

全国高职高专建筑类专业规划教材

JIANZHU SHEBEI

建筑设备

徐 欣 孙桂润 主编

景巧玲 主审



黄河水利出版社

全国高等建筑类院校专业教材

《建筑设备》教材编写组

建筑设备

主编 陈熙 副主编 陈熙
陈熙 陈熙



清华大学出版社

全国高职高专建筑类专业规划教材

建 筑 设 备

主 编 徐 欣 孙桂润
副主编 刘华斌 吴 琼 徐海英
主 审 景巧玲

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是全国高职高专建筑类专业规划教材,是根据教育部对高职高专教育的教学基本要求及全国水利水电高职教研会制定的建筑设备课程教学大纲编写完成的。本书系统地介绍了流体力学基础知识、建筑给水工程、建筑排水工程、采暖与燃气工程、通风与空调工程、建筑电气系统、建筑弱电系统等内容。其体系完备、内容翔实、图文并茂、深入浅出、系统性强,注重实践性和实用性,突出现行新规范和新标准。

本书可作为高职高专院校、成人高校及继续教育和民办高校的建筑工程技术专业、工程造价专业、工程监理专业、建筑装饰工程技术专业教材,同时亦适用于建筑经济管理、物业管理等专业。此外,还可作为建筑工程专业技术人员的岗位培训教材及有关人员的自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备/徐欣,孙桂润主编. —郑州:黄河水利出版社,
2011.5

全国高职高专建筑类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0057 - 8

I. ①建… II. ①徐… ②孙… III. ①房屋建筑设备 -
高等职业教育 - 教材 IV. ①TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 085893 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail: hhslwlp@163.com
/简 群 66026749 w_jq001@163.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail: hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17.75

字数:410 千字

印数:1—4 100

版次:2011 年 5 月第 1 版

印次:2011 年 5 月第 1 次印刷

定价:32.00 元

前 言

本书是根据《教育部、财政部关于实施国家示范性高等职业院校建设计划,加快高等职业教育改革与发展的意见》(教高[2006]14号)、《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的建筑类专业规划教材。本套教材以学生能力培养为主线,具有鲜明的时代特点,体现出实用性、实践性、创新性的教材特色,是一套理论联系实际、教学面向生产的高职高专教育精品规划教材。

本书适用于建筑工程技术、工程造价、工程监理、建筑装饰工程技术等专业。在编写过程中遵循的原则及特点如下:

(1)本书理论和实践部分内容翔实、图文并茂、通俗易懂,便于学生自学。编者在多年教学过程中发现,如果理论知识太少,只讲识图与安装,有些学校没有较好的实训条件,学生缺乏必要的理论基础,以致对这门课兴趣不大,所以教材必须便于学生自学,提高学生的学习积极性。

(2)本书理论讲解、施工图识读、施工安装三者并重,形成完整的知识体系,各相关专业可根据需要有选择性地讲解,加强学生动手能力的培养,提高学生的实践技能,体现了高等职业教育注重以能力为本位的人才培养观念。

(3)采用现行的规范和标准。本书介绍了新材料、新技术、新工艺,使学生更多地掌握新知识、新技术。

(4)本书实用性强,对于那些需要进一步提高的学生、相关专业的工程技术人员也有一定的参考价值。

本书编写人员及编写分工如下:湖北水利水电职业技术学院徐欣编写第一章、第四章(第三节)、第六章(第六~第八节),福建水利电力职业技术学院肖定华编写第二章、第四章(第一节、第二节),浙江同济科技职业学院张艳编写第三章,沈阳农业大学高等职业技术学院吴琼编写第五章,黑龙江农垦科技职业学院孙桂润编写第六章(第一~第五节),福建水利电力职业技术学院徐海英编写第七章,福建水利电力职业技术学院刘华斌编写第八章,山西水利职业技术学院李渐波编写第九章。本书由徐欣、孙桂润担任主编,负责统稿;由刘华斌、吴琼、徐海英担任副主编;由国家注册造价工程师、注册监理工程师、湖北城市建设职业技术学院景巧玲担任主审。

本书在编写过程中参考了大量的书籍、文献,在此向有关编著者表示衷心的感谢!

