

城市综合管廊基坑支护选型

张嘉鑫

(中交一航局第二工程有限公司)

摘要: 基坑支护虽然是施工期间的临时支挡工程,但其选型对工程施工的安全、进度、经济效益等有着不可忽视的影响。为了确定科学合理、安全可靠、方便经济的管廊基坑支护方案,以天长市南市区二期基础设施工程二凤南路综合管廊工程为依托,根据管廊主体结构分布特点、工程地质、周边环境等条件,对多种基坑支护形式进行分析研究,从施工风险、施工难度、环境影响、控制变形能力、经济指标等方面综合比选,确定了合理、可靠的基坑支护方案,节约了造价,降低了施工风险,对类似管廊基坑支护形式的选择具有一定的借鉴意义。

关键词: 综合管廊;黏土;基坑支护;基坑开挖

0 引言

基坑支护形式的合理选择,是基坑支护设计与施工的首要关键工作,应根据地质条件,周边环境的要求及不同支护形式的特点、造价等综合确定^[1]。一般地质条件较好、周边环境要求较宽松时,可以采用柔性支护,如土钉墙等;当周边环境要求高时,应采用较刚性的支护形式,以控制水平位移,如排桩或地下连续墙等^[2]。同样,对于支撑的形式,当周边环境要求较高、地质条件较差时,采用锚杆容易造成周边土体的扰动并影响周边环境的安全,采用内支撑形式较好;地质条件特别差、基坑深度较深、周边环境要求较高时,采用地下连续墙加逆作法这种强支护形式^[3]。

本文根据基坑支护方案科学合理、安全可靠、方便可行、造价经济的原则,分析研究了天长市南市区二期基础设施工程二凤南路综合管廊基坑

支护结构的选型,通过分区段采取适用的基坑支护结构,在实际施工中取得较好效果,对类似管廊基坑支护结构的选型具有一定的借鉴意义。

1 工程概况

二凤南路综合管廊工程为天长市南市区二期基础设施工程一项子单位工程,起于千秋大道,止于兴业大道,呈南北走向,全长约 1.3 km。管廊位于规划的二凤南路东侧,按计划管廊先于道路建设。管廊结构形式为单仓管廊,管廊内侧标准断面尺寸为 3.3 m×3.3 m,管廊顶常规埋深 2.5~3.0 m。管廊沿线有 3 个交叉口,交叉口位置管廊埋深较深,管廊顶埋深约 6.0~9.0 m。管廊为钢筋混凝土闭合框架结构,管廊结构顶板厚度为 500 mm,底板厚度为 600 mm,侧墙厚度为 500 mm,管廊底板上层设素混凝土找平层,管廊主体结构形式如图 1 所示。

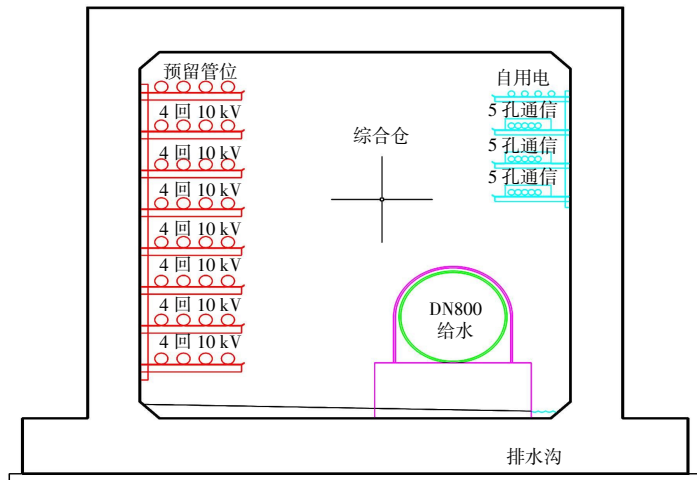


图 1 二凤南路标准段结构断面图

2 管廊结构分布特点及环境条件

2.1 管廊结构分布特点

二凤南路管廊沿线有 3 个交叉口，自北向南依次为与学苑路交叉口、与天宁大道综合管廊交叉口、与体育路交叉口，交叉口位置管廊埋深较深，管廊顶埋深约 6.0~9.0 m。管廊标准段基坑开挖深度约 5.0~9.0 m，在与其他道路、管廊交叉口部位开挖深度较深，约为 9.0~14.0 m。

根据管廊主体结构在地下埋深分布特点，对基坑施工区域进行划分：1) 将管廊标准段划分为普遍区域，基坑一般开挖深度约为 5.0~9.5 m；2) 将二凤南路管廊与其他道路、管廊交叉口部位划分为交叉口区域，基坑开挖深度约为 9.5~14.0 m。

