



21世纪高等院校
土木与建筑专业“十二五”规划教材

付保川 顾问

建筑设备

主编 伍培 刘恩超



中国建材工业出版社

 21 世纪高等院校土木与建筑专业“十二五”规划教材

建筑设备

主 编 伍 培 刘恩超
副主编 丁 欢 李志波 李晓莉
陈玲玲 范 军
参 编 叶铁峰



中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备 / 伍培, 刘恩超主编. — 北京: 中国建材工业出版社, 2012. 8

21 世纪高等院校土木与建筑专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5160-0263-6

I. ①建… II. ①伍… ②刘… 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(2012)第 191305 号

内 容 提 要

建筑设备是土木建筑类专业的一门工程技术基础课。本书共分 11 章,从建筑设备所涉及的流体力学、热工学及电工学基础知识出发,结合现代建筑环境设计和使用要求,介绍了建筑给水、排水、热水供应、供暖、燃气供应、通风与空调、供配电、照明、防雷及接地、建筑设备自动化的基本知识和基本原理,以及相应的设计、计算方法和材料设备选择等知识,并结合当前建筑设备工程在设计、施工和维护管理过程中出现的新要求、新问题,简要讲述了建筑设备工程与土建工程在设计、施工和管理上的协调、配合、维护与运行管理要求等方面的内容。

本书不仅可以作为土木建筑类各专业的教材或教学参考书,也可作为从事与土木建筑类工作有关的设计、规划、装修、施工管理人员的参考用书,还可供准备参加注册建筑师、注册造价师、注册建造师考试的考生使用。

建筑设备

伍 培 刘恩超 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 21

字 数: 470 千字

版 次: 2012 年 8 月第 1 版

印 次: 2012 年 8 月第 1 次

定 价: 42.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。电话: (010)88386906

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书责编联系。邮箱: jiaocaidayi51@sina.com

序

Preface

建筑设备是土建类专业开设的一门专业课程,主要讲述流体力学、热工学及电工学在建筑应用方面的基本知识,让学生比较深入地认识建筑给水、排水、热水供应、供暖、燃气设备自动、通风与空调、供配电、照明、防雷及接地、建筑智能化等方面的基本知识和施工要求,可满足建筑设备相关专业设计、施工人员和管理人员对建筑设备的认知要求。

本书从现代社会对从业人员的认知要求出发,组织教学内容,注意理论与实践的衔接,突出实用性,依据“必需、够用”的原则编写,尽力体现实用性、针对性、简约性、及时性和直观性,加入了大量形象化的图例和图片,便于读者理解和掌握有关学习内容,较好地体现了当前高校进行专业素质教育的精神。本书重在引导学生成为能够综合考虑问题、营造良好建筑环境的专业人才,不仅注意内容更新,而且还尽量体现现代教育观念,对大学教学及课程的改革和发展具有积极作用。

纵观全书,各章结构明晰,概念阐述清晰准确,图幅构思与应用得当,内容前后呼应,主次分明,整体性强。本书不仅可以作为土建类相关专业的教材,还可以供相关专业技术人员参考使用。

本书的出版是建筑设备课程建设的积极成果,编者为此付出了辛勤的劳动,相信他们的努力定会为建筑设备课程教学质量的提高做出积极的贡献!



苏州科技学院教授

前言 Foreword

建筑设备是一门内容广泛、综合性强的学科,它保障着建筑物使用功能的充分发挥,为人提供健康、舒适、便利和安全的工作和生活环境。作为现代化建筑的主要组成部分,其配置的完善程度、技术水平和管理的效能全面反映着社会的综合发展水平。

随着物质生活水平和精神生活水平的提高,现代建筑逐渐成为智能化建筑,人们对建筑的使用功能和质量提出了越来越高的要求,建筑设备在建筑工程中的地位日益提高,建筑设备的投资占建筑总投资的比重越来越大。近年来节约不可再生资源、发展和利用可再生资源的呼声日益高涨,从事建筑类专业的工程技术人员只有对现代建筑物中的给水排水、供暖、通风、空调、燃气、消防、供配电、建筑设备自动化等的工作原理、功能及在建筑中的设置应用情况有所认识和理解,才能在建筑结构设计、建筑施工、室内装饰、建筑管理等工作中合理地配置和使用能源和资源,真正做到既能完美体现建筑的设计和使用功能,又能尽量减少能源的损耗和资源的浪费。

