



板桩码头板桩墙入土深度计算方法对比

席欢, 徐秀枝, 姚雨萌

(河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 板桩墙的入土深度和内力是否准确关系到整个码头结构的稳定性, 我国实际工程中板桩码头的内力计算以线性方法为主。以镇江中船重件码头为例, 分别用弹性线法、竖向弹性地基梁法以及自由支撑法计算板桩的入土深度。将3种方法的计算结果进行了对比分析, 得出不同方法的适用范围、利弊及改进方法, 为实际工程的设计提供参考和指导。

关键词: 板桩码头; 入土深度; 弹性线法; m 法; 自由支撑法

中图分类号: U 656.1⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)06-0076-08

Comparison of calculation methods for buried depth of sheet-piled wall in sheet-piled wharf

XI Huan, XU Xiu-zhi, YAO Yu-meng

(College of Harbor, Costal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The structural calculation of the sheet-pile wall is an important factor in sheet-pile wharf, which is a major form of wharf structures. The buried depth of the pile and the precision of inner pressure have close relationships with the stability of the wharf structure. Taking Zhenjiang Zhongchuan heavy cargo wharf for example, we use three methods to calculate the buried depth of pile, including the elastic line method, m method and free support method, while the elastic line method is the most frequently used in practice in China. Eventually, the comparison among the results from three methods can sum up the application range, pros and cons, and improvement suggestions for each method, thus provide reference and guidance for the actual engineering and design.

Keywords: sheet-pile wharf; buried depth; elastic line method; m method; free support method

在沿海和内河地区板桩码头被广泛应用, 它具有结构简单、造价便宜、施工简便等优点。板桩墙结构计算是板桩码头的一个重要内容, 它的计算方法按照板桩墙与土的相互作用机理进行分类, 大致可以分为3大类, 即极限地基反力法、弹性地基反力法和复合地基反力法^[1-2]。目前我国实际工程中的板桩码头计算方法以线弹性计算方法为主, 主要包括: 自由支撑法、弹性线法和竖向弹性地基梁法(以 m 法为主)^[3-4]。

彭益达等^[5]、刘文平等^[6]、王元战等^[7]都对板桩码头进行过分析, 得到了许多重要结论。但是, 目前码头日趋大型化, 结构越来越复杂, 板桩码头作为一种重要的码头结构形式, 其板桩墙的受力越来越大, 受力情况也越来越复杂, 这就引起

了计算量和计算难度的增加。关于板桩墙的设计计算尚未有一种统一的公认的计算方法。主要是因为板桩墙受力和变形分析比较复杂, 加之各种影响因素以及计算方法的限制, 使得有些方法难以在工程上得到广泛应用。因此, 分析每种计算方法的适用情况和利弊、选取合适的计算方法, 对于计算过程的合理性和计算结果的准确性有着重要的意义, 并为实际工程的设计提供参考和指导。

1 研究区域

以镇江中船重件码头为例进行研究。拟建码头位于润扬大桥与惠龙港码头之间, 上距已建的惠龙港区一期码头下端点约492 m, 下距润扬大桥约1 000 m。

收稿日期: 2015-12-24

作者简介: 席欢(1990—), 女, 硕士, 从事海岸海洋及近海工程相关基本理论教学工作。

1.1 主要参数选取

该地区的设计高低水位分别为 6.30 m 和 -0.10 m, 极端高低水位分别为 7.02 m 和 -0.58 m, 防洪设计水位取为 7.41 m。

根据各相关规范计算得本码头前沿水深为 6.40~6.80 m。码头前沿设计水深为 4.90 m, 同时码头前沿设计河底高程为 -5.0 m。长江子堤与长江防洪大堤之间的陆域找平至 5.00 m 高程, 道路设计高程 6.0 m。码头面均布荷载取 10 kPa。系缆力标准值按设计船型 3 000 吨级江海船进行计算, 得最大系缆力标准值为 176 kN。剩余水头按

1/3~1/2 平均潮差取用, 取 0.48 m。泊位总长度取为 104 m, 港池宽度取为 30 m。

1.2 工程地质

拟建码头地区场地地面高程相差较大, 地势不平坦, 为较陡的岸坡和长江河床。目前场地高程在 2.00~7.42 m(国家 85 高程), 平均高程 4.50 m 左右, 仅大堤及局部填土部位偏高, 江底坡度约在 35%~45%。依据场地岩土层时代、成因及工程物理学特征的差异, 从上至下将土层分为 7 层, 各层物理学性质见表 1。

