

人

CHENGREN GAOKAO CHENGREN GAOKAO CHENGREN GAOKAO CHENGREN GAOKAO

考

全国成人高等学校职业教育专业课入学统一考试参考丛书
根据国家教育委员会制订的《复习考试大纲》编写

化工基础考试参考书

《化工基础考试参考书》编写组

中国经济出版社

CHENGREN GAOKAO CHENGREN GAOKAO

CHENGREN GAOKAO CHENGREN GAOKAO

成

CHENGREN GAOKAO CHENGREN GAOKAO CHENGREN GAOKAO CHENGREN GAOKAO

CH

高



根据国家教育委员会制定的《复习考试大纲》编写
全国成人高等学校职业教育专业课入学统一考试参考丛书

化工基础考试参考书

《化工基础考试参考书》编写组

中国经济出版社

责任编辑:黄允成 张植信

责任校对:张树梅

封面设计:白长江

化工基础考试参考书

《化工基础考试参考书》编写组

中国经济出版社出版发行

(北京市百万庄北街3号)

(邮政编码:100037)

各地新华书店经销

北京市双青印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 13.75 印张 334 千字

1996年8月第1版 1996年8月第1次印刷

印数1-5,000

ISBN 7-5017-3747-9/O·1

定价:20.00 元

前 言

1995 年国家教育委员会制定了《全国成人高等职业教育专业课复习考试大纲》。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, 我们组织编写和审查大纲的教授、专家, 遵照大纲的要求编写了这套《全国成人高等学校职业教育专业课入学统一考试参考丛书》。此书的特点是综合性、系统性、专业性较强, 同时注意到了实用性和针对性, 可以帮助考生提高知识和能力水平。

考生复习备考的范围和程度以各科的《全国成人高等职业教育专业课复习考试大纲》为准。

本丛书共有 36 种: 包括《会计基础》、《计算技术》、《经济法基础》、《商品知识》、《营销基础知识》、《实用公共关系》、《应用文与写作》、《旅游概论》、《礼仪规范》、《烹调技术》、《烹饪原料加工技术》、《有机化学》、《药剂学》、《中药学》、《中医基础学》、《人体解剖学》、《生理学》、《机械基础》、《机械制造工艺基础》、《机械制图》、《电工基础》、《电子技术基础》、《计算机应用基础》、《BASIC 语言》、《化工分析》、《化工基础》、《化学肥料》、《炼钢生产管理》、《轧钢生产管理》、《高炉冶炼技术知识及生产管理》、《建筑材料》、《金属切削原理与刀具》、《建筑结构》、《施工技术基础知识》、《电机与拖动》、《电路基础》。

希望各科专家和广大读者提出宝贵意见, 待有机会再版时进一步完善。

这套丛书经国家教育委员会考试中心审定, 并作为推荐用书。

国家教育委员会考试中心

1996 年 4 月 26 日

目 录

绪论	(1)
第一章 流体力学基础	(5)
第一节 流体静力学	(5)
一、流体的密度	(5)
二、流体的静压强	(6)
三、流体静力学基本方程式	(7)
四、流体静力学基本方程式的应用	(10)
第二节 柏努利方程式	(13)
一、流量和流速	(13)
二、稳定流动和不稳定流动	(15)
三、稳定流动的连续性方程式	(16)
四、柏努利方程式	(16)
五、柏努利方程的应用	(17)
第三节 流体在管内的流动阻力	(21)
一、流体的粘度	(22)
二、流动类型与雷诺准数	(23)
三、流体阻力	(26)
第四节 管路计算与流量测量	(31)
一、管路计算	(31)
二、流量测量	(32)
第二章 流体输送机械	(36)
第一节 液体输送机械	(36)
一、离心泵	(36)
二、其它类型泵	(52)
第二节 气体压缩与输送机械	(55)
往复式压缩机	(55)
第三章 流体与粒子间的相对运动	(61)
第一节 沉降	(61)
一、重力沉降	(61)
二、重力沉降设备	(64)
三、离心沉降	(64)
四、离心沉降设备	(65)
五、气体净制	(66)
第二节 过滤	(66)