本书是为高等工科院校土木工程、建筑学、城市规划、工程管理、建筑电气与智能化等土建类专业编写的教材,主要讲述了流体力学、热工学、电工学基本知识,重点介绍了建筑给水、排水、热水供应、供暖、燃气供应、通风与空调、供配电、照明、防雷及接地、建筑设备自动化等方面的基本知识。介绍了通过建筑设备构建建筑环境保障系统的基本思想、规划设计原则、设计计算原理及相关材料设备的发展动向。同时,本书对近年来专业发展的新技术、新材料和新设备也做了阐述。

本书在编写体系上注重基础理论与工程应用的有机结合,加入了大量易于理解的图例,便于读者理解和掌握有关的学习内容。在总体内容上,尽量使土建类各专业设计者、施工者能够充分认识和理解建筑设备的系统布置原则及要求,使学习者能够把握建筑设备和建筑设计、结构设计、建筑管理之间的关系,以便形成一个有机、和谐的整体。本书结构清晰,可满足专业教育的认知要求。书中各章都附有思考题,可让读者巩固所学内容。

本书在编写过程中参考了近年来出版的同类书籍和有关专家的著作、论文,采用了国家颁布的最新标准和规范。限于篇幅,书末只列出了主要的参考文献,在此对所有参考文献的作者表示谢意和敬意,对未列出的参考文献作者表示歉意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不足之处,衷心希望广大读者批评指正。

编者

目录 Contents

第 1 章 建筑设备理论基础 / 1

- 1.1 流体力学基本知识 / 1
- 1.2 热工学基础 / 24
- 1.3 电工的基本知识 / 30

第 2 章 建筑给水 / 40

- 2.1 建筑给水系统及给水方式 / 40
- 2.2 给水管材、附件及水表 / 45
- 2.3 建筑室内给水管道的布置与敷设 / 50
- 2.4 建筑给水系统相关计算 / 52
- 2.5 给水增压与调节设备 / 60
- 2.6 建筑消防给水系统 / 67

第 3 章 建筑热水供应 / 72

- 3.1 热水供应系统 / 72
- 3.2 热水管网的布置与敷设 / 83
- 3.3 耗热量、热水量和热媒耗量的计算及加热设备 / 85

第 4 章 建筑排水工程 / 90

- 4.1 建筑排水系统概述 / 90
- 4.2 建筑排水管道的布置与敷设 / 94
- 4.3 建筑排水系统计算 / 97
- 4.4 排水管材、附件及卫生器具 / 102
- 4.5 屋面雨水排放 / 112
- 4.6 建筑中水工程 / 118
- 4.7 污水局部处理构筑物 / 121

第 5 章 建筑供暖 / 126

- 5.1 供暖方式、热媒系统分类 / 126
- 5.2 供暖热负荷 / 128
- 5.3 对流的供暖系统 / 132
- 5.4 辐射供暖系统 / 146
- 5.5 供暖系统的末端设备 / 149
- 5.6 供暖系统的管路布置与辅助设备 / 153
- 5.7 供暖热源 / 157

第 6 章 通风与空调系统 / 165

- 6.1 概述 / 165
- 6.2 通风系统的主要设备和构件 / 170
- 6.3 空调系统的组成和分类 / 176

- 6.4 空调负荷与送风量 / 180
- 6.5 空调房间的气流组织 / 184
- 6.6 空气处理方法和设备 / 187
- 6.7 空调水系统 / 192
- 6.8 空调冷源 / 196
- 6.9 空调系统的消声减振 / 202

第7章 建筑燃气供应 / 206

- 7.1 城镇燃气的种类与性质 / 206
- 7.2 燃气用户及用气量计算 / 207
- 7.3 城市燃气的供应 / 209
- 7.4 燃气系统的管理与维护 / 213

第8章 建筑供配电系统 / 215

- 8.1 电力线路常用的几种供电方式 / 216
- 8.2 变配电所的组成 / 218
- 8.3 高压配电系统 / 222
- 8.4 低压配电系统 / 227
- 8.5 线路的敷设、导线截面选择及线路的保护 / 236

