



码头面高程计算方法探讨

李绍武¹, 张志明², 杨国平², 彭玉生², 梁超¹

(1. 天津大学建筑工程学院, 天津300072; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京100007)

摘要: 针对码头顶面高程确定中遇到的实际问题, 提出一种新的计算方法。新方法在吸收现行规范中有掩护式码头和开敞式码头顶面高程计算方法特点的基础上, 对于各种掩护程度码头采用统一公式, 可以避免因半开敞式码头界定的不明确性给码头顶面高程计算带来的麻烦, 在考虑波浪荷载与水位组合方面概念更清晰, 应用较方便。

关键词: 码头掩护程度; 码头顶面高程; 上水原则; 受力原则

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)02-0054-04

Determination method of elevation of wharf deck

LI Shao-wu¹, ZHANG Zhi-ming², YANG Guo-ping², PENG Yu-sheng², LIANG Chao¹

(1. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In view of the problems existing in the engineering practice in terms of determination of the elevation of wharf deck, a new method is proposed by combining the two existing approaches of the present code for the well-sheltered situation and open seas. Using a single formula, the new method tries to avoid the difficulty in clarification of the semi-sheltered condition of wharf and is also clearer in dealing with the combination of wave loads and water levels besides its better convenience for calculation.

Key words: definition of sheltering condition; elevation of wharf deck; flooding principle; wave-load principle

1 码头顶面高程确定方法的讨论

码头顶面高程是关系到码头正常使用、结构安全和投资的重要问题, 历来得到重视^[1-2]。从使用角度, 一般要求码头在大潮和大浪时不上水, 同时要满足各种作业要求, 码头前后方高程应平顺衔接。对于透空式码头, 还应考虑上部结构在波浪作用下的安全问题。码头顶面高程的确定应在满足使用要求和结构安全性的前提下尽量节省投资。现行规范中按照有掩护式和开敞式分别按不同方法确定码头顶面高程^[3-4]。

1.1 有掩护式码头

一般将具有良好掩护条件, 码头前波高 $H_{4\%}$ 小

于0.6 m的情况界定为“有掩护式”码头, 其顶面高程为计算水位与超高值之和, 按照基本标准和复核标准分别进行计算, 并取大值。

基本标准是在设计高水位基础上加上一定富裕高度(1.0~1.5 m)。富裕高度为大潮不上水和波浪不溅水提供一定安全度, 可理解为综合考虑潮位与波浪因素的结果。其中, 潮位因素主要指超出设计高水位的天文大潮, 但不包括风暴增水引起的超高; 波浪因素主要指通过绕射、透射或越浪等方式进入到港内的那部分波浪与港内小风区风生浪以及船生波等叠加的结果。

复核标准主要是针对风暴增水引起的极端水

收稿日期: 2012-07-13

作者简介: 李绍武(1962—), 教授, 主要从事河流及海岸动力学、港口规划及平面布置。

位进行复核,并为机动设置0~0.5 m的调整量。

1.2 开敞式码头

开敞式码头一般指码头位于开敞海域、直接承受外海波浪作用的情况。出于安全考虑,通常不允许码头及连接桥上部结构直接承受波浪力的作用^[3],计算式为

$$E = HWL + \eta_0 + h + \Delta \quad (1)$$

式中: E 为码头顶面高程; HWL 为设计高水位; η_0 为设计高水位时50 a一遇的 $H_{1\%}$ 波峰面高度; h 为码头上部结构的高度; Δ 为波峰面以上至上部结构底面的富裕高度,可取0~1.0 m。

按照上述方法确定码头顶面高程,首先需要判定码头属于有掩护式还是开敞式,而实际工程中经常遇到难以界定的情况。因此,若能在确定码头顶面高程中避开码头掩护程度界定这一棘手问题,将会给设计带来方便。

此外,上述方法中按照设计水位确定码头顶面高程时设置了较大的机动值。从可操作性角度,希望在码头顶面高程计算公式中各因素的取值更加明确。

2 码头顶面高程计算方法的提出

2.1 码头顶面高程计算公式

针对介于有掩护和开敞式之间的码头情况,季则舟曾提出半开敞式概念,并给出了相关计算方法^[5]。张定军针对开敞式码头顶面高程的确定问题也进行了探讨^[6],建议在确定码头顶面高程时对波浪因素量化考虑。考虑到对于有掩护式、部分掩护式与开敞式码头的普适性,本文提出一种新的码头顶面高程计算方法,基本思想是:

1) 不区分有掩护式、部分掩护式与开敞式,码头顶面高程采用统一计算公式,但公式中将潮位和波浪因素的影响分别考虑;

2) 针对不同情况,码头顶面高程按“上水原则”或“受力原则”计算,根据不同的原则选取不同的参数值;

3) 码头顶面高程统一计算公式为

$$E = CWL + \eta + h + \Delta \quad (2)$$

式中: E 为码头顶面高程; CWL 为计算水位; η 为设计水位以上波峰面高度; h 为码头上部结构不允

许承受上托力部分的高度; Δ 为综合富裕高度,可取0~0.5 m。

2.2 设计原则的确定

在应用公式(2)时,首先应根据海域具体情况及码头结构形式确定码头顶面高程的设计原则。对于实体墙结构码头,不存在波浪上托力问题,不论码头的掩护条件如何,只需按上水原则设计即可;对于透空式结构码头,则应视具体情况而定。当码头上部结构强度足以抵御设计波浪荷载,或者码头掩护条件好,波浪荷载不足以对码头上部结构构成威胁时,只需按上水原则进行设计即可;当码头位于外海开敞海域,波浪可能对码头上部结构形成较大荷载,为抵御波浪力而用于码头上部结构的成本过大时,应接受力原则设计,同时,兼顾上水原则;在掩护条件适中的情况下,应视具体波浪条件及码头上部结构设防策略而定,当波高较大且上部结构不考虑抵御波浪力时,接受力原则设计;否则,按上水原则设计。

应该指出的是,码头掩护条件好坏是相对码头上部结构承载能力而言的。到底按哪种原则进行设计,既取决于当地波浪动力条件的强弱,也与码头结构的设防策略有关,应根据具体情况综合考虑确定。

2.3 CWL 的确定

CWL 可以是设计高水位,也可以是极端高水位。以基本标准进行计算时,将设计高水位与设计波浪进行组合;在通常极端高水位时,往往伴随着较大波浪出现,故取极端高水位与一定重现期的波浪进行组合。

2.4 η 的取值

静水面以上波峰面高度 η ,可按式计算。

$$\eta = \alpha H + h_s \quad (3)$$

式中: α 为反应码头前沿波浪反射程度的系数; H 为码头前进行波波高; h_s 为波浪中心超出静水面高度,根据波浪的具体特性, h_s 可按二阶Stokes波计算,公式为^[7]

$$h_s = \frac{\pi[(1+\alpha)H]^2 \cosh(kd) [\cosh(2kd) + 2]}{8L \sinh^3(kd)} \quad (4)$$

式中: d 为水深, k 为波数。

1) 关于 α 的取值。

当码头前沿为进行波时, α 取0.5; 当码头前沿波浪发生全反射时, α 取1; 而当码头前沿波浪发生部分反射时, 可取0.5~1。如, 对于完全透空的墩式结构, 码头前未发生反射, α 取0.5; 对于实体墙码头, 码头前发生全反射, α 应取1.0; 而对于高桩码头, 码头前仅发生少量反射, 视情况 α 可取0.7。

2) 关于波浪重现期的取值。

当按受力原则确定码头顶面高程时, 设计高水位下 H 取50 a一遇的波高 $H_{1\%}$; 复核水位下由于水位出现几率已经很小, 若波浪仍按50 a一遇标准取值, 则二者联合概率大大降低, 显然标准过高, 但究竟取多大合适较难确定, 为简单计 H 可取不低于25 a一遇的波高 $H_{1\%}$ 。当按上水原则确定码头顶面高程时, 基本标准 H 可取10~15 a一遇波高 $H_{4\%}$; 复核标准, H 取5~10 a一遇波高 $H_{4\%}$ 。上水原则中基本标准波浪重现期取10~15 a, 实际上是设计高水位与波浪的组合, 由于现行设计高水位的概率为10%, 二者的联合概率为1~0.67%, 相当于100~150 a的标准。复合标准将极端水位与5~10 a一遇波浪进行组合, 表面上看相当于250~500 a的标准, 但实际上极端高水位往往伴随大浪, 因此水位与波浪并不是完全独立事件, 实际标准并非表面那么高。

