

市政地铁工程中地下连续墙施工技术

蒲 嘉

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 610000

摘要: 市政地铁工程中,地下连续墙施工技术通过专用设备挖槽、泥浆护壁,在槽内浇筑混凝土形成连续墙体,兼具支护、防渗功能。该技术适应性强,可应对复杂地质及狭窄场地,但存在造价高、周期长等挑战。施工关键包括导墙精度控制、成槽垂直度保障、泥浆循环管理及钢筋笼吊装稳定性,广泛应用于地铁车站深基坑、盾构端头加固及穿越构筑物隔离等场景。

关键词: 市政地铁工程; 地下连续墙; 施工技术

引言: 随着城市人口密集化与交通需求增长,市政地铁工程成为缓解城市交通压力的关键举措。在地铁建设过程中,深基坑施工面临地质条件复杂、周边环境敏感等挑战。地下连续墙施工技术凭借其整体性好、止水效果佳、适应性强等显著优势,广泛应用于地铁车站、区间隧道等工程。深入探究该技术在市政地铁工程中的应用要点与难点,对保障施工安全、提升工程质量具有重要意义。

1 地下连续墙施工技术概述

1.1 地下连续墙的定义与分类

地下连续墙是通过专用设备在地下挖槽,采用泥浆护壁并在槽内浇筑混凝土或其他材料,形成连续封闭的地下墙体结构,主要用于支护、防渗等工程。其分类方式多样,核心分类如下:(1)按成槽方式:抓斗式成槽适用于砂土、黏性土等软土地层,施工效率较高;冲击式成槽可应对含孤石、硬岩的复杂地层,成槽深度较大;铣槽式成槽精度高、墙体平整度好,适用于对施工质量要求高的市政工程。(2)按墙体材料:钢筋混凝土墙强度高、耐久性好,是市政工程主流类型;塑性混凝土墙柔韧性强,适用于变形要求高的场地;钢板墙施工速度快、可回收,多用于临时支护^[1]。

1.2 技术特点与适用范围

(1)优点:墙体连续性好,止水性优异,可有效阻断地下水渗透;墙体刚度大,支护稳定性强,能有效控制基坑变形;适应性广,可在复杂地质、狭窄场地及邻近既有建筑区域施工。(2)缺点:施工设备复杂,材料与机械投入大,造价相对较高;成槽、浇筑等工序繁琐,施工周期较长;施工中产生的泥浆需专业处理,否则易造成环境污染。

1.3 在市政地铁工程中的应用场景

(1)车站深基坑支护:地铁车站多位于城市核心区,

基坑深、周边环境复杂,地下连续墙可作为核心支护结构,兼顾支护与防渗,保护周边道路、建筑及管线安全。(2)区间隧道盾构始发/接收端加固:盾构机始发和接收时需破除地层,地下连续墙可作为端头加固结构,形成封闭隔水屏障,防止涌水涌砂,保障盾构施工安全。(3)穿越既有构筑物的隔离墙:地铁线路穿越既有桥梁、建筑物时,地下连续墙可作为隔离屏障,减少隧道施工对既有结构的扰动,避免结构沉降或损坏。

2 市政地铁工程中地下连续墙施工关键技术

2.1 施工准备阶段

(1)地质勘察与水文条件分析:市政地铁多位于城市核心区,需通过钻孔勘察明确地层分层,重点查明砂土、黏性土、卵砾石及岩层的分布厚度、承载力等参数,排查孤石、溶洞等不良地质。同时系统监测地下水类型、水位标高、渗透系数,分析降水对周边构筑物的影响,为后续泥浆配比、支护方案制定提供精准依据,规避涌水塌槽风险。(2)施工场地布置与设备选型:结合地铁施工场地狭小的特点,合理划分成槽作业区、钢筋笼加工区、泥浆循环区及材料堆放区,保障运输通道畅通。设备选型适配地质条件:软土地层选用液压抓斗成槽机,硬岩地层选用双轮铣槽机;导墙模板采用高强度钢模板,确保浇筑成型精度,同时配备泥浆制备机、起重机等配套设备。

