

堤防工程 设计计算

简明手册

顾慰慈 等 编著

G C H E N G S H E J I J I S U A N

J I A N G M I N G S H O U C E



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



堤防工程 设计计算

简明手册

顾慰慈 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书讲述了堤防工程规划、设计和管理方面的基本原理和方法,全书共九章,内容包括:堤防工程的布置,波浪对堤防的作用,冰盖对堤防的作用,防护堤的渗透计算,堤防的沉降计算,土堤堤坡的稳定性计算,土堤的排水设备,防渗设备,边坡的防护和地基的处理,防洪墙的设计和计算,堤防的养护维修与观测等内容;书中还附有必要的图表和算例,可供读者参考和使用。

本书可供从事堤防工程规划、设计、施工和管理的科技人员,城市规划设计人员阅读和参考,并可供水利、海港、城市建设等专业的大专院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

堤防工程设计计算简明手册 / 顾慰慈等编著. — 北京:中国水利水电出版社, 2014.3
ISBN 978-7-5170-1845-2

I. ①堤… II. ①顾… III. ①堤防—设计计算—技术手册 IV. ①TV871-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第056225号

书 名	堤防工程设计计算简明手册
作 者	顾慰慈 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 25.5印张 605千字
版 次	2014年3月第1版 2014年3月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	80.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

我国地域辽阔，河流众多，水资源丰富。较大的河流有 1600 余条，海岸线长达 10000 多公里，正常的年径流达 2500km^3 以上。

但是由于我国地处东亚大陆，地形复杂，气候悬殊，雨量在时间和空间上的分布极不均匀。我国东部和东南部面临大海，气候受太平洋季风影响，湿润多雨；西部和北部地区受西风带东移气旋影响，气候干旱少雨。全国雨量从东南向西北递减，东南沿海在正常年份的降雨量大于 1600mm，淮河、秦岭以南大于 1000mm，华北和东北为 400~800mm 之间，西北地区少于 250mm，地区之间雨量的分布极不均匀，长江、珠江、东南沿海和西南的河流，年径流量占全国总径流量的 80%，而淮河、黄河、海河及东北、西北地区的河流，年径流量只占全国总径流量的 18%。

我国南方一带的河流，主汛期一般在 3 月至 6 月或 4 月至 7 月，这 4 个月的降水量约占全年降水量的 50%~60%，在这期间，暴雨多，历时长，范围广，一般可持续 1~2 天，有时达 5~6 天，梅雨季节甚至可连续发生多次暴雨，常常使江河形成极大的洪水，以致河槽容纳不下泛滥成灾。北方和西部地区，河流汛期多集中在 6 月至 9 月，这 4 个月的降雨量约占全年降雨量的 70%~80%，冬春季降雨很少，而且多集中以暴雨的形式出现，强度大，历时短，一般只有不足 1 天到数小时，这种暴雨常常在小流域内形成猛涨猛落、峰高量小的洪水，在小范围内形成破坏力较大的洪水灾害。

我国历史上是一个洪涝灾害频繁发生的国家，从公元前 206 年至 1949 年的 2155 年间，发生的较大洪水有 1062 次，平均约两年一次。黄河在历史上决口泛滥 1500 多次，重大改道 36 次，平均三年就有两次决口，一百年就改道一次。

因此我国人民在很早之前就开始与水害作斗争，在与洪水的斗争中总结出了许多成功的经验和方法，其中修建堤防工程就是一项重要的方法，用堤防来约束洪水、疏导洪水，防止洪水泛滥成灾。我国早在春秋战国时期就已普遍建筑堤防，西汉时期就曾利用“长四丈大七围”的竹笼填石进行堵口，北宋时期在黄河上就已修筑埽工，并已有成熟的经验。从汉代开始我国沿海地区就已开始修建海塘工程防止海潮的侵袭，其后历代又不断地进行了改进，

如五代的竹笼填石海塘，宋代的柴塘，元代的石围木柜塘、清代的鱼鳞大石塘等，都为我们积累了丰富的经验。

随着科学技术的不断发展、新技术的应用，在堤防工程的设计、施工和科学研究方面都已有进一步的发展，目前我国已建堤防的总长度达 28 万多公里，这对保障城镇、工矿企业和农田的安全生产，防止洪涝灾害起到了重要的作用。

