

根据国家教育委员会制订的《复习考试大纲》编写

专升本(非师范类)入学考试参考丛书

化工原理考试 参考书

《化工原理考试参考书》编写组

中央广播电视大学出版社

根据国家教育委员会制订的《复习考试大纲》编写
专升本(非师范类)入学考试参考丛书

化工原理考试 参考书

《化工原理考试参考书》编写组

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理考试参考书/《化工原理考试参考书》编写组编.
—北京:中央广播电视大学出版社,1994.10

(根据国家教育委员会制订的《复习考试大纲》编写专升本(非师范类)入学考试参考丛书)

ISBN 7-304-01125-4

I. 化… I. 化… III. 化学工业-理论-高等教育-自学参考资料 IV. TQ01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 13794 号

化工原理考试

参 考 书

《化工原理考试参考书》编写组

中央广播电视大学出版社出版

社址:北京西城区大木仓 39 号北门 邮编:100032

北京印刷二厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 16.75 千字 413

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—2000

定价 10.00 元

ISBN 7-304-01125-4/G·135

前 言

1993 年国家教育委员会制订了《全国各类成人高等学校专科起点本科班招生（非师范类）复习考试大纲（试用本）》。广大考生在使用该大纲进行复习备考时，由于缺少统一的教材而遇到了很大的困难。为了解决这个问题，我们组织了部分编写和审查大纲的教授和专家，遵照大纲的要求编写了这套《专升本（非师范类）入学考试参考丛书》。它的特点是实用性和针对性均较强，可以帮助考生提高他们在入学前的知识和能力水平。

本套丛书共分 26 册，包括政治（公共课）、英语、大学语文、图书馆学概论、档案管理学、文学概论、新闻学概论、政治学概论、行政管理学、高等数学（一）、高等数学（二）、财政金融学、会计学原理、环境保护概论、管理学概论、电子技术基础、电路原理、机械设计基础、结构力学、化工原理、地质学概论、医学基础、植物生理学、中医基础理论、民法、刑法等。

由于编写时间较短，不当之处还望各学科专家及广大读者提出宝贵的修改意见，待有机会再版时进一步完善。

该丛书经国家教育委员会考试中心审定，并作为推荐用书。

编 者

1994. 6. 25

目 录

第一章 流体流动	(1)
第一节 概 述	(1)
第二节 流体静力学	(1)
1-1 密度和比容	(1)
1-2 流体的压强	(3)
1-3 静力学基本方程及其应用	(4)
第三节 流体流动的衡算方程	(7)
1-4 流量与流速	(7)
1-5 流体流动的质量衡算	(8)
1-6 流体流动的能量衡算	(10)
第四节 流体流动的阻力	(15)
1-7 牛顿粘性定律及流体的粘度	(15)
1-8 流体的流动类型与雷诺准数	(16)
1-9 流体在直管中流动阻力的计算	(18)
1-10 流体流动局部阻力计算	(21)
第五节 管路计算	(22)
第六节 流速和流量测定	(24)
1-11 测速管	(24)
1-12 流板流量计	(25)
1-13 转子流量计	(26)
第七节 流体流动阻力测定实验	(27)
复习思考题	(28)
习题	(29)
本章重要符号说明	(34)
第二章 流体输送机械	(36)
第一节 概 述	(36)
第二节 液体输送机械	(36)
2-1 离心泵	(36)
2-2 其它类型泵	(45)
第三节 气体输送机械	(47)
2-3 离心式通风机	(47)
2-4 鼓风机	(48)
第四节 离心泵特性曲线的测定实验	(48)
复习思考题	(49)
习题	(50)