2.2 导墙施工

(1)导墙的作用与设计的要求:导墙是地下连续墙施工的核心导向结构,核心作用包括定位成槽轴线、控制槽段垂直度、承受成槽机等重型设备荷载,同时封堵槽口防止地表渣土落入及地下水渗透。设计需满足强度与刚度要求,常用C30钢筋混凝土浇筑,墙体厚度不小于20cm,埋深应穿透表层软弱土层,一般不小于1.5m;墙间距需与地下连续墙设计厚度一致,内侧墙面垂直度偏

差控制在1‰以内,确保成槽精度。(2)导墙施工工艺流程:严格遵循“测量放线→挖槽→钢筋绑扎→模板安装→混凝土浇筑→养护”的标准化流程。测量放线采用全站仪精准定位导墙轴线,轴线偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 内,同时标注槽口标高;挖槽采用人工配合小型挖掘机开挖,及时清理槽底浮土与积水,避免槽壁坍塌;钢筋绑扎需确保钢筋间距均匀、绑扎牢固,钢筋保护层厚度符合设计要求;模板安装需保证垂直度与密封性,采用对拉螺栓固定,防止浇筑过程中漏浆;混凝土浇筑连续匀速进行,振捣密实,浇筑完成后及时覆盖洒水养护^[2]。(3)质量控制要点:重点把控三项核心指标:垂直度采用激光投线仪实时监测,墙面垂直度偏差不超过 5mm/m ;混凝土强度需达到设计强度的70%以上方可投入使用,养护时间不少于7天;平整度采用2m靠尺检测,墙面平整度偏差不超过 5mm ,同时确保槽口标高一致,偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内,避免影响后续成槽作业精度。

2.3 泥浆制备与管理

(1)泥浆的组成与性能指标:泥浆是成槽施工的“护壁生命线”,主要由膨润土、水、纯碱(Na_2CO_3)及CMC(羧甲基纤维素钠)等外加剂组成,通过合理配比实现护壁、携渣、润滑及冷却刀具的功能。核心性能指标需严格控制:漏斗黏度 $20\text{--}30\text{s}$,确保携渣能力;密度 $1.05\text{--}1.15\text{g/cm}^3$,平衡地下水压力防止塌槽;pH值 $8\text{--}10$,维持泥浆稳定性;含砂率不超过3%,避免磨损设备及影响墙体混凝土质量。(2)泥浆循环系统与废浆处理技术:泥浆循环系统采用“制备池→循环池→沉淀池→过滤池”的多级处理流程,通过沉淀池自然沉淀、过滤池过滤去除泥浆中的渣土颗粒,确保循环泥浆性能达标。废浆处理需遵循市政环保要求,采用压滤机进行脱水固化处理,分离出的清水经检测达标后循环利用或排放,固体废物分类堆放并按规定外运至指定处置场所,避免污染周边土壤与水体环境。

2.4 成槽施工

(1)成槽工艺选择:根据地质条件灵活选用合适工艺:软土、粉质黏土等均质地层采用液压抓斗法,施工效率可达 $1.5\text{--}2\text{m/h}$;硬岩、含孤石或破碎地层采用双轮铣槽法,通过铣轮切削破碎岩石,成槽精度高;复杂混合地层可采用“抓斗+铣槽”组合工艺,先由抓斗开挖软土部分,再用铣槽机处理硬岩段,兼顾效率与质量。(2)槽段划分与接头形式:槽段长度需结合地质稳定性、设备性能及混凝土浇筑能力综合确定,一般为 $4\text{--}6\text{m}$,避免槽段过长导致槽壁失稳。接头形式优先选用密封性好、整体性强的类型:软土地层选用锁口管接头,通过插拔锁口

