4. 过程速率

单位时间内过程的变化率称为过程速率。平衡关系只表明过程变化的极限,而过程速率则表明了过程进行的快慢。

任何一个物系,如果不是处于平衡状态,必然会发生使物系趋向平衡的过程,但过程以什么样的速率趋向平衡,这不决定于平衡关系,而是被诸多方面的因素所影响。理论和科学实验证明,过程速率是过程推动力与过程阻力的函数,过程推动力越大,过程阻力越小,则过程速率越大,可用下式表示:

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

由于过程不同,推动力与阻力的具体内容各不相同。通常,过程偏离平衡状态越远,过程推动力越大;达到平衡时,过程推动力为零。例如,引起高温物体与低温物体间热量传递的推动力是两物体间的温度差,温度差越大,过程速率越大,温度差为零时,两物体处于热

平衡状态，彼此间不会有热量的传递。过程阻力较为复杂，将在有关的单元操作中作介绍。

由上述可知，改变过程推动力或过程阻力即可改变过程速率。在学习各单元操作时，要注意分析影响推动力和阻力的各种因素，探求提高过程速率的措施。

## 任务四 正确使用单位

### 一、单位和单位制

任何物理量都是用数字和单位联合表达的。一般先选几个独立的物理量，如质量、长度、时间等，规定出它们的单位。这些物理量称为基本量，其单位称为基本单位。其他的物理量，如速度、流量、压力等的单位则根据其本身的物理意义，由有关基本单位组合构成，这种单位称为导出单位。

由于历史的原因和学科领域的不同，先后形成了不同的单位制，如物理单位制、工程单位制、英制等。长期以来，工程计算中存在多种单位制并用的局面，而同一物理量在不同单位制中又具有不同的单位与数值，致使计算与交流极为不便，而且易引起错误。鉴于此，1960年10月第十一届国际计量大会通过了一种新的单位制，简称国际单位制，代号为SI。我国国务院于1984年发布命令，确定我国实行以国际单位为基础，包括由我国指定的若干非国际单位在内的《中华人民共和国计量单位制度》（简称法定单位制），规定从1991年起，除个别领域外，无论是科学技术、工农业生产、经济贸易甚至日常生活中不允许再使用非法定单位制。

SI制具有“一贯性”和“通用性”的优点。同一种物理量只有一个单位，如能量、热功的单位都采用焦耳，从而避免了重力单位制中热、功之间换算因子的引入。

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。

### 二、单位换算

我国规定各学科领域采用单位以SI制为基础，结合国情增加了必要的辅助单位。

同一物理量，在不同单位制中其数值不同，但量是相同的。物理量由一种单位制的单位换成另一种单位制的单位时，量本身并无变化，只是在数值上要改变。在进行单位换算时要乘以两单位间的换算系数。所谓换算系数，就是彼此相等而各有不同单位的两个物理量的比值。

## 习 题

### 一、简答题

1. 通过检索资料，进一步了解化工生产在国民经济中的地位与作用，了解化学工业的发展现状及趋势。
2. 什么是化工单元操作？常见的化工单元操作有哪些？
3. 单元操作解决工程实际问题的主要方法有哪些？
4. 物料衡算与能量衡算的依据是什么？
5. 过程速率的主要影响因素有哪些？请写出过程速率的通式。
6. 什么是换算系数？请举例说明。

## 二、计算题

1. 干燥器将含水量 10% (质量分数, 下同) 的湿物料干燥至含水量为 0.8% 的干物料, 试求每吨湿物料除去的水分。
2. 某设备压力表读数为 1.75atm, 试将其数据换算成为 kPa、mmHg、mH<sub>2</sub>O、at(kgf/cm<sup>2</sup>)。
3. 某流体的流量为 4L/s, 请换算为 m<sup>3</sup>/s 和 m<sup>3</sup>/h。

# 模块一 流体流动及输送

## 学习目标

**知识目标：**掌握常用贮罐、管子、管件、阀件、输送机械的形式、性能、特点、选型与安装使用方法；熟悉静力学方程、连续性方程、柏努利方程、流体阻力的计算方法及应用。

**能力目标：**能选择合适的贮罐、管子、管件、阀件、流体输送机械的形式；会进行管路的初步布置与安装；能测定流体的压力、液位、温度以及流量；能进行离心泵、往复泵等常用流体输送机械的操作；能对输送过程中的常见故障进行分析处理。

**素质目标：**形成安全生产、环保节能、讲究卫生的职业意识；树立工程技术观念，养成理论联系实际的思维方式；培养敬业爱岗、服从安排、吃苦耐劳、严格遵守操作规程的职业道德。

流体是液体和气体的统称。流体具有流动性，其形状随容器的形状而变化。液体有一定的液面，气体则没有。液体几乎不具压缩性，受热时体积膨胀不显著，所以一般将液体视为不可压缩的流体；与此相反，气体的压缩性很强，受热时体积膨胀很大，所以气体是可压缩的流体。