第9章 建筑照明系统 / 247

- 9.1 建筑照明概述 / 247
- 9.2 建筑照明的种类 / 251
- 9.3 照明电光源 / 253
- 9.4 建筑照明灯具的种类与选择 / 256
- 9.5 建筑照明灯具的布置与照度计算 / 261

第10章 建筑防雷及接地系统 / 269

- 10.1 雷电的形成及对建筑的危害 / 269
- 10.2 建筑物的防雷分类 / 271
- 10.3 建筑防雷措施 / 272
- 10.4 接地系统 / 277
- 10.5 建筑的等电位联结 / 284

第11章 建筑设备自动化基础 / 287

- 11.1 建筑设备自动化概述 / 287
- 11.2 建筑设备自控网络 / 289
- 11.3 建筑供配电与照明监控系统 / 306
- 11.4 暖通空调监控系统 / 309
- 11.5 给排水监控系统 / 318
- 11.6 其他建筑设备监控系统 / 321

参考文献 / 330

第 1 章

建筑设备理论基础

1.1 流体力学基本知识

自然界中的物体根据存在状态的不同可分为:固体(固相)、液体(液相)和气体(气相)。液体和气体被统称为流体。研究流体平衡状态与运动状态的力学规律及其实际应用的科学被称为流体力学。流体力学按介质可分为液体力学和气体力学。液体力学的主要研究对象是液体,但当气体的流速和压力不大、密度变化不大、压缩性的影响可以忽略不计时,液体力学与气体力学基本一致。

流体力学在建筑工程中有广泛的应用。给水、排水、供热、燃气、通风和空调等工程的设计、计算和分析均将流体力学作为理论基础,因此,了解和掌握流体力学的基本知识是学习建筑设备工程专业知识的基础。

1.1.1 流体的主要物理性质

常态下的流体,内部各质点间的内聚力很小,不能承受拉力,也不能承受剪切力,任何微小的剪切力都能使静止流体发生很大的变形,因而流体具有流动性,不能形成固定的形状,而只能随时被限定为其所在容器的形状,但流体在密闭状态下却能承受较大的压力。

1.1.2 流体的密度和重度

流体和固体一样具有质量。均质流体单位体积所具有的质量称为密度,用 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。

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

式中 m ——流体的质量,单位为 kg ;

V ——流体的体积,单位为 m^3 。

同理,单位体积流体所受的重力称为重度,用 γ 表示,单位为 N/m^3 。

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

式中 G ——流体的重力,单位为 N 。

根据牛顿第二定律 $G = mg$, 故流体的重度和密度关系为

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

式中 g ——重力加速度,通常取 $g=9.80\text{m/s}^2$ 。

流体的密度和重度随外界压力和温度的变化而变化,即同一流体的密度和重度不是一个固定值。在实际工程中,液体的密度和重度随温度和压力的变化而变化的数值不大,可视为固定值,而气体的密度和重度随温度和压力的变化较大,不能视为固定值,其变化规律可按气体状态方程来计算。

建筑设备涉及的流体主要是水、干空气、汞等,其密度和重度见表 1-1 至表 1-3。

表 1-1 水、干空气和汞的密度、重度

液体名称	密度/(kg/m ³)	重度/(N/m ³)	备注
水	1000	9800	4℃及 1 个标准大气压
干空气	13600	133280	0℃及 1 个标准大气压
汞(水银)	1.2	11.80	20℃及 1 个标准大气压

注:1 个标准大气压=1.013×10⁵Pa。

表 1-2 一个标准大气压下水的密度和重度

温度/℃	密度/(kg/m ³)	重度/(N/m ³)
0	999.87	9805
10	999.73	9804
20	998.23	9789
40	992.24	9731
60	983.24	9642
80	971.83	9530
100	958.38	9399

表 1-3 一个标准大气压下空气的密度和重度

温度/℃	密度/(kg/m ³)	重度/(N/m ³)
0	1.293	12.70
5	1.270	12.47
10	1.248	12.24
20	1.205	11.80
25	1.185	11.62
30	1.165	11.43
40	1.128	11.07