本书在编写过程中,力求尽善尽美,但由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2011年1月

目 录

前 言

第一章 流体力学基础知识	(1)
第一节 流体的主要物理性质	(1)
第二节 流体机械能的特性	(4)
第三节 流动阻力和水头损失	(10)
思考题与习题	(12)
第二章 建筑给水工程	(13)
第一节 建筑给水系统	(13)
第二节 建筑给水管材、附件及设备	(21)
第三节 建筑消防给水系统	(34)
第四节 建筑热水供应系统	(45)
思考题与习题	(52)
第三章 建筑排水工程	(53)
第一节 排水系统的分类与组成	(53)
第二节 卫生器具及其设备和布置	(58)
第三节 排水管材与附件	(67)
第四节 污废水提升和局部处理	(71)
第五节 高层建筑排水系统	(73)
思考题与习题	(79)
第四章 建筑给水排水施工图识读与施工	(80)
第一节 建筑给水排水工程制图的一般要求	(80)
第二节 建筑给水排水施工图识读	(82)
第三节 建筑给水排水工程施工	(93)
思考题与习题	(100)
第五章 采暖与燃气工程	(101)
第一节 采暖系统的形式与特点	(101)
第二节 管材、附件和采暖设备	(113)
第三节 采暖系统管网的布置	(120)
第四节 建筑采暖施工图	(124)
第五节 燃气工程	(129)
思考题与习题	(135)
第六章 通风与空调工程	(136)
第一节 通风工程	(136)

第二节	建筑物的防火排烟系统	(143)
第三节	空调系统的分类与组成	(147)
第四节	空气处理及设备	(154)
第五节	空调房间的气流组织	(161)
第六节	空调的制冷系统	(165)
第七节	通风与空调工程施工图	(169)
第八节	通风(空调)系统的安装	(179)
	思考题与习题	(184)
第七章	建筑电气系统概述	(185)
第一节	建筑电气的含义及分类	(185)
第二节	电力系统基本概念	(188)
第三节	常见建筑电气设备	(189)
第四节	常用电线电缆	(196)
	思考题与习题	(198)
第八章	建筑供配电系统及照明系统	(199)
第一节	建筑供配电系统	(199)
第二节	建筑施工现场的电力供应	(204)
第三节	照明系统	(208)
第四节	建筑防雷与接地	(229)
第五节	建筑电气施工图	(238)
	思考题与习题	(249)
第九章	建筑弱电系统概述	(251)
第一节	智能建筑概述	(251)
第二节	综合布线系统	(253)
第三节	通信系统	(255)
第四节	有线电视系统	(256)
第五节	楼宇自动控制系统	(258)
第六节	火灾自动报警与消防联动控制系统	(259)
第七节	安全防范系统	(268)
	思考题与习题	(276)
参考文献		(277)

第一章 流体力学基础知识

物质在自然界中通常有固体、液体和气体三种存在状态。液体和气体因具有较大的流动性而被称为流体。流体力学是研究流体平衡规律和运动规律以及流体与固体之间相互作用问题的一门科学,它是现代许多工程领域的理论基础。流体力学包括两个基本部分:研究流体平衡规律的称为流体静力学,研究流体运动规律的称为流体动力学。

第一节 流体的主要物理性质

一、流体的密度、容重、比容、相对密度

(一) 密度和容重

流体和固体一样也具有惯性,惯性的大小可用质量来量度。质量越大,惯性也越大,越难改变其原有的运动状态。对于均质流体,单位体积的质量称为流体的密度,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 。

流体在重力作用下具有重量。对于均质流体,单位体积的重量称为流体的容重(又称重力密度,简称重度),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 。

由物理学知, $G = mg$ 。因此

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

式中 g ——重力加速度,一般取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

流体的密度和容重随其温度和所受压力的变化而变化。但在实际工程中,液体的密度和容重随温度和压力的变化不大,可视为一个常数,而气体的密度和容重随温度和压力的变化较大,设计计算中通常不能视为一个固定值。因此,当指出某种流体的密度和容重时,必须指明它所处的温度和外界压力条件。

(二) 比容

比容是密度的倒数,即 $\nu = 1/\rho$,其单位为 m^3/kg 。

(三) 相对密度

物质的密度与标准物质的密度之比,称为相对密度。对于固体和液体,标准物质多选

用 4℃ 的水;对于气体,多采用标准状况(0℃, 1.01325×10^5 Pa)下的空气。

二、流体的压缩性与膨胀性

当温度保持不变时,流体的压强增大、体积减小、密度增大的性质,称为流体的压缩性;当压强保持不变时,流体的温度升高、体积增大、密度减小的性质,称为流体的膨胀性。液体和气体的压缩性与膨胀性有所不同。