流体流动是化工生产中最基本、最常见的现象。在化工生产中，不论是待加工的原料还是已制成的产品，常以液态或气态存在。在各种工艺生产过程中，往往需要将液体或气体输送至设备内进行物理处理或化学反应，这就涉及选用什么形式、多大功率的输送机械，如何确定管道直径及如何控制物料的流量、压强、温度等参数以保证操作或反应能正常进行，这些问题都与流体流动密切相关。另一方面，化工生产中的传质、传热和化学反应过程大多是在流体流动的条件下进行的，流体的流动状况对这些过程的操作费用和设备费用都有很大的影响。因此，流体流动规律是本课程的重要基础，流体输送问题是化工生产必须解决的基本问题。

在化工生产中，有以下几个主要方面经常要应用流体流动的基本原理及其流动规律：

- ① 管内适宜流速、管径及输送设备的选定；
- ② 压强、流速和流量的测量；
- ③ 为强化传热、传质设备的效能提供适宜的流动条件。

本模块将着重讨论流体流动过程的基本原理及流体在管内的流动规律，并运用这些原理与规律去分析和计算流体的流动和输送问题，并指导操作。

## 任务一 认知流体输送设备及管路

由图 1-1 可知，在硫酸铵生产工艺流程中，除了反应器、洗涤塔、造粒机等设备外，还有硫酸槽、洗涤液槽等贮罐（槽），硫酸泵、洗涤液泵、尾气风机等各种流体输送机械，管

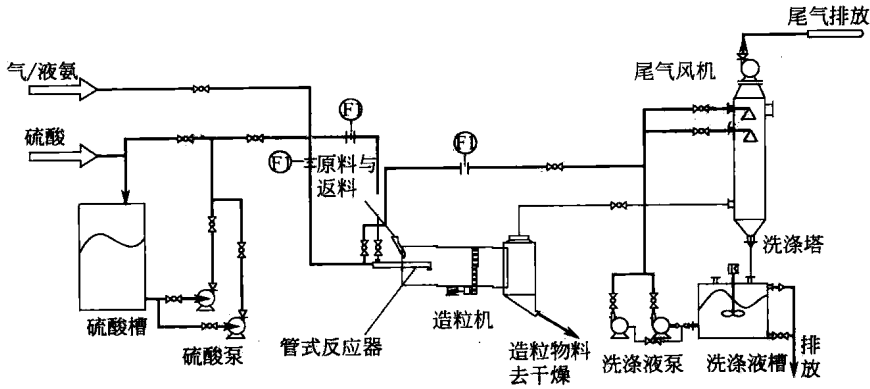


图 1-1 硫酸铵生产工艺流程图

道、仪表和控制物料流向和流量的阀门。

### 一、贮罐

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。因此，贮罐在石油、化工、能源、轻工、环保、制药及食品等行业应用非常广泛。

