



全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

流体力学、通风 与瓦斯抽放设备



主编 马立克
张书征
杨玉璋

煤炭工业出版社

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

流体力学、通风与 瓦斯抽放设备

主编 马立克 张书征 杨玉璋

江苏工业学院图书馆
藏书章

煤炭工业出版社

北京

内 容 简 介

本书是全国煤炭高职高专“十一五”规划教材。

全书共分十三章。前五章是流体力学内容,主要包括:流体的基本知识,流体静力学,流体动力学,流动阻力与能量损失及管路的水力计算;后八章是通风与瓦斯抽放设备内容,主要包括:通风机工作理论,离心式通风机,轴流式通风机,通风机在网路中的工作,通风附属设备,通风设备的选型设计,局部通风设备,矿井瓦斯抽放设备。

本书为高等职业教育矿井通风与安全专业的教材,也可作为化工专业、暖通专业、给排水专业以及职工培训的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学、通风与瓦斯抽放设备/马立克,张书征,杨玉璋
主编. —北京:煤炭工业出版社,2008.1

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3133-6

I. 流… II. ①马…②张…③杨… III. ①流体力学—高等学校:技术学校—教材②流体机械—高等学校:技术学校—教材 IV. O35 TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 092419 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址:www.cciph.com.cn
北京京科印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 14³/₄
字数 355 千字 印数 1—5,000
2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷
社内编号 5934 定价 27.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

全国煤炭高职高专矿山机械类“十一五”规划教材 编审委员会

主 任:冯海明

副主任:李克孝 丁原廉 何全茂

秘书长:谢光辉

委 员(以下按姓氏笔画为序):

马立克	王寅仓	牛小铁	毋虎城
安淑女	朱江峰	刘 捷	刘立群
刘永清	劳 宇	汪 浩	杨玉璋
杨 楨	苏汉明	张小亮	张安义
张伟君	张树征	张晓梅	何朝柱
何富贤	闵国林	林木生	武 熙
武维承	金建云	侯克清	康 力
韩治华	裴文喜		

前 言

本书是全国煤炭高职高专机械类专业“十一五”规划教材,是在总结各煤炭高职院校教学改革经验的基础上编写而成的。

在编写中,主要遵循以下几个原则:

(1) 根据高等职业教育的教学特点和该课程在本专业中的地位 and 作用,构建教材的框架,确定编写内容;

(2) 简化理论推导过程,注重基本概念和基本理论的实际应用;

(3) 从服务的角度出发,力求理论联系实际,强调针对性和实用性,重点突出基本概念、基本定律、基本计算方法和工程应用;

(4) 力求使教材内容适应矿山生产的现状和发展的需要,反映流体机械的新设备、新技术、新方法;

(5) 力争使教材具有鲜明的适用性和科学性,突出职业技术教育的特色,以适应培养应用型人才的需要。

本书由马立克、张书征、杨玉璋任主编,陆锡伟、姜勇任副主编。具体编写分工如下:马立克(辽宁工程技术大学职业技术学院)编写绪论、第五章和第十三章;张书征(云南能源职业技术学院)编写第三章和第四章;杨玉璋(大同大学工学院)编写第六章;陆锡伟(山西煤炭职业技术学院)编写第八章、第九章和第十章;姜勇(山西长治职业技术学院)编写第七章、第十一章和第十二章;李寿昌(云南能源职业技术学院)编写第一章和第二章。全书由马立克老师负责统稿和定稿。

云南能源职业技术学院邓开陆老师担任本书主审,对书稿进行了认真的审阅,提出了许多宝贵的意见和建议,为提高书稿质量起到了保证作用,在此谨表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,得到了辽宁德龙工程设计咨询有限公司齐玉春、阜新矿业集团王红霞、平庄煤业集团尹德刚和铁法煤业集团于在洪等同志的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2007 年 12 月

