

重力式方块码头墙身结构最小宽度计算

寇本川, 苏航, 孙冉

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对水工结构设计人员如何快速获得重力式方块码头结构断面尺寸的问题, 通过采用线性规划模型建立约束方程, 在一定假设条件下编程求解得出墙身结构宽度与高度的最小比例系数, 形成计算成果表, 设计人员可根据工程实际情况, 在计算成果表中对关键变量数值查询, 采用插值等方法得出最小比例系数, 从而获得重力式方块码头墙身结构的最小宽度。结果表明, 该方法能实现快速设计, 有效提高工作效率。

关键词: 重力式方块码头; 实心方块; 空心方块; 线性规划模型; 最小宽度

中图分类号: U 656.1⁺11

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)03-0078-05

Calculation for minimum width of wall structure of gravity concrete block quay

KOU Ben-chuan, SU Hang, SUN Ran

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

Abstract: In view of the problem that how hydraulic structural designers can quickly obtain the cross-sectional dimensions of gravity concrete block quay, we apply the linear programming model to establish constraint equations, program under certain assumptions to solve the minimum ratio of width and height of the wall structure, and form a table of calculation results. The designers can look up the values of key variables in the calculation results table, use interpolation and other methods to obtain the minimum ratio coefficient, and get the minimum width of the wall structure of gravity concrete block quay. The results show that the method can realize the rapid design and improve work efficiency effectively.

Keywords: gravity concrete block quay; solid block; hollow block; linear programming model; minimum width

在我国沿海码头建设过程中, 重力式方块码头具有整体性好、结构坚固耐久、对较大的集中荷载适应性强等优点, 当地基承载力满足要求时, 得到了广泛的应用。随着港口大型化的发展, 以及设计和施工技术的提高, 方块码头也向深水化发展, 目前已经做到了 10 万吨级^[1]。根据方块码头结构的相关规范^[2], 设计人员在前期结构设计阶段, 需要反复调整结构尺寸, 验算抗滑、抗倾稳定性, 计算工作量大、工作时间长。如何快速获得结构断面尺寸一直是困扰水工结构设计人员

的难题, 一些文献表明可通过简化计算公式等途径缩短设计时间^[3-4]。本文通过构建线性规划模型, 求解目标函数, 得出墙身结构宽度与高度最小比例系数, 相关计算成果可供设计人员通过对比关键变量数值查询使用, 快速获得结构尺寸, 提高工作效率。

1 数学模型

1.1 模型断面

模型断面见图 1。

收稿日期: 2020-06-05

作者简介: 寇本川 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程技术管理与安全研究。

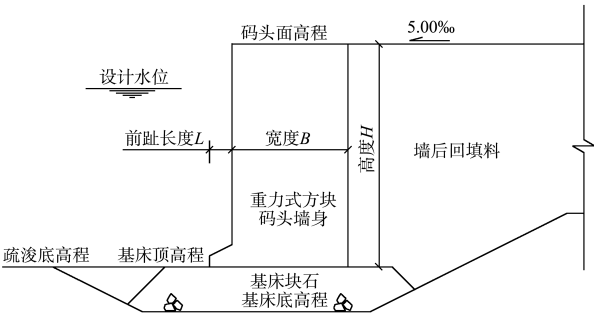


图 1 模型断面

1.2 线性规划模型

线性规划模型如下:

$$\min b = B/H \tag{1}$$

$$\begin{cases} \gamma_0(\gamma_E E_H + \gamma_{P_W} P_W + \gamma_P P_B + \psi \gamma_E E_{qH}) \leq \\ \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_U P_{BU} + \psi \gamma_E E_{qV}) f \end{cases} \tag{2}$$

