

TUIJIANJIAOCAI

JSHY

全国建设行业中等职业教育推荐教材

给水排水管道工程

(给水排水专业)

主编 李良训 编写 李良训 许汝谦 陈聪明
主审 常 莲

● 中国建筑工业出版社

TU991
23

全国建设行业中等职业教育推荐教材

给水排水管道工程

(给水排水专业)

主编 李良训
编写 李良训 许汝谦 陈聪明
主审 常 莲

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

给水排水管道工程/李良训主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005

全国建设行业中等职业教育推荐教材. 给水排水专业
ISBN 7-112-06195-4

I. 给… II. 李… III. 给排水系统-管道工程-专业学校-教材 IV. TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 003175 号

全国建设行业中等职业教育推荐教材

给水排水管道工程

(给水排水专业)

主编 李良训

编写 李良训 许汝谦 陈聪明

主审 常 莲

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 1/4 字数: 365 千字

2005 年 1 月第一版 2005 年 1 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 21.00 元

ISBN 7-112-06195-4

TU·5462 (12208)

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.china-abp.com.cn>

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

前 言

本书是根据建设部普通中等职业学校市政给水排水专业指导委员会常州会议通过的课程教学改革基本要求和教学大纲的要求编写的，并根据中等职业技术人材教育标准及培养模式的要求、结合给水排水工程的实际，从应用的角度出发，注重以实用为目的，以必需、够用为原则，尽可能的删繁就简，理论联系实际。其主要任务是使学生掌握水力学、水泵、泵站、给水管道工程、排水管道工程、室内给排水工程的基本知识，能运用基本知识、基本理论及运算方法，解决给水排水工程中的实质问题。

本书共分五章，第一章水力学基础主要阐述了流体静压强的基本特性和分布状况；流体动力学的连续方程和能量方程及其应用；管路能量损失的计算；管路的水力计算。第二章水泵与泵站主要阐述了水泵的分类；叶片泵的构造与工作原理；离心泵的性能参数、性能曲线水泵的安装高度确定；水泵的串联与并联；泵站的分类和特点；水泵机组的安装和管路的敷设；泵站的安全运行常识；泵站的管理与维护知识。第三章给水管道系统主要阐述了给水系统的组成及布置形式；用户对水量水质和水压的要求；用水量的计算；系统的流量关系及水压关系；一级和二级泵站扬程的确定；给水管网的组成布置形式；给水管道的敷设要求；给水管网的水力计算；管网的附属构筑物；管道设备安装及试压方法和要求；给水管网系统的维护与管理。第四章排水管道系统主要阐述了污水性质及危害、排水体制、排水系统基本组成、布置形式；污水设计流量的计算；雨、污水管道布置的水力计算；管道埋设与衔接；排水管材与管道附属构筑物；排水管网系统的管理与维护。第五章主要阐述了建筑内部的给水系统分类和组成；所需要的水压和用水量的确定；给水方式的选择、管道布置原则、管道敷设要求；建筑内部的排水系统的分类和组成；管道的布置与敷设要求；屋面雨水的排除；建筑内部消防给水系统；建筑内部热水供应系统。

本书由山东省城市建设学校李良训担任主编，由北京城市建设学校常莲主审，参加编写的有：山东省城市建设学校李良训（第三、四章）；云南建筑工程学校许汝谦（概述、第五章）；宁夏建设职业技术学院陈明聪（第一、二章）。

限于编者水平有限，书中如有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

本书是中等职业学校给水排水专业课教材。主要包括：水力学基础、水泵及水泵站相关要点、给水管道系统、排水管道系统、建筑给水排水系统等。

本书除作为中等职业学校教材外，也可供从事给水排水工作的专业技术人员参考，或作为培训用书。

* * *

责任编辑：田启铭

责任设计：孙梅

责任校对：李志瑛 刘玉英

目 录

概述	1
第一章 水力学基础	4
1.1 静水力学	4
1.2 动水力学	8
1.3 流动阻力和水头损失	12
1.4 管路计算	14
1.5 明渠均匀流	22
第二章 叶片式水泵	27
2.1 水泵定义及分类	27
2.2 离心泵的工作原理与基本构造	27
2.3 离心式泵的基本性能参数和基本方程	31
2.4 离心泵的特性曲线及水泵安装高度	34
2.5 离心式水泵的串联与并联	38
2.6 给水泵站	38
2.7 排水泵站	53
第三章 给水管道系统	59
3.1 系统概述	59
3.2 给水管网	78
3.3 给水系统的维护与管理	116
第四章 排水管道系统	127
4.1 排水工程系统概述	127
4.2 污水管道系统的设计	134
4.3 污水管渠平面图和纵剖面图的绘制	159
4.4 雨水管渠系统设计	160
4.5 排水管材及附属构筑物	177
4.6 排水管渠系统的养护与管理	188
第五章 建筑给水排水系统	193
5.1 建筑给水系统	193
5.2 建筑排水系统	208
5.3 建筑消防系统	222
5.4 建筑热水供应系统	226
5.5 建筑给水排水施工图	230
参考文献	235