本章重要符号说明	(51)
第三章 传热	(53)
第一节 概 述	(53)
3-1 传热在化工生产中的应用	(53)
3-2 传热的基本方式	(53)
3-3 间壁换热过程的剖析	(54)
第二节 热传导	(55)
3-4 傅里叶定律	(55)
3-5 平壁稳定热传导	(58)
3-6 圆筒壁的稳定热传导	(61)
第三节 对流传热	(65)
3-7 对流传热的基本概念——对流传热的过程分析	(65)
3-8 牛顿冷却定律	(65)
3-9 影响对流传热系数的主要因素	(67)
3-10 无相变时的对流传热系数	(67)
3-11 有相变时的对流传热系数	(72)
第四节 传热计算	(76)
3-12 传热速率方程	(76)
3-13 传热热负荷的计算	(76)
3-14 平均温度差的计算	(77)
3-15 总传热系数的计算	(84)
3-16 污垢热阻及壁温的计算	(87)
3-17 传热面积的计算	(89)
第五节 换热器	(94)
3-18 间壁式换热器	(94)
3-19 换热器内强化传热的途径	(98)
3-20 列管式换热器的选用	(99)
第六节 传热实验	(100)
复习思考题	(102)
习题	(103)
本章重要符号说明	(108)
第四章 吸收	(110)
第一节 概 述	(110)
第二节 气液相平衡	(111)
4-1 相组成表示方法	(111)
4-2 气体在液体中的溶解度	(113)
4-3 亨利定律	(114)
4-4 相平衡在吸收过程中的应用	(118)
4-5 吸收剂的选择	(118)
第三节 传质机理与吸收速率	(119)
4-6 分子扩散和费克定律	(119)

4-7 分子扩散和主体流动	(120)
4-8 分子扩散速率方程	(120)
4-9 扩散系数	(121)
4-10 对流扩散	(122)
4-11 吸收过程机理	(123)
4-12 吸收速率方程式	(123)
第四节 吸收塔的计算	(128)
4-13 物料衡算和操作线方程	(128)
4-14 吸收剂用量的确定	(130)
4-15 塔径的计算	(133)
4-16 填料层高度的计算	(133)
第五节 填料塔	(141)
4-17 填料塔的结构和操作	(141)
4-18 填料	(141)
4-19 填料塔的流体力学性能	(143)
4-20 填料塔的附件	(145)
复习思考题	(147)
习题	(148)
本章重要符号说明	(151)
第五章 蒸馏	(153)
第一节 概 述	(153)
第二节 两组分理想溶液的气液平衡	(154)
5-1 拉乌尔定律	(154)
5-2 两组分气液平衡图	(155)
5-3 相对挥发度	(157)
第三节 精馏原理	(158)
5-4 精馏原理	(158)
5-5 连续精馏装置流程	(159)
第四节 两组分连续精馏塔的计算	(159)
5-6 理论板的概念及恒摩尔流假定	(159)
5-7 物料衡算和操作线方程	(161)
5-8 加料板的物料衡算和热量衡算	(165)
5-9 理论板数的求法	(168)
5-10 回流比的影响及其选择	(173)
第五节 板式塔	(178)
5-11 塔板类型	(178)
5-12 板式塔的流体力学性能	(180)
5-13 塔板的负荷性能图	(181)
5-14 塔高和塔径的计算	(182)
第六节 精馏实验	(186)
复习思考题	(188)

习题.....	(189)
本章重要符号说明.....	(192)
第六章 干燥	(194)
第一节 概 述.....	(194)
第二节 湿空气的性质及湿度图.....	(194)
6-1 湿空气的性质.....	(194)
6-2 湿空气的 $H-I$ 图.....	(198)
第三节 干燥过程的物料衡算和热量衡算.....	(200)
6-3 干燥过程的物料衡算.....	(200)
6-4 干燥过程的热量衡算.....	(202)
6-5 空气通过干燥器时的状态变化.....	(203)
第四节 干燥速率和干燥时间.....	(205)
6-6 物料中水分的性质.....	(205)
6-7 恒定干燥条件下的干燥速率.....	(207)
6-8 恒定干燥条件下干燥时间的计算.....	(209)
第五节 干燥器.....	(210)
复习思考题.....	(212)
习题.....	(213)
本章重要符号说明.....	(215)
参考文献	(217)
附录	(218)

第一章 流体流动

第一节 概 述

化工过程所处理的物料大多为流体（气体或液体）。流体具有流动性。实际生产中，按照生产工艺的要求，往往需将流体依次输送到各个设备，或从一个地方输送到另一个地方。因而需要研究流体流动的基本规律。流体输送问题包括：通过管路系统的压力变化；流体输送所需的功率；流量测定，流体输送设备的选择和操作。流体输送是化工过程最普遍的单元操作之一。

