

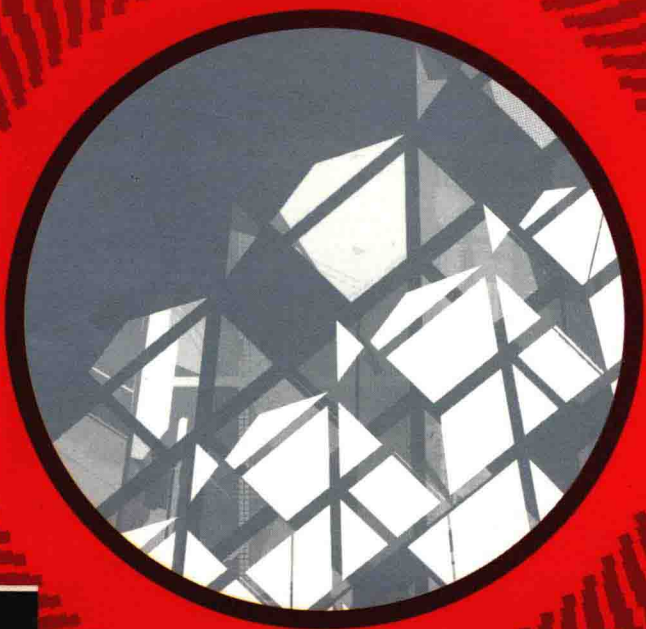
025435

国家示范性高职院校建设规划教材

化工单元操作

HUAGONG DANYUAN CAOZUO

周长丽 田海玲 主编
和德涛 主审



化学工业出版社

国家示范性高职院校建设规划教材

化工单元操作

周长丽 田海玲 主 编
和德涛 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

化工单元操作的种类很多,每种单元操作均包含十分丰富的内容。本书根据专业培养方案精选了十一个典型的化工单元操作进行介绍,包括流体输送、沉降与过滤、传热、蒸发、蒸馏、吸收、萃取、结晶、干燥、吸附、膜分离技术。每章均有复习思考题,其中计算题附有习题答案。书末有附录,供解题时查数使用。

本教材在编写过程中根据现代职教理念,围绕高职教育培养目标,立足于学生岗位职业能力的培养并结合化工企业技术人员培训的实际需要对课程内容进行了重新整合,以化工单元操作岗位工作过程为主线,把技能训练和知识的掌握贯穿于以工作任务为载体的项目教学中,更加注重学生工作过程知识的获取和岗位能力的培养,更突出了教材的“职业性、实用性、适用性”特色。

本书是高职化工类及其相近专业的一门主干课程,同时可作为其他相关专业,如石油、生物工程、制药、冶金、食品等专业的教材或参考书,也可作为化工生产企业技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

化工单元操作/周长丽,田海玲主编. —北京:化学工业出版社,2010.7

国家示范性高职院校建设规划教材

ISBN 978-7-122-08856-7

I. 化… II. ①周…②田… 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 112548 号

责任编辑:张双进

装帧设计:王晓宇

责任校对:战河红

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:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 22½ 字数 593 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: 36.00 元

版权所有 违者必究

高职高专煤化工专业规划教材 编审委员会

主任委员 郝临山

副主任委员 薛金辉 薛利平 朱银惠 池永庆

委 员 (按姓氏汉语拼音排序)

白保平	陈启文	池永庆	崔晓立	段秀琴
付长亮	谷丽琴	郭玉梅	郝临山	何建平
李 刚	李聪敏	李建锁	李云兰	李赞忠
刘 军	穆念孔	彭建喜	冉隆文	田海玲
王翠萍	王家蓉	王荣青	王胜春	王晓琴
王中慧	乌 云	谢全安	许祥静	薛金辉
薛利平	薛士科	薛新科	闫建新	于晓荣
曾凡桂	张爱民	张现林	张星明	张子锋
赵发宝	赵晓霞	赵雪卿	周长丽	朱银惠

前 言

高等职业院校是培养服务于生产一线的技能型人才。近年来化工类高职院校在制订专业人才培养方案时紧密与企业合作,以化工职业岗位群典型的工作任务分析为逻辑起点,重点突出学生岗位职业能力和相关理论知识运用能力的培养。

化工单元操作课程是高职化工类及其相近专业的一门主干课程,化工生产岗位上运用频率最高、范围最广的能力和知识大多数集中在本课程中。所以,本教材在编写过程中根据现代职业教育理念,依据“国家示范性高等职业院校建设计划”立项建设院校重点建设专业的培养方案,围绕高职教育培养目标,立足于学生岗位职业能力的培养,并结合化工企业技术人员培训的实际需要对该课程内容进行了重新整合、编排。以化工单元操作岗位工作过程为主线,把技能训练和对理论知识的掌握贯穿于以工作任务为载体的项目教学中,更加注重学生工作过程知识的获取和岗位能力的培养,更突出了教材的“职业性、先进性、开放性”特色。因而,该课程的学习是化工类专业学生综合职业能力和职业素质养成的重要支撑,对化工类专业技术型高技能人才的培养具有举足轻重的地位。

