

总主编 罗固源

建筑设备

(41)

董羽蕙 主编



重庆大学出版社
新疆大学出版社

建 筑 设 备

董羽蕙 主编

重 庆 大 学 出 版 社
新 疆 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书主要介绍建筑物内部的设备,包括建筑给水排水,建筑采暖、通风及空气调节,建筑供电及防雷、建筑电气照明,综合布线与建筑设备自动化系统,建筑设备管线的综合布置与敷设所需的基础理论知识和基本概念、方法。全书采用新颁布的技术规范和规程编写。

本书可供高校土木工程专业作教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备/董羽蕙主编. —乌鲁木齐:新疆大学出版社;重庆:重庆大学出版社,2001.8
土木工程专业本科系列教材
ISBN 7-5631-1388-6

I. 建…… II. 董…… III. 建筑-设备-高等学校-教材 IV. TU6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 053485 号

建筑设备

董羽蕙 主编

责任编辑:曾令维 郭千钧 版式设计:曾令维

责任校对:蓝安梅 责任印制:张永洋

*

重庆大学出版社 出版发行
新疆大学出版社

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400044

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:25.75 字数:642 千

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—5 000

ISBN7-5631-1388-6/TU·9

定价:29.50 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

随着科学技术的发展,建筑业也在快速地发展。近年来我国人民生活水平不断提高,对建筑设备工程的标准、质量、功能等提出了更高的要求。为此要求从事建筑设计、施工和管理工作的有关人员必须进一步掌握有关建筑设备的基本技术知识和技能。本着高等学校的教学必须顺应时代发展的要求,我们编写了这本能较全面地反映当前建筑领域设备内容的教材。

本书主要介绍建筑物内部的设备,包括建筑给水排水,建筑采暖、通风及空气调节,建筑供电及防雷、建筑电气照明,综合布线与建筑设备自动化系统,建筑设备管线的综合布置与敷设等所需的基础理论知识和基本概念、方法;介绍建筑设备各工种之间以及与建筑之间的关系,设备工程的设计基本要求,建筑设备中管线综合布置与敷设的原则,设备各工种与建筑设计相协调的设计要求;介绍建筑设备各工种领域中新颁布的技术规范和规程,有关建筑设备工程设计计算方法的基本知识。

由于本书所涉及的内容广,编者水平有限,加之编写时间较短,因此本书在内容取舍、叙述深度、体系组织、例题安排等方面都会存在不足。恳请使用本书的师生提出意见和批评,以利于本书质量的提高。

本书由董羽蕙主编。参加编写人员及编写内容如下:

董羽蕙 第1章,第2章,第9章,第12章,第13章,第14章;

龚数明 第4章,第6章;

王成芬 第5章;

蒋国秀 第7章,第8章;

周 明 第3章,第10章,第11章。

编 者

2002年5月

目 录

第1篇 建筑设备技术基础知识	1
第1章 流体运动的基本规律	1
1.1 流体的主要物理性质	1
1.2 流体运动的参数、分类和模型	5
1.3 一维流体恒定流的连续性方程	8
1.4 一维流体恒定总流能量方程	9
1.5 流动阻力和流动状态	12
1.6 应用举例	17
习题	20
第2章 传热原理	22
2.1 热传导	22
2.2 热对流和对流换热	25
2.3 热辐射及辐射换热	26
2.4 传热过程及传热系数	28
习题	29
第3章 电工基础知识	30
3.1 电流、电压、电阻与电功率	30
3.2 电磁效应与电磁感应	34
3.3 直流与交流电路	37
3.4 变压器工作原理	49
习题	51
第4章 管材及附件	54
4.1 常用管材及管件	54
4.2 附件	57
4.3 水泵及风机	61
习题	65
第2篇 建筑给水排水工程	67
第5章 建筑给水工程	67
5.1 城镇给水	67
5.2 建筑给水系统以及给水方式	71

