

CO锁扣钢管桩贴壁加固方案在堤防维修工程中的应用

胡云

(上海市堤防泵闸建设运行中心,上海市 200080)

摘要:为解决高桩承台贴壁加固的桩基位移控制问题,提升防汛墙的结构安全性与防洪能力,以拦路港(千年银杏树段)防汛墙加固工程为例,创新性地将CO锁扣钢管桩应用于堤防维修加固。该桩型具有截面惯性矩大、截面模量高的特点,结构强度和抗弯性能显著优于传统桩型,能够更好地承担侧向土压力和水流冲击,从而在高桩承台贴壁加固施工中实现对桩身位移的精确控制,确保新旧结构协同受力。实践表明,采用CO锁扣钢管桩后,桩基位移能得到有效抑制,加固后的防汛墙整体稳定性和抗冲刷能力显著提高。为类似河道堤防护岸、挡墙加固工程提供了一种新的设计思路与技术路径,具有较好的推广价值。

关键词: CO锁扣钢管桩;堤防维修;整体稳定性

中图分类号: TV871

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)03-0258-06

CO Lock-type Steel Pipe Pile Wall Reinforcement Scheme Application in Dyke Maintenance Engineering

HU Yun

(Dyke and Sluice Construction and Operation Center of Shanghai, Shanghai 200080, China)

Abstract: In order to address the issue of pile displacement control in the wall-attached reinforcement of high-pile caps and enhance the structural safety and flood prevention capacity of the floodwall, this study takes the reinforcement project of the floodwall at Lanlugang (the section with millennium-old ginkgo trees) as an example, and innovatively applies CO lock-type steel pipe pile to the maintenance and reinforcement of the embankment. This pile type features a large cross-sectional moment of inertia and a high section modulus, providing significantly superior structural strength and bending resistance compared to traditional pile types. It can better withstand lateral earth pressure and water flow impact, thereby achieving precise control over pile displacement during the construction of wall-attached reinforcement for high-pile caps and ensuring coordinated load-bearing between the new and existing structures. Practice has shown that after adopting CO lock-type steel pipe pile, pile displacement is effectively suppressed, and the overall stability and scour resistance of the reinforced floodwall are significantly improved. This provides a new design approach and technical pathway for similar river embankment, revetment, and retaining wall reinforcement projects, demonstrating good potential for broader application.

Keywords: CO lock-type steel pipe pile; the maintenance of the embankment; overall stability

0 引言

堤防维修工程的边界条件通常较为复杂,涉及地质、水文、环境及周边构筑物等多种制约因素。尤其在遇到保护要求较高的岸段——如邻近历史街区、重要交通干线、密集居民区或生态敏感区时,常规维修手段往往难以满足安全、耐久与协调性等多重要求。为此,必须从技术可行性、经济合理性、环

境影响、施工周期及长期维护等多个角度,系统比选和优化加固方案,统筹考虑结构安全、景观协调与生态友好性,从而确保工程能够顺利实施并长效运行。

黄浦江堤防维修历来是上海市防汛保安工作的重点环节,其安全运行直接关系到城市公共安全和经济社会稳定。CO锁扣钢管桩是近年来创新的加固方式,结合拦路港防汛墙加固工程,介绍该技术的应用。

1 工程概况

1.1 工程简介

淀泖地区总面积约1 724 km²,其中1 502 km²属

收稿日期: 2025-12-11

作者简介: 胡云(1981—),女,学士,高级工程师,从事水利水电工作。

江苏省,其余 222 km²属上海市。位于上海市青浦区与松江区交界地带的太湖流域扩大拦路港工程,建于 2000 年前后,是保障淀泖区域及太浦河防洪排涝安全的关键工程。该河道全长 23.5 km,起自淀山湖,依次流经拦路港、东西泖河、泖河、斜塘,最终由三角渡汇入黄浦江。它不仅承担着太湖及淀泖区域的主要排水功能,同时也构成苏申外港线Ⅳ级航道的重要一段。