化工单元操作的种类很多,每种单元操作均包含十分丰富的内容。本教材根据专业人才培养方案精选了若干个典型的化工单元操作进行介绍,包括流体输送、沉降与过滤、传热、蒸发、蒸馏、吸收、萃取、结晶、干燥、吸附及膜分离共十一个教学项目,按照理实一体的教学模式进行编排,体现了教材的职业性和实用性。可作为化工类及其相近专业的教材或参考书,也可作为化工生产企业职工培训教材。

本书由周长丽、田海玲主编,韩漠副主编,山东枣庄矿业集团有限公司高工和德涛主审。

河北工业职业技术学院周长丽、朱银惠、郭东萍、吕向阳,山东枣庄矿业集团有限公司宋长勇,山西吕梁学院田海玲,内蒙古呼和浩特职业学院韩漠,天津石油职业技术学院吴勇,山东济南信赢煤焦化有限公司李维忠,河北忠信化工有限公司牛文平,山东铁雄能源煤化有限公司胡红燕等参与本书的编写。

编者

2010年5月

目 录

绪论	1	与措施	45
学习目标	1	任务六 离心泵的操作与维护	45
一、课程的性质、作用及任务	1	一、离心泵的基本结构和工作原理	45
二、化工单元操作及分类	1	二、离心泵的性能参数及特性曲线	47
三、化工单元操作过程中的基本规律	2	三、离心泵工作点的确定与流量调节	50
四、单位制及单位换算	3	四、离心泵的汽蚀现象与安装高度	53
五、学习本课程要注意的问题及 培养的能力	5	五、离心泵的组合操作	55
复习思考题	5	六、离心泵的类型及选择	57
项目一 流体输送	6	七、离心泵的安装、操作及维护	59
学习目标	6	八、离心泵常见故障及处理措施	61
生产案例	6	任务七 往复泵的操作与维护	61
任务一 流体输送方式的选择	7	一、往复泵结构与工作原理	61
一、流体输送设备	7	二、往复泵的类型及特性	62
二、压送和真空抽料	8	三、往复泵的流量调节	62
三、高位槽送料	8	四、往复泵的操作与维护	63
任务二 流体输送管路的选择与安装	8	五、往复泵常见故障及处理方法	63
一、流体输送管路的分类	9	任务八 其他化工用泵的操作与维护	64
二、管路的构成	9	一、旋涡泵	64
三、管路直径的确定	14	二、屏蔽泵	65
四、管路的连接方式	15	三、齿轮泵	66
五、管路的布置与安装	16	四、计量泵	67
六、管路常见故障及处理	17	五、隔膜泵	68
任务三 流体力学基本方程的应用	17	六、螺杆泵	68
一、流体的主要物理量	17	七、液下泵	68
二、静力学基本方程式及应用	22	任务九 离心式通风机的操作与维护	68
三、连续性方程及应用	24	一、离心式通风机构造和工作原理	69
四、伯努利方程式及应用	25	二、离心式通风机性能参数及特性曲线	69
任务四 流体主要参数的测定	29	三、离心式通风机的类型与选择	70
一、流体静压强的测量	29	任务十 鼓风机的操作与维护	71
二、液位的测量	31	一、离心式鼓风机	71
三、液封高度的确定	32	二、罗茨鼓风机	75
四、流速的测量	33	任务十一 往复式压缩机的操作与维护	76
五、流量的测量	34	一、往复式压缩机	76
任务五 流体阻力的计算	36	二、离心式压缩机	81
一、流体流动类型及判定	37	复习思考题	85
二、流体阻力的来源及分类	38	项目二 非均相混合物的分离	88
三、管内流体阻力计算	39	学习目标	88
四、降低管路系统流动阻力的途径		生产案例	88
		任务一 沉降分离操作	89

一、重力沉降分离	89	二、列管换热器的型号及选用	138
二、离心沉降分离	94	任务六 列管换热器的操作与维护	138
任务二 过滤分离操作	97	一、列管换热器的基本操作	138
一、过滤操作的基本知识	97	二、列管换热器的正确使用及 注意事项	139
二、过滤设备的操作与维护	99	三、列管换热器常见故障及处理方法	140
任务三 离心机的操作与维护	104	四、换热器的维护与清洗	140
一、沉降式离心机	104	复习思考题	141
二、过滤式离心机的操作与维护	105	项目四 蒸发操作	144
任务四 静电分离操作	108	学习目标	144
一、静电除尘器	108	生产案例	144
二、静电除雾器	109	任务一 蒸发操作及其流程的识读	145
任务五 气体的其他净制分离操作	109	一、蒸发操作及其分类	145
一、袋滤器	109	二、蒸发操作的流程	146
二、文丘里洗涤器	110	任务二 单效蒸发有关参数的计算	147
三、泡沫塔	111	一、水分蒸发量	148
四、湍球塔	111	二、加热蒸汽消耗量	148
复习思考题	111	三、蒸发器传热面积	149
项目三 物料换热	113	任务三 蒸发设备的选择	150
学习目标	113	一、蒸发器的结构及分类	150
生产案例	113	二、蒸发器的附属设备	153
任务一 传热基础的认知	114	三、蒸发器的选择	154
一、传热基本方式	114	任务四 蒸发设备的运行与操作	155
二、工业换热方法	114	一、蒸发器的生产强度及影响因素	155
三、传热速率	115	二、蒸发操作的经济性	156
四、载热体	115	三、蒸发系统的日常运行及开停车 操作	157
五、稳定传热和非稳定传热	116	复习思考题	158
任务二 导热过程的计算及其应用	116	项目五 蒸馏操作	160
一、傅里叶定律及热导率	116	学习目标	160
二、平壁稳定热传导过程的计算	117	生产案例	160
三、圆筒壁稳定热传导过程计算	120	任务一 双组分气-液相平衡关系分析	161
任务三 对流传热过程分析及其应用	121	一、蒸馏的理论基础	161
一、对流传热过程分析	121	二、双组分理想溶液气-液相图分析	163
二、对流传热速率方程	122	三、双组分非理想溶液气-液相图分析	164
三、对流传热系数及影响因素	122	四、气液相平衡方程	165
四、对流传热系数的获取	123	任务二 蒸馏过程分析	167
五、流体有相变时的对流传热过程 分析	124	一、简单蒸馏	167
任务四 间壁换热过程分析及计算	126	二、平衡蒸馏	167
一、热量衡算	126	三、精馏	168
二、平均温度差计算	126	任务三 连续精馏过程的计算	170
三、传热系数的获取	129	一、全塔物料衡算	170
四、污垢热阻	131	二、操作线方程	172
五、强化传热的途径	131	三、进料状况对操作线的影响	174
任务五 换热设备的选择	132	四、塔板数的计算	177
一、间壁式换热器的分类	132		

