

· 施工 ·



复杂条件下呼吸型装配式生态驳岸施工技术

靳付成, 冯 浩, 顾宽海

(中交第三航务工程勘测设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 新型的呼吸型装配式生态驳岸结构在运输条件受限、施工期间不断航要求和高压线限高等复杂环境条件下, 存在构件吊运安装、沉桩精度控制、桩头与预制底板连接和底板安装平整度等方面的技术难题。通过对各种复杂条件对比分析, 提出自平衡式吊装船的吊装工艺、植桩式定位架工艺、留筋式套打法工艺和垫层坐浆工艺等技术措施, 较好地解决了该新型结构在复杂环境条件下的施工技术难题。

关键词: 装配式; 生态驳岸; 构件吊运安装; 沉桩控制; 垫层施工

中图分类号: U 656.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)11-0211-07

Construction technology of respiration-type fabricated ecological revetment under complex conditions

JIN Fucheng, FENG Hao, GU Kuanhai

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Under complex conditions, such as limited transportation conditions, continuous navigation during construction, and high voltage line height limit, the new respiratory-type prefabricated ecological revetment structure construction faces technical difficulties in terms of component lifting and installation, pile sinking accuracy control, connection between piles and prefabricated bottom plate, and flatness of prefabricated bottom plate installation. This paper carries out a comparative analysis of various complex conditions and puts forward the technical measures such as the lifting process of a self-balance lifting vessel, the positioning frame process of pile planting, the pile driving process of the reserved steel bars at the pile top and steel sleeve, and the technology of the cushion construction, which can better solve the technical problems of this new structure during construction under complex conditions.

Keywords: fabricated; ecological revetment; component lifting and installation; pile sinking control; cushion construction

随着“十四五”发展规划的实施, 内河航道整治工程建设越来越多。驳岸作为航道整治工程的重要建设内容, 具有工程量大、投资多等特点。随着生态文明建设理念不断深入人心, 传统的以现浇钢筋混凝土为主的驳岸, 由于施工周期长、投入人力多、易受天气等外界影响, 质量也不易控制, 越来越难以适应水运工程转型发展的要求。标准化设计、模块化制作生产、机械化施工的装配式驳岸结构越来越受到关注, 将成为驳岸建设

的发展趋势。

顾宽海等^[1]提出装配式重力式混凝土护岸结构设计和施工等关键技术, 朱红亮等^[2]提出工业化装配式重力式护岸的设计、生产和施工技术要求, 杨帆等^[3]提出多层预制箱型装配式护岸结构应用, 王鹏^[4]提出一种整体箱式装配式护岸施工工艺。从上可知, 面对复杂环境条件下的装配式生态驳岸施工研究较少, 有必要对此方面进行深入研究。

收稿日期: 2023-01-16

作者简介: 靳付成 (1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港航工程的设计与研究。

本文以上海油墩港航道整治工程为例, 重点介绍呼吸型装配式生态驳岸面临高压线限高、现有航道和船闸等级较低、现有桥梁通航净空有限和施工期间不断航等限制条件下, 提出呼吸型装配式生态驳岸的施工技术, 以供类似工程参考。

1 工程概况

油墩港航道是“一环十射”高等级航道网中“一环”的重要航段, 连接苏申内港线(吴淞江)和黄浦江(横潦泾), 全长 36.47 km。目前为 V~VI 级航道, 船闸原设计等级为通航 100 吨级船舶, 实际最大通航船舶为 300 吨级船舶减载。本工程近期按 IV 级内河航道标准进行整治, 远期兼顾 90 TEU 内河集装箱船的通航, 其建设对上海国际航运中心集疏运体系的构建以及上海综合立体交通系统的完善具有重要的意义。建设内容包括拓宽浚深航道 36.2 km、新建驳岸 54.6 km、新建及改建跨河

