

高水位粉细砂地质条件下地下综合管廊施工控制

张全志, 车万超, 李国伟, 韩晓凌, 王 刚

中国水利水电第六工程局有限公司, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2025年4月23日; 录用日期: 2025年5月15日; 发布日期: 2025年5月28日

摘 要

以江东大道地下综合管廊工程为依托, 系统研究了高水位粉细砂地层下, 基坑底以下5 m范围内采用三轴搅拌桩进行水泥土体加固, 基坑内外管井预降水, 基坑采用SMW工法桩支护, 采用CPS-CL反应粘结型高分子湿铺防水卷材的施工工艺, 取得了良好的工程效果。

关键词

高水位粉细砂, 综合管廊, 施工控制

Construction Control of Underground Comprehensive Utility Tunnels under Geological Conditions of High-Water Level Fine Sand

Quanzhi Zhang, Wanchao Che, Guowei Li, Xiaoling Han, Gang Wang

SINOHYDRO Bureau 6 Co., Ltd., Shenyang Liaoning

Received: Apr. 23rd, 2025; accepted: May 15th, 2025; published: May 28th, 2025

Abstract

Based on the Jiangdong Avenue underground comprehensive utility tunnel project, this study systematically investigated the use of tri-axial mixing piles to reinforce the cement soil within 5 meters below the pit bottom in a high-water level fine sand stratum. The project also involved pre-dewatering

文章引用: 张全志, 车万超, 李国伟, 韩晓凌, 王刚. 高水位粉细砂地质条件下地下综合管廊施工控制[J]. 土木工程, 2025, 14(5): 1118-1124. DOI: 10.12677/hjce.2025.145119

inside and outside the pit using tube wells and using SMW method piles for pit support. Additionally, CPS-CL reactive bonding high molecular wet-laid waterproof membrane was employed, achieving excellent engineering results.

Keywords

High-Water Level Fine Sand, Comprehensive Utility Tunnel, Construction Control

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国沿海冲积平原、河流三角洲及围垦地区，广泛处于高水位粉细砂地质条件，土体颗粒分配上介于粘土与粉砂之间，其固结特性更接近于粉砂，当土体排水后土粒很快固结，具有一定的自立能力的特性，但土体渗透性强易于液化、饱水状态下力学性能大为降低，其条件下施工具有独有特性：“地下水位高、土体渗透性强、易于液化、排水固结性能好”。

城市地下综合管廊是指“建于城市地下，用于容纳两类及以上城市工程管线的构筑物及附属设施[1]”。即在城市地下建造一个隧道空间，将电力、通信，燃气、供热、给排水等各种工程管线集于一体，设有专门的检修口、吊装口和监测系统，实施统一规划、统一设计、统一建设和管理，达到城市地下空间资源的综合利用，是保障城市运行的重要基础设施和“生命线”[2]。

2. 工程概述

2.1. 水文地质条件

本工程位于杭州市钱塘区，毗邻钱塘江出海口，处于滨海地区，水系发达，河道稠密，地下水十分丰富，属于亚热带季风气候区，四季交替明显；工程场地为钱塘江河口冲海积形成的滩地，经后期人工围垦而成，地势较平坦、开阔，工程地质分区单一，属堆积平原(1)之冲海积平原亚区(11)，上部为冲海积砂质粉土及砂土，工程力学性质一般，厚度一般在 20.0~25.0 m 之间。

2.2. 工程简介

江东大道地下综合管廊工程位于杭州市钱塘区核心区域，全长约 4.58 km。地下综合管廊敷设于现状江东大道北侧辅道下方，管廊与现状江东大道距离约 12 m，其中 K2 + 400~K5 + 020.60 段采用三舱断面形式，内设市政舱、高压电力舱、燃气舱，K5 + 020.60~K6 + 980 段采用双舱形式，内设市政舱、燃气舱。

