



交通土建高职高专统编教材

Qiaohan  
Shuili Shuiwen

# 桥涵水力水文

(第二版)

舒国明 主编  
高冬光 [长安大学] 主审



人民交通出版社  
China Communications Press

交通土建高职高专统编教材

# 桥涵水力水文

Qiaohan Shuili Shuiwen

(第二版)

舒国明 主编

高冬光[长安大学] 主审



人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为交通土建高职高专统编教材。全书包括水力学、桥涵水文与小桥涵孔径选择等内容。主要叙述水静力学、水动力学基础、明渠均匀流、明渠非均匀流、河流基本知识、水文调查、大中桥和小桥涵设计流量确定,大中桥桥孔和桥面标高、桥下冲刷、小桥涵孔径等,并附有复习思考题、习题。

本书可作为交通高等职业技术教育道路与桥梁工程技术专业及工程监理等交通土建类专业教材,也可供从事公路桥涵设计、施工、工程监理工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

桥涵水力水文/舒国明主编. —2版. —北京:人民交通出版社,2005.7

交通土建高职高专统编教材  
ISBN 7-114-05638-9

I.桥... II.舒... III.①桥涵工程-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.U442.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第072962号

书 名: 交通土建高职高专统编教材  
桥涵水力水文(第二版)  
著 者: 舒国明  
责任编辑: 卢仲贤 王 霞  
出版发行: 人民交通出版社  
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号  
网 址: <http://www.cpress.com.cn>  
销售电话: (010)85285656,85285838,85285995  
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司  
经 销: 各地新华书店  
印 刷: 北京凯通印刷厂  
开 本: 787×1092 1/16  
印 张: 12.5  
插 页: 2  
字 数: 304千  
版 次: 2002年8月 第1版  
2005年7月 第2版  
印 次: 2005年8月 第2版 第2次印刷 总第8次印刷  
印 数: 28001~31000册  
书 号: ISBN 7-114-05638-9  
定 价: 23.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 第一版前言

高等职业技术教育培养的是面向生产和管理第一线的应用型技术人才。如何培养适应社会需要的理论功底扎实、实践动手能力强、具有较强创新意识、适应岗位工作快的高素质实用型人才是职业技术教育的重要任务。为了满足高等职业教育发展的需要,根据全国路桥工程学科委员会高职教材联络组 2001 年 7 月昆明会议决议,按照《交通高等职业技术教育路桥专业课程设置框架》的要求组织编写了本教材。本书注意到高等职业教育的特点,内容以“实用、实际、实效、为原则,同时紧密跟踪桥涵水力水文学科的新发展,紧贴以新版的《公路工程水文勘测设计规范》(JTJ 062—2002)为主体的现行有关标准规范,也充分考虑到结合教学规律,力求做到理论与实践并重,以有利于学生综合素质的提高。

本书由安徽交通职业技术学院俞高明主编,河北交通职业技术学院舒国明副主编,贵州交通职业技术学院张润虎主审。具体编写情况如下:绪论第一节和第五、六、七章由安徽交通职业技术学院俞高明编写;绪论第二节和第一章第二节由安徽交通职业技术学院谢查俊编写;第一章第一、三节、第二章第三、四、五节、第三、四章、第十三章由安徽交通职业技术学院徐炬平编写;第二章第一、二节和第八、九、十、十一、十二章及附录由河北交通职业技术学院舒国明编写。

本书于 2002 年 7 月 3 日至 8 日在安徽合肥审稿会上审定。参加审稿会的有贵州交通职业技术学院张润虎,安徽交通职业技术学院俞高明、徐炬平,河北交通职业技术学院舒国明,人民交通出版社王霞、卢仲贤等。

在编写和审稿过程中,得到了安徽路桥总公司和全国各交通职业技术学院的大力支持;在此,一并深表谢意。

由于编者的水平有限,加上时间紧迫,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正,以便再版时修改。

编 者  
2002 年 7 月

# 目 录

<b>第一章 水静力学</b> .....	1
第一节 静水压强及分布规律.....	1
第二节 静水总压力计算.....	5
复习思考题.....	9
习题.....	9
<b>第二章 水动力学基础</b> .....	11
第一节 概述.....	11
第二节 恒定流的连续性方程.....	13
第三节 恒定流的能量方程.....	14
第四节 恒定流的动量方程.....	21
复习思考题.....	24
习题.....	25
<b>第三章 明渠均匀流</b> .....	26
第一节 明渠均匀流的水力特性和基本公式.....	26
第二节 明渠水力计算.....	32
复习思考题.....	34
习题.....	34
<b>第四章 明渠非均匀流</b> .....	35
第一节 断面比能及临界水深.....	35
第二节 非均匀流方程及水面曲线的定性分析.....	38
第三节 水面曲线的计算与绘制.....	42
第四节 水跌与水跃.....	43
复习思考题.....	45
习题.....	46
<b>第五章 河流基本知识</b> .....	47
第一节 地面径流.....	47
第二节 河段分类.....	51
第三节 泥沙运动.....	54
复习思考题.....	56
<b>第六章 水文调查</b> .....	57
第一节 河床断面测量和水文观测.....	57
第二节 水文调查.....	61
第三节 流量观测、流量计算.....	65
复习思考题.....	68
习题.....	68
<b>第七章 水文基础</b> .....	69
第一节 水文统计基本知识.....	69

