

海口江东新区海堤生态化改造设计分析

王璐璐

[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: 随着海口市江东新区的建设发展,原有的海堤防御能力已不能满足其发展要求,亟须对海堤进行提升改造。为此,采用“韧性海堤”设计思路,融合水利、生态、景观工程,对江东新区海堤进行了达标改造和生态化提升。提升改造工程显著提高了海堤的防潮能力,有效减少了风暴潮对江东新区造成的潜在威胁,实现了防灾效益、生态效益、经济效益、社会效益和景观形象的多方共赢。

关键词: 海口;江东新区;海堤生态化改造;海洋生态修复

中图分类号: TV871

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0216-05

Analysis on Ecological Reconstruction Design of Seawall in Jiangdong New District, Haikou

WANG Lulu

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

Abstract: With the construction and development of Jiangdong New District in Haikou City, the original defense capability of the seawall has been unable to meet its development requirements, and the seawall is urgently in need of being upgraded and reconstructed. For this reason, the design concept of "resilient seawall" is adopted, and the water conservancy, ecology and landscape engineering are integrated. The seawall in Jiangdong New District has been upgraded to meet the standards and ecologically improved. Through the upgrading and reconstruction of the project, the tide-proof capability of the seawall has been significantly enhanced to reduce the potential threat caused by storm surges to Jiangdong New District effectively, which realize the disaster prevention benefits, ecological benefits, economic benefits, social benefits and landscape image in all win.

Keywords: Haikou; Jiangdong New District; ecological reconstruction of seawall; marine ecological restoration

0 引言

党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央对生态文明建设高度重视,对贯彻绿色发展理念决心坚定。其中海岸带作为一座城市的第一道风景线,其功能不应仅局限于抵御台风、风暴潮等海洋灾害能力,同时也应满足生态化、多元化的需求。

海口市江东新区位于海口市东海岸,地处海口市主城区与文昌木兰湾之间,是海口市“一江两岸,东西双港驱动,南北协调发展”的东部核心区域;同时也是“海澄文一体化”的东翼核心。然而,江东新区海堤老旧、结构强度不足、海堤高度较低、生态功

能不完善等,已不能满足城市发展要求,需要对海堤进行治理提升。

近年来随着海堤生态化改造建设日益重要,国内外众多学者开展了相关研究。德国通过恢复自然风貌来减缓海岸侵蚀^[1];严飞等^[2]论证了生态景观型海堤的实践应用效果;范航清等^[3]说明了自然性海堤的局限性等。总之,海堤生态化建设具有强烈的地方特色和环境的局限性。

该工程主要任务为针对海口市江东新区进行具有当地特色的海堤治理提升,对沿线岸段进行防潮洪安全评价,以保障片区内的防洪潮安全。每个设计决策都充分考虑了可持续性和对生态的敏感性;同时采用低影响开发策略,使用可再生材料,确保使对自然环境的干扰最小化。此外,通过采用本土植物和海洋生态修复技术,努力恢复和保护生态系统的自然平衡。主要建设内容如下。

(1)新建西部产城融合区段海堤 10.3 km,提标

收稿日期: 2024-08-21

基金项目: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司启明星计划(K2023N031)

作者简介: 王璐璐(1988—),女,硕士,工程师,从事水利水电工程和海洋生态修复工作。

改造现状海堤 4.7 km,完成后防潮标准达到 100 a 一遇。

(2)新建东部生态功能区段海堤 1.0 km,提标改造现状海堤 13.1 km,完成后防潮标准达到 20 a 一遇。

1 设计思路

(1)蓝绿交融,无界焕活

在海口市江东新区海堤治理提升工程中,蓝绿交融的概念是核心。通过精心规划布局,使水体与绿色植被相融合,创造出一个既有生机又和谐的环境。潮水不仅仅是生态自然的一部分,也是生态系统的关键,为当地生物提供栖息地。同样,植被的选择和布局旨在增强生物多样性,同时为居民提供休闲和放松的空间。

(2)重构生态绿脉

在设计中,注重生态路径的延续和修复。通过建立具有生态复合功能的防潮堤和涵养林带,不仅为新区构筑了安全屏障,也为区域带来了新的生命力。这条绿廊将成为动植物迁徙的通道,同时也是居民亲近自然、享受户外活动的理想场所。在设计这条绿道时,重视本土植物的使用和对地形的自然适应,确保生态的持续性和稳定性。

