

# 九里河姚巷荡排涝站段堤防 应急除险加固工程处理

张 浩<sup>1</sup>, 康 飞<sup>1</sup>, 吴 凯<sup>1</sup>, 朱彬彬<sup>1</sup>, 苗晨阳<sup>2</sup>

(1. 无锡市锡山区鹅湖镇水利管理站, 江苏 无锡 214116; 2. 南京水科院瑞迪科技集团有限公司, 江苏 南京 210029)

**摘要:**针对九里河姚巷荡排涝站段堤防出现背水侧坡脚饱和湿润、局部堤身存在渗漏异常等重要问题,采取工程测量、工程勘察及地质雷达探测等前期工作,根据基础资料结果分析渗漏原因,结合现状排涝站和堤防防洪安全要求,采用高压旋喷桩防渗墙加固方案,并进行稳定复核计算和工程检测验证。结果表明:此除险加固方案满足堤防渗流安全、抗滑安全等相关规范要求,为堤防应急除险加固设计提供思路和技术指导。

**关键词:**堤防加固; 除险加固; 稳定计算; 高压灌浆

中图分类号:TV675

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)10-0035-0003

## Treatment of emergency relief and reinforcement engineering for the embankment of the Yaoxiangtang drainage station in Jiulihe River

ZHANG Hao<sup>1</sup>, KANG Fei<sup>1</sup>, WU Kai<sup>1</sup>, ZHU Binbin<sup>1</sup>, MIAO Chenyang<sup>2</sup>

(1. Ehu Town Water Conservancy Management Station of Xishan District of Wuxi City, Wuxi 214116, China;

2. Nanjing R&D Technology Group Co., Ltd., Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** In response to important issues such as saturated moisture at the foot of the embankment at the Yaoxiangtang drainage station in Jiulihe River and abnormal leakage in local embankments, preliminary work such as engineering measurement, engineering survey and geological radar detection were carried out. Based on the results of basic data, the reasons for leakage were analyzed. In combination with the current flood control safety requirements of the drainage station and embankment, a high-pressure rotary jet grouting pile anti-seepage wall reinforcement plan was adopted, and stability review calculations and engineering testing verification were carried out. The results indicate that this reinforcement plan meets the requirements of relevant regulations such as seepage safety and anti slip safety of embankments, providing ideas and technical guidance for emergency reinforcement design of embankments.

**Key words:** embankment reinforcement; risk removal and reinforcement; stable calculation; high pressure grouting

堤防是抵御洪水侵袭和保障人民生命财产安全的重要基础设施,而穿堤建筑物在沿江堤防工程防汛中又发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。由于穿堤建筑物与堤防相连接,当堤防土体不密实时,结合部位容易出

现渗漏,严重时可能引发管涌险情,造成堤防坍塌和建筑物结构破坏<sup>[2-4]</sup>。前人依托不同堤防险情进行除险加固设计研究<sup>[5-8]</sup>。常用除险加固措施有高压旋喷桩防渗墙<sup>[9]</sup>、塑性混凝土防渗墙<sup>[10]</sup>及深层搅

收稿日期:2023-08-30

作者简介:张浩(1991—),男,工程师,本科,主要从事水利工程建设 and 运行管理工作。E-mail:2953708274@qq.com

通信作者:苗晨阳(1993—),男,硕士研究生,主要从事水利工程咨询设计工作。E-mail:379415856@qq.com

拌桩防渗墙<sup>[11]</sup>。本文以姚巷荡排涝站堤防应急除险加固工程为例,采用工程地质勘察、土工试验、地质雷达探测等综合勘探方法,对现状堤防进行病险分析,然后进行除险加固设计,并在工程完工后检测验证。

### 1 工程概况

姚巷荡排涝站为堤后式布置型式,防洪标准为50年一遇,装机功率355 kW,主要建筑物定级为4级,次要建筑物级别为5级。根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2017)要求,本工程等别为Ⅳ类,工程规模为小(1)型。泵站机组为3台500HW-6混流泵及2台700ZLB-4轴流泵,设计总排涝流量为3.7 m<sup>3</sup>/s。

