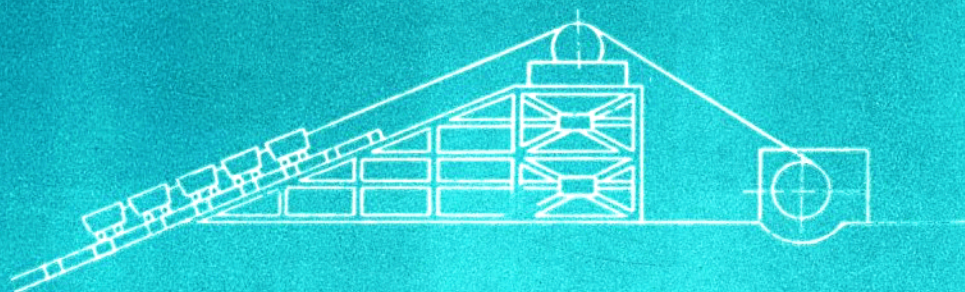




煤矿技工学校试用教材

矿山机械



煤炭工业出版社

煤矿技工学校试用教材

矿山机械

何增祥 秦晓祥 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是根据全国煤矿技工学校编审委员会制定的教学计划和大纲的要求编写的。全书共有5章，第一章简要叙述了流体力学的基础知识，第二、三、四和五章详细介绍了矿山排水、矿山通风、矿山空气压缩设备和提升设备的结构、工作原理、性能特点、技术参数测定及维修方法等。

本书为全国煤矿技工学校试用教材，亦可供矿山职工培训和工人自学使用。

煤矿技工学校试用教材

矿山机械

何增祥 秦晓祥 编

责任编辑：顾建中

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京密云春雷印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 11³/₄

字数 278 千字 印数 36,151—39,150

1992 年 9 月第 1 版 2005 年 8 月第 10 次印刷

ISBN 7-5020-0660-5/TD·605

社内编号 3429 定价 15.70 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，本社负责调换

前 言

为了适应煤矿技工学校教学改革的需要,加速技工人材的培养,促进煤炭工业现代化生产建设的发展和技术进步,全国煤矿技工教材编审委员会于1989年召开了第二次全体会议,确定以“七·五”教材建设为基础,按照“补齐、配套、完善、提高”,突出基本理论、基本知识教学和基本技能训练的原则,编制了“八·五”技工教材规划。这套教材包括:《机械制图》、《综采工作面采煤机》、《煤矿开采方法》、《机械化掘进工艺》、《矿井地质》、《矿山测量》等共计70余种,将陆续出版发行。

这套教材主要适用于全国煤矿技工学校,也适合具有初中文化水平的工人自学和工程技术人员参考。

《矿山机械》是这套教材中的一种,是根据修订后的“八·五”期间全国煤矿技工学校统一教学计划和教学大纲编写的,并由全国煤矿技工教材编审委员会组织审定和认可,是全国煤矿技工学校电钳专业必备的统一教材。

该教材由辽宁煤炭基本建设技工学校何增祥同志和邯邢煤炭基本建设技工学校秦晓祥同志编写,中国统配煤矿总公司第一建设公司王升同志担任主审,辽宁煤炭基本建设技工学校、邯邢煤炭基本建设技工学校、淮北煤炭基本建设技工学校的有关教师和工程技术人员参加了审定工作,全国煤矿技工教材编审委员会的有关同志具体组织并参加了审定和修改工作。

由于时间仓促,经验不足,书中难免有不当之处,请用书单位和读者提出批评指正。

全国煤矿技工教材编审委员会

1991年11月16日

目 录

前 言

第一章 流体力学基础	1
第一节 概述	1
第二节 流体静力学基础	4
第三节 流体动力学基础	9
第四节 液体的流动和损失水头	13
思考题与习题	15
第二章 矿山排水设备	16
第一节 离心式水泵的工作原理	16
第二节 离心式水泵的构造	23
第三节 离心式水泵的运行、检修和性能测定	31
第四节 离心式水泵联合运转	37
思考题与习题	38
第三章 矿山通风设备	39
第一节 通风机的工作原理	39
第二节 矿用通风机的结构	45
第三节 矿井通风机的运行与检修	53
思考题	58
第四章 矿山空气压缩设备	59
第一节 活塞式空压机的工作原理	59
第二节 活塞式空压机及其附属装置	63
第三节 活塞式空压机的运行与检修	75
思考题	81
第五章 矿山常用提升设备	82
第一节 概述	82
第二节 提升容器及有关设备	85
第三节 提升钢丝绳	98
第四节 井架与天轮	107
第五节 提升机的工作原理	111
第六节 KJ型缠绕式矿井提升机	117
第七节 JKA型矿井提升机	132
第八节 JK型矿井提升机	141
第九节 JKM型多绳摩擦式矿井提升机	161
第十节 矿井提升设备的运行和检修	172
思考题	178
附 录 排水设备、通风设备和压气设备通用部件的完好标准(摘录)	180
参考文献	183

