 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.9991

Research on the Application and Construction Technology of Diaphragm Walls in Deep Foundation Pit Support Engineering

Xiangjue Fu

Middling Coal Jiangnan Construction Development Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510440, China

Abstract

Taking the auxiliary foundation pit of the South Area 1 of the comprehensive underground space development project on Keyuan Avenue in Shenzhen as the background, this study systematically explores the construction technology, process, and quality control points of underground diaphragm walls, focusing on the challenges of deep foundation pit support in complex geological and sensitive environments of urban core areas. It particularly analyzes special working conditions such as crossing existing pipelines, groove segment amplitude adjustment, and splicing of irregular groove segments. By precisely controlling key processes, common issues such as groove wall collapse, wall leakage, and pipeline conflicts are effectively addressed. Engineering practice has shown that the underground diaphragm wall support system is safe and stable, and the research findings can provide technical reference for similar projects.

Keywords

underground diaphragm wall; deep foundation pit support; complex geology; slurry wall; quality control; jointed construction; undercrossing pipeline

地下连续墙在深基坑支护工程中的应用与施工技术研究

符祥爵

中煤江南建设发展集团有限公司，中国 · 广东 广州 510440

摘　要

以深圳市科苑大道地下空间综合开发工程南一区附属基坑为背景，针对城市核心区复杂地质、敏感环境下的深基坑支护难题，系统研究地下连续墙施工工艺、流程及质量控制要点，重点分析下穿既有管线、槽段调幅、异型槽段拼幅等特殊工况技术。通过精细化控制关键工序，有效解决槽壁坍塌、墙体渗漏、管线冲突等常见问题。工程实践表明，地下连续墙支护体系安全稳定，研究成果可为同类工程提供技术参考。

关键词

地下连续墙；深基坑支护；复杂地质；泥浆护壁；质量控制；拼幅施工；下穿管线

1 引言

随着城市地下空间开发向深层化、集约化发展，深基坑呈现开挖深、环境敏感、地质复杂、管线密集等特点。传统支护形式在高水位、软土、管线无法迁改等工况下易出现安全隐患，难以满足一级基坑要求。

深圳市科苑大道地下空间工程位于南山核心区，紧邻地铁 13 号线及密集市政管线，部分管线无法迁改且与原设计槽段冲突，转角异型槽段施工难度高。地下连续墙拼幅工艺可有效避让管线、优化异型槽尺寸，本文结合工程实践，阐述其施工技术与质量控制要点。

【作者简介】符祥爵（1991—），男，中国海南海口人，本科，工程师，从事深基坑桩基础研究。

2 地下连续墙工艺特点与适用范围

2.1 工艺核心特点

地下连续墙以成槽机、泥浆循环系统、起重设备为核心，采用分段成槽、泥浆护壁、钢筋笼吊放、水下导管灌注形成连续墙体，核心优势：一是支护与防渗一体化，刚度大、抗渗性优；二是环境友好，低振动低噪声，适配城市核心区；三是地质适应性广，可穿越多种地层；四是质量可控，参数精准把控；五是可两墙合一，节约造价工期；六是拼幅工艺可灵活适配特殊工况，避让管线、优化异型槽 [1]。

2.2 适用工程范围

适用于一级深基坑、邻近敏感建（构）筑物与管线、高水位软弱地层、支护与永久结构结合、管线密集无法迁改及转角异型受限空间的基坑工程。

3 工程概况与施工工艺流程

3.1 工程概况

深圳市科苑大道地下空间综合开发工程南一区附属基坑，包含疏散口、风亭、出入口及下沉广场等结构。基坑安全等级为一级，开挖深度 11.2~20m。基坑围护结构采用 600mm、800mm 厚地下连续墙 + 内支撑体系，墙体混凝土强度等级 C35，抗渗等级 P8，墙底嵌入持力层 1.5~5.5m，原设计单幅槽段长度 4~6m，部分区域因既有管线冲突、转角异型问题，采用拼幅工艺调整槽段尺寸，如 A5 槽段加长至 7200mm，A7、B2 转角异型槽段缩短尺寸，采用拼幅施工。

