

## 张靖皋长江大桥锚碇基础地下连续墙施工技术

魏豪, 赵俊臣

(中交路桥华东工程有限公司, 上海市 201203)

**摘要:** 张靖皋长江大桥起自如皋市石庄镇焦庄村东侧, 上跨 S336, 经石庄工业园东北、如皋港东升石材产业园东侧, 路线转向南偏东, 后于如皋华泰重工厂区架桥, 采用主跨 1 208 m 双塔悬索桥跨越福北水道, 进入如皋中汊。该悬索桥南锚碇位于长江江心岛上, 基础采用圆形地下连续墙结构。地下水位受长江水潮汐影响明显, 时刻不断地随潮位变化, 下水位峰值较长江水位滞后约 1~1.5 h, 对地下连续墙施工影响较大, 如何控制成槽及清孔质量、钢筋笼吊装是施工成功的关键。同时, 成槽泥浆处理也是制约整个项目的关键工序。通过介绍张靖皋长江大桥工程概况、地下连续墙施工、泥浆处理和质量通病预防措施, 并对地下连续墙槽段进行超声波检测。结果表明, 所有墙体和接缝质量良好, 均为 I 类桩。

**关键词:** 地下连续墙; 成槽质量; 钢筋笼吊装; 泥浆处理; 质量通病预防措施

**中图分类号:** U445

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)03-0156-04

## 1 工程概况

张靖皋长江大桥北航道桥南锚碇基础采用外径 90 m、墙厚 1.5 m 的圆形地下连续墙(以下简称“地连墙”)+ 环形钢筋混凝土内衬支护结构。地连墙底标高 -51.80 m, 顶标高 -0.5 m, 墙体厚度 1.5 m, 嵌固深度 33 m。

南锚碇基础地面标高约 2.50 m, 揭露地层均为第四系松散层, 浅部地层为全新世冲积粉质黏土、粉土、粉砂, 其下为晚更新世中砂、粗砂。地连墙需穿过和嵌入的地层为: 粉砂, 厚 0.50~4.20 m, 饱和, 松散; 粉质黏土, 厚 1.70~14.70 m, 流塑~软塑; 粉土, 厚 1.50~3.50 m, 稍密; 粉质黏土, 厚 1.30~20.90 m, 软塑~可塑; 中砂, 厚 2.10~6.30 m, 密实, 饱和; 粉砂, 厚 2.20~26.10 m, 饱和, 密实。

## 1.1 工程地质

桥址区处于区域地质构造活动影响相对稳定地带。根据物探成果, 桥址区未见影响桥梁工程建设的全新世活动断裂, 区域稳定性较好。综合分析认为, 近场区主要断裂不会对工程场地的稳定性造成直接影响。

南锚碇软弱覆盖层以粉质黏土为主, 强度和地基摩擦系数低, 塑性差, 压缩性高, 厚 43.8~50.5 m。锚碇基础断面如图 1 所示。

收稿日期: 2023-08-02

作者简介: 魏豪(1997—), 男, 本科, 助理工程师, 从事桥梁工程施工工作。

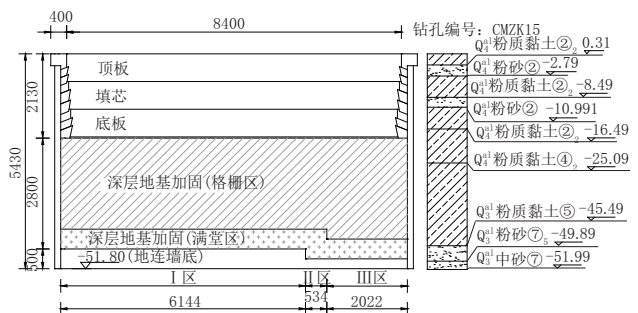


图 1 锚碇基础断面图(单位: cm)

## 1.2 水文情况

长江等地表水体与地下水的水力联系较好, 在丰水期对地下水有补给作用, 对区域地下水的补给起到了重要的作用。据区域资料和勘察成果, 地下水可分为松散层孔隙水和基岩裂隙水。根据埋藏条件, 松散层孔隙水分为潜水含水层、承压水含水层。地下水分布柱状图如图 2 所示。水文主要呈现以下特点:

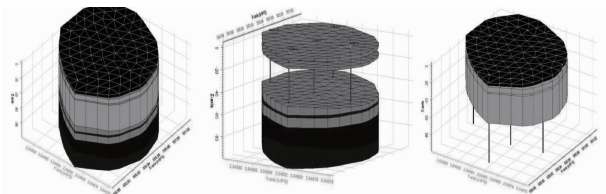


图 2 地下水分布柱状图

(1) 场地内地下水位较高, 埋深不足 2 m, 且周围河流沟渠较多, 水系发达。

(2) 承压水含水层厚度大、渗透性好、补给条件好, 且隔水层厚度较薄且不均匀。

(3) 地下水位受长江水潮汐影响明显, 时刻不断地随潮位变化, 下水位峰值较长江水位滞后约 1~

1.5 h。锚碇区位地下水与长江水位 24 h 曲线关系如图 3 所示。

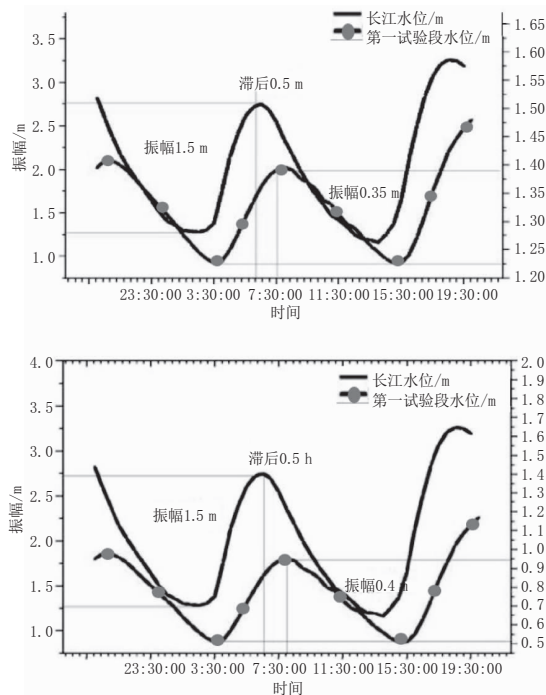


图3 锚碇区位地下水与长江水位 24 h 曲线关系

### 1.3 项目施工重难点

(1)地连墙作为基坑开挖的主要支护结构,地连墙成墙质量直接关系到整个结构的安全。I期槽钢筋笼距边缘 43 cm,II期槽施工时,需铣掉 25 cm 搭接长度,其控制距离仅 18 cm。考虑到铣槽机施工时左右晃动幅度为 4 cm,其安全距离仅 14 cm,为避免铣削到钢筋,要求铣槽垂直精度偏差必须不大于 1/500。该标准远高于质量评定标准要求的 1/400,施工难度大。同时,地连墙成槽时需 2 次穿越砂粉层夹层,施工不当极易造成孔壁坍塌。应对措施如下:

a. 铣槽机就位后,采用车载水平仪调整设备的平整度。施工过程中,采用铣槽机自带的垂直度仪表和自动纠偏装置来确保成槽垂直度不得低于设计要求。

b. II期槽铣切厚度严格按照设计要求的地连墙中心线 25 cm,保证 II期槽铣槽时不会切割到 I期槽钢筋笼。

(2)I期槽钢筋笼计算吊装重量为 86.08 t,长 53.65 m。为了提高钢筋笼安装精度、加快下放速度,采用 260 t 副吊履带吊辅助 400 t 主吊抬吊翻身,其后钢筋笼一次性整体下放。钢筋笼翻身过程中,对履带吊操作手同步性要求高。履带吊吊运最远距离约 150 m,载荷行走按 0.4 km/h 控制,行走时间约 25 min,吊运时间长,安全风险高。同时,项目区处于