桥梁 21 座, 以及新建油墩港航运枢纽和东大盈航运枢纽^[5]。

根据工程的建设需要, 设计采用新型的呼吸型装配式生态驳岸结构, 其承台为阶梯型空心方块低桩结构^[6], 墙身为阶梯型空心方块结构, 挡墙前沿线顶高程为 4.2 m, 顶层空心方块宽 1.1 m、高 1.26 m; 中层空心方块宽 2.05 m、高 0.83 m; 底层空心方块宽 2.8 m、高 0.83 m; 空心方块下方布置钢筋混凝土基础底板, 底板厚 0.5 m、宽 3.7 m, 底高程为 0.9 m, 底板顶前、后沿设置挡坎, 挡坎顶高程 1.50 m; 桩基采用两排截面边长为 300 mm 的方桩, 桩长均为 13 m, 前排桩基间距约 1.2 m, 后排桩基间距 1.6 m; 预制底板通过预留孔与桩基连接。挡墙后与防汛通道的地坪高程 4.4~5.0 m 放坡顺接; 墙前泥面高程按 1.5 m 考虑, 并以边坡 1:3 接至航道底边线, 结构断面见图 1。

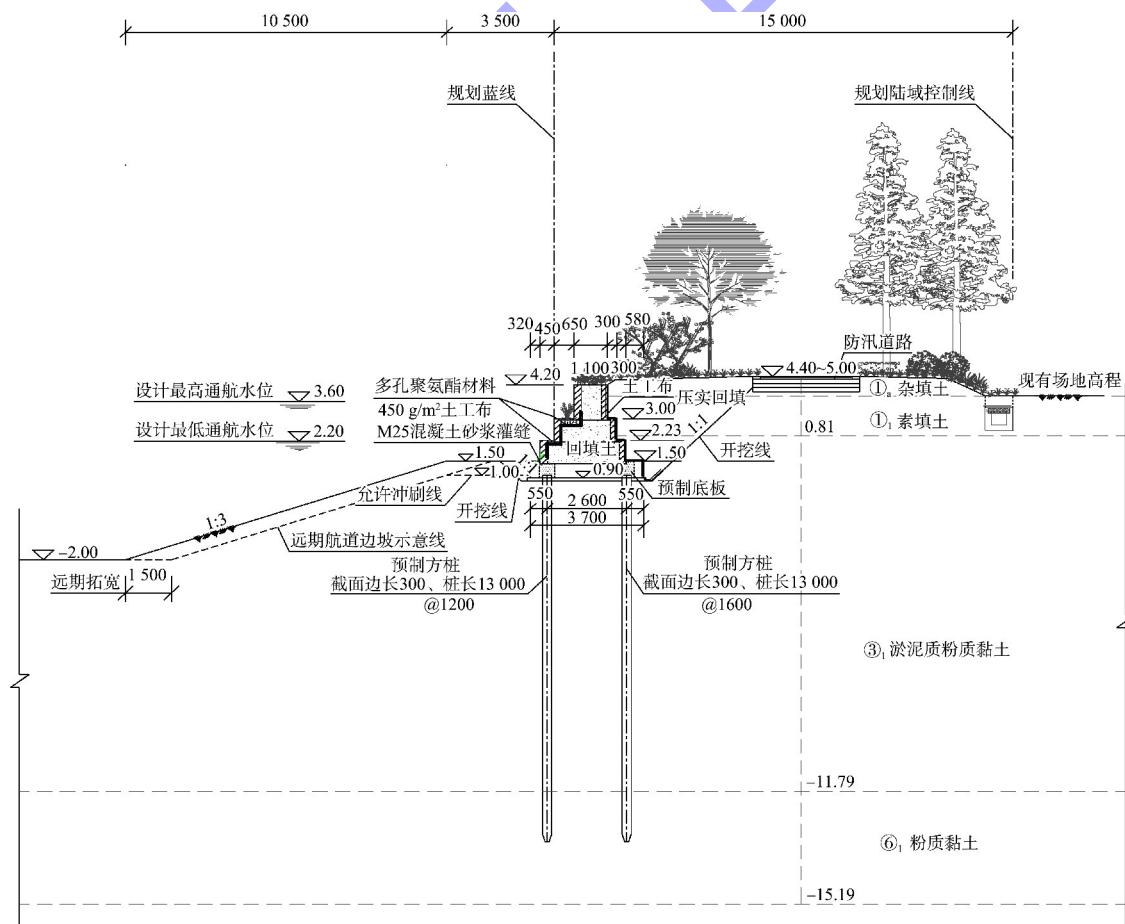


图 1 呼吸型装配式生态驳岸断面 (尺寸: mm; 高程: m)

该新型生态驳岸结构在满足航道使用功能要求的前提下, 能实现驳岸前后水体之间的物质能量交换, 形成驳岸局部生态圈, 为真正的“呼吸型”生态驳岸。驳岸结构采用阶梯型空心方块低桩承台结构, 其优点有: 1) 景观和生态性好; 2) 驳岸结构的桩基、底板、空心方块等构件均为标准化、模块化, 为完全装配式驳岸结构; 3) 装配式施工速度快。

