



中等职业教育国家规划教材

化工单元过程及操作 例题与习题

◎ 朱强 编

Z01173424



化学工业出版社
教材出版中心

中等职业教育国家规划教材

化工单元过程及操作例题与习题

朱强 编



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工单元过程及操作例题与习题/朱强编. —北京:
化学工业出版社, 2005. 5
中等职业教育国家规划教材
ISBN 7-5025-6456-X

I. 化… II. 朱… III. 化工单元操作-专业学校-
习题 IV. TQ02-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 031131 号

中等职业教育国家规划教材
化工单元过程及操作例题与习题

朱强 编

责任编辑: 陈有华 蔡洪伟

文字编辑: 杨欣欣

责任校对: 陶燕华

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{1}{4}$ 字数 339 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6456-X/G·1664

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

为使学生掌握常见化工单元操作过程的基本规律，熟悉其操作原理及有关典型设备的构造、性能和基本计算方法等，并用以分析和解决工程技术的一般问题，除了要有好的教材外，还需要有与之相配套的练习题。目前中等职业教育的各种《化工原理》（或《化工单元过程及操作》）教材，每章所列习题均只有计算题一种类型，这显然是不够的；特别结合当前中职学生的情况，编写包括多种题型的练习题更为必要。编者比较了几种教材，由冷士良主编的中等职业教育国家规划教材《化工单元过程及操作》较为适合当前中职生源的实际，所以根据该教材，结合多年的教学经验编写了这本《化工单元过程及操作例题与习题》，可作为中等职业学校化工类及相关专业辅助教材，也可供使用化工原理其他版本教材时参考。

本书章节分明，条理清楚。每一节前概括了本节的知识要点，为解题作必要的知识准备；例题解析，使学生明确解题思路、规范，提高解题的技能、技巧；习题分节编写，每章有综合练习题，全书有自测题，题型包括填空、选择、判断、计算四类。

例题和习题紧扣教材，系统性、针对性强；覆盖面广，重点突出，主次分明，力求全面体现教学目标；结合学生实际，深入浅出，特别在编写计算题时，由易到难，循序渐进，注意相互铺垫作用；尽量考虑题目的典型性和代表性，使学生在运用知识的同时增进理解，提高能力。

在本书的编写过程中，除配套教材外，还参照了张弓主编和王振中编的《化工原理》等教材，从中选取了部分例题和习题（均为计算题）；部分书稿请冷士良审阅，在此一并表示感谢。

本学科内容十分广泛，由于编者水平有限及时间仓促，不妥甚至错误之处在所难免，恳请读者和同仁们批评指正。

编 者

2005年1月

内 容 提 要

本书与已出版的中等职业教育国家规划教材《化工单元过程及操作》配套。本书紧扣教材，按节给出了知识要点、例题解析和习题，并且每章后有综合练习题，全书有自测题。全书题型包括填空、选择、判断、计算四类。

本书条理清楚，系统性强，重点突出，主次分明，力求全面体现教学目标；结合学生实际，深入浅出，循序渐进，注重知识的相互铺垫。本书可供中等职业学校化学工艺及相关专业使用，也可作化工操作工培训教材。

目 录

绪论	1
第一章 流体输送	3
第一节 概述	3
第二节 流体的物理性质	3
第三节 流体流动基本知识	9
第四节 化工管路	22
第五节 流体输送设备	25
第六节 流量测量	34
综合练习题	35
第二章 非均相物系的分离	39
第一节 概述	39
第二节 沉降	40
第三节 过滤	46
第四节 气体的其他净制方法与非均相物系分离方法的选择	50
综合练习题	50
第三章 传热	54
第一节 概述	54
第二节 传热的基本方式	55
第三节 间壁传热	64
第四节 换热器	78
综合练习题	85
第四章 液体蒸馏	88
第一节 概述	88
第二节 精馏塔的物料衡算	89
第三节 塔板数的确定	96
第四节 连续精馏的操作分析	100
第五节 精馏过程的热量平衡与节能	108
第六节 其他蒸馏方式	112
第七节 精馏设备	113
第八节 精馏塔的操作	115
综合练习题	116
第五章 气体吸收	120
第一节 概述	120
第二节 从溶解相平衡看吸收操作	121
第三节 吸收速率	125

