

# 海堤工程病害分析与除险设计研究

邹 恒

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

**摘 要:** 在多年潮流和风浪的作用下,海堤结构部分区域受到了不同程度的损坏或影响。海堤多处的表观损坏本身对海堤防潮安全并不造成较大影响,但形成原因均与海堤堤身变形引起的不均匀沉降有关。通过对大堤现场观测和检测,初步探明海堤病害情况。根据综合分析复核,对病害成因进一步探究,查明病害形成机理和大堤主要安全隐患。制定针对性的除险加固方案,消除安全隐患。相关经验为类似海堤工程病害分析与除险设计提供参考。

**关键词:** 海堤病害分析;除险加固;安全复核

**中图分类号:** U443.16

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2025)07-0196-05

## Disease Analysis and Risk Elimination Design of Seawall Engineering

ZOU Heng

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092]

**Abstract:** Under the action of tides and wind waves for many years, some zones of the seawall structure have been damaged or affected to varying degrees. The superficial damage in many places of the seawall itself does not have a major impact on the tide-proof safety of the seawall, but the causes are related to the uneven settlement caused by the deformation of the seawall body. Through on-site observation and testing of the levee, the disease situation of the seawall has been preliminarily explored. Based on comprehensive analysis and recheck, the causes of the disease are further explored to identify the disease formation mechanism and the main safety hazards of the levee. The targeted risk elimination and reinforcement schemes are developed to eliminate the potential safety hazards, which provides the reference for the disease analysis and risk elimination design of similar seawall engineering.

**Keywords:** seawall disease analysis; risk elimination and reinforcement; safety recheck

## 0 引 言

海堤常年经受海浪的冲击以及风暴潮的侵袭,易于受到破坏。针对现场出现的特定情况,需要通过现场检测和计算研究综合分析海堤的病害和安全隐患<sup>[1]</sup>。目前已有一定的程序对海堤几个特定方面进行复核,以排查问题<sup>[2]</sup>。但具体到某些特定形式的岸线,病害产生的机理有所不同,需要针对性地制定除险加固方案。

堤身密实性病害可能对海堤造成重大安全后果,同时具有隐蔽性<sup>[3]</sup>。通过现场排查和机理分析找到渗流通道和脱空部位,采用压密注浆、堤身黏性土回填等措施对其进行封堵,是有效除险的重要内容<sup>[4]</sup>。

综上,海堤工程病害分析和除险设计对于保证海堤的安全、延长海堤寿命非常重要。

## 1 工程概况

海堤工程承担着抵御外海风浪的作用,是生命线工程,对人民生命财产的安全及区域的社会经济发展起着至关重要的作用。

长江口某地区2 km范围大堤是1998年围垦而成的一线海堤,防潮标准100 a一遇,墙顶高程约为8.56 m,海堤堤顶宽度8.0 m,高程7.5 m。外坡的上坡为1:2.5的混凝土螺母块护坡,下坡为1:2.5栅栏板护坡。内坡1:2.6的混凝土方板护坡,内青坎高程4.2 m,宽度6.5 m。

2014年按照200 a一遇高潮位加12级风标准实施一线海堤达标改造(见图1)。将防浪墙顶加高约至9.65 m,堤顶加高在堤顶内沿设置直立混凝土挡墙,采用回填碎石直接加高堤顶,并在堤顶浇筑混凝

收稿日期: 2024-11-10

作者简介: 邹恒(1991—),男,硕士,工程师,从事水利水运工程设计研究工作。

土路面至 8.45 m 标高。堤内坡设置约 25 m 内青坎, 填筑青坎至 3.0 m 标高。边坡采用绿化植草护面。外侧坡脚局部冲刷部位补抛块石。

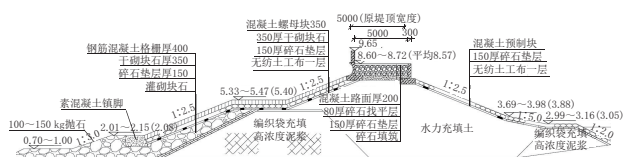


图 1 200 a—遇海堤断面图

经过多年运行,在潮流和风浪的作用下,大堤堤脚发生了淘刷,特别是低潮位时风浪对堤脚前沿块石的直接作用,使块石滚动和外移;堤身局部存在不同程度的掏空,堤顶路面和防汛墙出现不均匀沉降。海堤结构部分区域受到了不同程度的损坏或影响,存在安全隐患。