(3)重构通海地脉

为了打造连接滨海风情带与海岸界面的联络线,规划设计了一条堤顶景观道路。这条道路不仅作为物理连接,更是文化和生态的桥梁。它不仅提供了壮观的海景,也使得访客能够通过漫步、骑行而亲身体验到海岸线的自然美和生态魅力。在设计时,考虑到了防潮、防腐蚀等因素,确保道路的长期耐用性和安全性。

(4)重构共生水脉

共生水脉的设计旨在满足防洪和休闲两大需求。采用了生态友好的方法来管理雨水,如设置盐碱消除装置、生物滞留区和雨水花园。这些设施不仅有助于控制洪水,还能提供生态美化和生物栖息地。

(5)考虑可持续性与生态敏感性

项目的每一个设计决策都充分考虑了可持续性和对生态的敏感性。采用低影响开发策略,使用可再生材料,确保最小化对自然环境的干扰。此外,通过采用本土植物和生态修复技术,努力恢复和保护生态系统的自然平衡。

通过以上全面的方法,海口市江东新区海堤治理提升工程不仅是一个海堤提升项目,还是一个综合性、可持续发展的生态恢复案例;不仅能满足当前需求,也为未来的代际提供了宝贵遗产。

2 设计标准

2.1 工程等级

根据《海堤工程设计规范》(GB/T 51015—2014)第 3.2.1 条、《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)第 3.1.3 条,防潮(洪)标准重现期(a)不小于 100 a 的海堤(堤防)工程级别为 1 级;防潮(洪)标准重现期(年)不大于 20 a 的海堤(堤防)工程级别为 5 级。

2.2 防潮标准

江东新区现有人口约 15.84 万人,规划 2035 年人口规模为 85 万人,远景人口规模不超过 100 万人。依据《防洪标准》(GB 50201—2014)、《海口江东新区水安全保障总体方案》^[4]、江东新区总体规划和有关片区控制性详细规划,江东新区为重要城市,西部产城融合区防潮标准为 100 a 一遇。除需要满足防洪(潮)的功能外,还要兼顾居民休闲和滨水景观的需求。本工程海堤需在保证防洪(潮)安全的前提下尽量降低堤顶高程,因此本段海堤按照允许部分越浪设计。东部生态功能区范围内多为散布村庄,居民较少,防潮标准为 20 a 一遇,按照允许越浪设计。

东部生态功能区基于现状消浪、防风林带进行增植和提升,打造消浪林+生态海堤+防风林的防潮布局;西部产城融合区主要为沙质土壤,消浪林带种植难度较大,且偏安全起见,现状林带主要考虑其景观功能,不纳入防潮体系,因此西部产城融合区的防潮布局为生态海堤。

2.3 排涝标准

起步区和规划城区是江东新区未来重要的对外开放区和中央商务区。根据《治涝标准》(SL 723—2016),起步区和规划城区排涝标准采用 50 a 一遇,暴雨在 24 h 内排除至路面无积水。江东新区西部产城融合区范围内东营片区、沿江居住区、桂林洋高校和产业园区、灵山镇等地均已形成一定的城市规模,对于这些人口聚集的城镇区,排涝标准采用 20 a 一遇 24 h 暴雨在 24 h 内排除至路面无积水。

2.4 设计水位

根据海口(三)潮位站 1974—2020 年实测最高潮位资料,采用矩法初估统计参数, P -Ⅲ理论适线,对年最高潮位系列进行频率计算。在不同频率 P 下的

设计潮位见表1。

表1 海口(三)潮位站最高潮水位频率曲线成果表

P/%	设计潮位/m
0.5	3.77
1.0	2.52
2.0	3.27
3.33	3.08
5.0	2.93
10.0	2.67
20.0	2.41

2.5 设计波浪

采用荷兰Delft大学开发的第3代近岸海浪模式SWAN模型进行台风浪模拟,得到防潮堤北侧海图30 m水深处的深水波要素。

江东新区海堤北濒琼州海峡,工程区域的水深变化较大,深水波浪在传播过程中发生了折射、绕射和浅水变形等,波高、波向都有很大变化。因此考虑工程前沿波浪影响,需进行波浪近岸传播变形计算。

本次波浪传播变形主要采用丹麦水力研究所推出的二维河口、海岸及海洋模型MIKE 21软件包中的SW模块,考虑风能输入、非线性作用、低摩阻耗散、波浪破碎等因素,计算该堤段在100 a一遇设计潮位条件下北北西、北、北北东和东北向的100 a一遇有效波高。