我国最新制定的《国民经济和社会发展第十二个五年规划》中明确指出，要“加强生态保护和防灾减灾体系建设”，要“加强水利基础设施建设，推进大江大河支流、湖泊和中小河流治理，增强城乡防洪能力”。在这一计划和方针指引下，今后我国的防洪和堤防工程建设将会有更大的发展和取得更大的成绩。

本书讲述了堤防工程设计计算和管理方面的原理和方法，包括风浪对堤防的作用，堤防的渗透计算，稳定性计算，边坡的防护，堤防的防渗、排水和地基处理，堤防的维修管理和观测等内容，可供从事堤防工程设计、施工和管理的科技人员，以及大专院校师生阅读和参考。

本书由顾慰慈主编，蒋幼新、高红、马宁、蒋栩等参加了部分编写工作。

编者

2012 年 12 月于北京

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 堤防工程的布置	1
一、防护区内无河流通过	1
二、防护区内有河流通过	1
第二节 堤防的线路选择和堤防的类型	3
一、堤防的线路选择	3
二、堤防的类型	4
第三节 筑堤土料	7
一、筑堤土料的选择	7
二、土的工程分类	8
三、土的物理力学性质	14
第四节 堤防的基本轮廓	25
一、堤顶高程	25
二、堤防顶部宽度	27
三、堤防的边坡坡度	27
第二章 波浪对堤防的作用	31
第一节 波浪要素的计算	31
第二节 波浪压力和波浪的扬压力	36
一、波浪压力	36
二、波浪的扬压力	40
第三节 波浪在边坡上的爬升高度	41
一、正向来波	42
二、斜向来波	45
三、当堤防迎水面竖直或接近竖直时	45
四、不同累积频率下的波浪爬高	45
五、边坡上浪流速度的分布	46
第三章 冰盖对堤防的作用	48
第一节 冰盖对堤防边坡护面的作用	48
第二节 冰盖的静压力和动压力	48

一、冰盖的静压力	48
二、冰盖的动压力	49
第三节 水域水位变化时冰盖对堤防的作用	49
一、水域水位变化时冰盖对堤防的作用力	49
二、在冰盖作用下护面板的稳定性	54
第四章 防护堤的渗透计算	55
第一节 防护堤渗透计算的方法	55
一、渗透计算的基本方法	55
二、渗透计算的基本假定	56
三、渗透计算时的水位组合	56
第二节 渗透计算的楔形体法	57
一、不透水地基上的土堤	57
二、透水地基上的土堤	75
第三节 渗透计算的竖直坡面法	75
一、不透水地基上的土堤	76
二、透水地基上的土堤	94
第四节 层状地基的渗透计算	119
一、层状地基的综合渗透系数	119
二、层状地基上土堤的渗透计算	121
第五节 均质土堤堤身内的渗透水力坡降和流速	124
一、均质土堤堤身内的渗透水力坡降	124
二、背水堤坡面上的出逸渗透水力坡降	125
三、土堤堤身内任意点处的渗流速度	127
四、渗流在堤身背水坡脚处出现的时间	129
第六节 水域水位降落时堤身内浸润线的变化	131
一、流网法	131
二、直接计算法	133
第七节 土堤及其地基的渗透变形	138
一、渗透变形的类型	138
二、渗透变形的判别	139
三、渗透变形的临界坡降	140
四、防止渗透变形的措施	142
五、反滤层设计	143
第八节 堤岸冲刷深度的计算	145
一、丁坝冲刷深度	145
二、顺坝及平顺护岸的冲刷深度	146
第五章 堤防的沉降计算	148
第一节 土中的应力状态及其与外荷载的关系	148

一、土的自重应力	148
二、堤防作用在地基表面上的应力	149
三、地基中的附加应力	152
第二节 地基的稳定沉降及沉降随时间的变化	155
一、概述	155
二、地基的最终沉降量	156
三、沉降随时间的变化	159
四、土堤堤身的沉降量	160
第六章 土堤堤坡的稳定性计算	178
第一节 概述	178
一、土堤堤坡破坏的形状	178
二、土堤堤坡稳定分析的情况	179
三、土堤堤坡稳定分析的基本方法	179
第二节 堤坡稳定性计算	181
一、不考虑土条间相互作用力的计算方法	181
二、考虑土条间侧向水平推力的计算方法（毕晓普简化法）	189
三、堤坡的抗震稳定计算	191
四、大气降水对堤坡稳定性的影响	195
五、最小抗滑稳定安全系数的确定	198
六、无黏性土堤堤坡的稳定计算	202
七、斜墙和保护层的稳定计算	204
八、水域水位骤降时堤坡的稳定性估算	210
第三节 堤坡的极限稳定坡面	211
一、土坡的极限稳定坡面	211
二、根据极限稳定坡面图确定土坡的极限稳定坡面	228
三、根据极限稳定坡面设计堤坡坡面	229
四、堤坡坡顶的极限荷载	229
五、无护面动力稳定边坡的计算	231
第四节 斜坡的极限稳定高度	234
第七章 土堤的结构	240
第一节 土堤的剖面	240
第二节 堤顶	241
一、堤顶的宽度和高度	241
二、防浪墙的形式	242
第三节 土堤的排水（设备）	246
一、排水应满足的要求	246
二、排水的类型	247