第一章 流体力学基础

第一节 概 述

一、流体力学研究的对象和任务

流体是液体和气体的总称。它们的共同特点是不能象固体那样单独地保持一定的形状，而且具有流动性。因此，流体力学是研究流体的平衡和运动规律的科学。它用理论分析与实验相结合的方法，建立起流体中的作用力、运动速度和压强之间的关系，并用得到的规律解决工程实际中的问题。

我们学习流体力学基础的目的，是为学习矿山排水、通风和压风设备等专业知识提供必要的理论基础。

二、单位制

计量什么物理量都必须有一个标准，物理量的计量就是将被量度的量与标准量进行比较，以确定被量度的物理量为标准量的多少倍，通常该标准量为单位尺度，或简称尺度。一般说来，物理量的计量单位是可以任意选择的，由于某些物理量之间存在着相互联系，我们可以用一些物理量的单位来量度另一些物理量，例如选定了长度和时间单位后，速度和加速度的量度就可以用长度和时间组合起来的单位来计量。这样，对某些量选定了独立的基本单位后，其它量的单位就可以通过基本单位来组合。组合后的单位称为导出单位。基本单位和导出单位的总和称为单位制。

本书采用法定计量单位。考虑到我国以前的技术资料和使用习惯，便于相互换算，将一些常用物理量的各单位制换算关系列入表1-1。

表 1-1 常用物理量的单位换算

物理量名称	法定单位制		工程单位制		换算关系
	名 称	符 号	名 称	符 号	
长 度	米	m	米	m	
时 间	秒	s	秒	s	
质 量	千 克	kg	质量工程单位	kgf·s ² /m	
力	牛 顿	N	公斤力	kgf	1kgf = 9.81N
压 强	帕 斯 卡	Pa	公斤力/厘米 ²	kgf/cm ²	1kgf/cm ² = 9.81 × 10 ⁴ Pa
密 度	千克/米 ³	kg/m ³	密度工程单位	kgf·s ² /m ⁴	1kgf·s ² /m ⁴ = 9.81kg/m ³
粘 度	帕 · 秒	Pa·s	公斤力·秒/米 ²	kgf·s/m ²	1kgf·s/m ² = 9.81Pa·s
能, 功	焦 耳	J	公斤力·米	kgf·m	1kgf·m = 9.81J
功 率	瓦	W	公斤力·米/秒	kgf·m/s	1kgf·m/s = 9.81W

三、流体的主要物理性质

流体在不同外力作用下，为什么具有一定的平衡和运动规律呢？主要是流体本身具有的特性所决定。因此研究流体的平衡和运动规律时，对流体的主要物理性质要有所了解。

(一) 密度和重度

单位体积内所具有的流体质量, 叫做流体的密度, 用符号 ρ 表示。

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

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

v ——流体的体积, m^3 ;

m ——体积 v 内所具有的流体质量, kg 。

单位体积内所具有的流体重量, 叫做流体的重度, 用符号 γ 表示。

$$\gamma = \frac{G}{v} \quad (1-2)$$

式中 γ ——流体的重度, N/m^3 ;

G ——流体的重力, N 。

根据重力和质量的关系, 重度和密度具有下列关系:

$$\gamma = \rho g \text{ 或 } \rho = \frac{\gamma}{g}$$

式中 g ——重力加速度, 取 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

工程技术中, 常见的几种液体的密度、重度见表1-2。

表 1-2 几种液体的重度和密度

液体名称	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	密度 (kg/m^3)	重度 (N/m^3)
清水	4	1001	9810
矿井水	15	1051	10300
汽油	15	700~750	6867~7358
柴油	15	876	8584
润滑油	15	890~920	8731~9025
液压油	15	863~903	8437~8829
酒精	15	890~801	7750~7848
水银	15	13597	133416

(二) 压缩性和膨胀性

如果流体温度不变而作用于流体上的压力增加时, 则流体的体积就会减小, 密度增大, 这一性质叫做流体的可压缩性。

流体的体积随温度的升高而膨胀的性质叫做流体的膨胀性。

压力和温度对液体的体积影响甚微, 即液体的压缩性和膨胀性都极小, 工程技术中, 一般可以不予考虑, 但在特殊情况下, 如水击作用和高压液压系统中, 就必须考虑。

(三) 粘性

当流体在外力作用下运动时, 一般流体各层的运动速度不相等, 由于分子间有内聚力, 因此在流体的内部产生内摩擦力, 以阻止流层间的相对滑动, 流体的这种性质称为粘性。

