

建筑电气专业系列教材

建筑设备工程

任绳风 吕建 李岩 主编



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

建筑电气专业系列教材

建筑设备工程

主编 任绳风 吕建 李岩



内容提要

本书较为全面地介绍了现代建筑中各类设备的工作原理、系统组成、设计方法。内容包括:给水、排水、消防、燃气、采暖、通风、空气调节、制冷等。全书详细介绍了建筑设备的基本理论、基本概念,侧重于工程实际应用,且图文并茂,取材广泛,反映了建筑设备技术的现状及发展趋势。

本书是建筑电气工程专业系列教材之一,亦可作为土木工程、建筑学、景观建筑设计、热能与动力工程、安全工程等专业的教学参考书,还可供相关专业工程技术人员及从事室内装饰、房地产开发、施工与运行管理、物业管理等人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程/任绳风,吕建主编. —天津:天津大学出版社,
2008.8

ISBN 978-7-5618-2764-2

I. 建… II. ①任… ②吕… III. 房屋建筑设备 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 130933 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 天津市泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 19
字 数 475 千
版 次 2008 年 8 月第 1 版
印 次 2008 年 8 月第 1 次
定 价 35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

建筑设备是一门专业技术课程,它以创建卫生舒适、安全方便、节能环保的生活、生产环境为主要研究内容。随着我国经济持续稳步的发展,建筑领域迎来了前所未有的大发展、大建设时期。如何更好地发挥建筑物的使用功能,满足建筑对现代化日益增长的要求,降低建筑设备的能耗、提高经济性,正是此书出版的目的。

本书从基本理论出发,系统地介绍了公共与民用建筑给水、排水、采暖、通风、空气调节、消防、防排烟等系统和装置的工作原理、基本组成,国内外在建筑设备工程方面的新技术、新产品、新材料及其在建筑中的应用情况。编写过程中参照了国家最新设计、施工、验收规范和标准以及注册设备师、注册建造师考试大纲的要求,力求在内容上能够全面覆盖当前建筑设备的范围。另外本书还编入了大量插图,以加深读者对实际设备的直观认识。

本书是为高等工科院校建筑电气专业编写的教材,也可作为建筑学、土木工程、建筑管理等土建类专业的教材,还可作为从事建筑施工、室内装修、物业管理、房地产开发等工作的技术人员的参考书。

本书第2、4、9、13章由吕建编写,第6、7、8、12章由任绳风编写,第5(3~5节)、10、11章由常茹编写,第1、14章由李岩编写,第3、5(1、2节)章由王昌凤编写。全书统稿工作由吕建、任绳风共同完成。天津城市建设学院能源与机械工程系硕士研究生任腾飞、张华锋、郭式伟、刘斌、王蕾、李娜娜、王晓璇等参与了本书的资料收集并绘制了部分插图,在此一并表示感谢。

天津大学环境科学与工程学院副院长、全国暖通空调专业指导委员会委员朱能教授,天津城市建设学院能源与机械工程系主任张志刚教授,天津大学建筑设计研究院张传禄高级工程师审阅了本书,并提出了许多宝贵意见,在此也一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本书中不当或错误之处在所难免,希望广大读者给予批评指正。

作者
2008年2月

目 录

第1章 流体力学基本知识	(1)
1.1 流体的主要物理性质	(1)
1.2 流体静压强及其分布规律	(3)
1.3 流体运动的基本知识	(6)
1.4 流动阻力和水头损失	(10)
第2章 管道材料、器材及卫生器具	(18)
2.1 管道材料和水表	(18)
2.2 卫生器具及冲洗设备	(22)
第3章 建筑给水	(28)
3.1 给水系统的分类和组成	(28)
3.2 给水方式	(33)
3.3 给水管网的布置和敷设	(36)
3.4 建筑给水所需的水压、水量、增压贮水设备	(41)
第4章 建筑消防	(58)
4.1 消火栓给水系统	(58)
4.2 自动喷水灭火系统	(66)
第5章 建筑排水、中水工程	(69)
5.1 建筑排水系统的分类和组成	(69)
5.2 排水管系中水气流动的物理现象	(73)
5.3 建筑内部排水系统水力计算	(77)
5.4 建筑雨水排水系统	(80)
5.5 建筑中水工程	(84)
第6章 高层建筑给水排水工程的特点	(91)
6.1 给水系统	(91)
6.2 排水系统	(94)
6.3 消防给水系统	(98)
第7章 特殊建筑给水排水	(100)
7.1 水景给水排水设计	(100)
7.2 游泳池给水排水设计	(108)
第8章 生活热水及燃气供应	(113)
8.1 室内热水供应系统及图式	(113)
8.2 室内热水管网布置及敷设	(119)
8.3 室内热水管网计算简述	(120)
8.4 开水供应	(120)