一、基本概念	(67)
二、常用过滤设备的结构与操作	(67)
第四章 传热原理与换热器	(71)
第一节 概述	(71)
一、传热的基本方式	(71)
二、工业上的换热方法	(72)
第二节 传热计算	(73)
一、传热方程式	(73)
二、热负荷的计算	(74)
三、平均温度差的计算	(76)
四、传热系数 K 的确定	(79)
第三节 导热	(82)
一、付立叶定律	(82)
二、导热系数	(83)
三、平面壁的导热	(85)
四、圆筒壁的导热	(88)
第四节 对流传热	(90)
一、对流传热的概念	(90)
二、对流传热速率方程	(91)
三、影响对流传热膜系数的主要因素	(92)
四、对流传热膜系数关联式	(92)
五、提高传热膜系数的途径	(96)
第五节 传热系数 K 的计算和讨论	(97)
第六节 强化传热的途径	(103)
一、增大传热面积	(103)
二、增大平均温度差 $\Delta t_{\text{均}}$	(103)
三、提高传热系数 K	(103)
第七节 换热器的类型	(104)
一、夹套式换热器	(105)
二、蛇管换热器	(105)
三、套管式换热器	(105)
四、列管式换热器	(106)
五、新型换热器	(107)
第五章 蒸发	(109)
第一节 概述	(109)
第二节 蒸发设备	(109)
一、自然循环蒸发器	(110)
二、强制循环蒸发器	(111)
三、膜式蒸发器	(111)

第三节 单效蒸发的计算.....	(112)
一、水的蒸发量	(112)
二、加热蒸汽消耗量	(113)
三、蒸发器的传热面积	(114)
四、温度差损失	(114)
第四节 多效蒸发.....	(115)
第六章 液体蒸馏.....	(117)
第一节 概述.....	(117)
第二节 精馏原理.....	(119)
一、理想二元溶液的汽液平衡关系	(119)
二、挥发度和相对挥发度	(122)
三、精馏原理	(123)
第三节 连续精馏塔的计算.....	(125)
一、全塔物料衡算	(125)
二、操作线方程式	(126)
三、进料状况对操作线的影响	(128)
四、理论板数的确定	(131)
五、回流比的影响与选择	(136)
六、塔径和塔板间距的确定	(138)
第四节 精馏塔.....	(139)
一、泡罩塔	(139)
二、筛板塔	(139)
三、浮阀塔	(140)
第七章 气体吸收.....	(141)
第一节 吸收的理论基础.....	(141)
一、相组成的表示方法	(141)
二、气液平衡关系	(145)
三、吸收机理——双膜理论	(148)
第二节 吸收速率方程式.....	(148)
一、气、液相吸收速率方程式.....	(148)
二、吸收总系数和分系数的关系式	(150)
第三节 吸收塔的计算.....	(152)
一、填料	(152)
二、全塔物料衡算——操作线方程式	(152)
三、吸收剂用量的确定	(155)
四、塔径的确定	(157)
五、填料层高度的计算	(157)
第八章 干燥.....	(160)
第一节 湿空气的性质.....	(160)

一、湿空气的性质	(160)
二、湿空气的湿焓图	(162)
第二节 物料中所含水分的性质	(164)
一、结合水分	(164)
二、非结合水分	(164)
三、平衡水分与自由水分	(164)
附录一	(166)
一、管子规格	(166)
二、液体粘度和在 293K 时的密度	(168)
三、水的粘度	(170)
四、汽体在常压下的粘度	(171)
五、常用泵规格	(172)
六、水在 273~373K 时的饱和蒸汽压和比容	(174)
七、比热列线图	(175)
八、液体汽化潜热列线图	(178)
九、饱和水蒸汽表	(179)
十、饱和水蒸汽表(按温度排列)	(182)
十一、某些固体的导热系数	(183)
十二、某些液体的导热系数	(184)
十三、某些汽体和蒸汽的导热系数	(186)
十四、壁面污垢的热阻系数	(188)
十五、某些水溶液在 1atm 下的沸点	(189)
附录二	(190)
1996 年成人高等学校职业教育招生专业课全国统一考试化工基础试题及答案 ...	
.....	(190)

