

沉箱孤立墩式结构整体稳定性一般规律

陆 微, 任增金, 李元青

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 大型原油码头多采用墩式蝶型布置, 一般情况下波浪作用是控制沉箱墩式结构整体稳定性的主要外荷载。作为设计波要素, 通常选取最大波高及其对应的波周期或最大波周期及其对应的波高进行结构计算, 但经多组波要素对比计算表明, 并非最大波高或最大波周期为控制工况。参考数模分析群桩系数随波周期变化的成果, 研究了作用于小尺度墩柱上的波浪作用随波周期和波高的变化以及沉箱孤立墩式结构整体稳定性的一般规律。

关键词: 孤立墩式结构; 墩柱波浪力; 群桩系数

中图分类号: U 656.1⁺32

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)10-0086-04

General pattern of the overall stability of separate caisson dolphin structures

LU Wei, REN Zeng-jin, LI Yuan-qing

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

Abstract: Large-scale oil wharves usually adopt the layout of butterfly. Generally, the critical loading relating to the overall structure stability is the wave loading. Typically, the maximum wave height and its corresponding wave period or the maximum wave period and its corresponding wave height are chosen as the design wave parameters. However, it is indicated by calculations that those are not necessarily the critical condition regarding the wave parameters. By reference to the numerical analysis result of the factor of pile group, this paper studies the change of wave loading on small-scale pier column structure with different wave heights and wave periods, and also studies the general pattern of the overall stability of separate caisson dolphin structures.

Keywords: separate dolphin structure; wave forces on dolphin; factor of pile group

20万吨级以上大型原油泊位多采用孤立墩式布置, 且由于所需水深较大, 大型原油泊位均采用开敞式布置, 北方地区目前已建成典型30万吨级大型原油码头主要有: 青岛港董家口港区30万吨级原油码头工程、青岛原油码头三期工程、日照—仪征配套30万吨级原油码头工程及大连港30万吨级原油码头工程等, 以上各工程均采用重力墩式沉箱结构, 波浪作用是码头结构设计的主要控制荷载。

1 工程概况

某海外开敞式30万吨级原油码头平面呈蝶型布置, 由工作平台、靠船墩、系缆墩和架管桥墩

组成。码头中部布置工作平台, 工作平台基础由4个直径14.1 m的圆沉箱组成, 沉箱按2排2列正交方式摆放, 平行码头方向沉箱中心距32.9 m, 垂直码头方向中心距23.9 m。

工作平台西侧对称布置2个靠船墩和3个系缆墩, 工作平台东侧布置3个靠船墩、1个架管桥墩和3个系缆墩兼架管桥墩。靠船墩基础均为直径15.1 m的圆沉箱, 系缆墩及架管桥墩均为直径14.1 m的圆沉箱。从码头平面布置(图1)可以看出, 码头前沿工作平台及靠船墩间距较小, 将会造成码头前沿波浪雍高, 同时会产生较大的群桩系数, 计算结果表明, 工作平台及靠船墩所受波浪力是码头结构稳定的主要控制荷载。

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 陆微(1984—), 女, 硕士, 工程师, 从事港口水工结构设计。

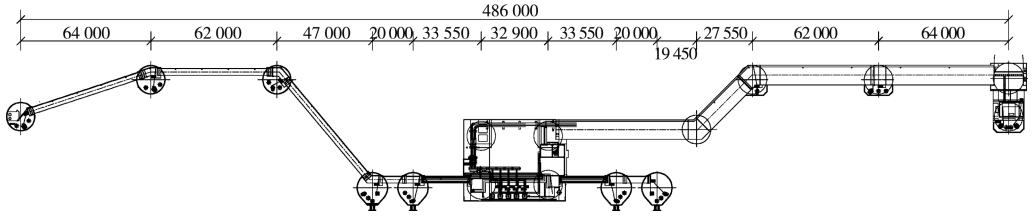


图 1 码头平面布置 (单位: mm)

