

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

水力学与桥涵水文

SHUILIXUE YU QIAOHAN SHUIWEN

刘文灵 谢静如 主编



黄河水利出版社

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

水力学与桥涵水文

主 编 刘文灵 谢静如

副主编 卢军燕 张宇华

主 审 周 娟

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书按照道路与桥梁专业《水力学与桥涵水文》课程教学大纲编写,是道路与桥梁专业的通用教材。全书共分十二章,包括绪论,水静力学,水动力学,水流阻力和水头损失,明渠水流,河流水文,水文统计的基本原理与方法,桥涵设计流量及水位推算,大中桥桥位勘测设计,桥梁墩台冲刷计算,小桥涵勘测设计,水力学实验。各章有例题、习题和常用图表。

本书也适用于水文水资源工程、给水排水、水利工程监理、水土保持、水电站动力设备、水电站建筑、治河与防洪等专业使用,并可用于成人专科学校以及普通本科院校的高等职业技术学院同类专业教学,还可供水利水电工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水力学与桥涵水文/刘文灵,谢静如主编. —郑州:黄河水利出版社,2008.3

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 401 - 8

I. 水… II. ①刘…②谢… III. ①水力学 - 高等学校:技术学校 - 教材②桥涵工程 - 工程水文学 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TV13 U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 020490 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18.75

字数:433 千字

印数:1—4 100

版次:2008 年 3 月第 1 版

印次:2008 年 3 月第 1 次印刷

定价:33.00 元

前 言

《水力学与桥涵水文》是道路与桥梁专业的一门专业基础课,按照道路与桥梁专业《水力学与桥涵水文》课程教学大纲编写。本书以工程应用为指导,注重高等职业教育的特点,内容以实用、实际、够用为原则,侧重介绍基本原理、基本方法,同时紧密跟踪水力学桥涵水文学科的新发展,以最新版的设计规范为依据,充分考虑到教学规律,力求做到理论联系实际,以利于学生综合素质的提高。且为后续课程、学生知识面的展开及相应的专业工作打好基础。

参加本书编写的有开封大学李君(第一章、第二章),郑州交通职业学院卢军燕(第三章),黄河水利职业技术学院张宇华(第四章、第六章),江西交通职业技术学院刘文灵(第五章、第十二章)、王彪(第十一章),山东水利职业学院高振芬(第七章),江西应用技术职业学院谢静如(第八章、第九章、第十章)。

全书由刘文灵、谢静如任主编,卢军燕、张宇华任副主编,江西交通职业技术学院周娟任主审。

由于编者的水平有限,加上时间仓促,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2007 年 11 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 水力学的任务和研究方法	(1)
第二节 液体的主要物理性质	(3)
第三节 液体的力学模型	(6)
第四节 作用在液体上的力	(7)
复习思考题	(8)
第二章 水静力学	(9)
第一节 静水压强及特性	(9)
第二节 水静力学基本微分方程	(10)
第三节 重力作用下静水压强的分布规律	(12)
第四节 静水总压力	(15)
复习思考题	(21)
第三章 水动力学	(24)
第一节 液体运动的基本概念	(24)
第二节 恒定总流的连续性方程	(28)
第三节 恒定总流的能量方程	(29)
第四节 恒定总流能量方程的应用	(32)
第五节 恒定总流的动量方程	(34)
复习思考题	(38)
第四章 水流阻力和水头损失	(40)
第一节 水流阻力及水头损失的分类	(40)
第二节 雷诺试验——层流与紊流	(41)
第三节 沿程水头损失的计算	(43)
第四节 局部水头损失的分析 and 计算	(51)
第五节 简单管路的水力计算	(54)
复习思考题	(63)
第五章 明渠水流	(65)
第一节 概述	(65)
第二节 明渠均匀流的水力特性和基本公式	(67)
第三节 明渠水力最佳断面及允许流速	(70)
第四节 明渠均匀流的水力计算	(75)
第五节 明渠非均匀流的类型	(84)
第六节 断面比能与水流的临界状态	(86)

