

高等学校教学用书

化工原理

(上册)

张洪流 主 编



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

高等学校教学用书

化 工 原 理

(上册)

张洪流 主编

 华东理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

化工原理(上册)/张洪流主编. —上海:华东理工大学出版社,2006.11

(高等学校教学用书)

ISBN 7-5628-1999-8

I. 化... II. 张... III. 化工原理—高等学校—教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 121525 号

高等学校教学用书

化工原理(上册)

主 编 / 张洪流

责任编辑 / 陈新征

封面设计 / 王晓迪

责任校对 / 金慧娟

出版发行 / 华东理工大学出版社

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

传 真:(021)64252707

网 址:www. hdlgpress. com. cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 21.25

字 数 / 468 千字

版 次 / 2006 年 11 月第 1 版

印 次 / 2006 年 11 月第 1 次

印 数 / 1—4050 册

书 号 / ISBN 7-5628-1999-8/TQ·109

定 价 / 32.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换)

内 容 提 要

本教材主要介绍化学工程领域中常见单元操作的基本原理与流程,典型单元操作设备的构造与工作原理、操作性能与调节、工艺计算及设计选用等。全书分上、下两册。上册包括绪论、流体力学、流体输送机械、非均相物系的分离、传热以及蒸发与结晶;下册包括概论、蒸馏与精馏技术、气体吸收、塔设备、液-液萃取技术、其他分离技术、干燥等章。

在本教材的编写中,作者力求体现化工类专业的教学特点,本着理论必需、够用为度,强化培养应用能力的原则,注重理论与实践相结合,引入大量工程实例,着重培养读者的工程观念和处理工程问题的能力。

本教材可作为化工类专业本科生教材,也可供石油加工、轻工、食品、制药、环境工程等专业及相关技术人员参考。

前 言

化工原理课程是化工类专业及相关专业的重要技术基础课程。课程主要任务是研究化工单元操作过程的基本原理、典型设备的结构与操作调控方法、过程工艺计算以及设备设计和选型方法。由于有关单元操作理论在化工类专业课程的教学中的将被作为重要基础知识反复应用,因此,本课程也是化工类专业的“平台课程”。

随着高等教育事业的发展,企业用人机制的不断变更,本科教育由理论研究型向应用型转化势在必行。为此,建设一套符合当前工科院校人才培养机制,以强化应用能力培养为目的的化工原理教材十分必要。本教材正是在此指导思想下编写的。在本教材的编写中,作者力求体现化工类专业的教学特点,本着理论必需、够用为度,强化培养应用能力的原则,注重理论与实践相结合,引入大量工程实例,着重培养读者的工程观念和处理工程问题的能力。

全书分上、下两册,上册包括绪论、流体力学、流体输送机械、非均相物系的分离、传热、蒸发与结晶;下册包括概论、蒸馏与精馏技术、气体吸收、塔设备、液-液萃取技术、其他分离技术、干燥。为了便于实施目标教学和自学,教材内容按“掌握”、“理解”和“了解”三个层次编写,在每章开始的“学习目的及要求”中均有明确的说明,并通过例题、思考题和习题进行反复练习,以达到理解和熟练掌握的要求。此外,为便于学生复习,在每章的结尾处均设有“本章小结”。

本教材由安徽理工大学张洪流主编并负责全书的统稿工作。其中绪论、第一章、第四章、下册概论、第六章、第八章、第九章、第十章由安徽理工大学张洪流编写,第二章由安徽理工大学张茂润编写,第三章由安徽理工大学陈明功编写,第五章由郑州轻工业学院戚俊清编写,第七章由安徽工业大学韩永霞编写,第十一章由南通大学华平编写。

