



板桩码头前防冲刷计算方法研究

孙 艺, 肖仕宝

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 现行港工规范对于板桩码头前防冲刷计算规定不太完善, 国外工程设计难于取信于人。鉴于此, 结合国外专业论述及规范给出适合国外工程板桩码头前防冲刷计算的具体方法, 并以实际工程作为算例, 按照上述方法及国内规范规定方法进行计算对比, 以此指出我国板桩码头防冲刷设计未考虑船舶引起的防冲刷的不足, 建议对现行规范进行修编, 与国际规范接轨。

关键词: 防冲刷; 船舶引起; 板桩; 国外工程; 规范; 计算

中图分类号: U 656.1⁺12

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)11-0094-03

Scour protection calculation for quay wall of sheet pile

SUN Yi, XIAO Shi-bao

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Rules for scour protection in front of sheet pile in the present Chinese coastal engineering codes are not very complete, so design of scour protection for oversea project is difficult to be accepted. Considering of this, combined with international professional publication and standards, the method to calculate the scour protection in front of sheet pile which is accepted by most of engineers internationally is summarized. Moreover, scours protection for an actual project are calculated and compared by the aforementioned method and Chinese code. On the basis of the results, the shortage of Chinese code that the ship-induced scour isn't considered is put forward. It is suggested to revise the present Chinese code so as to joint with the international codes.

Key words: scour protection; ship-induced; sheet pile; oversea project; code; calculation

冲刷, 是指近岸结构物附近的组成海床的泥沙颗粒被水流冲走, 致使海底高程降低或海岸后退的过程。任何建于可冲刷土层上的海工结构物都不可避免地会遭受冲刷引起的破坏, 但是现行港工规范中对于此方面的规定不太完善, 除了防波堤设计规范^[1]中根据模型试验及实际工程经验给出斜坡式防波堤护底的计算公式, 直立式防波堤图示里给出一个 $L/4$ 外, 再无更多的论述, 对直立式码头结构前的冲刷更是没有任何公式及规定给出。

实际上, 影响冲刷的因素有很多, 如结构类型、地质、波浪、流态、船舶螺旋桨大小等, 鉴于

此, 结合实际工程及国外相关专业书籍及规范^[2-5], 本文给出板桩码头前防冲刷的具体计算方法, 需要注意的是, 文中所述方法仅适用于砂质海岸。

1 由于波浪及水流引起的冲刷^[2]

1.1 防冲护底宽度计算

对于有锚及无锚挡土墙, Eckert(1983)建议采用石块进行护底防护以防止冲刷。护底的作用主要是挡住桩尖前的土, 以提供足够的重力防止滑动破坏。

Eckert提出, 从土工角度考虑, 防冲护底宽度按照下述公式计算:

收稿日期: 2012-04-19

作者简介: 孙艺 (1981-), 女, 硕士, 工程师, 从事港口水工设计。

$$W = \frac{d_e}{\tan(45^\circ - \varphi/2)} \approx 2.0d_e \quad (1)$$

式中: d_e 为板桩入土深度 (m); φ 为土的内摩擦角, 取值一般为 $26^\circ \sim 36^\circ$ 。

从水力准则角度考虑, 防冲刷护底宽度按照下述公式计算:

$$W = 2.0H_i \quad (2)$$

或者
$$W = 0.4d_s \quad (3)$$

式中: H_i 为入射波高 (m); d_s 为设计水位下桩尖深度 (m)。实际设计中防冲刷护底宽度取上述两公式的最大值。

1.2 防冲刷护底块石稳定质量计算^[2,5]

根据美国海军工程手册^[2], 防冲刷护底块石的稳定重力确定需遵循以下原则:

1) 当冲刷仅由波浪引起。

防冲刷护底块石的稳定重力按照 CIRIA C683, 可按下式简化计算

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{50}} \quad (4)$$

式中: H_s 为有效波高 (m); Δ 为块石的相对浮密度, $\Delta = \frac{\rho_b}{\rho} - 1 = 1.65$; D_{50} 为块石稳定粒径 (m); N_s 为稳定数, 一般不超过 2。CIRIA C683 建议采用如下公式:

对于不规则正向波, 且 $0.5 < \frac{h'}{h_s} < 0.8$, $7.5 < \frac{h'}{D_{50}} < 17.5$, $0.3 < \frac{B_b}{h_s} < 0.55$