5.3 室内给水水压、水量以及加压和储存	75
5.4 室内给水的配管方法	81
5.5 高层建筑给水系统	85
5.6 建筑消防给水类别、组成及设置	86
5.7 建筑消防给水方式及配管方法	91
5.8 消防给水设备与器材	96
习题	100
第6章 建筑排水工程	101
6.1 城镇排水系统的体制、组成与管网	101
6.2 室内排水系统的分类及污水排放条件	103
6.3 室内排水系统的组成	105
6.4 排水管道的配管	110
6.5 屋面排水	116
6.6 污水局部处理构筑物简介	121
6.7 建筑中水工程简介	123
习题	127
第3篇 建筑采暖、通风及空气调节	128
第7章 采暖、热水供应与燃气工程	128
7.1 供暖系统分类方式及选择	128
7.2 热负荷	140
7.3 供暖设备及附件	148
7.4 热水供应工程简介	154
7.5 燃气工程简介	162
第8章 通风	171
8.1 建筑通风概述	171
8.2 全面通风和局部通风	175
8.3 自然通风	182
8.4 通风系统的主要设备和构件	190
8.5 高层建筑的防火排烟	196
习题	204
第9章 空气调节	205
9.1 空气调节概述	205
9.2 空气处理设备	210
9.3 空调房间的建筑设计	219
9.4 空调冷源及制冷设备	224
9.5 空调水系统	229
9.6 民用建筑常用的几种空调系统简介	234
习题	237

第4篇 建筑电气	238
第10章 建筑供电及防雷	239
10.1 城市供电	239
10.2 建筑电气设计概况	244
10.3 建筑供配电系统	246
10.4 用电负荷的计算及电气设备的选择	251
10.5 配电盘、柜和变配电室	257
10.6 建筑防雷与接地	261
习题	268
第11章 建筑电气照明	270
11.1 照明的基础知识	270
11.2 光源、灯具及布置	275
11.3 人工照明标准和照明设计	284
11.4 建筑电照设计成果	293
习题	294
第5篇 综合布线概述以及建筑设备自动化系统	296
第12章 综合布线工程概述	296
12.1 智能建筑的基本概念	296
12.2 综合布线的概念以及与智能建筑的关系	300
12.3 综合布线的设计要领与结构	305
12.4 建筑物自动化系统综合布线	313
习题	317
第13章 建筑设备自动化系统	318
13.1 现场监控站与管理中心	319
13.2 火灾自动报警与控制系统	321
13.3 给排水系统的监控与管理	341
13.4 空调设备的监控与管理	342
13.5 电力系统的监控与管理	345
习题	346
第6篇 建筑设备管线综合布置与敷设	347
第14章 建筑设备管线的综合布置与敷设	347
14.1 建筑给水排水管道的布置、敷设与安装	347
14.2 采暖、供热、供气、通风等管网的布置、敷设与安装	359
14.3 建筑电气及电子技术中的管线敷设	369
14.4 建筑设备管道的综合布置与消声减振	373
习题	379
附录	380
参考文献	401

第 **1** 篇

建筑设备技术基础知识

第 **1** 章

流体运动的基本规律

物质通常是以固体、液体和气体中的一种形式出现的。流体是液体和气体的统称。宏观地研究流体受力和运动的规律以及这些规律在工程技术中的应用的科学称为流体力学,它是力学的一重要分支。

1.1 流体的主要物理性质

流体的运动,如水在江河中流动,燃气在管道中输送,空气从喷嘴喷出等,都表现流体具有易流动性。流体不能承受拉力,也不能承受剪力,在很小的剪切力作用下,流体会连续不断地变形。但是,流体能承受较大的压力。其主要物理性质如下:

1.1.1 质量密度和重力密度

流体也具有质量和重量,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密度 ρ ;而单位体积的重量,则称为流体的重力密度 γ 。计算关系如下:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1.1)$$

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{N/m}^3) \quad (1.2)$$

根据牛顿第二定律: $G = Mg$ 。则有

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (1.3)$$

式中: M ——流体的质量(kg);

V ——流体的体积(m^3);

G ——流体的重量(N);

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 $\rho = 1000\text{kg/m}^3$, $\gamma = 9.81\text{kN/m}^3$ 。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 $1.013 \times 10^5\text{Pa}$ 时, $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$, $\gamma = 11.80\text{N/m}^3$ 。

