

钢板桩围堰技术在沿海淤泥质土中的应用

周成洋,袁 聪,林 立

(江苏省淮沭新河管理处,江苏 淮安 223001)

摘要:结合新沂河海口枢纽南、北深泓闸除险加固工程实例,在工程地处海边淤泥土质较深条件下,采用钢板桩围堰截流施工技术,通过理论计算钢板桩围堰稳定性和可靠性,介绍钢板桩围堰施工工艺,为同类条件工程施工提供参考。

关键词:钢板桩;淤泥质土;围堰技术;技术应用

中图分类号:TV125

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2022)03-0019-0005

Application of steel sheet pile cofferdam technology in coastal muddy soil

ZHOU Chengyang, YUAN Cong, LIN Li

(Jiangsu Huaishuxin River Administration Office, Huai'an 223001, China)

Abstract: Combining with the examples of the risk-removing and reinforcement project of the south and north Shenhong Gates of the Xinyi River seaport junction, under the condition that the project is located at the seaside with deep muddy soil, the steel sheet pile cofferdam interception construction technology is adopted, and the stability and reliability of the steel sheet pile cofferdam are theoretically calculated. This paper introduces the construction technology of steel sheet pile cofferdam, and provides a reference for the construction of similar conditions.

Key words: sheet pile; muddy soil; cofferdam technology; application of technology

1 工程概况

新沂河海口枢纽工程位于新沂河出海口,是沂沭泗流域洪水东调南下工程的重要组成部分,主要包括北深泓闸(设计流量 2 027 m³/s)、中深泓闸(设计流量 3 348 m³/s)、南深泓闸(设计流量 2 425 m³/s)。2018 年 4 月,南、北深泓闸经江苏省水利厅安全鉴定均为三类闸。

2020 年 12 月,江苏省发展改革委员会批复工程初步设计;2021 年 10 月,工程开工建设。北深泓闸下游导流墙拆建及闸墩、堰顶防碳化处理施工时,上游截流措施为安装检修闸门挡水,下游截流措施为在距闸下游约 200 m 处施打钢板桩围堰。该地区由地表向下地质分布渐次进行,依其土质及力学性质特征划分为 7 层,下游围堰大部位于①层灰黄色黏土上,中部位于③层淤泥质重黏土、黏土上,桩底位于⑤层重砂壤土上。

2 围堰设计

施工围堰顶高程取 5.5 m,采用双排钢板桩围堰(截面模量不小于 3 820 cm³/m),宽度为 12 m,钢板桩顶高程 3.6 m,在高程 3.0 m 及 2.5 m 分别设置 2 道 Φ50 mm@100 cm 钢拉杆(HRB400),2 排钢板桩间回填素土,桩底高程-23.4 m,打入⑤层土,3.6~5.5 m 堆设袋装土子堰,围堰顶覆盖彩条布;滩地围堰采用土围堰,顶宽 4 m,边坡 1:3,围堰总长约 400 m,其中钢板桩围堰长度 230 m,两侧滩地围封土围堰长度约 170 m^[1]。

3 总体施工方案选择

由于北深泓闸下游河道与外海相通,受潮汐影响,一天 2 潮,潮涨潮落,且下游河床淤积严重,河底为深厚淤泥土,下游围堰施工难度大,施工期维护困难。为确保下游围堰安全和施工安全,下游河道

收稿日期:2022-01-04

作者简介:周成洋(1967—),男,高级工程师,本科,主要从事水利工程建设与管理工作。Email:1224048637@qq.com

采用双排钢板桩围堰截流方案。

经调研连云港地区同类工程深厚淤泥质地基钢板桩围堰的施工实践,如采取先打钢板桩,后在两排桩内填土,填土高度达7.6 m,其产生的侧向土压力,对嵌固在15 m厚淤土中的钢板桩势必产生挤压变形,在围堰拆除时,很多钢板桩拔不上来,只能截断,造成较大经济损失。为避免不必要的经济损失,拟采取先筑土堤围堰,后施打钢板桩的方案,在稳定的土体中插打钢板桩,钢板桩变形小,回收率高,而且对围堰运行更安全。