第四节	吸收的物料衡算	129
第五节	填料层高度的确定	134
第六节	吸收操作分析	136
第七节	其他吸收与解吸	137
第八节	吸收设备	139
	综合练习题	140
第六章	固体干燥	144
第一节	概述	144
第二节	湿空气的性质	145
第三节	湿物料中水分的性质	151
第四节	干燥过程的物料衡算	152
第五节	干燥速率	155
第六节	干燥设备	157
	综合练习题	158
第七章	蒸发	162
第一节	概述	162
第二节	多效蒸发	165
第三节	蒸发设备	166
	综合练习题	167
第八章	结晶	170
第一节	概述	170
第二节	结晶方法	174
第三节	结晶设备与操作	175
	综合练习题	176
第九章	液-液萃取	178
第一节	概述	178
第二节	部分互溶物系的相平衡	179
第三节	萃取设备	186
	综合练习题	187
第十章	制冷	190
第一节	概述	190
第二节	制冷基本原理	190
第三节	制冷能力	193
第四节	制冷剂与载冷体	194
第五节	压缩蒸气制冷设备	195
	综合练习题	196
	自测题 (A 卷)	198
	自测题 (B 卷)	202
	部分习题答案	206

绪 论

知 识 要 点

一、化工生产过程

1. 化学工业

是指以工业规模对原料进行加工处理，使其发生物理和化学变化而成为生产资料或生活资料的加工业。

2. 化工生产过程

(1) 概念 是指化工产品的具体加工过程。

(2) 最明显的特征或核心 化学变化。

(3) 构成 是若干个物理过程（化学反应过程的前、后预处理）与若干个化学反应过程的组合。

二、化工单元操作

(1) 概念 包含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。

(2) 化工常用单元操作 流体流动与输送、传热、蒸发、结晶、蒸馏、气体吸收、萃取、干燥、沉降、过滤、离心分离、静电除尘、湿法除尘等。

三、本课程的研究对象、性质、任务与内容

(1) 研究对象 主要研究化工单元操作过程规律及其在化工生产中的应用。

(2) 性质 技术性、工程性及应用性都很强。

(3) 任务 使学生获得常见化工单元操作过程及设备的基础知识、初步计算能力和基本操作技能，得到解决常见操作问题的训练，初步树立良好的意识，了解新型单元操作在化工生产中的应用。

(4) 主要内容 常见化工单元操作，也涉及一些应用相对较少的及新型的单元操作。

四、单位的正确使用

1. 正确使用单位是正确表达物理量的前提

应自觉选用国际单位制（SI制）单位及我国颁发的以SI制为基础的法定计量单位。

2. 单位换算

(1) 必要性 由于数据来源不同，常出现单位不统一或不一定符合公式需要的情况。

(2) 本课程涉及两种公式对采用单位的要求

① 物理量方程：只要统一采用同一单位制下的单位就可以了。

② 经验公式：物理量的单位均为指定单位。

(3) 换算方法 换算时，只要用原来的量乘上换算因子（即两个相等量的比值），就可以得到期望的单位。

习 题

一、填空题

1. 化学工业是指以_____规模对_____进行加工处理,使其发生_____和_____变化而成为生产资料或生活资料的加工业。
2. 化工生产过程是指化学工业的_____的生产过程,是若干个_____与若干个_____的组合。
3. 物理量的正确表达应该是_____与_____统一的结果。
4. 单位换算是通过换算因子来实现的,换算因子就是两个_____的比值,如当需把 mm 换算成 m 时,换算因子为_____。

二、选择题

1. 有关单元操作的叙述错误的是()。
A. 是基本物理操作 B. 是《化工单元过程及操作》课程的研究对象
C. 是化工生产过程的核心 D. 用于不同的化工生产过程中其基本原理和作用相同
2. 下列说法正确的是()。
A. 利用公式进行计算时,各物理量只要采用同一单位制的基本单位就可以了
B. 我国颁发的法定计量单位即国际单位制的单位
C. 只要用原来的量乘上换算因子,就可以换算成期望的单位
D. 以上说法均正确

三、计算题

1. 7kgf/m^2 等于多少 Pa?