1.1.2 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。在这两种性质上,液体和气体的差别很大。

(1) 液体的压缩性和热胀性

1) 液体的压缩性

在某一温度和压力下,液体单位压力升高所引起的体积相对减少值,称为该温度和压力下液体的体积压缩率 $k(\text{Pa}^{-1})$

$$k = - \frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1.4)$$

式中: dp ——压力的增值;

V ——液体原来的体积;

dV ——液体体积的变化。

k 值越大,液体的压缩性越大。工程中常用液体的体积模量 $K(\text{Pa})$ 来表示液体的压缩性。

$$K = \frac{1}{k} \quad (1.4a)$$

2) 液体的热胀性

在某一压力和温度下,液体的温度升高 1 度所引起的体积相对变化值称为该温度和压力下液体的体积膨胀系数 $\alpha_v(\text{K}^{-1})$

$$\alpha_v = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (1.5)$$

式中: dT ——温度的增值;

V ——液体升温前的体积;

dV ——温升引起的液体体积变化。

通常液体的体积压缩性和体积膨胀系数都很小,因此,在很多工程技术领域中忽略密度变化所带来的误差。例如在建筑设备工程技术中,除管中水击和热水循环系统等外,一般不考虑液体的压缩性和热胀性,这种理想的液体称为不可压缩性液体。

(2) 气体的压缩性和热胀性

气体具有显著的压缩性和热胀性,从物理学中已知:

①理想气体状态方程 适用于气体在温度不过低,压强不过高时。

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1.6)$$

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($\text{J/kg} \cdot \text{K}$)。

R 的物理意义是,1kg 质量的气体在定压下,加热升高 1°C 时所做的膨胀功。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。

②等温过程 即气体状态变化过程中,温度保持不变的情况。式(1.6)可写为:

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} = C \quad (\text{常数}) \quad (1.7)$$

上式表明,密度与压强成正比关系变化,即波义耳定律。

对于气体状态变化缓慢,或气流速度较低时,气体与外界能进行充分的热交换,视为与外界温度相等,即可按等温过程处理。例如缓变充气或排气时储气缸中气体就是缓慢压缩或缓慢膨胀过程,均可视为等温过程。

③等压过程 即气体状态变化过程中,压强保持不变的情况。式(1.6)可写为:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T_0 + t} \quad \text{或} \quad \gamma^2 = \frac{\gamma_0}{1 + \beta t} \quad (1.8)$$

式中: $\beta = \frac{1}{273} (\text{K}^{-1})$, 是气体的体积膨胀系数。

上式表明,在等压过程中,密度与温度成反比关系变化,即盖·吕萨克定律。

④绝热过程 即气体状态变化过程中,与外界没有热交换的情况。绝热方程为:

$$\frac{p}{\rho^k} = \frac{p_0}{\rho_0^k} = C \quad (\text{常数})$$

$$\text{或} \quad \rho = \rho_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{1/k}, \quad \gamma = \gamma_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{1/k} \quad (1.9)$$

式中: k ——绝热指数,是定压比热 C_p 与定容比热 C_v 的比值。对于空气 $k=1.4$ 。

例如有的气动设备进、排气过程进行得很快,气体来不及与外界进行热交换,这类问题可按绝热过程对待。

⑤多变过程 多变过程方程:

$$\frac{p}{\rho^n} = C \quad (\text{常数}) \quad (1.10)$$

式中 n 称为多变指数。当 $1 < n < k$ 时, 气体为不完全冷却下的压缩, 或不完全加热下的膨胀; 当 $n > k$ 时, 相当于气体被加热压缩或被冷却膨胀。如水冷式压气机所压缩的气体属于 $n < k$ 的多变过程; 其他小型鼓风机, 则属于 $n > k$ 的多变过程。

