

全国建设行业中等职业教育推荐教材

流体力学与热工学

(供热通风与空调专业)

主编 余 宁

中国建筑工业出版社

全国建设行业中等职业教育推荐教材

流体力学与热工学

(供热通风与空调专业)

主 编 余 宁

主 审 刘晓勤

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

流体力学与热工学/余宁主编. —北京: 中国建筑工程出版社, 2005

全国建设行业中等职业教育推荐教材. 供热通风与空调专业

ISBN 7-112-07591-2

I. 流... II. 余... III. ①流体力学—专业学校—教材②热工学—专业学校—教材

IV. ①O35②TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 118876 号

全国建设行业中等职业教育推荐教材

流体力学与热工学

(供热通风与空调专业)

主 编 余 宁

主 审 刘晓勤

*

中国建筑工程出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京华艺制版公司制版

北京建筑工程印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12½ 插页: 1 字数: 300 千字

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月第一次印刷

印数: 1—2,500 册 定价: 18.00 元

ISBN 7-112-07591-2

(13545)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书共分三个单元。单元1为流体力学，主要讲述：流体的主要物理性质，流体静力学基础与流体动力学基础，流体沿程损失和局部损失的计算，减少流动阻力的措施及简单管路的水力计算。单元2为工程热力学，主要介绍：工程热力学的基本概念，理想气体状态方程，理想气体基本热力过程，热力学第一定律、热力学第二定律，水蒸气、湿空气等。单元3为传热学，主要介绍：传热的基本概念，稳定导热、对流换热、辐射换热和稳定传热的基本定律与基本计算分析，换热器的换热原理、基本形式。

本书具有中等职业教育特色，内容突出实用性、针对性，除可作为建筑类中职中专学校供热通风与空调工程专业和建筑设备专业的教材使用外，也可作为从事通风空调、供热采暖及锅炉设备工作的中等技术管理施工人员学习的参考书。

* * *

责任编辑：王美玲

责任设计：郑秋菊

责任校对：刘 梅 李志瑛

前 言

《流体力学与热工学》是建筑类中职中专学校供热通风与空调工程技术专业和建筑设备专业的主要技术基础课之一，是从事通风空调、供热采暖及锅炉设备管理和施工安装技术人员必须掌握的基础知识。其任务是通过本教材的学习，掌握流体的主要物理性质，流体静力学与动力学的基本理论知识，了解流体沿程损失和局部损失的计算和减少流动阻力的措施，并能进行简单管路的水力计算；掌握热力学的基本定律、工质的状态参数及其变化规律等基础理论知识；掌握导热、对流、辐射换热的基本定律以及稳定传热的基本计算；了解换热器的换热原理、类型与主要结构形式。为学习专业知识奠定必要的热力分析与热工计算的理论基础和基本技能。

本教材是根据2004年7月建设部中等学校供热通风与空调专业指导委员会第四届二次会议讨论制定的专业教育标准、专业培养方案和《流体力学与热工学》课程指导性教学大纲进制来编写的。

《流体力学与热工学》计划教学70学时，共分三个单元。单元1为流体力学，主要讲述：流体的主要物理性质，流体静力学基础与流体动力学基础，流体沿程损失和局部损失的计算，减少流动阻力的措施及简单管路的水力计算。单元2为工程热力学，主要介绍：工程热力学的基本概念，理想气体状态方程，理想气体基本热力过程，热力学第一定律、热力学第二定律，水蒸气、湿空气等。单元3为传热学，主要介绍：传热的基本概念，稳定导热、对流换热、辐射换热和稳定传热的基本定律与基本计算分析，换热器的换热原理和基本结构形式。

本教材在符合专业教育标准，专业培养方案和教学大纲中规定要求的知识点、能力点条件下，论述上尽量删繁就简，突出专业需要，实用性与针对性强，力求较快地切入主题，考虑适当的深度，做到层次分明，重点突出，使知识易于学习、掌握；在内容和内容安排上与同类教材相比有较大的变动和删减；文字上力求简练、准确、通畅，便于学习；所用名词、符号和计量单位符合国家技术标准规定。章节的内容安排上尽量考虑知识主次先后的照应关系；论述上考虑适当的深度，做到层次分明，重点突出，使知识易于学习掌握。为了加深理解，培养学生分析问题、解决问题以及归纳问题的能力，本书各单元都有相应的实用例题、习题和小结。

