

堤防防渗工程技术

DIFANG FANGSHEN GONGCHENG JISHU

李思慎 主编

LI SISHEN ZHUBIAN

长江出版社



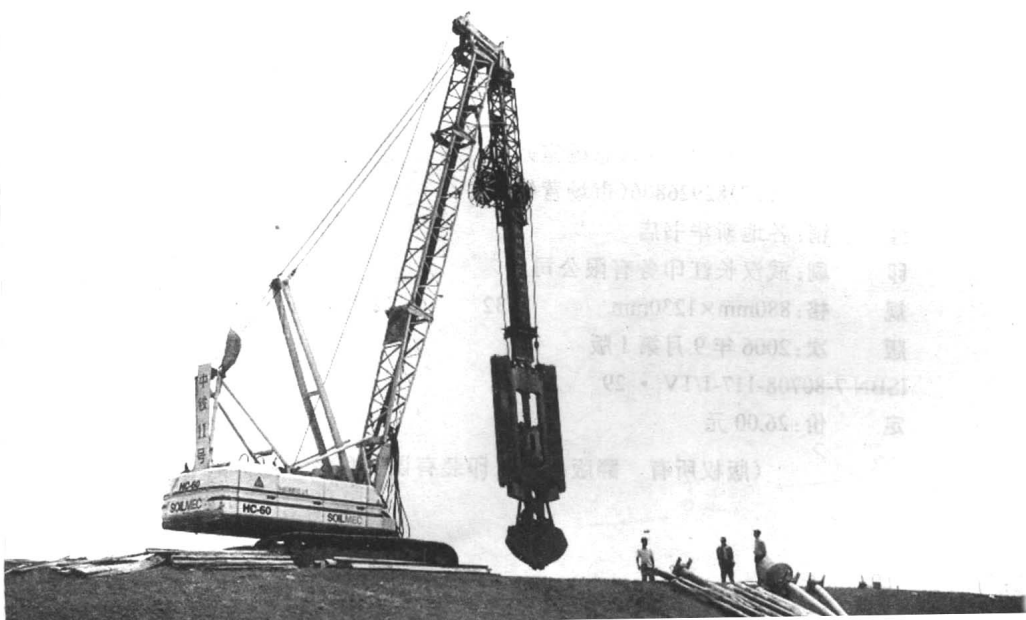
堤防防冲工程技术

DIFANG FANGSHEN GONGCHENG JISHU

李思慎 主编

LI SISHEN ZHUBIAN

长江出版社



图书在版编目(CIP)数据

堤防防渗工程技术/李思慎等编著. —武汉:长江出版社, 2006.3

ISBN 7-80708-117-1/TV · 29

I. 堤… II. 李… III. 堤防—渗流控制—工程技术
IV. TV871

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 011754 号

堤防防渗工程技术

李思慎 编著

责任编辑:高伟

装帧设计:刘斯佳

出版发行:长江出版社

地址:武汉市解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail: cjpub@vip.sina.com

电 话: (027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉长江印务有限公司

规 格:880mm×1230mm 1/32

12.75 印张 323 千字

版 次:2006 年 9 月第 1 版

2006 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-80708-117-1/TV · 29

定 价:26.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

《堤防防冲工程技术》

编纂人员

主 编 李思慎

副 主 编 王造根 饶和平 熊进 王府义 郭玉

洪议学 周紧东 刘百兴 徐国新

审 稿 李允中 蒋振中

编写人员 孔祥林 蒯圣堂 丁金华 李家正 申昌明

王满兴 占世斌 秦兆梅 周丽莲 黎刚

薛小红 江世荣 魏运明 李静希

前 言

堤防是沿江、河、湖、海修筑的挡水建筑物，是防洪体系的重要组成部分，是被保护地区人民抵御洪水的直接屏障。历史上，堤防对中华民族的生存繁衍、社会进步曾有重要贡献；在今天，堤防对沿堤地区的经济持续发展、社会和谐稳定还将继续发挥其不可替代的作用。