1.1.3 流体的黏性

一切流体都有黏性,这是流体的典型特征。流体的黏性在流动中呈现出来,不同流体的流动性能不同,主要是因为流体内部质点在相对运动时存在不同的内摩擦力,阻碍流体质点间的

相对运动。流体由静止到流动,是一个流体内部产生剪切力,形成剪切变形,使静止状态受到破坏的过程。这种表现流体流动时产生内摩擦力阻碍流体质点或流层间相对运动的特性称为黏性,内摩擦力称为黏滞力。

黏性是流体阻止其发生剪切变形的一种特性,流体的黏性越大,其流动性越小。

当相邻的流体层相对移动,各层之间就会因黏性而产生摩擦力。摩擦力使流体摩擦生热,流体的部分机械能转化为热能而损失掉。所以,运动流体的机械能总是沿流程减少。

设有上、下两块面积很大且相距很近的平行面板,板间充满某种静止液体,如图 1-1 所示。将下板固定,对上板施加一个恒定的外力,上板以恒速 u 沿水平方向运动。若 u 较小,则两板间的液体就会分成无数平行的薄层而运动。上板底面下的一薄层流体以速度 u 随上板运动,各层液体的速度依次降低,紧贴在下板表面的一层液体速度为零,流速的分布呈直线。将它们的速度矢量顶点连接起来,即平板间的流速分布曲线。

平行平板间的流体,流速分布呈直线,而流体在圆管内流动时,速度分布呈抛物线形,如图 1-2 所示。当流体在圆管中缓慢流动时,紧贴管壁的流体质点黏附在管壁上,流速为零,而位于管轴心线上的流体质点流速最大。介乎其间的流体质点具有不同的流速,将它们的速度矢量顶点连接起来,即圆管内的流速分布曲线。

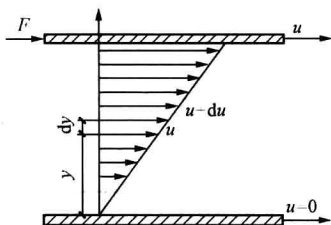


图 1-1 平板间液体速度变化

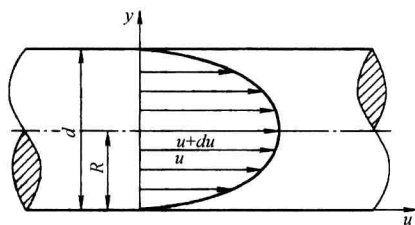


图 1-2 液体在圆管内的速度变化

牛顿在总结实验的基础上,提出了流体内摩擦力假说——牛顿内摩擦定律,其数学表达式为

$$F_{\text{内}} = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

单位面积上的内摩擦力称为切应力,以 τ 表示,单位为 Pa。

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

式中 $F_{\text{内}}$ ——内摩擦力,单位为 N;

τ ——切应力,或称单位面积的内摩擦力,单位为 N/m^2 , Pa;

μ ——流体动力黏度,单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$;

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度,速度沿垂直于流速方向的变化率,单位为 s^{-1} 。

式(1-4)中的流体动力黏度 μ 表示流体黏性的大小,它决定于流体的种类和温度,通常也称为黏度或动力黏度。流体黏性除用动力黏度 μ 表示外,还常用运动黏度 ν 表示,单位为

m^2/s 。液体的运动黏度见表 1-4, 水的黏度见表 1-5, 一个大气压下空气的黏度见表 1-6。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

表 1-4 几种液体的运动黏度

液体名称	温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\nu/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	液体名称	温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\nu/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
汽油	18	0.0065	石油	18	0.2500
酒精	18	0.0133	重油	18	1.4000
煤油	18	0.0250	甘油	20	8.7000

表 1-5 水的黏度

$t/^{\circ}\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$t/^{\circ}\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
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 1-6 一个大气压下空气的黏度

$t/^{\circ}\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$t/^{\circ}\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
-20	0.0166	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	25.8
30	0.0187	16.6	150	0.0239	29.6
40	0.0192	17.6	200	0.0259	35.8
50	0.0196	18.6	250	0.0280	42.8
60	0.0201	19.6	300	0.0298	49.9