管理部门及时对海堤进行了维修,但日常的维修养护无法根本上解决大堤隐患,为确保堤防安全,对本段大堤进行综合分析评价,在此基础上提出对策。

## 2 海堤病害分析

## 2.1 区域岸滩侵蚀风险

根据长三角海岸侵蚀风险评价指标体系<sup>[5]</sup>,考虑近岸高程、岸滩坡度、沿岸输沙率、岸线变化率、平均潮差、有效波高、相对海平面变化、潮滩宽度、潮滩植被类型、潮滩植被带宽度、人口密度、主要土地利用类型、重点生态区域等因素,将海岸脆弱性水平和灾害水平分为5个等级:极高、高、中、低和极低,本区域属于风险等级水平“极高”。

## 2.2 外观调查

海堤整体路面未发现凹陷、脱空等现象,堤身无坍塌,结构较完整(见图2)。



图2 现状海堤整体面貌

路面可见横向贯穿裂缝,长5~7 m,裂缝最宽处达8 mm。防浪墙未发现明显的倾斜现象,但防浪墙分缝处有不同程度的砂浆脱落现象,且在局部分缝底部砂浆脱落形成了较大的空洞;堤防分缝两侧防浪墙顶部高度略微不同,系原因为堤防不均匀沉降所引起。

堤防外坡下部结构为混凝土栅栏板,海水冲刷侵蚀的程度较高,粗骨料外露情况较为明显。整体未见混凝土结构破坏、裂缝或断裂等情况。

内坡为砌块勾缝砂浆结构,存在不同程度的砂浆勾缝脱落,且砌块冲刷情况较为严重,普遍粗骨料外露,局部有坡身脱空、砌块下陷现象。

内坡挡墙存在轻微倾斜,局部部位有纵向裂缝现象。现状海堤破损照片见图3。

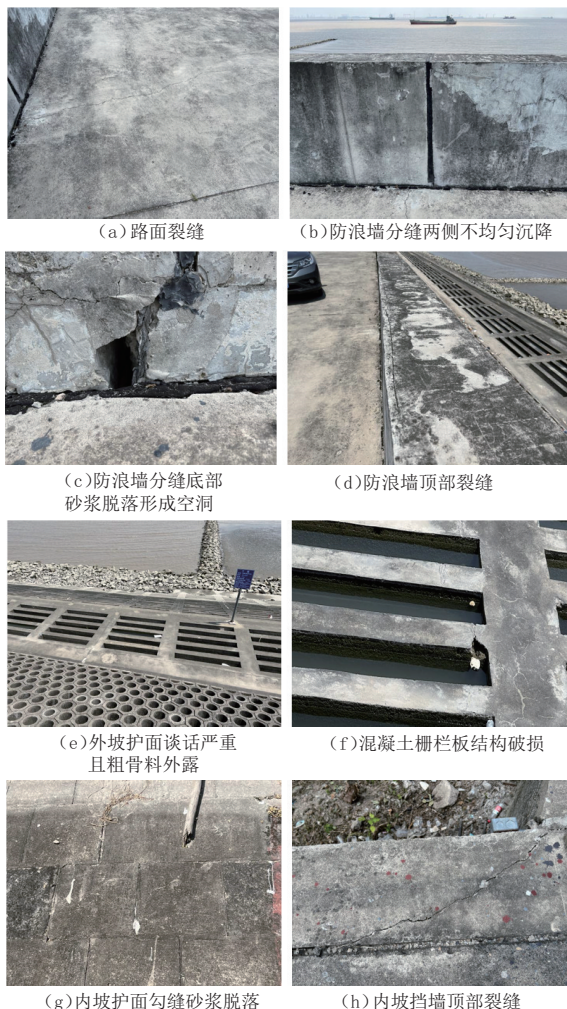


图3 现状海堤破损照片

### 2.3 堤身隐患探测

沿大堤堤顶内外侧布置两条测线,由雷达剖面图(见图4)可知,同相轴连续,振幅平衡,该段检测土体均匀密实,未见明显异常,局部电磁波出现绕射现象,推测为土体欠密实<sup>[6]</sup>。

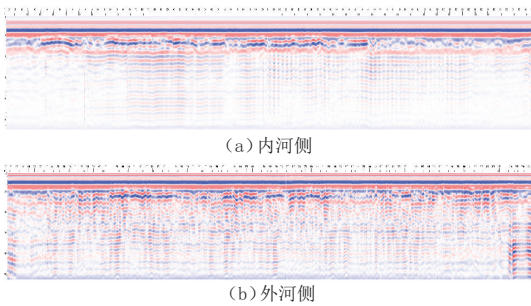


图4 地质雷达测量剖面

3 海堤安全复核

海堤规划设防标准为 200 a 一遇高潮位+12 级风(不低于同频风),根据《海堤工程设计规范》(GB/T 51015—2014)3.2.1 条,工程级别为 1 级。

