

装配式护岸在上海市某内河航道工程中的应用

曹永勇^{1,2}

[1.上海城投公路投资(集团)有限公司,上海市 200336; 2.上海城投航道建设有限公司,上海市 200441]

摘要:针对装配式护岸在软土地基条件下的内河航道建设中应用较少的问题,进行装配式桩基护岸研究,并结合具体工程案例,提出装配式低桩L形护岸、装配式高桩承台护岸、装配式高桩墩台护岸3种型式,从布置选型、结构分段、构件连接、吊运安装等方面进行系统论述,为装配式护岸在软土地基条件下的内河航道建设中的应用提供思路。

关键词:装配式;低桩承台护岸;高桩承台护岸;高桩墩台护岸

中图分类号:TV334

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)07-0151-04

0 引言

随着现代工业技术的发展,装配式施工技术在工程建设领域,特别是建筑、市政领域,得到了广泛应用。装配式施工技术是指把传统建造方式中的大量现场浇筑混凝土的工作转移到工厂进行,在工厂加工制作好构件,运输至工程施工现场,通过可靠的连接方式在现场装配安装的建造方式^[1]。装配式技术在水运领域特别是内河航道建设中应用较少,目前研究成果主要包括重力式结构和桩基承台结构两种类型。重力式结构采用预制L形挡墙或预制箱体沿护岸前沿线拼接而成,适用于地基承载力较高的场地。桩基承台结构基本为低桩承台结构,上部结构为预制L形挡墙,下部采用桩基础。桩基础以方桩为主,适用于软土地基等地基承载力较小的场地。装配式护岸类型目前仍不够全面,特别是针对软土地基的装配式桩基护岸。文章以装配式护岸在大芦线东延伸航道整治工程中的应用为例,提出装配式低桩L形护岸、装配式高桩承台护岸、装配式高桩墩台护岸3种型式,并从护岸布置、结构分段、桩基连接、构件吊运和安装等方面进行系统论述,为装配式桩基承台护岸在软土地基条件下的内河航道工程中的应用提供思路。

1 工程实例

1.1 工程概况

大芦线东延伸航道起点为清运河,终点为南槽南支航道,全长约19 km,是上海市内河“一环十射”高等级航道之一的大芦线航道东延伸航段。工程主要建设内容包括护岸工程、航运枢纽工程、挡潮闸工程、疏浚工程以及跨航道桥梁工程等,闸内段按Ⅲ级航道通航标准、闸外段按照1 000 t级海轮航道标准建设。工程建成后可通航120TEU集装箱船,将构建上海市集装箱江海直达运输主通道,发挥内河航道建设效益,提升内河集装箱运输经济性,促进上海市内河水运高质量发展。

1.2 工程水文

工程建成后,闸内航段水位将处于人为调控状态,设计最高通航水位为3.20 m,设计最低通航水位为2.00 m,常水位为2.50~2.80 m。

1.3 工程地质

根据勘察成果,勘察深度范围内的地基土均为第四系松散堆积物,按其时代、成因类型、岩性特征及其物理力学指标从上至下分为9个主要岩土层和15个亚层,主要为:①₁杂填土、①₂素填土、①₃灰色淤泥、①₄灰色淤泥质粉质黏土、①₅抛石、②₃灰色砂质粉土、②₄灰色淤泥质粉质黏土、③灰色淤泥质粉质黏土、④灰色淤泥质黏土、⑤₁₋₁灰色黏土、⑤₁₋₂灰色粉质黏土、⑤₃灰色粉质黏土、⑥暗绿色粉质黏土、⑦₁灰黄色砂质粉土、⑦₂灰黄色粉砂、⑦₃灰色粉质黏土。

收稿日期:2024-02-29

作者简介:曹永勇(1987—),男,博士,高级工程师,从事航道、水运和港口工程相关科研、建设管理工作。

装配式低桩 L 形护岸底板坐落于①₁杂填土层,地基承载力不满足要求,因此在底板下部设桩基础,桩基进入⑤₁₋₁灰色黏土层;装配式高桩承台护岸根据上部荷载经结构计算确定桩基础进入⑤₁₋₁灰色黏土层;装配式高桩墩台护岸经结构计算确定桩基础进入⑤₃灰色粉质黏土层。

