



有波浪力重力式码头 稳定性可靠指标的简化计算*

刘芸芸, 贡金鑫

(大连理工大学 土木工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 研究了有波浪力情况下重力式码头的抗滑、抗倾稳定性抗力和荷载效应的统计特征, 提出了抗滑、抗倾稳定性可靠指标的简化计算公式, 根据10个方块码头和46个沉箱码头的JC法可靠指标计算结果确定了简化计算公式和简化设计公式的参数。研究表明, 波浪力占总荷载效应的比例对可靠指标的计算结果影响很大; 对于同种类型的重力式码头, 在相同的墙后填料情况下, 抗滑、抗倾稳定性计算中抗力和荷载效应的均值系数和变异系数可视为常数; 采用简化公式计算的重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标与JC法的计算结果非常接近。

关键词: 重力式码头; 稳定性; 可靠指标; 波浪力; 简化计算

中图分类号: U 656.1⁺11

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)09-0064-07

Simplified calculation for stability reliability index of gravity quay with wave force

LIU Yun-yun, GONG Jin-xin

(Department of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The statistical characteristics of load and resistance of gravity quay against sliding and overturning with wave force are investigated. And simplified expressions in which the parameters are determined based on the reliability outcome of 10 block quays and 46 caisson quays using JC method are proposed. It indicates that the wave force has a strong influence on reliability of the gravity quay. In the case of same type of gravity quay and same back filler, the bias and variation coefficients of the load and resistance for sliding and overturning can be regarded as constants. The results of reliability index obtained by simplified expressions are very close to the results obtained by JC method.

Keywords: gravity quay; stability; reliability index; wave force; simplified calculation

重力式码头是我国使用较多的一种码头结构形式。其结构坚固、耐久性好, 抗冻性能好, 施工比较简单, 维修费用少, 深受港务部门和施工单位的欢迎^[1]。随着科学技术的发展, 以新技术、新材料为主导的科学理念正推动着传统结构设计理论的改革。20世纪90年代, 结构可靠度理论在港口工程中的应用, 使港口码头的设计由安全系数的经验设计方法转变为以可靠度理论为基础的

极限状态设计方法^[2-4]。但直接采用JC法计算可靠指标比较复杂, 实际工程中应用比较困难。为了寻找可靠指标的简化计算方法, 文献[5-6]曾对无波浪力作用下重力式码头抗滑、抗倾稳定性的可靠指标简化计算方法进行了研究, 提出了相应的可靠指标简化计算公式, 但只适用于港区有掩护的情况, 对于无掩护的情况, 波浪力往往对设计起控制作用, 由于没有波吸力的统计参数

收稿日期: 2014-03-10

*基金项目: 交通运输部西部交通建设科技项目(20113288231510)

作者简介: 刘芸芸(1991—)男, 硕士研究生, 主要从事港口工程结构设计方法研究。

和概率模型, 一直没有开展这方面的研究。鉴于文献[7]通过试验得到了波浪力的统计参数和概率模型, 本文将在此基础上和对 10 个方块码头和 46 个沉箱码头的分析, 提出有波浪力情况下重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标的简化计算方法和简化设计方法。

1 重力式码头抗滑、抗倾稳定性的可靠指标计算

分析结构的可靠度, 首先需要建立结构的功能函数。重力式码头抗滑、抗倾稳定性的功能函数可表示为:

$$Z = R - S \quad (1)$$

式中: R 为抗力, 表示重力式码头的抗滑力或抗倾力矩; S 为荷载效应, 表示重力式码头的滑动力或倾覆力矩。对于作用有波浪力的方块码头和沉箱码头, 功能函数中包含以下随机变量: 墙体密度 ρ_C 、墙后回填料密度 ρ 、填料内摩擦角 φ 、堆货荷载 q 、摩擦系数 f 、水平波浪力 P_B 、波浪浮托力 P_{BU} 、波浪力产生的倾覆力矩 M_{P_B} 、波浪力产生的

