

高等学校现代建筑技术教材

建筑环境与设备概论

jianzhu huanjing yu shebei gailun

白莉 主编

吉林大学出版社

TU-023/31
2008

高等学校现代建筑技术教材

建筑环境与设备概论

主 编 白 莉
参 编 王春清 石 岩 张淑秘
刘 航 张玉红 李春刚
主 审 冉春雨

吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境与设备概论/白莉主编. —长春: 吉林大学出版社, 2008.4

ISBN 978-7-5601-3821-3

I. 建… II. 白… III. ①建筑工程—环境管理②房屋
建筑设备 IV. TU-023 TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 044958 号

书 名: 建筑环境与设备概论

主 编: 白 莉

责任编辑、责任校对: 邵宇彤

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 18 字数: 450 千字

ISBN 978-7-5601-3821-3

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 421 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-88499826

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

封面设计: 创意广告

长春市东文印刷厂 印刷

2008 年 4 月 第 1 版

2008 年 4 月 第 1 次印刷

定价: 38.80 元

内 容 简 介

本书根据现代建筑发展的需要,概述了建筑环境与设备学科的基本原理和基础知识,阐述了建筑环境、建筑供热及热水供应、建筑给排水及消防给水、建筑通风与空气调节、建筑电气等现代建筑环境与设备工程的基本理论和实用技术。为了便于读者掌握,本书对建筑环境与设备工程所涉及的基本原理、基本理论以及相关的工程技术知识也进行了介绍。

本书的编写力求深入浅出、图文并茂、内容丰富。既注重基本原理和必要的理论分析,又尽量收入一些该领域最新的技术成果,同时更突出工程上的实用性。为适应知识更新的要求,本书的计算方法及引用数据全部采用现行的国家标准与规范的有关内容。

本书主要是为普通高等学校建筑与规划、土木工程、建筑环境与设备、环境工程、建筑电气、建筑材料、建筑管理等建筑技术相关专业编写的教科书,也可供从事建筑工程、土木工程、建筑工程管理等领域工程技术人员参考,并可作为建筑设备生产、施工、管理等工作人员的培训教材。

前言

《建筑环境与设备概论》主要介绍了建筑环境、给水排水及消防、供热及热水供应、通风空调与制冷、建筑电气等建筑设备工程的基本知识和实用技术。

近年来随着科学技术的发展和人民生活水平的提高,人们对建筑环境与设备工程的标准、质量及功能的要求也日益提高。《建筑环境与设备概论》的内容涉及多个建筑技术学科,各种建筑技术工程设施共置于建筑物内部或小区,为各类建筑创造舒适、有效、防灾、安全的生活和生产环境,因此建筑设备之间、建筑设备与建筑物之间均存在互相协调的关系。建筑设备自动化、智能化的发展趋势,使我国的建筑环境与设备产业蓬勃兴起。这就要求从事土木工程、建筑工程、建筑环境与设备、建筑电气、建筑材料、建筑工程管理等专业的技术人员掌握一定的建筑环境与设备的基本知识和实用技术。为了适应经济建设的发展需求,便于建筑领域的技术人员掌握该领域的知识和技能,本书简明介绍了建筑环境与设备专业所涉及的流体力学、工程热力学及传热学的基本原理和基础知识,重点介绍了建筑环境、给水排水及消防、通风空调及制冷、供热及热水供应、建筑电气等各种建筑设备技术的综合设计原理、实用技术及施工要求,其目的是便于各专业人员理解和掌握。

近几年来,随着建筑环境与设备领域的不断拓宽及建筑工程技术的飞速发展,出现了许多新产品、新技术,本书也作了相应的介绍。为适应知识更新的要求,本书的计算方法及引用数据全部采用现行的国家标准与规范的有关内容。

本教材推荐学时为 24~48 学时。为便于任课教师根据各校的学时计划、讲授对象及其专业特点自行取舍授课内容,各章自成体系,可灵活取舍。

《建筑环境与设备概论》一书由白莉主编,第一~三章由石岩、李春刚编写,第四、五章由王春清、张淑秘编写,第六章由刘航、张玉红编写,全书承冉春雨教授审阅。

本书在编写过程中曾得到许多同行专家的指导和帮助,在此一并致以诚挚的谢意。限于编者水平,本书难免存在纰漏之处,尚望同行和读者指正。

目 录

第一章 基础知识

第一节 流体力学基本知识	(1)
第二节 传热学基础知识	(20)
第三节 湿空气的热工基础知识	(26)

第二章 建筑环境

第一节 建筑热湿环境	(36)
第二节 室内空气品质	(43)
第三节 建筑声环境	(48)
第四节 建筑光环境	(52)