概 述

一、给水排水工程的意义

水是人们日常生活和从事一切生产活动不可缺少的物质。一个 100 万人口的现代化城市，每天就至少需要 50 万 m^3 以上的生活用水。随着现代工业的迅速发展，更是需要大量的生产用水。例如，生产一吨钢大约需要 250 m^3 水，生产一吨人造纤维需要 1200~1500 m^3 水。不同用途的水，对水质有不同的要求。就城市统一供给的生活饮用水而言，首先必须感官良好（清澈透明、无色、无异嗅和异味），人们乐意饮用。其次是各种有害健康或影响使用的物质含量不超过规定指标，并能够防止水致传染病（霍乱、伤寒、痢疾、病毒性肝炎等）的流行和消除某些地方病（甲状腺肿大、氟龋齿、氟斑牙、氟骨症等）的诱因；对于非饮用的生活用水，水质要求比生活饮用水低。至于生产用水，对水质要求的差异则很大。例如，锅炉用水要控制水的硬度，以免结垢降低传热效率，防止爆炸事故的发生；纺织、造纸、合成纤维等工业用水对浊度、色度、硬度、铁和锰等的含量有特殊要求，否则会影响成品的质地和色泽；电子工业和高压锅炉更是需要使用纯水或高纯水。水经人类使用后便成为污水或废水。污水或废水中总是或多或少地含有某些有机物质甚至有毒物质。如果不经处理就随意排放，就会破坏原有的自然环境，造成环境污染，甚至形成公害。

水是人类生存的基本条件，并且是地球上不可再生的宝贵资源。全球广义的水资源为 145 亿 m^3 ，而狭义的水资源只有 47 亿 m^3 ，仅占广义水资源的十万分之三。其中，因技术和经济的原因能被人类取用的则更少。据联合国有关报告预言，到 21 世纪，淡水将成为世界上最紧缺的资源。我国是一个水资源匮乏的国家。狭义的水资源为 2.72 亿 m^3 ，占全球狭义水资源总量的 5.9%，相当于世界人均水平的四分之一。据统计，全国有近 80% 的城市缺水，北方尤为严重。由于供水量不足，城市工业每年的损失高达 2300 亿元。同时，各地区江河水系大多遭受污染，水的人工循环处于不良态势，水危机已经成为严峻的现实问题。

为了实现经济和社会的可持续发展，人类需要建设一整套的工程设施来解决水的开采、处理、输送、回收和利用等一系列问题。做到既能安全可靠、经济合理地开发利用水资源，向城镇和工厂供给合格的用水，又能安全可靠、经济合理地汇集、处理甚至再生利用污水和废水，以实现水的正常的人工循环。此外，大气降水（雨水和冰雪融水）的及时排除，同样是不能忽略的。完成上述任务的这一整套工程设施就是给水排水工程，它是城市建设的重要组成部分之一。当然，人类还需要在全社会大力倡导节约用水，努力建立节水型社会。在工程设施的规划、设计、施工和运行维护中，如何通过技术手段实现节水目标，也是给水排水工程应该关注的问题。

二、给水排水管道工程的内容

给水排水管道工程是给水排水工程的重要组成部分，它的内容可以概括地分为给水管

道工程和排水管道工程两个方面。

给水管道工程的基本任务是：保证将原水（取自水源的原料水）输送到水厂的水处理构筑物，并保证将水厂出厂的成品水（一般为达到生活饮用水卫生标准的水）输送和分配到用户。这一任务是通过设置水泵站、输水管道、配水管网和调节构筑物（水池、水塔）等工程设施来完成的，它们组成了给水管道工程。设计和管理这些工程设施的基本要求是：以最少的建造费用及管理费用，保证用户所需要的水量和水压，保持水质的安全，减少水的漏损，并保证系统运行的安全可靠。

排水管道工程的基本任务是：保证将污水、废水和大气降水及时而有组织地汇集、输送到污水处理厂的污水处理构筑物（大气降水可以直接排入自然水体），并将处理过的符合排放水质标准的水排入自然水体。这一任务是通过设置排水管网、调节水池、出水口（必要时还会有水泵站）等工程设施来完成的，它们组成了排水管道工程。设计和管理这些工程设施的基本要求是：以最少的建造费用及管理费用，保证污水、废水和大气降水迅速、畅通地排除，避免在汇集、排除的过程中污染环境，并保证系统运行的安全可靠。