我国现有各类堤防 20 余万 km，其中长江、黄河、淮河、松花江、珠江等主要河流的干流堤防累计长 1 万余 km。堤防建设有数十年、数百年以至数千年之久，据长江堤防考证，“堤防之设，始于楚相孙叔敖”，距今已 2 500 余年。在历史的长河中，堤防由低到高、由小到大，小垵联成大圩。至新中国成立前夕，长江、黄河等大江大河干流防洪堤防已基本成形，但防洪标准低、抗洪能力差，远远不能满足防洪保安之需要。新中国成立后，党和国家对江河湖海的防洪问题十分重视，对堤防进行加高培厚，清除生物隐患，抛石稳定河岸，大大提高了堤防的防洪能力，为战胜新中国成立后的几次大洪水，特别是 1998 年长江、松花江大洪水发挥了重要作用。但限于技术和经济条件，历经半个世纪的不断加固，绝大多数堤防仍未能达到防洪规划标准。堤身的隐患、堤基的缺陷、河岸的崩坍等威胁堤防安全的问题尚未彻底解决。长江流域 1998 年大洪水，更加突显长江堤防的防洪能力与其被保护地区在国民经济发展中的地位极不相称，加固长江堤防已成燃眉之急。

1998 年大洪水后，党中央、国务院高度重视防洪问题，斥巨资、举国债进行长江堤防建设。1999 年 8 月 25 日国务院第 46 次总理办公会议决定，长江一、二级堤防等重点堤防中的穿堤建筑物、基础加固和防渗处理、抛石固基等施工难度大、技术要求高的工程（以下简称长江重要堤防隐蔽工程）由长江水利委员会（以下简称长江委）负责组织建

设,这是提高长江堤防加固建设的技术水平和工程质量、加快工程进度的重大决策。长江委长江重要堤防隐蔽工程建设管理局作为项目法人,严格执行项目法人责任制、招标投标制、建设监理制和合同管理制度,按照基本建设程序进行工程建设。目前,工程已经建成并经4~6个水文年的考验,工程质量良好、发挥了较为显著的社会效益和防洪效益。工程已于2005年10月通过了水利部主持的竣工验收。

作为隐蔽工程的重要组成部分,防渗工程广泛采用了新技术、新工艺、新材料,大量利用了薄垂直防渗墙技术。长江重要堤防隐蔽工程防渗处理长度为367.46km,薄防渗墙面积达421.38万 m^2 ,防渗墙最深达37m。各种造墙工法(如开槽置换、深层搅拌、高压喷射及振动挤压等)都在实际工程中得以应用、完善。参建的各类造墙设备累计达千余套(次),不仅为保质保量完成防渗工程作出贡献,而且设备自身也得到了改进和提高。

《堤防防渗工程技术》一书就是对在长江重要堤防隐蔽工程中应用的各种防渗技术各工法作一个全面的总结,同时,本书还简要介绍了堤防除险加固的防渗技术、堤防防汛抢险技术和堤防防渗工程质量检测技术,供有关专业人员参考。

本书具有以下特点:①紧密结合工程实际,从基本理论、施工方法、主要设备与配套设备以及质量检测与评定几个方面对每种防渗技术有针对性地加以详细介绍,实用性强;②内容新颖,本书所采用的参考文献全部为该领域的最新研究成果;③工程实例论述全面,每个实例均具有同类技术的代表性。除了堤防防渗技术之外,本书还简要介绍了堤防除险加固的防渗技术、堤防防汛抢险技术。

在本书的撰写过程中,引用了长江委综合勘测局、长江勘测规划设计研究院、长江科学院以及其他单位的有关资料,在此一并表示感谢。

鉴于编著者水平有限,书中难免有误,敬请广大读者不吝指正。

编者

2006年6月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1 堤防及其作用	(1)
2 国内外大江大河堤防概况	(3)
3 长江重要堤防干堤堤身填土状况和堤基地质结构	(14)
4 堤防出险的种类	(17)
5 土堤和透水基础中的防渗结构单元	(19)
6 防渗材料	(25)
7 土工合成材料在堤防防渗工程中的应用	(38)
第 2 章 渗流与渗流计算	(50)
1 各种堤防土料与地基的渗透特性	(50)
2 渗流破坏的机理	(53)
3 渗流计算	(55)
4 渗流计算实例——枞阳长江干堤	(69)
第 3 章 堤防除险加固的防渗技术	(72)
1 概述	(72)