第二节	经验频率曲线 .....	71
第三节	理论频率曲线 .....	74
	复习思考题 .....	89
	习题 .....	89
<b>第八章</b>	<b>大中桥设计流量推算 .....</b>	<b>90</b>
第一节	资料的准备和分类 .....	90
第二节	有观测资料时规定频率流量计算 .....	91
第三节	缺乏观测资料的规定频率流量推算 .....	98
第四节	不同断面流量间的关系 .....	100
	复习思考题 .....	102
	习题 .....	102
<b>第九章</b>	<b>小桥涵设计流量推算 .....</b>	<b>103</b>
第一节	形态调查法 .....	103
第二节	暴雨推理法 .....	109
第三节	直接类比法 .....	118
第四节	小桥涵位设计流量的推算和各种计算方法的比较 .....	129
	复习思考题 .....	131
	习题 .....	131
<b>第十章</b>	<b>大中桥桥孔与桥面标高 .....</b>	<b>132</b>
第一节	桥位选择和桥位调查 .....	132
第二节	桥孔长度和桥孔布设 .....	133
第三节	桥面中心和引道路堤最低设计标高的确定 .....	136
	复习思考题 .....	150
	习题 .....	150
<b>第十一章</b>	<b>桥下冲刷 .....</b>	<b>151</b>
第一节	桥下一般冲刷 .....	151
第二节	桥墩局部冲刷 .....	155
第三节	确定墩台基底最浅埋置深度 .....	159
第四节	调治工程 .....	165
	复习思考题 .....	166
	习题 .....	167
<b>第十二章</b>	<b>小桥涵孔径 .....</b>	<b>168</b>
第一节	小桥孔径计算 .....	168
第二节	涵洞孔径计算 .....	177
	复习思考题 .....	182
	习题 .....	182
<b>附录</b>	.....	184
<b>附:教学参考意见</b>	.....	185
<b>参考文献</b>	.....	187

# 第一章 水静力学

水静力学(hydrostatics)是研究液体处于静止状态下的力学平衡规律及其应用。处于静止状态下的液体与固体边壁之间不存在相对运动,不产生粘滞切应力,所以静止液体所受的力是边壁压应力和质量力(主要是重力)。

水静力学是水力学的基础,它总结的规律,可用于整个水力学中,同时可在水工建筑物计算中直接应用。

本章主要讨论静水压强的特性,建立静水压强方程,进而研究静水压强的分布规律,进行静水总压力计算。

## 第一节 静水压强及分布规律

### 一、静水压强及其特性

#### 1. 静水压强的垂直性

为了方便分析,我们用任意曲面  $ab$  将容器内液体分割为上下两部分(图 1-1a),取出脱离体如图 1-1b),分析  $ab$  曲面受力。

因为上下两部分液体没有相对运动,其层间粘滞力为 0,层间不存在切应力,而且,液体不能承受拉力,因此,曲面只存在沿着内法线方向的压力,我们定义为静水压力。

我们在曲面上任取微小面积  $\Delta A$ ,沿内法线方向作用静水压力  $\Delta P$ ,那么该区域内的平均静水压力为  $\frac{\Delta P}{\Delta A}$ 。当区域无限小时,可以认为是一点的静水压强  $p$ 。

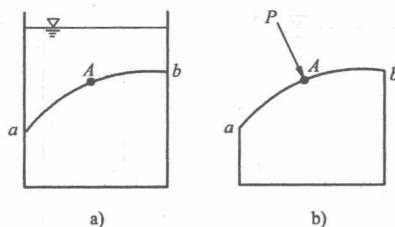


图 1-1

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

从上分析得出:静水压强总是沿着作用面的内法线方向,这就是静水压强的垂直性特征。

#### 2. 静水压强的等值性

任一点静水压强的大小与受压面方向无关,这就是静水压强的等值性。如图 1-2 所示,假设静止水体中存在一微小六面体,若该六面体各方向受到的压力大小不相等,则六面体将发生移动,这与静水前提相矛盾,所以作用于六面体各方向静水压强大小相等。下面通过一个例子说明该特性含义。如图 1-3 所示,平衡液体中有一垂直平板  $AB$ ,设平板上  $C$  点的静水压强为  $p_c$ , $p_c$  垂直并指向受压面  $AB$ 。假定  $C$  点位置固定不动,平板  $AB$  绕  $C$  点转动变成图 1-3b)的情况。 $AB$  改变方位前后,作用在  $C$  点的静水压强大小仍然保持不变。