液体的压缩性与膨胀性都很小。例如,水在常温下,当压强增大一个大气压时,体积约缩小 1/20 000,因此在实际工程中往往不考虑液体的压缩性。例如,在管道的密闭性试验(俗称管道试压)中,常用水作为试验介质。首先将试压管段充满水,然后用试压泵向管段内强制性继续注水,水的压缩性很小,所以只需强制注入少量的水便可使管段内压力升高很快,使管段内升压时间缩短。如果管段密闭性不好,只要有少量泄漏,便会使压力明显下降。又如,在一个大气压下,当温度在 10~20℃ 时,水的温度升高 1℃,体积只增加 1.5/10 000。所以,在实际工程中,除供暖系统外,都不考虑液体的膨胀性。水在密闭系统(或容器)中受热升温后,会产生很大的温度应力,将系统部件胀坏。所以,采暖和热水供应系统,必须充分考虑水的膨胀性问题,如设置专门的膨胀罐等。

水的膨胀性有其特殊性。当水温在 0~4℃ 时,水的体积随温度的升高而减小,密度和容重相应增大;水温大于 4℃ 时,水的体积则随温度的升高而增大,密度和容重相应减小。

气体有很大的压缩性和热膨胀性。温度与压力的变化对气体密度和容重的影响很大。如在标准大气压、0℃ 时,空气的容重为 12.7 N/m^3 ,而在标准大气压、20℃ 时容重减小为 11.76 N/m^3 。

三、流体的压力

流体单位面积上所承受的垂直作用力,称为流体的静压强,简称压强,习惯上称为压力,以符号 p 表示,而流体的压力 F 称为总压力。

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-4)$$

式中 p ——流体压力, N/m^2 或 Pa ;

F ——垂直作用于面积 A 上的总压力, N ;

A ——作用面的面积, m^2 。

(一)绝对压力

绝对压力为流体的真实压力。

(二)表压

表压为流体绝对压力高于外界大气压的数值。当设备内流体绝对压力高于外界大气压时,安装在设备上的压力表的读数即为表压。

表压与绝对压力的关系为

$$\text{表压} = \text{绝对压力} - \text{大气压力(当地)}$$

(三)真空度

真空度为流体绝对压力低于外界大气压的数值。当设备内流体绝对压力低于外界大气

压时,安装在设备上的真空表的读数即为真空度。

真空度与绝对压力的关系为

真空度 = 大气压力(当地) - 绝对压力

绝对压力、表压与真空度的关系如图 1-1 所示。

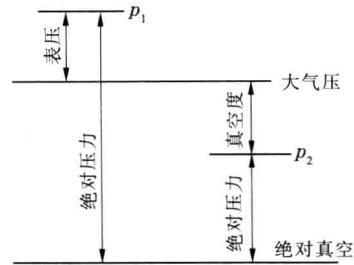


图 1-1 绝对压力、表压与真空度的关系

流体不同于固体的最基本特性就是具有流动性。流动性是指流体不能承受切向力,如果有切向力存在,即使切向力很微小,流体也会发生变形。

因此,在建筑的水、暖、通风空调中,流体能在外力作用下通过管道连续地输送到指定的地点,供各种设备使用。固体有固定的形状,而流体没有固定的形状;固体有抗拉、抗剪、抗压的能力,而流体几乎不能抗拉,抗剪的能力也很小。可见,流体的流动性正是这种抗拉、抗剪能力极小的表现。但是,流体和固体一样,都能承受较大的压力。

流体在运动状态时,由于各流层的流速不同,就会在层间产生阻碍相对运动和剪切变形的内摩擦力,称为流体的黏滞性。此内摩擦力也称为黏滞力。黏滞性(或黏性)是流动性的反面,流体的黏滞性越大,其流动性越小。

流体具有黏滞性可用平板拖曳实验加以证明。图 1-2 所示的装置为两块面积极大的平行平板,两板间的距离为 y ,中间充满液体,下面一块板固定不动,上面一块板则由力 $F = \tau \cdot A$ (A 为平板与液体的接触面积, τ 为板面的切应力)拖着沿正 X 轴以不太大的常速 u 向前运动。由于与板面接触的流体永远黏附在板面上,所以最上一层流体的流速与上板相同,最下层流体的流速则与下板相同,其值为 0,各层流体的速度变化如图 1-2 所示。

