



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

高等学校给水排水工程专业系列教材

城市给水排水规划

任伯帜 主编
邓仁健 严子春 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

高等学校给水排水工程专业系列教材

城市给水排水规划

CHENGSHI JISHUI PAISHUI GUIHUA

任伯帜 主编

邓仁健 严子春 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书系统地阐述了城市给水排水规划的范畴、理论、原则和方法,包括水力学和水泵的基础知识,城市给水与排水工程规划的原理、工作程序、内容深度、基础资料、水量预测与计算、工程系统布局、主要设施布置、管线铺设、技术经济分析等内容,同时介绍了最新的规划规范、技术经济指标和新技术、新方法等相关内容。编写中坚持可持续发展、近远期结合的原则,着重阐明基本概念与理论,注重理论性与实用性的统一,强调内容完整、叙述清楚透彻、浅显易懂,详解实例,使学生较为全面、系统地获得城市给水排水规划的专业知识、技术程序 and 操作方法。

本书为高等学校城市规划、建筑学、给水排水工程、环境工程及相关专业的教学用书,还可用作规划设计、规划环境影响评价人员及相关管理和研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市给水排水规划/任伯帜主编. —北京:高等教育出版社,2011.1

ISBN 978-7-04-030693-4

I. ①城… II. ①任… III. ①市政工程:给水工程-高等学校-教材②市政工程:排水工程-高等学校-教材 IV. ①TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 215819 号

策划编辑 单 蕾 责任编辑 张玉海 封面设计 李卫青
责任绘图 尹 莉 版式设计 余 杨 责任校对 俞声佳
责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 23.5
字 数 440 000
插 页 2

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011 年 1 月第 1 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
定 价 37.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30693-00

前 言

城市给水排水工程是保障城市生活与生产必不可少的重要的基础设施之一。城市给水排水规划是集城市水源、净水处理、供水、排水、污水处理与综合利用等规划于一体的专项规划,是城市规划的重要组成部分。故此,科学性、合理性、可操作性的城市给水排水规划对城市发展具有重要意义。

本书在调研国内外有关城市给水排水规划资料的基础上,系统地论述了城市给水排水规划的理论和方法,包括:水力学和水泵的基础知识,城市给水排水工程规划概述,城市用水量标准、预测与计算,城市水源的规划及取水构筑物,城市给水工程设施规划,城市给水管网规划设计,城市排水系统的体制和组成,城市污水管道系统的规划设计,城市雨水管渠系统规划设计,城市污水处理及利用工程规划,城市给水排水工程规划的技术经济分析,城市给水排水工程规划实例。

本书为高等学校城市规划、建筑学、给水排水工程、环境工程及相关专业的教学用书,还可用做规划设计、规划环境评价人员以及管理和研究人员的参考用书。

本书由湖南科技大学任伯帜任主编,湖南科技大学邓仁健、兰州交通大学严子春任副主编,参加编写的还有湖南科技大学王丽、西南林学院吴星杰、东北农业大学孙楠,其中:第1、6章由任伯帜编写,第2、4、12章由邓仁健编写,第9、11章由严子春编写,第3章由吴星杰编写,第5、10章由孙楠编写,第7、8章由王丽编写。

在编写过程中,各单位领导、专家和教授给予了极大支持和帮助。重庆大学龙腾锐教授审阅了本书,并对主要章节的内容提出许多宝贵意见和建议。在此,一并表示诚挚的谢意。本书编写中引用了众多的参考文献及相关资料,因疏漏可能未全部列出,对此深表歉意。

