

穿湖段围堰及深基坑工程施工技术及变形分析

张彬

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 通过少海惜苑路片区地下道路项目穿少海湖段隧道工程实例,介绍了该穿湖段隧道工程的总体布置,采用双排钢板桩围堰明挖施工,分两期施工,围堰内部回填土方后作为施工场地,再开挖隧道基坑,一期先建隧道顶板预留挡水墙,与二期围堰对接。同时,选取了工程已完成主体结构某监测断面的测点变形数据,对临时围堰的变形特征进行了分析,对埋设在深基坑工程中的钻孔桩+内支撑体系的变化特征进行了分析,得出的结果可供同类基坑设计、施工时参考。

关键词: 隧道工程;穿湖段;双排钢板桩围堰;深基坑;变形分析

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)02-0295-05

Construction Technology and Deformation Analysis of Cofferdam and Deep Foundation Pit Engineering in Lake Crossing Section

ZHANG Bin

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Through the example of the tunnel project crossing Shaohai Lake in the Shaohai Xiyuan Road Area Underground Road Project, the overall layout of the tunnel project crossing the lake is introduced. The double-row steel sheet pile cofferdam excavation construction is adopted. The project is constructed in two stages. After backfilling the soil inside the cofferdam, it serves as the construction site, and then the tunnel foundation pit is excavated. In the first stage, the tunnel roof is constructed first with a reserved water retaining wall, which is connected to the cofferdam in the second stage. At the same time, the deformation data of measuring points on a monitoring section of the main structure of the project completed is selected to analyze the deformation characteristics of the temporary cofferdam, and the change characteristics of the bored pile + internal support system buried in the deep foundation pit engineering are analyzed. The results obtained can be used as a reference for the design and construction of similar foundation pits.

Keywords: tunnel engineering; lake-crossing section; double-row steel sheet pile cofferdam; deep foundation pit; deformation analysis

0 引言

钢板桩围堰施工方便,止水性能好,可重复利用,在水域工程中广泛应用。双排钢板桩的组合结构则进一步加强了围堰的整体刚度和止水性能,为后续基坑开挖、主体结构施工等作业提供稳定、干燥的施工条件,保障基坑施工的安全与效率。本文结合少海惜苑路片区地下道路项目穿少海湖段隧道工程,对临时钢板桩围堰及基坑工程的变形数据进行分析研究,为同类工程设计、施工提供参考。

1 工程概况

胶州市少海片区紧邻青岛胶东国际机场、坐拥

大沽河生态景观资源的优势,现状香港路-惜苑路横穿少海国家湿地公园核心区域,对水体及周边的生物产生一定的噪声、尾气污染。

少海惜苑路片区地下道路工程,将过境交通分流至地下,降低对湖区生态环境的不利影响,沿香港路、惜苑路布设。地面道路全长约3.39 km,地下道路长约2.9 km,其中穿湖段约0.6 km,见图1。

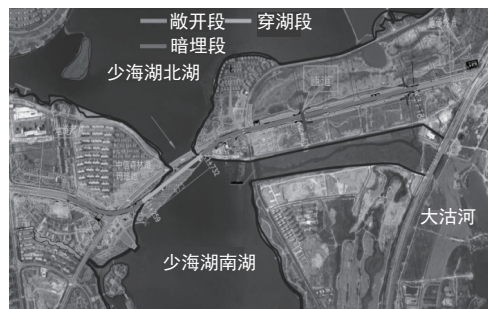


图1 工程平面布置示意图

收稿日期: 2025-09-02

作者简介: 张彬(1979—),男,硕士,高级工程师,从事城市交通与地下空间规划设计、工程总承包管理工作。

本次项目所在惜苑路为规划东西向干路通道之一,本次惜苑路采用地下道路穿越少海片区可减少东西向过境交通穿越片区的不利影响,满足对外出行需求,分离过境交通,保证片区高品质开发,适应少海现代化建设的需要,促进交通的可持续发展。

