

管廊工程基坑施工防排水及廊体防水技术要点分析

金少英

上海建工五建集团有限公司, 上海 200336

[摘要]市政项目综合管廊作为城市地下基建的关键载体,其防水品质对工程的使用寿命以及后期的运维安全有着直接的影响,文中以上海七宝九星片区综合管廊项目为实际案例,针对该区域分布软土淤泥质黏土、深基坑易出现渗漏水隐患等地质施工难点,实施一系列针对性的防渗施工技术,包括基坑围护阻水、主体结构防水、基坑疏干降水等,并对施工的工艺流程进行详细梳理,明确现场施工的质量管控要求。工程实践研究表明,通过实施多重防水防护体系,有助于解决软土地区深基坑渗水施工通病,在一定程度上避免了墙体形变,以供参考。

[关键词]综合管廊;软土地区;明挖基坑;防水技术;止水帷幕;质量控制

DOI: 10.33142/ect.v4i6.19952

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Analysis of Key Technical Points for Waterproofing and Drainage of Pipe Gallery Engineering Foundation Pit Construction and Gallery Waterproofing

JIN Shaoying

Shanghai Construction NO.5 (Group) Co., Ltd., Shanghai, 200336, China

Abstract: As a key carrier of urban underground infrastructure, the waterproof quality of municipal project comprehensive pipe gallery has a direct impact on the service life and later operation and maintenance safety of the project. Taking the Shanghai Qibao Jiuxing area comprehensive pipe gallery project as an actual case, this article implements a series of targeted anti-seepage construction techniques for geological construction difficulties such as soft soil, silty clay, and potential leakage hazards in deep foundation pits in the area, including foundation pit enclosure water blocking, main structure waterproofing, foundation pit dewatering and precipitation, etc. The construction process is detailed to clarify the quality control requirements for on-site construction. Engineering practice research has shown that implementing multiple waterproof protection systems can help solve the common problem of water seepage in deep foundation pits in soft soil areas, and to some extent avoid wall deformation, for reference.

Keywords: comprehensive pipe gallery; soft soil areas; open excavation foundation pit; waterproof technology; water stop curtain; quality control

引言

综合管廊作为城市基建提质升级的重点工程项目,能够有效解决城市管线频繁开挖返修等城市建设相关难题。长三角软土地质条件较为复杂,土层含水量比较大,采用明挖法施工,基坑容易发生渗水、地层不均匀沉降等质量隐患,防水工程成效重在现场施工把控,主要因维护止水缺陷以及节点防水疏漏相关原因导致各类渗漏问题的出现。以上海九星综合管廊实际项目为研究载体,充分围绕主体标准段、管线交汇段等复杂的施工场景,制定针对性的防水施工策略,搭建多重防水防护体系,避免基坑施工过程中出现土体沉降、结构开裂渗水等质量隐患,提高管廊的结构安全,延长使用寿命。

1 工程概况

1.1 项目基本概况

本工程处于上海市七宝镇九星片区,为智联路、星北路综合管廊新建项目,整体采用明挖施工工艺,配套同步修建管廊管控中心。施工现场毗邻城市市政道路、高压架空线缆、已建成市政排管及河道水工构筑物,现场环保管控标准严苛。项目基坑施工条件繁杂,划分多种施工基坑类型:常规标准段基坑开挖深度 6.5~7.5m,基坑宽度 5.1~7.8m;交叉口节点段基坑深度 6.5~8.5m,宽度 5.1~13.8m;横新港下穿区域属于超深基坑范畴,开挖深度 12.0~12.5m,宽度 5.5m;接驳连通段基坑深度 9.5~10.0m,宽度 6.7m;与电力排管交汇区段基坑深度 7.0~