2.2 环境条件

管廊工程北侧为千秋大道，且已经通车，施工空间较为紧张，其他区域主要为住宅、商业等建筑用地，局部有水塘分布。管廊东侧沿线有施工中的住宅、文化艺术中心工程等，管廊西侧为二凤南路施工区域。

场地地貌形态属沿江丘陵平原地貌单元，微地貌为岗地夹坳沟。地质构成自上而下依次为：①层素填土(Q^m)，层厚 0.5~5.3 m；①-2 淤泥(Q_4^1)，层厚 0.9~1.2 m；②层粉质黏土(Q_4^{al+pl})，层厚 0.8~4.7 m；③层黏土(Q_3^{al+pl})，层厚 3.6~15.2 m；④层中粗砂(Q_3^{al+pl})，钻探未揭穿该层。

拟建工程范围内③层黏土属于弱膨胀土，具有弱膨胀潜势，根据本地区经验，膨胀土对基坑土体破坏性较为明显，施工过程中应避免土质在地表水和地下水的影响下强度下降。

拟建场地地下水埋深为 0.4~2.5 m，地下水位标高为 16.7~25.7 m；年变化幅度约 1.0~2.0 m。各岩土层渗透系数经验值见表 1。

表 1 场地各土层渗透系数经验值

| 地层编号 | 土层名称 | 渗透系数 $k/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$ |
|------|------|--|
| ① | 素填土 | 1.0×10^{-4} |
| ①-2 | 淤泥 | 1.0×10^{-5} |
| ② | 粉质黏土 | 1.0×10^{-6} |
| ③ | 黏土 | 1.0×10^{-7} |
| ④ | 中粗砂 | 1.0×10^{-3} |

3 普遍区域基坑支护选型

3.1 基坑支护形式

黏土的自由膨胀率(δ_d)为 42.0%~52.0%、具有弱膨胀潜势，由于膨胀土具有吸水膨胀、失水

收缩的工程特性，产生不均匀变形易导致土体开裂，故管廊基坑开挖支护方案的选择应考虑降低土方开挖对施工中的住宅、文化艺术中心工程等周边建筑以及二凤南路路基的影响。

根据类似工程的经验及 JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》、GB 50202—2018《建筑地基基础工程施工质量验收标准》，本工程普遍区域可采用放坡喷射混凝土支护、二级放坡土钉墙支护、钢板桩支护。

3.1.1 放坡喷射混凝土支护

采用一级放坡喷射混凝土，边坡坡率为 1:2 或 1:1，坡面采用挂网喷射混凝土防护。该方法支护结构本身造价最低，土方开挖速度快，但由于完全依靠土体自身的稳定性，因此需要较缓的放坡坡比，导致基坑开挖断面较大、占地空间大、土方量大，也加大了后期管廊结构施工材料吊装和运输的难度。

3.1.2 二级放坡土钉墙支护

二级放坡土钉墙支护边坡的坡率为 1:0.8、1:0.6，采用土体原位加筋技术，通过土体、土钉及面层三者的共同作用保证土体的稳定，土方开挖断面小、占地空间小、土方量小、对周边环境影响小，利于后期管廊结构施工材料吊装和运输。但其支护结构本身造价比放坡喷射混凝土支护高，工期较放坡喷射混凝土支护长。

3.1.3 钢板桩支护

钢板桩支护是利用钢板桩本身的抗弯、抗剪能力辅以钢支撑抵抗坑外的水土压力，支护结构本身造价高，具有土方开挖断面小、占地空间小、土方量小的特点，但内支撑不利于后期管廊结构施工材料吊装和运输。本工程③层黏土、④层中粗砂均属中硬土，强度高，钢板桩打入困难，可能需要引孔，会进一步增加钢板桩造价及钢板桩施工工期的不确定性。

3.2 经济指标分析

根据普遍区域采用放坡喷射混凝土支护、二级放坡土钉墙支护、钢板桩支护形式所包含项目的工程量、基坑开挖与回填工程量、综合单价、信息价等经济指标，对综合造价进行计算和对比分析。普遍区域管廊沿线总长度 925 m，放坡喷射混凝土支护综合造价 939.7 万元、二级放坡土钉墙支护综合造价 849.9 万元、钢板桩支护综合造价 871.5 万元。

