

# 基于韧性城市理念的珠海市沿海防风浪潮堤岸提升策略

## Resilient Cities with its Upgrading Strategy for Coastal Embankment in Zhuhai

孙丽辉\* 曾娇娇 李连盼  
SUN Lihui\* ZENG Jiaojiao LI Lianpan

文章编号: 1000-0283 (2020) 09-0040-06  
DOI: 10.12193/j.laing.2020.09.0040.008  
中图分类号: TU986  
文献标识码: A  
收稿日期: 2020-06-28  
修回日期: 2020-07-18

### 摘要

本研究以构建集多功能性、综合性、安全性及景观性于一体的“韧性滨海岸线防护”体系为目标,针对珠海沿海堤岸问题的梳理总结,结合自身防风浪潮堤岸的实践,通过构建不同形态的韧性防护体系,从堤前消浪等多种策略进行分析、总结,提出构建多层次纵向韧性防护体系、重视生态型防护策略、因堤施策等方面为其他沿海城市在防风浪潮方面提供技术参考。

### 关键词

韧性城市; 防风浪潮; 堤岸; 提升策略; 珠海市

### Abstract

This research aims to build a "resilient coastline protection" system that integrates versatility, comprehensiveness, safety, and landscape. It summarizes Zhuhai coastal embankment problems and combines its practice of preventing wind and tide embankments. It analyzes and outlines various strategies such as wave elimination in front of the barrier and proposes to build a multi-level longitudinal resilient protection system, emphasizes ecological protection strategies, and implements policies for embankments to provide technologies for other coastal cities in preventing wind and waves.

### Key words

resilience city; wind wave; embankment; upgrading strategy; Zhuhai

### 孙丽辉

1970年生/女/吉林吉林市人/珠海市规划设计研究院风景园林高级工程师/研究方向为风景园林规划设计(广东珠海 519002)

### 曾娇娇

1989年生/女/四川达州市人/珠海市规划设计研究院工程师/研究方向为水利工程(广东珠海 519002)

### 李连盼

1987年生/男/河南信阳人/珠海市规划设计研究院工程师/研究方向为城市减灾防灾(广东珠海 519002)

\*通信作者 (Author for correspondence)  
E-mail: 461235539@qq.com

韧性城市是指当灾害来临时,通过城市完善的整体格局和持续的功能运行,可适应和化解这种灾害,基本维持相似的功能结构、系统,并能迅速实现灾后的恢复<sup>[1]</sup>。国内韧性城市理论研究的兴起为城市适应未来不确定性的干扰和冲击提供了新思路。

近年来,世界各地极端天气频发而带来的灾害成为韧性城市重点研究的内容。根据2019年联合国发布的《2018年全球气候状况声明》:2015~2016年遭遇了21世纪以来最强的厄尔尼诺现状,致使全球台风和雨带异常,直接导致了多起超强台风侵袭事件。滨海城市是我国经济、产业发展的核心区域,人口密集,由于其陆海相连的特殊地理区位,遭受极端气候事件的概率更高<sup>[2]</sup>。广东省珠海市在2017~2018年连续遭遇两次超强台风及天文大潮,同时引发严重的海浪和风暴潮灾害,对滨海岸线周边造成严重的破坏和损失。

对于我国滨海岸线的防护，沿海城市常在海陆相交处通过修筑防洪堤及防浪墙的方式（俗称海墙）来保障城市的防洪安全，但传统防洪堤存在与周边景观不协调、视线阻断、亲水性较差、灾后恢复慢等缺点，且随着极端天气频发导致的海平面上升现象，传统防洪堤在滨海岸线防护效果有限。为加强安全防护，滨海岸线迫切需要由原本单一的线状防护走向多层次面状防护发展，通过生态型与工程型堤防结合的模式，塑造集多功能性、综合性、安全性及景观性于一体的“韧性滨海岸线防护”。