表 1 各岩土层主要物理学性质及设计参数

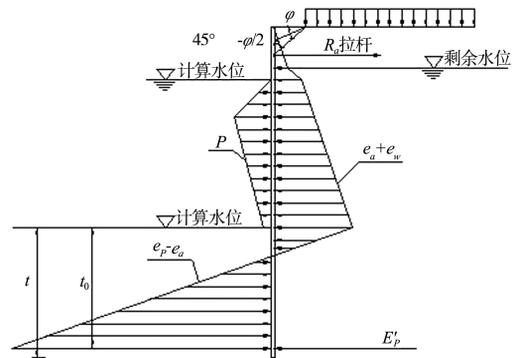
层号	岩土名称	含水量 $\omega/\%$	密度 $\rho/(t/m^3)$	孔隙比 e	塑性指数 I_p	液性指数 I_L	抗剪强度		层厚/m
							C_{qk}/kPa	$\varphi_{qk}/(^\circ)$	
① ₋₁	杂填土	33.2	1.86	0.940	11.65	1.099	15.5	13.1	0.00~6.80
① ₋₃	淤泥质土	40.7	1.88	1.165	12.00	1.783	8.0	4.0	0.00~3.00
② ₋₁	淤泥质粉质黏土夹砂	35.0	1.82	1.001	11.20	1.530	11.4	18.3	0.00~13.30
② ₋₂	淤泥质粉质黏土与粉细砂互层	24.2	1.83	0.963	10.39	1.430	18.8	18.6	0.00~4.60
② ₋₃	淤泥质粉质黏土	40.9	1.80	1.097	11.61	1.580	9.2	13.7	0.00~8.90
② ₋₄	淤泥质粉质黏土夹粉细砂	35.1	1.81	1.003	11.16	1.380	12.7	15.7	0.00~8.20
③	粉质黏土夹砂、砾	25.8	1.99	0.712	12.96	0.530	36.0	17.0	2.70~5.50

2 基于弹性线法的板桩结构计算

这里重点介绍罗迈尔法, 它是弹性线法的一种。罗迈尔法虽然是近似的方法, 但它计算简单, 在一定条件下比较实用。它在计算板桩墙入土深度时是按照板桩墙底部线变位和角变位都等于零的假定来确定的。考虑到板桩墙工作的可靠性, 板桩墙必须满足整体的稳定性, 即板桩墙入土深度必须满足“踢脚”稳定的要求。按弹性线法计算的码头断面见图 1。

2.1 作用效应组合

不同作用效应组合下, 板桩墙所受的荷载不同, 表 2 给出不同作用下的荷载情况。



注: φ 为计算土层土的内摩擦角($^\circ$); R_s 为拉杆拉力(kN/m); P 为波浪力(kN/m²); e_a 为主动土压力强度(kN/m²); e_w 为剩余水压力强度(kN/m²); e_p 为被动土压力强度(kN/m²); E_p' 为前墙底端墙后土抗力(kN/m); t_0 为计算入土深度(m); t 为设计入土深度(m)。

图 1 弹性线法计算码头断面

表 2 作用效应组合

组合	水位	荷载	
		永久作用	可变作用
持久组合 1	设计低水位	土体本身产生的主动土压力+墙后剩余水压力	码头面均载产生的主动土压力+系缆力
持久组合 2	设计高水位	土体本身产生的主动土压力+墙后剩余水压力	码头面均载产生的主动土压力+系缆力
持久组合 3	极端低水位	土体本身产生的主动土压力+墙后剩余水压力	码头面均载产生的主动土压力+系缆力
短暂组合 1	设计低水位	土体本身产生的主动土压力	无
短暂组合 2	设计高水位	土体本身产生的主动土压力	无