由于编者水平有限,书中不完善之处敬请同仁批评指正,以使本教材日臻完善。

张洪流

2006年6月

目 录

绪论	1
学习目的及要求	1
一、本课程的形成	1
二、本课程的性质与任务	3
三、单位与单位制	4
四、基本概念	4
复习思考题	10
第一章 流体力学	11
学习目的及要求	11
第一节 流体的基本物性	11
一、流体的密度	11
二、压强	14
三、流量与流速	16
四、黏度	17
第二节 流体静力学	20
一、流体静力学基本方程式	20
二、静力学基本方程的应用	21
第三节 流体动力学	28
一、流动系统的能量类型	29
二、稳定不可压缩流动系统的能量衡算——柏努利方程式	30
三、柏努利方程式的应用	32
第四节 管流过程	37
一、流体阻力的表现与形成原因	38
二、流体的流动型态	38
三、圆管中的速度分布与流动边界层概念	41
第五节 化工管路基础	44
一、管路的分类	45
二、化工管路的基本构成	45
三、管子的选用与连接	50

第六节 管流系统的能量损失	51
一、直管阻力损失	51
二、局部阻力损失	57
三、系统的总能量损失	61
第七节 管路计算	63
一、单一管路计算	63
二、复杂管路计算的原则	66
第八节 流量测量	67
一、测速管	68
二、孔板流量计	70
三、文氏流量计	73
四、转子流量计	74
本章小结	76
复习思考题	77
习题	78
本章符号说明	82
第二章 流体输送机械	83
学习目的及要求	83
第一节 离心泵	83
一、离心泵的结构及工作原理	84
二、离心泵的主要性能参数与特性曲线	86
三、影响离心泵性能的主要因素	90
四、离心泵的吸上高度及其确定	91
五、离心泵的工作点与调节	94
六、离心泵的类型与选用	99
第二节 其他化工生产用泵	105
一、其他化工生产用泵的类型	105
二、各类化工泵的性能比较	112
第三节 气体输送机械	113
一、通风机	113
二、鼓风机	116
三、压缩机	117
四、真空泵	124
本章小结	126
复习思考题	127

习题	128
本章符号说明	129
第三章 非均相物系的分离	131
学习目的及要求	131
第一节 重力沉降及设备	132
一、自由沉降	132
二、重力沉降设备	137
第二节 离心沉降及设备	146
一、离心沉降与离心沉降速度	146
二、离心沉降设备	150
第三节 过滤	154
一、过滤操作的基本概念	155
二、过滤基本方程式	157
三、恒压过滤	159
四、过滤设备	162
第四节 离心机	168
一、基本概念	168
二、离心机的类型	168
第五节 气体的其他净制设备	172
一、惯性分离器(组)	172
二、袋滤器	173
三、静电除尘器	173
四、文丘里除尘器	174
五、泡沫除尘器	174
第六节 分离设备的选择	175
一、气-固混合物的分离方案及设备选择	175
二、液-固混合物的分离方案及设备选择	176
本章小结	176
复习思考题	177
习题	177
本章符号说明	178
第四章 传热	180
学习目的及要求	180
第一节 概述	180

一、传热在化工生产中的应用	180
二、传热的基本方式	181
三、工业换热方式	182
第二节 传热基本方程	183
一、典型间壁式换热器	183
二、传热基本方程	185
第三节 传热速率与热负荷	186
一、热负荷	186
二、热负荷与传热速率间的关系	186
三、热负荷的计算方法	187
第四节 传热平均温度差	189
一、恒温传热过程的传热平均温度差	190
二、变温传热过程的传热平均温度差	190
第五节 热传导	196
一、傅立叶定律	196
二、傅立叶定律的应用	198
第六节 对流传热	203
一、对流传热概念	203
二、对流传热基本方程——牛顿冷却定律	204
三、对流传热膜系数 α	205
第七节 传热系数	216
一、传热系数的确定方法	216
二、强化传热的途径	219
第八节 传热应用计算	223
一、传热系数法	223
二、传热单元数法	225
第九节 工业换热器	229
一、换热器的分类	229
二、间壁式换热器简介	230
第十节 列管式换热器的工艺设计	237
一、列管式换热器设计过程需考虑的问题	237
二、标准列管换热器选型设计的一般步骤	239
三、非标准列管换热器的工艺设计	244
本章小结	245
复习思考题	246
习题	246