本文以珠海市滨海岸线为例，以平衡滨海岸线安全性和景观性两个方面的视角，论述滨海岸线防护与修复的策略。

## 1 珠海堤岸防护现状及特点

珠海市陆地处于珠江三角洲南缘，濒临南海，具有“山海相依、陆岛相望”的地貌特点，陆地沿海岸线全长224.5 km，其中人工岸线占比达到87.2%，自然岸线保有率12.8%。其滨海岸线多以传统堤岸防护为主，为“硬质+线状”防护，即在陆海交界处建设传统堤岸进行防潮防浪。以珠海情侣路海堤为例，海堤建成于20世纪90年代末，设计防洪标准为100年一遇，主要为堤路结合型海堤。近年极端天气频发，情侣路海堤在2017年“天鸽”台风及2018年“山竹”台风中均遭受严重的海水漫灌，沿海部分区域水浸深度高达1.5 m以上。综合分析存在如下问题：(1) 沿岸部分区位不利，所处地理位置不利防范潮水，受逆时针气旋影响位于强风受灾区，无地形遮挡；(2) 消浪设施薄弱，堤前消浪设施简单，部分强风向地段无消浪设施；(3) 堤防不足，海堤高程偏低，设防水位与实际潮水位存在偏差，抵挡风暴潮标准不够、防御能力不足；(4) 强风巨浪对堤坝产生巨大的冲击和破坏力使海岸堤坝极易遭受破坏，易在超警界水位时发生危险；(5) 堤防防护与堤内侧绿化景观建设未协同考虑，堤防消浪能力差，堤后排水能力弱，一旦遭遇台风风暴潮，堤防及堤内侧绿化损毁严重。

## 2 波浪计算

对堤岸进行防护，首先要科学地研判波浪力对堤岸的影响，要通过相应的计算进行分析。

### 2.1 波浪要素计算

根据河道断面、风速及情侣路设计断面分段进行波浪计

算。计算断面平均水深按照风区内水域水深加权平均求得；计算风速根据《广东省海堤工程设计导则》(DB44/T182-2004)之附录E，采用广东沿海地区国家气象站设计风速资料，以珠海气象站(区站号59488)10 m高年最大10 min平均风速计算值的成果作为设计风速依据。本地区属热带气旋、风暴多发地区，每年6~9月为盛行期。

(1) 为平均浪高和平均波周期计算公式。

$$H_F = \bar{H} \left[ \frac{-4}{\pi} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} H^* \right) \ln F \right]^{\frac{1-H^*}{2}} \quad (a)$$

在工程计算中，不同累积频率的波高也可按(a)进行换算。式中： $H_F$ 为累积率是 $F$ 的坡高； $\bar{H}$ 为平均波高(m)； $H^*$ 为考虑水深因子的系数，其值为 $\bar{H}/d$ ； $F$ 为累积率。

$$\frac{g^h_m}{V_0^2} = 0.13th \left[ 0.7 \left( \frac{g^H_m}{V_0^2} \right)^{0.7} \right] th \left\{ \frac{0.0018 \left( \frac{g^D}{V_0^2} \right)}{0.13th \left[ 0.7 \left( \frac{g^H_m}{V_0^2} \right)^{0.7} \right]} \right\} \quad (b)$$

$$\frac{g^T_m}{V_0} = 13.9 \left( \frac{g^h_m}{V_0^2} \right)^{0.5} \quad (c)$$

式中： $h_m$ 为平均坡高(m)； $V_0$ 为计算风速(m/s)； $D$ 为风区长度(m)； $H_m$ 为风区内的平均水深(m)； $T_m$ 为平均波周期(s)。

$$L = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} th \frac{2\pi d}{L} \quad (d)$$

波浪周期可采用平均周期，波长可按(d)计算。式中： $L$ 为波长(m)； $\bar{T}$ 平均周期(s)； $g$ 为重力加速度( $m/s^2$ )； $d$ 为水深(m)。

当 $d \geq \frac{L}{2}$ 时， $\frac{th2\pi d}{L} \approx 1.0$ 为深水坡，其波长用 $L_0$ 表示。波长 $L$ 可按附录G确定。