2.2 设计低水位下板桩墙桩长计算

计算黏性土的土压力时，剩余水位以下取浮密度，剩余水位与设计高水位间取饱和密度，设计高水位与码头面间取天然密度。计算得出的总的土压力见表3。

表3 土压力计算结果

高程/m	土体产生的主动土压力/kPa	码头面均载产生的主动土压力/kPa	土体产生的被动土压力/kPa
	16.34	5.81	
2.45	41.96		
0.48	73.24	8.45	
-0.46	80.23		
	38.19		
-10.96	80.16	4.71	173.64
	69.72		205.29
-15.56	90.37	4.66	321.34
	126.19		216.37
-19.96	146.18	5.67	285.85
	129.64		330.76
-22.46	140.63	5.23	377.13

剩余水压力 $P_w = 4.8$ kPa，绘制板桩墙上的作用力计算见图2。

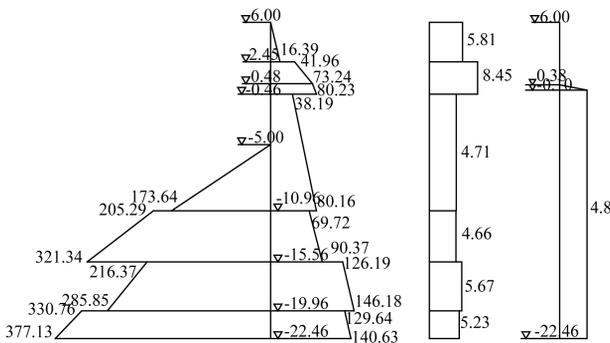


图2 设计低水位板桩墙作用力计算 (高程: m; 作用力: kPa)

板桩墙的内力和稳定计算:

1) 假设板桩桩尖高程为-13.88 m，合计土压力、剩余水压力，并绘制作用力压强见图3。

2) 将作用力分块，分别计算分块面积(即集中力)，面积重心(即力的作用位置)按作图法求得，绘制平行力系见图4。

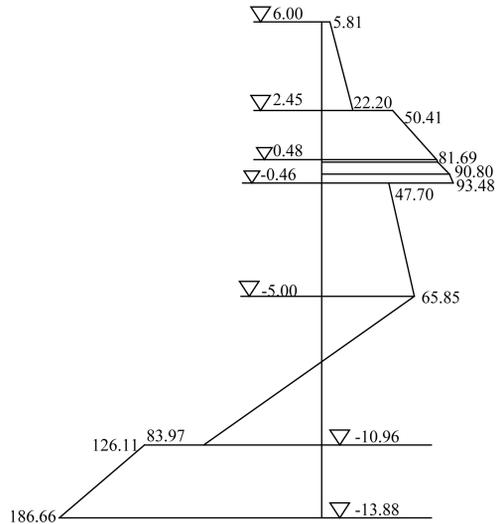


图3 设计低水位作用力压强 (高程: m; 作用力: kPa)

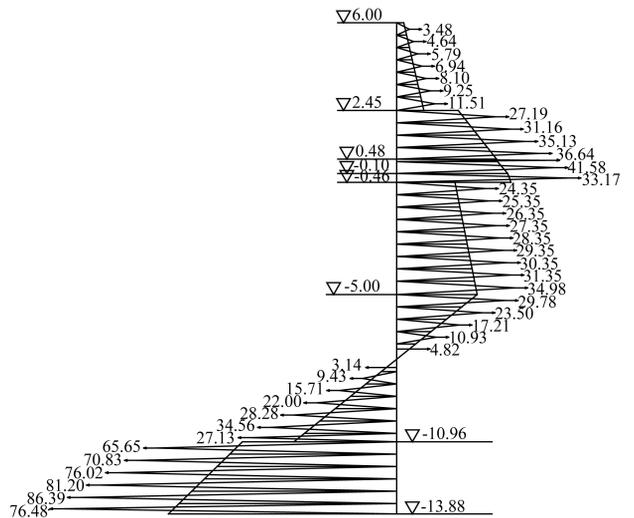


图4 设计低水位平行力系 (高程: m; 作用力: kPa)