由于本书内容涉及众多学科,内容广泛,且限于编者水平,书中不妥之处在所难免,敬请专家、读者批评指正。

编者

2010年5月

目 录

第1章 水力学和水泵的基础知识	1
1.1 水静力学及水动力学概述	1
1.1.1 水静力学	1
1.1.2 动水力学	8
1.2 水流阻力及水头损失	17
1.2.1 水流断面的水力要素	17
1.2.2 湍流和层流	18
1.2.3 水头损失	19
1.3 水泵的基本知识	23
1.3.1 水泵的概念和类型	23
1.3.2 水泵的性能参数及特性	27
1.3.3 水泵的选择	30
思考练习题	33
第2章 城市给水排水工程规划概述	34
2.1 城市给水排水工程规划的意义及内容	34
2.1.1 城市给水排水工程规划的意义	34
2.1.2 城市给水排水工程规划的内容	40
2.2 城市给水排水工程规划的原则与步骤	45
2.2.1 城市给水排水工程规划的工作原则	45
2.2.2 城市给水排水工程规划的工作步骤	46
2.3 城市给水排水工程规划的基础资料	46
2.3.1 自然因素资料	47
2.3.2 城市给水排水工程现状资料	47
2.3.3 环境保护资料	48
2.3.4 城市建设与规划资料	48
思考练习题	49

第3章 城市用水量标准、预测与计算	50
3.1 城市用水量标准	50
3.1.1 城市用水量分类	50
3.1.2 城市用水量标准	51
3.2 城市用水量的预测与计算	58
3.2.1 城市总体规划中的用水量预测	59
3.2.2 城市详细规划中的用水量预测	63
思考练习题	72
第4章 城市水源的规划及取水构筑物	73
4.1 城市水源的种类与特点	73
4.1.1 城市水源的种类与特点	73
4.1.2 城市水源的选择	77
4.1.3 城市备用水源的选择	78
4.2 地下取水构筑物	79
4.2.1 位置选择	80
4.2.2 地下取水构筑物	80
4.3 地表取水构筑物	84
4.3.1 位置选择的要求	84
4.3.2 地表取水构筑物	87
思考练习题	94
第5章 城市给水工程设施规划	95
5.1 城市给水工程系统规划	95
5.1.1 城市给水工程系统的组成	95
5.1.2 城市给水系统的布置形式	96
5.1.3 城市给水系统布置的一般原则	98
5.1.4 城市给水系统的运行状况	99
5.2 城市净水工程设施规划	108
5.2.1 原水水质及给水水质标准	108
5.2.2 给水处理方法概述	111
5.2.3 常规及深度水处理构筑物	114
5.2.4 净水厂的规划设计	128
5.3 城市分质供水规划	135

5.3.1 城市分质供水概述	135
5.3.2 城市饮用水分质供应	137
5.3.3 城市分质供水规划	138
思考练习题	140
第6章 城市给水管网规划设计	141
6.1 给水管网的布置	141
6.1.1 输水管渠的布置	141
6.1.2 配水管网的布置	143
6.2 管段计算流量和管径的初步确定	145
6.2.1 沿线流量	145
6.2.2 节点流量及分配计算	148
6.2.3 管段计算流量	151
6.2.4 管段直径确定	152
6.3 给水管网水力计算	154
6.3.1 给水管网规划设计计算步骤	154
6.3.2 树状管网的水力计算	154
6.3.3 环状管网的水力计算	156
6.4 给水管材及管网附属设施	163
6.4.1 给水管材	163
6.4.2 泵站	166
6.4.3 水塔或高位水池	167
6.4.4 给水管网附属设施	167
思考练习题	169
第7章 城市排水系统的体制和组成	171
7.1 城市排水系统的体制及选择	171
7.1.1 城市排水分类	171
7.1.2 城市排水体制	172
7.1.3 城市排水体制的选择	175
7.2 城市排水系统的组成	177
7.2.1 城市生活污水排水系统的组成	177
7.2.2 工业废水排水系统的组成	178
7.2.3 城市雨水排水系统的组成	179
7.3 城市排水系统的布置	179