$$\begin{cases} \gamma_0(\gamma_E E_H + \gamma_{P_W} P_W + \gamma_E E_{qH} + \psi \gamma_P P_B) \leq \\ \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_E E_{qV} + \psi \gamma_U P_{BU}) f \end{cases} \tag{3}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \gamma_0(\gamma_E M_{E_H} + \gamma_{P_W} M_{P_W} + \gamma_P M_{P_B} + \psi \gamma_E M_{E_{qH}}) \leq \\ \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_E M_{E_V} + \gamma_U M_{P_{BU}} + \psi \gamma_E M_{E_{qV}}) \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{cases} \gamma_0(\gamma_E M_{E_H} + \gamma_{P_W} M_{P_W} + \gamma_E M_{E_{qH}} + \psi \gamma_P M_{P_B}) \leq \\ \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_E M_{E_V} + \gamma_E M_{E_{qV}} + \psi \gamma_U M_{P_{BU}}) \end{cases} \tag{5}$$

$$b \geq 0, B \geq 0, H \geq 0 \tag{6}$$

式中: b 为墙身结构宽度与高度最小比例系数; B 为墙身结构宽度; H 为墙身结构高度; γ_0 为结构重要性系数; γ_E 为土压力分项系数, 取 1.35; E_H 、 E_V 分别为计算面以上永久作用总主动土压力的水平分力标准值和竖向分力标准值(kN), 计算公式参见《码头结构设计规范》; γ_{P_W} 为剩余水压力的分项系数; P_W 为作用在计算面以上的剩余水压力的标准值(kN), 取 0 kN; E_{qH} 、 E_{qV} 分别为计算面以上可变作用总主动土压力的水平分力标准值和竖向分力标准值(kN), 计算公式参见《码头结构设计规范》; ψ 为作用组合系数, 持久组合取 0.7; γ_d 为结构调整系数, 无波浪作用或波浪为非主导可变作用时取 1.0, 有波浪作用并为主导可变作用时取 1.1; γ_G 为自重力分项系数, 取 1.00; G 为

作用在计算面上的结构自重力的标准值 (kN), 计算公式参见《码头结构设计规范》; f 为沿计算面的摩擦系数设计值, 取 0.60; γ_P 为波浪水平力分项系数, 取 1.30; P_B 为波谷作用时计算面以上水平波浪力的标准值(kN), 计算公式参见《港口与航道水文规范》^[5]; γ_U 为波浪浮托力分项系数, 取 1.3; P_{BU} 为波谷作用时计算底面上的波浪浮托力的标准值(kN), 计算公式参见《港口与航道水文规范》; M_{E_H} 为永久作用总土压力的水平分力标准值对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m); M_{P_W} 为剩余水压力标准值对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m), 取 0 kN·m; $M_{E_{qH}}$ 为可变作用总土压力的水平分力标准值对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m); M_G 为结构自重力标准值对计算面前趾的稳定力矩(kN·m); M_{E_V} 为永久作用总土压力的竖向分力标准值对计算面前趾的稳定力矩(kN·m); $M_{E_{qV}}$ 为可变作用总土压力的竖向分力标准值对计算面前趾的稳定力矩(kN·m); M_{P_B} 为波谷作用时水平波浪力标准值对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m); $M_{P_{BU}}$ 为波谷作用时作用在计算底面上的波浪浮托力标准值对计算面前趾的稳定力矩(kN·m)。

1.3 模型假设

- 1) 基床类型为暗基床和低基床, 波态为立波, 海底坡度 $i \leq 1/200$, 选取风浪的计算波高 $H_{1\%}$ 分别为 2.00、4.00 和 6.00 m, 周期 T 分别为 6.1 和 10.6 s。
- 2) 墙身结构后方回填料为细砂或块石, 墙背与铅垂线的夹角 α 取 0° , 地面与水平面的夹角 β 取 0° , 墙背与填料的摩擦角 $\delta = \varphi/3$ (φ 为填料的内摩擦角)。
- 3) 码头前沿均布荷载取 20.00 和 30.00 kPa, 不考虑墙身结构上方均布荷载的有利作用。
- 4) 不考虑船舶荷载系缆力。
- 5) 不考虑剩余水压力。
- 6) 不考虑冰荷载和地震作用。
- 7) 实心方块码头墙身结构材料密度标准值, 水上为 2.3 t/m^3 , 水下为 1.3 t/m^3 ; 空心方块码头墙身结构材料密度标准值, 水上为 2.0 t/m^3 , 水下