运动黏度更能说明流体流动的难易程度。运动黏度越大, 反映流体质点相互牵制的作用越明显, 流动性就越差。研究表明, 压强对流体黏度基本无影响, 仅在高压系统中才稍有增加, 但温度对流体黏性的影响则较大: 当温度升高时, 气体黏度增大, 液体的黏度降低。

需要说明的是: 牛顿内摩擦力定律只适用于部分流体, 对于某些特殊流体是不适用的。把符合牛顿内摩擦力定律的流体称为牛顿流体, 不符合的称为非牛顿流体, 如泥浆、血浆、油漆和颜料等。建筑设备工程领域涉及的主要是牛顿流体。

1.1.4 流体的压缩性和热膨胀性

流体受压时,体积缩小、密度增大的性质称为流体的压缩性。流体受热时,体积膨胀、密度减小的性质称为流体的膨胀性(即热胀性)。液体和气体的压缩性和膨胀性不同。

液体的压缩性和膨胀性都很小,因而在工程中认为液体是不可压缩的流体,但由于液体会随着温度的升高出现较明显的体积膨胀现象,认为液体具有膨胀性。但水的膨胀性比较特殊,当水温在 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 时,水的体积随温度的降低而增大,密度和重度则相应减小。在建筑设备工程中,一般计算均不考虑液体的压缩性和热膨胀性,将液体视为不可压缩流体。

气体具有显著的压缩性和膨胀性,气体的体积随压强和温度的变化而变化,很容易被压缩或膨胀,密度和重度也有较大的变化。有少数气体在压强和温度不变或变化很小时,气体的密度和重度可以视为常数,此种气体称为不可压缩气体。

流体膨胀性的大小用膨胀系数 $\alpha(1/\text{K}$ 或 $1/^{\circ}\text{C})$ 来表示,热膨胀系数表示单位温度所引起的体积相对变化量,即

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dT} \quad (1-7)$$

式中 V_0 ——初温度 $T_0(\text{K})$ 时的流体体积,单位为 m^3 ;

T ——温度,单位为 K 或 $^{\circ}\text{C}$ 。

流体压缩性的大小一般用压缩系数 $\beta(\text{单位为 } \text{Pa}^{-1})$ 来表示。压缩系数是指单位压强所引起的体积相对变化量,即

$$\beta = -\frac{1}{V_0} \frac{dV}{dp} \quad (1-8)$$

式中 V_0 ——压缩前流体体积,单位为 m^3 ;

V ——流体的体积,单位为 m^3 ;

p ——流体的压强,单位为 Pa 。

式(1-8)中等号右边的负号表示 dV 与 dp 的变化相反。

气体为可压缩流体,若在一定容器内气体的质量不变,则两个稳定状态之间的参数关系可由理想气体状态方程(式 1-9)确定:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (1-9)$$

式中 p_1, V_1 和 T_1 ——气体状态变化前的压强、体积和热力学温度;

p_2, V_2 和 T_2 ——气体状态变化后的压强、体积和热力学温度。

1.1.5 流体的惯性

流体具有反抗改变其原有运动状态的物理特性,即惯性。惯性是物体保持原有运动状态的性质。运动状态的任何改变都必须克服惯性的作用。质量是衡量惯性的唯一尺度。质量越大,惯性越大,运动状态越难改变。

1.1.6 表面张力

因为液体跟气体接触的表面存在一个薄层,称为表面层。表面层里的分子比液体内部稀疏,分子间的距离比液体内部大一些,分子间的相互作用表现为引力,这种表面层分子间的吸引力称为表面张力。表面张力是由液体分子的内聚力引起的,发生在曲面上,液体表面的曲率越大,表面张力就越大。由于气体分子具有扩散作用,不存在自由表面,故气体不存在表面张力。

