

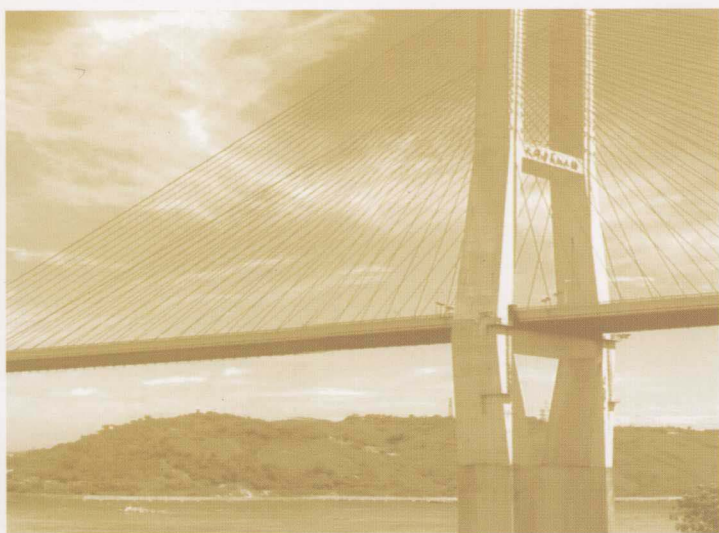


高等学校土木工程专业系列教材

桥涵水力水文

QIAOHAN SHUILI SHUIWEN (第2版)

杨斌 王晓雯 彭凯 徐芳 孟彩侠 编 禹华谦 主审



西南交通大学出版社
Http://press.swjtu.edu.cn

高等学校土木工程专业系列教

桥涵水力水文

(第2版)

杨 斌 王晓雯 彭 凯
徐 芳 孟彩侠 编

禹华谦 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

桥涵水力水文 / 杨斌等编. —2 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2012.1

高等学校土木工程专业系列教材

ISBN 978-7-5643-1535-1

I. ①桥… II. ①杨… III. ①桥涵工程—水力学—高等学校—教材②桥涵工程—工程水文学—高等学校—教材
IV. ①U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 269543 号

高等学校土木工程专业系列教材

桥涵水力水文

(第 2 版)

杨 斌 王晓雯 彭 凯 编
徐 芳 孟彩侠

责任编辑	高 平
特邀编辑	胡晗欣
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	18.75
字 数	467 千字
版 次	2012 年 1 月第 2 版
印 次	2012 年 1 月第 6 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1535-1
定 价	33.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

再版前言

本书的主要对象是高等学校道路与铁道工程、桥梁与隧道工程、交通工程等专业的学生，也可供这些专业的工程技术人员参考使用。近年来，由于气候、环境的变化，道路、桥梁等交通基础设施遭受水患的情况越来越严重，需要我们进一步加深对水患的认识理解，提高驾驭能力，在交通基础设施的规划、设计施工、养护、管理等各个环节中贯穿对水的防治工作。

《桥涵水力水文》自 2004 年出版以来，已有 7 年时间。期间，原书主审山东大学许延生教授英年早逝，让我们再次缅怀许延生教授。此次再版由西南交通大学禹华谦教授主审。

再版《桥涵水力水文》在保持第 1 版基本框架和主要优点的基础上，对部分内容进行了调整、改写和补充，使其更好地符合认知规律和便于教学。教材内容选择符合课程教学基本要求，并适当反映了桥涵水力水文学科的最新发展。教材编写思路清晰，理论、概念阐述正确，文笔流畅精炼，图表较为规范，特别注重理论与实际的结合，精选了大量的典型例题，配设了一定数量的概念题和计算题供教学选用，尤其增加了 Excel 在水文频率计算中的应用内容，使其更具实用性。该书可作为高等院校交通土建类专业的水力学及桥涵水文课程教材，也可供相关工程技术人员参考使用。