2.5 h 的取值

h 的取值与码头上部结构是否允许承受波浪力有关。当按上水原则设计码头顶面高程时, 该值取0; 当按受力原则设计时, 取码头上部结构不允许承受波浪力部分的实际高度。若码头结构不存在承受波浪力的问题, 或者波浪条件较弱, 其上部结构强度足以承受波浪力, 则该值取0。例如, 对于有实体墙的重力式码头, 码头墙面所受波浪力对码头结构的安全影响与顶面高程关系不大, 故该值取0。对于高桩梁板式码头, 一般情况下面板不允许承受波浪上托力, h 应取面板底面以上部分的高度。有时因波浪水平冲击力过大, 横梁也不允许承受波浪力, 此时 h 应为横梁和面板厚度之和。

2.6 Δ 的取值

综合富裕高度 Δ 可取0~0.5 m, 该值较现行规范的基本标准及复核标准小, 主要是因为高程各种影响因素的取值更为明确。

2.7 设计水位与波浪条件的组合

公式(2)中的计算水位与波浪条件应分别按基本标准与复核标准进行计算(表1), 并取大值。基本标准中, 按上水原则进行设计时, 波浪重现期按10~15 a一遇取值, 由于在顶面高程中明确了波浪的影响, 与现行规范相比, 机动值有所减小; 按受力原则进行设计时, 与现行规范相同, 仍按50 a一遇取值。复核标准中, 按上水原则进行设计时, 波浪的取值主要考虑设计水位与波浪进行组合的可能性; 而按受力原则设计时, 除了考虑设计水位与波浪标准组合的可能性外, 还要以该波浪对码头上部结构安全产生实质威胁为前提。

表1 设计水位与波浪重现期的组合

组合情况	上水原则		受力原则	
	水位	波浪重现期/a	水位	波浪重现期/a
基本标准	设计高水位	10~15	设计高水位	50
复核标准	极端高水位	5~10	极端高水位	不低于25

注: 1. 按受力原则进行设计时波浪采用 $H_{1\%}$, 主要是考虑码头上部结构的安全对单个波较敏感; 按上水原则进行设计时波浪采用 $H_{4\%}$, 主要考虑单个波不至于对结构安全构成威胁。2. 设计取基本标准与复核标准中较大者。

水位与波浪如何进行组合是一个比较复杂的问题, 各地差异较大, 因此在进行极端水位与波浪组合时, 重现期的取值仅给出了一个范围, 实际工程中若有必要, 可视具体情况适当提高重现期取值标准。

3 公式应用实例

关于公式(2)的应用, 兹举2个典型算例。

算例1: 某港新建的30万吨级散货码头虽有防波堤掩护, 但由于位于防波堤口门附近, 一定程度受外海来浪影响。设计高水位4.30 m, 极端高水位5.88 m。防波堤口门处50 a一遇波浪 $H_{1\%}=3.6$ m(设计高水位), $H_{1\%}=3.8$ m(极端高水位), 10 a一遇波浪 $H_{1\%}=3.1$ m(设计高水位), $H_{1\%}=3.2$ m(极端高水位)。码头采用现浇混凝土墩台式结构, 厚度为3.0 m。

根据规范,按有掩护式码头考虑,由基本标准确定码头顶面高程为: $E = \text{设计高水位} + \text{超高} = 4.30 + (1.0 \sim 1.5) = 5.3 \sim 5.8 \text{ m}$ 。

而由复核标准,码头顶面高程为: $E = \text{极端高水位} + \text{超高} = 5.88 + (0 \sim 0.5) = 5.88 \sim 6.38 \text{ m}$ 。

由于工程位于口门附近,掩护条件较差,码头上部结构承受波浪上托力作用,按开敞式码头规范,码头顶面高程为: $E = 5.88 + 2.05 + 3.0 + (0 \sim 1.0) = 9.35 \sim 10.35 \text{ m}$ 。

所得的码头顶面高程偏大,不利于与后方回填衔接,另外由于该位置波浪与开敞海域相比明显弱,故允许上部结构承受一定上托力,实际工程设计中对两种结果进行了折中,码头顶面实际高程取7.5 m。

本工程若采用式(2),考虑允许码头上部结构承受波浪力,按上水原则进行设计, $h=0$ 。

对于基本标准,设计高水位时10 a一遇累积频率为4%的波浪静水位以上波峰面高度 $\eta=0.5 \times 2.82+0.25=1.66$; $\Delta = 0 \sim 0.5 \text{ m}$ 。码头顶面高程为: $E = 4.30 + 1.66 + 0 + (0 \sim 0.5) = 5.96 \sim 6.46 \text{ m}$ 。

