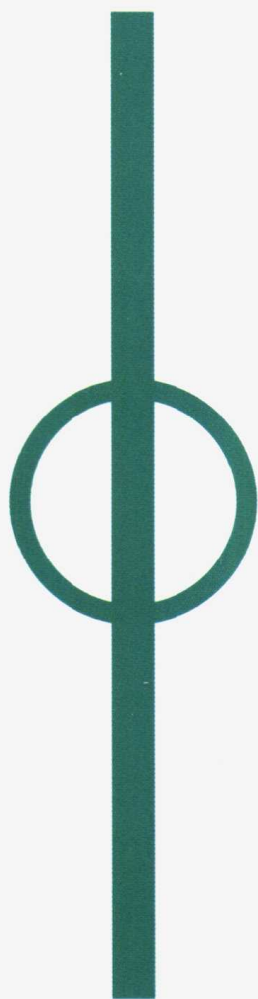


高等学校大专教材辅导书

化工原理 学习指南

——问题与习题解析

姚玉英 陈常贵 柴诚敬 编著



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

高等学校大专教材辅导书

化工原理学习指南

——问题与习题解析

姚玉英 陈常贵 柴诚敬 编著



天津大学出版社

内 容 提 要

本书既是与天津大学姚玉英等人编写的《化工原理》(高等学校大专教学用书)配套的教学参考书,也可作为一本独立的化工原理课程的参考书。全书分为两部分,第一部分以问答的形式,阐述了化工原理的基本概念和基本理论,包含了教材中的主要内容,并配有大量的例析和学习自测题;第二部分为教材的习题和解答。书末还附有复习考试大纲和模拟试题及参考答案等。全书编法新颖、内容丰富、概念清晰,便于教与学。

本书可作为高等学校少学时化工原理课程以及大学专科、高职、高自考等化工原理课程的辅导教材和参考书,也可供大学本科学生和有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理学习指南——问题与习题解析/姚玉英,陈常贵,柴诚敬编著. —天津:天津大学出版社,2003.10
ISBN 7-5618-1846-7

I.化… II.①姚… ②陈… ③柴… III.化工原理—高等学校—教学参考资料 IV.TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 093623 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨风和
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
网 址 www.tjup.com
电 话 营销部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 河北省永清县印刷厂
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 23.25
字 数 635 千
版 次 2003 年 10 月第 1 版
印 次 2003 年 10 月第 1 次
印 数 1 - 4 000
定 价 29.00 元

前 言

本书是为配合天津大学姚玉英等编写的《化工原理》(高等学校大专教学用书,第2版)而编写的教材辅导书。旨在培养学生的自学能力,提高学生的知识水平和应试能力。

全书共分两个部分。第一部分为“问答和例析”,以问答的形式,总结、概括了化工原理教材中各章的主要内容、公式和基本概念等,并配有大量的举例分析和自测题。第二部分为《化工原理》(第2版)中各章习题的解答。此外附录部分包括复习考试大纲和模拟试卷及评分标准等。

本书编写过程中有如下特点:

(1)本书以问答的形式,回答化工原理的基本问题。观点鲜明,通俗易懂,但仍保持了学科的科学性、系统性和完整性,因此它既是一本教学参考书,也可作为一本独立的较实用的参考书。

(2)本书更注重实用性和针对性。在本书的每一章节中,配合知识要点编写了大量的实例分析、解题技巧和自测题等,便于读者复习。读者可通过做练习来检验自己掌握所学知识的情况,培养和提高应试能力。