实际流体在管内的速度分布如图 1-3 所示。

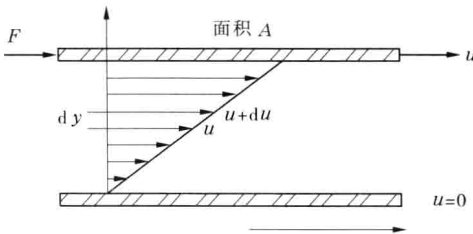


图 1-2 平板间液体速度变化

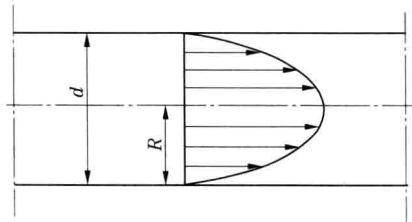


图 1-3 实际流体在管内的速度分布

实验证明,对于一定的流体,内摩擦力 F 与两流体层的速度差 du 成正比,与两流体层之间的垂直距离 dy 成反比,与两流体层的接触面积 A 成正比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

式中 μ ——流体的动力黏度(简称黏度), $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

A ——流层间的接触面积, m^2 ;

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度,表示流速沿垂直于流速方向的变化率。

通常情况下,单位面积上的内摩擦力称为剪应力,以 τ 表示,单位为Pa,则式(1-5)变为

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-6)$$

即黏度为流体流动时与流动方向相垂直的方向上产生单位流速梯度所受的剪应力。显然,在同样的流动情况下,流体的黏度越大,流体流动时产生的内摩擦力越大。由此可见,黏度是反映流体黏性大小的物理量。

流体的黏度不仅与流体的种类有关,还与温度、压力有关。液体的黏度随温度的升高而降低,压力对其的影响可忽略不计;气体的黏度随温度的升高而增大,一般情况下也可忽略压力的影响,但在极高或极低的压力条件下需考虑其影响。

第二节 流体机械能的特性

一、流体静压力特性

静止流体内部压力具有如下特性:

- (1) 流体压力与作用面垂直,并指向该作用面;
- (2) 静压力与其作用面在空间的方位无关,只与该点位置有关,即作用在任意点处不同方向上的静压力在数值上均相同。

二、流体静力学基本方程

假如一容器内装有密度为 ρ 的液体,液体可认为是不可压缩流体,其密度不随压力变化。在静止的液体中取一段液柱,其截面积为 A ,以容器底面为基准水平面,液柱的上、下端面与基准水平面的垂直距离分别为 Z_1 和 Z_2 ,那么作用在上、下两端面的压力分别为 p_1 和 p_2 。

重力场中在垂直方向上对液柱进行受力分析:

- (1) 上端面所受总压力 $P_1 = p_1 A$,方向向下;
- (2) 下端面所受总压力 $P_2 = p_2 A$,方向向上;
- (3) 液柱的重力 $G = \rho g A (Z_1 - Z_2)$,方向向下。

液柱处于静止时,上述三项力的合力应为零,即

$$p_2 A - p_1 A - \rho g A (Z_1 - Z_2) = 0 \quad (1-7)$$

整理并消去 A ,得

$$p_2 = p_1 + \rho g (Z_1 - Z_2) \quad (1-8)$$

变形得

$$Z_1 + p_1 / (\rho g) = Z_2 + p_2 / (\rho g) \quad (1-9)$$

若将液柱的上端面取在容器内的液面上,设液面上方的压力为 p_a ,液柱高度为 h ,则式(1-8)可改写为

$$p_2 = p_a + \rho g h \quad (1-10)$$

式(1-8)、式(1-9)及式(1-10)均称为静力学基本方程。由流体静力学基本方程可得出:

(1) 当液面上方压力 p_a 一定时, 静止液体内部任一点的压力 p 与其密度 ρ 和该点的深度 h 有关。因此, 在静止的、连续的同种流体内, 位于同一水平面上的各点的压力均相等。压力相等的面称为等压面。液面上方压力变化时, 液体内部各点的压力也将发生相应的变化。

