

# 临近江域盾构隧道工程中地下连续墙防渗性能优化及深基坑变形控制研究

曾宪文

广东华隧建设集团股份有限公司 广东广州 510801

DOI:10.12238/ems.v7i12.16375

**[摘要]** 针对临近江域盾构隧道工程面临的高水压、复杂地质挑战,本文围绕地下连续墙防渗性能优化与深基坑变形控制展开研究。通过分析预制桩、十字钢板等接头防渗特性,提出“改进施工工艺(控成槽垂直度、刷壁质量)+选优质防渗材料+强过程质控”的防渗方案;结合基坑深度、土体性质等因素,构建“适配支护+土体加固+分层降水”的变形控制体系。以长江中下游某地铁过江隧道为案例验证,结果表明:优化后地下连续墙渗水量 $\leq 0.03L/(m \cdot d)$ ,深基坑变形均控制在设计限值内,周边环境扰动小。研究可为同类工程提供技术参考,助力提升施工安全性与稳定性。

**[关键词]** 临近江域盾构隧道; 2. 地下连续墙; 3. 防渗性能优化; 4. 深基坑; 5. 变形控制;

## 一、引言

### 1.1 研究背景与意义

城市化推动临近江域盾构隧道工程增多,但其面临复杂地质与高水压挑战。地下连续墙防渗性能关乎工程防水与耐久性,深基坑变形控制影响周边安全,故相关研究具重要意义,还能为类似工程提供参考。

### 1.2 国内外研究现状

国外在地下连续墙成槽设备、泥浆、接头及深基坑变形计算等方面成果丰硕;国内通过引进创新,在成槽设备、泥浆处理、接头形式及基坑支护等领域也有突破,但复杂地质应对、超深墙施工及变形预测等仍存不足。

### 1.3 研究内容与方法

研究地下连续墙防渗优化、深基坑变形控制,结合工程案例验证。采用文献研究奠定理论,案例分析总结经验,数值模拟辅助设计施工。

上述缩减内容已涵盖引言核心要点,若你觉得某部分还需调整,或有其他修改需求,可随时告知。

## 二、临近江域盾构隧道工程概述

### 2.1 盾构隧道工程特点

盾构隧道工程以机械化作业为核心优势,土压平衡、泥水平衡盾构机搭配自动化控制系统,可精准控制掘进参数,日掘进速度达 10~20 米,较传统工法效率更高、工期更短。同时,通过调控推力与注浆压力,能减少土体扰动,控制地面沉降,降低对周边建筑、管线及交通的影响,适配城市密

集区域施工。

但临近江域工程面临显著挑战:江域高水压(可达数兆帕)对隧道防水与结构稳定性要求极高;地质复杂且地层不均,砂层易引发坍塌涌水,岩石层则加剧盾构刀具磨损,给设备选型与参数设定带来困难。

### 2.2 地下连续墙与深基坑在工程中的作用

地下连续墙是核心支撑结构,兼具挡土、防渗、承重功能:基坑开挖时可抵御土体侧向压力防坍塌,阻断地下水渗入以营造干燥作业环境,部分工程中还能作为永久结构承担上部荷载,提升工程安全性。

深基坑施工是盾构隧道工程关键环节,其质量与变形直接影响隧道安全。基坑开挖会引发土体应力重分布,若变形过大,易导致隧道不均匀沉降、水平位移;且临近江域地下水位高、土体含水量大,降水或支护不当更易加剧变形。因此,需通过优化支护设计、施工工艺及加强监测,控制基坑变形,保障隧道结构安全。

## 三、地下连续墙防渗性能优化措施

### 3.1 常见地下连续墙接头形式及防渗性能分析

地下连续墙槽段接头直接影响墙体防渗性与整体性,常见形式各有优劣:

预制桩接头:渗流途径长、抗渗性较好,平面外抗剪能力强,施工操作简便,但自重较大对设备要求高,接头处混凝土浇筑质量难控,易因空隙影响防渗。

十字钢板接头:借穿孔钢板增长渗水路径,防渗与抗剪

性能佳, 然工序复杂、施工难度大, 刷壁清泥困难, 抗弯性弱且钢板用量多、造价高。

**锁口管接头:** 用钢量少、造价低, 但起吊设备与时间控制要求高, 易因操作不当导致锁口管难拔出, 接头整体刚度弱, 高水压下渗漏风险高。

### 3.2 优化地下连续墙防渗性能的方法

#### 3.2.1 改进接头施工工艺

**控槽壁垂直度:** 用带自动纠偏系统的成槽机, 实时监测并调整, 确保垂直度偏差 $\leq 1/300$ , 避免因垂直度不佳影响钢筋笼下放与接头连接质量。

**提刷壁质量:** 用多刷毛、硬度适中的刷壁器, 清底前对先浇槽段接触面清刷 $\geq 10$  次, 直至刷壁器无泥块残留, 同时避免扰动槽壁、碰撞土体。

**保混凝土密实:** 浇筑前检查导管密封性, 控制混凝土坍落度 180~220mm, 浇筑速度适中; 过程中定期测混凝土上升高度, 保持导管埋深 2~6m, 防冷缝与空洞。

#### 3.2.2 选择优质的防渗材料

**膨润土泥浆:** 优先选钠基膨润土, 其水压下形成高密度低透水横隔膜。砂性土层中, 控制泥浆比重 1.06~1.15、粘度 25~35s, 增强护壁防渗漏效果。

**防水混凝土:** 用强度 $\geq 42.5\text{ MPa}$  的普通硅酸盐水泥, 粗骨料最大粒径 $\leq 40\text{ mm}$ 、含泥量 $\leq 1\%$ , 细骨料选中砂、含泥量 $\leq 3\%$ ; 添加高效减水剂(降水灰比)与膨胀剂(补收缩减裂缝), 经试验确定配合比, 确保抗渗等级 $\geq P8$ (临近江域工程要求)。

#### 3.2.3 加强施工过程质量控制

**成槽控制:** 定期检测泥浆比重(新浆 $\geq 1.05$ )、粘度、含砂率(新浆 $< 2\%$ , 回收分离后 $< 4\%$ )、pH 值, 新浆需放置 24h 以上或加分散剂待膨润土充分水化; 粘性土层成槽速度 1~2m/h, 砂性土层 0.5~1m/h, 用带纠偏装置的槽壁机, 随偏随纠保垂直度。

**钢筋笼下放:** 制作时保证尺寸准、间距匀、焊接牢; 下放前查槽段无杂物坍塌, 用专用吊具缓慢下放, 若遇阻力勿强行操作, 防碰撞槽壁破坏护壁。

**混凝土浇筑:** 浇筑前调试设备、做导管水压试验, 确保无漏水; 保证混凝土供应连续, 控制浇筑速度与导管埋深, 实时观察浇筑情况, 异常及时处理。

## 四、深基坑变形控制方法

### 4.1 深基坑变形影响因素分析

深基坑变形受多因素协同作用, 核心影响因素包括:

**开挖深度:** 随深度增加, 周边土体压力增大, 变形随之加剧。当深度超 20 米时, 土体水平位移与竖向沉降显著增大, 易威胁周边建筑与管线安全; 浅基坑变形较小, 稳定性更佳。

**土体性质:** 砂土内摩擦角大但抗剪强度低, 易坍塌滑动; 粘性土粘聚力大却压缩性高, 易压缩变形引发沉降。此外, 土体含水量高会降低抗剪强度, 渗透系数大则因地下水流动产生渗透力, 进一步加剧变形。

**支护结构形式:** 地下连续墙结合内支撑刚度强、控变形效果好; 土钉墙仅适用于浅基坑, 控变形能力弱。支撑间距过大、刚度 / 强度不足, 均会导致支护结构变形, 进而引发基坑变形。

**降水作用:** 降水使地下水位下降, 土体有效应力增加, 易致压缩变形; 降水不均会引发不均匀沉降, 还可能诱发流砂、管涌等渗透变形, 威胁基坑稳定。

### 4.2 深基坑变形控制技术与措施

#### 4.2.1 合理的支护结构设计

需结合基坑深度、周边环境及地质条件选型: 浅基坑、环境简单时可选土钉墙或钢板桩; 深基坑、环境复杂时(如临近江域盾构隧道工程), 宜采用地下连续墙结合内支撑。某 15 米深基坑工程, 因周边有重要建筑与管线, 采用该组合支护, 借地下连续墙挡土、内支撑增强稳定性, 有效控变形。

优化设计参数可进一步提升控变形效果: 用高强度钢材、增大支撑截面以提高支撑刚度 / 强度; 减小支撑间距(如从 3 米缩至 2 米), 降低支护结构跨度与变形; 根据基坑形状和受力特点, 在关键部位设支撑并调整角度, 优化受力性能。

#### 4.2.2 土体加固措施

**注浆加固与旋喷桩加固是常用手段:** 注浆加固向土体注入水泥浆或化学浆, 砂性土中可填孔隙、提密实度, 粘性土中能改善力学性质, 某工程注浆后土体强度提升 30%~50%, 沉降与水平位移明显减小; 旋喷桩借高压喷射水泥浆形成柱状加固体, 抗渗性强, 软土地层中可与地下连续墙联用, 某软土基坑工程以此形成外侧加固区, 有效控变形。

实施时需合理确定加固范围与参数, 如注浆压力、注浆

量, 旋喷桩直径与间距, 确保加固效果。

#### 4.2.3 降水与排水控制

分层降水可避免一次性降水过大: 先降上层地下水, 再逐步降下层, 某工程通过此方法将水位降至基坑底以下 1 米, 减少了土体变形。

配套排水系统不可或缺: 基坑周边设截水沟拦截地表水, 防冲刷浸泡土体; 内部设排水沟与集水井, 及时排积水保干燥。某工程借合理布置排水设施, 有效排除了地表水与基坑积水, 保障了基坑稳定, 减少了变形。