(3)从本书的内容及结构来看,它是一本较好的宜于自学的化工原理参考书,尤可供参加高自考及高职升本科的考生使用。

参加本书编写工作的有姚玉英(流体流动及蒸发)、陈常贵(流体输送、传热、吸收及蒸馏)和柴诚敬(非均相物系的分离、萃取及干燥)。

由于编者水平所限,不当之处望广大读者指正,以便修改完善。

编者

2003.6

目 录

第一部分 问答和例析

1-1 流体流动	3
1-1-1 概述	3
1-1-2 流体静力学	3
1-1-3 流体在管内的流动	11
1-1-4 流动过程中的物料衡算——流体连续性方程式	12
1-1-5 流动系统中的能量衡算——柏努利方程式	13
1-1-6 摩擦阻力	20
1-1-7 流体在管内的流动情况	23
1-1-8 流体在直管内的摩擦阻力	26
1-1-9 流体的局部阻力	33
1-1-10 管路系统的计算	36
1-1-11 流量的测定	39
本章复习要点	45
自测题	51
1-2 流体输送机械	57
1-2-1 概述	57
1-2-2 离心泵	58
1-2-3 其他类型化工用泵	72
1-2-4 气体输送机械	74
本章复习要点	76
自测题	78
1-3 非均相物系的分离	81
1-3-1 概述	81
1-3-2 重力沉降	82
1-3-3 离心沉降	86
1-3-4 过滤	91
1-3-5 离心机	99
本章复习要点	99
自测题	103
1-4 传热	105
1-4-1 概述	105
1-4-2 热传导	105

1-4-3 对流传热	111
1-4-4 传热计算	117
1-4-5 换热器	126
本章复习要点	131
自测题	134
1-5 蒸发	138
1-5-1 概述	138
1-5-2 单效蒸发计算	139
1-5-3 多效蒸发简介	148
本章复习要点	149
自测题	151
1-6 吸收	152
1-6-1 概述	152
1-6-2 气液相平衡	153
1-6-3 传质机理与吸收速率	159
1-6-4 吸收塔计算	164
1-6-5 填料塔	173
本章复习要点	176
自测题	181
1-7 蒸馏	184
1-7-1 概述	184
1-7-2 两组分溶液的气液平衡	185
1-7-3 精馏原理和流程	188
1-7-4 两组分连续精馏的计算	190
1-7-5 间歇精馏	202
1-7-6 板式塔	203
本章复习要点	207
自测题	211
1-8 液—液萃取	215
1-8-1 概述	215
1-8-2 三元体系的液—液相平衡	216
1-8-3 萃取过程的计算	221
1-8-4 液—液萃取设备	232
本章复习要点	235
自测题	237
1-9 干燥	239
1-9-1 概述	239
1-9-2 湿空气的性质及湿度图	240
1-9-3 干燥过程的物料衡算及热量衡算	246

1-9-4 干燥过程中的平衡关系和速率关系.....	252
1-9-5 干燥设备.....	256
本章复习要点.....	258
自测题.....	262

第二部分 《化工原理》(第2版)习题解答

上 册

2-1 流体流动	269
2-2 流体输送机械	282
2-3 非均相物系的分离	287
2-4 传 热	293
2-5 蒸 发	305

下 册

2-1 蒸 馏	311
2-2 气体吸收	318
2-3 蒸馏和吸收塔设备	325
2-4 液—液萃取	335
2-5 干 燥	343
自测题答案.....	347
附 录	352
复习考试大纲.....	352
模拟试题.....	358



第一部分

问答和例析

1-1 流体流动

1-1-1 概述

1. 流体力学中为什么要用宏观方法研究流体？有何优越性？

答：流体是由大量的不断作不规则运动的分子组成的，各个分子之间以及分子内部的原子之间均保留着一定的空隙，所以流体内部是不连续而存在空隙的。要从单个分子运动出发来研究整个流体平衡或运动的规律，是很困难也不现实的。所以在流体力学中，不研究个别分子的运动，只研究由大量分子组成的集团。设想整个流体由无数个集团组成，单个集团称为“质点”。质点的大小与它所处的空间相比是微不足道的，但比分子自由程要大得多。这样可以设想在流体的内部各个质点相互紧挨着，它们之间没有任何空隙而成为连续体。用这种处理方法就可以不研究分子间的相互作用以及复杂的分子运动，只要研究集团的宏观运动规律即可。把流体模化为连续介质，并不是所有情况都是如此的，高真空度下的气体就不能视为连续介质。

由于介质的质点间无任何空隙而是连续的，故在研究流体流动各项内容时可以应用连续函数这一数学工具。

2. 本教材为什么要介绍流体流动？本章主要内容是什么？

答：化工厂中所处理的物料大多为流体，因此流体流动是化工厂中采用最广泛的操作，而流体流动中许多问题，例如管路安排与设计、管路查定计算、流体输送设备的选用、换热器和塔设备内流体的湍动情况、测压计和流量计的设置等等问题都是由流体流动中的主要方程式——连续性方程式和柏努利方程式联合解决的，故本教材首先要介绍流体流动。连续性方程式比较简单，故本章以柏努利方程式为核心，全章内容都是围绕这个核心的。