粘性的大小用粘度表示。

1. 动力粘度

在其一平方米的接触面上，所发生的相互作用力（内摩擦力）的大小，称为动力粘度，用符号 μ 表示。

动力粘度 μ 的单位，我国的法定单位是 $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ （牛顿·秒/米²）或 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ （帕·秒）。

2. 运动粘度

运动粘度是流体的动力粘度与密度在一个标准大气压，相同温度条件下的比值，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-3)$$

式中 ν ——运动粘度， m^2/s ；
 μ ——动力粘度， $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ；
 ρ ——流体的密度， kg/m^3 。

运动粘度的法定单位与工程单位相同，都是 m^2/s ，其它单位换算见表1-1。

表1-3、1-4给出了水和空气在不同温度下的重度和运动粘度值。

表 1-3 水在不同温度时的重度和运动粘度

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	重 度 γ (N/m^3)	运 动 粘 度 ν (cm^2/s)
0	9808.63	0.0179
10	9807.23	0.0130
15	9801.37	0.0114
20	9694.54	0.0100
30	9764.58	0.0086
40	9733.87	0.0066
60	9645.58	0.0047
80	9532.05	0.0036
100	9401.71	0.0029

表 1-4 空气在不同温度时的重度和运动粘度

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	重 度 γ (N/m^3)	运 动 粘 度 ν (cm^2/s)
0	11.684	0.137
10	12.232	0.147
15	12.027	0.152
20	11.821	0.157
30	11.449	0.166
40	10.066	0.176
60	9.816	0.196

3. 相对粘度

它是用特定的仪器在规定的条件下直接测出来的粘度。根据测量条件的不同，各国采用的相对粘度也不一样。美国常采用赛氏粘度（ssu），英国常采用雷氏粘度（ $^{\circ}\text{R}$ ），我国通常采用恩氏粘度（ $^{\circ}\text{E}$ ）。

恩氏粘度是用恩氏粘度计测出来的。即在一定的温度下，使200ml的被测液体，在自重作用下，从圆筒中经直径2.8mm的小孔流出所需的时间与20 $^{\circ}\text{C}$ 时同体积蒸馏水流过上述仪器所需的时间比值就是恩氏粘度，用符号 $^{\circ}\text{E}$ 表示。即

$$^{\circ}E = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-4)$$

式中 t_1 ——200ml的被测液体流过恩氏粘度计小孔所需的时间, s;

t_2 ——200ml的蒸馏水在20℃时流过恩氏粘度计小孔所需的时间, s。

温度 t 时的恩氏粘度用符号 $^{\circ}E_t$ 表示。

第二节 流体静力学基础

一、流体静压强及其特性

(一) 流体静压强

垂直于作用面、指向物体内部的力称为压力。单位面积上作用面承受的压强称为压强。

设流体的某截面 s 上承受的压力为 P , 则流体的静压强 p 可表示为:

$$p = \frac{P}{s} \quad (1-5)$$

式中 p ——流体的静压强, N/m²;

P ——截面 s 上承受的压力, N;

s ——流体的某截面, m²。

我国法定的压强单位为Pa (帕)。由于此单位太小, 在工程上使用不便, 因此常使用千帕 (kPa) 和兆帕 (MPa)。

$$1\text{MPa} = 1 \times 10^3 \text{kPa} = 1 \times 10^6 \text{Pa}$$

(二) 流体静压强的特性

流体静压强有两个重要特性。

1) 流体静压强的方向总是垂直于作用面, 并指向作用面, 这一特性可直接由流体的性质来说明。流体只能保持一定体积, 不能保持固定的形状, 不能承受拉力和剪切力。因为即使在微小的剪切力作用下, 就会产生变形, 引起质点的相对运动, 从而破坏了流体静止的条件。所以静止的流体不能承受拉力和剪切力, 而只能承受压力, 其方向总是垂直作用面, 指向作用面。

2) 静止的流体中任何一点所受到各个方向的静压强均相等。这一特性也很容易说明。如果流体中某一点所受到各个方向的压力不相等, 那么在平衡力的作用下, 流体就要流动, 这同样破坏了流体的静止条件。因此在静止的流体中作用于任一点的各个方向的静压强必然相等。