稳定力矩 $M_{P_{BU}}$ 、主动土压力计算模型不确定系数 K_{P_1} 、抗倾力矩计算模型不确定系数 K_{P_2} 等。使用这些变量, 码头抗滑、抗倾稳定性的功能函数可表示为如下形式:

抗滑情况:

$$Z_H = R - S = g_H(\rho_C, \rho, \varphi, K_{P_1}, q, f, P_B, P_{BU}) \quad (2)$$

抗倾情况:

$$Z_Q = R - S = g_Q(\rho_C, \rho, \varphi, q, K_{P_1}, K_{P_2}, M_{P_B}, M_{P_{BU}}) \quad (3)$$

式中各随机变量的统计参数和概率分布见文献[8]。波浪力服从极值 I 型分布, 均值系数 $k_p = 1.39785$, 变异系数 $\delta_p = 0.17854^{[7]}$ 。

采用 JC 法计算了收集的 10 个方块码头和 46 个沉箱码头抗滑、抗倾稳定性的可靠指标^[9], 见表 1。由表 1 可以看出, 大多数情况下, 码头的抗滑稳定性可靠指标都不小于文献[8]规定的 3.5 的要求, 抗倾稳定性可靠指标都不小于规定的 4.0 的要求。

表 1 采用 JC 法计算的码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标

码头形式	码头后填料	抗滑				抗倾			
		计算个数	最大值	最小值	大于 3.5 比例/%	计算个数	最大值	最小值	大于 4.0 比例/%
方块	填石	79	16.260	2.991	97.5	77	13.628	1.878	90.9
沉箱	填石	92	12.666	2.696	94.6	92	11.934	2.256	92.4
	填砂	92	11.327	1.493	80.4	92	10.920	1.023	88.0

按照文献[8]的规定, 重力式码头抗滑、抗倾稳定性设计必须要满足 $R_d \geq S_d$ 的要求, 其中 R_d 为码头抗力的设计值, S_d 为码头荷载效应的设计值。当 $R_d = S_d$ 时, 码头处于抗滑、抗倾稳定性设计的极限状态。为确定码头处于设计极限状态下的最小可靠指标, 对码头原设计图纸断面各部分尺寸按照相同的比例进行缩减, 直到满足 $R_d = S_d$ 为止, 然后采用 JC 法计算码头缩减断面后抗滑、抗倾稳定性的最小可靠指标, 计算结果见表 2。由表 2 可以看出, 当码头抗滑、抗倾稳定性刚好满足规范分项系数设计表达式的要求时, 方块码头和沉箱墙后填石的抗滑、抗倾稳定性均不能满足可靠指标分别为 3.5 和 4.0 的要求, 沉箱墙后填砂的可靠指标部分能够满足要求; 同时还可以看

出, 与无波浪力作用的情况有所不同^[6], 对于同一种类型的码头、不同案例的可靠指标计算结果差别较大, 这是因为波浪力的变异系数较大, 导致其所占比例产生的影响较大的缘故。

表 2 码头设计极限状态下抗滑、抗倾稳定性可靠指标

码头形式	码头后填料	抗滑		抗倾	
		最大值	最小值	最大值	最小值
方块	填石	2.769	1.461	3.368	1.766
沉箱	填石	2.788	1.194	3.138	1.531
	填砂	4.761	1.981	4.506	2.164