在该教材的再版中，孟彩侠老师对书中的符号、标注等进行了详细的校正，并补充和重编了部分内容和算例。同时，对在使用第一版《桥涵水力水文》中发现的一些编排上的不顺等问题，编者进行了一些调整，具体修改和更新的内容有：

（1）原版第五章第七节内容进行了局部调整。

（2）删除原版第七章第二节部分内容，在第一节中加入了“降水及其特征”；原版第七章第三节内容重新进行了调整，将“河川径流及其形成”单独作为新的第三节。

（3）原版第八章第一节与第十一章第一节内容进行了整合，作为新版的第八章第一节“水文资料的来源与审查”。

（4）原版第九章第三节“经验频率曲线”纳入第一节“水文统计的基本概念”，例题 9.1、9.4、9.7、9.8 频率曲线图重新绘制。

（5）原版第十章第一节“泄水建筑物下游消能计算”删除。

（6）原版第十一章第二、三节部分内容与原版第九章第六节有重复，因此重新进行了整合、修改，作为新版的第九章第六节“水文断面处设计流量的推算”。

（7）原版第十一章第七节作为新版第九章第七节，原版第十一章删除。

（8）原版增加了 Excel 在水文频率计算中的应用内容。

限于编者的水平，书中疏漏及不妥之处在所难免，真诚欢迎使用本书的师生及广大读者批评指正。

编 者

2011 年 8 月

前 言

人类进入 21 世纪,科学技术的迅猛发展给传统的修路架桥注入了越来越多的新理论、新技术、新工艺、新材料、新方法。改革开放以来,我国交通建设特别是公路工程建设规模史无前例,预计这种发展势头还将持续 20 年。

公路工程在规划、勘测、设计、营运过程中,经常遇到处理与水的关系的问题。如,公路跨越河流、溪沟而设置的桥梁和涵洞;为防护沿河路堤的冲刷而设置的调治构筑物;为保证桥涵安全使用而进行的墩台抗冲刷监控;为防止公路路基和路面结构受地表水和地下水的浸湿而设计的防排水结构等。了解和掌握水科学对公路工程的影响,对处理好水患非常重要。

“水力学”、“桥涵水文”原为高等学校道路、桥梁与隧道工程、交通工程等专业的专业技术基础课,两门课程相辅相成,在理论方面有着密切的关系。为满足高等院校课程体系教育教学改革的需要,对这两门课程实施内容整合、加强相互间的有机衔接,有利于提高学生综合解决实际问题的能力。

本书分三篇:第一篇主要介绍水力学的基础知识;第二篇主要介绍水文学的基础知识,学习水力学和水文学的基本概念、解决实际问题的基本方法和手段等;第三篇为水力学、水文学在公路桥涵工程中的具体应用,着重介绍泄水建筑物的消能、大中桥位布置方法、桥孔和桥面设计高程的确定、桥下冲刷计算以及调治构造物的选择等。为做到理论与实际相结合,全书尽量引用最新规范及参考文献,紧密跟踪桥涵水力水文学科的新发展。

本书由山东大学许延生教授主审。具体编写情况如下:

前言、第十一章、第十二章由王晓雯编写;第一章、第二章、第三章、第四章由杨斌编写;第五章、第六章、第十章由彭凯编写;第七章、第八章、第九章由徐芳编写。全书由杨斌、王晓雯统稿。

限于编者的水平,书中疏漏之处在所难免,敬请使用本书的师生及广大读者批评指正。

编 者

2004 年 4 月

目 录

第一篇 水力学基础

第一章 水力学基本知识	1
第一节 液体的主要物理性质	1
第二节 连续介质假说和理想液体概念	6
第三节 作用于液体上的力	6
习 题	7
第二章 水静力学	9
第一节 静水压强及其特性	9
第二节 液体平衡微分方程	11
第三节 重力作用下水静力学基本方程	14
第四节 作用在平面壁上的静水总压力	19
第五节 作用在曲面壁上的静水总压力	24
习 题	26
第三章 水动力学基础	29
第一节 液体运动的基本概念	29
第二节 恒定流连续性方程	33
第三节 恒定流元流能量方程	34
第四节 实际液体恒定总流能量方程	36
第五节 恒定总流动量方程	43
习 题	46
第四章 液流形态及水头损失	49
第一节 水流阻力与水头损失	49
第二节 液体流动的两种形态	49
第三节 沿程水头损失计算	52
第四节 圆管中的层流运动	54
第五节 紊流特征	56
第六节 紊流沿程阻力系数	60
第七节 局部水头损失	67
习 题	73