五、适宜回流比的选择	181	二、强化吸收过程的措施	232
任务四 蒸馏设备及其选择	184	三、吸收塔的调节	233
一、板式塔的结构及气液传质过程 分析	184	四、吸收系统常见设备的操作故障 与处理	233
二、工业上常用的板式塔	185	五、吸收系统常见操作故障与处理	234
三、板式塔的选择	187	复习思考题	235
任务五 板式精馏塔的操作与控制	188	项目七 液-液萃取	238
一、气-液相负荷对精馏操作的影响	188	学习目标	238
二、板式精馏塔的操作	189	生产案例	238
三、板式精馏塔的操作控制	190	任务一 液-液萃取过程分析	239
四、精馏设备常见的操作故障与处理	192	一、液-液萃取的基本原理	239
复习思考题	193	二、液-液相平衡	240
项目六 气体吸收与解吸	197	三、萃取剂的选择	241
学习目标	197	任务二 萃取流程的识读	242
生产案例	197	一、单级萃取流程	242
任务一 吸收流程与装置的认识	198	二、多级萃取流程	242
一、吸收的基本流程及其选择	198	任务三 萃取设备的操作	243
二、用水吸收空气中 CO_2 流程的识读	200	一、萃取设备的类型	243
任务二 吸收剂的选择	202	二、萃取设备的选用	246
一、吸收剂选择的依据	202	三、影响萃取操作的主要因素	247
二、工业上常用的吸收剂	202	四、萃取塔的操作	248
任务三 吸收过程分析	202	任务四 超临界萃取	248
一、气液相平衡分析	202	一、超临界萃取的基本原理	248
二、气-液相平衡关系在吸收过程 中的应用	206	二、超临界萃取的流程	248
三、吸收机理分析	208	三、超临界萃取的特点及其工业应用	249
四、吸收速率方程	208	复习思考题	251
五、吸收过程的控制	210	项目八 溶液结晶	253
六、提高吸收速率的途径	211	学习目标	253
任务四 吸收剂消耗量的确定	211	生产案例	253
一、全塔物料衡算和操作线方程	211	任务一 结晶过程分析及计算	254
二、吸收剂用量的确定	212	一、结晶过程的基本原理	254
任务五 填料吸收塔直径和填料层 高度的确定	215	二、结晶过程的相平衡	255
一、填料吸收塔直径的确定	215	三、结晶生成过程	256
二、填料层高度的确定	215	四、结晶过程的物料衡算	257
任务六 解吸及其他类型的吸收操作	220	任务二 结晶过程的操作与控制	258
一、解吸操作	220	一、结晶操作的影响因素	258
二、其他类型的吸收	221	二、结晶过程的操作控制	259
任务七 吸收设备及其选型	222	任务三 结晶方法与设备的选择	259
一、吸收设备的一般要求	222	一、结晶方法的选择	259
二、常见吸收设备的结构和特点	222	二、常用的结晶设备	260
三、填料吸收塔	224	复习思考题	262
任务八 吸收塔的操作与调节	231	项目九 物料干燥	264
一、吸收塔操作的主要控制因素	231	学习目标	264
		生产案例	264
		任务一 干燥过程的分析	265