1.1 穿湖段施工方法比较

根据道路总体方案布置及与地下环路的相互关系,本次穿湖段地下道路为浅埋隧道,双向六车道。施工工法比较见表1。

表1 穿湖段工法分析		
施工工法	适用性	工程造价
明挖法	最常用地下结构施工工法	一般
盾构法	埋深深,出洞爬坡段长	高(较明挖增加约5.1亿元)
矿山法	适用深埋隧道,较难满足平面线形、交通组织需求	高
矩形顶管法	受断面尺寸限制	较高
管幕法	经验少,风险大,影响大	高

项目所在少海湖非省级重要河道、输水渠道,工程穿越处少海湖已完成治理,采用草坡入水,在采取减轻和消除影响措施,对现状破坏岸坡进行恢复后,可将明挖法方式对现状少海湖影响减至最小。

综合考虑施工复杂程度、财政资金投入规模及少海湖周边实际情况,本次穿少海湖采用明挖法施工。

1.2 工程地质及水文地质

根据项目勘察报告,场区地形开阔,原为滩涂,后受人工回填形成现状,区域内存在少海湖。

在现场勘探深度范围内,从上到下可以分为为七个大层,分述如下:①素填土、②淤泥质土、③粉质黏土、④中细砂、⑤中粗砂、⑥强风化砂质泥岩、⑦中风化砂岩,见图2。

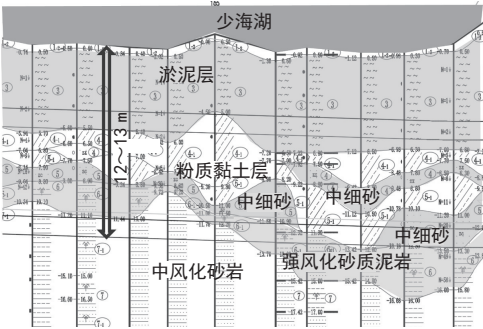


图2 穿少海湖段地质纵断面

拟建场地地下水上层滞水主要在①层素填土中,潜水主要在④层中细砂和⑤层中粗砂中,略具承压性,基岩裂隙水以层状存于基岩风化带中,两者间

无隔水层,相互连通。

2 施工总体布置

为确保少海湖防洪排涝的功能要求,地下道路穿湖段工程施工时,采用双排钢板桩围堰明挖,分两期施工。一期围堰长度为657.9 m,与岸边相接,见图3。二期围堰长度为299.1 m,与一期预留挡水墙及岸边相接,见图4。

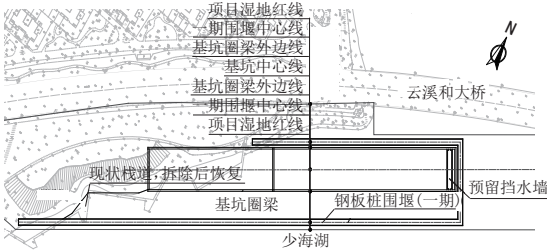


图3 一期围堰平面位置示意图

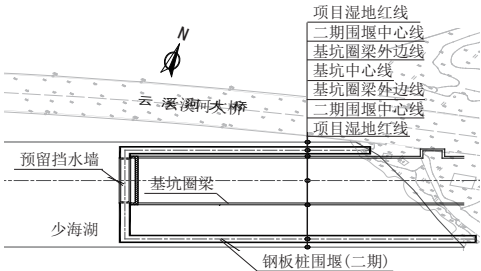


图4 二期围堰平面位置示意图

围堰内部回填土方后作为施工场地,再实施隧道基坑。一期先建地下道路顶板需预留挡水墙,与二期围堰对接封闭。地下道路穿湖施工完成后,对岸边水工设施和景观设施进行原状恢复。

少海湖湖底标高取1.0~-0.8 m,非汛期施工期间,湖水位取2.3 m,围堰顶标高取3.5 m。汛期施工期间,湖水位取3.5 m,考虑浪高和安全超高,采用沙袋进行临时加高处理,围堰顶标高取5.0 m。