8.5	高层建筑热水供应系统的特点	(122)
8.6	燃气供应	(123)
第9章	采暖	(130)
9.1	采暖系统及分类	(130)
9.2	供暖系统的设计热负荷	(145)
9.3	采暖系统的散热设备	(153)
9.4	室内采暖系统的管路布置与主要设备及附件	(155)
9.5	供热管道及其附件	(160)
第10章	采暖热源	(167)
10.1	区域锅炉房	(167)
10.2	热电厂	(182)
10.3	燃煤锅炉房总体设计与布置	(185)
10.4	燃油燃气锅炉房总体设计和布置	(192)
第11章	建筑通风	(196)
11.1	概述	(196)
11.2	全面通风	(200)
11.3	自然通风	(202)
11.4	通风系统的主要设备和构件	(206)
11.5	民用建筑通风	(212)
11.6	置换通风	(215)
第12章	空气调节	(219)
12.1	概述	(219)
12.2	空调负荷计算与送风量	(221)
12.3	空气处理设备和消声减振	(226)
12.4	空调房间的气流分布	(234)
12.5	空气调节系统	(240)
第13章	民用建筑的防火排烟	(251)
13.1	防烟和排烟	(251)
13.2	地下停车场通风排烟的设计与运行	(263)
13.3	火灾自动报警系统	(266)
13.4	消防电源和火灾应急照明	(270)
第14章	空调用冷热源及水系统	(273)
14.1	空调用冷源	(273)
14.2	空调用热源	(283)
14.3	制冷剂、载冷剂、冷却剂	(288)
14.4	空调水系统	(290)
参考文献		(295)

第1章 流体力学基本知识

通常所见到的物质有固体、液体和气体,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。

1.1 流体的主要物理性质

日常遇到许多流体的运动,如水在江河中流动、燃气在管道中输送、空气从喷口中喷出等,都表现了流体具有易流动性。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。

1.1.1 密度和容重

流体和固体一样,也具有质量和重量,工程上分别用质量密度 ρ 和重力密度 γ 表示。对于均质流体,单位体积的质量称为流体的质量密度,即

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-1)$$

式中 M ——流体的质量,kg

V ——流体的体积, m^3 。

对于均质流体,单位体积的重量称为流体的重力密度,即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{N/m}^3) \quad (1-2)$$

式中 G ——流体的重量,N;

V ——流体的体积, m^3 。

由牛顿第二定律知道: $G = Mg$ 。因此

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (1-3)$$

式中 g ——重力加速度, $g = 9.807 \text{ m/s}^2$ 。

流体的质量密度和重力密度随外界压力和温度而变化,例如水在标准大气压和 4°C 时,其 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、 $\gamma = 9.807 \text{ kN/m}^3$ 。水银在标准大气压和 0°C 时,质量密度和重力密度是水的 13.6 倍。干空气在温度为 20°C 、压强为 760 mmHg 时的质量密度和重力密度分别为 $\rho_a = 1.2 \text{ kg/m}^3$; $\gamma_a = 11.80 \text{ N/m}^3$ 。

1.1.2 流体的黏滞性

流体的黏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,向着管壁的方向递减,直至管壁处的流速为零。

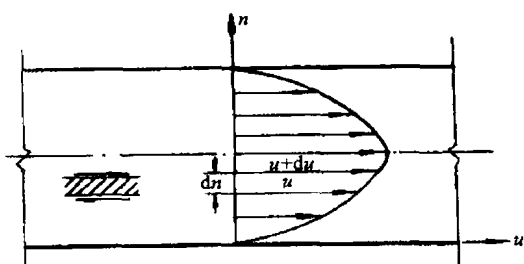


图 1-1 管道中断面流速分布

如图 1-1 所示,取流速方向的坐标为 u ,垂直接流速方向的坐标为 n ,若令水流中某一流层的速度为 u ,则与其相邻的流层为 $u + du$, 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,或称黏滞力。流体在黏滞