7.3.1 城市排水系统布置的影响因素	179
7.3.2 城市排水系统的布置原则	182
7.3.3 城市排水系统的布置形式	183
思考练习题	185
第8章 城市污水管道系统的规划设计	186
8.1 城市污水量的预测与计算	186
8.1.1 城市总体规划阶段的污水量估算	187
8.1.2 城市详细规划阶段的污水量计算	188
8.2 城市污水管道系统的布置	194
8.2.1 污水管道系统的平面布置	194
8.2.2 污水管道的具体位置	197
8.3 污水管道的水力计算	200
8.3.1 污水管道的水流特点	200
8.3.2 管道水力计算的基本公式	201
8.3.3 污水管渠的断面和衔接	202
8.3.4 污水管道水力计算的设计参数	204
8.3.5 划分设计管段及其设计流量的确定	206
8.3.6 污水管渠水力计算方法	208
8.3.7 污水管渠水力计算应注意的问题	216
8.3.8 城市污水管道平面图及剖面图	216
思考练习题	217
第9章 城市雨水管渠系统规划设计	219
9.1 城市雨水管渠系统的布置	219
9.2 城市雨水管渠设计流量的确定	221
9.2.1 暴雨强度公式	221
9.2.2 重现期	223
9.2.3 集水时间	223
9.2.4 径流系数	225
9.2.5 汇水面积	226
9.2.6 雨水管渠的设计流量公式	226
9.3 城市雨水管渠的水力计算	227
9.3.1 雨水管渠水力计算的控制数据	227
9.3.2 雨水管渠的水力计算图表	228

9.3.3 雨水管渠的设计步骤	229
9.3.4 雨水管渠规划设计实例	231
9.4 城市合流制管渠系统规划设计	234
9.4.1 合流制管渠系统的特点	234
9.4.2 合流制管渠系统的适用条件	235
9.4.3 合流制管渠系统的布置	236
9.4.4 合流制管渠系统的水力计算	236
9.4.5 城市旧合流制排水管渠系统的改造	238
9.5 压力式和真空式排水系统	239
9.5.1 压力式排水系统	240
9.5.2 真空式排水系统	241
9.5.3 压力式和真空式排水系统的适用条件	242
9.6 排水管材、泵站及排水管道附属构筑物	242
9.6.1 排水管材	242
9.6.2 排水泵站	246
9.6.3 排水管道常见附属构筑物	249
思考练习题	253
第 10 章 城市污水处理及利用工程规划	254
10.1 城市污水性质与污水排放标准	254
10.1.1 城市污水的污染指标与性质	254
10.1.2 水体的污染与自净	257
10.1.3 城市污水排放标准	259
10.2 城市污水处理与利用	270
10.2.1 城市污水处理的基本方法	271
10.2.2 污水的综合利用	279
10.3 城市污水处理厂的规划	281
10.3.1 城市污水处理的工艺流程	281
10.3.2 城市污水处理方案的选择	284
10.3.3 城市污水处理厂的规划	285
10.4 城市中水系统规划	289
10.4.1 城市中水系统概况	290
10.4.2 城市中水系统规划的要求	294
10.5 城市污水排海及工业废水排除规划	295
10.5.1 城市污水排海工程概述及海水水质标准	295

10.5.2 城市污水排海工程规划应注意的问题	298
10.5.3 工业废水和城市污水的混合排放处理	299
10.5.4 工业废水的独立排放规划	300
思考练习题	301
第 11 章 城市给水排水工程规划的技术经济分析	302
11.1 技术经济分析概述	302
11.1.1 技术经济评价标准	302
11.1.2 技术经济比较原则	304
11.1.3 技术经济比较步骤	305
11.2 经济效果的指标计算和评价方法	305
11.2.1 技术经济比较的评价指标和计算方法	306
11.2.2 给水排水工程综合技术经济指标	313
11.3 城市给水排水工程规划方案的技术经济综合评价	330
11.3.1 城市给水排水工程规划方案的技术要求	331
11.3.2 城市给水排水工程规划方案的综合评价	332
思考练习题	342
第 12 章 城市给水排水工程规划实例	343
12.1 城市给水排水工程总体规划	343
12.2 城市给水排水工程分区规划	346
12.3 城市给水排水工程控制性详细规划	354
参考文献	362

