

建筑施工地下连续墙施工关键技术与质量控制研究

应泽涛

中三建设工程(江西)有限公司 江西上饶 334000

摘要: 地下连续墙作为深基坑工程的重要支护形式,具有刚度大、防渗性能好、适应性强等优势,在高层建筑、地铁工程、水利枢纽等领域广泛应用。本文基于地下连续墙施工实践,系统分析了导墙施工、泥浆制备与管理、成槽施工、钢筋笼制作与吊装、混凝土浇筑等关键技术环节的工艺要点,结合工程案例探讨了各环节常见质量问题的成因,并从材料控制、设备选型、工艺优化、监测预警等方面提出针对性质量控制措施,旨在为提升地下连续墙施工质量与工程安全性提供技术参考。

关键词: 建筑施工;地下连续墙;关键技术环节;质量控制

引言

随着城市地下空间开发力度的加大,深基坑工程数量激增,对支护结构的安全性、经济性和环保性提出更高要求。地下连续墙凭借“挡土、止水、承重”三位一体的功能,成为复杂地质条件下深基坑支护的首选方案。然而,其施工过程受地质条件、工艺参数、管理水平等多因素影响,易出现槽壁坍塌、钢筋笼变形、混凝土夹泥等质量问题,直接威胁工程安全。因此,深入研究地下连续墙施工关键技术与质量控制方法,对推动地下工程技术进步具有重要现实意义。

本文以地下连续墙施工全流程为研究对象,重点分析关键技术环节的工艺参数与质量控制要点,结合某地铁站深基坑工程案例,通过现场监测数据与数值模拟相结合的方法,验证质量控制措施的有效性,形成“技术分析—问题诊断—控制优化”的研究框架。

一、地下连续墙施工关键技术

(一) 导墙施工技术

导墙作为地下连续墙施工的“基准线”,其主要作用是定位成槽、挡土、储存泥浆及承重。施工中需重点控制结构设计,采用“C20混凝土+双层钢筋网”结构,墙厚 $\geq 200\text{mm}$,深度 $\geq 1.5\text{m}$,顶部高出地面 300mm 以防雨水灌入。轴线偏差控制利用全站仪进行轴线放样,允许偏差 $\leq 10\text{mm}$,内墙面垂直度偏差 $\leq 1/500$ 。施工工艺方面,先进行场地平整与换填(软弱地层采用级配砂石换填),再支设模板并浇筑混凝土,养护期间严禁重型机械碾压,拆模后及时回填土方并夯实^[1]。

(二) 泥浆制备与管理技术

泥浆在成槽过程中起护壁、携渣、冷却钻头的作用,其性能直接影响槽壁稳定性。关键技术参数包括泥浆配比,采用“膨润土(8%~12%)+纯碱(0.3%~0.5%)+CMC(0.05%~0.1%)+水”混合体系,新浆密度 $1.05\sim 1.10\text{g/cm}^3$,黏度 $25\sim 30\text{s}$ (漏斗黏度计测定),失水量 $\leq 30\text{mL}/30\text{min}$ 。循环管理设置“泥浆池(新浆池、沉淀池、回收池)三级循环系统”,采用振动筛+旋流器联合净化,净化后泥浆含砂率 $\leq 4\%$ 。性能监测要求每2h测定一次黏度、密度,每班测定一次pH值(控制在 $8\sim 10$),确保泥浆在成槽过程中形成“渗透泥皮”(厚度 $5\sim 10\text{mm}$),有效阻隔地下水渗透。

(三) 成槽施工技术

成槽是地下连续墙施工的核心环节,直接决定墙体垂直度与槽壁稳定性。根据地质条件选择成槽设备,软土地层采用液压抓斗(斗宽 $0.8\sim 1.2\text{m}$),岩层地层采用“冲击钻+旋挖钻”联合成槽。垂直度控制采用“导墙导向+测斜仪实时监测”技术,抓斗每下降 3m 测斜一次,垂直度偏差 $\leq 1/300$ 。槽段划分与接头处理要求槽段长度宜为 $4\sim 6\text{m}$,采用“工字钢接头”或“橡胶止水带接头”,接头处需刷壁 ≥ 5 次至刷子无泥渣,以避免混凝土浇筑时出现“冷缝”。

