

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20221526

# 月亮湾段拼装式防洪墙与缓坡堤防的应用

胡金辉<sup>1</sup>, 国小龙<sup>2</sup>, 孙颖娜<sup>1</sup>, 庞傲璇<sup>3</sup>

(1. 黑龙江大学水利电力学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 武汉市城市防洪勘测设计院有限公司, 湖北 武汉 430014; 3. 哈尔滨工程大学烟台研究院, 山东 烟台 264006)

**摘要:** 传统的土堤和钢筋混凝土防洪墙阻隔了城市和滨水区域, 已经无法满足大众的需求。为满足人民群众对亲水性的需求, 将铝合金防洪墙引入到月亮湾防洪改造过程中, 并提出拼装式防洪墙与生态缓坡相结合的改造方案, 改造后该项目运行效果良好, 不仅消除了堤防对城市空间的压迫感, 更是将城市景观空间不间断的延续到水边, 形成完整统一的景观界面, 既能确保防洪安全, 又能营造具有地域特色的滨水景观效果。

**关键词:** 长江; 城市堤防; 拼装式防洪墙; 生态缓坡

中图分类号: TV871

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)11-0156-04

## 1 概况

月亮湾位于武汉市武昌区滨江商务区, 该商务区是武汉市主城区的核心区域。月亮湾堤段为历史险段, 河道深泓近岸, 岸坡较陡, 受水流顶冲, 近岸河床普遍较深, 历年来为防洪重点区域。现状月亮湾堤防区域堤岸突出, 向江面形成矾头, 堤外无滩(图1)。现状堤防为直立式的钢筋混凝土防洪墙结构, 堤防等级为1级。随着“长江大保护”、“水生态文明”等发展理念的提出, 人们对居住环境的要求越来越高, 传统的土堤和钢筋混凝土防洪墙阻隔了城市和滨水区域, 已无法满足人们的需求。近年来, 国内对拼装式防洪墙也有了更多深入的研究, 如丁泽霖等<sup>[1]</sup>通过基于响应面法优化了防洪墙的结构尺寸; 姚明星等<sup>[2]</sup>充分考

虑了防洪墙挡板结构的堆叠组合复杂性, 给出了等效荷载的计算方法; 李建习等<sup>[3]</sup>利用电化学测试和盐雾测试的方法提出了改善防洪墙铝合金板材抗腐蚀的性能的措施; 吴军君等<sup>[4]</sup>利用有限元 ANAYS 模拟构建防洪墙模型, 并与实测数据进行对比, 为防洪墙的推广提供了可靠的依据。为顺应新的发展形势, 本文将铝合金防洪墙引入到月亮湾防洪改造过程中, 并提出拼装式防洪墙与生态缓坡相结合的改造方案, 改造后该项目运行情况良好, 为类似工程提供了一种新思路。

## 2 整体改造构想

长江主轴月亮湾堤防综合整治及城市阳台改造工程位于长江右岸月亮湾地区, 西至长江, 东至临江大道。堤防改建范围为武青堤桩号 36+228~35+370, 长 858 m。将现有防洪墙改建为下部实体防洪墙基础和设计水位以上 2 m 超高部分铝合金拼装式防洪墙结构, 并与上下游防洪墙顺接。月亮湾城市阳台位于改建后的堤防堤内与临江大道合围区域, 对应堤防桩号为武青堤桩号 35+208~36+256, 项目总用地面积 12.93 hm<sup>2</sup>。

在满足防洪安全要求的前提下, 拟采用拼装防洪墙与生态缓坡堤防相结合的形式, 贯通堤外



图1 项目区位

Fig. 1 Project location

收稿日期: 2022-07-25, 修回日期: 2023-02-28

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(LH2020E116)

作者简介: 胡金辉(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水工结构, E-mail: 809245298@qq.com

