

普通高等教育规划教材

建筑设备工程

JIANZHU SHEBEI GONGCHENG

主 编 刘丽娜 王 伟 张 鑫
主 审 颜伟中



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育规划教材

Jianzhu Shebei Gongcheng

建筑设备工程

主编 刘丽娜 王 伟 张 鑫

主审 颜伟中



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书为普通高等教育规划教材。全书共16章,主要内容包括:流体力学基本知识,管道材料、器材及卫生器具,建筑内部给水系统,建筑消防系统,建筑排水系统,建筑中水系统及特殊建筑给水排水,热水供应系统,传热及气体射流基本知识,供暖,建筑通风,空气调节,燃气供应,建筑供配电系统,建筑电气照明系统,智能建筑信息系统,安全用电与建筑防雷。

本书可作为高等院校土木工程、工程管理、建筑学专业及其他建筑类专业用教材,也可作为建筑设计、结构设计、工程管理、工程预算等工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程/刘丽娜,王伟,张鑫主编. --北京:
人民交通出版社,2013.7

ISBN 978-7-114-10642-2

I. ①建… II. ①刘… ②王… ③张… III. ①房屋
建筑设备—高等学校—教材 IV. ①TU8

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第106917号

普通高等教育规划教材

书 名: 建筑设备工程

著 作 者: 刘丽娜 王 伟 张 鑫

责任编辑: 孙 玺 黎小东

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 19.75

字 数: 490千

版 次: 2013年7月 第1版

印 次: 2013年7月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10642-2

定 价: 39.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

建筑设备包括建筑给水排水设备、暖通空调设备、建筑电气设备三部分,是建筑工程的重要组成部分。建筑设备的完善程度和技术水平的先进性已成为社会生产、房屋建筑和物质生活水平的重要标志。

为适应高等院校土木工程、工程管理、建筑学专业及其他相关专业学生教学的实际需要,根据应用实践教学的特点,本着理论联系实际的原则,编写了《建筑设备工程》教材。本教材从基本理论出发,重点介绍了建筑给水、消防、排水、中水、热水、供暖、通风、空调、燃气、照明、供配电等内容;在编写过程中参照了国家有关现行设计规范和标准以及注册建筑师、注册造价工程师考试大纲的要求,力求在内容上能够全面覆盖当前建筑设备的范围。同时,本书也介绍了近年来的新技术、新理论和新方法,尽量反映当前科学技术水平。

本书共分16章,第1、3、4、5、6章由黑龙江工程学院刘丽娜编写;第2章由黑龙江大学刘春花编写;第8、9、10、11章由黑龙江工程学院王伟编写;第12、13、14章由黑龙江工程学院张鑫编写;第7章由黑龙江工程学院代莹编写;第15、16章由黑龙江建筑职业技术学院侯音编写。全书由黑龙江工程学院刘丽娜统稿,由哈尔滨工业大学颜伟中教授主审。

由于编者水平有限,对于书中的缺点和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者
2013年5月

目 录

MULU

第一章 流体力学基本知识	1
第一节 流体的主要物理性质	1
第二节 流体静力学基本知识	4
第三节 流体运动的基本知识	6
第四节 流动阻力和水头损失	11
第五节 孔口、管嘴出流及两相流体简介	14
思考题	16
第二章 管道材料、器材及卫生器具	17
第一节 管道材料和水表	17
第二节 卫生器具及冲洗设备	21
思考题	26
第三章 建筑内部给水系统	27
第一节 给水系统和给水方式	27
第二节 给水管网的布置和敷设	31
第三节 给水系统所需水量	35
第四节 增压与贮水设备	42
第五节 建筑给水管网水力计算简介	50
第六节 高层建筑给水系统	52
思考题	54
第四章 建筑消防系统	55
第一节 消火栓给水系统	55
第二节 自动喷水灭火系统	67
第三节 其他灭火设施简介	68
思考题	69
第五章 建筑排水系统	70
第一节 建筑排水系统的分类和组成	70
第二节 排水管系中水气流动的物理现象	74
第三节 建筑内部排水系统水力计算	78
第四节 建筑排水管网的布置和敷设	82
第五节 建筑雨水排水系统	84
第六节 高层建筑排水系统	88
思考题	91

