

钢管桩围堰的应用及稳定性分析

骆国强¹, 周韩宝², 于洪亮³, 许正松⁴

(1. 江苏省太湖地区水利工程管理处, 江苏 苏州 215100; 2. 江苏省骆运水利工程管理处, 江苏 宿迁 223800;
3. 江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200; 4. 中水淮河规划设计研究院有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要: 针对淮安枢纽二期扩建工程导航明渠中钢管桩围堰的整体稳定性、抗倾覆稳定性、抗滑移稳定性进行了计算, 得出围堰结构形式稳定安全的结论; 阐述了钢管桩围堰施工工艺、流程、技术难点及应对措施, 对同类围堰工程推广具有较强的借鉴意义。

关键词: 导航明渠; 围堰; 钢管桩; 稳定性; 施工流程

中图分类号: TV551 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839(2025)01-0006-0004

Application and stability analysis of steel pipe pile cofferdam

LUO Guoqiang¹, ZHOU Hanbao², YU Hongliang³, XU Zhengsong⁴

(1. Water Conservancy Engineering Management Office of Taihu Region of Jiangsu Province, Suzhou 215100, China; 2. Luoyun Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China;
3. Jiangdu Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Yangzhou 225200, China;
4. Zhongshui Huaihe River Planning and Design Research Co., Ltd., Hefei 230000, China)

Abstract: Calculations are carried out on the overall stability, anti-overturning stability and anti-sliding stability of the steel pipe pile cofferdams in the navigation open channel of the second-phase expansion project of the Huai'an Junction, and the conclusion that the structural form of the cofferdams is stable and safe is drawn. This paper expounds the construction technology, process, technical difficulties and countermeasures of steel pipe pile cofferdam, which has strong reference significance for the promotion of similar cofferdam projects.

Key words: navigation open channel; cofferdam; steel pipe pile; stability; construction process

水利工程建设一般要进行导流导航及基坑开挖。为了保证基坑和临近工程的稳定、保护主体地下工程施工的安全, 要采取支护措施边坡防护^[1]。一般基坑支护和围堰结构形式主要取决于基坑挖深、场地条件、周边环境等因素, 其中, 围堰结构形式包括土围堰、锁扣钢管桩围堰、钢筋混凝土围堰和钢板桩围堰等^[2-3], 具体结构形式需结合工程实际情况确定。

1 工程概况

大运河立交淮安枢纽二期扩建工程是淮河入海水道二期工程的第二级枢纽, 紧邻一期立交地涵扩建30孔, 设计行洪流量从2 270 m³/s 扩大到7 000 m³/s, 为“上槽下洞”立体结构型式。为保障施工期间京杭大运河航道的正常通行, 在主体工程施工前需开通临时导航明渠, 临时航道按照限制性Ⅱ级标准设

收稿日期: 2024-10-12

作者简介: 骆国强(1976—), 男, 高级工程师, 研究方向为水利工程建设与管理。E-mail: lgq99sz@sina.com

计,航道底宽不小于70 m、通航水深不小于4.0 m、航道弯曲半径不小于540 m^[4]。为确保入海水道二期工程干地施工及临时通航安全,在导航明渠两侧布置围堰,根据初步设计文件及批复,淮安枢纽导航围堰顶高为12.5 m,其中北侧受淮安枢纽二期工程基坑开挖及征地范围限制,在基坑北侧设双排锁扣钢管桩围堰,其他采用土围堰形式。钢管桩围堰钢管直径为800 mm,壁厚为12 mm,钢管桩排距为7 m,顶部设置3道钢拉杆,内部填土并设置土工膜进行防渗,钢管桩底高程-9.5 m,顶高程12.5 m,桩长22.0 m,见图1、图2。围堰基础地层自上而下主要有第四系全新统(Q₄)粉质黏土、灰黄色和棕红色黏土、棕黄色粉土、粉质黏土夹细砂、棕红泥岩及泥质砂岩等。