目 录

(18)	绪论	(1)
(28)	第一章 流体的基本知识	(3)
(28)	第一节 流体及其主要物理性质	(3)
(28)	第二节 作用在流体上的力及力学模型	(8)
(78)	本章小结	(9)
(79)	思考题与习题	(10)
(101)	第二章 流体静力学	(11)
(101)	第一节 流体静压力及其特性	(11)
(101)	第二节 流体静力学基本方程	(13)
(101)	第三节 流体静压力的测量	(16)
(101)	本章小结	(19)
(101)	思考题与习题	(19)
(101)	第三章 流体动力学	(21)
(101)	第一节 流体运动的基本概念	(21)
(101)	第二节 流体流动的连续性方程	(26)
(101)	第三节 流体运动的伯诺里方程	(27)
(101)	第四节 伯诺里方程的应用	(32)
(101)	本章小结	(38)
(101)	思考题与习题	(38)
(101)	第四章 流动阻力与能量损失	(41)
(101)	第一节 流体的两种流动状态	(42)
(101)	第二节 均匀流基本方程	(44)
(101)	第三节 圆管层流流动	(46)
(101)	第四节 圆管紊流流动	(48)
(101)	第五节 沿程阻力系数	(50)
(101)	第六节 局部阻力计算	(55)
(101)	第七节 减小流动阻力的措施	(61)
(101)	本章小结	(63)
(101)	思考题与习题	(63)
(101)	第五章 管路的水力计算	(65)
(101)	第一节 概述	(65)
(101)	第二节 简单管路的水力计算	(66)
(101)	第三节 串联与并联管路的水力计算	(71)
(101)	第四节 管网水力计算基础	(75)

本章小结	(81)
思考题与习题	(82)
第六章 通风机工作原理	(85)
第一节 通风机的工作原理及性能参数	(85)
第二节 通风机的风压特性	(87)
第三节 通风机相似理论	(97)
本章小结	(102)
思考题与习题	(103)
第七章 离心式通风机	(104)
第一节 离心式通风机的构造与分类	(104)
第二节 典型离心式通风机	(108)
本章小结	(113)
思考题与习题	(113)
第八章 轴流式通风机	(115)
第一节 概述	(115)
第二节 2K60 型轴流式通风机	(116)
第三节 FBCZ 型轴流式通风机	(121)
第四节 FBDCZ 型轴流式通风机	(124)
第五节 轴流式通风机与离心式通风机比较	(128)
本章小结	(129)
思考题与习题	(130)
第九章 通风机在网路中的工作	(131)
第一节 通风机在网路中的工作分析	(131)
第二节 通风网路特性曲线	(132)
第三节 通风机的工况点和工业利用区	(133)
第四节 通风机的工况调节	(135)
第五节 通风机的联合工作	(140)
本章小结	(144)
思考题与习题	(144)
第十章 通风附属设备	(145)
第一节 矿用通风机的扩散器	(145)
第二节 矿用通风机的反风设备	(151)
第三节 矿用通风机的消音装置	(153)
本章小结	(156)
思考题与习题	(156)
第十一章 通风设备的选型设计	(157)
第一节 概述	(157)
第二节 按个体特性曲线选型设计	(158)
第三节 按类型特性曲线选型设计	(165)
本章小结	(170)
思考题与习题	(171)
第十二章 局部通风设备	(172)

第一节 概述	(172)
第二节 局部通风机构造和分类	(174)
第三节 局部通风设备选型设计	(182)
第四节 局部通风机的使用维护和操作规程	(186)
本章小结	(189)
思考题与习题	(189)
第十三章 矿井瓦斯抽放设备	(190)
第一节 概述	(190)
第二节 矿井瓦斯抽放泵	(191)
第三节 矿井瓦斯泵站及附属装置	(202)
第四节 矿井瓦斯抽放管路	(210)
第五节 矿井瓦斯抽放设备选型设计	(213)
第六节 瓦斯泵的维护与操作	(221)
本章小结	(224)
思考题与习题	(225)
主要参考文献	(226)

绪 论

自然界中常见的物质有三种状态,即固体、液体和气体。液体和气体统称为流体。从它们的外部特征上看,固体有一定的形状,而流体的形状随容器的形状而定,但有固定的体积。从力学性能上讲,流体是不能承受任何微小的剪切力或剪切后会产生连续变形的物质。