第六章 建筑中水系统及特殊建筑给水排水	92
第一节 建筑中水系统	92
第二节 特殊建筑给水排水	98
思考题	110
第七章 热水供应系统	111
第一节 热水供应系统概述	111
第二节 热水供应系统计算简介	114
第三节 热水管网敷设及保温	120
第四节 饮水供应	121
思考题	123
第八章 传热及气体射流基本知识	124
第一节 传热学基本知识	124
第二节 气体射流简介	128
思考题	130
第九章 供暖	131
第一节 供暖方式、热媒及系统分类	131
第二节 室内供暖系统形式	132
第三节 供暖系统的设计热负荷	146
第四节 供暖系统的散热设备	152
第五节 室内供暖系统的管路布置与主要设备及附件	155
第六节 供热管道及其附件	161
思考题	167
第十章 建筑通风	168
第一节 建筑通风方式	168
第二节 自然通风	169
第三节 局部通风	174
第四节 全面通风	177
第五节 通风系统的主要设备和构件	179
思考题	184
第十一章 空气调节	185
第一节 概述	185
第二节 空调负荷计算与送风量	188
第三节 空气处理设备和消声减振	193
第四节 空调房间的气流分布	200
第五节 空气调节系统	203
思考题	210
第十二章 燃气供应	211
第一节 燃气供应概述	211
第二节 室内燃气管道	213
第三节 燃气用具	214

思考题	216
第十三章 建筑供配电系统	217
第一节 电力系统	217
第二节 建筑低压配电系统	222
第三节 建筑电气与其他相关专业的配合	231
思考题	233
第十四章 建筑电气照明系统	234
第一节 照明技术基本知识	234
第二节 光源和灯具	236
第三节 照明工程识图	240
思考题	251
第十五章 智能建筑信息系统	252
第一节 建筑的信息通信系统	252
第二节 有线电视系统	260
第三节 建筑的扩声音响系统	266
第四节 火灾报警与消防联动控制系统	268
第五节 建筑设备管理自动化系统	277
思考题	280
第十六章 安全用电与建筑防雷	281
第一节 安全用电	281
第二节 建筑防雷	284
思考题	291
附录 A 给水钢管(水煤气管)水力计算表	292
附录 B 给水塑料管水力计算表	295
附录 C 排水塑料管水力计算表	297
附录 D 机制铸铁排水管水力计算表	298
附录 E 电气工程图形符号	299
附录 F 电气工程文字标注符号	302
参考文献	305

第一章 流体力学基本知识

自然界中的物质通常有固体、液体和气体三种存在形态,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。

第一节 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. 密度和重度

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(重度) γ 表示。

(1) 密度: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 。

(2) 重度: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 760mmHg 时的质量密度和重力密度分别为 $\rho_a = 1.2\text{kg/m}^3$ 、 $\gamma_a = 11.80\text{N/m}^3$ 。

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。

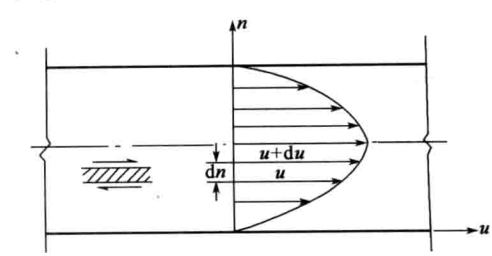


图 1-1 管道中断面流速分布

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 ,沿垂直流速方向单位长度的流速增值为 du/dn ,称为流速梯度。

(1) 黏滯力。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,这个力称为流体的内摩擦力,或称黏滯力。

(2) 黏滯性。流体在黏滯力的作用下,具有抵抗流体的相对运动(或变形)的能力,称为流体的黏滯性。

对于静止流体,由于各流层间没有相对运动,黏滯性不显示。

1687 年,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:

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \tag{1-4}$$

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 ——动力黏滯性系数(与流体的种类有关), $Pa \cdot s$;

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

流体黏滯性的大小可用黏滯性系数表达。除用动力黏滯性系数 μ 外,还常采用运动黏滯性系数 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$,单位为 m^2/s ,简称斯。 μ 受温度影响大,受压力影响小。水及空气的 μ 值及 ν 值见表 1-1 及表 1-2。