第七节 明渠恒定非均匀渐变流水面曲线的定性分析	(92)
第八节 明渠急变流	(100)
第九节 堰流简介	(109)
复习思考题	(114)
第六章 河流水文	(117)
第一节 河川水文现象特点及研究方法	(117)
第二节 水分循环及水量平衡	(118)
第三节 河流基本知识	(120)
第四节 水文调查与形态勘测	(126)
第五节 泥沙运动与河床演变	(131)
复习思考题	(136)
第七章 水文统计的基本原理与方法	(137)
第一节 水文统计的基本原理	(137)
第二节 统计参数	(139)
第三节 经验累积频率曲线	(148)
第四节 理论累积频率曲线	(152)
第五节 现行频率分析方法	(160)
复习思考题	(164)
第八章 桥涵设计流量及水位推算	(165)
第一节 根据流量观测资料推算设计流量	(165)
第二节 根据洪水调查资料推算设计流量	(166)
第三节 根据暴雨资料推算设计流量	(176)
复习思考题	(191)
第九章 大中桥桥位勘测设计	(193)
第一节 桥位勘测设计的主要内容及桥位选择	(193)
第二节 大中桥孔径计算	(198)
第三节 桥面设计高程计算	(207)
复习思考题	(218)
第十章 桥梁墩台冲刷计算	(220)
第一节 墩台冲刷类型	(220)
第二节 桥下断面一般冲刷深度	(220)
第三节 墩台局部冲刷深度	(225)
第四节 桥下河槽最低冲刷线	(234)
第五节 调治构造物	(237)
复习思考题	(244)
第十一章 小桥涵勘测设计	(245)
第一节 小桥涵勘测设计内容	(245)
第二节 小桥涵位置选择	(246)

第三节 小桥涵勘测与调查	(249)
第四节 小桥涵类型选择与布置	(253)
第五节 小桥及涵洞孔径计算	(258)
复习思考题	(265)
第十二章 水力学实验	(267)
实验一 静水压强实验	(267)
实验二 伯诺里方程实验	(269)
实验三 雷诺实验	(274)
实验四 沿程水头损失实验	(277)
实验五 局部水头损失实验	(281)
实验六 非均匀流的基本水力现象演示实验	(285)
附录 I 梯形、矩形、圆形断面渠道中临界水深 h_k 求解图	(288)
附录 II 矩形渠道收缩断面水深及水跃共轭水深求解图	(289)
附录 III 无压圆涵管水跃共轭水深求解图	(290)
参考文献	(291)

第一章 绪 论

本章重点

本章是水力学的开篇,概述有关水力学的研究对象和研究方法及一些基本概念。本章重点掌握理想液体、连续介质、表面力和质量力的概念;液体的主要物理力学性质。

第一节 水力学的任务和研究方法

一、水力学的任务

水力学是研究液体机械运动规律及其实际应用的一门学科。分析此定义可以概括出三层涵义。

第一,水力学的研究对象是液体。自然界物质存在的一般形式有3种,即固体、液体和气体。液体和气体统称为流体。由于液体和气体在性质上有很多相同之处,因此,在一定条件下,水力学的运动规律也适用于气体运动。

第二,水力学的研究内容是液体机械运动的规律。液体的机械运动遵循物质机械运动的普遍规律,包括牛顿运动定律、质量守恒定律、能量转换和守恒定律、动量定理等,并以这些普遍规律作为建立水力学理论的理论基础。

第三,水力学的研究目的是应用于工程实践。水力学是力学的一个分支,是专门研究水流运动的一门基础科学,与工农业生产有着密切的联系。所以,水力学在环境保护、市政建设、给水排水、土木建筑、交通运输、供热通风、化工、机械、动力、能源、水利、气象、航空、国防、医学、生物等工程中得到广泛的应用。

二、水力学的研究方法

水力学作为一门科学,在它的历史发展过程中产生了一些特殊的研究和解决问题的方法。掌握这些方法对于获得水力学的知识、体系和提高能力等方面都是很重要的。水力学的研究方法主要有理论分析、实验和数值计算3种。它们之间既有区别,又有联系,互为结合,互为补充,相得益彰,相互促进。

