

高 职 高 专 规 划 教 材

化工原理

崔宝秋 姜欣欣 何丽莉 主 编
谭冬寒 李英杰 李 晶 副主编

高 职 高 专 规 划 教 材

化工原理

崔宝秋 姜欣欣 何丽莉 ◎主 编
谭冬寒 李英杰 李 晶 ◎副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书分为流体流动、流体输送机械、机械分离、传热、吸收、精馏、蒸发、干燥、萃取共九章。每章从认识化工设备入手,增强学生对化工设备的感性认识。在此基础上介绍相关原理以及使用等方面的知识和技能。在教材编写体系中,每章结合具体课题安排了知识与技能、知识运用、技能训练和阅读材料等内容。与此同时,每章后面都安排了一定的巩固练习,起到复习提高的作用。

本教材为高职高专院校化工、轻工、安全、环保、生物、制药、粮油、食品、材料等相关专业的化工原理或化工单元操作课程的教材,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理/崔宝秋,姜欣欣,何丽莉主编. —北京:
化学工业出版社, 2016. 2
高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-25847-2

I. ①化… II. ①崔…②姜…③何… III. ①化工原
理-高等职业教育-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 299115 号

责任编辑:王文峡
责任校对:王素芹

文字编辑:陈 雨
装帧设计:韩 飞

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:高教社(天津)印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 387 千字 2016 年 3 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



前言

化工原理是化工、化学、石油加工、材料、环境、矿业工程等专业学生必修的一门重要技术基础课程。化工原理课程以单元操作为主要内容，以传递过程原理为主线，研究各个单元操作过程的基本规律，典型设备以及过程操作和调节原理。

为适应高职高专教学的新要求，按照“教学做”一体化思路，结合教学模式改革，我们对化工原理课程内容进行了编写。全书共分为流体流动、输送机械、机械分离、传热、吸收、精馏、蒸发、干燥、萃取九章。每章从认识化工设备入手，增强学生对化工设备的感性认识。在此基础上介绍相关原理以及使用等方面的知识和技能。在教材编写体系中，每章结合具体单元操作安排了知识与技能、知识运用、能力运用、技能运用、技能训练和阅读材料等内容。与此同时，每章后面都安排了一定的巩固练习，起到复习提高的作用。

在编写过程中，参阅了有关文献和最新的科研成果，在此向相关文献和成果的作者表示诚挚的谢意。为了更好体现“教学做”一体化思路，教材中引入仿真培训软件 OTS，国内工业和教育两个市场化工技能培训软件的开创者——北京东方仿真全程参与，以强化学生职业技能培养。在此，也真诚感谢北京东方仿真对我们编写组的大力支持。同时也非常感谢辽宁锦州石化公司金东升高级工程师给予的大力帮助。

本教材由锦州师范高等专科学校崔宝秋策划，并会同辽宁地质工程职业学院姜欣欣、辽阳职业技术学院何丽莉共同担任主编，濮阳职业技术学院谭冬寒、抚顺职业技术学院李英杰、营口职业技术学院李晶担任副主编，宁夏职业技术学院周洁、甘肃农业职业技术学院周秀英、辽东学院刘波、锦州师范高等专科学校秦剑和王雪莹等参与了编写工作。具体分工如下：绪论由崔宝秋编写，第一章由姜欣欣编写，第二章和第九章由李晶编写，第三章由何丽莉编写，第四章和附录由秦剑编写，第五章第一、二节由周洁编写、第三、四、五节由周秀英编写，第六章由李英杰编写，第七章由刘波编写，第八章由谭冬寒编写，每章技能训练和巩固练习部分由王雪莹编写。辽宁地质工程职业学院崔作兴教授对本书的编写给予了大力帮助与指导。全书最后由崔宝秋定稿。

本教材可作为高职高专院校化工、化学、石油加工、材料、环境、矿业工程等专业的化工原理教材，也可供相关专业技术人员参考。

由于编写时间仓促，编者水平有限，疏漏在所难免，恳请各位专家、老师以及广大读者提出建议，以便我们进一步修订和完善。

编者

2015 年 11 月



目 录

绪论	1
----------	---

一、化工原理课程的研究对象	1
二、化工原理计算中的基本概念	2
三、学习化工原理课程的建议	3
四、化工原理课程的教学建议	4

第一章 流体流动	6
----------------	---

第一节 认识流体	6
一、流体密度	6
二、流体压力	7
三、流体静力学方程	8
第二节 计算流体能量	12
一、流体流量与流速	13
二、流体系统的质量守恒与能量守恒	14
第三节 计算流体阻力	20
一、流体黏度	20
二、流体流动型态	21
三、流体流动阻力	22
第四节 实际生产中的管路计算	31
一、简单管路	31
二、复杂管路	32
【巩固练习】	37