三、棱体排水	247
四、平面排水	248
五、组合式排水	250
六、水平的管式排水	250
七、表面排水	253
八、反滤	253
第四节 土堤的防渗设备	254
一、防渗设备的材料和形式	254
二、土堤的一般防渗设备	254
第五节 堤坡的护面	259
一、护面的作用及其种类	259
二、块石护面	260
三、混凝土和钢筋混凝土护面	270
四、沥青混凝土护面	276
五、水泥土护面	279
六、防波林台护坡	280
七、草皮护面	281
八、柴排护面	282
第六节 边坡护面下的垫层	283
一、垫层的种类	283
二、反滤垫层	283
第七节 钢筋混凝土护面板的强度计算	286
一、荷载的确定	286
二、强度计算方法	286
第八节 软弱土地基处理	292
一、软弱土的特征	292
二、软弱地基的处理方法	293
三、换土法	293
四、固结法	295
五、均匀荷载法	300
六、挤密法	307
七、压载法	311
八、压实法	312
第八章 防洪墙	313
第一节 防洪墙的结构形式	313
第二节 土压力计算	317
一、按朗肯土压理论计算土压力	317
二、按库仑土压理论计算土压力	326

第三节 防洪墙的计算.....	340
一、防洪墙的基本结构和作用荷载.....	340
二、作用在防洪墙上的荷载	341
三、防洪墙的基底应力	342
四、防洪墙的抗滑稳定性	347
五、防洪墙的抗倾覆稳定性	349
六、防洪墙与地基的整体抗滑稳定性	349
七、防洪墙的地震力	361
第九章 堤防的养护维修与观测.....	363
第一节 堤防的检查和养护.....	363
一、堤防的检查	363
二、堤防的养护	365
第二节 堤防的修理和加固.....	366
一、岸坡崩塌的防治	366
二、堤防护坡的修理	368
三、堤防滑坡的处理	371
四、堤防渗漏的处理	373
五、堤防裂缝的处理	380
六、防洪墙的加固	383
第三节 堤防险情的抢护.....	384
一、防堤防漫顶的措施	384
二、防风浪冲击的措施	385
三、管涌的抢护	386
四、堤坡脚或岸坡崩塌的处理	387
五、滑坡的抢护	389
六、渗漏的处理	389
第四节 堤防的观测工作.....	390
一、堤防的位移观测	391
二、裂缝观测	391
三、堤防的渗流观测	392
参考文献.....	396

第一章 概 述

第一节 堤防工程的布置

堤防工程是指防护堤和防洪墙，是保护防护区（城镇、工矿、农田等）免受河道洪水淹没和浸没的重要工程。

堤防工程的布置与防护区的特点（防护区的地形、地质、地貌、水文等条件）和防护标准有关，通常防护区的基本防护方式有两种，即整体防护和分片防护，但根据防护区内有无河流通过和防护区内的地形情况的不同，防护工程的布置有以下几种情况。

一、防护区内无河流通过

当防护区内无河流通过，防护对象为城镇、工矿、农田或重要文物时，防护工程的布置有下列几种方式。

1. 整体防护

根据河岸边地形情况的不同，堤防工程的布置又可分为以下两种情况：

（1）如果防护区位于河岸边，河道行洪断面并不宽阔，此时堤防多沿河岸布置，在堤防内侧坡脚处开挖排水沟渠（堤内边沟），用以汇集和截流地表水，并在排水沟的适当地点修建抽水站，将排水沟渠中的水抽出堤防外，如图 1-1（a）所示。