3 双排钢板桩围堰施工技术

3.1 围堰设计要求

(1)围堰采用12 m长拉森钢板桩,双排钢板桩围堰宽度为4.5 m,内部回填黏性土至钢板桩顶标高下50 cm,见图5。

(2)两侧设围檩,围檩外侧加设钢缀板,钢缀板分两种型号,钢拉杆位置钢缀板间距为1 200 mm,其中拉杆位置钢缀板为螺栓垫板,规格为360 mm×300 mm×14 mm,间距为1.2 m。两根拉杆之间钢缀板为连接加强板,规格为200 mm×200 mm×10 mm,间距为0.4 m。

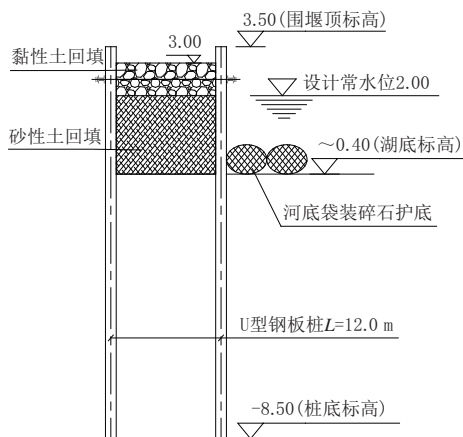


图5 双排钢板桩围堰剖面示意图

(3)围堰外侧设袋装碎石护底,施工过程中发现下陷塌陷应及时补抛。

(4)施工过程中内侧场地回填整平与外侧袋装碎石护底需同步,避免初期变形过大。

3.2 围堰施工技术要点

(1)首根钢板桩的插打需严格把控其定位精度与垂直度,确保基准稳固。每隔 10 m 打设一根定位桩,便于后续托架及围檩的施工。

(2)围堰施工专门采用了单层双面形式的导架,单层设置能适配桩体长度与围堰高度需求,双面布局则能在桩体两侧形成约束,从而起到限位作用,确保沉桩过程中桩体的轴线位置准确、保持竖直状态,并有效控制打入精度。

(3) 钢板桩施工采用“浮箱船+液压震动锤”的组合作业模式。在打桩作业启动前,需在浮箱船的前后两端各布设一个船锚,对浮箱船进行稳固限位,通过这一固定方式最大限度降低打桩过程中浮板的晃动幅度,避免因浮箱船不稳影响打桩质量。

(4) 液压震动锤作业时,先精准抓取钢板桩桩头,随后缓慢提升桩体,同时同步引导桩体逐步入水。这一操作可有效减小桩体在提升阶段产生的弯矩应力,防止桩体出现变形问题。

(5)按照施工程序依次进行围檩托架与钢围檩的安装作业。安装过程中需重点把控钢围檩的对位精度,确保其两侧与预设的拉杆孔精准对齐。待钢围檩安装就位后,逐步开展钢拉杆穿设、垫板安装作业,最后通过拧紧螺帽的方式完成固定,保障钢围檩与拉杆连接的稳固性,满足后续施工受力要求。

(6)无纺土工布铺设进度应和回填土相适应,避免土工布铺与钢板桩不贴和,影响防水效果。

(7)在进行转角施工时,纵向钢板桩与横向隔板或横向钢板桩的连接部位需采取可靠连接。具体连

接方式可采用两种方案:一是通过直线型钢板桩进行连接,利用直线桩的组合拼装形成直角结构;二是直接采用“L”型钢板桩进行连接,借助其自身的直角造型实现精准对接。

3.3 一期及二期围堰交接做法

(1)穿湖段一期隧道施工完成后,在分界处隧道顶板上方预留挡水墙,与后续二期钢板桩围堰衔接封闭。挡水墙、部分二期围堰钢板桩及旋喷桩嵌缝封堵,在一期施工期间同步完成,挡水墙及二期围堰钢板桩内部回填至规划湖底标高(绝对标高 -0.8 m),待二期围堰封闭后再回填至标高 3.00 m 。