第二章 流体输送机械	40
------------------	----

第一节 认识离心泵	40
一、离心泵结构和工作原理	40
二、离心泵的性能参数与特性曲线	42
第二节 离心泵的使用	45

一、离心泵的工作点和流量调节	45
二、离心泵的安装高度	47
三、离心泵的选用、安装与操作	48
第三节 气体输送机械	53
一、概述	53
二、离心式通风机	54
【巩固练习】	58

第三章 机械分离 61

第一节 重力沉降	61
一、运动流体中颗粒的流动	61
二、静止流体中颗粒的自由沉降	64
三、重力沉降设备	66
第二节 过滤	69
一、过滤基本概念	69
二、过滤设备	70
三、过滤基本方程	72
四、过滤时间与滤液量	74
五、过滤机生产能力	76
【巩固练习】	78

第四章 传热 80

第一节 认识换热器	80
一、传热过程	80
二、换热器	82
第二节 确定换热器管壁温度与厚度	85
一、传热基本概念	86
二、傅里叶定律	86
三、平壁传热	87
四、圆筒壁传热	89
第三节 确定对流传热系数	93
一、对流传热过程分析	93
二、对流传热系数	94
三、对流传热系数经验关联式	95
第四节 确定传热用水量	98
一、传热过程热量计算	98
二、总传热速率方程	99
三、传热过程的强化措施	103

第五节 设计与选用换热器	109
一、设计换热器	110
二、选用换热器	110
【巩固练习】	111

第五章 吸收 114

第一节 认识吸收塔	114
一、气体吸收过程原理与分类	114
二、吸收塔	115
第二节 确定吸收进行方向	117
一、吸收中常用的相组成表示法	118
二、气体在液体中的溶解度	120
三、相平衡关系在吸收过程中的应用	121
第三节 确定总传质速率方程	124
一、传质基本方式	124
二、双膜理论	125
三、吸收过程的总传质速率方程	125
第四节 确定吸收剂用量	128
一、物料衡算和操作线方程	129
二、吸收剂用量与最小液气比	130
第五节 选择与设计填料塔	139
一、计算吸收塔填料层高度	139
二、计算吸收塔理论级数	142
三、计算吸收塔塔径	143
【巩固练习】	145

第六章 精馏 147

第一节 认识精馏塔	147
一、精馏	147
二、精馏塔（板式塔）	148
第二节 确定理论塔板数	152
一、理论板	152
二、操作线方程	153
三、回流比	157
四、计算理论板数方法	159
第三节 选择与设计板式塔	167
一、板式塔设计	167
二、选用板式塔的几点要求	169

【巩固练习】	169
--------------	-----

第七章 蒸发 172

第一节 认识蒸发器	172
一、蒸发操作	172
二、蒸发器	173
第二节 单效蒸发计算	178
一、单效蒸发流程	178
二、蒸发水量和加热蒸汽	179
三、传热面积、温度差和传热系数	180
第三节 选用蒸发器	186
一、蒸发器生产强度	186
二、蒸发器的选型	187
【巩固练习】	187

第八章 干燥 189

第一节 认识干燥器	189
一、物料中的水分	189
二、干燥方法与过程	190
三、干燥器	191
第二节 确定干燥过程的物料	193
一、干燥过程物料衡算	193
二、干燥过程热量衡算	195
三、干燥器出口状态参数的确定	196
四、影响干燥速率因素	197
五、干燥器热效率	199
【巩固练习】	203

第九章 萃取 205

第一节 认识萃取设备	205
一、萃取	205
二、萃取设备	207
三、萃取在工业中的应用	208
第二节 萃取操作过程	210
一、单级萃取操作流程	211
二、萃取过程计算原理	211
三、第 I 类物系的单级萃取计算	213

四、影响萃取的操作因素	214
【巩固练习】	219

附录	221
-----------------	------------

参考文献	236
-------------------	------------

绪 论

化工原理为化工、轻工、医药、食品、环境、材料、冶金等行业提供了技术基础，对化工及相近学科的发展起到支撑作用，是化学、化工、材料、环境工程、矿业工程等专业学生必修的一门重要技术基础课程。化工原理课程主要研究“单元操作”，逐步理解各个“单元操作”过程的基本规律，了解典型设备的设计方法以及过程的操作和调节等内容。