3.3 基坑支护方案

对普遍区域基坑支护方案的施工工艺、环境

影响、土方开挖量、经济指标等进行综合分析评价,见表 2。

表 2 普遍区域基坑支护方案对比

| 方案 | 主体结构施工影响 | 对周边环境影响 | 施工难度 | 土方开挖量/万 m ³ | 综合造价/万元 |
|-----------|------------|------------|------------|------------------------|---------|
| 放坡喷射混凝土支护 | 不利于材料吊装和运输 | 对路床原状土扰动大 | 较小 | 10.81 | 939.7 |
| 二级放坡土钉墙支护 | 利于材料吊装和运输 | 对路床原状土扰动较小 | 较小 | 8.53 | 849.9 |
| 钢板桩支护 | 不利于材料吊装和运输 | 对路床原状土扰动小 | 施工难度较大、工期长 | 6.83 | 871.5 |

3 种方案优缺点为:放坡喷射混凝土支护对周边环境影响较大,扰动道路路基原状土,放坡距离过大不利于材料吊装和运输,土方开挖量较大,对本工程适用性较差;二级放坡土钉墙支护形式,利于材料吊装和运输,容易施工,对路床原状土扰动较小,造价比放坡喷射混凝土支护节

约 89.8 万元,同时土方开挖量比放坡喷射混凝土支护减少约 2.3 万 m³;钢板桩支护方案造价较高,钢板桩施工难度较大,工期不易控制。经综合比选,本工程普遍区域基坑支护方案采用放坡土钉墙支护方案。二级放坡土钉墙支护的典型断面如图 2 所示。

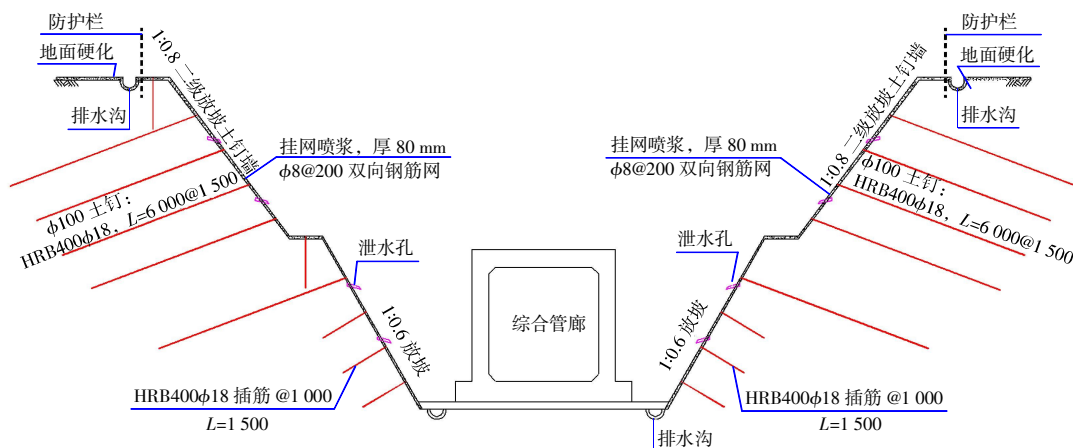


图 2 二级放坡土钉墙支护的典型断面(mm)

4 交叉口区域基坑支护选型

4.1 基坑支护形式

本工程交叉口区域基坑开挖深度 9.5~14.0 m, 不仅基坑开挖深度较深,相较于标准段施工工艺复杂、施工周期长。因此,将交叉口区域作为独立施工区段单独施工,可采用上部放坡+下部悬臂式排桩支护、上部放坡+下部桩锚支护、上部放坡+下部桩撑支护形式。

4.1.1 上部放坡+下部悬臂式排桩支护

悬臂式排桩支护通过桩前的被动土压力对桩底的转动抵抗力矩平衡桩后的主动土压力对桩底的倾覆力矩。悬臂式排桩支护的优点包括:1) 工期短,悬臂式排桩施工完成养护到规范要求龄期后即可分层开挖土方至坑底,开挖至坑底即可向上施工管廊主体结构;2) 坑内敞开式开挖,无内

支撑障碍物,便于土方开挖和后续管廊主体结构施工。缺点为桩径、桩长较大,造价高,控制变形能力弱。

4.1.2 上部放坡+下部桩锚支护

桩锚支护即采用钻孔灌注桩+预应力锚索的支护方式,预应力锚索通过锚固段与周围土体的摩阻力为支护桩提供支点反力,共同抵抗基坑外侧水土压力。桩锚支护的优点为基坑内可敞开式作业,无内支撑障碍物,便于土方开挖和后续管廊主体结构施工。缺点为:1) 锚索需要锚入基坑外地层,影响相邻地块或建筑的地下空间;2) 桩锚支护相较于桩撑,属于半刚性支护,抗变形能力较弱。