第三章 给排水工程

第一节 城镇给排水工程	(57)
第二节 给排水常用管道、器材和卫生器具	(72)
第三节 建筑给水工程	(83)
第四节 消防给水	(109)
第五节 建筑排水工程	(119)

第四章 供热工程及热水供应

第一节 供暖热负荷	(138)
第二节 供暖系统的分类及系统形式	(145)
第三节 常用供热设备	(160)
第四节 热力入口与锅炉房	(173)
第五节 热水供应系统	(180)

第五章 通风、空调工程及制冷

第一节 建筑通风.....	(188)
第二节 空调工程.....	(210)
第三节 空调用制冷设备.....	(227)

第六章 建筑电气基本知识

第一节 建筑电气概述.....	(239)
第二节 建筑供配电系统.....	(243)
第三节 电气照明.....	(257)
第四节 接地与防雷.....	(263)

附 录

(1)	(267)
附录 A 湿空气物性参数	(269)
附录 B 给排水工程常用数据	(278)
附录 C 进、排气窗的局部阻力系数	

主要参考文献

(35)	章一第
(36)	章二第
(48)	章三第
(52)	章四第
	章三第
(72)	章一第
(73)	章二第
(83)	章三第
(109)	章四第
(119)	章五第
	章四第
(138)	章一第
(143)	章二第
(160)	章三第
(171)	章四第
(180)	章五第

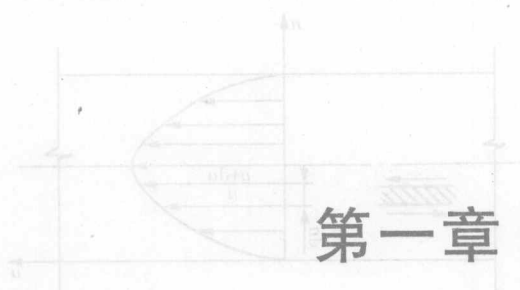


图 1-1 流体在管道中的流动

第一章 基础知识

第一节 流体力学基本知识

通常所见到的物质有固体、液体和气体三种形态。其中液体和气体统称为流体。而流体是液体和气体的统称。流体力学就是研究流体平衡和运动的力学规律及其应用的科学。

一、流体的主要物理性质

在日常生活中遇到许多流体的运动,如水在江河中流动、煤气在管道中输送、空气从喷口中喷出等,都表现出流体具有易流动性。流体不能承受拉力,静止流体不能抵抗切力。但是流体能承受较大的压力。

下面介绍流体的主要物理性质。

(一)密度和容重

流体和固体一样,也具有质量。对于均质流体,单位体积的质量称为流体的密度,用 ρ 表示,即:

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

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)。

流体的密度随外界压力和温度的变化而变化,例如水在标准大气压和 4°C 时,其 $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。水银在标准大气压和 0°C 时,密度是水的 13.6 倍。干空气在标准大气压和 20°C 时的密度为 $\rho_a = 1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(二)流体的粘滞性

流体的粘滞性可以由下列实验和分析了解到。用流速仪测出管道中某一断面的流速分

布,如图 1-1 所示。流体沿管道直径方向分成很多流层,各层的流速不同,并按某种曲线规律连续变化,管轴心的流速最大,向着管道壁的方向递减,直至管壁处的流速为零。

如图 1-1 所示,取流速方向的座标为 u ,垂直接流速方向的座标为 n ,若令水流中某一流层的速度为 u ,则与其相邻流层的流速为 $u+du$, du 为相邻两流层的速度增值。令流层厚度为 dn ,沿垂直接流速方向单位长度的流速增值 $\frac{du}{dn}$,叫做流速梯度。

由于流体各流层的流速不同,相邻流层间有相对运动,便在接触面上产生一种相互作用的剪切力,这个力叫做流体的内摩擦力,或称粘滞力。流体在粘滞力的作用下,具有抵抗流体的相对运动(或变形)的能力,称为流体的粘滞性。对于静止流体,由于各流层间没有相对运动,粘滞性不显示。

牛顿在总结实验的基础上,首先提出了流体内摩擦力的假说——牛顿内摩擦定律。如用切应力表示,可写为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dn} \tag{1-2}$$

式中 τ ——流层单位面积上的内摩擦力,又称切应力(N/m²);

F ——内摩擦力(N);

A ——摩擦流层的接触面面积(m²);

μ ——动力粘度(kg/(m·s)或 Pa·s),与流体种类有关;

$\frac{du}{dn}$ ——流速梯度,表示速度沿垂直于速度方向的变化率(1/s)。

流体粘滞性的大小,可用粘度表示。除动力粘度 μ 外,常用运动粘度 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$,单位为 m²/s。