本教材由江苏广播电视大学建筑工程学院余宁副教授担任主编，新疆建设职业技术学院刘晓勤副教授担任主审。江苏广播电视大学余宁编写传热学，北京城市建设学校谢时虹编写工程热力学，江苏省常州建设高等职业技术学院孔祥敏编写流体力学。

由于编者水平所限，教材中难免有许多不妥或错误之处，恳请读者提出宝贵意见与指正。

全国建设行业中等职业教育推荐教材

(供热通风与空调专业)

书名	作者
识图基础与放样	汤敏
机电基础	王林根
流体力学与热工学	余宁
建筑构造	李莲 杨正民
建筑测量	李莲 王黎明
管道设备安装与测试	陆家才

全国中等职业教育技能型紧缺人才培养培训推荐教材

(建筑设备专业)

书名	作者
基本技能操作训练	张建成
工程测量实训	李莲
建筑给水排水系统安装	邢国清
采暖与供热管网系统安装	杜渐
通风与空调系统安装	余宁
冷热源系统安装	汤万龙
建筑供配电系统安装	杨其富
建筑电气照明系统安装	孙志杰
建筑弱电系统安装	梁嘉强
建筑电气控制系统安装	杨其富
安装工程造价与施工组织	张清

欲了解更多信息, 请登陆中国建筑工业出版社网站: www.cabp.com.cn 查询。

在使用上述教材的过程中, 若有何意见或建议, 可发 Email 至: jiangongshe@163.com。

目 录

单元 1 流体力学	1
课题 1 流体的基本概念	1
课题 2 流体静力学基础	5
课题 3 流体动力学基础	17
课题 4 流动阻力和能量损失	30
课题 5 管路的水力计算	39
小结	49
思考题与习题	52
单元 2 工程热力学	56
课题 1 基本概念和气态方程	56
课题 2 热力学第一定律和第二定律	65
课题 3 水蒸气	74
课题 4 湿空气	83
课题 5 喷管流动和节流流动	97
小结	101
思考题与习题	103
单元 3 传热学	105
课题 1 概述	105
课题 2 稳定导热	107
课题 3 对流换热	118
课题 4 辐射换热	135
课题 5 传热过程与传热的增强与削弱	144
课题 6 换热器	155
小结	161
思考题与习题	162
附录	166
附录 2-1 饱和水与饱和蒸汽性质表(按温度排列)	166
附录 2-2 饱和水与饱和蒸汽性质表(按压力排列)	167
附录 2-3 未饱和水与过热蒸汽性质表	169
附录 2-4 0.1MPa 时的饱和空气状态参数表	181
附录 3-1 $B=0.1013\text{MPa}$ 干空气的热物理性质	183

附录 3-2	饱和水的热物理性质	184
附录 3-3	各种不同材料的总正常辐射黑度	185
附录 3-4	热辐射角系数图	186
附录 3-5	容积式换热器技术参数	186
附录 3-6	螺旋板换热器技术参数	188
附录 3-7	板式换热器技术参数	189
附录 3-8	浮动盘管换热器技术参数	190
参考文献		192

单元1 流体力学

知识点：流体的主要物理性质，流体静力学基础与流体动力学基础，流体沿程损失和局部损失的计算，减少流动阻力的措施及简单管路的水力计算。

教学目标：掌握流体的基本概念和流体的主要物理性质；理解作用在流体上的力；掌握流体静压强及特性；掌握流体静压强基本方程式及简单应用；理解流体静压强的分布规律；理解流体动力学基本概念；掌握恒定流连续性方程式、能量方程式及简单应用；理解沿程损失、局部损失以及层流、紊流、雷诺数等基本概念；理解管中层流、紊流运动的沿程损失的计算，理解局部损失的计算；掌握减少阻力的措施；初步掌握简单管路的水力计算，了解管网水力计算的基础知识。