3. 工程施工

3.1. 施工工艺流程

地下综合管廊施工流程见图 1。

3.2. 基底加固

结合本工程地质水文条件，在管廊主体结构底部实施基底加固措施，基坑标高以下 5 m 部位采用 5%

水泥掺量三轴搅拌进行土体加固并辅以在人员出入口、机械排风口等结构部位布置抗拔桩的措施。

空搅加实搅的形式对基坑土体进行加固，基底 50 cm 以上采取三轴搅拌桩空搅不喷浆方式，基底以上 50 cm 至基底以下 5 m 范围内采用三轴搅拌桩实桩土体加固方式。

抗拔桩采用循环钻孔灌注桩方法施工，C35 水下混凝土灌注，抗拔桩主筋锚入管廊结构底板，锚固长度不小于 36 d (d 为钢筋直径)。

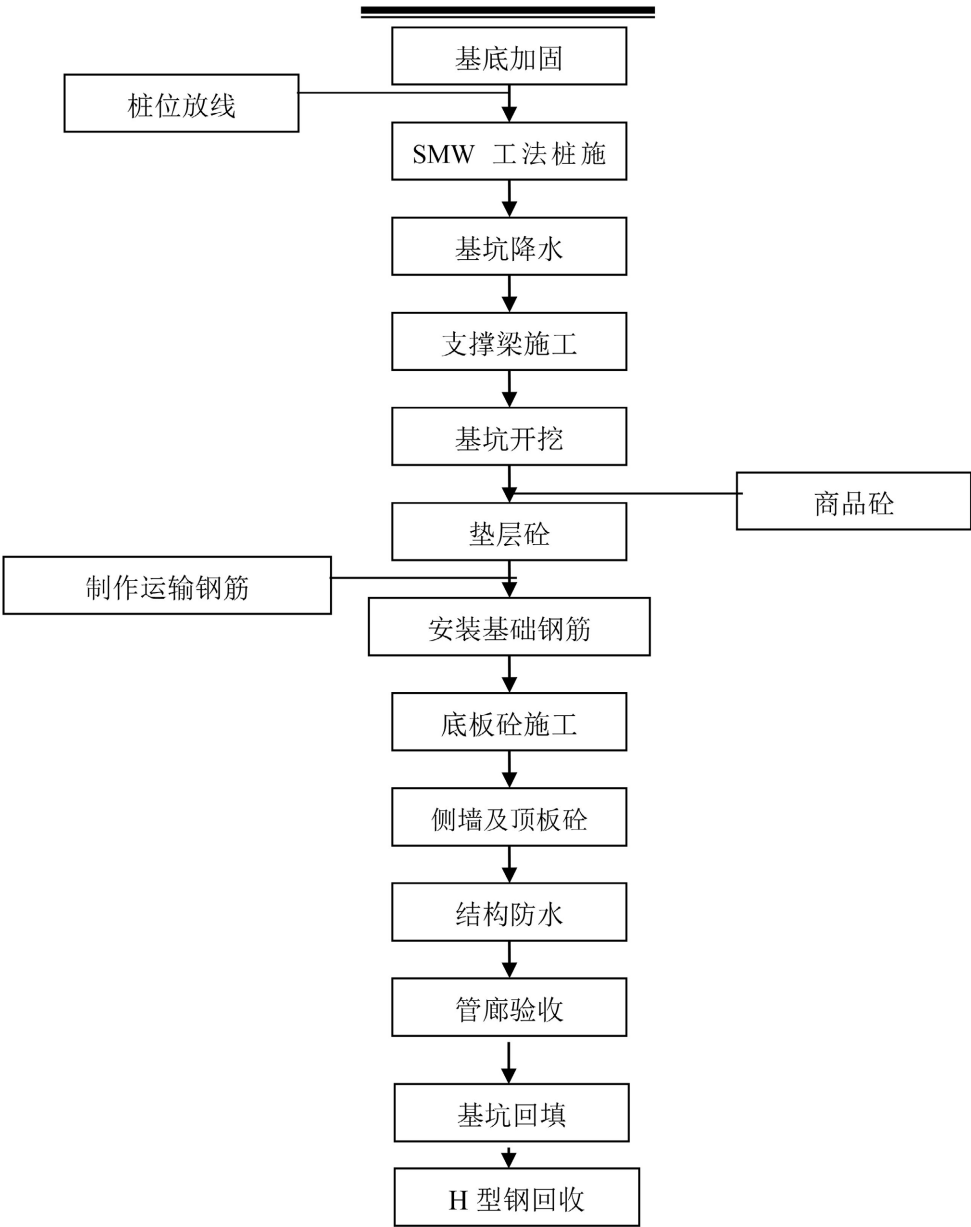


Figure 1. Construction process flow chart
图 1. 施工工艺流程

3.3. SMW 工法桩施工

基坑围护采用 SMW 工法桩进行施工，三轴搅拌桩通过采用跳槽式双孔全套复搅式工艺来保证搅拌

桩形成的水泥土墙的整体性,内插 H 型钢作为应力补强,形成一道具有一定强度和刚度的、连续完整的、无接缝的地下墙体[3]。

SMW 工法桩采用 DH608 三轴搅拌桩机以及与之配套的拌浆系统和输浆系统进行水泥土搅拌成桩,H 型钢一般采用吊机起吊型钢靠自重插入,必要时用液压振动锤进行压入。

待地下主体结构完成并达到设计强度后,采用专用夹具及千斤顶以圈梁为反梁,起拔回收 H 型钢,H 型钢拔出后采用水泥砂浆及时回填。

3.4. 基坑降水