力的作用下,具有抵抗流体的相对运动(或变形)的能力,称为流体的黏滞性。对于静止流体,由于各流层间没有相对运动,黏滞性不显示。

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

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (1-4)$$

式中 F ——内摩擦力, N;

S ——摩擦流层的接触面面积, m^2 ;

τ ——流层单位面积上的内摩擦力, 又称切应力, Pa;

μ ——动力黏滞性系数(与流体的种类有关), $Pa \cdot s$;

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

流体黏滞性的大小可用黏滞性系数表达。除用动力黏滞性系数 μ 外,还常采用运动黏滞性系数 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$,单位为 m^2/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 水的黏滞性系数

$t(^{\circ}C)$	$\mu \times 10^{-3} (Pa \cdot s)$	$\nu \times 10^{-6} (m^2/s)$	$t(^{\circ}C)$	$\mu \times 10^{-3} (Pa \cdot s)$	$\nu \times 10^{-6} (m^2/s)$
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黏滞性系数

$t(^{\circ}C)$	$\mu \times 10^{-3} (Pa \cdot s)$	$\nu \times 10^{-6} (m^2/s)$	$t(^{\circ}C)$	$\mu \times 10^{-3} (Pa \cdot s)$	$\nu \times 10^{-6} (m^2/s)$
-20	0.0166	11.9	70	0.0204	20.5
0	0.0172	13.7	80	0.0210	21.7
10	0.0178	14.7	90	0.0216	22.9
20	0.0183	15.7	100	0.0218	23.6
30	0.0187	16.6	150	0.0239	24.6

续表

$t(^{\circ}\text{C})$	$\mu \times 10^{-3} (\text{Pa}\cdot\text{s})$	$\nu \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$	$t(^{\circ}\text{C})$	$\mu \times 10^{-3} (\text{Pa}\cdot\text{s})$	$\nu \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$
40	0.0192	17.6	200	0.0259	25.8
50	0.0196	18.6	250	0.0280	42.8
60	0.0201	19.6	300	0.0298	49.9

流体的黏滞性对流体运动有很大的影响,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问题。

1.1.3 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。流体的压缩性和热胀性都很小。例如,水从 1 个大气压增加到 100 个大气压时,每增加 1 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℃,水的密度减小也只为 7/10 000。因此,在很多工程技术领域中可以把流体的压缩性和热胀性忽略不计。例如,在建筑设备工程中,管中输液除水击和热水循环系统外,一般计算不考虑流体的压缩性和热胀性。

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

$$\frac{p}{\rho} = RT \tag{1-5}$$

式中 p ——气体的绝对压强, N/m^2 ;
 ρ ——气体的密度, kg/m^3 ;
 T ——气体的绝对温度, K ;

R ——气体常数, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, 对于空气 $R = 287$, 对于其他气体 $R = \frac{8\,314}{N}$, N 为该气体的分子量。

对于速度较低(远小于音速)的气体,其压强和温度在流动过程中变化较小,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,在流动过程中密度变化很大(当速度等于 50 m/s 时,密度变化为 1%,也可以当作不可压缩气体对待), ρ 不能视为常数,这种气体称为可压缩气体。

建筑设备工程中水、气流体的流速在大多情况下均较低,密度在流动过程中变化不大,密度可视为常数,一般将这种水、气流体认为是一种易于流动的、具有黏滞性和不可压缩的流体。

在研究流体运动规律时,还需了解“连续介质”的概念。所谓连续介质是把流体看成是全部充满的、内部无任何空隙的质点所组成的连续体。作为研究单元的质点,也认为是由无数分子所组成,并具有一定体积和质量。这样,不仅从客观上摆脱了分子复杂运动的研究,而且能运用数学的连续函数的工具,分析流体在外力作用下的机械运动。