1-1-2 流体静力学

1. 流体静力学研究的主要内容是什么？

答：流体静力学主要研究管道或设备内流体在外力作用下达到平衡的规律，而本章只讨论与流体流动有关的重力和压力。

2. 流体密度的定义是什么？

答：单位体积流体具有的质量称为密度，以 ρ 表示，单位为 kg/m^3 ，表达式为

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

3. 如何获得纯液体和混合液体的密度?

答:纯液体的密度可以从《化学手册》或《化工原理》教材附录中查到。工程上视液体为不可压缩流体,因此认为液体密度不随压强而变,有些手册中虽列出纯液体密度随温度的变化,但变化幅度不大。

对混合液体,若混合前、后视无体积变化,以 1 kg 混合液体为基准,令 a 表示各组分的质量分数,下标 1、2... n 表示组分的序号, m 表示平均。可推导出

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{a_1}{\rho_1} + \frac{a_2}{\rho_2} + \cdots + \frac{a_n}{\rho_n} \quad (1-2)$$

或

$$\rho_m = \frac{1}{\frac{a_1}{\rho_1} + \frac{a_2}{\rho_2} + \cdots + \frac{a_n}{\rho_n}} \quad (1-3)$$

[例 1-1] 苯和甲苯混合液中含苯 0.44(摩尔分数),试求该混合液在 20 °C 下的平均密度。

解:根据式 1-3 求混合液体密度时,应先将题给的摩尔分数换算为质量分数。以下标 1 及 2 分别表示苯和甲苯。已知

$$x_1 = 0.44(\text{摩尔分数})$$

故

$$x_2 = 1 - x_1 = 1 - 0.44 = 0.56$$

苯和甲苯的摩尔质量分别为 $M_1 = 78 \text{ kg/kmol}$, $M_2 = 92 \text{ kg/kmol}$ 。两组分的质量分数分别为

$$a_1 = \frac{x_1 M_1}{x_1 M_1 + x_2 M_2} = \frac{0.44 \times 78}{0.44 \times 78 + 0.56 \times 92} = 0.4$$

$$a_2 = 1 - a_1 = 1 - 0.4 = 0.6$$

由手册中查得 20 °C 苯和甲苯的密度分别为 $\rho_1 = 879 \text{ kg/m}^3$ 及 $\rho_2 = 867 \text{ kg/m}^3$ 。故 20 °C 混合液的平均密度为

$$\rho_m = \frac{1}{\frac{a_1}{\rho_1} + \frac{a_2}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0.4}{879} + \frac{0.6}{867}} = 871.8 \text{ kg/m}^3$$

4. 如何获得纯气体和混合气体的密度?

答:气体是可压缩流体,其密度除随气体的类别而异外,还随温度和压强而变,因此对气体密度一定要标明所处的状态,否则无意义。从手册中查到的气体密度值都是某温度和压强下的值,应用时应换算为操作条件下的值。当气体温度不太低、压强不太高时气体可视为理想气体。以 T 表示热力学温度、 p 表示压强、下标 0 表示手册中的条件,换算式为

$$\rho = \rho_0 \frac{p T_0}{p_0 T} \quad (1-4)$$

令 R 表示气体常数,其值为 $8.315 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$,对理想气体用下式计算指定条件下气体的密度:

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (1-5)$$

若将式 1-5 中的摩尔质量 M 换为混合气体的平均摩尔质量 M_m ,则算出的是某条件下混合气体的平均密度 ρ_m 。令 x 表示混合气体中组分的摩尔分数,混合气体的平均摩尔质量 M_m 的计算式为

$$M_m = M_1 x_1 + M_2 x_2 + \cdots + M_n x_n \quad (1-6)$$

【例 1-2】空气中各组分的摩尔分数为:0.21O₂、0.78N₂、0.01Ar,试求标准状况下空气的平均密度,并将求得的结果与从手册中查到的结果相比较。再求绝对压强为 38×10^3 Pa、温度为 20 °C 时空气的平均密度。

