

建筑设备工程

太原工学院 高明远 主编
华南工学院 杜一民



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

148
5

高等学校试用教材

建筑设备工程

太原工学院 高明远
华南工学院 杜一民 主编

51463



华工 B0025460

中国建筑工业出版社

本书是高等学校建筑学专业《建筑设备工程》试用教材。

全书共分：流体力学基本知识，室内给排水，供热、通风及空气调节，建筑电气设备等四篇，共十七章。

本书主要阐述建筑设备工程技术的基本内容及其与建筑设计的关系，介绍建筑设备工程设计、计算方法的基本知识。除供建筑学专业作为教材外，也可供有关建筑工程技术人员参考。

高等学校试用教材

建筑设备工程

太原工学院 高明远 主编
华南工学院 杜一民

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：17 $\frac{1}{2}$ 字数：415千字
1981年7月第一版 1981年7月第一次印刷
印数：1—23,610册 定价：1.80元
统一书号：15040·4028

前 言

本书主要介绍建筑物内部的给水排水、热水及煤气供应、采暖、通风、空气调节、电气照明和建筑防雷等设备工程的基本内容及其与建筑物的关系；对有关设备工程设计计算方法的基本知识，也作了一般介绍。根据本书内容的要求，增编了流体力学基本知识部分，并结合此部分介绍和采用了国际单位制，以适应实现四个现代化的需要。

现代建筑设备工程涉及的范围相当广泛，加之我国幅员广大，南北气候悬殊，情况各异。编写时力求结合各个地区的具体情况，尽量反映国内外的先进技术成就，并注意加强基本理论。在教学过程中，可以针对地区的特点，对学习的内容有所侧重。

鉴于《建筑设备工程》在我国系首次编写出版的一本教材，缺乏经验，书稿虽经反复讨论修改，但因水平所限，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，都会存在不少缺点和错误。恳切地希望使用本书的同志们提出意见和批评，以利今后本书的充实和提高。

本书由太原工学院高明远、华南工学院杜一民负责主编。

全书编写分工：绪论由杜一民和高明远编写；第一至第五章由太原工学院吴锡福编写；第六章及第九章后的设计举例由太原工学院王效承编写；第七、八章由哈尔滨建筑工程学院车月璋编写；第九章由湖南大学曹铸鏊编写；第十章由哈尔滨建筑工程学院荆元福编写；第十一章由高明远编写；第十二章由杜一民和哈尔滨建筑工程学院刘克昇编写；第十三章由刘克昇编写；第十四章至第十七章由杜一民和太原工学院邓庆茂编写。

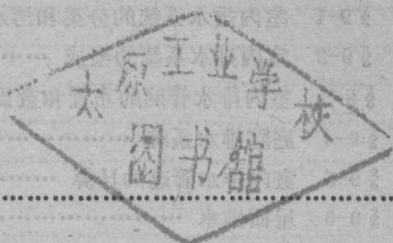
本书主审为重庆建筑工程学院孙慧修、任振良，参加审定的还有赵纹、李盛和、刘永志、谢永茂、何体中等同志。

本书在编写过程中得到各高等院校及有关设计、施工等部门的大力支持，协助审阅书稿，提供许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

编 者

1979年7月

目 录



绪论	1
----------	---

第一篇 流体力学基本知识

第一章 流体的基本概念	3
§ 1-1 流体力学研究的对象和任务	3
§ 1-2 流体的主要物理性质	3
第二章 流体静力学	7
§ 2-1 流体静压强及其特性	7
§ 2-2 流体静压强的分布规律	9
第三章 流体动力学基础	15
§ 3-1 流体运动的几个基本概念	15
§ 3-2 恒定流连续性方程式	18
§ 3-3 恒定流能量方程式	20
第四章 流动阻力和水头损失	27
§ 4-1 流动阻力和水头损失的两种形式	27
§ 4-2 流动两种型态——层流和紊流	28
§ 4-3 沿程水头损失	30
§ 4-4 局部水头损失	33
第五章 孔口、管嘴出流及气体射流简介	38
§ 5-1 孔口出流	38
§ 5-2 管嘴出流	39
§ 5-3 气体射流简介	40

第二篇 室内给排水

第六章 室外给水排水工程概述	43
§ 6-1 室外给水工程	43
§ 6-2 室外排水工程	47
第七章 管材、器材及卫生器具	51
§ 7-1 管材和水表	51
§ 7-2 卫生器具及冲洗设备	56
第八章 室内给水	62
§ 8-1 给水系统和给水方式	62
§ 8-2 水泵和水箱	68
§ 8-3 给水管网的布置和敷设	73
§ 8-4 室内用水与设计秒流量	76