通讯作者: 孙颖娜(1976-), 女, 博士、教授, 研究方向为水文水资源, E-mail: 26787238@qq.com

滩地观光道路,同时在堤内打造综合性城市阳台,延续城市阳台观景视线。堤防与城市阳台之间营造起伏多变的曲型坡面,使月亮湾堤防与城市阳台实现有机交换(图 2)。在水位较低时,拆除拼装式防洪墙,开阔视线,使城市空间和滨水环境有机融合,形成亲水江岸空间,汛期若需使用该防洪设施,则可快速组装完毕,满足防洪安全的要求。



图 2 月亮湾堤防改造标准断面图

Fig. 2 Standard cross-sectional view of Moon Bay embankment renovation

### 3 拼装式防洪墙的设计与维护

#### 3.1 铝合金拼装式防洪墙的设计与试验

采用拼装式铝合金防洪墙是在借鉴国外铝合金防洪墙形式的基础上,结合国内铝材、橡胶及钢构件等的材料特性,由武汉市城市防洪勘测设计院牵头自主研发,由立柱、挡板、胶条、撑杆、撑座及底板等构件组成,该产品结构简单,拆装便捷,防水性能优越,能够顶住洪水长时间浸泡和高强度加压,且在自身稳定、变形、止水等方面均能满足堤防防洪需求<sup>[5]</sup>。

为适应河道不同运行工况需求,设计出 PZF-40、PZF-60A、PZF-60B、PZF-90 等 4 种产品类型,其中 PZF-40 适用于水头小于 1.5 m 及风浪工况下使用,PZF-60A 适用于水头小于 2.5 m 及风浪工况下使用,PZF-60B(加背撑)适用于水头小于 3 m 及风浪工况下使用,PZF-90(加背撑)适用于水头小于 4 m 及风浪工况下使用。立柱固定方式为地脚螺栓固定形式,根据不同设计挡水工况,确定螺栓个数、型号及分布位置,以保证挡水结构安全。立柱安装方式为承插螺栓连接,即预先将基座预埋在固定基础中,后期立柱安装仅需将立柱插入基座,再利用内螺纹螺栓将立柱底板与基座固定,并确保立柱底板下的橡胶与基座之间压紧,保证基础部分的止水。

为验证拼装式防洪墙结构稳定及合理性,前期进行了大量的试水试验<sup>[5]</sup>,具体检测数据见表 1。由表 1 可看出,墙体结构稳定均满足使用要求,止水胶条及各金属构件能达到设计的止水要求,且在试水阶段中,各构件在重复装卸后相互之间的结合更好,后期试水的整体止水效果更好。

表 1 水深 2 m 时挡板和立柱应力值、挠度对比

Tab. 1 Comparison of stress value and deflection of the baffle and column when the water depth is 2 m

测点 部位	实测应 力值	计算 应力值	型材允 许应力值	实测应力 与允许应 力的比值/%	实测 挠度	计算 挠度	允许 挠度	实测挠度与 允许挠度 的比值/%
	/MPa	/MPa	/MPa		/mm	/mm	/mm	
# 1	18.1	33.395 0	200	9.05	3.367 40	6.213 0	9.45	35.63
# 2	14.5	30.055 5	200	7.25	2.697 70	5.591 7	9.45	28.55
# 3	14.4	26.716 0	200	7.20	2.679 10	4.970 4	9.45	28.35
# 4	14.4	23.376 5	200	7.20	2.679 10	4.349 1	9.45	28.35
# 5	13.4	20.037 0	200	6.70	2.493 00	3.727 8	9.45	26.38
# 6	12.2	16.697 5	200	6.10	2.269 80	3.106 5	9.45	24.02
# 7	9.5	13.358 0	200	4.75	1.767 40	2.485 2	9.45	18.70
# 8	7.5	10.018 5	200	3.75	1.395 40	1.863 9	9.45	14.77
# 9	5.3	6.679 0	200	2.65	0.986 00	1.242 6	9.45	10.43
# 21	1.8	58.377 8	200	0.90	0.057 46	7.413 1	8.00	0.72
# 22	3.0	29.889 4	200	1.50	0.057 93	2.429 1	6.40	0.91
# 23	3.7	12.609 6	200	1.85	0.036 45	0.576 4	4.80	0.76
# 24	3.2	3.736 2	200	1.60	0.011 35	0.075 9	3.20	0.35