课题1 流体的基本概念

1.1 流体力学研究的对象、内容及其应用

液体和气体，统称为流体。流体力学是力学的一个分支，它研究流体静止和运动的力学规律，及其在工程技术中的应用。

本单元主要讲述流体的主要物理性质，流体静力学基础与流体动力学基础，流体沿程损失和局部损失的计算，减少流动阻力的措施及简单管路的水力计算。

流体最基本的特性就是流动性，例如我们日常生活中所见到的水、空气、水蒸气、油等，它们都有一个共同的特征就是易于流动。因此，在供热通风和空调工程中，就是利用流体的这一特性，使流体在外力的作用下，通过管道连续不断地输送到指定地点。如热的供应，空气的调节，除尘排湿降温等，都是以流体作为工作介质，通过流体的各种物理作用，对流体的流动有效地加以组织来实现的。

1.2 流体的主要物理性质

流体区别于固体的基本特征就在于它的流动性，这是液体与气体的共同特征。

此外，液体与气体还具有一些不同特征。液体虽然没有固定的形状，但有固定的体积，能形成自由表面，难以压缩；气体既没有固定的形状，也没有固定的体积，总是完全充满它所能达到的全部空间，不能形成自由表面，易于压缩。

流体在不同的外力作用下，为什么具有一定的平衡和运动规律呢？主要是流体本身具有的特性所决定的。因此研究流体的平衡和运动规律时，必须对流体的物理性质有所了解。

1.2.1 流体的密度和重度

流体和固体一样都具有惯性，惯性是物体维持原有运动状态的性质。要改变物体的运

动状态，必须克服惯性作用。惯性的大小是用质量来衡量的，质量愈大，惯性就愈大，运动状态就越难改变。对于均质流体，密度等于单位体积的质量，即

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

式中 ρ ——流体的密度， kg/m^3 ；

M ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

流体也和固体一样具有重量（即重力），这是物质受地球引力而产生的。对于均质流体，重度等于单位体积的重量，即

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

式中 γ ——流体的重度， N/m^3 ；

G ——流体的重量， N 。

因为

$$G = gM$$

将等式两边同除以体积 V ，则

$$\frac{G}{V} = \frac{gM}{V}$$

所以

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

式中 g ——重力加速度，采用 $g = 9.81 \text{m/s}^2$ 。

公式（1-3）表明：流体的重度等于流体的密度和重力加速度的乘积。

流体的密度和重度受外界温度和压力的影响，因此，当指出某种流体的密度或重度值时，必须指明其所处外界的压力和温度条件。

工程中常用的几种流体，如水、水银和空气的密度和重度如下：

（1）在标准大气压和温度为 4°C 时，水的密度和重度分别是：

$$\rho = 1000 \text{kg/m}^3$$

$$\gamma = 9810 \text{N/m}^3$$

（2）在标准大气压和温度为 0°C 时，水银的密度和重度分别是：

$$\rho_{\text{Hg}} = 13590 \text{kg/m}^3$$

$$\gamma_{\text{Hg}} = 133318 \text{N/m}^3$$

（3）在标准大气压和温度为 20°C 时，干空气的密度和重度分别是：

$$\rho_g = 1.2 \text{kg/m}^3$$

$$\gamma_g = 11.77 \text{N/m}^3$$

【例 1-1】 4°C 时 1L 水的质量是多少？

【解】 $1\text{L} = 0.001 \text{m}^3$ ， 4°C 时水的密度 $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$ ，根据公式（1-1）得

$$M = \rho V = 1000 \times 0.001 = 1 \text{kg}$$

【例 1-2】已知水的重度 $\gamma = 9810 \text{N/m}^3$ ，求水的密度。

【解】根据公式（1-3）水的密度

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{9.81 \times 1000}{9.81} = 1000 \text{kg/m}^3$$

表 1-1 列举了水在一个标准大气压下, 不同温度时的密度。表 1-2 列举了空气在一个标准大气压下, 不同温度时的密度。

水在一个标准大气压下, 不同温度时的密度值

表 1-1

温度 t (°C)	密度 ρ (kg/m ³)	温度 t (°C)	密度 ρ (kg/m ³)
0	999.87	30	995.67
2	999.97	40	992.24
4	1000.00	50	998.07
6	999.97	60	983.24
8	999.88	70	977.81
10	999.73	80	977.83
15	999.10	90	965.34
20	998.23	100	958.38