2	防渗加固的方案选择	(74)
3	各种防渗结构	(78)
第4章	锥探灌浆和劈裂灌浆防渗技术	(94)
1	概述	(94)
2	锥探灌浆防渗技术	(103)
3	劈裂灌浆防渗技术	(112)
第5章	深层搅拌法防渗技术	(127)
1	概述	(127)
2	施工机械及配套设备	(132)
3	施工方法及工艺	(143)
4	质量控制及质量检测方法	(152)
5	工程实例——荆南长江干堤埠河至双石碑堤段防渗工程	(156)
第6章	置换法防渗技术	(159)
1	薄型液压抓斗法	(159)
2	射水法建造防渗墙技术	(188)
3	锯(拉)槽法建造防渗墙技术	(206)
4	冲击钻法、冲击反循环法、反循环和回转钻法建造 防渗墙技术	(225)
5	导管(气举)反循环法防渗墙技术	(230)
第7章	高压喷射灌浆防渗技术	(237)
1	概述	(237)
2	机械设备的选型与配套	(243)
3	灌浆材料及配方	(253)
4	施工工艺及方法	(257)

5	质量检验	(263)
6	工程实例	(265)
第 8 章 挤压法防渗技术		(274)
1	振动沉模法	(274)
2	德国保峨超薄防渗墙工法(D-WALL)	(287)
3	振动切槽法	(295)
第 9 章 钢板桩防渗墙技术		(303)
1	概述	(303)
2	施工机械及配套设备	(303)
3	钢板桩防渗墙的结构设计	(305)
4	施工工艺及方法	(306)
5	异形钢板桩现场制作工艺质量控制及用量控制	(312)
6	钢板桩合龙技术	(316)
7	转角桩施工技术	(318)
8	施工质量控制与检测	(322)
9	工程实例——长江荆江大堤观音寺闸和洪湖干堤 燕窝堤段钢板桩防渗工程	(327)
第 10 章 堤防防渗工程质量检测技术		(348)
1	防渗工程质量检测分类	(348)
2	防渗工程质量检测的依据	(349)
3	防渗墙工程质量检测	(350)
4	水平防渗工程质量检测	(356)
5	防渗工程质量检测实例	(356)
第 11 章 堤防防汛抢险技术		(360)
1	概述	(360)

2	堤身漏洞险情的判别与抢护	(362)
3	堤基管涌险情的判别与抢护	(368)
4	散浸险情的判别与抢护	(377)
5	背水脱坡(滑坡)险情的判别与抢护	(380)
6	堤防其他险情及其防护方法简介	(384)
7	堤防渗漏抢险实例	(387)
参考文献		(393)

第1章 概论

1 堤防及其作用

1.1 堤防的定义

堤防是沿河、渠、湖、海岸边或行洪区、分蓄洪区、围垦区的边缘修筑的挡水建筑物，是世界上最早广为采用的一种重要的防洪工程。筑堤的目的是防御洪水泛滥，保护沿岸居民生命财产和工农业生产。河堤约束洪水后，将洪水限制在行洪道内，使同等流量的水深增加，行洪流速增大，有利于泄洪排沙。筑堤还可围垦造田，增加农业生产。堤防还可以抵挡风浪及抗御海潮。筑堤时要对约束洪水的作用进行详细分析规划，以确保行洪道达到设计的防洪要求。

1.2 堤防分类

堤防按筑堤位置可分为江(河)堤、湖堤、海堤、渠堤及分洪区、行洪区、围垦区的围堤等；按堤防的功用分为防洪堤、防涝堤、防浪堤、防潮堤等；按堤防的分布及重要性分为干堤、支堤、民堤；按筑堤材料分为土堤、砌石堤、钢筋混凝土或圬工防洪墙、分区填筑的土石混合堤等；按堤身断面形式分为斜坡式堤、直墙式堤或直斜复合式堤等。中国明代潘季驯治河时，把黄河下游布置的堤防按功用分为遥堤、缕堤、隔堤及月堤4种。堤防多为斜坡式土堤，在城市，一般是用钢筋混凝土做防洪墙，有时还与砌石堤和土堤一起构成堤防。

1.3 堤身横断面设计

土堤的横断面一般为梯形或复式梯形,其设计包括两部分内容:①断面尺寸的初步拟定;②进行边坡、渗透、抗震稳定的计算。首先根据设计标准确定设计流量,根据选定的堤距推算水面线,求出沿程各断面的设计洪水位,加上波浪爬高及安全超高,定出各处的堤顶高程。土堤的安全超高一般取 0.5~1.0m。长江干流堤防超高按堤防等级分别为:一级堤防 2.0m、二级堤防 1.5m、三级堤防 1.0m。