(2) 在同一静止流体中, 处在不同位置的流体位能和静压能各不相同, 但二者总和保持不变。

(3) 流体静力学方程也可表示为 $(p_2 - p_a)/(\rho g) = h$, 即表明压力或压力差可用液柱高度表示, 但需注明液柱种类。

三、流体流动的基本概念

(一) 压力流、无压流和射流

(1) 压力流。当流体运动时, 流体的整个周界和固体壁(如管壁)相接触, 这种流动称为压力流。它的特点是: ①流体充满整个管道; ②不能形成自由表面; ③流体对管壁有一定的压力。如室内给水系统的水在管道中的流动, 空调工程中的空气在风管道中的流动, 供热工程中热水或高低压蒸汽在管道中的流动等, 都是压力流。

(2) 无压流。当液体流动时, 液体的部分周界与气体相接触, 这种流动称为无压流, 又称为重力流。如室内排水系统中污水在管道中的流动, 水渠中的水在水渠里的流动等, 都是无压流。无压流有两个特点: ①液体流体没有充满管道, 所以在室内排水系统中引入了充满度的概念, 即污水在管道中的深度 h 与管径 D 的比值称做管道的充满度, 充满度的大小在排水系统设计中是很重要的参数。②液体流体在管道或水渠中能够形成自由表面。

压力流、无压流的图解如图 1-4 所示。

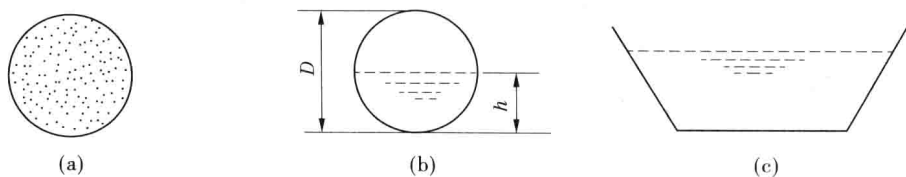


图 1-4 压力流、无压流图解

(3) 射流。当流体流动时, 流体的整个周界都被包围在液体或气体之中, 这种流动称为射流。如果是液流被包围在气流之中或者是气流被包围在液流之中的射流, 称为自由射流, 如消防水枪喷射的水柱就是自由射流。如果是液流被包围在液体之中或者是气流被包围在气体之中的射流, 称为淹没射流, 空气调节系统中的送风口的气流就是淹没射流。

(二) 恒定流与非恒定流

按液流或气流是否随时间变化来分, 流体运动可分为恒定流与非恒定流。要定义恒定流和非恒定流的概念, 我们以打开水龙头的过程为例: 打开之前, 水处于静止状态, 称为静止平衡; 打开后的短暂时间内, 水从喷口流出, 流速从零迅速增加到某一数值, 在这个过程中, 流速时刻在发生变化, 称为运动的不平衡状态。当达到某一流速后, 即维持不变, 此时称为运动的平衡状态。处于运动平衡状态的流体, 任一点的压强、流速和密度等运动要

素不随时间发生变化的运动,称为恒定流,如图 1-5(a)所示。处于运动不平衡状态的流体,任一点的压强、流速和密度等运动要素随时间发生变化的运动,称为非恒定流,如图 1-5(b)所示。

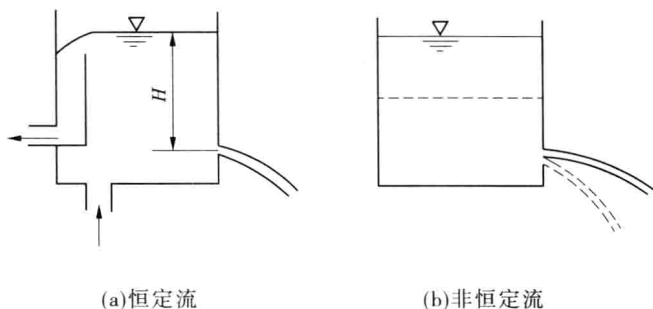


图 1-5 恒定流与非恒定流

在实际工程中所接触的流体流动,都可以视做恒定流。在给水排水、供暖和通风工程中,流体的流动一般都按恒定流考虑。有些非恒定流,当压强、流速等运动要素随时间变化不明显或只在短时间内变化时,也按恒定流考虑。为分析方便,常假设在压力水头不变的情况下的流动为恒定流。如液位差保持不变,水泵或风机的转速保持不变。这样,运动流体的压强、流速等运动要素只与空间位置有关,而不随时间变化,使管道的计算得到简化。