为 1.0 t/m^3 ，其中沉箱码头可参照空心方块码头相关参数；墙后回填材料细砂密度标准值，水上为 1.8 t/m^3 ，水下为 0.9 t/m^3 ，水上内摩擦角 30° ，水下内摩擦角 28° ；块石密度标准值，水上为 1.7 t/m^3 ，水下为 1.0 t/m^3 ，水上、水下内摩擦角均为 45° 。

8) 水位位置分别取 $0.6H$ 、 $0.8H$ 和 H ，相关参数按照设计高水位情况考虑。

9) 不考虑基床承载力和地基承载力对计算结果的影响。

10) 墙身结构不考虑后踵的影响，前趾长度取 1.0 m 。

11) 不考虑护轮坎及附属设施对受力计算的影响。

12) 取结构安全等级为二级，重要性系数 γ_0 取 1.0 ，持续组合作用组合系数 ψ 取 0.7 。

13) 不考虑方块码头分层间的抗滑和抗倾稳定性问题。

2 计算结果分析

2.1 计算流程

结合数学计算软件进行编程设计，依据给出的公式，逐步试算，可快速求得最小宽度^[6]。计算

流程见图 2。

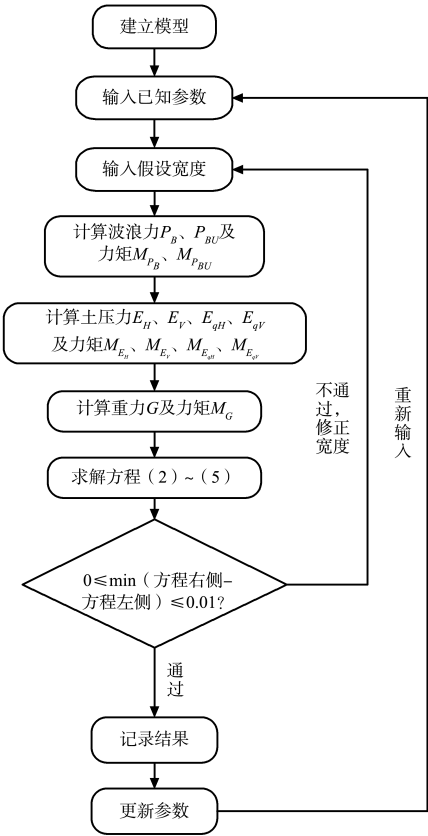


图 2 模型计算流程

2.2 计算结果

计算结果见表 1。

表 1 计算结果

墙后回填材料类型	结构水上密度/ (t · m ⁻³)	结构水下密度/ (t · m ⁻³)	结构高度 H/m	水位	均布荷载 q/kPa	结构最小宽高比例系数 b					
						$H_{1\%} = 2\text{ m},$ $T = 6.1\text{ s}$	$H_{1\%} = 4\text{ m},$ $T = 6.1\text{ s}$	$H_{1\%} = 6\text{ m},$ $T = 6.1\text{ s}$	$H_{1\%} = 2\text{ m},$ $T = 10.6\text{ s}$	$H_{1\%} = 4\text{ m},$ $T = 10.6\text{ s}$	$H_{1\%} = 6\text{ m},$ $T = 10.6\text{ s}$
细砂	2.3	1.3	10	H	20	0.540	0.657	0.712	0.571	0.702	0.767
					30	0.578	0.693	0.746	0.607	0.736	0.798
				0.8H	20	0.504	0.571	0.595	0.519	0.592	0.619
					30	0.536	0.601	0.623	0.550	0.621	0.646
				0.6H	20	0.455	0.483	0.486	0.460	0.489	0.492
					30	0.483	0.509	0.511	0.488	0.515	0.516
			20	H	20	0.427	0.481	0.511	0.444	0.522	0.597
					30	0.441	0.493	0.529	0.457	0.540	0.615
				0.8H	20	0.419	0.450	0.481	0.426	0.483	0.528
					30	0.430	0.467	0.498	0.437	0.499	0.543
				0.6H	20	0.396	0.419	0.435	0.398	0.433	0.454
					30	0.406	0.433	0.449	0.412	0.447	0.468