表 1-1 水的黏滯性系数

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 ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)	t ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu \times 10^{-6}$ (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
45	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,因为内摩擦阻力做负功,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。

3. 流体的压缩性和热胀性

(1) 流体的压缩性。流体的压缩性是指流体因压强增大,分子间距离减小,体积缩小,密度增大的性质。

(2) 流体的热胀性。流体的热胀性是指流体因温度升高,分子间距离增大,体积膨胀,密度减小的性质。

液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 $1/20000$ 。水在温度较低($10 \sim 20^{\circ}\text{C}$)时,温度每增加 1°C ,水的密度减小 $1.5/10000$;当温度较高($90 \sim 100^{\circ}\text{C}$)时,温度每增加 1°C ,水的密度减小也只为 $7/10000$ 。因此,在很多工程技术领域中,可以把液体的压缩性和热胀性忽略不计。

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。

气体与液体不同,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:

$$\frac{p}{\rho} = TR \quad (1-5)$$

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, $R = \frac{8314}{N}$, 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 $50\text{m}/\text{s}$ 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。

综上所述,对于建筑设备工程中的水、气流体,由于其流速在大多情况下均较低,因而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、

具有黏滯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,就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,而且能运用数学连续函数的工具,分析流体在外力作用下的机械运动。

第二节 流体静力学基本知识

流体静止是运动中的一种特殊状态。由于流体处于静止状态时不显示其黏滯性,不存在切向应力,同时认为流体也不能承受拉力,不存在由于黏滯性所产生运动的力学性质。因此,流体静力学研究的内容是,流体在静止或相对静止状态下的力学规律及其在工程技术中的应用,其中中心问题是研究流体静压强的分布规律。

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:

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

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。

流体静压强的因次为[力/面积],在国际单位制中,单位常用 Pa 表示,1Pa = 1N/m²,把 10⁵Pa 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。

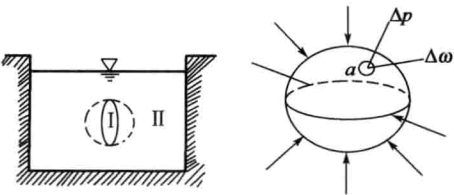


图 1-2 流体的静压强

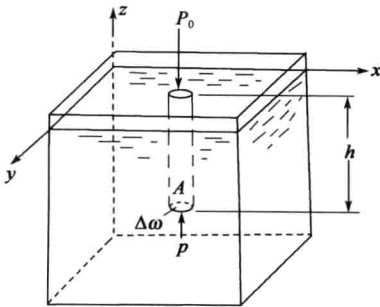


图 1-3 静止流体中的压强分布

2. 流体静压强的分布规律

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,又称为静水力学基本方程,式中 γ 和 p_0 都是常数。该方程表示静水压强与水深成正比的直线分布规律。该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。

应用静水压强基本方程分析问题,要抓住“等压面”这个概念,即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。

3. 压强的测量

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 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,是指绝对压强不足于当地大气压的差值,用符号 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,真空度在 $p_k = 0 \sim 98\text{kN/m}^2$ 的范围内变动。

真空度实际上又可表示为相对压强的负值。例如某点的绝对压强是 40kN/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 $p = 98 - 40 = 58(\text{kN/m}^2)$ 。因此,真空度有时也被称作“负压”。图 1-4 为压力计量基本图示。在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 1-5 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,例如:米水柱(mH_2O)、毫米水柱(mmH_2O)、毫米汞柱(mmHg)。如:

$$h = \frac{p_a}{\gamma} = \frac{98\text{kN/m}^2}{9.8\text{kN/m}^3} = 10\text{mH}_2\text{O} = 10000\text{mmH}_2\text{O}$$

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

上述三种压强单位的关系是:1 个工程大气压 $\approx 10\text{mH}_2\text{O} \approx 735.6\text{mmHg} \approx 98\text{kN/m}^2 \approx 98000\text{Pa}$ 。