扩大拦路港工程实施距今已 20 余年,在水流、船型波淘刷等作用下,部分岸段河道墙前泥面淘刷严重,防汛墙也出现不同程度的断裂、倾斜、下沉、墙顶高程低于设防标准等现象,影响了周边的防汛安全。在近些年,根据拦路港不同岸段风险等级情况,轻重缓急分段进行堤防维修加固。其中,拦路港左岸界泾一小斜塘高风险岸段,岸后有棵编号 0006 的千年古银杏树,古树四周现状建有临时保护围墙,围墙距现状防汛墙距离最近处仅约 1.2 m。在上海,千年古银杏资源极其珍贵,全市仅 8 株,编号 0006 古银杏对上海来说具有重大的历史、文化价值^[1],因此在防汛墙维修加固时需尽量减小对古树的影响。

1.2 水文条件

工程堤防专项维修的岸段位于上海市松江区内,工程区域地处中纬度,气候属亚热带南缘,季节分明,日照时间长,气候宜人,雨水充足。松江区多年平均气温为 15.7℃,一月份平均气温 3.5℃,七月份平均气温 27.8℃。该地区历年最大风速为 30 m/s,年平均最大风速 15.7 m/s。多年平均降雨量为 1 094.1 mm,年最大降雨量为 1 366.4 mm,年最小降雨量为 625.6 mm。降雨主要集中在 4—10 月,其中 5—7 月为梅雨季节,台风暴雨大多发生在 8—9 月^[2]。

拦路港位于黄浦江的上游,黄浦江为感潮河流,其水位受长江潮位与河道径流的影响,潮型为非正规半日潮,一个太阴日(24 h 50 min)内出现两次高潮位和两次低潮位^[3]。同时,上游洪水也直接影响本区域河道水位,因此,拦路港水位受气象、潮汐和上游来水的共同影响。工程区域距离夏字圩水文站较近,采用夏字圩站的水文资料。采用五十年一遇高水位设计,百年一遇高水位校核,有关水文站点及相应水位如表 1 所示。

1.3 地质

工程区域构造稳定性较好,但存在抗滑稳定的不利土层:第①₁层填土厚度不一、层面起伏,呈松散状态,河道边坡开挖时易产生坍塌现象,边坡稳定性

表 1 工程区域特征水位(上海吴淞零点) 单位:m		
特征水位	夏字圩	备注
历史最高水位	4.31	
洪水位	$P=3.33\%$	
	$P=2\%$	4.25
	$P=1\%$	4.34
多年平均高潮位	6.4	
多年平均低潮位	8.9	
低水位	$P=3.33\%$	
	$P=2\%$	0.85
	$P=1\%$	
历史最低水位	0.82	

差;第①₂层浜底淤泥,流塑状态,流变性强,该层土工程性质极差,抗滑移稳定性差;第②层粉质黏土,可塑状、中等压缩性,土质尚可,边坡稳定性较好;第③层淤泥质土,流塑状,抗剪强度低,土质强度差,为该堤岸工程极不利的软弱滑动面,边坡稳定性差;第⑥₁层粉质黏土,硬~可塑状,土体抗剪强度大,抗滑移较强,边坡稳定性较好。第⑥₂层砂质粉土,中密,土体抗剪强度大,抗滑移较强,边坡稳定性较好。工程区域地质剖面图如图 1 所示。

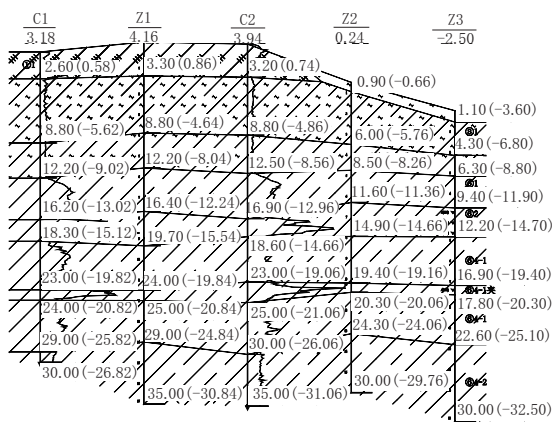


图 1 工程区域地质剖面图(高度单位:m;强度单位:MPa)

1.4 现状防汛墙断面

现状防汛墙顶部为直立式 C25 钢筋混凝土结构,宽 0.3 m,墙顶高程 5.50 m(镇江吴淞);墙身主体结构为 C15 毛石混凝土;底部为 C15 混凝土底板,底板顶高程 2.18 m(镇江吴淞),无桩基基础。工程区域现状防汛墙断面如图 2 所示。