根据新沂河下游河口水文资料,多年平均高潮位1.94 m,多年平均低潮位-1.15 m,平均潮差3.11 m。在钢板桩施工前,先进行土堤围堰施工,土堤顶高程2.5 m,顶宽6 m,高程0.0 m以上边坡1:3,高程0.0 m以下边坡1:10,土堤截面积277.75 m²,北深泓闸下游段土堤土方量约6.4万m³。为了减少土方在水下摊铺的范围,在土围堰填筑时,在围堰基面预先铺设土工格栅,增加土体滑动阻力^[2]。

钢板桩围堰施工流程为:施工测量→滩地土围堰施工→北深泓段土堤围堰施工→土堤上下游钢板桩插打→拉杆、围檩安装→钢板桩内围堰填土→袋装土挡水子堰施工→围堰验收→闸塘排水→围堰后戽修整。

4 钢板桩围堰稳定验算

4.1 工程地质及水文

钢板桩围堰位置河底土层为③₁层淤泥质黏性土,直接快剪指标 $\Phi=2.9^\circ$ 、 $C=6.0$ kPa。下卧层为③₂、③₃层淤泥质黏土,桩底位于⑤层重砂壤土上,入土深度约2 m。

施工期水位:内河侧取正常挡水位2.00 m,外海侧10年一遇潮位3.73 m,基坑侧无水,河底高程

为-4.0 m,计算基准面高程取-4.0 m。经计算,下游围堰抗滑稳定及抗渗稳定均满足规范要求,计算成果见表1。

复核计算钢板桩截面模量为2 700 cm³/m,经计算钢板桩桩身最大弯矩为112 kN·m,钢板桩桩顶位移为12 cm,满足设计要求,钢板桩截面模量满足要求。

4.2 围堰复核计算

根据上述施工方案,围堰采用NSP-IVw钢板桩,截面模数不小于2 700 cm³/m,双排钢板桩间距12.0 m,中间填土,钢板桩与填土间铺设土工布(其中外海侧为800 g/m²防渗土工布),钢板桩顶高程3.60 m,钢板桩底高程-23.40 m。桩顶迎水侧上压袋装土覆盖防护,袋装土顶高程5.50 m。钢围檩采用H400 mm×400 mm×11 mm×18 mm型钢。围堰分别在高程3.50 m及2.50 m处设2道直径50 mm HRB400@100 cm钢拉杆;其中上排钢拉杆材质为Q235钢,下排为Q345钢。钢板桩基坑侧先筑土堤顶高程1.00 m,边坡采用1:3至高程0.00 m。

围堰外施工期外海侧10年一遇高潮位为3.73 m,河底高程为-4.00 m,计算填土高程为3.60 m。围堰内素填土考虑挤淤深度1.50 m,即填土底高程-5.50 m,填土采用黏性土,采用指标 $\Phi=15^\circ$ 、 $C=10.0$ kPa。河底土层为③₁层淤泥质黏性土,直接快剪指标 $\Phi=2.9^\circ$ 、 $C=6.0$ kPa。③₂、③₃按地质勘探成果取用,桩底位于⑤层重砂壤土上, $\Phi=23.6^\circ$ 、 $C=5.4$ kPa,钢板桩入⑤层土深度约3 m。

依据《水利水电工程钢板桩围堰技术规范》(T/CWEA 12—2020),钢板桩围堰的安全等级,应根据围堰级别、围堰周边环境、地质复杂程度和围堰深度,按表2确定,本围堰级别为4级水工建筑物,安全等级为二级。

表1 围堰稳定计算成果

围堰位置	外侧水位/m	内侧水位/m	抗滑稳定安全系数K	容许值K	抗倾覆稳定安全系数K	容许值
下游围堰	3.73	-4.00	1.17	1.05	1.51	1.2

表2 钢板桩围堰安全等级划分

安全等级	围堰级别	围堰深度H/m	施工水深h _w /m	围堰深度范围内砂层、淤泥层厚度h _s /m	失事后果
一级	3级	H≥10	h _w ≥8	h _s ≥5	特别严重
二级	4级	5≤H<10	4≤h _w <8	3≤h _s <5	严重
三级	5级	H<5	h _w <4	h _s <3	一般