管形成榫接结构,保障接头防渗性能;硬岩或受力较大区域选用工字钢接头,增强接头抗剪能力,确保墙体整体承载性能^[3]。(3)垂直度控制与槽壁稳定性保障措施:采用激光测斜仪实时监测成槽垂直度,每挖深 $2\text{--}3\text{m}$ 检测一次,槽段垂直度偏差控制在 3‰ 以内,发现偏差及时调整成槽机姿态。槽壁稳定性保障需多措并举:根据地层变化动态调整泥浆性能,必要时掺入外加剂提高泥浆护壁能力;控制成槽速度,软土区不超过 1m/h ,硬岩区不超过 0.5m/h ,减少对槽壁的扰动;邻近既有建筑物或管线区域,可提前对周边地层进行注浆加固,增强地层稳定性。

2.5 钢筋笼制作与吊装

(1)钢筋笼设计优化:结合槽段长度、吊装设备能力及现场施工条件,采用分段制作、现场拼接的方式,分段长度一般不超过 15m ,避免钢筋笼过长导致运输与吊装变形。吊点设置需经精确受力计算,采用对称布置方案,设置主吊点与副吊点,主吊点承担主要重量,副吊点负责调整钢筋笼姿态,确保吊装过程中钢筋笼受力均匀,避免产生扭曲、弯曲变形。(2)吊装设备选型与安全措施:吊装采用双机抬吊法,主吊选用大吨位履带吊(根据钢筋笼重量选用 80t 及以上型号),负责垂直起吊;副吊选用汽车吊,负责水平递送,避免钢筋笼与地面摩擦损坏。吊装前需全面检查吊装设备性能、吊具(钢丝绳、吊钩)强度及钢筋笼拼接质量,设置专人统一指挥,吊装过程平稳缓慢,避免快速起吊、急停或碰撞槽壁、导墙,同时划定吊装危险区域,设置警示标识,严禁无关人员进入。

2.6 混凝土浇筑

(1)导管法水下混凝土浇筑工艺:采用直径 250mm 的钢导管进行水下混凝土浇筑,导管需进行水密性试验与承压试验,确保无渗漏。导管安装时底部距槽底 $30\text{--}50\text{cm}$,采用多节导管拼接,拼接处密封牢固。混凝土浇筑前需检测泥浆性能,合格后方可浇筑;首灌量需严格计算,确保导管理深不小于 1.2m ,后续浇筑过程中连续匀速进行,严禁中断,导管理深始终控制在 $2\text{--}6\text{m}$ 范围内,避免出现断桩、夹泥等缺陷。(2)防止混凝土离析与夹泥的技术措施:混凝土配合比需专项设计,坍落度控制在 $180\text{--}220\text{mm}$,确保流动性与和易性;浇筑时采用溜槽或混凝土泵车输送,避免混凝土自由下落高度超过 2m ,防止离析;浇筑过程中定时上下抖动导管,促进混凝土密实,同时及时清理导管口浮浆;严格控制泥浆指标,若泥浆含砂率过高需及时更换,避免泥浆混入混凝土形成夹泥,确保墙体混凝土强度与密实度^[4]。

2.7 接头处理与质量检测

(1) 接头刷壁与超声波检测技术: 接头是地下连续墙的薄弱环节, 混凝土浇筑完成后, 需及时采用专用刷壁器(钢丝刷或钢板刷)反复清理接头处的泥皮与浮浆, 直至刷壁器带出的泥浆无杂质、无泥块, 确保接头面洁净。采用超声波检测技术检测接头密实性, 通过在接头两侧布置检测点, 排查是否存在空洞、夹泥、疏松等缺陷, 确保接头防参与承载性能。(2) 墙体完整性检测: 采用组合检测方案保障墙体质量: 对全槽段采用低应变动力测试, 快速排查墙体表面及浅层缺陷; 对车站主体、盾构始发/接收端等关键部位的槽段, 采用声波透射法进行详细检测, 通过在钢筋笼上预埋声测管, 利用超声波在混凝土中的传播特性, 检测墙体内部完整性、强度均匀性及是否存在内部缺陷, 确保地下连续墙质量符合设计与规范要求。