二、流体静力学基本方程式

(一) 基本方程式

静力学基本方程式是研究在自由液面 (所谓自由液面是指液体和外界气体或真空之间的分界面) 下任意一点处流体静压强公式。

如图1-1所示, 容器中盛有液体, 在液面上作用有压强 p_0 , 现求离液面 h 处A点的压强。从静止的液体中取出一个与轴线垂直并底面包含A点的小圆柱体作为隔离体, 它在重力和压力的作用下保持静止状态, 显然, 该小圆柱体所受的轴向外力之和等于零。

现分析小圆柱体的受力情况:

作用在上表面上的力 $p_0 \Delta S$, 方向向下;
 受重力 $G = \gamma \Delta S (Z_0 - Z)$, 方向向下;
 下部液体对液柱的支撑力 $p \Delta S$, 方向向上。

作用在液柱周围且垂直液柱表面的力, 因为它们围绕液柱作对称分布而且大小相等, 所以相互平衡。因此沿液柱垂直轴线的平衡方程式为:

$$p_0 \Delta S + \gamma \Delta S (Z_0 - Z) - p \Delta S = 0$$

消去上式各项中的 ΔS 并移项得

$$p = p_0 + \gamma (Z_0 - Z)$$

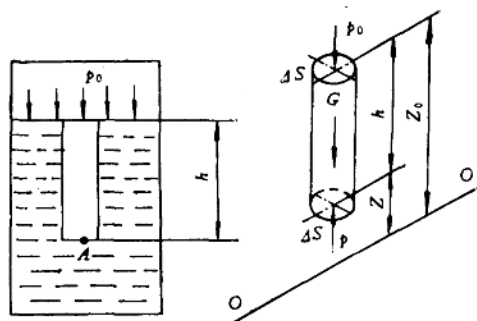


图 1-1 液体某点处的压强

$$\text{或} \quad p = p_0 + \gamma h \quad (\text{N/m}^2) \quad (1-6)$$

式中 p ——静止液体中某点的静压强;

p_0 ——外界作用在液面上的压强;

Z_0, Z ——圆柱体上下两端对某基准面 $O-O$ 的高度;

h ——圆柱体的高度。

式1-6为流体静力学基本方程式。它表明静止液体中任一点的静压强等于表面压强加上该点距液体自由面距离与液体自重的乘积。

式1-6还可表示为

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + (Z_0 - Z)$$

$$\text{或} \quad \frac{p}{\gamma} + Z = \frac{p_0}{\gamma} + Z_0 = \text{常数} \quad (1-7)$$

式中 $\frac{p}{\gamma}$ ——A点单位重量的液体的压力能, 称为压力水头;