3) 绘制力矢图(图5)，取极矩 $\eta = 200$ kN。

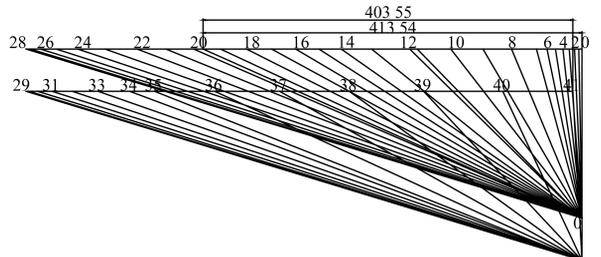


图5 设计低水位作用于板桩墙上力矢 (单位: kN)

4) 根据力矢图，绘制索多边形(图6)。

由力矢图得跨中最大正负弯矩比值为 $y_1/y_2 = 1.12$ ，经计算得板桩入土深度为 9.18 m，经踢脚稳定验算满足踢脚稳定要求。



图 6 设计低水位作用于板桩墙上的力的索多边形 (单位: kN/m)

2.3 设计高水位下板桩墙桩长计算

计算黏性土的土压力时, 由于不考虑剩余水头; 设计高水位以下取浮密度, 设计高水位与码头面间取天然密度。与设计低水位方法类似, 绘制索多边形见图 7。

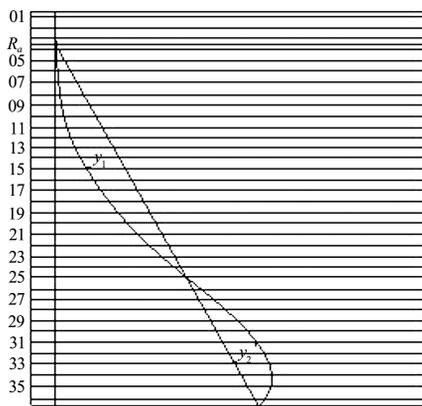


图 7 设计高水位作用于板桩墙上的力的索多边形 (单位: kN/m)

同理得板桩入土深度为 7.41 m, 由于 7.41 m < 9.18 m, 故取板桩入土深度为 9.18 m, 经踢脚稳定验算板桩墙满足踢脚稳定要求。验算表 2 中剩余的组情况, 板桩墙均满足踢脚稳定要求, 所以板桩墙的入土深度为 9.18 m。

通过弹性线法对板桩码头的板桩桩长进行计算分析, 验算了板桩的踢脚稳定性。在试算过程中掌握了一定的规律: 若量得索多边形跨中正负弯矩之比大于 1.15, 则应加大原先假设的板桩入

土深度; 反之, 若量得索多边形中跨中正负弯矩之比小于 1.10, 则应减小原先假设的板桩桩长, 以达到板桩墙满足变形协调的条件。这种方法适用于单锚板桩墙的弹性嵌固状态, 在地基条件比较好的情况下, 计算结果通常还是比较可信的, 这也是前几年工程设计中普遍应用该法的原因, 但是同时这种方法也存在缺陷^[8], 它的锚碇点无位移的假设与事实不符, 同时用手画图也使计算结果误差更大。

3 基于竖向弹性地基梁法的板桩结构的计算

本节采用上海易工工程技术服务有限公司开发的板桩码头 CAD 软件计算。首先假定一个板桩桩长, 利用该软件进行试算调整, 直到板桩码头满足踢脚稳定性和整体稳定性。土顶高程 -5 m, 经过多次试算, 结果如下: 假设板桩桩尖高程 -18.0 m。

3.1 荷载标准值计算

计算工况拟为: 设计高水位(永久作用为主动土压力和被动土压力), 设计低水位和极端低水位(永久作用均为主动土压力、被动土压力和剩余水压力), 可变作用均为堆载。

1) 使用期被动土压力。

使用期设计高水位板桩墙不同高程位置所受被动土压力见图 8。设计低水位和极端低水位受力情况与图 8 相同。

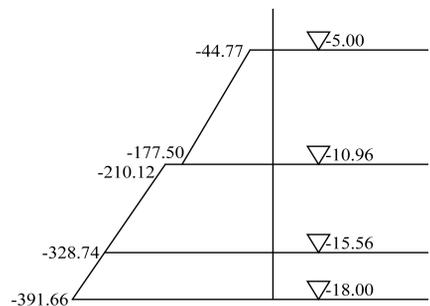


图 8 设计高水位被动土压力 (高程: m; 作用力: kPa)