本章符号说明	248
第五章 蒸发与结晶	249
学习目的及要求	249
第一节 概述	249
一、蒸发流程	249
二、蒸发操作的特点	250
三、蒸发操作的分类	250
第二节 蒸发设备	251
一、蒸发器的型式与结构	251
二、蒸发器的辅助设备	257
第三节 单效蒸发的工艺计算	257
一、蒸发水量	258
二、加热蒸汽消耗量	258
三、蒸发器的传热面积	260
第四节 蒸发系统的节能与多效蒸发	266
一、蒸发器的生产强度与蒸汽的经济性	266
二、多效蒸发	268
三、提高加热蒸汽经济性的其他措施	270
第五节 结晶分离技术	271
一、结晶操作的类型	271
二、结晶分离的基本原理	272
三、结晶过程的相平衡	272
四、影响结晶操作的因素	274
五、结晶工艺计算	275
六、结晶器	277
七、其他结晶方法	279
本章小结	280
复习思考题	281
习题	281
本章符号说明	282
附录	283
1. 单位换算表	283
2. 某些气体的重要物理性质	287
3. 某些液体的重要物理性质	288

4. 常用固体材料的重要物理性质	290
5. 干空气的物理性质 ($p = 101.3 \text{ kPa}$)	291
6. 水的物理性质	292
7. 水的饱和蒸气压 ($-20 \sim 100^\circ\text{C}$)	293
8. 饱和水蒸气(以温度为准)	294
9. 饱和水蒸气(以压强为准)	295
10. 水在不同温度下的黏度	297
11. 液体黏度共线图和密度	298
12. 气体黏度共线图(常压下用)	300
13. 定压下气体比热容共线图(常压下用)	301
14. 液体的比热容	303
15. 液体汽化潜热共线图	305
16. 某些气体的导热系数图	307
17. 某些液体的导热系数图	308
18. 某些固体材料的导热系数	308
19. 无机盐水溶液在 101.3 kPa 下的沸点	310
20. 管子规格	311
21. 常用离心泵的规格(摘录)	312
22. 4-72-11 型离心式通风机的规格	321
23. 列管式换热器规格(摘录)	321
参考文献	326

绪 论

学习目的及要求

1. 掌握内容

本课程的性质、地位及作用。单元操作的概念,单位与单位制度、单位换算,稳定流动系统与不稳定流动系统、稳定系统的特性。

2. 理解内容

物料衡算、能量衡算、热量衡算,平衡与过程速率的概念,实验关联方法、量纲与量纲一致性、特征数的概念等。

3. 了解内容

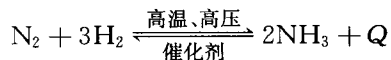
“三传”概念,实验数据关联方法、量纲分析法。

一、本课程的形成

化学工业是国民经济的支柱产业,化工产品涉及人们的衣、食、住、行等各个领域,其产值是衡量国民经济发展水平的重要指标之一。以化学方法为核心将原料加工成产品的生产过程统称为化工生产过程,其特点是所用原料广泛、产品品种繁杂、性质各异。本课程则是随着化学工业的发展而形成的。

随着科技的不断进步、化学工业的不断发展,化学工业已由早期单一的无机化工逐渐形成集无机化工、有机化工、高分子化工、精细化工、无机材料化工、化工制药、生物化工等分支为一体的化学工程领域,化工产品的种类已逾数万。虽然不同化工产品的生产工艺各不相同,但只需稍加分析就可以看出,它们均可视为由化学反应器与若干物理操作设备串联组合而成。如以合成氨的生产过程为例:

氨合成反应方程式为



众所周知,该反应为可逆反应。若从反应动力学的角度进行分析,不难得到下述结论。

(1) 该反应的正反应为体积缩小的反应,增大反应系统的压强,将有利于反应朝正方向进行。此外,由于该反应为气相反应,高压下可增大气体的密度,提高气体分子的碰撞概率,有利于提高反应转化率、加大反应速度,并可缩小设备体积。因此,进入氨合成塔的气体须先经过气体增压设备(压缩机)增压。

(2) 为提高氨合成反应的速度,该反应需要借助催化剂的催化作用。因催化剂在不同温度条件下对反应的加速能力不同,随反应系统的不同,约在 $400^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ 之间具有最大催化能力。所以,为保证合成反应尽可能在最高速度下进行,气体原料在进入合成塔前必先经过换

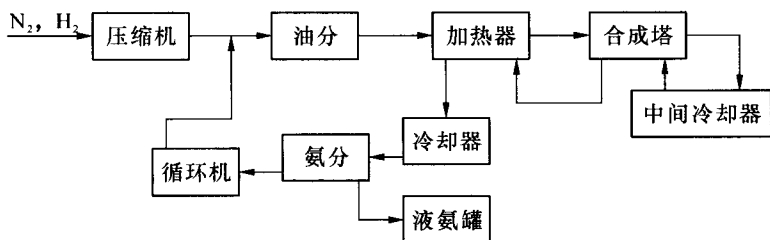
热器(加热器)预热升温。

(3) 该反应的正反应为放热反应,及时移出反应热将有利于反应朝正方向进行。因此,为提高氨合成反应的转化率,反应气体在反应过程中必须经过冷却设备冷却,以及及时移出反应热。

(4) 按平衡移动原理,降低反应产物的浓度将有利于反应朝正方向进行。由于氨较氮气、氢气易于液化,在高压下只需对合成气加以冷却即可将氨和氮气、氢气分离。所以,为降低系统中反应产物的浓度、获取反应产物,合成气必需经过冷却设备冷却降温,并经过气-液分离设备(氨分)以分离出液氨,剩余的氮气、氢气经补充压强后(循环机)返回系统进行循环反应。

此外,由于压缩机与循环机在对气体的增压过程中,会将机体内的润滑油夹带出,故在压缩机与循环机的出口部位均需设置气-液分离装置(油分)。

综上所述,由反应动力学原理确定的合成氨生产路线为:



在上述生产路线中,除合成塔为化学反应设备以外,其余设备均为物理操作设备。这些物理操作设备在生产工艺流程中起到输送流体及为化学反应过程准备必要条件的作用。

在化工生产过程中,常用的物理操作通常有十多个。我们将这些在化工生产过程中普遍使用的、遵循一定的物理学定律、所用设备相似、具有类似作用的物理操作统称为化工单元操作,简称单元操作。

随着单元操作概念的引入,对某一化工产品的合成工艺研究就不再需要作为一个专门学科来研究,可分别从化学反应及单元操作这两方面来同时进行,从而大大加快化工产品的开发进程,有利于化学工业的迅速发展。

必须指出,在化工产品的生产过程中,化学反应是具有决定意义的一步。因此,人们常把化学反应称为化工生产过程的核心。而上述的单元操作在多数情况下是为化学反应这一核心服务的,只有少数的单元操作(如吸收、精馏等)在特定的场合可用来直接制造产品。

根据生产过程中常见单元操作所遵循的规律,可划分为以下三类,如表 0-1 所示。

表 0-1 常见单元操作的分类

过程名称	单元操作名称	遵循的规律或原理
动量传递过程	流体的流动与输送、沉降、过滤、气力输送等	流体力学规律
热量传递过程	传热(加热或冷却)、蒸发等	热交换规律
质量传递过程	蒸馏与精馏、吸收、萃取、干燥等	分子扩散规律