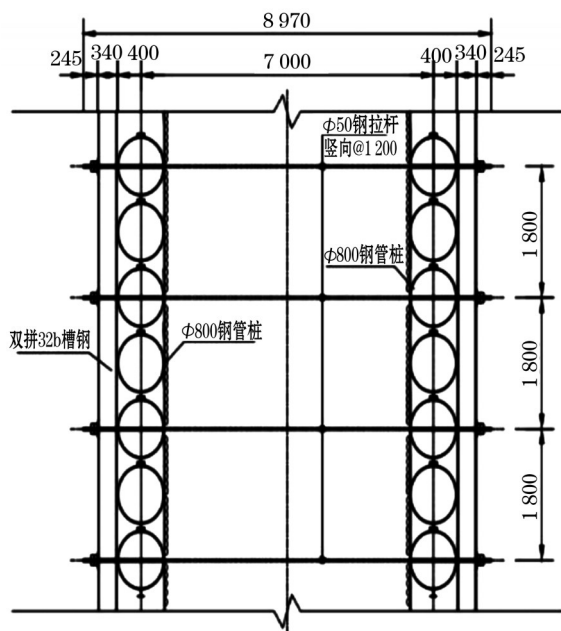


图1 钢管桩结构平面(单位:mm)

2 双排钢管桩围堰稳定性计算

双排钢管桩围堰在基坑稳定和安全通航中起到关键性作用,由于其结构形态与力学性能与双排钢板桩围堰相似,为确保围堰工程安全,参考规范^[5]和资料^[6],对双排钢管桩围堰整体稳定性、抗倾覆稳定性、抗水平滑移稳定性进行计算,得出是否符合设计文件要求的结论。

2.1 整体稳定计算

整体稳定性采用圆弧滑动条分法进行计算,见图3,计算公式如下:

$$\min\{K_1, K_2, \dots, K_i \dots\} \geq K_z \quad (1)$$

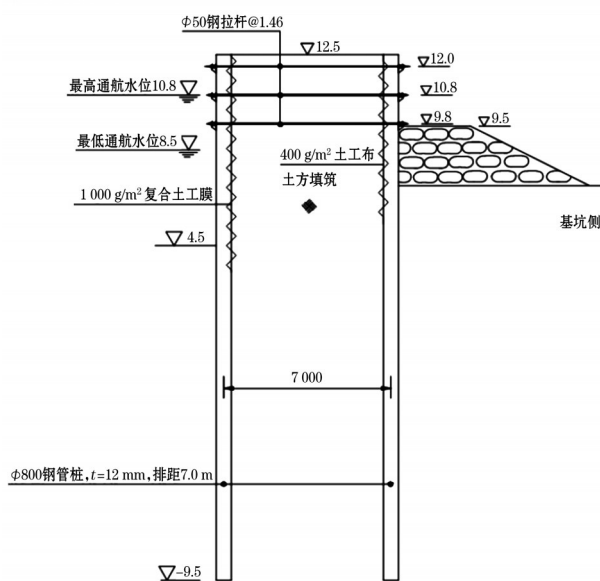
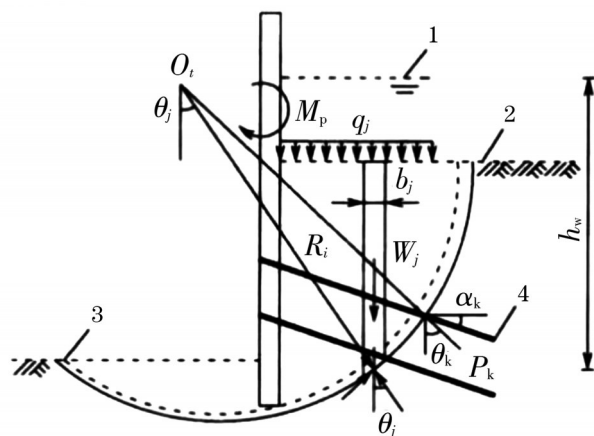


图2 钢管桩围堰断面(单位:mm)