7.5m, 宽度 3.5m, 施工期间需对既有地下管线实施专项防护。

1.2 工程地质与水文条件

场区浅层地层主要由③层淤泥质粉质黏土、④层淤泥质黏土构成, 该类土层均匀性不佳、地基承载力偏弱、压缩性高, 土体受施工扰动后极易发生滑移流变, 成为本工程基坑形变管控的主要难题。其中④层赋存微承压水, 埋藏浅、水位稳定且透水性能良好, 是基坑渗水、坑底突涌病害的主要水源。场区潜水埋深 0.5~1.5m, 水位受地表降水影响波动较大。如若防渗帷幕未能彻底隔绝含水地层, 极易形成渗流路径, 诱发各类施工安全风险。复杂特殊的地质与水文环境, 对基坑隔水防渗、降水疏干、土体加固及主体结构防水施工均提出严苛施工标准。

1.3 工程防水重难点分析

结合场地条件与施工工况, 本工程防水施工主要存在三大重难点: 一是软土微承压水防控难度大, 浅层微承压水分布广、压力稳定, 浅基坑易出现桩间渗水, 深基坑易引发坑底隆起、管涌病害, 后续围护桩、MJS 工法均以穿透承压水层、嵌入隔水层为核心止水思路; 二是多工况基坑防水体系差异化要求高, 项目涵盖普通基坑、深基坑、管线保护区基坑、河道旁基坑, 无统一施工工艺, 需分段定制防水方案, 后续分段选用 SMW 工法桩、灌注桩复合止水、MJS 工法三类差异化围护结构; 三是节点防水薄弱性突出, 管廊施工缝、变形缝、穿墙管、设备洞口等节点构造复杂, 是后期渗漏的高发区域, 精细化施工管控难度大, 后续采用结构自防水、卷材附加层、多道复合止水构造, 针对性强化节点防水能力。四是下穿河道区段基坑开挖深度大, 且临近高压架空线路, 施工空间受限, 大型搅拌桩无法布设, 常规围护止水方式不再适用, 需采用灌注桩搭配双排旋喷桩组合止水体系保障防渗效果。五是管线交叉段基坑紧贴现役电力排管, 止水注浆作业易扰动管线位移变形, 防水施工与管线保护相互制约, 需采用低扰动 MJS 工法, 兼顾止水密封与管线安全防护。六是基底以淤泥质软土为主, 土体密实度低、抗渗性差, 受力后易不均匀沉降, 进而造成结构开裂、防水层破损渗水, 后续配套抽条、满堂差异化地基加固技术, 从基底源头降低变形渗水风险。

2 差异化基坑围护止水防水技术

2.1 SMW 工法桩围护防水技术

SMW 型钢水泥土搅拌墙兼具挡土、止水双重功能, 施工速度快、止水性能好, 为本工程标准段、节点段、控

制中心连接段的核心围护形式, 采用三轴搅拌桩套接一孔法施工, 保证桩体无缝搭接。

标准段及 6.5~8.0m 浅深节点段: 采用 $\phi 650@450\text{mm}$ 三轴水泥土搅拌墙, 内插 HM500 $\times 300 \times 11 \times 18$ 型钢, 插一跳一布置, 型钢长度 16~17m, 集水井区域型钢密插、桩长增加 2m; 8.0~8.5m 深节点段: 采用 $\phi 850@600\text{mm}$ 三轴搅拌墙, 内插 HN700 $\times 300 \times 13 \times 24$ 型钢, 插一跳一布置, 型钢长度 15~18m, 集水井处桩长增加 2~3.5m; 9.5~10.0m 控制中心连接段: 采用 $\phi 850@600\text{mm}$ 三轴搅拌墙, 内插 HN700 $\times 300 \times 13 \times 24$ 型钢, 桩长 21.5m, 浅基坑段 SMW 工法桩插入比控制 0.85~0.92, 深段控制中心连接段型钢超插, 插入比取 1.05~1.15, 集水井处桩长增加 2m。防水施工控制要点: 严控桩体搭接质量, 套接一孔法施工相邻桩施工间隔不超过 24h, 杜绝冷缝产生, 保证止水帷幕整体连续性; 注浆压力 0.8~1.0MPa, 搅拌提升速度 1.0~1.5m/min, 桩底原位搅拌注浆不少于 20s; 在水泥土初凝前完成型钢插入, 保证型钢与水泥土紧密粘结, 避免形成内部渗水通道; 所有搅拌桩桩底穿透微承压水层, 嵌入不透水层 $\geq 1.5\text{m}$, 彻底阻断承压水渗透路径。