2 重力式码头抗滑、抗倾稳定性的统计分析

2.1 抗力和荷载效应的统计参数

根据式(2)和式(3), 分别计算得到码头抗滑、抗倾稳定性抗力 R 和荷载效应 S 的平均值 μ_R

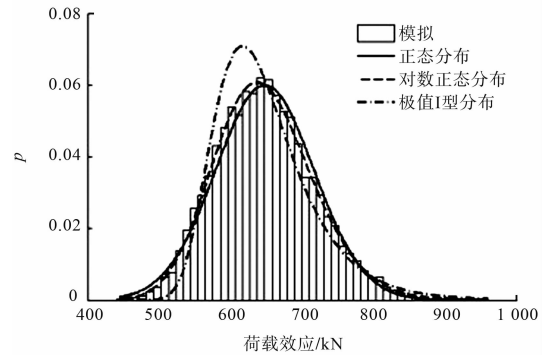
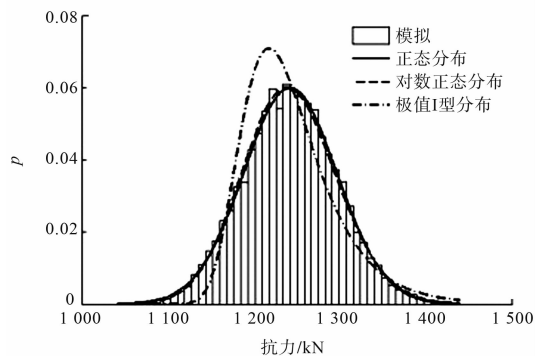
和 μ_S ，标准差 σ_R 和 σ_S 以及标准值 R_k 和 S_k ，进而计算抗力和荷载效应的均值系数 k_R 和 k_S 和变异系数 δ_R 和 δ_S 。对各个码头案例的均值系数 k_R 和 k_S 及变异系数 δ_R 和 δ_S 进行统计，发现尽管波浪力所占比例对可靠指标的计算结果影响很大，但总体来看，对于同种类型的重力式码头，在相同的墙后填料情况下，各码头案例均值系数 k_R 和变异系数 δ_R 及均值系数 k_S 和变异系数 δ_S 的计算结果相差仍然不大。因此，在有波浪力作用情况下，对于同种类型的重力式码头，当码头的墙后填料相同时，可以认为抗力和荷载效应的统计参数为常数， k_R 和 k_S 以及 δ_R 和 δ_S 的取值见表3。但在简化计算可靠指标时，仍要考虑波浪力所占的比例 t 。

表3 抗力和荷载效应的统计参数

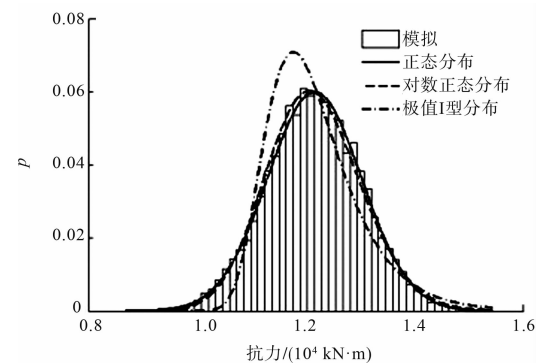
码头形式	码头后填料	破坏形式	统计参数			
			k_R	k_S	δ_R	δ_S
方块码头	填石	抗滑	1.047	1.128	0.043	0.118
		抗倾	0.928	1.091	0.072	0.121
沉箱码头	填石	抗滑	1.018	1.119	0.044	0.113
		抗倾	0.907	1.121	0.072	0.113
	填砂	抗滑	1.026	1.032	0.045	0.083
		抗倾	0.917	1.033	0.072	0.085

2.2 抗力和荷载效应的概率分布

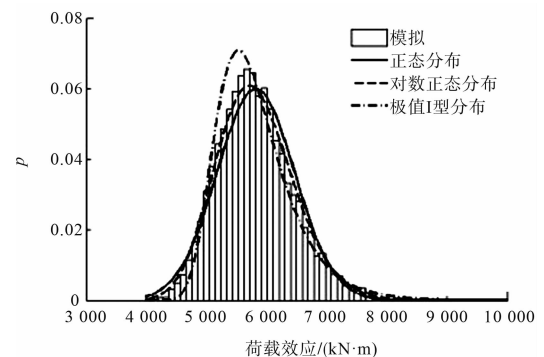
为建立可靠指标的简化计算公式，还需要知道变量 R 和 S 的概率分布类型。为此采用 Monte-Carlo 方法对 R 和 S 进行模拟。下面是某5万吨级沉箱码头的模拟情况^[10]。对抗力和荷载效应计算公式中的各随机变量进行抽样，模拟10 000次，划分合适的样本区间，画出直方图，分别用正态分布、对数正态分布和极值I型分布进行拟合并进行 χ^2 检验，拟合结果如图1所示，拟合优度检验结果见表4。



a) 沉箱码头抗滑



b) 沉箱码头抗倾



b) 沉箱码头抗倾

图1 假定的3种概率分布与 Monte-Carlo 模拟结果的比较

表4 抗力和荷载效应的拟合优度检验结果

破坏形式	统计量	χ^2		
		正态	对数正态	极值I型
抗滑	抗力	11.713	17.666	4.919×10^5
	荷载效应	126.939	19.361	2.447×10^4
抗倾	抗力	11.396	21.164	3.879×10^5
	荷载效应	202.834	25.658	2.727×10^4