空气在一个标准大气压下, 不同温度时的密度值

表 1-2

温度 t (°C)	密度 ρ (kg/m ³)	温度 t (°C)	密度 ρ (kg/m ³)
0	1.293	40	1.128
5	1.270	50	1.093
10	1.248	60	1.060
15	1.226	70	1.029
20	1.205	80	1.000
25	1.185	90	0.973
30	1.165	100	0.947
35	1.146		

1.2.2 流体的黏滞性

(1) 黏滞性的概念

流体内部质点间或流层间因相对运动而产生内摩擦力(内力)以反抗相对运动的性质,叫做黏滞性。此内摩擦力称为黏滞力。

在日常生活中,我们可以看到这样的现象:从瓶里向外倒水或倒油,油比水流得慢,说明油的黏滞性比水大。当流体静止时,其黏滞性就显示不出来。黏滞性是流体本身固有的物理性质,是内因,流动是使流体表现出黏滞性的外因。由此可见,流体的黏滞性与流体运动有密切关系,它对流体的流动做了负功,因此为了维持流体的运动状态,就必须消耗一定的能量,来克服由于内摩擦力(黏滞力)所产生的能量损失,这是流体运动时产生能量损失的原因之一。

(2) 黏滞系数—— μ

黏滞系数 μ 的单位为 $(\text{N} \cdot \text{s})/\text{m}^2$,或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$,是反映黏滞性动力性质的物理量,也称为动力黏滞系数。

在流体力学中,经常出现 $\frac{\mu}{\rho}$ 的比值,用 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-4)$$

式中, ρ 为流体的密度; ν 的单位为 m^2/s , 具有运动学的单位, 故称为运动黏滞系数。流体流动性是运动学的概念, 所以, 衡量流体流动性常用 ν 而不用 μ 。

黏滞性的强弱与流体的种类有关, 同一种流体的黏滞性也会因温度不同有所变化。液体的黏滞性随温度升高而减弱, 气体的黏滞性随温度升高而增强。表 1-3 为不同温度时水和空气的运动黏度。

水与空气的运动黏度 (一个标准大气压下)

表 1-3

温度 t ($^{\circ}\text{C}$)	水		空气	
	μ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	ν (m^2/s)	μ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	ν (m^2/s)
0	1.792×10^{-3}	1.792×10^{-6}	0.0172×10^{-3}	13.7×10^{-6}
10	1.308×10^{-3}	1.308×10^{-6}	0.0178×10^{-3}	14.7×10^{-6}
20	1.005×10^{-3}	1.007×10^{-6}	0.0183×10^{-3}	15.7×10^{-6}
30	0.801×10^{-3}	0.804×10^{-6}	0.0187×10^{-3}	16.6×10^{-6}
40	0.656×10^{-3}	0.661×10^{-6}	0.0192×10^{-3}	17.6×10^{-6}
50	0.549×10^{-3}	0.556×10^{-6}	0.0196×10^{-3}	18.6×10^{-6}
60	0.469×10^{-3}	0.477×10^{-6}	0.0201×10^{-3}	19.6×10^{-6}
70	0.406×10^{-3}	0.415×10^{-6}	0.0204×10^{-3}	20.5×10^{-6}
80	0.357×10^{-3}	0.367×10^{-6}	0.0210×10^{-3}	21.7×10^{-6}
90	0.317×10^{-3}	0.328×10^{-6}	0.0216×10^{-3}	22.9×10^{-6}
100	0.284×10^{-3}	0.296×10^{-6}	0.0218×10^{-3}	23.6×10^{-6}