江心岛,且施工安排为 11 月—2 月,冬季风较多。吊运过程中,突起大风对远距离、长时间吊运提出了更高的要求。应对措施如下:

a. 采用专业有限元分析软件验算钢筋笼吊装翻身过程中的整体刚度和吊点受力,确保钢筋笼结构变形满足要求。吊索吊具按照吊重进行选型,选取合理的安全系数,确保吊装安全。

b. 吊装前,严格按照方案 and 设计要求对钢筋笼进行验收。验收合格且签署吊装令后,方可吊装。

c. 吊装过程中,严格按照计算允许吊重控制起吊设备的工作半径和起吊高度。下放过程中,需谨慎平稳且严禁强行下放,防止因笼体晃动而造成槽壁坍塌。

d. 吊装前,检查吊装前置条件。现场风速超过 6 级,不得进行钢筋笼吊装工作。履带吊在行走前,清理便道上的障碍物,确保钢筋笼行走安全。

(3)项目位于民主沙岛上,周围生态环境敏感,地连墙成槽时将产生大量泥浆。初步计算,回浆量约占铣削土体的 1.2 倍。若泥浆收集和处理不及时,将严重污染岛上环境。渣土外运期间,环境保护难度大。应对措施如下:

a. 项目建立泥浆净化中心,采用自动拉板厢式压滤机集中处理施工过程中的废弃泥浆,主要针对高含水率泥浆进行就地固化处理。分离后的泥土经固化改良后用于路基填筑,实现废弃泥浆的再利用,从而减少施工废土、废水对沿线生态环境的影响。

b. 渣土运输时不超高超载,并设置覆盖保护。施工现场设全自动洗轮机,渣土外运前需对渣土车轮胎进行清洗。清洗完成后方可出场,严防车辆车轮带泥上路行驶。

## 2 地连墙施工

### 2.1 槽段划分

地连墙轴线直径为 88.5 m,周长为 278.030 9 m,I期槽段 31 个,II期槽段 31 个,共划分为 62 个槽段。I期槽段和 II期槽段在地连墙轴线上搭接长度为 0.25 m,采用铣接接头进行搭接,交角为 176.7°,如图 4 所示。

### 2.2 主要成槽设备

地连墙主要的成槽设备为德国宝峨 BC50 型铣槽机(M128 型),详见表 1。相较于宝峨 BC40 型铣槽机和传统的冲击钻机成槽施工,BC50 型铣槽机在土层中的施工工效可达到 30 m<sup>3</sup>/h,能大量节约工期。

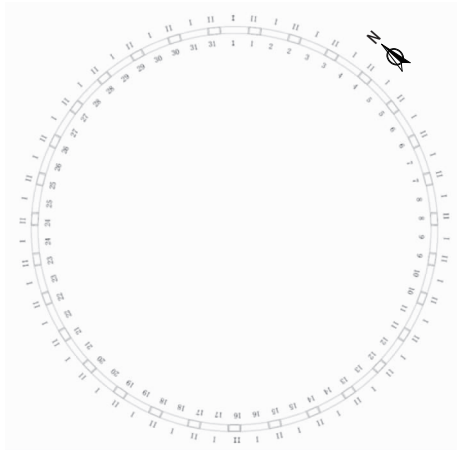


图4 锚碇地连墙平面分段示意图

同时,通过 MMH 正电胶泥浆浆液、气动负压吸渣法清孔工艺等措施,可提高地连墙成槽速度,较传统工艺可减少 50% 以上的泥浆使用量,清孔时间大幅减少,对成槽质量有极大的保障。

表 1 宝峨 BC50 型铣槽机主要参数

设备型号	BC50	设备示例
主机型号	MC128 型履带式起重机	
最大开挖深度 /m	150	
开挖尺寸	(1.2 ~ 2.0 m) × 2.8 m	
发动机功率 /kW	709	
最大起重能力 /t	68	
泥浆泵排量 / (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	450	
铣槽机机体 /t	48.9	
履带式起重机重量 /t	172	

### 2.3 成槽方式

根据地质情况,槽段上部 15 ~ 20 m 部分为松散状粉质黏土层和粉砂层。铣槽机在松散土层中成槽施工工效要比在密实土层中的工效低。为最大限度地提升地连墙的成槽效率,项目采用液压抓斗 + BC50 型铣槽机进行工序穿插施工。采用该方式进行成槽施工,能减小对周边环境的影响,确保成槽质量。成槽过程中随时观察孔内泥浆面的高程并适时补充泥浆,保证泥浆液面高度的同时检测各项泥浆指标符合技术要求,使泥浆起到良好的护壁作用,降低槽壁坍塌风险<sup>[1]</sup>。