由图1和表4可以看出，对于该沉箱码头，抗力 R 以正态分布、荷载效应 S 以对数正态分布拟合效果最佳。按照相同的方法对本文收集的10个方块码头和46个沉箱码头进行模拟，结论基

本都是如此。因此, 对于作用有波浪力的重力式码头, 可近似认为抗力 R 服从正态分布, 荷载效应 S 服从对数正态分布。

3 抗滑、抗倾稳定性可靠指标的简化计算方法

3.1 简化计算公式推导

由于波浪力作用占总荷载效应的比例对可靠指标的计算结果影响很大, 所以将荷载效应 S 分为两部分考虑, 即

$$S = S_1 + S_2 \quad (4)$$

式中: S_1 为波浪力产生的荷载效应; S_2 为波浪力以外的作用产生的荷载效应。显然 S_1 和 S_2 互不相关, 令 $t = S_{1k}/S_k$, 则荷载效应 S 可进一步表示为

$$S = S_1 + S_2 = tS + (1-t)S \quad (5)$$

在不考虑波浪力的情况下, 已知荷载效应 S 近似服从对数正态分布^[6], 所以当考虑波浪力作用时, 可认为 $S_2 = (1-t)S$ 服从对数正态分布。因为波浪力服从极值 I 型分布^[7], 所以可认为 $S_1 = tS$ 服从极值 I 型分布。根据 2.2 节得出的结论, 可以认为抗力 R 服从正态分布, 荷载效应 S 服从对数正态分布。

由于抗力 R 和荷载效应 S 的概率分布类型不同, 因此不存在解析的可靠指标计算公式。为实现可靠指标的简化计算, 将 S_1 当量正态化为 S'_1 , 将 S_2 当量正态化为 S'_2 ^[11], 则 $S' = S'_1 + S'_2$ 服从正态分布, 可靠指标计算公式可表示为

$$\beta_1 = \frac{\mu_R - \mu_{S'}}{\sqrt{\sigma_R^2 - 2\rho_{R,S'}\sigma_R\sigma_{S'} + \sigma_{S'}^2}} \quad (6)$$

式中: μ_R 和 σ_R 分别为 R 的平均值和标准差; $\mu_{S'}$ 和 $\sigma_{S'}$ 分别为 S' 的平均值和标准差; $\rho_{R,S'}$ 为 R 和 S' 的相关系数, 可近似取为 R 和 S 的相关系数 $\rho_{R,S}$ 。

同样, 对于式(1)表示的功能函数, 将 R 对数正态当量化为 R'' , S 当量对数正态化为 S'' , 则可靠指标的计算公式可表示为

$$\beta_2 = \frac{\mu_{\ln R''} - \mu_{\ln S''}}{\sqrt{\sigma_{\ln R''}^2 - 2\rho_{\ln R'', \ln S''}\sigma_{\ln R''}\sigma_{\ln S''} + \sigma_{\ln S''}^2}} =$$

$$\ln\left(\frac{\mu_{R''}}{\mu_{S''}} \sqrt{\frac{1+\delta_{S''}^2}{1+\delta_{R''}^2}}\right)$$

$$\frac{\ln\left(\frac{\mu_{R''}}{\mu_{S''}} \sqrt{\frac{1+\delta_{S''}^2}{1+\delta_{R''}^2}}\right)}{\sqrt{\ln[(1+\delta_{R''}^2)(1+\delta_{S''}^2)] - 2\rho_{\ln R'', \ln S''} \sqrt{\ln(1+\delta_{R''}^2)\ln(1+\delta_{S''}^2)}}} \quad (7)$$