绪 论

化学工业生产是将物质,以化学处理或物理变化方法为特征的工业生产过程,其产品种类繁多,生产流程复杂。但尽管每种产品都有它自己的制造工艺,可是我们对这些制造过程加以分析研究、整理归纳,就会发现,除化学反应外,每个流程都由为数不多而应用很广的几个基本过程组成。不同工艺流程中的同一基本过程,都遵循着共同基本原理,使用着通用的典型设备。如流体输送、沉降、过滤、传热、蒸发、蒸馏、吸收、干燥等等,这些基本的物理过程称为单元操作。若干个单元操作组合构成一个工艺制造流程。如纯碱生产中,纯碱去湿和肥料生产中的硫酸去湿。都是通过干燥单元操作来完成的,采用的设备是干燥器。又如稀烧碱的浓缩以及制糖工业的糖水浓缩。都是通过蒸发这一单元操作而实现,它们遵循着热交换原理,并采用蒸发器设备。这里要提到的是,不同的工艺过程有不同的独特条件和要求,因此也有一定的差别。

一、《化工基础》课程的性质、任务与内容:

《化工基础》是在学完数学、物理和物理化学等课程的基础上,开设的一门技术基础课。它主要的任务是讲授单元操作的基本原理和通用典型设备的构造、选型和计算。通过该门课程的学习,可培养学生用基础理论分析和解决化工单元操作中各种工程实际问题的能力。以便找出强化生产的途径。

本参考教材主要讨论以下几方面的内容

1. 流体动力过程 遵循流体力学基础规律的过程。以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作。如输送、沉降、过滤等。
2. 热过程 遵循热量传递规律的过程。以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作。如热交换、蒸发等。
3. 传质过程 遵循质量传递规律的过程,以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作。如蒸馏、吸收、干燥等。

二、常用的基本概念

在分析单元操作时,常用的基本概念有四个,质量守恒、能量守恒、平衡关系、过程速率。下面就四个内容分别加以叙述。

1. 物料衡算

根据质量守恒定律,向设备投入的物料质量减去从设备带走的物料质量必等于积累在设备内的量

$$\sum m_{\text{入}} - \sum m_{\text{出}} = \sum m_{\text{积累}}$$

如果过程为连续稳定过程,设备内不应有任何物料积累。即 $\sum m_{\text{积累}} = 0$

$$\sum m_{\text{入}} = \sum m_{\text{出}}$$

进行物料衡算时,首先要取衡算的范围(或称衡算系统),并且定出衡算基准。

例 0—1 有一连续操作的酒精蒸馏塔，每小时送入 40%（重量）的酒精 3 吨。从塔顶蒸出的蒸汽，含酒精 90%，通入一冷凝器全部冷凝，所得的液体（90%酒精）取出一部分作为产品，其余部分回流入塔。回流量与产品量之比为 2.5 : 1。从塔底送出的残液中含酒精 5%。试求每小时的产品量与残液量，又求每小时送入冷凝器的蒸汽量。