第五章 明渠水流	76
第一节 明渠均匀流的特征及基本公式	77
第二节 明渠水力最佳断面及允许流速	78
第三节 明渠均匀流的水力计算基本问题	81
第四节 明渠恒定非均匀流现象	85
第五节 明渠流干扰微波传播特性及水流状态	87
第六节 断面比能、临界水深与临界底坡	88
第七节 明渠急变流	93
第八节 明渠恒定渐变流基本微分方程	98
第九节 棱柱形渠道恒定渐变流水面曲线定性分析	99
第十节 明渠恒定渐变流水面曲线计算	104
习 题	107
第六章 渗 流	109
第一节 渗流达西定律	109
第二节 集水廊道渗流计算	113
第三节 单井渗流	115
习 题	117

第二篇 水文学基础

第七章 水文学基本知识	118
第一节 自然界的水文循环与水量平衡	118
第二节 河流和流域	121
第三节 河川径流及其形成	127
第四节 泥沙运动与河床演变	132
习 题	136
第八章 水文资料的搜集与整理	137
第一节 水文资料的来源与审查	137
第二节 水文测验	138
第三节 水文调查与勘测	145
习 题	153
第九章 设计流量的推算	155
第一节 河川水文现象的特性与分析方法	155
第二节 水文统计的基本概念	156
第三节 统计参数	165
第四节 理论频率曲线	170

第五节 相关分析及其应用	185
第六节 水文断面处设计流量的推算	192
第七节 桥位断面处设计流量、设计水位的推算	221
习 题	222

第三篇 桥涵位处水力水文计算

第十章 堰流及小桥孔径计算	224
第一节 堰流的类型及流量公式	224
第二节 宽顶堰的水力计算	226
第三节 小桥孔径的水力计算	229
习 题	231
第十一章 大中桥桥位设计	233
第一节 桥位选择和桥位调查	233
第二节 桥孔长度和桥孔布设	236
第三节 桥面中心和引道路堤最低设计高程	239
第四节 桥梁墩台冲刷计算	253
第五节 调治工程	269
习 题	274
附: Excel 在水文频率计算中的应用	276
参考文献	291

第一篇 水力学基础

第一章 水力学基本知识

第一节 液体的主要物理性质

外因是变化的条件，内因是变化的根据。液体受力作机械运动，一方面与作用于液体上的外部因素和条件有关，但更主要的是决定于液体本身的内在物理性质，所以在研究液体运动规律之前，需了解液体的物理性质。

一、惯性

液体与其他物体一样，具有维持它原有运动状态的特性，这种特性称为液体的惯性。表征惯性的物理量是质量，质量越大，运动状态越难改变，因而惯性越大。液体的质量常以密度来度量，单位体积内所含液体的质量称为液体的密度，常用符号 ρ 来表示。对于均质液体，设其体积为 V ，质量为 m ，则

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

当液体受外力作用使运动状态发生改变时，由于液体的惯性引起对外界抵抗的反作用力称为惯性力，常用 F 表示：

$$F = -ma$$

式中，负号表示惯性力的方向与物体的加速度 a 方向相反。

二、重力特性

液体要受到地球引力的作用而具有重力（重量）的这种特性叫重力特性。质量为 M 的液体，其所受的重力大小为

$$G = Mg \quad (1.2)$$

单位体积内液体所具有的重量称为该液体的容重（重度），常以符号 γ 来表示。对于重量为 G ，体积为 V 的均质液体，其容重为

$$\gamma = \frac{G}{V} \tag{1.3}$$

则

$$\gamma = \rho g \tag{1.4}$$

液体的密度和容重随温度和压强而变化，但这种变化很小，所以在工程应用中常把水的密度和容重视为常数。采用一个标准大气压、温度为 4℃ 时的蒸馏水密度和容重来计算，此时 ρ 为 1 000 kg/m³， γ 为 9 800 N/m³。

