

SMW 工法桩在水浸黑点应急治理工程中的综合应用研究

文 / 秦陈福 广州珠江监理咨询集团有限公司

摘要：随着城市地下空间开发的不断深入，深基坑工程对周边环境的影响日益显著。本文以南沙区水浸黑点应急治理工程广隆路子项为背景，系统研究了SMW工法桩（型钢水泥土搅拌墙）在新建大型雨水管线（直径1350mm），邻近主要市政路与地铁出入口及多类地下管线过程中的技术措施与实施效果。通过设计优化、施工控制与监测预警等多维手段，形成了集“防变形、抗振动、止渗漏”于一体的综合保护体系。研究表明，采用SMW工法桩后，地铁结构沉降不超过2.5mm，振动速度低于0.3cm/s，管线位移均控制在8mm以内，管道接口无渗漏，各项指标均优于规范要求。本研究为类似复杂环境下的基坑工程提供了完整的技术范式和实践参考。

关键词：SMW工法桩；地铁防护；基坑支护；变形控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.036

引言

广隆路雨水管线工程是本市重点防洪排涝项目的主要节点之一。管道基坑工程常面临周边环境复杂、保护要求高的双重挑战。随着城市地下管网系统的不断完善和地铁网络的快速扩展，基坑工程与既有设施之间的冲突日益凸显。广隆路雨水管线工程位于城市核心区域，不仅承担着重要的排水功能，其周边还分布有地铁出入口、多种地下管线等敏感构筑物，对基坑工程的变形控制、防渗和振动抑制提出了极高要求。

SMW工法桩（Soil Mixing Wall）作为一种新型基坑支护技术，集挡土与止水功能于一体，具有施工振动小、工期短、适应性强的优点。本文通过广隆路雨水管网工程实例，系统研究SMW工法桩在复杂环境下的应用效果，重点探讨其在多重保护目标下的技术适应性和工程有效性，以期为类似工程提供参考。

一、工程概况

（一）项目背景

南沙区水浸黑点应急治理工程广隆路子项是本市重点防洪排涝项目的主要节点之一，旨在解决该区域内地面积水问题。结合周边环境，采用SMW工法桩区域长度约120m，基坑开挖深度约5m，宽度3m，采用明挖法施工。该路段地处城市中心区，交通繁忙，地下管线错综复杂，环境保护要求极高。广隆路雨水管平面布置图如图1所示。

（二）地质与水文条件

工程场地地质条件复杂，自上而下分为四个主要层位：

- （1）杂填土层：厚度1.0-2.0m，结构松散，均匀性差，承载力低；
- （2）粉质黏土层：厚度3.0-4.0m，可塑状态，承载力特征值 $f_{ak}=120kPa$ ；
- （3）淤泥质黏土层：厚度2.0-3.0m，流塑状态，高压缩性，工程性质差；
- （4）粉砂层：厚度2.0-3.0m，中密状态，渗透性强，易产生管涌现象。

地下水位埋深1.5m，主要赋存于粉砂层中，水位年变幅1.0-2.0m。基坑开挖过程中需严格控制地下水渗流，防止渗透破坏。

（三）周边环境特征

工程周边环境极其复杂，保护要求严格：

- （1）北侧：距离飞沙角地铁站出入口不足10m，地铁结构对差异沉降极为敏感，允许沉降值 $\leq 3mm$ ；
- （2）南侧：并行布置DN300铸铁给水管和DN80通信光缆，管线最小间距不足2m，且存在较大埋深差异；
- （3）东侧、西侧：管线上下游，紧邻广隆路，市政主干道，日交通流量大，需保证道路通畅和安全。