2. 求 273K、101.325kPa 下,200L 氧气的质量。

第一章 流体输送

第一节 概 述

知 识 要 点

一、流体的主要特点

(1) 流体的共同特点 易于变形；具有流动性；没有固定形状；存在相对运动的趋势或发生相对运动时，会产生与之对抗的摩擦力。

(2) 气体与液体的不同之处 可压缩性及由此带来的其他不同。

二、常见流体的输送方式

高位槽送料、真空抽料、压缩空气送料、流体输送机械送料的方式，优缺点及适用场合。

习 题

一、填空题

1. _____和_____都具有流动性，通常总称为流体。

2. 常见流体输送方式有_____送料、_____抽料、_____送料和_____送料等，化工生产中最常见的流体输送方法是_____送料。

3. 我们必须认识流体输送中的以下几方面的问题：(1) 流体的_____；(2) 流体流动的_____；(3) 流体流动的_____；(4) 流体_____；(5) 化工_____；(6) 输送_____。

二、选择题

气体和液体的不同之处在于两者的（ ）。

- A. 易变形性 B. 可流动性
C. 有无固定形状 D. 可压缩性

第二节 流体的物理性质

知 识 要 点

一、密度与相对密度

1. 密度

(1) 概念 是指单位体积的流体所具有的质量，用符号 ρ 表示，SI 制中的单位是 kg/m^3 。

(2) 定义式

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

(3) 影响因素

① 压力：对液体密度影响很小，故称液体是不可压缩的流体；对气体有明显影响，称气体为可压缩流体。

② 温度：对大多数液体而言，温度升高，其密度下降；对气体亦如此。

(4) 获得方法

① 液体：纯净物的密度从手册查；混合物密度的计算式

$$\frac{1}{\rho} = \frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2} + \dots + \frac{w_n}{\rho_n} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{w_i}{\rho_i} \quad (1-2)$$

② 气体

a. 也可从手册查取。

b. 若压力不太高，温度不太低，可视作理想气体，由理想气体状态方程变换可得

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (1-3)$$

或

$$\rho = \rho^\ominus \frac{pT^\ominus}{p^\ominus T} \quad (1-3a)$$

在标准状态下有

$$\rho^\ominus = \frac{M}{22.4} \quad (1-3b)$$

c. 混合气体的计算式

$$M_m = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2 + \dots + M_n\varphi_n = \sum_{i=1}^{i=n} M_i\varphi_i \quad (1-4)$$

或

$$\rho = \rho_1\varphi_1 + \rho_2\varphi_2 + \dots + \rho_n\varphi_n = \sum_{i=1}^{i=n} \rho_i\varphi_i \quad (1-5)$$

2. 相对密度

(1) 概念 是一种流体的密度相对于另一种标准流体密度的大小。对液体来说，常选 277K 的纯水 ($\rho_w = 1000\text{kg/m}^3$) 作为标准液体。

(2) 定义式

$$d = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{\rho}{1000} \quad (1-6)$$

或

$$\rho = 1000d \quad (1-6a)$$

二、压力

1. 流体压力

(1) 概念 流体垂直作用在单位面积上的压力（压应力），称流体的压力强度，简称压强，也称静压强，工程上常常称为压力。用符号 p 表示，SI 制中的单位是 Pa。

在静止流体中，任一点的压力方向都与作用面垂直，并在各个方向上都具有相同的数值。

(2) 定义式

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-7)$$

2. 绝对压力、表压和真空度

(1) 概念

- ① 绝对压力：真实压力（比绝对真空高出的压力）。
 ② 表压：真实压力比大气压高出的数值。压力表的读数。
 ③ 真空度：真实压力低于大气压的数值。真空表的读数。

(2) 表示方法 p , p (表压), p (真空度)。

(3) 相互关系

$$\text{表压} = \text{绝对压力} - \text{大气压}$$

$$\text{真空度} = \text{大气压} - \text{绝对压力}$$

3. 流体各种压力单位及其相互换算关系

$$1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa} = 1.033 \text{ at} = 760 \text{ mmHg} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 98.07 \text{ kPa} = 735.6 \text{ mmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O}$$

三、黏度

1. 黏性概念

由于流体分子间的吸引力的存在使流体质点发生相对运动时，会遇到来自自身阻力的属性。

2. 黏度

(1) 概念 衡量流体黏性大小的物理量，用 μ 表示，在 SI 制中的单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 各单位之间的关系

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P} = 1000 \text{ cP}$$

(3) 影响因素

- ① 流体种类：气体黏度比液体小。
 ② 温度：液体黏度随温度的升高而减少；气体黏度随温度升高而增加。
 ③ 压力：对液体影响很小，可忽略；除非压力很高，对气体的影响也可忽略不计。