2 波浪作用计算

2.1 自然条件

2.1.1 设计水位

本港区工程设计水位如下(以当地理论最低潮面起算): 极端高水位 6.48 m, 设计高水位 5.34 m, 设计低水位 0.63 m, 极端低水位 -0.55 m。

2.1.2 设计波要素

本工程 SE 向浪为正向浪, 同时还受 E 向、ESE 向、SSE 和 S 向浪的作用, 不同浪向的波高和波周期差别较大, 数值分析表明, 不同波向、不同波周期对群桩系数均有一定影响, 本工程结构计算采用的波要素见表 1。

表 1 码头前沿设计波要素 (设计高水位)

波向	$H_{1\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{5\%}/m$	$H_{13\%}/m$	\bar{T}/s
E	6.50	5.60	5.38	4.59	8.9
ESE	6.20	5.20	5.00	4.26	8.9
SE	5.80	4.95	4.75	4.06	8.0
SSE	5.50	4.70	4.51	3.85	8.0
S	3.58	3.05	2.93	2.50	6.0

2.2 码头结构方案

码头平台墩、靠船墩、系缆墩均采用沉箱重力式结构。各墩基础持力层位于强风化岩面, 基床为 10~100 kg 块石, 厚度 1~3.5 m。基床上设栅栏板和 200~300 kg 块石护底。

码头平台基础由安放在抛石基床顶面 4 个圆沉箱组成, 圆沉箱直径 14.1 m, 沉箱内抛填 10~100 kg 块石, 沉箱顶部现浇和安放预制混凝土构件, 墩与墩之间由预应力混凝土梁、板搭接形成码头操作平台。

靠船墩基础由安放在抛石基床顶面的圆沉箱组成, 沉箱直径 15.1 m, 沉箱顶部为预制盖板和现浇混凝土上部结构。西侧系缆墩沉箱直径为 14.1 m, 沉箱上为预制盖板, 盖板上现浇钢筋混凝土立柱, 直径 2 m, 立柱上现浇系缆平台; 东侧系缆墩兼架管桥墩采用直径 14.1 m 的圆沉箱, 上部采用预制盖板和异形块体形成架管桥墩台和系缆平台。

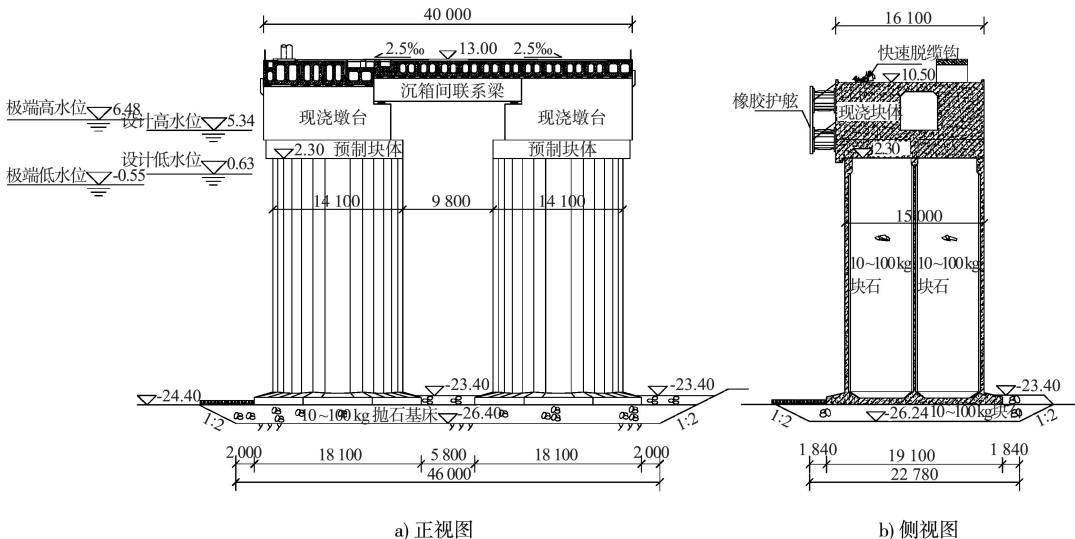


图 2 工作平台和靠船墩断面 (高程: m; 尺寸: mm)