解 （1）求产品量与残液量

因料液是送入蒸馏塔的，残液是送出蒸馏塔的，而产品是从冷凝器中取出的，故必须以蒸馏塔和冷凝器联合为一个全系统，如图 0—1 中虚线所包围的部分。为所取的系统。

基准 1 小时

设 x = 产品量，吨，则 $3 - x$ = 残液量，吨，（由全系统物料衡算得）。

对系统的酒精作衡算

$$3 \times (0.4) = (0.9)x + (3 - x) \times 0.05$$

$$x = 1.24 \text{ 吨（每小时产品量）}$$

每小时残液量 = $3 - 1.24 = 1.76$ 吨

（2）求送入冷凝器的蒸汽量

显然，要对冷凝器作衡算，图中的点划线所包围的部分。基准为 1 小时。

由上面所求产品量为 1.24 吨，则回流量为

$$2.5 \times 1.24 = 3.1 \text{ 吨}$$

由系统物料衡算得进入冷凝器的蒸汽量为 $1.24 + 3.1 = 4.34$ 吨

若以精馏塔为衡算系统求上升蒸汽量亦可以，但计算较为麻烦。因此系统取的好坏，是计算难、易的关键。

2. 能量衡算（热量衡算）

只要系统与环境温度有差别，就会有热量与环境交换，因此对于连续稳定过程的热量衡算关系式为

$$\Sigma Q_{\text{入}} = \Sigma Q_{\text{出}} + \Sigma Q_{\text{损}}$$

式中 $\Sigma Q_{\text{入}}$ —— 带入系统的总热量

$\Sigma Q_{\text{出}}$ —— 带出系统的总热量

$\Sigma Q_{\text{损}}$ —— 系统与环境交换的热损失。

与物料衡算相似，计算过程中也需取衡算系统和计算基准。

3. 平衡关系

平衡是自然界的一个规律。如在一定温度压力下，在一杯水中加入一勺糖，则糖往水中溶解，达饱和时溶解停止。此时如果将糖水温度降低，该溶液变为过饱和，糖从溶液中析出。最终仍达饱和。从上面例子告诉我们，平衡关系可以用来判断过程能否进行，进行的方向和极限。

4. 过程速率

上面只告诉我们过程进行的方向和极限，并没有告诉我们进行的快慢程度。而过程速

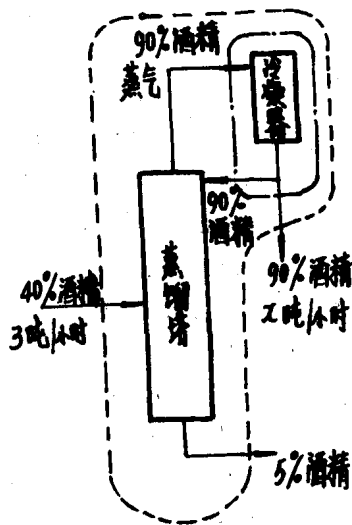


图 0—1 例 0—1 附图

率指出过程快慢问题。过程偏离平衡状态越远，速率越快，我们可仿欧姆定律写出

$$\text{过程速率} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}}$$

过程速率的大小与推动力成正比，与阻力成反比。它是决定化工设备尺寸的重要因素

三、单位制和单位换算

1. 单位制

基本单位与导出单位的总和称为单位制。

由于历史、地区和国别的原因，也由于学科领域的不同，出现了对基本量及其单位的不同选择，因而产生了不同的单位制。

常用的几种单位制所用的基本量和基本单位列于下面。

表 1 cgs 制与工程制的基本单位

	cgs 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	°C	m	kgf	s	°C

由于科学技术的迅速发展和国际学术交流的日益频繁，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。国际单位制中的单位是由基本单位、辅助单位和导出单位组成的。分别列于下表 2、3、4

表 2 国际单位制的基本单位

量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号
长 度	米	m
质 量	千克 (公斤)	kg
时 间	秒	s
电 流	安 培	A
热力学温度	开尔文	K
物质的量	摩 尔	mol
发光强度	坎德拉	cd

表 3 国际单位制的辅助单位

量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号
平面角	弧 度	rad
立体角	球面度	sr

表 4 国际单位制中具有专门名称的导出单位 (只列出本书常用的单位)

量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	其它表示式例
频 率	赫兹	Hz	s ⁻¹
力; 重力	牛顿	N	kg · m/s ²
压力 (压强), 应力	帕斯卡	Pa	N/m ²
能量, 功, 热	焦耳	J	N · m
功率, 辐射通量	瓦特	W	J/s
摄氏温度	摄氏度	°C	*

* 摄氏温度是按式 $t = (T - 273.15)$ 定义的，式中 t 为摄氏温度， T 为热力学温度。

我国已开始实行法定计量单位。法定计量单位是以国际单位制的单位为基础，根据我国的情况，适当增加了一些其他单位构成的。国家选定的非国际单位制单位，列于表 5。

表 5 国家选定的非国际单位制单位（列出常用的几种）

量的名称	单位名称	单位符号
时 间	分	min
	小时	h
	天	d
旋转角	转每分	r/min
质 量	吨	t
体 积	升	L (l)