（2）如果河道岸边滩地宽阔平坦，为了使滩地仅在大洪水时才被淹没，而在其他年份洪水不大时仍可加以利用，则可在滩地靠河道的一侧修筑大的防护堤（防护堤长而低），以抵御一般洪水，而在重要的防护对象和经济用地周围，修建第二道小防护堤或围堤（堤身较高的局部防护堤或围堤），以防御较大的洪水。此时两层防护堤的内侧均需修建排水沟渠和抽水站，内层防护堤内排水沟渠中的水通过内层防护堤内的抽水站抽到外层防护堤内的汇水渠中，汇水渠（沟）与外层防护堤内的排水沟渠相连，并通过布置在外层防护堤内的抽水站将沟内积水抽入河道中，如图 1-1（b）所示。

2. 分片防护

当防护对象比较分散，并不集中在一起，例如某些工厂、矿山或企业的位置距城镇较远时，为了缩短堤防的长度，则可采用分片防护的方式，即对城镇和工矿企业分别修建堤防进行防护，如图 1-1（c）所示。

二、防护区内有河流通过

当防护区内有河流通过时，可根据河流流量的大小分别采用整体防护和分片防护的方式。

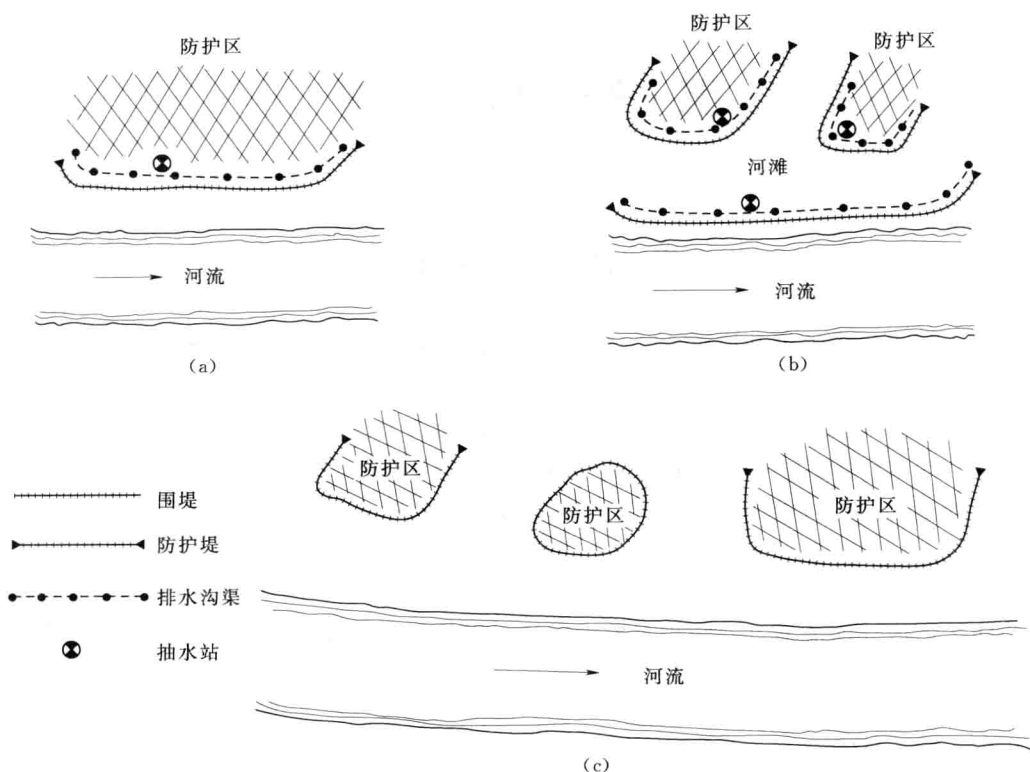


图 1-1 防护区内无河流通过时堤防工程的布置

1. 整体防护

(1) 当通过防护区内的河流不大，流量较小时，可修建防护堤将防护区整片防护，并将通过防护区的河道截断，在防护堤内侧修建排水沟渠，将防护区内的地表水汇集到河沟内，并在河沟末端（即防护堤内坡脚处）设置抽水站，将河水和排水沟渠内的水抽出防护堤外，如图 1-2 (a) 所示。

(2) 当通过防护区内的河沟流量不大，可在河沟进入防护区处筑坝，将河沟截断，而在防护区的一侧另外修筑一条人工河道，绕过防护区将河沟中的水排入河道中，沿防护区修建堤防，将防护区整片防护，并在堤防内侧设置排水沟渠和抽水站，将汇集的地面水排出堤防外，如图 1-2 (b) 所示。