水在不同温度时的容重值见表 1.1 所列，几种常见液体的容重值见表 1.2 所列。

每一个物理量都包含有量的数值及量的种类，量的种类习惯上称为量纲。每个物理量只有一个量纲，一般用[F]、[M]、[L]、[T]表示力、质量、长度、时间的量纲。因此，密度的量纲为[M/L³]，容重的量纲为[F/L³]。

表 1.1 不同温度下纯水的物理特征

t /°C	γ /(kN/m ³)	ρ /(kg/m ³)	$\mu \times 10^3$ /Pa·s	$\nu \times 10^6$ /(m ² /s)	σ /(N/m)	$K \times 10^{-6}$ /(kN/m ²)
0	9.805	999.9	1.781	1.785	0.075 6	2.02
4	9.800	1000.0	1.567	1.567	—	—
10	9.804	999.7	1.307	1.306	0.074 2	2.1
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.073 5	2.15
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.072 8	2.18
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.072 0	2.22
30	9.746	995.7	0.798	0.800	0.071 2	2.25
40	9.730	992.2	0.653	0.658	0.069 6	2.28
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.067 9	2.29
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.066 2	2.28
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.064 4	2.25
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.062 6	2.20
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.060 8	2.14
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.058 9	2.07

注： t —水温； γ —重度； ρ —密度； μ —动力黏度； ν —运动黏度； σ —表面张力； K —体积弹性模量。

表 1.2 几种常见液体的容重

名 称	空 气	水 银	汽 油	酒 精	四氯化碳	海 水
$t/^\circ\text{C}$	20	0	15	15	20	15
$\gamma/(\text{kN/m}^3)$	0.011 82	133.28	6.664 ~ 7.35	7.778 3	15.6	9.996 ~ 10.084

三、黏滞性

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黏滞性,此内摩擦力称为黏滞力。黏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并消耗液体内部的机械能,所以黏滞性是造成液体在流动过程中能量损失的根源之一。

如图 1.1 所示,液体沿着一个固体平面壁作平行直线运动,且液体质点有规则地一层一层向前运动而互不混渗。由于液体具有黏滞性,靠近壁面的流速较小,远离壁面处流速较大,各个不同流层的流速大小是不相同的。由于两相邻流层的流速不同(即存在相对运动),流层间便产生了内摩擦力,由实验知,内摩擦力 F 的大小与下列因素有关:

(1) 与两流层间速度差 du 成正比,与两流层间距离 dy 成反比;

(2) 与流层间接触面积 A 的大小成正比;

(3) 与液体种类、性质有关。

可将实验结果写成如下表达式:

$$F = A \cdot \mu \frac{du}{dy}$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.5)$$

式中 μ ——动力黏滞系数 ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$), 与液体的性质有关;

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度 ($1/\text{s}$)。

式 (1.5) 即为著名的牛顿内摩擦定律,它可表述为:作层流运动的液体,相邻液层间单位面积上所作用的内摩擦力(或黏滞力),与流速梯度成正比,同时与液体的性质有关。

一般情况下,流速分布不是呈直线的,但当流动的液体厚度很薄时,可以把液体内部的流速分布看作为直线分布,此时黏滞力沿 y 轴是均匀分布的。黏滞力的计算公式可写成

$$\tau = \mu \frac{u}{H}$$

式中 u ——液体表面与底面的流速差 (m/s);

H ——液体的厚度 (m)。

液体的黏滞性还可以用运动黏滞系数 ν 来表示,它为动力黏滞系数与液体密度的比值:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.6)$$