第 1 章

水力学和水泵的基础知识

水力学是传统力学的一个分支,是一门用实验和理论分析的方法来研究以水为代表的液体平衡和机械运动规律及其在实际工程中应用的学科。水泵是输送和提升水流的机械,它将原动机的机械能或其他外加的能量转换成流经其内部的液体的动能和机械能。

本章将介绍水力学基础以及水泵的类型、性能和选择等基本知识。

1.1 水静力学及水动力学概述

1.1.1 水静力学

一、水静力学的基本概念

水静力学是研究液体静止状态下平衡的规律及其应用的学科。液体的静止状态有两种:绝对静止和相对静止。绝对静止是指液体相对于地球没有运动;相对静止是指液体对于地球虽然在运动,但相对于容器却没有运动。以下介绍水静力学中的基本概念。

1. 静水压力和静水压强

静水压力是指静止液体对其接触面上所作用的水压力,常用 F_p 表示。静止液体作用在受压面的单位面积上的静水压力称为静水压强(亦称压力),常用 p 表示,单位为 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ 。

(1) 平均静水压强

如图 1-1 所示的圆形平板闸门 AB,其面积为 A ,如果作用在整个闸门上的静水总压力为 F_p , ΔA 为 AB 上一任意微小面积,作用在 ΔA 上的静水压力为 ΔF_p 。在 ΔA 上各处,其静水压强是不相等的,就平均来说, ΔA 上单位面积所受的静水压强为

$$p = \frac{\Delta F_p}{\Delta A} \quad (1-1)$$

那么 p 就是 ΔA 上平均静水压强。

(2) 静水点压强

如图 1-1 所示,在圆形平板闸门 AB 上取一点 K,围绕这一点取一微小受压面 dA ,作用在 dA 上的静水压力为 dF_p 。如果 ΔA 无限缩小趋近于点 K,取 dF_p/dA 的极限值,称为点 K 的静水点压强,即

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

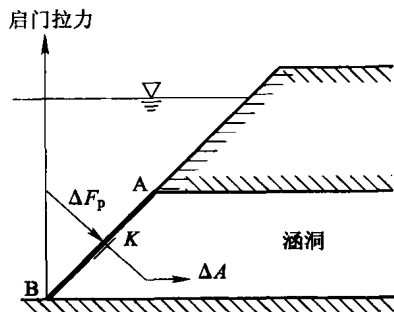


图 1-1 静水压强示意图

2. 静水压强的特性

静水压强具有以下两个特性：

(1) 静水压强的方向必垂直指向受压面，即正压性。如图 1-2 所示,用任一平面 ab 将一水体切割成 I、II 两部分,取 II 为隔离体,作用在 II 上某一点的静水压力为 dF_p 。假设 dF_p 的方向不是指向受压面,则 dF_p 可以分解为垂直于受压面的作用力 dF_{pn} 和平行于受压面的作用力 dF_{pt} 。由于静止液体不能承受剪切力也不能承受拉力,因此在 dF_{pt} 的作用下液体将流动,不能静止。这与静水的概念不符,所以静水压强的方向必垂直指向受压面。

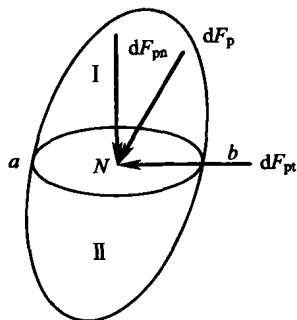


图 1-2 静水压强的方向

(2) 液体内部任意一点的静水压强的大小和受压面的方向无关,也就是说液体内部同一点的静水压强的大小在各个方向均相等,即无方向性。

二、水静力学基本方程式

在实际工程运用当中,作用于平衡液体上的质量力一般只有重力,此时的液体就是所谓的平衡液体。为了了解静止液体中任意一点的压强,就需要找出液体中压强的分布规律,即静水压强的基本方程式。

