

# 软土地区地连墙侧向变形特性与控制方法研究

周张平

浙江土工岩土科技有限公司 浙江 杭州 310000

**【摘要】**：软土区域超深基坑施工易致地连墙大幅侧向变形，土体高压缩性及蠕变特性加重地层应力扰动与结构形变反应。本文以软土工作井基坑工程为对象，依托三维数值模拟实施施工全流程力学与变形分析，厘清墙体变形分布及周边土体扰动演变规律。融合结构加固、地层预处理、支撑优化与分步开挖技术搭建成套变形控制体系，揭示变形发育特征与核心管控要点，为同类软土地层围护结构工程设计施工提供技术支撑。

**【关键词】**：软土；超深基坑；地下连续墙；侧向变形；数值模拟

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.096

## 引言

软土地层具有含水率高、强度低及蠕变显著的固有特性，超深地连墙基坑开挖卸荷会诱发地应力重分布，推动墙体侧向变形与地层联动扰动持续发展。现有分析方法难以适配层状软土的复杂受力变形特征，相关稳定性与变形控制研究仍存在不足。为揭示软土超深地连墙全过程变形机理，依托实际基坑工程开展数值仿真研究，剖析变形内在规律并完善工程控制技术，以此解决软土围护结构变形防控的核心技术难题。

## 1 工程概况

依托上海软土城区市域轨道交通地下工作井基坑工程，场区地势平缓，地层分布多层高含水率、高压缩性软弱土层，地质存在显著蠕变时效特性<sup>[1]</sup>。基坑最大开挖深度 36.5m，围护采用 1200mm 厚刚性接头地下连续墙，墙体最大入土深度 66m，墙侧布设  $\Phi 850$  三轴搅拌桩全域加固，多层复合型支撑体系协同支护，深层卸荷易引发墙体侧向变形与地层联动扰动。

## 2 软土地连墙侧向变形特性分析

### 2.1 施工全过程墙体侧向变形分布规律

软土地层超深地连墙沿深度呈中部鼓胀式变形，墙体上下段变形量值偏小，最大侧向位移对应基坑开挖界面位置<sup>[2]</sup>。开挖持续推进，位移峰值随开挖深度同步下移，连廊区段墙体变形幅值大于两侧工作井结构。数值模拟工况下墙体下部朝外反向弯曲，形变演化全程与现场监测响应高度吻合，深层围护结构形变分布具连续动态演化特征。

### 2.2 周边土体扰动与地层位移变化特征

基坑卸荷作用引发深部地应力逐步释放，浅层土体初始阶段向基坑内侧产生位移响应，地层扰动横向影响范围可达 50 米区间。支护体系未成型阶段墙体伴随土体形变产生内侧倾覆趋势，墙趾区域土体形成反向位移变化规律。支护结构刚度成型后地表扰动影响范围持续收缩，地层形变集中分布于开挖界

面两侧区域，开挖界面与基坑侧壁交界位置易产生明显地表隆起效应，地层空间扰动具备阶段性差异化分布特点。

### 2.3 土体蠕变及本构作用对变形的影响机制

场区软土具备高孔隙比、低强度与高压缩性固有属性，土体长期蠕变特性使土压力分布随时间产生持续变化，形变具备显著时效演化特征。摩尔-库伦本构应用工况下易诱发基坑底部边缘土体隆起效应，进一步加剧墙体反向弯曲形变发展态势。土层分层结构与物理力学参数差异化分布，使深部水土压力沿深度产生梯度变化，持续作用于围护结构并改变墙体受力形变状态，成为调控侧向变形发展的核心内在力学诱因。

## 3 软土地区地连墙变形综合控制技术方法

### 3.1 地连墙结构加厚与刚性接头加固措施

围护主体采用 1200mm 整体加厚型地下连续墙结构体系，墙体竖向总布设高度 66m，贯穿场区 8 层分布土层，覆盖 2.5m 至 36.5m 深度区间全部软土地层<sup>[3]</sup>。槽段接缝位置全程配置一体化刚性接头构造，取消柔性衔接构件，增强各幅墙体纵向整体性与抗弯刚度，抑制深层土体蠕变引发的接缝错动与变形偏移。钢筋笼整体通长贯通布设，沿墙体全高同步加密主筋排布密度，针对 9.0m 至 26.0m 淤泥质黏土与粉质黏土软弱层区段增设横向加强肋构造，强化高压缩性土层范围内墙体抗侧压承载能力。成槽成型阶段严格控制槽壁垂直度指标，保障 66m 深度范围内墙体结构几何形态规整，降低后期受力不均产生的局部侧向鼓胀形变。墙体浇筑采用连续不间断灌注工艺，提升混凝土密实度与整体强度，适配 36.5m 超深基坑长期卸荷应力作用，从结构本体层面削弱地应力重分布带来的侧向变形增量。

### 3.2 三轴搅拌桩地层预加固防渗技术

地连墙两侧全域布设  $\Phi 850$  三轴水泥土搅拌桩复合加固体系，沿墙体外侧连续闭合排布形成一体式隔水加固帷幕，同步覆盖地连墙 66m 入土全深度范围。施工依照 8 层土层分层参数