续表1

墙后回填材料类型	结构水上密度/ (t·m ⁻³)	结构水下密度/ (t·m ⁻³)	结构高度 H/m	水位	均布荷载 q/kPa	结构最小宽高比例系数 <i>b</i>					
						<i>H</i> _{1%} = 2 m, <i>T</i> = 6.1 s	<i>H</i> _{1%} = 4 m, <i>T</i> = 6.1 s	<i>H</i> _{1%} = 6 m, <i>T</i> = 6.1 s	<i>H</i> _{1%} = 2 m, <i>T</i> = 10.6 s	<i>H</i> _{1%} = 4 m, <i>T</i> = 10.6 s	<i>H</i> _{1%} = 6 m, <i>T</i> = 10.6 s
细砂	2.0	1.0	10	<i>H</i>	20	0.692	0.830	0.888	0.725	0.875	0.939
					30	0.740	0.875	0.931	0.771	0.917	0.978
				0.8 <i>H</i>	20	0.622	0.697	0.718	0.637	0.716	0.739
					30	0.661	0.734	0.753	0.675	0.751	0.771
				0.6 <i>H</i>	20	0.546	0.574	0.573	0.551	0.579	0.576
					30	0.580	0.606	0.603	0.584	0.609	0.605
			20	<i>H</i>	20	0.506	0.596	0.656	0.543	0.665	0.755
					30	0.531	0.621	0.681	0.568	0.689	0.778
				0.8 <i>H</i>	20	0.500	0.559	0.596	0.520	0.594	0.645
					30	0.521	0.579	0.616	0.540	0.614	0.664
				0.6 <i>H</i>	20	0.471	0.505	0.523	0.480	0.519	0.542
					30	0.489	0.522	0.540	0.497	0.536	0.558
块石	2.3	1.3	10	<i>H</i>	20	0.403	0.502	0.564	0.420	0.556	0.630
					30	0.414	0.518	0.579	0.430	0.571	0.644
				0.8 <i>H</i>	20	0.330	0.392	0.424	0.338	0.420	0.457
					30	0.341	0.406	0.437	0.349	0.433	0.470
				0.6 <i>H</i>	20	0.271	0.297	0.309	0.273	0.308	0.322
					30	0.283	0.309	0.321	0.285	0.320	0.333
			20	<i>H</i>	20	0.345	0.409	0.444	0.367	0.444	0.491
					30	0.353	0.415	0.450	0.374	0.449	0.496
				0.8 <i>H</i>	20	0.309	0.347	0.367	0.320	0.365	0.391
					30	0.317	0.353	0.373	0.327	0.371	0.396
				0.6 <i>H</i>	20	0.276	0.294	0.303	0.280	0.301	0.311
					30	0.283	0.301	0.309	0.287	0.307	0.317
	2.0	1.0	10	<i>H</i>	20	0.483	0.634	0.703	0.524	0.692	0.772
					30	0.504	0.654	0.722	0.545	0.711	0.789
				0.8 <i>H</i>	20	0.390	0.478	0.512	0.411	0.508	0.546
					30	0.408	0.495	0.528	0.428	0.524	0.561
				0.6 <i>H</i>	20	0.312	0.353	0.364	0.321	0.365	0.377
					30	0.327	0.368	0.378	0.336	0.379	0.390
			20	<i>H</i>	20	0.396	0.468	0.508	0.419	0.505	0.583
					30	0.404	0.475	0.514	0.427	0.511	0.593
				0.8 <i>H</i>	20	0.348	0.389	0.411	0.359	0.408	0.445
					30	0.355	0.396	0.418	0.367	0.414	0.454
				0.6 <i>H</i>	20	0.306	0.325	0.334	0.310	0.332	0.342
					30	0.313	0.332	0.341	0.317	0.338	0.349

2.3 数据分析

1) 实心方块码头墙后回填细砂：墙身高度 10 m 时，最小比例系数 *b* 的样本最小值 0.455，样本最大值 0.798，变化范围 0% ~ 75.38%，样本均值为 0.583，样本方差为 0.094；墙身高度 20 m 时，最小比例系数 *b* 的样本最小值 0.396，样本最大值