化工生产中的传热和传质过程大都是在流体内部进行的，其速率与流体流动状态密切相关，所以传热与传质的研究，亦离不开流体流动的基本原理。

化工生产中，压力、流量等的测量也大都是以流体的静止或流动规律为依据的。

所以流体流动的基本规律是本课程的重要基础知识。

研究流体流动时，是从宏观的角度来研究流体的流动规律，故引入了连续性的假设。连续性假设规定：流体是由无数流体质点（或称微团）组成的连续介质。这种流体的物理性质（如密度、粘度等）和运动参数（如速度等）均是连续变化的。这样可以摆脱对复杂的分子微观运动的研究，在处理工程实际问题时不仅应用方便，而且有足够的精确性。

应当指出，连续性假设在绝大多数情况下是适用的，但是在高真空的情况下，由于气体稀薄，这种假设将不再成立。

若流体的体积不随压力及温度变化，则称其为不可压缩性流体；若流体的体积随压力及温度变化，则称其为可压缩性流体。实际流体均为可压缩性流体。但在实际工程问题处理中，由于液体体积随压力和温度变化很小，可视其为不可压缩性流体；当气体的压力和温度变化很小时，也可将气体视为不可压缩性流体处理。但是在一般情况下，由于气体有较大的压缩性和膨胀性，故一般将其视为可压缩性流体。

第二节 流体静力学

1-1 密度和比容

一、密度

单位体积流体所具有的质量称为流体的密度，用符号 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。其表达式为：

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

式中： ρ ——流体的密度， kg/m^3 ；

m ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积, m^3 。

影响密度的因素为流体的物性、温度和压力。

(一) 液体的密度

液体可视为不可压缩性流体, 其密度随压力变化很小, 可忽略不计, 但温度对液体的密度有一定的影响, 故查取液体密度时, 要注意注明其温度条件。

1. 单一组分液体的密度 单一组分液体的密度可从物理化学手册或其它资料中查得。

2. 混合液体的密度 若几种液体混合前的分体积等于混合后的总体积, 则混合液体的平均密度可由下式求出:

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{\alpha_1}{\rho_1} + \frac{\alpha_2}{\rho_2} + \cdots + \frac{\alpha_n}{\rho_n} \quad (1-2)$$

式中: ρ_m ——混合液体的平均密度, kg/m^3 ;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ——混合液体中各组分的质量分率, $\alpha_1 + \alpha_2 + \cdots + \alpha_n = 1$;

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ ——混合液体中各组分的密度, kg/m^3 。

(二) 气体的密度

气体为可压缩性流体, 其密度随压力、温度变化较大。

1. 单一组分气体的密度可由下述两种方法取得。

(1) 由物理化学手册或其它资料查取。

(2) 当压力不太高、温度不太低时, 可按理想气体状态方程式转化后求取:

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

式中: P ——气体的压力, kPa ;

M ——气体的分子量, kg/kmol ;

T ——气体的温度 K ;

R ——通用气体常数, $R = 8.314 \text{ kJ}/(\text{kgmol} \cdot \text{K})$ 。

2. 混合气体的密度 混合气体的密度也可由下述两种方法求取。

$$(1) \quad \rho_m = \frac{PM_m}{RT} \quad (1-4)$$

式中: P ——混合气体的总压, 单位为 kPa ;

M_m ——混合气体的平均分子量, 单位为 kg/kmol ;

$$M_m = M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_n y_n \quad (1-5)$$

式中: $M_1, M_2, \dots, M_n$ ——混合气体中各组分的分子量, kg/kmol ;

$y_1, y_2, \dots, y_n$ ——混合气体中各组分的摩尔分率, $y_1 + y_2 + \cdots + y_n = 1$ 。

(2) 混合气体的密度亦可用下式求取:

$$\rho_m = \rho_1 x_1 + \rho_2 x_2 + \cdots + \rho_n x_n \quad (1-6)$$

式中: $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ ——在混合气体压力下各组分的密度, kg/m^3 ;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ ——混合气体中各组分的体积分率, $x_1 + x_2 + \cdots + x_n = 1$ 。

例 1-1 已知硫酸和水的密度分别为 $1830 \text{ kg}/\text{m}^3$ 和 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ (20°C), 试求含硫酸 40% (质量) 的硫酸水溶液的密度为多少?