(3) 理想流体

实际存在的流体都是有黏性的。由于黏滞性的存在, 往往使得对流体的分析变得极为困难, 有时甚至无法进行。为了简化分析, 在流体力学中引入了理想流体的概念。所谓理想流体是一种假想的无黏性流体。而自然界中所有实际存在的具有黏性的流体称为实际流体。在流体力学研究中, 当流体的黏性不起作用或不起主要作用时, 可将其视为理想流体; 当流体的黏性不能忽略, 必须给予考虑时, 可先按理想流体分析, 得出主要结论, 然后再通过实验方法考虑黏性影响, 对分析结果加以补充或修正, 使问题得到解决。

1.2.3 流体的压缩性和热胀性

流体受压, 体积缩小, 密度增大的性质, 称为流体的压缩性。流体受热, 体积膨胀, 密度减小的性质, 称为流体的热胀性。

(1) 液体的压缩性和热胀性

液体压缩性的大小用压缩系数 β 来表示, 它是指当温度不变时, 每增加一个单位压强所引起的液体体积相对减少量, 即

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (1-5)$$

式中 β ——液体体积压缩系数, m^2/N ;

V ——压缩前液体的体积, m^3 ;

ΔV ——体积的变化量, m^3 ;

Δp ——压强的增加量, N/m^2 。

液体热胀性的大小用体积热膨胀系数 α 来表示, 它是指当压强不变时, 每增加一个单位温度, 液体体积的相对增加量, 即

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (1-6)$$

式中 α ——液体体积热膨胀系数, $1/\text{K}$;

V ——热胀前液体的体积, m^3 ;

ΔV ——体积的变化量, m^3 ;

ΔT ——温度的增加量, K 。

(2) 气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。温度与压强的变化对气体重度的影响很大。在温度不过低, 压强不过高时, 气体的密度、压强和温度之间的关系, 服从理想气体状态方程式。这一部分内容将在单元 2 作详细介绍。

根据流体的体积或密度随温度或压强而变化的程度, 常把流体分为不可压缩流体和可压缩流体。实验表明液体的等温压缩率非常小, 其密度可视为常数, 所以可认为液体是不可压缩流体。而气体的压缩性和热胀性较大, 密度不能看成常数, 故认为气体是可压缩流体。但是, 当气体的流速较低, 密度变化不大时, 仍可把气体当作不可压缩流体对待。

在供热、通风、空调工程中, 虽然整个系统气体密度变化较大, 但系统内各管段气体流速较低, 密度变化不大, 所以对每一管段气体仍可按不可压缩流体处理。

1.3 作用在流体上的力

作用在流体上的力, 是使流体运动状态发生变化的外因。根据力作用方式的不同, 可以分为表面力和质量力。

1.3.1 表面力

表面力是作用在流体的表面上, 并与作用的表面积大小成正比的力。假设作用在某流体表面上的表面力方向是倾斜的, 则可以将此力分解为表面法线方向的压力和表面切向方向的切力。另外流体内部几乎不能承受拉力, 所以在表面上不存在外法线方向的拉力。对于静止流体, 切向方向的表面力不存在, 只有法线方向的表面力, 即压力。

1.3.2 质量力

质量力是作用于流体内部每一个质点上, 并与质量成正比的力。质量力有两种: 一种是重力; 另一种是惯性力, 如作直线加速运动时的直线惯性力和作曲线运动时的离心惯性力。对于静止流体, 只存在重力, 惯性力等于零。

课题 2 流体静力学基础

流体静力学是研究流体在静止状态下的力学规律以及这些规律在工程上的应用。所谓静止状态, 是指在宏观范围内, 对地球不作相对运动的状态。

上节提到, 流体几乎不能承受拉力, 静止时没有剪切力, 而只能承受压力。流体在静止状态下的力学规律, 指的是压力在空间的分布规律以及这些规律在工程上的应用。

2.1 流体静压强及其特性

2.1.1 流体静压强的概念和单位

一个盛满水的水箱，如果在侧壁开有孔口，水立即会从孔口流出；人在江湖中游泳，当水没过胸部时，就会感到呼吸有些困难（因为胸部受到水的压力），这两个现象都说明静止流体内部有压力存在。