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,多数测量仪表的显示值为相对压力值,也称为表压力。

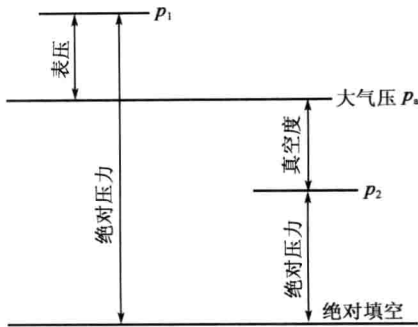


图 1-4 压力计量基本图示

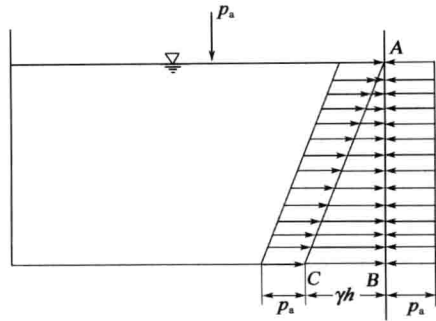


图 1-5 水池壁相对压强分布图

第三节 流体运动的基本知识

建筑设备中的流体多为运动状态,因此需要了解流体运动的基本知识。

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,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动,如图 1-6(a) 所示。

(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 1-6(b) 所示。

自然界中大多是非恒定流,为简化计算,工程中一般可以取为恒定流。

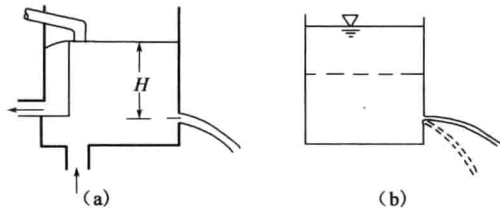


图 1-6 恒定流与非恒定流

(a) 恒定流; (b) 非恒定流

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 1-7 所示。

(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重合。

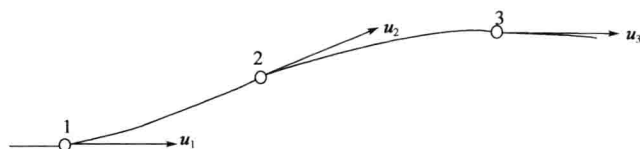


图 1-7 流线

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。

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 1-8 中的 A 区。

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 1-8 中的 B、C、D 区。

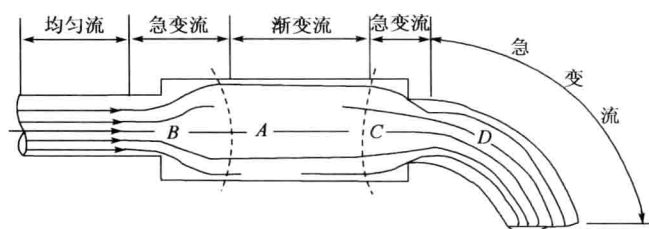


图 1-8 均匀流与非均匀流

5. 元流与总流

(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, 如图 1-9 所示。

6. 过流断面、流量与断面平均流速

(1) 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, 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, 如图 1-10 所示。

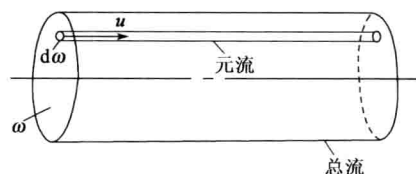


图 1-9 元流与总流

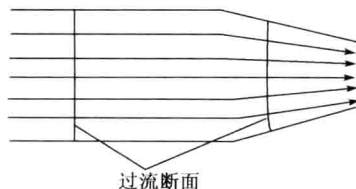


图 1-10 流线与过流断面

(2) 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 。流量是一个重要的物理量, 它具有普遍的实用意义。例如, 通风就是将一定流量的空气输送到需要通风的区域; 供热就是输送一定流量的热流体(热水、蒸

汽)到需要热量的地方;管道设计问题既是流体输送问题,也是流量问题。一般情况下,流量指的都是体积流量,但有时也引用质量流量,质量流量表示单位时间内通过过流断面的流体质量,单位为 kg/s 。一般来说,涉及不可压缩流体时通常使用体积流量,涉及可压缩流体时则使用质量流量较方便、简洁。