在流体运动的分类中, 把速度较低 (远小于音速) 的气体, 若压强和温度在流动过程中变化较小, 密度可视为常数, 称为不可压缩气体。而流动过程中密度变化很大 (当速度等于 50m/s 时), 密度变化为 1%, 也可以当作不可压缩气体对待。反之, 把流速较高 (接近或超过音速) 的气体, ρ 不能视为常数, 称为可压缩气体。

综合上述流体的各项主要物理性能, 当流体速度较低, 流动过程中密度变化不大 (可视为常数), 这种液体和气体可认为是不可压缩的流体。

在研究流体运动规律中, 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。研究单元的质点, 也认为是由无数分子所组成, 具有一定体积和质量。这样, 不仅从客观上摆脱了分子运动的研究, 而且能运用数学的连续函数工具, 分析流体运动规律。

1.1.3 流体的粘滞性

流体不能承受剪力, 但不同的流体在相同的剪切力作用下其变形的速度是不同的, 也就是不同的流体抵抗剪切力的能力不同, 这种能力称为流体的粘性。

用流速仪测出实验管道中某一断面的流速分布, 分析发现流体沿管道直径方向流速不同, 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, 直到管壁处的流速为零, 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 $\frac{du}{dn}$, 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。

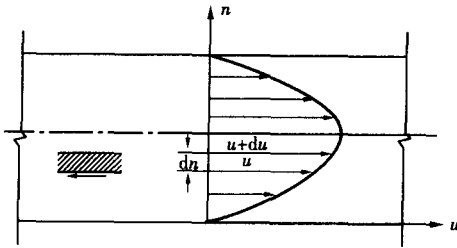


图 1.1 管道中断面流速分布

由于各流层间没有相对运动, 粘滞性不显示。

在总结实验的基础上, 牛顿首先提出了流体内摩擦力的假说——牛顿内摩擦定律, 即流层间的切应力表达式:

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (\text{N/m 或 Pa}) \quad (1.11)$$

式中: F ——内摩擦力 (N);

S ——摩擦流层的接触面面积 (m^2);

μ ——与流体种类有关的系数, 称为动力粘度 ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$);

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

流体粘滞性的大小,可用粘度表达。除用动力粘度 μ 外,工程中常用动力粘度 μ 和流体密度 ρ 的比值来表示粘度,称为运动粘度 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$,单位为 m^2/s ,简称斯。粘度是流体的重要属性,它是流体温度和压力的函数。在工程的常用温度和压力范围内,粘度主要依温度而定,压力的影响不大。水及空气的 μ 值及 ν 值如表1.1及1.2所示。

流体的粘滞性对流体运动有很大影响,因此它是实际工程水力计算中必须考虑的一个重要问题,这将在后面有关部分讨论。

表 1.1 水的粘度

$t/^\circ\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}$ $/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}$ $/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$t/^\circ\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}$ $/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}$ $/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
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

$t/^\circ\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}$ $/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}$ $/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$t/^\circ\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}$ $/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}$ $/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
-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	25.8
30	0.018 7	16.6	150	0.023 9	29.6
40	0.019 2	17.6	200	0.025 9	35.8
50	0.019 6	18.6	250	0.028 0	42.8
60	0.020 1	19.6	300	0.029 8	49.9

1.2 流体运动的参数、分类和模型

1.2.1 描述流体运动的几个主要物理参数

①压力(p) 理想流体之间相互的作用力是以压力表达。单位面积上的压力称为压强。流体运动时的压强称为动压强。若流体处于静止(仅有重力作用下),流体之间相互作用力则

称为静压力。压强对于理想流体因不考虑其粘滞力,而忽略其切应力,则动压强方向必然垂直指向其所作用的平面,此时与静压强作用方向是相同的。对于实际流体间相互作用的压力,其大小应为动压力与粘滞力形成切应力(τ)的合力。压强单位以 N/m^2 表达。

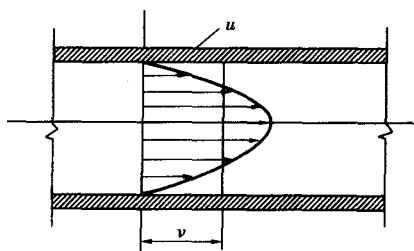


图 1.2 断面流速

②流量 单位时间内流体流过某控制断面的流体量称为流量。流量量可以用体积、质量表示,即体积流量和质量流量。一般的流量指的是体积流量,用符号 Q 表示。单位是 m^3/s 或 L/s 。有时也引用重量流量或质量流量。质量流量的单位为 kg/s 。

