

综合管廊下逆作墙施工关键技术及监测分析（上）

摘要：地铁车站明挖基坑工程中，临近重要管线或既有建（构）筑物时，常面临施工风险高、工期长及防水难度大等问题。本文以某地铁工程为背景，针对横跨基坑的综合管廊，采用逆作墙结合内支撑的明挖支护方案。施工过程中，对综合管廊、基坑及邻近既有地铁线路实施系统化自动监测。监测结果表明：施工阶段围护结构变形及周边环境沉降均控制在允许范围内，逆作墙施工质量良好，接缝防水效果达到预期。该工程实践表明，逆作墙与内支撑组合支护结构在类似复杂环境下具有显著的技术优势，可为相关工程提供参考。

关键词：地铁基坑；逆作墙；综合管廊；自动化监测；变形控制

1、引言

近年来，随着城市轨道交通网络的不断完善，新建车站基坑工程往往紧邻既有运营线路或重要地下管线，施工环境复杂，安全控制要求极高。暗挖法虽可减少了对地表环境的干扰，但存在施工风险大、效率低及结构防水难度高等不足[1]。因此，在具备一定条件时，采用安全、高效的明挖支护技术具有重要现实意义[2-3]。

某地铁站综合管廊下基坑紧邻既有地铁线路，最小净距仅约4 m，施工过程中需严格控制土体变形，确保运营安全[4]。本文系统介绍该工程中逆作墙结合内支撑的支护设计方案、关键施工技术、现场监测及问题处理措施，为类似工程提供借鉴。

2、工程概况

某地铁站为地下三层岛式车站，基坑标准段宽23.5m，开挖深度约31m。基坑中部有一条现况综合管廊横穿，断面尺寸为7.0m×3.1m，覆土厚度约1.4~1.5m。管廊两侧基坑围护结构采用φ1200@900钻孔咬合桩+内支撑体系；管廊正下方采用800mm厚逆作地下连续墙+内支撑支护。逆作墙外侧设一排 245@305钢管桩，桩外采用WSS注浆帷幕止水。为承担管廊荷载，于其两侧对称设置6根 1200钻孔灌注托换桩，桩顶设800mm×1500mm钢筋混凝土L形托换梁。

基坑左线钢管桩施工，需在主体基坑外侧（靠近某临近地铁线一侧）先行开挖，即施作钢管桩基坑，该基坑长约18.8m，宽约6.0m，深约6.9m，受场地边界条件限制，不具备整体放坡开挖条件，故基坑0~3m深度范围采用挡土墙（逆作）+冠梁+1道内支撑形式（1道钢筋砼支撑）进行支护，3~6.9m深度范围采用放坡开挖。

工程场地地质条件复杂，自上而下主要地层为：素填土、淤泥质土、粉质黏土、砂质黏性土、全风化混合花岗岩、强风化混合花岗岩、中风化混合花岗岩及微风化混合花岗岩。

3、关键施工技术

3.1 钢管桩基坑开挖与支护

在进行完成灌注桩施工后，进行左线钢管桩基坑开挖，开挖完成后边坡进行挂网喷锚，然后施工钢管桩，右线钢管桩在已废除的原既有B出入口通道内进行施工。综合管沟左线基坑0~3m深度范围采用挡土墙（逆作）+冠梁+1道内支撑形式（钢筋砼支撑）进行支护，3~6.9m深度范围采用喷锚+放坡开挖[5]。钢管桩基坑开挖剖面如图1所示。