3. 运动黏度 表示符号 ν ，SI 制中的单位是 m^2/s ；与动力黏度 μ 、密度 ρ 的关系

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-8)$$

例题解析

【例 1-1】 假如苯和甲苯在混合时没有体积效应，求在 20°C 时，600g 苯和 200g 甲苯混合后的混合物的密度。

分析 液体混合物的密度可用两种方法求解：第一种方法是先求出质量分数 w_1 和 w_2 ，再从附录三（指原教材附录，全书同）查出 20°C 时苯和甲苯的密度 ρ_1 和 ρ_2 ，然后代入公式 $\frac{1}{\rho_{\text{混}}} = \frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2}$ 进行计算；第二种方法是查出 20°C 时苯和甲苯的密度 ρ_1 和 ρ_2 ，利用公式 $V = \frac{m}{\rho}$ ，求出 V_1 和 V_2 ，再求出 $m_{\text{混}}$ 和 $V_{\text{混}}$ ，然后利用公式 $\rho = \frac{m}{V}$ ，求出 $\rho_{\text{混}}$ 。

解一 设苯为组分 1，甲苯为组分 2。

已知 $m_1 = 600 \text{ g}$ ， $m_2 = 200 \text{ g}$ ，则

$$w_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{600}{600 + 200} = 0.75$$

$$w_2 = 1 - w_1 = 1 - 0.75 = 0.25$$

查附录三得 20°C 时, $\rho_1 = 879\text{kg}/\text{m}^3$, $\rho_2 = 867\text{kg}/\text{m}^3$; 所以

$$\frac{1}{\rho} = \frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2} = \frac{0.75}{879} + \frac{0.25}{867} = 0.001142$$

$$\rho = \frac{1}{0.001142} = 876\text{kg}/\text{m}^3$$

解二 设苯为组分 1, 甲苯为组分 2。

已知 $m_1 = 600\text{g} = 0.6\text{kg}$, $m_2 = 200\text{g} = 0.2\text{kg}$; 查附录三得 20°C 时, $\rho_1 = 879\text{kg}/\text{m}^3$, $\rho_2 = 867\text{kg}/\text{m}^3$; 则

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{0.6}{879} = 0.0006826\text{m}^3$$

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{0.2}{867} = 0.0002307\text{m}^3$$

$$\rho_{\text{混}} = \frac{m_{\text{混}}}{V_{\text{混}}} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \frac{0.6 + 0.2}{0.0006826 + 0.0002307} = 876\text{kg}/\text{m}^3$$

【例 1-2】 若空气的组成可近似看做氧气的体积分数为 0.21 和氮气的体积分数为 0.79, 试求 100kPa 和 300K 时空气的密度。

分析 求气体混合物的密度可用两种方法: 一种方法是先用公式 $\rho = \frac{pM}{RT}$ 分别求出氧气和氮气密度, 再用公式 $\rho = \rho_1\varphi_1 + \rho_2\varphi_2$ 求出空气的密度; 另一种方法是先用公式 $M_m = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2$ 求出空气的平均摩尔质量, 再用公式 $\rho = \frac{pM_m}{RT}$ 求出空气的密度。

解本题时有两个问题值得注意: 一是通用气体常数 R 只有在 SI 制中才等于 $8.314\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$; 二是气体密度的近似计算式 $\rho = \frac{pM}{RT}$ 是由理想气体状态方程变换而来, 而理想气体状态方程是根据实验整理出来的经验公式, 这类公式中物理量的单位均为指定的单位, 所得结果属于什么单位也是指定的。其中 p 和 M 的单位分别是 kPa 和 kg/kmol , 如果将 kPa 换成 Pa 后代入计算就出错了。

解一 设空气中氧气为组分 1, 氮气为组分 2。

已知 $M_1 = 32\text{kg}/\text{kmol}$, $M_2 = 28\text{kg}/\text{kmol}$; $p = 100\text{kPa}$; $T = 300\text{K}$; $R = 8.314\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$; $\varphi_1 = 0.21$; $\varphi_2 = 0.79$ 。则

$$\rho_1 = \frac{pM_1}{RT} = \frac{100 \times 32}{8.314 \times 300} = 1.283\text{kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_2 = \frac{pM_2}{RT} = \frac{100 \times 28}{8.314 \times 300} = 1.123\text{kg}/\text{m}^3$$

$$\rho = \rho_1\varphi_1 + \rho_2\varphi_2 = 1.283 \times 0.21 + 1.123 \times 0.79 = 1.16\text{kg}/\text{m}^3$$