1-计算水位; 2-河床或地面; 3-基坑底; 4-锚杆

图3 围堰结构整体稳定性计算

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_j l_j + \sum_{j=1}^n [(q_j b_j + W_j) \cos \theta_j - u_a l_j] \tan \varphi_j}{\sum_{j=1}^n (q_j b_j + W_j) \sin \theta_j + M_p / R_i} +$$

$$\frac{\sum_{k=1}^m P_k [\cos(\theta_k + \alpha_k) + \Psi_v] / S_{x,k}}{\sum_{j=1}^n (q_j b_j + W_j) \sin \theta_j + M_p / R_i} \quad (2)$$

$$\Psi_v = 0.5 \sin(\theta_k + \alpha_k) \tan \varphi_e \quad (3)$$

$$l_i = b_i / \cos \theta_i \quad (4)$$

式中: K 为整体稳定性安全系数,一、二、三级安全等级围堰分取 1.35、1.3、1.25,本工程围堰安全等级为二级; K_i 为第 i 个圆弧滑动体的抗滑力矩与滑动力矩的比值,抗滑力矩与滑动力矩之比的最小值通过搜索不同圆心及半径的所有潜在滑动圆弧确定; c_i

为第 j 条土条滑动面上土的内黏聚力; l_j 为第 j 条土条沿滑弧面的弧长; n 为划分土条的个数; b_j 为第 j 条土条的宽度; q_j 为第 j 条土条上的附加分布荷载标准值,当水位高于地面时应计入地面以上部分水压力; u_a 为第 j 条土条滑弧面上的水压力,当可不计入渗流作用时,对地下水位以下的碎石土、砂土、粉土,围堰外可取 $u_a=\gamma_w h_w$,对滑弧面在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土,取 $u_a=0$; W_j 为第 j 条土条的自重标准值,按天然重度计算; θ_j 为第 j 条滑弧中点的法线与垂直面的夹角; φ_j 为第 j 条土条滑动面上土的内摩擦角; m 为锚杆层数; θ_k 为滑弧面在第 k 层锚杆处的法线与垂直面的夹角; α_k 为第 k 层锚杆的倾角; P_k 为第 k 层锚杆在滑动面以外的锚固段的极限抗拔承载力标准值与锚杆杆体受拉承载力标准值的较小值; S_{xk} 为第 k 层锚杆的水平间距; Ψ 为计算系数; φ_c 为第 k 层锚杆与滑弧交点处土内摩擦角; M_p 为水压力、波浪力、风力等标准值引起的滑动力矩; R_i 为第 i 个滑动圆弧半径。

经计算,整体稳定安全系数为1.76,满足规范要求的系数大于1.3。

2.2 抗倾覆稳定性计算

双排钢管桩围堰抗倾覆稳定性计算,见图4,计算公式为

$$\frac{E_p h_p + G'R}{h_{id} \sum F_{id} + h_a E_a + h_{w1} F_{w1}} \geq K_s \quad (5)$$

式中: K_s 为抗倾覆稳定安全系数,取1.3; E_a 为钢板桩围堰外主动土压力合力标准值; E_p 为钢板桩围堰内被动土压力合力标准值; G' 为钢管桩围堰及上部其他结构自重与浮力的合力标准值; R 为钢管桩围堰及上部其他结构自重与浮力的合力作用点距前排桩的距离; F_{w1} 为钢管桩围堰受到的静水压力合力标准值; F_{id} 为动水压力、风荷载、波浪力、冰压力、系缆力等可变荷载合力标准值。

