

地铁车站地连墙施工技术研究

文 / 路冬冬 中铁二十四局集团有限公司

摘要：城市轨道交通建设规模持续扩大，深基坑支护技术面临诸多挑战。文章以青岛地铁2号线二期工程常川路站为研究对象，针对车站基坑埋深大、富水砂层发育、周边环境复杂等特点，系统阐述地下连续墙施工全过程技术要点，详细论述测量放线、导墙施工、成槽作业、钢筋笼制安、混凝土浇筑等关键环节的操作方法，提出成槽垂直度控制、泥浆护壁、接头处理等质量保证措施，建立涵盖原材料控制、过程检验、成品保护的质量管理体系，以期为同类型地铁车站深基坑围护结构施工提供技术参考。

关键词：地铁车站；地下连续墙；施工技术；质量控制；深基坑

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.069

引言

城市轨道交通作为解决大城市交通拥堵问题的有效途径，建设进程明显加快，地铁车站深基坑工程数量大幅增加。当前地铁车站施工普遍面临埋深大、地质条件复杂、施工场地受限等困难，地连墙施工技术水平对工程成败影响显著。研究地连墙施工全过程技术控制要点，总结成熟可靠的施工方法，对提高地铁车站基坑工程质量、保障施工安全具有重要现实意义。

一、工程概况

常川路站作为青岛市地铁2号线二期工程的重要节点，坐落于常川路与世园广场南路交叉口南侧，车站主体沿常川路呈南北向延伸布置。车站整体长度达到224m，标准段宽度设计为20.1m，结构采用地下两层岛

式站台形式，站台宽度为11m。车站埋深随地势北高南低的特征呈现明显变化，顶板埋深介于4.5m至7.5m区间，底板最深处达到23.1m，基坑开挖深度的较大差异给施工组织带来显著挑战。车站所在区域地层结构较为复杂，地表以下依次分布素填土、粉质黏土、粗砾砂及含黏性土粗砾砂层，基岩为强风化至中风化花岗岩，尤其值得关注的是沿车站纵向存在厚度达3m至10m的富水砂层，该含水层的存在使基坑围护结构面临较大水土压力。鉴于场地存在强风化至中风化花岗岩等硬岩地层，本工程采用液压抓斗、旋挖钻机和双轮铣槽机配合进行抓铣结合施工。标准段围护结构体系的具体构成如图1所示，地连墙作为主要受力结构与内支撑共同承担基坑侧向压力。

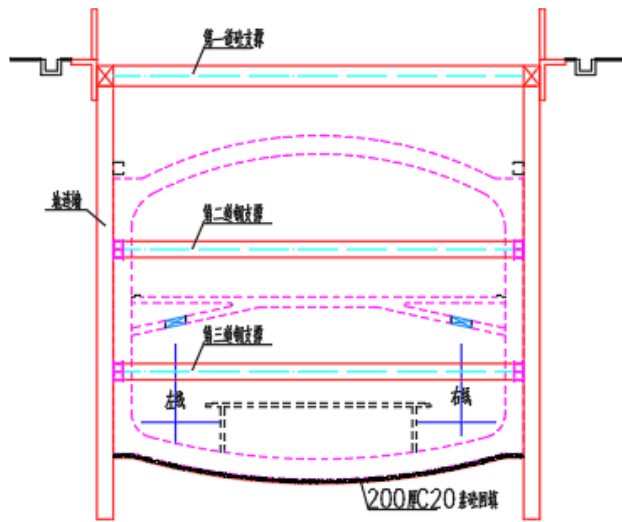


图1 标准段围护结构横剖面图

二、施工准备

施工前期需要对设计图纸进行详细研读，将车站结构特点、地质资料、施工验收规范等文件逐项核对梳理，在理解设计意图的基础上编制针对性施工方案，方案内容应涵盖地连墙成槽、钢筋笼制作、混凝土浇筑等关键工序的具体操作流程。测量系统的建立要求尽快完成业主提供桩点的交接工作，采用全站仪、水准仪对控制桩点进行复测校核，确保测量精度满足地连墙施工定位要

求。现场平面布置需要充分考虑场地实际条件，在有限空间内合理划分办公区、钢筋加工区、材料堆放区等功能分区，施工道路要保证大型机械设备进出畅通，钢筋加工场地面积应满足单幅地连墙钢筋笼整体制作需求。双轮铣槽机、液压成槽机等主要成槽设备应提前进场调试，设备选型要根据地层岩性合理配置，软土层段可采用液压成槽机或双轮铣槽机施工，遇强风化花岗岩等硬岩地层则优先选用双轮铣槽机进行铣削成槽。