一、本课程的地位和作用

流体力学与流体机械课程,是矿井通风与安全专业重要的专业基础课。矿井通风是煤矿生产的重要环节,关系到井下机电设备的正常运行和工作人员的生命安全。一个安全、可靠、经济、实用的矿井通风系统,对保证煤矿安全生产具有重要意义。本课程的作用,就是运用流体力学的基本理论,科学有效地对流体进行组织和控制,合理选择和使用流体机械,使矿井通风达到《煤矿安全规程》的有关要求,确保煤矿安全生产。

二、本课程的内容和要求

流体力学是力学的一个分支,是研究流体的平衡和运动规律,流体与固体之间的相互作用,以及流动过程中的能量损失的一门基础学科。流体力学的主要内容有两大部分。一是关于流体平衡的规律,它研究流体处于静止(或相对平衡)状态时,作用于流体上的各种力之间的关系,这一部分称为流体静力学;二是关于流体运动的规律,它研究流体在运动状态时,作用于流体上的力与运动要素之间的关系,以及流体的运动特征与能量转换等,这一部分称为流体动力学。

流体机械包括风机、水泵、空压机、水轮机、汽轮机和以油为介质的液压机械及液力传动装置。从能量转换方式看,风机与水泵是将机械能转换为空气或水的势能与动能,水轮机是将水的势能或动能转换为机械能,汽轮机是将流体的热能转换为机械能。通常把风机、水泵和液压机械及液力传动装置统称为通用机械,把水轮机、汽轮机称为能源动力机械。本课程讲述的流体机械,主要包括通风设备和瓦斯抽放设备。重点研究通风机的工作理论,轴流式和离心式通风机的构造、性能、特点以及选型设计方法;研究常用的瓦斯抽放设备的构造、性能和特点以及瓦斯抽放设备的选型设计方法。

本课程的学习,要求学生掌握流体力学的基本概念、基本理论和基本计算方法,掌握流体机械的构造、原理以及选型设计的基本能力,为学好后续的专业课程,以及在将来的实际工作中,解决有关流体力学与流体机械方面的问题,打下坚实的理论基础。

三、流体力学的发展概况

流体力学是在人类社会生产实践中产生和发展起来的。早在几千年前,由于治河、农业、航运等事业的发展,人们开始了解一些水流运动的规律。公元前 2286~2278 年的大禹治水,秦代修建的都江堰、郑国渠和灵渠三大水利工程,隋朝开凿的大运河,这些工程和实践,使我们的祖先积累了许多流体力学方面的知识。但是,这些知识还只是经验的积累,没有得到系统的总结与提高。

16 世纪以后,欧洲资本主义的兴起和发展,使生产力得到了进一步的解放。自然科学发生了质的飞跃,这些为流体力学的发展创造了条件。18 世纪,在伽利略——牛顿力学的基础上形成了古典流体力学,用数学分析的方法建立流体的基本运动方程,为流体力学奠定了理论基础。但是,古典流体力学由于理论的假设与实际不尽相符,在求解上也存在数学上的困难,人们依靠实验和实测资料来解决流体力学问题,从而形成了实验流体力学。

19 世纪末以来,随着生产技术的发展,使古典流体力学与实验流体力学日益结合,逐渐形成了理论与实验并重的现代流体力学。它是在古典流体力学的基础上,根据古典流体力学的基本理论和现代的紊流理论、边界层理论与相似理论等,结合实验、实测数据和经验公式,来探索实际流体运动的基本规律。

近几十年来,流体力学学科随着现代生产的迅速发展和科学技术的进步而不断发展,研究范围和服务领域越来越广,新的学科分支亦不断涌现,如计算流体力学、环境流体力学、能源流体力学、工业流体力学等。所以,流体力学既是一门古老的学科,又是一门富有生机的学科。

