

文章编号 : 1005-9865 (2001) 04-0067-05

浙江省海塘塘顶高程的确定

黄世昌¹, 周 骥², 谢亚力¹, 杜明球¹, 张士君²

(1. 浙江省河口海岸研究所, 浙江 杭州 310016; 2. 浙江省水利厅, 浙江 杭州 310009)

摘 要:介绍了浙江省海塘塘顶高程确定时所涉及的波浪爬高、越浪量等的计算,同时分析了 1997 年后浙江省海塘塘顶高程确定的方法。由已建海塘的塘顶高程分析可见,在背水坡和塘顶有保护措施的情况下,采用允许最大越浪流量来控制海塘塘顶高程,可适当降低塘身高度。

关键词:海塘;塘顶高程;爬高;越浪量

中图分类号:TV8 **文献标识码:**A

Determination of seawall crest elevation in Zhejiang Province

HUANG Shi-chang¹, ZHOU Ji², XIE Ya-li¹, DU Ming-qiu¹, ZHANG Shi-jun²

(1. Zhejiang Provincial Institute of Estuary and Coast, Hangzhou 310016, China; 2. Zhejiang Conservancy Administration, Hangzhou 310009, China)

Abstract: In this paper, the calculation of wave runup and overtopping rate related to the determination of seawall crest elevation is introduced, and the determination methods of crest elevation for seawalls in Zhejiang adopted since 1997 are analyzed. Analyses of crest elevation for seawalls built reveal that with adequate protection for the back slope and seawall crest, allowable overtopping rate can be used to determine the crest elevation so as to reduce the height of seawall properly.

Key words: seawall; seawall crest elevation; runup; overtopping rate

浙江省濒临东海,海岸线呈东北至西南走向,总长 6 500 km。沿海地区台风频繁,筑有海塘抵御台风期高潮大浪的袭击。海塘以杭州湾南岸上虞夏盖山为界,向西北至钱塘江,称为钱塘江海塘,全长约 300 km;向南至与福建交界的苍南县,称为浙东海塘。浙东海塘穿越众多的河口、港湾,一线海塘长达 1 700 km,其中保护万亩以上陆域耕地、重要城镇及重要基础设施的海塘,累计长达 1 027 km(见图 1)。

浙江省标准海塘建设自 20 世纪 70 年代初始,塘顶高程为设计高潮位加波浪爬高和安全超高,绝大多数海塘按不允许越浪设计,塘顶和背坡没有保护。由于设计标准低,结构强度弱,海塘受大浪的冲击时有损坏,尤其在 9417 号台风和 9711 号台风期间,沿海从南到北均发生特高潮位,海塘损毁严重,前者海塘毁坏 520 km,后者损坏总计长达 800 km^[1]。

1997 年以后重建海塘,海塘塘顶高程的确定是其中的重要工作之一。随着海塘工程等级及相应设防标准的提高,建筑在软土地基上的海塘在设计条件下要完全防止越浪,只有在高滩上筑塘才有可能,在水深稍大的海区,塘身必然较高,很难达到要求;另外,由于天然高潮大浪难以预测,一旦超过设计标准往往会冲毁内坡,导致海塘溃决,因此,海塘设计中不允许越浪,既不经济也不合理。1997 年以后,总结两次台风毁塘的经验,提出确定软土地基上海塘的塘顶高程的基本思想是“允许越浪,三面保护”,可取允许最大的越浪流量作为海塘高程的控制指标,同时加强海塘的强度;在非软土地基上,允许越浪的海塘仍按累积率为 13% 的爬

收稿日期:2000-09-27

作者简介:黄世昌(1966-),男,高工,主要从事河口海岸工程研究。

高 ($R_{13\%}$) 来确定。

塘顶高程的确定涉及到海塘工程设防标准、设计潮位、塘前设计波要素、波浪爬高与海塘上的波浪越浪量以及海塘结构形式。本文介绍了浙江省海塘爬高及越浪量的计算方法,分析了 1997 年后浙江省海塘塘顶高程确定的方法,以及已建海塘塘顶高程值的合理性。