表 1 常川路站主要工程量统计

作业区	分部分项	单位	数量	备注
常川路站	地连墙	幅	132	
	冠梁	m	790	
	混凝土支撑	m	626	
	钢支撑	m	2350	
	土石方开挖	m ³	160000	
	主体结构混凝土	m ³	26565	商砼
	主体结构钢筋	t	4302	
	回填土	m ³	63922	

三、地连墙施工工艺

(一) 测量放线与导墙施工

测量放线工作需要在地面平整后立即展开，测量人员运用全站仪、水准仪等精密仪器对业主移交的控制桩点逐一复核，复测成果报监理审定后方可作为施工依据，地连墙轴线定位精度直接影响后续成槽质量。导墙基础应选择在密实的粘性土层上浇筑，若遇松散土层需先进行换填处理，导墙浇筑完成后背侧回填采用粘性土分层夯实，回填厚度每层控制在 300mm 左右，夯实度要达到设计要求才能有效防止成槽过程中泥浆从导墙背侧渗漏流失。导墙内侧净距应比地连墙设计厚度宽出 100mm 至 150mm，为液压抓斗、双轮铣槽机铣轮及导向装置提供必要的操作空间。转角幅位置需朝基坑外侧多开挖 30cm，确保钢筋笼正常下放。导墙顶面平整度偏差控制在 ±5mm 以内，导墙混凝土强度达到设计值的 70% 以上才允许进行成槽作业。

(二) 成槽施工

成槽机械配置需要根据地层岩性特征合理选择，车站场地地质条件复杂多变，上部粉质黏土、粗砾砂等软土层段传统上采用液压成槽机抓斗开挖，但考虑到下部存在强风化至中风化花岗岩等硬岩地层，本工程优先采用双轮铣槽机进行全断面成槽作业。双轮铣槽机通过两个相向旋转的铣轮对槽壁土体和岩层进行切削破碎，在硬岩地层中，未引孔情况下铣削效率为 0.3m/h 至 0.8m/h，旋挖机引孔后铣削效率可提高至 1.5m/h 以上，相较于传统冲击钻或旋挖钻具有成槽速度快、槽壁平整度高、垂直度控制精确等显著优势。

成槽垂直度控制方面，双轮铣槽机配备先进的电子导向系统和实时监测装置，设备自带的倾角传感器、激光测距仪可对铣轮姿态进行毫秒级监控反馈，施工过程中通过液压纠偏系统自动调整铣削轨迹，垂直度偏差控制在 1/400 以内，当偏差超过 3/1000 时及时进行纠偏。

泥浆护壁是保证槽壁稳定的关键措施，施工现场设置泥浆配制站根据地层特性调配泥浆性能参数，开挖过程槽内泥浆液面要始终高于地下水位 500mm 以上，同时不得低于导墙顶面 300mm，泥浆比重、粘度、含砂率等指标需要每隔 2 小时检测一次，发现指标超标立即补充新浆或添加材料调整。双轮铣槽机铣削作业时产生的岩

屑土渣通过泥浆循环系统连续排出槽外，铣削与清渣同步进行避免了传统抓斗工艺需反复清孔的问题。每幅槽段成槽至设计标高后，铣轮在槽底往复铣削 2 至 3 次进行精平处理，沉渣厚度必须控制在 50mm 以内才能满足后续钢筋笼安装、混凝土浇筑的质量要求。

(三) 钢筋笼制作与吊装

钢筋笼加工在现场专设的钢筋制作场地进行，主筋直径不大于 28mm 时直接在平台上整体施焊成型，主筋直径大于 28mm 时采用一级直螺纹套筒机械连接，套筒连接既能保证连接强度又方便钢筋笼分段制作后现场组装，纵向主筋与环向箍筋的每个交点都要用电焊固定牢靠防止钢筋笼在吊装过程中发生变形。钢筋笼制作完成后要根据实测导墙顶标高精确计算吊筋长度，预埋件、插筋、保护层垫块、预留孔洞位置都要在钢筋笼上准确标注定位，吊筋采用双排布置增强起吊稳定性^[1]。