μ 受温度影响大,受压力影响小。水及空气的 μ 值及 ν 值如表 1-1 及表 1-2 所示。

表 1-1 水的粘度

t /℃	μ /(10 ⁻³ Pa·s)	ν /(10 ⁻⁶ m ² ·s ⁻¹)	t /℃	μ /(10 ⁻³ Pa·s)	ν /(10 ⁻⁶ m ² ·s ⁻¹)
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	50	0.549	0.556
10	1.308	1.308	60	0.469	0.477
15	1.140	1.140	70	0.406	0.415
20	1.005	1.007	80	0.357	0.367
25	0.894	0.897	90	0.317	0.328
30	0.801	0.804	100	0.284	0.296

表 1-2 一个大气压下空气的粘度

t /℃	μ /(10^{-3} Pa·s)	ν /(10^{-6} m ² ·s ⁻¹)	t /℃	μ /(10^{-3} Pa·s)	ν /(10^{-6} m ² ·s ⁻¹)
-20	0.016 6	11.9	70	0.020 4	20.5
0	0.017 2	13.7	80	0.021 0	21.7
10	0.017 8	14.7	90	0.021 6	22.9
20	0.018 3	15.7	100	0.021 8	23.6
30	0.018 7	16.6	150	0.023 9	29.6
40	0.019 2	17.6	200	0.025 9	25.8
50	0.019 6	18.6	250	0.028 0	42.8
60	0.020 1	19.6	300	0.029 8	49.9

流体的粘滞性对流体运动有很大影响,因为内摩擦阻力作负功,不断损耗运动流体的能量,从而成为实际工程水力计算中必须考虑的一个重要因素。对此,将在后面有关部分进行讨论。

(三)流体的压缩性和热胀性

流体压强增大体积缩小的性质,称为流体的压缩性。流体温度升高体积膨胀的性质,称为流体的热胀性。

液体的压缩性和热胀性都很小。例如,水从一个大气压增加到一百个大气压时,每增加一个大气压,水的密度增加 1/20 000。水在温度较低(10℃~20℃)时,温度每增加 1℃,水的密度减小 1.5/10 000;当温度较高(90℃~100℃)时,温度每增加 1℃,水的密度减小也仅为 7/10 000。因此,在很多工程上可以忽略液体的压缩性和热胀性,因它带来的误差很小。例如,在建筑设备管道液体输送过程中,除水击和热水情况外,一般在计算中均不考虑液体的压缩性和热胀性。

与液体不同,气体具有显著的压缩性和热胀性。在温度不太低,压强不太高时,密度、压强和温度三者之间的关系服从理想气体状态方程:

$$\frac{p}{\rho} = RT \tag{1-3}$$

式中 p ——气体的绝对压强(N/m²);
 ρ ——气体的密度(kg/m³);
 T ——气体的热力学温度(K);
 R ——气体常数(J/(kg·K)),对于空气 = 287 J/(kg·K),对于其他气体 $R = \frac{8\,314}{M}$ J/(kg·K), M 为该气体的分子质量。

对于速度较低(远小于音速)的气体,在流动过程中其压强和温度变化较小,密度可视为常数,这种气体称为不可压缩气体。反之,速度较高(接近或超过音速)的气体,在流动过程中其密度变化较大,密度不能视为常数,这种气体称为可压缩气体。

在建筑设备工程中所接触到的水、气流体,其流速在大多数情况下均较低,因而密度在流动过程中变化较小,密度可视为常数。一般将这种水、气流体,视为易于流动的、具有粘滞性的

和不可压缩的流体。

在研究流体运动规律中,还需了解“连续介质”概念。把流体当作是由密集质点构成的、内部无任何空隙的连续体,这就是连续介质。所谓质点,是指含有大量分子的、与一切流动空间相比体积可忽略不计的、又具有一定质量的流体微团。建立连续介质,既可避开分子运动的复杂性,对流体物质结构进行简化,又可将流体运动中的物理量视为空间坐标和时间变量的连续函数。这样,就可用分析方法来研究流体在外力作用下的机械运动。

二、流体静压强及其分布规律

流体静力学研究流体在静止(平衡)或相对静止(相对平衡)状态下的力学规律及其应用。根据流体的流动性可知,在静止(平衡)或相对静止(相对平衡)状态下,流体只存在压应力——压强。因此,流体静力学的核心问题是研究流体静压强及其分布规律。

(一)流体静压强及其特征

设想在一容器的静止水中,隔离出部分水体 I 来研究。如图 1-2 所示,这种情况必须把周围水体 II 对部分水体 I 的作用力加上,以保持其静止状态不变。设作用于隔离体表面某一微小面积 $\Delta\omega$ 上的总压力是 $\Delta\omega p$,则 $\Delta\omega$ 面上的平均压强为:

$$\bar{p} = \frac{\Delta p}{\Delta\omega} \quad (1-4)$$

当所取的面积无限缩小为一点 a ,即 $\Delta\omega \rightarrow 0$,则平均压强的极限值为:

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta\omega} \quad (1-5)$$

这个极限值 p 称为 a 点的静压强(Pa 或 N/m^2)。

流体静压强有两个特征:

(1)流体静压强的方向必定沿着作用面的内法线方向,即垂直于作用面并指向作用面。因为对静止流体来说,不存在拉应力和切应力,所以,只能存在垂直于表面内法线方向的压应力——压强;

(2)任意一点各方向的流体静压强大小相同,与作用面的方位无关。

(二)流体静压强的分布规律

在静止液体中任取一点 A ,已知 A 点在自由表面下的水深为 h ,自由表面压强为 p_0 ,如图 1-3 所示。设 A 点的静水压强为 p ,通过 A 点取底面积为 $\Delta\omega$,高为 h ,上表面与自由面相重合的铅直小圆柱体,研究其轴向力的平衡。此时作用于轴向的外力有:上表面压力 $P_0 = p_0 \Delta\omega$,方向垂直向下;下底面的静水压力 $P = p \Delta\omega$,方向垂直向上;柱体重力 $G = \rho gh \Delta\omega$,方向垂直向下(图中未绘出);柱体侧面积的静水压力,方向与轴向垂直(图中未绘出),在轴向投影为零。此铅直小圆柱体处于静止状态,故其轴向力平衡为:

$$p \Delta\omega - \rho gh \Delta\omega - p_0 \Delta\omega = 0$$

化简后得:

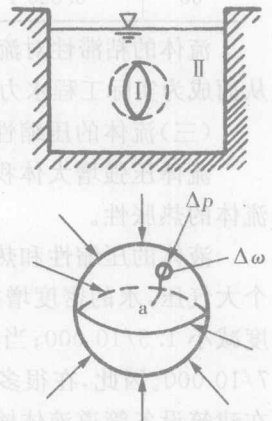


图 1-2 流体的静压强

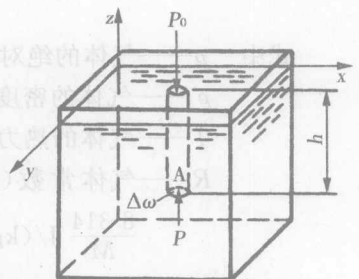


图 1-3 静止液体中压强分布

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-6)$$

式中 p ——静止液体中任意点的压强(kN/m² 或 kPa);

p_0 ——表面压强(kN/m² 或 kPa);

h ——所研究点在自由表面下的深度(m)。

式(1-6)是液体静压强基本方程式,又称为流体静力学基本方程式。式中 ρ 和 p_0 都是常数。方程表明静止液体中压强随深度呈直线分布,作用于自由液面上的压强 p_0 等值地传递到静止液体中每一点上。方程也可用于静止气体的压强计算,由于气体密度 ρ 很小,因此,在高差值不大的情况下,可忽略 ρgh 项,则 $p = p_0$ 。例如研究气体作用在锅炉壁上的静压强时,可认为气体在空间各点的静压强相等。

应用静压强基本方程式分析问题时,要掌握等压面的概念。流体中压强相等的各点所组成的面称为等压面。如液体与气体的交界面(自由表面),处于平衡状态下的两种不同液体的分界面,静止、同种类、连续液体的水平面等都是等压面。

工程计算中,压强有不同的量度基准:

(1)绝对压强:是以完全真空为零点计算的压强,用 p' 表示;

(2)相对压强:是以大气压强为零点计算的压强,用 p 表示。

由上可知,相对压强与绝对压强的关系为:

$$p = p' - p_a \quad (1-7)$$

某一点的绝对压强与大气压强比较,可以大于大气压强,也可以小于大气压强,因此相对压强可以是正值也可以是负值。相对压强的正值称为正压(即压力表读数);负值称为负压,这时流体处于真空状态,通常用真空度(或真空压强)来度量流体的真空程度。所谓真空度,是指某点的绝对压强不足于一个大气压强的部分,用 p_k 表示,即

$$p_k = p_a - p' = -p \quad (1-8)$$

某点的真空度愈大,说明它的绝对压强愈小。真空度的最大值为98 kN/m²,即绝对压强为零,处于完全真空状态;真空度的最小值为零,即处于一个大气压强下。真空度 p_k 在0~98 kN/m²的范围内变动。

真空度实际上等于负的相对压强的绝对值。例如某点的绝对压强是40 kN/m²,如用相对压强表示,为 $p = 40 \text{ kN/m}^2 - 98 \text{ kN/m}^2 = -58 \text{ kN/m}^2$;采用真空度表示则为 $p_k = 98 \text{ kN/m}^2 - 40 \text{ kN/m}^2 = 58 \text{ kN/m}^2$,从式(1-7)、(1-8)亦可以看出,真空度有时叫做“负压”,就是这个缘故。