由于排涝站建成已久,排涝泵站出水箱涵穿堤段出现渗漏积水现象,九里河堤防与穿堤构筑物结

合部、局部堤身存在渗漏异常,存在安全隐患,严重影响泵站的排涝效益,应进行除险加固设计。

### 2 工程地质

为掌握九里河姚巷荡排涝站段堤防地质工程特性,需要开展必要的勘察工作,采用地质雷达无损检测技术获取堤防工程堤身填土的密实情况,找出堤身填土不密实区域和渗流通道,为后期设计工作提供基本依据。

#### 2.1 土层特性

姚巷荡排涝站场地内埋藏的地层主要有第四系人工填土层Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>、第四系冲积层Q<sub>4</sub><sup>al</sup>。场地内发育的地层按自上而下的顺序依次如下:<1-1>素填土、<2-1>黏土、<2-2>粉质黏土、<2-3>粉砂、<3-1>黏土、<3-2>粉质黏土、<3-3>黏质粉土。各土层物理力学指标见表1。

表1 九里河姚巷荡排涝站段堤防各土层承载力特征值及物理力学指标

时代与成因	岩土名称	天然重度γ/(kN/m <sup>3</sup> )	天然含水量ω/%	孔隙比e	直剪试验		压缩系数α <sub>0</sub> /(1/MPa)	垂直向渗透系数k <sub>v</sub> /(cm/s)	水平向渗透系数k <sub>h</sub> /(cm/s)
					凝聚力c/kPa	内摩擦角φ/(°)			
Q <sub>4</sub> <sup>ml</sup>	素填土	18.8	32.8	0.926	10.6	22.6	0.47	8.36E-06	1.08E-05
Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	黏土	19.8	27.4	0.763	10.4	58.9	0.23	1.46E-07	1.95E-07
Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	粉质黏土	19.3	30.5	0.848	12.9	40.0	0.32	1.89E-05	2.48E-05
Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	粉砂	19.3	29.0	0.796	28.4	5.5	0.18	5.14E-03	6.98E-03

#### 2.2 地质雷达探测

九里河姚巷荡泵站段堤防物探工作采用高密度电法和探地雷达综合物探技术,取得了良好的探测效果,显示堤防土体不密实异常主要集中在排涝泵站出水箱涵之间及其周边,堤防渗漏异常区也集中在排涝泵站出水箱涵之间及其周边,因此推断堤防的渗漏区主要集中在排涝泵站出水箱涵之间及其周边,深度区域主要分布在粉砂层,物探工作平面布置及综合推断见图1。

### 3 除险加固设计与稳定性验算

#### 3.1 除险加固设计

根据九里河姚巷荡泵站段现状情况、地质勘察及地质雷达物探等结果,基本判断存在的渗流安全隐患产生于九里河堤防,主要位于出水池穿堤箱涵与堤身结合段及上下游两侧,部分堤身密实性欠佳,存在局部渗漏可能性。渗漏段目前已形成渗流

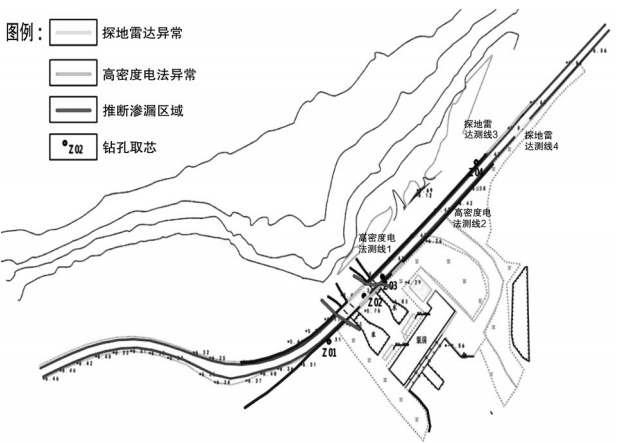


图1 姚巷荡排涝站段堤防物探工作综合推断平面图

通道,应选择可靠方案,减少渗漏水流对防渗措施产生的不利影响。

高压旋喷桩防渗墙具有桩体强度大,成墙整体性较好,防渗性能好,施工噪声低、振动小,施工简

单快速等优点。本次平面布置原则为对所有可能存在渗漏异常部位进行防渗处理,考虑从废弃老排涝泵站延伸到进站道路末端,总长度 79 m,防渗墙采用单排旋喷桩柱列式套接,沿堤顶轴线布设。