海堤外海(长江)侧的特征水位见表 1。

表 1 海堤外海(长江)侧的特征水位

| 潮位名称                  | 潮位数值/m |
|-----------------------|--------|
| 多年平均高潮位               | 3.32   |
| 多年平均低潮位               | 0.72   |
| 多年平均潮位                | 2.02   |
| 设计高潮位 $P=0.5\%$       | 6.33   |
| 各累计频率高潮位/m<br>$P=1\%$ | 6.07   |

3.1 防潮能力复核

按《海堤工程设计规范》(GB/T 51015—2014)第 8.3.1 条,堤顶高程应根据设计高潮位、波浪爬高及安全超高值按式(1)计算。

$$Z_p = h_p + R_F + A \tag{1}$$

式中: $Z_p$ 为设计频率的堤顶高程, m; $h_p$ 为设计频率的高潮位, m; $R_F$ 为按设计波浪计算的累积频率为  $F$  的波浪爬高值(海堤按不允许越浪设计时  $F=2\%$ ,按允许部分越浪设计时  $F=13\%$ ), m; $A$  为安全加高值, m,海堤均按不允许越浪的 1 级堤防取为 1.00 m。

根据实测断面数据防浪墙顶高程为 9.605~9.612 m,而复核计算所需防浪墙顶高程为 9.610 m,故防浪墙顶高程满足要求。

根据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)第 7.3.3 条规定,堤顶应高出静水位 0.50 m,海堤设计高潮位 6.33 m。因此,海堤堤顶高程应大于 6.83 m。根据实测断面数据海堤堤顶高程为 8.457~8.467 m,均满足规范要求。

2014 年对海堤开展了“200 a 一遇标准”达标建设工程,基准期内堤基土体尚未固结完成,仍有一定的剩余沉降量。根据测量资料,2016—2019 年实测沉降值约为 3.2 cm;2019—2022 年实测沉降值约为 1.5 cm,表明堤基目前已经基本趋于固结,沉降趋于稳定。

3.2 结构稳定性复核

3.2.1 护面结构稳定计算

本段海堤下坡为 0.4 m 厚栅栏板,坡比约为 1:2.5,上坡为 0.35 m 厚螺母块护坡,坡比约 1:2.5。经复核栅栏板护坡结构与螺母块体护坡结构厚度均满足规范要求,见表 2。

表 2 护面结构稳定计算成果表

| 位置 | 结构形式 | 坡比    | 现状厚度/m | 计算厚度/m | 结论   |
|----|------|-------|--------|--------|------|
| 上坡 | 螺母块  | 1:2.5 | 0.35   | 0.346  | 满足要求 |
| 下坡 | 栅栏板  | 1:2.5 | 0.40   | 0.276  | 满足要求 |

3.2.2 海堤整体稳定计算

海堤整体抗滑稳定采用《海堤工程设计规范》中瑞典圆弧滑动法进行分析计算,考虑到车辆荷载,堤顶等效均布荷载取为 10 kN/m<sup>2</sup>。针对各工况条件下的堤身整体稳定进行了复核,复核成果见表 3,各工况条件下堤身对应的最不利滑动面见图 5、图 6。

表 3 整体稳定计算成果表

| 计算工况(外海潮位 m/<br>内河水位 m) | 计算边坡 | 安全系数 $K$ | 允许安全系数 $[K]$ |
|-------------------------|------|----------|--------------|
| 6.33/2.00               | 背海坡  | 1.922    | 1.30         |
| 0.72/2.80               | 临海坡  | 1.616    | 1.30         |

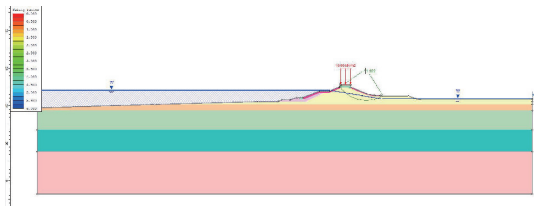


图5 整体稳定最不利滑弧面示意图(工况 1)

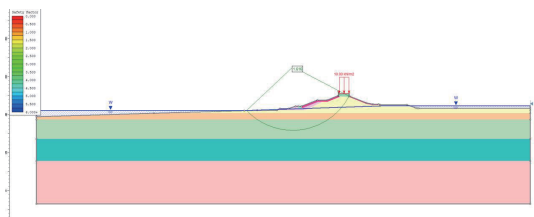


图6 整体稳定最不利滑弧面示意图(工况 2)