2. 单位换算

要使 SI 为人们所熟悉并取代其它单位制，因此必须了解各单位制并熟练掌握各单位之间的换算。

同一物理量若用不同单位度量时，其数值需相应地改变。这种换算称为单位换算。

单位换算必须掌握这些单位间的换算关系。单位换算时，需要换算因数。化工中常用单位换算因数，可从参考教材附录中查得。

例 0—2 理想气体方程中气体常数， $R=0.08206 \text{ l} \cdot \text{atm}/\text{mol} \cdot \text{K}$ 试用法定单位制 $\text{J}/\text{mol} \cdot \text{K}$ 表示时数值为多少？

解 由附录查得 $1 \text{ l} (\text{升}) = 10^{-3} \text{ m}^3$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

法定单位制

$$R = 0.08206 \times 10^{-3} \times 1.013 \times 10^5 = 8.313 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa}/\text{mol} \cdot \text{K}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$$

$$8.313 \text{ m}^3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2}/\text{mol} \cdot \text{K}$$

$$= 8.313 \text{ m} \cdot \text{N}/\text{mol} \cdot \text{K} = 8.313 \text{ J}/\text{mol} \cdot \text{K}$$

单位换算的原则是：物理量换算时，是数值连同它的换算因数一起换算。

第一章 流体力学基础

气体和液体统称为流体。流体是由无数的流体质点组成的连续介质。所谓流体质点，是指由足够多分子组成的小微团，该微团与设备或管道比微不足道，但与分子比却足够大。流体具有流动性，无固定形状。一般来说，气体体积随温度、压力变化较大，故称可压缩性流体；液体体积随温度、压力变化较小，故称不可压缩性流体。

化工厂中所处理的原料及产品，大多数是流体。根据生产要求，往往需将原料或半成品从一个设备送到另一个设备，进行化学反应或物理变化。得到的产品又常需送到贮缸中贮存。过程进行的好坏，操作费与设备费用投资的多少都与流动状态密切相关。

化工生产中，有以下几方面经常应用流体流动的基本原理和流动规律。

(1) 流体输送 物料从一个设备送至另一个设备，需管道连接，这就需要选择适宜的流速来确定管径。流体输送过程需要输送设备，这就要计算所补充的外加功，为选用合适的输送设备，就必须应用流体流动规律的数学表达式进行计算。

(2) 压强，流速和流量的测量 为了掌握和控制生产，需对管道和设备内的压强，流速和流量等参数进行测量，这些测量仪表的操作原理多以静力学基本规律和流动规律为依据。

(3) 设备强化 化工单元操作中如传热、传质过程都在流动情况下进行，设备效益都与流动密切相关，研究流体流动状态对设备强化有重要意义。

要合理解决上述三个问题，就必须掌握流体力学的基础知识

本章主要包括，流体静力学，流体动力学，流体阻力计算，管路布置与计算。

第一节 流体静力学

流体静力学是研究流体在外力作用下达于平衡的规律。在工程实际中，流体的平衡规律应用很广，如流体在设备或管道内压强的变化与测量，液体在贮缶内液位的测量、设备的液封等均以此规律为依据。

一、流体的密度

单位体积流体所具有的质量，称为流体的密度，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 。

气体是可压缩的流体,其密度随压强和温度而变化。因此气体的密度须标明其状态。一般当压强不太高,温度不太低时,可按理想气体来处理。

对于一定质量的理想气体,其体积、压强和温度之间的变化关系为

$$pv=nRT \quad (1-2)$$

式中 p ——气体的绝对压强 kN/m^2 ;
 v ——气体的体积, m^3 ;
 n ——气体的摩尔数;
 R ——气体常数 $8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$;
 T ——气体的绝对温度 K 。

理想气体的摩尔数为 n , 而 $n = \frac{m}{M}$, 式中的 m 为 n 摩尔理想气体的质量, M 为气体的分子量。在任一状态下理想气体方程可写为

$$p \cdot v = \frac{m}{n} \cdot R \cdot T$$

由上式可求得其密度值, 即

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{pm}{RT} \quad (1-3)$$

在化工生产中所遇到的流体, 往往是含有几个组分的混合物。对于液体混合物, 各组分的浓度常以质量分率来表示。现以 1kg 混合液为基准, 则 1kg 混合物的体积等于各组分单独存在时的体积之和, 即