解:以下标 1、2、3 分别表示 O₂、N₂ 及 Ar,该三元素的摩尔质量分别为 $M_1 = 32$ 、 $M_2 = 28$ 及 $M_3 = 40$,计量单位均为 kg/kmol。用式 1-5 求标准状况下空气的平均密度,但应先求出空气的平均摩尔质量,即

$$M_m = M_1 x_1 + M_2 x_2 + M_3 x_3 = 32 \times 0.21 + 28 \times 0.78 + 40 \times 0.01 = 28.96 \text{ kg/kmol}$$

$$\rho_0 = \frac{p_0 M_m}{RT_0} = \frac{101.33 \times 10^3 \times 28.96}{8.315 \times 10^3 \times 273} = 1.293 \text{ kg/m}^3$$

从手册中查得标准状态下空气的平均密度为 1.293 kg/m³,与计算结果完全一致。

用式 1-4 求 38×10^3 Pa、20 °C 时空气的密度:

$$\rho = \rho_0 \frac{p T_0}{p_0 T} = 1.293 \times \frac{38 \times 10^3 \times 273}{101.33 \times 10^3 (273 + 20)} = 0.452 \text{ kg/m}^3$$

由计算结果看出:空气在标准状况下与 38×10^3 Pa 及 20 °C 条件下的密度值相差甚远,所以气体的密度一定要标明状态,否则无意义。

5. 何谓流体静压强? 它的计量单位是什么?

答:静止流体单位截面上承受的垂直作用力称为静压强,俗称压力。若以 p (Pa) 表示压强、 P (N) 表示压力、 A (m²) 表示作用面积,则压强的表达式为

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

由于化工生产过程中,操作压强变动的幅度很大,为了使用上的方便,压强单位除了法定计量单位制中规定的 Pa 外,习惯上还采用其他非法定单位,例如 atm(大气压)、mH₂O(米水柱)、mmHg(毫米汞柱)、bar(巴)、kgf/cm²(千克力/厘米²)等作为压强单位,它们间的关系为

$$1 \text{ atm} = 1.033 \text{ kgf/cm}^2 = 760 \text{ mmHg} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} = 1.0133 \text{ bar} = 101.33 \times 10^3 \text{ Pa}$$

工程上为了计算方便常将 1 kgf/cm² 的压强作为 1 at(工程大气压),at 与其他单位间的关系为

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 735.6 \text{ mmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 0.9807 \text{ bar} = 98.07 \times 10^3 \text{ Pa}$$

6. 如何测量流体的静压强? 何谓表压强? 何谓真空度?

答:当流体压强高于外界大气压时,用压强表(俗称压力表)测量压强,压强表上读数称为表压强,它不是流体的真正压强,因为校正压强表时以外界大气压强为零点,因此流体的实际压强(又称绝对压强)应为

$$\text{绝对压强(实际压强)} = \text{当地大气压强} + \text{表压强}$$

当流体压强低于外界大气压时,用真空表测量压强,真空表上读数称为真空度,它也不是流体的真正压强,因校正真空表时也是以外界压强为零点,流体的实际压强,即绝对压强应是:

$$\text{绝对压强(实际压强)} = \text{当地大气压强} - \text{真空度}$$

为了避免各种压强相互混淆,对表压强和真空度必须加以标注。

7. 大气压强、绝对压强与表压强(或真空度)间有什么关系?

答:大气压强、绝对压强和表压强(或真空度)间的关系示于图 1-1 中。

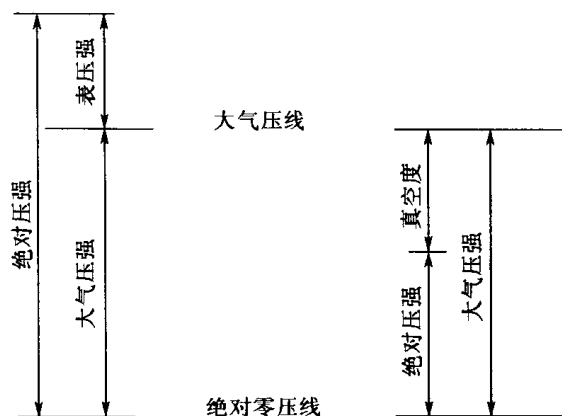


图 1-1 大气压强、绝对压强和表压强(或真空度)间的关系

大气压强随当地海拔高度、空气的温度和湿度而变,本章如不特别说明都是指北京地区的平均值,即 $1 \text{ atm} = 101.33 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。