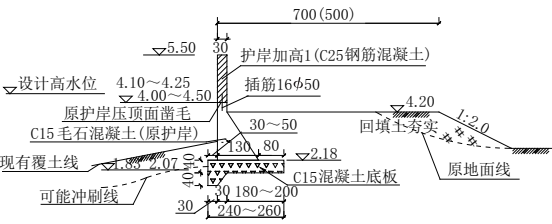


图 2 工程区域现状防汛墙断面(尺寸单位:cm;高度单位:m)

1.5 墙前泥面线

工程区域位于拦路港蜿蜒段的凹岸,墙前普遍冲刷较为严重,现状河底高程大部分已刷深至 -10 m 左右,局部冲刷深度可达 -12 m 。对比2020年4月与2019年4月实测资料(见图3),工程区域整体呈冲刷趋势,冲刷深度多在 $0.3\sim 0.6\text{ m}$,局部冲刷深度可达 1 m 以上^[4]。

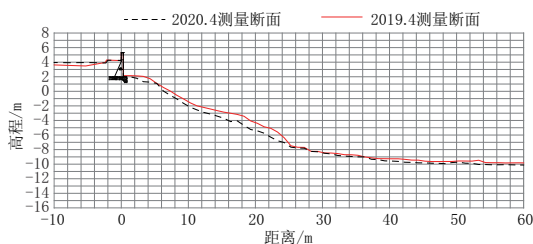


图3 工程区域墙前泥面线实测资料(单位:m)

1.6 工程特点

(1) 现状防汛墙损毁严重

工程沿线分布有较多的货运码头(大部分已经拆除),码头船只停靠、吊装机械的频繁作业给现状防汛墙带来极大的损害。现状防汛墙存在贯穿性裂缝、混凝土剥落、露筋等现象,部分岸段高水位时防汛墙后面积水严重。给两岸的防汛安全带来影响。

船只的螺旋桨还不断淘刷墙前泥面线,引起墙前泥面线变陡变深。

(2) 工程位于河道转弯段,墙前冲刷严重

工程主要河段正好位于拦路港河道转弯凹岸,河床演变受潮流和径流的综合作用,形成弯道环流,呈螺旋状运动,通常表层水流较清、含砂量小,底层浑浊含砂量大,故表层清水流向凹岸,形成凹岸冲刷^[5]。

(3) 工程岸段河道缩窄严重

自工程范围上游至下游河道断面逐渐束窄,河口宽度由上游的 420 m 束窄到 160 m ,河道过水断面面积也缩减到上游的40%左右,河道断面的缩小,必将会加大河道的流速,引起河道的冲刷^[6]。

(4) 墙后有千年银杏古树

墙后为编号0006千年银杏古树保护区域,古树临时保护围墙距现状防汛墙距离最近处仅约 1.2 m ,工程实施需尽量减小对古树的影响。

2 防汛墙加固方案比选

2.1 常规防汛墙加固方案

在历年拦路港防汛墙维修加固中,常见的有以下几种方案。

(1) 前板桩(钢板桩或混凝土板桩)+后方桩(灌注桩)骑跨式高桩承台方案

常规骑跨式高桩承台方案:考虑到赶潮施工要求,底板底高程为 2.8 m ,老墙上部结构拆除至 2.7 m ,上部挡墙采用直立式钢筋混凝土挡墙,墙身厚 400 mm ,墙顶高程 5.24 m 。底板顶高程为 3.30 m ,宽度 $3.89\sim 4.40\text{ m}$,厚度 0.5 m ,下部设置桩基础,前排桩基采用钢板桩,桩位布置采用骑跨式,前排板桩位于老挡墙前,后排桩基位于老挡墙后侧。结构型式如图4所示。

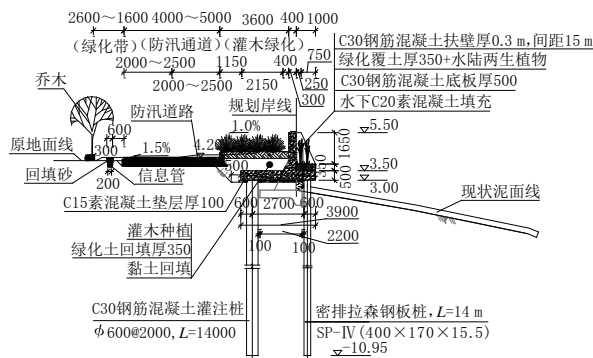


图4 常规骑跨式高桩承台典型断面(尺寸单位:mm;高程单位:m)

