

双层单锚钢板桩围堰入土深度设计验算

宋 健

上海地江集团有限公司 上海 201114

摘要:大芦线东延伸航道整治工程应急靠船墙施工需在水域中搭设围堰营造干作业环境,结合工程水文地质条件与施工要求,选定单锚双层拉森IV型钢板桩围堰方案。为确定合理的钢板桩入土深度,保障围堰整体稳定性,采用等值梁法,通过加权平均确定土层综合物理力学参数,计算主动、被动土压力系数与反弯点位置,结合合力矩定理求解简支梁段支座反力,再依据悬臂梁模型计算钢板桩理论入土深度并考虑安全系数修正。该计算方法与结果可为淤泥质土层中同类双层钢板桩围堰的设计与施工提供参考。

关键词:双层钢板桩围堰,等值梁法,入土深度,土压力,淤泥质土

引言

钢板桩围堰因结构整体性好、施工便捷、可重复利用等优点,被广泛应用于水运、桥梁、市政等工程的水域施工围护中,其核心设计要点为确定合理的钢板桩入土深度,直接关系到围堰的抗倾覆、抗滑移稳定性及施工安全。大芦线东延伸航道整治工程应急靠船墙位于上海市大治河水域,场区地层以淤泥、淤泥质粉质黏土为主,土体天然重度小、黏聚力低、压缩性大,水文条件受潮汐影响显著,最高潮位达4.50m,围堰施工面临软土地基与潮汐水文的双重考验。

若钢板桩入土深度不足,易引发围堰倾覆、滑移或桩体过大变形等工程事故;入土深度过大则会增加材料与施工成本,造成资源浪费。针对本工程软土水域的工程特点,结合施工成本与作业效率,选定单锚双层钢板桩围堰方案,采用拉森IV型钢板桩。本文依托该工程实际,通过加权平均法整合场区多层软土的物理力学参数,运用等值梁法计算钢板桩反弯点、简支梁段支座反力,结合悬臂梁模型求解钢板桩理论入土深度并考虑安全系数修正,完成钢板桩入土深度的设计验算。为工程施工提供理论依据,同时也为软土地区同类钢板桩围堰的设

计计算积累工程经验。(钢板桩、围堰的内力验算及拉杆的验算属于常规计算,围堰整体抗滑移、抗倾覆的计算在《钢板桩支护技术规程》中有明确公式,故为在本文中进行计算。)

1 工程概况

大芦线东延伸航道整治工程位于上海市浦东新区及临港新片区,是大芦线航道整治二期工程(大治河段)的东延伸航道,西起大芦线二期终点清运河,东至长江口南槽南支航道,工程范围航道总里程约19km。

本标段为大芦线东延伸航道整治工程I标段,建设地点为大治河东闸以东~现有大堤以西,航道里程约3.65km。

本标段里程桩号为:C0+750~C4+400,包含北岸护岸:N0+750~N4+400、南岸护岸:S0+750~S3+056,按照III级航道标准建设。新建应急靠船墙设置在航道南岸,具体位置为桩号S2+202~S3+056,主要施工内容为应急靠船墙。因新建应急靠船墙在现状大治河水域中,应急靠船墙原地面标高1.00,最高潮位4.50,最低潮位1.19。故需要围堰营造干作业环境。应急靠船墙处地勘报告如表1。

表1应急靠船墙地勘报告

层序	土层名称	承载力特征值 fak (kPa)	天然重度 γ kN/m ³	含水率 W %	剪切试验 (固快)		压缩模量
					黏聚力 C(kPa)	摩擦角 $\Phi(^{\circ})$	Es1-2 (MPa)
①3	灰色淤泥	35	16.3	55.8	11	18	2.0
①4	灰色淤泥质粉质黏土	60	17.5	41.8	12	16.5	3.0
②3	灰色砂质粉土	110	18.7	28.1	5	30.5	9.5
②t	灰色淤泥质粉质黏土	65	17.8	39.2	12	16.5	3.3
③	灰色淤泥质粉质黏土	65	17.6	40.4	12	16.5	3.2

其中①3灰色淤泥层厚7.0米，①4灰色淤泥质粉质黏土层厚4.5米，②3灰色砂质粉土层厚5米^[1]。

2 围堰形式初选

根据工程概况选择双层钢板桩围堰，采用拉森IV型钢板桩，钢板桩长度暂按12米考虑。围檩采用双拼[20#槽钢，围檩中心距钢板桩桩顶0.8米，采用φ32精轧螺纹钢，间距为2米。双层钢板桩的宽度暂定为4米。为方便施工节约成本，双层钢板桩填芯土采用河道灰色淤泥土^[2]。双层钢板桩围堰断面图，如图2。