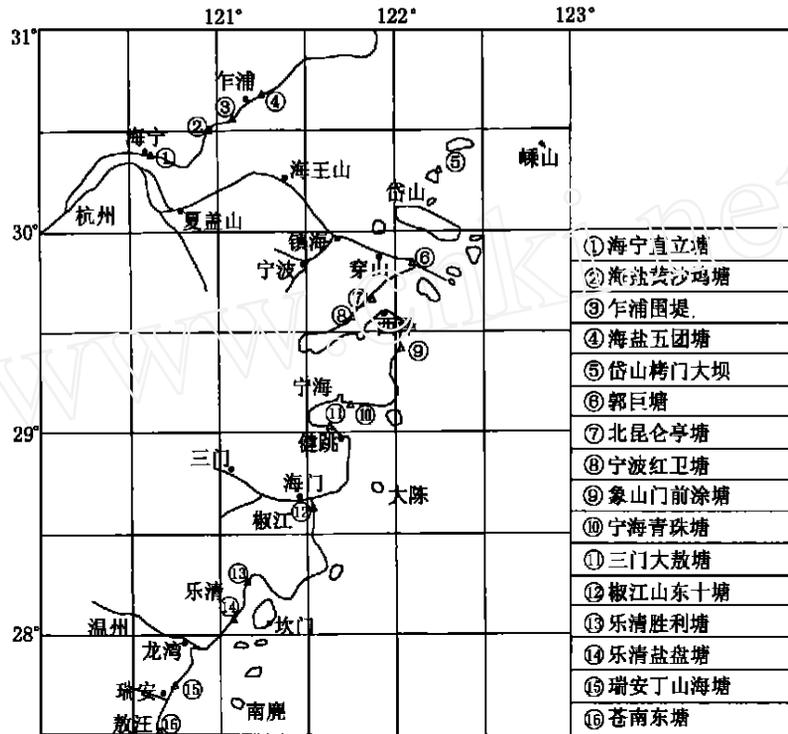


图 1 浙江省重要海塘与水文站

Fig. 1 Key seawalls and hydrological stations in Zhejiang Province

1 波浪爬高确定的塘顶高程

海塘塘顶高程是指海塘沉降稳定后的高程。对于设有防浪墙的海塘,塘顶高程则是防浪墙顶面的高程,防浪墙根底高出设计高潮位 1% 大波 0.5 倍,即高出 $0.5H_{1\%}$ 。河口的上游段,以及浙北沿海宁波慈溪海岸地基基础为较厚的粉质粘土,一般承载力大,这类基础较好的海岸上修筑海塘,塘顶高程计算式如下:

$$Z_p = H_p + R_{F\%} + H$$

式中: Z_p 为设计频率的塘顶高程 (m); H_p 为设计频率高潮位 (m)。 $R_{F\%}$ 为按设计波浪计算的累积率为 $F\%$ 的波浪爬高值 (m); 允许部分越浪为 $F=13$, 不允许越浪 $F=2$; H 为安全超高值 (m), 依海塘等级不同而有所差异, 见表 1。

绝大多数海塘为 至 级, 级海塘为保护人口 50

- 100 万的重要城市, 或 100 万亩以上大片平原抑或大型工矿企业, 设计重现期为 100 年; 级海塘保护的人口或土地有所降低, 相应设计重现期为 50 年。

波浪爬高与波要素、塘顶的出水高度及海塘的几何型式、护面的结构等有关, 单坡海塘上的爬高值按下式计算:

$$R_{F\%} = K \cdot K_v \cdot R_0 \cdot H_{1\%} \cdot K_{F\%}$$

式中: $F\%$ 波浪爬高累积率, 不允许越浪取 2%, 允许部分越浪取 13% (允许越浪指塘顶、内坡及坡脚有防冲刷保护措施); K 为糙渗系数; K_v 风速的影响因子; $K_{F\%}$ 为爬高累积率换算系数, 若要求的 $R_{F\%}$ 所相应累积率的塘前波高 $H_{F\%}$ 已经破碎, 则 $K_{F\%} = 1$; R_0 为不透水光滑斜面上的相对爬高, 即当 $K = 1.0$, $H = 1.0$ m 时的爬高值。