场地地层主要为素填土、淤泥质土、粉质黏土、砂层及风化岩，地下水位高、土体自稳能力差，1 号下沉广场区域存在既有电缆束、污水管，无法迁改，与原槽段重叠，施工易引发槽壁失稳、渗漏、管线破损及周边沉降，需采用拼幅工艺专项施工。

3.2 标准施工工艺流程

施工准备→测量放线→管线探测与保护→导墙施工→泥浆制备与循环→槽段调幅与拼幅划分→槽段开挖→清槽换浆→钢筋笼制作与吊装→水下混凝土灌注→养护与质量检测。

3 关键工序施工技术要点

3.1 施工准备

场地处理：清理地表障碍物，对软弱场地进行硬化加固，设置排水沟与沉砂池，保证场地排水通畅，防止积水与泥浆外泄。

测量放线：采用全站仪建立平面与高程控制网，精准测放基坑轴线、导墙边线及拼幅槽段分界线、管线位置，执行“二检一核”复核制度，验收合格后方可施工，并设置稳固引桩便于后期复核。

设备配置：选用适配复杂地层、受限空间的成槽机、泥浆净化器、履带式起重机等设备，新增长臂挖机用于下穿管线区域掏土，进场前完成调试与验收，配置备用设备保障施工连续性。

原材料控制：钢筋、水泥、膨润土、外加剂等原材料进场后按规范复试，合格后方可使用；钢筋提前除锈、调直、下料，确定混凝土配合比，提前制备护壁泥浆，拼幅区域配制优质加强泥浆。

技术与安全交底：对管理人员及作业人员进行专项技术、安全交底，重点交底拼幅施工、管线保护、异型槽吊装等内容，特种作业人员持证上岗，确保工序操作标准化 [2]。

3.2 导墙施工

导墙为成槽导向与基准结构，直接影响槽段精度与稳定性，采用现浇钢筋混凝土结构，拼幅及下穿管线区域导墙专项优化：

结构尺寸：厚度 200mm，高度 1.5m，净距比地下连续墙设计厚度大 40~60mm，下穿管线区域导墙深度随管线埋深调整。

开挖与支护：分段开挖，单段长度 10m，拼幅区域先人工开挖探槽，探明管线位置后再机械开挖，及时清除槽底松土并整平。

钢筋模板：采用 HRB400 级钢筋绑扎，钢模板安装精度控制：垂直度偏差＜ 5mm，平面位置偏差 ±10mm，模板接缝密封严密防止漏浆，管线保护矩形框镶入导墙并焊接牢固。

混凝土施工：采用 C25 混凝土浇筑振捣密实，养护时间不少于 7d，强度达到设计强度 70% 后方可进行成槽作业，严禁机械碰撞与碾压导墙。

3.3 护壁泥浆制备与管理

常规新浆比重 1.05~1.15、粘度 20~30s、含砂率≤ 3%、pH 值 7~10，静置 24h 使用；拼幅区域采用加强泥浆，循环中除砂并实时监测指标，槽内泥浆液面高于地下水位 1.0m，废弃泥浆达标排放。