给水排水管道工程在整个给水排水工程中占有重要的地位。一方面，它所需的投资是很大的，约占给水排水工程总投资的 50%~80%，对于考虑工程的经济问题事关重大；另一方面，管道工程直接服务于人民群众，一旦发生故障，就可能对人们的生活、生产、消防等产生极大的影响。因此，合理地进行给水排水管道工程的规划、设计，精心地组织给水排水管道工程的施工，做好对给水排水管道工程设施的运行维护和管理的工作，对于满足人民群众的生活需要，保证生产的正常进行，无疑是非常重要的。

三、我国给水排水管道工程的状况

给水排水管道工程在我国有着悠久的历史。早在战国时代，古人就已经使用陶土管来排除污水。我国古代的一些皇城，大都建有比较完整的明渠与暗渠相结合的渠道系统。在水的提升方面，创造有轱辘、筒车等。我国第一个取用地下水源的近代给水系统于 1879 年在旅顺建成，敷设了长 224km 直径 150mm 的给水铸铁管道。但是，由于长期的封建统治和近代处于半封建半殖民地社会的影响，我国的给水排水系统规模很小，相当落后。到 1949 年，全国只有沿海、长江沿岸和东北等地的 72 个城市建有给水系统，供水管道总长度 6500km，只有少数几个城市建有排水系统，而且极不完善。

中华人民共和国成立后，特别是改革开放以来，我国的给水排水事业得到了迅速的发展，取得了令人瞩目的成就。据 1996 年的统计资料，我国 666 个城市的综合供水能力已达每天 2 亿 m^3 ，供水管网长度 14.8 万 km，供水普及率 95%；排水管网长度 7.9 万 km，市政管网年污水排放量 208.9 亿 m^3 ，占年污水排放总量 353 亿 m^3 的 59.2%（但污水处理率仅为 11.4%，其中生化处理达标的二级处理率仅为 5.6%）。根据《中国 21 世纪议程》所确定的目标估算，1996~2010 年我国给水排水工程设施方面的投资将高达 4000 亿元以上，2010 年的运行费用将在 300 亿元以上。现在，党的十六大又发出了全面建设小康社会的号召，并绘制了宏伟的蓝图。这必将为我国给水排水事业的发展提供大好的机遇和广阔的市场，同时也给从事给水排水事业的管理干部、工程技术人员和广大职工，包括即将走向建设行业的青年学生，提供施展自己聪明才智的舞台。我们应该努力学习文化科学知识和专业知识，不断提高各方面的素质和能力，为国家富强、人民富裕，为实现自己人生的理想和目标而奋斗。

四、学习本课程的方法

《给水排水管道工程》是给水排水工程专业的一门主要专业课程。课程教学的主要目标是：使学生具备中初级专门人才所必需的给水排水管道系统的基本知识、基本技能，以及给水排水管道系统运行、维护和管理初步能力。本课程的学习内容包括：水力学基础知识、水泵与水泵站、给水管道系统、排水管道系统和建筑内部给水排水系统等几个部分。《给水排水管道工程》是一门实践性、应用性很强的技术性课程。在学习本课程的过程中，要注意把握好以下要点：

1. 要坚持理论联系实际的原则，充分利用参观和实习的机会，深入施工现场和工程实地去观察，去思考，去学习，并注重实验、作业、操作等实践环节。实践的机会还可以自己去寻找，只要做一个“有心人”，实践的机会就到处可见。也就是说，要有联系实际学习理论知识的主动精神。

2. 要结合现行的有关规范、规程和科技成果来学习，当然这需要在教师的指导下进行。

3. 不论学习什么知识，对问题的思考与讨论是巩固知识、升华知识的重要方式和手段。“学而不思则罔”。要把对问题的思考与讨论贯穿于学习过程的始终，这样才能逐步提高自己分析问题和解决问题的能力。