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{x_{wA}}{\rho_A} + \frac{x_{wB}}{\rho_B} + \dots + \frac{x_{wn}}{\rho_n} \quad (1-4)$$

式中

$\rho_A, \rho_B, \dots, \rho_n$ ——各纯组分的密度 kg/m^3 ;

$x_{wA}, x_{wB}, \dots, x_{wn}$ ——各组分的质量分率。

气体混合物的平均密度仍以式 (1-3) 计算, 此时应以气体混合物的平均分子量 M_m 代替式中的气体分子量 M 。而气体混合物的平均分子量 M_m 可按下式计算, 即

$$M_m = M_A y_A + M_B y_B + \dots + M_n y_n \quad (1-5)$$

式中 $M_A, M_B, \dots, M_n$ ——各组分的分子量 kg/kmol

$y_A, y_B, \dots, y_n$ ——各组分的摩尔分率。

二、流体的静压强

流体垂直作用于单位面积上的压力, 称为流体的静压强, 简称压强, 其表达式为

$$p = \frac{P}{A} \quad (1-6)$$

式中 p ——流体的静压强, N/m^2 ;

P ——垂直作用于流体表面的压力, N ;

A ——作用面的面积, m^2 。

在 SI 制中, 压强的单位是 N/m^2 , 称为帕斯卡, 以 Pa 表示。但在习惯上还采用其他单位, 如物理大气压 (atm)、某种流体柱高度 (h)、 bar (巴)、或 Kg (f) /cm^2 等, 它们之间的换算关系为:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 10330 \text{ Kg (f) /m}^2 = 1.033 \text{ kgf/cm}^2 = 1.0133 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$=1.0133 \text{ bar (巴)} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} = 10330 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

工程上为了使用和换算方便,常将 1kgf/cm^2 近似地作为 1 个大气压,称为 1 工程大气压 (at)。于是:

$$\begin{aligned} 1 \text{ at} &= 1 \text{ kgf/cm}^2 = 735.6 \text{ mmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 10^4 \text{ mmH}_2\text{O} \\ &= 9.807 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 0.9807 \text{ bar (巴)}. \end{aligned}$$

设备内某种流体的压强可用测压仪表来测量。测量时有二种可能,一种为设备内是正压,即高于大气压;另一种为负压,即低于大气压,也叫真空度。

当被测流体的绝对压强大于外界大气压强时,则压强表上的读数表示被测流体的绝对压强比大气压强高出的数值,称为表压强。如图 1—1 所示,即

$$P_{\text{绝}} = P_{\text{大}} + P_{\text{表}}$$

$$\text{或} \quad P_{\text{表}} = P_{\text{绝}} - P_{\text{大}}$$

当被测流体的绝对压强低于外界大气压强时,则压强表上的读数表示被测流体的绝对压强低于大气压的读数,称为真空度。如图 1—2 所示,即

$$P_{\text{绝}} + P_{\text{真}} = P_{\text{大}}$$

$$\text{或} \quad P_{\text{真}} = P_{\text{大}} - P_{\text{绝}}$$

为了避免绝对压强,表压强,真空度三者相互混淆,在以后的讨论中规定,对表压强和真空度均加以标注。

三、流体静力学基本方程式

流体静止是研究流体在重力和压力作用下的平衡,这时流体处于相对静止状态。静力学基本方程式是用于描述静止流体内部的压力沿着高度变化的数学表达式。对不可压缩的流体,密度不随压力变化,静力学基本方程用下法推导。

在静止流体内部任取一垂直的流体柱,如图 1—3 所示。液柱的横截面积为 A ,液体密度为 ρ ,基准面为容器底部,液柱上、下底距基准面距离为 Z_1 和 Z_2 , Z_1 和 Z_2 处压强为 p_1 和 p_2 。

