

参证站。该工程对参证站三灶站系列延长至 2018 年(考虑了 2017 年“天鸽”和 2018 年“山竹”特大台风的影响),得到 100 a 一遇高潮位($P=1\%$)为 3.95 m。

2.2 设计波浪要素

根据工程附近水域波浪特征及演化规律分析,采用以风浪生成与演化的方向谱计算模型(SWAN 模型)对工程区附近的设计波浪要素进行了计算,给出了特征位置堤前浅水波要素,具体见表 1。

表 1 100 a 一遇高潮位海堤堤前浅水波要素计算成果表

$H_{1\%}$ /m	$H_{2\%}$ /m	$H_{5\%}$ /m	$H_{13\%}$ /m	$H_{1/3}$ /m	$\bar{H}$ /m	周期 /s	波长 /m	波向 $\beta(^{\circ})$	堤前 水深 /m
2.97	2.71	2.50	2.14	2.10	1.46	4.21	17.32	46.54	5.33

3 提标断面设计

3.1 海堤堤型

海堤按断面外形一般可分为斜坡式、陡墙式和混合式三种基本型式。其中斜坡式海堤适宜于占地范围较宽的海滩,构造简单,维修方便,同时适宜各种地基;陡墙式海堤占地少,地基应力大,适宜于承载力较好的地基。混合式海堤兼顾两种堤型的优点,具体见表 2。

该工程海堤堤基坐落于软土层,地基承载力值小,考虑到现状海堤外坡有足够的位置设置消浪设施,综合地基适应性及经济性考虑,提标断面推荐采用斜坡式或混合式海堤型式。

3.2 护面结构

调研该地区常用的护面型式,四脚空心块体、栅栏板和抛石护面应用较为广泛,现对三种护面型式进行技术经济比选,见表 3。

抛石护面施工要求低、经济性好,但是结构抗冲安稳定性、质量控制和消浪能力较弱,不利于堤身结构

表 2 海堤堤型优缺点比较表

堤型	优点	缺点
斜坡式	1. 适用于各种地基; 2. 施工技术简单,维修容易; 3. 整体稳定性好	1. 占地面积较大; 2. 堤身填筑量较大
陡墙式	1. 占地面积小; 2. 能够有效地阻止或削弱波浪翻越堤顶; 3. 结构整体性好	1. 地基应力大,对地基要求较高; 2. 波浪作用力较大,波浪上壅回落易产生墙脚淘刷; 3. 施工难度大
混合式	1. 占地面积适中; 2. 两种堤型的结合,消浪能力强,整体稳定性好	施工较复杂

的长期稳定;四脚空心块体和栅栏板虽然在经济性上不具优势,但其对结构安全有保证,且消浪能力和景观效果更优,从长远角度考虑,采用四脚空心块体和栅栏板护面方案较为合理。

3.3 防浪墙加固

现状防浪墙设计墙顶高程 4.70 m,实测资料表明堤身已发生不同程度的沉降,存在较大的欠高。现对原防浪墙部分凿除后采用小挡墙加高、原防浪墙整体拆除重建两种方案进行比选,见表 4。

(1)方案一保留原墙主体结构,将防浪墙顶部凿除至原新老墙体结合面,然后新建小挡墙接高至设计标高,与老结构结合处采用种植钢筋连接。

(2)方案二将原防浪墙完全拆除,利用原防浪墙较好的地基作为新建防浪墙基础,新建防浪墙结构。

方案一工程量小、经济性好,且施工期防汛安全隐患小,方案二防浪墙整体性好。鉴于该工程海堤现状防浪墙墙身基本完整,防浪墙加固拟采用方案一,如图 3 所示,即保留原墙主体结构,凿除部分上部结构后采用小挡墙加高。此外,为减小迎水面波浪对新老墙结合部分的冲刷破坏,在迎水面增加钢筋混凝