四、本课程的学习方法

流体力学与流体机械课程,是一门理论性和实践性都很强的专业基础课。在研究流体的平衡和运动规律时,在研究通风机的工作理论和结构性能时,都将应用到物理学、力学和机械制图的基本知识,如动能定理、力系平衡等。所以,物理学、力学和机械制图的知识,是学习本课程必要的基础。学习本课程时,应注重基本原理、基本概念和基本方法的理解和掌握。要态度认真、作风严谨、理论联系实际,认真参加实验和现场教学。通过实验,理解流体力学的基本理论;通过现场教学,认识流体机械的结构、原理、特点和实际应用,这是学习本课程的基本方法。

第一章 流体的基本知识

第一节 流体及其主要物理性质

一、流体的流动性和惯性

1. 流体的流动性

液体和气体统称之为流体。流体是在任何微小剪切力的持续作用下,能够连续不断变形的物质。根据上述定义,流体显然不能保持一定的形状,即具有流动性。并且在静止时不能承受切向力,这是与固体截然不同的。固体在静止时能够承受切向力,通过本身的微小变形来抗拒外力,直到新的平衡,只要作用力保持不变,固体的变形就不再变化。

流体和固体具有上述不同的性质,是由于分子间的作用力不同造成的。在相同体积的固体和流体中,流体所含的分子数目比固体少得多,分子间的空隙也就大得多。因此流体分子间的作用力小,分子运动强烈,从而决定了流体具有流动性和不能保持一定形状的特性。流体中的液体和气体除具有上述共同特性外,还具有如下的不同特性:液体的形状取决于容器的形状,并且由于分子间吸引力的作用,液体有力求自身表面积收缩到最小的特性。所以,当容器的容积大于液体的体积时,液体不能充满容器。在重力作用下,液体总保持一个自由表面(或称自由液面),这个自由表面通常称为水平面。

气体的分子距离很大,分子间的吸引力很小,分子热运动比较强烈,所以气体没有一定形状,也没有一定的体积,它能充满容器而不能形成自由表面。

2. 流体的密度

流体的密度是指单位体积的流体所具有的质量,用 ρ 表示,法定单位是 kg/m^3 。

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

式中 m ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

3. 流体的重度

流体的重度是指单位体积的流体所具有的重力,用 γ 表示,法定单位是 N/m^3 。

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

式中 G ——流体的重力, N ;

V ——流体的体积, m^3 。

因 $G = mg$, 由公式(1-1)和(1-2)得流体的重度与密度的关系为

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1-3)$$

式中 g ——当地的重力加速度, m/s^2 , 一般取 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

需要说明的是:流体的密度与它在地球上的位置无关,而流体的重度与它所处的位置有关,因为地球上不同地点的重力加速度不同,所以重度也就不一样。另外,流体的密度和重度受外界压力和温度的影响,当指出某种流体的密度或重度时,必须指明所处的外界压力和温度条件。

表 1-1 给出了在一个标准大气压和不同温度下的几种常见流体的密度和重度值。

表 1-1 几种常见流体在标准大气压(101 325 Pa)和不同温度下的密度和重度

流体名称	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	重度/($\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$)	测量温度/ $^{\circ}\text{C}$	流体名称	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	重度/($\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$)	测量温度/ $^{\circ}\text{C}$
空气	1.293	12.68	0	水	999.87	9 809	0
空气	1.247	12.23	10	水	1 000	9 810	4
空气	1.205	11.82	20	水	999.72	9 807	10
空气	1.165	11.43	30	水	998.2	9 792	20
空气	1.128	11.07	40	水	995.7	9 768	30
氧气	1.429	14.02	0	水	992.2	9 733	40
氧气	1.123	11.07	20	水银	13 600	133 416	0
一氧化碳	1.160	11.38	20	水银	13 550	132 926	10
二氧化碳	1.840	18.05	20	水银	13 550	132 923	20
瓦斯	0.716 8	7.03	0	酒精	790	7742	20

二、流体的压缩性和膨胀性

流体的压缩性是指流体的体积随压力的增加而缩小的性质。压缩性的大小用压缩系数表示。流体的压缩系数是指温度不变时,单位压力的变化所引起体积的相对变化量,用 β_p 表示,即

$$\beta_p = -\frac{dV/V}{dp} = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1-4)$$