4.2.1 围堰整体稳定性验算

依据《水利水电工程钢板桩围堰技术规范》(T/CWEA 12—2020)双排钢板桩围堰的整体稳定性可采用瑞典圆弧法计算^[3]。本次设计采用 autobank 程序对钢板桩围堰抗滑进行稳定计算,计算结果见图1。

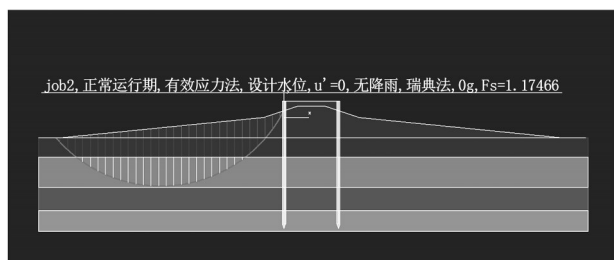


图1 钢板桩围堰圆弧滑动计算结果

经计算,抗滑稳定安全系数为1.17,本钢板桩围堰安全等级为二级,安全系数要求不低于1.05,计算结果满足规范要求。

4.2.2 围堰抗倾覆稳定性验算

依据《水利水电工程钢板桩围堰技术规范》(T/CWEA 12—2020)双排钢板桩围堰的抗倾稳定性计算见式(1),计算简图见图2。

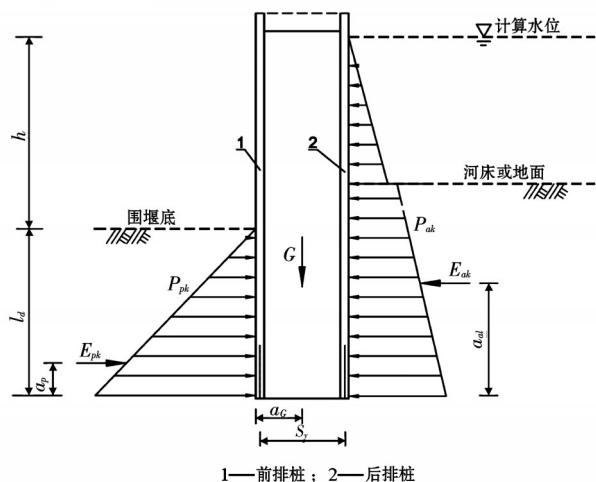


图2 双排、格形钢板桩围堰抗倾覆稳定性验算

$$\frac{E_{pk}a_p + Ga_c}{E_{ak}a_a} \geq K_e \quad (1)$$

式中: K_e 为抗倾覆稳定安全系数,安全等级为一级、二级、三级的钢板桩围堰, K_e 分别不应小于1.25、1.2、1.15; E_{pk} 、 E_{ak} 分别为基坑内、外侧荷载合力的标准值,kN; a_p 、 a_a 分别为基坑内、外侧荷载的合力作用点至挡土构件底端的距离,m; G 为钢板桩、桩间

土的自重之和,kN; a_c 为钢板桩、桩间土的重心至前排桩边缘的水平距离,m。

经计算,抗倾覆稳定安全系数为1.51,本钢板桩围堰安全等级为二级,安全系数要求不低于1.2,计算结果满足规范要求。

4.2.3 钢板桩结构验算

采用 SGR 计算程序计算钢板桩结构,钢板桩内外土压力及水压力大小录入计算程序中,从安全角度考虑,围堰两侧及钢板桩内土压力均按被动土压力计算。

将基坑内土视为具有地基系数随深度成正比增长的弹性变形介质,相应于深度 y 处的基础侧面土的地基系数 $C_y=my$,河底土层为③₁层淤泥质黏土, m 取2 000 kN/m⁴,桩底位于⑤层重砂壤土 m 取10 000 kN/m⁴。计算模型见图3。

复核计算钢板桩截面模量为2 700 cm³/m,经计算钢板桩桩身最大弯矩为112 kN·m,钢板桩桩顶位移为12 cm,满足设计要求,钢板桩截面模量满足要求。钢板桩弯矩计算、位移计算见图4、图5。