1.4 工程特点

(1) 工程地质条件差

工程所在区域现状主要为滩涂,一定深度范围内主要为淤泥质土,土体含水率高,地基承载力低,地质条件较为复杂。

(2) 施工条件差且周期紧

护岸实施区域现状为滩涂,需先进行地基处理后再铺设施工便道,以便施工机械设备进场施工。根据建设工期安排,总长约 7.1 km 的护岸需 10 个月完成,考虑到工程区域受长江口风浪及潮汐影响,真正可实施的工期非常紧张。

(3) 工程建设环保要求高

工程作为上海市综合交通“十四五”规划重点项目,对项目设计及施工提出“技术创新、工艺先进”要求,要把对现状环境的噪声、污染等影响降到最低,确保工程建设满足环保高要求。

2 护岸工程方案

2.1 护岸平面布置

2.1.1 布置原则

护岸布置总体原则如下:

(1) 作为长三角地区内河骨干航道网中一个重要航段,必须满足Ⅲ级航道标准和相关规划的要求;

(2) 作为地区骨干通道,必须满足行洪排涝和水利功能要求;

(3) 考虑航道的生态、景观功能,体现水运的节能、生态、环保等优点,实现水资源综合利用的目标;

(4) 护岸结构应满足安全性和耐久性要求,并满足航道内船行要求;

(5) 考虑工程投资,做到经济可行、理念超前。

2.1.2 平面布置

根据现状实际条件,有针对性地对航道两侧护岸进行建设,以保障岸坡稳定和通航安全。综合考虑工程场地地基承载力低、现状场地施工条件差以及降低施工对周边环境的影响等因素,工程采用 3 种装配式护岸结构。

(1) 装配式低桩 L 形护岸:主要布置在现状大治

河东闸上下游航段。该航段受水闸排水影响,冲刷较为严重。航道规划面宽 116 m,相较于其他航段面宽较窄,且沿岸分布居民较多,护岸结构需满足景观性和亲水性。同时,现状破损浆砌块石护坡拆除后块石可作为装配式护岸后方反滤材料,实现资源的重复利用。

(2) 装配式高桩承台护岸:主要布置在航道面宽较宽且现状泥面较高的航段。由于现状以淤泥质土为主,若采用斜坡式护岸按照规范要求坡比 1:8 放坡至设计高程,占用较大的陆地和滩涂面积;若采用低桩承台护岸,过高的挡土高度会导致护岸结构尺寸加大,进而影响工程造价。因此,考虑上述因素,采用装配式高桩承台护岸,不仅可以使陆域控制线内的空间得到充分利用,设置生态水槽提高护岸的生态性,同时也降低护岸挡土高度,进而提高工程经济性。

(3) 装配式高桩墩台护岸:主要布置在现状已为航槽的航段,由于规划蓝线位置的滩面高程较低,现状高程为 -2.0 ~ 0.0 m。为避免后方土方大量回填,减少滩涂使用面积,方便施工,同时给船舶指引航道边界,采用高桩承台护岸结构。

2.2 护岸结构型式

(1) 装配式低桩 L 形护岸

护岸前沿线顶标高为 3.30 m, 预制 L 形胸墙宽 0.40 m, 采用造型模板浇筑面的处理方式,美化钢筋混凝土外表面,从立面视觉上体现一种整体的和谐美。预制钢筋混凝土基础底板厚 0.50 m, 宽 3.55 m, 底板下部设置桩基础。桩基采用双排预制预应力钢筋混凝土方桩, 桩基截面尺寸为 350 mm × 350 mm, 并对前排桩基进行加密,一方面提高竖向承载力,另一方面也可满足结构的水平抗滑移需求。考虑 L 形护岸安装时的便利性, 底板根据桩位布置预留尺寸为 550 mm × 550 mm 的桩位孔。装配式低桩 L 型护岸示意图如图 1 所示。