防渗墙厚度按下列公式计算:

$$T = \Delta H/[J] \quad (1)$$

式中: $T$ 为最小防渗墙厚度; $\Delta H$ 为最大外、内河水头差,外河校核洪水位 4.85 m、内河校核水位 -1.00 m。则即外、内河最大水位差  $H=5.85$  m; $[J]$ 为允许水力坡降。参考有关资料和工程经验,高压旋喷桩防渗墙的允许水力坡降一般  $[J]=50\sim 80$ ,这里取  $[J]=50$ 。

经计算,要求防渗墙厚度 0.12 m,考虑堤防渗漏严重,施工成桩的不均匀性,一般堤段设计高压旋喷桩防渗墙孔径 0.6 m,孔距 0.45 m,最小搭接厚度 396 mm。防渗墙顶部应不低于外河最高水位,九里河设计校核水位 4.85 m,防渗墙顶部高程应高于校核水位,设计取 5.50 m。

根据地勘资料,<2-2>粉质黏土层呈弱透水性,<2-3>粉砂层呈中等透水性,<3-1>黏土层呈极

微透水性,<3-2>粉质黏土层呈弱透水性。若防渗墙底部进入<3-2>粉质黏土层,则需穿过<3-1>黏土层,不仅工程量大,且墙底位于弱透水性,不利于形成完整防渗体系。因此,本次设计防渗墙底部进入<3-1>黏土层,该层为极微透水性,与防渗墙形成完整防渗体系。设计要求防渗墙底进入<3-1>黏土层不小于 2 m,墙底高程 -15.51~-16.04 m,最大深度 21.5 m。

### 3.2 稳定性验算

本次设计稳定分析采用抗滑稳定验算和渗流稳定验算。根据《碾压式土石坝设计规范 SL274—2020》规定要求,结合泵站运行中可能出现的不利情况,拟定 2 种工况对堤防进行计算,其中工况 1 为正向设计水位,工况 2 为正向校核水位。根据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013),本次堤防工程等级为 4 级,非常运用条件 I 下瑞典条分法安全系数规范值为 1.05。根据《水利水电工程地质勘察规范》中容许渗透坡降公式计算,粉砂层容许渗流坡降值为 0.47,除险加固后堤防渗流坡降和安全系数均满足规范要求,具体计算结果见表 2。

表 2 堤防渗流稳定及抗滑稳定计算结果

计算断面	计算工况	外河测水位/m	计算断面单宽渗漏/ ( $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ )	渗透坡降	允许渗透坡降	安全系数	允许安全系数
断面 1	工况 1	3.50	0.39	0.092	0.47	2.749	1.05
	工况 2	4.85	0.51	0.126		2.427	
断面 2	工况 1	3.50	0.41	0.161		1.478	
	工况 2	4.85	0.55	0.227		1.448	

## 4 工程检测验证

本工程完工后,委托第三方检测单位对现场工程桩进行钻孔取芯和室内试验,取样工程桩桩位于防渗墙东段,取芯长度 21 m,自桩顶向下 21 m 均有水泥土芯。送试样至实验室检测,其中水泥土试块 3 组,28 d 抗压强度检测结果分别为 4.1 MPa、3.1 MPa、2.2 MPa,水泥土渗透系数试件共 3 块,检测结果分别为  $2.85\times 10^{-6}$  cm/s、 $2.77\times 10^{-6}$  cm/s、 $3.75\times 10^{-6}$  cm/s,均满足设计要求,防渗效果良好,出水池穿堤段渗漏问题基本解决。