0.615，变化范围 0% ~ 55.30%，样本均值为 0.469，样本方差为 0.053。

2) 实心方块码头墙后回填块石：墙身高度 10 m 时，最小比例系数 *b* 的样本最小值 0.271，样本最大值 0.644，变化范围 0% ~ 137.64%，样本均值为 0.407，样本方差为 0.106；墙身高度 20 m 时，

最小比例系数 b 的样本最小值 0.276, 样本最大值 0.496, 变化范围 0% ~ 79.71%, 样本均值为 0.359, 样本方差为 0.061。

3) 空心方块码头墙后回填细砂: 墙身高度 10 m 时, 最小比例系数 b 的样本最小值 0.546, 样本最大值 0.978, 变化范围 0% ~ 79.12%, 样本均值为 0.712, 样本方差为 0.125; 墙身高度 20 m 时, 最小比例系数 b 的样本最小值 0.471, 样本最大值 0.778, 变化范围 0% ~ 65.18%, 样本均值为 0.576, 样本方差为 0.076。

4) 空心方块码头墙后回填块石: 墙身高度 10 m 时, 最小比例系数 b 的样本最小值 0.312, 样本最大值 0.789, 变化范围 0% ~ 152.88%, 样本均值为 0.494, 样本方差为 0.138; 墙身高度 20 m 时, 最小比例系数 b 的样本最小值 0.306, 样本最大值 0.593, 变化范围 0% ~ 93.79%, 样本均值为 0.403, 样本方差为 0.077。

5) 在其他参数相同的条件下, 前趾长度分别为 0.5 m 和 0 m 时, 与取 1.0 m 时计算的最小比例系数 b 比较, 偏差范围分别为 0%~5.72% 和 0.24%~11.84%。

3 结语

1) 采用线性规划模型, 在一定假设条件下编

(上接第 73 页)

3 结语

1) 蝶形布置的码头长度由最外侧 2 个系缆墩的位置决定, 且每个系缆墩的位置都是相互关联的。因此, 码头长度和系缆墩位置是同步分析确定的。

2) 系泊稳定研究是一个多目标决策的过程, 其中 2 个主要参考指标是缆绳受力和船舶运动量。

3) 通常, 油船船体的平直段关于船体中点是非对称的, 且明显偏向船首方向, 这对靠船墩的位置有较大影响。

4) 开展油船靠泊分析时, 应考虑船舶管汇和码头装卸臂的连接, 这决定着船舶和码头的相对位置。

参考文献:

[1] 郝忠毅. 长兴岛 30 万吨油码头平面布置与码头结构方

程计算, 可用于求解重力式方块码头墙身结构最小宽度。

2) 设计人员可依据工程实际情况, 在计算成果表中通过对比关键变量数值, 采用插值等方法快速查询得到重力式方块码头断面尺寸。

参考文献:

- [1] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港工程设计手册(中册)[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [2] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 中交第四航务工程局有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [3] 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.
- [4] 刘芸芸. 重力式码头抗滑、抗倾稳定性的简化可靠指标设计方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [5] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 港口与航道水文规范: JTS 145—2015 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [6] 刘保柱, 苏彦华, 张宏林. MATLAB 7.0 从入门到精通[M]. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2010.

(本文编辑 王璁)

案优化[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.

- [2] 成崇华, 程培军. 宁波港大榭岛 30 万 t 级油码头平面布置[J]. 港工技术, 2009, 46(6): 11-13.
- [3] 覃杰, 杨孟愚, 厉萍, 等. 超大型石化临港工业码头平面布局[J]. 水运工程, 2012(2): 50-54.
- [4] 张智凯, 张涌昊, 苗辉. 多泊位油品码头平面布置要点[J]. 水运工程, 2019(9): 135-139.
- [5] 中交水运规划设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [6] British Standards Institution. Code of practice for design of fendering and mooring systems: BS 6349-4—2014 [S]. London: BSI Standards Limited, 2014.
- [7] OCIMF. Mooring Equipment Guidelines-MEG3[M]. Glasgow: Bell & Bain Ltd., 2008: 26.

(本文编辑 郭雪珍)