当 $\delta_{R''} \leq 0.3$ 、 $\delta_{S''} \leq 0.3$ 时, 式(7)可简化为

$$\beta_2 = \frac{\ln\left(\frac{\mu_{R''}}{\mu_{S''}}\right)}{\sqrt{\delta_{R''}^2 - 2\rho_{R'', S''}\delta_{R''}\delta_{S''} + \delta_{S''}^2}} \quad (8)$$

将 R 、 R'' 和 S 、 S' 、 S'_1 、 S'_2 、 S'' 等随机变量的平均值和标准差用均值系数、变异系数及标准值来表示, 式(6)和式(8)可进一步表示为如下形式:

$$\beta_1 = \frac{\left(\frac{R_k/S_k}{k_{11}t + k_{12}}\right) - 1}{\sqrt{a_1 \left(\frac{R_k/S_k}{k_{11}t + k_{12}}\right)^2 - b_1 \left(\frac{R_k/S_k}{k_{11}t + k_{12}}\right) + c_1}} \quad (9)$$

$$\beta_2 = a_2 \ln\left(\frac{R_k/S_k}{k_{21}t + k_{22}}\right) + b_2 \quad (10)$$

式(9)和式(10)即为本文提出的两个不同的重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标的简化计算公式。因为 k_R 、 δ_R 及 k_S 、 δ_S 可以看作常数, 所以参数 a_1 、 b_1 、 c_1 、 k_{11} 、 k_{12} 及 a_2 、 b_2 、 k_{21} 、 k_{22} 也应为常数, 而公式中的 t 则体现了波浪力所占比例对可靠指标的影响。

3.2 简化公式参数的确定

采用最小二乘法按照下列公式确定简化计算公式中未知参数 a_1 、 b_1 、 c_1 、 k_{11} 、 k_{12} 及 a_2 、 b_2 、 k_{21} 、 k_{22} 的值:

$$\begin{cases} \min H_1 = \sum [\beta_i(a_1, b_1, c_1, k_{11}, k_{12}) - \beta_{i,JC}]^2 \\ \min H_2 = \sum [\beta_i(a_2, b_2, k_{21}, k_{22}) - \beta_{i,JC}]^2 \end{cases} \quad (11)$$

式中: $\beta_i(a_1, b_1, c_1, k_{11}, k_{12})$ 为按式(9)计算的可靠指标; $\beta_i(a_2, b_2, k_{21}, k_{22})$ 为按式(10)计算的可靠指标; $\beta_{i,JC}$ 为按 JC 法计算的可靠指标。优化确定的系数 a_1 、 b_1 、 c_1 、 k_{11} 、 k_{12} 及 a_2 、 b_2 、 k_{21} 、 k_{22} 见表 5。

表 5 可靠指标简化计算公式中的系数值

码头形式	码头后填料	破坏形式	a_1	b_1	c_1	k_{11}	k_{12}	a_2	b_2	k_{21}	k_{22}
方块	填石	抗滑	2.443×10^{-3}	0	0.491	0.425	0.349	6.512	3.374	1.519	1.159
		抗倾	5.189×10^{-3}	0	0.363	0.442	0.471	4.307	0.324	0.557	0.688
沉箱	填石	抗滑	2.025×10^{-3}	0	0.108	0.531	0.652	7.110	1.367	0.918	0.982
		抗倾	5.625×10^{-3}	1.106×10^{-2}	0.245	0.677	0.539	5.517	2.991	1.375	1.401
	填砂	抗滑	2.025×10^{-3}	3.691×10^{-3}	0.075	0.731	0.565	8.509	0.601	0.956	0.794
		抗倾	5.329×10^{-3}	2.938×10^{-3}	0.100	0.884	0.568	6.011	2.892	1.632	1.150

为验证两个可靠指标简化计算公式的准确性，令

$$\begin{cases} B_1 = \beta_1 / \beta_{JC} \\ B_2 = \beta_2 / \beta_{JC} \end{cases} \quad (12)$$