根据以上计算结果可知,海堤在各种工况条件下,堤身的整体稳定均能够满足规范要求。

3.2.3 挡墙抗倾抗滑稳定计算

对堤顶外侧防浪墙和内侧挡土墙进行抗倾抗滑验算,防浪墙抗倾抗滑安全满足规范要求,堤顶内侧挡土墙抗倾安全满足规范要求,抗滑安全不满足规范要求。

3.3 渗流稳定性复核

根据《堤防工程设计规范》附录 E.1.2 规定重要堤防的渗流计算宜采用有限元法,根据《海堤工程设计规范》10.1.2 条,由于②<sub>3</sub>层渗透系数为 3.17×

$10^{-4}$  cm/s 小于  $1 \times 10^{-3}$  cm/s, 故不对渗流量进行计算, 并对稳定渗流下的浸润线位置及相应的出逸点、出逸坡降及最大坡降进行计算, 见图 7 至图 9 及表 4。

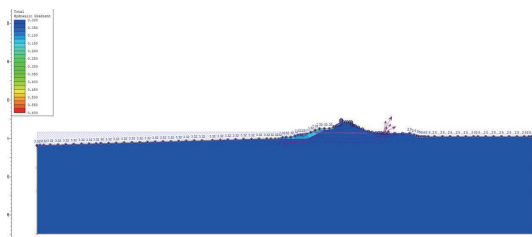


图7 海堤堤身断面浸润线及渗透坡降图(工况I)

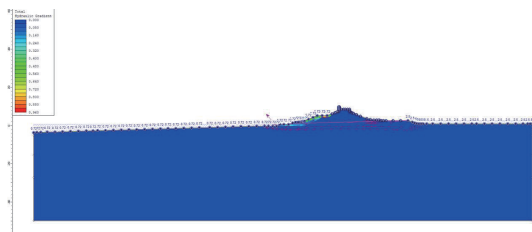


图8 海堤堤身断面浸润线及渗透坡降图(工况II)

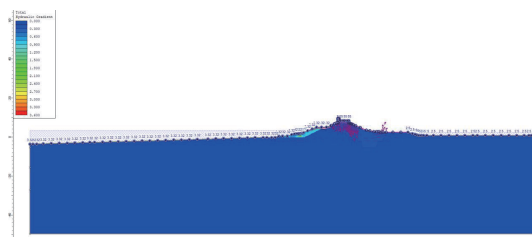


图9 海堤堤身断面浸润线及渗透坡降图(工况Ⅲ)

表4 渗透稳定计算成果表

| 计算工况(外海潮位 m/<br>内河水位 m) | 计算边坡 | 出逸坡降/<br>最大坡降 | 允许<br>坡降 |
|-------------------------|------|---------------|----------|
| 正常运行 (3.32/2.00)        | 背海坡  | 0.150         | 0.35     |
| 正常运行 (0.72/2.80)        | 临海坡  | 0.300         | 0.35     |
| 下雨堤顶路面下渗 (3.32/2.80)    | —    | 2.000         | 0.35     |

经复核,在正常运行和地震工况下,海堤渗透稳定满足规范要求;但在下雨堤顶路面下渗工况,海堤渗透稳定不满足规范要求。

#### 4 海堤除险设计

海堤主要存在问题为:

(1)堤身结构包括防浪墙、堤顶路面、内侧挡土墙,内侧护坡存在程度不一的破损、结构混凝土强度均不满足规范等;

(2)堤身有部分土体欠密实,可能存在局部掏刷的情况;

(3)内侧挡土墙抗倾抗滑稳定验算不满足要求,现状挡墙已发生水平位移;

(4)大堤按 200 a 一遇标准达标建设工程对堤顶加高采用填筑碎石方案,堤顶路面雨水下渗工况,大

堤堤身的渗透稳定复核不满足规范要求。

通过分析,以上问题主要集中在堤顶周围,根据破损现象看,与堤顶路面下方基础破坏和不均匀沉降有很大程度的关系。路面下方采用渗透系数较大的碎石材料填筑,在下雨天气路面雨水下渗后,短时间会在两侧挡墙之间形成积水,只能通过堤身渗流排出,长时间来,堤身形成渗流通道,一方面对基础形成破坏,造成上部结构不均匀沉降,从而产生严重程度不一的裂缝和破损;另一方面水流在堤两侧边坡渗出带走土体,形成护坡脱空和变形。

