

· 港口 ·



架空直立式码头船舶撞击力 横向分配系数数值模拟*

刘明维^{1,2}, 翁珍燕¹, 杨洋³, 何旭¹, 潘奇¹, 吕启兵¹

(1.重庆交通大学 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074;

2.重庆交通大学 水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074; 3.福建省交通规划设计院, 福建 福州 350004)

摘要: 采用Ansys有限元软件, 对5种不同码头承台宽度、5种不同桩直径进行数值分析, 探讨承台宽度、桩直径对架空直立式码头水平撞击力分配系数的影响。结果表明, 承台宽度和桩直径对排架分配系数有着不可忽视的影响, 承台宽度的增大有利于排架的均匀分配, 桩直径的增大不利于排架的均匀分配。为使结构受力均匀, 可适当加大承台宽度、减小桩直径。同时对这两个因素对水平撞击力分配系数的影响进行敏感性分析。

关键词: 架空直立式码头; 分配系数; 影响因素; 敏感性分析

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0063-05

Numerical simulation on straight-wide pile framework wharf of partition coefficient

LIU Ming-wei^{1,2}, WENG Zhen-yan¹, YANG Yang³, HE Xu¹, PAN Qi¹, LV Qi-bing¹

(1. National Inland Waterway Regulation Engineering Research Center, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Key Laboratory of Hydraulic & Waterway Engineering of the Ministry of Education, Chongqing Jiaotong University,

Chongqing 400074, China; 3. Fujian Communication Planning & Design Institute, Fuzhou 350004, China)

Abstract: The influential factors of partition coefficient of horizontal impact force on overhead vertical wharf are complicated, which contain bent frame number, bent frame spacing, impact position, wharf width, components size and so on. This paper mainly studies the influence of wharf width and pile diameter using Ansys finite element analysis. The results show that increasing wharf width is beneficial to evenly partition coefficient of horizontal impact force. Increasing pile diameter is harmful to even partition coefficient of horizontal impact force. In order to make the structure well-distributed stress, it can be appropriate to increase the wharf width and reduce the pile diameter. This paper also contains the sensitivity analysis between the factors.

Key words: overhead-vertical wharf; partition coefficient; influential factor; sensitivity analysis

1991年张祖贤等^[1]对高桩码头的排架分配系数进行了大量的研究, 并取得了一定的研究成果, 高桩码头分配系数的研究相对较成熟。对于架空直立式码头, 王多垠等^[2]针对大水位差全直桩框架码头多层系缆层以及相对于传统码头存在

纵横撑的两个特点, 应用数值模拟方法得到多工况下架空直立式码头的分配系数。对于架空直立式码头分配系数还有待进一步研究。针对影响分配系数的因素较为复杂, 以往研究中对于架空直立式码头的影响因素只考虑了排架数、排架间距

收稿日期: 2012-10-17

*基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAB05B00)

作者简介: 刘明维(1972—), 男, 教授, 主要从事港口码头水工建筑物的科研和教学工作。

等，而对架空直立式码头承台宽度、桩直径等其它影响因素未见相关的研究，本文针对影响架空直立式码头分配系数的影响因素，以重庆果园二期扩建工程为原模型，主要考虑承台宽度和桩直径两个因素对排架分配系数的影响。

1 模型建立及参数选取

取一个码头分段（5榀4跨排架）建立模型，码头桩、横向联系撑、纵向联系撑、横梁、纵梁、轨道梁、系船梁等均采用弹性梁单元（Beam189）建模^[3]；码头面板采用壳单元（shell63）建模。钢筋混凝土结构弹性模量 $E=30\text{ GPa}$ ，泊松比 $\nu=0.17$ ，密度 $\rho=2.45\text{ t/m}^3$ ，钢结构弹性模量 $E=300\text{ GPa}$ ，泊松比 $\nu=0.3$ ，密度 $\rho=7.8\text{ t/m}^3$ ，采用的嵌岩灌注桩模型均将桩基嵌固点设置为固结，使其在各个方向的位移均为0。结构断面见图1，结构计算模型见图2。