一、干燥操作的分类	265	二、膜及膜组件	302
二、对流干燥过程分析	266	任务二 反渗透过程分析	304
任务二 湿空气的性质及湿焓图的应用	266	一、反渗透原理	304
一、湿空气的性质	266	二、反渗透工艺流程	305
二、湿焓图的识读及其应用	270	三、影响反渗透过程的因素	306
任务三 湿物料的性质分析	273	任务三 电渗析过程分析	306
一、物料含水量的表示方法	273	一、电渗析分离原理及特点	306
二、物料中水分的性质	273	二、电渗析器构成与组装方式	308
任务四 干燥过程的计算	274	三、电渗析典型工艺流程	308
一、物料衡算	274	四、电渗析技术的工业应用	308
二、热量衡算	274	任务四 超滤与微滤过程分析	310
三、干燥器的热效率	275	一、超滤与微滤的基本原理	310
四、干燥速率及影响因素分析	276	二、超滤膜与微滤膜	311
任务五 干燥设备及其操作	278	三、超滤与微滤操作流程	311
一、干燥器的基本要求及分类	278	四、超滤与微滤的工业应用	313
二、常用对流干燥器	278	任务五 气体膜分离过程分析	315
三、非对流式干燥器	281	一、气体膜分离原理	315
四、干燥器的选用原则	282	二、影响气体膜分离效果的因素	315
五、常用干燥器的操作与维护	283	三、气体膜分离流程	316
六、干燥过程的节能措施	284	四、气体膜分离技术的应用	317
复习思考题	285	任务六 膜分离过程中的问题及处理	318
项目十 吸附	287	一、压密作用	318
学习目标	287	二、水解作用	318
生产案例	287	三、浓差极化与膜污染	319
任务一 吸附过程分析	288	复习思考题	319
一、吸附现象	288	附录	321
二、吸附分类	288	附录一 化工常用法定计量单位及	
三、物理吸附过程分析	288	单位换算	321
任务二 吸附剂的选择	289	附录二 某些气体的重要物理性质	
一、吸附剂的基本要求	289	(101.3kPa)	323
二、工业上常用的吸附剂	289	附录三 某些有机液体的相对密度(液体	
三、吸附剂的性能	290	密度与4℃时水的密度之比)	324
任务三 吸附平衡与吸附速率	291	附录四 某些液体的重要物理性质	325
一、吸附平衡	291	附录五 部分无机盐水溶液的沸点	
二、吸附速率	292	(101.3kPa)	327
任务四 吸附装置的操作	293	附录六 某些固体材料的重要物理性质	328
一、吸附方法的选择	293	附录七 水的重要物理性质	329
二、吸附装置的操作	293	附录八 饱和水蒸气表(按温度排列)	330
三、吸附过程的强化与展望	297	附录九 饱和水蒸气表(按压力排列)	331
复习思考题	298	附录十 干空气的热物理性质	
项目十一 膜分离技术	299	($p=1.013\times10^5\text{Pa}$)	332
学习目标	299	附录十一 水的黏度(0℃至100℃)	333
生产案例	299	附录十二 液体黏度共线图	334
任务一 膜分离过程分析	300	附录十三 气体黏度共线图	335
一、膜分离过程及特点	300	附录十四 气体热导率共线图	

(101.3kPa)	336	附录十八 液体表面张力共线图	342
附录十五 液体比热容共线图	338	附录十九 管子规格	344
附录十六 气体比热容共线图	339	附录二十 离心泵规格 (摘录)	345
(101.3kPa)	339	参考文献	349
附录十七 液体汽化热共线图	340		

绪 论



学习目标

技能目标

1. 能进行基本物理量的计算及换算。
2. 会识图查表。

知识目标

1. 掌握化工生产过程中常用的化工单元操作及分类。
2. 掌握单位制及单位换算的方法。

一、课程的性质、作用及任务

化工单元操作课程是化工类、环境类及其相近专业必修的一门专业基础课；是化工及煤化工生产企业核心岗位对应的核心课程；是“国家示范性高等职业院校建设计划”立项建设院校重点建设专业化工专业及专业群的优质核心课程；是学生迈向专业的敲门砖、步入社会的奠基石。本课程的知识点贯穿了多个专业的核心课程，内容涉及多个专业的工作岗位，对整个专业知识的学习和核心技能的掌握起着重要的支撑作用。

化工单元操作课程的任务就是以典型单元操作为研究对象，应用基础学科的有关原理研究化工生产过程中化工单元操作的基本原理、典型设备的结构、操作与故障分析处理，对各单元操作过程进行设计优化或操作优化。可以说，化工生产岗位上运用频率最高、范围最广的能力和知识大多数集中在化工单元操作课程中，因而该课程的学习是化工类专业学生综合职业能力和职业素质养成的重要支撑，为后续课程的学习打下坚实基础。

二、化工单元操作及分类

(1) 化工单元操作 人们把在不同化工产品生产过程中，发生同样的物理变化，遵循共同的规律，使用相似设备，具有相同作用的基本物理操作，称为单元操作。

在化工过程或某种产品的生产过程中，往往需要几个或几十个加工过程，其中除了化学反应过程外，还有大量的物理加工过程。化工领域庞大，化学工业产品种类繁多，在生产过程中，都使用着各种各样的物理加工过程。它们的操作原理可以归纳为应用较广的多个基本操作过程，如流体输送、搅拌、沉降、过滤、热交换、蒸发、结晶、吸收、蒸馏、萃取、吸附以及干燥等。在乙醇、乙烯及石油等生产过程中，都采用蒸馏操作过程分离液体混合物；废水治理技术中常采用的沉降、过滤、吸附、膜分离等过程；合成氨、硝酸及硫酸等生产过程中，都采用吸收操作过程分离气体混合物；尿素、聚氯乙烯及染料等生产过程中，都采用干燥操作过程以除去固体中的水分等，这些基本的操作过程称为化工单元操作。