将细玻璃管竖立在液体中,由于表面张力的作用,液体就会在细管中上升或下降,人们称此为毛细管现象。在工程实际中,有时需要消除测量仪器因毛细管现象所造成的误差。

在水流实验中,经常用盛有水或水银的细玻璃管作测压管,目的是消除毛细管现象。故测量压强的玻璃管内径不宜太小,否则会造成很大的误差。

水的毛细升高所造成的误差是正的;水银的毛细降低所造成的误差是负的,如图 1-3 所示。

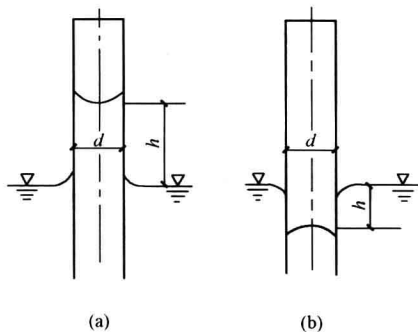


图 1-3 毛细管现象

(a)水;(b)水银

$$\text{水的毛细升高:} \quad h = \frac{30}{d} \quad (1-10)$$

$$\text{水银的毛细降低:} \quad h = -\frac{30}{d} \quad (1-11)$$

式中 h ——毛细升高,单位为 mm;

d ——玻璃管内径,单位为 mm。

管的内径越小,毛细管升高或下降的值越大。

1.1.7 作用于流体上的力

作用于流体上的力包括质量力和表面力两大类。

1. 质量力

质量力是指通过所研究流体的每一部分质量而作用于流体的力,其大小与流体的质量成正比。常见的质量力有重力和各种惯性力(如直线加速运动时的直线惯性力和圆周运动时的

离心力等)。质量力的单位为牛顿(N)。

质量力除用总作用力度量外,常用单位质量力来表示。作用在单位质量流体上的质量力称单位质量力。

若质量为 m 的均质流体,总质量力为 F ,则单位质量力 f 为

$$f = \frac{F}{m} \quad (1-12)$$

设总质量力 F 在空间坐标上的投影分别为 F_x, F_y, F_z ,则单位质量力 f 在相应坐标轴上的投影为 f_x, f_y, f_z ,即

$$f_x = \frac{F_x}{m}, f_y = \frac{F_y}{m}, f_z = \frac{F_z}{m} \quad (1-13)$$

当液体所受的质量力只有重力时,重力 $G = mg$ 在直角坐标系的三个轴向分量分别为 $G_x = 0, G_y = 0, G_z = -mg$,则单位质量重力的轴向分力为

$$f_x = 0, f_y = 0, f_z = -g \quad (1-14)$$

2. 表面力

表面力是指作用在流体表面上的力,其大小与受力表面的面积成正比。例如,固体边界对流体的摩擦力、边界对流体的反作用力、一部分流体对相邻流体产生的压力等。表面力可分解为垂直于作用面的压力和沿作用面方向的剪切力。表面力的单位为牛顿。与作用面垂直的表面力称为压应力或压强;与作用面平行方向的表面力称为切应力。

流体处于静止状态时,不存在黏性力引起的内摩擦力(切向力为零),表面力只有法向压力。对于理想流体,无论是静止状态还是运动状态,都不存在内摩擦力,表面力只有法向压力。

1.1.8 流体静压强及其分布规律

流体具有流动性,对任何方向的接触面都会因自重而显示压力。流体对容器壁面存在压力,液体内部之间也存在压力。

在静止或相对静止的流体中,单位面积上的内法向表面力称为静压强。在静水中取一表面积为 A 的水体,设周围水体对 A 表面上某一微小面积 ΔS 产生的作用力为 ΔP ,则该微小面积上的平均压强为

$$\bar{p} = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (1-15)$$

当 ΔS 无限缩小到 a 点时,比值趋于某一极限值,该极限值为 a 点的静压强,以 p 表示:

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow a} \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (1-16)$$

流体静压强有两个重要特性:

(1) 流体静压强的方向总是和受压面垂直,并且只能是压力,不能是拉力,即流体的静压强的方向只能垂直并指向受压面。

(2) 静止流体中任一点的静压强只有一个值,与作用面的方向无关,即任意点处各方向的

静压强均相等,称为各向等值。

1. 分界面、自由表面和等压面

两种密度不同且互不混合液体之间的接触面为分界面;液面和气体的交界面称为自由表面。流体中由压强相等的各点组成的面叫做等压面。静止流体在重力作用下,分界面和自由表面既是等压面,又是水平面,这一规律只适用于满足同种、静止和连续三个条件的流体。