解 设硫酸和水的质量分率分别为 α_1 和 α_2 , 密度分别为 ρ_1 和 ρ_2 , 混合液的密度为 ρ_m 。

根据式 (1-2) 得:

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{\alpha_1}{\rho_1} + \frac{\alpha_2}{\rho_2}$$

已知: $\alpha_1 = 0.4$, $\alpha_2 = 0.6$

$$\rho_1 = 1830 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_2 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

代入上式得:

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{0.4}{1830} + \frac{0.6}{1000} = 0.00082$$

$$\rho_m = 1221.6 \text{ kg/m}^3$$

例 1-2 假设某理想气体混合物的组成为: $\text{O}_2 10\%$ 、 $\text{N}_2 30\%$ 、 $\text{CO}_2 60\%$ (均为体积百分数)。试求该混合气体在压力为 $9.81 \times 10^4 \text{ Pa}$ 及温度为 100°C 时的密度。

解 首先将摄氏温度换算成开氏温度:

$$273 + 100 = 373 \text{ K}$$

再求该混合气体的平均分子量:

$$\begin{aligned} M_m &= 32 \times 0.1 + 28 \times 0.3 + 44 \times 0.6 \\ &= 38 \end{aligned}$$

根据式 (1-4):

$$\begin{aligned} \rho_m &= \frac{PM_m}{RT} \\ &= \frac{9.81 \times 10^4 \times 38 \times 10^{-3}}{8.314 \times 373} = 1.202 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

二、比容

单位质量流体所具有的体积称为流体的比容,用符号 ν 表示,单位为 m^3/kg 。其表达式为:

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (1-7)$$

即流体的比容是密度的倒数。

1-2 流体的压强

垂直作用于单位面积上的力称为流体的压强,习惯上称为压力*,用符号 p 表示。

一、流体压力的单位

流体压力的单位有几种不同的表示方法,现分别介绍。

1. 根据定义,流体单位面积上的压力用法定计量单位表示是 N/m^2 ,称为帕斯卡,以符号 Pa 表示。(与 SI 中单位相同)

2. 以流体柱高度表示,如用米水柱、毫米汞柱等表示。若流体的密度为 ρ ,则流体柱高度 h 与压力 p 之间的关系为:

$$p = \rho gh \quad (1-8)$$

式中: g ——重力加速度, m/s^2 ;

h ——流体柱高度, m。

* 本书中的压力均指压强。

由式 (1-8) 可知: 同一压力 p 值, 由于流体种类不同 (密度不同), 则流体柱高度 h 亦不同。因此若用流体柱高度 h 表示压力时, 必须指明流体的种类, 如 10 米水柱, 700 毫米汞柱等。

3. 以标准大气压为计量单位 (atm)。

二、压力单位的换算

需要指出, 我国推行国际单位制 (SI), 统一实行法定计量单位。但是, 因为习惯在工程上有些非法定计量单位还在应用, 在一些文献资料和有关书籍中也会遇到, 因此这里给出与法定计量单位的换算关系。

$$1 \text{ atm (标准大气压)} = 101.325 \text{ kPa (千帕)}$$

$$1 \text{ at (工程大气压)} = 98.0665 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ mH}_2\text{O (米水柱)} = 9.80665 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ mmH}_2\text{O (毫米水柱)} = 9.80665 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg (毫米汞柱)} = 133.322 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kgf/m}^2 \text{ (千克力每平方米)} = 9.80665 \text{ Pa}$$

三、压力的基准

压力可由不同计量基准表示。以绝对真空 (即压力为 0 Pa) 为基准测得的压力称为绝对压力; 以当时当地大气压力为基准测得的压力称为表压, 或真空度。

表压为绝对压力与大气压之差, 即:

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

表压值可由压力表直接测得, 在压力表上可直接读数。

真空度表示绝对压力低于大气压的值。

即:

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

绝对压力、表压和真空度之间的关系如图 1-1 所示。

例 1-3 有一离心泵进口真空表读数为 0.03MPa, 出口压力表读数为 0.17MPa, 若当地大气压力为 100kPa, 试求该离心泵的进出口绝对压力各为多少 kPa?