如图 1-3 所示,隔离体为一圆柱形容器里的垂直水柱。对此平衡隔离体作受力分析。作用在此垂直水柱上的力分别为：

(1) 水柱自由面上的气体压力： $F_{p0} = p_0 A$, 垂直向下。

(2) 容器底部对水柱底部的力： $F_p = pA$, 垂直向上。

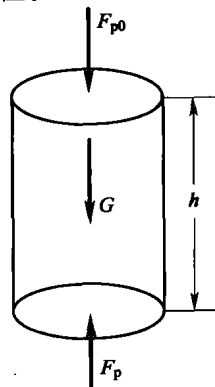


图 1-3 静止液体

(3) 水柱本身重力: $G = \rho ghA = \gamma hA$, 垂直向下。

(4) 容器壁对水柱周围的侧压力, 方向是水平的。

因为是平衡隔离体, 所以水柱在水平方向和垂直方向的合力都是零。水平压力互相抵消, 而垂直方向的力的平衡方程式为

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

化简得

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

式中 p ——静水中任意一点的静水压强, N/m^2 ;

p_0 ——液体自由面上的气体压强, N/m^2 ;

γ ——水的重度, N/m^3 ;

h ——垂直水柱在水下的深度, m ;

A ——水柱的断面面积, m^2 。

式(1-3)即为水静力学的基本方程式, 也就是静水压强的基本方程式。此方程式表明:

(1) 在静止液体中, 静水压强随水深按照线性规律增加。

(2) 液体中任意一点的压强等于自由面上的压强 p_0 与该点到自由面的单位面积上的垂直液柱重力 γh 之和, 即所谓的帕斯卡定律。

静水压强的基本方程式(1-3)还有另外一种表达形式。如图 1-4 所示, 假设一水箱水面的压强为 p_0 , 水面到选定的基准面 0—0 的高度为 Z_0 , 在水中任选两点 1 和 2, 这两点到基准面 0—0 的高度分别为 Z_1 和 Z_2 , 静水压强分别为 p_1 和 p_2 , 把式(1-3)中的深度改为高差之后, 得

$$p_1 = p_0 + \gamma(Z_0 - Z_1)$$

$$p_2 = p_0 + \gamma(Z_0 - Z_2)$$

上式均除以水的重度 γ , 得

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$$

$$Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$$

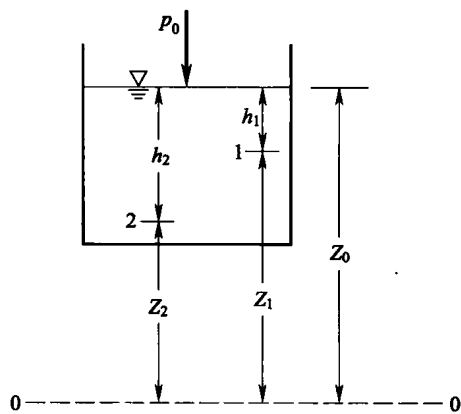


图 1-4 $Z + \frac{p}{\gamma} = C$ (常数) 图示

综上所述可得

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$$

因为 1、2 两点是任意取的, 所以具有普遍意义的规律, 即

$$Z + \frac{p}{\gamma} = C \quad (\text{常数}) \quad (1-4)$$

式中 Z ——水中一点的位置相对于基准面的高程, m, 即位置水头;

p ——水中一点的静水压强, N/m^2 。

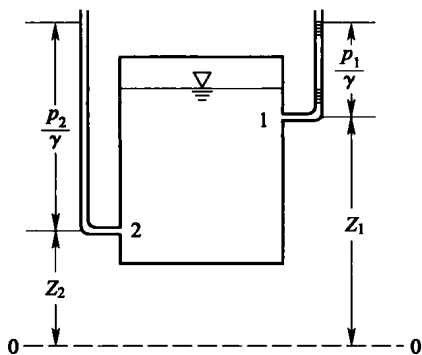


图 1-5 测压管水头

式(1-4)即为静水压强的基本方程式的另外一种表达形式, 表示水中任意一点的 $Z + p/\gamma$ 是一个常数 C 。如图 1-5 所示, 测压管是一端和大气相通, 另一端和液体某点相接的管子。 p/γ 是指该点在压强的作用下沿着测压管所能上升的高度(单位为 m), 称为压强水头; $Z + p/\gamma$ 是位置水头和压强水头相加, 称为测压管水头(单位为 m)。其表示在同一容器的静水当中, 所有各点的测压管水头均相等。