使用期 3 种计算工况下板桩墙不同高程位置所受被动土压力的水平合力见表 4。

表4 使用期不同工况板桩墙所受被动土压力水平合力

工况	高程 Z_1/m	设计高水位		设计低水位		极端低水位	
		合力中心 Z/m	水平合力 $P/(kN/m)$	合力中心 Z/m	水平合力 $P/(kN/m)$	合力中心 Z/m	水平合力 $P/(kN/m)$
1	-5.00	-8.57	-662.37	-8.57	-662.37	-8.57	-662.37
2	-10.96	-13.43	-1 239.37	-13.43	-1 239.37	-13.43	-1 239.37
3	-15.56	-16.82	-878.88	-16.82	-878.88	-16.82	-878.88

2) 使用期主动土压力。

使用期3种计算工况下板桩墙不同高程位置所受主动土压力见图9。

使用期3种计算工况下板桩墙不同高程位置

所受主动土压力的水平合力见表5。

1) 使用期剩余水压力。

使用期3种计算工况下板桩墙不同高程位置

所受剩余水压力的水平合力见表6。

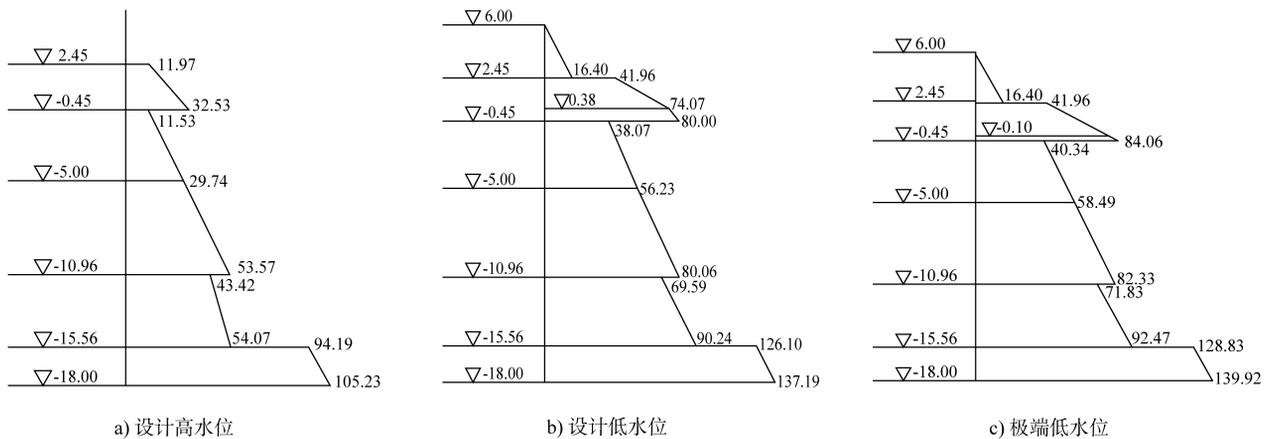


图9 主动土压力 (高程: m; 作用力: kPa)

表5 使用期不同工况板桩墙所受主动土压力水平合力

高程 Z_1/m	设计高水位		设计低水位		极端低水位	
	合力中心 Z/m	水平合力 $P/(kN/m)$	合力中心 Z/m	水平合力 $P/(kN/m)$	合力中心 Z/m	水平合力 $P/(kN/m)$
6.00	0	0	3.63	29.10	3.63	29.10
2.45	0.77	64.75	1.32	120.09	1.04	157.43
-0.46	-3.06	93.80	-0.38	64.71	-0.10	29.80
-5.00	-8.26	248.27	-2.88	214.07	-2.87	224.34
-10.96	-13.41	247.23	-8.15	406.15	-8.15	419.63
-15.56	-16.80	243.36	-13.36	367.61	-13.36	377.89
			-15.56	321.22	-15.56	327.87

表6 使用期不同工况板桩墙所受剩余水压力水平合力

高程 Z_1/m	设计低水位		极端低水位	
	合力中心 Z/m	水平合力 $P/(kN/m)$	合力中心 Z/m	水平合力 $P/(kN/m)$
0.38	0.06	1.15	-0.10	1.15
-0.10	-9.05	85.92	-0.58	83.62