(2)挡水墙宽度范围内的一期围护桩暂不凿除,待二期施工完成后一并处理。挡水墙与隧道顶板分离设置,保证隧道外包防水层完整性。挡水墙迎水面设置隔水措施,避免水从挡水墙与隧道顶板之间的缝隙渗入二期基坑。

4 穿湖段基坑工程设计

(1)一期穿湖围堰段主线隧道基坑长约 300 m, 宽 29.5 m。二期穿湖围堰段主线隧道基坑长约 140 m, 宽 29.5 m。

(2)穿湖段基坑采用钻孔桩+3-5道内支撑的支护体系,见图6。围护桩为 $\phi 1200@1400$ 钻孔桩,止水帷幕采用桩间旋喷+外排连续旋喷并进入强风化岩层隔断,第一道为混凝土支撑,其余为钢支撑。基坑开挖深度14~20 m,结合场地布置需要,部分位置设置纵向和横向临时栈桥板。

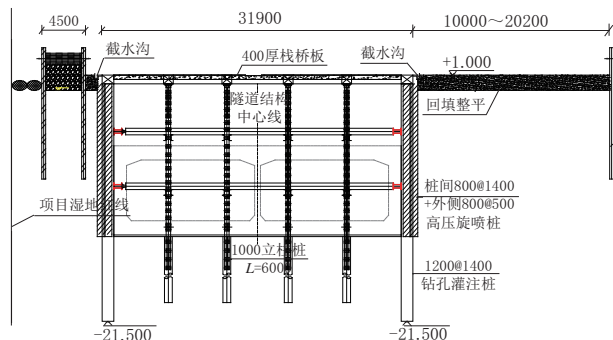


图6 穿湖段深基坑结构典型剖面图(单位:mm)

(3)临时围堰封闭完毕,且围堰内部的湖水已抽干,即进行土方回填处理,土方压实度达到设计要求,再根据施工组织设计进行道路硬化、堆场布置等工作。

5 变形监测数据分析

为全面掌握穿湖段临时围堰及深基坑的变形状

况,本文选取其中一个隧道主体结构已施工完成的监测断面,提取该断面内典型监测点的监测数据,包括:钻孔桩深层水平位移监测数据、支撑轴力监测数据、围堰堰体水平位移与垂直位移监测数据。通过对这些数据的分析,来探究临时围堰及深基坑工程在施工过程中的变形规律。

5.1 钻孔桩深层水平位移变形分析

基坑施工期间,实时获取支护桩深层水平位移的变化,并且根据施工现场的具体情况,重点记录了以下6个工况点的监测数据:第二道钢支撑安装完成;第三道钢支撑安装完成;基坑底板完成;第三道钢支撑拆除;第二道钢支撑拆除;顶板完成。为直观反映不同工况对深层水平位移的影响,研究绘制了相应的位移变化曲线,各工况下的曲线特征见图7。

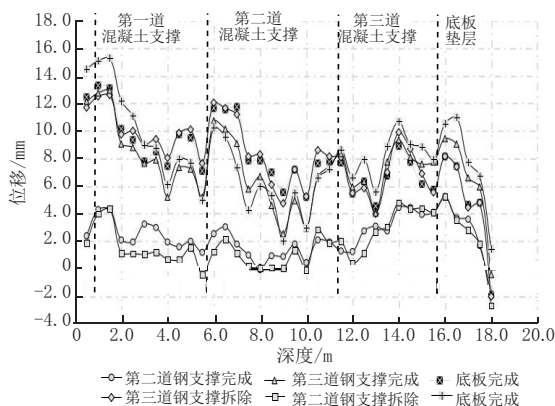


图7 钻孔桩深层水平位移变化曲线图

从图7数据分析可知:

(1)基坑开挖钻孔桩深层水平位移最大累计变形值为13 mm,从支撑拆除至顶板完成,最大累积变形值达到16 mm。可见,在土方开挖阶段基坑侧壁支护桩变形最大,占最终变形总量的比例达81%左右,特别是从最后一层土方开挖到底板施工完成这段时间,是基坑侧壁支护桩变形最为显著的时期。