一、化工原理课程的研究对象

化学工业是对原料进行化学加工以获得有用产品的工业，其核心是化学反应过程及其设备，而辅助部分为前、后处理过程。化工生产过程不论其生产规模大小，除化学反应外，其它均可分解为一系列的物理加工过程。这些物理加工过程称为“单元操作”。如制糖工业中的糖水浓缩、制碱工业中的苛性钠溶液浓缩、甘油和生物胶水溶液浓缩都含有蒸发过程；酿酒和石油精制都含有精馏过程；海水淡化、血液透析、食盐电解、水的净化等都含有膜分离过程等。类似的常见操作过程还有流体输送、搅拌、沉降、过滤、换热、吸收、萃取、干燥、吸附等。单元操作不仅在化工生产中占有重要地位，而且在石油、轻工、制药等工业中也广泛应用。因此，单元操作的专门研究就构成了“化工原理”课程的主要内容。

1. 单元操作的分类

常见的单元操作按照不同形式分类方法也不同。按照流体动力学基本规律分类，单元操作包括流体输送、沉降、过滤、搅拌等。按照热量传递基本规律分类，单元操作包括加热、冷却、冷凝、蒸发等。按照质量传递基本规律分类，单元操作包括蒸馏、吸收、萃取、吸附、膜分离等。按照热质传递规律分类，单元操作包括气体的增湿与减湿、结晶、干燥等。常见的单元操作如表 0-1 所示。

随着新产品、新工艺的开发或为实现绿色化工生产的需要，对物理过程也提出了一些特殊要求，所以不断地发展出新的单元操作或化工技术，如膜分离、参数泵分离、电磁分离、超临界技术等。目前，以节约能耗，提高效率或洁净无污染生产的集成化工艺（如反应精馏、反应膜分离、萃取精馏、多塔精馏系统的优化热集成等）将是未来的发展趋势。

2. 单元操作的特点

- (1) 物理性操作，即只改变物料的状态或物性，并不改变化学性质。
- (2) 它们都是化工生产过程中共有的操作，但它们所包含的单元操作数目、名称与排列顺序各异。
- (3) 对同样的工程目的，可采用不同的单元操作来实现。
- (4) 某单元操作用于不同的化工过程，其基本原理不同，进行该操作的设备也往往是通

用的。具体应用时也要结合各化工过程的特点来考虑，如原材料与产品的理化性质，生产规模等。

3. 单元操作过程

单元操作过程包括连续操作和间歇操作两种。原料不断从设备一端送入，产品不断从另一端送出的操作称为连续操作。连续操作的特点是物料的组成、温度、压强等参数仅随位置的不同而不同，不随时间的变化而变化。化工生产过程多数为连续稳定过程。每次操作之初向设备内投入一批物料，经过一番处理后，排除全部产物，再重新投料，这种操作称为间歇操作，其特点具有不稳定性。

表 0-1 常见的单元操作

传递基础	单元操作	目 的
流体流动（动量传递）	流体输送	以一定流量将流体从一处送到另一处
	沉降	从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒、液滴或气泡
	过滤	从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒
	搅拌	使物料混合均匀或使过程加速
	流态化	用流体使固体颗粒悬浮并使其具有流体状态的特性
热量传递	换热	使物料升温、降温或改变相态
	蒸发	使溶液中的溶剂受热气化而与不挥发的溶质分离，达到溶液浓缩
质量传递	吸收	用液体吸收剂分离气体混合物
	蒸馏	利用均相液体混合物中各组分挥发度不同使液体混合物分离
	萃取	用液体萃取剂分离均相液体混合物
	浸取	用液体浸渍固体物料，将其中的可溶组分分离出来
	吸附	用固体吸附剂分离气体或液体混合物
	离子交换	用离子交换剂从溶液中提取或除去某些离子
热量和质量传递	膜分离	用固体膜或液体膜分离气体、液体混合物
	干燥	加热固体使其所含液体气化而除去
	增(减)湿	调节气体中的水汽含量
	结晶	使溶液中的溶质变成晶体析出

二、化工原理计算中的基本概念

物料衡算、能量衡算、物系平衡关系、传递速率和经济核算等基本概念贯穿于各个单元操作的始终。化工过程计算可分为设计型计算和操作型计算两类，其在两类不同计算中的处理方法各有不同，但是不管何种计算都是以质量守恒、能量守恒、平衡关系和速率关系为基础的。