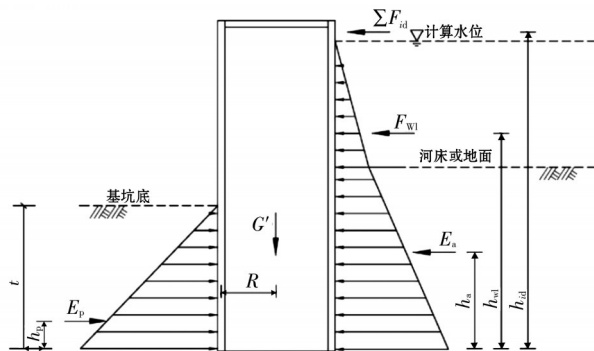


图4 围堰结构抗倾覆稳定性计算

经计算,抗倾覆安全系数为2.78,满足规范要求的系数大于1.3。

2.3 抗滑移稳定性计算

双排钢管桩围堰抗水平滑移计算,见图5,计算公式为

$$\frac{E_p + G' \tan \phi + cB + Q_k}{\sum F_{id} + E_a + F_{w1}} \geq K_h \quad (6)$$

$$Q_k = \tau \cdot A \quad (7)$$

式中: K_h 为抗水平滑移安全系数,取1.2; B 为围堰宽度; Q_k 为计算滑动面上双排钢板桩抗剪强度标准值,当取桩底作为计算滑动面时, Q_k 取0; τ 为钢管桩的抗剪强度标准值; A 为滑动面上钢管桩总截面面积; c 为计算滑动面上土的黏聚力; ϕ 为计算滑动面上土的内摩擦角。

经计算,抗水平滑移安全系数为1.85,满足大于1.2的规范要求。

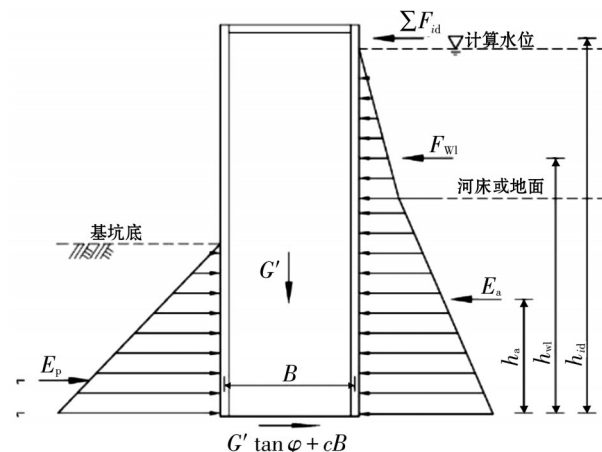


图5 围堰结构抗滑移稳定性计算

3 双排钢管桩围堰施工方法

3.1 施工准备

选用适合的电动打桩振动锤及相关吊运机械,用于钢管桩等施工材料的运输和安装。施工用材料钢管桩、钢板桩、拉杆、双拼槽钢围檩、土工膜等均通过陆路运至施工现场,主要包括钢管桩760根,SP-IV型拉森钢板桩118根,土工膜2720 m²,橡胶护弦1020 m。

3.2 施工流程

3.2.1 定位桩施打

为了精确控制钢管桩打入后的平面位置,设置2层导向框,导向框采用有足够刚度且带有平面的工字钢,导向框水平长度控制在10 m左右,导向框

宽度大于管桩直径2 cm,即每边各放大1 cm,把导框桩与导框焊接牢固。

3.2.2 钢管桩插打

插打前,在阴头钢管内侧及阳头钢管外侧均匀涂抹黄油进行止水。在插打过程中,用一台全站仪及经纬仪进行插打全过程控制,确保钢管桩打入位置准确及垂直度满足设计要求。钢管桩的倾斜率控制在1%以内,当钢管桩垂直度发生倾斜时,可以利用异形桩进行纠正。

3.2.3 围檩及拉杆安装

形成双排管桩后,要及时架设钢围檩,装上对拉杆。拉杆采用直径50 mm的钢拉杆,围檩采用双拼28#工字钢,拉杆间距为180 cm,上下共设置3排钢围檩及拉杆,标高分别为钢管桩下0.5 m、1.7 m、2.9 m处。