具体的学习方法很多，但总括起来说，只要我们坚持按照这样的思路和方法来进行学习，就一定能够收到良好的学习效果。

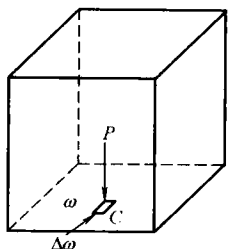
第一章 水力学基础

1.1 静水力学

静水力学是研究水在相对静止的状态下的力学规律，研究静水压力的性质、强度和各种因素的关系。

1.1.1 静水压强及其基本方程式

一个盛满水的水箱，如果在侧壁开有孔口，水立即从孔口出流，此现象表明静止流体有压力存在。作用在整个物体面积上的静水压力，称为静水总压力。作用在单位面积上的静水压力，称静水压强。设有一水箱，如图 1-1 所示，作用在水箱底面积上的静水总压力是 P ，水箱底面积是 ω ，则作用在单位面积上的静水平均强度 P_A 从 (1-1) 式求得



$$p_A = \frac{P}{\omega} \quad (1-1)$$

图 1-1 静水压强

如在水箱底取一极小面积 $\Delta\omega$ ，假设作用在这个极小面积上的静水总压力为 ΔP ，当 $\Delta\omega$ 无限缩小至一点 C 时，即 $\Delta\omega$ 趋近于 0 时，则 ΔP 对 $\Delta\omega$ 之比，将趋近一极限值 p ，这个极限值 p 称为 C 点的静水压强。

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega} \quad (1-2)$$

流体平均压强是作用面上各点静压强的平均值，而点压强则精确地反映作用面上各流体质点的静压强。

静水压强有两个特性：

1. 静水压强的方向和作用面垂直，并指向作用面；
2. 任意一点各方向的流体静压强均相等。

由于压强是指单位面积上的压力，因此，静水压强的大小与容器中水的总重量没有直接关系，而只与水的深度有关，水深相同，静水压强就相等。

现在把一个圆柱形容器里的垂直水柱作为一个隔离体，来分析它受力的平衡条件，如图 1-2 所示，在这垂直水柱上作用着以下的力：

- (1) 水柱自由面上的气体压力： $P_0 = p_0 \omega \downarrow$
- (2) 容器底对水柱底面的作用力： $P = p \omega \uparrow$
- (3) 水柱本身重量： $G = \gamma h \omega$

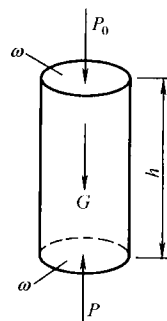


图 1-2 圆水柱隔离体

(4) 容器壁对水柱周围的侧压力，方向是水平方向。

因为水柱是不动的，所以作用在水柱水平方向和垂直方向上的合力，应均为零。作用在水柱的水平压力互相抵消，而作用在垂直方向上的力的平衡方程式为：

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

则得

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-3)$$

式中 p ——静水中任一点的静压强；

p_0 ——表面压强；

γ ——水的重力密度；

h ——该点的自由表面下的深度；

ω ——面积。

式 (1-3) 是静水压强的基本方程式，它说明静压强与水深成正比关系的分布规律，且水中任一点的压强恒等于表面压强 P_0 和该点的深度 h 与重力密度 γ 乘积之和。

按式 (1-3) 计算所表示的压强 p 称为绝对压强，以大气压强作为点开始计算的压强称为相对压强 p'

$$p' = p - p_0 = p_0 + \gamma h - p_a$$

如果自由表面压强 $p_0 = p_a$ ，则相对压强

$$p_k = p_a - p \quad (1-4)$$

当液体中某点的绝对压强 $p < p_a$ 时，该点则处于真空状态。 $p_a - p$ 即该点绝对压强对大气压强的差值，称为真空值 p_k

$$p_k = p_a - p \quad (1-5)$$

如图 1-3 表示了绝对压强、相对压强、真空值三者的关系。

压强的单位通常有三种表示方法：

1. 以单位面积上所受有压力来表示。牛/米² (N/m²) 或千牛/米² (kN/m²)；也就是帕 (Pa) 或千帕 (kPa)；

2. 以液柱高度表示，常用的单位为米水柱 [mH₂O]、毫米水柱 [mmH₂O] 或毫米汞柱 [mmHg]；

3. 以大气压的倍数表示。国际上规定标准大气压温度为 0℃ 时，在纬度 45° 处海平面上的绝对压强，其值为 101337Pa，工程制单位为 1.033kgf/cm²， $g=9.81\text{m/s}^2$ 计算，在工程上，为了计算方便，规定一个工程大气压为 $1\text{kgf/cm}^2 = 98100\text{Pa} = 98.1\text{kPa}$ 。

1 工程大气压 = 1 公斤/厘米² = 10 米水柱 = 735.6 毫米汞柱。

【例题 1-1】 求淡水自由表面下 2m 深度处的绝对压强和相对压强（设当地大气压强 $P_a = 98.1\text{kN/m}^2$ ，水的重力密度 $\gamma = 9.81\text{kN/m}^3$ ）