1. 物料衡算

依据质量守恒定律，进入与离开某一化工过程的物料质量之差，等于该过程中累积的物料质量之差，即

$$\sum m_f - \sum m_p = A \tag{0-1}$$

式中 $\sum m_f$ ——输入量的总和；
 $\sum m_p$ ——输出量的总和；
 A —— Σ 累积量。

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

$$\sum m_f = \sum m_p \tag{0-2}$$

用物料衡算式可由过程的已知量求出未知量，计算步骤如下：

(1) 首先根据题意画出各物料的流程示意图, 物料的流向用箭头表示, 并标上已知数据与待求量。

(2) 在写衡算式之前, 要计算基准, 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圈出衡算的范围, 列出衡算式, 求解未知量。

2. 能量衡算

化工原理教材中所用到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。机械能衡算将在流体流动中说明, 热量衡算在传热、精馏和干燥等模块中结合具体单元操作进行。热量衡算时必须规定基准温度和基准状态, 通常基准选 273K 液态。热量除了伴随物料进出系统外, 还可通过管壁由系统向外界散失或由外界传入系统。只要系统与外界存在温度差, 就有热量的散失或传入(称热损失)。热量衡算的步骤与物料衡算基本相同。

3. 物系平衡关系

平衡状态是自然界中广泛存在的一种现象。例如, 在一定温度下, 不饱和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形成平衡状态。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。平衡关系可判断过程能否进行及进行的方向和限度。任何传递过程都有一个极限, 当传递过程达到极限时, 其过程进行的推动力为零, 此时净的传递速率为零, 即称为“平衡”。过程的平衡问题说明过程进行的方向和所能达到的极限。当过程不是处于平衡态时, 则此过程必将以一定的速率进行。例如传热过程, 当两物体温度不同时, 即温度不平衡, 就会有净热量从高温物体向低温物体传递, 直到两物体的温度相等为止, 此时过程达到平衡, 两物体间也就没有净的热量传递。

4. 传递速率

传递过程的速率和传递过程所处的状态与平衡状态的距离及其它很多因素有关。传递过程所处的状态与平衡状态之间的距离通常称为过程的推动力。例如两物体间的传热过程, 其过程的推动力就是两物体的温度差。过程的传递速率与推动力成正比, 与阻力成反比, 即传递速率=推动力/传递速率。单位时间内所传递的能量(动量, 热量)或物质质量, 是决定化工设备的重要因素。增大过程速率可节约时间, 提高设备的生产能力。

5. 经济核算

为生产定量的某种产品所需要的设备, 根据设备的型号和材料的不同, 可以有若干设计方案。对同一台设备, 所选用的操作参数不同, 也会影响到设备费与操作费。因此, 要用经济核算确定最经济的设计方案。

三、学习化工原理课程的建议

各门课程学习都有其固有的特点, 化工原理也是如此。结合本教材特点给学习者两点建议。

1. 增强感性认识, 提高基本原理和基本规律的理解能力

学生在学习化工原理课程中, 要紧密切合教材内容、积极拓展各种实践机会。一方面要

主动积极加深对实验设备和工艺流程的了解,通过增强感性认识来加深对各种单元操作的基本原理和基本概念的理解。另一方面,通过感性认识来增强职业兴趣,在此基础上再把所学的基本原理与工程实际结合起来。

2. 勤于动手动脑,巩固基本原理和基本技能的运用能力

化工原理中涉及的物理量比较多,学习时不仅要注意它们的物理意义和物理单位,更要确切理解每个物理量的深刻含义,并注意区分与其相近或相似的物理量。如果使用计算公式和物理量不准确,就可能给计算带来不可想象的问题。因此,认真做好模块后的知识巩固练习,非常有助于提高基本原理的运用能力。同时,通过基本技能训练,有助于加深理解基本原理在实际工艺流程中的运用能力。在认真阅读熟悉教材的基础上,要多思考勤分析。“单元操作”不是单一的操作,每组操作有着各种联系。要善于从工艺流程中归纳总结,进一步提高基本原理和基本技能的运用能力。

四、化工原理课程的教学建议

根据高职高专的培养目标和对学生职业技能的基本要求,教师在讲授课程中要突出基本原理的应用和基本实践技能的教学。采用模块化来编写组织教材,具有一定的灵活性。因此,每个模块尽可能通过实际例子来培养学生的学习兴趣。从增强学生的感性认识来提高学生学习的兴趣,有利于基本原理和基本规律的教学。