(2) 近岸浅水区波高计算。波浪浅水变形中的波高，当海底坡度 $i \leq 1/500$ 时，按下式计算：

$$\bar{H}_i = K_s K_f \bar{H}'_0 \quad (e)$$

式中： $K_s$ 为相应某一计算水深的浅水系数； $K_f$ 为主要包括摩擦损失在内的波能损耗系数；第一段 $\bar{H}'_0$ 起始的计算深水平均波高(m)； $\bar{H}_i$ 变形后各段末端的平均波高(m)；当海底坡度 $i > 1/500$ 时，不考虑海底摩擦影响。

(3) 波浪计算结果。取风区长度 $D=35000$  m，设计风速 $V_0=34.3$  m/s (ENE方向)，风区平均水深 $H_m=11.5$  m，经计算，平均波高 $h_m=1.822$  m，平均波周期 $T_m=5.991$  s。不规则波长 $L=50.103$  m。

近岸浅水区波高分为无沙滩路段、有沙滩路段两种情况。有沙滩的路段，取沙滩平均高程2.50 m、水深 $H_m=1.20$  m，宽 $\Delta x=50$  m，摩擦系数 $f=0.02$ ，经计算，浅水变形波高 $\overline{H}_i=1.804$  m，极限破碎波高 $H_b=0.96$  m，不规则波长 $L=20.093$  m，累积频率为1%的波高 $H_1=1.178$  m。

无沙滩的路段，取近岸滩地高程0.60 m、平均水深 $H_m=3.1$  m，宽 $\Delta x=50$  m，考虑防浪工程的作用，取摩擦系数 $f=0.02$ ，经计算，浅水变形波高 $\overline{H}_i=1.777$  m，极限破碎波高 $H_b=2.108$  m，不规则波长 $L=31.116$  m，累积频率为1%的波高 $H_1=2.708$  m。

## 2.2 波浪爬高计算

(1) 波浪爬高计算公式。海堤 $0 < M < 1$ 单一坡的波浪爬高计算式：

$$R_F = k_F K_\Delta K_V R_0 H_{1\%} \quad (f)$$

式中： $R_F$ 为累计频率为 $F$ 的爬高(m)； $H_{1\%}$ 为累计频率为1%的波高(m)； $k_\Delta$ 为糙渗系数； $k_V$ 为与风速及堤前水深有关的参数； $R_0$ 为不透水光滑墙上相对爬高，即当 $k_\Delta=1$ 、 $H=1$ 时的爬高值，它由斜坡 $M$ 及深水波 $L_0/H_0(1\%)$ ，或堤前水深 $d=2H_{1\%}$ 处的波坦，查图确定。当堤前水深 $d \leq 2H_{1\%}$ ， $R_0$ 应按照括号中波坦确定； $k_F$ 为累计频率爬高换算系数。

(2) 波浪爬高计算结果。

有沙滩的路段，计算 $H_{1\%}=1.178$ 、 $k_\Delta=0.90$ 、 $k_V=1.30$ 、 $R_0=1.25$ 、 $k_F=1$ ，波浪爬高 $R_F=1.723$  m。

无沙滩的路段，计算 $H_{1\%}=2.708$ 、 $k_\Delta=0.90$ 、 $k_V=1.30$ 、 $R_0=1.25$ 、 $k_F=1$ ，波浪爬高 $R_F=3.960$  m见表1。

经计算，在有30 m宽沙滩的路段，波浪爬高1.723 m；对于无沙滩的路段，波浪爬高3.96 m。考虑珠海情侣路仍有部分路段在堤岸外侧无沙滩缓冲，建议对于无沙滩的路段在防洪墙外侧增设至少10 m宽、2.5 m高的消浪平台，以增强堤前的消

