

# 搅拌桩格栅墙挡土结构 在板桩码头与岸坡连接段的应用

徐春雷

(无锡市水利发展和安全质量管理中心, 江苏 无锡 214000)

**摘要:** 板桩码头端部与岸坡连接段建筑物常规设计中, 易忽略该段挡墙不直接承受船舶荷载的特殊性, 结构型式基本与码头主体结构相近, 造成工程投资的一定浪费。参照高层建筑深基坑支护技术, 经分析、比较, 等截面格栅型水泥土墙体结构布置型式应用于码头与岸坡连接部位, 具有节省工程投资、加快施工进度等优点, 可应用于类似工程。

**关键词:** 板桩码头; 岸坡连接段; 格栅型水泥土墙体; 新型结构

**中图分类号:** U656.1+1   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1006—7973 (2021) 12—0072—03

## 1 工程概况

平原河网地区的内河三级航道, 一般航道水深约为 3.2~3.5m, 最低、最高通航水位之间差值约 2.5m, 考虑码头前沿富裕水深以及码头面超高后, 1000 吨级码头直立岸壁挡土建筑物高度基本在 7~8m 左右。码头平面布置型式方面, 普遍采用前沿利用天然水深顺岸布置型式, 方便船舶靠离码头作业的同时, 也可减少码头对水流和泥沙冲淤变化的影响。码头与堤防衔接部位, 按规范要求, 端部泊位的水域底边线与码头前沿线以  $30^\circ \sim 35^\circ$  顺接<sup>[1]</sup>, 基本布置方式如图 1。



图 1 端部泊位水域底边线与码头前沿布置图

为避免侵占通航水域, 内河码头主体结构一般根据现场地形、地质、施工条件, 以重力式或单锚板桩式型式为主。设计中通过多方案技术、经济比较, 选用较为适宜的结构型式。其中单锚板桩式结构具有结构简单、材料用量较少、避免施工期间土方开挖回填量较小、临水侧无需填筑施工围堰等优点, 在中小型码头中应用较为广泛。

由图 1 可知, 在码头端部, 为便于船舶进出港区并与两侧堤防平顺连接, 一般均需设置必要的直立过渡段。该段挡墙主要承受码头侧土压力、剩余水压力以及码头地面超载, 基本不直接承受船舶系缆力、撞击力等荷载, 挡墙的长度根据水域底边线与码头前沿线夹角及堤防岸坡的稳定性确定。在一般性场地地质条件下, 码头前沿高差 7~8m 时, 为满足整体滑动稳定性要求,

堤防迎水坡坡比基本在 1:3~1:4 之间, 码头端部泊位两侧常需分别设置 30m 长度左右的连接段挡土建筑物。常规工程设计中, 从标准化施工角度出发, 连接段挡土建筑物结构基本与码头主体结构相似, 往往忽略了该段挡墙不直接承受船舶荷载的特殊性, 造成工程投资的一定浪费。特别是对于吞吐量不大, 码头泊位较少的中小型码头, 如前沿仅设置 2 至 3 个泊位情况下, 连接段长度约为码头前沿长度的 20~30%。对该部位挡土结构根据其荷载的特殊性进行认真、细致的分析比选, 可大量节省工程投资。

某工程为一大型商品砼企业专用砂石材料码头, 位于航道北侧, 采用顺岸布置型式, 码头前沿线与航道中心线平行, 泊位长度 120m。根据航道最高、最低通航水位及河道防洪水位以及船舶吃水, 确定码头前沿底高程为 -3.9m, 码头面高程 4.0m。工程位置自上而下土层分别是淤泥质粉质粘土和粉质粘土。

## 2 码头设计

### 2.1 码头前沿结构设计

工程所在地河道非汛期常水位 1.5m, 汛期常水位 2.0~2.5m。考虑到码头前沿水深较大, 航道运量较大, 船只运输频繁等因素, 经技术经济比较, 空箱式砼挡墙、扶壁式砼挡墙、浆砌式重力式等重力式结构存在围堰施打较为困难、维护费用较高、基坑降水困难、综合造价较高等缺点, 设计中最终选用钻孔灌注桩连排套打的单锚板桩式结构<sup>[2]</sup>。结构设计如下: 码头面高程 4.0m, 灌注桩顶高程 1.5m, 灌注桩底高程为 -15.0m, 拉杆中心高程 2.5m, 拉杆直径 70mm, 拉杆间距 1.8m。墙后设置