3 设计方案

3.1 总平面布置

本次综合考虑用海、规划、现状、人文、景观、生态、地质等因素,将江东新区防潮堤沿线自西向东依次分为南渡江滩段、特色小镇段、河口湿地段、海滨休闲段、涵养湿地段,如图1所示。



图1 防潮堤分段

根据对沿线海堤现状的实际调研和考察,堤线尽量利用现有防潮堤和有利地形,与现有道路和临海规划道路结合布置。新建西部产城融合区段海堤10.3 km,提标改造现状海堤4.7 km;新建东部生态功能区段海堤1.0 km,提标改造现状海堤13.1 km,如图2所示。



图2 海堤治理提升实施范围

3.2 海堤堤型比选

海堤按断面外形可分为斜坡式、陡墙式和混合式3种基本型式。

(1)斜坡式堤防断面。特点是内外边坡较缓,要求护面砌体与堤身土体良好结合。对堤基土层承载力的要求不高,适合于软弱地基;在外坡坡面有充足的地方设置消浪设施,消散部分波浪能量;护面结构和堤身施工技术简单,维修容易。但为保证堤身安全稳定,堤基占地面积较大,堤身填筑材料需求较多;坡比陡于1:3时,计算的波浪爬高值较大,相应堤身较高。

(2)陡墙式堤防断面。特点是外边坡陡直或直立,堤身由重力式防护外墙和墙后土堤所组成。堤基与地基接触面积小,地基应力较集中;波浪爬高小于斜坡式;堤顶防浪墙结合外墙,易建成反弧型式,使之有效阻止或削弱波浪翻越堤顶。由于外边坡坡度陡直或直立,波浪作用力较大,波浪上壅回落易产生墙脚淘刷,需要有保护措施。

(3)混合式堤防断面。特点是外边坡为变坡比结构,是斜坡式与陡墙式的结合型式,断面组合得当,兼有两者的优点。带平台的复式断面既可消减波浪爬高,又有利于堤基和堤坡的稳定。

斜坡式和混合式海堤内外边坡较缓,对堤基土层承载力的要求不高,适合于本工程软弱地基,且护面结构和堤身施工技术简单,维修容易;此外,本工程在外坡坡面有充足的地方设置消浪设施,消散部分波浪能量。与此同时,海堤除了满足防洪排涝的功能外,远期还需兼顾作为景观护岸的布置要求,如采用单一直立型式的结构,会显得单调呆板,不能打造成多样化、层次感丰富、亲水性的滨海景观带。斜坡式和混合式海堤比较适宜后期灵活的改造,而直立式大堤如采用钢筋混凝土岸壁结构或陡墙式结构,很难适应二次改造的要求,且直立式结构的工程

痕迹太重,不能体现自然和谐的生态新城效果。

现有海堤大部分为斜坡式与陡墙式结合的混合式断面,结合工程所在地地质情况和波浪条件,综合经济适用性考虑,本工程因地制宜采用混合式海堤。

3.3 南渡江滩段

规划西部产城融合区防潮堤执法码头—潭览河防潮闸段现状没有防潮堤,规划工程内容为新建生态化海堤。

按照允许越浪设计条件,100 a 一遇堤防堤顶高程为 5.10 m。现状堤防高程 3.70~4.70 m,对现状大堤进行加高并向陆侧扩宽至 5.0 m。新建坡度为 1:2.5 的抛石护坡;新建钢筋混凝土防浪墙,墙顶高程 5.10 m;新建堤顶沥青道路,堤顶高程 4.60 m。背坡采用植草护坡与现状衔接。

抛石护坡可以有效减少坡面土壤的侵蚀和流失。通过石块覆盖和固定,可以防止降雨水流对坡面的冲刷,保持土壤的稳定性和持水能力;同时可为土壤中的微生物、植物和小型动物提供栖息地。这些生物可以在护坡上形成一个小型的生态系统,增加生物多样性和生态平衡,形成更为柔性的生态型海堤。

南渡江滩段剖面图见图 3。

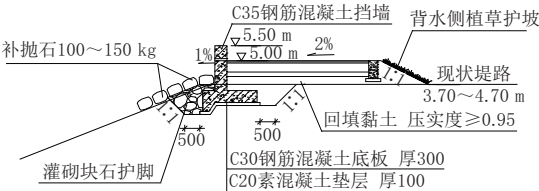


图3 南渡江滩段剖面图(单位:mm)