精准控制钻进流程,依次穿越2.5m填土区段、9.0m淤泥质黏土层、14.0m软弱土层及36.5m深部持力层,依据各层17.4kN/m<sup>3</sup>至19.8kN/m<sup>3</sup>天然重度指标调整搅拌压力与注浆速率。针对③<sub>1</sub>层2.87MPa低压缩模量与11.8kPa低黏聚力软弱夹层提升搅拌置换密实度,改善原位土体孔隙结构,削弱高含水率软土蠕变特性对围护体系的持续作用。搅拌桩与地连墙外壁紧密贴合衔接,阻断地下水渗流通道,平衡墙体内外水土压力差值,缩减侧向压力梯度变化幅度。全域预加固完成后统一成型整体性地层防护结构,将基坑外侧50m扰动影响区间内土体力学性能统一优化,降低开挖卸荷引发的地层位移传递效应,稳定地连墙周边应力场分布状态。见表1。

表1 场区关键土层力学参数及加固适配指标表

土层编号	层底深度(m)	天然重度(kN/m <sup>3</sup> )	压缩模量(MPa)	黏聚力(kPa)	内摩擦角(°)	加固适配施工深度(m)
② <sub>1</sub>	2.5	18.8	5.00	20.5	17.0	0至2.5
③ <sub>1</sub>	9.0	17.4	2.87	11.8	14.1	2.5至9.0
④	14.0	17.4	2.99	11.8	13.0	9.0至14.0
④ <sub>-1</sub>	16.5	18.6	10.19	4.6	31.4	14.0至16.5
⑤ <sub>1</sub>	26.0	17.8	3.61	15.3	15.6	16.5至26.0
⑥ <sub>1</sub>	30.5	19.5	7.48	46.3	15.0	26.0至30.5
⑦ <sub>1</sub>	36.5	19.5	12.04	3.6	31.8	30.5至36.5
⑦ <sub>2</sub>	贯通深部	19.8	14.75	3.6	31.8	36.5至66.0

数据来源:上海市域线机场联络线梅富路工作井工程地质勘察报告原位测试原始参数

### 参考文献:

- [1] 李泽文,谭勇,廖少明,等.上海超深基坑地下连续墙的空间变形特性实测分析[J].岩土工程学报,2024,46(11):2380-2390.
- [2] 熊松,朴松浩,葛政.基于变形监测的软土地区地下连续墙弯矩计算与快速安全评估方法研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(30):74-76+16.
- [3] 童立红,刘彤,丁海滨,等.基于广义三阶剪切变形板理论的地下连续墙侧向变形计算方法[J/OL].工程力学,1-16[2026-03-31].

### 3.3 多层内支撑体系分层支护优化方案

基坑内部布设多道差异化截面支撑结构与配套格构体系,第一道、第三道、第五道支撑采用1000mm×1000mm钢筋混凝土构件,第七道支撑采用1200mm×1000mm钢筋混凝土构件,第九道支撑采用1400mm×1000mm钢筋混凝土构件,其余支护层配置直径800mm、壁厚20mm钢管支撑。支撑横梁与600mm×600mm截面连系梁、同尺寸格构柱形成空间受力整体,所有构件均采用B31梁单元力学匹配标准完成结构协同布设。支护工序与开挖深度严格同步推进,依托36.5m基坑总深度划分多层支护节点,沿66m全高地下连续墙竖向形成连续约束体系。支撑构件与墙体结构保持绑定接触模式,格构柱埋入深部土体区域设置嵌入式约束构造,强化深层软弱土层段的侧向约束刚度。多层支撑按地层应力分布梯度逐级布设,贴合8层土层力学参数变化规律平衡墙侧水土压力,抵消2.87MPa至14.75MPa区间压缩模量差异带来的变形增量,抑制墙体中部鼓胀与下部反弯形变发展。

### 3.4 精细化分步开挖施工管控工艺

全基坑开挖流程划分十级标准化工况,以地应力平衡为初始工况,完成66m地连墙与格构柱结构激活后,逐层开展土体卸荷。开挖遵循分层剥离模式,按预设高程钝化基坑内土体,单次开挖深度与支撑激活工序精准同步。施工贴合400m×250m×100m三维模型控制开挖边界,按2.5m至36.5m各层土体面高程推进作业。针对黏聚力3.6kPa至46.3kPa的土层调整开挖速率,弱化软土卸荷应力释放效应,控制50m横向地层扰动范围。开挖界面与基坑侧壁交角平稳切削,降低土体隆起条件,依托土体力学特性适配施工节奏,采用分步卸荷与同步支护联动模式,削弱墙体侧向位移累积效应。

### 4 结语

软土地区超深地连墙展开系统性变形分析与控制探究,依托三维数值模拟还原施工全程结构与土体变形演化特征,厘清墙体侧向形变分布形态及周边地层扰动变化规律。结合土体特性与工程结构配置,完善墙体加固、地层预处理、支撑布设及精细化开挖多项控制技术。相关研究明晰软土地层地连墙变形关键影响环节,形成适配现场工况的防控思路,可为软土超深基坑围护工程的实践应用提供可靠理论与技术支撑。