[例 1-3] 干气脱硫吸收塔操作时,塔内绝对压强应为 $6.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。若分别在北京地区和西藏地区操作该吸收塔,这两地区吸收塔的压强表上读数应维持多大才能使两塔均在同一操作压强($6.5 \times 10^5 \text{ Pa}$)下工作?西藏地区平均大气压强为 $0.6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

解:要使两地区吸收塔内的操作状态相同,塔内必须维持相同的绝对压强,即 $6.5 \times 10^5 \text{ Pa}$,而两地区大气压强不同,所以压强表上指示的数值必然不同。

北京地区 表压强 = $6.5 \times 10^5 - 1.0133 \times 10^5 \approx 5.49 \times 10^5 \text{ Pa}$

西藏地区 表压强 = $6.5 \times 10^5 - 0.6 \times 10^5 = 5.9 \times 10^5 \text{ Pa}$

8. 什么是流体静力学基本方程式? 它是如何推导的?

答:流体静力学基本方程式是说明静止状态下同一连续流体内部压力变化的规律,是用途很广泛的方程式。为了方便,先对液体介质进行推导。

以 $g(\text{m/s}^2)$ 表示重力加速度, $z(\text{m})$ 表示平行于液柱底部截面的高度, $h(\text{m})$ 表示液柱高度,下标 1 及 2 分别表示静止的、同一连续液体内部与底面平行的任两个液面。对静止的、同一连续液体的内部,任取平行于液柱底部的两个截面作力的平衡,可以推导出

$$p_2 = p_1 + (z_1 - z_2) g \rho \quad (1-8)$$

或
$$gz_1 + \frac{p_1}{\rho} = gz_2 + \frac{p_2}{\rho} = \text{常数} \quad (1-8a)$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = g(z_2 - z_1) = gh \quad (1-8b)$$

式 1-8b 也可引申为

$$\frac{p}{\rho} = gh \quad (1-8c)$$

上面四个式子均称为液体静力学基本方程式,是以液体为介质推导出的。液体是不可压缩流体,其密度为常数,而气体的密度是温度和压强的函数,但化工厂中采用的容器和设备内,气体密度的变化往往是很小的,所以上面四个方程式也可应用于气体,因此又称为流体静力学基本方程式。

9. 流体静力学基本方程式说明什么问题?

答:由式 1-8、式 1-8a、式 1-8b 及式 1-8c 可以看出流体静力学基本方程式说明以下各点。

①由式 1-8 看出:当静止的同一种连续流体内部任一点(或任一平面)上压强 p_1 有任何改变时,流体内部其他各点(或其他平面)上压强也有同样的改变。

②由式 1-8 还可以看出:在静止的同一种连续流体内部处于同一水平面上各点的压强相等。

③由式 1-8a 看出:在静止的同一种连续流体内部任两截面上的位能 gz 与静压能 p/ρ 之和为常数。

④由式 1-8b 和式 1-8c 看出:在静止的同一种连续流体的内部压强和压强差均可用该流体柱高度来表示,但应标明是什么流体,例如前面介绍的 mmHg、mH₂O 等。

【例 1-4】用流体静力学基本方程式分别将 100 mmH₂O 和 100 mmHg 的压强换算成以 Pa 为单位的压强。

解:由手册中查得水和汞的密度分别为 1 000 kg/m³ 及 13 600 kg/m³。

用式 1-8c 计算,即

$$p_{H_2O} = \rho_{H_2O} gh = 1\,000 \times 9.81 \times \frac{100}{1\,000} = 981 \text{ Pa}$$

$$p_{Hg} = \rho_{Hg} gh = 13\,600 \times 9.81 \times \frac{100}{1\,000} = 13\,342 \text{ Pa}$$

同为 100 mm 高的水柱和汞柱所对应的压强相差 $13\,342/981 = 13.6$ 倍,所以用流体柱表示压强(或压强差)时一定要说明是什么流体,否则无意义。