3.4 特色小镇段

规划西部产城融合区如意岛施工便道—希尔顿酒店没有防潮堤,规划工程内容为新建生态化海堤。

按照允许越浪设计条件,100 a 一遇堤防堤顶高程为 5.60 m。新建斜坡式海堤,堤顶宽度不小于 5 m,并结合市政道路宽度要求建设。新建抛石护脚;新建钢筋混凝土防浪墙,下方设置沉井基础;新建堤顶沥青道路,路面高程 5.10 m。背坡采用植草护坡与现状衔接。堤脚采用生态丁坝(球形)、顺坝(贝藻礁)保护沙滩,为水生生物、鸟类和其他野生动植物提供栖息地。丁坝上的植物可以增加生物多样性,促进生态系统的平衡和恢复。

特色小镇段剖面图见图 4。

3.5 河口湿地段

规划西部产城融合区东营港段现状为浆砌块石挡墙防潮堤,本段规划堤线与现状防潮堤相同,规划

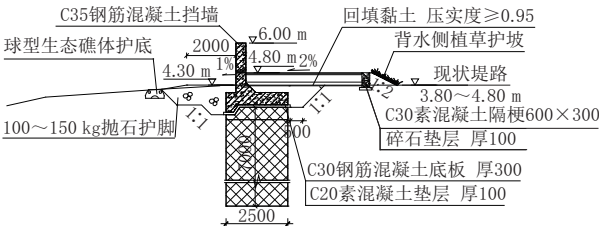


图4 特色小镇段剖面图(单位:mm)

工程内容为在原有基础上进行达标建设和生态化改造。

按照允许越浪设计条件,100 a 一遇堤防堤顶高程为 5.10 m。现状堤防高程 4.30 m,堤顶道路高程 3.70 m,对现状大堤进行加高并向陆侧扩宽至 5.0 m。对现有浆砌块石挡墙进行削顶,新建钢筋混凝土防浪墙,墙顶高程 5.10 m;新建堤顶沥青道路,堤顶高程 4.60 m。背坡采用植草护坡与现状衔接。本段的海堤生态化改造主要为堤内植草护坡,结合景观要求通过种植不同种类、不同颜色的植物,可以美化护坡环境,增加生态价值。

河口湿地段剖面图见图 5。

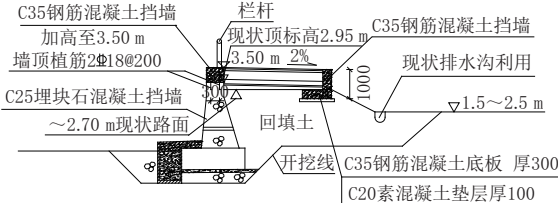


图5 河口湿地段剖面图(单位:mm)

3.6 海滨休闲段

通过升级老堤,保持堤顶 4.3 m 高程不变,在不改变防护等级的前提下,将直立堤墙变为观海梯台;并在堤后植入 1 条宽 3 m 的自行车道,打造海浪凉亭,为市民提供海边休闲纳凉的开放空间。为提高应对风暴潮功能,在海岸带生态修复工程中塑造了宽度为 200 m 的绿色生态防潮体系,与 10 a 一遇子堤共同形成应对风暴潮的第 1 道防线,并打造百年一遇堤路,构筑成第 2 道防线。

海滨休闲段剖面图见图 6。

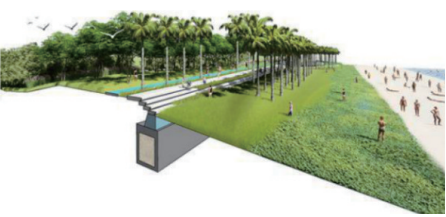


图6 海滨休闲段剖面图

3.7 涵养湿地段

按照允许越浪设计条件,20 a 一遇堤防堤顶高程为 3.50 m。现状堤防高程为 3.00 m,堤顶道路高程

为2.50~3.00 m,对现状堤防进行加高,对现有浆砌块石挡墙进行接高,墙顶高程3.50 m。新建堤顶沥青道路,堤顶高程3.50 m。背坡采用挡土墙与现状衔接。由于本段设计波浪较小,外坡采用三维水土保持毯和草皮护坡。三维水土保持毯由多层纤维网格构成,形成一种空心的三维结构。其可以增加土壤的稳定性,防止土壤的坍塌和流失,并提供植物生长的支撑。种植植物在保持毯上,根系可以穿透保持毯的空隙与土壤结合,从而增加土壤的稳定性和抗冲击能力,形成绿色护坡带。