解 (1) 设进口绝对压力为 p_1 , 则

$$p_1 = \text{当地大气压力} - \text{真空度}$$

$$= 100 - 30 = 70 \text{ kPa}$$

(2) 设出口绝对压力为 p_2 , 则

$$p_2 = \text{大气压力} + \text{表压}$$

$$= 100 + 170 = 270 \text{ kPa}$$

1-3 静力学基本方程式及其应用

一、静力学基本方程式

流体静力学是研究静止流体在重力场中受重力和压力作用的平衡规律。对于不可压缩的、静止、均质、连续流体, 描述流体内部压力变化的表达式为:

$$p_2 = p_1 + \rho g (Z_1 - Z_2) \quad (1-9)$$

式中: p_1 ——作用于某液体柱上端面的压力, Pa;

p_2 ——作用于该液体柱下端面的压力, Pa;

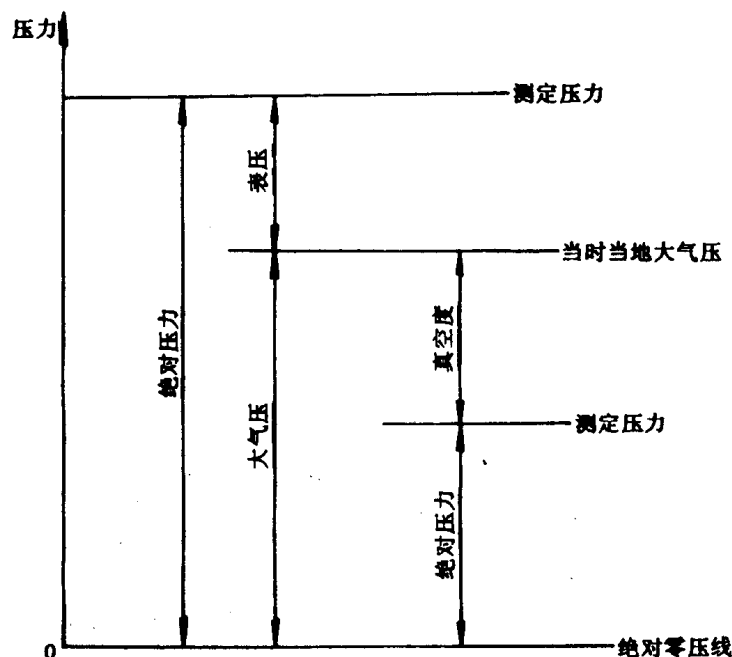


图 1-1 绝对压力、表压和真空度的关系

Z_1 、 Z_2 ——液体柱上、下端离基准面的垂直距离，m。

上式是以压力的形式表示的流体静力学基本方程式。若以能量形式表示，则上式变为：

$$\frac{p_2}{\rho} + gZ_2 = \frac{p_1}{\rho} + gZ_1 \quad (1-9a)$$

式 (1-9) 和 (1-9a) 都称为流体静力学基本方程式。

由流体静力学基本方程式可以得出以下结论：

1. 在连续、静止、均质的流体中，同一水平面上压力相等，即为等压面。
2. 当液面上方压力一定时，静止流体的液面下方任一点的压力是深度的函数。
3. 在静止液体中，当液面上方压力发生变化时，液体内部各点的压力也将发生同样大小的变化，即静止、连续、均质的液体内的压力能以相同大小传递到液体内部各点。
4. 不同种类流体 (ρ 不同) 在同一深度处，其压力 (p_2) 不同。
5. 在静止流体中，流体具有静压能 $\frac{p}{\rho}$ 和位能 gZ 。在均质、静止流体中，不同位置的静压能和位能各不相同，但两项能量总和恒为常数，即：