(四) 钢筋笼制作与吊装技术

钢筋笼的刚度与吊装稳定性是施工难点,需控制制作精度,主筋间距偏差 $\leq 10\text{mm}$,保护层厚度(采用预制混凝土垫块)偏差 $\leq 5\text{mm}$,整体长度偏差 $\leq 50\text{mm}$ 。焊接质量要求主筋采用“闪光对焊”,焊缝长度 $\geq 10d$ (d 为

主筋直径), 接头错开距离 $\geq 35d$ 。吊装工艺采用“双机抬吊+主副钩协调”方案, 主吊(300t履带吊)吊顶部, 副吊(200t汽车吊)吊中部, 起吊角度 $\leq 60^\circ$, 严禁钢筋笼碰撞槽壁^[2]。

(五) 混凝土浇筑技术

水下混凝土浇筑需满足“连续、匀速、密实”要求, 关键控制要点包括配合比设计, 采用“C35P8抗渗混凝土”, 坍落度 $200 \pm 20\text{mm}$, 初凝时间 $\geq 6\text{h}$, 石子粒径 $5\sim 25\text{mm}$ 以减少堵管风险。导管施工要求导管直径 $\geq 250\text{mm}$, 底部距槽底 $300\sim 500\text{mm}$, 埋深控制在 $2\sim 6\text{m}$, 拔管速度 $\leq 0.5\text{m}/\text{min}$, 严禁将导管提出混凝土面。浇筑速率方面, 单导管浇筑强度 $\geq 30\text{m}^3/\text{h}$, 墙段混凝土面高差 $\leq 500\text{mm}$, 顶面超灌 $300\sim 500\text{mm}$ 以剔除浮浆层。

二、施工质量问题诊断与控制措施

(一) 常见质量问题成因分析

槽壁坍塌: 主要因泥浆比重不足($< 1.05\text{g}/\text{cm}^3$)、成槽速度过快(软土地层 $> 1\text{m}/\text{h}$)或地下水位变化过大导致; 此外, 地质勘察数据不准确、槽段划分不合理或支护结构强度不足也可能引发坍塌风险^[3]。

钢筋笼上浮: 混凝土浇筑速度过快($> 4\text{m}/\text{h}$)或导管理深过深($> 6\text{m}$), 使钢筋笼受到向上浮力; 同时钢筋笼底部固定不牢固、混凝土坍落度异常($> 220\text{mm}$)也会加剧上浮现象。

(二) 材料质量控制

钢材与混凝土: 进场时需查验出厂合格证与复试报告, 钢筋抗拉强度实测值与屈服强度实测值比值 ≥ 1.25 , 屈服强度实测值与标准值比值 ≤ 1.30 ; 混凝土需进行坍落度($180\sim 220\text{mm}$)、扩展度及初凝时间($\geq 6\text{h}$)检测, 严禁使用离析混凝土。

泥浆材料: 膨润土需检测蒙脱石含量($\geq 70\%$)、造浆率($\geq 16\text{m}^3/\text{t}$), 纯碱纯度 $\geq 98\%$, CMC粘度(20°C 时 $\geq 500\text{mPa}\cdot\text{s}$), 禁止使用过期或受潮材料, 每批次材料需留存样品。

(三) 施工过程控制

成槽精度监测: 采用“超声波测壁仪”每槽段检测3个断面(两端及中部), 垂直度偏差超 $1/300$ 时需回填重钻, 深度偏差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 内; 槽宽检测使用测绳配测锤, 允许偏差 $\pm 50\text{mm}$ 。

钢筋笼吊装监测: 使用“倾角传感器”实时监测吊装角度, 偏差超 5° 时立即调整吊点位置, 吊装过程中设置2个牵引绳控制摆动幅度 $< 300\text{mm}$, 就位后进行标高