静水压强的垂直性和等值性两个特性,对于分析静水压强的分布规律和计算静水总压力具有重要意义。

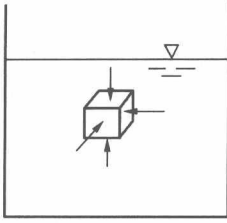


图 1-2

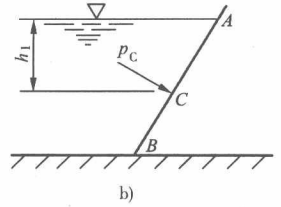
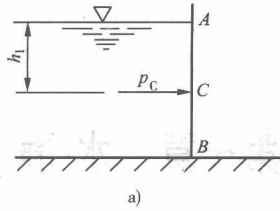


图 1-3

## 二、静水压强公式及等压面

从中学物理中可知液体中任一点  $M$  (如图 1-4 所示) 的压强为:

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-2)$$

式中:  $p_0$ ——液面压强;

$\gamma$ ——液体容重;

$h$ ——液面到  $M$  点铅垂距离。

液体中压强相等的各点所构成的曲面称为等压面。例如:液体自由表面即为等压面,其压强为大气压。对于重力液体等压面有:同种液体,同一高程(或水平面)压强相同,两点间压差看高差。如图 1-5a)所示,1—1 为等压面;1-5b)图中 1—1 不是等压面,2—2 为等压面。

注意等压面概念使用时必须是相连的同种液体。如图 1-5c)所示,图中 3—3、4—4 都不是等压面。

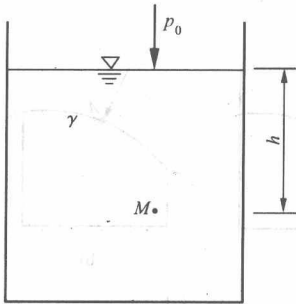


图 1-4

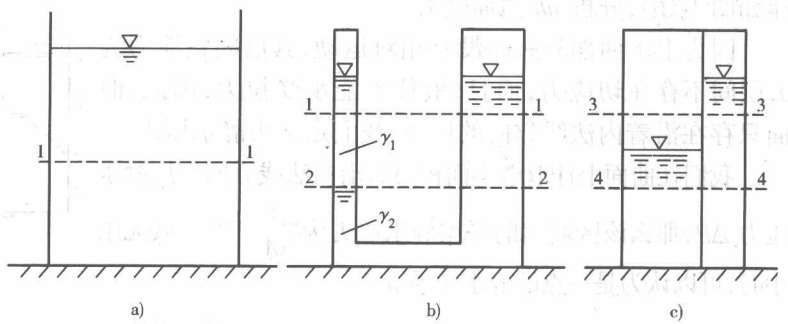


图 1-5

## 三、静水力学基本方程

液体同其他静止物质一样,具有一定势能。其势能可分为位置势能和压力势能。如图 1-6 中所示,假定  $M$  点存在一单位重力液体,其位置势能为  $z$ ,其压力势能为  $\frac{p}{\gamma}$ ,那么其总势能为:

$$C = z + \frac{p}{\gamma} \quad (1-3)$$

这就是静水力学基本方程。其中各项具有长度单位,在几何上各项均为一段铅垂高度。在水力学上“高度”习惯称为“水头”。

其中:

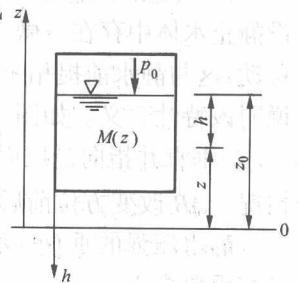


图 1-6



$$p = p_0 + \gamma h$$

所以

$$C = z + \frac{p_0}{\gamma} + h$$

从图中可以看出同一液面  $p_0$  为一定值,  $z + h$  为液面到基准面的高差。所以静止液体中各点位置高度与压强高度之和  $C$  不变。位置高度小处, 压强高度大; 位置高度大处, 压强高度小。

#### 四、绝对压强与相对压强及其测定方法

在实际计算中, 不同情况下采用不同的基准面来度量压强, 即绝对压强与相对压强。

##### 1. 绝对压强

以设想没有大气存在的绝对真空状态为零点计量的压强, 称为绝对压强, 以  $p'$  表示。

##### 2. 相对压强

相对压强是以当地大气压作为零点计量的压强, 用  $p$  表示, 其数值可正可负。地球表面大气压因海拔高度及纬度差异而不同。在国际单位制中, 确定 98223.4Pa 为一个大气压。工程上习惯用 98kPa 作为大气压强, 称工程大气压, 以  $p_a$  表示。相对压强与绝对压强的关系可表示为