在建筑设备的水、气输送工程中,如水泵吸水管、虹吸管和风机吸风口等,经常遇到真空度的计算和量测。

在工程计算中,通常采用相对压强,如图1-4所示,水池任一受压壁面AB,内外都有大气压作用而相互抵消。实际作用于AB壁面上的静压强,如ABC所示,其图形称为相对压强分布图。

压强单位如前所述,除用单位面积上的压力和工程大气压表示外,还可用液柱高度表示,如米

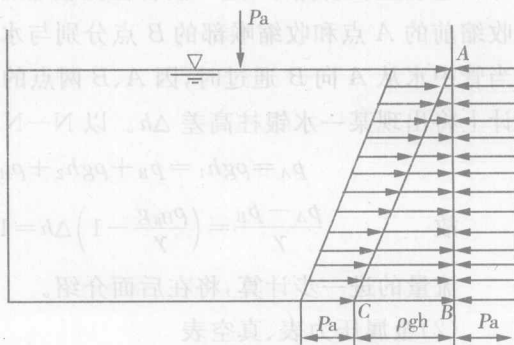


图1-4 水池壁相对压强分布

水柱、毫米水柱、毫米汞柱。如：

$$h = \frac{p_a}{\rho g} = \frac{98 \text{ kN/m}^2}{9.8 \text{ kN/m}^3} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 10\,000 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$h_{\text{Hg}} = \frac{p_a}{\rho_{\text{Hg}} g} = \frac{98 \text{ kN/m}^2}{133.38 \text{ kN/m}^3} = 73.56 \text{ cmHg} = 735.6 \text{ mmHg}$$

上述三种压强单位的关系是：

$$1 \text{ 个工程大气压} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 735.6 \text{ mmHg} = 98 \text{ kN/m}^2 = 98\,000 \text{ Pa}。$$

除了流体静压强的计算外，工程上常遇到流体静压强的量测问题，如锅炉、制冷压缩机、水泵和风机等设备中均需测定压强。常用测压仪器有液柱测压计、金属压力表和真空表等，简单介绍如下：

(1)液柱测压计

测压管：这是一种最简单的液柱测压计，如图 1—5 所示。A 的静压强用水柱高度表示。如果被测点的压强值较大，则水柱将会很高，观测不便。可以在测压管中充以容重大的液体，例如水银测压计，见图 1—6。

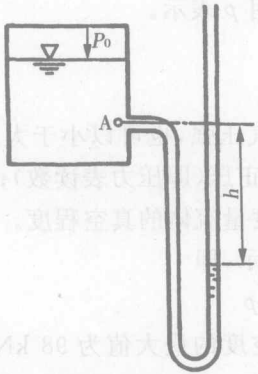


图 1—5 测压管

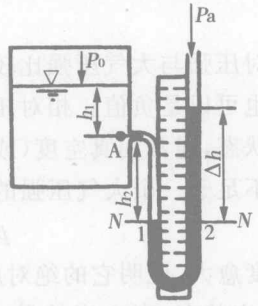


图 1—6 水银测压计

在测量微小的压强时，为了提高测量精度，常采用倾斜微压计。当测量两种容器的压强差时，可采用比压计。

图 1—7 是一种常用的测量流体流量的仪器，叫文丘里流量计。它装置在管路中，是一段管径先收缩后扩大的短管，将流量计收缩前的 A 点和收缩喉部的 B 点分别与水银比压计的两端连通。当管中水从 A 向 B 通过时，因 A、B 两点的压强不等，在水银比压计上将出现某一水银柱高差 Δh。以 N—N 为等压面，则：

$$p_A = \rho g h_1 = p_B + \rho g h_2 + \rho_{\text{Hg}} g \Delta h$$

故
$$\frac{p_A - p_B}{\gamma} = \left(\frac{\rho_{\text{Hg}} g}{\gamma} - 1 \right) \Delta h = 12.6 \Delta h \quad (1-9)$$

流量的进一步计算，将在后面介绍。

(2)金属压力表、真空表

液柱测压计常在实验室使用，它的优点是准确度高，缺点是量测值小，体积大。压力表与

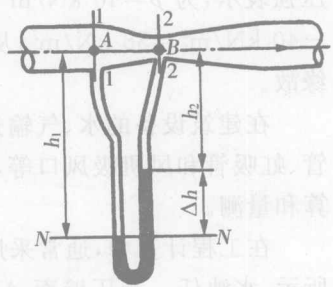


图 1—7 文丘里流量计

此相反,压力表的种类很多,常用的为弹簧压力表,构造如图1—8所示。表内有一根下端开口上端封闭的镰刀形青铜管,开口端与测点相接,封闭端外有细链条与齿轮连接。测压时,青铜管在流体压力作用下发生伸张,从而牵动齿轮旋转,齿轮上的指针便把压强的大小在表盘上指示出来。