(三) 过流断面、流量和平均流速

(1) 过流断面。流体流动时,与其方向垂直的断面称为过流断面,单位为 m^2 。

(2) 流量。包括体积流量和质量流量。流体流动时,单位时间内通过过流断面的流体体积称为流体的体积流量,一般用 Q 表示,单位为 L/s 或 m^3/s 。单位时间内流经管道任意截面的流体质量,称为质量流量,一般用 G 表示,单位为 kg/s 或 kg/h 。

(3) 平均流速。单位时间内流体所通过的距离称为流速。由于流体具有黏滞性,流体流动时在同一过流断面上各质点的流速不同。如图 1-3 所示,贴近管壁的流体质点附着在管壁上,流速为零;管中心处的流体质点流速最大;处在管壁与管中心之间的各层流体的质点流速逐渐变化。流体就是这样以不同的质点流速在管道中间向前流动。

实际工程中,设想有一个流速,如果过流断面上各质点都按这个流速运动,所通过的流量等于各质点按实际流速流动通过的流量,这个流速称为断面平均流速,通常用 v 表示,单位为 m/s 。

体积流量与平均流速的关系

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1-11)$$

式中 A ——管道截面积, m^2 。

质量流量与平均流速的关系

$$v = \frac{G}{A\rho} \quad (1-12)$$

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 。

一般液体的流速为 $1 \sim 3 \text{ m/s}$, 低压气体的流速为 $8 \sim 12 \text{ m/s}$ 。

四、恒定流的质量守恒 - 连续性方程

在工程中常假设流体为不可压缩的介质。如图 1-6 所示的恒定流系统, 流体连续地从 1—1 截面进入, 从 2—2 截面流出, 且充满全部管道。以 1—1、2—2 截面以及管内壁之间为计算范围, 在管路中流体没有增加和漏失的情况下, 单位时间进入截面 1—1 的流体质量与单位时间流出截面 2—2 的流体质量必然相等, 即

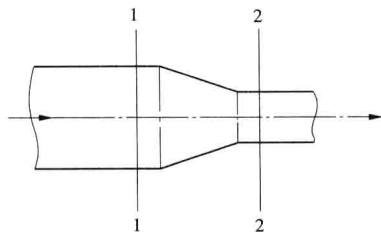


图 1-6 连续性方程的推导

$$G_1 = G_2 \quad (1-13)$$

或

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \quad (1-14)$$

推广至任意截面, 有

$$G = \rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 = \cdots = \rho v A = \text{常数} \quad (1-15)$$

式(1-13) ~ 式(1-15)均称为连续性方程, 表明在恒定流系统中, 流体流经各截面时的质量流量恒定。

以上所列连续性方程, 不但只限于两断面之间, 还可推广到任意空间。在管道的三通处, 无论是分流还是合流, 质量守恒定律仍然成立, 即分流时, $Q = Q_1 + Q_2$; 合流时, $Q_1 + Q_2 = Q$ 。

对不可压缩流体, $\rho = \text{常数}$, 连续性方程可写为

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = \cdots = v A = \text{常数} \quad (1-16)$$

对于圆形管道, 式(1-16)可变形为

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \quad (1-17)$$

【例 1-1】 如图 1-7 所示, 管路由一段 $\phi 89 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的管 1、一段 $\phi 108 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的管 2 和两段 $\phi 57 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 的分支管 3a 及 3b 连接而成。若水以 $9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 的体积流量流动, 且在两段分支管内的流量相等, 试求水在各段管内的速度。

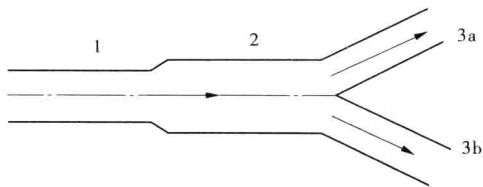


图 1-7

解 管 1 的内径为

$$d_1 = 89 - 2 \times 4 = 81 (\text{mm})$$

则水在管 1 中的流速为

$$v_1 = Q / \left(\pi \frac{d_1^2}{4} \right) = 1.75 \text{ m/s}$$

管 2 的内径为

$$d_2 = 108 - 2 \times 4 = 100 (\text{mm})$$

由式(1-17), 则水在管 2 中的流速为

$$v_2 = v_1 / \left(d_2 / d_1 \right)^2 = 1.15 \text{ m/s}$$

管 3a 及 3b 的内径为

$$d_3 = 57 - 2 \times 3.5 = 50(\text{mm})$$

因水在分支管路 3a、3b 中的流量相等,则有

$$v_2 A_2 = 2v_3 A_3$$

即水在管 3a 和 3b 中的流速为: $v_3 = 2.30 \text{ m/s}$ 。

五、恒定流的能量方程

(一) 流体的能量与水头

流动的流体机械能包括三种能量:位能、压能和动能。单位重量流体所具有的能量称为水头。

(1) 位能和位置水头。具有一定重量的流体,因其位置高出某一基准面而具有的做功能力,称为位置势能,简称位能。流体的重量为 G ,位置高出基准面 0—0 的高度为 Z (如图 1-8 所示 Z_1 和 Z_2),则它的位能为