Z ——A点单位重量液体的位置能, 称为位置水头。

式1-7是流体静力学基本方程式的另一种形式。它表明静止液体中单位重量液体的压力能和位置势能可以相互转换, 但各点的总能量却保持不变, 即能量守恒。

式1-6中, 当液面与大气相接触时, p_0 为大气压强 p_a , 故有

$$p = p_a + \gamma h \quad (1-8)$$

(二) 压强的表示方法

1. 绝对压强、相对压强和真空度

绝对压强: 以真空为基准的压强称为绝对压强, 用符号 p_1 表示, 即

$$p_1 = p_a + \gamma h$$

相对压强 (表压强): 以环境压强 p_a (一般指大气压) 为基准的压强称为相对压强或表压强, 用符号 p_x 表示, 即

$$p_x = p_0 - p_a + \gamma h$$

当自由面上的压强 p_0 等于大气压强时, 则

$$p_x = \gamma h \quad (1-9)$$

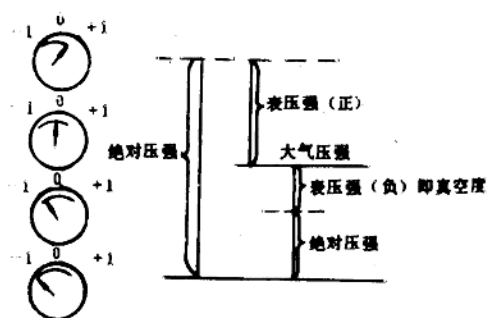


图 1-2 绝对压强与相对压强的关系

真空度：绝对压强小于环境压强时，表压强为负值。负的表压强的绝对值称为真空度。用符号 p_k 表示，即

$$p_k = p_a - p_j \quad (1-10)$$

以上压强的关系如图1-2所示。

2. 压强的计算单位

1) 压强单位用作用在单位面积上的力表示，其法定单位为 N/m^2 ，工程单位为 kgf/m^2 。

2) 压强单位用大气压表示，一个标准大气压 $p_a = 101325 N/m^2$ ，用符号 atm 表示。

在工程上一个大气压为 $p_a = 98100 N/m^2$ ，用符号 at 表示。

3) 压强单位用液柱高表示，以水柱或水银柱高度表示压强的大小。

$$\text{因 } p_x = \gamma h \text{ 则 } h = \frac{p_x}{\gamma}$$

上式说明了一定的压强对应于一定的液柱高度，液体不同，液柱高 h 就不同。压强可用不同的液柱高度表示。如一个工程大气压用水柱和水银柱分别表示为

$$h_{*} = \frac{p_a}{\gamma} = \frac{98100}{9810} = 10 (\text{mH}_2\text{O})$$

$$h_{*H} = \frac{p_a}{\gamma} = \frac{98100}{133416} = 735 (\text{mmHg})$$

例1-1 某矿井的水泵排水压强为8个大气压，试用法定单位、工程单位、水柱高或水银柱高表示其压强，并求绝对压强。

解 绝对压强：

$$p_1 = p_a + p_x = 1 + 8 = 9 \text{ (大气压)}$$

法定单位：

$$p = 8 \times 98100 = 784800 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

工程单位

$$p_x = 8 \times 10000 = 80000 \text{ (kgf/m}^2\text{)}$$

水柱高

$$h_{*} = \frac{p}{\gamma_{*}} = \frac{8 \times 10000}{1000} = 80 \text{ (m)}$$

水银柱高

$$h_{*H} = \frac{p}{\gamma_{*H}} = \frac{8 \times 10000}{13600} = 5.88 \text{ (m)}$$

三、等压面与连通器

1. 等压面

由流体静力学基本方程式可知，在重力作用下的静止液体中，距任一基准面的高度 h 相等的各点，压强也是相等的。这个相等的点所组成的面叫等压面，如图1-3所示。

图1-3a所示为盛满水的容器，玻璃管中的水与容器中的水是连通的，因此，任何一个水平面都是等压面。图1-3b所示为盛有煤油 and 水的容器， $A'-A'$ 上面是煤油，下面是水。 $A-A$ 虽是水平面，但由于此平面通过两种液体（容器中是油，管中是水），因而不是等压面，只有 $A'-A'$ 是等压面。

2. 连通器

所谓连通器，就是互相连通的两个或几个容器，如图1-4所示。

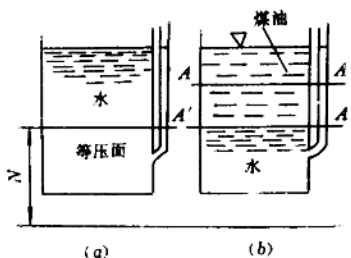


图 1-3 等压面

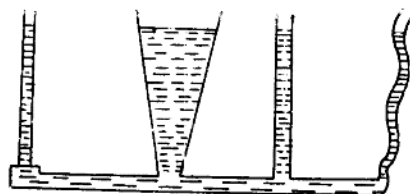


图 1-4 连通器

例1-2 有一个两端开口的连通器，如图1-5所示。其大直径端装有汞，小直径端上部，装有水，处于平衡状态。已知分界面上水柱高 $h_1 = 0.2\text{m}$ ，试求水银柱高 h_2 。

解 通过两种液体的分界线1-1的延线到2-2面，这两个面是等压面。

设表面压强为 p_0 ，两侧液体的静力学方程式为

$$p_1 = p_0 + \gamma_1 h_1 \quad \gamma_1 = 9810 \text{ N/m}^2$$

$$p_2 = p_0 + \gamma_2 h_2 \quad \gamma_2 = 133416 \text{ N/m}^2$$

因为两侧为等压面，所以 $p_1 = p_2$

$$p_0 + \gamma_1 h_1 = p_0 + \gamma_2 h_2 \quad \gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2$$

$$h_2 = \frac{\gamma_1 h_1}{\gamma_2} = \frac{9810 \times 0.2}{133416} = 0.0147 \text{ (m)}$$

四、帕斯卡定理

在密闭容器内的平衡液体中，任意一点的压强如有变化，这个压强的变化值将传给液体中的所有各点，而且其值不变。这就是帕斯卡定理。

帕斯卡定理在机械工程中得到广泛应用，例如液压机、液压起重机、液压制动器等都是根据帕斯卡定理进行工作的。

图1-6所示为液压千斤顶的工作原理图。在两个互相连通的密封油缸中装有油液，在油缸的上部装有活塞，大小活塞的面积各为 S_1 和 $S_2(\text{m}^2)$ ，在大活塞上放有重物 W ，如在小活塞上加力 $p_1(\text{N})$ ，在小油缸中油液的压强 p 为