(2) 装配式高桩承台护岸

护岸前沿线挡墙顶标高为 2.90 m, 预制 L 形胸墙宽 0.40 m, 临水面采用造型模板浇筑面,对钢筋混凝土外表面进行美化。挡墙后波浪形放置景观叠石, 标高控制在 3.00~3.30 m。随着水位变动,营造一种若隐若现的景观效果, 同时亦作为警示设施, 提醒过往船舶,保障通航安全。墙后设有生态水槽,为生物群提供一个稳定的栖息地, 维护航道生态系统的健康。

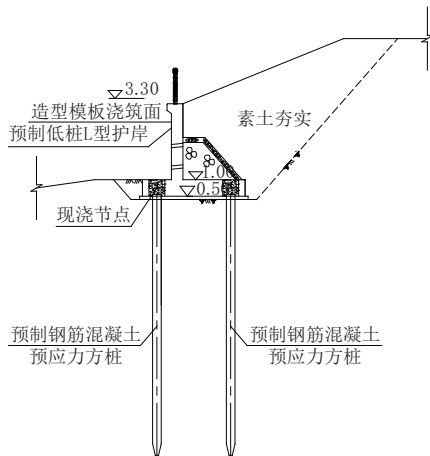


图1 预制低桩L形护岸示意图

预制钢混混凝土基础底板厚 0.50 m, 宽 3.20 m, 下部设两排桩基础, 前排桩基采用钢板桩, 后排桩基采用预制预应力钢筋混凝土方桩, 方桩截面尺寸为 400 mm × 400 mm。考虑桩基与预制挡墙的连接便利, 根据桩位布置在底板前排设置宽度为 800 mm 的后浇带, 后排设置尺寸为 500 mm × 500 mm 的桩位孔。挡墙和底板整体预制, 两者之间采用短梁连接, 确保后期不会因为不均匀沉降对结构产生不利影响。装配式高桩承台护岸示意图如图 2 所示。

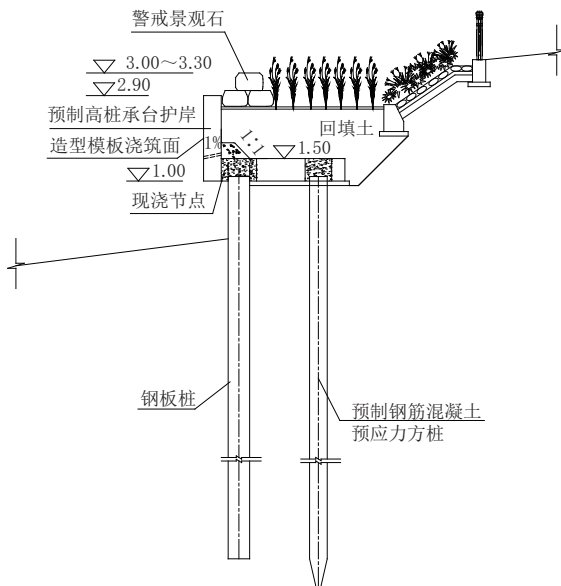


图2 预制高桩承台护岸示意图

(3) 装配式高桩墩台护岸

护岸前沿线挡墙顶标高为 4.25 m, 预制挡墙厚 500 mm, 预制底板厚 800 mm, 宽度 10 m, 结构整体呈 U 形。预制底板下部设两排直径 800 mm 的预制 PHC 桩, 桩基间距为 6 m。该区域航道裁弯取直, 护岸前沿线基本位于现有的河道中间, 水深条件较好, 具备船舶吊装的条件。为确保施工过程中墩台和桩基安装便利, 底板根据桩位布置设置直径 1 000 mm