#### 3.2 拼装式防洪墙结构设计

结合月亮湾城市阳台整体景观建设,本文改建防洪墙城市阳台段堤防桩号 36+228~35+370 长 858 m,下部采用实体防洪墙基础,顶部 27.60 m 以上 2 m 超高部分采用铝合金拼装挡式防洪墙,拼装结构仅承担防浪功能(图 3)。为满足铝合金立柱和挡板的安装需要,在实体防洪墙基础顶部设置闸槽,闸槽中心线与改建防洪墙顶中心线一致,立柱部位闸槽净宽 0.75 m,挡板部位闸槽净宽 0.2 m,槽深 0.25 m,每隔 2.5 m 设置一道铝合金立柱。钢立柱为钢板及型钢拼接的钢结构,底部采用螺栓与实体防洪墙基础连接,挡板与挡板结合处均设置橡胶垫止水。每跨拼装式铝合金挡板宽 2.43 m,单块挡板梁高 0.2 m,宽 0.1 m,各挡板之间采用橡胶垫止水,挡板拼接好后采用拉杆压紧使挡板与挡板、挡板与底板、挡板与上下游端耳墙、挡板与立柱之间的橡皮接触密实。



图 3 月亮湾段拼装式防洪墙结构断面图

Fig. 3 Structural cross-section of the assembled flood wall in the Moon Bay section

采用拼装式铝合金防浪墙挡板材质为 6061T6 铝合金材质,密封胶条选用三元乙丙橡胶。根据材料性能及挡水工况,选用铝合金立柱高 2 370 mm,柱子截面尺寸长宽均为 210 mm,壁厚 6 mm,每根立柱重约 103 kg。铝合金挡板

长 2 430 mm,高 200 mm,宽 60 mm,壁厚 6 mm 的铝合金型材,每根挡板重约 35 kg。

### 3.3 新型拼装式铝合金防洪墙与维护

#### 3.3.1 上部可拆卸部分的维护

对上部可拆除的材料和构件,将表面的污渍和水渍清理干净,装入定制金属储存箱内,并运输至仓库进行存放保管。每两年选取适当跨段进行一次安装演练,并建立日常巡查管养制度,对拼装墙的固定基础结构进行安全检查,确保预留槽、预埋件的安全运行,并定期对无法满足拼装要求的构件进行更换。

对仓库内的场地,可分区域分门别类进行定置管理。各区域的排列可按照构件拆除的顺序布置,将构件放入定制金属储存箱中。储存箱尺寸根据具体结构尺寸定制,底部有空间供叉车装卸,储存前需铺盖油毡布。各构件区域应该树立标识牌,并定期对相关构件进行检查,若发现有构件发生损坏,应及时更换。

对防洪墙各种材料和构件,要防止各种材料和构件由于存放保存不善而产生变形或损坏,同时要考虑汛期时便于出库安装,减少自然损耗。对磨损严重或丢失的材料和构件要及时从备件区域中进行更换或补充。储藏仓库应定时通风,有效调节和控制库内温度湿度,达到降温、降潮和排除库内污浊空气的目的,运输过程中避免与腐蚀性的物品接触,防止损坏橡胶及相关构件。

#### 3.3.2 固定基础的维护

拼装式防洪墙固定基础施工完成后,不能擅自更改结构,使用期间不能卸任何螺栓构件,不得增加或减少任何挡板、立柱和柱身压紧装置,若需更改,则需进行专门设计。外露预埋件结构必须进行定期清洁保养,清理附着的杂物,以发现潜在问题。表面每年涂抹一次黄油,防治腐蚀锈蚀。拼装结构拆除后,闸槽上及时铺设盖板保护,有通车要求的地方,闸槽内采用粗砂回填密实,上部采用加厚盖板,对闸槽周边结构采取保护措施,保证基础结构安全。