设想用一个倾斜的平面 A 将水箱中的水分割为 I、II 两部分，如图 1-1 (a) 所示。若把右边的水体移去，就应以等效的力代替 II 部分对 I 部分的作用，使 I 部分维持原有的平衡状态。这个等效力就是原来水体 II 对水体 I 的作用力，称为流体静压力，以符号 P 表示， A 为流体静压力 P 的作用面积，如图 1-1 (b) 所示。

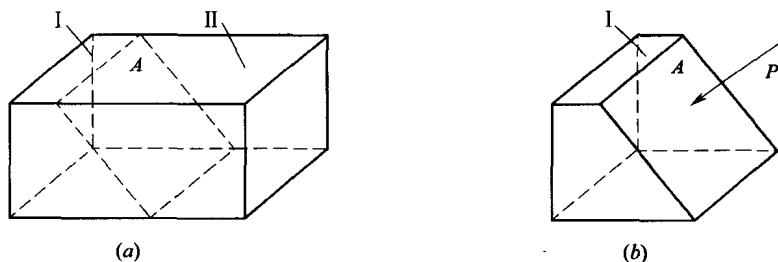


图 1-1 静止水体受力分析图

单位面积上的静压力称为静压强，以符号 p 表示，即

$$p = \frac{P}{A} \quad (1-7)$$

式中 p ——作用面上的流体静压强， N/m^2 或 Pa ；

P ——作用面上的流体总静压力， N ；

A ——受压面积， m^2 。

在工程单位制中，压强常用的单位是 kgf/m^2 或 kgf/cm^2 。

压强单位还可以用巴 (bar) 表示，1 巴 = 10^5 帕 = 1000 毫巴 (mbar)。

2.1.2 流体静压强的两个重要基本特性

流体静压强有两个重要基本特性：

(1) 流体静压强的方向垂直于作用面，并指向作用面。

这一特性可以从理论上用反证法加以证明。从静止流体中取一个正方体，设作用在正方体上表面任意流体质点 A 的静压强为 p ，如果 p 不垂直于作用面，就可以分解为一个法向应力 P_1 和一个切向应力 τ ，如图 1-2 (a) 所示。由于静止流体不存在相对运动，所以切应力 τ 为零，因此流体静压强必垂直于作用面。又假设作用在正方体表面任意点 B 的静压强方向是外法线方向，如图 1-2 (b) 所示。如前所述，静止流体是不能承受拉力的，所以静压强方向只能是作用面的内法线方向，如图 1-2 (c) 所示。所以流

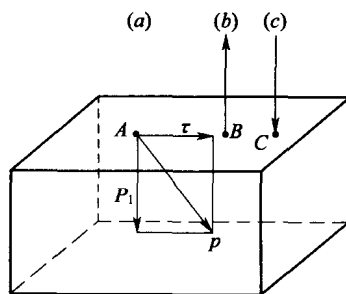


图 1-2 流体静压强方向图

体静压强的方向只能是垂直于作用面并指向作用面。

(2) 任意一点各方向的流体静压强均相等。

这一特性可以用实验来说明如图 1-3 所示, 将一个 U 形管固定在有刻度的木板上, 在 U 形管内注入红色液体, U 形管的一端接一根橡皮管, 橡皮管的另一端装有一个蒙上橡皮薄膜的金属盒。当橡皮膜受到压强作用时, U 形管中两液面的高度就不同。我们可以从液面的高度差, 测出橡皮膜上所受压强作用的大小。将金属盒放入水中量测某点的压强, 如果橡皮膜受压强大, 则 U 形管中的液面高度差就大。如果将金属盒放在液体的某一深处, 改变盒口的方向, 无论向左、向右、向上、向下或其他任何方向, 只要金属盒的中心在液面下的深度不变, U 形管测得的压强均相等。这表明静止流体中任意点各方向的流体静压强均相等。