3.4 槽段开挖

采用跳挖施工，相邻槽段施工间隔≥ 2d，拼幅槽段先调幅划分，再分段开挖，下穿管线区域专项掏挖：

槽段调幅与拼幅划分：结合管线位置、异型槽尺寸、成槽机抓斗宽度（3m）调整槽段尺寸，将管线囊括在拼幅槽段内，避免超挖。

常规成槽控制：沿导墙对称开挖，成槽垂直度偏差≤ 1/200，拼幅及下穿管线区域垂直度≤ 3‰；软弱地层降低开挖速度，坚硬地层可适当提速。

针对存在既有管线的槽段，下穿管线掏挖工艺：

（1）先开挖管线两侧土体，逐次递增抓斗深度，削切土体；

（2）长臂挖机掏挖管线下土体，成槽机平移至管线下定位掏挖，抓斗出渣时远离管线，避免冲撞；

（3）分段掏挖管线两侧土体，完成整幅槽段开挖。

槽深与槽宽：采用重锤检测槽深，嵌岩深度满足 1.5~5.5m；抓斗开度保证槽宽不小于设计值。

槽壁保护：保持泥浆液面稳定，成槽后及时清槽，缩短裸槽时间；钢筋笼入槽至混凝土灌注间隔不大于 4h。

3.5 清槽施工

清槽目的为清除槽底沉渣，提高墙体承载力与抗渗性：

清槽工艺：采用冲抓斗清渣 + 反循环相结合的方式，先清除粗颗粒沉渣，再通过泥浆循环净化槽底泥浆，拼幅长槽段增加清槽次数。

质量控制：沉渣厚度≤ 100mm；槽底以上 500mm 范围内泥浆比重≤ 1.2，含砂率≤ 8%，粘度≤ 28s。

3.6 钢筋笼制作与吊装

常规钢筋笼制作：在标准化加工棚内分段制作，单节长度 6~9m；主筋采用电弧焊连接，双面焊搭接长度≥ 5d，

单面焊≥ 10d，同一截面接头率≤ 50%；箍筋、定位筋焊接牢固，预埋件定位准确并密封处理，成品验收后编号存放。

针对地下连续墙槽段内存在既有管线，且该管线无法及时迁改、移除的情况，采用拼幅工艺进行钢筋笼制作：

按既有管线位置及调幅后槽段尺寸分段制作钢筋笼，采用子母笼形式，如 4.7m+2.5m 拼接；

封口筋采用鱼头鱼尾拼接，保证接头精度，配筋按大配筋参数控制。

吊装就位：采用履带式起重机双机抬吊，拼幅钢筋笼设置加固吊点，吊装过程平稳竖直，避免碰撞槽壁；先吊装主笼，平移至管线下方就位固定，再吊装副笼与主笼对接，分段下放时接头焊接验收合格后再整体下放至设计标高 [3] 。

3.7 水下混凝土灌注

采用导管法水下灌注混凝土，保证连续施工、防止断桩，拼幅长槽段采用双导管同步灌注：

导管安装：采用密封式竖向活节导管，底部距槽底 0.3~0.5m，顶部高出导墙顶面 1~2m，长槽段导管间距≤ 3m。

初灌量：保证导管埋入混凝土深度≥ 0.8m，采用大容量料斗保证初灌量满足要求。

灌注控制：混凝土坍落度 180~220mm，每车进场检测；灌注连续进行，相邻两车间隔≤ 30min；专人监测混凝土面高度，控制导管埋深 2~6m，轻微窜动导管提高密实度；双导管同步灌注，混凝土面高差≤ 300mm。