(一) 理论分析方法

理论分析方法是通过对液体物理性质和液体特性的科学抽象(近似),提出合理的理论模型。根据机械运动的普遍规律,结合液体运动的特点,通过数理分析,建立液体运动的基本方程组,将原来的具体流动问题转化为数学问题,在相应的边界条件和初始条件下求解。

理论分析方法的关键在于提出理论模型,并运用数学方法求出理论结果,达到揭示液体运动规律的目的。在分析液体运动、建立模型时,根据研究对象的不同,常用以下两种

方法。

1. 微元体分析法

设在运动液体占据的空间中取一固定的微小控制体为研究对象,在直角坐标系中,其中心为 (x, y, z) ,边长分别为 dx, dy, dz 。根据物理学的普遍规律,建立微小控制体的运动微分方程。当微小控制体趋于无穷小,即趋于一点 (x, y, z) 时,可得出该点的运动情况。因此,利用微元体分析方法,可得出液体所占据的任一空间点上、在任何时间的液体质点的运动情况。此法是理论分析方法中最基本、最常用的方法。

2. 有限体分析法(元流或总流分析法)

在水力学中,常不需要知道液体所占据的每一空间点上的液体质点运动的情况,而只需要知道这个物理量或那个物理量在某一体积或面积的平均值。有限体分析法是在运动液体占据的空间中取一固定的有限控制体,建立以平均值表示的液体运动方程。

理论分析方法揭示了客观实际液体运动的物理本质和各物理量之间的内在联系及规律,具有重要的指导意义和普遍的适用性。但是理论分析方法往往只能局限于比较简单的物理模型,对于更为复杂、更符合实际的液体运动问题,由于液体运动和边界条件的复杂性,难以精确求解。

(二) 实验方法

实验方法是通过对具体流动的观察和测量来认识流动的规律。水力学的实验方法主要有以下四个方面。

1. 原型观测

对工程中的实际液体运动直接进行观测,收集第一手资料,为检验理论分析或总结某些基本规律提供依据。

2. 模型试验

以相似理论或量纲分析法为指导,把实际工程(原型)缩小(或放大)为模型,在模型上预演相应的液体运动,得出在模型中的液体运动规律,然后将其按照相似关系换算为原型的结果,以满足实际工程的需要。

3. 系统试验

由于原型观测受到某些条件的局限或因液体运动的相似规律在理论上还没有建立,在实验室内小规模地造成某种流体运动用以进行系统的观测实验,从中找出规律性。

4. 模拟试验

根据水流与电流的相似性或水流与气流的相似性,进行水电模拟或水气模拟试验等,通过电流或气流的实测结果来解答液流问题。

(三) 数值计算法

数值计算法是在计算机应用的基础上,采用各种离散化方法(有限差分法、有限元法等),建立各种数值模型,通过计算机进行数值计算的数值实验,得到在时间和空间上许多数字组成的集合体,最终获得定量描述流场的数值解。近二三十年来,这一方法得到很大发展,已形成一个专门学科——计算流体力学。

第二节 液体的主要物理性质

液体运动的规律与作用于液体的外部因素、条件以及液体的内在物理性质有关。在此节内容中,就液体的易流动性、惯性、粘滞性、压缩性和热胀性做一些必要的阐述和讨论。

一、易流动性

固体在静止时,可以承受切应力。液体在静止时,不能承受切应力,只要在微小的切应力作用下,就会发生流动而变形。液体在静止时不能承受剪力、抵抗剪切变形的性质称为易流动性。同时,液体也被认为不能承受拉力,而只能抵抗对它的压力。

二、惯性

惯性是物体维持原有运动状态能力的性质,它主要取决于质量的大小。质量越大,惯性越大,运动状态越难改变。质量是物体惯性大小的量度。

对于均质液体,单位体积液体的质量叫做液体的密度,以 ρ 表示,即:

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

式中 ρ ——液体的密度, kg/m^3 ;

m ——液体的质量, kg ;

V ——该质量液体的体积, m^3 。

对于均质液体,单位体积液体的重量叫做液体的容重,以 γ 表示,即:

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

式中 γ ——液体的容重, N/m^3 ;