2.2 钻孔灌注桩+旋喷桩止水帷幕防水技术

智联路下穿横新港段基坑开挖深度达 12.0~12.5m, 属于深基坑, 且场地两侧存在高压电力架空线, 施工安全距离受限, 无法采用大尺寸搅拌桩施工, 因此采用钻孔灌注桩挡土+双排高压旋喷桩止水的复合防水围护体系。围护桩采用 $\phi 900@1050\text{mm}$ 钻孔灌注桩, 桩长 28m, 集水井处桩长增加 2m, 桩体插入比控制在 1:0.7~1:1.2; 止水帷幕采用双排 $\phi 800@500\text{mm}$ 高压旋喷桩, 桩长 18m, 整体穿透④微承压水层, 嵌入下部不透水地层, 形成封闭式止水结构。钻孔灌注桩施工采用泥浆护壁工艺, 严控泥浆比重 1.15~1.25, 防止塌孔缩径, 保证桩身完整性与密实度; 桩身混凝土连续浇筑, 超灌高度不小于 0.5m。高压旋喷桩采用双重管高压喷射工艺, 喷射压力不低于 20MPa, 提升速度 10~15cm/min, 桩间搭接宽度 $\geq 200\text{mm}$, 采用跳打施工工艺。

2.3 MJS 工法围护防水技术

智联路与古龙路现状电力排管十字交叉段, 基坑紧邻既有重要管线, 采用 MJS 全方位高压喷射注浆工法。MJS 工法围护结构整体宽度 6m, 施工深度 16m, 配合钢筋混凝土支撑+钢支撑组合支护体系, 兼顾挡土、止水与管线保护三重作用。施工前先掏槽开挖管线周边覆土, 暴露既有电力排管并安装专用悬吊固定系统, 锁定管线位置, 杜

绝施工扰动位移。MJS 施工采用低压慢喷、匀速提升工艺,实时监测喷射压力、流量与成桩垂直度,桩体垂直度偏差 $\leq 1/200$,桩间搭接 $\geq 300\text{mm}$,保证止水帷幕整体封闭。施工完成后对桩体完整性进行检测,对局部薄弱区域实施二次注浆补强,确保无渗漏通道。各工况基坑围护及防水措施参数对比见表 1。

3 基坑辅助防水施工技术

3.1 差异化地基加固技术

本工程基坑基底位于淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土层,土体抗渗性差、易变形,为防止坑底隆起、管涌渗水,根据不同基坑工况采用抽条加固、满堂加固两种模式,所有加固深度均为坑底以下 3m。标准段与节点段选用 $\varnothing 850@600$ 三轴水泥土搅拌桩,抽条宽度 3m、间距 6m,形成格栅式加固体系,在控制成本的同时提升坑底整体稳定性;横新港深基坑段采用 $\varnothing 800@500$ 高压旋喷桩抽条加固,适配深基坑高受力、高抗渗需求。控制中心连接段、平南路隧道连接段受力复杂、防水等级要求高,采用 $\varnothing 850@600$ 三轴搅拌桩满堂加固,杜绝不均匀沉降引发的结构开裂渗水问题。

3.2 基坑降水施工技术

为保障基坑干作业施工,消除上层潜水与微承压水对基坑施工的影响,本工程采用疏干井降水方案,全程动态管控地下水位。根据基坑尺寸、开挖深度分层布设疏干井,井径、滤管埋深适配含水层厚度,采用无砂混凝土管成井,井周回填级配砾石滤料,防止涌砂堵井。开挖前 7~10 天启动预降水,将开挖面地下水位稳定控制在坑底以下 0.5~1.0m。降水作业持续至基坑回填完成、结构成型稳定后终止,杜绝水位回升导致的基底渗水、隆起隐患。