应予指出:不同流体的流体柱不能互相相加或相减。

10. 化工厂中哪些计算要应用流体静力学基本方程式? 说明应用的方法。

答:化工厂中常用流体静力学基本方程式进行以下各项计算。

1) 压强差和压强的测定

压强差和压强的测定都是利用流体静力学基本方程式的原理,这些测量仪表有如下几种。

(1) U 管压差计

如图 1-2 所示,将装有指示剂 A 的玻璃 U 形管,用软管与水平管道上 1—1'、2—2' 面的测压口相连,即可测出 1—1' 与 2—2' 两截面间的压强差。指示剂 A 与管道中流体 B 不能互溶也不能起化学作用,且 ρ_A 应大于 ρ_B 。若 1—1' 截面上的静压强 p_1 大于 2—2' 截面上的 p_2 ,则 U 管两臂指示剂出现如图所示的高度差 R (m), R 称为压差计读数。若以下标 A 和 B 分别表示指示剂和待测流体,根据流体静力学基本方程式推导出

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_B) Rg \quad (1-9)$$

若管道中流过的是气体,由于气体密度远小于液体指示剂的密度,所以式 1-9 可以简化为

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho_A Rg \approx \rho_A Rg \quad (1-9a)$$

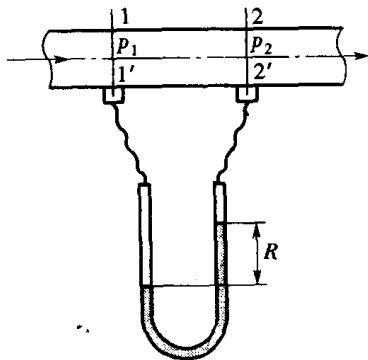
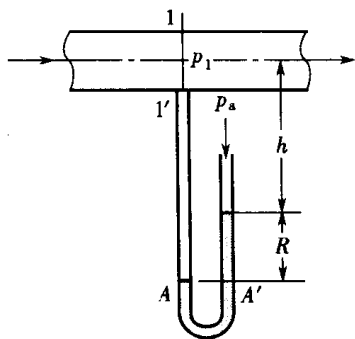


图 1-2 U 管压差计

U形玻璃管称为液柱压差计,又称U管压差计,由式1-9看出:用它测量压强差或压强时与U管的粗细、长短均无关。

[例1-5] 如本例附图所示,流动条件下平均密度为 1.1 kg/m^3 的某种气体在水平管中流过,1—1'截面处测压口与右臂开口的U管压差计相连,指示剂为水,图中 $R=0.17 \text{ m}$ 、 $h=0.3 \text{ m}$ 。试求1—1'截面处绝对压强。开口支管的水面上承受大气压强 p_a 。



例1-5附图

解:以图中A—A'面为参考面,则

$$p_A = p'_A$$

$$p_A = p_1 + g(h+R)\rho_g \quad (\rho_g \text{ 为气体密度})$$

$$p'_A = p_a + gR\rho_{\text{H}_2\text{O}} \quad (\rho_{\text{H}_2\text{O}} \text{ 为水的密度})$$

联立上二式并整理得:

$$p_1 = p_a + gR(\rho_{\text{H}_2\text{O}} - \rho_g) - gh\rho_g$$

因气体密度比液体密度小得多,故上式简化为

$$p_1 \approx p_a + gR\rho_{\text{H}_2\text{O}} - gh\rho_g$$

$$\begin{aligned} &= 101.33 \times 10^3 + 9.81 \times 0.17 \times 1\,000 - 9.81 \times 0.3 \times 1.1 \\ &= 103 \times 10^3 \text{ Pa (绝对压强)} \end{aligned}$$