表 3 护面结构技术经济比较表

护面	结构	施工要求	质量控制	景观效果	消浪能力	经济性
四脚空心块体	抗冲能力强,适应变形能力及结构安稳定性好	现场吊装摆放,施工要求较高	标准化预制,质量易保证	美观大方,整齐安放	较强	一般
栅栏板	抗冲能力较强,适应变形能力及结构安稳定性较强	现场吊装摆放,施工要求较高	标准化预制,质量易保证	美观大方,整齐铺设	较强	一般
抛石	遇大风浪结构易松动、变形,结构安稳定性较差	船抛结合岸抛,施工要求较低	块石来源受料场供应影响,质量难以保证	平整性较差,坡面凹凸错落	一般	较好

表 4 防浪墙加固方案比选表

方案	结构	施工便捷性	防汛安全	工程量	经济性
加高防浪墙	新老墙体结合面植筋处理,整体性较差	施工难度较小,施工速度快	原墙体拆除高度小,施工期的防汛安全隐患小	拆除、开挖、新浇混凝土工程量小	好
新建防浪墙	整体性好	施工难度较大,施工速度慢	原墙体拆除高度大,施工期的防汛安全隐患大	拆除、开挖、新浇混凝土工程量较大	较差

土护面以加强新老墙结合部位抗风浪安全设计。

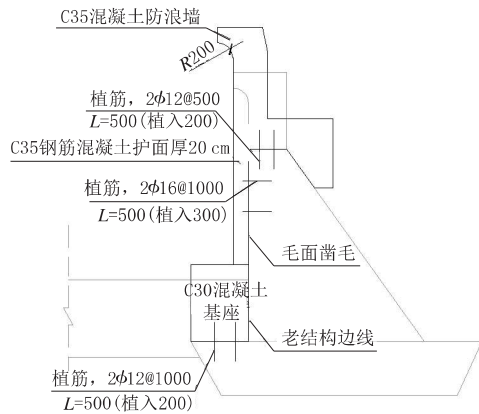


图3 防浪墙推荐加固方案(单位:mm)

3.4 堤标断面设计

3.4.1 堤顶高程计算

该工程按照 100 a 一遇潮位设计,允许部分越浪考虑。

根据《广东省海堤工程设计导则》^[4](DB44/T 182—2004),堤顶高程是指海堤沉降稳定后的堤顶高程,应根据设计高潮位、波浪爬高及安全超高值按下式计算。

$$Z_p = h_p + R_F + A \quad (1)$$

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(海堤按允许部分越浪设计时 $F=13\%$),m; A 为安全加高值,m,对于允许部分越浪的2级海堤为0.40 m。

其中,设计波浪爬高按《广东省海堤工程设计导则》(DB44/T 182—2004)附录J的规定:

(1)对于海堤为单坡结构型式且 $0 < m < 1$ 时,波浪的爬高计算或按下式估算:

$$R_F = K_\Delta K_V R_0 H_{1\%} K_F \quad (2)$$

式中: K_Δ 为与护面结构型式有关的糙渗系数; K_V 为与风速及堤前水深有关的经验系数,查表确定; R_0 为不透水光滑墙上相对爬高,查图确定; $H_{1\%}$ 为波高累积率 $F=1\%$ 的波高值; K_F 为爬高累积频率换算系数。

(2)对于海堤为单坡结构型式且 $m=1.0\sim 5.0$ 时,波浪的爬高计算或按下式估算:

$$R_F = K_\Delta K_V R_1 H_{1\%} K_F \quad (3)$$

式中: R_1 为 $K_\Delta=1, H=1$ m时的爬高值,由计算确定。

带有平台的复合斜坡堤的波浪爬高,可先确定该断面的折算坡度系数 m_e ,再按坡度系数为 m_e 的单坡断面确定其爬高。

对于陡墙式或混合式海堤波浪的爬高可采用海

堤为单坡结构型式 $0 < m < 1$ 时式(2)计算其波浪爬高,对于单坡或复坡 $m=1.0\sim 5.0$ 时的斜坡式海堤波浪爬高可按式(3)确定。

3.4.2 越浪量计算

围绕区域“滨海城市、温泉之乡、梦里家园”的规划定位,本工程堤内将打造海滨特色的沿海景观带,海堤提升宜在满足防洪(潮)安全的前提下,兼顾滨水景观的要求,尽量降低墙顶高程。根据《广东省海堤工程设计导则》(DB44/T 182—2004)(规定,对于允许部分越浪的海堤,当防浪墙墙顶高程不能达到计算高程时,墙顶高程可采用越浪量控制。