4 管廊主体及节点防水施工技术

4.1 结构自防水施工技术

本工程主体结构采用 C40、P8 抗渗防水混凝土,关

键节点区域提升至 P10 抗渗等级。施工中严格优化混凝土配合比,选用低水化热硅酸盐水泥,掺加粉煤灰、矿粉及高效膨胀减水剂,严控水胶比 ≤ 0.45 ,减少混凝土收缩裂缝。混凝土采用分层分段对称浇筑,分层厚度 $\leq 300\text{mm}$,插入式振捣器快插慢拔、均匀振捣,杜绝漏振、过振产生蜂窝、麻面、空洞等缺陷。浇筑完成后 12h 内覆盖土工布保湿养护,养护周期不少于 14d,严控结构内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ 。

4.2 外包柔性防水层施工技术

管廊底板、侧墙、顶板迎水面采用高聚物改性沥青防水卷材外包防水,施工前对垫层、结构基层进行打磨找平,清除浮浆、油污,阴阳角做成 $R \geq 50\text{mm}$ 圆弧,涂刷配套基层处理剂。卷材采用热熔法施工,搭接宽度 $\geq 100\text{mm}$,搭接缝热熔饱满、粘结牢固,无空鼓、褶皱、翘边缺陷。所有阴阳角、施工缝、变形缝位置增设 500mm 宽卷材附加层,强化薄弱区域防水性能。

4.3 关键节点防水加强技术

节点渗漏是地下管廊工程的主要质量通病,本工程针对施工缝、变形缝、穿墙管等薄弱节点,采用多道复合防水构造,全面提升节点防水可靠性。施工缝采用“渗透结晶涂料+遇水膨胀止水条+水泥砂浆结合层”三道防水构造,施工缝浇筑前打磨清理界面,涂刷 2.0mm 厚水泥基渗透结晶防水涂料,固定遇水膨胀止水条,保证接缝粘结密实。变形缝采用中埋式橡胶止水带+外贴止水带+聚氨酯密封胶组合防水,止水带居中安装、无扭曲弯折,接头热硫化焊接成型;缝内设置泡沫棒背衬,表层嵌填弹性密封胶,适配结构沉降变形,杜绝缝隙渗水。穿墙管线采用柔性防水套管止水构造,套管止水环满焊密封,管线与套管间隙填充遇水膨胀橡胶条,表层密封胶封堵+防水涂料加强,彻底消除管线周边渗水通道。

表 1 各工况基坑围护及防水措施参数对比表

工况类型	开挖深度 (m)	基坑宽度 (m)	围护结构形式	支撑体系	地基加固方式	核心防水措施
标准段	6.5~7.5	5.1~7.8	$\varnothing 650@450$ SMW 工法桩	2 道 (混凝土+钢支撑)	三轴搅拌桩抽条加固	桩底嵌入不透水层 $\geq 1.5\text{m}$
浅节点段	6.5~8.0	5.1~13.8	$\varnothing 650@450$ SMW 工法桩	2 道 (混凝土+钢支撑)	三轴搅拌桩抽条加固	桩底隔断微承压水层
深节点段	8.0~8.5	5.1~13.8	$\varnothing 850@600$ SMW 工法桩	2 道 (混凝土+钢支撑)	三轴搅拌桩抽条加固	桩底嵌入不透水层 $\geq 1.5\text{m}$
下穿横新港段	12.0~12.5	5.5	钻孔灌注桩+双排旋喷桩	3 道 (混凝土+双钢支撑)	旋喷桩抽条加固	双排止水帷幕隔断承压水
控制中心连接段	9.5~10.0	6.7	$\varnothing 850@600$ SMW 工法桩	3 道混凝土支撑	三轴搅拌桩满堂加固	全断面止水兜底加固
管线交叉段	7.0~7.5	3.5	MJS 工法围护	2 道 (混凝土+钢支撑)	配套地基加固	整体封闭式止水围护