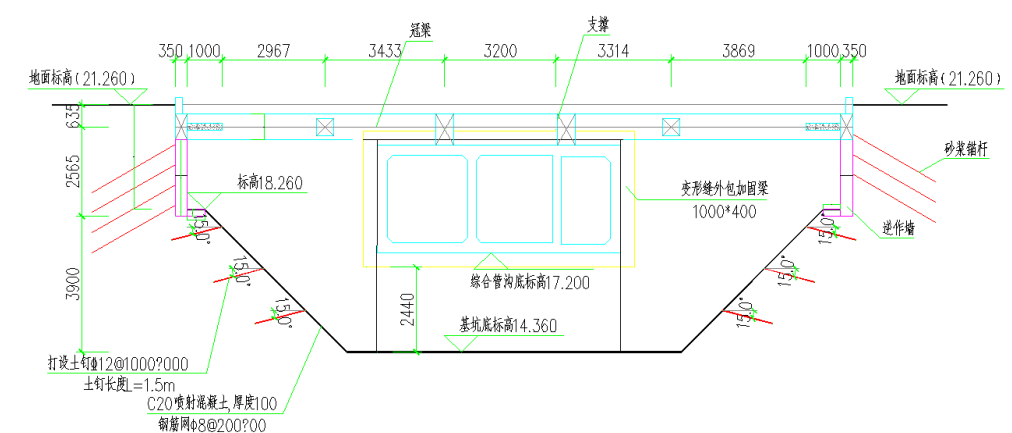


图1-钢管桩基坑开挖剖面图

3.2 静压钢管桩施工

在施作800mm逆作墙前，采用钢管静压桩对基坑土体进行初支护，使得后期施工逆作墙高效安全。施工钢管桩时，在既有结构B出入口内设置封堵墙，将新建出入口和既有B出入口硬隔离；本次钢管静压桩分两部分进行施工：①左线部分待土方开挖完成后打设；②右线部分在既有B出入口内打设。施工期间设置临时封堵墙，实现施工区域硬隔离，确保安全[6]。

3.3 WSS注浆加固

静压桩施工完毕后，立即实施WSS注浆，填充桩间土体孔隙，增强止水可靠性[7]。注浆管需进入中风化岩层不少于0.5 m，或至基底以下1 m范围内，注浆压力严格控制在0.3~0.5MPa。

3.4 托换结构施工

托换梁与托换牛腿为现浇钢筋混凝土结构，与管廊走向平行布置。施工中确保钢筋绑扎、模板安装及混凝土浇筑质量，保证结构整体性及设计承载力[8]。托换梁位于综合管沟两侧，与综合管沟平行布置；托换牛腿位于管沟下部，与管沟平行布置；托换梁与托换牛腿属钢筋混凝土结构，一次浇筑成型。托换梁尺寸为800*1500*22500mm；托换牛腿尺寸为550*300*22500mm。托换梁及托换牛腿配筋大样图如图2所示。