(2) 低桩承台贴壁加固方案

“低桩承台贴壁加固”方案指保留原防汛墙结构,在其墙前采用单排灌注桩及钢筋混凝土挡墙进行贴壁加固。“低桩承台贴壁加固”方案典型断面如图5所示。

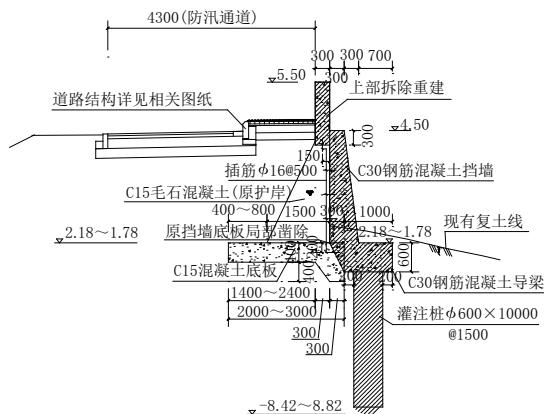


图5 低桩承台贴壁加固典型断面(尺寸单位:mm;高程单位:m)

(3) 高承台贴壁加固方案

“高承台贴壁加固”方案指保留原防汛墙结构,在其墙前采用密排桩基钢筋混凝土墙身进行贴壁加固,在拦路港报国寺段即采用该方案。“高桩承台贴壁加固”方案典型断面如图6所示。

(4) 拆除重建前方桩+后方桩低桩承台方案

拆除老墙和底板,新墙采用L形钢筋混凝土低桩承台结构。新建防汛墙墙身厚 400 mm ,墙顶高程

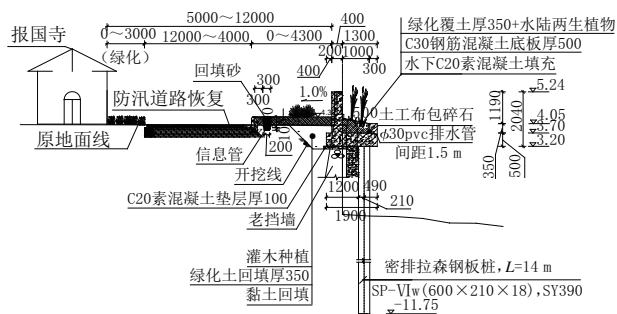


图6 高桩承台贴壁加固典型断面(尺寸单位:mm;高程单位:m)

5.24 m,底板底高程与原底板基本一致,为 1.96 m,厚 500 mm,宽 3.0 m,底板下部设置桩基础。该结构施工期需设置顺河围堰,对现状通航会产生一定影响。结构型式如图 7 所示。

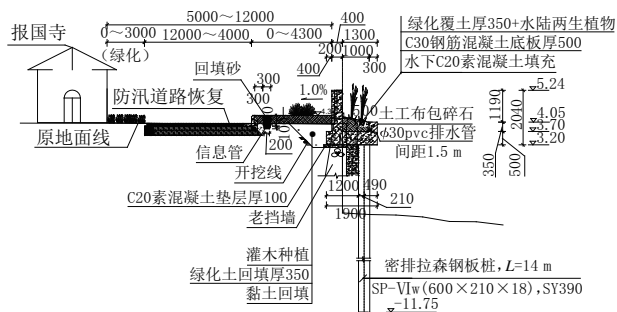


图7 拆除重建低桩承台典型断面(尺寸单位:cm;高程单位:m)

(5)拆除重建前板桩(钢板桩或混凝土板桩)+后方桩(灌注桩)高桩承台方案

拆除老墙和底板,新墙采用L形钢筋混凝土高桩承台结构。新建防汛墙墙身厚400 mm,墙顶高程5.24 m,底板考虑赶潮施工,底高程定为2.80 m,底板厚0.5 m,底板突出前沿0.3 m,底板下部设置桩基础。该结构施工期可赶潮施工,无需设置围堰,对现状通航不影响,但结构拆除、开挖、回填量增加。该方案已在2019年度堤防专项维修中实施,结构型式如图8所示。