的桩位孔。为提高护岸整体美观度, 在航道侧预制挡墙的临水面设置造型模板浇筑面。装配式高桩墩台护岸示意图如图 3 所示。

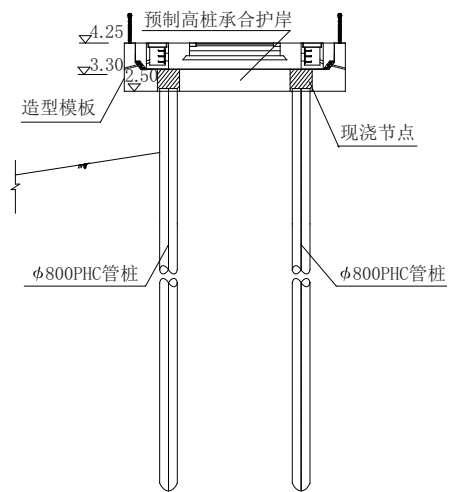


图3 预制高桩墩台护岸示意图

2.3 护岸的分段与连接

2.3.1 结构分段

装配式护岸结构的分段是构件预制的首要步骤, 拆分时应尽量减少构件种类^[2]。同时, 从工厂预制到现场安装整个过程中, 还需满足制作、预制后堆存、运输、吊装、质量等诸多要求。

装配式低桩 L 形护岸墙身高度 2.30 m, 底板宽度 3.55 m, 装配式高桩承台护岸墙身高度 1.40 m, 底板宽度 3.20 m, 两种护岸位置现状均为滩涂, 距离航槽较远; 装配式高桩墩台护岸墙身高度 0.95 m, 底板宽度 10 m, 布置在现状航槽处, 施工船舶可到达。综合考虑工程实际条件及护岸布置位置, 装配式低桩 L 形护岸、装配式高桩承台护岸采用陆路运输, 装配式高桩墩台护岸采用船舶运输。

陆路运输需要综合考虑路线桥梁限高、装载不能超重、安装吊运设备以及运输的综合效率和费用等因素, 确定装配式低桩 L 形护岸结构分段长度为 3.0 m, 装配式高桩承台护岸结构分段长度为 6.0 m。装配式高桩墩台护岸采用船舶运输和吊装, 限制因素较陆运少。考虑浮吊过程中构件的受力、桩位孔的布置和模数的一致性, 护岸结构分段也为 6.0 m。具体尺寸详见表 1。

2.3.2 结构连接

构件连接方式按施工条件一般可以分为干连接、湿连接和混合连接 3 种基本方式^[3]。干连接通过螺栓、焊接、凹凸榫等将构件进行连接; 湿连接通过后期现场浇筑混凝土或砂浆等对构件进行连接; 混合连接则是结合上述两种连接方式对构件进行

表1 护岸分段尺寸表

护岸型式	墙身高度/m	底板宽度/m	分段长度/m	单块重量/t
装配式低桩 L形护岸	2.30	3.55	3.0	20.4
装配式高桩 承台护岸	1.40	3.20	6.0	26.2
装配式高桩 墩台护岸	0.95	10.0	6.0	128.5

连接。

(1) 预制护岸连接

根据工程经验,预制护岸之间采用干连接。考虑安装精度和护岸结构类型,装配式低桩L形护岸和装配式高桩承台护岸采用凹凸榫连接,装配式高桩墩台护岸采用平面连接。接缝处采用沥青麻丝和沥青填缝后,前涂20mm双组份密封膏进行密封。为防止墙后土体流失,在接缝处墙后铺设1m宽的无纺土工布。预制护岸连接示意图如图4至图6所示。