## 4 生态缓坡堤设计

武青堤的堤顶与堤脚有 4~5 m 的高差,加上较陡的堤坡,堤防就阻碍了城市亲水空间的形成。按照以往的思路,若仅对土堤进行简单绿化或改造为直立的钢筋混凝土防洪墙,不仅不能解决城市堤防带来的空间障碍,还会对未来滨江区域的发展带来不利影响,所以要将江滩和城市景

观形成整体、连续的界面,达到协调发展的目的(图 4)。

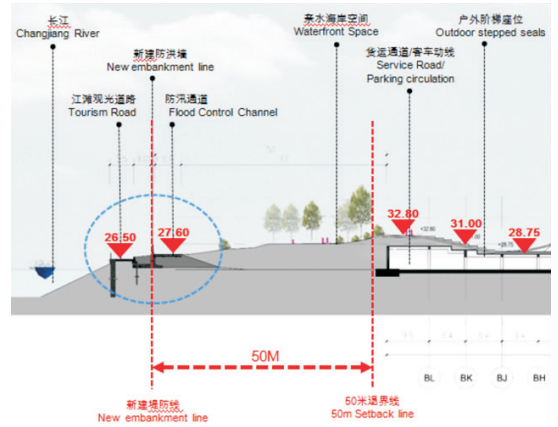


图 4 生态缓坡

Fig. 4 Ecological gentle slope

由于该段为一级干堤,不能随意改变堤防位置。在保证坡脚不动的前提下,将堤防改造为平滑舒缓的曲线,城市阳台与江滩观光道之间采用生态缓坡相接,打造自然生态的亲水空间,市民可顺利地进入江滩公园,站在缓坡堤防的堤顶上,饱览长江美景。

堤坡由改造前的 1 : 3 变为 1 : 6~1 : 15 不等的自然起伏坡面。改造后,两侧的堤坡坡面长度由原来的 12~15 m 延伸为 30~60 m,一侧与城市界面平缓相接,另一侧自然的滑落到滨水滩地上,与滩地融为一体,堤防断面大为增加,提升了城市的防洪安全。

改造后由于坡比变缓,局部更形成凹地,坡面上布设雨水花园,透水铺装,下沉式绿地等海绵设施。在暴雨时,可推迟径流峰值出现时间,延长了下渗的时间,面源污染得到消减,充分发挥海绵设施渗透、积存、净化的作用。

## 5 项目建成后的效果

改造前后对比见图 5,防洪墙拼装与拆卸后对比见图 6。通过对比发现,原有直立式钢筋混凝土防洪墙阻隔了城市阳台观江视线,城市空间

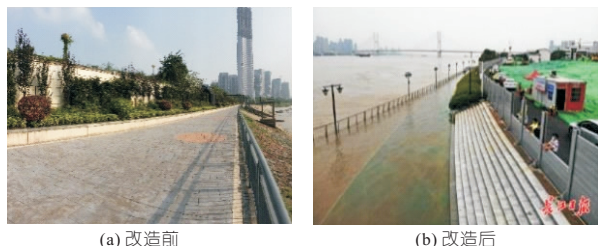


图 5 改造前后对比

Fig. 5 Comparison before and after transformation



(a) 拼装后 (b) 拆除后

图 6 防洪墙拼装和拆卸效果对比

Fig. 6 Comparison of assembly and disassembly effects of flood wall

与滨水环境缺乏互动。通过将武青堤桩号 36+228~35+370 段钢筋混凝土实体防洪墙改造为“拼装式防洪墙+生态缓坡堤防”形式,非汛期可打开观江视线,形成开敞的观江空间,营造生态缓坡城市景观,延续月亮湾城市阳台观景轴线,使堤防与阳台景观实现有机交换,城市空间和滨水环境有机融合。