(2) 化工单元操作分类 对于化工单元操作，可从不同角度加以分类，各种单元操作依据不同的物理化学原理，采用相应的设备，以达到各自的工艺目的。根据各单元操作所遵循的基本规律，将其划分为如下几个基本过程。

① 动量传递过程。流体流动时，其内部发生动量传递，故流体流动过程也称为动量传

递过程。遵循动量传递的基本规律以及主要受这些基本规律支配的一些单元操作包括流体输送、沉降、过滤、物料混合（搅拌）及流态化等。

② 热量传递过程。热量传递过程简称传热过程。遵循热量传递的基本规律及主要受这些基本规律支配的一些单元操作，包括传热、蒸发、结晶等。

③ 质量传递过程。质量传递过程简称传质过程。遵循质量传递基本规律的单元操作包括蒸馏、吸收、萃取、浸取、吸附、离子交换、膜分离等。从工程目的来看，这些操作都可将混合物进行分离，故又称之为分离操作。

④ 热、质传递过程。同时遵循热、质传递的基本规律包括干燥、结晶、增湿、减湿等，因为这些单元操作中，不仅有质量传递而且有热量传递。

因此，流体力学、传热及传质的基本原理是各单元操作的理论基础。每个单元操作的研究内容包括“过程”和“设备”两个方面。同一单元操作在不同的生产中虽然遵循相同的过程规律，但在操作条件及设备类型（或结构）方面会有很大差别。另一方面，对于同样的工程目的，可采用不同的单元操作来实现。例如一种液态均相混合物，既可用蒸馏方法分离，也可用萃取方法，还可用结晶方法，究竟哪种单元操作最适宜，需要根据工艺特点、物系特性，经过综合技术经济分析做出选择。

三、化工单元操作过程中的基本规律

在研究化工单元操作时，经常用到一些基本概念，如物料衡算、能量衡算、物系的平衡关系、传递速率等。这些基本概念贯穿于本课程的始终，在这里仅作简要说明，详细内容将在以后章节中讲解。

(1) 物料衡算 物料衡算是依据质量守恒定律，进入与离开某一操作过程的物料质量之差，等于该过程中累积的物料质量，即

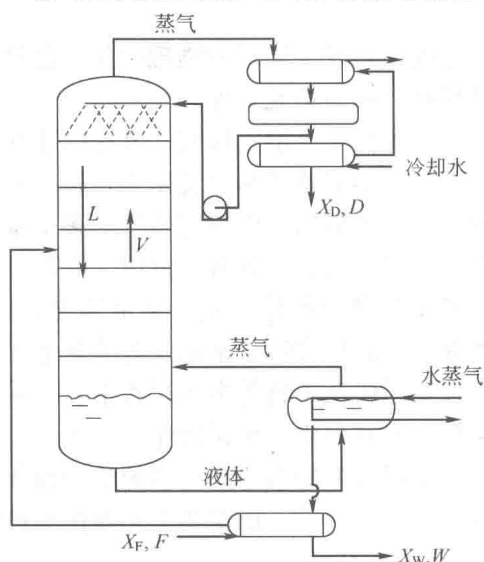
$$\text{输入量} - \text{输出量} = \text{累积量} \quad (0-1)$$

对于连续操作的过程，若各物理量不随时间改变，即处于稳定操作状态时，过程中不应有物料的积累。则物料衡算关系为

$$\text{输入量} = \text{输出量} \quad (0-2)$$

用物料衡算式可由过程的已知量求出未知量。物料衡算一般按下列步骤进行。

① 首先根据题意画出各物流的流程示意图，并标上已知数据与待求量。



例 0-1 附图

② 在写衡算式之前，要选定计算基准，一般选用单位进料量或排料量、时间及设备的单位体积等作为计算的基准。

③ 在较复杂的流程示意图上应注明衡算的范围，列出衡算式，求解未知量。

【例 0-1】 如附图所示，苯和甲苯混合液中含苯的摩尔分数为 x_F ，以 F kmol/h 的流量连续加入某一精馏塔。塔顶流出液中含苯的摩尔分数为 x_D ，残液中含苯的摩尔分数为 x_W 。试求塔顶苯的流出量 D kmol/h 和塔底甲苯的流出量 W kmol/h。

解 对全塔作物料衡算，即

$$F = D + W$$

对全塔易挥发组分苯作物料衡算，即

$$F x_F = D x_D + W x_W$$

解方程组得

$$W = \frac{F(x_D - x_F)}{x_D - x_W} \quad \text{kmol/h}$$

$$D = \frac{F(x_F - x_W)}{x_D - x_W} \quad \text{kmol/h}$$

(2) 能量衡算 本课程所涉及的能量主要有机械能和热能。能量衡算的依据是能量守恒定律。机械能衡算将在第一章流体流动中讲解, 热量衡算在传热、蒸馏、干燥等章中结合具体单元操作详细说明。热量衡算的步骤与物料衡算的基本相同。