2 实施条件分析

2.1 运输进场条件有限

本航道工程两岸有高压铁塔、林地、永久农田、邻近建筑物、跨河桥梁、管线桥、支流河口等, 经分析, 大部分现状道路都无法直达陆域控制线以内, 即使有少量道路可通达, 也难以满足设备进场使用要求, 且极易对周边居民生产生活造成影响。根据航道规划和总平面布置, 陆域控制线范围仅 15 m, 后方作业空间有限, 扣除 6 m 宽驳岸结构, 后方仅有 9 m 可布置施工通道, 并且两岸支流河口较多, 沿河通道本身不贯通。若采用陆域进场施工, 临时通道成本高、环境影响大、手续办理复杂。因此, 设计考虑大部分驳岸建设水上进场、水上施工。

2.2 高压线限高限制

沿线高压铁塔数量较多, 且距离驳岸规划蓝线较近, 最近仅 2.5 m, 几乎在驳岸正上方, 给施工造成极大危险。根据 DL 5009.2—2013《电力建设安全工作规程》^[7]对高压线安全作业距离要求可知, 西侧±500 kV 宜华直流输电线路的水平和垂直安全距离 ≥ 10 m, 东侧 1 000 kV 特高压吴塘线的水平和垂直安全距离 ≥ 13 m。驳岸施工如何满足高压铁塔及高压线安全距离要求成为施工考虑重点。

2.3 航道等级较低和大型船舶进入难

根据调研, 现有油墩港航道等级仅为 V~VI 级, 实际通航船舶等级仅为 300 吨级船舶减载, 通航船舶等级低; 现有桥梁即使按常水位 2.3~2.8 m 考虑, 最小通航净空 5.3~5.9 m, 大型工程船无

法进入该航道施工作业。

2.4 施工期间不断航

根据油墩港建设要求, 施工期间不断航, 即驳岸施工期不能影响通航, 这对水上施工带来较大挑战。因现有航道水面宽约 50 m, 若按传统的丁靠吊装方式, 船舶将占满整个航道, 难以满足施工期间不断航的要求, 需研究顺岸靠泊安全作业方式。

3 具体实施方案

基于以上限制条件, 驳岸工程施工所需的施工设备、吊装设备、预制构件、原材料等均采用水路进场, 施工设备登陆至陆域控制线内施工, 吊装设备可在驳船上直接作业。

施工船舶采用 300 t 驳船, 船长 30 m、宽 8.5 m、型深 3.5 m, 为适应施工要求, 采用顺靠吊装作业。经多方案比选研究, 最终提出参考海上风电打桩船工作原理, 改造或新建 1 艘具有 4 条自动伸缩支腿、吊装时能自平衡的起吊船。吊机由履带吊改装而成, 能满足 360° 回转, 该起吊船作业时先将 4 条伸缩支腿插入泥土中, 保证在顺岸靠泊起吊作业时船体平衡, 然后通过吊机实现起吊船顺岸靠泊作业, 起吊船机设备见图 2。