1.1 分析方法^[4]

应用Ansys有限元软件，对架空直立式码头进行线性静力分析。在其计算结果中可导出各桩基的基底反力。通过计算每个排架中各桩基剪力之和与撞击力的比值，即可得到撞击力在各排架中的分配系数。在计算过程中取撞击力荷载为单位荷载 $F=1$ ，并将所得到的各排架中所有桩基剪力值相加，其值为撞击力的分配系数。

1.2 工程概况

果园港处于三峡库区回水变动段的重庆主城区港区，果园作业区位于江北区东部新城（鱼嘴组团）的东部，码头西面为鱼嘴镇、东面和北面为复胜镇、南面紧邻长江，果园二期工程码头结构采用高桩框架直立式，平面尺度为515 m，承台宽度为30 m。作业平台排架间距为8 m，共65榀排架，每榀排架设4根基桩，其中江侧基桩采用 $\phi 2\ 200$ 钢筋混凝土嵌岩灌注桩（其它基桩采用

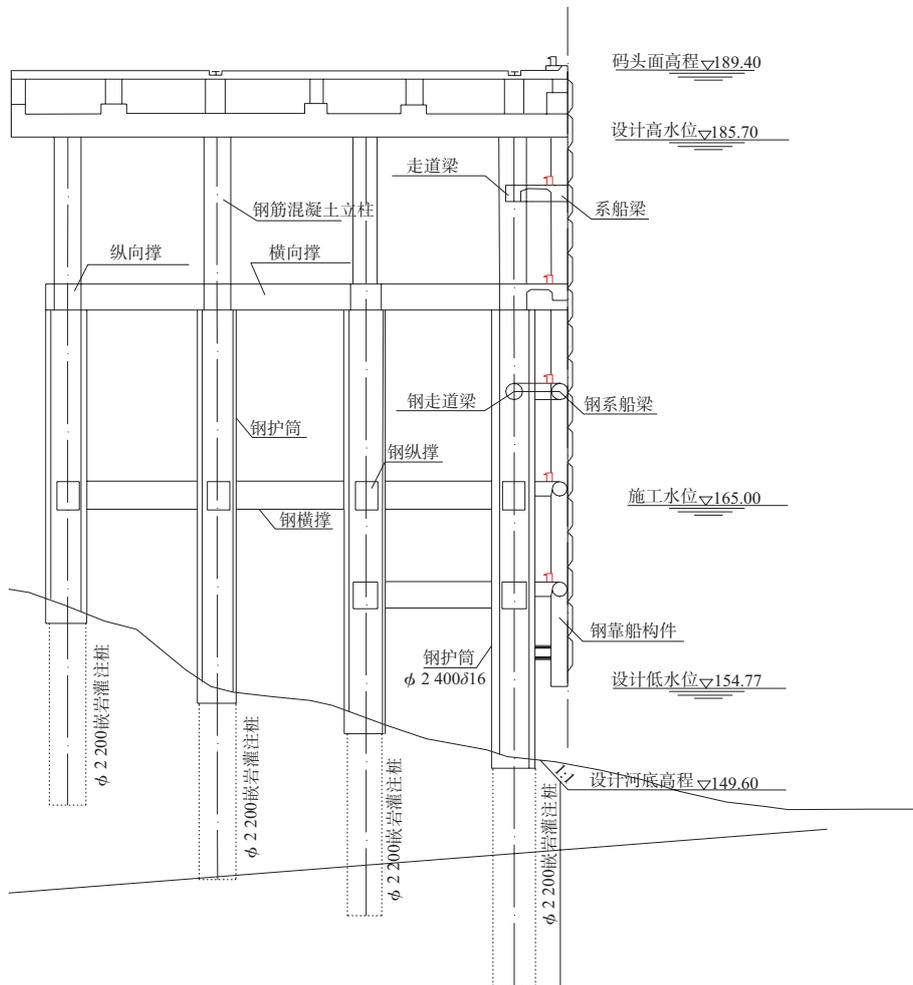


图1 果园二期扩建结构断面

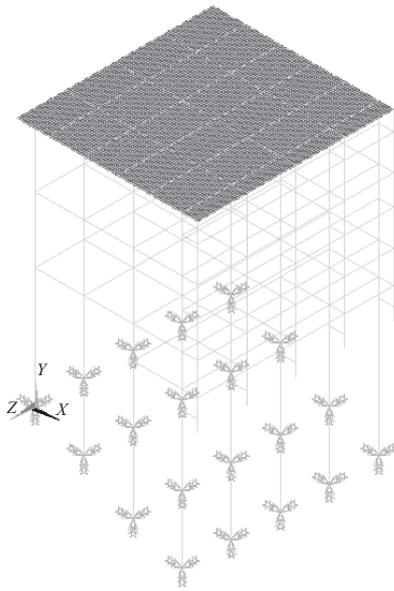


图2 果园二期扩建结构计算模型

$\phi 2\ 000$), 基桩和上部横梁连接采用 $\phi 1\ 400$ 钢筋混凝土立柱。

1.3 荷载工况

本文荷载工况在重庆果园二期扩建的原型上分别修改承台宽度及桩基直径。总共考虑了210种工况: 考虑荷载分别撞击在第1, 2, 3榀排架的7个系缆层上, 考虑5种不同承台宽度 ($B=20\text{ m}, 25\text{ m}, 30\text{ m}, 35\text{ m}, 40\text{ m}$), 考虑5种不同的桩直径 ($D=1.5\text{ m}, 1.7\text{ m}, 1.9\text{ m}, 2.1\text{ m}, 2.3\text{ m}$)。

1.4 模型求解及其结果分析

1.4.1 承台宽度与排架分配系数的关系

由于篇幅有限, 本文只选取撞击位置在最高、最底层系缆层时, 分别撞击在第1, 2, 3榀排架(5种承台宽度)的工况, 各工况计算结果见表1和2。

1) 由表1可看出, 当撞击位置分别在第1, 2榀排架最高系缆层时, 排架的分配系数与承台宽度基本上成线性关系, 且撞击位置在前两榀排架时, 第1, 2榀排架的分配系数都随承台宽度(B)的增大而减小, 中间排架基本不变, 第4, 5榀排架的分配系数随着承台宽度的增大而增大。从表2也可看出承台宽度越大, 排架分配越均匀。因此, 当撞击位置在第1, 2排架最高层与最底层时, 增大承台宽度有利于水平撞击力的均匀分配。这是由于承台宽度越小时, 结构相对刚度越