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{50}} = \left(5.8 \frac{h'}{h_s} - 0.6\right) N_{od}^{0.19} \quad (5)$$

式中: h_b 为护底顶部水深; h_s 为护底底部水

深; $N_{od} = \begin{cases} 0.5 & \text{几乎无损坏} \\ 2 & \text{可以接受部分损坏。} \\ 5 & \text{完全破坏} \end{cases}$

对于不规则正向波、斜向波,

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{50}} = \max \left\{ 1.8, 1.3 \frac{1-\kappa}{\kappa^{1/3}} \frac{h'}{H_s} + 1.8 \exp \left[-1.5 \frac{(1-\kappa)^2}{\kappa^{1/3}} \frac{h'}{H_s} \right] \right\} \quad (6)$$

其中:

$$\kappa = \kappa_1 \kappa_2 \quad (7)$$

$$\kappa_1 = 2kh' / \sinh(2kh') \quad (8)$$

$$\kappa_2 = \max\{0.45 \sin^2 \theta \cos^2(kB \cos \theta), \cos^2 \theta \sin^2(kB \cos \theta)\} \quad (9)$$

式中: h' 为顶部护底深度 (m); B 为护底顶宽 (m); k 为波数, $k = 2\pi/L_p$; θ 为波浪入射角度, 如果是正向波, $\theta = 0^\circ$ 。

2) 当冲刷仅由水流引起。

根据美国海军工程手册^[2], 防冲刷护底块石的稳定重力按以下公式计算

$$\frac{m_{30}}{\rho_a h^3} = \frac{\pi}{6} (S_f C_s)^3 \left[\left(\frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \right)^{1/2} \left(\frac{\bar{u}}{\sqrt{K_1 g h}} \right) \right]^{15} \quad (10)$$

式中: ρ_a 为块石密度, 2.65 t/m^3 ; ρ_w 为水密度, 1.005 t/m^3 ; h 为水深 (m); \bar{u} 为水深范围内平均流速 (m/s); C_s 为稳定系数, 圆石头取 0.38, 带棱角的石头取 0.3; S_f 为安全系数, 最小取 1.1; m_{30} 为细粒含量为 30% 的块石质量; 块石厚度 $r = 3.8 \left(\frac{m_{30}}{\rho_a} \right)^{1/3}$, 不得小于 0.5 m。

3) 当冲刷由波浪及水流共同作用引起。

先分别按照仅由波浪引起的冲刷及仅由水流引起的冲刷计算出相应的块石稳定质量, 然后取二者之间的大值的 1.5 倍。

2 由于船舶运动引起的冲刷^[3-4]

此方法来自某海外项目标书文件中的业主要求, 经过分析发现, 实际上是结合参考文献^[3-4]的简化计算方式。

2.1 防冲刷护底宽度计算

根据国际航海协会的相关规定, 防冲刷护底宽度按以下公式计算:

$$W = \max(W_s, W_v) \quad (11)$$

式中: W_s 为板桩码头稳定所需被动土压区域的宽度 (m); W_v 为由船舶推进作用引起板桩前冲刷的宽度, 对于单螺旋桨船: $W_v = 4D + 5 \text{ m}$, 对于双螺旋桨船: $W_v = 8D + 5 \text{ m}$; D 为螺旋桨直径 (m)。

2.2 防冲刷护底块石稳定质量计算

防冲刷护底块石稳定粒径按照下述公式计算:

$$D_{50} > \frac{v_{bm}^2 \rho_w}{B^2 g (\rho_s - \rho_w)} \quad (12)$$

式中: B 为稳定系数, 对于无舵船舶由主推进器引

起冲刷时取0.9, 对于有舵船舶由主推进器引起冲刷时取1.25, 对由船首船尾的副推进器引起的冲刷时取1.2; g 为重力加速度; ρ_s 为块石密度为 2.65 t/m^3 ; ρ_w 为海水密度, 1.03 t/m^3 ; V_{bm} 为船舶主推进器或船首船尾推进器的最大喷流速度。

v_0 为船舶主推进器的喷射速度 (m/s):

$$v_0 = C_p \left(\frac{P}{\rho_0 D^2} \right)^{1/3} \quad (13)$$

式中: P 为螺旋桨的输出功率 (kW); C_p 为对于没有喷嘴的自由螺旋桨取1.49, 对于有喷嘴的螺旋桨取1.17; ρ_0 为水密度, 1.03 t/m^3 。