【解】

绝对压强

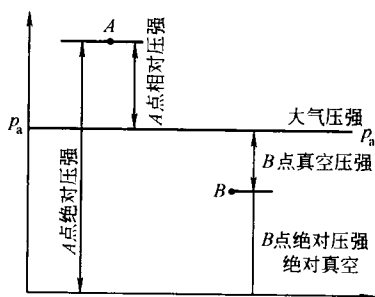


图 1-3 压强关系

$$\begin{aligned}
 p &= p_0 + \gamma h \\
 &= 98.1 \text{ kN/m}^2 + 9.81 \text{ kN/m}^3 \times 2 \text{ m} \\
 &= 117.72 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

相对压强

$$p' = p - p_a = 117.72 - 98.1 = 19.62 \text{ kPa}$$

1.1.2 静水压强分布图

静水压强分布图是根据静压强的基本特性，及静压强基本方程式绘制。

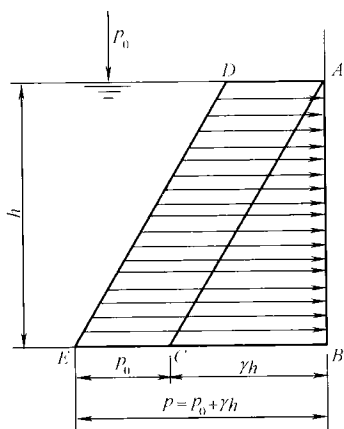


图 1-4 静水压强分布图的绘制方法

如图 1-4 所示，是一个垂直壁面上流体静压强的分布图。

它的绘制方法如下：

取横坐标代表静压强 p ，纵坐标代表深度 h ，沿受压面 AB 上每一点的静压强均由两个部分组成，即 p_0 与 γh 。

1. γh 部分：设 $\gamma h = p'$ ，由于 γ 为常量，所以 p' 与 h 的关系，实质上是线性函数关系，从图中可以看出： $h_A = 0$ ， $p' = \gamma h_A = 0$ ； $h_B = h$ ，则 $p'_B = \gamma h_B = \gamma h$ 。在图中按比例画出 BC 线段，使其长度相当于 p'_B ，连接 A、C 两点成一直线，构成 $\triangle ABC$ 就是 $P' = \gamma h$ 部分的静压强分布图，它形象地说明了受压面上 γh 的变化。

2. p_0 部分，根据静压强等值传递规律， p_0 部分等值地传递到受压面任意点上去，在 A、C 两点分别按比例画出 AD、CE 线段，使其长度相当于 p_0 。连接 DE，构成一个平行四边形 ACED，这就是 P_0 部分的静水压强分布图。

综合上述两部分图形，形成梯形 ABED，这就是流体静压强基本方程式 $P = P_0 + \gamma h$ 的函数图形，即静水压强分布图。

1.1.3 作用在平面上的静水总压力

1. 作用在水平面上的静水总压力

静水总压力等于受压面上的相对压强乘以面积，即

$$P = \gamma h \cdot \omega \quad (1-6)$$

式中 h ——水深；

ω ——受压面的面积。

2. 作用在倾斜平面上的静水总压力

在给水处理工程中，水箱、水池的侧壁和闸门等，有的是垂直矩形平面，有时是倾斜矩形或圆形平面。下面以矩形倾斜平面为例，计算静水总压力和其作用点。

(1) 总压力大小的确定：设图 1-5 为倾斜平面池壁，与水平面交角为 α ，在池壁下方有一矩形平板闸门， $a-b$ 是受压面，为了将受压

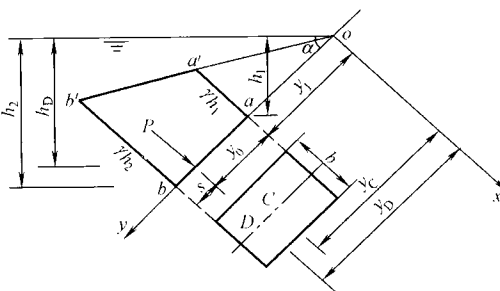


图 1-5 作用在倾斜平面上的静水总压力

面具体表示出来，将受压面 abmn 绕 oy 轴转 90° ，如图中 abmn 所示。倾斜池壁原来和水面交线移到 ox 轴的位置并和 oy 轴正交，取 ox 、 oy 作为坐标轴来分析。受压面 abmn 的面积为 ω ，如在受压面上取任一微小面积 d_A ，则可认为其上各点压强是相等的，其中 A 点在水面下深度为 h ，则其所受静水总压力为 $dP = Pd_\omega$ 并与 d_ω 正交。