G ——体积为 V 的液体所受的重力, $G = mg$, N ;

V ——重力为 G 的液体的体积, m^3 。

密度和容重之间的关系为

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

液体的密度随压强和温度的变化很小,一般可视为常数。在温度为 4°C , 压强为一个大气压的条件下水的密度为 $1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$, 水银的密度为 $13\,600\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

在一个标准大气压下,水的密度和容重见表 1-1, 几种常见流体的容重见表 1-2。

三、粘滞性

当液体处于运动状态时,若液体质点之间存在着相对运动,则质点间要产生内摩擦力抵抗其相对运动,这种性质称为液体的粘滞性,此内摩擦力称为粘滞力。

粘滞性是液体固有的属性。由于它的存在,液体在流动过程中,为了克服内摩擦力必然要做功,从而消耗液体内部的机械能,因此,粘滞性是造成液体在流动过程中能量损失

的根源之一。

表 1-1 水的密度和容重

温度(℃)	0	4	10	20	30
密度 (kg/m ³)	999.87	1 000.00	999.73	998.23	995.67
容重(N/m ³)	9 798.73	9 800.00	9 797.35	9 782.65	9 757.57
温度(℃)	40	50	60	80	100
密度 (kg/m ³)	992.24	988.07	983.24	971.83	958.38
容重(N/m ³)	9 723.95	9 683.09	9 635.75	9 523.94	9 372.12

表 1-2 几种常见流体的容重

液体名称	空气	水银	汽油	酒精	四氯化碳	海水
容重(N/m ³)	11.82	133 280	6 664 ~ 7 350	7 778.3	15 600	9 966 ~ 10 084
测定温度(℃)	20	0	15	15	20	15

经试验证明,流体的内摩擦力 T 与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比,与流层的接触面积 A 成正比,与流体的性质有关,与接触面上的压力无关。即

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

切应力表示为:

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

式(1-4)或式(1-5)称为牛顿内摩擦定律。

以上两式中 μ ——比例系数,称为动力粘滞系数,简称粘度,Pa·s;

A ——相邻流层间的接触面积,cm²;

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度,它反映流速沿 y 方向的变化率。

动力粘滞系数是液体粘滞性大小的量度, μ 值越大,液体的粘滞性越大,其流动性越差。

另外,液体的粘滞性还可由动力粘滞系数 μ 与液体密度 ρ 的比值表示即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

式中 ν ——液体的运动粘滞系数,m²/s。

液体的 μ 或 ν 值随压力变化甚微,随温度变化较为明显。不同温度下水的粘滞系数见表 1-3。

表 1-3 不同温度下水的粘滞系数

$t(^{\circ}\text{C})$	$\mu(10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s})$	$\nu(10^{-6}\text{m}^2/\text{s})$	$t(^{\circ}\text{C})$	$\mu(10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s})$	$\nu(10^{-6}\text{m}^2/\text{s})$
0	1.792	1.792	40	0.654	0.659
5	1.519	1.159	45	0.597	0.603
10	1.310	1.310	50	0.549	0.556
15	1.145	1.146	60	0.469	0.478
20	1.009	1.011	70	0.406	0.415
25	0.895	0.897	80	0.357	0.367
30	0.800	0.803	90	0.317	0.328
35	0.721	0.725	100	0.284	0.296

由表 1-3 可看出,液体的粘滞性随温度升高而减小。其原因是液体分子间的距离很小,分子间的引力是形成粘性的主要因素,温度升高,分子间距离增大,分子间作用力减小,粘滞性随之减小。

四、压缩性和热胀性

(一) 液体的压缩性

液体受压时体积减小、密度增大的性质称为液体的压缩性。液体的压缩性可用体积压缩系数 β 表示。体积压缩系数 β 是液体体积的相对缩小值与压强增加值之比。设液体压缩前的体积为 V ,压强增加 Δp 后,体积减小 ΔV ,其体积压缩系数为

$$\beta = - \frac{(\Delta V/V)}{\Delta p} \quad (1-6)$$

式(1-6)中负号表示压强增大,体积减小, Δp 与 ΔV 的符号始终是相反的,所以上式右端加一个负号就是为了保持 β 为正值。 β 越大,则液体的压缩性越大。 β 的单位是 m^2/N 。