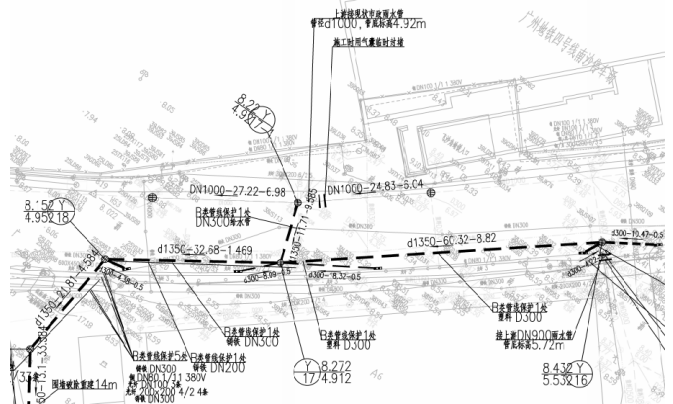


图1 广隆路DN1350雨水管平面布置图

二、SMW工法桩技术原理与适配性分析

（一）技术原理

SMW工法桩通过“型钢-水泥土”复合结构实现三重保护机制：

- （1）刚度控制原理：型钢作为主要受力构件，提供抗侧移刚度，有效限制基坑变形。H型钢具有较大的截面惯性矩，能够抵抗基坑开挖产生的土压力，减少围护结构变形。
- （2）防渗隔离原理：水泥土桩通过水泥与土体的固化反应，形成连续致密的止水帷幕。水泥掺入比为24%时，渗透系数可降至 $5 \times 10^{-7}cm/s$ 以下，有效阻断基坑内外地下水联系。
- （3）振动削弱原理：采用静压插钢工艺，施工振动速度可控制在0.3cm/s以下，较传统冲击成孔工艺降低60%以上。同时，水泥土桩本身可作为振动屏障，减弱振动传播。

(二) 技术适配性分析

针对本项目特点，SMW 工法桩展现出良好的适配性：

(1) 大型雨水管线保护：雨水管线直径达 1350mm，属大型管道，对差异沉降敏感。SMW 工法桩通过控制整体变形，可有效保护管道结构安全。

(2) 地铁结构防护：地铁出入口为人流密集区，且地铁运营对变形要求极高。SMW 工法桩的低振动特性可确保地铁运营安全。

(3) 密集管线区保护：多种管线并行布置，间距小，埋深差异大。SMW 工法桩可通过精细化施工，避免对现有管线的损伤。

(4) 邻近建筑保护：采用刚度可调的支护设计，可有效控制基坑变形，保护邻近建筑安全。

三、设计方案与施工关键技术及监测体系

(一) 支护结构设计

根据工程特点，采用双排 SMW 工法桩支护体系，如图 2 所示。

(1) 设计参数：桩型：500mm 单管旋喷桩；桩长：10m（嵌入稳定土层不少于 2m）；桩间距：350mm（咬合 150mm）；水泥掺量：200kg/m；水灰比：0.8 ~ 1.0；型钢选型：HW200×200×12×12。

(2) 计算分析：采用理正深基坑并结合 MIDAS GTS 软件进行数值模拟分析，预测基坑开挖过程中围护结构变形和周边环境影响。计算结果表明，最大水平位移可控制在 15mm 以内，周边建筑物沉降不超过 10mm，满足保护要求。