式中 dp ——压力的变化量, Pa;

dV ——体积的变化量, m^3 ;

V ——变化前的体积, m^3 。

公式(1-4)中的负号表示体积与压力的变化相反,也就是说压力增大,体积缩小,在公式前增加负号是使压缩系数总为正值。

压缩系数大,表示流体体积随压力增加容易缩小;压缩系数小,表示流体体积随压力增加不易缩小。

流体的膨胀性是指流体的体积随温度的升高而增大的性质。膨胀性的大小用膨胀系数表示。流体的膨胀系数是指压力不变时,单位温度的变化所引起体积的相对变化量,用 β_t 表示,即

$$\beta_t = \frac{dV/V}{dT} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (1-5)$$

式中 dT ——温度的变化量, K;

其他物理量同公式(1-4)。

1. 液体的压缩性与膨胀性

液体的压缩性与膨胀性很小,当压力和温度变化不大时,可以认为液体的体积不发生变

化,既不可压缩又不膨胀。但是在一些特殊情况(如水击现象)下,就必须考虑其变化,否则液体的压缩性与膨胀性引起的影响,将会造成很大的误差。

2. 气体的压缩性与膨胀性

气体与液体不同,温度和压力的变化都将引起气体体积的很大变化。但是具体问题也要具体分析,气体在流动过程中压力和温度的变化较小(如矿井通风系统)时,可以忽略气体的压缩性和膨胀性。若压力或温度变化较大(如空气压缩机)时,气体的压缩性和膨胀性不能忽略。

三、黏性

1. 黏性的概念

观察河水的流动速度可以发现,河水中心的流动速度较高,靠近河岸的水的流动速度较低,其原因用圆管中水的流动为例,来分析水在流动时同一断面上流速不同的原因。

图 1-1 为水在圆管内流动的速度分布情况。从图中可以看出,在同一断面上,各点的流动速度不同,紧贴管壁流体质点的流速为零,轴线处流体质点的流速最大。因为,紧贴管壁的流体质点附着在管壁上,流动速度为零;轴线处的流体质点受管壁的影响最小,流速最大。由于靠近管壁的流体质点组成的流层速度小,靠近中心的流体质点组成的流层速度大,相邻流层之间因相对运动而产生摩擦阻力,阻碍流层间的相对运动。由于这种阻力产生在流体内部,所以,称为流体的内摩擦力。

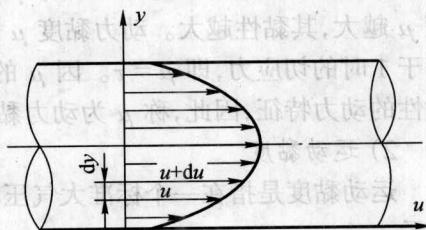


图 1-1 水在圆管中的流速分布

流体在流动中,要克服内摩擦力,必然要消耗一定的能量,这就是流体在运动过程中产生能量损失的重要原因之一。

黏性是指流体流动时,流层(或内部质点)间因相对运动产生内摩擦力而阻碍相对运动的性质。黏性是流体本身的固有性质,但静止流体不显示黏性,只有流体运动时才有内摩擦力,才显示其黏性。

2. 牛顿内摩擦力定律

流体的内摩擦力大小受哪些因素影响呢?对此,牛顿做了大量的实验。通过实验,牛顿提出了影响流体内摩擦力的主要因素,即牛顿内摩擦力定律。

流体的内摩擦力大小与下列因素有关:

- (1) 与两流层之间的速度差 du 成正比,与两流层之间的距离 dy 成反比;
- (2) 与两流层之间的接触面积 A 成正比;
- (3) 与流体的种类有关,即在上述条件相同时,不同流体的内摩擦力不同。其数学表达

式为

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

式中 F ——流层间的内摩擦力, N;