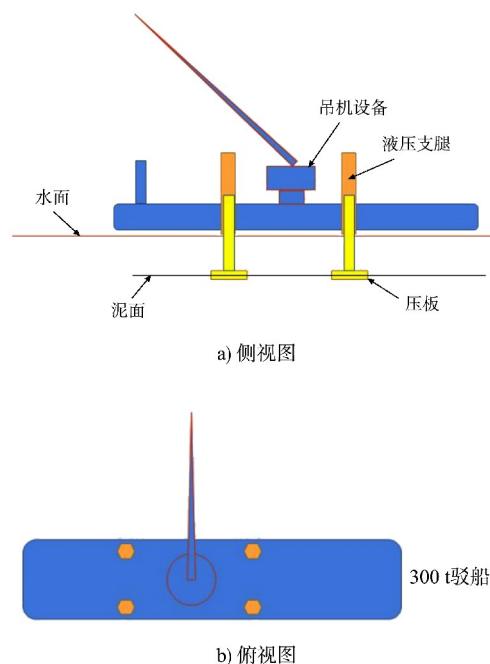


图 2 起吊船机设备

4 施工技术

呼吸型装配式生态驳岸需要在围堰内施工，为保证施工质量，驳岸施工顺序和施工工艺至关重要。具体施工步骤：围堰施工→驳岸基槽开挖→桩基施工→承台底板安装→浇筑桩预留孔→底层方块安装→方块内回填→中层方块安装→方块内回填及生态护底施工→顶层方块安装→方块内回填→墙后回填碾压→墙前开挖整理→植被理坡→围堰拆除。由于实施条件有限，再加上采用新型的完全装配式低桩承台结构，因此对基坑开挖及回填、沉桩控制、桩头钢筋连接、垫层施工、预制构件吊运及安装等工艺提出了新的技术要求。

4.1 基坑开挖及回填工艺

新建驳岸需要在围堰内施工，基坑深度约为3 m，且为临水基坑，为确保基坑边坡稳定，减少对周边的影响，基坑开挖和排水设计非常重要；此外新建驳岸后方陆域空间有限，不可采用大型机械设备夯实，因此对新建驳岸后方的回填提出较高的技术要求。

为确保承台结构安全和驳岸稳定，在承台预留孔浇筑的混凝土强度达到设计要求后，墙后方可回填；回填料采用粉质黏土，最大颗粒不得超过50 mm，压实前含水量控制在18%~25%，干密度应达到 1.45 g/cm^3 ；必须采用分层回填，并分层夯实，夯实不得采用振动碾压；分层回填虚铺厚度为0.25~0.30 m，回填速率不得大于0.3 m/d，上下两层时间间隔不得小于1 d；回填压实度应大于0.93，回填土综合内摩擦角 $\varphi \geq 30^\circ$ 。

为保证基坑排水，基槽坡顶应设置截水沟，底部设排水沟。基槽开挖的边坡不应陡于设计坡度，基槽底以上0.3 m 土体应由人工进行基槽开挖。

4.2 沉桩控制工艺

由于运输进场条件有限，驳岸建设采取水上进场、水上施工，同时为满足施工期不断航要求，施工打桩船须顺靠作业，水上沉桩精度要求较高。传统的桩基驳岸底板及上部结构一般采用现浇施

工工艺，对沉桩控制精度要求较低，而预制装配式驳岸对沉桩控制要求较高。由于本工程驳岸为装配式桩基承台结构，承台底板和桩基通过预留桩孔进行连接，预留方孔边长为 $B+200 \text{ mm}$ （ B 为方桩截面边长），方桩的制桩允许偏差为 $\pm 5 \text{ mm}$ ，沉桩允许偏差为100 mm，因此施工时须严格控制沉桩垂直度和沉桩偏位，否则预制承台底板可能无法安装。

为控制沉桩偏位，设计提出植桩式定位架工艺，其采用带预留孔的钢架结构，利用预留孔进行桩基定位，同时控制桩基偏位。沉桩前先将定位架吊运至驳岸基槽内，使预留孔与桩位对齐，固定定位架，然后将预制方桩植入预留孔内，完成沉桩。该施工工艺较好地解决了桩基沉桩偏位问题，能有效确保沉桩精度。

为控制沉桩精度，植桩架上的预留方孔边长为 $B+50 \text{ mm}$ ，能更好地控制沉桩偏位，植桩式定位架工艺见图3。

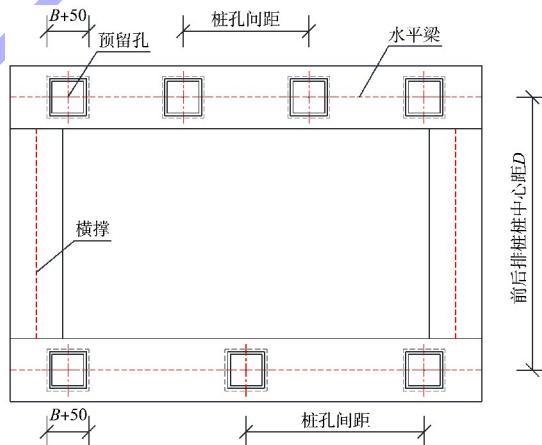


图3 植桩式定位架工艺（单位：mm）

若遇到块石或其他硬质不明障碍物无法打桩时，应清除障碍物或采用导向装置引孔等措施，确保沉桩精度。为保证底板与桩基之间连接，须严格执行桩顶高程，打桩前须通过试打桩确定相关参数。本工程桩基停锤标准应以高程控制为主，贯入度作为校核。