解二 设空气中氧气为组分 1, 氮气为组分 2。

已知 $M_1 = 32\text{kg}/\text{kmol}$, $M_2 = 28\text{kg}/\text{kmol}$; $\varphi_1 = 0.21$, $\varphi_2 = 0.79$; $p = 100\text{kPa}$; $T = 300\text{K}$; $R = 8.314\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$; 则

$$M_m = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2 = 32 \times 0.21 + 28 \times 0.79 = 28.84\text{kg}/\text{kmol}$$

$$\rho = \frac{pM_m}{RT} = \frac{100 \times 28.84}{8.314 \times 300} = 1.16\text{kg}/\text{m}^3$$

【例 1-3】 当地大气压为 100kPa 时, 若某设备上的真空表读数为 20mmHg, 则该设备

中的 ()。

- A. 表压为 20mmHg B. 绝压为 740mmHg
C. 绝压为 10.06mH₂O D. 绝压为 97.33kPa

分析 本题涉及三方面的知识：一是真空度的概念；二是真空度、表压、绝对压力之间的关系；三是不同压力单位之间的换算关系。

表压反映的真实压力比大气压力高，真空度反映的真实压力比大气压力低，应否定 A 选项。真空度和绝对压力的关系“绝对压力=大气压力-真空度”中的大气压是指当地的大气压，在本题中应选 100kPa，而选项 B 是根据 1atm 计算所得，也应予以否定。至于 C、D 选项的选择，应通过计算求得。计算中涉及不同压力单位之间的换算方法有多种，有的方法其换算因子的数据不易记忆。建议记住下列换算关系

$$1\text{atm}=101.3\text{kPa}=1.033\text{at}(\text{kgf}/\text{cm}^2)=760\text{mmHg}=10.33\text{mH}_2\text{O}$$

进行换算时，先将已知单位的压力数换算成标准大气压 (atm) 值后再换算成所求单位的压力数值。如：关于选项 C 的计算为

$$\text{绝压}=\frac{100-\frac{20}{760}\times 101.3}{101.3}\times 10.33=9.93\text{mH}_2\text{O};$$

关于选项 D 的计算为

$$\text{绝压}=100-\frac{20}{760}\times 101.3=97.33\text{kPa}.$$

答 D。

习 题

一、填空题

1. 流体的密度是指单位_____的流体所具有的_____，用符号_____表示，在国际单位制中的单位是_____。
2. 相对密度是一种流体的密度相对于另一种_____流体的密度的大小，是一个_____的量。对液体来说，常选_____K 的_____作为_____。
3. 流体_____作用在单位面积上的压力，称为流体的压力强度，简称压强，也称_____，工程上常常称为_____。
4. 在静止流体中，任一点的压力方向都与作用面相_____，并在各个方向上都具有的_____数值。
5. 生产中传统的测压仪表主要有两种，一种叫_____表，其读数叫表压；一种叫_____表，其读数叫真空度。
6. 某设备进出口测压仪表中的读数分别为 45mmHg (真空度) 和 600mmHg (表压)，则两处的压力差为_____mmHg。
7. 流体质点发生相对运动时，会遇到来自_____的阻力，流体的这种属性称之为黏性。衡量流体黏性大小的_____称为_____黏度或_____黏度，简称黏度，用符号_____表示，在 SI 制中，其单位是_____。
8. 运动黏度是流体的_____和_____的比值，在 SI 制中，其单位是_____。

二、选择题

1. 下列说法正确的是 ()。

- A. 液体是不可压缩的，故称之为不可压缩流体
 - B. 除实测外，流体的密度数据只能从有关手册中查取
 - C. 液体的相对密度是该液体与相同状况下纯水密度的比值
 - D. 对气体和大多数液体而言，温度升高其密度下降
2. 真空度与绝对压力的关系 ()。
- A. 真空度越高，绝对压力也越高
 - B. 真空度相同，绝对压力也相同
 - C. 绝对压力低于大气压时，测压仪表上的读数为真空度
 - D. 真空度为零时，绝对压力为 1atm
3. 当地大气压为 1atm，若某生产设备上真空表读数为 10mmHg 时 ()。
- A. 表压为 10^2 kPa
 - B. 表压为 750mmHg
 - C. 绝压为 10mmHg
 - D. 绝压为 10.2mH₂O
4. 关于黏性和黏度的叙述错误的是 ()。
- A. 静止的流体和流动的流体都具有黏性
 - B. 黏度是衡量流体黏性大小的物理量
 - C. 流体的黏度随温度的升高而减小
 - D. 压力改变对液体的黏度影响很小，可以忽略，不很高的压力对气体黏度的影响也可忽略