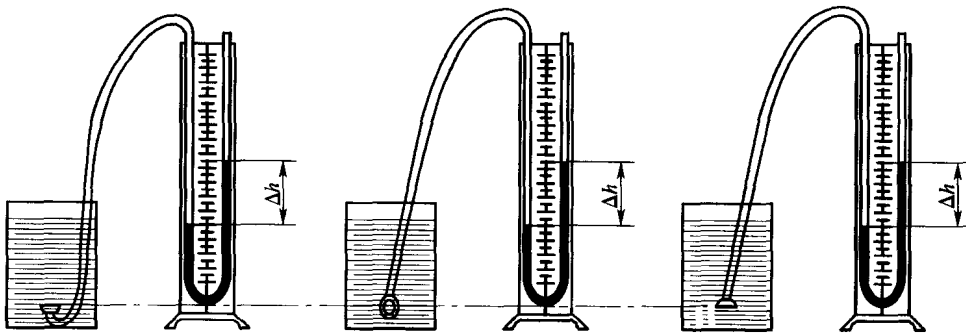


图 1-3 液体内部的压强

根据静压强的特性, 在实际工程中进行受力分析时, 可画出不同作用面上流体静压强的方向, 如图 1-4 所示。

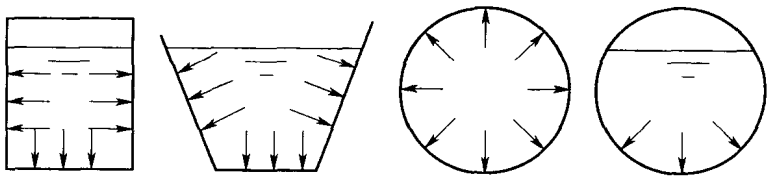


图 1-4 几种容器和管道中流体静压强的方向

2.2 流体静压强的分布规律及方程式

2.2.1 流体静压强的分布规律

由于流体本身具有重量和易流动性, 使容器的底面和侧壁均受到静压强的作用。现在通过实验来分析静压强的分布规律。

如图 1-5 所示, 在盛满水的容器侧壁上开深度不同的三个小孔, 将容器灌满水后, 把三个小孔塞头打开, 水流分别从三个小孔流出, 孔口位置愈低, 水流喷射愈急、愈远。这个现象说明水对容器侧壁不同深处的压强是不一样的。

如图 1-6 所示, 在容器侧壁同一深度处开三个小孔, 可以看到从各个孔口喷射出来的水流情况都一样, 这说明水对容器侧壁同一深度处的压强均相等。

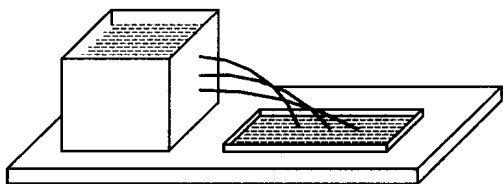


图 1-5 不同深度液体静压强

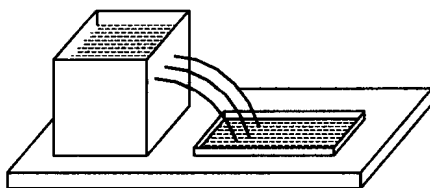


图 1-6 同一深度液体静压强

通过上面两个实验，我们获得一个流体静压强分布规律的感性概念：静压强随着水深的增加而增大，而同一水深处的流体静压强均相等。

2.2.2 流体静压强基本方程式

(1) 在定量分析流体静压强的大小之前，先要明确自由表面和表面压强的概念。

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：水箱、水池的水面、蒸汽锅炉的水面等。

液体的自由表面要受其上部气体压强的作用，作用于自由表面上的气体压强称为表面压强，用符号 p_0 表示。如果自由表面上是大气，则表面压强等于大气压强，用 p_a 表示。大气压强值随海拔高度的增加而减小。

工程上为了计算方便，一般取 $p_a = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.81 \text{ N/cm}^2 = 98100 \text{ Pa}$ ，称为一个工程大气压。

(2) 静止液体在重力作用下静压强基本方程式为

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-8)$$

式中 p ——静止液体中任意一点的静压强，Pa；

p_0 ——静止液体的表面压强，Pa；

h ——某点在自由表面下的深度，m。

公式表明，静止液体内部压强随深度按线性规律增加，同一深度的静压强相等。

应该注意：在静止液体中某一点的压强只与该点所处的垂直深度有关，与容器的形状、底面积大小无关；当液体表面气体的压强 p_0 发生变化时，液体内部各点的压强必将随之变化。