4.3 桩头钢筋连接工艺

本工程地质条件较差，驳岸基础采用桩基础，

为加快施工进度, 底板采用预制装配式, 因此桩基与底板的连接方式及施工工艺是装配式桩基承台驳岸施工的关键技术。

传统现浇承台底板与预制桩的连接采用凿桩头露出钢筋深入底板, 但驳岸承台采用预制装配式后, 该方式既影响环境, 又难以匹配高效施工, 需要选择更好的连接方式。

本工程承台底板和预制桩之间采用湿接头连接, 即通过底板预留桩孔和桩头连接筋进行现场浇筑连接, 后浇混凝土可采用微膨胀混凝土^[8]。目前, 装配式施工桩头钢筋连接工艺主要有: 1) 焊接法。在桩顶焊接, 需要埋入承台的锚固筋, 其与桩身端板上的钢板通过焊接法连接^[9]。该连接方式主要适应于以承受竖向力为主, 对于航道驳岸还需要承受一定的水平力和弯矩, 因此该连接方式不建议采用。2) 机械连接法。在桩顶处附加锚筋位置预埋带螺纹的套筒, 套筒与附加锚筋焊接。该连接方式理论上可以承受竖向力、水平力和弯矩, 但是因在水运工程中应用较少, 需通过相关对比试验确定相应参数后才能采用。

以上两种桩头连接法均存在一定的弊端, 因此设计提出一种新的桩头钢筋连接工艺, 即留筋式套打法工艺, 是指在预制桩桩头留有主筋的情况下, 沉桩时桩头处设置临时钢套筒进行沉桩的施工工艺。该工艺不仅解决了桩头预留主筋无法沉桩的问题, 而且因不用破桩头露出主筋, 改变了传统桩基凿桩头施工的不环保的桩头连接工艺, 能较好地适用于装配式低桩承台结构预制桩基与预制底板之间的连接, 环境友好性更佳, 也大幅提高了施工效率。

4.4 垫层施工工艺

驳岸承台底板采用装配式桩基础预制底板, 预制底板和桩基础连接之前, 底板直接坐落在基坑底土层上, 底板的平整度难以保证。预制底板安装前, 在底板下铺设一定厚度的素混凝土垫层

保证底板安装的平整度, 因此垫层铺设的平整度是施工的关键点。

传统素混凝土垫层上部一般为现浇混凝土底板, 施工时对素混凝土垫层的平整度要求不高, 而预制装配式底板对垫层要求较高, 传统的垫层施工工艺平整度很难满足要求。为保证预制底板安装的平整度, 设计提出垫层坐浆工艺, 具体是指素混凝土垫层厚为 100 mm, 在预制底板安装前, 先浇筑厚 80 mm 的素混凝土垫层, 待垫层强度达到设计强度后, 再在每块预制构件底板下部铺设厚 20 mm 的水泥砂浆坐浆层, 垫层上设置 4 个钢制调平垫块, 并采用仪器抹平水泥砂浆坐浆层。该施工工艺能较好地控制素混凝土垫层平整度, 解决了预制底板安装时平整度难以控制的问题。

4.5 预制构件吊运及安装工艺

4.5.1 预制构件吊运

由于本航道沿线分布有大量高压铁塔和高压线, 距离施工现场较近, 施工前应复核高压线高度及水平距离。驳岸施工前先进行围堰施工, 围堰宽约 3.2 m, 起吊船顺岸布置, 距离围堰外侧 0.5 m, 起吊船不能靠在围堰上, 靠自带的伸缩支腿插入泥土中稳定, 运输构件的驳船停靠在起吊船外侧, 起吊船宽约 8.5 m, 驳船宽约 10.0 m, 围堰、起吊船、驳船及其间距总宽度约为 22.7 m, 小于 35 m(1/2 航道宽), 能满足施工期间不断航要求, 见图 4a)。

西岸 ±550 kV 宜华线, 导线水平和垂直安全距离 ≥ 10 m。以 2466# 和 2467# 高压铁塔为例, 高压线与驳岸前沿线最小距离为 11.88 m(>10 m), 水平距离满足要求; 跨中高压线最低点与地面最小净距 16.45 m, 吊臂长约 14.82 m, 距离驳岸预制承台底板中心约为 12.50 m, 经计算, 起吊水平夹角约为 32.51°(>30°), 满足起吊作业及垂直安全距离要求, 见图 4b)。