钢筋笼下放前施工人员需下槽检查槽段垂直度、清孔质量、槽底标高、沉渣厚度等参数，各项指标符合要求后才能开始吊装作业，起吊时安排两台起重机主吊、副吊配合，先将钢筋笼水平抬离地面检查整体刚度，然后主吊缓慢提升、副吊同步下放使钢筋笼在空中逐渐转为竖直姿态。钢筋笼入槽过程要匀速缓慢下放，每下放 3m 至 5m 停顿一次检查槽内情况，若发现下放受阻绝不允许强行施压，此时需将钢筋笼提出重新下槽清理障碍物，若是槽壁局部坍塌或凸出则必须整修槽壁清除坍土后方可继续吊装。钢筋笼就位后要立即校核平面位置、高程偏差，位置偏差超过 20mm 时需用吊车微调纠正。

(四) 混凝土浇筑与接头处理

钢筋笼安装就位后要立即安装混凝土浇筑导管，导管选用直径 250mm 的钢管，管段之间采用丝扣连接并在接口处加设橡胶密封圈，导管下放前必须在地面进行水密性试验，试验压力设定为 0.6MPa 至 1.0MPa，保压 10 分钟不渗漏才能投入使用。导管底口距离槽底保持 300mm 至 500mm 的初始距离，首批混凝土储料量要足够将导管底端一次性埋入混凝土中 0.8m 以上深度形成有效封底，混凝土浇筑前必须现场测试坍落度，坍落度值控制在 180mm 至 220mm 区间保证混凝土具有良好的流动性，每个槽段浇筑过程中留置混凝土试块用于检验强度。

浇筑过程导管底端要始终埋在混凝土面以下 2m 至 4m，埋深过大会增加混凝土泵送阻力，埋深过小易使导管底口脱离混凝土面造成泥浆混入，导管埋深不得小于 1m 也不宜超过 6m，混凝土上升速度维持在 2m/h 以上，单幅槽段同时使用两根导管浇筑时导管间距不超过 3m、导管距槽段端头不大于 1.5m，各导管处混凝土面高差控制在 0.3m 以内保证浇筑均匀。接头管在相邻槽段施工时插入槽底土体 30cm 左右起到止浆作用，接头管用起重机或专用千斤顶起拔，起拔时机要根据混凝土初凝时间掌握，一般在混凝土浇筑完成 2h 至 3h 后开始拔除，过早拔出会导致混凝土坍塌开裂、过晚拔出则接头管难以起拔甚至无法拔出影响相邻槽段接头质量。

四、质量控制与保证措施

(一) 原材料质量控制

原材料进场后质量检验人员要逐批核查产品合格证、质量检测报告等证明文件,钢筋进场需查验出厂质保书、复检报告,直径大于 28mm 的主筋采用的一级直螺纹套筒要单独送检力学性能,混凝土供应商资质、配合比设计报告都要提前审核备案。钢筋堆放场地要按规格型号分类码放并挂牌标识,防止雨水浸泡锈蚀或泥土污染,每批钢筋入库前抽取试样送实验室做拉伸、冷弯试验。商品混凝土到场卸料前要检查运输时间是否超过初凝时限,现场试验员用坍落度筒测定工作性能,坍落度值必须控制在 180mm 至 220mm 范围内才允许浇筑使用,坍落度过大或过小都要退回搅拌站重新调整配合比,浇筑过程每个槽段留置不少于一组混凝土抗压强度试块。

(二) 施工过程质量控制

施工过程执行班组自检、工序互检、质检员专检的三级检验制度,每道工序完成后班组长先组织作业人员自查,合格后通知下道工序班组进行交接检验,最后由专职质检员进行全面检查签字确认才能进入下一环节。双轮铣成槽作业时,质检人员需重点监控铣削参数,包括铣轮转速、进给速度、液压系统压力、泥浆循环流量等关键指标,严格控制铣轮转速,进给速度根据地层硬度调整。成槽垂直度控制要求测量人员全程跟班监测,既要查看成槽机自带垂直度显示仪表数据,又要用经纬仪从地面观测导向架姿态,垂直度偏差发现超过 1/400 时立即通知机械操作手调整纠偏。槽段铣削过程中需实时记录铣削深度、岩层变化情况,遇异常硬质孤石或障碍物时应降低进给速度并加强泥浆循环,必要时停机检查铣轮齿磨损情况。槽段开挖至设计深度后质检员下槽实测沉渣厚度,沉渣超过 50mm 的槽段不允许下放钢筋笼,混凝土浇筑时质检员要连续记录导管埋深变化,埋深保持在 2m 至 4m 区间,浇筑速度低于 2m/h 时要查找原因及时调整,终浇混凝土面高程比设计标高高 0.5m 确保顶板混凝土质量。