液体的压缩系数随温度和压强而变化。水在 0°C 时不同压强下的压缩系数见表 1-4。表 1-4 中符号 at 表示工程大气压, $1 \text{ at} = 98 \text{ kN/m}^2$ 。

表 1-4 水在 0°C 不同压强下的压缩系数

压强(at)	5	10	20	40	80
$\beta \times 10^9 (\text{m}^2/\text{N})$	0.538	0.536	0.531	0.528	0.515

(二) 液体的热胀性

液体受热时体积膨胀密度减小的性质称为液体的热胀性。液体的热胀性可用体积膨胀系数 α 表示。体积膨胀系数 α 是液体体积的相对增加值与温度的增加值之比。设液体膨胀前的体积为 V ,温度升高 ΔT 后,体积增大 ΔV ,其体积膨胀系数为

$$\alpha = \frac{(\Delta V/V)}{\Delta T} \quad (1-7)$$

α 值越大,液体越易膨胀。 α 的单位是 $1/^{\circ}\text{C}$ 或 $1/\text{k}$ 。

液体的膨胀系数随压强和温度而变化。在 1 标准大气压下,不同温度时水的膨胀系

数见表 1-5。

表 1-5 不同温度时水的膨胀系数

温度(℃)	1 ~ 10	10 ~ 20	40 ~ 50	60 ~ 70	90 ~ 100
$\alpha \times 10^4 (1/^\circ\text{C})$	0.14	0.15	0.42	0.55	0.72

从表 1-4 及表 1-5 看出,压强每升高一个大气压,水的密度约增加 $1/2\,000\,000$ 。在温度较低时($10 \sim 20\,^\circ\text{C}$),温度每增加 $1\,^\circ\text{C}$,水的密度减小约为 $1.5/10\,000$;在温度较高时($90 \sim 100\,^\circ\text{C}$),水的密度减小也只有 $7/10\,000$ 。这说明水的热胀性和压缩性是很小的,一般情况下可忽略不计,只有在某些特殊情况下,例如水击、热水采暖等问题时,才需要考虑水的压缩性和热胀性。

第三节 液体的力学模型

客观存在的实际液体物质结构和物理性质是非常复杂的。如果我们全面考虑它的所有因素,将很难提出它的力学关系式。为此,我们在分析考虑水力学问题时,根据抓主要矛盾的观点,建立力学模型,对液体加以科学的抽象,简化液体的物理结构和物理性质,以便于列出液体运动规律的数学方程式。这种研究问题的方法,在固体力学中也常使用,如刚体、弹性体等。所以,力学模型的概念具有普遍意义。下面介绍几个主要的液体力学模型。

一、连续介质模型

我们知道,液体是由无数的分子所组成,分子间有一定的间隙,也就是说,液体实质上是不连续的。但是,水力学是研究宏观的机械运动(无数分子总体的力学效果),而不是研究微观的分子运动。因此,在水力学中,把液体作为连续介质看待,即假设液体是一种充满其所占据空间毫无间隙的连续体。把液体看做连续介质后,液体运动中的物理量都可视为空间和时间的连续函数,这样,就可以利用连续函数的分析方法来研究液体运动。

二、理想液体

实际液体都是有粘滞性的。粘滞性的存在往往给液体运动规律的研究带来极大困难。为了简化理论分析,特引入理想液体的概念。所谓理想液体是指不考虑粘滞性作用的液体。理想液体实际上是不存在的,它只是一种对物理性质进行简化的力学模型。如果在实际问题中,粘滞性不起作用或不起主要作用,简化后的结果能较好地符合实际;如果粘滞性影响较大不能忽略时,简化后的结果需通过实验加以修正,使其真实反映流动特点。