复核($\pm 50\text{mm}$)。

混凝土浇筑监测: 采用“水下混凝土浇筑记录仪”记录导管理深($2\sim 6\text{m}$)、浇筑速度($2\sim 4\text{m}/\text{h}$)、上升速度($\geq 2\text{m}/\text{h}$)等参数, 发现异常自动报警, 同时每车混凝土需测试扩展度($\geq 550\text{mm}$)^[4]。

(四) 设备与工艺优化

成槽设备升级: 采用“液压抓斗+自动测斜系统”, 实现成槽垂直度实时反馈(精度控制在 $1/500$ 以内), 配备电子显示终端实时显示抓斗偏斜量, 偏差超预警值自动纠偏。

泥浆再生技术: 引入“离心式泥浆净化机”(分离粒度 $\geq 20\mu\text{m}$), 配套振动筛(筛网孔径 $\leq 0.3\text{mm}$)及旋流器, 将废弃泥浆处理后回收率提升至 80% , 处理后泥浆含砂率 $\leq 3\%$, 粘度控制在 $18\sim 25\text{s}$, 降低成本同时减少环境污染。

三、工程案例应用

(一) 工程概况

上海某超深地下连续墙工程(配套城市轨道交通枢纽), 地下连续墙设计深度 65m , 墙厚 1200mm , 共划分42个槽段, 槽段长度 $5\sim 6\text{m}$ 。地质条件复杂, 从上至下依次为: ①杂填土(厚 3m)、②淤泥质黏土(厚 15m , 含水量 55%)、③粉细砂层(厚 20m , 渗透系数 $1.5 \times 10^{-3}\text{cm}/\text{s}$)、④中风化砂岩(厚 8m), 地下水位埋深 1.2m , 需穿越高承压水砂层与岩层, 施工难度极大。

(二) 关键技术应用与质量控制效果

导墙施工: 针对软土地层采用“C30混凝土+ $\Phi 16@200$ 双层钢筋网+型钢内支撑”结构, 导墙深度加深至 2.5m , 顶部高出地面 500mm 。施工中采用全站仪(精度 $\pm 2\text{mm}$)分三段放样轴线, 经检测轴线偏差均 $\leq 5\text{mm}$, 内墙面垂直度偏差 $1/600$ (优于规范 $1/500$ 要求), 拆模后采用级配砂石回填(压实度 $\geq 93\%$), 避免重型机械碾压变形。

1. 泥浆制备与管理

优化配比: 针对粉细砂层高渗透性, 采用“膨润土 12% +纯碱 0.5% +CMC 0.1% +聚丙烯酰胺 0.02% ”的抗渗配方, 新浆密度 $1.10\sim 1.15\text{g}/\text{cm}^3$, 黏度 $30\sim 35\text{s}$, 失水量 $\leq 20\text{mL}/30\text{min}$, 形成的泥皮厚度 $8\sim 12\text{mm}$ (渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7}\text{cm}/\text{s}$);

循环系统: 设置三级泥浆池(总容积 800m^3), 采用“振动筛(筛孔 0.3mm) + 旋流器(分离粒度 $\geq 20\mu\text{m}$) + 离心净化机”联合处理, 净化后泥浆含砂率 $\leq 3\%$, pH

值稳定在8.5-9.5;

动态调整: 穿越粉细砂层时, 实时监测泥浆液面(保持高于地下水位2.5m), 密度提升至 $1.15\text{g}/\text{cm}^3$, 有效抑制了管涌风险^[5]。

2. 成槽与接头处理

设备组合: 采用“SG60液压抓斗(斗宽1.2m)+德国宝峨BC40铣槽机”联合成槽, 软土地层抓斗成槽速度控制在 $0.8\text{m}/\text{h}$, 砂层与岩层铣槽速度 $0.3\text{--}0.5\text{m}/\text{h}$;

垂直度控制: 每3m用测斜仪(精度 0.1°)监测一次, 发现偏差超 $1/500$ 时立即纠偏, 最终槽段垂直度合格率100%;

接头处理: 采用“H型钢接头(翼缘宽400mm)”, 刷壁采用液压刷壁器(钢丝刷+尼龙刷组合), 每槽段刷壁8-10次, 直至刷子无泥渣, 接头处泥浆置换率达95%以上。