三、绝对压强、相对压强、真空度

以设想没有大气分子存在的绝对真空状态作为起点的压强, 称之为绝对压强, 用 p 表示。以当地大气压 p_a 为零算起的压强为相对压强, 也称为表压强, 用 p' 表示。绝对压强和相对压强是按照两种不同起量点计算的压强, 它们之间相差一个当地大气压强值, 即 $p' = p - p_a$ 。

绝对压强 p 总是正值, 而相对压强 p' 可正也可负。当液体中的某点的绝对压强小于当地大气压强, 即当相对压强值为负值时, 则称该点处存在真空。通常以大气压强 p_a 和绝对压强 p 的差值来衡量真空的大小, 这个差值称之为真空度, 用 p_k 表示。

上述绝对压强、相对压强、真空度三者之间的相互关系如图 1-6 所示。

四、静水压强图示

静水压强图示是根据静水压强的基本方程式(1-3), 即 $p = p_0 + \gamma h$, 绘出作用在受压面上各点的压强方向和大小的图示。

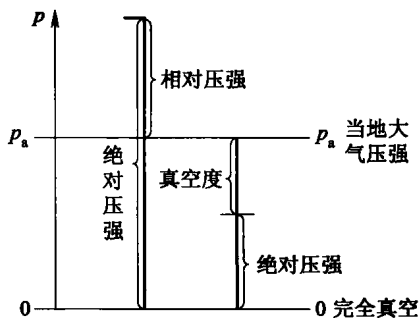


图 1-6 压强的度量

如图 1-7 所示,为简单起见,在水中任意取铅直壁 AB(如图为直壁上的静水压强),假设纵坐标为 h ,对确定的液体来说, γ 为常量。又相对压强 $p' = p - p_a = p_0 + \gamma h - p_a$, $p_0 = p_a$,所以 $p' = \gamma h$,即 p' 与 h 成直线关系。任取两对 p' 与 h 值连成一直线,就可以画出 $p' = \gamma h$ 的图示。如在自由面上的 $p' = 0, h = 0$,在任意深度 h 处的 $p' = \gamma h$,这两对 p' 与 h 即决定了三角形 ABC,其中 $BC = p' = \gamma h, AB = h$ 。按照帕斯卡的等值传递规律,绝对压强的图形是四边形 ACED。

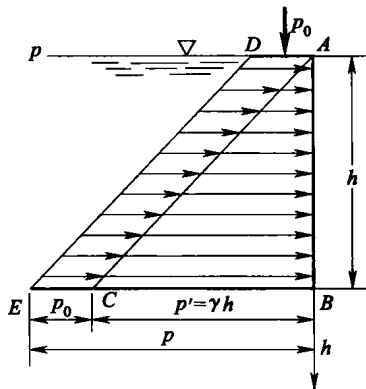


图 1-7 静水压强示意图

在实际工程中,一般只需要绘制出相对压强的分布图。因为直壁 AB 的背面也存在大气压力的作用,而这部分的压力和 ACED 部分的压力相互抵消,直壁 AB 实际承受的压力为相对压强分布图 ABC。同理,根据式(1-3)和静水压强垂直作用于作用面的特性,可以绘制出斜面、折面以及曲面上的静水压强的图示。

五、作用在平面上的静水总压力

在实际工程中,往往需要确定静止液体作用于整个受压面的水压力,即静水总压力。求静水总压力即求力的大小、方向以及作用点(压力中心)。以下讲述作用在平面上的静水总压力的两种方法:图解法和分析法。