三、不可压缩液体模型

由于液体的压缩性和热胀性很小,密度可视为常数,此简化模型称为不可压缩液体模型。

第四节 作用在液体上的力

作用在液体上的力,按其物理性质来看,有重力、摩擦力、弹性力、表面张力及惯性力等。为了便于分析液体的平衡和运动规律,又可按力的作用方式分为表面力和质量力两大类。

一、表面力

表面力是指作用在液体的表面上,其大小与受作用的液体表面积成正比的力。表面力可分为垂直于作用面的压力和平行于作用面的切力。

液体表面力的大小除用总作用力来度量外,也常用单位面积上所受的表面力即应力来度量。设在液体隔离体的表面上,围绕任意点 A 取一面积 ΔA ,作用在 ΔA 上的法向力为 ΔP ,切向力为 ΔT ,则 A 点的表面应力可表示为

$$\bar{p} = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-8)$$

$$\bar{\tau} = \frac{\Delta T}{\Delta A} \quad (1-9)$$

式中 $\bar{p}$ ——面积 ΔA 上的平均正应力或平均压强;
 $\bar{\tau}$ ——面积 ΔA 上的平均切应力。

如果令面积 ΔA 无限缩小至 A 点,则

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-10)$$

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta A} \quad (1-11)$$

式中 p —— A 点压强或法向应力或正应力;
 τ —— A 点的切应力。

二、质量力

质量力是作用于液体的每个质点上,其大小与受作用液体的质量成正比的力。常见的质量力是重力和惯性力。

液体质量力除用总作用力来度量外,还常用单位质量力来度量。单位质量力是指作用在单位质量液体上的质量力。设均质液体的质量为 M ,所受的总的质量力为 F ,则单位质量力 f 为

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

若 F 在坐标轴上的投影分别为 F_x 、 F_y 、 F_z ,则单位质量力 f 在相应坐标轴上的投影分别为

$$\begin{cases} X = \frac{F_x}{M} \\ Y = \frac{F_y}{M} \\ Z = \frac{F_z}{M} \end{cases} \quad (1-13)$$

用矢量表示

$$f = Xi + Yj + Zk$$

式中 i, j, k —— x, y, z 轴方向的单位矢量。

复习思考题

- 1-1 什么是连续介质假设？为什么在研究液体机械运动规律时要引入连续介质模型？
- 1-2 按作用方式的不同，以下作用力中压力、重力、引力、摩擦力、惯性力哪些是表面力？哪些是质量力？
- 1-3 怎样表示液体的压缩性和热胀性？
- 1-4 理想液体和不可压缩液体的特点是什么？
- 1-5 某种汽油的容重为 7.00 kN/m^3 ，问其密度为多少？
- 1-6 20°C 的水，其体积为 2.5 m^3 ，当温度升至 80°C 时，求体积增加值及增加率各为多少？
- 1-7 使 10°C 的水的体积减小 0.1% 及 1.0% 时，应增大压强各为多少？
- 1-8 一封闭容器盛以水或油，在地球上静止时，其单位质量力为多少？

第二章 水静力学

本章重点

水静力学是研究液体在静止状态下的力学规律及实际应用。本章以压强为中心,阐述了静水压强的特性、分布规律以及静水总压力的计算方法。教学重点有:静水压强的概念及基本特性;重力作用下静水压强的基本方程;静水压强分布图和压力体剖面图的绘制方法;等压面概念和连通器原理;压强的表示方法、单位;平面壁和曲面壁上的静水总压力的计算。

第一节 静水压强及特性

水静力学是研究液体处于静止状态下的平衡规律及其实际应用。静止状态是指液体质点之间没有相对运动。通常把静止分为绝对静止和相对静止两类,两者划分的依据在于所选的参照系不同。如果选地球为参照系,液体质点相对地球没有运动,则称液体处于绝对静止状态;如果以盛装液体的容器为参照系,液体和容器一起做加速运动,则液体与容器之间或液体质点之间处于相对静止状态。

由粘滞性的定义可推断出,由于静止液体质点间没有相对运动,液体的粘滞性不起作用,故静止液体不呈现粘滞性。又由于液体不能承受拉力,所以,静止液体质点之间的相互作用力只能沿作用面的内法线方向,通过压应力(静水压强)形式表现出来。因此,水静力学的主要任务就是研究静水压强在空间的分布规律,并在此基础上解决一些实际工程问题。