§ 8-5 管网水力计算	80
第九章 室内排水	84
§ 9-1 室内排水系统的分类和污水排放条件	84
§ 9-2 室内排水系统的组成	85
§ 9-3 室内排水管网的布置和敷设	87
§ 9-4 庭院排水系统	88
§ 9-5 室内排水管道的计算	90
§ 9-6 屋面排水	94
[室内给排水设计举例]	98

第三篇 供热、通风及空气调节

第十章 采暖	103
§ 10-1 采暖系统及其分类	103
§ 10-2 热负荷	111
§ 10-3 集中采暖系统的散热器	114
§ 10-4 采暖管网的布置及敷设	117
§ 10-5 高层建筑采暖特点	120
§ 10-6 热源	121
第十一章 热水及煤气供应	129
§ 11-1 室内热水供应系统及图式	129
§ 11-2 室内热水管网布置与敷设特点	134
§ 11-3 室内热水管道计算简述	135
§ 11-4 室内饮水供应	135
§ 11-5 煤气供应	138
第十二章 通风	146
§ 12-1 建筑通风概述	146
§ 12-2 全面通风量的确定	150
§ 12-3 自然通风的计算	154
§ 12-4 加强自然通风效果的主要措施	164
§ 12-5 通风系统的主要设备和构件	167
§ 12-6 局部排风	174
第十三章 空气调节	176
§ 13-1 空气调节概述	176
§ 13-2 空气的物理性质	177
§ 13-3 空气处理和消声减振	180
§ 13-4 空调房间	189
§ 13-5 空调冷源及制冷机房	193
§ 13-6 常用的几种空调系统	197

第四篇 建筑电气设备

第十四章 供电系统及其对建筑的要求	208
§ 14-1 电能的生产、输送和分配	208

§ 14-2	变配电所的类型及其对建筑的要求	209
§ 14-3	供电线路对建筑的要求	212
第十五章	电气照明设计	214
§ 15-1	电气照明设计概述	214
§ 15-2	灯具的选择和布置	220
§ 15-3	照明计算	227
第十六章	照明供电线路	231
§ 16-1	照明供电系统	231
§ 16-2	照明负荷计算	232
§ 16-3	导线选择	233
§ 16-4	熔断器和开关的选择	238
§ 16-5	配电箱、灯具开关和插座的布置	239
§ 16-6	照明线路的布置及敷设	240
	[电气照明设计举例]	243
第十七章	建筑防雷	250
§ 17-1	雷电的形成及其危害	250
§ 17-2	建筑防雷等级的分类	251
§ 17-3	建筑物的防雷装置	251
附录		257
I-1	国际单位制与工程单位制对照表	257
II-1	生活饮用水水质标准	258
II-2	居住区生活用水量标准	259
II-3	钢管和铸铁管水力计算表	260
II-4	单斗系统雨水悬吊管、立管及引出管允许集水面积	261
II-5	雨水埋地水平干管允许集水面积	262
III-1	室外气象参数	263
III-2	民用及工业辅助建筑的冬季室温要求	264
III-3	生产车间的冬季室温要求	264
III-4	允许温差 Δt_y 值	264
III-5	北京地区建筑物采暖热指标	264
III-6	散热器的技术数据	265
III-7	散热器安装方式的修正系数 β_1	265
III-8	每个人的散热量 Q 和散湿量 w	266
III-9	电气照明散热量	266
III-10	太阳辐射计算资料	266
III-11	车间空气中有害物质的最高容许浓度	267
III-12	居住及公共建筑室内换气次数	268
III-13	进风有效系数 β 值	268
III-14	不同车间的有效热量系数 m 值	268
III-15	进排风窗的局部阻力系数 ξ	269
III-16	空气的物理性质表	269
III-17	空气温、湿度换算表	270
IV-1	乳白玻璃罩灯单位面积安装功率	271
IV-2	不带反射罩荧光灯单位面积安装功率	271
IV-3	带反射罩荧光灯单位面积安装功率	272
IV-4	不同型式灯具的利用系数	272