$$\frac{p}{\rho} + gZ = \text{常数} \quad (1-9b)。$$

式 (1-9b) 表明两项能量可以相互转化，但总能量守恒。

二、流体静力学基本方程式的应用

1. 压力测量

以静力学原理为依据的压力测量仪器统称为液柱压力计，其中以 U 形管压差计最为常用。现以 U 形管压差计为例进行介绍。

U形管压差计结构如图 1-2 所示。根据流体静力学原理，等压面上的压力必然相等，现取 $a-a'$ 水平面为等压面，则：

$$p_a = p_{a'}$$

而

$$p_a = p_2 + \rho g m + \rho_0 g R$$

$$p_{a'} = p_1 + \rho g (m + R)$$

式中： ρ ——被测流体密度， kg/m^3

ρ_0 ——指示液密度， kg/m^3

即

$$p_2 + \rho g m + \rho_0 g R = p_1 + \rho g (m + R)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho g m + \rho_0 g R - \rho g m - \rho g R$$

$$\Delta p = R g (\rho_0 - \rho) \quad (1-10)$$

此即为点 1 和点 2 间的压力差计算公式。

若被测流体是气体，其密度 ρ 远小于指示液的密度 ρ_0 ，即 $\rho_0 - \rho \approx \rho_0$ ，则式 (1-10) 可简化为：

$$\Delta p = p_1 - p_2 \approx R g \rho_0 \quad (1-10a)$$

例 1-4 如附图所示，水在水平管道中流过，为测定 a 、 b 两点的压力差，安装一 U 形管压差计，指示液为汞。已知压差计读数 R 为 100mmHg，试计算 a 、 b 两点的压力差为多少？已知水和汞的密度分别为 1000kg/m^3 和 13600kg/m^3 。

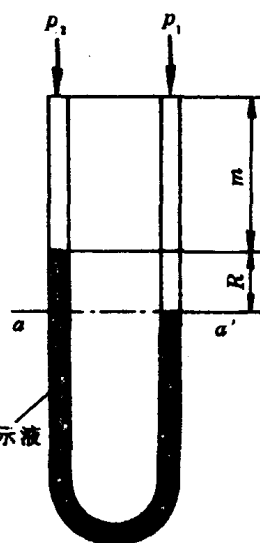
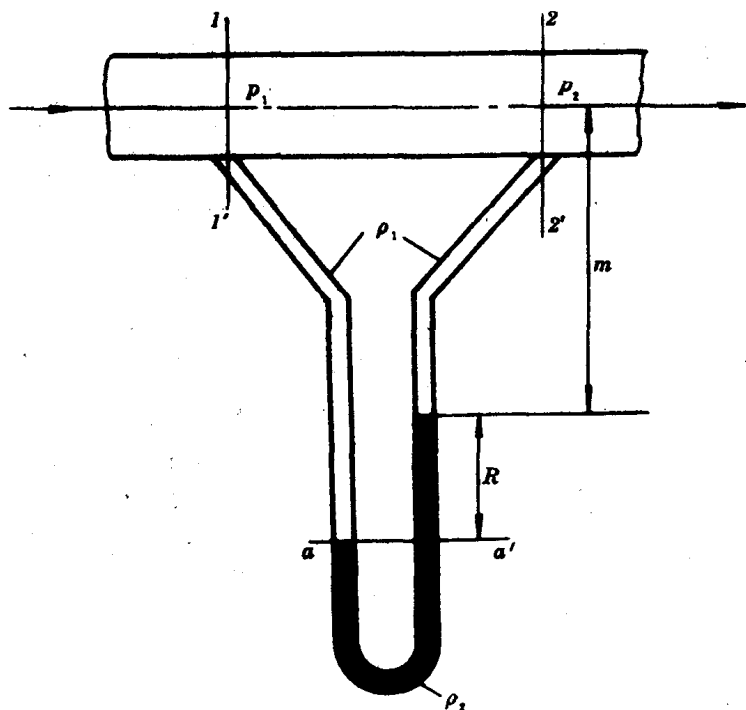