垂直作用于液柱上的力为

$$(1) \text{ 整个液柱的重量 } W = \rho g A (Z_1 - Z_2);$$

$$(2) \text{ 作用于上底面的压力 } p_1 \cdot A;$$

$$(3) \text{ 作用于下底面的压力 } p_2 \cdot A.$$

在静止流体内,液柱受合力为零,即

$$p_2 A = p_1 A + \rho g A (Z_1 - Z_2)$$

化简消去 A , 得

$$p_2 = p_1 + \rho g (Z_1 - Z_2) \quad (1-7)$$

为讨论方便,将式 (1—7) 适当变换,即将液柱的上底面取在容器的液面上,设液面上的压强为 p_0 ,下底面取在距液面为 h 的距离处,在此处压强为 p ,则 $p_1 = p_0$, $p_2 = p$, $Z_1 - Z_2 = h$ 。式 (1—7) 改写为

$$p = p_0 + \rho g h \quad (1-7a)$$

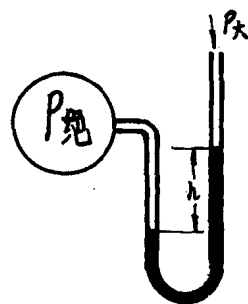


图 1—1 $P_{\text{绝}} > P_{\text{大}}$

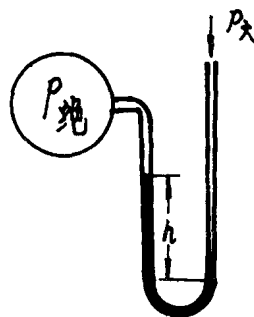


图 1—2 $P_{\text{绝}} < P_{\text{大}}$

式(1-7)、式(1-7a)称为流体静力学基本方程式,说明在重力作用下,静止液体内部压强的变化规律。

由式(1-7a)可知:

(1) 在静止、连续的同一流体内部,处于同一水平面上各点的压强相等。

(2) 在静止,连续的同一流体内部,压强大小随其深度的改变而改变。

(3) 在静止,连续的同一流体内部的压强大小,随外压 p_0 的改变而改变。

(4) 式(1-7a)可改写为 $h = \frac{p - p_0}{\rho g}$, 该式说明压强的大小可以用一定流体柱高度表示。当用液柱高度表示压强和压强差时,必须注明是何种液体,否则就失去了意义。

值得注意的是,式(1-7), (1-7a) 只能用于静止的连通着的同一种流体内部,因为它们是根据静止的同一种连续的液柱导出的。如图1-4所示。当 $p_1 > p_2$ 时,则U型管压差计上读数为 R 。此时要确定等压面:

1-1'面,虽是同一水平面,但不是连续的同一流体,因此不是等压面。2-2'面,同上理也不是等压面。

3-3'面,同一水平面的连续的同一种流体。因此3-3'面为等压面。

例1-1 293K 98% H_2SO_4 10吨,其体积为若干 m^3 ?

解 从附录中查得 H_2SO_4 的比重为 1.84 则

$$\rho = 1.84 \times 1000 = 1840 \text{ kg/m}^3.$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{故} \quad V = \frac{10000}{1840} = 5.43 \text{ m}^3$$

例1-2 0.1 m^3 293K 的汞的质量为多少 kg?

解 从附录中查汞的比重为 13.6 则

$$\rho = 13.6 \times 1000 = 13600 \text{ kg/m}^3;$$

$$m = \rho \cdot v$$

$$m = 13600 \times 0.1 = 1360 \text{ kg}$$

例1-3 已知甲醇水溶液中,其组成为甲醇 90%, 水为 10% (质量百分数)。求此水溶液在 293K 时的密度为若干 kg/m^3 ?

解 令甲醇 (第一组分) 水 (第二组分)

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{x_{w1}}{\rho_1} + \frac{x_{w2}}{\rho_2}$$

从附录查得 $\rho_1 = 792 \text{ kg/m}^3$; $\rho_2 = 998 \text{ kg/m}^3$

则

$$\rho_m = \frac{1}{\frac{x_{w1}}{\rho_1} + \frac{x_{w2}}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0.9}{792} + \frac{0.1}{998}}$$