绪 论

由于工农业生产的发展和人民生活水平的提高，近代房屋建筑为了满足生产上的需要以及提供卫生而舒适的生活和工作环境，要求在建筑物内装设完善的给水、排水、热水、采暖、通风、空气调节、煤气、供电等各种设备，这些构成了建筑设备工程丰富而广泛的内容。这些设备工程装置在建筑物内，必然要求与建筑、结构及生产工艺设备等相协调，综合进行设计和施工，才能使建筑物达到适用、经济、卫生及舒适的要求，避免环境污染，高效地发挥建筑物为生产和生活服务的作用。因此，建筑设备工程是房屋建筑不可缺少的组成部分。

如何合理地综合进行建筑设备工程的设计，保证建筑物的使用质量，不仅与建筑设计、结构设计、施工方法等有着密切的关系，而且在生产上、经济上、人民生活上都具有重要的意义。因此，对于《建筑学》专业以及建筑类其它有关专业来说，《建筑设备工程》课程也是不容忽视的。

我国在解放前，《建筑设备工程》这门学科，也和其它技术科学一样，由于剥削阶级的反动统治，不可能得到应有的发展，仅有少量的设备工程也是集中在少数高楼大厦中供剥削阶级享用，广大群众常年累月生活在污浊的环境里。全国解放以后，在党和政府领导下，在发展生产的同时，不断加强劳动人民的劳动保护措施，大力改造过去污浊的生活环境，十分重视环境保护事业，关心提高人民的健康和生活水平，这就为建筑设备工程的迅速发展提供了十分有利的条件。

目前，我国《建筑设备工程》这门学科，从科学研究到生产制造，从工程设计到安装施工，都有了专门的队伍。随着我国大型工矿企业的不断建立，城市中高层建筑的陆续兴建，人民生活居住条件的逐步改善，基本建设工业化施工的迅速发展，建筑设备工程技术水平正在不断提高。同时由于近代科学技术的发展，各学科是互相渗透和互相影响的，建筑设备工程也不例外，它受到许多学科发展的影响而日新月异。例如太阳能利用技术的成就，促进了建筑物采暖、热水供应等新技术的发展；塑料工业的迅速发展，改变着建筑设备的面貌；电子技术和自动控制在建筑设备系统中的多方面使用，收到了更加节约和安全的效果；建筑工业化的施工，迅速改变着建筑安装现场手工操作的方式。

当前，建筑设备工程技术的发展，有几个方面值得认真研究和采用：

一、新材料、新品种的快速发展，在建筑设备中引起了许多技术改革。例如各种聚合材料由于具有重量轻、耐腐蚀、电气性能好等优点，在建筑设备工程中举凡不受高温高压的各种管材、配件、给水器材、卫生器具、配电器材等，国外都大量采用塑料制品代替各种金属材料；又如钢和铝的新品种和新规格轧材的应用，使许多设备的使用期限大大延长。在这方面，不仅保证了设备的使用质量，而且大大节约了金属材料和施工费用。

二、新型设备的不断出现，使建筑设备工程向更加节约和高效发展。例如变速电动机和低扬程小流量性能的水泵新产品，使供水和热水采暖系统运行得到合理的改善；利用真

空排除污水的特制便器，节约了大量冲洗用水；在高层建筑中广泛采用水锤消除器，有效地减少了管道的噪声。这方面总的趋向是，各种设备朝着体积小、重量轻、噪声低、效率高、整体式发展。

三、新能源的利用和电子技术的应用，使建筑设备工程技术不断更新。各种系统由于集中控制、自动化而提高了效率，节约了费用，创造了更好的卫生环境，为建筑设备工程技术的发展开辟了广阔的领域。例如国外开始采用的被动式太阳能采暖及降温装置，为采暖空调技术提供了新型冷热源；使用程序控制装置调节建筑物通风空调系统，使建筑物风量随气象参数自动调节，保证了室内卫生舒适条件；使用自动温度调节器，可以保证室内采暖及空调的温度并节约了热能；利用电子控制设备或敏感装置，可以控制卫生设备的冲洗次数，达到节约水量的效果；又如电气照明光源如氙灯、卤化物灯的发展，使灯的亮度、光色及使用寿命不断改善和提高。

四、建筑工业化施工的发展，采用了预制设备系统，大大加快了施工速度，收到了很好的经济效果。国外较先进的预制设备系统是预制浴室、厕所、厨房综合房间，在建筑现场一次装配完工。