$$p = \frac{p_1}{S_1} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

根据帕斯卡定理，这一压强 p 将要等值的传递到液体中的所有各点去，这时在大活塞上所受的作用力 p_2 为

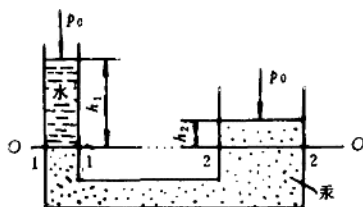


图 1-5 连通器应用

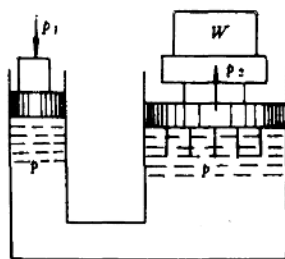


图 1-6 液压千斤顶工作原理图

$$p_2 = p_1 S_1 = p_1 \frac{S_2}{S_1} \quad (\text{N})$$

从上式可以看出：当 $S_2 > S_1$ 时 $p_2 > p_1$ ，即水压机产生较大的作用力， p_2 如果足以克服重物 W 所产生的外力，就可以将重物抬起。

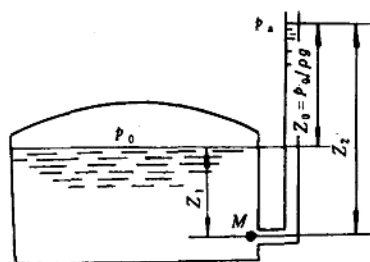


图 1-7 液柱测压工作原理

五、压强的测量

测量压强的仪表称为测压计。测压计有两类，一类是可以测量较高压强的金属压强表（通称压力表），另一类是测量较低压强的液柱式测压计。做成直管形式的称为测压管，做成U形的称U形测压计。

现在我们讨论液柱式测压计工作原理，在储有油液的容器上M点装有一玻璃测压管，测压管上端开口与大气连通，如图1-7所示。我们可以看到油液充入测压管，到一定高度后保持稳定。

从测压管方面分析，M点的压强为

$$p_M = p_a + \gamma Z_2 = \gamma Z_2 = \gamma (Z_1 + Z_0)$$

或

$$Z_2 = \frac{p_M}{\gamma}$$

这说明M点的压强与 Z_2 有关，读出 Z_2 可以求得 p_M 。

从容器方面来分析，M点的压强为

$$p_M = p_0 + \gamma Z_1$$

由此可得

$$p_0 + \gamma Z_1 = p_M = \gamma (Z_1 + Z_0)$$

即

$$p_0 = \gamma Z_0$$

或

$$Z_0 = \frac{p_0}{\gamma}$$

容器液面的压强 p_0 与测压管内 Z_0 高度有关，读出 Z_0 即可算得 p_0 。由此可见液柱高度可以精确地反映压强的大小，所以在流体力学中也常用液柱高度来作低压压强的单位，例如mmHg（毫米汞柱）或mH₂O（米水柱）。

* 在受力计算中采用表压强，即把大气压强作为零值： $p_a = 0$ 。

根据测量对象和测量精度要求可以采用不同型式的液柱式测压计,除了测压管外,用得较广的是U形测压计。U形测压计不仅可以测量正的表压强,而且可以测量真空度,还可以测量压差。U形测压计中的测压介质可用汞、油、水、酒精,四氯化碳等,原则是不能与被测液体混和,并且液柱高度适中,如图1-8所示,