贮罐一般由筒体、封头、支座、法兰及各种开孔接管组成。

#### (一) 贮罐类型

按形状可分为立式圆筒贮罐、卧式圆筒贮罐、球形贮罐（即球罐），如图 1-2 所示。

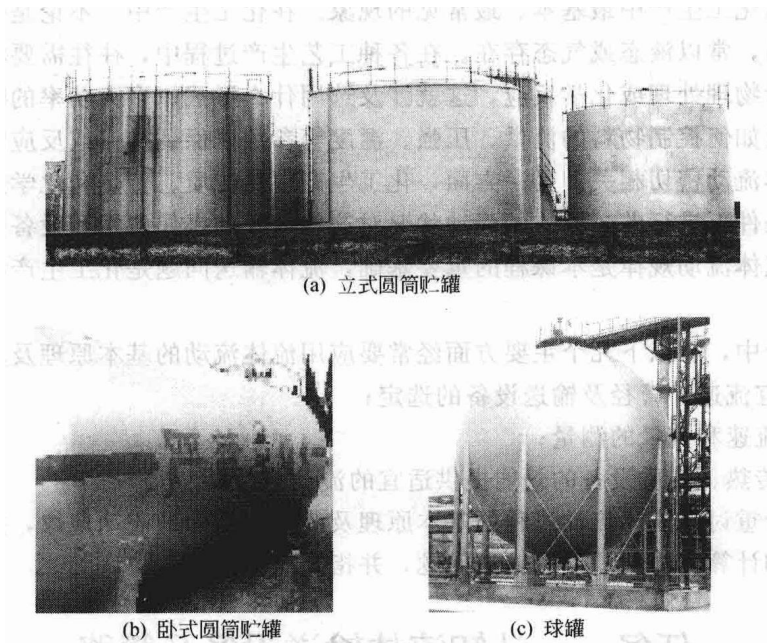


图 1-2 贮罐的形状

#### 1. 立式圆筒贮罐

由于制造较容易，应用最为广泛，常用于炼油和石油化学工业。



(1) 固定顶贮罐 罐体由罐底、罐壁和罐顶组成，大型罐其罐壁常由不同厚度的钢板以对接方式连接成整体，壁板厚者在底部，向上厚度递减。小型罐壁板厚度一般相同，常以搭接方式连接。罐顶有平顶、锥顶、桁架顶、无力矩顶、拱顶等数种，如图 1-3 所示。其中用得最多的是拱顶罐，我国已成功地建成 2 万立方米的大型拱顶贮罐。

(2) 浮顶贮罐 顾名思义，浮顶贮罐的顶不固定，而是随罐内介质的多少而上下浮动，如图 1-4 所示。浮顶贮罐分为外浮顶贮罐、内浮顶贮罐（带盖内浮顶贮罐）。

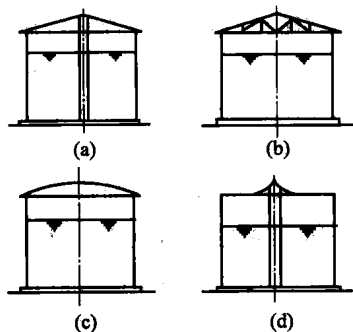


图 1-3 罐顶形状示意图

- (a) 锥顶；(b) 桁架顶；  
(c) 拱顶；(d) 无力矩顶

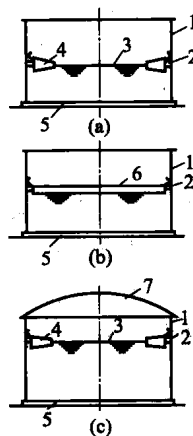


图 1-4 浮顶罐示意图

- (a) 单盘式；(b) 双盘式；(c) 内浮顶式  
1—罐壁；2—密封装置；3—浮盘；4—浮船；  
5—罐底；6—双浮盘；7—拱顶

① 外浮顶贮罐 外浮顶贮罐的浮顶是一个漂浮在贮液表面上的浮动顶盖，随着贮液的输入输出而上下浮动，浮顶与罐壁之间有一个环形空间，这个环形空间有一个密封装置，使罐内液体在顶盖上下浮动时与大气隔绝，从而大大减少了贮液在贮存过程中的蒸发损失。采用浮顶罐贮存油品时，可比固定顶罐减少油品损失 80% 左右。

② 内浮顶贮罐 内浮顶贮罐是带罐顶的浮顶罐，也是拱顶罐和外浮顶罐相结合的新型贮罐。内浮顶贮罐的顶部是拱顶与浮顶的结合，外部为拱顶，内部为浮顶。内浮顶贮罐具有独特优点：一是与外浮顶罐比较，因为有固定顶，能有效地防止风、沙、雨雪或灰尘的侵入，绝对保证贮液的质量。同时，内浮盘漂浮在液面上，使液体无蒸汽空间，减少蒸发损失 85%~96%；减少空气污染，减少着火爆炸危险，易于保证贮液质量，特别适合于贮存高级汽油和喷气燃料及有毒的石油化工产品。由于液面上没有气体空间，故减少罐壁罐顶的腐蚀，从而延长贮罐的使用寿命。二是在密封相同情况下，与外浮顶相比可以进一步降低蒸发损耗。

内浮顶贮罐的缺点：与拱顶罐相比，钢板耗量比较多，施工要求高；与外浮顶罐相比，维修不便（密封结构），贮罐不易大型化，目前一般不超过 10000m<sup>3</sup>。

## 2. 卧式圆筒形罐

适用于贮存容量较小且需有一定压力的液体。

## 3. 球形贮罐

适用于贮存容量较大且压力较高的液体。

## (二) 贮罐的选用

贮存介质的性质是选择贮罐形式的一个重要因素。介质最重要的特性有：闪点、沸点、