$$E_{\text{位}} = GZ \quad (1-18)$$

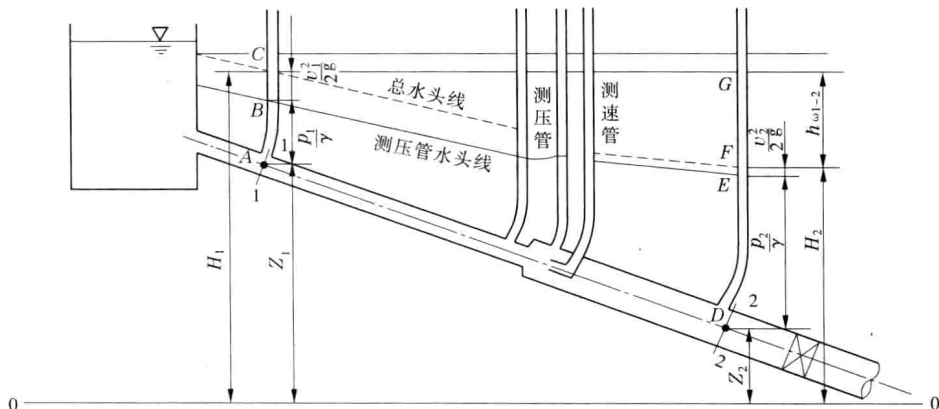


图 1-8 圆管中有压流动的总水头线与测压管水头线

若将流体的位能 $E_{\text{位}}$ 除以它的重量 G ,便得到单位重量流体对基准面 0—0 的位能,称为位置水头。显然,位置水头 Z 的单位是 m 。

(2) 压能和压力水头。具有一定重量的流体,因其压力所具有的做功能力,称为压力势能,简称压能。重量为 G 的流体内部压力为 p (如图 1-8 所示 p_1 和 p_2),当在管道侧壁上钻一个小孔,焊接一个细短管,再连接一个开口的玻璃管 (这种玻璃管称为测压管),我们会看到,液体会沿测压管上升一个高度 h , h 在数值上等于 p/γ (如图 1-8 所示 p_1/γ 和 p_2/γ)。由于压力 p 的作用,重量为 G 的液体上升到 p/γ 的高度,则它的压能为

$$E_{\text{压}} = Gp/\gamma \quad (1-19)$$

若将流体的压能 $E_{\text{压}}$ 除以它的重量 G ,便得到单位重量流体的压能 p/γ ,称为压力水头。压力水头的单位也是 m 。

(3) 动能和流速水头。具有一定重量的流体,因其运动的速度而具有的做功能力,称为动能。重量为 G 的流体,质量为 m ,运动速度 (断面平均流速) 为 v (如图 1-8 所示 v_1 和

v_2), 则它的动能为

$$E_{\text{动}} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1-20)$$

若将流体的动能 $E_{\text{动}}$ 除以流体的重量 $G (G = mg)$, 便得到单位重量流体的动能 $v^2/2g$, 称为流速水头。流速水头的单位也是 m。

从图 1-8 中可以看到, 一根两端开口的玻璃管下端被弯成 90° , 由管壁的侧孔伸入液流之中, 玻璃管下端的开口对准流动方向, 液体便沿着这根玻璃管上升到另一高度。这个高度与测压管内液面的高度差, 就是由流体的速度造成的, 它是动能转化为位能的结果, 这个高度差就等于 $v^2/(2g)$ 。

综上所述, 流动的流体具有位能、压能和动能三种能量, 这三种能量之和就是流体的总机械能。单位重量流体的位能、压能和动能, 分别称为(对某基准面的)位置水头、压力水头和流速水头。单位重量流体的总机械能, 称为流体(对某基准面)的总水头, 以符号 H 表示, 单位为 m, 即

$$H = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (1-21)$$

式中 H ——流体的总水头, m;