(2)结合地质剖面分析,显著变形主要发生在淤泥层和黏土层,这与该类土层强度较低、易受扰动的特性密切相关。

(3)严格控制土方开挖,及时架设支撑,保持支护桩附近土体尽可能少受扰动,就能极大地降低支护桩的变形,并依靠支撑的侧向约束来平衡土压力,防止支护桩变形过大发展。

(4)在拆撑过程中,支护桩的变形主要集中于临近待拆支撑的位置,因为此时基坑内侧主体结构侧墙具备一定的刚度可对其起到一定程度的约束作用,因此本阶段支护桩变形不大,在可控制范围

之内。

5.2 基坑支撑轴力变化分析

为精准掌握深基坑内支撑体系的实际受力情况,工程现场采取针对性监测措施:针对体系中的混凝土支撑与钢支撑两类核心构件,分别布设了专用监测设备,以实现分类数据采集。为直观反映支撑轴力的动态变化规律,研究绘制了轴力随时间演变的曲线,该曲线具体内容见图8。

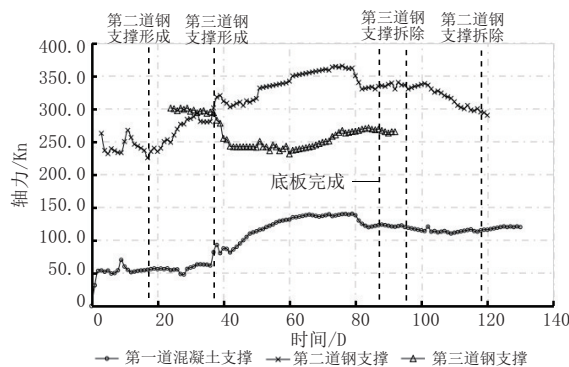


图8 支撑轴力变化曲线图

从图8的支撑轴力变化数据分析可知:

(1)第一道混凝土支撑的轴力变化呈现“前期快速调整、后期缓慢稳定”的整体规律,表明支撑与围护结构处于稳定的受力平衡状态。

(2)在支撑安装完成或垫层混凝土浇筑完成后,才会出现上一道钢支撑受力趋于稳定的状况。说明,及时根据开挖面架设匹配的钢支撑是避免开挖面上的某道钢支撑承受过多荷载的重要途径,可以稳定整个支撑体系。

(3)钢支撑拆除过程中,上部钢支撑能够及时分担被拆除支撑原本承担的部分荷载,通过受力传递实现体系内的力平衡,避免因支撑拆除导致局部受力突变。

(4)从钢支撑轴力变化趋势看,支撑体系和支护桩存在着相互制约、共同作用关系:支撑体系受外力产生侧向力时限制桩体变形,同时支撑体系内产生的力使桩体变形也随之产生相应的变化,二者的变化相对应相辅相成地保证基坑的安全稳定。

5.3 围堰堰体位移变形分析

为实时掌握临时围堰堰体的位移变形动态,保障围堰结构稳定,工程中针对性设置了两类监测点——分别用于监测堰顶水平位移与垂直位移;待堰体内部回填作业基本完成后,对上述监测点进行了初始数据采集,为后续变形监测提供基准参照。堰顶水平位移变形全过程历时曲线见图9,堰顶垂直位