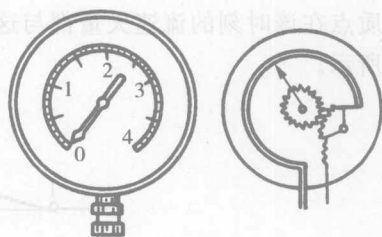


图1—8 弹簧压力表

真空表是用来测量真空度的仪表,亦可分为液体的和金属的两种,其构造、作用原理与上述各测压计基本相同。

真空表常装在离心泵吸水管上,表盘读数常用(0~760) mmHg 表示。

三、恒定流的连续性方程

(一) 流体运动的基本概念

1. 压力流与无压流

(1) 压力流。流体在压差作用下流动时,流体整个周界都和固体壁相接触,没有自由表面,如供热工程中输送的汽、水带热体的管流,风道中的气流,给水工程中输送的水流等都是压力流。

(2) 无压流。液体在重力作用下流动时,液体的部分周界与固体壁相接触,部分周界与气体相接触,形成自由表面,如天然河流、明渠流等一般都是无压流动。

2. 恒定流与非恒定流

(1) 恒定流。流场中各空间点的运动要素(速度、压强、密度等)皆不随时间变化的流动称为恒定流动。如图1—9(a)所示。

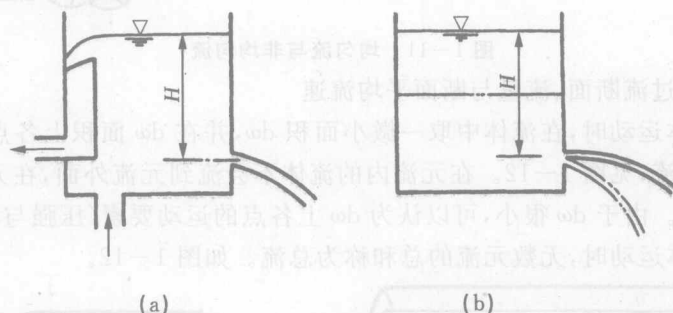


图1—9 恒定流与非恒定流

(2) 非恒定流。流场中各空间点的运动要素(速度、压强、密度等)皆随时间变化而变动的流动称为非恒定流。水箱出流时如果水箱内水位 H 发生变化,就是非恒定流,如图1—9(b)所示。

实际工程中,多数系统正常运行时是恒定流,或虽为非恒定流,但运动参数随时间的变化缓慢,仍可近似按恒定流处理。

3. 流线与迹线

(1) 流线。流体运动时,在流速场中画出某时刻的这样的一条空间曲线,它上面所有流体

质点在该时刻的流速矢量都与这条曲线相切,这条曲线就称为该时刻的一条流线,如图 1—10 所示。

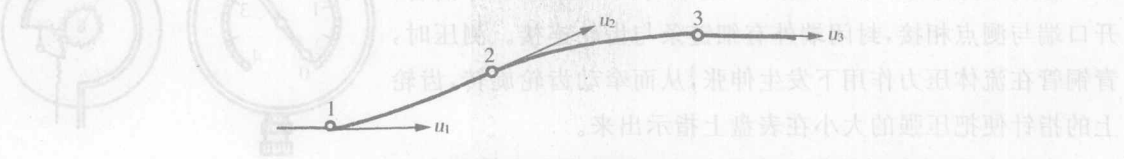


图 1—10 流线

(2)迹线。流体质点在某一时段的运动轨迹称为迹线。流线与迹线是两个完全不同的概念。非恒定流时流线与迹线不相重合;在恒定流中,流线不随时间变化,流线上的质点继续沿流线运动,此时流线和迹线在几何上是一致的,两者重合。

4. 均匀流与非均匀流

(1)均匀流。流线是平行直线的流动称为均匀流。如等截面长直管中的流动。

(2)非均匀流。流线不是平行直线的流动称为非均匀流。如流体在收缩管、扩大管或弯管内的流动等。它又可分为:

(1)渐变流。流线接近平行线的流动称为渐变流。如图 1—11A 区。

(2)急变流。流线不能视为平行直线的流动称为急变流。如图 1—11B、C、D 区。

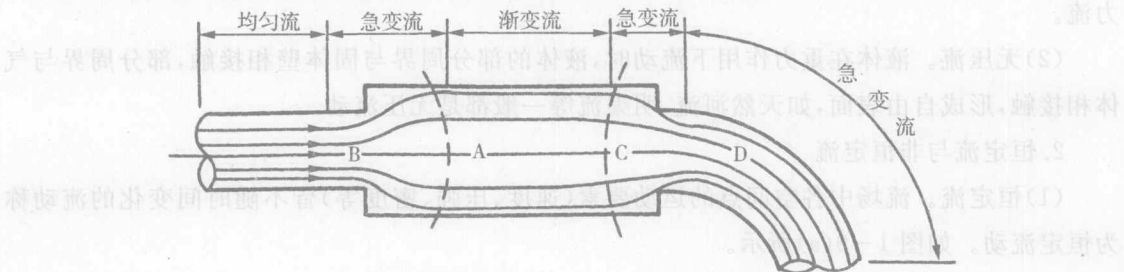


图 1—11 均匀流与非均匀流

5. 元流、总流、过流断面、流量与断面平均流速

(1)元流。流体运动时,在流体中取一微小面积 $d\omega$,并在 $d\omega$ 面积上各点引出流线并形成了一股流束称为元流,见图 1—12。在元流内的流体不会流到元流外面,在元流外面的流体亦不会流进元流中去。由于 $d\omega$ 很小,可以认为 $d\omega$ 上各点的运动要素(压强与流速)相等。

(2)总流。流体运动时,无数元流的总和称为总流。如图 1—12。

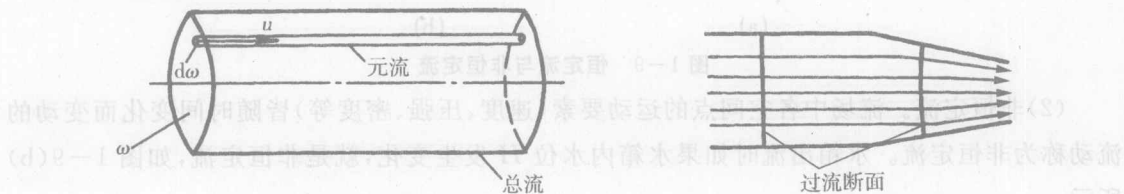


图 1—12 元流与总流

图 1—13 流线与过流断面

(3)过流断面。流体运动时,与元流或总流全部流线正交的横断面称为过流断面。用 $d\omega$ 或 ω 表示,单位为 m^2 或 cm^2 。均匀流的过流断面为平面,渐变流的过流断面可视为平面,非均匀流的过流断面为曲面。见图 1—13。

(4)流量。流体运动时,单位时间内通过过流断面的流体体积称为体积流量。用符号 Q

表示,单位是 m^3/s 或 L/s 。一般流量指的是体积流量,但有时亦引用质量流量,质量流量表示单位时间内通过过流断面的流体质量,单位是 kg/s 。

(5)断面平均流速。流体流动时,断面各点流速一般不易确定,当工程中无必要确定时,可采用断面平均流速(v)简化流动。如图 1-14 所示,断面平均流速为断面上各点流速的平均值。因此,过流断面面积乘以断面平均流速 v 所得到流量,等于实际流速通过该断面的流量。即:

$$Q = v\omega = \int_{\omega} u d\omega$$

显然,断面平均流速计算式为

$$v = \frac{\int_{\omega} u d\omega}{\omega} = \frac{Q}{\omega} \quad (1-10)$$

公式(1-10)表达了流量、过流断面和平均流速三者之间的关系。

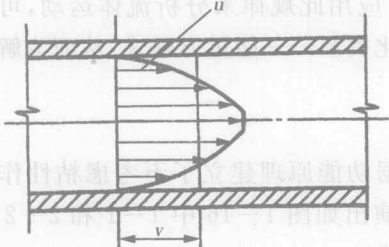


图 1-14 断面流速

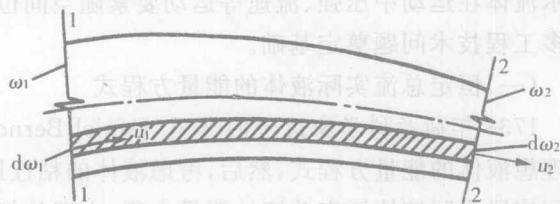


图 1-15 恒定总流段

(二)恒定流的连续性方程

恒定流连续性方程是流体运动的基本方程之一,它的形式虽然简单,但是应用极为广泛。

在恒定总流中任取一元流,如图 1-15 所示,元流在 1-1 过流断面上的面积为 $d\omega_1$,流速为 u_1 ;在 2-2 过流断面上的面积为 $d\omega_2$,流速为 u_2 。并考虑到:

- (1)由于流动是恒定流,元流形状及空间各点的流速不随时间变化;
- (2)流体是连续介质;
- (3)流体不能从元流的侧壁流入或流出。

因此,应用质量守恒定律,流进 $d\omega_1$ 断面的质量必然等于流出 $d\omega_2$ 断面的质量。令流进的流体密度为 ρ_1 ,流出的流体密度为 ρ_2 ,则在单位时间内流进与流出的质量相等:

$$\rho_1 u_1 d\omega_1 dt = \rho_2 u_2 d\omega_2 dt$$

或

$$\rho_1 u_1 d\omega_1 = \rho_2 u_2 d\omega_2$$

推广到总流,得:

$$\int_{\omega_1} \rho_1 u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} \rho_2 u_2 d\omega_2$$

如果过流断面上密度为常数,以 $\int_{\omega} u d\omega = Q$ 代入上式,得:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (1-11)$$

或

$$\rho_1 \omega_1 v_1 = \rho_2 \omega_2 v_2 \quad (1-12)$$

式中 ρ ——密度(kg/m^3);

ω ——总流过流断面面积(m^2);

v ——总流的断面平均流速(m/s);

式(1-11)与(1-12)为总流连续性方程式的普遍形式——质量流量的连续性方程式。

当流体不可压缩时,流体的密度不变,由式(1-12)得:

$$Q_1=Q_2 \quad (1-13)$$

或
$$v_1\omega_1=v_2\omega_2 \quad (1-14)$$

式(1-13)与式(1-14)是不可压缩流体的总流连续性方程——体积流量的连续性方程式。方程表示流速与断面积成反比的关系,在实际工程中应用广泛。

若在工程上遇到可压缩流体,可用总流质量流量的连续性方程式,即公式(1-11)和(1-12)。

四、恒定总流能量方程式

能量守恒及其转化规律是物质运动的一个普遍规律。应用此规律来分析流体运动,可以揭示流体在运动中压强、流速等运动要素随空间位置的变化关系——能量方程式,从而为解决许多工程技术问题奠定基础。

(一)恒定总流实际液体的能量方程式

1738年荷兰科学家达·伯努里(Daniel Bernoulli)根据功能原理建立了不考虑粘性作用的理想液体的能量方程式,然后,考虑液体的粘性影响,推演出如图1-16中1-1和2-2断面间流段实际液体恒定总流的能量方程,亦即伯努里方程式。

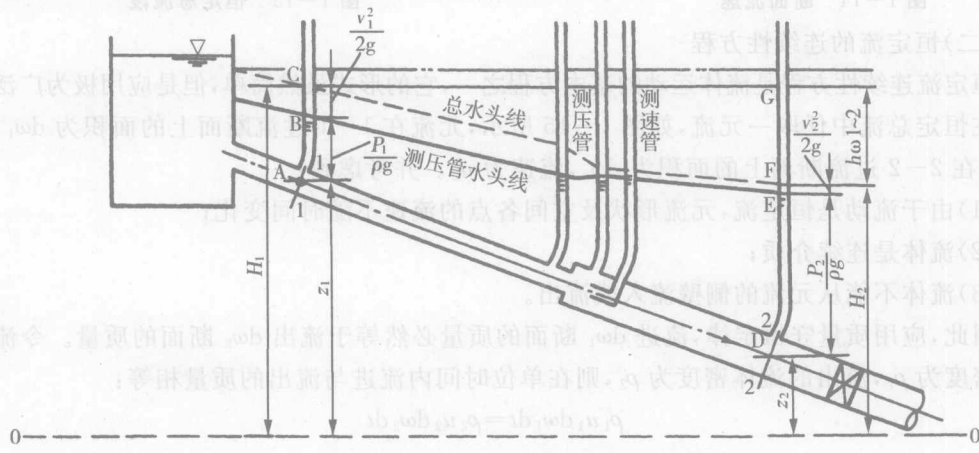


图 1-16 圆管中有压流动的总水头线与测压管水头线

$$z_1+\frac{p_1}{\rho g}+\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}=z_2+\frac{p_2}{\rho g}+\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}+h_{\omega 1-2} \quad (1-15)$$

式中 $z_1、z_2$ ——过流断面 1-1、2-2 上单位重量液体位能,也称位置水头;

$\frac{p_1}{\rho g}、\frac{p_2}{\rho g}$ ——过流断面 1-1、2-2 上单位重量液体压能,也称压强水头;

$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}、\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ ——过流断面 1-1、2-2 上单位重量液体动能,也称流速水头;

$h_{\omega 1-2}$ ——单位重量液体通过流段 1-2 的平均能量损失,也称水头损失;

α ——动能修正系数,为用断面平均流速 v 代替质点流速 u 计算动能所造成误差的修正,一般 $\alpha=1.05\sim 1.1$,为计算方便,常取 $\alpha=1.0$ 。