《建筑设备工程》是一门专业技术课，学习本课程的目的，在于掌握建筑设备工程技术的基本知识，具有综合考虑和合理处理各种建筑设备与建筑主体之间的关系的能力，从而作出适用、经济的建筑设计，并掌握一般建筑的水电设计原则和方法。此外，在领会本学科基本原理的基础上，应当加强设计和施工的实践，才能完整地掌握建筑设备工程技术。

为了尽快实现四个现代化，把我国迅速建设成为社会主义强国，必需认真总结我国的经验，掌握世界上的先进技术，把建筑设备工程技术提高到一个新水平。

第一篇 流体力学基本知识

第一章 流体的基本概念

§ 1-1 流体力学研究的对象和任务

物质通常所见到的有固体、液体和气体。而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。

流体力学是建筑设备课程中有关水、气工程的理论计算基础。学习室内给排水、供热、通风及空气调节等工程技术，都要掌握液体与气体运动的力学规律。

因此，首先必须掌握流体力学的基本知识，才能学好建筑设备这门技术课程。

§ 1-2 流体的主要物理性质

在日常生活中遇到许多流体的运动，如水在江河中流动、煤气在管道中输送、空气从喷口中喷出等，都表现流体具有易流动性。这是因为流体内一部分可以对另一部分作自由的相对运动，这说明流体内分子间的聚合力远比固体为小，因此，流体抗拉抗切的能力是极小的。但是流体能够承受较大的压力。

下面分别讨论流体的几种主要物理性质。

一、密度和容重

流体和固体一样，都具有惯性（物体维持原有运动状态的性质）。惯性的大小是用质量来度量的。流体的质量常以密度来度量。对于均质流体，单位体积的质量，称为流体的密度，其表达式：

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

式中 ρ ——流体的密度（公斤力·秒²/米⁴）、[公斤/米³]^①；

① [公斤/米³]是密度 ρ 的国际单位制的表示法。关于国际单位制与工程单位制，我国过去所编著的流体力学教科书中，均采用工程单位制。它把长度（米）、时间（秒）和力（公斤力或千克力）规定为基本物理量，因而导出单位，质量为（公斤力·秒²/米），密度为（公斤力·秒²/米⁴）等，运用起来较为不便。而在厘米克秒单位制中，规定质量的单位为克或千克。经常和工程单位制中的重量单位（公斤力）相混淆。而国际单位制则可克服以上缺点，目前已有不少国家采用此单位制。我国在一九七七年五月二十七日国务院颁发的《中华人民共和国计量管理条例》第三条规定：“我国的基本计量制是米制（即公制），逐步采用国际单位制”。为此本书的“流体力学基本知识”一篇的单位采用国际单位制。而其它各篇的单位仍用工程单位制。因为单位制的改换需要一个过渡的阶段，所以把过去工程单位制也作一对照说明，以便掌握两种单位制之间的换算关系。

国际单位制是把长度（米）、时间（秒）、质量（千克或公斤）等三个物理量规定为基本物理量。而力不是基本物理量，可是力则用公式 $F = Ma$ 导出。由物理学知道，如质量 M 为 1 千克（或 1 公斤）的物体，在力的

M ——流体的质量(公斤力·秒²/米)、[公斤];

V ——流体的体积(米³)、[米³].

流体在重力作用下,具有重量。单位体积流体所具有的重量,称为流体的容重,其表达式:

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

式中 γ ——流体的容重(公斤力/米³)、[牛/米³];

G ——流体的重量(公斤力)、[牛];

V ——流体的体积(米³)、[米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, $g=9.807$ 米/秒², 工程上可采用 $g=9.8$ 米/秒²。

流体的密度和容重受外界压力和温度的影响,因此,当指出某种流体的密度或容重值时,必须指明其所处外界压力和温度条件,譬如:

在标准大气压和温度为4°C时水的密度和容重分别是:

$$\rho = 1000[\text{公斤/米}^3] = \frac{1000}{9.807}(\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4) = 102(\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4),$$

$$\gamma = 9.807 \left[\frac{\text{千牛}}{\text{米}^3} \right] = \frac{9.807 \times 1000}{9.807} \left(\frac{\text{公斤力}}{\text{米}^3} \right) = 1000 \left(\frac{\text{公斤力}}{\text{米}^3} \right).$$