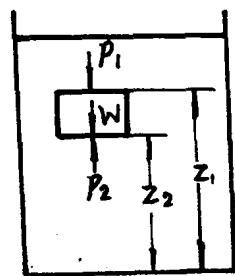


图1-3
静力学基本方程式推导

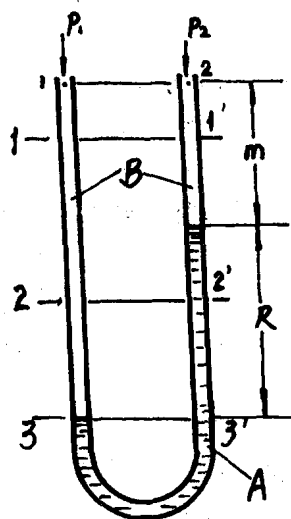


图1-4 等压面的确定

$$\rho_m = 1/0.001235 = 811 \text{ kg/m}^3.$$

例 1—4 已知空气的组成为 21% 的 O_2 和 79% 的 N_2 (均为体积百分数), 试求在 100kN/m^2 和 300K 时空气的密度。

解 由混合气体的密度为 $\rho_m = \frac{pM_{\text{均}}}{RT}$

空气为混合气体

$$M_{\text{均}} = M_1y_1 + M_2y_2 = 32 \times 0.21 + 28 \times 0.79$$

$$M_{\text{均}} = 28.8 \text{ kg/kmol}$$

已知 $p = 100 \text{ kN/m}^2$; $T = 300\text{K}$;

$$R = 8.314 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K};$$

$$\text{则 } \rho_m = \frac{100 \times 28.8}{8.314 \times 300} = 1.15 \text{ kg/m}^3$$

例 1—5 流体压强为 750mmHg , 求 p 以 kN/m^2 表示的读数, 和以水柱表示时的读数。

解 已知 $h = 750\text{mmHg} = 0.75\text{mHg}$

$$\text{则 } p = h\rho g = 0.75 \times 13600 \times 9.81 = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{由 } p = h_{\text{汞}} \cdot \rho_{\text{汞}} \cdot g = h_{\text{水}} \cdot \rho_{\text{水}} \cdot g;$$

$$h_{\text{水}} = h_{\text{汞}} \cdot \frac{\rho_{\text{汞}}}{\rho_{\text{水}}} = 0.75 \frac{13600}{1000} = 10.2 \text{ m}.$$

例 1—6 在兰州操作的精馏塔顶的真空度为 620mmHg , 问在天津操作时, 如要维持相同的绝对压强, 其真空度应为若干 mmHg ? 兰州地区的大气压强为 640mmHg , 天津地区的大气压强为 760mmHg 。

解 在兰州地区的条件, 其塔顶的绝对压强为 $p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} - p_{\text{真}} = 640 - 620 = 20 \text{ mmHg}$ 在天津操作时, 维持同样的绝对压强, 则

$$p_{\text{真}} = p_{\text{大}} - p_{\text{绝}} = 760 - 20 = 740 \text{ mmHg}$$

例 1—7 装在某设备进口和出口的压强表的读数分别为 $4 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$ 和 $2 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$, 试求此设备进出口之间的压强差为若干 kN/m^2 ? 设当时的大气压强为 $1 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$ 。

解 由 $p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} - p_{\text{表}}$

设备进口处的绝对压强为

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{\text{大}} + p_{\text{表}} = 1 + 4 = 5 \text{ kgf/cm}^2 \\ &= 5 \times 10^4 \times 9.81 = 490.5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

设备出口处的绝对压强为

$$\begin{aligned} p_2 &= p_{\text{大}} + p_{\text{表}} = 1 + 2 = 3 \text{ kgf/cm}^2 \\ &= 3 \times 10^4 \times 9.81 = 294.3 \text{ kN/m}^2 \\ \Delta p &= p_1 - p_2 = 490.5 - 294.3 = 196.2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

又解

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= (p_{\text{大}} + p_{\text{表}1}) - (p_{\text{大}} + p_{\text{表}2}) \\ &= p_{\text{表}1} - p_{\text{表}2} \\ &= 4 - 2 = 2 \text{ kgf/cm}^2 = 196.2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

由上例可知, 两处的表压差等于绝压差。如已知两处的表压求绝压差, 不用先算出两处的绝压, 可直接用表压差计算。