一、静水压强定义

静止液体作用在与之接触的表面的水压力称为静水压力。静水压力不仅表现为液体对其接触的固体边壁的压力,还表现为液体内部一部分液体对相邻的另一部分液体的压力。

在静止液体中,取任意形状的微团,如图 2-1 所示。用一假想平面 $abcd$ 将它分割成 I、II 两部分。假定把 I 部分移走,II 部分液体就要流动。为了保持原有的平衡,就必须外加一个等效的力 P 来代替 I 部分液体对 II 部分液体的作用。假设作用在 $abcd$ 平面中某一微小面积 ΔA 上的静水总压力为 ΔP ,当 ΔA 缩小为一点 A 时,平均压强

$\bar{p} = \frac{\Delta P}{\Delta A}$ 的极限值就是该点的静水压强,通常以符号 p 表示,

即

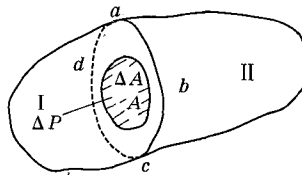


图 2-1

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

在国际单位制中,静水压力 P 的单位为牛顿(N)或千牛顿(kN);静水压强 p 的单位为牛顿/米²(N/m²)或千牛顿/米²(kN/m²),牛顿/米² 又称帕斯卡(Pa)。

二、静水压强特性

(1) 静水压强方向沿作用面的内法线方向,即垂直指向。假设静水压强 p 的方向为任意方向,则 p 可分解为沿作用面法向的分力 p_n 和沿作用面切向的分力 τ 。由于静止液体粘滞性不起作用,不能承受剪切变形,故静止液体在切向力的作用下将会产生流动,这与静止液体的假设前提不符,故 $\tau = 0$ 。因此,静水压强方向必须垂直于其作用面。又由于液体不能受拉,静水压强 p 的作用方向只能是指向受压面。

(2) 静止液体中某一点静水压强的大小与作用面的方位无关,或者说作用于同一点各方向的静水压强大小相等。证明略。下面通过一个例子说明该特性的含义。

如图 2-2(a) 所示,静止液体中有一垂直平板 AB ,设平板上 C 点的静水压强为 p_c , p_c 垂直指向平板。若 C 点位置固定不变,平板绕 C 点转动,如图 2-2(b) 所示, C 点的静水压强方向发生变化,但其大小仍为 p_c 。

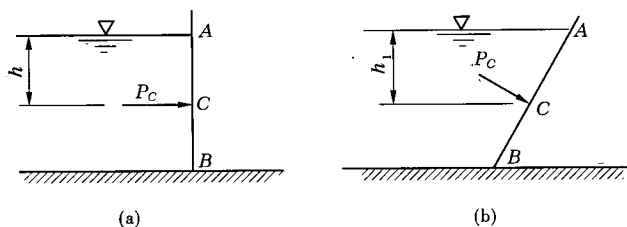


图 2-2

该特性表明,在连续介质的平衡液体内,任一点的静水压强的的大小仅是空间坐标的连续函数,而与受压面的方位无关。所以

$$p = p(x, y, z) \quad (2-2)$$

第二节 水静力学基本微分方程

一、液体的平衡微分方程

下面以微元分析法推导液体的平衡微分方程。

在静止液体中任取一点 $O'(x, y, z)$, 该点压强 $p = p(x, y, z)$ 。以 O' 为中心作微元直角六面体, 正交的三个边分别与坐标轴平行, 长度分别为 dx 、 dy 、 dz , 如图 2-3 所示。由于微小六面体处于静止状态, 各方向的作用力相互平衡。以 x 方向为例, 所受的力有表面力和质量力, 且它们二者的合力为零。

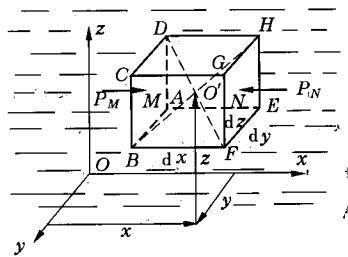


图 2-3