堤顶宽度主要考虑防汛抢险、物料堆存和交通运输的要求。通常采用的堤顶宽度是:堤高在 6m 以下,堤顶宽度为 3m;堤高在 6~10m,堤顶宽度为 4m;堤高在 10m 以上,堤顶宽度不小于 5m,主要江河的堤顶还要根据防汛要求加宽。长江重要干堤顶宽为 6~12m。黄河大堤堤顶宽为:平工段 7~10m,险工段一般 9~12m,近年来采用淤背加固后,有的险工段堤顶宽达 50m,局部达 100m(花园口段)。美国密西西比河堤顶宽 3.05m,如用做公路,则加宽到 7.62m。

1.4 堤防边坡设计

堤防边坡设计需根据该河段洪水持续时间进行渗透、稳定分析计算,在地震区,还要考虑抗震问题。在工程实践中,通常根据防洪的经验来决定堤防的边坡。用第四系黏性土为主修筑的堤防,洪水持续时间不长而堤高不超过 5m 时,堤防内外坡比均可采用 1:3。长江荆江大堤采用 1:4 或上 1:3、下 1:5;长江干支堤、黄河大堤采用 1:3;密西西比河堤防迎水坡采用 1:3.5~1:4.5,背水坡采用 1:4.5~1:6.5。堤防常遇到由砂性土组成的透水堤基,在洪水压力作用下,渗流往往导致堤脚发生管涌或流土,危及堤防安全。为了增强堤基的渗透稳定性,常在堤线的临江(河)一侧修筑截渗墙或上游铺盖,在背河一侧采取放淤、吹填盖重或人工加修戗堤、压浸台等方式,也有的采用砂石排水棱体、减压井(沟)等方式,

以保护堤防安全。钢筋混凝土和圬工防洪墙的横断面设计,需根据设计荷载,由建筑物的结构计算来确定。

1.5 堤防的作用

堤防是河流最古老、最基本的防洪设施,具有悠久的历史。在历史上,堤防对保护人民生命财产和工农业生产的安全起过重要的作用。随着时代的发展,堤防的重要性更加突出。如在长江流域,1931年大洪水,长江干堤溃口300多处,圩垸全部溃决,死亡14.5万人。1954年大洪水,长江干堤溃口60多处,圩垸全部溃决,死亡3.3万人,淹没耕地317万 hm^2 。长江堤防经过几十年的建设,中下游堤防已超过3万 km ,其中干堤长3600 km ,保护人口超过3000万人。1998年大洪水,沿江百万军民在党中央、国务院领导下奋力抗洪,除九江长江干堤外,大洪水只造成部分洲滩堤垸溃决,淹没耕地23.93万 hm^2 ,死亡1526人(主要死于山洪、泥石流),沿江城市和交通干线没有受淹。由此可以看出,堤防作为防洪的重要屏障,其防御洪水泛滥,保护人民生命财产免遭洪灾破坏的作用已日益凸现。

2 国内外大江大河堤防概况

堤防作为一种防洪设施,在国内外得到广泛的应用。下面对国内外河流的堤防情况作一简介。

1.2 我国堤防概况

2.1.1 长江

长江是世界第三大河流,中国第一大河,干流全长约6380 km ,流域面积180万 km^2 ,流域横跨中国西南、华中和华东三大经济区,流域范围涉及19个省、自治区、直辖市的81个地区、14个自治州、98个地级市、251个市辖区、63个县。至2000年底,全流域共有人口42336万,占全国总人口的34%,其中农业人口31363万,约占

流域总人口的74.0%。流域内GDP为48 773.46亿元,占全国GDP的54.6%。长江堤防历史悠久,据史料记载,荆江大堤始建于东晋时期(公元345年),距今有1 650多年。长江中下游堤防多数也有数百年历史,是长江防洪的重要基础设施。至2000年底,长江堤防合计有69 546km长,保护耕地面积1 051.8万 hm^2 ,保护人口6 107.1万,其中干堤全长约3 600km,分布在中下游干流两岸:左岸上起湖北荆州枣林岗,下至江苏南通与海塘相接;右岸上起湖北松滋灵钟寺(老城),下至江苏徐六泾。