1. 图解法

图解法是利用静水压强分布图来计算静水总压力的方法。这个方法对于确定作用在矩形平面上的静水总压力较为方便。

如图 1-8 所示,已知矩形闸门 AB 的宽度为 b ,并给出了静水压强的分布图 ABE,构成三角棱柱体 ABEFCD。在 ABCD 平面上任一深度 h 处取一微小面积 dA ,因为 dA 为无穷小量,在其上各点的压强可视为均匀分布,都为 $p = \gamma h$ 。作用在 dA 上的静水总压力 $dF_p = p dA$,也就是以 dA 为底,以 p 为高的微小柱体的体积,则作用在 ABCD 上的静水总压力 F_p 就是作用在所有微小面积上的压力的合力,等于按上述方法作出的所有微小柱体体积的总和,即 $F_p = \int_A dF_p = \int_A p dA = \text{压强分布体 ABEFCD 的体积} = \text{ABE 的面积} A \text{ 乘以宽度 } b$ 。所以,作用在闸门 AB 上的静水总压力为 $F_p = \int_A dF_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 b$,此式表明矩形平面上的静水总压力可以表示为静水压强分布的面积与矩形平面宽度 b 的乘积。

得出静水总压力的大小之后,还得出压力中心的位置。下面讨论静水

总压力的作用点,即压力中心。由理论力学可知,平行力系的合力作用线通过该力系的中心,所以静水总压力的作用点通过压强分布图的形心。当压强为三角形分布时,压力中心离底部的距离为 $H/3$ 。这样,总压力 F_p 的作用线便确定了。

如图 1-8d 所示,如果静水压强的分布图为梯形,由上可知静水总压力的大小是梯形的面积与矩形闸门的宽度的乘积。至于求压力中心,可以用如下的方法:将梯形分为一个矩形和一个三角形,根据矩形和三角形上的两个分力对 B 点的矩等于静水总压力 F_p 对 B 点的矩,可以得出静水总压力 F_p 的作用线离底部的距离为 $\frac{1}{3} \cdot \frac{2h+H}{h+H}$,符号代表意义,如图 1-8d 所示。