3.2 板桩墙的踢脚稳定验算

踢脚稳定验算见表7, 列举每种组合倾覆力矩最大值对应的工况。

经过验算, 踢脚稳定满足要求。即无论是哪种计算工况板桩入土深度均为13 m。

表 7 使用期踢脚稳定验算

组合类型	工况	倾覆力矩 最大值/(kN·m)	对应抗倾覆 力矩/(kN·m)	是否 稳定
承载力极限状态持久组合	使用期主动土压力(极端低水位)+使用期剩余水压力(极端低水位)	29 377.48	41 271.66	是
承载力极限状态短暂组合	使用期主动土压力(极端低水位)+使用期剩余水压力(极端低水位)	29 377.48	41 271.66	是

采用竖向弹性地基梁法对板桩码头的板桩桩长进行计算分析, 这种方法近几年被工程界普遍应用, 它适用于正常固结的黏性土和一般砂土。它不仅适用于单锚板桩结构的计算, 同时适用于双锚板桩乃至多锚板桩结构的计算, 适用范围十分广泛。且如果桩的泥面位移小于 10 mm, 使用 m 法计算结果比较准确。但是 m 法也存在不足, 除了它的文克勒地基模型的假设与事实不符之外, m 法中 m 值的选取也对计算结果有很大的影响, 而同一土质的 m 值的取值范围很大。所以, 在没有试验资料的情况下很难确定一个板桩计算中的 m 值, 仅仅参考有关规范中 m 的取值, 必然会影响计算结果的准确性。

4 基于自由支撑法的板桩结构计算

自由支撑法在板桩结构设计中应用最早, 同时它也是最简单的一种计算板桩桩长的方法。该方法假定板桩的下端为自由状态(即第一工作状态)。拉杆拉力和板桩墙的弯矩是根据最小入土深度时力和力矩的平衡求得的, 假设这时板桩墙前的土全部进入极限状态, 计算板桩墙弯矩时不需乘以折减系数。板桩墙的桩长的确定是按上述的踢脚稳定计算的。

现以设计低水位 -0.10 m 为例, 用自由支撑法计算板桩墙的桩长。计算由土体、码头面均载产生的土压力强度值, 并且作土压力和剩余水压力计算见图 10。

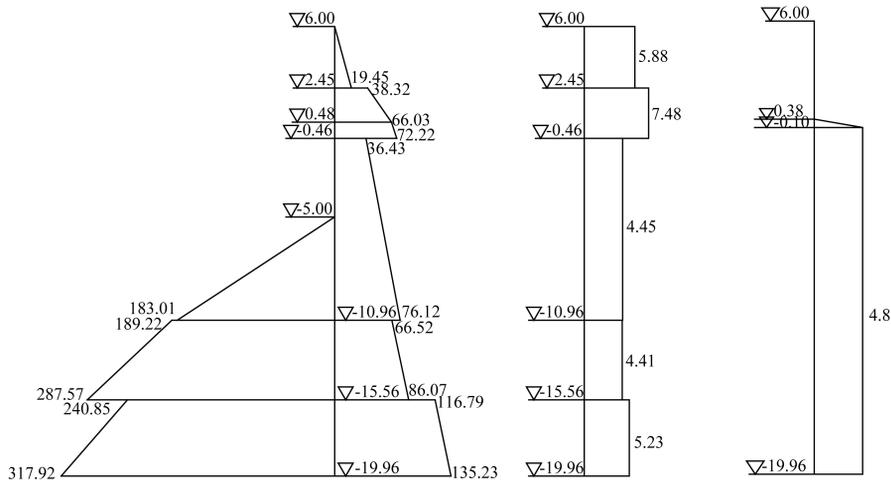


图 10 自由支撑法作用 (高程: m; 作用力: kPa)

初步判断板桩入土深度为 10.56 ~ 14.96 m, 假设桩端距 -15.56 m 的水平面为 x 。若满足踢脚稳定, 利用规范中的公式, 得 x 为 3.359 6 m, 故桩端高程为 -18.92 m, 板桩入土深度为 13.92 m。