浪效果。

## 3 韧性防风浪潮堤岸策略

针对传统堤防的不足，可以通过构建不同形态的韧性防护体系，采取提前消浪、堤防防浪加高等策略来提升城市对灾害的防护能力。

### 3.1 “底线型”提前消浪措施

海浪冲击是对海堤和护岸安全造成威胁的主要因素，防浪消浪设施是抗御波浪冲击的有效方法<sup>[3]</sup>。消浪设施不仅可以降低堤防堤顶高程或防浪墙顶高程，而且可以减轻波浪对堤身主体或岸体的冲击，有利于工程安全<sup>[4]</sup>。

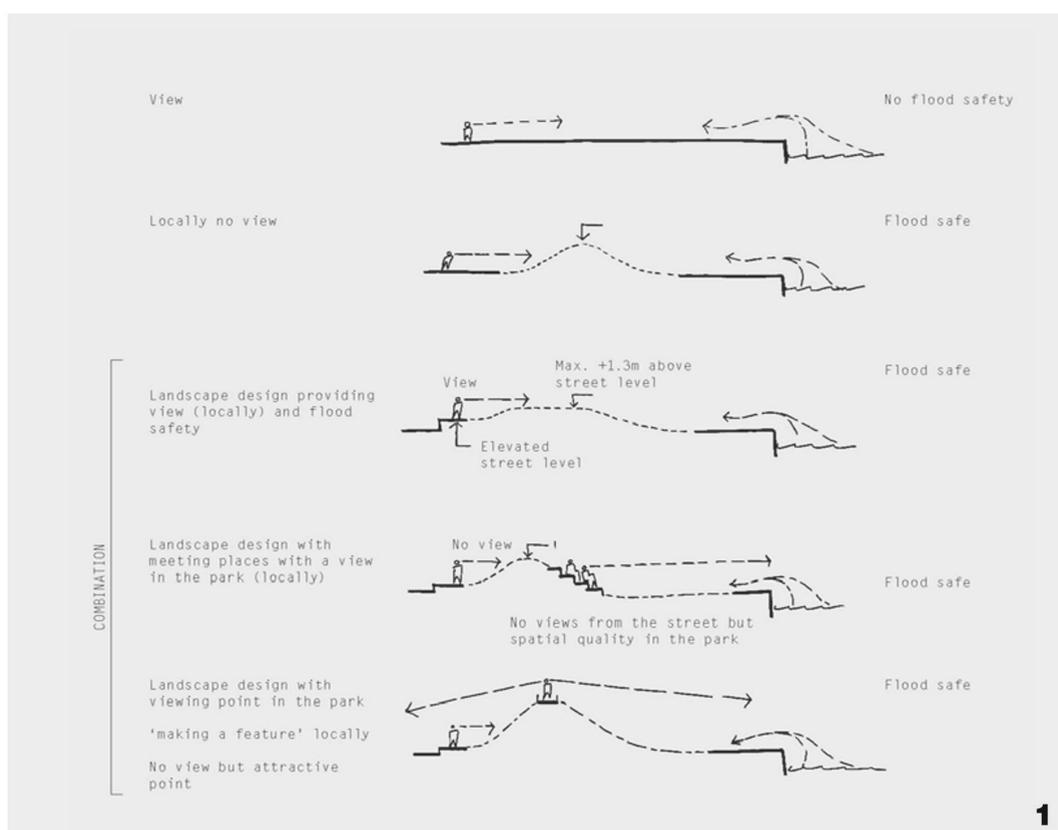
(1) 块石消浪。抛填块石主要分为不分级块石和分级块石两种。不分级块石是将大小不一的块石不规则抛填，这种消浪方式用料多，在波浪作用下上部小块石容易被海浪淘刷带走，护坡也容易坍塌。分级块石是将块石分级使用，小块石放在下部，大块石放在波浪作用强的上部，充分发挥大块石的消浪作用。这种消浪方式用料更省，护坡更稳定<sup>[4]</sup>。