1. 改进教学方法,激发学生学习兴趣

化工原理是一门紧密联系生产实际的技术基础课程,面向化工、轻工、冶金、环保、材料等相关专业的学生。化工原理有助于培养学生的工程理论计算和分析能力,并结合工程实践解决保护环境、维护设备、提高生产效率等问题的能力。同时,通过技能训练来培养学生的动手能力和操作技能。近年来,由于高职学生生源质量下降、学生学习积极性不高的现状,运用工程案例及生活中遇到的问题来充实教学内容,可以取得很好的效果。尤其对于该门课程来讲,通过感性认识更有助于学生意识到理论联系实际的重要性,同时也充分意识到化工原理课程在工厂实践的必要性,进而激发学生探究知识和运用所学知识解决实际问题的积极性,从而使学生综合运用所学知识达到融会贯通的目的。

2. 合理运用多媒体和仿真实训软件,全方位提高学生基础知识和专业技能

教师必须认真吃透教材,并适当引入与课程相关的最新内容。教案必须要反映教学的重点、难点,学时分配及教学方法的注解,这样才能充分把握好教学内容、突出重点,又能体现教学内容的先进性。多媒体以及仿真实训软件在直观性、信息量等方面比板书具有很大的优势,是化工原理教学过程中的重要教学手段,加深学生对公式推导、物料运动方式及工艺流程等的认识,但教学又不能完全依靠多媒体教学。所以,教师应采用教案、讲稿、提纲、课件并举,以老师讲解、剖析为主,多媒体起到图表显示、动画演示和重点强调的作用,板书则主要起到章节标题、补充说明和重点强调作用,教学手段相互补充,充分发挥现代化教学手段与传统教学方式的优势,为提高课程的教学效果和教学质量起到很好的作用。仿真实训软件有助于学生对基本概念、基本原理的理解和专业技能的提高,但教师也不能一味地让学生盲目操作,要适时加以引导,根据不同的工艺流程设置问题,以提高学生分析问题和解决问题的能力。



阅读材料

单 位 制

单位制是由选定的一组基本单位和由定义方程式与比例因数确定的导出单位组成的一系列完整的单位体制。基本单位是可以任意选定的，由于基本单位选取的不同，组成的单位制也就不同，如市制、英制、米制、国际单位制等。由于科学技术的迅速发展和国际学术交流的日益频繁，1960年10月第11届国际计量会议制定了一种国际上统一的国际单位制，其国际代号为SI。1974年的第14届国际计量大会又决定增加物质的量的单位摩尔（mol）作为基本单位。因此，目前国际单位制共有七个基本单位，如表0-2所示。一些由国际单位制导出单位如表0-3所示。一些物理单位制与工程制的基本单位如表0-4所示。

表 0-2 国际单位制的基本单位

基本单位	长度	质量	时间	电流	热力学温度	物质的量	发光强度
单位名称	米	千克	秒	安培	开尔文	摩尔	坎
单位符号	m	kg	s	A	K	mol	cd

表 0-3 国际单位制中的导出单位

导出单位	频率	力,重力	压力(压强)	能量(功,热)	功率	摄氏温度
单位名称	赫兹	牛顿	帕斯卡	焦耳	瓦特	摄氏度
单位符号	Hz	N	Pa	J	W	℃

表 0-4 物理单位制与工程制的基本单位

项 目	物理单位制				工程制			
量的名称	长度	质量	时间	温度	长度	力	时间	温度
单位符号	cm	g	s	℃	m	N	s	℃

单位换算

同一物理量若用不同单位度量时，其数值需相应改变，这种换算称为单位换算。在工程运算中，一些工程单位制还在使用，所以必须掌握一些工程单位制与国际单位制的换算关系。单位换算时，需要换算因数。化工生产中常用的换算因数可从附录中查得。

第一章 流 体 流 动

流体流动是化工生产中存在的主要现象, 流体流动规律更是学习单元操作的理论基础。研究流体规律以便进行管路的设计、输送机械的选择及所需功率的计算。同时, 为了了解和控制生产过程, 需要对管路或设备内的压强、流量及流速等一系列的参数进行测量, 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。如化工生产中的传热、传质过程都是在流体流动的情况下进行的, 设备的操作效率与流体流动状况有密切的联系。因此, 研究流体流动对寻找设备的强化途径具有重要意义。本模块将着重讨论流体流动过程的基本原理及流动规律, 并运用这些原理及规律来分析和计算流体的输送问题。