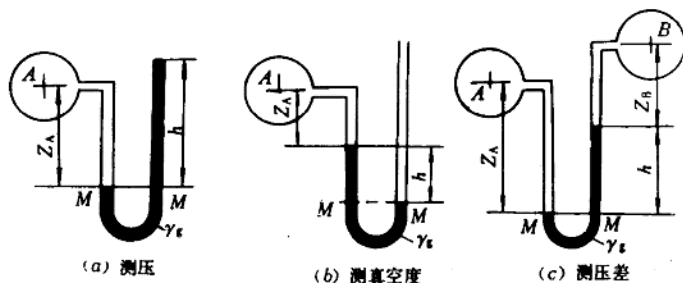


图 1-8 U形测压计

当测量很小压强时,为了放大读数,提高测量精度,采用斜管式测压计,如图1-9所示。

由于 $l = \frac{h}{\sin \theta}$, 即使液柱 h 很小,

只要 θ 角较小 l 读数仍可较大,所以它可以测出微小的压强,通常也称微压计。

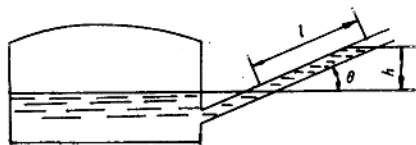


图 1-9 微压计

第三节 流体动力学基础

流体动力学研究流体运动的一般规律及其在工程上的实际应用。

引起流体运动的原因是作用于流体上的力,例如重力、压力等。通常在解决问题时这些力都是已知的,待求要素是流体某一点的压强和流速。

一、流体动力学的基本概念

(一) 稳定流动和非稳定流动

流体在流动时,若流体中任何一点的压强和流速都不随时间变化,这种流动称为稳定流动。压强、流速随时间而变化的流动称为非稳定流动。本节主要叙述稳定流动时基本方程。

(二) 理想流体与实际流体

为了便于导出基本方程式,常假设流体既无粘性,又不可压缩,这样的流体称为理想流体。实际上流体是既有粘性,又可压缩的。

(三) 通流截面,流量和平均流速

垂直于流体流动方向的截面称为通流截面,也叫过流断面。

单位时间内流过某通流截面的流体体积称为流量,用符号 Q 表示,即

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1-11)$$

式中 Q ——流量, l/s 、 m^3/min ;

V ——流体的体积, l、 m^3 ;

t ——通过体积 V 所需要的时间, s、min。

在通流截面上, 流速的分布是不均匀的, 如图1-10所示。因此在其上每一点的流速是难以确定的, 在实际应用中要引入通流截面平均流速的概念。即在过流截面上各点的实际流速的平均值。用符号 v 表示, 即

$$v = \frac{Q}{S} \quad (1-12)$$

式中 v ——平均流速, m/s;

Q ——流量, m^3/min ;

S ——通流截面积, m^2 。

(四) 流体的连续性方程

流体的可压缩性很小, 在一般情况下, 可以认为是不可压缩的。当流体在管道内作稳定流动时, 根据质量守恒定理, 管内流体的质量不会增多也不会减少, 在单位时间内流过每一截面的流体质量必然相等, 如图1-11所示。

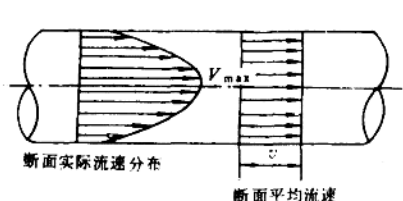


图 1-10 流速分布

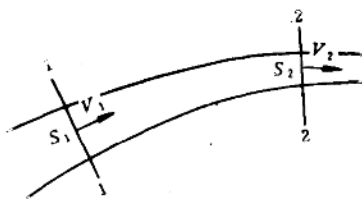


图 1-11 稳定流动时的流体

设管道的两个通流截面积分别为 S_1 、 $S_2(m^2)$, 流速分别为 v_1 、 $v_2(m/s)$, 密度为 $\rho(kg/m^3)$, 则有

$$\rho v_1 S_1 = \rho v_2 S_2 = \text{常数}$$

或

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 = \text{常数} = Q \quad (1-13)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

式1-13称为流体的连续性方程。它说明了在同一管路中无论通流面积怎样变化, 只要没有泄漏, 流体通过任一截面的流量是相等的; 同时还说明了在同一管路中通流面积大的地方流体的流速小, 反之流速大; 此外, 当通流面积一定时, 通过的流体流量越大, 其流速也越大。

例1-3 有一矩形通风管路, 高 $h = 0.3m$, 宽 $b = 0.5m$, 如果管路内空气的流断面平均流速 $v = 7m/s$, 求通风管路空气的流量 Q 。

解 由式1-13可知:

$$Q = Sv = 0.3 \times 0.5 \times 7 = 1.05 (m^3/s)$$

例1-4 有一圆形管路, 如图1-12所示。在1-1断面处, 直径 $d_1 = 200mm$, 通流截面的平均流速 $v_1 = 0.25m/s$; 在2-2断面处, 直径 $d_2 = 100mm$, 求2-2断面处的通流截面平均流

速 v_2 。

解 由式1-13可知:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

因 $S_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2, S_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2$

$$v_2 = v_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} = 0.25 \times \frac{0.2^2}{0.1^2} = 1 \text{ (m/s)}$$