根据保护对象的重要性,长江堤防分为四级:一级堤防为重点堤防,包括荆江大堤、南线大堤、无为大堤和武汉、南京、上海等重点防洪城市市区堤防,全长560km;二级堤防为长江重要江堤,包括松滋江堤、荆南长江干堤、洪湖监利长江干堤、岳阳长江干堤、咸宁长江干堤、汉南一白庙长江干堤、黄冈长江干堤、耙铺大堤、黄广大堤、同马大堤、广济圩江堤、枞阳江堤、铜陵江堤、和县江堤、马鞍山江堤和江苏省长江干堤等,全长2 480km;三、四级堤防属一般江堤,全长536km。支流上的汉江遥堤是汉北平原及武汉市的防洪屏障,也属一级堤防。

在上述一级堤防中,荆江大堤(荆州枣林岗—监利城南,长182.35km)堤身高10~12m,最高16m,汛期洪水位高出地面10余m,保护荆北平原73万 hm^2 耕地和近1 000万人口,可缓解洪水对武汉市的威胁,历来是长江防洪的重点。武汉市堤(包括汉口、汉阳、武昌3个防洪保护圈堤防,全长195.8km)、九江市堤(27.3km)、安庆市堤(18.84km)、无为大堤(124km)、南京江堤(近200km)和上海市堤(包括海塘460km,黄浦江堤123km,苏州河防洪墙干流与支流计61km),均保护着长江沿岸重要城市的安全。

长江沿线堤防堤身基本断面形式多为梯形,是逐次分阶段就近取土加培而成,堤身填土混杂、密实度不均;堤基有多层结构、双层结构及单一结构三大类型。由于内外渊塘分布,黏土盖层被切割,堤身堤基抗渗性能差,堤内常出现散浸、渗漏、管涌(泡泉)等险情,

堤外由于近岸水流冲刷,崩岸险情也时有发生。

目前,长江干流仅靠堤防的防洪能力为:荆江大堤为近10年一遇洪水,城陵矶河段堤防为10~15年一遇洪水,武汉市堤为20~30年一遇洪水,湖口河段和无为大堤为约20年一遇洪水,江苏干堤为略高于20年一遇洪水,上海黄浦江堤规划达1000年一遇洪水标准。

在长江中下游干流主要堤防中,约有400余km堤段的堤基经常出现翻砂鼓水险情。此类堤段堤基一般为双层结构,上部为较薄的黏性土,局部夹淤泥透镜体,下部为深厚砂性土。新中国成立以来,对这类堤段堤基做过大量的除险整治处理工作,积累了较多的工程实际经验,概括起来,主要采取了压排相结合的工程方案,工程措施包括填塘固基和修筑压浸平台、减压井及导渗沟等。1998年大水后,国家加大了对长江中下游主要堤防建设的投资力度,特别是针对堤基地质条件差等问题,加强了对堤身、堤基的防渗处理。在长江重要堤防隐蔽工程和薄防渗墙工程中广泛采用了新技术、新工艺和新材料,如深层搅拌法、置换法(包括锯槽法、射水法、抓斗法、冲击钻法、气举反循环法等)、高压喷射法(包括旋喷和摆喷)、挤压法(包括振动切槽和振动沉模)、垂直铺塑法和钢板桩等防渗技术,大力推广使用塑性混凝土和水泥土,且不断优化其材料参数,达到了良好的防渗效果。经过1999—2002年3个年度的建设,长江重要堤防隐蔽工程的防渗能力得到了很大的提高,经受住了2002年秋汛洪水的考验,长江堤防更加稳固,防洪能力进一步提高。

2.1.2 黄河

黄河是我国第二大河流,干流全长5464km,流域面积为79.5万km²,流域横跨青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东9省、自治区。黄河下游河道为著名的地上“悬河”,现有河床一般高出背河地面4~6m,河势游荡多变,主流摆动频繁,洪水灾害时有发生。在黄河下游,堤防是防御洪水的主要屏障,其建堤历史非常悠久。黄河大堤是随着河道变迁经历代劳动人民不断修建而成的。

黄河流域现有河道两岸大堤,东坝头以上建于明清时期,已有 500 多年的历史,东坝头下是 1855 年铜瓦厢决口改道后修筑的,亦有近 150 年的历史。人民治黄以来,黄河下游共经过 3 次较大规模的修筑,第一次是 1950—1959 年,第二次是 1962—1965 年,第三次是 1974—1985 年。经过 3 次对堤防加高加固,大大增强了堤防的防洪能力,对保护两岸人民的生命财产安全起到了巨大的作用。