标高控制：实时监测混凝土面标高，按设计控制超灌高度，灌注完成后及时清除墙顶浮浆。

3.8 接头施工

采用工字钢接头，H 型钢外侧焊接镀锌铁皮防绕流；混凝土浇筑后清理接头浮浆，刷壁器清刷不少于 20 次，拼幅接头增加清刷次数。

3.9 地下连续墙拼幅专项施工工艺

3.9.1 拼幅适用场景

适用于既有管线与槽段冲突无法迁改、转角异型槽段尺寸过大、施工空间受限无法一次性成槽的工况。

3.9.2 拼幅施工流程

管线探测与保护→槽段调幅与拼幅划分→导墙施工→分段成槽→清槽换浆→子母钢筋笼制作→分段吊装对接→整体灌注→接头处理→养护检测。

3.9.3 拼幅核心控制要点

用钢板矩形框包裹保护管线并固定于导墙；精准放样拼幅分界线，控制槽段垂直度；保证子母笼对接精准、吊装不变形；混凝土连续灌注，避免拼缝冷缝。

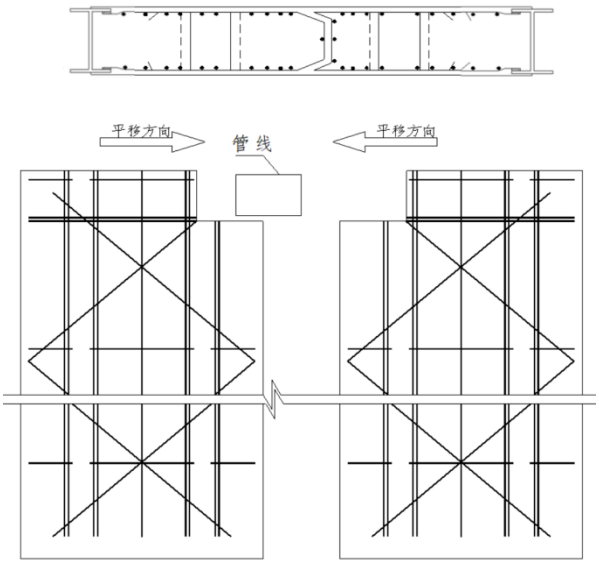


图 1 钢筋笼拼幅示意图

4 混凝土灌注：连续灌注，双导管同步提升，避免拼缝处出现冷缝、渗漏。

4.1 全过程质量控制措施

4.1.1 成槽质量控制

槽段水平位移≤ 30mm，槽宽不小于设计值，槽深与嵌岩深度满足设计；对 30% 槽段进行超声波检测；拼幅槽段 100% 检测垂直度；严格跳挖施工，控制开挖速率，保持泥浆液面稳定，重型机械远离槽段；终孔后采用成槽测壁仪检测垂直度，沉渣厚度超标或裸槽超时需重新清槽。

4.1.2 钢筋笼质量控制

钢筋原材料复试合格，钢筋笼几何尺寸偏差符合规范；焊缝饱满无缺陷，预埋件位置偏差 ±20mm；拼幅子母笼对接偏差≤ 5mm；吊装过程防止变形、刮蹭槽壁，标高偏差 ±10mm，固定牢固防止上浮。

4.1.3 混凝土灌注质量控制

混凝土原材料与配合比符合设计，坍落度严格控制；保证连续灌注，导管埋深适中，杜绝漏浆、堵管、断桩；拼幅槽段增加声波透射与抽芯检测比例，不合格段加倍抽检并采取补强处理。

4.2 常见质量问题防治

槽壁坍塌：优化泥浆配合比，降低成槽速度，缩短裸槽时间，重型设备远离槽段；局部坍塌提高泥浆密度，大面积坍塌采用掺 20% 水泥的黏土回填夯实后重新成槽，拼幅长槽段加强泥浆护壁。

墙体渗漏：加强接头清刷质量，保证混凝土连续密实

灌注；已发生渗漏采用注浆、嵌缝封堵处理，拼缝渗漏增加高压注浆。

钢筋笼下放受阻：对塌孔、缩径槽段进行修槽，校正变形钢筋笼，清除绕流混凝土后重新下放，拼幅笼提前校验尺寸。

混凝土离析：严格控制坍落度，轻缓提升导管，保证连续灌注，不合格混凝土严禁入槽。

接头混凝土绕流：按要求设置镀锌铁皮止浆措施，浇筑后及时清理绕流混凝土。

拼幅施工问题：管线破损提前探槽保护，拼缝错位精准放样，冷缝问题连续灌注。

5 工程应用效果

本工程连续墙于 2025 年 7—9 月完成，拼幅工艺成功解决管线避让、转角异型槽施工难题。单幅槽段施工周期 2~3d，拼幅工艺效率提升 20%；第三方检测表明墙体各项指标达标，拼缝无渗漏、管线无破损，施工低振动低噪声，全过程安全可控。

6 结语

地下连续墙依托泥浆护壁、分段成槽、水下混凝土灌注工艺，可通过拼幅工艺有效解决城市核心区复杂地层、下穿既有管线、转角异型槽段等特殊工况下的施工难题，可有效解决槽壁坍塌、渗漏、周边沉降过大、管线冲突等问题，环境扰动小，适用于一级基坑支护。施工需严控导墙、泥浆、成槽、钢筋笼、混凝土灌注、接头及拼幅七大关键工序，实现规范化施工。深圳科苑大道工程实践表明，该工艺质量可靠、支护稳定、特殊工况适应性强，可为同类复杂地质、敏感环境、受限空间下的深基坑工程提供技术参考，应用前景广阔。

参考文献

[1] 上海市住房和城乡建设管理委员会.地下连续墙施工规程：DG/TJ08-2073-2016[S].上海：上海市建筑科学研究院有限公司，2016.

[2] 张风林，王海涛，赵文.复杂地层下地下连续墙施工工艺及环境控制研究[J].施工技术，2021，50(12)：73-77.

[3] 李进军，王卫东，吴江斌.地下连续墙支护技术在城市深基坑工程中的应用[J].岩土工程学报，2016，38(S1)：592-597.