③断面平均流速(v) 流体流动时,断面各点流速一般不易确定,当工程中无须确定时,可采用断面平均流速来简化流动,如图 1.2 所示。断面平均流速的意义是:过流断面面积乘断面平均流速所得到的流量,等于该断面实际流速通过的流量。即

$$Q = v\omega = \int \omega u \, d\omega$$

则断面平均流速计算式为

$$v = \frac{\int \omega u \, d\omega}{\omega} = \frac{Q}{\omega} \quad (1.12)$$

计算式(1.12)表达了流量、过流断面和平均流速三者之间的关系。过流断面 ω 则与水深(h)、湿周(χ)等参数有关。

1.2.2 流体运动的分类与模型

(1) 流线与迹线

1) 流线

流体运动时,在某一时刻流体中通过连续质点绘制的曲线,这条曲线就称为该时刻的一条流线。整个流体的瞬时流线图形象地描绘出该瞬时整个流体的流动情况。流线具有两个特性:①流线上任一点的切线方向即为该点的流速方向;②流线不能相交或转折。

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。

(2) 压力流与无压流

①压力流 流体在压差作用下流动时,流体与固体壁周围都接触,流体无自由表面。工程中常见的压力流有:供热工程中管道输送有压的汽、水载热体,风道中气体,给水管中水的输配等都是压力流。

②无压流 也称重力流。指液体在重力作用下流动时,液体的一部分周界与固体壁相接触,另一部分则与空气相接触,形成自由表面。如天然河流、明渠流等为无压流动。

(3) 恒定流与非恒定流

①恒定流 流体运动时,各点的流速方向和流线图不随时间变化,质点始终沿着固定的流线运动,流线与迹线相重合,如图 1.3 (a) 所示。

②非恒定流 流体运动时,各点的流速方向和流线图可随时间变化,流线与迹线不一定相

重合,如图 1.3 (b) 所示。自然界中非恒定流较为普遍,但为了方便计算,工程中常将变化缓慢的非恒定流视为恒定流。

(4) 均匀流与非均匀流

1) 均匀流

指流体运动,所有物理量不依赖于空间坐标,其流线是平行直线的流动状态。如等截面长直管中的流动属于均匀流。

2) 非均匀流

流体运动时,流线为非平行直线的流动状态。如流体在收缩管、扩大管或弯管中流动等。非均匀流又可分为:

① 渐变流 流体运动中流线接近于平行直线的流动称为渐变流,如图 1.4A 区。

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 1.4B、C、D 区。

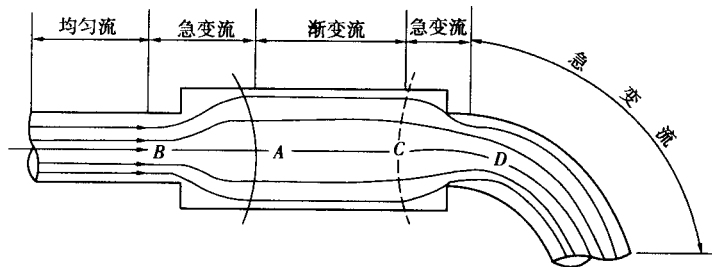


图 1.4 均匀流和非均匀流

(5) 流管、总流及流动模型

① 流管 流体运动时,在流场中取一垂直于流速方向的微小面积 $d\omega$,并在 $d\omega$ 面积上各点引出流线而形成了一股由流线组成的流束称为流管,如图 1.5 所示。在流管内流体不会通过流线流到流管外面,在流管外面的流体亦不会通过流线流进流管中去。