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

如果液体中某点的绝对压强  $p'$  小于当地大气压强  $p_a$ , 或者说相对压强为负值, 就称该点出现了真空。把大气压强与该点绝对压强的差值称为真空值, 以  $p_v$  表示, 即

$$p_v = p_a - p' \quad (1-5)$$

由式(1-4)、式(1-5)可以分析得知: 真空值与相对压强的绝对值相等; 真空值越大, 意味着绝对压强越小。图 1-7 描绘了绝对压强、相对压强及真空值的关系。

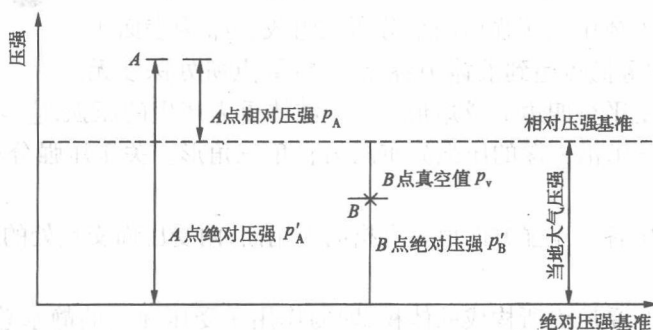


图 1-7

##### 3. 压强的单位

水力学中, 压强的单位除了常用的应力单位 (Pa) 外, 还有另外两种表达形式: 液柱高度和工程大气压<sup>①</sup>。

在我们对基本方程进行分析时, 曾得出压强的长度意义, 即  $\frac{p}{\gamma}$  的单位是 m 液柱。  $\gamma$  是水

<sup>①</sup> 法定单位制中, 均属已废除单位, 为便于新旧单位换算, 故列之。

的压强,压强的单位就是 m 水柱,是汞则为 m 汞柱。

工程上为了方便,还常用“工程大气压”(即  $98\text{kN/m}^2$ )作为计量单位。这些单位之间的关系是:

$$1 \text{ 工程大气压} = 76\text{cm 汞柱} = 10\text{m 水柱} = 98\text{kPa}$$

#### 4. 常用压强的测量

利用水静力学原理测量液体(或气体)的方式,主要有以下几种:

1)测压管:它是直接用同种液体的液柱高度来测量液体压强的仪器,如图 1-8 中 A 点测压管所示。依据静水压强基本方程,A 点的相对压强为:

$$p_A = \gamma h \quad (1-6)$$

只需量出测压管高度就可得出测量点静水压强的数值。但当压强大于  $20\text{kPa}$  时,测压管水柱将达到  $2\text{m}$ ,使用不方便。这时可用 U 形水银测压计。

2)U 形水银测压计:如图 1-8 中的 B 点测压管所示,这个弯管就是 U 形水银测压计。它是根据连通器原理,确定等压面  $N-N$ 。设水银容重为  $\gamma'$ ,按照水静力学基本方程,可求得 B 点的压强:

$$p_B = p_N - \gamma h_1 = \gamma' h_2 - \gamma h_1 \quad (1-7)$$

U 形水银测压计是常用的压强测量装置,比压计也是利用相同的原理。

#### 5. 压强图示

水静力学基本方程的几何表示,即用线段长度表示各点压强大小,用箭头表示压强的方向,如此绘成的压强分布图形,称为压强分布图。按公式(1-2)有:

$$P = p_0 + \gamma h = p_0 + p$$

$$p = \gamma h$$

由此可知,静止液体中的压强由两部分压强组成。 $p_0$  为表面压强,按帕斯卡原理,它等值传递到液体中各点,与计算点所处深度无关,其压强分布图形是平行四边形或矩形。 $p$  为液体重力产生的压强,它与水深呈线性关系,自由表面处  $h=0, p=0$ ,沿水深的压强分布图为直角三角形。关于压强分布图的绘制与应用要点有:

(1)压强分布图中各点压强方向恒垂直指向作用面,两受压面交点处的压强具有各向等值性。

(2)压强分布图与受压面所构成的体积,即为作用于受压面上的静水总压力,其作用线通过此力图体积的重心。压强分布图可叠加。

(3)由于建筑物通常都处于大气之中,作用于建筑物的有效力为相对压强,故一般只需绘制相对压强分布图。

(4)工程应用中可绘制建筑物有关受压部分的压强分布图。

压强分布图直观明了,有助于分析计算。现列举几种压强分布以作示例,如图 1-9 所示。

**例 1-1** 设自由表面处压强  $p_0 = p_a$ ,求淡水自由表面下  $2\text{m}$  深度处的绝对压强和相对压强,并用三种压强单位表示。

**解:**1. 绝对压强  $p'$

$$p' = p_0 + \gamma h = 98 + 9.8 \times 2 = 117.6\text{kPa}$$

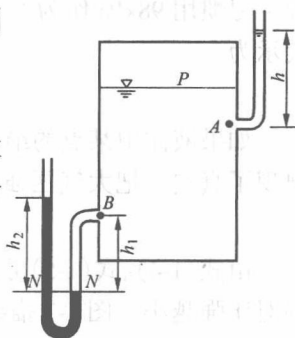


图 1-8

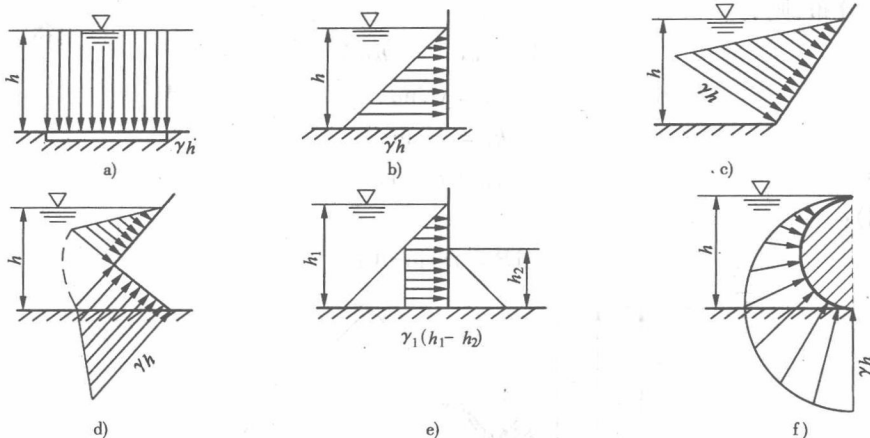


图 1-9

$$\frac{p'}{\gamma} = \frac{117.6}{9.8} = 12\text{m(水柱)}$$

## 2. 相对压强 $p$

$$p = \gamma h = 9.8 \times 2 = 19.6\text{kN/m}^2 = 19.6\text{kPa}$$

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{\gamma h}{\gamma} = h = 2\text{m(水柱)}$$

**例 1-2** 有一水塔(见图 1-10),为了量出塔中水位,在地面上装置一 U 形水银测压计,测压计左支用软管与水塔相连通。今测出测压计左支水银面高程  $\nabla_1 = 502.00\text{m}$ ,左右两支水银面高差  $h_1 = 116\text{cm}$ ,试求出此时塔中水面高程  $\nabla_2$ 。

**解:**令塔中水位与水银测压计左支水银面高差为  $h_2$ ,  $h_2 = \nabla_2 - \nabla_1$ ,从测压计左支看,  $\nabla_1$  高程处的相对压强为

$$p = \gamma(\nabla_2 - \nabla_1) = \gamma h_2$$

从测压计右支看,  $p = \gamma' h_1$ , 所以

$$h_2 = \frac{\gamma' h_1}{\gamma} = \frac{133.28 \times 1.16}{9.8} = 15.78\text{m}$$

塔中水位

$$\nabla_2 = \nabla_1 + h_2 = 502.00 + 15.78 = 517.78\text{m}$$

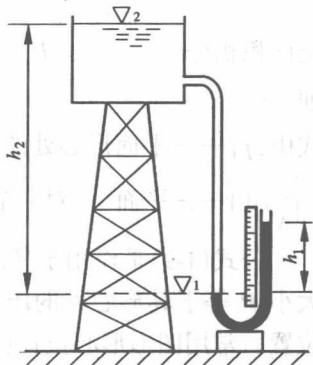


图 1-10

## 第二节 静水总压力计算

在对水工建筑物设计时,常常需要进行水压力计算。计算的内容不仅是压强的分布情况,还要确定总压力的大小、方向和作用点。

### 一、解析法

设水中任意形状平面  $ab$ ,如图 1-11 所示,其受压面积为  $A$ ,倾角  $\alpha$ ,平面形心处水深  $h_c$ 。沿平面  $ab$  取平面坐标系  $xoy$ ,  $x$  轴是水平面与坐标面的交线。为了便于分析,将坐标系绕  $y$  轴旋转  $90^\circ$ ,以能够完全展示平面的形状(如图 1-11)。

在平板上任取一点  $M(x, y)$  进行微分分析。该点微小面积  $dA$ ,水深  $h$ ,承受静水压强  $p$

可认为均匀分布,则有

$$dP = p dA = \gamma h dA \quad (1-8)$$

另有

$$h = y \sin \alpha$$

形心

$$h_C = y_C \sin \alpha$$

合力作用点

$$h_D = y_D \sin \alpha$$

代入式(1-8):