三、计算题

1. 某种贮槽的有效容积为 5m³，293K 时能贮存 95% 的乙醇多少千克？

2. 在苯和甲苯的混合液中，苯的质量分数为 0.4，求混合液在 293K 时的密度。

3. 计算空气在 0.5MPa (表压) 和 298K 下的密度。已知当地大气压强为 100kPa。

4. 某气柜内的混合气体的表压力是 0.075MPa，温度为 295K，若混合气体的组成为：

气体种类	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	CH ₄
体积分数	0.40	0.20	0.32	0.07	0.01

试计算混合气体的密度。已知当地大气压为 100kPa。

5. 某真空蒸馏塔在大气压力为 100kPa 的地区工作时，塔顶真空表的读数为 90kPa。问当塔在大气压力为 86kPa 的地区工作时，如塔顶的绝对压力仍要维持在原来的水平，则真空表的读数变为多少？

6. 根据车间测定的数据： p_1 （真空度）=540mmHg， p_2 （表压）=4kgf/cm²，当地大气压为 10mH₂O。（1）求设备两点处的绝对压力，以 Pa 表示。（2）求设备两点处的压力差。

第三节 流体流动基本知识

知识要点

一、流量方程式

1. 流量

（1）质量流量 流体在流动时，每单位时间内通过管道任一截面的质量，用 q_m 表示。

（2）体积流量 流体在流动时，每单位时间内通过管道任一截面的体积，用 q_V 表示。

（3）质量流量与体积流量的关系

$$q_m = \rho q_V \quad (1-9)$$

2. 流速

（1）概念 单位时间内，流体在流动方向上经过的距离。通常指整个流通截面上的平均值，用 u 表示，单位是 m/s。

（2）计算公式（与体积流量的关系）

$$u = \frac{q_V}{A} \quad (1-10)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (1-11)$$

3. 流量方程式

- (1) 概念 描述流体流量、流速和流通截面积三者之间关系的式子。
- (2) 应用 主要用来指导选择管子规格和确定塔设备的直径。
- (3) 方程式

$$d = \sqrt{\frac{4q_V}{\pi u}} \quad (1-12)$$

二、稳定流动与不稳定流动（根据流动参数变化情况分）

- (1) 稳定流动 流动参数只与空间位置有关，而与时间无关的流动。
- (2) 不稳定流动 流动参数既与空间位置有关又与时间有关的流动。

三、稳定流动系统的物料衡算——连续性方程

- (1) 衡算根据 质量守恒定律。
- (2) 连续性方程

$$q_{m1} = q_{m2} = \dots = q_{mn} \quad (1-13)$$

或

$$u_1 A_1 \rho_1 = u_2 A_2 \rho_2 = \dots = u_n A_n \rho_n \quad (1-14)$$

对不可压缩或难压缩的流体可简化为

$$u_1 A_1 = u_2 A_2 = \dots = u_n A_n \quad (1-15)$$

四、稳定流动系统的能量衡算（等温、等容条件下）

1. 流动流体所具有的三种机械能

- (1) 位能 是流体质量中心处在一定的空间位置而具有的能量，其值为 mgZ (J)。
- (2) 动能 是流体具有一定的运动速度而具有的能量，其值为 $\frac{1}{2}mu^2$ (J)。
- (3) 静压能 流体因为具有一定的静压力而具有的能量，其值为 $m\frac{p}{\rho}$ (J)。

2. 稳定流动系统的能量衡算

(1) 除位能、动能、静压能外有关的能量

- ① 1kg 流体从泵获得的外加功 W (J)。
- ② 1kg 流体在流动系统中的能量损失 $\sum E_f$ (J)。

(2) 柏努利方程

① 以 1kg 流体为基准

$$gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + W = gZ_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \sum E_f \quad (1-16)$$

② 以 1N 流体为基准（压头形式）

$$Z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + H = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + \sum H_f \quad (1-17)$$

③ 理想流体无外加功时

$$gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = gZ_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} \quad (1-17a)$$

$$Z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} \quad (1-17b)$$

3. 柏努利方程的分析与应用