(3) 当通过防护区内的河沟流量不大时，可修建堤防将防护区整片防护，并将河沟在靠近堤防处改用压力输水管，穿过堤防将河沟中的水排出堤外河道中，如图 1-2 (c) 所示。

2. 分片防护

当通过防护区的河流较大时，则应沿河修建堤防，对防护区进行分片防护，在每个防护片内分别修建排水沟渠和抽水站，将地面水分别抽出堤防外，如图 1-2 (d) 所示。

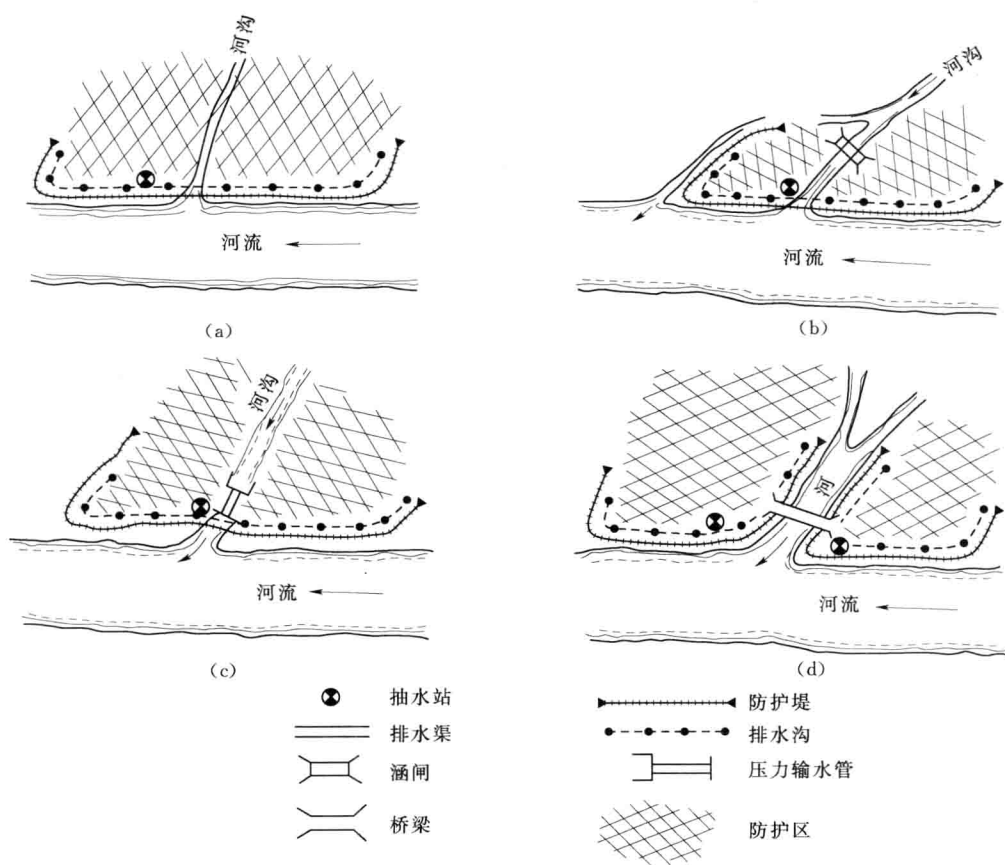


图 1-2 防护区内有河流通过时堤防工程的布置

第二节 堤防的线路选择和堤防的类型

一、堤防的线路选择

堤防的线路选择应注意以下几点。

(1) 堤防应选择修建在层次单一、土质坚实的河岸上，尽量避开易液化的粉细砂地基和淤泥地带，以保证地基的稳定性。当河岸有可能产生冲刷时，应尽量选择河岸稳定边线以外。

(2) 堤防的线路应尽量布置在河岸地形较高的地方，以减小堤防的高度，同时线路也应尽量顺直，以缩短堤防的长度，从而减小堤防的工程量，缩减堤防的投资。此外，还应考虑到能够就地取材，便于施工。