$$dP = \gamma y \sin \alpha dA$$

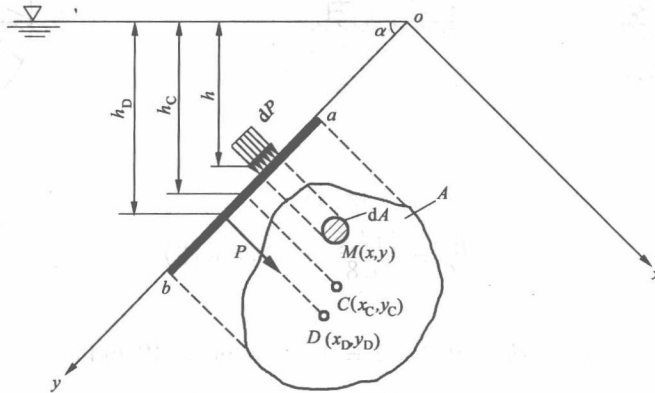


图 1-11

全面积积分

$$P = \int_A dP = \int_A p dA = \gamma \sin \alpha \int_A y dA = \gamma y_C A \sin \alpha$$

即

$$P = \gamma h_C A = p_C A \quad (1-9)$$

式中:  $p_C$ ——平面形心处的压强;

$\int_A y dA$ ——平面  $ab$  对  $x$  轴的面积矩。

公式(1-9)是作用于平面壁上静水总压力的计算公式,同时它表明平面所受静水总压力的大小  $P$  等于其形心处的压强  $p_C$  与受压面面积  $A$  的乘积。所以,计算之前应找出受压面形心位置。常用图形形心位置可参见表 1-1。

常见平面图形的面积、形心、惯性矩公式

表 1-1

名称	几何图形	面积 $A$	形心 $y_C$	惯性矩 $I_C$
矩形		$bh$	$\frac{1}{2} h$	$\frac{1}{12} bh^3$
三角形		$\frac{1}{2} bh$	$\frac{2}{3} h$	$\frac{1}{36} bh^3$

续上表

名称	几何图形	面积 $A$	形心 $y_C$	惯性矩 $I_C$
梯形		$\frac{a+b}{2}h$	$\frac{a+2b}{3(a+b)}h$	$\frac{a^2+4ab+b^2}{36(a+b)}h^3$
圆形		$\pi r_0^2$	$r_0$	$\frac{1}{4}\pi r_0^4$
半圆形		$\frac{1}{2}\pi r_0^2$	$\frac{4}{3\pi}r_0$	$\frac{9\pi^2-64}{72\pi}r_0^4$

静水总压力  $P$  垂直指向平面壁,其作用点  $D(x_D, y_D)$  称为压力中心。按照合力矩原理,合力对某轴的力矩等于各分力对该轴的力矩。实际工程中,挡水平面一般多为轴对称平面,如矩形、圆形等,  $D$  点位于铅直方向对称轴上,即  $x_D=0$ 。因此,只需确定  $y_D$  值。

$$P y_D = \int_A y dP = \int_A y (\gamma y \sin \alpha dA) = \gamma \sin \alpha \int_A y^2 dA = \gamma I_x \sin \alpha$$

其中对  $ox$  轴惯性矩

$$I_x = \int_A y^2 dA = I_C + y_C^2 A$$

由此得

$$y_D = y_C + \frac{I_C}{y_C A} \quad (1-10)$$

式中:  $I_C$ ——受压面对通过形心  $C$  的  $x$  轴的惯性矩。

从式(1-10)知,  $I_C, y_C, A$  一般可查表 1-1 选取,且均为正值,故  $y_D > y_C$ ,即压力中心  $D$  在形心  $C$  的下面,只有当受压面水平时,两点重合。

## 二、图解法

解析法是静水总压力计算的通用方法。但对于常见简单图形的受压面,采用图解法更为简便。所谓图解法,是根据静水压强分布图来计算静水总压力的方法。

平面上静水总压力的大小,应等于分布在平面上各点静水压强的总和。我们取一水中单宽(宽度  $b=1$ )平面分析,如图 1-12。此时平面上所受的总压力:

$$P = \frac{1}{2}(\gamma h_1 + \gamma h_2)Lb = \frac{1}{2}(\gamma h_1 + \gamma h_2) \cdot L$$

正好是压强分布图的面积  $\Omega$ ,同时也可以理解为受压面立体的压强分布图的体积。

因此,图解法计算的静水总压力大小为:

$$P = \Omega b \quad (1-11)$$

一般压强分布图为梯形, 则:

$$\Omega = \frac{1}{2}(\gamma h_1 + \gamma h_2)L \quad (1-12)$$

合力作用点通过压强分布图的形心, 也就是立体图形的中心。如果三角形分布, 合力作用点离底部距离  $e = \frac{1}{3}L$ ; 当为梯形分布时,  $e = \frac{L(2h_1 + h_2)}{3(h_1 + h_2)}$ 。

综上所述, 矩形平面静水总压力的图解法步骤如下:

- (1) 绘出静水压强分布图;
- (2) 通过计算压强分布图面积  $\Omega$ , 计算合力的大小 ( $P = \Omega b$ );
- (3) 合力作用点通过压强分布图的形心。