1.2 流体静压强及其分布规律

流体静止是运动中的一种特殊状态。由于流体静止时不显示其黏滞性,不存在切向应力,

同时认为流体也不能承受拉力,不存在由于黏滞性所产生运动的力学性质。因此,流体静力学的中心问题是研究流体静压强的分布规律。

1.2.1 流体静压强及其特性

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对水体 I 的作用力加以考虑,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 Δp ,则 $\Delta\omega$ 面上的平均压强为

$$p = \frac{\Delta p}{\Delta\omega} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1-6)$$

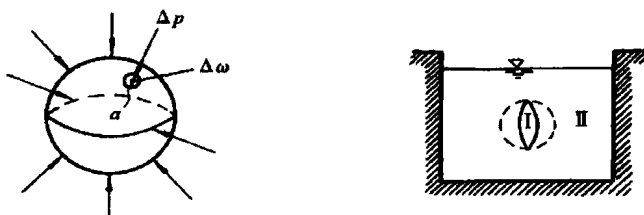


图 1-2 流体的静压强

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

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta\omega} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1-7)$$

这个极限值 p 称为 a 点的静压强。

流体静压强的单位常用 Pa 表示, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$, 把 10^5 Pa 称为 1 巴(bar)。

流体静压强有如下两个特征。

①流体静压强的方向必定沿着作用面的内法线方向。因为静止流体不能承受拉应力且不存在切应力, 所以, 只存在垂直于表面内法线方向的压应力——压强。

②任意点的流体静压只有一个值, 它不因作用面方位的改变而改变。

1.2.2 流体静压强的分布规律

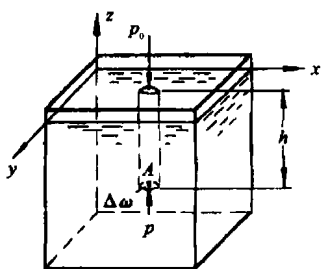


图 1-3 静止液体中的压强分布

在静止液体中任取一 A 点, 该点在自由表面下的水深 h 处, 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小圆柱体, 研究其轴向力的平衡: 上表面压力为 $p_0\Delta\omega$, 方向向下; 柱体侧面积的静水压力, 方向与轴向垂直, 在轴向投影为零。此圆柱体处于静止状态, 故其轴向力平衡为

$$p\Delta\omega - \gamma h\Delta\omega - p_0\Delta\omega = 0$$

化简后得

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-8)$$

式中 p ——静止液体中任意点的压强, kN/m^2 或 kPa ;

p_0 ——表面压强, kN/m^2 或 kPa ;

γ ——液体的重力密度, kN/m^3 ;

h ——所研究点在自由表面下的深度, m 。

式(1-8)是静水压强基本方程式, 又称为静水力学基本方程式。式中 γ 和 p_0 都是常数。方程表示静水压强与水深成正比的直线分布规律。方程式还表明, 作用于液面上的表面压强 p_0 是等值地传递到静止液体中每一点上。方程也适用于静止气体压强的计算, 只是式中的气体重力密度 γ 很小, 因此, 在高差 h 不大的情况下, 可忽略 γh 项, 则 $p = p_0$ 。例如研究气体作用在锅炉壁上的静压强时, 可以认为气体空间各点的静压强相等。

流体中压强相等的各点所组成的面为等压面, 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, 压强有如下不同的量度基准:

(1)绝对压强: 是以完全真空为零点计算的压强, 用 p_A 表示。

(2)相对压强: 是以大气压强为零点计算的压强, 用 p_a 表示。

由上所述, 相对压强与绝对压强的关系为

$$p = p_A - p_a \quad (1-9)$$

某一点的绝对压强与大气压强相比较, 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一个大气压强的部分, 用 p_k 表示, 即

$$p_k = p_a - p_A = -p \quad (1-10)$$

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 $p_k = p_a = 98 \text{ kN/m}^2$, 即绝对压强为零, 处于完全真空状态; 真空度的最小值为零时, $p_k = 0$, 即在一个大气压强下, 真空度 p_k 在 $0 \sim 98 \text{ kN/m}^2$ 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/m^2 , 如用相对压强计, 为 $p = 40 - 98 = -58 \text{ kN/m}^2$; 采用真空度表示则为 $p_k = 98 - 40 = 58 \text{ kN/m}^2$, 从关系式(1-9)、(1-10)亦可以看出, 真空度有时叫做“负压”, 就是这个缘故。