### 2.4 泥浆性能控制

在地连墙施工过程中,泥浆起着举足轻重的作用。江心冲积岛地质条件复杂,泥浆的性能指标是地连墙施工成功的一个关键要素<sup>[2-3]</sup>。因此,要重点加强施工过程中的泥浆指标控制。泥浆工艺流程如图 5 所示。泥浆性能指标和废浆控制指标见表 2、表 3。

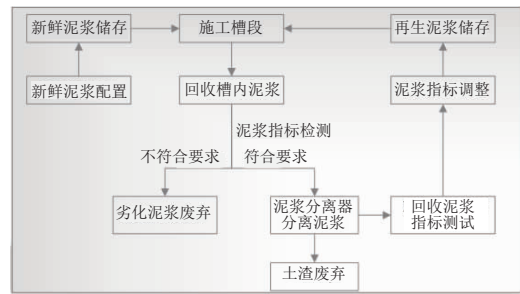


图 5 泥浆工艺流程

表 2 泥浆性能指标

项目	新鲜泥浆	成槽泥浆	清孔后泥浆	检查方法和频率
黏度 /s	30~35	25~35	25~35	黏度计: 每槽段测量
比重 / (g·cm <sup>-3</sup> )	1.03~1.10	1.1~1.2	1.03~1.10	比重计: 每槽段测量
pH	8~9	8~10	8~10	pH 试纸: 每槽段测量
胶体率 /%	>99	>96	>99	量杯法: 每批次测量
失水量 / (cc·30 min <sup>-1</sup> )	<10	<15	<10	失水量仪: 每批次测量
泥皮厚 /mm	<1	<1.5	<1	失水量仪: 每批次测量
含砂率 /%	-	<8	<4	洗砂瓶: 每槽段测量

表 3 废浆控制指标

土层	比重 / (g·cm <sup>-3</sup> )	黏度 /s	含砂率 /%	pH 值
黏、砂性土层	≥ 1.35	≥ 50	≥ 10	> 13

### 2.5 钢筋笼下放与混凝土浇筑

地连墙钢筋笼采用智慧化钢筋加工平台进行钢筋下料、加工半成品。加工完成后由平板车运输至工区锚后平台钢筋笼加工区半成品存放区存放。地连墙钢筋笼在定制胎架上整体制作成型。

单个槽段钢筋笼整体一次性吊装下放入槽,采用双机抬吊的方式(400 t 履带吊作为主吊,260 t 履带吊作为副吊)将其从胎架上翻转竖直;然后由主吊单独吊运钢筋笼至施工槽段位置,并平稳下放钢筋笼至设计标高<sup>[4-5]</sup>。

混凝土灌注施工采用移动式浇导架作为施工平台。浇导架通过底座下设 4 个支撑腿固定于导墙上,支腿横纵间距分别为 1.4 m、2.6 m。浇导架设置卷扬机提升系统,用于吊装、移位料斗。单个浇导架配置一个 2 m<sup>3</sup> 料斗和一组导管,配合混凝土罐车进行混凝土灌注施工。

### 3 泥浆处理

项目建立环保型泥浆工厂,由泥浆循环系统、泥

浆储备系统、泥浆净化系统和泥浆拌制系统四部分组成。通过泥浆系统集中管理平台智能化控制泥浆循环、泥浆输送、泥浆回收和泥浆分离等,提高泥浆的循环利用率和废浆的零污染排放。环保型泥浆工厂外设封包大棚封闭防护,可有效地控制膨润土扬尘污染,实现全天候、无扬尘和零污染排放的目标<sup>[6]</sup>。

泥浆净化系统包含 BC40 型、BC50 型铰槽机自带后台泥浆分离系统,2 台国产黑旋风除砂机,1 台压滤机及集土坑(36 m×6 m×1.5 m)。泥浆净化系统每小时泥浆处理量为 500 m<sup>3</sup>,完全满足净化需求。成槽施工过程中泥浆循环筛分的泥沙、废弃的泥浆经压滤机干化处理的泥饼均临时储存至集土坑中,后由渣土运输车辆外运至指定的弃土场。现场施工时,应及时将处理后的泥沙外运,保持现场干净文明的作业环境。泥浆循环和处理流程如图 6 所示。