式中 ν ——运动黏滞系数 (m^2/s)。

对于同一种液体, μ 或 ν 值均随温度和压力而异,但随压力变化甚微,对温度变化较为敏感。水的 ν 可按下列经验公式计算:

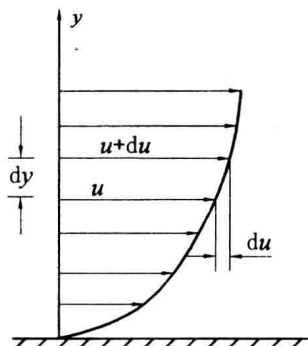


图 1.1 液体的黏滞性

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1.7)$$

式中 t ——水温 ($^{\circ}\text{C}$);

ν ——运动黏滞系数 (cm^2/s)。表 1.1 也列出了不同温度时水的 ν 值。

在习惯上,把符合牛顿内摩擦定律的流体称为牛顿流体,否则称其为非牛顿流体。一些多分子结构液体,如水、酒精、苯、油类、水银和气体等都属于牛顿流体;而泥浆、血浆、牛奶、尼龙和橡胶的溶液、颜料、油漆以及生面团、淀粉糊等均属非牛顿流体。

【例 1.1】如图 1.2 所示,边长为 0.4 m 的正方形物体,重 $W = 534 \text{ N}$,沿一与水平面成 $\theta = 30^{\circ}$ 夹角并涂有润滑油的斜面下滑,速度 $v = 0.8 \text{ m/s}$,油的动力黏滞系数为 $0.14 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$,求油膜厚度 y 。

解 促使物体作下滑运动的动力是重力在运动方向的分力,即

$$F' = W \sin 30^{\circ}$$

另一方面,物体下滑引起的切向阻力

$$F = \mu A \frac{du}{dy}$$

由于油膜很薄, $\frac{du}{dy}$ 可按线性分布计算,即

$$\frac{du}{dy} = \frac{v}{y}$$

根据平衡条件,运动方向的分力应等于切向阻力, $F' = F$, 即

$$\mu A \frac{v}{y} = W \sin 30^{\circ}$$

代入已知条件,变换得

$$y = \mu A v / W \sin 30^{\circ} = 0.14 \times 0.4^2 \times 0.8 / 534 \times \sin 30^{\circ} = 0.067 \quad (\text{mm})$$

四、压缩性

液体不能承受拉力,但可以承受压力。液体受压缩后体积缩小、密度增加,同时液体内部会产生压应力以抵抗压缩变形,这种性质称为液体的压缩性;压力解除后又能消除变形、恢复原状,这种性质称为液体的弹性。

液体的压缩性和弹性,可分别用液体压缩系数 β 和弹性系数 K 来表示。压缩系数是液体体积的相对缩小值 $\frac{dV}{V}$ 与压力的增值 dP 之比;弹性系数是压缩系数的倒数,两者可分别表示为

$$\beta = -\frac{\frac{dV}{V}}{dP} \quad (1.8)$$

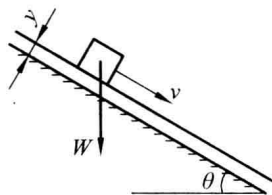


图 1.2 例 1.1 图

$$K = \frac{1}{\beta} = - \frac{dP}{\frac{dV}{V}} \quad (1.9)$$

式中, 负号表示体积随压强的增加而减小, dV 和 dP 的符号始终相反, 故加一个负号以保持 β 为正数。 β 的单位: m^2/N ; K 的单位: N/m^2 , K 值越大, 表示液体越不容易压缩。

液体种类不同, 其 β 或 K 值不相同, 但它们随温度和压强的变化而变化, 但这种变化甚微, 一般可视为常数。

在通常温度和压力下, 水的弹性系数可近似地采用 $2.0 \times 10^6 \text{ kN}/\text{m}^2$ (见表 1.1), 也就是说每增加一个大气压, 水的体积仅相对缩小两万分之一。因此, 除了一些特殊的水力现象 (如水击、水中爆炸等), 在绝大多数的实际工程中, 均可把水视为不可压缩液体。