作用在全部受压面上的静水总压力为

$$P = \int dP = \int_0^A h d_\omega \quad (1-7)$$

考虑到 $h = y \sin \alpha$ ，则 $P = \gamma \int_0^A h d_\omega = \gamma \sin \alpha \int_0^A y d_\omega$

式中 $\int_0^A y d_\omega$ ——称为受压面对 ox 轴的静矩。它等于受压面 ω 与其形心坐标 y_c 的乘积，即

$$\int_0^A y d_\omega = y_c \omega$$

于是可得出下式：

$$P = \gamma \sin \alpha \int_0^A y d_\omega = \gamma \sin \alpha y_c \omega$$

但 $y_c \sin \alpha = h_c$

故：

$$P = \gamma \sin \alpha y_c \omega = \gamma h_c \omega = p_c \omega \quad (1-8)$$

式中 h_c ——受压面形心 C 在水面下的深度；

p_c ——受压面形心 C 的静水压强。

公式 (1-8) 说明，作用在一任何方位倾斜平面上的静水总压力等于该平面面积与其形心点的静水压强的 p_c 乘积，其方向垂直于作用面，并指向作用面。

公式 (1-8) 同样适用于垂直平面的情况

(2) 总压力的作用点，首先，求受压面的微小面积 d_ω 上 d_P 对 ox 轴的力矩。

$$d p y = \gamma h d_\omega y = \gamma \sin \alpha y^2 d_\omega$$

各 d_P 力矩的总和为：

$$\int_A \gamma \sin \alpha y^2 d_\omega = \gamma \sin \alpha \int_A y^2 d_\omega = \gamma \sin \alpha J_x$$

式中 $J_x = \int_A y^2 d_\omega$ 称为受压面面积对 ox 轴的惯性矩。

由理论力学可知，绕某轴的合力力矩等于分力矩之和。因此，假设合力 P 的作用点到 ox 轴的距离为 y_D ，则合力 P 对 ox 轴的力矩为

$$P y_D = \gamma h_c \omega y_D = \gamma y_c \sin \alpha \omega y_D = \gamma_c \sin \alpha J_x P y_D = \gamma h_c y_D = \gamma y$$

简化可得

$$y_D = \frac{J_x}{\omega y_c} \quad (1-9)$$

根据力学： $J_x = J_c + \omega y_c^2$

式中 J_c ——受压面通过其形心并平行于 ox 轴的惯性矩。

于是
$$y_D = \frac{J_c + \omega y_c^2}{\omega y_c} = y_c + \frac{J_c}{\omega y_c} \quad (1-10)$$

或
$$y_D - y_c = \frac{J_c}{\omega y_c} \quad (1-11)$$

J_c 的数值可在一般力学手册上查到，因此可求得 D 和 C 点间距离。由于静水压强随水深而增加，所以总压力作用点 D ，总是比它的形心点低。

公式 (1-10) 和 (1-11) 是压力中心的一般公式，也适用于垂直平面等情况。

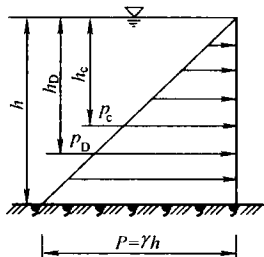


图 1-6 矩形闸门所受静水压力

【例题 1-2】 在某城市给水系统输送渠道中，有一木板矩形闸门，如图 1-6 所示，闸门宽度 $b=0.8\text{m}$ ，闸门前水深 $h=1.2\text{m}$ ，试求闸门上的静水总压力及其作用点。

【解】 闸门两侧都受大气压力，所以不考虑大气压力，只考虑相对压强，压强分布图，如图所示。

静水总压力
$$P = p_c \omega = \gamma h_c \omega$$

$$h_c = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 1.2 = 0.6 \text{ (m)}$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

$$\omega = b h = 0.8 \times 1.2 = 0.96 \text{ m}^2$$

故
$$P = 9800 \times 0.6 \times 0.96 = 5644.8 \text{ N}$$

$$= 5.6 \text{ kN}$$

对垂直矩形平面的压力中心；由图 1-6 可知：

$$h_D = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 1.2 = 0.8 \text{ m}$$

或
$$y_D = y_c + \frac{J_c}{\omega y_c}, \quad (y_D = h_D, \quad y_c = h_c)$$

对矩形平面：

$$J_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.8 \times 1.2^3}{12}$$

故
$$h_D = 0.6 + \frac{0.8 \times 1.2^3}{0.96 \times 0.6} = 0.6 + 0.2 = 0.8 \text{ m}$$