等压面具有两个重要性质:一是在平衡液体中等压面即等势面;二是等压面与质量力正交。只有重力作用下的静止液体,其等压面必然是水平面。

敞口容器内静止液体中任一水平面均为等压面,液体的自由表面上所受的压强相同,为大气压强。若在连通器内,相联通的同一种液体在同高度上的压强相等。相联通的液体可以是在此水平面之下或之上。如图 1-4 中的 1-1 面和 4-4 面即不是等压面。

2. 静压强的分布规律

在静止的流体内部任取一圆柱体作为隔离体,研究其底面的静压强,如图 1-5 所示。已知圆柱体的高度为 h ,断面面积为 ΔA ,其上表面与自由表面重合,所受压强为 p_0 。在圆柱体侧面上的静水压力方向与轴向垂直,而且对称,故相互平衡,则圆柱体轴向的作用力有三个:上表面压力 $P_0 = p_0 \Delta A$,方向垂直向下;下表面压力 $P = p \Delta A$,方向垂直向上;圆柱体的重力 $G = \rho g h \Delta A$,方向竖直向下。

根据圆柱体静止状态的平衡条件,令方向向上为正,向下为负,则可得圆柱体轴向的力的平衡方程,即

$$p \Delta A - \rho g h \Delta A - p_0 \Delta A = 0 \quad (1-17)$$

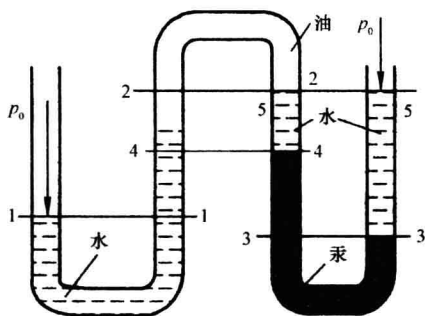


图 1-4 等压面与水平面

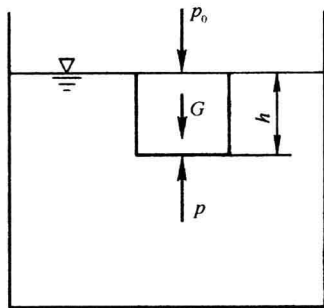


图 1-5 静止液体中的小圆柱体

故有

$$p = p_0 + \rho g h = p_0 + \gamma h \quad (1-18)$$

式中 p ——静止流体中任一点的压强,单位为 N/m^2 ;

p_0 ——液体表面压强,单位为 N/m^2 ;

γ ——液体的重度,单位 N/m^3 ;

h ——所研究的点在液面下的深度,单位为 m 。

式(1-18)是静水压强基本方程式。式中 γ 和 p_0 都是常数。该方程表达了只有重力作用时流体静压强的分布规律。式(1-18)说明流体的静压强与深度成直线分布规律,且流体中某点静压由两部分组成,即液面上的压强 p_0 和由单位断面液柱自重引起的压强 γh 。式(1-18)还说明流体任一点的静压强都包含液面上的压强 p_0 ,因此,液面压强若有任何增量,都会使其内部各处的压强有同样的增量,即 $(p_B + \Delta p) = (p_0 + \Delta p) + \gamma h$,这是液面压强等值地在液体内部传递的原理,即帕斯卡原理。

该方程也适用于静止气体,只是气体的重度很小,在高差不大的情况下可忽略 γh 项。

只有重力作用时,静止液体静压强的分布规律如下:

- (1)静止液体任一点的压强等于液面压强加上液体重度与深度乘积之和。
- (2)静止液体压强随深度按直线规律变化。
- (3)同一深度的点压强相等,即等压面为水平面。
- (4)液面压强可等值地在液体内部传递。

3. 流体静力学方程式的其他形式

设水箱水面的压强为 p_0 ,在箱内的液体中任取两点A和B,在箱底以下任取一基准面0—0。箱内液面到基准面的高度为 z_0 ,A点和B点到基准面的高度分别为 z_1 和 z_2 ,如图1-6所示。

由式(1-18),列出A点B点的压强表达式

$$A \text{ 点的压强为 } p_1 = p_0 + \gamma(z_0 - z_1) \quad (1-19)$$

$$B \text{ 点的压强为 } p_2 = p_0 + \gamma(z_0 - z_2) \quad (1-20)$$

将式(1-19)和式(1-20)两边同除以液体的重度并整理可得

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = z_0 + \frac{p_0}{\gamma} = C = \text{常数} \quad (1-21)$$