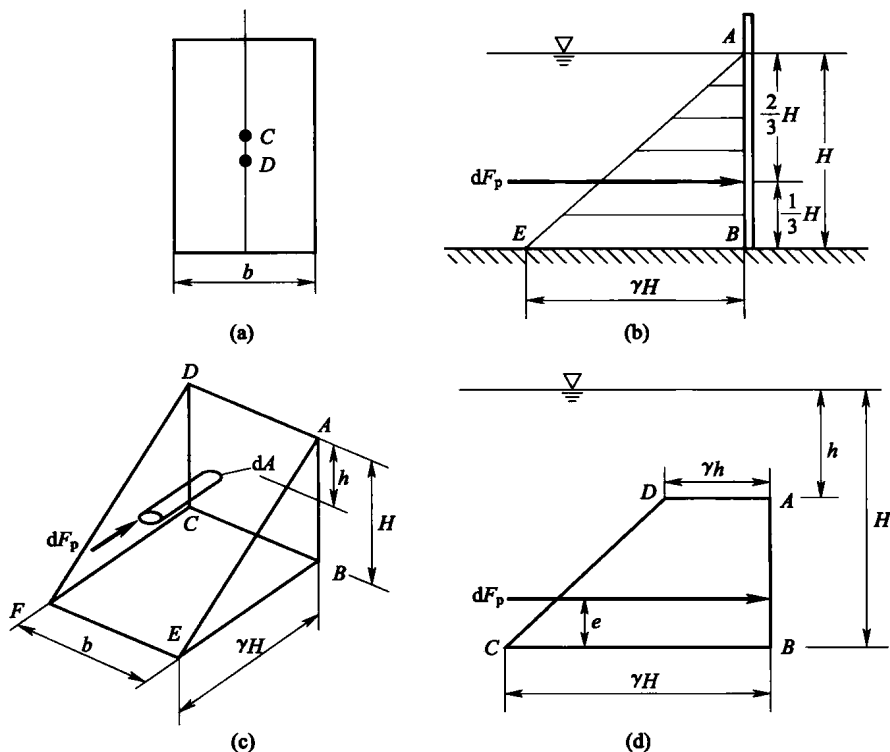


图 1-8 图解法求解平面总压力

2. 解析法

当静水总压力作用在不规则的面上时,静水总压力的计算较为复杂,所以常常用解析法求静水总压力的大小和压力中心的位置。

(1) 静水总压力大小

如图 1-9 所示,为置于水中的一任意位置和形状的倾斜平面 ab 。该平面一侧有水,水面上为大气压强。平面与水平面成的夹角为 α ,平面的面积为 A ,形

心为 C 。为便于分析,确定平面 ab 上某点的位置时,可将平面 ab 旋转 90° ,成为平铺在纸面上的平面。取如图所示的 x 轴和 y 轴,那么平面 AB 上的任意一点均可以用坐标 (x, y) 确定。

设形心 C 的坐标为 (x_c, y_c) , 形心 C 在水面下的深度为 h_c 。在面积 A 上面取一微小面积 dA , 中心的坐标为 (x, y) , 在水面下的深度为 h 。因为 dA 为无穷小量,在其上各点的压强可视为均匀分布,都为 $p = \gamma h$ 。作用在 dA 上的静水总压力为

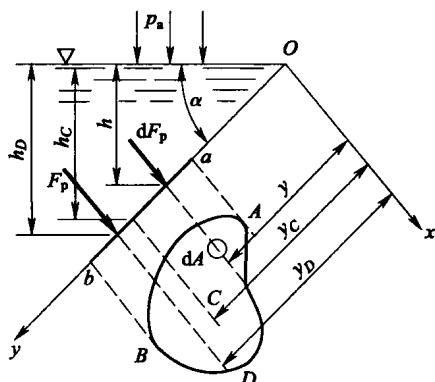


图 1-9 解析法求解平面总压力

$$dF_p = p dA = \gamma h dA = \gamma y \sin \alpha dA \quad (1-5)$$

而作用于面积 A 上的静水总压力为

$$F_p = \int_A dF_p = \int_A \gamma y \sin \alpha dA = \gamma \sin \alpha \int_A y dA$$

上式中 $\int_A y dA$ 表示面积 A 对 Ox 的面积矩 S_{α} , 并且 $\int_A y dA = Ay_c$, 所以

$$F_p = \gamma \sin \alpha \int_A y dA = \gamma \sin \alpha y_c A = \gamma h_c A \quad (1-6)$$

而 γh_c 即为形心 C 处的静水压强 p_c 。所以,上式说明作用于任意平面的静水总压力等于此平面的面积与平面形心处的静水压强的乘积。 C 处的静水压强 p_c 可以理解为整个平面上的平均压强。

(2) 压力中心的位置

如图 1-9 所示,设压力中心的位置为 D , 其坐标为 (x_D, y_D) 。根据理论力学的知识,合力对任一轴的力矩等于各分力对该轴力矩的代数和。由此原理,来分析静水总压力对 Ox 轴和 Oy 轴的力矩。

对 Ox 轴求矩,任一分力 dF_p 对 Ox 轴的力矩为

$$dF_p y = \gamma y^2 \sin \alpha dA$$

所以微小面积上的静水总压力对 Ox 轴的力矩的综合为

$$\int_A dF_p y = \int_A \gamma y^2 \sin \alpha dA = \gamma \sin \alpha \int_A y^2 dA$$

上式中 $\int_A y^2 dA$ 即面积 A 对 Ox 轴的惯性矩 I_{x0} 。由材料力学中的惯性轴平行移轴定理可以知道:如果面积 A 对通过其形心并且与 Ox 轴平行的轴的惯性矩为 I_{xc} , 那么 $I_{x0} = I_{xc} + y_c^2 A$, 所以