按复核标准,极端高水位与10 a一遇 $H_{4\%}$ 组合, $H_{4\%}=2.87 \text{ m}$,不考虑波浪反射, α 取0.5,波浪静水位以上波峰面高度 $\eta=0.5 \times 2.87+0.18=1.62 \text{ m}$, $\Delta=0 \sim 0.5 \text{ m}$ 得到码头顶面高程为: $E = 5.88 + 1.62 + 0 + (0 \sim 0.5) = 7.5 \sim 8.0 \text{ m}$ 。实际工程取值为本文公式结果的下限。

算例2:某港30万吨级原油码头位于某天然海湾内,有一定掩护,无防波堤,可作业天数310 d。码头前沿底高程-21.3 m。未掩护的一侧台风引起的风浪较大,极端高水位时25 a一遇 $H_{1\%}=6.1 \text{ m}$,对应周期为8.1 s,设计高水位时50 a一遇 $H_{1\%}=6.6 \text{ m}$,对应周期8.6 s。极端高水位为3.92 m,设计高水位为2.21 m。码头采用高桩梁板结构,包括横梁在内的上部结构高度2.5 m。码头基本为开敞式,按规范开敞式码头确定码头顶面高程为: $E = 2.21 + 2.5 + 4.04 + (0 \sim 1.0) = 8.75 \sim 9.75 \text{ m}$ 。

考虑当地台风频繁来袭,先期建设的码头顶面高程为11 m,故该码头顶面高程亦初定为11 m。后经物理模型实验检验,码头仍有上水,码头顶面高程进一步抬高到12 m,与9.75 m相比,高出

1.25 m,这种修正主要是考虑了波浪的影响。

采用公式(2),由于波浪较强,码头采用透空式结构,上部结构不允许承受上托力,故需按受力原则进行设计。另外,波浪可能产生较大的水平冲击力,考虑横梁不受力, $h=2.5 \text{ m}$ 。

根据基本标准,水位采用设计高水位,考虑20%的波浪反射, α 取0.7, $\eta=0.7 \times 6.6+0.74=5.36 \text{ m}$, $\Delta = 0 \sim 0.5 \text{ m}$,码头顶面高程为: $E = 2.21 + 5.36 + 2.5 + (0 \sim 0.5) = 10.07 \sim 10.57 \text{ m}$ 。

根据复核标准,极端水位与不小于25 a一遇 $H_{1\%}$ 组合,考虑20%波浪反射, α 取0.7, $\eta=0.7 \times 6.1+0.58=4.85 \text{ m}$, $\Delta = 0 \sim 0.5 \text{ m}$,码头顶面高程为: $E = 3.92 + 4.85 + 2.5 + (0 \sim 0.5) = 11.27 \sim 11.77 \text{ m}$ 。复合标准结果比较接近实验结果。

5 结语

1) 采用公式(2)确定码头顶面高程时无需以码头掩护程度的界定为前提,可操作性更强;公式(2)允许设计者根据具体海域条件及设计思想选择按上水原则或受力原则确定码头顶面高程,给设计提供了优化空间。

2) 公式(2)将波浪因素从富裕超高中分离出来,单独考虑,概念更清晰。

3) 公式(2)充分考虑设计水位与波浪条件的组合问题,对极端高水位与一定重现期波浪进行组合,可以更好地反映实际情况。

致谢:本文研究工作为中交水运规划设计院有限公司规范修订项目专题。

参考文献:

- [1] 洪承礼. 港口规划与布置[M]. 2版. 北京:人民交通出版社,1998:74-75.
- [2] 严恺,梁其荀. 海港工程[M]. 北京:海洋出版社,1996.
- [3] JTJ 211—1999 海港总平面设计规范[S].
- [4] JTJ 295—2000 开敞式码头设计与施工技术规程[S].
- [5] 季则舟. 半开敞式码头顶面高程确定方法的探讨[J]. 港口技术,2005(1):4-16.
- [6] 张定军. 开敞式码头顶面高程的确定[J]. 水运工程,2005(3):37-39.
- [7] 吴宋仁,严以新. 海岸动力学[M]. 北京:人民交通出版社,2008.

(本文编辑 郭雪珍)