五、表面张力

与固体壁面相接触的液体自由表面, 由于两侧分子引力不平衡, 使液体分子受到极其微小的拉力, 这种拉力称为表面张力。表面张力是液体的特有性质, 表面张力不仅在液体与气体接触面上产生, 而且在液体与固体、液体与液体间的接触面上也产生。但表面张力仅在液体表面存在, 液体内部并不存在, 所以它是一种局部的受力现象。

表面张力常用表面张力系数 σ 来度量。表面张力系数是指在自由面上单位长度的表面张力, 单位为 N/m 。 σ 的大小随液体种类和温度而变化, 对于 20°C 的水, $\sigma = 0.0728 \text{ N}/\text{m}$ (参见表 1.1); 对于水银, $\sigma = 0.54 \text{ N}/\text{m}$ 。

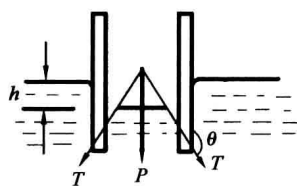
由于表面张力很小, 一般不对液体宏观运动产生作用, 因此常可忽略不计, 但对于一些实验装置则不可忽略它。在水力学实验中, 经常使用盛有水或水银的细玻璃管做测压管, 由于表面张力的影响, 玻璃管中液面和与之连通容器中的液面不在同一水平面上, 如图 1.3 所示, 这就是物理学中所指的毛细管现象。实验得出, 对于 20°C 的水和水银, 测压管内外的液面差分别为

$$\text{水} \quad h' = \frac{29.8}{d}$$

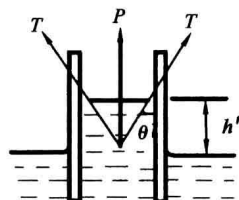
$$\text{水银} \quad h = \frac{10.15}{d}$$

式中 d ——管径 (mm);

h, h' ——管内、外液面高差 (mm)。



(a) 水银



(b) 水

图 1.3 表面张力示意图

由此可见,管径越小,测压管内的高差值就越大,毛细现象就越明显。为避免出现较大的测量误差,实验用的测压管内径不宜过小,通常应选用直径不小于 10 mm 的玻璃管。

第二节 连续介质假说和理想液体概念

一、连续介质假说

自然界中的物质一般有三种存在形式,即固体、液体和气体。液体和气体统称为流体。由于固体分子间距很小,内聚力大,所以它能保持固定的形状和体积;流体由于分子间距较大,内聚力很小,几乎不能抵抗任何拉力,所以流体不能保持固定的形状。液体与气体相比,液体分子内聚力、密度却又比气体大得多,分子间距离相对较小,所以液体虽然不能保持固定的形状,但能保持比较固定的体积。

水力学在研究液体运动时,只研究由于外力作用产生的机械运动,不研究液体内部的分子运动,也就是说只研究液体的宏观运动,不研究其微观运动,这是因为分子间空隙的距离与生产上需要我们研究的液流尺度相比,是极其微小的。例如,在标准状态下的每立方厘米水中约有 3.34×10^{22} 个水分子,相邻分子间平均距离约为 3×10^{-8} cm。

基于以上原因,在水力学中引入了连续介质假说这一概念,即假设液体是一种连续充满其所占据空间毫无空隙的连续体,水力学所研究的液体运动是连续介质的连续运动。有了连续介质假说,在研究液体宏观运动时,就可以将液体看做连续体,则液体中的一切物理量(如速度、压强、密度等)都可以视为空间坐标和时间的连续函数,这样在研究液体运动规律时,就可以利用连续函数的分析方法。长期的生产和科学试验证明:利用连续介质假说所得出的有关液体运动规律的基本理论是十分符合客观实际的。