涵养湿地段剖面图见图7。

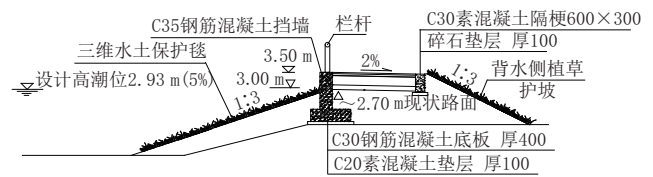


图7 涵养湿地段剖面(单位:mm)

4 提升改造断面计算分析

稳定分析采用《堤防工程设计规范》中瑞典圆弧

滑动算法,对现状大堤进行整体抗滑稳定计算。计算工况为正常运用工况和非正常运用工况。

土坡抗滑稳定安全系数计算公式如下:

$$K = \frac{\sum [C_u b \sec \beta + W \cos \beta \tan \phi_u]}{\sum W \sin \beta} \text{ (施工期)}$$
$$K = \frac{\sum [C_{cu} b \sec \beta + (W \cos \beta - u_i b \sec \beta) \tan \phi_{cu}]}{\sum W \sin \beta} \text{ (运行期)}$$

式中: b 为条块宽度,m; W 为条块重力,kN,且 $W=W_1+W_2+\gamma_w Zb$,其中 W_1 、 W_2 分别为堤坡外水位以上和以下的条块重力, Z 为堤坡外水位高出条块底面中点的距离,m; u_i 为水位降落前堤身的孔隙水压力,kPa; β 为条块的重力线与通过此条块底面中点的半径之间的夹角,(°); γ_w 为水的重度,kN/m³; C_u 、 ϕ_u 、 C_{cu} 、 ϕ_{cu} 均为土的抗剪强度指标。

考虑到车辆荷载,堤顶等效均布荷载取为10 kN/m²;施工期荷载取为20 kN/m²。堤身整体稳定复核成果如表2所列。由计算结果可知,提升后的堤身均满足稳定性要求。

表2 达标堤身整体稳定复核成果

运用情况	工况序号	计算工况(外海潮位/内河水位)	计算边坡	安全系数K	允许安全系数[K]
正常运用工况	工况1	设计高潮位/常水位	背海坡	2.075	1.30
	工况2	设计低潮位/常水位	临海坡	2.816	1.30
非常运用工况Ⅰ	工况3	多年平均高潮位/常水位	背海坡	2.135	1.20
	工况4	多年平均低潮位/常水位	临海坡	2.855	1.20
非常运用工况Ⅱ	工况5	多年平均高潮位/常水位	背海坡	2.216	1.10
	工况6	多年平均低潮位/常水位	临海坡	2.865	1.10

5 结 语

(1)海口市江东新区海堤治理提升工程是通过对区内的防潮堤进行达标建设,提升江东新区的防潮标准。工程涵盖防灾效益、生态效益、经济效益和社会效益,属于社会公益性质的建设项目,让百姓更加有幸福感、获得感和自豪感。

(2)工程改变了单一工程化的刚性海防,打造了刚柔并济的韧性海防和绿色开放的活力海岸,实现了安全保障生态效益、经济联动、社会效益、景观形象等多方共赢。

(3)在保障安全层面,通过老堤改造、生态景观

带建设等措施,起到了改善海岸带生态景观的作用,将有效地保护沙滩、调节洪潮,有助于提升防潮标准达到100 a一遇标准,对保护起步区人民生命财产安全具有积极作用。

参考文献:

[1] 苟翡翠,周燕.近郊型河流景观的生态修复:以德国德莱姆河为例[J].中国园林,2018(34):33-38.

[2] 严飞,董学刚.长江口炮台湾湿地公园生态景观型海堤设计[J].人民长江,2006(37):93-94.

[3] 范航清,何斌源,王欣,等.生态海堤理念与实践[J].广西科学,2017,24(5):427-434;440.

[4] 海南省水务厅.海口江东新区水安全保障总体方案[R].海口:海南省水务厅,2019.