建筑设备工程中的水、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, 但相互抵消。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, 除可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(米水柱(mH_2O))、毫米水柱(mmH_2O)、毫米汞柱(mmHg)), 如:

$$\begin{aligned} h &= \frac{p_a}{\gamma} = \frac{98 \text{ kN/m}^2}{9.8 \text{ kN/m}^3} = 10 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 10\,000 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

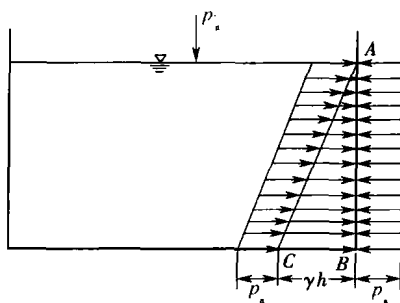


图 1-4 水池壁相对压强分布

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

$$= 735.6 \text{ mmHg}$$

上述三种压强单位的关系是:

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

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。

1.3 流体运动的基本知识

1.3.1 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,整个流体周围都和固体壁相接触,没有自由表面。如供热工程中管道输送汽、水等,风道中输送气体,给水中输送液体等都是压力流。

(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,部分周界与气体接触,形成自由表面。如天然河流、明渠流等一般都是无压流。

2. 恒定流与非恒定流

(1)恒定流:流体运动时,流体中任一位置的压强、流速等运动要素不随时间变化的流动称为恒定流,如图 1-5(a)所示。

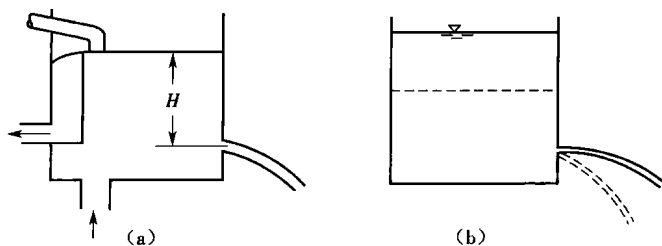


图 1-5 恒定流与非恒定流

(a) 恒定流; (b) 非恒定流

(2)非恒定流:流体运动时,流体中任一位置的运动要素如压强、流速等随时间变化而变动的流动称为非恒定流,如图 1-5(b)所示。自然界中大多是非恒定流,工程中一般可以取为恒定流。

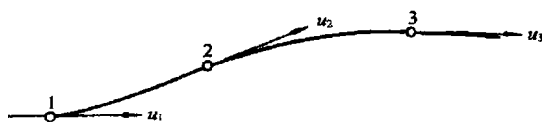


图 1-6 流线

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一条空间曲线,该曲线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,见图 1-6。

(2)迹线:流体运动时,流体中某一个质点在连续时间内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重合,而恒定流时流线与迹线相重合。

4. 均匀流与非均匀流

(1)均匀流:流体运动时,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:流体运动时,流线不是平行直线的流动称为非均匀流。如流体在收缩管、扩大管或弯管中流动等。它又可分为渐变流和急变流。

①渐变流:流体运动中流线接近于平行线的流动称为渐变流,如图 1-7 中的 A 区。

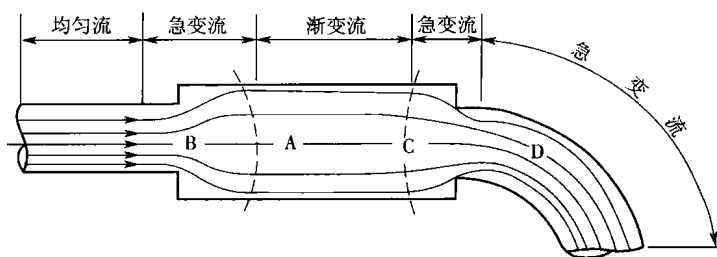


图 1-7 均匀流与非均匀流

②急变流:流体运动中流线不能视为平行直线的流动称为急变流,如图 1-7 中的 B、C、D 区。

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 $d\omega$ 面积上各点绘出并形成一股流束,称为元流。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。