5 施工质量控制与病害处理

严格执行关于原材料进厂的检验流程,对于主要建材如防水卷材、型钢、水泥等,需要提供出厂合格证明以及质量检测资料,现场进行取样抽检,在确保质量达标之后方可投入施工过程中。对于施工过程中的重点工序,例如基坑支护施工、部节点处理,防水面层铺设等,需要安排专人进行全程监管,以此确保能够落实规范作业,详实留存全流程施工台账。在防水层完工之后布设警示防护设施,避免因机械或尖锐的物料碰撞而导致防水层受到破坏。加强安全教育,全体职工进入施工现场前的入场教育,各工种结合培训的安全操作规程教育,贯彻落实各项安全技术措施。与此同时,搭建现场动态监测机制,对基坑的沉降、土体位移以及渗漏水状况进行全程监督,做到安全隐患及时排查,及时处理。在整个基坑施工过程中,做到精细化施工管理,从施工一开始就策划对周边环境的保护方案,严格控制围护桩的施工质量,避免因围护失稳造成基坑风险和周边环境变形。

针对基坑轻微桩间渗水,采用引流注浆、表面封堵方式处理;针对承压水轻微管涌,立即停止开挖,采用压密注浆补强止水帷幕,加固坑底土体。针对结构施工缝细微渗水,采用水泥基渗透结晶涂料修补;针对节点缝隙渗水,重新嵌填密封胶、增设防水附加层。所有防水施工完成后开展 24h 闭水试验,无渗漏、无积水即为合格,保障管廊防水质量达标。

6 结论

城市综合管廊是保障城市运行的重要基础设施和“生命线”,其不仅可解决城市交通拥堵问题,还极大方便了电力、通信、燃气、供排水等市政设施的维护和检修。因此,做好城市综合管廊建设十分重要。本工程结构施工,混凝土水化过程中由于温度应力和收缩的作用,很容易造

成管廊结构内壁等部位在施工阶段出现裂缝,因此对结构的施工质量和抗渗漏要求较高。通过分段定制差异化围护止水体系、配套地基加固与降水措施、强化结构本体及节点防水,构建了全方位、多防线的防水施工体系,可精准适配不同基坑深度、不同周边环境的防水需求,有效阻断地下水渗透通道,实现坑底加固与动态降水相结合,可有效控制软土基坑变形、杜绝坑底管涌、隆起病害,结构自防水与柔性外包防水、节点加强防水相结合的复合体系,可彻底解决管廊结构渗漏通病。

该套防水施工技术体系针对性强、可靠性高,完美适配长三角软土地区综合管廊明挖施工场景,有效提升了工程施工质量与结构耐久性,可为同类市政地下管廊工程提供成熟的技术参考与实践借鉴。后续可结合智能监测技术,实现基坑防水、结构渗漏的全过程动态监测,进一步提升地下工程防水运维的智能化、精细化水平。

[参考文献]

- [1]孙兵.基于复杂地质条件的地下综合管廊混凝土施工技术研究[J].水泥,2025(5):86-88.
- [2]吉璐璐.大跨度综合管廊工程防水施工技术运用[J].建筑机械化,2025,46(4):156-161.
- [3]刘以汉.市政地下综合管廊结构工程防水施工技术分析[J].工程技术研究,2024,9(14):97-99.
- [4]刘海强.市政地下综合管廊结构工程防水施工技术[J].中国住宅设施,2024(2):127-129.
- [5]郭猛.市政地下综合管廊结构工程防水施工技术分析[J].工程技术研究,2022,7(14):86-88.

作者简介:金少英(1989—),男,汉族,浙江湖州人,助理工程师,全日制本科,毕业于上海应用技术学院土木工程系,研究方向为市政工程综合管廊项目,现任项目技术负责人,从事项目技术工作。