表1 撞击位置在排架最高系缆层受力排架分配系数

排架	排架分配系数	承台宽度B/m				
		20	25	30	35	40
1	P_1	0.402 90	0.399 29	0.395 41	0.391 26	0.386 82
	P_2	0.314 73	0.299 81	0.291 69	0.276 00	0.262 21
	P_3	0.200 06	0.200 03	0.200 03	0.200 10	0.200 03
	P_4	0.085 31	0.100 22	0.108 34	0.124 03	0.137 82
	P_5	-0.002 98	0.000 64	0.004 52	0.008 62	0.013 13
	总和	1.000 02	0.999 99	0.999 99	1.000 01	1.000 01
2	P_1	0.316 64	0.304 11	0.293 44	0.277 75	0.263 91
	P_2	0.247 92	0.249 02	0.248 34	0.246 74	0.245 48
	P_3	0.200 02	0.200 02	0.200 02	0.200 02	0.200 02
	P_4	0.142 69	0.148 88	0.154 19	0.162 03	0.168 93
	P_5	0.083 38	0.095 90	0.106 57	0.122 27	0.136 10
	总和	1.000 00	1.000 00	0.999 99	1.000 00	1.000 00
3	P_1	0.200 03	0.200 02	0.200 01	0.200 02	0.200 02
	P_2	0.200 02	0.200 02	0.200 02	0.200 01	0.200 01
	P_3	0.199 91	0.199 94	0.199 94	0.199 94	0.199 94
	P_4	0.200 02	0.200 02	0.200 02	0.200 01	0.200 01
	P_5	0.200 03	0.200 02	0.200 01	0.200 02	0.200 02
	总和	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00