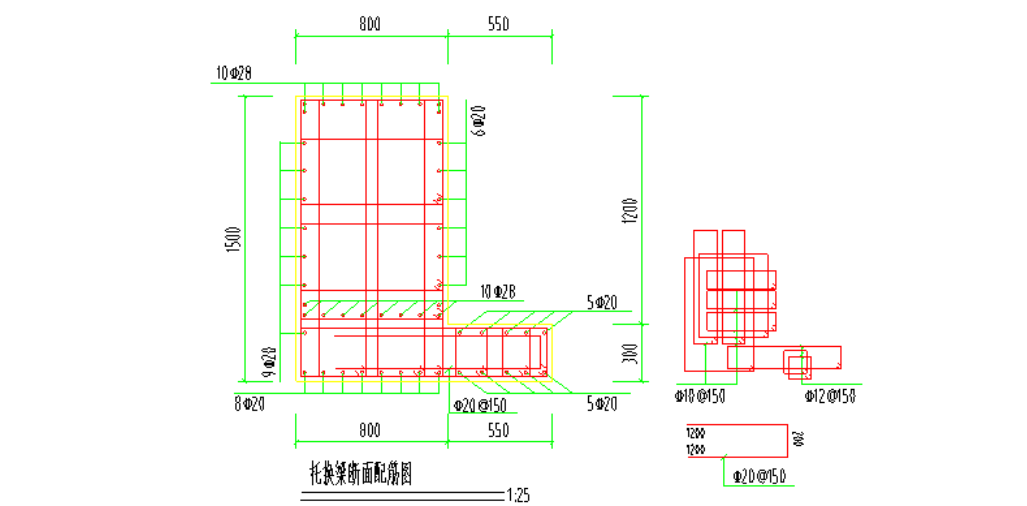


图2-托换梁及托换牛腿配筋大样图

3.5 逆作地下连续墙施工

逆作墙采取分段、分层开挖支护。每段长10~15m，每层开挖深度控制在1.0m左右，严禁超挖[9]。开挖后立即挂设φ12@200×200钢筋网，喷射100mm厚混凝土初护。墙体钢筋采用机械连接，模板以塑胶模板为主，单侧支模并设置三道顶撑加固，确保浇筑过程中模板稳定[10]。上下节墙段钢筋通过预埋套筒连接，施工缝处采取泡沫板临时封堵，后期凿除清理，保证接缝质量[11]。逆作墙施工工艺流程图如图3所示。

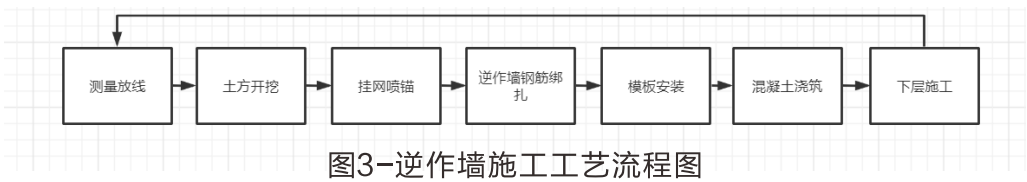


图3-逆作墙施工工艺流程图

1) 土方开挖

主体基坑开挖时沿逆作连续墙纵向应分段开挖，每段长度控制在10~15m左右，开挖土方为回填土时可根据现场情况缩短开挖长度。

2) 挂网喷锚

逆作墙与钢管桩间挂网喷射100mm厚砼，采用Φ12钢筋网间距200×200mm，钢筋网与钢管桩点焊连接固定，挂网喷锚如图9所示。该段基坑按照支撑布置，从上至下分六层开挖，每层根据逆作墙施工顺序又分三小层进行开挖，每小层开挖高度应控制在1m左右，随挖随护（施工逆作墙），在回填土等宜塌方区域，应适当减小分层厚度。每一大层开挖至支撑底标高，及时施作支撑。

3) 逆作墙施工

逆作连续墙配筋：逆墙墙竖向钢筋采用C25@150；水平钢架主筋采用C28每单元6根，箍筋采用φ12。水平钢架间距按0.25m布置。逆作墙水平钢筋与两侧灌注桩采用植筋连接（图4~图6）。

上、下墙段纵向主筋采用机械连接的方式进行连接（套筒采用I级套筒）。施工上一段逆作墙时需将与下一段逆作墙连接的套筒按设计位置预留出来，浇筑上一段逆作墙垫层时，在垫层内预埋5cm厚的泡沫板，将连接主筋的套筒埋入泡沫板内，当施工下一段逆作墙时将泡沫板进行清除。

模板采用塑胶模板或木模板，根据一次浇筑的范围进行拼接，一次浇筑的高度根据支撑或现场情况按1m控制。逆作墙采用单侧支模，在模板外侧加顶撑的方法进行加固，同一断面布置3道顶撑，分别撑在模板的上部、中部和底部，顶撑水平方向间距按1m左右控制，顶撑具体布置情况可根据现场施工需要进行调整。

综合管廊下逆作墙施工关键技术及监测分析（下）

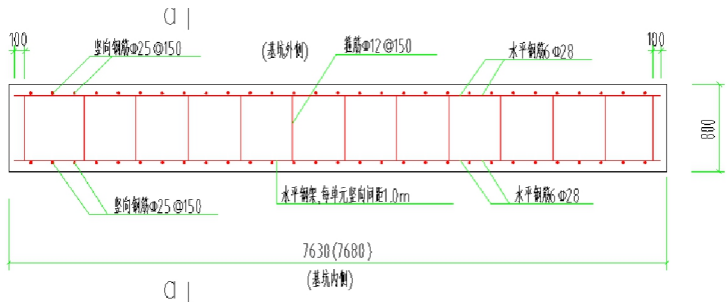


图4-逆做墙配筋平面图



图5-逆作墙钢筋绑扎示意图



图6-逆作墙模板安装

4、施工问题与处置

4.1 管廊环梁与托换结构冲突

基坑开挖后发现，管廊外部环梁与托换牛腿空间冲突，导致2根托换桩移位，牛腿有效支承面积不足。处理措施为：适当调整局部牛腿结构尺寸，使其顶部紧贴管廊底板，保证荷载有效传递[12]。