双排套打水泥土搅拌桩 (D=60cm)，以防止灌注桩间隔之间漏土，影响码头正常运行。码头平面布置及结构剖面详见图 2、图 3。

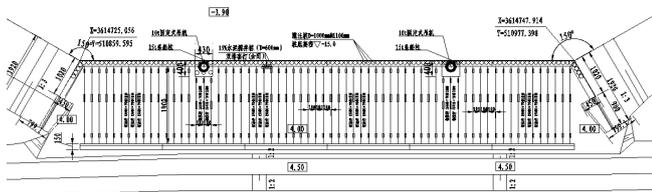


图 2 码头平面布置图

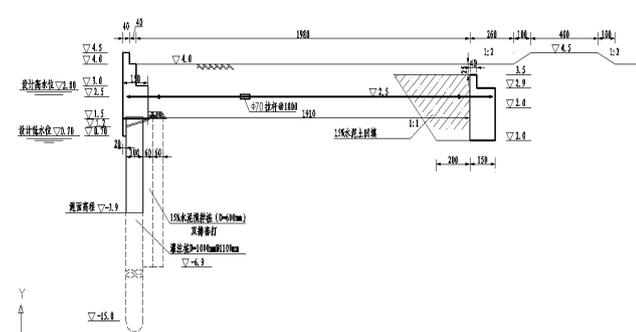


图 3 码头前沿结构剖面图

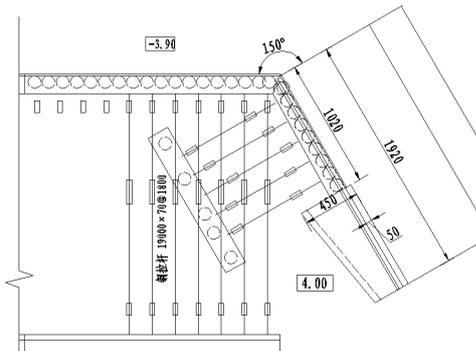


图 4 码头衔接段拉锚结构平面布置图

## 2.2 常规衔接段码头结构设计

本工程受征地范围限制，端部衔接段平面上采用图 4 所示反向布置型式。按常规，临近泊位侧衔接段结构型式与码头主体同，可采用钻孔灌注桩连排套打的单锚板桩结构。为避免该处的拉杆与码头前沿的拉锚结构在平面位置相互交叉，将拉杆高程降低，锚定系统采用锚定桩结构以减少锚定系统开挖量。衔接段后方临近堤防部位挡土高度较小，挡墙采用重力式结构，底板宽度向堤防侧逐渐减小，以节省工程投资。

## 2.3 格栅型水泥土墙体新型衔接段结构设计

按图 4 布置方式，单锚式板桩码头结构稳定性、安全性均能满足规范要求，但该方案存在工程施工较为复杂，施工工序之间限制性因素较多等缺点。鉴于衔接

段墙体主要起挡土作用，并不直接承受船舶荷载，设计中参照高层建筑深基坑支护技术，采用等截面格栅型水泥土墙体断面型式代替常规单锚板桩结构，具体布置如图 5。

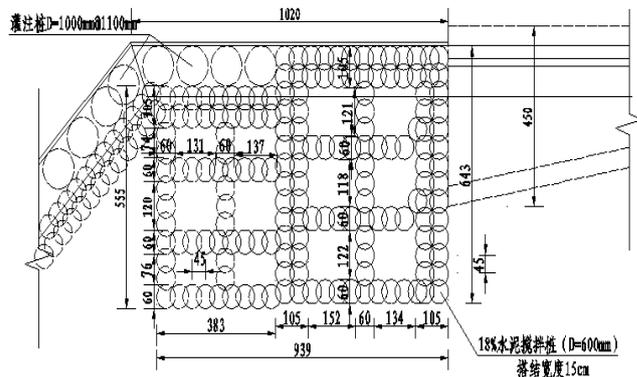


图 5 格栅型水泥土墙体结构平面布置图

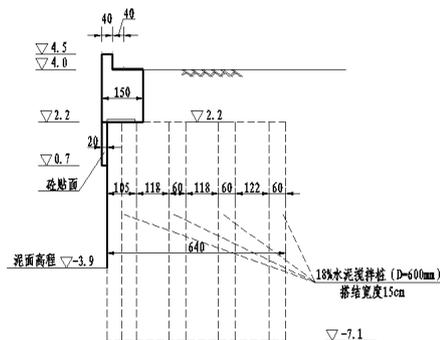


图 6 格栅型水泥土墙体剖面图

## 2.4 格栅型水泥土墙体计算

格栅型水泥土墙<sup>[3]</sup>一般采用深层搅拌桩或旋喷桩构成，主要用于坑深不大于 6m 的软土地层基坑支护工程中。这种支护结构具有隔水与支护的双重作用，相对较为经济。格栅型水泥土墙结构计算主要包括稳定计算以及墙体正截面应力计算等<sup>[4]</sup>。

水泥土墙稳定计算与重力式码头相似，可将墙体看作脱离体，验算结构抗滑稳定及抗倾覆稳定性。同时还应进行深层圆弧滑动稳定性验算；当墙底以下存在软弱下卧土层时，稳定性验算的滑动面中尚应包括由圆弧与软弱土层层面组成的复合滑动面；嵌固深度应满足坑底隆起稳定性要求，墙底面以下有软弱下卧层时，墙底面土的抗隆起稳定性验算的部位也应包括软弱下卧层。