(2) 混凝土异型块体消浪。混凝土异型块体消浪在50年代后的国内外护岸建筑物和防波堤护面工程中逐渐得到推广应用，与普通的块石护面或混凝土板护面相比，混凝土异型块具有空隙大、透水性强等特点，效能效果好；能使波浪在不同角度充分破碎，堤前波浪反射较弱；波浪爬高更小，能降低堤顶高程；安放后块体嵌合紧密，稳定性强；块体可以现场预制，施工更方便。但是混凝土异型块体造价较高，且需要大型起重设备来安放<sup>[5]</sup>。

(3) 护面加糙消浪。护面加糙消浪也是海堤和护岸中广泛采用的消浪方法，护面加糙有上凸式加糙和下凹式加糙两种方式。上凸式加糙利用设置的上凸式消力石或消力墩来破碎波

表1 情侣路设置防浪墙的越浪量试算成果表

路段	设计潮位(m)	防浪墙顶面高程(m)	堤前平均波高(m)	波周期(s)	波长(m)	糙渗系数	堤前水深(m)	系数A	系数B	越浪水量(m <sup>3</sup> /s/m)
有沙滩	3.740	5.500	0.960	5.991	50.103	0.900	1.200	0.0238	85.640	0.0001
	3.740	5.000	0.960	5.991	50.103	0.900	1.200	0.0238	85.640	0.0020
	3.740	4.300	0.960	5.991	50.103	0.900	1.200	0.0238	85.640	0.0740
无沙滩	3.740	6.000	1.777	5.991	50.103	0.900	3.100	0.0251	59.110	0.0069
	3.740	5.500	1.777	5.991	50.103	0.900	3.100	0.0251	59.110	0.0258
	3.740	5.200	1.777	5.991	50.103	0.900	3.100	0.0251	59.110	0.0567



1. 结合防洪安全考虑的绿地高度设计示例

浪，消耗波浪能量，减小波浪爬高。此外，上凸结构要垂直于结构面设置，上凸消浪结构布置方式灵活，既可设置在斜坡上和平台上，也可设置在陡墙上<sup>[5]</sup>。下凹式加糙一般布置在海堤斜坡上，主要利用栅栏板下凹空腔来达到消浪目的，当波浪水舌经过栅栏板时，波浪遇到栅栏板空腔形成漩涡，使波浪撞击和破碎。此外，阶梯式消浪兼有上凸式和下凹式消浪加糙特点，工程中也可选用。

### 3.2 “底线型”提前消浪+绿地，构建纵向韧性防风浪

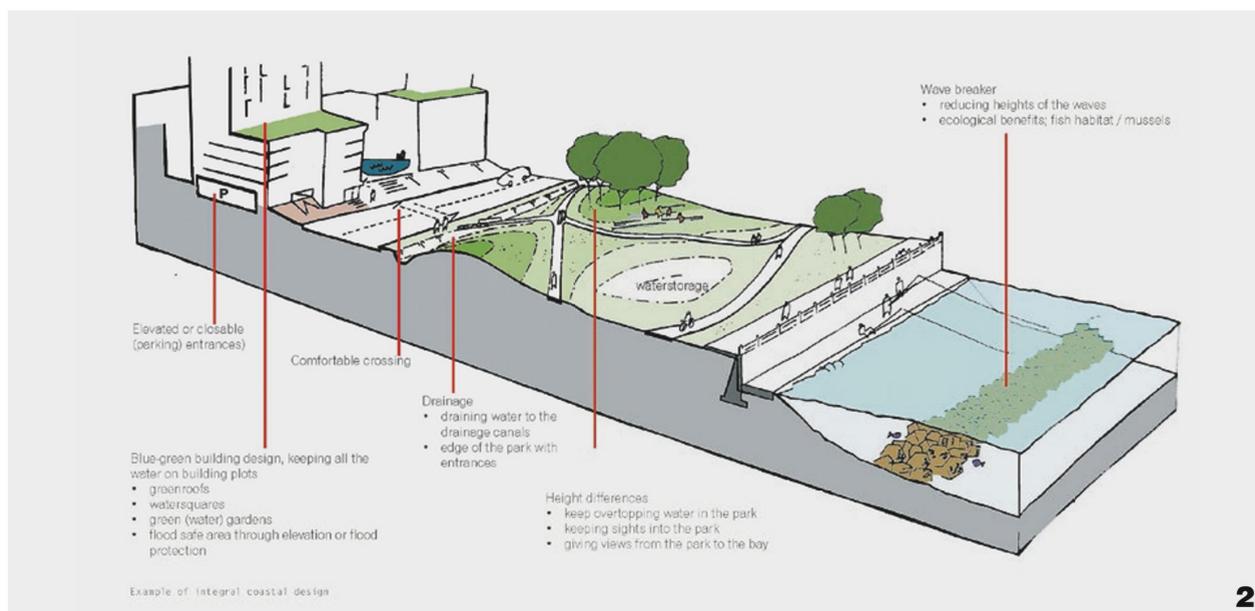
提前消浪堤内结合绿地构建纵向韧性防护，可利用绿地高差起到消减越浪的作用。以珠海情侣路北段临海处的绿地公园为例<sup>①</sup>，占地面积约51 hm<sup>2</sup>，公园由多个提升区域组成，其中沿海的提升区域与防洪堤岸相结合，堤岸的高度为4.2 m。从周边用地性质及公园布局分析，这些提升区域未达到连续的洪水防御线。当风暴潮来袭，通过水文数据模拟测算，发生率为1:100的台风期间，洪潮漫顶速度为90 l/s/m，持续时间为2 h。台风期间，公园后面的居民区极易发生洪水。在2017