3.2.4 围堰填筑

钢管桩和封堵围堰合龙完成并进行钢围檩拉杆加固后,就要进行反滤土工膜铺设,土工膜搭接长度不得小于80 cm,随后选用非黏性土进行围堰内填筑。围堰后袋装土采用人工进行装土,土质选用黏性土,投放袋装量为袋容量1/2~2/3的编织袋,袋口用麻绳或绑扎丝绑扎,并进行平整。人工抛投时根据设计围堰断面尺寸均匀、分层抛填,上下层互相错缝,且堆码整齐。

3.2.5 围堰防护

钢管桩围堰设置5处钢板桩防护,并安装橡胶护舷,钢板桩单根桩长15 m,距离钢管桩1.5 m,防护长度5 m。钢管桩与钢板桩内部抛石填充,抛石选用石质坚硬,无裂缝,遇水不易破碎或水解的石块。

3.3 围堰拆除

钢管桩围堰拆除工序为围堰内戗堤、基坑充水、围堰内土方、橡胶护舷、钢板桩、钢管桩。在拔桩时,先按次序将所有钢管桩均拔高1~2 m,使其松动后,再按照插打钢管桩顺序相反的次序依次拔除,对桩尖打卷及锁口变形的桩,可加大拔桩设备的力度,将相邻的桩一齐拔出,为防止将临近管桩同时拔出,应将钢管桩和加固的支撑围檩逐根解除。

4 钢管桩围堰施工技术难点及应对措施

4.1 长桩施工质量控制

钢管桩单根长度22.0 m,如何确保垂直度及锁口嵌缝严密是施工技术的重点。施工前检查锁口质量,剔除因焊接、运输等原因造成锁口破裂、扭

曲、变形的钢管桩。为保证钢管桩垂直度,施工时采用导向钢管桩,并加强测量工作,发现倾斜及时调整。在施工中如发现垂直度较差,可分批分阶段施打至设计要求深度。

4.2 恶劣地质条件施工质量控制

该施工区域第4~6层土含铁锰结核及砂礞层,第7~8层为粉细砂,土层硬度较高,振动锤施工时易引起粉细砂土层液化。施工时如穿透该土层困难,先用水刀穿透土层引孔再施打钢管桩,减少震动对土层的影响。打桩时必须在桩顶安装桩帽,以免因振动过猛而造成桩头弯卷。

5 结 语

双排钢管桩围堰有效解决了淮安枢纽二期扩建工程导航明渠围堰布置空间受限的问题,结构构造简单、稳定,施工便利。本文结合规范要求^[7]对该双排钢管桩围堰进行了整体稳定性计算、抗倾覆稳定性计算、抗滑移稳定性计算,结果均符合规范要求,围堰方案安全可靠,最后对该双排钢管桩围堰的施工方法、流程和技术难点进行了研究和分析。施工过程中要严格执行设计要求和施工工艺^[8],并按规范要求做好每道工序的检验试验,完工后实时开展稳定性监测,通过监测数据分析,评估防护效果。

参考文献:

- [1] WANG Q, LI C, MA Y, et al. Research on deformation characteristics and design optimization of super-large cofferdam enclosure structure[J]. Buildings, 2023, 13(10): 24-29.
- [2] 姜士竹,冯峰,谭秀志. 板膜围堰在水闸消能工程中的应用[J]. 江苏水利, 2014(11): 16-17.
- [3] 周成洋,袁聪,林立. 钢板桩围堰技术在沿海淤泥质土中的应用[J]. 江苏水利, 2022(3): 19-23.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 内河通航标准:GB 50139—2014[S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
- [5] 中国水利工程协会. 水利水电工程钢板桩围堰技术规范:T/CWEA 12—2020[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2020.
- [6] 仝妍妍,吴昊,吴永军,等. 沿海淤泥土地基中新型双排PC工法桩围堰的应用分析[J]. 江苏水利, 2024(1): 19-21.
- [7] 住房和城乡建设部. 围堰工程技术标准:GB/T 51295—2018[S]. 北京:中国计划出版社, 2018.
- [8] 杨奎,罗志安. 双排钢板桩围堰在堤防工程施工导流中的设计与应用[J]. 人民珠江, 2023(2): 183-187.