由表 0-1 可知,在各类单元操作中进行的基本过程主要是动量传递过程、热量传递过程和质量传递过程,俗称“三传”。其中,因温度差导致的热量传递与因浓度差导致的质量传递比较容易理解,至于动量传递的概念,理解起来则不那么容易,我们可以借助牛顿第二定律来帮

助理解。

牛顿第二定律表达式为

$$F = ma$$

式中 F ——作用于质量为 m 的物体上的外力, N;

a ——在外力 F 作用下引起该物体的加速度, m/s^2 。

根据物理学定义, 加速度

$$a = \frac{dv}{dt}$$

式中 v ——物体的运动速度, m/s ;

t ——运动时间, s 。

若物体的质量不变, 则有

$$F = \frac{d(mv)}{dt}$$

式中 mv 是质量与瞬间速度的乘积, 即物体 m 的瞬间动量, 而 $\frac{d(mv)}{dt}$ 则是物体在瞬间的动量变化率。所以, 牛顿第二定律也可以理解为外力对物体的作用过程是使物体的动量增加的过程, 是动量传递过程。对于流体输送、过滤等需在外力作用下进行的单元操作过程必然要涉及动量传递, 故称为动量传递过程。

“三传”过程往往是同时进行并相互影响的, 如水向大气蒸发的过程为相际传质过程, 同时因水分蒸发需吸收热量也是传热过程。在过程机理及过程速率问题上, “三传”之间存在一定的类似性, 如过程进行的方向都是从高(动量、能量、温度、浓度)到低, 过程速率均可表达成过程推动力除以过程阻力的形式等。此外, 由于“三传”中的质量传递过程所涉及的单元操作的目的是使混合物分离, 所以又称为“分离操作”。

二、本课程的性质与任务

本课程是化工类专业继高等数学、物理化学、工程力学、化工制图等课程的后续课程, 可起到基础课程与专业课程间的桥梁作用, 是化工类专业的一门极为重要的技术基础课程。由于化工产品的合成工艺是由化学反应及单元操作串联组合而成, 有关单元操作理论在专业课程的教学中将作为重要基础知识反复应用。因此, 本课程也是化工类专业的“平台课程”。

本课程是研究“三传”基本理论及相关单元操作与设备的课程, 课程内容包括流体力学、传热学和传质学基本理论, 以及相关的单元操作技术如流体输送、非均相物系的分离、传热、蒸发、蒸馏、吸收、干燥等, 是直接服务于化工生产第一线的课程。

由于单元操作是在特定的机器或设备内进行的, 设备在技术上的先进程度关系到这些单元操作能否有效地进行。研究相关单元操作的基本原理和规律, 熟悉实现这些操作的设备结构、工作原理、操作调控方法、主要性能和有关技术问题, 并掌握一定的工艺运算能力、设备的选型及设计能力, 以便在工程实践中能运用这些知识去分析和解决问题, 使各项操作在最优化条件下进行, 这就是我们学习本课程的目的与任务。

三、单位与单位制

由于本课程具有极强的工程性、实践性,与生产实际紧密相连,必然要涉及工程实际中的单位与单位制问题。

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)。为了统一度量标准,目前世界各国的单位标准正在向国际单位制(SI)统一。

我国现行的法定单位制是以 SI 为基础,并结合国情增添了必要的辅助单位及词冠而构成。本教材中除特殊指明之处以外均采用法定计量单位。

然而,实现计量单位的完全统一尚需要一定的时间,此外,工业设备往往使用寿命较长,有的长达几十甚至百年。就目前我国化工生产行业而言,往往是新旧生产流水线、设备并存,多种单位制度并用,使用时必须先进行换算。本教材附录 1 列出了常见物理量的单位换算表,可供读者在使用时查阅。