2.3 群墩系数研究

规范中给出了典型中心距时的群桩系数值,数值分析表明,不同波向、不同周期情况下的群桩系数差别较大,群桩系数是影响波浪作用的重要参数。本次计算群桩系数考虑规范、物模试验及数模分析的结论综合取值。

2.3.1 规范取值^[1]

根据现行规范,由小直径桩(柱)组成的群桩结构,应根据设计波浪的计算剖面确定同一时刻各桩上的水平总波浪力。当桩的中心距 l 小于 4 倍桩的直径 D 时,应乘以群桩系数 K , K 值可按表 2 采用。

表 2 群桩系数 K

桩列方向	l/D		
	2	3	4
垂直于波向	1.5	1.2	1.1
平行于波向	1.0	1.0	1.0

2.3.2 物模试验结论^[2]

在设计过程中,针对本工程进行了整体波浪物模试验。试验结果表明,实测作用于单墩的水平波浪力最大值约为规范计算值的 1.05 倍,实测单墩倾覆力矩为规范计算值的 1.16 倍。实测值与规范单墩计算的比值即为考虑群桩作用的增大系数,群桩系数取 1.2 是偏于安全的。需要注意的是,以上物模试验仅对波周期为 8.9 s 时给出的值,数模分析表明,波周期变化时群桩系数的值也会有较大变化。

2.3.3 数模试验结论^[3]

参考烟台西港区 30 万吨级原油码头工程在不同波向、不同波周期作用下群桩系数数模分析的结论见表 3。从表 3 群桩系数取值分析,波浪与多墩柱作用会发生干涉现象,干涉作用不仅与入射波浪周期相关,同时与水深及波浪入射方向等因素有关。

计算结果表明,群桩系数随波向、波周期影响变化范围较大。一般情况下,波周期较大时,群桩系数相对较小,数模分析结果表明在一定波要素条件下群桩系数在 1.0~1.8 变化。

表 3 各波向群桩系数计算结果(设计高水位)

波向	$H_{1\%}/m$	\bar{T}/s	L/m	群桩系数 K	
				平台墩	靠船墩
N	4.37	6.7	69.30	1.522 9	1.052 4
NNE	5.25	7.0	74.48	1.209 3	1.265 9
NE	6.04	7.9	93.94	1.217 6	1.035 8
ENE	3.99	6.7	69.42	1.305 8	1.225 2
E	3.58	6.3	60.69	1.742 7	1.786 1

2.4 沉箱墩波浪力计算

波浪力是沉箱重力墩式结构的控制荷载,群桩系数是波浪力计算最关键的参数。计算结果表明,在不考虑群桩系数的情况下,作用于小尺度桩柱上的水平波浪力随波高的增大而增大,随波周期的增大而减小。群桩系数一般随波周期的减小而增大,同时受波向和作用位置的影响,在初步估算时可参照规范取值,进入初步设计后建议通过数模或物模进行详细分析。

针对本工程不同波向的设计波要素并综合考虑群桩系数,工作平台墩和靠船墩在不同波向作用下受到的波浪力见表 4。

表 4 设计高水位波浪力计算结果

墩	波向	$H_{1\%}/m$	\bar{T}/s	K	P_{max}/kN	$M_{max}/(kN \cdot m)$
工作平台墩	E	6.50	8.9	1.2	13 996	253 956
	ESE	6.20	8.9	1.2	13 317	241 226
	SE	5.80	8.0	1.3	13 936	262 453
	SSE	5.50	8.0	1.3	13 183	247 895
	S	3.58	6.0	1.5	9 928	196 720
靠船墩	E	6.50	8.9	1.2	12 204	221 433
	ESE	6.20	8.9	1.2	11 612	210 333
	SE	5.80	8.0	1.3	12 151	228 842
	SSE	5.50	8.0	1.3	11 494	216 148
	S	3.58	6.0	1.5	8 656	171 527