式中 z ——任一点的位置相对于基准面的高度,称为流体的位置水头,也称几何意义的位能、势能、几何压头等;

$\frac{p}{\gamma}$ ——在该点压强作用下,液体在测压管中所能上升的高度,称为压强水头,也称为流体的静压头;

$z + \frac{p}{\gamma}$ ——测压管水头,图1-7表示流体测压管水头;

$z + \frac{p}{\gamma} = C$ ——表示同一容器内的静止液体中,所有各点的测压管水头均相等。

4. 流体压强的表示方法

压强的表示方法一般有三种:

(1)用应力单位表示。从压强定义出发,用单位面积上的力表示,单位为 N/m^2 ,国际单位制为Pa。1Pa表示每平方米面积上承受1N的压力。常用的单位还有 kN/m^2 、 N/cm^2 等。

(2)用液柱高度表示。常用水柱高度和汞柱高度表示,单位为 mH_2O 、 mmH_2O 或 mmHg 。

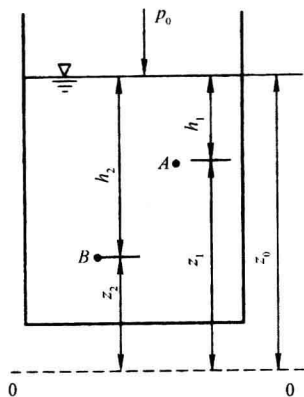


图 1-6 水箱内部压强分析

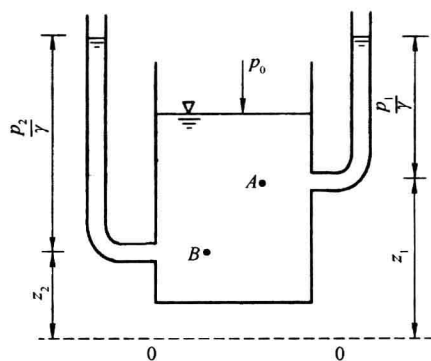


图 1-7 测压管水头

(3)用大气压的倍数表示。国际上规定一个标准大气压为 101.325kPa,单位为 atm。

工程上经常使用的单位有毫米汞柱(mmHg)、毫米水柱(mmH₂O)、大气压(atm)。它们之间的换算关系如下:

$$1\text{atm}=760\text{mmHg}=10.33\text{mH}_2\text{O}=101325\text{Pa}=101.325\text{kPa}=101.325\text{kN/m}^2$$

5. 流体压强的度量

流体的压强按照基准点的不同可分为绝对压强和相对压强。

(1)绝对压强。以没有大气存在的绝对真空状态作为零点计算的压强,称为绝对压强,常用符号 p' 表示。若液面的绝对压强为 p'_0 ,则液体内某点绝对压强 p' 可写为

$$p' = p'_0 + \rho gh \quad (1-22)$$

若液面的压强等于当地大气压强 p_a ,则有:

$$p' = p_a + \rho gh \quad (1-23)$$

(2)相对压强。指以大气压强(p_0)为零点计算的压强,用符号 p 表示。

在实际工程中,因为被研究对象的表面均受大气压强作用,因此不需考虑大气压强的作用,即常用相对压强。在建筑设备工程和书籍中,所述压强一般都指相对压强,若指绝对压强则会特别说明。

如果液体是自由表面,自由表面压强有 $p_0 = p_a$,则式(1-18)简化为

$$p = \rho gh \quad (1-24)$$

(3)绝对压强和相对压强相差一个当地大气压强值。

图 1-8 所示说明绝对压强和相对压强之间的关系。绝对压强总是正值,相对压强可能大于大气压强,也可能小于大气压强,即相对压强可以是正值也可以是负值。相对压强为正值的表示正压,即压力表读数;相对压强为负值,表示流体处于真空状态,可用真空度(真空压强)表示流体的真空程度。真空度用符号 p_k 表示。

$$p_k = p_0 - p' = -p \quad (1-25)$$

某点的真空度越大,说明它的绝对压强越小。真空度的最大值为 98kN/m²,即该点处于