3. 钢筋笼制作与吊装

刚度强化: 钢筋笼分两节制作(每节长32-33m), 设置4道 $\Phi 20\text{mm}$ 通长桁架筋+2道闭合箍筋, 主筋采用直螺纹连接(外露丝扣2-3牙), 保护层垫块(50mm厚)按 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 间距布置;

吊装方案: 采用“400t履带吊(主吊)+250t汽车吊(副吊)”双机抬吊, 主吊点设4个(顶部2m处), 副吊点设2个(重心下方3m处), 起吊角度控制在 $55^\circ - 60^\circ$, 吊装过程中用全站仪监测垂直度(偏差 $\leq 30\text{mm}$), 避免碰撞槽壁。

4. 混凝土浇筑

材料控制: 采用C40P12抗渗混凝土, 坍落度 $220 \pm 20\text{mm}$, 初凝时间 $\geq 8\text{h}$, 掺加纤维($0.9\text{kg}/\text{m}^3$)抑制裂缝;

浇筑工艺: 每槽段布设2根 $\Phi 300\text{mm}$ 导管(间距 $\leq 3\text{m}$), 导管理深控制在3-5m, 拔管速度 $0.3\text{--}0.4\text{m}/\text{min}$, 浇筑速率 $40\text{--}50\text{m}^3/\text{h}$, 单槽段浇筑时间控制在6h内;

质量保障: 混凝土超灌500mm, 最终凿除浮浆后, 墙顶平整度偏差 $\leq 20\text{mm}$ 。

(三) 监测数据验证

通过埋设测斜管(深度65m)和应力计监测, 墙体最大水平位移22mm(设计限值35mm), 最大沉降量8mm; 超声波检测显示, 42个槽段混凝土密实度达99.5%, 仅1处存在局部夹泥(面积 $< 0.5\%$), 经注浆处理后满足要求。成墙后进行水压试验(压力2MPa, 持压

30min), 无渗漏现象, 验证了施工质量的可靠性。

该工程为超深地下连续墙穿越复杂地层提供了技术范本, 其泥浆配比与成槽工艺被纳入《城市轨道交通地下工程施工及验收标准》。

结语

地下连续墙作为现代城市地下空间开发的重要技术手段, 其施工质量直接关系到工程的安全性与耐久性。通过对关键技术与质量控制的深入研究, 可以显著提升施工效率并降低风险。本文的研究成果表明, 科学合理的工艺参数设计与严格的过程控制是确保地下连续墙施工质量的关键所在。

在实际工程应用中, 各环节的技术要点需要紧密结合地质条件和工程特点进行动态调整。特别是在复杂地层条件下, 更需要通过技术创新和经验积累来优化施工方案。例如, 在泥浆配比、成槽速度以及混凝土浇筑等关键环节, 必须建立完善的监测预警机制, 及时发现并解决潜在的质量隐患。

未来, 随着地下工程向更深、更复杂的区域发展, 地下连续墙施工技术将面临更多挑战。智能化施工设备的应用、新型材料的研发以及数字化监测技术的推广, 都将为地下连续墙施工带来新的发展机遇。同时, 如何进一步提高施工精度、完善质量控制体系, 仍是行业需要持续探索的方向。

参考文献

- [1] 忻孝胜, 包锦城. 建筑工程中地下连续墙施工技术 & 质量控制探讨[J]. 2020. DOI: 10.12159/j.issn.2095-6630.2020.08.2744.
- [2] 朱靛瑛. 关于高层建筑中地下连续墙施工技术分析及质量控制探究[J]. 中华建设, 2020(10): 3. DOI: CNKI: SUN: CJJA.0.2020-04-039.
- [3] 虞英赋. 超深地下连续墙施工质量控制研究[J]. 建筑科技, 2022, 6(6): 68-71.
- [4] 张宏茗. 软土地层深基坑地下连续墙施工质量控制探讨[J]. 建材发展导向, 2020, 18(11): 1.
- [5] 李斯贤, 桑胜利. 关于“两墙合一”的地下连续墙施工质量控制的研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022(9): 4.