μ ——与流体种类有关的比例系数,称为动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

A ——流层间的接触面积, m^2 ;

du/dy ——流速沿垂直于流动方向的变化率,即速度梯度, $1/\text{s}$ 。

单位面积上的内摩擦力(切应力) τ 为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

式中 τ ——单位面积上的内摩擦力(切应力), Pa。

3. 流体黏性的度量

不同的流体,其黏性也不同。黏性的大小用黏度表示,黏度通常有动力黏度、运动黏度和相对黏度三种度量方法。

1) 动力黏度

动力黏度是表示流体动力特性的黏度,用 μ 表示。由公式(1-7)可得

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (1-8)$$

μ 的法定单位是 Pa·s 或 N·s/m²。 μ 是表示流体本身黏性大小的一个因数,流体的动力黏度 μ 越大,其黏性越大。动力黏度 μ 的物理意义可以理解为,在数值上,其大小为速度梯度等于1时的切应力,即 $\mu = \tau$ 。因 μ 的单位含有力的因次,是一个动力学要素,反映了流体黏性的动力特征,因此,称 μ 为动力黏度。

2) 运动黏度

运动黏度是指在一个标准大气压和同一温度下,流体的动力黏度与其密度的比值,用 ν 表示。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-9)$$

运动黏度 ν 的法定单位是 m²/s, mm²/s。运动黏度 ν 没有特殊的物理意义,因在计算和分析流体运动问题时,经常要考虑 μ 与 ρ 之比,所以才引用运动黏度 ν 这个物理量。但是,从运动黏度的单位中可以看出,它只含有时间和长度两个运动要素,能够反映流体的运动特性,即运动黏度越小,流体的流动性越好。

运动黏度 ν 的单位除 m²/s 外,还有斯托克斯(St)和厘斯(cSt),它们之间的换算为

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^4 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^6 \text{ cSt} = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s}$$

润滑油的牌号就是用运动黏度(mm²/s)大小来表示的。我国用40℃时运动黏度(mm²/s)值表示润滑油的牌号。

表1-2和表1-3分别为水和空气的动力黏度和运动黏度。

表 1-2 标准大气压和不同温度下水的动力黏度和运动黏度

温度/℃	$\mu \times 10^{-3}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	温度/℃	$\mu \times 10^{-3}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
0	1.781	1.785	40	0.653	0.658
5	1.518	1.519	50	0.547	0.553
10	1.307	1.306	60	0.466	0.474
15	1.139	1.139	70	0.404	0.413
20	1.002	1.003	80	0.354	0.364
25	0.890	0.893	90	0.315	0.326
30	0.798	0.800	100	0.282	0.294

表 1-3 标准大气压和不同温度下空气的动力黏度和运动黏度

温度/℃	$\mu \times 10^{-6}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	温度/℃	$\mu \times 10^{-6}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
0	17.16	13.27	40	19.42	17.16
5	17.46	13.75	60	20.10	18.96
10	17.75	14.23	80	20.99	20.99
15	18.00	14.69	100	21.77	23.01
20	18.24	15.13	120	22.60	25.20
25	18.49	15.61	140	23.44	27.40
30	18.73	16.08	200	25.82	34.60

3) 相对黏度

相对黏度是在一定条件下用黏度计直接测定的黏度。根据测定条件不同,有恩氏黏度、赛氏黏度和雷氏黏度几种,各国采用的相对黏度不同,我国采用恩氏黏度。

恩氏黏度是把加热并保持恒定温度(一般为 50 ℃)的 200 cm³ 被测液体,靠自重从恩氏黏度计中流出所需要的时间 t' ,与同体积 20 ℃ 蒸馏水从该恩氏黏度计中流出的时间 t (约为 51 s)的比值,用 $^{\circ}\text{E}$ 表示。

$$^{\circ}\text{E}_t = \frac{t'}{t} \quad (1-10)$$

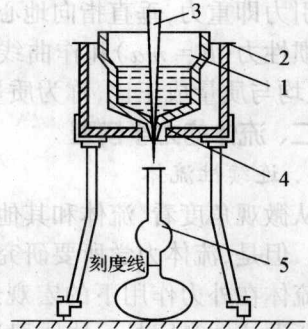
恩氏黏度与运动黏度的换算关系为

$$\nu_t = 7.31^{\circ}\text{E}_t - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}_t} \quad (1-11)$$