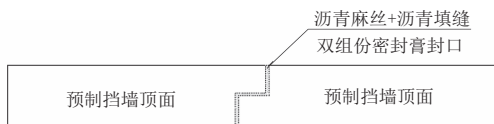


图4 预制护岸挡墙连接示意图

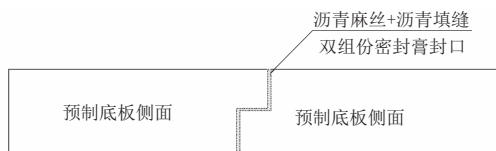


图5 预制护岸底板连接示意图

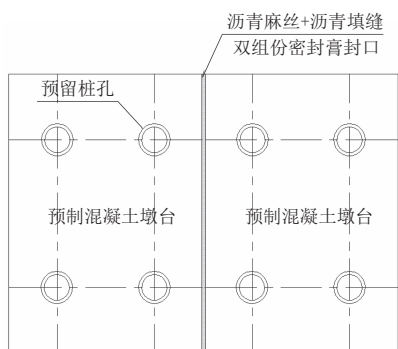


图6 预制墩台连接示意图

(2) 护岸与桩基连接

护岸桩基采用桩型有预应力方桩、PHC管桩、钢板桩3种。为确保桩基与预制护岸有效连接,采用混合连接。

钢板桩伸入预制底板100mm,单根钢板桩侧壁焊接4根钢筋与底板预留钢筋焊接,焊接后采用细石混凝土对桩位孔进行浇筑。

预应力方桩伸入预制底板100mm,桩基四周预埋套筒与方桩主筋机械连接,并在桩基制作中一并

考虑。锚固钢筋攻丝后一端与预埋套筒连接,另一端伸入桩位孔后采用细石混凝土对桩位孔进行浇筑。

PHC管桩伸入预制底板100mm,桩顶以下2.5m处设置钢托板用以放置钢筋笼,钢筋笼伸入底板750mm后采用细石混凝土对桩位孔及PHC管桩桩顶以下2.5m范围进行浇筑。

3 施工工艺

3.1 护岸吊运

常规陆上吊运设备主要有汽车吊、轮胎吊、履带吊等。汽车吊在机动性能上具有优势,但由于实施区域现状以滩涂为主,适用性较差;轮胎吊经济性好,但适用于构件重量较小的情况;履带吊对工程区域场地要求不高,可在松软场地上进行吊装且起重性能较好,因此选用履带吊进行吊装。

水上吊装可充分利用水域,不受陆域道路限制,运输量大,效率高,施工便捷^[4],主要包括固定杆浮吊和全回转浮吊两种。全回转浮吊相较于固定杆式,灵活性更好,吊装精度更优,效率更高,因此在内河中选用较多。

装配式低桩L形护岸共设置4个吊钩,其中挡墙顶部设置2个,底板顶面设置2个;装配式高桩承台护岸共设6个吊钩,挡墙顶部设置2个,底板顶面设置4个;装配式高桩墩台护岸设置4个吊钩,均在底板顶面。

吊装流程主要为:起吊准备、吊装至预定位置、复核偏位、摘除吊钩。吊装应在天气情况较好且风力小于5级的情况下进行^[5],确保吊装过程安全。

3.2 护岸安装

装配式护岸的施工方法相较于传统现浇混凝土护岸而言,对于安装精度要求更高^[6]。对于装配式低桩L型护岸,安装前先在素混凝土垫层上铺设厚度100mm水泥砂浆找平以确保护岸底板在同一水平面上。由于高桩承台护岸实施位置现状泥面较高,护岸基槽开挖后采用上述方法确保安装精度。对于装配式高桩墩台护岸,桩基施打后先在底部架设钢模,经检测在同一平面后再进行吊装。

4 结论

(1)提出了装配式低桩L形护岸、装配式高桩承台护岸、装配式高桩墩台护岸3种护岸型式,能适用于不同航段下的现状条件。

(2)结合具体的工程案例,从护岸布置、结构分

(下转第181页)

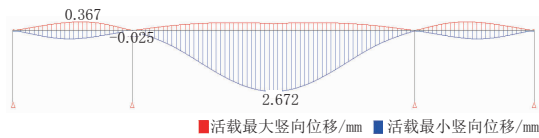


图 12 东一环铁路桥(南幅桥宽 35.3 m)竖向刚度验算结果

表 5 主梁最大挠度计算结果

检算对象——东一环铁路桥	挠度长期增长系数	考虑长期效应的最大计算挠度/mm	理论允许值 (L/600)/mm	是否满足
北幅桥宽 12 m	1.45	4.8	42.7	是
南幅桥宽 35.3 m	1.45	2.7	42.7	是