4.2 静压桩施工深度不足

受地下障碍物影响，既有B出入口范围内部分静压桩无法压至设计标高。经研究，将剩余桩体施工工艺调整为“钻机引孔+植入钢管桩+灌注C20细石混凝土”，同时取消原设计反力梁，优化施工流程[13]。

4.3 管廊下土体加固方案调整

东侧原设计“U型逆作墙”因位于松散回填土层，放坡开挖易引发滑坡。变更为“挂网喷锚+锚杆”支护，开挖后迅速封闭坡面，并根据监测数据及时增设内支撑，有效控制变形[14]。

4.4 受限空间内桩基施工

邻近咬合桩约1m范围内大型静压设备无法作业，8根桩未能施工。对该区段改为土方开挖后采用“挂网喷锚+土钉”支护，依据实时监测结果动态调整支撑设置[15]。

5、监测结果与分析

基坑开挖过程中，对综合管廊、围护结构及既有地铁线进行了全程自动化监测。截至2022年11月，基坑开挖深度约19m，主要监测结果如下：

- 1.管廊沉降监测点（GXC20-GXC25）累计最大沉降量为4.51mm，远小于预警值（24mm）和控制值（-30mm）；
- 2.既有地铁线隧道结构变形监测显示：右线最大累计沉降为-5.65mm，最大水平位移4.83mm；左线最大累计沉降5.40mm，最大水平位移5.45mm。所有监测数据均未超过控制标准，表明基坑处于稳定可控状态。

监测数据证实，逆作墙与内支撑组合支护体系有效控制了深基坑开挖引起的土体变形，确保了紧邻运营线路的安全。

综合管沟段主体基坑开挖开始时间为2022年5月，截止目前开挖至第三层，已完成第三道砼支撑施工，基坑开挖深度约19m。施工过程中对综合管沟、主体基坑及既有线进行自动化监测。

（1）施工期间综合管沟段沉降监测点GXC20~GXC25最大累计沉降量为-4.51mm，未达到预警值（控制值：累计位移±30mm，预警值：累计位移±24mm），综合管沟沉降监测变化曲线图详见图7。

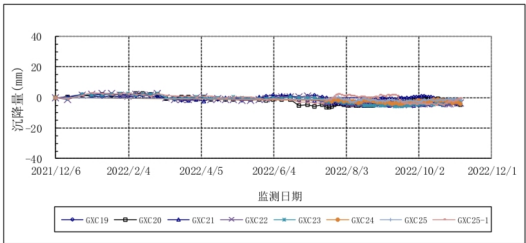


图7-综合管沟沉降监测变化曲线示意图

（2）综合管沟段基坑开挖施工期间（2022.5.1-2022.11.18）既有地铁线左、右沉降及横向位移监测数据选取断面36-42进行统计分析，右线最大累计沉降量为-5.65mm（Y42-1），最大累计横向位移4.83mm（Y36-3），左线最大累计沉降量为-5.40mm（Z42-3），监测数据见图16-19。最大累计横向位移5.45mm（Z42-3），未超报警值，处于安全可控状态。

6、结论

在城市地下空间高强度开发与既有设施高度密集并存的背景下，邻近重要建（构）筑物的深基坑工程已成为制约地铁建设的关键技术难题。传统支护方式往往难以兼顾施工安全、环境影响与工期效率等多重目标。本文以某地铁线南站综合管廊下逆作墙工程为对象，系统总结了其关键技术体系与工程实践经验，得出以下结论：

1.逆作墙与内支撑组合支护体系在极近接施工中表现出优异性能。工程实践表明，该体系在距既有地铁结构仅约4m的极限条件下，成功将基坑开挖引起的周边土体最大累计沉降控制在 5.65mm以内，远低于预警值。其核心优势在于逆作墙可及时形成刚度贡献，与内支撑协同作用，显著抑制了深基坑的时空效应变形，尤其适用于变形敏感区域。