(3) 物系的平衡关系 平衡状态是自然界中广泛存在的现象。在一定的条件下, 过程的变化达到了极限, 即过程处于平衡状态。例如, 热量从高温物体传到低温物体至两物体的温度相等为止; 在一定温度下, 不饱和的食盐溶液与固体食盐接触时, 食盐向溶液中溶解, 直到溶液为食盐所饱和, 食盐就停止溶解, 此时固体食盐表面已与溶液成动态平衡状态。反之, 若溶液中食盐浓度大于饱和浓度, 则溶液中的食盐会析出, 使溶液中的固体食盐结晶长大, 最终达到平衡状态。一定温度下食盐的饱和浓度, 就是这个物系的平衡浓度。当溶液中食盐的浓度低于饱和浓度, 则固体食盐将向溶液中溶解。当溶液中食盐的浓度大于饱和浓度, 则溶液中溶解的食盐会析出, 最终都会达到平衡状态。从这些例子可以看出, 平衡关系可以用来判断过程能否进行, 以及进行的方向和限度。

(4) 传递速率 传递速率是单位时间内传递过程的变化率。平衡关系只表明过程变化的极限, 而传递速率表明过程进行的快慢。在生产中, 过程速率比平衡关系更为重要。如果一个过程可以进行, 但速率十分缓慢, 则该过程无生产应用价值。

在某些过程中, 传递速率与过程推动力成正比, 与过程阻力成反比, 这三者的相互关系类似于电学中的欧姆定律, 即

$$\text{传递速率} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}} \quad (0-3)$$

过程的传递速率是决定设备结构、尺寸的重要因素, 传递速率大时, 设备尺寸可以小些。由于过程不同, 推动力与阻力的内容各不相同。通常, 过程离平衡状态越远, 则推动力越大, 达到平衡时, 推动力为零。例如, 引起热物体与冷物体间热量流动的推动力是两物体间的温度差, 温度差越大, 则传热速率越大, 温度差等于零时, 两物体处于热平衡状态, 彼此间不会有热的流动。过程阻力较为复杂, 将在有关章节中分别介绍。

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, 探索提高生产效率的措施。

四、单位制及单位换算

(1) 基本单位和导出单位 凡参与生产过程的物料都具有各种各样的物理性质, 如黏度、密度、热导率等, 而且还常用不同的参变量如温度、压强、流速等来表示过程的特征。根据使用方便的原则规定出它们的单位, 这些选择的物理量称为基本物理量, 其单位称为基本单位。其他的物理量, 如速度、加速度、密度等单位则根据其本身的物理意义, 由有关基本单位组合而成, 这种组合单位称为导出单位。

(2) 单位制 由于计算各个物理量时, 采用了不同的基本量, 因而产生了不同的单位制。目前最常用的单位制有以下几种。

① 绝对单位制和工程单位制。根据对基本物理量及其单位选择的不同, 分为绝对单位制与工程单位制。绝对单位制以长度、质量、时间为基本物理量, 工程单位制度以长度、时间和力为基本物理量。显然, 在绝对单位制度中, 力是导出物理量, 其单位为导出单位; 而在工程单位制度中, 质量是导出物理量, 其单位为导出单位。

上述两种单位制又有米制单位与英制单位之分，如表 0-1 所示。

表 0-1 两种单位制中的米制与英制基本单位

单位制度		基本物理量			
		长度	时间	质量	力或重力
绝对单位制度	CGS 制	cm	s	g	—
	米制	m	s	kg	—
	英制	ft	s	lb	—
工程单位制度	米制	m	s	—	kgf
	英制	ft	s	—	lb(f)

② 国际单位制 (SI 制)。国际单位制是 1960 年 10 月第十一届国际计量大会通过的一种新的单位制，称为国际单位制，其代号为 SI。SI 制是一种完整的单位制，它包括了所有领域中的计量单位。

中国目前使用的就是以 SI 制为基础的法定计量单位，它是根据中国国情，在 SI 制单位的基础上，适当增加了一些其他单位构成的。例如，体积的单位 L (升)，质量的单位 t (吨)，时间的单位 min (分)、h (时)、d (日)、a (年) 仍可使用。

本书采用法定计量单位，但在实际应用中，仍可能遇到非法定计量单位，需要进行单位换算。不同单位制之间的主要区别在于其基本单位不完全相同。表 0-2 给出了常用单位制中的部分基本单位和导出单位。

表 0-2 常用单位制中的部分基本单位和导出单位

国际单位制 (SI 制)				绝对单位制 (CGS 制)				工程单位制			
基本单位		导出单位		基本单位		导出单位		基本单位		导出单位	
长度	质量	时间	力	长度	质量	时间	力	长度	力	时间	质量
m	kg	s	N	cm	g	s	dyn	m	kgf	s	kgf · s ² /m

在国际单位制和绝对单位制中质量是基本单位，力是导出单位。而在工程单位制中力是基本单位，质量是导出单位。因此，必须掌握三种单位制之间力与质量之间的关系，才能正确地进行单位换算。