(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 。均匀流的过流断面为平面,非均匀流的过流断面为曲面,渐变流的过流断面可视为平面,见图 1-8。

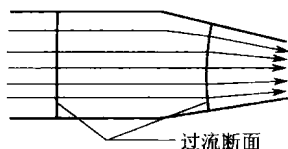


图 1-8 流线与过流断面

(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,有时用质量流量,质量流量表示单位时间内通过过流断面的流体质量,单位为 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 。断面平均流速为断面上各点流速的平均值。

1.3.2 恒定流的连续性方程

恒定流的连续性方程是流体运动的基本方程之一,应用极为广泛。在恒定流中任取一元流,如图 1-9 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 。考虑到: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;

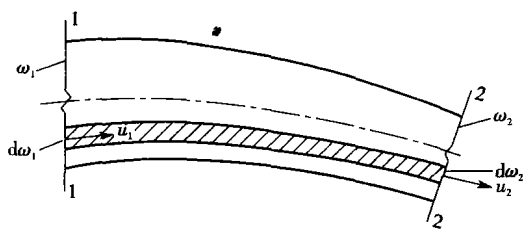


图 1-9 恒定总流段

流体是连续介质;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 ,流出的密度为 ρ_2 ,则在 dt 时间内流进与流出的质量相等:

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

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

推广到总流,得

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

$$\text{或 } \rho_1 \omega_1 v_1 = \rho_2 \omega_2 v_2 \quad (1-11a)$$

式中 ρ ——密度, kg/m^3 ;

ω ——总流的过流断面面积, m^2 ;

v ——总流的断面平均流速, m/s ;

Q ——总流的流量, m^3/s 。

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

当流体不可压缩时,流体的容重不变,由上式得

$$Q_1 = Q_2 \quad (1-12)$$

$$\text{或 } v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 \quad (1-12a)$$

式(1-12)与(1-12a)系不可压缩流体的总流连续性方程——体积分量的连续性方程。方程表示流速与断面积成反比的关系,该式在实际工程中应用广泛。

1.3.3 恒定总流能量方程

能量守恒及其转化规律是物质运动的一个普遍规律。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,从而为解决许多工程技术问题奠定基础。

1. 恒定总流实际液体的能量方程

1738 年荷兰科学家达·伯努利(Daniel Bernoulli)根据功能原理建立了不考虑黏性作用理想液体的能量方程,然后,考虑液体的黏性影响,推演出 1-1 和 2-2 断面间流段实际液体恒定总流的能量方程,亦即伯努利方程:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (1-13)$$

现参见图 1-10 对式(1-13)中各项的意义解释如下:

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;

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

$\frac{a_1 v_1^2}{2g}, \frac{a_2 v_2^2}{2g}$ ——过流断面 1-1、2-2 上单位重量液体动能,也称流速水头;

h_{w1-2} ——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。

式(1-13)中的 a 为动能修正系数,是以断面平均流速 v 代替质点流速 u 计算动能所造成误差的修正。一般 a 为 $1.05 \sim 1.1$, 为计算方便,常取 $a = 1.0$ 。

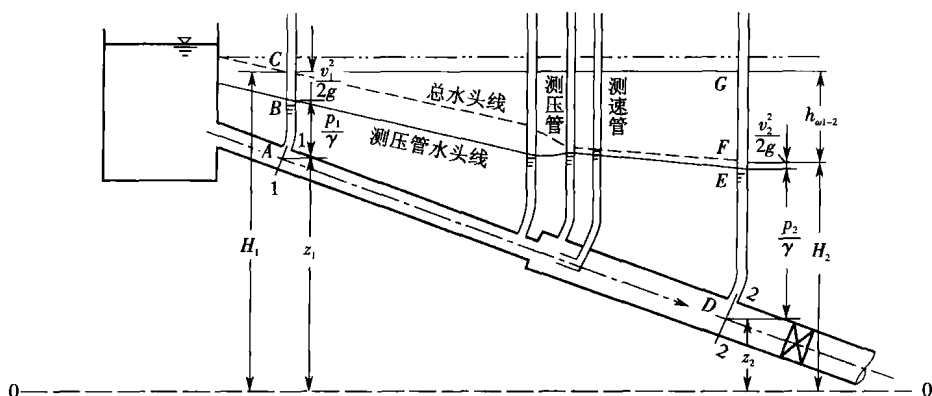


图 1-10 圆管中有压流动的总水头线与测压管水头线

能量方程中每一项的单位都是长度,都可以在断面上用铅直线段在图中表示出来。这就可对方程各项在流动过程中的变化关系作更形象的描述(压强和流速可用测压管和测速管量测出来)。