围檩选用槽钢32a双拼,经计算,围檩选用槽钢32a双拼可满足要求。

5 钢板桩围堰施工

5.1 先导土堤施工

5.1.1 预留龙口位置

先导土堤长230 m,顶高程2.5 m,填筑土方量约6.4万m³,拟从两侧向河中间填土挤淤推进,龙口预留在河道中部,由于受潮汐的影响,龙口的合拢时间选定在低潮位进行。进场后每天观测记录下游河道水位变化情况及潮汐规律,为围堰合拢提供准确水文资料。

下游围堰轴线在闸下200 m布置,由于北深泓闸检修门已断流,堰内涨潮时涌入水量为143 060 m³,按经验,退潮时间3~4 h,取3.5 h,则平均退水流量为11.35 m³/s。

退潮时,龙口上游水位在不断下降,龙口的过水流量也在不断变化,以高潮位退潮和低潮位退潮2个时间节点分别计算龙口处的过水流量。

设高潮位退水时:河宽200 m,龙口宽度20 m,龙口处河底涌高1.5 m,龙口处上游水位1.94 m,下游水位1.84 m,河底高程-4.0 m,龙口水流为淹没出流,按宽顶堰计算龙口处高潮位最大退水流量。计算公式为

$$Q = \sigma \epsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (2)$$

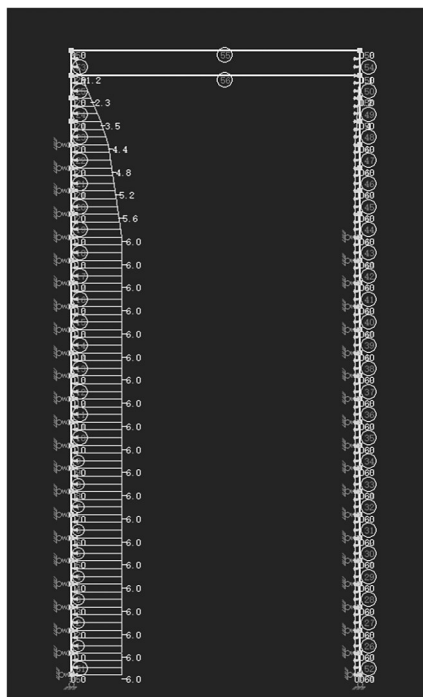


图3 钢板桩围堰计算模型

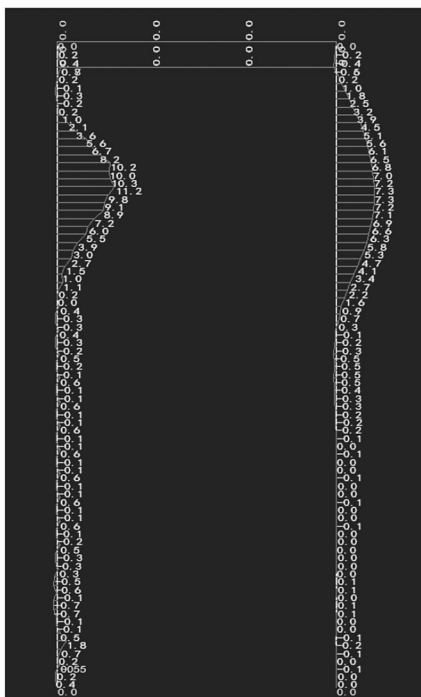


图4 钢板桩弯矩计算结果

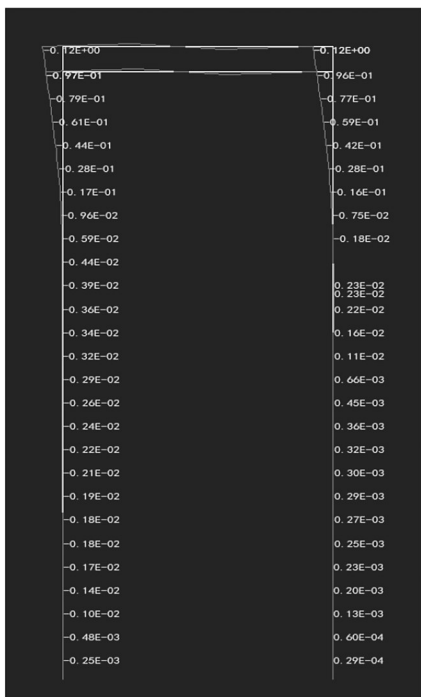


图5 钢板桩围堰位移计算结构

经计算:流量系数 $m=0.3573$;收缩系数 $\varepsilon=0.861$;淹没系数 $\sigma_s=0.4$;龙口处最大退水流量 $Q=102 \text{ m}^3/\text{s}$,不小于平均流量 $11.35 \text{ m}^3/\text{s}$;最大退水流速 $V=1.15 \text{ m/s}$,不大于 3 m/s (不冲流速)。