(3) 单位制换算 同一物理量若用不同的单位度量时，其数值需相应地改变，这种换算过程称为单位换算。1984 年 2 月 27 日国务院发布命令，明确规定在我国实行以 SI 单位制为基础的法定计量单位，要求在 1990 年底以前各行各业要全面完成向法定计量单位的过渡。鉴于几十年来在工农业生产和工程技术中，一直广泛使用工程单位制，由过去的 CGS 制和工程单位制过渡到全部使用法定单位，还需要一段时间。因此，必须掌握这些单位间的换算关系。

在工程单位制中，将作用于 1kg 质量上的重力，即 1kgf 作为力的基本单位。由牛顿第二定律得

$$\begin{aligned} 1\text{N} &= 1\text{kg} \times 1\text{m/s}^2 = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \\ 1\text{kgf} &= 1\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2 = 9.81\text{N} = 9.81 \times 10^5 \text{dyn} \\ 1\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m} &= 9.81\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m} = 9.81\text{kg} = 9.81 \times 10^3 \text{g} \end{aligned}$$

根据三种单位制之间力与质量的关系，即可将物理量在不同单位制之间进行换算。将物理量由一种单位换算至另一种单位时，物理量本身并没有发生改变，仅是数值发生了变化。例如，将 1m 的长度换算成 100cm 的长度时，长度本身并没有改变，仅仅是数值和单位的组合发生了改变。因此，在进行单位换算时，只需要用新单位代替原单位，用新数值代替原数

值即可，其中

新数值 = 原数值 × 换算因数

式中

换算因数 = 原单位 / 新单位

换算因数表示一个原单位相当于多少个新单位。

【例 0-2】 试将物理单位制中的密度单位 g/cm^3 分别换算成 SI 制中的密度单位 kg/m^3 和工程单位制中的密度单位 $\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 。

解 首先确定换算因数

$$\frac{\text{g}}{\text{kg}} = 10^{-3}, \quad \frac{\text{cm}}{\text{m}} = 10^{-2}, \quad \frac{\text{kg}}{\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}} = \frac{1}{9.81}$$

$$\text{则 } 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ kg}}{(10^{-2} \text{ m})^3} = 1 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1 \times 10^3 \times \frac{1}{9.81} \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}}{\text{m}^3} = 102 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$$

【例 0-3】 在 SI 制中，压力的单位为 Pa（帕斯卡），即 N/m^2 。已知 1 个标准大气压的压力相当于 $1.033 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ，试以制单位表示 1 个标准大气压的压力。

解 首先确定换算因数

$$\frac{\text{kgf}}{\text{N}} = 9.81, \quad \frac{\text{cm}}{\text{m}} = 10^{-2}$$

$$\text{则 } 1 \text{ atm} = 1.033 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = \frac{1.033 \times 9.81 \text{ N}}{(10^{-2} \text{ m})^2} = 1.01325 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2 = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

五、学习本课程要注意的问题及培养的能力

要理论联系实际，过程原理和设备并重；掌握科学的研究方法；着重培养学生的自学能力、创新能力及刻苦勤奋、好学好问、实干、毅力等非智力因素。



复习思考题

一、填空题

1. 化工单元操作按照其遵循的规律可分为_____四类。
2. 化工单元操作所遵循的规律为_____。
3. 物料衡算遵循的是_____的规律。
4. 热量衡算遵循的是_____的规律。
5. 平衡关系表示的是_____；平衡关系可以判断_____。
6. 我国实行的法定计量单位是_____，其特点是_____。

二、简答题

1. 什么叫化工单元操作？
2. 试述化工单元操作研究的对象和任务。
3. 物料衡算和热量衡算的依据和基本步骤是什么？
4. 物理单位制、工程单位制和 SI 制中各以哪几个单位为基本单位？

三、计算题

1. 在物理单位制中，黏度的单位为 P（泊），即 $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$ ，试将该单位换算成 SI 制中的黏度单位 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。
[答 $0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$]
2. 已知通用气体常数 $R = 0.08206 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ，试以法定单位 $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 表示 R 的值。
[答 $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$]

项目一 流体输送

流体输送是化工生产中最基本的单元操作，本项目从流体岗位的实际需求出发，围绕化工企业对流体输送岗位操作人员的具体要求，设计了十一个工作任务，为完成这些工作任务安排具体的实践训练项目，通过这些项目的训练，使学生达到本岗位的教学目标，以满足化工企业对流体输送岗位操作人员的要求。



学习目标

技能目标

1. 会进行流体基本物理量的计算、换算及识图查表。
2. 会选择和使用工具、仪器、仪表测量液体的密度、压差、液位、流速及流量等。
3. 会应用流体静力学基本方程、流量方程、连续性方程、伯努利方程进行简单计算。
4. 会判断流体流型，知道减少流体阻力的途径和措施。
5. 会进行流体输送设备的操作调节与维护及操作中常见故障的判断和处理。

知识目标

1. 熟知流体的主要物理量及流体力学基本方程。
2. 熟知管路布置与安装的一般原则及管路常见的故障。
3. 熟知离心泵、往复泵、鼓风机和压缩机等流体输送设备的工作原理、结构及性能。



生产案例

以焦炉煤气为原料采用 ICI 低中压法合成甲醇工艺为例，介绍流体输送所用的管路和设备。ICI 低中压法合成甲醇的工艺流程如图 1-1 所示，ICI 低中压法合成甲醇基本工段如图 1-2 所示。