(三) 成品保护与验收

地连墙混凝土浇筑完成后要在槽段两端设置防护栏杆,禁止大型机械在混凝土强度未达到设计值前碾压墙体,相邻槽段施工时成槽机械行走路线要避开已完成墙段防止震动影响。每幅槽段完成后质检人员要用超声波检测仪检查墙体完整性,检测槽段厚度是否满足 1m 设计要求、槽底标高偏差是否在允许范围、墙体内部有否蜂窝孔洞缺陷,垂直度检测数据、沉渣厚度记录、混凝土浇筑记录等资料都要整理归档。验收流程分为施工单位自检、监理单位复验、业主单位终验三个层级,每个槽段的原始记录、检测报告、隐蔽工程验收单必须齐全完整,监理工程师在隐蔽验收单上签字确认后才允许进行基坑开挖,验收不合格的墙段要制定整改方案报审后实施补救措施。

五、安全保障措施

项目部建立安全生产责任制需要明确项目经理为第一责任人,各工区负责人、班组长层层签订安全责任书,

将深基坑施工、机械作业、高处作业等危险源分解到具体岗位,安全员每日巡查记录发现的隐患问题当天整改销号^[2]。施工人员进场前要接受不少于三天的安全教育培训,培训内容涵盖地连墙施工工艺流程、机械操作规程、应急处置预案等方面知识,考核成绩合格才能分配工作岗位,双轮铣槽机操作人员、龙门吊司机、电瓶车司机、电工、电焊工等特殊工种必须持有有效操作证件上岗作业。

基坑开挖期间要建立完善的监测体系,在基坑周边布设地面沉降观测点、地下水位监测井、围护结构位移观测点,监测频率根据开挖深度确定,开挖初期每天观测一次,开挖至设计深度附近加密为每天两次,监测数据超过预警值时立即停止开挖并启动应急预案,基坑周边 20m 范围内禁止堆载或停放重型机械设备。双轮铣槽机作业时要设置专人监护,操作人员需密切关注设备运行状态,铣削过程中若出现异常振动、噪音或液压系统压力突变等情况应立即停机检查,铣轮更换或维修保养必须在断电状态下进行,严禁带电作业。泥浆循环系统的管路连接处应定期检查密封性能,防止高压泥浆喷射伤人,铣槽机行走轨道两侧设置安全警戒线,非作业人员严禁进入。钢筋笼吊装使用的吊具、卸扣每次起吊前都要检查连接牢固性,雨天、大风天气禁止进行高空吊装作业。

六、环境保护与文明施工

施工现场布置要按照青岛市城市轨道交通工程安全文明施工标准化图集要求执行,办公区、加工区、材料堆放区实行分区管理并设置明显标识牌,场地硬化采用混凝土浇筑或铺设钢板,道路宽度满足大型运输车辆通行需求,出入口设置车辆冲洗平台配备高压水枪,运输车辆驶出工地前必须冲洗轮胎、车身防止泥土带到市政道路。混凝土浇筑产生的废渣、钢筋加工剩余料头要分类收集,可回收材料出售给物资回收公司,建筑垃圾装袋后运至消纳场,严禁在施工现场焚烧废弃物。

结语

地下连续墙施工技术水平决定着地铁车站深基坑工程的成败,施工全过程需要严格控制各环节质量。常川路站地连墙施工实践表明,充分的施工准备、合理的机械配置、精确的测量放线、规范的成槽作业、严密的质量检验是确保施工质量的基础条件,成槽垂直度控制、泥浆护壁、混凝土浇筑等关键工序直接影响墙体质量,安全管理体系、环境保护措施贯穿施工始终。随着城市轨道交通建设向更大埋深、更复杂地层方向发展,地连墙施工技术仍需持续改进优化,施工信息化、智能化水平有待进一步提升,为城市轨道交通建设提供更加可靠的技术保障。

参考文献

- [1] 王禄禄. 复杂环境地铁车站施工关键技术研究 [J]. 建筑机械, 2025, (01): 113-117.
- [2] 漆金根. 地铁车站地连墙施工技术分析 [J]. 工程技术研究, 2022, 7 (09): 49-52.