Z ——流体对某基准面的位置水头, m;

$\frac{p}{\gamma}$ ——流体的压力水头, m;

$\frac{v^2}{2g}$ ——流体的流速水头, m。

(二) 恒定流的能量方程

根据物理学知识我们知道: 能量既不会创生, 也不会消灭, 它只能从一种形式转化为另一种形式, 或者从一个物体转移到另一个物体, 而总量保持不变。这个规律称为能量转化和守恒定律。

流体在流动过程中, 其位能、压能和动能三者之间可以相互转化, 如果没有能量损失, 总机械能保持不变。

实际上, 由于存在流动阻力, 流体在流动过程中要消耗一定的能量, 这部分能量转变为热能而损失。单位重量的流体由于克服阻力所损失的能量, 称为水头损失, 以符号 h_w 表示, 单位为 m。

如图 1-8 所示, 流体由断面 1—1 流至断面 2—2, 流程中由于克服阻力而产生的水头损失为 h_{w1-2} 。从图中可以看出, 断面 1—1 和断面 2—2 的总水头之间的关系为

$$H_1 = H_2 + h_{w1-2}$$

或

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (1-22)$$

式中各符号意义如前所述。

式(1-22)称为恒定流的能量方程, 也称为伯努利方程。它的意义为: 在恒定流的条件下, 流体在流动过程中, 单位重量流体的位能、压能和动能三者之间可以互相转化, 其中有

一部分机械能由于克服阻力(转化为热能)而损失,但是能的总量保持不变。

能量方程在实际工程中应用很广。例如:利用水泵将蓄水池里的水抽送到车间去,需要选择一台合适的水泵。这台水泵的流量根据生产工艺的需要来确定,而水泵的扬程则必须利用能量方程式来进行计算。所谓水泵的扬程,是指水泵给单位重量的水增加的能量,也就是使水增加的水头,用 H_b 表示,单位是 m,也有用 kPa 或 MPa 的。

【例 1-2】 如图 1-9 所示,要用水泵将水池中的水抽到用水设备,已知该设备的用水量为 $60 \text{ m}^3/\text{h}$,其出水管高出蓄水池液面 20 m ,水压为 200 kPa 。如果用直径 $d = 100 \text{ mm}$ 的管道输送到用水设备,试确定该水泵的扬程需要多大才可以达到要求。

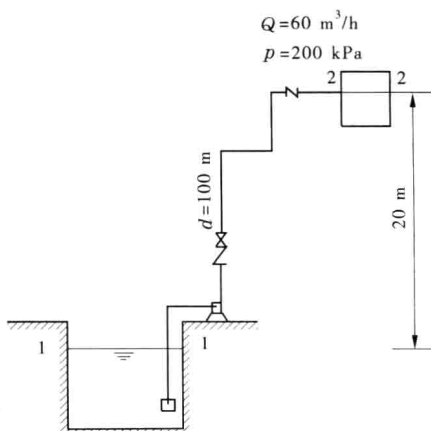


图 1-9

解 (1)取蓄水池的自由液面为 1—1 断面,取用水设备出口处为 2—2 断面。

(2)以 1—1 断面为基准液面,根据伯努利方程列出两个断面的能量方程

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_b = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\omega 1-2}$$

式中, $Z_1 = 0$, $p_1 = 0$, $v_1 = 0$, $Z_2 = 20 \text{ m}$, $p_2 = 200 \text{ kPa}$, 且 $v_2 = Q/A = 4Q/(\pi d^2) = 4 \times 60/(3.14 \times 0.01 \times 3600) = 2.12 (\text{m/s})$, 故水泵的扬程为

$$H_b = 40.64 + h_{\omega 1-2}$$

由于管路中水头损失 $h_{\omega 1-2}$ 的计算尚未介绍,因此水泵的扬程暂不能最后确定。水头损失的计算,将在下节内容中讲解。

第三节 流动阻力和水头损失

我们从上一节例题 1-2 中可以看出,在应用能量方程解决实际问题时,必须对能量方程中水头损失一项进行计算,以便确定水泵、风机等机械应提供的能量。水头损失是指流体流动过程中由于克服各种阻力,单位重量流体损失的能量。可见,水头损失是由流动阻力造成的,根据流动阻力的不同,水头损失分为沿程水头损失和局部水头损失,参见图 1-10。