二、理想液体概念

实际液体除具有惯性、重力特性之外,还存在着黏滞性、可压缩性和表面张力,这些特性均会对液体运动产生不同程度的影响。而对大多数实际工程,考虑液体的黏滞性后,将使液体运动的理论分析变得十分复杂,因此为使分析简化,在水力学中引入了理想液体的概念,即假定水是不可压缩、没有黏滞性、没有表面张力的连续介质。所以,按照理想液体所得出的液体运动结论,应用到实际液体时,必须通过实验对没有考虑黏性所引起的偏差进行修正。这也是水力学研究的基本方法。

第三节 作用于液体上的力

要研究液体的运动,应首先研究作用于液体上的力。从力的物理性质来看,有重力、惯性力、黏滞力、弹性力、摩擦力、表面张力等;按力的作用特点分,有表面力和质量力两大类。

一、表面力

作用于液体表面,并与受力作用的表面面积成正比的力称为表面力。表面力又可分解为

与作用面垂直和与作用面平行的两个分力,前者为压应力(压强),后者为切应力。

根据液体的连续介质假说,无论是压应力还是切应力,都是连续分布在液体表面的,即均为连续可微函数。设液体的受力面积为 ΔA ,所受的压力为 ΔP 、切力为 ΔT ,则其压应力 p 和切应力 τ 可用下式表示:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA} \quad (1.10)$$

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta A} = \frac{dT}{dA} \quad (1.11)$$

式中,压应力和切应力的单位均为 N/m^2 或 kN/m^2 , N/m^2 亦称帕斯卡,简称帕(Pa), kN/m^2 简称千帕(kPa)。

二、质量力

作用于每个液体质点并与液体质量成正比的力称为质量力。在均质液体中,质量与体积成正比,故质量力又称体积力。常见的重力和惯性力皆属于质量力。

单位质量液体所受的质量力为单位质量力。设均质液体的质量为 m ,所受的总质量力为 F ,则单位质量力 f 为

$$f = \frac{F}{m} \quad (1.12)$$

设 F 在三个坐标轴方向的分力为 F_x 、 F_y 、 F_z ,则有

$$F = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k}$$

各项除以 m :

$$\frac{F}{m} = \frac{F_x}{m} \mathbf{i} + \frac{F_y}{m} \mathbf{j} + \frac{F_z}{m} \mathbf{k}$$

则有

$$f = X\mathbf{i} + Y\mathbf{j} + Z\mathbf{k} \quad (1.13)$$

式中 X , Y , Z ——单位质量力在三个坐标轴上的分量。

单位质量力的单位与加速度相同,对于只有重力作用的液体,单位质量力在各坐标轴上的分力为: $X = Y = 0$, $Z = -g$ 。

习 题

1.1 设水温为 30°C ,试求 0.001 m^3 水的质量和重力。

1.2 已知 0.5 m^3 水银的质量为 6795 kg ,求其密度和重度。

1.3 水温从 4°C 增高到 100°C ,水的体积将比原有体积增加百分之几?

1.4 体积为 5 m^3 的水,在温度不变的条件下,压强从1个大气压强(即 $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$)增加到5个大气压强,体积减小了 0.001 m^3 ,求水的体积压缩系数 β 和体积弹性系数 K 。

1.5 设水的容重 $\gamma = 9.71 \text{ kN/m}^3$, 动力黏滞系数 $\mu = 0.599 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 求其运动黏滞系数。

1.6 已知圆管中的流速分布公式为

$$u = C \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

求管中切应力 τ 的分布公式。

1.7 极薄平板长 $L = 3 \text{ m}$, 宽 $b = 1 \text{ m}$, 漂于流动的水面 (见图 1.4), 设板面附近的水流速度沿平板法线方向的分布按 $u = 200h - 2500h^2$ 变化。式中 h 是水深, 适用于 $h = 0 \sim 0.4 \text{ m}$ 。求水温 $t = 15^\circ\text{C}$ 时, 薄板表面所受的切力。