实际上式中 $gh\rho_g$ 也可略去不计。

若1—1'截面的压强 p_1 低于大气压强,这时压差计左支管指示剂液面高于右边的,与例1-5附图所示的相反。

应指出:若开口压差计用汞作指示剂,则应于开口支管汞面上灌一小段水,以防有毒汞蒸气扩散到周围空气中。

[例1-6] 水在图1-2的水平管道中流过,已知1—1'与2—2'面间的压强差为 252 Pa 。U管压差计的指示剂为汞,求压差计读数 R ,并分析计算结果。

解:取水的密度为 $1\,000 \text{ kg/m}^3$,汞的密度为 $13\,600 \text{ kg/m}^3$ 。

用式1-9求压差计读数 R :

$$\Delta p = (\rho_A - \rho_B)gR$$

或 $252 = (13\,600 - 1\,000) \times 9.81 R$

解得 $R = 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$

计算结果说明压差计读数很小,读取时不易准确,此时应更换压差计型式(下面介绍),或更换密度较小的液体作指示剂,使式中的 $(\rho_A - \rho_B)$ 减小以加大 R 数值。本例可更换与水不互溶、不起化学作用的 CCl_4 作指示剂,其密度为 $1\,594 \text{ kg/m}^3$,于是

$$252 = (1\,594 - 1\,000) \times 9.81 R$$

解得 $R = 0.043 \text{ m} = 43 \text{ mm}$

测量液体压强时,常采用四氯化碳、汞等作指示剂。测量气体时,只要被测气体与水不互溶,一般用水作指示剂。

[例1-7] 密闭容器内盛有密度为 800 kg/m^3 的油与密度为 $1\,000 \text{ kg/m}^3$ 的水。油水不互溶。如本例附图所示,油层高度 h 为 0.3 m 。开口压差计用软管与水层测压口相连,压差计读数 R 为 0.4 m ,指示剂为汞。与大气相通的压差计右臂汞面上灌有一段水,其高度 R' 为 0.02 m 。右侧支管汞面与容器内油面间的垂直距离 H 为 0.4 m 。求容器内油面上方的压强 p_a 。汞的密度为 $13\,600 \text{ kg/m}^3$ 。

解:压差计开口端水面上方承受大气压强 p_a 。

采用压差计测量压强差或压强时,都可遵循下列步骤进行计算,即选出参考面 $m-n$,如图所示。选择的原则是:参考面与指示剂相交的两个平面 m 及 n 必须是静止的、同一种连续流体内的两个等高面,因此 $p_m = p_n$,然后利用静力学基本方程式分别算出 p_m 及 p_n ,即可算出所需值。以下标 O、 H_2O 、Hg 分别表示油、水、汞。

$$p_m = p_A + \rho_o gh + \rho_{H_2O} g(H + R - h)$$

$$p_n = p_a + \rho_{H_2O} gR' + \rho_{Hg} gR$$

因 $p_m = p_n$,联立上二式并将已知值代入:

$$\begin{aligned} p_A + 800 \times 9.81 \times 0.3 + 1\,000 \times 9.81(0.4 + 0.4 - 0.3) \\ = 101.33 \times 10^3 + 1\,000 \times 9.81 \times 0.02 + 13\,600 \times 9.81 \times 0.4 \end{aligned}$$

解得 $p_A = 147.6 \times 10^3 \text{ Pa}$ (绝对压强)

若计算 p_n 时不考虑大气压强 p_a ,则算出的 p_A 为表压强。

(2)斜管压差计

采用 U 管压差计时若压差计上读数太小,可更换密度较小的指示液,如例 1-6 情况。此外,也可采用其他类型的 U 管压差计,如图 1-3 所示的斜管压差计。压差计的一臂与水平面成 α 角,由图看出此时可使读数由原来的 R 加大到 R' ,放大倍数为

$$\frac{R'}{R} = \frac{1}{\sin \alpha} \tag{1-10}$$

2)测量液面位置

化工厂中经常要控制或了解容器中液面的位置,图 1-4 为常用的远距离测液面装置示意图。与被测液体不互溶、不起化学作用、不燃烧的某种气体送入管道中,用调节阀 1 调节气体流量,只要鼓泡观察器 2 内看到有气泡逸出即可。因气体流速很小,通过管道的流动阻力可以忽略,且管道内不存在液体,故可认为气体管道末端 d 处的压强 p_d 与管道压差计 3 安装截面上的压强 p_b 近似相等。以 h 表示贮槽内液面与吹气管末端间的距离。因贮槽是通大气的,故