图 1-2 U 形管压差计



例 1-4 附图

解 取管道截面 1-1 和 2-2；等压面为 $a-a'$ ，设水和汞的密度分别为 ρ_1 和 ρ_2 ；截面 1-1' 和

2-2' 处的压力分别为 p_1 和 p_2 。

根据静力学原理：

$$p_a = p_a'$$

又：

$$p_a = p_1 + \rho_1 g (m + R)$$

$$p_a' = p_2 + \rho_1 g m + \rho_2 g R$$

则：

$$p_1 + \rho_1 g (m + R) = p_2 + \rho_1 g m + \rho_2 g R$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = gR (\rho_2 - \rho_1)$$

将各已知数代入上式得：

$$\Delta p = 9.81 \times 0.1 \times (13600 - 1000) = 1.24 \times 10^4 \text{ Pa}$$

2. 液位测量

测量设备内液位的装置有许多种，图 1-3 所示液位计是根据静止流体在连通的同一水平面上各点的压力相等这一原理设计的。图中 $o-o'$ 水平面为等压面， $o-o'$ 面上的点 1 和点 2 处的压力 p_1 和 p_2 必然相等，即 $p_1 = p_2$

而

$$p_1 = p_A + \rho_A g Z_1$$

$$p_2 = p_B + \rho_B g Z_2$$

因为液位计上方与贮槽连通，且为同一种流体，

故： $p_A = p_B$ ； $\rho_A = \rho_B$ 则

$$Z_1 = Z_2$$

所以从玻璃管中观察到的液面高度即是贮槽中液面高度。

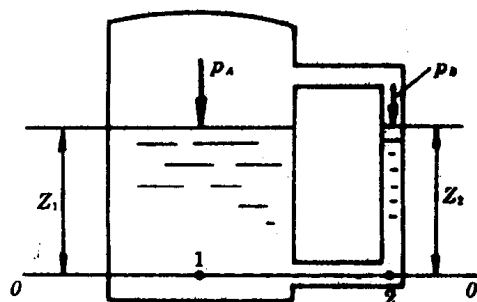


图 1-3 液位测量

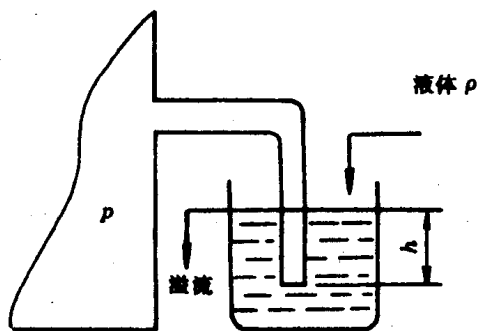


图 1-4 安全液封

3. 液封高度的计算

液封是化工生产中确保设备操作安全的一种装置，如图 1-4 所示。液封高度 h 可按静力学基本方程式进行计算。

$$p = \rho g h$$

$$h = \frac{p}{\rho g} \quad (1-11)$$

此即为液封管插入液面下方的深度。

为安全起见，实际安装时管子插入液面下的深度应比计算值略小些。

第三节 流体流动的衡算方程

1-4 流量与流速

一、流量

单位时间流经管道任一截面的流体量，称为流量。流量通常有两种表示方法。

1. 体积流量

单位时间内流经管道内任一截面的流体体积量,称为体积流量,用符号 V 表示,单位为 m^3/s 。

2. 质量流量

单位时间内流经管道内任一截面的流体质量称为质量流量,用符号 G 表示,单位为 kg/s 或 kg/h 。

体积流量与质量流量的关系为:

$$G = \rho \cdot V \quad (1-12)$$

因气体体积随压力、温度而变,故当气体流量以体积流量表示时,应注明其温度和压力。

二、流速

流体质点在单位时间内,在流动方向上所流经的距离,称为流体的流速,单位为 m/s 。

1. 平均流速

单位时间内,流体流经管道任一截面的距离,称为流体的平均流速,单位为 m/s 。

若管道内截面积为 A ,则平均流速 u 为体积流量 V 与管道内截面 A 之比。即:

$$u = \frac{V}{A} \quad (1-13)$$

通常所指流速一般均为平均流速。

2. 质量流速

单位时间内,流体流经管道单位截面积的质量,称为质量流速,用符号 w 表示,单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。即:

$$w = \frac{G}{A} \quad (1-14)$$

V 、 G 、 u 、 w 四者之间的关系可用下式表示:

$$w = \frac{G}{A} = \frac{\rho \cdot V}{A} = \rho \cdot u \quad (1-15)$$

1-5 流体流动的质量衡算

一、稳定流动与不稳定流动

流体在管道中流动时,在任一点处的流速、压力等物理量都不随时间而改变,则称之为稳定流动;