在标准大气压和0°C时,水银的密度和容重分别是:

$$\rho_H = 13600[\text{公斤/米}^3] = \frac{13600}{9.807}(\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4)$$

$$= 1387.2(\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4),$$

$$\gamma_H = 133.38[\text{千牛/米}^3] = \frac{133.38 \times 1000}{9.807}(\text{公斤力/米}^3)$$

$$= 13600(\text{公斤力/米}^3),$$

我们不难算出,水银的密度和容重是水的13.6倍。

干空气在温度为20°C、压强为760毫米汞柱时的密度和容重分别是:

$$\rho_a = 1.2[\text{公斤/米}^3] = \frac{1.2}{9.807}(\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4)$$

$$= 0.122(\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4),$$

作用下,得到的加速度 a 为1米/秒²,那么这个力的大小叫1牛顿,用符号N表示,即

$$1\text{牛} = 1\text{千克} \times 1\text{米/秒}^2 = 1\text{千克米/秒}^2 = 1\text{公斤米/秒}^2.$$

而工程单位制中,力的单位是千克力(或称公斤力),它是这样规定的:质量为1千克的物体,在重力加速度 g 为9.80665米/秒²的地点所受的重力的大小为1千克力。如果用国际单位制来计算质量为1千克(1公斤)的物体所受的重力的大小,应为:

$$G = Ma = 1\text{千克} \times 9.80665\text{米/秒}^2 = 9.80665\text{牛}.$$

因此,1千克力(或1公斤力) = 9.80665牛 \approx 9.807牛。一般计算时,可取1千克力(1公斤力) = 9.8牛。

这就是工程单位制中的1公斤力和国际单位制中的1牛顿力的换算关系式。

在流体力学中,其它导出物理量的两种单位制的换算关系和结果,列出对照表,见附录I-1,以供换算使用。

本篇中的国际单位制的单位均用[]表示。而工程单位制中的单位用()表示。

$$\gamma_a = 11.80 [\text{牛/米}^3] = \frac{11.80}{9.807} (\text{公斤力/米}^3) \\ = 1.2 (\text{公斤力/米}^3)。$$

二、流体的粘滞性

流体的粘滞性可以用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，向着管道壁的方向递减，直至管壁处的流速为零。

如图 1-1 所示，取流速方向的座标为 u ，垂流速方向的座标为 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加值。令流层的厚度为 dn ，沿垂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，相邻两流层有相对运动，在流体两流层的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。流体具有粘滞力的性质，称为流体的粘滞性。

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。流体内摩擦力与两流层的流速梯度及流层间接触面积的乘积成正比，并与流体的性质有关。即

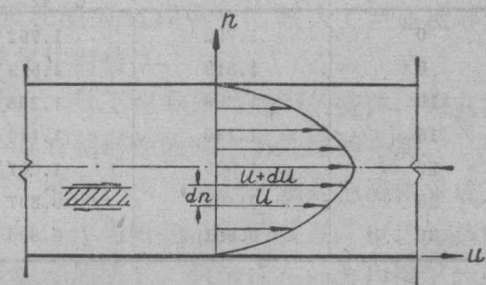


图 1-1 管道中断面流速分布

$$F = \mu S \frac{du}{dn} \quad (1-4)$$

式中 F ——内摩擦力（公斤力）、[牛顿]；

S ——摩擦流层的接触面面积（米²）、[米²]；

μ ——与流体种类有关的系数，称为动力粘滞性系数，其单位为（公斤力·秒/米²）、[公斤/米·秒]，或称帕·秒，用符号[Pa·s]表示；

$\frac{du}{dn}$ ——流速梯度。表示速度沿垂直于速度方向的变化率（1/秒）、[1/秒]。

如用切应力表示，上式可写为：

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (1-5)$$

式中 τ ——流层单位面积上的内摩擦力，又称切应力，因次为力/面积，常用单位为（公斤力/米²）、[牛/米²]，简称帕[Pa]。

流体的粘滞性大小，可用粘滞性系数表达。除上述的动力粘滞性系数 μ 外，常用的还有一种叫做运动粘滞性系数，以 ν 表示，单位是（厘米²/秒）、[厘米²/秒]，简称斯。 μ 与 ν 的关系是： $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ， ρ 为流体的密度。它们都与流体的种类有关，不同的流体有不同的 μ 、 ν 值，实验得出规律指出：压力对同一流体的 μ 值影响小，而温度对 μ 值影响大。

从表 1-1 及表 1-2 中可以看出：水的粘滞性随温度升高而减小，空气的粘滞性随温度升高而增大，这是因为粘滞性是分子间的吸引力和分子不规则的热运动产生动量交换的结