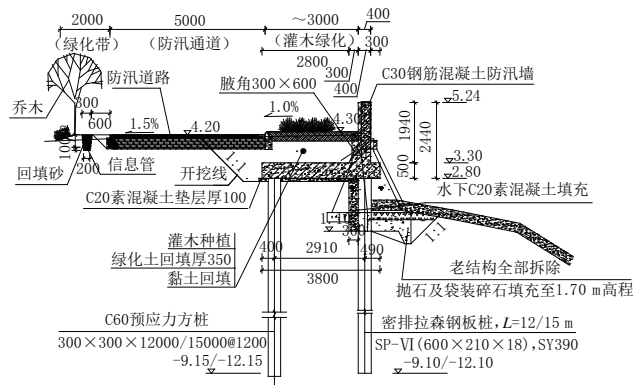


图8 重建L形高桩承台典型断面(尺寸单位:mm;高程单位:m)

2.2 防汛墙结构比选

以上常见的5种防汛墙维修加固方案均能彻底

修复有问题的防汛墙,但根据古树保护单位及古树专家意见,施工期间墙后开挖范围需控制在古树保护围墙以外(老墙后~2 m),方案1、4、5均需较大的开挖面,不能满足古树保护单位要求。方案2、3贴壁加固方案,墙后开挖面均较小,对古树影响最小,但方案2低桩加固方案需修筑顺河围堰,临时工程体量较大,且施工也存在着难度和风险。因此,本工程采用对古树根系影响最小且施工便捷的高桩贴壁加固方案。

2.3 防汛墙贴壁加固桩基比选

贴壁加固需采用桩基型式,常用的密排桩基型式有钢筋混凝土预制板桩、U形混凝土板桩、钢板桩、锁扣钢管桩等,桩型优缺点如下。

钢筋混凝土板桩结构质量可靠性大,施工速度快,成桩质量可靠,造价相对低,是常用的桩基型式^[7]。缺点是施工沉桩振动大,伴有噪声和废气污染,施工产生的挤土效应会对相邻已建结构产生影响^[8]。根据拦路港历年出险案例,发生滑坡险情岸段均为前板桩后方桩桩基方案,均发生在桩基施工过程中。防汛墙施工期发生滑坡主要原因是墙前泥面刷深严重,工程区域土质较差,加上板桩施工时产生的挤土效应扰动现状挡墙,以及施工超载等所致^[9]。本工程大部分防汛墙前冲刷较为严重,且③土层较厚,从安全角度考虑,不推荐板桩方案。

U形混凝土板桩止水可靠性较常规板桩差,造价高^[10]。

钢板桩强度高、密封性好,打桩振动较小,但钢板桩造价相对高,长期处于水中容易生锈,从而会降低其使用寿命,但可通过防腐措施加以解决^[11]。

CO 锁扣钢管桩结构简单、密封性好、使用方便, 不仅具有打桩振动小的优点, 且钢管桩圆形断面的惯性矩、截面模量更大, 对于水中生锈问题同样可以通过防腐措施加以解决^[12]。

本工程中钢筋混凝土板桩、U形混凝土板桩打桩对岸坡、防汛墙、古树扰动大,容易产生不利影响,因此采用对现状扰动小的钢板桩或钢管桩桩基。同时考虑到本工程大部分岸段墙前淘刷严重,部分岸段墙后存在空洞、水土流失,高桩承台结构承受较大的水平土压力、水压力作用,钢板桩对比CO锁扣钢管桩,刚度相对较小,满足不了挡墙前冲刷严重条件下的变形控制要求。故本工程结合CO锁扣钢管桩在深水围堰、深基坑工程中的成功应用^[13],将CO锁扣钢管桩在防汛墙维修加固进行了创新应用,有效控

制贴壁加固的桩基位移。

3 防汛墙加固方案设计

防汛墙维修加固按照现状岸线进行布置,采用高桩承台贴壁加固方案。

考虑赶潮施工,并结合相邻加固断面情况,加固断面挡墙底板底高程定为 2.80 m,老墙 2.70 m 高程以上结构拆除。新建 L 形防汛墙底板长 2.45 m,厚 0.5 m,墙趾悬挑长 1.55 m,墙踵悬挑长 0.5 m;底板与老墙之间设置插件连接。在墙前 3.30 m 高程处设置 300(宽)×350(高) mm 的齿墙,齿墙内填土厚 350 mm,并以 1:10 坡向墙壁,种植植物,起到美化环境的作用。墙后堤顶根据现状情况进行围墙及绿化恢复。