2.“动态设计、信息化施工”是现代近接工程成功的核心方法论。本工程依托高频率自动化监测系统，构建了“数据采集—智能分析—实时反馈—动态调整”的闭环控制机制。基于监测数据，先后对U型墙改锚喷、静压桩工艺调整、受限区支护形式优化等进行了动态设计变更，体现了感知-决策-执行一体化的先进工程管理经验。

3.精细化勘察与跨专业协同是风险预控的根本前提。工程中暴露的环梁冲突、桩端障碍等问题，凸显了前期勘察精度不足的隐患。建议未来类似工程应融合地质雷达、三维激光扫描与BIM技术，构建“地质-环境-结构”一体化数字基底，实现风险源的“透明化”识别与“前置化”处理。

4.“微扰动”施工工艺是保障环境安全的关键技术路径。通过采用分层限厚开挖（每层≤1m）、静压钢管桩预支护、WSS注浆精准加固等低扰动工艺，显著降低了施工对周边土体的应力释放和扰动范围，形成了系统性的微扰动控制技术体系。

7、展望

尽管本工程取得了成功，但仍需在以下方面持续深入研究：

1.逆作墙与既有围护桩在复杂水土压力下的相互作用机理及其对体系整体稳定性的影响尚不明确，需通过模型试验与数值仿真进行量化研究。

2.当前监测预警阈值多基于经验确定，未来应融合机器学习方法，构建基于大数据驱动的智能预测与自适应控制平台；最后，应从全生命周期成本角度，对逆作法、暗挖法等不同工法进行综合经济技术比较，形成更具指导性的选型标准。

3.本工程的顺利实施，标志着我们在极端复杂环境下掌控深基坑变形与控制环境风险的能力达到了新高度，所总结的技术理念与创新实践可为国内外类似工程提供重要参考和范式借鉴。

参考文献

[1] 刘波，李岩，张建. 复杂环境下地铁车站深基坑支护技术研究进展[J]. 岩土力学，2021，42(5): 1234-1245.

[2] 王磊，陈志强，杨晓. 逆作法在地铁车站基坑工程中的应用研究[J]. 施工技术，2020，49(15): 45-49.

[3] 赵刚，刘建军. 临近地铁隧道深基坑变形控制技术[J]. 土木工程学报，2019，52(S2): 112-118.

[4] 郑伟，周明. 综合管廊下穿地铁车站基坑支护技术[J]. 地下空间与工程学报，2022，18(1): 267-274.

[5] 张晓，李强. 复杂地质条件下基坑支护设计与施工技术[J]. 建筑技术，2021，52(8): 987-991.

[6] 黄建国，王伟. 静压钢管桩在软土地基中的应用研究[J]. 岩土工程学报，2020，42(3): 556-562.

[7] 陈明，刘建华. WSS注浆技术在基坑止水帷幕中的应用[J]. 施工技术，2019，48(12): 78-81.

[8] 杨军，赵志刚. 地铁车站托换结构设计与施工关键技术[J]. 铁道建筑，2021，61(4): 89-93.

[9] 王志强，李伟. 逆作地下连续墙施工技术研究[J]. 建筑科学，2020，36(6): 112-117.

[10] 周明，张建军. 深基坑支护结构变形控制技术研究[J]. 岩土力学，2019，40(4): 1456-1464.

[11] 刘志华，陈刚. 地下连续墙施工缝处理技术研究[J]. 施工技术，2022，51(7): 34-38.

[12] 李明，王建国. 综合管廊与地铁车站交叉节点处理技术[J]. 地下空间与工程学报，2021，17(3): 876-882.

[13] 赵伟，张军. 复杂环境下静压桩施工技术改进研究[J]. 建筑技术开发，2020，47(9): 45-48.

[14] 陈志强，刘波. 松散地层基坑边坡稳定性控制技术[J]. 岩土工程学报，2022，44(2): 334-341.

[15] 王磊，杨晓. 受限空间桩基施工技术研究[J]. 施工技术，2021，50(14): 67-71.