(3)断面平均流速。流体流动时,断面各点流速一般不易确定,工程上,一般采用断面平均流速 v 。断面平均流速为断面上各点流速的平均值。过流断面面积 ω 乘以断面平均流速 v 所得到的流量,等于实际流速通过该断面的流量。即:

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

显然,断面平均流速计算式为:

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

二、恒定流的连续性方程

恒定流的连续性方程是流体力学三个基本方程之一,是质量守恒原理的流体力学表达式,应用极为广泛。

在恒定流中任取一元流,如图 1-11 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 。

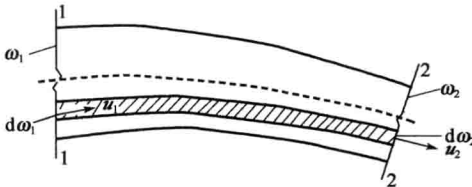


图 1-11 恒定总流段

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:

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

或

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

推广到总流,得:

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

或

$$\rho_1 \omega_1 v_1 = \rho_2 \omega_2 v_2 \quad (1-11b)$$

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(1-11a)与式(1-11b)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,流体的密度不变,由上式得

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

或

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

式(1-12a)与式(1-12b)系不可压缩流体的总流连续性方程——体积流量的连续性方程。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。

三、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的理想液体的能量方程,然后,考虑液体的黏性影响,推演出两个断面间流段实际液体恒定总流的能量方程,即伯努利方程:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (1-13)$$

现参见图 1-12,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, m;

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

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

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, m;

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

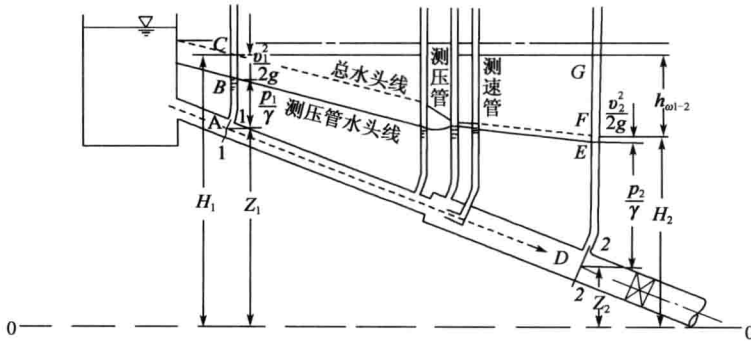


图 1-12 圆管中有压流动的总水头线与测压管水头线

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)。

各断面上的总水头 H 的表达式为:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (1-14)$$

如果把各断面上的总水头顶点连成一条线,则称此线为总水头线,如图 1-12 中虚线所示。在实际水流中,由于水头损失 h_{w1-2} 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:

$$i = \frac{h_{\omega 1-2}}{L} \quad (1-15)$$

如果把各过流断面的测压管水头 $\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)$ 连成线,则称之为测压管水头线,如图 1-12 中实线所示。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,所以能量方程中重力做功可以忽略不计。对于一般的通风管道,过流断面上的流速分布比较均匀,动能修正系数可采用 $\alpha = 1.0$,这样,实际气体恒定总流的能量方程为:

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

$$\text{或} \quad p_1 + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} + \gamma h_{\omega 1-2} \quad (1-17)$$

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;

$\gamma h_{\omega 1-2}$ ——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。

实际气体恒定总流的能量方程与液体总流的能量方程相比,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。

3. 能量方程应用举例

【例 1-1】 如图 1-13 所示为一轴流风机,直径 $d = 200\text{mm}$,吸入管的测压管水柱高 $h = 20\text{mm}$,空气的重力密度 $\gamma_a = 11.80\text{N/m}^3$,求轴流风机的风量(假定进口损失很小,可以忽略不计)。

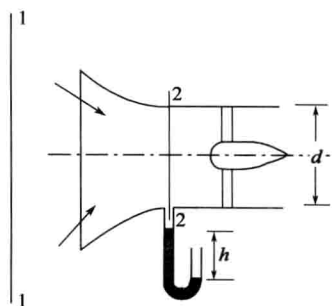


图 1-13 轴流风机简图

解:在实际工程中,风机被经常用到,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。本题就是关于风机的吸入管段,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,则气体能量方程为:

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

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