【例 0-1】 由某压强表测得的读数为 2.5 at (工程大气压, kgf/cm^2),试将其读数换算为 kPa 。

解:由教材附录 1 查出: $1 \text{ at} = 98.07 \text{ kPa}$ 。

所以 $2.5 \text{ at} = 2.5 \times 98.07 = 245.175 \text{ kPa}$

四、基本概念

本课程知识体系是建立在物理学、物理化学等课程的基础上的。所以,在学习本课程的过程中必然要涉及一些相关的基本概念,为便于读者掌握教学内容,现将与本课程有关的基本概念逐一进行介绍。

(一) 稳定流动系统与不稳定流动系统

1. 稳定流动系统与不稳定流动系统的概念

在工程上习惯将研究的对象称为系统。系统中的物料多为气体或液体,因其具有流动性,故统称为流体。由于液体的密度随压强的变化变化很小,故称其为不可压缩流体;而气体的密度随压强的变化变化较大,称为可压缩流体。当系统中的流体处于流动状态时称为流动系统。

流动系统可根据其特点划分为稳定流动系统与不稳定流动系统两大类。

稳定流动系统又称定态流动系统,是指流动系统中各物理量的大小仅随位置变化、不随时间变化的系统。

不稳定流动系统又称非定态流动系统,是指流动系统中各物理量的大小不仅随位置变化而且随时间变化的系统。

由于稳定流动系统内部各物理参数的值仅随位置变化,即在指定截面上物理量的值恒为常数,所以,若流动系统可视为稳定流动系统时,对有关问题的研究则相对简单一些。

图 0-1 所示的是液体在连续生产流程中通过某设备的情况,若取从设备的入口至出口作为系统进行研究,则系统由设备的入口截面($1-1'$)、出口截面($2-2'$)及两截面间的管道壁面与设备壁面形成。

① 当生产处于开车阶段时,虽然 $1-1'$ 截面有一定的流量及流速,但由于设备内的液位高度低于 $2-2'$ 截面,故 $2-2'$ 截面的流量与流速均为零,如图 0-1(a)所示。

② 随着液体的不断输入,设备内的液位高度在不断增加,当液位高度高于 2-2' 截面时,2-2' 截面的流量与流速均大于零,并随设备内液位高度的不断增加而加大,如图 0-1(b) 所示。

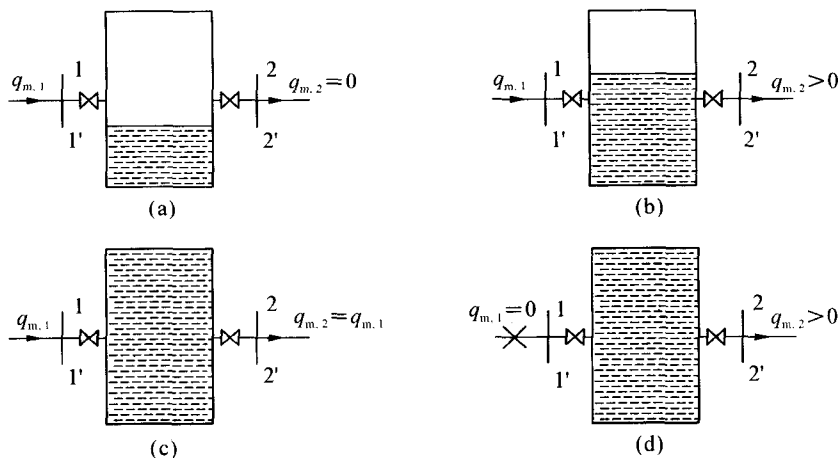


图 0-1 稳定系统与不稳定系统

③ 当设备内部被液体充满无空隙时,输入量则等于输出量,2-2' 截面的流量与流速及其他物理量均为恒定,系统则由起初的不稳定流动系统转变为稳定流动系统,如图 0-1(c) 所示。

④ 当停车伊始时,虽然 1-1' 截面的流量及流速为零,但由于设备内液位高度高于 2-2' 截面,故 2-2' 截面的流量与流速仍大于零,并随设备内液位高度的下降而减小直至为零,如图 0-1(d) 所示。显然,在此过程中系统为不稳定流动系统。