移变形全过程历时曲线见图 10。

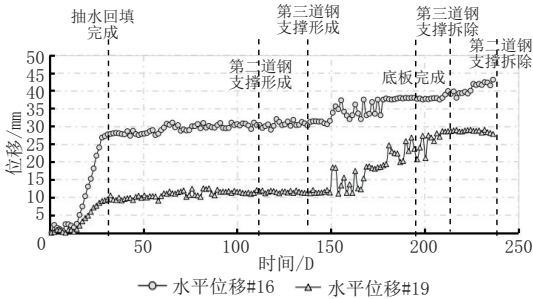


图9 堰顶水平位移变化曲线图

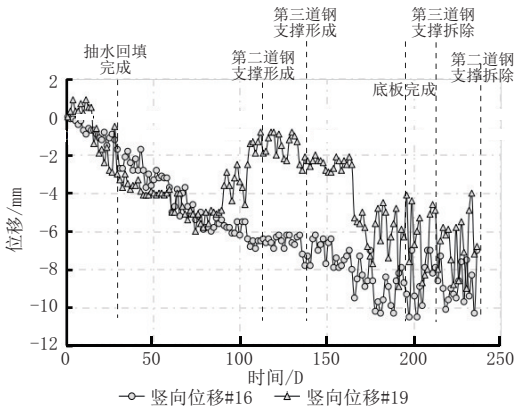


图10 堰顶垂直位移变化曲线图

从图9的监测数据中可分析出:其一,基坑开挖前,该区域堰顶水平位移的最大累积变形量为31 mm;其二,支撑拆除后,该区域堰顶水平位移最大累积值上升至约43 mm。通过数据对比可知,基坑开挖前的堰体最大变形量占最终总变形量的72%,由此可推断:堰体水平位移的主要变形过程发生在堰体构建、围堰内抽水与回填等前期阶段,基坑开挖阶段对堰体变形的影响相对有限。

由图10可看出,临时围堰堰顶垂直位置最大累计值为-11 mm,反映出在临时围堰堰体整体处于稳定状态。

6 结 语

通过对本工程穿湖段临时围堰以及深基坑工程施工技术的深入分析和变形数据的细致研究,我们

得以证实双排钢板桩围堰在结构上展现出了卓越的稳定性,同时在抗渗性能方面也表现出了显著的优越性。此外,采用分层开挖与内支撑支护相结合的施工工艺,不仅能够有效控制基坑在施工过程中的变形情况,还能在很大程度上确保整个施工过程的安全性和稳定性。这一系列的成功经验和有效措施,为今后同类工程的施工提供了宝贵的参考依据和可借鉴的实践经验,具有重要的指导意义和应用价值。

参考文献:

[1] 刘迪,赵自强.海域围堰及内嵌深基坑工程变形分析[J].施工技术(中英文),2023,52(6):13-17.

[2] 王海林.跨海隧道填海围堰内深大基坑支护选型与设计技术[J].中外公路,2018,38(6):190-193.

[3] 马传奇.内河港口码头深基坑及围堰施工技术[J].珠江水运,2025(10):84-86.

[4] 郭永芳,徐文强.深基坑钢板桩支护技术在施工中的受力分析[J].云南水力发电,2024,40(9):106-109.

[5] 魏若枫.双壁钢围堰设计及施工应用探讨[J].科技与创新,2025(4):213-215,219.

[6] 刘宏达.深水双壁钢围堰施工技术探讨[J].科技创新与应用,2024,14(29):189-192.

[7] 李国栋.双壁钢围堰施工技术优化及应用[J].四川水泥,2025(0):134-137.

[8] 李大伟.双壁钢围堰设计与施工关键工况分析[J/OL].工程建设,1-9[2025-09-17].

[9] 王富华,陆爱娇,付理想.钢板桩围堰设计方案与施工要点研究[J].西部交通科技,2023(12):162-164;173.

[10] 李鹏飞,王锴,李阳,等.钢围堰基坑监测工程变形特性分析与研究[J].建筑技术,2024,55(21):2597-2601.

[11] 程洪娟.简析深基坑与水域围堰相结合施工技术[J].大众标准化,2020(21):35-36.

[12] 袁亦璜.深基坑与水域围堰相结合施工技术[J].建筑技术开发,2015,42(12):27-29.

[13] 马骊骥.船闸水域围堰、基坑围护一体化研究[J].港口科技,2015(7):9-13;32.

[14] 齐宝德.基坑开挖对钢板桩围堰变形及受力分析[J].甘肃科技,2025,41(7):12-16;26.

[15] 冯合勋,钱广滨,张亚东.钢板桩围堰施工技术的稳定性分析与安全管控[J].科技创新与生产力,2024,45(12):52-55.