年台风“天鸽”期间，居民区的洪水在25 h内已达到0.5 m。针对实际情况，提出的堤岸解决策略是：从纵向空间进行控制和提升，一是利用场地绿地增加竖向高度，起到一定的防洪安全作用，竖向高度应结合城市可达界面观海的视线分析，高度宜控制在相对标高1.3 m以下（图1）；二是堤岸外海侧设置防波堤，防波堤可采用不同材质的砌块设计，如岩石、混凝土防护块、带沥青层砌块等。也可结合生态化手段考虑如贝类和甲壳类等，为海洋生物提供栖息场所，是生态可持续化的具体体现（图2）。

### 3.3 以沙滩纵向延伸，构建带状韧性防风浪

沙滩消浪是沙滩修复的首要功能。利用大海和陆地中间形成沙滩缓冲区，有效降低台风的破坏力度，是最自然的护岸办法。沙滩修复注重护岸功能，而且兼顾美化城市景观、维护生态平衡、提供旅游休闲、提高城市品位等综合作用。以珠海市香炉湾沙滩修复项目为例，项目位于情侣路中部，长约1.5 km。此段情侣路在珠海主城区范围内，城市建设密

① 来源于防范气候变化预期和非预期影响的风险与中欧低碳生态城市开展的合作（EC-LINK）项目。



2. 公园整体海岸设计示例

度高、核心景观区最集中的区域，堤岸与城市腹地之间，无拓展防范空间。修复前，岸段全部为直立式防波堤，堤岸与外海因湾内动力较弱，岸滩主要呈现“砂质海滩+泥质潮滩”的混合地貌类型。由于岸滩长期受到侵蚀，逐步呈退化及局部消失的现象。沙滩生物多样性减少，城市滨海活动空间逐渐减小。

为了解决上述问题，采用沙滩带状防风浪结构，在堤前削弱风浪影响，减少风浪对海堤的冲击，减缓风浪爬高。结合潮位、流速、流向过程等构建了STWAVE波浪模型和GENESZS岸线演变模型，形成完整清晰的岸线演变模型技术路线。经过水动力模型多次矫正，最终构建沙滩向海面纵向延伸约50 m，长度1.5 km的韧性沙滩防护带。

沙滩形成后，通过近3年的台风灾中和灾后调研与观察，沙滩未发生明显变化，未见积水及陷坑。经过检测表明，沙滩的形态基本稳定，而沙滩本身是海域属性，具有动态变化的特点，通过自身形态的调整，实现了对波浪、海流的消减，消减对堤岸后方的道路、护栏等的破坏力，达到保护海岸的目的，进而扩展了海岸线休闲的活力空间，提升岸线的亲水性。珠海情侣路香炉湾沙滩修复项目还荣获了“2017年中国人居环境范例奖”<sup>①</sup>，在抵御台风、风暴潮等自然灾害上起到了降低城市风险的作用。