果。温度升高，分子间的吸引力降低，动量增大。反之，温度降低，分子间的吸引力增大，动量减小。对于液体，分子间的吸引力是决定性的因素，所以，液体的粘滞性随温度升高而减小；对于气体，动量交换是决定性的因素，所以气体的粘滞性随温度升高而增大。

流体的粘滞性对流体运动有很大的影响，因为内摩擦阻力作负功，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。对此，将在后面有部分讨论。

水的粘性系数

表 1-1

t (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ [帕·秒]	$\nu \times 10^{-6}$ [$\frac{\text{米}^2}{\text{秒}}$]	t (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ [帕·秒]	$\nu \times 10^{-6}$ [$\frac{\text{米}^2}{\text{秒}}$]
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

一个大气压下空气的粘性系数

表 1-2

t (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ [帕·秒]	$\nu \times 10^{-6}$ [$\frac{\text{米}^2}{\text{秒}}$]	t (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ [帕·秒]	$\nu \times 10^{-6}$ [$\frac{\text{米}^2}{\text{秒}}$]
-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	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

三、流体的压缩性和热胀性

流体压力增大时体积缩小的性质，称为流体的压缩性。流体温度升高时，其体积膨胀的性质，称为流体的热胀性。

液体的压缩性和热胀性都很小。例如，水从一个大气压增加到一百个大气压时，每增加一个大气压，水的密度增加1/20000。水在温度较低（10~20°C）时，温度每增加1°C，水的密度减小1.5/10000，当温度较高（90~100°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，在计算结果上所带来的误差是很小的，例如，在建筑设备课程中，除热水循环系统外，一般计算不考虑液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，容

重、压强和温度三者之间的关系是以理想气体状态方程表达的：

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1-6)$$

式中 p ——气体的绝对压强(公斤力/米²)、[牛/米²];

ρ ——气体的密度(公斤力/米³)、[公斤/米³];

T ——气体的绝对温度(开)、[开];

R ——气体的常数(公斤力·米/公斤·开)、[焦耳/公斤·开]。

对于空气 $R=287$; 对于其它气体 $R=\frac{8314}{N}$, 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,容重变化是很小的,在一些工程技术上容重可视为常数,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,其压强和温度在流动过程中变化较大(当速度等于50米/秒时,密度变化为1%,也可以当作不可压缩气体对待)。

综合上述流体的各项物理性质,从建筑设备的水、气工程中所接触到的流体,因其流速大多较低,一般可以认为它是一种易于流动的、具有粘滞性的和不易压缩的介质。

在研究流体运动规律中,还需了解“连续介质”概念。所谓连续介质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。这样从客观上摆脱了分子的复杂运动的研究,只考虑在外力作用下的机械运动,同时能运用数学的连续函数的工具。

习 题

1-1 已知在一个大气压强下,45°C的水的密度 $\rho=100.98$ (公斤力·秒²/米⁴)求其容重。并求相同压强和温度条件下一升水的质量和重量各是多少?并与一个大气压强下温度为4°C时的水作比较。分别用国际单位制和工程单位制表示。

1-2 空气在直径为2.5厘米的管中流动,距管壁1毫米处的空气速度为3厘米/秒,求作用在管壁的粘滞切应力为多少?已知空气容重 $\gamma=11.80$ [牛/米³],运动粘性系数 $\nu=15.7 \times 10^{-6}$ [米²/秒]。

第二章 流体静力学

流体静止是相对(一般是相对地球而言)于普遍运动中的一种特殊运动状态。本章讨论流体静止(平衡)时的力学规律。由于静止流体中的相对速度为零,粘滞性不显示,不存在切向应力,同时认为流体也不能承受拉力。因此,流体静力学的中心问题是研究流体静压强的分布规律。

§ 2-1 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I的水体作为隔离体来研究,如图2-1所示,

由于部分 I 流体是整个水箱中静止水的一部分。显然这部分流体应保持静止状态。当把它隔离出来研究时，必须把部分 II 流体对部分 I 流体的作用力加上，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：

$$p_{cp} = \frac{\Delta P}{\Delta\omega} \text{ (公斤力/米}^2\text{)、[牛/米}^2\text{]} \quad (2-1)$$

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：

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega} \text{ (公斤力/米}^2\text{)、[牛/米}^2\text{]} \quad (2-2)$$

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，单位常用帕[牛/米²]，以 Pa 表示。1 帕 = 1 牛/米²。又把 10⁵ 帕称为 1 巴 (bar)。而在工程单位制中，压强的单位为(公斤力/厘米²)。