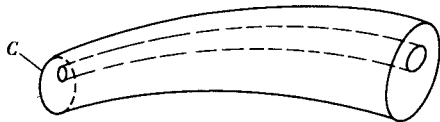


图 1.5 流管

② 总流 流体运动时,如果流管的管状流面部分或全部取在固壁上,这整股流体称为总流。它是微元流束的总和。如水管中的水流及风管中的气流等都是总流。

③ 流动模型 在研究流体运动基本规律中,取总流代表实际流体,并且忽略其粘滞性以及在一定条件下不计流体压缩性和热胀性的流体称为不可压缩性流体,考虑其压缩性和热胀性的流体称为可压缩性流体。理论上称这些流体为流动模型。

1.3 一维流体恒定流的连续性方程

质量守恒是流体的一个最基本的定律,由此建立的恒定流连续性方程是流体运动的基本方程之一,应用极为广泛。

根据流体是连续介质,流动是恒定流,流管形状及空间各点的流速不随时间变化以及流体不能从流管侧壁流入或流出等原理,在恒定总流中任取一流管,如图 1.5 所示,流管在 1-1、2-2 过流断面上的面积和流速分别为 $d\omega_1$ 、 $d\omega_2$ 、 u_1 、 u_2 。由质量守恒定律,流进 $d\omega_1$ 断面的质量必然等于流出 $d\omega_2$ 断面的质量。令流进流体的密度为 ρ_1 ,流出流体的密度为 ρ_2 ,则在 dt 时间内流进与流出的质量相等:

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

推广到总流,得

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

由于过流断面上质量密度 ρ 为常数,以 $\int_{\omega} u d\omega = Q$ 代入上式,得:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (1.13)$$

或以断面平均流速来描述,则

$$\rho_1 \omega_1 v_1 = \rho_2 \omega_2 v_2 \quad (1.13a)$$

式中: ρ ——质量密度;

ω ——总流过流断面面积;

v ——总流的断面平均流速;

Q ——总流的流量。

式(1.13)与式(1.13a)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。

由于 $\gamma = \rho g$,对于同一地区则有过流断面 1-1、2-2 总流的重量流量为:

$$\gamma_1 Q_1 = \gamma_2 Q_2 \quad (1.14)$$

或

$$\gamma_1 \omega_1 v_1 = \gamma_2 \omega_2 v_2 \quad (1.14a)$$

或

$$G_1 = G_2 \quad (1.14b)$$

式中: γ ——重力密度;

G ——重量流量。

式(1.14)、式(1.14a)、式(1.14b)三式系总流重量流量的连续性方程式。

当流体不可压缩时,流体的重力密度 γ 不变,则有:

$$Q_1 = Q_2 \quad (1.15)$$

或

$$\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 \quad (1.15a)$$

式(1.15)与式(1.15a)为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。

若在工程上遇到可压缩流体,可用总流重量流量的连续性方程式或质量流量的连续性方

程式,即式(1.14)或式(1.13)。

1.4 一维流体恒定总流能量方程

流体也满足能量守恒及其转化规律,以此规律来分析流体运动,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,即工程技术计算的基本方程。

1.4.1 实际液体的恒定总流能量方程

流体流动具有动能和势能两种机械能。它的势能又可分为位置势能和压力势能两种。瑞士科学家达·伯努里(Daniel Bernoulli)根据功能原理,推演出考虑液体粘性影响的实际液体的1-1和2-2断面间恒定总流的能量方程,亦即伯努里方程式:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{\omega 1-2} \quad (1.16)$$

根据图1.6对式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;