水泥土墙体正截面应力计算包括临土侧墙体边缘拉应力计算、墙体压应力、剪应力等，通过验算正截面应力，可合理确定水泥土墙体厚度及水泥土抗压强度，以上计算可按公式 (1)~(3) 进行。

当边缘应力为拉应力时:

$$\frac{6M_i}{B^2} - \gamma_{cs} z \leq 0.15f_{cs} \quad (1)$$

$$\text{压应力 } \gamma_{cs} \gamma_f \gamma_e z + \frac{6M_i}{B^2} \leq f_{cs} \quad (2)$$

$$\text{剪应力 } \frac{E_{aki} - \mu G_i - E_{nki}}{B} \leq \frac{1}{6} f_e \quad (3)$$

上式(1)~(3)中:  $M_i$ : 水泥土墙验算截面的弯矩设计值(KN.m/m);  $B$ : 验算截面处水泥土墙的宽度(m);  $\gamma_{cs}$ : 水泥土墙的重度(KN/m<sup>3</sup>);  $f_{cs}$ : 水泥土开挖龄期时的轴心抗压强度设计值(kPa);  $\gamma_f$ : 荷载综合分项系数;  $G_i$ : 验算截面上的墙体自重(KN/m);  $U$ : 墙体材料的抗剪断系数,取0.4~0.5

### 2.5 格栅型水泥土墙体在工程中应用

本工程探索性将该结构型式应用于码头连接段部位设计中,基本达到了经济合理、安全的挡土目的。经结构计算,如图6所示,工程中格栅型水泥土墙墙体总厚度取6.4m。水泥搅拌桩墙体水泥掺量为15%,单桩桩径D=60cm,前沿位置采用双排套打,搭接宽度为15cm,前后排格栅桩体中心距约2m。经计算,整个格栅型水泥土墙体水泥土置换率为64%,满足规范一般粘性土及砂土中置换率(即水泥土面积与水泥土挡土结构面积的比例)不宜小于0.6的要求。墙体抗滑位移稳定安全系数 $KS_1=1.41$ ,大于规范1.2的允许值。经采用简单条分法进行圆弧滑动计算,桩底位于粉质粘土 $3_2$ 层,底高程-7.1m时,满足墙体圆弧滑动稳定及嵌固深度不小于0.4倍墙体高度的要求。格栅型水泥土墙墙体临水面胸墙以下,最低通航水位以上设置20cm厚钢筋砼贴面对墙体形成一定保护并美化外观效果。为防止船舶意外碰撞并增强连接段与前沿整体强度,在码头前沿结构连接处约5m范围水泥土墙前设置灌注桩防护。

### 2.6 格栅型水泥土墙体与灌注桩拉锚结构造价比较

按常规采用单排灌注桩拉锚结构型式与格栅式水泥土墙结构型式每延米工程量及造价估算见表1、表2。

表1 灌注桩拉锚结构每延米工程量

项目	单位	数量	单价(元)	总价(元)
D=1000 灌注桩成孔	m	11.4	700	7955
灌注桩 C25 砼	m <sup>3</sup>	8.9	600	5352
灌注桩钢筋	t	0.535	6200	3318
锚碇墙 C25 砼	m <sup>3</sup>	2.9	600	1710
锚碇墙钢筋	m	0.143	6200	884
锚碇墙前 15% 水泥土回填	m <sup>3</sup>	5.0	150	750
15% 水泥搅拌桩	m <sup>3</sup>	7.9	300	2374
胸墙 C25 砼	m <sup>3</sup>	3.6	600	2160
合计	元			24503

表2 水泥土墙结构每延米工程量

项目	单位	数量	单价	总价
胸墙 C25 砼	m <sup>3</sup>	3.6	600	2160
18% 水泥土搅拌桩	m <sup>3</sup>	41	330	13517
C25 砼贴面	m <sup>3</sup>	0.3	1500	450
合计	元			16127

单排灌注桩拉锚结构型式每延米工程造价 2.45 万元,格栅型水泥土墙结构型式每延米工程造价 1.61 万元,每延米工程投资可减少近 35%。

### 3 结语

水泥土墙一般用于坑深 6.0m 以内的软土基坑中,一般较少用于码头结构。码头主体一般选用重力式挡墙或拉锚结构,但对于连接部位,不承受船舶荷载作用,可以考虑根据荷载特点及地质条件,适当采用格栅型水泥土墙这种新型挡土结构,在保证工程运行安全的基础上,节约工程投资、提高施工进度。

参考文献:

- [1] JTJ212-2006《河港码头总体设计规范》[S].
- [2]《板桩式码头设计与施工规范》JTJ167-3-2009[S].
- [3] 黄思光. 变截面格栅型水泥土墙在深基坑工程中的应用[J], 岩土工程界, 2003(12).
- [4] JGJ 120-2012《建筑基坑支护技术规程》[S].

