

临港西岛金融中心深基坑支护监测与变形特性研究—— 基于前撑式抗压注浆钢管桩的应用实践

沈成国

上海山南勘测设计有限公司 上海 201206

摘要：本文以临港西岛金融中心深基坑工程为研究对象，系统开展前撑式抗压注浆钢管桩支护体系的监测实践与变形特性分析。通过构建覆盖基坑本体与周边环境的全周期监测方案，捕捉支护结构位移、支撑内力及周边地表沉降等关键指标变化规律，验证该支护技术在软土地基中的适用性。结果显示，围护桩顶部最大水平位移34.5mm，周边地表最大沉降107.3mm，核心监测指标均控制在安全范围内。该研究为软土地区深基坑支护技术优化提供实践参考，也为类似工程监测方案设计提供依据。

关键词：临港西岛金融中心；深基坑；支护监测；变形特性；前撑式；抗压注浆钢管桩

上海临港新片区作为自贸区核心开发区域，其软土地层具有含水量高、压缩性大、抗剪强度低的特征，给深基坑工程支护与变形控制带来挑战。临港西岛金融中心项目包含2幢39F塔楼及地下车库，基坑普遍开挖深度10.2m，东侧塔楼区域达12.4m，周边紧邻滴水湖防汛墙与市政桥梁，变形控制要求严苛。本文通过该项目监测数据，分析基坑变形演化规律，验证技术应用效果，为同类工程提供支撑。

1 工程概况与支护体系设计

1.1 工程基础信息

临港西岛金融中心位于上海临港新片区西岛屿DSH-W1-1-1地块，地块呈长方形，东西宽约291m，南北长约390m，占地面积110888.63m²，总建筑面积285761.37m²。项目包含2幢39F塔楼（南塔办公、北塔办公+酒店）、1幢1-2F商业裙房及2层地下车库，塔楼建筑高度195m（塔冠）。

基坑工程为地下二层结构，开挖面积52607m²，坑内设置2个边长18m×18m、高低差5.5m的电梯消防坑；普遍区域开挖深度10.2m，东侧临近塔楼区域挖深12.4m，基坑安全等级普遍为二级、北侧塔楼区域为一级，环境保护等级三级。场地地质条件复杂，勘察深度130m范围内揭露土层以填土、淤泥质土、粘性土、粉性土为主，主体基坑底板位于②3-2层砂质粉土，围护底部位于⑤1层黏土；地下水含潜水与微承压水，潜水埋深0.3-1.5m，勘察期间实测稳定水位埋深1.7-2.9m。

1.2 支护体系核心设计

基坑采用“钻孔灌注桩门架围护+前撑式抗压注浆钢管桩+多道止水帷幕”的综合支护体系。围护结构方

面，普遍挖深10.2m区域前排布设φ900@1100钻孔灌注桩，后排φ900@2200，桩排距5.5m；北侧塔楼区域前排φ1200@1400，后排φ1200@1400，桩排距7.0m，桩长均为23-25m。

前撑式抗压注浆钢管桩为支护核心构件，采用φ377×10钢管，长度分33m、35m、22m三类，设置角度50°或30°，通过机械振动斜插打设。桩体分为锚固段与自由段，锚固段底部设置注浆囊袋，注浆压力1.5-2.0MPa，水泥掺量20%，形成水泥加强体以提升锚固力^[1]。止水体系设置三道三轴搅拌桩：前两道内插钻孔灌注桩（水泥掺量10%-20%），第三道位于后排灌注桩外侧（水泥掺量20%），第二、三道搅拌桩间布设降水井，施工期间将地下水位降至地表下10m。坑周被动区采用高压旋喷桩加固（坑底以下6m，水泥掺量20%），局部深坑（深度>4.0m）增设钻孔灌注桩+钢支撑组合加固。