上式中的 ν_t 和 $^{\circ}\text{E}_t$,分别为试验温度为 t 时的运动黏度和恩氏黏度, ν_t 的单位为 mm²/s。图 1-2 为恩氏黏度计,测量方法是,先用木塞 3 将锥管 4 关闭,把 200 cm³ 的蒸馏水注入黄铜储液器 1 中,开启水槽 2 中的电加热器进行加热,目的是把黄铜储液器 1 中的蒸馏水加热至 20 ℃,并保持温度不变,然后迅速拔起木塞,测定蒸馏水经锥形孔流入量杯 200 cm³ 刻度线所需的时间 t 。然后,用同样的方法测定待测液体流出 200 cm³ 所需的时间 t' ,但要测出待测液体的温度,测定时温度需保持不变。根据测定的时间,按公式(1-10)计算恩氏黏度。

4. 压力、温度对流体黏性的影响

压力和温度对流体的黏性都有影响,流体的黏性随压力的升高而增大,但在压力不很高时,其黏性变化很小,可以忽略。温度的变化对流体的黏性影响较大,液体的黏性随温度的升高而降低,流动性增强。因为,温度升高时,液体分子之间的内聚力减弱,而液体的黏性主要是由液体分子之间的内聚力引起的。气体则相反,温度升高时,气体的黏性增大。因为,气体分子之间的距离较大,其黏性主要是由气体分子的热运动,使分子之间产生碰撞引起的,温度越高,气体分子的热运动加剧,分子之间的碰撞加剧,黏性增大。



1—黄铜储液器;2—水槽;
3—木塞;4—锥管;5—量杯

图 1-2 恩氏黏度计

第二节 作用在流体上的力及力学模型

一、作用在流体上的力

作用在流体上的力按其性质分为表面力和质量力。

1. 表面力

表面力是指作用在流体表面上的力,如图 1-3 所示,从静止流体中任取一体积为 V 、表面积为 A 的分离体为研究对象,与分离体相邻的流体必然通过接触面对分离体产生作用力。在分离体表面取一微小面积 ΔA ,作用在它上面的表面力为 ΔF ,把 ΔF 分解为切向力 ΔF_r 和法向力 ΔF_n ,则作用在 ΔA 上的切向应力 τ 和法向应力 σ 分别为

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_r}{\Delta A} \quad (1-12)$$

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \quad (1-13)$$

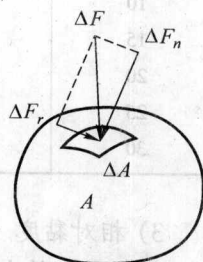


图 1-3 作用在分离体上的力

流体的法向应力 σ 称为流体的压强,在液压传动中,称为流体的压力,用 p 表示(本教材中通称为流体的静压力,简称压力)。

流体的切向应力 τ ,是作用在流体单位面积上的摩擦力。它是流体因流动而消耗能量的主要因素。

2. 质量力

质量力是作用于流体质点上,并与流体质量成正比的力。质量力又可分为两种,一种是地球引力即重力,垂直指向地心;另一种是由加速度引起的惯性力,如作直线加速运动时的直线惯性力($F = ma$)和作曲线运动时的离心惯性力($F = m\omega^2 R$)。这两种力虽然形式不同,但均与质量成正比,称为质量力。

二、流体的力学模型

1. 连续性流体

从微观角度看,流体和其他物体一样,都是由大量不连续分布的分子组成的,分子间有间隙。但是,流体力学所要研究的并不是个别分子的微观运动,而是研究由大量分子组成的宏观流体在外力作用下的宏观运动。因此,在流体力学中,取流体微团作为研究流体的基元。所谓流体微团是一块体积为无穷小的微量流体,由于流体微团的尺寸极其微小,故可作流体质点看待。这样,流体可看成是由无限多连续分布的流体微团组成的连续介质。这种对流体的连续性假设是合理的,因为在流体内含有为数众多的分子。例如,在标准状态下, 1 mm^3 气体中有 2.7×10^{16} 个分子; 1 mm^3 的液体中有 3×10^{19} 个分子。可见分子间的间隙是极其微小的。因此在研究流体宏观运动时,可以忽略分子间的间隙,认为流体是连续介质。