(1)根据《广东省海堤工程设计导则》(DB44/T 182—2004)附录K,无风条件下,1:0.4陡坡上(带防浪墙)的越浪水量可根据下式计算:

$$\frac{q}{TgH} = A \exp \left[-\frac{B}{K_\Delta} \frac{H_c}{T\sqrt{gH}} \right] \quad (4)$$

式中: q 为单位时间单宽海堤上的越浪水量, $m^3/(s \cdot m)$; H_c 为防浪墙顶至静水位(设计高潮位)的高度,m; $\bar{H}$ 为堤前平均波高,m; T 为波周期,s; A 、 B 为经验系数,查表确定; K_Δ 为与护面结构型式有关的糙渗系数。

有风的越浪量为无风条件下的越浪量乘风校正因子 K' 。

(2)根据《海堤工程设计规范》(GB/T 51015—2014)^[5]附录F,斜坡式海堤 $1.5 \leq m \leq 3.0$ 堤顶有防浪墙时,堤顶越浪量可按下式计算:

$$Q = 0.07 H_c^{H_{1\%}} \exp \left(0.5 - \frac{b_1}{2H_{1\%}} \right) B K_A \cdot \frac{H_{1\%}^2}{T_p} \left[\frac{0.3}{\sqrt{m}} + \operatorname{th} \left(\frac{d}{H_{1\%}} - 2.8 \right)^2 \right] \ln \sqrt{\frac{g T_p^2 m}{2\pi H_{1\%}}} \quad (5)$$

式中: b_1 为坡肩宽度,m; T_p 为谱峰周期, $T_p=1.33\bar{T}$,s; B 为经验系数,查表确定; K_A 为护面结构影响系数。

对于陡墙式海堤的堤顶越浪量可采用式(4)确定,对于单坡或复坡斜坡式海堤的堤顶越浪量可按式(5)确定。由于大部分混合式海堤断面较复杂,很难在规范中找到适用条件与设计断面相似的经验公式进行越浪量的计算,只能选取比较近似的公式,采用式(4)确定^[1]。

考虑到该工程堤内将打造海滨特色的沿海景观带,本着经济合理的原则,兼顾近期防洪及远期建设的要求,堤后护坡统一按草皮护坡设计,并按照《广东省海堤工程设计导则》(DB44/T 182—2004)确定的海堤内坡为草皮护坡时的允许越浪量反算防浪墙

顶高程。

3.4.3 提标断面方案

(1)如图4所示,方案一提标断面采用混合式海堤。墙外新增宽度为8 m,顶高程为2.30 m的消浪平台,外侧以1:2.5的坡比放坡至抛石护脚,表面铺设1层单重1.5 t的四脚空心块体护面结构,按照100 a一遇潮位设计(允许部分越浪)计算该断面墙顶高程,墙顶标高5.30 m,内坡新建1:3.0草皮护坡。

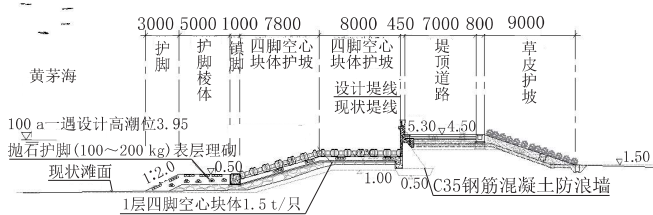


图4 提标断面方案一(单位:mm)