1.8 上下两平行圆盘 (见图 1.5), 直径均为 d , 间隙厚度为 δ , 间隙中液体的动力黏滞系数为 μ , 若下盘固定不动, 上盘以角速度 ω 旋转, 求所需力矩 T 的表达式。

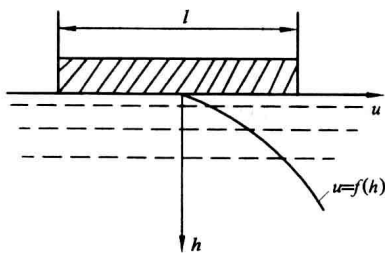


图 1.4 习题 1.7 图

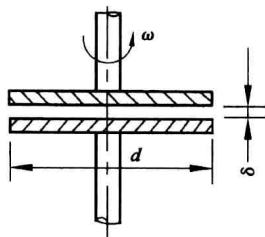


图 1.5 习题 1.8 图

1.9 设套筒的内径 $D = 12 \text{ cm}$ (见图 1.6), 活塞外径 $d = 11.96 \text{ cm}$, 活塞长度 $l = 14 \text{ cm}$, 润滑油的动力黏滞系数 $\mu = 0.172 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 需对活塞施加多大的力 F , 才能使活塞以 1 m/s 的速度作匀速运动?

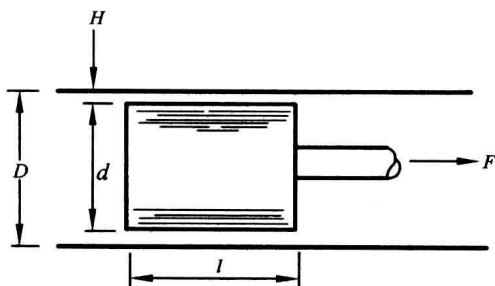


图 1.6 习题 1.9 图

第二章 水静力学

水静力学的任务是研究液体平衡的规律及其实际应用。

液体的平衡状态有两种：一种是相对于地球没有运动的静止状态；一种是相对静止状态，即液体对于容器或者液体质点之间没有相对运动。处于相对静止或相对平衡的液体，可以整体相对于地球有运动，如沿直线作等加速运动或以等角速旋转运动的容器内的液体。

处于平衡状态的液体，其黏滞性不起作用，切向力等于零，实际液体和理想液体没有区别。所以，水静力学中所得出的结论，无论对实际液体还是理想液体都是适用的。

第一节 静水压强及其特性

一、静水压强的概念

在静止液体中任取一脱离体，如图 2.1 所示。设脱离体表面有一微小面积 ΔA ，作用在该微小面积 ΔA 上的水压力为 ΔP ，则 ΔA 面上单位面积所受的平均静水压强为

$$\bar{p} = \frac{\Delta P}{\Delta A}$$

根据极限的定义，当 ΔA 无限缩小趋于 K 点时， K 点的静水压强为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA} \quad (2.1)$$

由式 (1.10) 可知，静水压强即为压应力，其单位与压应力或切应力的单位相同。

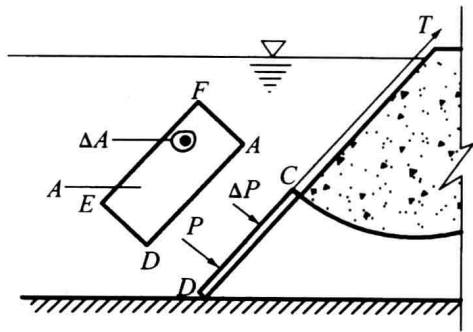


图 2.1 静水压强图示

二、静水压强的特性

静水压强有两个重要的特性：

1. 静水压强与作用面垂直

液体在切应力作用下会产生变形，从而引起液体质点间的相对运动，破坏液体的平衡。因此液体处于平衡状态时，切应力等于零。考虑到液体也不能承受拉力，所以静水压强只能垂直指向其作用面。