(3) 堤防的线路不应顶冲迎流，同时也不应使河道过水断面缩窄，影响河道的行洪。

(4) 堤防的线路应尽量少占农田和拆迁民房，并应考虑到汛期防洪抢险的交通要求和对外联系。



(5) 防护堤与所防护的城镇、工矿边沿之间应有足够宽阔的空地，以便于布置排水设施和方便堤防的施工与管理。

(6) 当堤防同时作为交通道路的路基时，在堤防转折处的弯曲半径应根据堤防高度及道路等级要求来确定。

(7) 堤防线路的选择最终应根据技术经济比较后确定。

二、堤防的类型

堤防的类型主要有防护堤和防洪墙两类。

(一) 防护堤

防护堤通常都采用土料建造，根据堤身构造的不同，又可分为均质防护堤、斜墙式防护堤、心墙式防护堤和混合式防护堤 4 种，其中最常采用的是均质土料防护堤。

1. 均质防护堤

均质防护堤 [图 1-3 (a)] 是由单一的同一种土料修建的，这种形式的防护堤结构简单、施工方便。如果筑堤地点附近有足够适宜的土料，通常都采用这种形式的防护堤。

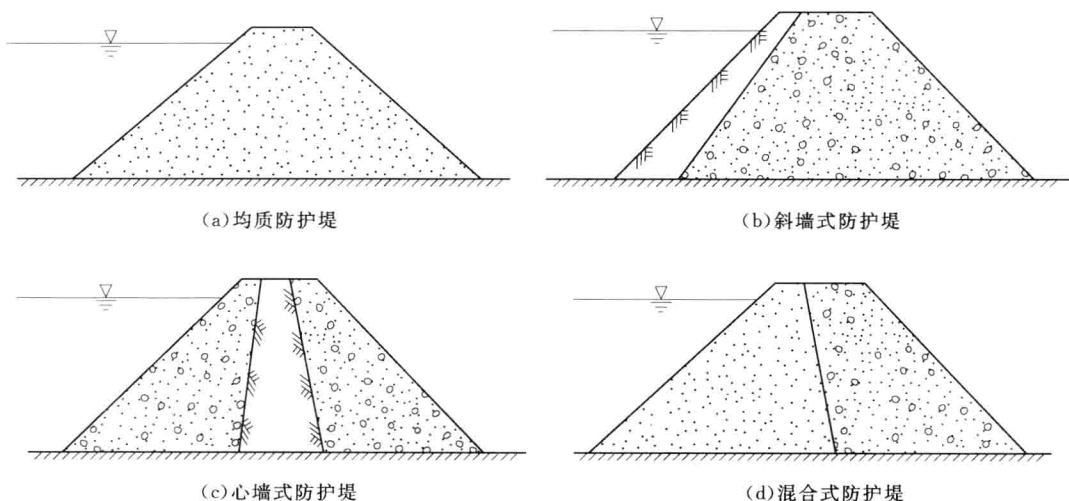


图 1-3 防护堤的类型

2. 斜墙式防护堤

斜墙式防护堤 [图 1-3 (b)] 的上游面（迎水面）是用透水性较小的黏性土料填筑，以防堤身渗水，称为防渗斜墙。堤身的其余部分则用透水性较大的土料（如砂、砂砾石、砾卵石等）填筑。

3. 心墙式防护堤

心墙式防护堤 [图 1-3 (c)] 的堤身中部用透水性较小的黏性土料填筑，起到防渗的作用，称为防渗心墙，堤身的其余部分则用透水性较大的土料填筑。

4. 混合式防护堤

混合式防护堤 [图 1-3 (d)] 的堤身上游部分用透水性较小的土料填筑，堤身的下游部分则用透水性较大的土料填筑。



(二) 防洪墙

由于地形条件限制，当河岸距城镇较近，无法布置防护堤时，可以修建防洪墙，以代替防护堤。

防洪墙布置在河岸边缘，底面应埋入地基内一定深度，为了防止波浪，特别是反射波的冲刷，防洪墙迎水侧附近的河底应用石块或铅丝笼等材料进行保护。

防洪墙的型式基本上可分为 3 类，即重力式墙、悬臂式墙和扶壁式墙。

1. 重力式墙

重力式防洪墙又可根据其所采用的材料和墙体结构的不同，分为混凝土防洪墙、砌石防洪墙、桩基式防洪墙。

(1) 混凝土防洪墙。重力式混凝土防洪墙是防洪墙常用的一种型式。如图 1-4 所示，墙的迎水面通常为竖直面，背水面为倾斜面，但有时为了反射冲击墙面的波浪，也有将墙面做成曲线形的。