式中： B_1 和 B_2 为可靠指标简化公式计算结果与JC法计算结果的比值， β_1 为按式(9)计算的可靠指标， β_2 为按式(10)计算的可靠指标， β_{JC} 为按JC法计算的可靠指标。对 B_1 和 B_2 的计算结果进行统计分析，计算出各类型重力式码头 B_1 和 B_2 的平均值 μ_{B_1} 和 μ_{B_2} 及变异系数 δ_{B_1} 和 δ_{B_2} 。统计分析表明， B_1 和 B_2 的平均值计算结果都非常接近于1且变异系数都很小^[7]，说明本文提出的两个可靠指标简化计算公式可行。总体来看，式(9)的计算结果要优于式(10)。

表 6 可靠指标简化设计公式中的系数值

码头形式	码头后填料	破坏形式	k_{11}	k_{12}	a_3	b_3	c_3	d_3	k_{21}	k_{22}	a_4	b_4
方块	填石	抗滑	0.425	0.349	0	1.974	4.779×10^{-3}	2.433×10^{-3}	1.519	1.159	6.512	3.374
		抗倾	0.442	0.471	0	1.471	7.528×10^{-3}	5.189×10^{-3}	0.557	0.688	4.307	0.324
沉箱	填石	抗滑	0.531	0.652	0	0.442	8.788×10^{-4}	2.025×10^{-3}	0.918	0.982	7.110	1.367
		抗倾	0.677	0.539	1.106×10^{-2}	0.960	5.398×10^{-3}	5.625×10^{-3}	1.375	1.401	5.517	2.991
	填砂	抗滑	0.731	0.565	3.691×10^{-3}	0.292	5.902×10^{-4}	2.025×10^{-3}	0.956	0.794	8.509	0.601
		抗倾	0.884	0.568	2.938×10^{-3}	0.408	2.116×10^{-3}	5.329×10^{-3}	1.632	1.150	6.011	2.892

重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标简化设计方法的具体步骤如下：1) 根据设计要求的抗滑、抗倾稳定可靠指标 β 利用式(13)或式(14)计算相应的标准值抗作比 K ；2) 根据码头实际结构尺寸和设计条件按标准值计算抗滑、抗倾稳定的实际标准值抗作比 K' ；3) 将 K 与 K' 进行比较，如果满足 $K' \geq K$ ，则说明码头抗滑、抗倾稳定性满足设计规定的可

4 可靠指标简化设计方法

4.1 标准值抗作比计算公式

根据前面的分析可知，码头的可靠指标同抗力与荷载效应标准值的比值（即标准值抗作比） $K = R_k / S_k$ 以及波浪力效应占总荷载效应的比值 t 有关。将式(9)和式(10)进行转换，可得到下面的关系式：

$$K_1 = \frac{a_3 \beta^2 - \beta \sqrt{b_3 - c_3 \beta^2} - 2}{2(d_3 \beta^2 - 1)} \cdot (k_{11} t + k_{12}) \quad (13)$$

$$K_2 = \exp\left(\frac{\beta - b_4}{a_4}\right) \cdot (k_{21} t + k_{22}) \quad (14)$$

式(13)和式(14)即为重力式码头抗滑、抗倾稳定可靠指标的简化设计公式，公式中各系数的取值见表6。

靠度要求，否则需调整码头断面或采取其他措施。

4.2 设计算例

某工程为一座5万吨级多用途沉箱码头^[10]，码头结构断面见图2。码头顶面高程5.8m，码头前沿水深-14.1m；设计高水位4.32m，设计低水位0.47m；码头面均布荷载 $q = 30 \text{ kPa}$ ；系缆力标准值650kN；波浪要素见表7。