表 1 塘顶安全超高值

Tab. 1 Safe height value added for sea wall crest

海塘等级						
不允许越浪	h/m	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5
允许越浪	h/m	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3

当波浪斜向作用时, $m > 1$, 波向线与塘轴线法线的夹角 $> 15^\circ$ 的情况下, $R_{F\%}$ 还应乘以修正系数 K , $K = \frac{1+2\cos\alpha}{3}$ 。

复式海塘爬高的计算:

对于下部为斜坡,上部为陡墙,无平台的折坡式断面,可采用假想坡度法近似计算爬高值。

对带有平台的复合式斜坡塘的波浪爬高计算采用折算坡比法,可先确定该断面的折算坡比 m_e ,然后按坡比为 m_e 的单坡断面确定其爬高值。

当海塘前沿滩地设有潜堤时,由于塘前泥沙淤积,运行若干年后潜堤与海塘间往往淤平,起到镇压层的作用,此时,爬高计算可先按无压载时计算,再乘以镇压层的压载系数。

2 控制允许最大越浪的海塘塘顶高程

浙江省海塘大部分建筑在软土地基上,宁波南部、舟山地区沿海以滨海及浅海相为主,象山港为海河口相堆积,主要由淤泥或淤泥质粘土组成,厚度 15 ~ 28 m,台州、温州沿海广泛分布有淤泥、淤泥质粘土,厚度大于 30 m,含水量一般为 40 % ~ 60 %,局部大于 80 %,属于高压缩性、低强度、低渗透性软土。

在此类地基上筑塘,若按不允许越浪的标准设计,工程投资大,经济条件难以满足。显然对于允许部分越浪的海塘,若按爬高 $R_{13\%}$ 确定塘顶,塘身高度仍然过大,高程难以达到,因此,确定塘顶高程时,有必要按允许最大越浪量控制。由于开敞海塘塘前滩地较高,有些区域平均波高以上的大波均已破碎,因此大波的越浪量受到限制,平均越浪流量可作为衡量冲蚀塘顶及内坡水力强度的一个指标。

当海塘塘顶为混凝土或浆砌块石护面,内坡为干砌石护面,块重 150 kg 左右,垫层完好有效的条件下,允许最大的单宽越浪流量为 $0.05 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$,这是室内模型试验值。

不含挡浪墙的海塘塘顶高程为:

$$Z_p = H_p + h_1$$

式中: h_1 为塘顶超高值(不计防浪墙),其值为 1.5 ~ 2.5 m,在风向不利、海区开阔、涂面较低的地方以及斜坡塘型,应取上限值。

采用上式确定塘顶高程时,必须进行越浪量计算,重要海塘还应通过模型试验确定。超过允许越浪量的海塘,适当加高塘身,或对塘顶、背坡面加强防冲保护,也可采用做平台、潜堤等其它工程措施减小越浪量。

海塘越浪量的大小,与波浪要素、水深及海塘迎潮面的外形、防护结构型式、塘前高度及风场要素等相关。

无风条件下,对于坡度为 $1 \diamond 2$ 的斜坡塘(带防浪墙)和 $1 \diamond 0.4$ 的直立塘(带防浪墙),越浪水量根据下式计算^[2]:

$$\frac{q}{TH_g} = A \exp \left[- \frac{B}{K} \frac{H_c}{T \sqrt{g \bar{H}}} \right]$$