表2 撞击位置在排架最底层系缆层受力排架分配系数

排架	排架分配系数	承台宽度B/m				
		20	25	30	35	40
1	P_1	0.577 31	0.558 88	0.550 60	0.536 35	0.525 29
	P_2	0.264 66	0.256 41	0.251 96	0.243 67	0.236 81
	P_3	0.133 93	0.134 09	0.133 63	0.132 35	0.130 95
	P_4	0.049 72	0.058 34	0.062 41	0.069 58	0.075 21
	P_5	-0.025 62	-0.007 72	0.001 39	0.018 06	0.031 73
	总和	1.000 00	1.000 01	1.000 00	1.000 01	0.999 99
2	P_1	0.265 00	0.256 66	0.252 18	0.243 83	0.236 91
	P_2	0.405 76	0.401 16	0.399 61	0.397 37	0.395 95
	P_3	0.181 87	0.181 97	0.182 07	0.182 33	0.182 62
	P_4	0.098 00	0.102 14	0.103 96	0.107 08	0.109 45
	P_5	0.049 37	0.058 07	0.062 18	0.069 39	0.075 07
	总和	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00
3	P_1	0.133 95	0.134 11	0.133 65	0.132 37	0.130 98
	P_2	0.181 85	0.181 95	0.182 05	0.182 30	0.182 59
	P_3	0.368 40	0.367 89	0.368 60	0.370 67	0.372 87
	P_4	0.181 85	0.181 95	0.182 05	0.182 30	0.182 59
	P_5	0.133 95	0.134 11	0.133 65	0.132 37	0.130 98
	总和	1.000 00	1.000 00	0.999 99	1.000 01	1.000 00

大, 水平撞击力分配越集中。反之, 水平撞击力分配越均匀。

2) 由表1可看出, 当撞击位置为第3榀排架最高系缆层时, 各个排架的分配系数基本相近, 说明此时5榀排架分配系数较为均匀, 因此, 为使水

平撞击力均匀分配于各排架中，建议船舶靠泊时尽量往中间排架靠泊，应避免撞击力直接作用在端部排架上。

3) 由表2可看出，当撞击位置在最底层系缆层时，直接受力排架的分配系数均较其他4樁非直接受力排架大，说明撞击位置在最底层较在最高层水平力分配系数更为集中。因此，进行结构设计时应以最底层撞击位置分担的水平荷载为控制荷载进行桩基承载力的验算。

1.4.2 桩基直径和排架分配系数的关系

通过计算得出，桩直径撞击位置在最底层时较最高层时对水平撞击力分配系数影响更为显著。各工况计算结果见表3和4。

表3 撞击位置在排架最高系缆层受力排架分配系数

排架	排架分配系数	桩基直径D/m				
		1.5	1.7	2.1	2.2	2.3
1	P ₁	0.433 13	0.403 01	0.386 76	0.355 36	0.327 71
	P ₂	0.300 15	0.298 12	0.295 94	0.293 60	0.291 13
	P ₃	0.200 02	0.200 02	0.200 02	0.200 02	0.200 02
	P ₄	0.099 87	0.101 90	0.104 08	0.106 42	0.108 90
	P ₅	0.002 94	0.000 67	0.004 55	0.008 69	0.013 14
	总和	1.000 00	1.000 00	0.999 99	0.999 99	1.000 01
2	P ₁	0.297 76	0.299 68	0.299 68	0.295 69	0.293 49
	P ₂	0.257 27	0.251 08	0.245 78	0.237 94	0.231 05
	P ₃	0.200 02	0.200 01	0.200 01	0.200 02	0.200 03
	P ₄	0.152 06	0.150 96	0.150 96	0.153 23	0.154 48
	P ₅	0.102 26	0.100 33	0.100 33	0.104 32	0.106 53
	总和	1.000 00	1.000 00	0.999 99	0.999 99	1.000 01
3	P ₁	0.200 01	0.200 01	0.200 01	0.200 01	0.200 01
	P ₂	0.200 01	0.200 01	0.200 01	0.200 02	0.200 03
	P ₃	0.199 95	0.199 96	0.199 96	0.199 94	0.199 93
	P ₄	0.200 01	0.200 01	0.200 01	0.200 02	0.200 03
	P ₅	0.200 01	0.200 01	0.200 01	0.200 01	0.200 01
	总和	1.000 00	1.000 00	0.999 99	0.999 99	1.000 01