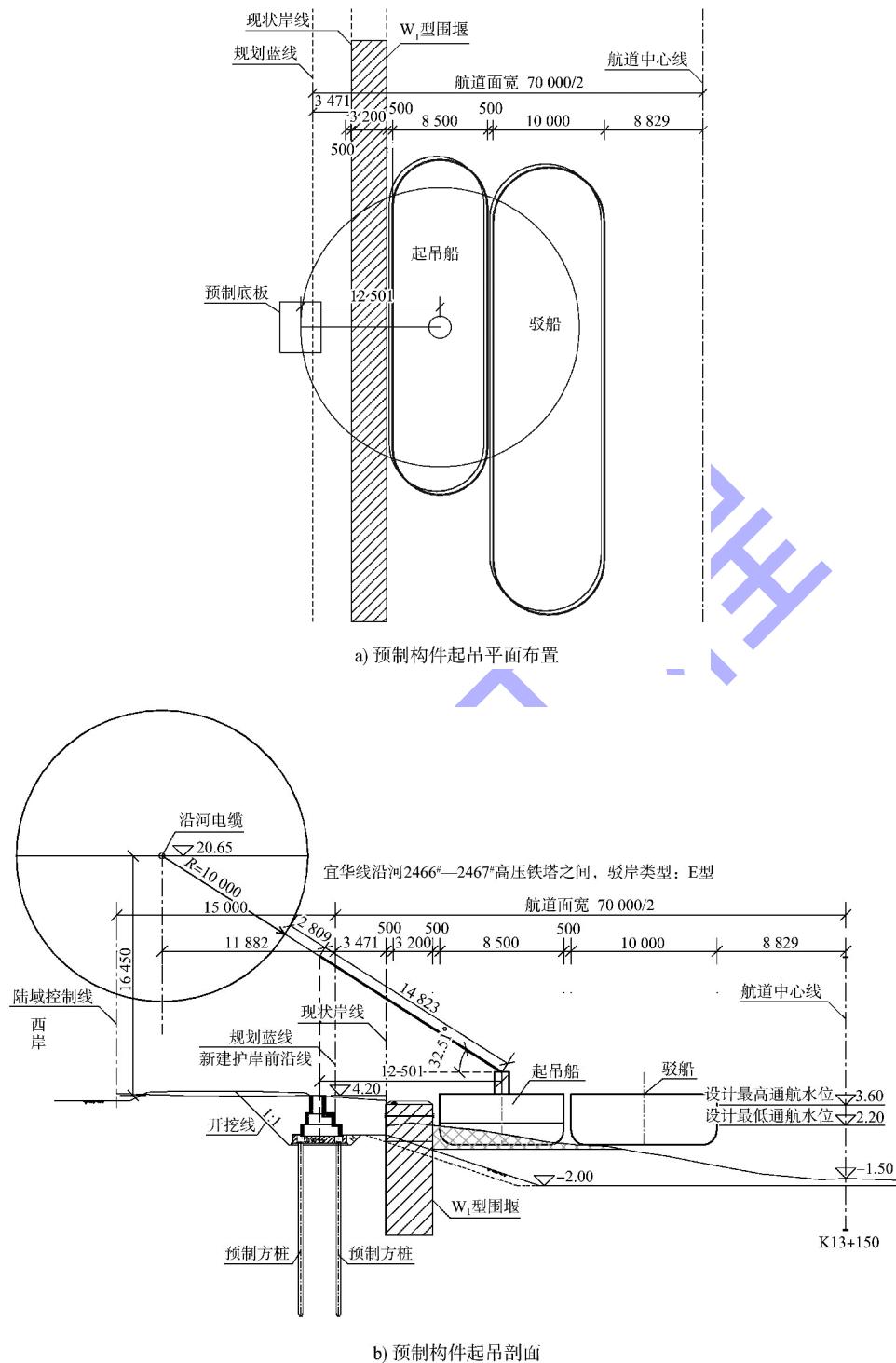


图 4 起吊船吊装预制构件作业 (尺寸: mm; 高程: m)

4.5.2 预制构件安装

装配式预制构件安装时, 为确保结构间可靠连接和顺利安装, 设计要求严格控制安装误差 $\leq 40\text{ mm}$, 确保安装精度在 JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》^[10]的允许范围内。