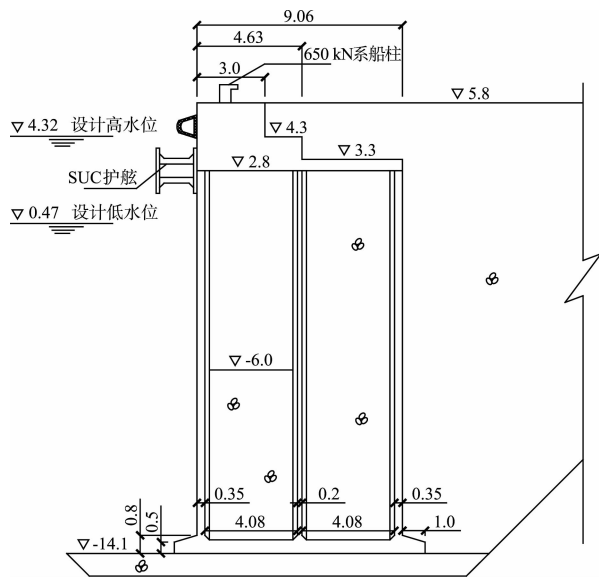


图 2 码头结构断面 (单位: m)

表 7 波浪要素

波高 $H_{1\%}/m$		波浪周期 \bar{T}/s
设计高水位	设计低水位	
2.117	2.080	4.8

码头后填料按回填块石和回填中砂两种情况考虑。材料密度和内摩擦角标准值参见文献[8]。采用本文提出的简化可靠指标设计方法对该码头进行抗滑、抗倾稳定性设计。码头安全等级设为二级。按式(13)和式(14)计算码头设计要求的标准值抗作比 K , 计算结果见表 8。码头抗滑、抗倾稳定的实际标准值抗作比 K' 计算结果见表 9。

表 8 满足规范可靠指标要求的标准值抗作比计算结果

填料	破坏形式	设计高水位		设计低水位	
		式(13)	式(14)	式(13)	式(14)
填石	抗滑 $K_H(\beta_H=3.5)$	1.751	1.658	1.701	1.606
	抗倾 $K_Q(\beta_Q=4.0)$	2.398	2.281	2.149	2.083
填砂	抗滑 $K_H(\beta_H=3.5)$	1.354	1.347	1.305	1.302
	抗倾 $K_Q(\beta_Q=4.0)$	1.880	1.858	1.683	1.675

表 9 沉箱码头实际标准值抗作比计算结果

填料	破坏形式	设计高水位	设计低水位
填石	抗滑 K'_H	2.084	2.153
	抗倾 K'_Q	2.608	2.989
填砂	抗滑 K'_H	1.352	1.343
	抗倾 K'_Q	1.775	1.886

由表 8 和表 9 可以看出, 当码头后填料为块石时, 所有情况下均满足 $K'_H > K_H$ 和 $K'_Q > K_Q$, 说明此时沉箱码头的抗滑、抗倾稳定性可靠指标满足设计要求; 而当码头后填料为中砂时, 在设计高水位情况下出现了 $K'_H < K_H$ 和 $K'_Q < K_Q$ 的情况, 说明此时沉箱码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标不再满足设计要求, 需要调整码头断面或采取其他措施。

另外, 从表 9 中还可以看出, 对于不同的墙后填料, 相同可靠指标下要求的抗作比是不同的, 这是由于不同填料材料参数的变异性不同所造成的。采用可靠指标方法能够合理反映材料性能变异性的差别, 这正是采用可靠指标方法进行设计的优点。

5 结论

1) 波浪力作用占总荷载效应的比例对可靠指标的计算结果影响很大。

2) 作用有波浪力的重力式码头, 抗力近似服从正态分布, 荷载效应近似服从对数正态分布; 对于同种类型的重力式码头, 当码头的墙后填料相同时, 抗力和荷载效应的均值系数和变异系数接近于常数。

3) 采用简化公式计算的有波浪力重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标与 JC 法的计算结果相差不大, 可用于有波浪力重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标的简化计算。

4) 由可靠指标简化计算公式转换得到标准值抗作比计算公式, 可用于有波浪力重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标的设计。

参考文献:

- [1] 邱驹. 港工建筑物[M]. 天津: 天津大学出版社, 2002.
- [2] 王浩芬. 重力式码头抗倾、抗滑稳定分析的极限状态表达式及其分项系数的确定[J]. 华南港工, 2000(1): 36-43.
- [3] 大连理工大学. 重力式码头抗滑、抗倾稳定性的可靠度指标设计方法研究[R]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [4] 麦远俭, 叶建科. 重力式码头抗滑抗倾稳定性验算的抗力变异系数及对分项系数的修订建议[J]. 水运工程, 2013(5): 35-40.