当把流体看作是连续介质后,表征流体性质的密度、速度、压力和温度等物理量,在流体中也应该是连续分布的。这样,可将流体的各物理量,看作是空间坐标和时间的连续函数,从而可以引用连续函数的解析方法,来研究流体的平衡和运动规律。

2. 无黏性流体

实际流体都是具有黏性的。无黏性的流体称为理想流体,这是客观上不存在的一种假

想的流体。在流体力学中引入理想流体的概念,是因为在实际流体的黏性作用表现不出来的场合(在静止流体或匀速直线流动的流体中),完全可以把实际流体当作理想流体来处理。在许多场合,求得实际流体流动的精确解是很困难的。对某些黏性不起主要作用的问题,先不计黏性的影响,使问题的分析大为简化,从而有利于掌握流体流动的基本规律。至于黏性的影响,可根据试验引进必要的修正系数,对由理想流体得出的流动规律加以修正。对于黏性起主要作用的实际流体流动问题,先研究不计黏性影响的理想流体的流动,而后引入黏性影响的系数,再研究实际流体流动的更为复杂的情况,这是符合认识事物由简到繁的规律的。基于以上诸点,在流体力学中,总是先研究理想流体的流动,再研究实际流体的流动。

3. 不可压缩流体

压缩性是流体的基本属性。任何流体都是可以压缩的,只不过可压缩的程度不同而已。液体的压缩性很小,随着压力和温度的变化,液体的密度仅有微小的变化,在大多数情况下,可以忽略压缩性的影响,认为液体的密度是一个常数。

气体的压缩性很大。从热力学中可知,当温度不变时,气体的体积与压力成反比。当压力不变时,气体的体积与温度成正比。所以,通常把气体看成是可压缩流体,它的密度不能作为常数,而是随压力和温度的变化而变化。我们把密度随温度和压力而变化的流体称为可压缩流体。

把液体看作是**不可压缩流体,气体看作是**可压缩流体,都不是绝对的。在实际工程中,是否考虑流体的压缩性,要视具体情况而定。例如,研究管道中水击和**水下爆破时,水的压力变化较大,而且变化过程非常迅速,这时水的密度变化就不可忽略,要考虑水的压缩性,把水当作可压缩流体来处理。又如,在通风管道中,气体在整个流动过程中,压力和温度的变化都很小,其密度变化很小,可作为不可压缩流体来处理。

本章小结

1. 流体是在任何微小剪切力的持续作用下,能够连续不断变形的物质。流体不能保持一定的形状,具有流动性。流体的密度 ρ 是指单位体积流体具有的质量,它不随地理位置而改变。流体的重度 γ 是指单位体积流体具有的重力,它随重力加速度 g 的变化而变化。两者之间的关系为 $\gamma = \rho g$ 。

2. 流体的压缩性,是指流体的体积随压力的增加而缩小的性质,其大小用压缩系数 β_p 表示。流体的膨胀性,是指流体的体积随温度的升高而增大的性质,其大小用膨胀系数 β_t 表示。液体的压缩性和膨胀性都很小,常常可将其视为不可压缩流体。气体的压缩性和膨胀性都很大,是可压缩流体,但当流速不高,压力和温度变化不大时,可视为不可压缩流体。

3. 黏性是流体流层(质点)间因相对运动而产生内摩擦力,阻碍相对运动的性质。黏性的大小用黏度表示,黏度分为动力黏度、运动黏度和相对黏度。恩氏黏度是一种相对黏度,用恩氏黏度计测定。流体的黏性随压力的升高而增大,但压力对黏性的影响较小,可以忽略,一般只考虑温度的影响。温度升高,液体的黏性降低,气体的黏性增大。

4. 作用于流体上的力分为表面力和质量力。表面力是指作用在流体表面上,与作用面积成正比的力。质量力是指作用在流体质点上,与流体质量成正比的力。在均质流体中,质量力与流体的体积成正比。