① 来源于广东省珠海市香炉湾沙滩修复项目。

### 3.4 利用生态植物，构建面状韧性防风浪

生态堤岸是目前比较提倡的一种生态岸线防护模式，与传统消浪方法比较，一是具有增强岸滩稳定、防蚀促淤、防风消浪等功能，二是成本低、工程量小、环境协调性好、维护方便等优点。以珠海淇澳红树林湿地为例，其中天然红树林为32.2 hm<sup>2</sup>，是全国少有的紧靠城市中心区的红树林之一<sup>[4]</sup>。海堤外的红树林呈带状分布，主要为无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*)、秋茄 (*Kandelia candel*)、桐花树 (*Acgiceras comiculatum*)、老鼠簕 (*Acanthus ilicifolius*) 等真红树，靠近海堤主要为半红树植物，主要为银叶树 (*Heritiera littoralis*)、水黄皮 (*Pongamia pinnata*)、海芒果 (*Cerebra manghas*) 等，整体红树林构成面域的防风防浪植物体系，自身具有极强的修复能力，内部构成生物链或微生物圈，极容易适应环境变化。据统计红树林内潮水流速仅为裸滩的1/4 ~ 1/3，潮沟的1/13 ~ 1/6。强热带风爆发生时，林带高度5倍处的背风面可降低风速约56%，15倍处约降低30%。当林带高度大于当地风暴潮高度时，入射波高1.2 m，周期为4 s，平均水深3 m，波长21.7 m，枝叶遮蔽系数为0.4，林带宽30 m、50 m、100 m的消波系数分别为58%、72%、85%。红树林的这种高效的护岸功能可防止淇澳岛200.8 hm<sup>2</sup>水田及大面积的水产养殖遭受风暴潮的危害<sup>[6-12]</sup>。

构建生态面状韧性防风浪体系是生态保护的重要手段，

对城市生态修复，提升生态环境能力有重要的作用。在生物消浪应用过程中，应结合当地地形和海水、土壤条件，选用耐咸性及耐淹性好、材质柔韧、树冠发达、生长速度快的树种或其他海边植物，种植时还要有一定的宽度和适宜的密度才能达到良好消浪效果。

### 3.5 多级防护互补，构建多维空间韧性防风浪

为有效应对台风期间的风暴潮增水、海浪及暴雨，可考虑基于现有滨海岸线构筑“三道防线”，第一道防线由堤防及水闸组成，主要功能为防浪挡潮，防止海潮、海浪越过堤防；第二道防线应在堤后设置排导和滞蓄设施，主要功能为针对越过堤防的海水尽快导排或加以蓄集；第三道防线为临时应急设施，主要在重点保护对象及险段布设。以珠海金湾区机场东路海堤改造项目为例，在堤后通过微地形处理，建设带状雨水花园，作为堤后排导及滞蓄设施，并建设5座地下雨水调蓄池，合计3 500 m<sup>3</sup>的调蓄容积。堤后雨水花园及雨水调蓄池的建设完美地解决了高潮位期间内陆雨水因潮位顶托无法重力直排的问题，也为台风期间的越浪海水提供了行泄路径和滞蓄容积。

## 4 结论与展望

珠海在现阶段的滨海岸线防洪潮提升中以实现和平衡安全和景观功能为目标，主要进行了两大转变：一是空间层次转变。将原来单一的岸线横向防护体系，转变为多层次的向海延伸的纵向防护体系；二是防护机理转变。将原来的工程型防护转为生态型防护，强调安全性和景观性两个方面的平衡，通过多种适应性的策略，在防护的基础上增加生态、经济和社会效益，针对滨海城市的实际情况，有以下三方面可供借鉴：