如果把各断面上的总水头 $H = (z_1 + \frac{p}{\gamma} + \frac{av^2}{2g})$ 顶点连成一条线,则此线称为总水头线,如图 1-10 中虚线所示。在实际水流中,由于水头损失 $h_{\omega 1-2}$ 的存在,所以总水头线总是沿着流程下降的倾斜线。总水头线沿流程的降低值 $h_{\omega 1-2}$ 与沿程长度 L 的比值,称为总水头坡度或水力坡度,它表示沿流程单位长度上的水头损失,用 i 表示,即

$$i = \frac{h_{\omega 1-2}}{L} \quad (1-14)$$

如果把各过流断面的测压管水头 $z + \frac{p}{\gamma}$ 连成线,如图 1-10 中实线所示,称之为测压管水头线。测压管水头线可能上升,可能下降,可能水平,也可能是直线或是曲线。

2. 实际气体恒定总流的能量方程

对于不可压缩的气体,液体能量方程同样适用,由于气体重力密度很小,式中重力做功可以忽略不计。一般通风管道过流断面上的流速分布比较均匀,动能修正系数可采用 $a = 1$, 这样,实际气体总流的能量方程为

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\omega 1-2} \quad (1-15)$$

或者写为

$$p_1 + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} + \gamma h_{\omega 1-2} \quad (1-15a)$$

实际气体总流的能量方程与液体总流的能量方程比较,除各项单位以压强来表达气体单位体积平均能量外,对应项意义基本相近,即

式中 p ——过流断面相对压强,工程上称静压;

$\frac{\gamma v^2}{2g}$ ——工程上称动压;

$p + \frac{\gamma v^2}{2g}$ ——过流断面的静压与动压之和,工程上称全压;

γh_{w1-2} ——过流断面 1-2 在连续流条件下,1、2 两过流断面间压强损失。

3. 能量方程应用举例

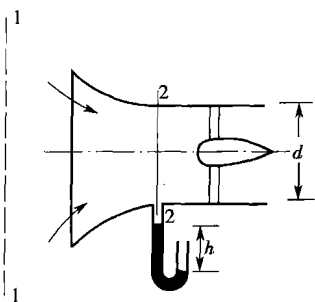


图 1-11 轴流风机简图

【例 1-1】 如图 1-11 所示为一轴流风机,直径 $d = 200$ mm,吸入管的测压管水柱高 $h = 20$ mm,空气的重力密度 $\gamma_a = 11.80$ N/m³,求轴流风机的风量(假定进口损失很小,可以忽略不计)。

【解】 风机在实际工程中经常遇到,它从大气中吸入空气,进入吸入管段,然后经过风机加压,送至需要的地方,本题就是风机的吸入管段,因为吸入管段中的流量 $Q = \omega v$,其中 ω 为已知,故需用气体总流的能量方程求出流速 v 。过流断面

1-1 取在距进口较远的大气中,流速很小,即 $\frac{v_1^2}{2g} \approx 0$,1-1 断面

上大气压强为已知,即相对压强 $p_1 \approx 0$ 。2-2 过流断面取在水银测压计的渐变流断面上,则此断面上压强已知,相对压强为 p_2 。此外,若能量方程基面取为轴流风机的水平中心轴线,气体能量方程表示为

$$p_1 + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} + \gamma h_{w1-2}$$