## 6 结论

本文将铝合金防洪墙引入到月亮湾防洪改造过程中,并提出拼装式防洪墙与生态缓坡相结合的改造方案,是解决城市滨水区域景观界面连续

性的有效手段,不仅消除了堤防对城市空间的压迫感,更是将城市景观空间不间断的延续到水边,形成完整统一的景观界面,方便市民能更好领略沿岸水体的景观,既能确保防洪安全,又能营造具有地域特色的滨水景观效果,是值得推广的城市滨水区域景观界面解决方案。

## 参考文献:

- [1] 丁泽霖,朱轩毅,张宏洋,等. 基于响应面法的移动式防洪墙优化分析[J]. 人民黄河, 2021, 43(11): 69-75.
- [2] 姚明星,范力阳,彭庭,等. 移动式防洪墙构件承载力的计算方法[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(11): 4577-4582.
- [3] 李建习,宋丹,杨冰清. 等. 移动式防洪墙铝合金板材耐腐蚀性能试验研究[J]. 水电能源科学, 2019, 37(12): 49-52.
- [4] 吴军君,倪立建,陈海云. 等. 移动式防洪墙挡水试验研究[J]. 水电能源科学, 2017, 35(3): 85-88.
- [5] 刘佳佳,张倩. 浅谈拼装式铝合金防水墙试验[J]. 城市道桥与防洪, 2015(11): 111-113.

## Application of Assembled Flood Control Wall and Gentle Slope in Yueliangwan Section

HU Jin-hui<sup>1</sup>, GUO Xiao-long<sup>2</sup>, SUN Ying-na<sup>1</sup>, PANG Ao-xuan<sup>3</sup>

(1. School of Hydraulic and Electric Power, Heilongjiang University, Harbin 150080, China;

2. Wuhan Urban Flood Control Survey and Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430014;

3. Yantai Research Institute of Harbin Engineering University, Yantai 264006, China)

**Abstract:** In response to the inadequacies of traditional earthen and reinforced concrete flood walls that create barriers between urban areas and waterfront regions, which no longer meet the public's demands, the introduction of aluminum alloy flood walls in the Moon Bay flood control renovation project has been proposed. A transformation plan that combines modular flood walls with ecological embankments has been implemented. The post-renovation project has demonstrated excellent operational effectiveness, eliminating the oppressive feel of conventional flood defenses within the urban space. Furthermore, it seamlessly extends the urban landscape space to the water's edge, creating a unified and continuous landscape interface. This approach ensures flood safety while fostering a waterfront landscape with distinctive regional characteristics.

**Key words:** Yangtze River; urban embankment; assembled flood control wall; ecological gentle slope

\*\*\*\*\*  
(上接第 216 页)

## Multi-objective Dimensionality Reduction and Multi-step Reconfiguration Based Two-stage Distribution Network Optimal Operation Strategy

LI Jing-yu, CHEN Jia-jia, YIN Wen-liang

(College of Electrical and Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

**Abstract:** The high penetration of distributed renewable energy aggravates the power fluctuation and uncertainty of distribution network. In this paper, a two-stage optimal operation strategy of distribution network based on multi-objective reduction and multi-step reconfiguration was proposed. In the day-ahead stage, multiple operational flexibility index models of voltage deviation, power loss, total operating cost, net load peak-valley difference and net load coefficient were constructed. On the basis of the model, a multi-flexibility index dimension reduction method based on target correlation was proposed, which aims to balance the relationship between various indicators, reduce the number of targets and improve computational efficiency. In the intraday phase, a distribution network reconfiguration method based on multi-step switch sequence exchange was proposed by cooperatively controlling the sectionalizing switches and tie switches, which fully exploits the available flexibility resources of the system. Finally, the simulation of arithmetic cases based on the IEEE-33 node system, the IEEE-84 node system, the IEEE-119 node system and the IEEE-136 node system were carried out, and the results show the effectiveness of the proposed two-stage distribution network flexibility enhancement strategy.

**Key words:** distributed renewable energy; two-stage optimization; distribution network reconfiguration; multi-objective downscaling