5 结论

1) 提出带 4 条自动伸缩支腿的吊装船的吊装工艺, 作业时先将支腿插入泥土中稳定, 保证起吊船顺岸靠泊起吊作业时船体平衡, 较好地解决了航道不断航施工、陆域进场条件受限等施工技

术难题, 可为类似工程施工提供思路和方向。

2) 提出植桩式定位架工艺, 通过定位架预留孔进行精准植桩。该施工工艺较好地解决了装配式驳岸桩基沉桩精度控制问题, 可为类似工程提供借鉴。

3) 通过对各种复杂条件进行分析, 并与传统施工工艺进行对比, 提出留筋式套打法工艺和垫层坐浆工艺, 解决了预制桩头钢筋与预制底板之间的连接、装配式底板安装平整度等施工技术问题, 为实现装配式桩基承台生态驳岸建设提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 顾宽海, 汪涛, 陈明阳, 等. 装配重力式混凝土护岸结构的设计及施工[J]. 水运工程, 2021(6): 6-12, 19.
- [2] 朱红亮, 沈旭鸿. 工业化装配式技术在内河航道重力式护岸中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(4): 252-253, 257.
- [3] 杨帆, 郑洁. 浅谈多层预制箱型装配式护岸结构设计[J]. 中国水运(下半月), 2021, 21(9): 97-98.
- [4] 王鹏. 商议内河航道工程装配式护岸施工工艺[J]. 中国水运, 2021(8): 140-143.
- [5] 中交第三航务工程勘察设计有限公司. 油墩港航道整治工程项目建议书[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计有限公司, 2022.
- [6] 顾宽海, 年经生, 陆敏, 等. 一种适用于软土地基的装配式生态驳岸结构: CN201822100258. 5[P]. 2018-12-14.
- [7] 国家电网公司安全监察质量部, 中国电力科学研究院. 电力建设安全工作规程 第 2 部分: 电力线路: DL 5009. 2—2013[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [8] 顾宽海, 周松泽, 宋凡. 平原地区某内河生态航道整治工程设计要点[J]. 水运工程, 2020(12): 147-154.
- [9] 华东建筑设计研究院有限公司. 预制混凝土方桩: 20G361[S]. 北京: 中国计划出版社, 2020.
- [10] 中交第一航务工程局有限公司, 福建省交通基本建设工程质量监督检测站. 水运工程质量检验标准: JTS 257—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

(本文编辑 王璁)

(上接第 152 页)

3.2 运营情况

至今, 示位航标已竣工运行约 3 a, 经历了 3 个结冰期, 每年湖面解冻后均进行沉降位移观测, 根据观测结果判断航标桩基完好, 承台位移和沉降较小, 航标基础结构安全稳定。

4 结论

1) 针对淡水冰冻湖区极限挤压冰力计算, 通过对国内相关规范得出, 《港规 10 版》(河冰)提供的公式计算结果相较于其他规范和数学模型计算结果偏小, 且偏离幅度较大。

2) 目前相关规范中没有明确针对大面积湖区的极限挤压冰力计算公式, 根据理论计算和工程实践得出, 根据现行《公规 15 版》的计算结果进行桩基设计是安全的。

3) 冰温 0 ℃时, 《港规 10 版》(海冰)计算得出的极限挤压冰力高于《港规 98 版》、《公规 15 版》和数学模拟结果; 冰温 0 ℃时, 《港规 10 版》(海冰)计算得出的极限挤压冰力与其他基本一致。

参考文献:

- [1] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 中交第二航务工程勘察设计院有限公司. 港口工程荷载规范: JTS 144-1—2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [2] 交通部第一航务工程勘察设计院, 交通部第二航务工程勘察设计院. 港口工程荷载规范: JTJ 215—98[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [3] 中交公路规划设计院有限公司. 公路桥涵设计通用规范: JTG D60-2015[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2015.
- [4] 中水东北勘测设计研究院有限责任公司. 水工建筑物荷载设计规范: SL 744—2016[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016.
- [5] 赵新. 大型输水工程冰期输水能力与冰害防治控制研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [6] 单仁亮, 白瑶, 隋顺猛, 等. 淡水冰三轴压缩力学特性试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2018, 26(4): 901-917.
- [7] 张云飞. 寒区水库桥墩静冰荷载研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.

(本文编辑 王传瑜)