## 5 结 语

(1)针对排涝泵站出水涵穿堤段出现渗漏积

水现象,开展必要的勘察工作和地质雷达无损检测,获取堤防地质工程特性和堤身填土不密实区域及渗流通道位置,为除险加固设计提供基础资料。

(2)高压旋喷桩防渗墙具有桩体强度大,成墙整体性较好,防渗性能好,施工噪声低、振动小,施工简单快速等优点,适用于本次除险加固设计,且加固后堤防渗流坡降和安全系数均满足规范要求。

(3)排涝站穿堤段除险加固工程能够防止堤防险情对人民生活造成影响,同时保证排涝站发挥经济效益,这是一项长期性、长效性、常态性工作,需要科学设计、合理施工。

(4)本文对九里河姚巷荡排涝站段堤防除险加

(下转第 42 页)

合、集成等方面,详细论述了古运河扬州段数据底板的建设方法。采用 Cesium 三维地球引擎和 WebGL 技术研发的古运河扬州段数据底板展示应用平台,实现实景三维数字场景构建、陆上水下三维一体化查询、洪水预演预警可视化表达,展示了基于 WebGL 的古运河扬州段数字孪生数据底板分析应用效果。

本文研究了城市河道数字孪生的数据底板构建相关技术现状,为探索城市河道数字孪生建设提供借鉴,但难以全面反映数字孪生流域数据底板技术进展,需要在下一步实践中进一步完善。

#### 参考文献:

- [1] 徐芊芊. 关于PNZ水利枢纽数字孪生数据底板获取的思考[J]. 地理空间信息, 2009, 7(5): 264-267.
- [2] 张奇伟,王雪峰,李玉龙. 基于数字孪生的陈蔡水库管控一体数字化平台建设研究[J]. 中国水利, 2023(11): 52-55.
- [3] 陈述,纪勤,陈云,等. 基于知识图谱的智慧水利研究进展[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 51(3): 143-153.
- [4] 杜壮壮,高勇,万建忠,等. 基于数字孪生技术的河道工程智能管理方法[J]. 中国水利, 2020(12): 60-62.
- [5] 刘业森,刘昌军,郝苗,等. 面向防洪“四预”的数字孪生流域数据底板建设[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(6): 6-14.

(上接第37页)

固工程展开问题现状分析、除险加固设计、稳定性验算复核的研究思路,为类似的堤防加固设计研究提供创新性经验。

#### 参考文献:

- [1] 董浩. 大坝防渗加固中高压旋喷桩应用效果研究[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(6): 49-53, 63.
- [2] 张志远. 堤防及穿堤建筑勘察与除险加固分析[J]. 云南水力发电, 2023, 39(3): 115-120.
- [3] 甘磊,吴健,戴寿晔,等. 含施工裂缝隧道穿越段堤防渗流和稳定分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(1): 85-90.
- [4] 周仁练,马佳佳,苏怀智. 基于无人机载红外-可见双光成像的土石堤坝渗漏巡查方法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 51(3): 154-161.

- [5] 陈亮. 黑水河治理堤防除险加固设计分析[J]. 水利科学与寒区工程, 2023, 6(2): 117-120.
- [6] 杨丽. 珠江某河段堤防加固与除险工程设计实践[J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(12): 97-100.
- [7] 林聪,杨国瑞,高波,等. 堤防加固中穿堤建筑物设计探讨[J]. 水利技术监督, 2022(3): 192-193, 203.
- [8] 高波,田赞,孙凯,等. 塑性混凝土垂直防渗墙在田村水库除险加固工程中的应用[J]. 中国水利, 2021(14): 38-39.
- [9] 袁翠平,刘小刚,沈昊. 多头小直径深层搅拌桩防渗墙在水库大坝防渗工程中的应用[J]. 江苏水利, 2014(10): 13-14.
- [10] 赵轶男. 某穿堤建筑物对堤防渗漏及堤坡稳定影响分析[J]. 水利科技与经济, 2012, 18(5): 41-42.
- [11] 何淼,田春玲. 饮马河堤防塌岸险段工程除险加固工程设计方案[J]. 东北水利水电, 2010, 28(9): 5-6, 19.