2 深基坑监测方案设计与实施

2.1 监测内容与测点布置

监测方案依据《建筑基坑工程监测技术标准》（GB50497-2019）及上海市《基坑工程施工监测规程》（DG/TJ08-2001-2016）制定，覆盖基坑本体与周边环境两大维度。基坑本体监测包含：围护桩顶部竖向/水平位移（84个测点，沿冠梁每20m布设1个，通过冲击钻打孔埋入水准测钉，用砂浆固定）、围护桩深层水平位移（38个测斜孔，随钻孔灌注桩同步埋设测斜管，管长超出桩底2m）、支撑内力（52组测点，混凝土支撑内置钢筋应力计、钢管支撑粘贴表面应变计）、前撑钢管挠度（12个测点，采用全站仪三角高程测量）、坑底隆起（6个测点，通过辅助测杆+钢尺锤测）、坑外地下水位（107

个监测孔，距围护边线2m处埋设 $\phi 52\text{mm}$ 水位管）^[2]。

周边环境监测包含：驳岸竖向/水平位移（61个测点，冲击钻打孔埋入水准测钉）、桥梁竖向/水平位移（42个测点，测钉埋入桥梁结构表层）、周边地表竖向位移（135个测点，采用 $\phi 20\text{mm}$ 螺纹钢深入原状土60cm，外侧套金属套管保护）、地下管线竖向/水平位移（各9个测点，深层点打孔至管线以下30cm，浇筑混凝土埋入钢筋作为标志）。所有测点初始值均取3次连续观测的平均值，确保数据基准稳定。

2.2 监测方法与频率控制

监测仪器选用高精度专业设备，水平位移监测采用徕卡TS02全站仪（测角精度2”，测距精度 $1.5\text{mm}+2\text{ppm}$ ），结合极坐标法与视准线法，固定观测人员、仪器与测站，确保对中误差小于 0.5mm ；竖向位移监测采用天宝DINI03数字水准仪（标称精度 $\pm 0.3\text{mm}/\text{km}$ ），按二等水准技术要求作业，视线长度控制在50m以内，前后视距差不超过 2.0m ；深层水平位移监测采用北京航天DRM-501测斜仪（分辨率 $0.02\text{mm}/500\text{mm}$ ），每500mm读数1次，旋转 180° 复测以消除仪器自身误差；支撑内力监测使用振弦式频率接收仪（分辨率 $>1\text{Hz}$ ），初始频率取连续3天稳定观测值；地下水位监测采用SWJ-8090型钢尺水位仪（精度 $\pm 1\text{mm}$ ），通过测读水面距管口距离计算水位标高。

监测频率根据施工阶段动态调整：围护结构施工至基坑开挖前，监测频率为1-2次/周；基坑开挖至底板浇筑后3天，加密至1次/天；底板浇筑后3天至基坑回填，支撑拆除期间监测频率2-3次/周，一般工况下1次/周；钢便桥、塔吊基础等新增监测项目，开挖期1次/7天，回填后调整为1次/2周^[3]。若监测数据出现异常（如单日变形超4mm），立即加密至2次/天，直至变形收敛。

3 基坑变形特性实测分析

3.1 支护结构变形规律

围护桩顶部位移随施工进程呈现阶段性特征。基坑

开挖阶段（2021年12月-2022年8月），受坑内土体卸荷影响，围护桩顶部向坑内水平位移持续增长，日均变形速率1.2-2.5mm，最大累计位移34.5mm（测点Q40），位于基坑西侧凸出段；竖向位移初期表现为上抬（最大20.8mm，测点Q41），因坑内土体回弹引发，底板浇筑后受结构自重约束逐渐回落至稳定值。

围护桩深层水平位移（测斜）数据显示，变形最大值集中在开挖面下1-3m处（深度10-14m），最大累计位移55.37mm（测点CX7），出现在支撑拆除阶段，因支撑受力释放导致围护墙侧向变形增大；通过及时调整拆撑顺序并加密监测，变形在3天内趋于收敛。支撑内力变化与开挖深度同步，混凝土支撑最大轴力4606.9kN（测点ZL7），前撑钢管支撑最大轴力1687kN（测点ZL35），均在底板浇筑后因换撑作用逐渐降低。