同理, 对于设计高水位和极端低水位分别计算板桩入土深度, 结果见表 8。

表 8 板桩入土深度

水位	桩端高程/m	板桩入土深/m
设计低水位	-18.92	13.92
设计高水位	-11.33	6.33
极端低水位	-18.48	13.48

综上所述, 板桩入土深度取 13.92 m。

这种方法将板桩墙假定为一个静定梁，计算简单方便，只需要联立方程即可求解出板桩桩长，但是它假设板桩底端是自由状态的，而且土体的内摩擦角取值都取 15°，这些都与事实不符，所以这种方法仅仅适用于较小型码头的设计与计算。

5 对比分析

本文根据板桩码头板桩墙的受力特性，采用 3 种方法分别计算了镇江中船重件码头的板桩入土深度，其中弹性线法计算的入土深度最浅，仅为 9.18 m，原因可能是本工程的地基不是十分理想，导致计算结果偏小，不够安全；竖向弹性地基梁法计算出的入土深度为 13.0 m。这种方法计算得到的板桩入土深度基本上是合理的，但是在选取 m 值时可能会判断不准确；自由支撑法计算出的入土深度为 13.92 m，这种方法虽然计算出的结果最保守，也与竖向弹性地基梁法计算的结果非常相近，但是它的计算假设不合理，仅仅适用于较小规模码头的计算，只有参考的价值。

5.1 竖向弹性地基梁法与弹性线法比较

由于弹性线法和竖向弹性地基梁法更具有实际应用价值，故重点讨论这两种方法的对比分析。

弹性线法在确定入土深度和内力时采用同一计算图式是合理的，根据模型试验和原型观测的

结果，入土段内的最大负弯矩计算值比实际值大很多，这是由于板桩墙入土段前面的土抗力(被动土压力)不可能沿整个深度都达到极限状态，而且当入土深度达到一定程度后，板桩墙下端被土体完全嵌固，不发生变形，入土深度再增加对板桩墙的内力不发生影响，因此，弹性线法的计算图式并不是完全理想的，它只适用于一定的条件，由于墙后主动土压力及墙前的土抗力都基于极限平衡理论并认为是直线分布的，考虑到板桩墙后土压力 R 重新分布和锚碇点位移对内力的影响，在实际单锚板桩结构设计中，常对计算跨中弯矩和拉杆进行修正以弥补其缺陷，以使设计结果合理反映实际情况。 m 法能考虑板桩刚度和锚碇点位移的影响，如不计锚碇点位移，对算出的拉杆力和板桩跨中最大弯矩也应如弹性线法一样乘以一定的修正系数进行修正调整。此外，后者按极限稳定状态确定入土深度，可定量计算，概念清楚、明确，对地基土质好与坏比较敏感。前者，适于刚度较小的板桩墙，对于大刚度板桩墙不适用。弹性地基梁法，已经有计算系数表和软件程序可用，工作量不比弹性线法大多少。

查阅文献[9]，收集了用弹性线法和 m 法计算的 9 个有代表性的典型单锚板桩结构的计算结果(表 9)，供设计时根据实际情况选用。

表 9 m 法入土深度比较

$\varphi/(^\circ)$	$C/(kN/m^2)$	弹性线法	入土深度/m				
			厚 20 cm	厚 30 cm	厚 40 cm	厚 50 cm	厚 80 cm
			$EI=1.6 \times 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$	$EI=5.4 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$	$EI=1.28 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$	$EI=2.5 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$	$EI=1.024 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$
13	11.0	7.3	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
14	12.0	6.9	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
12	12.0	10.7	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
11	21.0	9.0	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
27	5.0	3.2	3.3	4.2	5.0	5.7	7.6
25	0.0	5.3	4.9	4.9	4.9	5.3	7.0
23	15.0	5.0	3.6	4.2	5.0	5.7	7.6
24	25.0	5.7	3.6	4.2	5.0	5.7	7.6
15	18.0	6.3	6.4	6.4	6.4	6.6	8.7

由表 9 可见，当地基土质较好时，弹性线法的最小入土深度 t_{\min} 大于等于 m 法的 t ，如 8# 码头的弹性线法的 t 达到了厚 50 cm 大刚度钢筋混凝土