从以上计算结果看,波浪力最大的情况并不一定发生在波高最大时,因此计算波浪力时应选取多个波要素,以确定最大的波浪力。

3 整体稳定性分析

沉箱重力墩式结构波浪作用为主要控制作用,工作平台墩和靠船墩在最不利工况作用下的整体稳定结果见表 5。从表 5 计算结果分析,沉箱重力

墩式结构在最不利工况作用下, 抗倾抗滑稳定性均有较大富裕, 基床应力是沉箱结构主尺度的控制性参数, 波浪作用随沉箱尺度的增大相应增大,

从而导致基床应力的进一步增加, 对于沉箱重力墩式结构, 在满足规范要求的前提下尽量增加趾的尺度减小沉箱主体尺度。

表 5 设计高水位整体稳定计算

墩	波向	$H_{1\%}/m$	\bar{T}/s	抗滑/kN		抗倾/(kN·m)		基顶应力/kPa
				作用	抗力	作用	抗力	
工作平台墩	E	6.50	8.9	17 737	45 631	345 463	520 570	631
	ESE	6.20	8.9	16 890	45 564	330 550	520 570	618
	SE	5.80	8.0	17 661	45 987	348 969	520 570	652
	SSE	5.50	8.0	16 722	46 021	330 021	520 570	625
	S	3.58	6.0	12 664	46 430	256 914	520 570	552
靠船墩	E	6.50	8.9	20 300	50 699	395 070	578 411	771
	ESE	6.20	8.9	19 329	50 624	377 911	578 411	754
	SE	5.80	8.0	20 213	51 095	399 226	578 411	786
	SSE	5.50	8.0	19 136	51 133	377 498	578 411	762
	S	3.58	6.0	14 482	51 588	293 713	578 411	690

4 结论

1) 对于沉箱重力墩式结构, 波浪作用往往是码头结构设计控制荷载, 由于各墩中心间距通常小于 4 倍的沉箱直径, 群桩系数随墩台布置、波浪周期、波浪入射方向等均有较大变化, 群桩系数是码头结构设计的关键参数, 宜通过数值分析或波浪物模试验确定。

2) 在波高相同的情况下, 波周期越小波浪力越大; 最大波高时一般对应最大波周期, 而此时波浪力不一定最大, 因此应对不同波高和波周期分别进行计算。从波浪作用计算结果分析, 波周期小的情况下群桩系数也较大, 波浪作用的最不利工况多出现在波高相对较大而波周期较小的情况。

3) 沉箱重力墩式结构波浪作用为主要控制作用, 码头结构抗倾、抗滑稳定性一般富裕量较大, 结构主尺度一般是由基床应力控制的, 因此最大化沉箱趾的尺度即为码头结构最优化方案。

参考文献:

[1] JTS 145—2015 港口与航道水文规范[S].
 [2] 中国海洋大学, 海军工程设计研究院工程综合试验研究中心.日照—仪征原油管道及配套工程(码头)水工物理模型试验报告[R].青岛:中国海洋大学, 2005.
 [3] 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室.烟台 30 万吨油码头墩台结构群墩系数研究[R].大连:大连理工大学, 2015.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第 67 页)

参考文献:

[1] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S].
 [2] 张志明, 彭玉生, 张鹏, 等.世界港口(港区)平面形态、码头布置形式典型案例与分析研究[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2012.
 [3] 张志明, 杨国平, 李绍武, 等.码头掩护程度界定标准及其相关尺度确定方法研究报告[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2012.

[4] 张志明, 杨国平, 文立, 等.离岸深水港码头泊稳条件关键技术研究[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2010.
 [5] 吴澎, 严庆新, 郭子坚, 等.沿海港口深水航道选线及设计主要参数研究[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2012.

(本文编辑 武亚庆)