设低潮位退水时:河宽 150 m ,龙口宽度 20 m ,龙口处河底涌高 1.0 m ,龙口处上游水位 -1.15 m ,下游水位 -1.25 m ,河底高程 -4.0 m ,龙口水流为淹没出流,按宽顶堰计算龙口处低潮位最小退水流量。计算公式同式(2)。

经计算:流量系数 $m=0.348$;收缩系数 $\varepsilon=0.89$;淹没系数 $\sigma_s=0.65$;龙口处最大退水流量 $Q=43 \text{ m}^3/\text{s}$,不小于平均流量 $11.35 \text{ m}^3/\text{s}$ 。退水流速 $V=1.23 \text{ m/s}$,不大于 3 m/s (不冲流速)。

由此可见,先导土堤预留 20 m 龙口,在退潮时龙口处产生的流速不会对下流河床形成冲刷,在低潮位 6 h 内,集中机械,备足土源,一气呵成完成先导土堤的龙口合拢闭气。

5.1.2 土方填筑

(1)围堰填筑施工机械配备。本工程下游先导土堤及滩地围堰土方填筑量约 7.1 万 m^3 ,土方填筑计划安排施工时间为 20 d 。土方施工机械配备:挖掘机 5 台;自卸汽车 13 辆。

(2)筑堤施工。①施工前,确定下游围堰轴线,对滩地段围堰地基清表清杂,并在两岸用标杆及彩旗标明围堰的轴线和堤顶边线;②按理论取土量的

1.2 倍,规划确定取土区的位置和范围,并修筑土方运输的循环车道;③沿围堰轴线,在下游河道内,用水上挖泥船进行河道清淤,清除河道积淤;④从两头向中间推进填筑土堤,先筑滩地段,后筑河道段,最后预留龙口,择时封堵合拢;⑤龙口预留宽度 $20\sim 25 \text{ m}$,龙口裹头采用土工材料防护,底部铺设软体排延伸出土堤边坡线以外 40 m 长,避免合拢时水流淘刷河床。

(3)钢板桩围堰安装完成后,即从一侧向另一侧倒土进占,直至围堰成型。

(4)钢板桩围堰完成后,可进行闸塘内积水抽除,水位下降控制在 0.5 m/d 以内,抽水期间加强围堰沉降、位移观测,并安排专人巡查,做好检查记录。

(5)袋装土子堰施工可以与堰内抽水同期施工,要求 15 d 内完成子堰的施工和外侧坡面的防护。在堰内集水抽排后,进行背水侧后戗台修整。

5.2 钢板桩施工

5.2.1 钢板桩的选用

钢板桩围堰选用拉森 FSP-VI 钢板桩,桩长 27 m ,宽度 50 cm ,共计 920 根。其主要技术参数为: $W=3\,820 \text{ cm}^3$, $g=120 \text{ kg/m}$ 。采用 18 m 与 9 m 型号在现场腹板焊接加工成型。

5.2.2 打桩设备

投入 2 台套陆上钢板桩打桩设备,采用履带式 400 型机械手,配 DZ90 型振动锤打桩,运桩船

1艘,25 t汽车吊1台,电焊机2台、其他配合机械、器具等。

5.2.3 施工过程

打桩首先从一侧岸边施打向前推进,上下游侧采用2台套机械错开安全距离同时进行。沉桩时要严格控制板桩的垂直度,以免桩位偏斜造成脱榫。沉桩的位置和垂直度由定位桩和经纬仪进行控制,沉桩标高通过水准仪控制。