板桩 m 法所要求的 t ，比较安全。但当土质条件较差时，弹性线法的计算结果普遍比 m 法小得多，如 3# 码头的地基为较差的软黏土，弹性线法的 t 只

有 m 法的 $2/3$, 不能满足踢脚稳定的要求, 事实也说明了这点, 该工程在建成不到一年后的一次港池挖泥过程中发生破坏, 这是由于当地基土质较差时, 弹性线法算得的入土深度并不能满足该法假定的板桩下端弹性嵌固的前提。可见, 按弹性线法确定的入土深度并不是在任何情况下都是很安全的, 以往工程界普遍认为该法比较安全, 这一说法对地基土质较好的工程是成立的, 且许多情况下还偏于保守。反之, 该法算得的入土深度有可能不够。因此, 建议对建在较好地基上的板桩工程可用弹性线法确定入土深度, 而建在软土地基上的板桩工程按弹性线法确定板桩的入土深度时, 应慎重, 最好适当加长, 使踢脚稳定系数达到 1.4。由表 9 还可看出, 对于土质较好的工程, 当板桩刚度较大时, 由弹性线法算得的 t 也有可能达不到板桩下端弹性嵌固的要求, 建议用 m 法中采用的踢脚稳定和最小入土深度相结合的方法确定入土深度, 尤其是对于厚度 >50 cm 的地下连续墙更应如此, 以满足计算模式的前提假定, 否则会影响计算结果的准确性。

6 结论

1) 用弹性线法计算板桩入土深度结果较其他两种方法偏于危险, 这可能是由于地基土的承载力不足所致, 故单独用这个方法并不保险, 最好用其他方法再做比较或者采用偏于安全的入土深度。

2) 用竖向弹性地基梁法计算板桩入土深度, 计算得到的板桩码头入土深度为 13.0 m, 比较符合实际工程情况, 虽然 m 值的取值有待进一步探讨, 但是这种方法是相对可靠与符合实际情况的。

3) 用自由支撑法计算板桩入土深度, 计算简单, 但是它的有些假设仅是经验之谈而毫无科学依据, 因此这种方法仅供参考, 还需其他方法验证。

参考文献:

- [1] 王浩芬, 李久旺. 板桩 m 法计算的初步验证[J]. 水运工程, 1986(7): 34-37.
- [2] 裴张兵, 王云球. 板桩码头计算方法的分析比较[J]. 水运工程, 1998(11): 6-10.
- [3] 王云秋. 港口水工建筑物(II) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000: 78-83.
- [4] 李晓慧. 板桩码头板桩墙计算方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [5] 彭益达, 赵利平. 港池开挖对遮帘式板桩码头结构影响分析[J]. 中国水运: 下半月, 2014(4): 303-304.
- [6] 刘文平, 郑颖人, 蔡正银, 等. 遮帘式板桩码头结构有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2011, 32(4): 573-577.
- [7] 王元战, 龚晓龙, 李斌. 遮帘式板桩码头的遮帘效果及其影响因素分析[J]. 水道港口, 2014, 35(1): 81-86.
- [8] 王多银. 一种计算板桩墙的数解法[J]. 重庆交通学院学报, 1995, 14(4): 98-104.
- [9] 裴张兵, 王云球. 板桩码头计算方法的分析比较[J]. 水运工程, 1998(11): 6-10.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 71 页)

4 结论

1) 规范中给出的泊位设计通过能力的两个计算公式都可用于通用泊位的计算, 计算结果相差不大;

2) 以规范提供的公式为基础, 人为分解作业天数或泊位利用率, 以及以吞吐量为例因子的计算方法都具有较好的实用性。

参考文献:

- [1] 肖钟熙. 要重视港口通过能力计算方法的研究[J]. 港口

经济, 2012(10): 5-7.

- [2] 刘剑, 王诺, 陈俊虎, 等. 关于集装箱码头年泊位通过能力核定的几个问题[J]. 水运工程, 2008(4): 42-45.
- [3] 范厚明, 董国松, 谈超凤, 等. 中韩集装箱码头泊位通过能力计算方法比较分析[J]. 中国港湾建设, 2009(3): 5-9.
- [4] 杨孟愚. 用海港规范公式计算大型石油码头通过能力存在的缺陷和弥补方向[J]. 港口装卸, 2008(2): 38-40.
- [5] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S].
- [6] JTJ 212—2006 河港工程总体设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)