**例 1-3** 如图 1-13 所示, 求每米围堰钢板桩上所受的静水总压力。

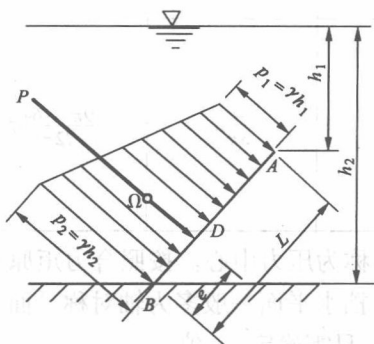


图 1-12

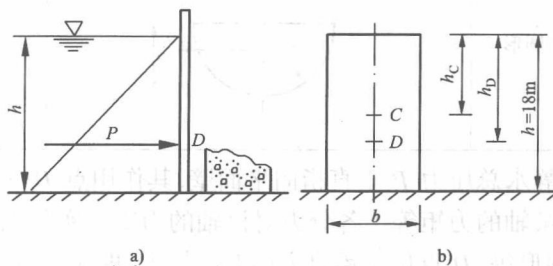


图 1-13

解:  $\alpha = 90^\circ$ , 有  $h_C = y_C = \frac{h}{2}$ ,  $x_C = x_D = \frac{b}{2}$ ,  $I_C = \frac{bh^3}{12}$ , 得:

$$P = p_C A = \gamma h_C b h = 9.8 \times 9 \times 1 \times 18 = 1587.6 \text{ N}$$

$$y_D = h_D = y_C + \frac{I_C}{y_C A} = \frac{h}{2} + \frac{\frac{hb^3}{12}}{\frac{h}{2} bh} = \frac{2}{3} h = \frac{2 \times 18}{3} = 12 \text{ m}$$

**例 1-4** 有一倾斜矩形闸门  $AB$ , 如图 1-14 所示, 试用解析法和图解法求作用在闸门上的静水总压力及其作用点。已知  $AB = 3 \text{ m}$ ,  $b = 2 \text{ m}$ ,  $y_1 = 3 \text{ m}$ ,  $\theta = 60^\circ$ 。

解: (1) 解析法

由式(1-9)得:

$$P = p_C A = \gamma h_C A = \gamma \left( y_1 + \frac{\overline{AB}}{2} \right) (\sin \theta) b \overline{AB}$$

$$= 9.8 \times (3 + 1.5) \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 2 \times 3$$

$$= 229.15 \text{ kN}$$

由式(1-10)得:

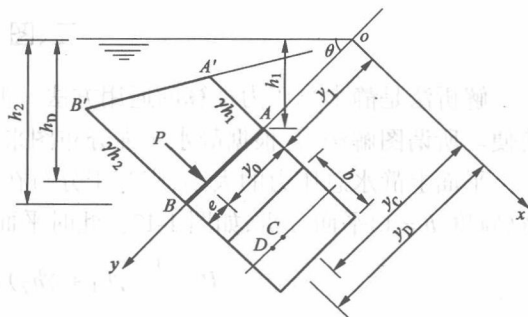


图 1-14

$$y_D = y_C + \frac{I_C}{y_C A} = 4.5 + \frac{\frac{1}{12} \times 2 \times 3^3}{4.5 \times 3 \times 2} = 4.67\text{m}$$

$$h_D = y_D \sin\theta = 4.67 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 4.04\text{m}$$

## (2) 图解法

1) 绘制静水压强分布图, 如图中  $AA'B'B$  面积。

2) 计算静水压强分布图的体积, 即:

$$\begin{aligned} P &= \Omega b = \frac{1}{2} [\gamma h_1 + \gamma h_2] \overline{AB} b = \frac{1}{2} \gamma [h_1 + h_2] \overline{AB} b \\ &= \frac{1}{2} \gamma [y_1 \sin\theta + (y_1 + \overline{AB}) \sin\theta] \overline{AB} b \\ &= \frac{1}{2} \times 9.8 \times \left[ 3 \times \frac{\sqrt{3}}{2} + (3 + 3) \times \frac{\sqrt{3}}{2} \right] \times 3 \times 2 \\ &= 229.15\text{kN} \end{aligned}$$

3) 计算压强分布图形心点距液面的深度。

形心点距底边的距离为:

$$e = \frac{\overline{AB}}{3} \cdot \frac{2h_1 + h_2}{h_1 + h_2} = 1.33\text{m}$$

静水压力作用点位置:

$$y_D = (y_1 + \overline{AB}) - e = (3 + 3) - 1.33 = 4.67\text{m}$$

则

$$h_D = y_D \cdot \sin\theta = 4.67 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 4.04\text{m}$$

## 复习思考题

1. 什么是静水压强? 静水压强有何重要特性? 用测压管测量液体内部某点的压强时, 可从什么方向去测量? 为什么?
2. 等压面的特性是什么? 液体内的水平面是否一定是等压面?
3. 什么是绝对压强、相对压强和真空值? 他们之间的关系是怎样的? 理论上的最大真空值是多少?
4. 压强的常用单位有哪些? 它们之间怎样换算? 如果用水柱作为压强单位, 应该怎样表示?