流体在管道中流动时,在任一点处的流速、压力等物理量不仅随位置而变,而且随时间而改变,则称之为不稳定流动。

二、连续性方程式

在正常情况下,生产过程太都是连续、稳定过程。连续性方程式是在连续、稳定流动中,由质量守恒定律得到的。

在连续稳定流动系统中,管道内任一截面的质量流量恒为常数。即:

$$G_1 = G_2 = \cdots = G = \text{常数} \quad (1-16)$$

或: $\rho_1 A_1 u_1 = \rho_2 A_2 u_2 = \cdots = \rho A u = \text{常数} \quad (1-16a)$

式中: G_1 、 G_2 ... G ——各截面处的质量流量, kg/s ;

ρ_1 、 ρ_2 ... ρ ——各截面处的流体密度, kg/m^3 ;

A_1 、 A_2 ... A ——各截面处的截面积, m^2 ;

$u_1, u_2 \dots u$ ——各截面处的流体流速, m/s。

式 (1-16) 和式 (1-16a) 都称为流体在管道中作稳定流动的连续性方程式。该方程式表示在稳定连续流动系统中, 流体流经管道各截面的质量流量恒为常数, 但各截面的流体流速则随管道截面积 A 的不同和流体密度 ρ 的不同而变化, 故该方程反映了管道截面上流速的变化规律。

对于不可压缩流体, 因流体的密度 ρ 可视为常数, 则连续性方程式可写成:

$$A_1 U_1 = A_2 U_2 = \dots = AU = V = \text{常数} \quad (1-16b)$$

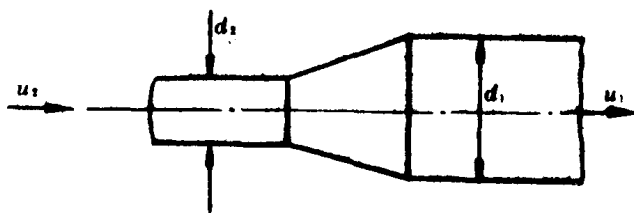
式 (1-16b) 说明不可压缩性流体流经各截面的质量流量相等, 体积流量亦相等。即: 流体的流速与管道截面积成反比。截面积愈小, 流速愈大, 截面积愈大, 流速愈小。

对于圆形管道, 因 $A_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2$ 、 $A_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2$ (d_1 、 d_2 分别为截面 1-1' 和 2-2' 处的管内径), 式 (1-16b) 可写成:

$$\frac{\pi}{4} d_1^2 u_1 = \frac{\pi}{4} d_2^2 u_2$$

$$\text{或:} \quad \frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \quad (1-17)$$

即: 对于不可压缩性流体, 其在管道中的流速与管道内径的平方成反比。



例 1-5 附图

例 1-5 有一变径管路如附图所示, 已知大管为 $\varphi 89 \times 4 \text{ mm}$, 小管为 $\varphi 57 \times 3.5 \text{ mm}$, 大管中水的流速为 1.2 m/s , 试求小管中水的流速。

解 设大管直径为 d_1 , 流速为 u_1 , 小管直径为 d_2 , 流速为 u_2 。则根据已知条件得:

$$d_1 = 89 - 4 \times 2 = 81 \text{ mm}$$

$$d_2 = 57 - 3.5 \times 2 = 50 \text{ mm}$$

$$u_1 = 1.2 \text{ m/s}$$

根据式 (1-17) 得:

$$\begin{aligned} u_2 &= u_1 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \\ &= 1.2 \times \left(\frac{81}{50} \right)^2 \\ &= 3.15 \text{ m/s} \end{aligned}$$

例 1-6 在稳定流动系统中, 水连续地从细圆形管流入粗圆形管。粗管内径为细管内径的两倍, 求细管中水的流速是粗管中水的流速的几倍?

解 以下标 1, 2 分别表示细管和粗管。

根据式 (1-17):