根据工程地质及水文情况,经试验后采用坑内与坑外降水井相结合方式进行布置,基坑内设置疏干井,基坑外侧布置控制性降水井,降水井中线距离工法桩中线 2.4 m,降水井间距一般为 10 m,端头和结构体型变化的部位适当调整,降水井直径 800 mm;基坑内布置疏干降水井,井间距约 15 m,考虑到抽水期内沉淀物可能沉积的高度,决定坑内降水深度 $H = h$ (开挖深度) + 4 m;坑外降水井深度在基坑地面以下 5 m。

管井降水井点系统由潜水泵和管井组成,管井构造如管井构造图所示,井点井孔直径为 $\Phi 800$ mm、 $\Phi 273$ mm 钢质管作为井管。基坑降水成孔采用 GPS-10 型回旋钻机施工。

3.5. 基坑开挖

基坑土方开挖前,根据围护设计方案编制详细的土方开挖施工组织设计并组织专家论证。

开挖应遵循“先撑后挖”和“时空效应”原理,遵循分层、分块、对称开挖,避免产生偏压现象,避免相邻两段同时见底,相邻土体高差不大于 1.5 m,边开挖边支撑,确保基坑稳定[4]。

冠梁底面以上分段独立开挖,采用 PC220 反铲挖装,人工配合。冠梁以下总体从东西两端向中部分层分段开挖,采用长臂反铲挖机在基坑外挖装,小挖机和人工在坑内配合。基坑底 20~30 cm 采用人工开挖,减少对基底土体扰动。

3.6. 基坑监测

明挖基坑开挖过程中,建立专业监测小组,由具备丰富经验的工程技术人员组成。负责监测方案的制定与审核、监测仪器的埋设和调试、监测数据的收集、整理和分析,并快速、及时准确地反馈信息,指导施工[4]。

通过监测,收集基坑施工期间围护结构变形等参数,并结合周边建(构)筑物沉降情况进行工程的安全性分析,将其成果及时提供给业主、设计、施工、监理,做到信息化施工,保证工程结构及周边环境的安全,减少施工对周围环境的影响,从而有效控制施工安全。同时,积极配合业主进行与本工程有关的科研、监测、测试工作。通过对本工程监测可以达到以下目的:

- 1) 通过监测分析工程施工周围土体在施工过程中的动态变化,确定工程施工对原始地层的影响程度及可能产生失稳的薄弱环节。
- 2) 在土建施工过程中对周边环境和工程自身关键部位实施独立、公正的监测,基本掌握周边环境、围护结构体系的动态,验证施工方的监测数据,为业主、监理、设计、施工单位提供参考依据。
- 3) 通过现场监测信息反馈和施工中的地质调查,及时调整支护参数和采取相应的工程措施,优化施工工艺,达到工程优质、安全施工、经济合理、施工快捷的目的,并为今后类似工程提供借鉴。
- 4) 通过信息反馈进行安全预测及设计优化,在加强安全控制的同时减少投资,使工程始终处于安全可控状态,从更大程度上加强业主的风险控制。

3.7. 管廊主体施工

综合管廊主体分两次进行施工,首先浇筑底板及底板以上侧墙 40 cm,待底板混凝土强度达到设计规范要求后,再进行侧墙及顶板一起浇筑。

1) 模板及支架施工

侧墙及顶板模板采用新型聚丙烯纤维复合模板,聚丙烯纤维复合模板以丙烯树脂为原料,加入 30% 玻璃纤维,采用直接在线模压成型工艺而制作的新型模板,具有良好的耐热性、尺寸稳定性,操作使用方便,混凝土外观质量好。

采用碗扣式支架体系,支架系统由下而上依次为:支撑架底托基础、支架、顶托、主楞、次楞和底模等组成。

2) 钢筋绑扎

钢筋原材料进场后进行检测,确保原材料合格,按照图纸及规范进行绑扎和验收。

3) 混凝土施工

管廊主体结构混凝土选用抗渗、耐腐蚀的商品混凝土。混凝土浇筑前钢筋安装、模板支架等认真检查,符合图纸及规范后,再对仓号进行冲洗。采用混凝土运输车运送至灌注地点,汽车输送泵输送至浇筑仓面。浇筑过程中安排专人对模板支架进行看护。

4) 管廊防水

防水设计遵循了“以防为主、刚柔结合、多道防线、因地制宜、综合治理”的原则,以结构自防水为根本,采取措施控制结构混凝土裂缝的开展,增加混凝土的抗渗性能[5];以变形缝、施工缝、后浇带、穿墙管、桩头等细部构造防水为重点,辅以全包柔性防水层加强防水;

每段主体的防水施工顺序如下:底板防水层→底板防水砼→侧墙、顶板防水砼→顶板防水层。采用 CPS-CL 反应粘结型高分子湿铺防水卷材,很好地保证了工程防水质量。

3.8. 基坑回填

基坑内管廊结构及其顶板防水层完成后,及时报请监理验收,合格立即回填土方。填方土料要符合设计要求,保证填方的强度与稳定性,顶板以上 0.5 m 范围内的回填土采用人工使用小型机具夯填。

3.9. BIM 技术应用

本工程建立了相应 BIM 工作团队,确定了组织架构和工作职责,创建了综合管廊 BIM 施工管理平台,利用 BIM 技术进行施工场地和管廊建筑三维模型进行工程场景模拟,使参建各方可以直观地了解管廊特性[6]。同时利用模型,对工程重难点和复杂工艺技术节点进行施工工艺虚拟模拟,实现可视化施工技术交底。

4. 施工控制要点

1) 基底搅拌水泥土加固合理控制喷浆压力及上部空搅长度,避免基坑开挖土体被加固;抗拔桩施工完成对桩进行竖向承载力及桩身完整性检测,需满足设计及规范要求。

2) SMW 工法桩施工在下沉和提升过程中均应按照设计要求注入水泥浆液,同时严格控制下沉和提升速度,根据设计要求和有关技术资料规定,下沉速度不大于 1 m/min,提升速度不大于 2 m/min,避免因提升过快,产生真空负压,孔壁坍方。在桩底部分适当持续搅拌注浆,做好每次成桩的原始记录。