式中: q 为单位时间单宽海塘上的越浪水量 ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$); H_c 为挡浪墙顶至静止水位(设计高潮位)的高度 (m); \bar{H} 为塘前平均波高 (m); T 为波周期 (s); K 为糙渗系数, A 、 B 为系数,斜坡塘和直立塘的 A 、 B 值分别见表 2 和表 3,表中 d_s 为塘前水深, \bar{H}/L 为塘前波陡。

河口港湾地区,以风推浪的方法确定波要素时,公式中的波周期采用有效波周期, $T_s = 1.15 \bar{T}$ (s);对开敞式海岸,用实测波资料确定波要素,采用平均周期 \bar{T} (s)。

表 2 斜坡塘 A、B 系数值

Tab. 2 Coefficients A and B for slope seawalls

	$(\bar{H}/d_s) < 0.4$				$(\bar{H}/d_s) > 0.5$		
\bar{H}/L	0.02 ~ 0.03	0.035	0.045	0.065 ~ 0.08	0.02 ~ 0.025	0.033 ~ 0.04	0.05 ~ 0.1
A	0.007 9	0.011 1	0.012 1	0.012 6	0.008 1	0.012 7	0.014
B	23.12	22.63	21.25	20.91	42.53	26.97	22.96

表 3 直立式海塘 A、B 系数值
Tab. 3 Coefficient A and B for vertical sea walls

	$(\bar{H}/ds) \leq 0.4$					$(\bar{H}/ds) > 0.5$				
\bar{H}/L	0.02 ~ 0.025	0.027 5	0.032 5	0.037 5	0.045	0.05 ~ 0.1	0.02 ~ 0.025	0.03 ~ 0.04	0.05	0.06 ~ 0.1
A	0.009 8	0.008 9	0.009 9	0.015 6	0.012 6	0.020 3	0.023 8	0.025 1	0.016 7	0.017 6
B	41.22	31.2	27.76	27.19	24.8	24.2	85.64	59.11	33.26	20.96

向岸风会增加海塘上的越浪量。增加的量值取决于相对海塘垂直方向的风速、风向及海塘的坡度和高度。有风的越浪量为无风条件下的越浪量乘风校正因子 $K^{[3]}$ 。

$$K = 1.0 + W_f \left[\frac{H_c}{R} + 0.1 \right] \sin$$

式中 W_f 取决于风速的系数,其值为:

$$W_f = \begin{cases} 0 & V = 0 \\ 0.5 & V = 13.4 \text{ m/s} \\ 2.0 & V = 26.8 \text{ m/s} \end{cases}$$

为为海塘临潮边坡坡角(θ), R 为为波浪在海塘上的爬高值(m)。

波浪爬高与越浪量计算公式是在室内试验得到的近似计算方法,有一定的局限性,可供一般海塘设计中使用,对于重要海塘和断面几何形状复杂的海塘,爬高与越浪应通过模型试验确定。

3 浙江省海塘塘顶高程分析

1997 年至今,浙江省标准海塘建设已基本完成,海塘迎潮面的基本形式为直立式和斜坡式,塘前普遍抛有块石,宁波地区普遍采用上直下斜的折坡式,胸墙为混凝土护面板或底部宽厚的直墙,斜坡面采用栅栏板较多,若风浪汹涌,则用四脚空心方块。舟山地区直立式较多,迎潮面主要采用贴面混凝土护面板。台州地区较多采用带镇压层的直立式,直立式迎潮面为埋石混凝土胸墙,镇压层为块石干砌。塘顶部分均为混凝土护面,背水坡干砌或灌砌石防护,部分海塘断面见图 2,图中高程采用吴淞高程系。