### 五、工程案例分析

#### 5.1 工程概况

某临近江域盾构隧道为地铁过江关键段, 全长 1850 米 (盾构段 1200 米), 隧道外径 6.2 米、内径 5.5 米, 采用 C50/P12 装配式钢筋混凝土管片 (环宽 1.5 米), 适配高水压环境。场地地势平坦 (地面标高 8.5~10.2 米), 周边 500 米内有 3 处小区、1 条主干道及 2 条地下给水管线 (DN600/DN800), 需严控环境扰动。

地质复杂, 自上而下为: ①杂填土 (1.2~2.5 米, 密实不均); ②粉质黏土 (2.8~4.3 米, 可塑, 渗透系数  $1.2 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ); ③粉砂层 (5.6~8.2 米, 中密 - 密实, 渗透系数  $3.5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ , 为主透水层); ④细砂与⑤中砂层 (均中密, 透水性强)。地下水位埋深 1.8~2.5 米, 受长江水位影响显著 (丰水期升 0.8~1.2 米, 枯水期降 0.5~0.7 米), 防渗与变形控制为工程重点。

#### 5.2 地下连续墙防渗措施实施与效果评估

地下连续墙厚 0.8 米、深 32 米, 采用 10mm 厚十字钢板接头 (遇水膨胀止水条), 施工严控三环节: 用德国宝峨 GB 34 成槽机 (激光测斜), 垂直度偏差  $\leq 1/350$ ; 双轮刷壁器 (耐磨尼龙刷毛) 清刷 12 次, 泥皮  $\leq 1\text{mm}$ ;  $\Phi 300\text{mm}$  导管 0.8MPa 水压试验合格后, 浇筑坍落度  $200 \pm 20\text{mm}$  混凝土, 浇筑速度控制在 25~30 立方米 / 小时, 导管埋深 3~5 米。

施工期 (6 个月) 及运营初期 (1 年) 渗水量  $\leq 0.05\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$ , 达标。运营 18 个月后, 3 处接头渗压异常 (最大 0.3MPa), 经查为焊点气孔 (2~3mm) 致渗漏。采用 “钻注一体化” 工艺: 布设 3 个  $\Phi 90\text{mm}$  注浆孔 (深至墙底以下 1 米), 注水泥 - 水玻璃双液浆 (1: 0.8, 初凝 30~60 秒),

压力 0.5~0.8MPa, 渗水量恢复至  $\leq 0.03\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$ 。

#### 5.3 深基坑变形控制实施与效果分析

深基坑开挖深度 22 米, 采用“地下连续墙 +3 道 C40 钢筋混凝土内支撑”(首道距地面 2.5 米, 间距 6 米; 其余 4.5 米)。土体加固: 外侧  $\Phi 600\text{mm}$  旋喷桩 (深至坑底以下 3 米, 间距 400mm); 开挖面以上 2 米袖阀管注浆 (压力 1.2~1.5MPa)。降水用  $\Phi 600\text{mm}$  管井 18 口, 分 3 层降至坑底以下 1 米 (速率 0.5 米 / 天)。

开挖期 (4 个月) 自动化监测显示: 地下连续墙最大水平位移 28 毫米 (设计限值 35 毫米)、竖向沉降 12 毫米 (设计限值 15 毫米), 支撑轴力最大达 1850kN (设计限值 2200kN), 合规; 坑外土体最大水平位移 15 毫米 (影响限值 20 毫米), 竖向沉降 8 毫米 (影响限值 10 毫米), 周边房屋沉降  $\leq 2\text{mm}$ , 管线位移  $\leq 1.5\text{mm}$ , 均达标。

经验总结: ①细化地质勘察; ②强化接头质量追溯; ③“支护 + 加固 + 降水” 协同控变形; ④关键工序人员需实操考核。

### 六、结论与展望

本文针对临近江域盾构隧道工程, 明确核心成果: 其一, 分析预制桩、十字钢板、锁口管三类接头防渗特性, 提出通过严控成槽垂直度 ( $\leq 1/350$ )、刷壁  $\geq 10$  次、保证混凝土浇筑密实 (坍落度  $180\text{--}220\text{mm}$ ) 改进接头工艺, 搭配钠基膨润土泥浆与 P8 级防水混凝土, 强化地下连续墙防渗; 其二, 识别基坑深度、土体性质等变形主因, 提出 “适配支护选型 (如深基坑用地下连续墙 + 内支撑) + 土体加固 (注浆 / 旋喷桩) + 分层降水”的控制方案; 其三, 工程案例验证有效性 —— 地下连续墙防渗措施初期达标, 后期渗漏经注浆封堵解决, 深基坑变形均控制在设计限值内。

#### [参考文献]

- [1] 邹家南, 杨小平, 刘庭金。邻近地铁盾构隧道的深基坑支护分析 [J]. 铁道建筑, 2013, 53 (09): 63~67.
- [2] 宋海滨, 李刚柱, 殷刘帅。深基坑对紧邻地铁盾构区间隧道变形的影响性分析 [J]. 铁道标准设计, 2013, 57(03): 97~101.
- [3] 顾勇军, 吕颖钊。公路盾构隧道超深基坑开挖的施工控制技术 [J]. 公路, 2010, (03): 192~196.