桩基采用 DN630 mm×12 mm“CO 锁扣”密排钢管桩, Q355, 钢管桩间距为 784 mm; CO 锁扣钢管规格分别为 $\phi 168$ mm、壁厚 10 mm, $\phi 140$ mm、壁厚 10 mm; 桩长根据整体稳定和桩基承载力计算确定为 15 m。

为保障钢管桩的长期使用性能,必须加强其防腐设计以提高耐久性。具体的防腐处理方法为:在钢板桩表面采用涂层防护,从桩顶向下 5 000 mm 范围内实施防腐涂装。涂层结构包括:底层涂覆 75 μm 厚富锌漆,中间层依次采用 300 μm 环氧云铁涂料与 350 μm 环氧玻璃鳞片涂料,面层则涂刷 250 μm 厚浆型聚氨酯涂料,总涂层厚度达到 975 μm 。防腐措施设计使用年限 20 年^[14]。

防汛墙维修加固断面如图9所示。

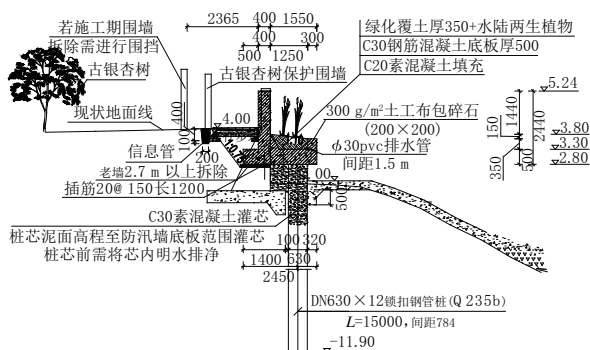


图9 防汛墙维修加固断面(尺寸单位:mm;高程单位:m)

4 CO 锁扣钢管桩施工要求

先用吊车将桩基调至插桩点进行插桩,插桩时锁扣对准,每插入一块即套上桩帽上端加硬木垫,轻轻锤击属下,再正常锤打,打桩注意事项^[15]:

(1) 钢管桩必须采用全新的钢管桩。

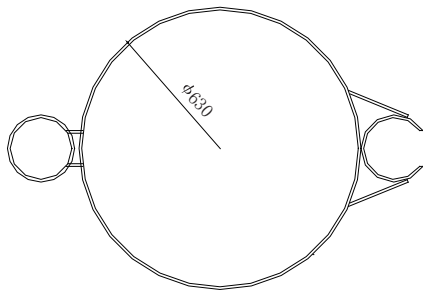


图 10 CO 锁扣钢管桩断面(单位:mm)

(2)钢管桩上部5 m范围内均需进行防腐处理,钢管桩防腐涂装完成并检验合格后,才可施打。

(3)后续桩与先打桩间的钢管桩锁口使用前应通过套锁检查,相邻钢管桩间齿槽应咬合紧密。

(4) 钢管桩垂直度偏差不大于 $1\%L$ (L 为桩长, mm), 桩身弯曲度不大于 $2\%L$, 轴线位置偏差不大于 100 mm, 桩顶标高偏差不大于 100 mm, 桩长偏差不大于 100 mm。

(5)钢管桩进场前需检查整理,在检验过程中如发现质量问题须立即处理,待完成整理后方可安排运输及堆放。操作中应竭力防止产品出现弯曲或变形,并注意避免发生碰撞,特别要确保连锁接口部位完好无损。

(6)为了确保插打位置准确,第一根钢管桩是插打的关键。要确保其准确、垂直。然后以第一根钢管桩为基准,再向旁边插打钢管桩。

(7)第一根桩不要打到需要的标高,应比要求标高高出0.2~0.3 m,预防第二根桩打入时将第一根桩带下,待数根桩完毕后再逐一将前桩送至所需标高。

(8)沉桩前需再次对桩进行检验,沉桩作业必须在成品桩通过最终验收后进行。整个施打过程需严格防止脱榫,万一出现,则需立即通过可靠方法进行修复。

(9)沉桩应力求连续施工,中途不得人为停锤。遇到下列情况之一者应暂停沉桩,及时研究处理:
a. 桩身突然倾斜、跑位;b. 地面明显隆起、桩上浮或桩位水平移动过大;c. 桩身回弹曲线不规则。