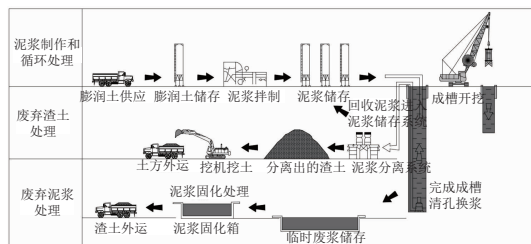


图 6 泥浆循环系统示意图

## 4 质量通病预防措施

### 4.1 钢筋笼加工与安装质量预防措施

(1)为保证钢筋笼受力、施工方便和加快成墙速度,钢筋笼采用整体制作和吊装。采用有限元分析软件 Midas 对钢筋骨架整体刚度和吊点受力进行模拟验算,确保钢筋笼结构变形满足要求。

(2)对钢筋笼焊接特种作业人员进行细致的技术交底。钢筋骨架在胎架上制作时,按图纸设置桁架筋,保证其整体性和刚度。钢筋笼每个焊点要焊接牢固,对起吊点处进行加强。

(3)下放到位后,及时用水准仪精确复测其顶面标高,确保与设计一致,偏差控制在规范范围内。控制混凝土灌注速度,避免导管理入过深,导致混凝土上升浮力大于钢筋笼自重使笼体上浮。

### 4.2 地连墙混凝土施工质量通病预防

(1)施工过程中增加刷壁次数,保证刷壁质量,

钢筋笼表面无泥块、沉淀物和其他附着物,以及混凝土的流动性和灌注速度。

(2)控制混凝土浇筑速度,及时测量混凝土顶面标高。计算导管理管后,确定拆除节数,避免因浇筑过快导致混凝土来不及从导管底部流出,从料斗内溢出到槽内,污染泥浆,使泥浆质量下降,影响混凝土浇筑质量。

## 5 结语

该项目地连墙槽段经超声波检测表明:所有墙体和接缝质量良好,均为 I 类桩。成槽垂直度控制在 1/1 000 左右,远超设计成槽垂直度 1/400 要求。地连墙施工过程中经验总结如下。

(1)采用液压抓斗,开孔效率较高,但成槽精度难以控制。在抓斗下放时,不允许强力推入,以保证成槽精度。液压抓斗一般在表层淤泥土中应用,深度控制在 15~20 m。

(2)铰槽机在砂层、黏土层中成槽效率较高,是现阶段地连墙成槽施工的主流设备。液压抓斗与铰槽机相结合,采用“抓铰结合”的施工方式,能极大地提高成槽效率。

(3)地连墙钢筋笼采用整体吊装施工方法,可节约施工工期,降低人员与设备的成本投入。同时,一次吊装能更好地控制钢筋笼的垂直度,可有效避免 II 期槽施工时对 I 期槽的破坏。

(4)地连墙成槽及清孔泥浆经固化处理后,既有利于环境保护、减少对生态环境的污染,固化后的泥饼又可进行二次利用,为项目降本增效。

### 参考文献:

- [1] 黄茂松,王鸿宇,谭廷震,等.地下连续墙成槽整体稳定性的工程评价方法[J].岩土工程学报,2021,43(5):795-803.
- [2] 胡永生,赵有明,杜洪池.珠江黄埔大桥锚碇基础地下连续墙施工技术[J].桥梁建设,2006(5):59-61,67.
- [3] 韩胜利.武汉杨泗港长江大桥超大型锚碇施工关键技术[J].世界桥梁,2020,48(4):30-34.
- [4] 赵晶.超深地下连续墙钢筋笼吊装数值分析及简化计算[J].施工技术(中英文),2022,51(19):52-56.
- [5] 王朝.地连墙钢筋笼吊装技术控制要点[J].工程建设与设计,2021(21):183-185.
- [6] 张海昆,祝军权,莫劲.地下连续墙泥浆零排放一体化处理技术研究[J].清洗世界,2021,37(12):24-25.