1.2 动水力学

流体的静止，平衡状态，只不过是暂时的、相对的、它是流体运动的特殊形式。流体

运动形式是多种多样的，从普遍规律来讲，都要服从物体机械运动的基本规律，如质量守恒定律、能量守恒定律等。

1.2.1 动水力学的基本概念

1. 压力流与无压流

(1) 压力流，流体在压差作用下流动时，流体整个周围和固体壁相接触，没有自由的表面，如水充满管道流动。工程中给水管道的流动，风管中气体输送等属于压力流。

(2) 无压流，又称重力流，流体在重力作用下流动时，流体的部分周界与固体壁接触，其余周界与气体相接触，形成自由表面，工程中水在明渠中，非满流排水管道中的流动等属于无压流。

2. 稳定流与非稳定流

流体运动时，流体中任一固定空间位置的压强，流速等运动要素，不随时间变化的流动称为稳定流；反之，为非稳定流。实际上稳定流只具有相对的性质，客观上并不存在绝对的稳定流动。但是，绝大多数工程上所关心的流动，可以视为稳定流动。

3. 流线与迹线

(1) 流线，流体运动时，在流速场中画出某时刻的这样的一条空间曲线，它上面所有流体质点在该时刻的流速矢量都与这条曲线相切，这条曲线就称为该时刻的一条流线，如图 1-7 所示。

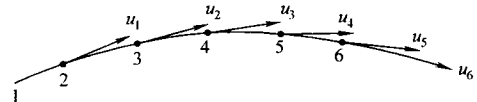


图 1-7 流线

(2) 迹线，流线运动时，流体中某一个质点在连续时间内的运动轨迹称为迹线。

流线与迹线是两个完全不同的概念。非稳定流时，流线与迹线不相重合，在稳定流时，流线与迹线相重合。

4. 均匀流与非均匀流

(1) 均匀流：流体运动时，流线是平行直线的流动称为均匀流；

(2) 非均匀流：流体运动时，流线不是平行直线的流动称为非均匀流。它又分为：① 渐变流：流体运动中流线接近平行线称渐变流；② 急变流：流体运动中流线不能视为平行直线的流动称为急变流。

5. 过流断面、流量、流速

(1) 过流断面：与流体运动方向垂直的流体断面称为过流断面。用 A 表示，单位为 m^2 或 cm^2 。

(2) 流量：单位时间通过某一过流断面的流体的体积。用 Q 表示单位为： m^3/s 或 L/s 。

(3) 速：流体在单位时间移动的距离。用 u 表示，由于流体黏滞性的影响，流体过流断面各点的流速并不相等，分布是不均匀的，例如在管道流动中，管道中央部分流速大，靠近管壁流速小。在工程计算中，常用断面平均流速来描述断面上的流速的平均情况，其单位为 m/s 。工程上所称流速通常指断面平均流速。

流量、流速、过流断面之间的关系如下：

$$Q = uA \quad (1-12)$$

1.2.2 稳定流连续方程式

稳定流连续方程式是动水力学的一个重要公式，在水力计算中广泛应用。它表示水在

流经各过水断面时，过水断面面积和流速之间的变化关系，即

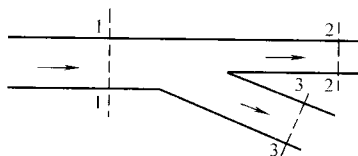
$$u_1 A_1 = u_2 A_2 = Q \quad (1-13)$$

式中 A_1 、 u_1 ——过水断面 1-1 的面积和平均流速；

A_2 、 u_2 ——过水断面 2-2 的面积和平均流速。

在应用公式 (1-13) 时应注意以下几点：

1. 流体必须是恒定流；
2. 流体必须是连续的；
3. 流体必须是不可压缩流体；
4. 对于中途有流量输出与输入的分支管道，根据质量守恒定律，仍可应用恒定流不可压缩流体的连续性方程式，但方程式的表达形式有所不同。



如图 1-8 所示，当管道中途有流量输出时，恒定流不可压缩流体的连续性方程应改写为：

图 1-8 中途有流量输出的管路

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

【例题 1-3】 有一圆管，如图 1-9 所示，横断面不等，1-1 断面处，直径 $d_1 = 200\text{mm}$ ，平均流速 $u_1 = 0.25\text{m/s}$ ，2-2 断面处直径 $d_2 = 100\text{mm}$ ，求 2-2 断面处的平均流速？