## 习题

1. 计算图 1-15a)、b)、c) 中 A、B、C 各点的相对压强。
2. 如图 1-16 所示, 水泵前的吸水管和其后的压水管上装有 U 形水银压差计, 测得水银面高差  $h_p = 120\text{mm}$ , 问水经过水泵后, 其压强增大多少 ( $\gamma = 9.8\text{kN/m}^3$ ,  $\gamma_p = 133.28\text{kN/m}^3$ )?
3. 绘出图 1-17 所示 ABC 平面壁上相对静水压强分布图。
4. 如图 1-18 所示 AB 板, 求单宽 AB 板上的静水总压力及其作用点距水面的距离  $h_D$  (要求绘出 AB 面上的静水压强分布图)。

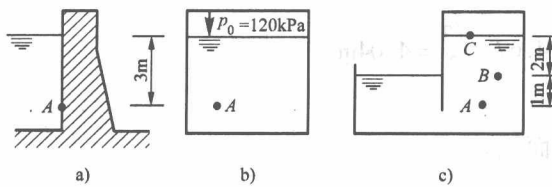


图 1-15

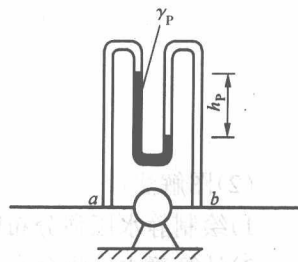


图 1-16

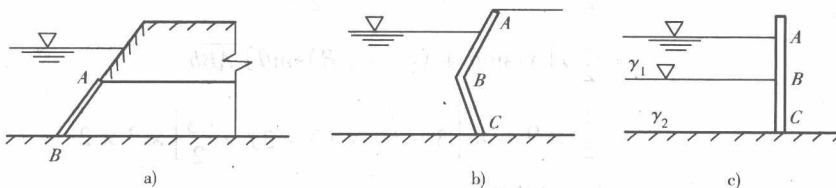


图 1-17

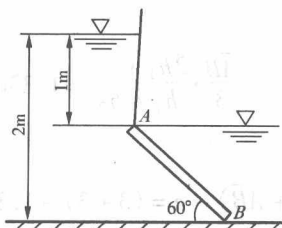


图 1-18



## 第二章 水动力学基础

在实际工程中经常遇到的是运动状态的液体,液体的运动特性可用流速、加速度等物理量来表示,其运动状态和运动形式必须遵循质量守恒定律、动能定理和动量定理这些宏观机械运动的普遍规律。本章就是根据上述定理分别导出液体运动的三个基本方程——连续性方程、能量方程和动量方程。

### 第一节 概 述

#### 一、描述液体运动的两种方法

液体流动时,表征液体运动特征的运动要素一般都随着时间和空间位置而变化,而液体又是由为数众多的质点所组成的连续介质,怎样来描述整个液体的运动规律呢?解决这个问题一般有两种方法,即拉格朗日法和欧拉法。

##### 1. 拉格朗日法

拉格朗日法是以研究液流中单个质点的运动为基础,通过对每个质点运动规律的研究来获得整个液体运动的规律性,所以这种方法又可叫做质点系法。

拉格朗日法在概念上简明易懂,但从实用的观点上来看,常常并不需要知道每个质点的运动状况,因此这种方法在水力学上很少采用,而普遍采用欧拉法。

##### 2. 欧拉法

欧拉法是以不同液体质点通过固定的空间点的运动情况来了解整个流动空间内的流动情况,即着眼于研究各种运动要素的分布场,所以这种方法又叫流场法。如涵洞中的水流,最重要的是掌握水流经过涵洞不同位置时的流速、动水压强的分布,就可以满足工程设计需要。所以,欧拉法对水力学研究具有重要意义。

综上所述,拉格朗日法是研究单个液体质点在不同时刻的运动情况,而欧拉法是研究同一时刻若干质点在不同空间位置的运动情况。前者引出了迹线的概念,后者引出了流线的概念。

迹线是单个液体质点在某一时段内的运动轨迹线;流线是某一瞬时的空间流场中,表示该瞬时各质点流动方向的曲线。流线上所有各点在该瞬时的流速矢量都和该流线相切。

#### 二、水流运动的基本概念

##### 1. 过水断面

横截面无限小的水流称微小流束,无数微小流束的总和称为总流。与微小流束或总流的流线成正交的横断面,称为过水断面。过水断面面积以  $dA$  或  $A$  表示,单位为  $m^2$ 。

如果液流所有的流线相互平行时,过水断面为平面,否则就是曲面,如图 2-1 中的虚线所示。

##### 2. 流量