目前,黄河下游共有各类堤防 2 285.115km,其中临黄堤 1 371.2km、分滞洪区堤防 312.868km、支流堤防 199.32km,其他堤防 247.340km,渔洼以下堤防 157.245km,共有设防堤长 1 952.81km。

黄河下游临黄大堤长 1 371.2km(不含河口堤 77.5km),其中,左岸长 747km,分为 3 段;右岸长 624.2km,分为 2 段。目前黄河下游临黄大堤一般高 7~10m,最高达 14m(原阳堤段),迎水地面和背水地面高差为 3~5m,最高达 10m 以上(开封大王潭堤);堤防断面顶宽一般为 7~12m;艾山以上堤段迎、背水坡坡比一般为 1:3,艾山以下迎水坡坡比一般为 1:2.5,背水坡坡比一般为 1:3。

黄河下游防洪保护区面积约 12 万 km²,保护区内人口有 8 510 万、耕地 733 万 hm²。保护区内有郑州、开封、新乡、济南等 8 个地级以上重要城市;分布着京九和津浦等重要铁路干线及中原油田、胜利油田、兖济和淮北煤田等重要能源基地;还有众多公路交通干线、灌排系统等。黄河一旦决口,洪灾损失将非常巨大。因此,黄河下游堤防保护区的防洪标准定为 200 年一遇以上,相应的堤防级别定为一級。

黄河下游堤防加固主要是解决堤防溃决问题。对于堤身,不仅应满足渗流稳定要求,还要消除因填筑不实、土质不良、獾狐洞穴等隐患引起的堤身破坏;另一方面由于黄河下游堤基复杂,洪水期容易形成集中渗流,出现渗透变形,甚至对堤防造成破坏,也要防止堤基问题引起的流土、管涌等破坏。人民治黄以来,黄河下游大堤加固采用的主要防渗加固措施有放淤固堤、锥探灌浆及修筑前戗、后戗和截渗墙等。

填筑前戽是选择渗透系数较小、优于原堤身土质的土料培厚大堤迎水侧,通过迎水截渗,达到降低堤身浸润线的目的。填筑后戽是在大堤背水坡采用人工或机械填土夯实的方法,培厚大堤断面,达到延长渗径长度的目的。放淤固堤是利用挖泥船或泥浆泵抽取河道的泥沙,输送到堤防背水侧,形成放淤体,延长渗径长度。混凝土截渗墙是在堤防的堤身、堤基开槽浇注混凝土墙体,以达到截渗目的。锥探灌浆是在大堤上普遍进行,以填充部分堤身空洞、裂缝,达到加固堤身、防止渗漏的目的。

2.1.3 淮河

淮河流域位于我国中部,介于长江、黄河之间,流域横跨河南、安徽、江苏、山东及湖北5省,干流全长1 000km,流域面积为27万 km^2 。淮河水患频繁,两岸人民筑堤防洪历史悠久。淮河堤防主要集中在中下游,其中游堤防,按其保护对象和工程性质分为淮北大堤、城市工矿圈堤、一般堤防、蓄洪区堤防和行洪区行洪堤5类。

淮北大堤由涡西和涡东两大确保堤圈组成,包括正阳关以下淮河干流左堤237km,颍河左堤、涡河左右堤、西肥河左右堤及凤台、怀远两县城圈堤,全长704km。淮北大堤平均堤高7m左右,最高达11m,迎水坡坡比一般为1:3,保护耕地67万 hm^2 、人口500万。蚌埠市圈堤是典型的城镇工矿圈堤,全长10.04km,堤高8~10m,保护着安徽省重要城市蚌埠市全市工、农业生产及人民生命财产的安全。

淮河流域其他较为重要的堤防有:①入江水道大堤,全长421.44km;②洪泽湖大堤,全长67.25km;③里运河大堤,全长314.4km;④小洪河两岸堤防,全长405km;⑤大洪河两岸堤防,全长166.5km;⑥汝河两岸堤防,全长369.9km;⑦沙颍河干堤,河南段全长525.5km,安徽段全长363.93km;⑧涡河西堤长113.37km,东堤长173km;⑨苏北总干渠两岸堤,全长313.2km;⑩分淮入沂水道两岸堤,全长41km;⑪沂河干流堤防,全长316.25km;⑫新沂河堤防,全长279.3km;⑬沭河和新沭河堤防,全长527km;⑭泗河堤防,全长138km;⑮东鱼河干流堤防,全长