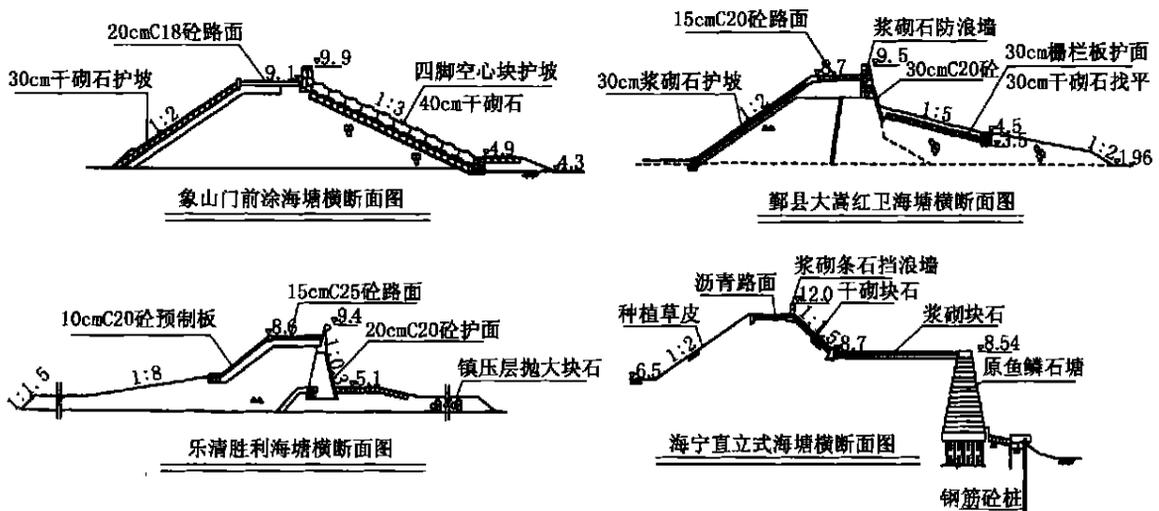


图 2 浙江省海塘典型断面(高程以 m 计)

Fig. 2 Typical seawall profiles in Zhejiang Province

表 4 列出重要海塘的爬高、越浪量的模型值和计算值以及塘顶高程,海塘位置见图 1。采用 $R_{13\%}$ 确定的塘顶高程均高于现有塘顶高程,塘前波浪较大的海塘,两者差值更大,现有海塘塘顶的选取绝大多数采用控制允许最大越浪量的方法。若海塘越浪量小于 $0.05 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$,背水坡采用干砌块石护面;大于该值,采用浆砌块石或灌砌块石护面。

表 4 浙江重要海塘爬高、越浪量和塘顶高程(吴淞高程)

Tab. 4 Runup, overtopping rate and crest elevation for main sea walls in Zhejiang Province (Wusong Data)

海塘	塘形	重现期/a	滩地/m	设计高水位/m	平均波高/m	平均周期/s	爬高 $R_{13\%}$ /m	$R_{13\%}$ 确定的顶高/m	现塘高程(含防浪墙)/m	塘顶加高 h_1 /m	防浪挡墙高度/m	现塘顶越浪量/($m^3/m \cdot s$)	背水坡保护形式	备注
宁波红卫塘	折坡式	50	1.8	6.74	1.77	10.7	8.1	15.2	9.5	1.96	0.8	0.085	浆砌石	爬高
宁波郭巨塘	折坡式	20	1.0	5.1	1.66	10.0	5.3	10.7	8.2	2.5	0.6	0.046	干砌石	与越
北仑昆亭塘	折坡式	20	0.71	5.79	1.43	10.1	8.1	14.2	9.5	2.9	0.8	0.048	干砌石	浪量
海宁直立塘	直立式	100	0.5	9.05	1.0	4.5	3.28	12.7	12.0	2.15	0.8	8.7×10^{-5}	草皮	为模
五团斜坡塘	斜坡塘	100	2.5	7.90	2.3	7.5	5.66	13.0	11.1	2.0	1.2	0.046	混凝土	型试
海盐黄沙坞	斜坡塘	50	-1.50	8.61	1.26	5.1	4.02	13.0	11.0	1.5	0.9	0.013 6	干砌石	验值
岱山栲门大坝	斜坡塘	50	-1.5	4.98	3.0	15.9	10.9	16.3	11.3	5.32	1.0	0.11	灌砌	
瑞安丁山围堤	直立式	50	3.5	7.05	1.7	13.4	/	/	9.5	1.65	0.8	0.04	干砌石	
乍浦围堤	斜坡塘	50	1.0	6.88	2.3	6.4	4.6	11.9	10.7	2.62	1.2	0.016	干砌石	
苍南东塘	折坡式	20	3.5	6.72	1.10	12.8	3.91	10.3	9.5	1.88	0.9	0.07	混凝土	爬高
椒江十塘	直立式	50	3.4	7.02	2.2	14.8	3.55	11.0	10.2	2.38	0.8	0.1	灌砌	与越
象山门前涂	斜坡式	50	4.3	6.84	1.5	14.8	2.7	9.9	9.9	2.26	0.8	0	干砌石	浪量
乐清胜利塘	直立式	50	2.5	7.0	0.90	4.8	2.17	9.6	9.4	1.60	0.8	0.003 3	砼制板	为计
三门六敖塘	斜坡式	50	4.1	7.03	0.80	4.1	3.21	10.8	9.4	1.87	0.5	0.004 5	干砌石	算值
宁海青珠塘	折坡式	20	4.1	6.98	1.14	10.6	4.20	11.6	9.5	2.02	0.5	0.053	干砌石	
乐清盐盘塘	直立式	20	3.5	6.60	1.4	12.2	3.3	10.3	9.0	1.6	0.8	0.029	干砌石	