3) 采取“防、排、截、堵”等综合治理的措施和方针,互相结合,相辅相成,确保把施工期水的影响降到最低。

4) 基坑稳定问题突出,稍有不慎,就有可能造成基坑坍塌,产生安全事故,因此施工期深基坑安全监测应为工程的重点之一。

5) 基坑开挖必须在围护桩、冠梁、支撑等达到设计要求强度 90%后方可进行。开挖时,基坑边 10 m 范围内不允许存土,2 倍坑深范围内堆载不得大于 20 Kpa [7]。基坑开挖过程中应做好基坑内的排水工作,雨季施工应准备足够的排水设备,并做好基坑外的排水和截水工作。

6) 加强基坑的监测工作,及时反馈基坑动态信息,以便及时了解基坑情况,指导基坑的开挖工作。

7) 防水卷材铺设前,应确保基层平整,卷材铺设应紧密贴实、不空鼓,卷材铺设完毕后立即采用细石混凝土进行保护,避免日晒雨淋、人员行走等外在因素影响卷材性能。对加强对变形缝、预埋管件等细部结构的防水质量进行重点管控。

8) 管廊钢筋混凝土施工满足混凝土结构工程质量验收规范《GB 50204-2015》的相关规定。

5. 施工特点

1) 通过合理确定空搅长度,确保坑底 50 cm 以上均为空搅,避免了坑内开挖土体的加固浪费,降低施工成本,提高了基坑开挖效率。

2) 基坑内外管井预降水,降低了地下水位,提高土体的自立能力。

3) 采用 SMW 工法桩围护结构,内插型钢可以重复利用,减少了材料浪费;在围护及支撑结构作用下,基坑安全得到了有效保障,施工作业环境得到了很大改善,提高了作业安全性。

4) 采用 CPS-CL 反应粘结型高分子湿铺防水卷材,其环境适应性强、基层要求低、工艺简单、可加快施工进度、强度大、抗冲击性、抗穿刺性强及粘结力强。

5) 采用聚丙烯纤维复合模板,其自重较轻、便于安装施工;采用专用连接手柄、连接快捷、节省人工;模板自身强度及刚度较高、周转次数多、节省工程造价;模板质量好,混凝土成型效果好,拼缝无错台无漏浆,很好地保证了工程质量。

6) 同时利用模型,对工程重难点和复杂工艺技术节点进行施工工艺虚拟模拟,实现可视化施工技术交底。

7) 通过 BIM 技术实现了可视化施工技术交底,使参建各方直观地了解了管廊场景,提高了图纸审核的效率,直观地掌握现场基坑监测数据。BIM 为施工阶段提供了设计信息,提高了施工效率、节约了工程成本。

6. 结语

江东大道地下综合管廊施工所采用的技术措施,工程安全可控性高、防水性能佳、同时方便了施工、缩短了工期、降低了成本,安全风险低,且混凝土成型效果好,拼缝无错台无漏浆,很好地保证了工程质量。适用于广泛处于高水位粉细砂地质条件下沿海冲积平原、河流三角洲及围垦地,能够为今后类似条件下的地下综合管廊工程施工提供一定的经验。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部. GB50838-2015. 城市综合管廊工程技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [2] 肖鹏. 面向多源数据集成的城市综合管廊智慧监管关键问题研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2022.
- [3] 游华明. SMW 工法桩在深基坑围护中的应用[J]. 福建建材, 2019(4): 71-73.
- [4] 赵永立, 姜新新, 吴棕鹏. 地下综合管廊绿色施工技术探讨[J]. 中国建筑装饰装修, 2023(17): 89-91.

- [5] 孙建海, 石磊. 软土地区城市综合管廊防水工程研究与实践[J]. 城市道桥与防洪, 2024(2): 300-304.
- [6] 黄烨玲. BIM 技术在地下综合管廊基坑工程中的应用[J]. 福建建材, 2023(12): 109-112.
- [7] 林华强. 福州地铁 1 号线东街口车站基坑设计方案初探[J]. 福建建筑, 2011(2): 38-40.