1) 由表3可知，当撞击位置在第1,2樁排架最高系缆层时，桩直径的增大有利于排架分配系数的均匀分配。

2) 由表3可看出，同承台宽度一样，当撞击位置为第3樁排架最高系缆层时，各个排架的分配系数基本相近，说明此时5樁排架分配系数较为均匀。

3) 由表4可知，当撞击位置在架空直立式码头底部系缆层时，分配系数最大的排架都是在

表4 撞击位置在排架最底层系缆层受力排架分配系数

排架	排架分配系数	桩基直径D/m				
		1.5	1.7	2.1	2.2	2.3
1	P ₁	0.485 22	0.508 80	0.533 36	0.557 70	0.581 02
	P ₂	0.283 12	0.274 16	0.264 13	0.253 41	0.242 39
	P ₃	0.166 08	0.154 57	0.142 86	0.131 61	0.121 19
	P ₄	0.075 03	0.069 62	0.064 37	0.059 57	0.055 32
	P ₅	-0.009 45	-0.007 16	-0.004 73	-0.002 29	0.000 09
	总和	1.000 00	1.000 00	0.999 99	0.999 99	1.000 01
2	P ₁	0.283 24	0.274 27	0.264 24	0.253 55	0.242 58
	P ₂	0.323 91	0.348 44	0.374 98	0.402 36	0.429 64
	P ₃	0.193 09	0.190 44	0.186 99	0.182 76	0.177 91
	P ₄	0.124 86	0.117 35	0.109 56	0.101 93	0.094 78
	P ₅	0.074 89	0.069 49	0.064 24	0.059 40	0.055 10
	总和	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00
3	P ₁	0.166 09	0.154 58	0.142 88	0.131 63	0.121 21
	P ₂	0.193 07	0.190 42	0.186 96	0.182 74	0.177 88
	P ₃	0.281 67	0.310 00	0.340 31	0.371 27	0.401 81
	P ₄	0.193 07	0.190 42	0.186 96	0.182 74	0.177 88
	P ₅	0.166 09	0.154 58	0.142 88	0.131 63	0.121 21
	总和	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00

受力排架上。受力排架的分配系数随着桩直径的增大而增大，除受力排架之外的其他4个排架随着桩直径的增大反而减小，说明桩直径的增大不利于排架的均匀分配。增加桩的直径虽能加大其承载力，但不利于水平撞击力分配系数的均匀分配。在工程实践中，不能一味靠增加桩的直径增加其承载力而导致水平撞击分配系数相对集中的现象。

2 影响因素敏感性分析

本文计算承台宽度和桩直径的敏感度时，选取撞击位置在最高、最底层时3个受力排架的分配系数。

2.1 单因素敏感性计算方法

如果水平撞击力分配系数 F_s 为承台宽度(x_1)和桩直径(x_2)的函数，则 $F_s=f(x_1, x_2)$ 。

$$m = \left| \frac{\Delta F_s}{F_s} \right| \quad (1)$$

$$M = \left| \frac{\Delta X_i}{X_i} \right| \quad (2)$$

式中： ΔF_s 为平均每个单位分配系数变化量； F_s 为分配系数平均值； ΔX_i 为影响因素变化量； X_i 为影响因素平均值。则影响因素 i 的敏感度 S_i 可以表