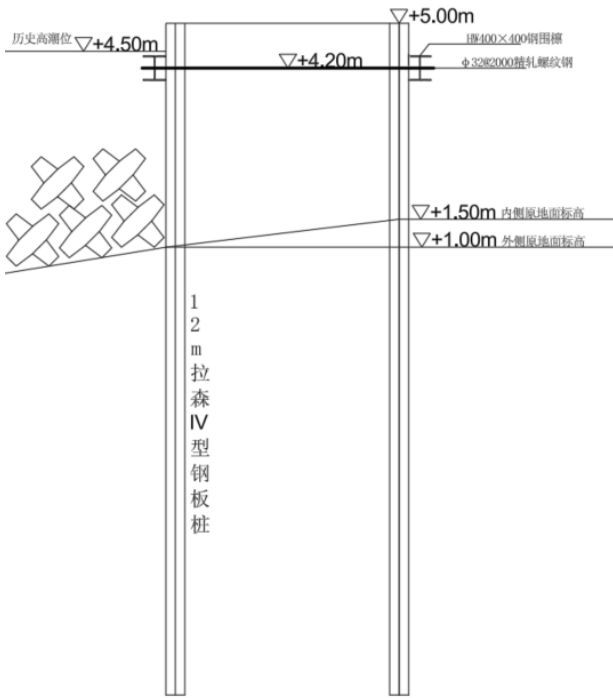


图2 双层钢板桩围堰断面图

3 钢板桩入土深度计算

双层钢板桩最不利工况为填芯后，退潮时的情况（退潮时钢板桩外侧无水压力），此时钢板桩体系主要承受填芯土的主动土压力。

3.1 土的参数计算

为了简化计算采用加权分配将主动土、被动土的容重、内摩擦角、粘聚力分别转化为一种，计算如下：

$$\text{容重} \gamma_p = \frac{\gamma_1 \times h_1 + \gamma_2 \times h_2 + \gamma_3 \times h_3}{12} = \frac{16.3 \times 7 + 17.5 \times 4.5 + 18.7 \times 0.5}{12} = 16.85 \text{KN/m}^3$$

$$\text{粘聚力} C_p = \frac{c_1 \times h_1 + c_2 \times h_2 + c_3 \times h_3}{12} = \frac{11 \times 7 + 12 \times 4.5 + 5 \times 0.5}{12} = 11.13 \text{Kpa}$$

$$\text{内摩擦角} \Phi_p = \frac{\Phi_1 \times h_1 + \Phi_2 \times h_2 + \Phi_3 \times h_3}{12} = \frac{18 \times 7 + 16.5 \times 4.5 + 30.5 \times 0.5}{12} = 17.96^\circ$$

γ_1 、 γ_2 、 γ_3 ——分别为①3灰色淤泥层、①4灰色淤泥

质粉质黏土层、②3灰色砂质粉土层土的容重。

c_1 、 c_2 、 c_3 ——分别为①3灰色淤泥层、①4灰色淤泥质粉质黏土层、②3灰色砂质粉土层土的粘聚力。

Φ_1 、 Φ_2 、 Φ_3 ——分别为①3灰色淤泥层、①4灰色淤泥质粉质黏土层、②3灰色砂质粉土层土的内摩擦角。

$$\text{容重} \gamma_a = \frac{\gamma_0 \times h_0 + \gamma_1 \times h_1 + \gamma_2 \times h_2 + \gamma_3 \times h_3}{12} = \frac{16.3 \times 4 + 16.3 \times 7 + 17.5 \times 4.5 + 18.7 \times 0.5}{12} = 16.71 \text{KN/m}^3$$

$$\text{粘聚力} C_a = \frac{c_0 \times h_0 + c_1 \times h_1 + c_2 \times h_2 + c_3 \times h_3}{12} = \frac{11 \times 4 + 11 \times 7 + 12 \times 4.5 + 5 \times 0.5}{12} = 11.09 \text{Kpa}$$

$$\text{内摩擦角} \Phi_a = \frac{\Phi_0 \times h_0 + \Phi_1 \times h_1 + \Phi_2 \times h_2 + \Phi_3 \times h_3}{12} = \frac{18 \times 4 + 18 \times 7 + 16.5 \times 4.5 + 30.5 \times 0.5}{12} = 17.97^\circ$$

γ_0 ——填芯土的容重。

c_0 ——填芯土的粘聚力。

Φ_0 ——填芯土的内摩擦角。

3.2 土压力系数计算

$$\text{被动土压力系数: } K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\Phi_p}{2}) = 1.89$$

$$\text{主动土压力系数: } K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\Phi_a}{2}) = 0.53$$

3.3 反弯点计算

采用等值梁法计算板桩的选型及入土深度，为简化计算，采用土压力等于零点的位置来代替政府弯矩转折点（反弯点）的位置，计算钢板桩上的土压力的强度，并画出净土压力的分布图，如图3：

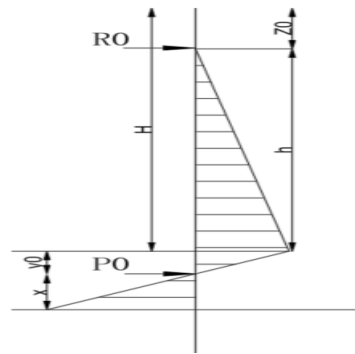


图3 净土压力分布图

首先求出主动土压力零点： $\gamma_a Z_0 K_a - 2c_a \sqrt{K_a} = 0$

代入上述数值可得： $Z_0 = 1.82\text{m}$

反弯点计算： $\gamma_p y_0 K_p + 2c_p \sqrt{K_p} = \gamma_a (H - Z_0 + y_0) K_a - 2c_a \sqrt{K_a}$