[5] 王利欢, 贡金鑫, 李荣庆, 等. 重力式码头稳定性可靠指标简化计算方法[J]. 水运工程, 2011(1): 143-149.

[6] 刘芸芸, 贡金鑫. 无波浪力重力式码头稳定性可靠指标的简化计算[J]. 水利水运工程学报, 2013(6): 36-36.

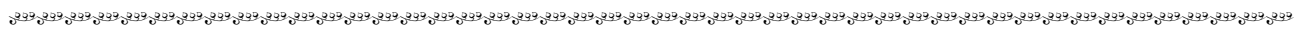
[7] 大连理工大学. 波浪荷载的统计分析和概率模型研究[R]. 大连: 大连理工大学, 2013.

[8] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S]. (本文编辑 武亚庆)

[9] 贡金鑫, 魏巍巍. 工程结构可靠性设计原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

[10] 交通部第一航务工程勘察设计院. 港口工程结构设计算例[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.

[11] 贡金鑫. 工程结构可靠度计算方法[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2003.



(上接第 63 页)

参考文献:

[1] 合田良实. 港工建筑物的防浪设计[M]. 刘大中, 孙巨才, 译. 北京: 海洋出版社, 1984.

[2] Franco L, Gerloni de M, Van der Meer J W. Wave overtopping on vertical and composite breakwaters[C]. Proc of 24 th ICCE, 1994: 1 030-1 045.

[3] Saville T. Laboratory data on wave run-up and overtopping on shore structures[R]. Vicksburg MS: Coastal Engineering Research Center, 1955.

[4] Saville T. Large-scale model tests of wave run up and overtopping on shore Structures[M]. Washington DC: US Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 1958.

[5] Engineers USACO. Shore protection manual[R]. Vicksburg, MS: Army Engineer Waterways Experiment Station, 1984: 37-53.

[6] Goda Y, Kishira Y, Kamiyama Y. Laboratory investigation on the overtopping rate of seawalls by irregular waves[J]. Ports and Harbour Research Institute, 1975, 14(4): 3-44.

[7] Van der Meer J W, Janssen P F M. Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures [R]. New York: American Society of Civil Engineers, 1994.

[8] Franco C. 3-D wave overtopping on caisson breakwaters[C]. London: Proc of 26 th IAHR Congress, 1995: 43-48.

[9] Franco C, Franco L. Overtopping formulas for caisson breakwaters with non-breaking 3D waves [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 1999, 125(2): 98-108.

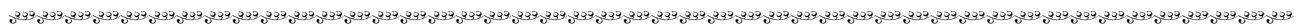
[10] 卢无疆. 直立堤堤前抛石对越浪量的影响[J]. 海洋工程, 1985(1): 81-90.

[11] 俞聿修, 魏德彬. 不规则波越浪量的试验研究[J]. 海岸工程, 1992(1): 1-12.

[12] 俞聿修, 赵凤亚, 李晓亮, 等. 斜向和多向不规则波对直立堤平均越浪量研究[J]. 海洋工程, 2007(3): 32-39.

[13] 王登婷, 潘军宁, 刘建军, 等. 汕头港广澳港区西防波堤工程波浪数学模型报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2008.

(本文编辑 武亚庆)



· 消 息 ·

中国港湾中标港珠澳大桥香港口岸基础设施工程一期项目

近日, 中国港湾签约港珠澳大桥香港口岸基础设施工程一期项目施工合同, 合同额 3 亿美元, 总工期 880 d。

该工程是港珠澳大桥重要配套工程, 中国港湾承建工程包括大桥香港口岸西面行车天桥、连接地面道路及相关交通辅助设施等。

工程预计 2016 年 12 月完工, 建成后, 将成为连接港珠澳大桥人工岛与香港国际机场的重要通道。

(摘编自《中国交通建设网》)