【解】 根据公式 (1-13)

$$\begin{aligned} u_1 A_1 &= u_2 A_2 \\ u_2 &= \frac{u_1 A_1}{A_2} = u_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} \\ &= 0.25 \frac{(0.2)^2}{(0.1)^2} \\ &= 1\text{m/s} \end{aligned}$$

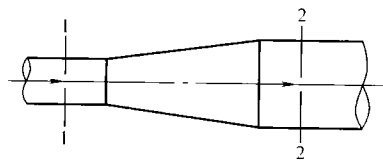


图 1-9 (例题 1-3)

1.2.3 稳定流能量方程式

能量守恒及其变化规律是物质运动的一个普遍规律。应用此规律来分析流体运动，可以揭示流体在运动中压强，流速等运动要素，随空间位置的变化关系——能量方程式，从而为解决许多工程问题奠定基础。

实际液体的能量方程式如下：

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (1-14)$$

公式 (1-14) 中各项意义解释如图 1-10 所示。

Z_1 、 Z_2 ——过流断面 1-1、2-2 断面上的单位重量液体位能；各自相对选定的基准面的位置高度，也称位置水头。

$\frac{p_1}{\gamma}$ 、 $\frac{p_2}{\gamma}$ ——过流断面 1-1、2-2 断面上

单位重量液体压能；各自的测压管高度，也称压强水头。 P_1 、 P_2 要同时用相对压强或同时用绝对压强，特别是应用于气体时。

$\frac{\alpha_1 u_1^2}{2g}$ 、 $\frac{\alpha_2 u_2^2}{2g}$ ——过流断面 1-1、2-2 断面上

单位重量，液体动能；各自的速度水头。

α_1 、 α_2 为动能修正系数，一般 $\alpha = 1.05 \sim 1.1$ ，为计算方便，常近似取 $\alpha = 1.0$ 。

$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha u^2}{2g}$ ——过流断面上任一点的总

水头。

h_{w1-2} ——单位重量液体通过流段 1-2 的能量损失，也称水头损失。

对于不可压缩的气体，液体能量方程式同样适用。由于液体和气体容重相差较大，同时，当 Z_1 与 Z_2 高差不大时，式中 Z 值往往忽略不计，同时取 $\alpha = 1.0$ ，这样实行气体能量方程式可简化为：

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (1-15)$$

或

$$P_1 + \gamma \frac{u_1^2}{2g} = P_2 + \gamma \frac{u_2^2}{2g} + \gamma h_{w1-2} \quad (1-16)$$

公式 (1-16) 各项意义为：

p_1 、 p_2 ——断面 1-1、2-2 断面的相对压强，工程上称为静压；

$\gamma \frac{u_1^2}{2g}$ 、 $\gamma \frac{u_2^2}{2g}$ ——断面 1-1、2-2 的速度水头乘重力密度，工程上称为动压。

γh_{w1-2} ——1-2 断面间的压强损失。

【例题 1-4】 如图 1-11 所示，有一水箱，箱内水深 1.5m，水面与大气相通，水箱底部接出一根立管，长度为 2m，管径为 200mm，不考虑水头损失，并取动能修正系数 $\alpha =$

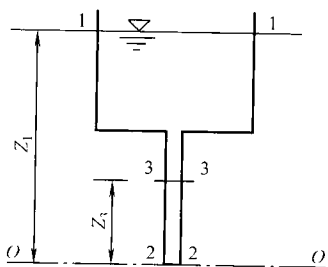


图 1-11

1.0， $Z_3 = 1.0\text{m}$ ，试求：

(1) 立管出口处水的流速；(2) 离立管出口 1m 处水的压强

【解】 (1) 立管出口处的流速在立管出口处取基准面 0-0；列出断面 1-1 及 2-2 的能量方程式

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

其中： $Z_1 = 1.5 + 2.0 = 3.5\text{m}$

$Z_2 = 0$ ， $p_1 = p_2 = 0$ （相对压强）

又

$$A_1 \gg A_2 \quad \frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} \ll \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g}$$

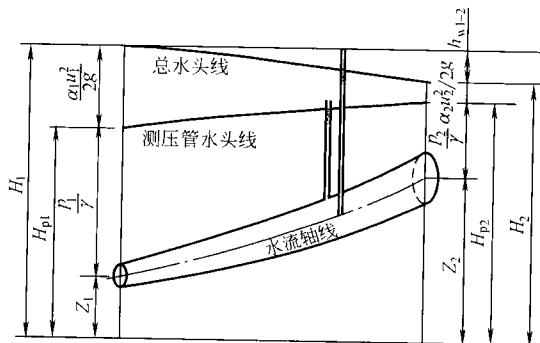


图 1-10 能量方程式的几何图示