代入上述数值可得： $H - Z_0 = h = 3.18\text{m}$ $y_0 = 0.407\text{m}$

(4) 根据等值梁法与合力矩定理计算钢板桩入土深度 根据等值梁法将钢板桩分为简支梁与一端锚固的悬臂梁，根据合力矩定理求出简支梁求出两个反力 R_a 和 P_0 ， R_a 可以近似等于单锚的反力。

根据合力矩定理计算简支梁反力。简支梁的荷载可以看做两个三角形,第一个三角形形心与 R_a 的距离为 $\frac{2h}{3}$,合力为 F_1 ;第二个三角形形心与 R_a 的距离为 $h+\frac{y_0}{3}$,合力为 F_2 。两个三角形的荷载等效合力为 F ,等效形心距 R_a 为 x 。 q_{max} 为最大荷载,距离 R_a 为 h ,距离 P_0 为 y_0 ,可以求出 x :

$$q_{max} = \gamma_a h K_a - 2c_a \sqrt{K_a} = 38.99 \text{ KN/m}^2$$

$$F_1 = \frac{hq_{max}}{2} = 62 \text{ KN} \quad F_2 = \frac{y_0 q_{max}}{2} = 7.93 \text{ KN}$$

$$F = F_1 + F_2 = 69.93 \text{ KN}$$

$$\text{根据合力矩定理: } Fx_0 = F_1 \cdot \frac{2h}{3} + F_2 \left(h + \frac{y_0}{3} \right)$$

可得: $x_0 = 2.26 \text{ m}$

$$\text{根据力矩平衡原理: } F = R_a + P_0 \quad F \cdot x_0 = P_0 h$$

可得: $R_a = 25.87 \text{ KN} \quad P_0 = 44.06 \text{ KN}$

钢板桩入土深度可依据悬臂梁的模型进行计算,悬臂梁自由端有集中力 P_0 ,下部受净被动土压力,集中力和被动土压力对钢板桩底取距,求出理论钢板桩入土深度,乘以一定的安全系数可以求出钢板桩的安全入土深度。

$$P_0 x = \frac{(\gamma_p K_p + 2c_p \sqrt{K_p} - \gamma_a K_a + 2c_a \sqrt{K_a}) \cdot x^2}{2} \cdot \frac{x}{3}$$

可得: $x = 2.02 \text{ m}$

理论入土深度: $t = y_0 + x = 2.427 \text{ m}$

安全入土深度: $T = 1.5t = 3.64 \text{ m}$

钢板桩总长度 $L = 5 + 3.64 = 8.64 \text{ m}$

考虑此围堰整体在淤泥质土中,未避免小概率不安全事件选用12米拉森IV型钢板桩^[3]。

4 结论

本文以大芦线东延伸航道整治工程应急靠船墙施工围堰为研究对象,针对场区淤泥、淤泥质粉质黏土为主

的软土地层及潮汐水文条件,采用单锚双层拉森IV型钢板桩围堰方案,运用等值梁法完成了钢板桩入土深度的设计验算,得出以下主要结论:

4.1 针对场区多层土体的分布特征,采用加权平均法对土层物理力学参数进行整合,该方法简化了多层土体的计算复杂度,计算参数贴合工程实际。

4.2 采用等值梁法将钢板桩拆分为简支梁与悬臂梁两段,结合合力矩定理求解简支梁段支座反力;依据悬臂梁模型计算得出钢板桩理论入土深度,解决了钢板桩围堰计算中较难确定的前期技术数据。

4.3 本工程采用的双层钢板桩围堰填芯土利用河道灰色淤泥土,既节约了外购填料的成本,又实现了现场材料的资源化利用。

等值梁法作为钢板桩围堰入土深度计算的经典方法,在本工程软土水域条件下的应用验证了其合理性与实用性,计算结果可为工程施工提供直接指导。但淤泥质土层具有流变性与固结特性,围堰施工过程中需加强现场监测,实时跟踪钢板桩变形、锚拉体系受力及围堰周边地层沉降情况,若出现异常及时采取加固措施,确保施工安全。本文的计算方法与结果可为长三角地区同类软土水域中双层单锚钢板桩围堰的设计、验算与施工提供参考。

参考文献:

- [1]陈佳伟,陈永辉,王成龙.软土区双层单锚钢板桩围堰入土深度计算与稳定性分析[J].水运工程,2022(08):112-117.
- [2]李泽宇,周健,张宇.基于等值梁法的拉森IV型钢板桩围堰入土深度优化设计[J].施工技术,2023,52(11):89-93.
- [3]刘思远,吴刚,赵阳.潮汐水域淤泥质土层双层钢板桩围堰设计验算与工程应用[J].水利与建筑工程学报,2024,22(03):156-161.