由上述案例 ICI 低中压法合成甲醇工艺可知，从焦炉煤气净化、中间产品粗甲醇合成、粗甲醇精馏到最后产品精甲醇都是流体，整个生产过程就是一个流体流动和输送的过程。

化工生产中所处理的物料，大多为流体，包括气体和液体，气体与液体都具有流动性。在化工生产中为满足工艺要求需要将流体物料由低处送往高处，由低压变为高压，由低速变为高速。在连续生产中管道中的流体物料的输送就像人体内的血液在血管内不断流动，流体在管道内的流动要涉及流体的输送、流量测量及流体输送机械的选型等问题。因此对这样一个流动系统，必须要解决以下几个问题：

- ① 流体的物理量及其测定；
- ② 流体输送管路的选择及管件、阀门的配置；
- ③ 流体输送管路直径的确定和管路布置；
- ④ 流体输送机械的选用、操作及维护等。

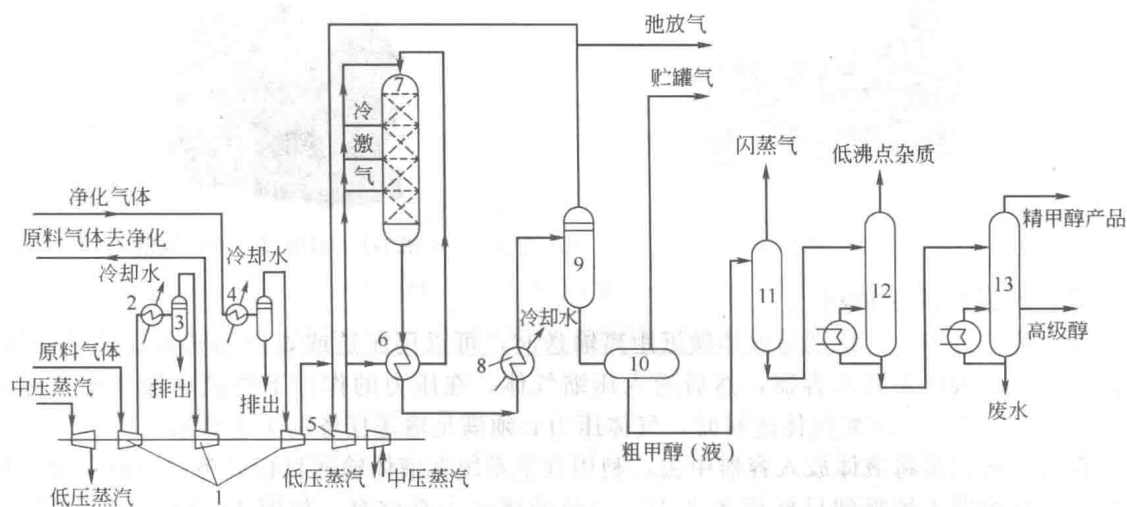


图 1-1 ICI 低中压法合成甲醇工艺

1—原料气压缩机；2—冷却器；3—分离器；4—冷却器；5—循环压缩机；6—热交换器；7—甲醇合成反应器；
8—甲醇冷凝器；9—甲醇分离器；10—中间槽；11—闪蒸槽；12—轻分馏塔；13—精馏塔

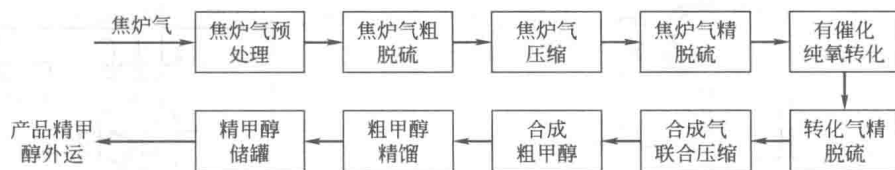


图 1-2 ICI 低中压法合成甲醇基本工段

因此，流体输送是化工生产中最基本的单元操作，也是其他单元操作的基础，在化工生产中应用最为广泛。

任务一 流体输送方式的选择

流体输送必须要具有足够的机械能，才能将流体提升到一定高度，达到所需的压强，并克服流体流动过程中的阻力。以指定的流量送达目的地。完成流体输送可采用不同的输送方式，常见的流体输送方式有以下几种。

一、流体输送设备

通常将液体输送设备称之为泵；输送气体的设备称之为风机和压缩机。液体输送设备的种类很多，一般根据作用原理的不同可将液体输送设备分为离心式、回转式、往复式及流体作用式。其中，离心泵在化工生产中应用最为广泛。离心泵的外观图见图 1-3，其性能详细介绍见任务六。

工业上常用的通风机有轴流式和离心式两类。当输送系统需要较高的压力时，可采用鼓风机或压缩机。离心式鼓风机的外观图如图 1-4 所示。

在化工生产中如何选用既要符合生产需要又比较经济合理的流体输送设备，同时在操作中做到安全可靠、高效率运行，除了熟知被输送流体的性质、工作条件外，还必须了解各类输送设备的工作原理、结构和特性，以便进行正确地选择和合理使用。工业中常用流体输送设备的基本结构、工作原理、操作及维护，将在任务六、七中详细介绍。