流体静压强有两个特性：

(1) 流体静压强的方向必定沿着作用面的内法线方向。由于静止流体不能承受拉应力和不存在切应力。因此，只能存在正交于表面的压应力——压强。

(2) 任意点的流体静压强只有一个值，它不会由于作用表面的方位改变而改变。

可以用数学分析的方法证明这个特性：在静止的流体中隔离出一个极微小的三棱体 A ，如图 2-2 所示，各边的长度为 dx 、 dy 、 dz 和 dn ，它在重力和压力的共同作用下保持平衡状态，若各个表面上中心点的压强为 p_x 、 p_y 、 p_z 和 p_n ，对于 x 座标方向而言，其外力平衡方程可写作：

$$p_x(dydz) - p_n(dydn)\sin\alpha = 0$$

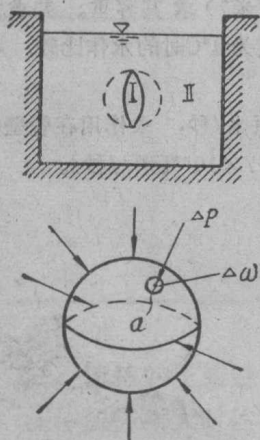


图 2-1 流体的静压强

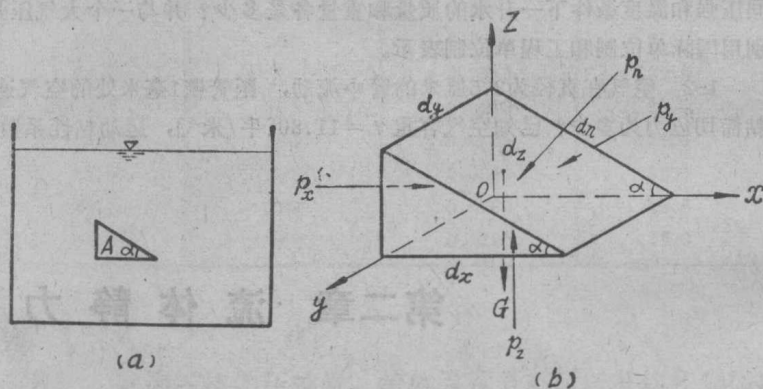


图 2-2 流体静压强特性证明用图

因为 $dn\sin\alpha = dz$ 所以 $p_x = p_n$ 。

对于 Z 座标方向而言，其外力平衡方程为：

$$p_z(dxdy) - \gamma\left(\frac{1}{2}dxdydz\right) - p_n(dndy)\cos\alpha = 0$$

因为 $dn\cos\alpha = dx$

所以

$$p_z(dxdy) - \gamma\left(\frac{1}{2}dxdydz\right) - p_n dxdy = 0$$

以 $dx dy$ 除上式得:

$$p_z - \frac{1}{2} \gamma dz - p_n = 0$$

由于 dz 趋近于零, 所以:

$$p_z = p_n$$

将此三棱体绕 Z 轴旋转 90° , 同理也可证明 $p_y = p_n$ 。因此, 对于此微小三棱体, 各方位表面上的压强彼此等值, 即

$$p_x = p_y = p_z = p_n$$

§ 2-2 流体静压强的分布规律

一、自由表面和表面压强

所谓自由表面, 是指液体与气体的交界面。在重力作用下静止液体的自由表面是水平面, 如湖面、贮水箱水面等。

自由表面上的气体压强称为表面压强, 一般以 p_0 表示。如果自由表面上是大气, 则用大气压强 p_a 表示。大气压强值与海拔高度有关, 海平面上大气压强为 $p_a = 1.033$ (公斤力/厘米²) = 101325 帕[Pa] = 101325 [牛/米²], 称为一个标准大气压强。工程上为了计算方便, 一般取 $p_a = 1$ (公斤力/厘米²) = 98000 帕 = 98 [千牛/米²]。

二、流体静压强的分布规律

在静止液体中任取一点 A , 已知 A 点在自由表面下的水深为 h , 自由表面压强为 p_0 , 如图2-3所示。设 A 点的静水压强为 p 。我们在静止液体中取一铅直的小圆柱体, 使 A 点位于它底面的中心处, 上表面与自由表面重合。小圆柱体的高度为 h , 令其横截面积为 $\Delta\omega$ 。