(1) 构建多层次纵向防护体系。在滨海岸线构建多层次向海延伸的纵向防护体系，主要包括堤前消浪、堤围水闸挡潮、堤后导排及调蓄、滨海小区及商铺临时拦挡等多级纵向防护来保证城市的韧性防护及安全。

(2) 重视生态型防护策略。采用生态型防护取代以前的工程防护，在进行滨海岸线防护的过程中，共同创建海岸的基础设施建设与生物多样性的动植物栖息地。在基础设施建设时纳入韧性的生态化模块，如海湾的沙滩修复、红树林修复；加高现状堤防方面，提出通过对现状堤岸的绿化带中新建埋入式矮墙，抬高堤后绿化带，以构筑第二条防线，通过各种景观微地形打造被抬高后的微地形，来达到功能性与景

观性的有效结合。

(3) 因地制宜，因堤施策。对已建成区的滨海防护岸线，结合周边不同情况因地制宜采用防护提升策略，保证堤围的闭合连续防护。目前，沿海防风浪潮的韧性提升策略仍在探索阶段，未来随着堤岸综合提升工作的推进还需进行以下完善：衔接各专业，提出各类韧性防护措施，生成一套韧性海岸基础设施的工具库；打造更生态的堤前堤后防护空间，建立更多层次和更多方面的人与水的联系；形成一套系统的组合性的洪潮防护体系，通过不同的系统组合优化提升城市韧性防灾能力；开拓海岸防护的休闲娱乐与经济发展功能，充分挖掘其生态、社会的经济价值。🏞️

公式来源：

- (1) 《海堤工程设计规范》(GB/T 51015-2014)
- (2) 《海堤工程设计规范》(GB/T 51015-2014) (C.0.4-1)
- (3) 《海堤工程设计规范》(GB/T 51015-2014) (C.0.4-2)
- (4) 《海堤工程设计规范》(GB/T 51015-2014) (C.0.11)
- (5) 《广东省海堤工程设计导则》(DB44/T182-2004) (H.0.5-1)
- (6) 《海堤工程设计规范》(GB/T 51015-2014) (E.0.3)

## 参考文献

- [1] 汤放华, 汤慧, 古杰. 韧性城市的概念框架及城乡规划的响应[J]. 北京规划建设, 2018, (02): 11-13.
- [2] 于洪蕾. 极端气候条件下我国滨海城市防灾策略研究[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [3] 刘敏. 海堤加固整治工程设计探讨[J]. 科技资讯, 2008, 000(010): 24-25.
- [4] 邱霓, 徐颂军, 邱彭华, 等. 珠海淇澳岛红树林群落分布与景观格局[J]. 林业科学, 2019(1): 1-10.
- [5] 黄锦林, 程永东. 海堤和护岸消浪型式选择[J]. 广东水利水电, 2009, 000(004): 37-40.
- [6] 郑松发, 郑德璋, 戴光瑞, 等. 珠海市淇澳岛红树林湿地合理保护与开发利用[J]. 广东林业科技, 1999(4): 38.
- [7] 张继义, 赵哈林. 科尔沁沙地草地植被恢复演替进程中群落优势种群空间分布格局研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(2): 1-6.
- [8] 彭辉武. 珠海淇澳岛红树林群落三项生态服务功能的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- [9] 安东, 缪绅裕, 陈蔚, 等. 珠海淇澳岛无瓣海桑人工林更新幼苗种群特征[J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2015, 14(1): 50-55.
- [10] 陈桂珠, 缪绅裕. 广东澳头红树植物群落的物种多样性与种群分布格局研究[J]. 生态学杂志, 1994, 13(2): 34-35, 43.
- [11] 雷振胜, 李玫, 廖宝文. 珠海淇澳红树林湿地生物多样性现状及保护[J]. 广东林业科技, 2008, 24(5): 56-60.
- [12] 李皓宇, 彭逸生, 刘嘉健, 等. 粤东沿海红树林物种组成与群落特征[J]. 生态学报, 2016, 36(1): 252-260.