根据综合分析与复核,海堤整体防潮能力和稳定性满足要求,主要在局部位置存在病害。针对上述问题,提出除险加固方案,消除安全隐患(见图10)。

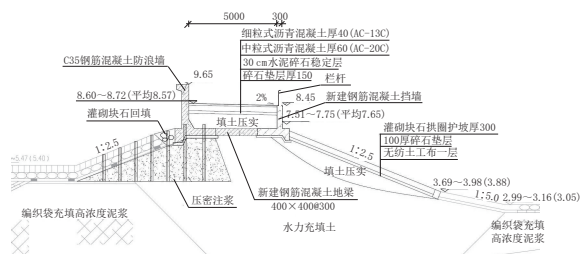


图 10 海堤除险加固断面图

对堤顶道路拆除,挖除堤顶碎石填筑部分,对现状大堤防浪墙、内侧挡墙拆除;对外坡及堤顶下方堤身进行压密注浆;内坡护坡拆除,对内坡掏空部分进行填土压实,重建拱圈护坡;重建防浪墙、内侧挡墙以及两者之间采用地梁连接;回填黏性土压实,重建沥青路面。

回填土应选用黏性土,填筑土料含水量与最优含水量的偏差不应超过 $\pm 3\%$ ,压实度应不小于0.95,回填土需分层填筑夯实,每层松铺厚度不大于30 mm,并应同时回填,同步上升。

由于岸滩整体呈陡坡微冲态势,建议在后期海堤运行过程中加强监测,观察岸滩变化趋势情况,对冲刷变化情况较为严重区域采取适当补救加固措施<sup>[7]</sup>。

## 5 结 语

本段海堤始建于1998年,在2014年按照200 a一遇设防标准进行提标改造。经过多年运行,海堤结构部分区域受到了不同程度的损坏或影响。海堤多处的表观损坏本身对海堤防潮安全并不造成较大影响,但形成原因均与海堤堤身变形引起的不均匀沉降有关。

海堤位于长江入海口,岸滩整体呈陡坡微冲态势,堤身较高,涨落潮水位变动较大,在多年潮流和风浪的作用下,容易对堤身结构造成影响,甚至形成渗流通道,威胁大堤防洪安全。

路面下方采用渗透系数较大的碎石材料填筑,在下雨天气路面雨水下渗后,短时间会在两侧挡墙之间形成积水,只能通过堤身渗流排出,长时间来,堤身形成渗流通道,水流在堤两侧边坡渗出带走土体,形成护坡脱空和变形。

海堤除险加固方案通过压密注浆、堤身黏性土回填、内坡培厚等主要措施均应对大堤堤身密实性问题,意在解决大堤主要安全隐患。

本文通过对大堤现场观测和检测,初步探明海堤病害情况。根据综合分析与复核,对病害成因进一步探究,查明病害形成机理和大堤主要安全隐患。

制定针对性的除险加固方案,消除安全隐患。为类似海堤工程病害分析与除险设计提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 杨诗庆.海堤防护设计与除险加固技术的探讨[J].华东科技:学术版,2014(4):229-230.
- [2] 刘爱民.珠海某海堤堤防稳定性分析评价及除险加固措施[J].中国高新技术企业,2008(18):193-198.
- [3] 毛昶熙,段祥宝,毛佩郁.堤防渗流与防冲[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [4] 郝一峰,王姗姗,亢海滨.低压填充灌浆法在堤防渗透加固处理中作用的分析[J].文摘版:工程技术(建筑),2016(4):260.
- [5] 李行.长江三角洲海岸侵蚀灾害辅助决策系统关键技术及实现[M].北京:科学出版社,2016.
- [6] 崔冬,季永兴,邹丹,等.上海市海塘安全检查与检测要点分析及应用[J].中国防汛抗旱,2020,30(8):25-29.
- [7] 舒叶华.上海市海塘提标改造设计关键技术及应用[J].水利水电技术(中英文),2021(增刊2):471-478.
- [8] 范青.城市韧性建设视角下珠海滨海线性公园设计研究[J].智能城市,2023,142(9).
- [9] 谢鹏,宫永伟,仇志铭,等.多孔纤维棉在绿色屋顶中的适配性试验研究[J].水资源保护,2023,39(3):237-245.
- [10] 李慧.海绵城市理念在市政道路项目中的应用——以珠海金湾西部中心城区道路为例[J].城市建设理论研究(电子版),2018,276(30):177-179.
- [11] 珠海市住房和城乡建设局.珠海市住房和城乡建设局关于印发《珠海市建设项目海绵城市管控指标豁免清单》的通知[Z].珠海:珠海市住房和城乡建设局,2024.
- [12] 刘名文,杨默远,潘兴瑶,等.环保型雨水口的分类模拟与效果评价[J].北京师范大学学报(自然科学版),2019,55(5):635-640.

(上接第179页)