3 市政地铁工程地下连续墙施工难点与对策

3.1 复杂地质条件下的施工挑战

(1) 软土层塌孔风险与应对措施: 市政地铁施工区域常存在深厚软土层, 其承载力低、稳定性差, 成槽过程中易出现塌孔。应对措施: 优化泥浆配比, 选用高黏度、低失水量泥浆, 提高护壁效果; 严格控制成槽速度, 软土区成槽速度不超过1m/h, 减少对土层扰动; 采用分段短槽施工, 缩短槽段暴露时间, 必要时对槽壁周边土层进行注浆加固, 增强地层稳定性。(2) 岩层成槽效率提升技术: 遇到坚硬岩层时, 单纯铣槽施工效率极低。采用铣槽机与爆破结合法, 先通过控制爆破将坚硬岩层破碎成小块, 爆破参数需精准计算, 避免影响周边地层及构筑物; 再用铣槽机进行槽段开挖与修整, 同时优化铣槽机刀具配置, 选用耐磨、高强度刀具, 大幅提升成槽效率, 保障施工进度。

3.2 环境保护要求

(1) 泥浆污染控制与循环利用技术: 泥浆泄漏易造成土壤及水体污染。需建立密闭式泥浆循环系统, 设置泥浆沉淀池、过滤池, 实现泥浆重复利用; 废浆经压滤机脱水固化处理, 分离出的清水达标后排放, 固体废渣按环保要求外运处置, 杜绝泥浆随意排放。(2) 振动与

噪声控制标准: 施工区域多邻近居民区、商业区, 需严格控制振动与噪声。选用低噪声、低振动施工设备, 设置隔音屏障; 合理安排施工时间, 避开夜间(22:00-次日6:00)及午休时段施工; 振动速度需控制在2.5mm/s以内, 噪声白天不超过70dB(A)、夜间不超过55dB(A), 符合市政环保标准。

3.3 施工安全风险防控

(1) 高空作业与机械操作安全规范: 钢筋笼吊装、模板安装等高空作业需佩戴安全防护用品, 搭设安全操作平台, 设置防护栏杆; 机械操作需由持证人员上岗, 严格遵守操作规程, 定期检修设备; 吊装作业需设专人指挥, 划定危险区域, 设置警示标识, 严禁无关人员进入。(2) 应急预案制定: 针对坍塌、渗水等突发事故制定专项应急预案, 明确应急组织机构、职责分工及处置流程。配备应急物资, 如沙袋、注浆设备、抽水机等; 定期开展应急演练, 提升应急处置能力。若发生塌孔, 立即停止施工, 回填黏土或砂袋稳定槽壁; 若出现渗水, 及时采用注浆封堵或加大泥浆密度进行止水。

结束语

市政地铁工程中地下连续墙施工技术, 是保障复杂环境下地铁建设安全与质量的关键所在。通过精准的地质勘察、科学的设备选型、精细的施工管理以及严格的质量控制, 可有效克服复杂地质、环境保护和施工安全等诸多难题。随着技术不断进步, 我们需持续优化施工工艺, 强化创新驱动, 以更高的标准、更严的要求推动地下连续墙施工技术发展, 为市政地铁建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1]李长帅.地铁工程地下连续墙施工质量控制[J].砖瓦世界,2023(4):52-54.
- [2]杨伟东.地铁工程施工中地下连续墙质量控制策略研究[J].工程与建设,2024,38(1):163-164.
- [3]田忠宝.市政地铁工程中地下连续墙施工技术[J].建材发展导向,2024,22(21):106-108.
- [4]武强强.市政地铁工程中地下连续墙的施工技术研究[J].工程建设与设计,2024,(4):135-137.