示为:

$$S_i = \frac{m}{M} \quad (3)$$

敏感度 S_i 越大,说明该因素的影响越大。

2.2 单因素敏感性计算结果

撞击位置在最高层和最底层时,承台宽度和桩直径受力排架的分配系数见表5~8。

表5 撞击位置在最高层时承台宽度受力排架分配系数

承台宽度/m	排架1	排架2	排架3
20	0.402 90	0.247 92	0.199 91
25	0.399 29	0.249 02	0.199 94
30	0.395 41	0.248 34	0.199 94
35	0.391 26	0.246 74	0.199 94
40	0.386 82	0.245 48	0.199 94

表6 撞击位置在最高层时桩直径受力排架分配系数

桩基直径/m	排架1	排架2	排架3
1.5	0.433 13	0.257 27	0.199 95
1.7	0.403 01	0.251 08	0.199 96
1.9	0.386 76	0.245 78	0.199 96
2.1	0.355 36	0.237 94	0.199 94
2.3	0.327 71	0.231 05	0.199 93

表7 撞击位置在最底层时承台宽度受力排架分配系数

承台宽度/m	排架1	排架2	排架3
20	0.577 31	0.405 76	0.368 40
25	0.558 88	0.401 16	0.367 89
30	0.550 60	0.399 61	0.368 60
35	0.536 35	0.397 37	0.370 67
40	0.525 29	0.395 95	0.372 87

表8 撞击位置在最底层时桩直径受力排架分配系数

桩基直径/m	排架1	排架2	排架3
1.5	0.485 22	0.323 91	0.281 67
1.7	0.508 80	0.348 44	0.310 00
1.9	0.533 36	0.374 98	0.340 31
2.1	0.557 70	0.402 36	0.371 27
2.3	0.581 02	0.429 64	0.401 81

从表5可以看出:当承台宽度在20~40 m变化时,受力排架1分配系数在0.402 90~0.386 82变化,每个单位分配系数变化量为-0.004,分配系数平均值为0.395。承台宽度变化量为20,平均值为30。则排架1对应的敏感度为0.015。同理可求出其余受力排架的敏感度,计算结果见表9。

表9 承台宽度和桩直径敏感度对比分析

层次	影响因素	排架1	排架2	排架3
最高层	承台宽度	0.015	0.004	5.630×10^{-5}
	桩直径	0.164	0.076	5.594×10^{-5}
最底层	承台宽度	0.035	0.009	0.005
	桩直径	0.106	0.200	0.209

由表9可知,当撞击位置在最高层、最底层时桩直径的敏感度都比承台宽度大,说明桩直径对架空直立式结构的刚度较承台宽度影响更大。

3 结论

1) 码头承台宽度和桩直径对水平撞击力分配系数有着不可忽视的影响。当撞击位置在第1, 2榀排架最高层与最底层时,撞击位置承台宽度的增大有利于水平撞击力的均匀分配;当撞击位置在第1, 2榀排架最底层时,桩直径的增大不利于水平撞击力的均匀分配,此时,为使水平力均匀分配,可适当加大码头承台宽度,适当减小桩直径。

2) 撞击位置在中间排架最高系缆层时,水平撞击力分配系数较均匀,为使水平撞击力均匀分配于各排架中,建议船舶靠泊时尽量往中间排架靠泊,应避免撞击力直接作用在端部排架上。

3) 增加桩的直径虽能加大其承载力,但对于撞击位置在第1, 2榀排架最底层时不利于水平撞击力分配系数的均匀分配。在工程实践中,不能一味靠增加桩的直径增加其承载力而导致水平撞击分配系数相对集中的现象。

4) 撞击位置在最高层、最底层时,桩基直径对排架分配系数的影响较承台宽度敏感。

参考文献:

- [1] 张祖贤,王炳煌. 水平力在码头排架中的分配试验研究[J]. 水运工程, 1991(12): 13-19.
- [2] 王多垠. 内河架空直立式集装箱码头结构关键技术研究[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2005.
- [3] 王新敏. ANSYS工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [4] 王多垠,张华平,史青芬,等. 大水位差全直桩框架码头排架中的水平撞击力分配系数研究[J]. 中国港湾建设, 2009(3): 23-40.

(本文编辑 武亚庆)