(2)如图5所示,方案二提标断面采用斜坡式海堤。墙外新建复式栅栏板护坡结构,上坡栅栏板结构宽4.9 m,坡比取1:3.0,下坡栅栏板结构宽6.0 m,坡比取1:3.0,上、下坡护面结构间设5.0 m宽消浪平台,平台顶标高为2.50 m,按照100 a一遇潮位设计(允许部分越浪)计算该断面墙顶高程5.20 m,内坡新建1:3.0草皮护坡。

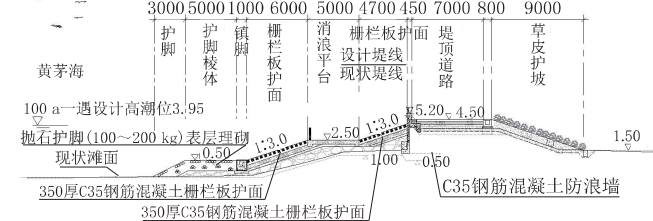


图5 提标断面方案二(单位:mm)

(3)方案比较

由表5计算结果可知,当方案一设计墙顶高程5.30 m、方案二设计墙顶高程5.20 m时越浪量均可以满足《广东省海堤工程设计导则》(DB44/T 182—2004)关于海堤内坡为草皮护坡时的允许越浪量上限值0.02(m³/(s·m))的要求,其中方案二设计墙顶高程稍低,对于沿海景观带的开发更具优势。分别对两个方案进行建安费估算,方案一估算2.60万元/m,方案二

估算2.65万元/m,造价相近,从提升工程防灾减灾功能以及综合经济适用性和美观角度考虑,两个方案均是合适的。

该工程海堤堤基坐落于软土层上,堤身加高培厚产生的新增荷载会引起堤身沉降,为保证海堤沉降稳定后的堤顶高程满足设计要求,海堤完工时需预留一定的工后沉降量。以方案一为例进行堤基沉降计算,设计基准期按10 a考虑,堤身基准期内残余沉降量为23.6 cm,堤外护坡基准期内残余沉降量为23.8 cm,综合该工程现状地形、地质和施工等各方面因素,同时结合地区经验,该工程堤身、内外护坡均预留25 cm工后沉降以满足设计标高要求,数据见表6。

表6 沉降计算成果表

计算位置	填筑高度 /m	完工期沉降 /m	基准期结束时沉降 /m	基准期内残余沉降 /m
堤身	1.2	0.126	0.361	0.236
堤外护坡	1.2	0.142	0.380	0.238

4 结 语

近年来混合式海堤在我国东南沿海地区的应用已越来越广泛,本文以广东省某混合式海堤提标工程为例,对提标断面堤型、护面结构、防浪墙加固方案进行比选分析,从提升工程防灾减灾功能以及综合经济适用性和美观视角论证了案例提标断面的合理性,同时,考虑场地广布软土层的地质特性,计算确定预留工后沉降量以保证设计基准期内堤顶高程要求,为类似地质条件下的混合式海堤提标设计提供了借鉴。

参考文献:

[1] 吴连颖,李卫红. 浙江省混合式海堤堤顶高程计算方法初探[J]. 城市道桥与防洪,2009(8):86-89.
[2] 林文婧. 混合式海堤波浪爬高计算与分析[J]. 甘肃水利水电技术,2015(2):34-36.
[3] 项印玉. 混合式海堤平均越浪量计算方法的比选[J]. 中国水运(下半月),2019(3):130-132.
[4] DB44/T 182—2004, 广东省海堤工程设计导则(试行)[S].
[5] GB/T 51015—2014, 海堤工程设计规范[S].

表5 各方案堤顶高程及越浪量计算结果汇总表

提标断面	设计潮位 /m	糙渗系数 K_{Δ}	波浪爬高 /m	安全加高 /m	计算墙顶高程 /m	设计墙顶高程 /m	越浪量 $[(m^3 \cdot (s \cdot m)^{-1})]$
方案一	3.95	0.55	1.078	0.4	5.428	5.30	0.017
方案二	3.95	0.49	0.953	0.4	5.303	5.20	0.019