(10)沉桩记录应完整,按规范要求整理成表并进行质量评价。

(11)在软土地基中进行钢管桩施工时,若遇到地下障碍物、孤石或发生桩体偏斜等情况,会导致打桩阻力增大,进而可能引起相邻桩体被连带压入土中。针对此类问题,可采取以下处理方式:a.钢管桩不宜一次性打设至设计标高,可预留部分桩身在地表,待所有桩初步就位后,再采用屏风式打桩法将剩

余部分打入;b.采用围檩辅助施工,例如通过型钢围檩对相邻板桩进行固定,以确保各桩顺直、位置准确;c.在桩间连接锁口处涂抹黄油或其他润滑油脂,以降低打桩过程中的摩阻力;d.若钢管桩在施工中被带入土中超过设计标高,应将其拨回至规定位置;若拔桩困难,可在桩顶部位焊接同规格的钢管桩,以补偿桩长不足的部分。

(12)钢管桩的打桩应从一侧连续进行。

5 结 语

对于通航河道且岸后空间受限的情况下,采用高桩承台贴壁加固是比较可行的一种加固方案。针对墙前岸坡淘刷严重、泥面线较低的情况,案例工程创新将CO锁扣钢管桩应用于防汛墙维修加固中,CO锁扣钢管桩截面惯性矩、截面模量更大,截面强度高,很好的解决了高桩承台贴壁加固的桩基位移控制问题,对于后续类似工程问题解决提供了很好的设计思路。

参考文献:

[1] 邹福生.上海古树名木(后续)资源现状调查与分析[D].上海:上海交通大学,2017.
[2] 黄平.暴雨期间松江区青松控制片内水位水量分析[J].珠江水运,

2020(3):33-34.
[3] 李彤.1970—2019年黄浦江特征潮位变化研究[D].上海:华东师范大学,2022.
[4] 田爱平,钱敏浩.苏申外港线(上海段)拦路港堤防护岸安全评价及对策研究[J].交通与港航,2021,8(1):85-89.
[5] 李为,时钟,浦祥,等.长江河口北槽弯道环流的涡度研究[J].海洋与湖沼,2017,48(4):682-694.
[6] 何娟,陈立,周迎军,等.河床边界条件改边对强约束型分汊河道冲刷调整的影响[J].水运工程,2009(5):92-97.
[7] 尹正超.U型钢筋混凝土板桩施工技术在堤防护岸工程中的应用[J].江西建材,2021(6):173;175.
[8] 莫海春,陈勇.U型预应力混凝土板桩在大岗沥整治工程中的应用[J].中国水运,2022,22(22):153-155.
[9] 翟晶.黄浦江防汛墙施工对既有隧道变形影响分析[J].城市道桥与防洪,2025(10):158-161.
[10] 乔和平.河道治理中板桩施工要点探析[J].陕西水利,2019(8):201-202.
[11] 林建宝.基坑开挖钢板桩支护工艺及优化研究[J].建筑机械化,2025,46(11):194-198.
[12] 杭伯安,曹艳梅.浅谈CO锁扣钢管桩的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(2):207-208;214.
[13] 樊成.锁扣钢管桩在水中墩围堰的施工技术[J].建筑技术开发,2018,45(2):31-32.
[14] 张侃,郭舟峰.大口径超长钢管桩长效防腐技术及应用[J].公路,2017,62(6):166-174.
[15] 黄发绥.管桩施工工艺流程及其在施工中应注意事项[J].建材与装饰,2016(16):40-41.

(上接第257页)

计与实践[J].土工基础,2025,39(3):361-365.
[12] 叶凌云.SPSS回归分析法构建灵江临海洪峰水位的预报模型[J].水利规划与设计,2014(5):33-36.
[13] 上海市黄浦江防汛墙保护办法[J].新法规月刊,1996(5):42-45.
[14] 于瑞东,邹丹,闫程晟.基坑工程施工对邻近防汛墙安全影响分

析[J].城市道桥与防洪,2024(10):234-238;259.
[15] 刘向格.黄浦江堤防干流标准断面设计及典型断面桩基造价分析[J].河南水利与南水北调,2024,53(5):68-69.
[16] 梁发云,贾亚杰,丁钰津,等.上海地区软土HSS模型参数的试验研究[J].岩土工程学报,2017,39(2):269-278.