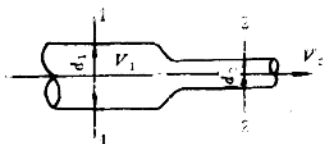


图 1-12

二、理想流体动力学基本方程

理想流体动力学方程也就是伯努利方程,它是研究流体运动时其位置、流速、压强相互转化的方程。

理想液体没有粘性,它在管内作稳定流动时没有能量损失。根据质量守恒定理,同管道内每一截面上的总能量都是相等的。

如前所述,对于静止的液体,单位重量液体的总能量为单位重量液体的压力能 p/γ 和位置能 Z 之和,对于流动的液体,除以上两项外,还有单位重量液体的动能: $\frac{1/2mv^2}{mg} =$

$$\frac{v^2}{2g}$$

如图1-13所示,任取两个截面 S_1 、 S_2 ,它们距离基准面 $O-O$ 的位置分别为 Z_1 、 Z_2 ,流速分别为 v_1 、 v_2 ,压强分别为 p_1 、 p_2 ,根据能量守恒定理有

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1-14)$$

由于两截面是任意取的,故上式可写为:

$$\frac{p}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2g} = \text{常数} \quad (1-15)$$

以上两式即为理想液体伯努利方程。由于式中每一项的量纲都是长度单位,所以分别称为压力水头,位置水头和速度水头。

伯努利方程的物理意义为:在管道内作稳定流动的理想液体具有压力能,位能和动能。在任一截面上这三种能量都可以相互转化,但其总和却保持不变。静压基本方程是伯努利方程在流速为零时的特例。

三、实际液体的流体动力学方程

上面我们对理想液体进行了分析,实际液体是有粘性和可压缩的,在运动时由于摩擦要损耗一部分能量,如果把这部分能量损耗用损失水头 h_w 表示,式1-14可以写成:

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_w \quad (1-16)$$

式1-16就是实际流体动力学方程(实际流体伯努利方程)。

四、流体动力学方程的应用

例1-5 求离心式水泵的吸水扬程。离心式水泵的轴心到吸水井水面之间的垂直高度叫吸水扬程,用 H_x 表示,如图1-14所示。

已知水泵的流量 $Q = 30 \text{ l/s}$,吸水管直径 $d_x = 150 \text{ mm}$,吸水管中的损失水头 $h_w = 0.4 \text{ m}$ 。

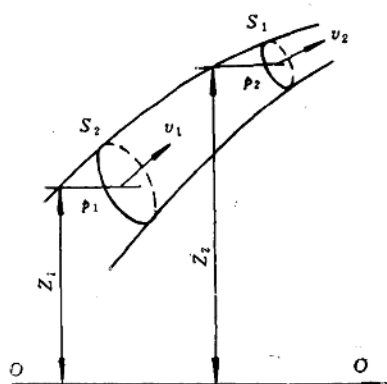


图 1-13 伯努利定理示意图

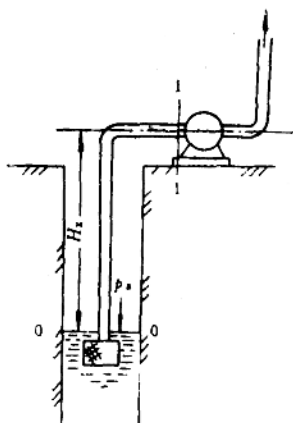


图 1-14 离心水泵吸水扬程示意图

水泵所能产生的吸上真空高度 $\frac{p_z}{\gamma} = 6.8\text{m}$ 。

解 取吸水井水面0—0为基准面，并列0—0、1—1两截面的动力学方程式：

$$\frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + h_0 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_x + h_w$$

因吸水井的水面高度变化不大，可认为 $v_0 = 0$ ， $h_0 = 0$ ，同时 $\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_z}{\gamma}$ （1—1 截面处的压强小于大气压强 $p_a - p_1 = p_z$ ），所以

$$H_x = \frac{p_z}{\gamma} - \frac{v_1^2}{2g} - h_w$$

将已知数据代入

$$v_1 = \frac{Q}{S_1} = 1.7(\text{m/s})$$

$$H_x = 6.8 - \frac{1.7^2}{2 \times 9.81} - 0.4 = 6.24(\text{m})$$

例1-6 计算喷射泵的真空度。喷射泵是由两个圆锥管组成，一个是收缩的，另一个是扩散的，中间喉道部分是间断的，并与一垂直管道相连接，如图1-15所示。

喷射泵的工作原理：水由T管流经收缩段产生很大的流速，而使水流的很大一部分压力能转换为动能，喉道处的压强降低到大气压强以下时便形成真空。在水箱自由面的大气压强作用下，水箱中的水被真空吸上喉道，并和喉道内的高速水流一起经K管流出。

解 取收缩段进口处作为通流截面1—1，其压强 $\frac{p_1}{\gamma}$ 可由测压管得。通流截面2—2取在两圆锥管相接处，基准面设在管轴上，则 $h_1 = h_2 = 0$ ，设液体为稳定流动，压强损失不计，流量不变。伯努利方程可写为：