海塘挡浪墙高度一般为 0.8 m,大多数重要海塘的塘顶(不含挡浪墙)高出设计高水位 1.5~2.5 m。岱山栲门大坝和北仑昆亭塘等加高塘身,减少越浪量,五团斜坡塘加高塘身有困难,在塘前设置潜堤消浪,尽可能使越浪量控制在 $0.05 m^3/m \cdot s$ 以下。

由模型试验值可见,对于波浪汹涌的海塘,采用 $R_{13\%}$ 确定的塘顶高程仍然太高,由于海塘建成封闭区后,防潮挡浪的效果才能发挥,因此塘线往往很长,若塘身过高,由于是软土地基,需进一步加固地基,稳定塘身,致使投资太大,难以承受。由于绝大多数海塘远离城区,高潮位持续的时间一般 1~2 h,只要海塘不损毁,进入保护区的海水毕竟有限,海塘允许最大越浪标准多数以其本身不受损毁为标准。

9417 号台风及 9711 号台风灾后调查发现,塘顶混凝土护面、内坡浆砌或干砌石护面的海塘灾后受损极轻微,比较典型的是丁山二期围垦主坝 300 m 段及椒江山东十塘,在高潮大浪作用下安然无恙。

因此,浙江省海塘采用加强塘顶面和背坡面的防冲措施,选用允许最大越浪量的方法在软土地基上是切实可行的。

4 结 语

海塘作为防浪挡潮的建筑物,其与防波堤有显著不同,塘前滩地高,水深小,大波波高基本破碎,因此,爬高值与越浪量计算公式有别于防波堤。本文介绍了浙江省海塘塘前波要素、爬高和越浪量的计算方法以及塘顶高程的确定方法,分析已建海塘塘顶高程的合理性。

鉴于浙江省大多数海塘建筑在软土地基上,地基含水量高、压缩性大,难以承受较高塘身重量。简化基础处理,适当降低塘身,加强背水坡和塘顶的保护,采用允许最大越浪流量来控制海塘塘顶高程,实践与试验均表明,是一种经济合理的方法。

参考文献:

[1] HUANG Shi-chang. Damage pattern of seawall caused by tide and wave over design standard in Eastern Zhejiang[J]. Symposium of flood control, 1999, 678-686.

[2] 浙江省水利厅. 浙江省海塘工程技术规定(上册) [S]. 1999, 26-40.

[3] Shore Protection Manual[S]. U. S. Army Coastal Engineering Research Center. U. S. Government Printing Office, Washington, Volume, 1977, 15-50.