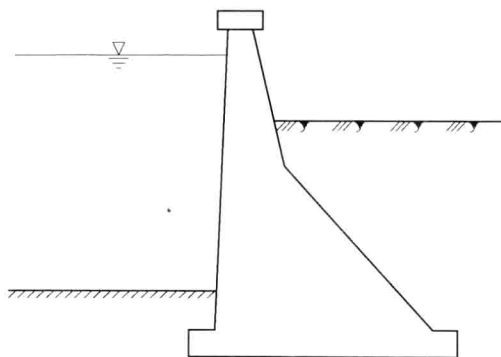


图 1-4 混凝土重力式防洪墙

(2) 砌石防洪墙。砌石防洪墙可用干砌石和浆砌石做成，图 1-5 所示为干砌石防洪墙，墙的顶部厚度为 1.0m，底部厚度为 1.5~2.0m，背面填土，砌石墙的顶部应高于河道的设计最高水位，其底部则伸入河底以下，以防水流和波浪的淘刷。

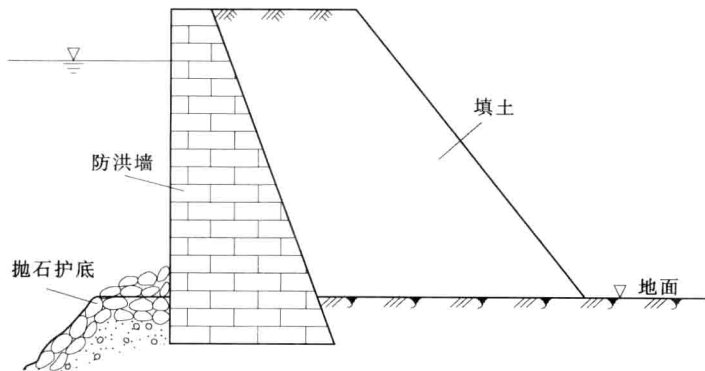


图 1-5 砌石防洪墙

(3) 桩基式防洪墙。当地基为软土，承载力较低时，可将防洪墙修建在桩基上。图 1-6 所示为桩基防洪墙，墙体可用混凝土建筑，也可用浆砌石建筑；迎水面常做成直线形，也可做成曲线形，以反射冲击墙面的波浪。墙体内还可设排水孔，以平衡墙体前后的水压力。