【例 1-3】某一贮水池的贮水深度为 1.6m，已知水面压强 $p_0 = 98.07 \text{ kN/m}^2$ ，求水面以下 1 米深的 A 点和池底 B 点的压强分别是多少？

【解】已知水面压强 $p_0 = 98.07 \text{ kN/m}^2$ ，根据公式 (1-8) 得

$$A \text{ 点: } p_A = p_0 + \rho gh = 98.07 \text{ kN/m}^2 + 9.81 \text{ m/s}^2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m} = 107.88 \text{ kPa}。$$

$$B \text{ 点: } p_B = p_0 + \rho gh = 98.07 \text{ kN/m}^2 + 9.81 \text{ m/s}^2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 1.6 \text{ m} = 113.8 \text{ kPa}。$$

(3) 如图 1-7 所示，流体静压强的另外一种表达形式为

$$z + \frac{p}{\gamma} = C (\text{常数}) \quad (1-9)$$

上式表明，在同一种静止液体中，任意一点的 $(z + \frac{p}{\gamma})$ 总是一个常数。该式的意义可以从物理学、水力学、几何学三个方面来理解。

1) 物理学意义

从物理学观点讲, $z + \frac{p}{\gamma} = C$ 方程中各项表示的是某种能量, 单位为 m。

z 表示单位重量流体具有的位置势能, 简称位能; $\frac{p}{\gamma}$ 表示单位重量流体具有的压强势能, 简称压能; $z + \frac{p}{\gamma}$ 表示单位重量流体位能与压能之和, 称总势能。

因此 $z + \frac{p}{\gamma} = C$ 说明, 在重力作用下的静止液体中, 各点相对同一基准面的总势能相等。

2) 水力学意义

在水力学中, 常用“水头”代表高度。所以从水力学观点讲, $z + \frac{p}{\gamma} = C$ 方程式中的各项表示的是某种水头。

z 表示液体质点到基准面的位置高度, 称为位置水头, 简称位头; $\frac{p}{\gamma}$ 表示液体质点在压强作用下沿测压管上升的高度, 称为压强水头, 简称压头; $z + \frac{p}{\gamma}$ 是位置水头与压强水头之和, 称测压管水头, 常用 H 表示。

因此, $z + \frac{p}{\gamma} = C$ 表明了, 在重力作用下的静止液体中, 各点的测压管水头均相等。

3) 几何学意义

由于通过 $z + \frac{p}{\gamma} = C$ 方程式的各项均可用长度单位度量, 其大小又可通过高度来表示, 所以方程式中的各项就可以通过几何图形表示出来, 如图 1-8 所示。将图中各点的测

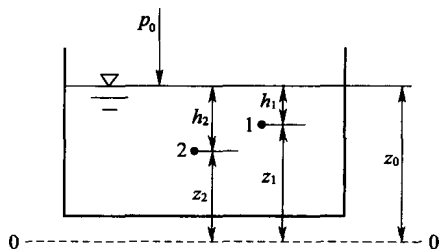


图 1-7 流体静压强基本方程式的另一种表达形式

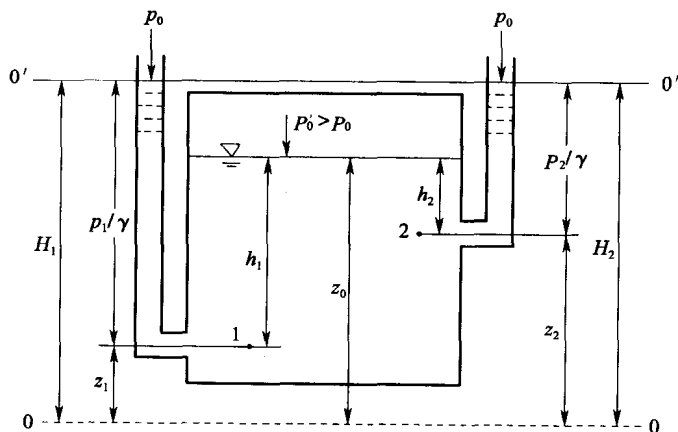


图 1-8 静压强的几何图形表示