4.1.3 上部放坡+下部桩撑支护

桩撑支护采用钻孔灌注桩+钢支撑的支护形

式，基坑内的水平支撑和钻孔灌注桩共同抵抗基坑外侧水土压力。桩撑支护的优点是内支撑刚度大，控制变形能力强，内支撑设置于基坑内不影响基坑外侧地下空间。缺点为内支撑设于坑内，影响土方开挖和后续管廊主体结构的施工。

4.2 经济指标分析

根据叉口区域悬臂式排桩支护、桩锚支护、桩撑支护形式所包含的工程量、基坑开挖与回填

工程量、综合单价、信息价等经济指标，对综合造价进行对比分析。交叉口区域管廊沿线总长度365 m，悬臂式排桩支护综合总价1 882.8万元、桩锚支护综合总价1 431.6万元、桩撑支护综合总价1 381.8万元。

4.3 基坑支护方案

对基坑支护方案的施工工艺、环境影响，控制变形能力、经济指标等综合分析评价，见表3。

表3 交叉口区域支护方案对比

| 方案 | 对主体结构施工影响 | 对周边环境影响 | 施工难度 | 控制变形能力 | 综合造价/万元 |
|-------|-------------|----------------------|------|--------|---------|
| 悬臂式排桩 | 便于土方开挖和主体施工 | 对周边地下影响较小 | 较大 | 弱 | 1 882.8 |
| 桩锚支护 | 便于土方开挖和主体施工 | 锚索锚入基坑周边地下，影响周边建筑物基础 | 较小 | 较弱 | 1 431.6 |
| 桩撑支护 | 影响土方开挖和主体施工 | 对周边地下影响较小 | 较小 | 强 | 1 381.8 |

悬臂式排桩支护方案便于土方开挖和主体施工，对周边地下影响较小，但控制变形能力弱，施工风险较大，综合造价较高；桩锚支护方案便于土方开挖和主体施工，对基坑有一定控制变形能力；桩撑支护方案施工难度小，控制变形能力强，造价较低。通过综合对比分析，本工程交叉口区域支护方案采用上部放坡+下部桩撑支护方案，典型断面如图3所示。

形式土方开挖量为8.53万m³，土方开挖量减少了约2.3万m³，减小了管廊基坑开挖对路基原状土的扰动。在交叉口区域深基坑采用上部放坡+下部桩撑支护方案，控制基坑变形能力强，降低了施工风险，为管廊主体工程安全顺利施工创造了有利的条件。

6 结语

本文通过分析管廊主体结构分布特点、工程地质、周边环境等条件对基坑施工区域进行划分，将管廊标准段划分为普遍区域，将管廊与其他道路、管廊交叉口部位划分为交叉口区域，从而针对不同开挖深度的基坑进行支护方案研究。从施工风险、施工难度、环境影响、控制变形能力、经济指标等方面综合研究分析基坑支护形式，确定了经济合理、安全可靠的基坑支护方案，在工程实施过程中，取得了较好的应用效果。但研究工作中尚存在诸多不足之处，研究过程中所依托的工程地质条件较为单一，开挖土层主要为黏土，而不同项目工程地质、水文地质及环境条件差异较大，影响因素众多，基坑工程支护方案需要进一步深入拓展研究。

参考文献：

[1] 丁敏. 深基坑支护细部结构优化及应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.

[2] 廖晓坤. 深基坑支护工程的分析与研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2008.

[3] 孙超. 深基坑支护新技术现状及展望[J]. 建筑科学与工程学报, 2018(3):25-29.

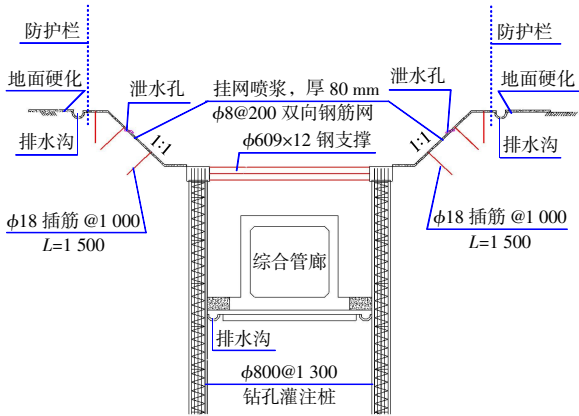


图3 上部放坡+下部桩撑支护的典型断面(mm)

5 实施效果

通过优化综合管廊基坑支护选型，采用较为经济、安全可靠的方案，与初步确定的放坡喷射混凝土支护开挖方案相比，在普遍区域，节约了综合成本约89.8万元，放坡喷射混凝土支护形式土方开挖量为10.81万m³，二级放坡土钉墙支护