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

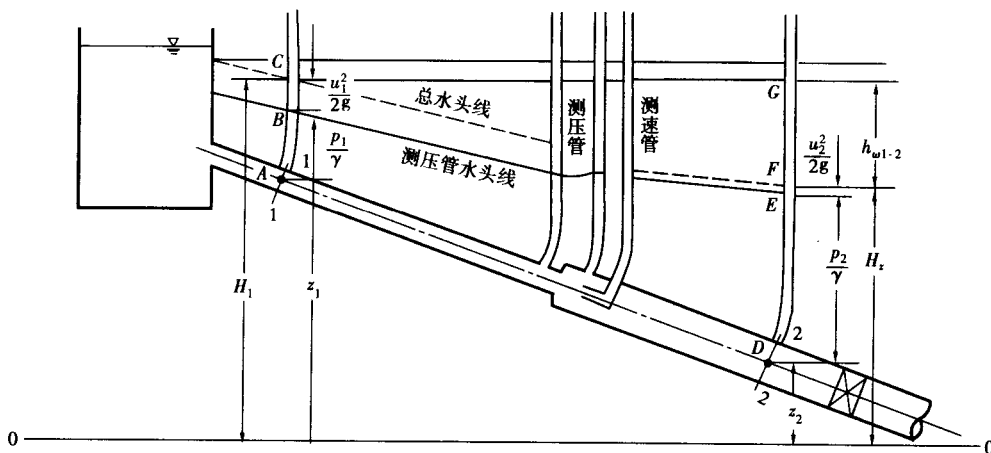


图1.6 圆管中有压流动的总水头线与测压管水头线

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

$h_{\omega 1-2}$ ——单位重量液体从1-1断面到2-2断面流段的能量损失,也称水头损失。

式(1.16)表示单位质量流体所具有的位能、动能和压能之和即总机械能(总水头)为一常数,式中 α 为动能修正系数,是对用断面平均流速 v 代替质点流速 u 计算动能所造成误差的修正。一般 $\alpha = 1.05 \sim 1.1$,工程计算上,常取 $\alpha = 1.0$ 。

能量方程式中每一项的单位都是长度,都可以在断面上用铅垂线段在图中表示出来。如果把各断面上的总水头 $H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}$ 的顶点连成一条线,则此线称为总水头线,如图1.6中虚线所示。在实际水流中,由于水头损失 $h_{\omega 1-2}$ 的存在,因此总水头线总是沿流程下降的倾斜

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:

$$i = \frac{h_{\omega}}{l} \quad (1.17)$$

把各过流断面的测压管水头 $(z + \frac{p}{\gamma})$ 连成线,如图 1.6 实线所示,称为测压管水头线。测压管水头线可能上升,可能下降,也可能水平,可能是直线也可能是曲线,要根据液体沿程圆管构造情况确定。

1.4.2 实际气体的恒定总流能量方程

对于不可压缩的气体,流体能量方程式同样可以适用,若气体容重很小,式中重力做功可以忽略不计。则实际气体总流的能量方程式为:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\omega 1-2} \quad (1.18)$$

或者写为

$$p_1 + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} + \gamma h_{\omega 1-2} \quad (1.18a)$$

实际气体总流量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:

p ——过流断面相对压强,工程上称静压;

$\gamma v^2/2g$ ——工程上称动压;

$p + \gamma v^2/2g$ ——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 1-1 至 2-2 间的压强损失。

1.4.3 能量方程应用举例

【例 1.1】如图 1.7 所示文丘里流量计,当水流通过时,水银压差计的读数是 Δh ,求通过的流量 Q 值。

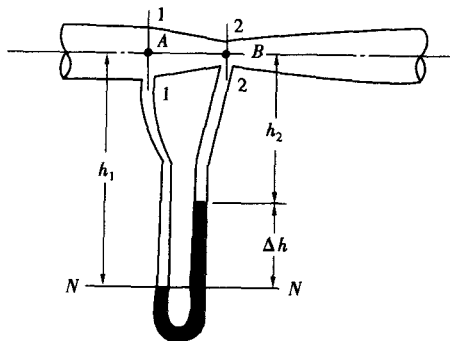


图 1.7 文丘里流量计

【解】断面选在安置水银压差计的 1-1 和 2-2,基面选为文丘里轴线,断面 1-1,2-2 的能量方程式为:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{\omega 1-2}$$

取 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$,因管路很短,水头损失很小,可取 $h_{\omega 1-2} \approx 0$ 。又由于文丘里管水平设置,采用的为水银比压计,故

$$z_1 = z_2 = 0; \quad \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = 12.6 \Delta h$$

将上述诸值代入上列计算式可得:

$$12.6 \Delta h = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \quad (1)$$