根据定位尺寸,沿钢板桩施打方向先打临时定位桩,每5m布置导向桩一对,在导向桩上焊接槽钢导梁,用经纬仪校验合格后方可开始钢板桩施打。在钢板桩向前施打的同时,导桩和导梁不断向前设置^[4]。

施工过程中安排专人用垂球线分别观察桩的轴线和垂线方向的倾斜情况,若发生倾斜,则通知操作员及时调整振动锤进行纠偏。在施打过程中,质量监督员坚守岗位,随时观察桩的倾斜动态变化,保持桩的垂直度。

形成双排板桩后要及时架设围檩,安装对拉杆,使双排桩形成整体。双排拉杆高程分别为▽2.5 m和▽3.0 m,采用φ50@100钢拉杆,围檩采用32a双拼槽钢。拉锚时应注意围檩槽钢与钢板桩的连接,如果型钢安装后与钢板桩之间出现较大的间隙,为防止围堰变形,应将槽钢与钢板桩之间的间隙全部用槽钢焊接支撑连接,围堰的4个角更应加强。拉杆用螺栓固定在围檩槽钢上,为保证内外钢板桩对拉牢固,防止螺帽滑牙,应采用双螺帽固定,螺帽与围檩之间用铁板并加橡皮垫实,防止拉杆处渗水^[5]。

5.2.4 围堰的安全维护

加强监测。施工围堰填筑完成后,在外河侧设立水尺,并顺围堰方向做好纵向位移观测点。基坑排水及主体工程施工期间,需不断地进行围堰外侧水位观测和堰体变形观测,加强围堰维护,并制订应急抢险措施。

加强维护和保养。定期检查和维护施工围堰,发现透水、松动等及时堵漏、填平、压实;同时制定抢险应急预案,备足防汛、抢险应急机械、材料、器具,发生超标洪水时,根据水位情况对施工围堰进行加宽、加固和加高,确保围堰安全。

5.2.5 围堰的拆除

水下工程通过验收后,向围堰内注水以保持围堰内外水位基本持平后拆除围堰。拆除前,编制方案报经监理审批后实施,先用挖机将围堰钢板桩拉杆以上部位的土方挖出,运至指定地点,然后拆除拉杆、围檩、钢板桩。

围堰水下方拆除前先进行围堰钢板桩拔除。拔桩采用机械手作业,选用DZ90型振动锤,投入2台套拔桩设备,平板车4辆,25 t吊车1台。拔桩前先解除连接,拆除拉杆,直到围堰内锚杆全部拆除完,方可进行拔桩。拔桩施工采用机械手的夹具夹住钢板桩,启动振动锤,借助振动锤的不断震动,减少桩与土之间的摩擦力,将板桩从围堰内拔出,然后由吊车装入平板车转运出场。

围堰拆除时,应注意输水过程中引(灌)水方式,严禁因闸塘输水方式不当而造成建筑物基础的冲刷或淤积现象的发生,围堰拆除结束后,应按设计要求对河道断面进行复测和验收^[6]。

6 结 论

通过具体实例,对在沿海地区淤泥土质环境中钢板桩围堰截流设计与施工的研究,根据稳定性计算和复核成果表明,本工程钢板桩围堰的设计和施工方案是成功的,可供同类工程设计施工参考。

参考文献:

- [1] 江苏省水利勘测设计研究院有限公司.新沂海河口枢纽南北深泓闸除险加固工程初步设计报告[R].扬州:江苏省水利勘测设计研究院有限公司,2020.
- [2] 季永兴,刘水芹,卢永金.上海苏州河河口挡潮闸的问题探讨[J].中国水利,2015(16):34-37,40.
- [3] 叶三元,李薏,万启宣.雁洲水(船)闸工程双排钢板桩围堰设计[J].人民长江,2011,42(1):4.
- [4] 周祥,付继承,彭英海.钢板桩围堰施工工艺[J].水运工程,2015(8):138-140.
- [5] 赵林章,高建初.泰州引江河高港枢纽一线船闸加固工程施工难点及应对措施[J].中国水运(下半月),2018,18(12):137-138,148.
- [6] 丁文圩.拉森钢板桩在承台深基坑支护施工技术[J].北方交通,2016(4):40-45.