以小圆柱水体为隔离体, 我们来建立作用于其上各外力的关系。因为小圆柱体处于静止状态, 故作用于其上的外力在各个方向上都应是平衡的。这些外力有:

(1) 作用于小圆柱体上表面的表面压力 $P_0 = p_0 \Delta\omega$, 方向铅直向下;

(2) 作用于小圆柱体底面的静水压力 $P = p \Delta\omega$ 方向铅直向上;

(3) 作用于小圆柱体的重力 $G = \gamma h \Delta\omega$, 方向铅直向下;

(4) 作用于小圆柱体侧面上来自四周液体的静水压力, 其方向都是水平的, 而且是对称的, 成对的互相平衡。

我们可写出沿小圆柱体铅直轴线方向上的力的平衡方程式, 令方向向上为正, 向下为负, 可得:

$$p \Delta\omega - \gamma h \Delta\omega - p_0 \Delta\omega = 0$$

化简后得:

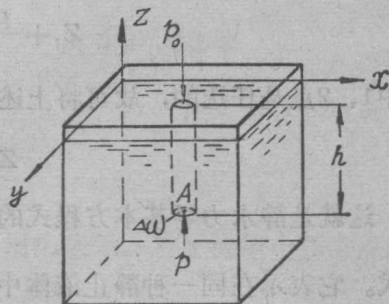


图 2-3 静止液体中任一点 A 的小圆柱体

$$p = p_0 + \gamma h \quad (2-3)$$

式中 p ——静止液体中任意点的压强, (公斤力/米²)、[千牛/米²]或[千帕];
 p_0 ——表面压强, (公斤力/米²)、[千牛/米²]或[千帕];
 γ ——液体的容重, (公斤力/米³)、[千牛/米³];
 h ——所研究点在自由表面下的深度, (米)、[米]。

式(2-3)是静水压强基本方程式, 又称为静水力学基本方程式。这个方程式反映出静水压强与水深成正比关系的分布规律。式中 γ 和 p_0 都是常量。方程式表明, 表面压强 p_0 是等值地传递到静止液体中每一点上的。它还表明, 静水压强与水深呈直线性的变化关系。

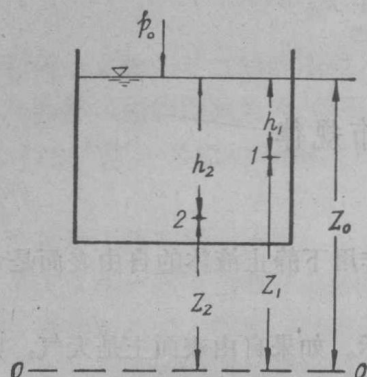


图 2-4 静水力学基本方程式的另一种形式

静水力学基本方程式(2-3), 还可以表示为另一种形式, 如图2-4所示。设水箱水面的压强为 p_0 , 水面到任选基准面0-0的高度为 Z_0 , 水中任选两点1、2的高度为 Z_1 及 Z_2 , 压强为 p_1 及 p_2 , 将式中的深度改为高度差后, 得

$$p_1 = p_0 + \gamma(Z_0 - Z_1)$$

$$p_2 = p_0 + \gamma(Z_0 - Z_2)$$

上式除以容重 γ , 并整理后得

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$$

$$Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$$

两式联立可得

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$$

水中1、2点是任选的, 故可将上述关系式推广到整个液体, 得出具有普遍意义的规律, 即

$$Z + \frac{p}{\gamma} = C \quad (\text{常数}) \quad (2-4)$$

这就是静水力学基本方程式的另一种形式, 也是我们常用的静水压强分布规律的一种形式。它表示在同一种静止液体中, 不论那一点的 $(Z + \frac{p}{\gamma})$ 总是一个常数。式中 Z 为该点的位置相对于基准面的高程, 称为位置水头。 $\frac{p}{\gamma}$ 是该点在压强作用下沿测压管所能上升的高度, 称压强水头。所谓测压管是一端和大气相通, 另一端和液体中某点相接的管子, 如图2-5所示。两水头相加 $(Z + \frac{p}{\gamma})$ 称为测压管水头。而 $Z_1 + p/\gamma = C$ 表示在同一容器的静止液体中, 所有各点的测压管水头均相等。

对于气体来讲, 式中的气体容重 γ 很小, 因此在高差 h 不大的情况下, 可以忽略 γh 项, 认为 $p = p_0$ 。例如研究气体作用在锅炉壁上的静压强时, 可以将各点的静压强看成是一项常数。