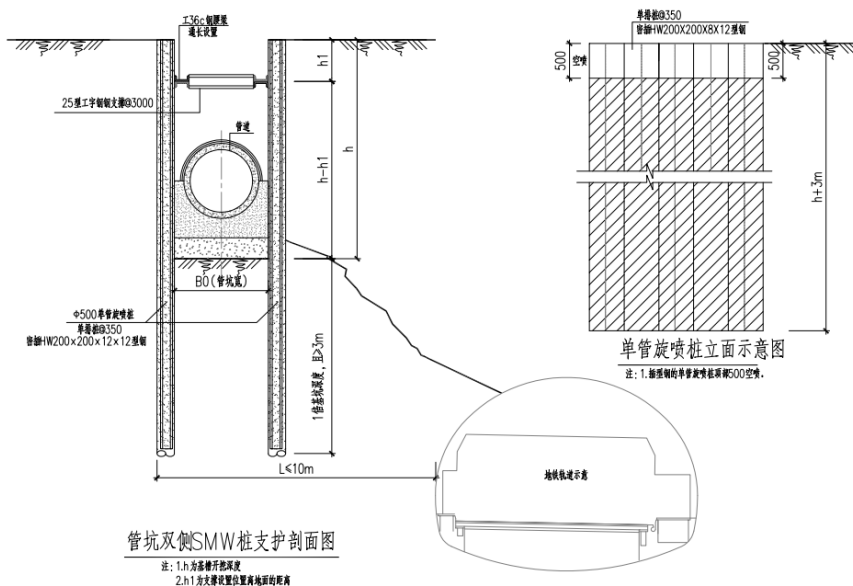


图 2 SMW 工法桩支护及周边环境保护示意图

(二) 专项保护设计

1. 地铁结构保护

为保护地铁结构安全，制定专项防护方案：

(1) 振动速度控制 $\leq 0.3\text{cm/s}$ ，低于地铁保护标准要求；

(2) 沉降控制 $\leq 3\text{mm}$ ，确保地铁运营安全；

(3) 设置自动化监测点，数据实时传输至地铁运营监控中心。

2. 管线密集区保护

针对管线密集区域，采取差异化设计：

(1) 分区段设计：根据管线重要性和敏感度，划分不同保护等级区域；

(2) 重要管线区域增设加强措施：采用更密的型钢间距和更高的水泥掺量；

(3) 制定专项应急预案：针对不同类型管线制定专门的应急处置方案。

(4) 采用实时监测系统，对管线变形进行动态监控。

(三) 施工关键技术

1. 低振动施工工艺

振动控制是保护周边环境的关键，采取以下措施：

(1) 型钢采用静力压入工艺，压入速度控制在 0.5m/min ；

(2) 桩机钻进速度 0.8m/min ，提升速度 0.6m/min ；

(3) 实时监测振动速度，超过限值立即调整施工参数。

2. 精度控制措施

施工精度直接影响支护效果，严格控制以下环节：

(1) 测量放样：使用高精度全站仪放样，桩位偏差 $\leq 20\text{mm}$ ；

(2) 垂直度控制：采用双系统控制，桩机自带监测系统与人工测量相结合，垂直度偏差 $\leq 1/300$ ；

(3) 深度控制：采用标记 + 测量双复核系统，确保桩深达到设计要求。

3. 防渗质量控制

止水效果是关键性能指标，重点控制：

(1) 搭接部位采用“三次搅拌”工艺，确保搭接质量；

(2) 浆液比重实时检测，控制在 $1.35\text{--}1.45\text{g/cm}^3$ 范围；

(3) 每批次水泥进行质量检验, 确保材料合格。

4. 分段施工组织

采用“由远及近、分区施工”的方案:

(1) 第一阶段: 施工远离敏感区域段, 积累施工参数;

(2) 第二阶段: 施工中敏感区域, 优化工艺参数;

(3) 第三阶段: 施工高敏感区域, 采用最优参数。

每个阶段施工完成后进行评估, 优化后续施工参数。

(四) 监测与预警体系

1. 监测系统设计

建立全方位、多层次的监测系统, 包括:

(1) 管线监测系统: 位移监测点: 间距 5m, 水平+竖向双向监测; 振动监测点: 关键接口处设置高频振动传感器; 压力监测点: 压力管道段设置压力监测装置。

(2) 地铁结构监测: 自动化沉降监测点: 出入口和结构缝处设置高精度监测点; 振动监测点: 关键部位设置三向振动传感器; 监测频率: 常规期 2 次/天, 关键期 1 次/2 小时。

(3) 支护结构监测: 桩顶位移监测点: 每 10m 一个断面; 测斜监测点: 关键部位设置深层位移监测; 应力监测点: 监测型钢应力变化情况。

2. 预警与响应机制

建立三级预警体系, 确保及时响应:

(1) 黄色预警 (70% 限值): 加密监测频率至 2 次/天; 分析变形原因, 调整施工参数; 加强现场巡查。

(2) 橙色预警 (85% 限值): 暂停施工, 组织专家论证; 调整 SMW 工法桩施工参数; 采取初步加固措施。

(3) 红色预警 (100% 限值): 立即启动应急预案; 采取型钢支撑+注浆加固措施; 通知相关单位协同处置。

四、实施效果与技术特点分析

(一) 实施效果

1. 管线保护效果

通过监测数据分析, 管线保护效果显著: 给水管线: 位移均控制在 8mm 以内, 管道接口无渗漏; 通信光缆: 振动速度 $\leq 0.25\text{cm/s}$, 通信信号无中断。

2. 地铁结构保护

地铁结构保护效果优异: 地铁出入口沉降 $\leq 2.5\text{mm}$, 远低于控制标准; 振动速度 $\leq 0.28\text{cm/s}$, 未影响地铁正常运营; 施工期间地铁运营安全可靠。

3. 周边环境影响

周边环境得到有效控制: 道路沉降 $\leq 10\text{mm}$, 不影响交通通行; 建构筑物无新增裂缝, 原有裂缝无扩展; 施工期间零投诉, 社会影响良好。

(二) 技术特色与研究

1. 技术特色

本项目形成了三大技术特色:

(1) 多目标协同保护: 首次实现了对大型管线、地铁结构和密集管线群的同时有效保护, 解决了复杂环境下多重保护目标难以兼顾的技术难题。

(2) 精细化控制: 采用差异化设计参数, 针对不

同保护对象制定个性化方案, 实现了精准控制。

(3) 智能化监测: 建立了一套完整的实时监测预警系统, 实现了施工过程的动态调控和信息化管理。

2. 技术研究

结合设计理念、施工实际以及监测体系, 本项目主要开展了三项技术研究:

(1) 低扰动施工工艺: 采用适用于密集管线区的低扰动施工工艺, 振动控制效果显著。

(2) 多层次预警机制: 建立科学的多层级预警响应机制, 实现风险早发现、早处置。

(3) 技术标准体系: 研究复杂环境下 SMW 工法桩的应用, 可进一步形成技术标准体系, 争取为类似工程提供完整的技术范式。

结语

(一) 结论

通过南沙区水浸黑点应急治理工程的实践, 可以得出以下结论:

(1) SMW 工法桩在复杂环境下的基坑工程中具有显著优势, 能够有效控制基坑变形, 保护周边环境;

(2) 通过精细化设计和施工, SMW 工法桩可同时满足多种保护要求, 适应性强;

(3) 实时监测预警系统是确保工程安全的重要保障, 实现了信息化施工和动态调控;

(4) 本项目形成的技术体系和工程经验对类似工程具有重要的参考价值。

(二) 建议

基于本工程实践经验, 提出以下建议:

(1) 推广智能化监测技术的应用, 提升基坑工程的信息化水平;

(2) 加强施工过程中的动态调整, 根据监测结果及时优化施工参数;

(3) 完善复杂环境下的技术标准体系, 为工程实践提供更全面的技术指导;

(4) 加强新型支护结构的研发, 不断提高基坑工程的技术水平。

本工程的成功实施, 为类似复杂环境下的基坑工程提供了宝贵经验, 具有重要的推广价值和实践意义。随着城市地下空间开发的不断深入, SMW 工法桩将在更多工程中发挥重要作用, 为城市建设提供技术支撑。

参考文献

[1] 张磊, 王建国. SMW 工法桩在软土地区基坑工程中的应用研究 [J]. 岩土工程学报, 2021, 43(5): 921-928.

[2] 李军, 刘强. 复杂环境下基坑支护技术研究进展 [J]. 土木工程学报, 2022, 55(3): 1-15.

[3] 陈志强, 张晓明. 型钢水泥土搅拌墙技术规程 JGJ/T199-2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

[4] 赵明明, 李建华. 地下管线保护技术标准研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(2): 345-352.

[5] 王大力, 刘志强. 地铁隧道保护技术研究与实践 [J]. 隧道建设, 2022, 42(1): 45-52.