泥面以上最大的诱导喷射速度 (m/s)

$$v_{bm} = v_0 E (H_p/D)^a \quad (14)$$

式中: E 为对于带中心舵的单螺旋桨船, 取0.71, 对于无舵双螺旋桨船, 取0.42; a 为对于带中心舵的单螺旋桨船, 取-1.0, 对于无舵双螺旋桨船, 取-0.28; H_p 为螺旋桨轴心与泥面之间的距离=水位-泥面-船舶最大吃水+ $D/2+0.15 \text{ m}$ 。

船首和船尾副推进器的诱导喷射速度 (m/s)

$$v_{ob} = 1.04 \left(\frac{P_b}{\rho_w D_b^2} \right)^{1/3} \quad (15)$$

式中: P_b 为推进器功率 (kW); D_b 为推进器直径 (m)。

船首和船尾副推进器的最大诱导喷射速度 (m/s)

$$v_{bm} = v_{ob} (D_b/L) \quad (16)$$

式中: L 为推进器开口处与码头岸壁之间的距离, 从岸壁边沿算起, $L=2 \text{ m}+0.38$ 倍船舶型宽。

3 工程实例

某海外工程码头采用双排钢板桩结构, 其外侧做防波堤, 内侧做码头, 水位为 0.5 m , 港池底高程为 -12.0 m , 桩底高程 -28 m 。码头前沿流速 0.16 m/s , 100 a 一遇有效波高: 内侧 $H_s=0.86 \text{ m}$, $T_p=17 \text{ s}$, $L=181 \text{ m}$, 外侧 $H_s=2.6 \text{ m}$, $T_p=17 \text{ s}$, $L=181 \text{ m}$, 设计船型数据为: 载质量DWT $20\,000 \text{ t}$; 排水量 $26\,700 \text{ t}$; 船长 161 m ; 型深 13 m ; 最大吃水 9.5 m ; 最大型宽 28 m ; 一个带中心舵无喷嘴的固定螺距螺旋桨, 最大直径 5 m , 功率

$4\,900 \text{ kW}@170 \text{ r/min}$; 一个船首推进器, 直径 2.0 m , 最大功率为 $1\,000 \text{ kW}$; 船首半径 50 m 。

性能要求: 船舶要求在平均水位 0.5 m 下, 发动机的速度为全速的 46% 时护底不破坏, 假定船舶离码头边沿为 2 m ; 波浪在 100 a 一遇风暴潮条件下可接受破坏, 稳定系数 $N_s=2$ 。按照上述方法及国内规范计算结果如表1所示。

表1 不同方法得出的块石规格及底流速

防冲护底	国外方法	国内规范 ^[5]
港内侧	宽 25 m , $0.5 \sim 1.5 \text{ t}$ 块石2层 (由船舶引起)	底流速 0.36 m/s , 可以不考虑护底
港外侧	宽 32 m , $1.3 \sim 4 \text{ t}$ 块石2层 (由波浪引起)	底流速 1.08 m/s , $60 \sim 100 \text{ kg}$ 块石

注: 按照国内规范对直立式防波堤前护底的要求取 $L/4$ 波长, 护底相当长。

4 结语

国内港口设计规范中缺少结合船舶实际的尺寸进行防冲刷的计算, 按照上述计算结果可知, 如果按照国内规范, 港内侧码头前沿几乎可以不考虑防冲刷, 但实际上由船舶引起的冲刷很大, 不可小觑。不同的文献, 对于船舶引起的冲刷, 有不同的计算公式, 建议进行专题研究, 并结合不同的船型及码头类型将此计算编入我国规范, 与国际规范接轨。

参考文献:

- [1] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].
- [2] United States Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Manual[M]. Washington, D C: US Army Corps of Engineers, 2007.
- [3] PIANC. Guidelines for the Design of Armored slopes, Supplement to Bulletin No.96[S].
- [4] Gregory P Tsinker. Marine Structures Engineering: Specialized Applications[M]. New York: Chapman & Hall, 1995.
- [5] Ciria, Cur, Cetmef. The Rock Manual. The Use of Rock in Hydraulic Engineering. C683 CIRIA [M]. 2nd edition. London: CIRIA, 2007.

(本文编辑 武亚庆)