第一节 认 识 流 体



知识与技能

1. 掌握流体密度和压力定义, 理解表压真空度的含义。
2. 理解流体静力学平衡方程, 并能运用该方程进行相关计算。

液体与气体统称为流体。流体的特征是具有流动性, 即抗张能力很小; 无固定形状, 随容器的形状而变化; 在外力作用下其内部发生相对运动。如果流体的体积不随压力变化而变化, 该流体称为不可压缩性流体; 若随压力发生变化, 则称为可压缩性流体。一般液体的体积随压力变化很小, 可视为不可压缩性流体; 而对于气体, 当压力变化时, 体积会有较大的变化, 常视为不可压缩性流体, 但如果压力的变化率不大时, 该气体也可当作不可压缩性流体处理。

一、流体密度

单位体积流体的质量, 称为流体密度, 表达式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——流体密度, kg/m^3 ;

m ——流体质量, kg ;

V ——流体体积, m^3 。

对一定的流体, 其密度是压力和温度的函数, 即 $\rho = f(p, T)$

(1) 液体密度 通常液体可视为不可压缩流体, 其密度仅随温度变化 (极高压力除外), 其变化关系可由手册中查得。

(2) 气体密度 对于气体, 当压力不太高、温度不太低时, 可按理想气体状态方程计算

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (1-2)$$

式中 p ——气体的绝对压力, Pa;
 M ——气体的摩尔质量, kg/mol;
 T ——热力学温度, K;
 R ——气体常数, 其值为 $8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。

一般在手册中查得的气体密度都是在一定压力与温度下的, 若条件不同, 则密度需进行换算。

(3) 混合物密度 化工生产中遇到的流体, 大多为几种组分构成的混合物, 而通常手册中查得的是纯组分的密度, 混合物的平均密度 ρ_m 可以通过纯组分的密度进行计算。对于液体混合物, 其组成通常用质量分数表示。假设各组分在混合前后体积不变, 则有

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2} + \cdots + \frac{w_n}{\rho_n} \quad (1-3)$$

式中 $w_1, w_2, \cdots, w_n$ ——液体混合物中各组分的质量分数;

$\rho_1, \rho_2, \cdots, \rho_n$ ——各纯组分的密度, kg/m^3 。

对于气体混合物, 其组成通常用体积分数表示。各组分在混合前后质量不变, 则有

$$\rho_m = \rho_1 \varphi_1 + \rho_2 \varphi_2 + \cdots + \rho_n \varphi_n \quad (1-4)$$

式中, $\varphi_1, \varphi_2, \cdots, \varphi_n$ 为气体混合物中各组分的体积分数。

气体混合物的平均密度 ρ_m 也可利用式(1-2) 计算, 式中的摩尔质量 M 应用混合气体的平均摩尔质量 M_m 代替, 即

$$\rho_m = \frac{pM_m}{RT} \quad (1-5)$$

$$M_m = M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_n y_n \quad (1-6)$$

式中 $M_1, M_2, \cdots, M_n$ ——各纯组分的摩尔质量, kg/mol;

$y_1, y_2, \cdots, y_n$ ——气体混合物中各组分的摩尔分数。

对于理想气体, 其摩尔分数 y 与体积分数 φ 相同。

二、流体压力

1. 压力

流体垂直作用于单位面积上的力, 称为流体静压强, 简称压强, 习惯上又称压力。在静止流体中, 作用于任意点不同方向上的压力在数值上均相同。在 SI 单位中, 压强的单位是 N/m^2 , 也可用帕斯卡, 以 Pa 表示。此外, 压力大小也可以流体柱高度表示, 如用米水柱或毫米汞柱等。若流体的密度为 ρ , 则液柱高度 h 与压力 p 的关系为

$$p = \rho gh \quad (1-7)$$

【注意】 用液柱高度表示压力时, 必须指明流体的种类, 如 600mmHg、10mH₂O 等。

2. 表压与真空度

压力大小常以两种不同的基准来表示: 一是绝对真空; 二是大气压力。基准不同, 表示方法也不同。以绝对真空为基准测得的压力称为绝对压力, 是流体的真实压力; 以大气压为基准测得的压力称为表压或真空度。

表压 = 绝对压力 - 大气压力

真空度 = 大气压力 - 绝对压力