综上所述,对连续生产过程而言,在正常操作状况下系统可视为稳定流动系统;在生产的开、停车阶段则为不稳定流动系统。为了简化研究,本课程主要讨论可视为稳定流动系统的连续生产过程。

2. 稳定流动系统的特性

1) 稳定流动系统的连续性

通过上述分析可知,欲使流动系统中指定截面上的物理量均为常数,系统中必须充满流体、无空隙。若用数学语言来描述就是:系统中的流体质点应处于连续状态,此特性称为稳定流动系统的连续性。

由于稳定流动系统中充满稳定流体、无空隙(即无物料累积空间),故单位时间内输入系统的物料量应等于输出系统的物料量。可用代数式表达为:

$$\sum_{i=1}^n q_{m,i} = \sum_{j=1}^m q_{m,j} \quad (0-1)$$

式中 $\sum_{i=1}^n q_{m,i}$ ——单位时间内输入系统物料量之和, kg/s;

$\sum_{j=1}^m q_{m,j}$ ——单位时间内输出系统物料量之和, kg/s。

式(0-1)称为稳定流动系统的质量守恒方程。它还可根据具体情况作如下变化:

① 当系统为图 0-1 所示的无分支系统时,式(0-1)可简化为

$$q_{m,1} = q_{m,2} \quad (0-1a)$$

式中 $q_{m,1}$ ——单位时间内输入系统的物料质量, kg/s;

$q_{m,2}$ ——单位时间内输出系统的物料质量, kg/s。

根据物理学中质量与体积间的关系,式(0-1a)也可改写为

$$\frac{q_{V,1}}{q_{V,2}} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (0-1b)$$

式中 $q_{V,1}, q_{V,2}$ ——单位时间内输入、输出系统的物料体积, m^3/s ;

ρ_1, ρ_2 ——输入、输出截面上的流体密度, kg/m^3 。

② 当无分支系统中的流体为不可压缩流体时,则式(0-1b)可改写为

$$q_{V,1} = q_{V,2} \quad (0-1c)$$

由于化工管路多为圆形截面,故可根据物理学中流量与流速间的关系将式(0-1c)改写为

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \quad (0-1d)$$

式中 u_1, u_2 ——输入、输出截面上的流速, m/s;

d_1, d_2 ——输入、输出截面内径, m。

很显然,当管径不变时则有

$$u_1 = u_2 \quad (0-1e)$$

【例 0-2】 液体在一变径管中流动。若粗管端的内径为细管端的 4 倍,在粗管端的流速为 0.5 m/s,试求细管端的流速。

解:由式(0-1d)知 $\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

所以,根据题意,细管端的流速 u_2 为

$$u_2 = u_1 \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = 0.5 \times 4^2 = 8 \text{ m/s}$$

2) 稳定流动系统的守恒性

(1) 稳定流动系统的质量守恒 式(0-1)表明:对稳定流动系统而言,单位时间内输入系统的物料量应等于输出系统的物料量,即存在质量守恒。

应用质量守恒定律对系统物料量进行相关运算的过程称为物料衡算。所以,式(0-1)也是稳定流动系统的物料衡算方程式。由于单元操作过程均为物理操作过程,故式(0-1)不仅适用于全系统的物料衡算,同时也适用于对系统中某一组分的物料衡算。

物料衡算过程通常需要规定衡算基准,对连续系统的衡算基准常以单位时间为基准,对有些过程还可用不参与过程的物质(工程上称为“惰性组分”)为基准。

【例 0-3】 如本题附图所示,用一连续精馏塔分离苯-甲苯混合物。已知:混合液流量 $F = 5000 \text{ kg/h}$, 其中苯含量为 40%(质量分数,下同),要求经精馏操作后塔顶产品中苯含量不低于 98%,塔底产品中苯含量不高于 1%。试求塔顶及塔底产品的流量 $D, W(\text{kg/h})$ 。