$$p_a + \rho_A gR = p_a + \rho_B gh$$

或
$$h = \frac{\rho_A R}{\rho_B} \tag{1-11}$$

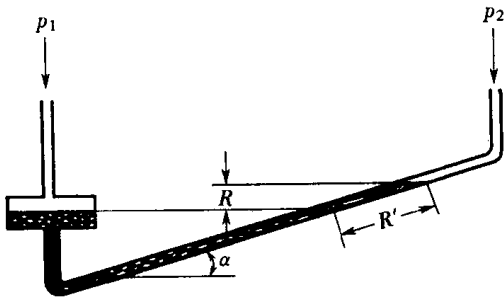


图 1-3 斜管压差计

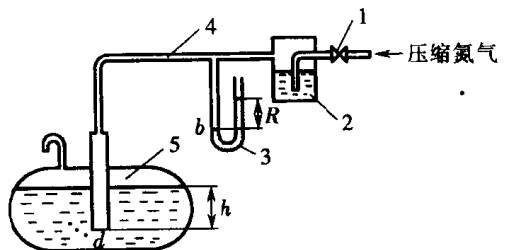


图 1-4 远距离测液面装置示意图

- 1—调节阀 2—鼓泡观察器 3—U 管压差计
4—吹气管 5—贮槽(与大气相通)

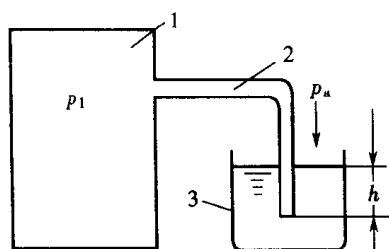


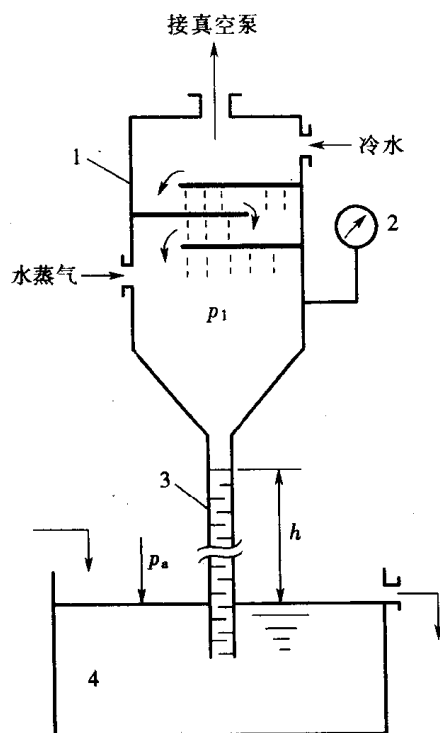
图 1-5 水封装置示意图

1—容器或设备 2—水封管 3—水封槽

3) 计算液封高度

化工厂中为了控制设备内气体压强不超过规定值,常在设备外安装如图 1-5 所示的液封装置,因常用水作液封介质,习惯上称之为水封。当设备内气体压强超过规定值时,气体就会从水层中逸出,使设备内压强仍然减到规定值。水封管应插入水层中的深度 h 可由静力学基本方程式算出。为了安全,水封管实际插入水层深度应略低于计算值。

【例 1-8】 如本例附图所示,减压下的水蒸气送入冷凝器 1 中,与由上方进入的冷水相遇而冷凝,因水处于减压状态下,必须靠重力作用才能自动通过气压管 3 排出。气压管 3 应插在水封槽 4 中,在排除冷水的同时又可防止外界空气漏入设备内。已知真空表 2 上的读数为 78×10^3 Pa,求气压管中水上升的高度 h 。



例 1-8 附图

1—冷凝器 2—真空表 3—气压管 4—水封槽

解:以水封槽水面为参考面。受力情况为

(1) 水槽水面承受大气压强 p_a ;

(2) 气压管内与水封槽水面等高面上受的压强为 $(p_1 + \rho_{H_2O} gh)$, 其中 p_1 为冷凝器内的绝对压强。

以上两个压强是在静止同一种连续流体内同一水平面上,故两者相等:

$$p_a = p_1 + \rho_{H_2O} gh$$

其中 $p_1 = p_a - 78 \times 10^3$

所以 $p_a = (p_a - 78 \times 10^3) + 1000 \times 9.81 h$

解得 $h = 7.95 \text{ m}$