将上列各项数值代入上式,并且忽略过流断面 1-1、1-2 之间能量损失,在 1-2 之间为连续流条件下,可得

$$0 + 0 = -196 + 11.8 \times \frac{v_2^2}{2g} + \gamma h_{w1-2}$$

$$\text{所以 } v_2 = \sqrt{\frac{196 \times 2 \times 9.8}{11.8}} = 18 \text{ m/s}$$

$$\text{故 } Q = v_2 \omega_2 = \frac{1}{4} \pi \times 0.2^2 \times 18 = 0.565 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.4 流动阻力和水头损失

1.4.1 流动阻力和水头损失的两种形式

按照流体的能量方程去解决各种实际工程技术问题,确定水头损失 h_{w1-2} ,本节任务是研究恒定流动时各种流态下的水头损失的计算。

1. 沿程阻力和沿程水头损失

流体在长直管(或明渠)中流动,所受的摩擦阻力称为沿程阻力。为了克服沿程阻力而消耗的单位重量流体的机械能量,称为沿程水头损失 h_f 。

2. 局部阻力和局部水头损失

流体的边界在局部地区发生急剧变化时,迫使主流脱离边壁而形成漩涡,流体质点间产生剧烈的碰撞,所形成的阻力称为局部阻力。为了克服局部阻力而消耗的单位重量流体的机械能量称为局部水头损失 h_j 。

图 1-12 所示为某段给水管道,管道有弯头、突然扩大、突然缩小、闸门等。在管径不变的直管段上,只有沿程水头损失 h_f ,测压管水头线和总水头线都是互相平行的直线。在弯头、突然扩大、突然缩小、闸门等水流边界面急骤改变处产生局部水头损失 h_j 。

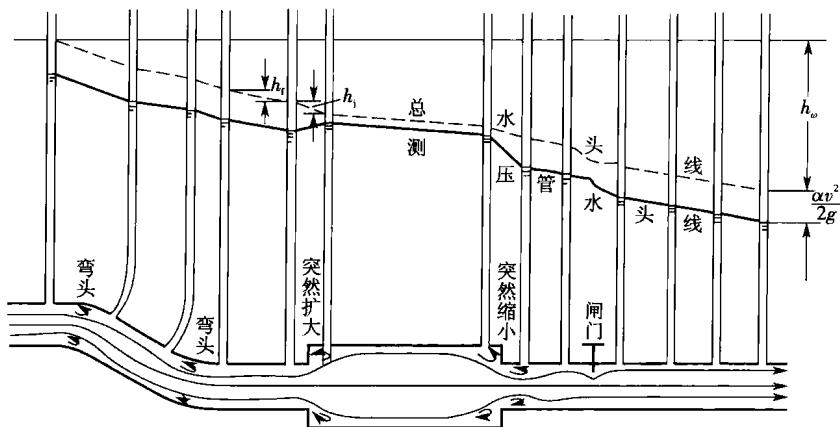


图 1-12 给水管道沿程和局部水头损失

整个管道的总水头损失 h_{w1-2} 等于各沿程水头损失 h_f 与各局部水头损失 h_j 叠加之和,即

$$h_{w1-2} = \sum h_f + \sum h_j \quad (1-16)$$

1.4.2 流动的两形态——层流和紊流

流体在流动过程中,呈现出两种不同的流动形态。如图 1-13(a)所示为一玻璃管中水的流动,若不断投加红颜色水于液体中,当液体流速较低时,将看到玻璃管内有股红色水流的细流,像一条线一样,如图 1-13(b)所示,水流是成层成束地流动,各流层间并无质点的掺混现象,这种水流形态为层流。如果加大管中水的流速,红颜色水随之开始动荡,成波浪形,如图 1-13(c)所示。继续加大流速,将出现红色水向四周扩散,质点或液团相互混掺,流速愈大,混掺程度愈烈,这种水流形态称为紊流,如图 1-13(d)所示。

判断流动形态,雷诺氏用无因次量纲分析方法得到无因次量——雷诺数 Re 来判别。

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (1-17)$$

式中 Re ——雷诺数;

v ——圆管中流体的平均流速, $m/s, cm/s$;

d ——圆管的管径, cm ;

ν ——流体的运动黏滞系数,其值可由表 1-1 与表 1-2 查得, m^2/s 。

对于圆管的有压管流:若 $Re < 2\,000$ 时,流体为层流形态;若 $Re \geq 2\,000$ 时,流体为紊流形态。