2. 悬臂式防洪墙

悬臂式防洪墙的形式如图 1-7 所示，通常用钢筋混凝土建造，墙的迎水面一般为竖直面，常常是一块钢筋混凝土板，底部固定在钢筋混凝土底板上。

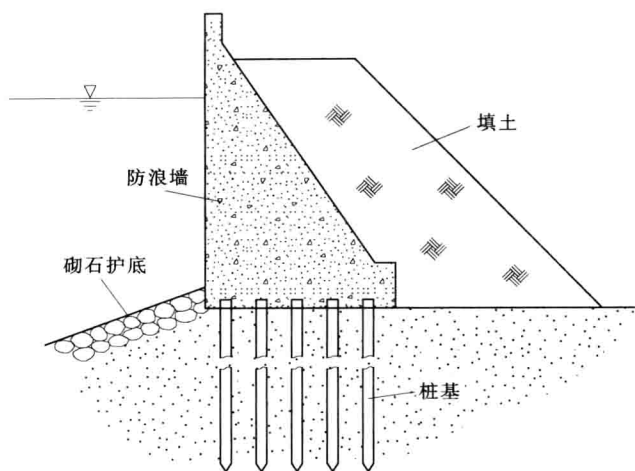


图 1-6 桩基式防洪墙

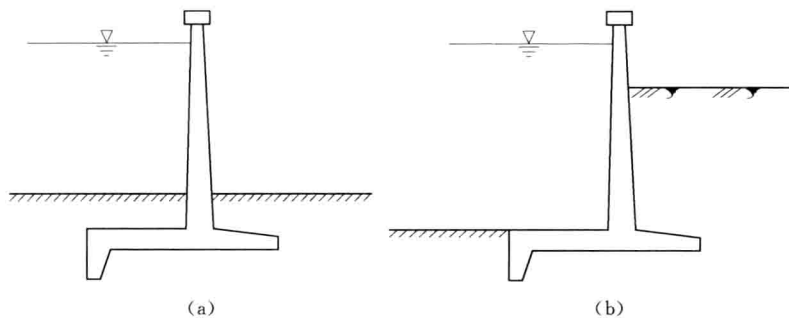


图 1-7 悬臂式防洪墙

3. 扶壁式防洪墙

扶壁式防洪墙的形式如图 1-8 所示，是在悬臂式墙的背水面每隔一定距离增设一道扶壁（支墩），以支撑墙面。扶壁式墙通常也是用钢筋混凝土建造，适用于墙体较高的情况。

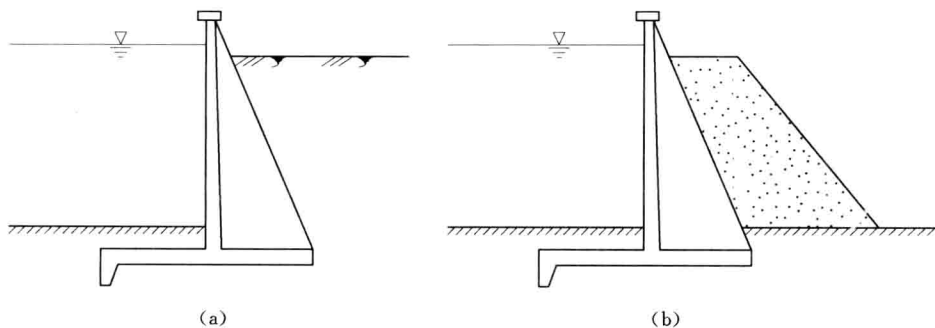


图 1-8 扶壁式防洪墙



为了加强墙体的稳定性,在墙的迎水面可设置水平趾板。为了防止墙底受到风浪的淘刷,在悬臂式和扶壁式防洪墙迎水面的水平趾板的端部可增设垂直齿墙。

为了防止防洪墙因温度变化和沉陷影响而产生裂缝,沿防洪墙长度方向每隔15~20m应设一道伸缩缝,缝内应设止水,以防漏水。

堤防型式的确定首先应根据地形、地质条件,筑堤材料的性质、储量和运距,气候条件以及施工条件进行综合分析和比较,初步选择型式,拟定断面轮廓,然后再进一步分析和比较工程量、造价、工期,最后根据技术上可靠、经济上合理、施工方便的原则,选定堤防的型式。

第三节 筑堤土料

一、筑堤土料的选择

筑堤土料的选择首先应遵循就近取材的原则,以利于运输。通常,在筑堤地点可能储藏有几种土料,选择哪一种土料来筑堤,这与土料的性质、化学成分和储量有关。

1. 均质土堤

均质土堤的土料一般要求具有一定的不透水性及可塑性,黏粒含量适宜,土中有机物和水溶性盐类的含量不超过允许的数值。

均质土堤的堤身要求具有一定的防渗能力,因此筑堤土料应具有一定的不透水性,通常采用渗透系数不超过 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/s}$ 、黏粒含量为10%~25%的壤土。黏粒含量过大,如黏粒达50%~60%的黏土,不仅开采困难,而且土块不易分散,含水量不易均匀,施工碾压也较困难。黏粒含量低的土,例如黏粒含量在6%以下的轻壤土、细砂和粉土,不仅防渗性能差,抗剪强度小,而且易发生液化。

土的可塑性不仅影响到土料填筑时的碾压效果,而且影响到堤体适应变形的能力,对堤体是否产生裂缝起着重要作用。对于均质土堤,通常以塑性指数在7以上的轻壤土和中壤土为最好。塑性指数过大,则黏粒含量过高,塑性指数过小,则透水性增大。

土中含有适量的有机物对改进土的抗剪强度、压缩性和湿化性是有利的,根据我国的筑堤经验,有机物含量按质量计不超过5%是适宜的。

水溶性盐类通常是指氯化钠、氯化钾、氯化镁、氯化钙、磷酸钙、磷酸铁和石膏等物质,这些物质易于溶滤,溶滤后将增大土的压缩性,并降低土的强度。因此,通常要求水溶性盐类的含量按质量计不超过3%~5%。

我国南方的棕、黄、红色的残积土和坡积土,虽然黏粒含量高,压实性能差,但是在容重较低和含水量较高的情况下,具有较高强度、较低压缩性和较小渗透性,因此也可用于填筑均质土堤。

西北地区的黄土,虽然其天然密度小、湿陷性大,但在适宜的填筑含水量情况下经压实后,仍为填筑均质土堤的良好材料。

2. 心墙和斜墙

用作心墙和斜墙等防渗体的土料,一般要求土的渗透系数应小于堤身材料渗透系数的