由计算结果可知,东一环铁路桥上部结构在现行设计规范城-A级荷载作用下,箱涵顶板跨中处最大计算挠度均小于规范允许值,竖向刚度满足规范要求。

3.5.2 裂缝宽度检算

在正常使用阶段,东一环铁路桥箱涵顶板跨中底面和中支点顶面最大裂缝宽度计算结果见图 13、图 14 和表 6。

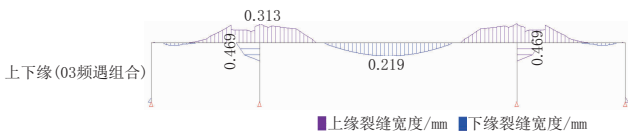


图 13 东一环铁路桥(北幅桥宽 12 m)最大裂缝宽度验算结果

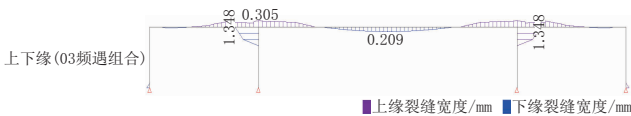


图 14 东一环铁路桥(南幅桥宽 35.3 m)最大裂缝宽度验算结果

由计算结果可知,该桥上部结构在现行设计规范城-A级荷载作用下,主梁跨中底面和中支点顶面最大裂缝宽度均大于规范允许值,不能满足裂缝宽度验算要求。

表 6 主梁最大裂缝宽度计算结果

检算对象——东一环铁路桥	裂缝宽度计算结果/mm	裂缝宽度理论允许值/mm	是否满足
北幅桥宽 12 m	跨中 0.219	0.20	否
	中支点 0.313	0.20	否
南幅桥宽 35.3 m	跨中 0.209	0.20	否
	中支点 0.305	0.20	否

3.6 结论及合理化建议

综合上述检算结果可知,东一环铁路桥上部结构主梁抗弯承载力和抗裂验算均无法满足现行《城市桥梁设计规范》中城-A级荷载作用下的安全承载与正常使用要求。

若想对该桥再利用,建议对其承载能力进行专项评估,根据荷载试验结果重新划定桥梁限载等级。

若新线路仍需维持现行城市桥梁设计规范城-A级荷载,建议对东一环铁路桥拆除后重新修建桥梁,以便确保行驶车辆和过往行人的安全通行;与此同时也便于管养单位后续进行桥梁建档和养护管理等工作。

4 结 语

(1)针对城市交通线路不断改造升级的情况,城市运营单位想要充分利用老旧桥梁固然是应有之举,但是需根据桥梁缺损检测情况采用有限元软件对其承载力进行严格的评估分析。

(2)对于承载力无法满足线路升级和相应现行城市桥梁荷载等级的桥梁,应当通过专项设计对其进行加固或拆除重建,以保证桥梁运营安全。

参考文献:

[1] 赖道斌.某预应力混凝土V型连续刚构桥的承载能力检测评定[J].运输经理世界,2022(32):104-106.

(上接第 154 页)

段、桩基连接、构件吊运和安装等方面对装配式护岸进行系统论述,为装配式技术在内河航道工程中的应用提供思路。

参考文献:

[1] JGJ 1—2014,中国建筑标准设计研究院.装配式混凝土结构技术规程[S].
 [2] 陈明阳,顾宽海.水运工程装配桩基承台式护岸结构设计[J].水运工程,2023(5): 87-93.

[3] 顾宽海,陈浩群,张逸帆,等.装配式低桩承台式护岸结构设计[J].水运工程,2018(12): 186-192.
 [4] 朱远,沈旭鸿.“一键式”生态护岸结构设计及其力学特性分析[J].港工技术,2019(56): 67-70.
 [5] 王鹏.当议内河航道工程装配式护岸施工工艺[J].中国水运,2021(51): 140-143.
 [6] 汤丽燕,顾宽海,牟云彤.装配式L形挡墙在某护岸工程中的应用[J].水运工程,2023(5): 22-27.