3.2 周边环境变形特征

周边地表竖向位移受基坑开挖影响显著，变形范围集中在基坑边线外3倍开挖深度（30-36m）内，最大累计沉降107.3mm（测点DB6-1），位于基坑北侧临近塔楼区域。变形过程分为三个阶段：开挖初期（1-2个月）沉降缓慢增长，日均0.5-1.0mm；开挖中期（2-6个月）沉降速率加快，日均1.5-2.0mm，因土体侧向位移带动地表下沉；底板浇筑后（6个月后）沉降趋于稳定，日均变形小于0.3mm，表明支护体系有效限制土体变形向周边传递。

驳岸与桥梁变形控制效果良好，驳岸竖向最大累计位移-19.2mm（测点B50），水平最大累计位移19.5mm（测点B44），均小于报警值（20mm）；南北侧市政桥梁距基坑约70m，竖向最大位移-1.1mm（测点F4），水平最大位移1.2mm（测点F9），倾斜最大0.03‰（测点QX1），因距离开挖范围较远，受施工影响极小^[4]。地下管线变形表现为均匀沉降，刚性管线最大竖向位移-9.1mm（测点GX9），无管线拉裂或破损风险。如下图1所示，为围护墙深层水平位移随深度变化示意图。

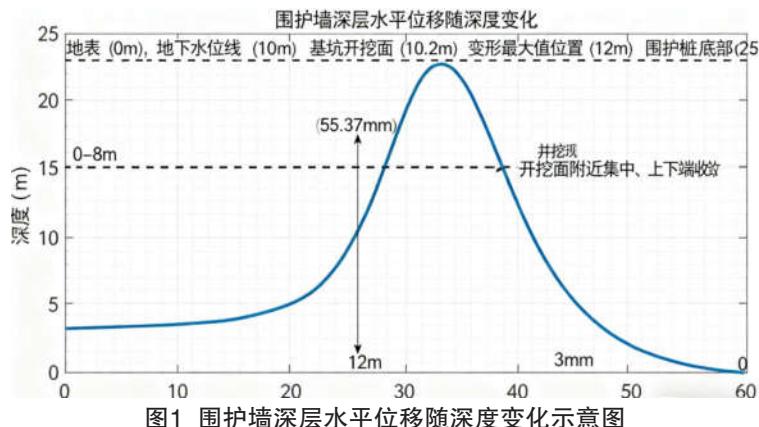


图1 围护墙深层水平位移随深度变化示意图

3.3 监测数据可靠性验证

通过多重措施保障监测数据可靠性：一是仪器事前检定，所有监测设备（全站仪、水准仪、测斜仪等）均经法定计量机构检定合格，检定证书在有效期内；二是基准点稳定性控制，布设3个竖向位移基准点（BM1-BM3）与3个水平位移基准点（TP1-TP3），均位于施工影响范围外，每月联测1次，基准点累计变形小于2mm，稳定性良好；三是数据复核机制，每周采用不同仪器对10%测点进行复测，复测结果与原数据偏差不超过3%；四是异常数据处理，对单次变形超5mm的测点，立即现场检查测点状态，排除损坏或干扰因素后重新监测，确保数据真实反映实际变形^[5]。

4 技术应用效果与工程实践建议

4.1 前撑式钢管桩技术优势

前撑式抗压注浆钢管桩在本项目中展现出显著的技术与经济优势。变形控制方面，相比传统排桩+混凝土支撑体系，该技术通过斜向钢管桩直接传递土压力至锚固段，减少围护墙侧向变形，本项目围护墙深层位移较同类软土工程减少15%-20%；施工效率方面，钢管桩采用机械振动打设，单根桩施工时间控制在30分钟内，无需等待混凝土养护，地下室施工工期较计划提前22天；经济效益方面，省去混凝土支撑浇筑与拆除工序，减少钢材、水泥用量，自由段钢管桩可回收重复利用，工程成本节约约18%；环保性能方面，注浆材料选用低水化热水泥，减少对周边地下水污染，施工噪声较传统工艺降低10-15dB，符合绿色施工要求。如下表1所示，为核心监测项目变形控制效果汇总表。

表1 核心监测项目变形控制效果汇总表

监测项目	测点编号	最大累计变形值	报警值
围护桩顶部水平位移	Q40	34.5mm	50mm
围护桩深层水平位移	CX7	55.37mm	50mm
周边地表竖向位移	DB6-1	-107.3mm	-45mm
驳岸水平位移	B44	19.5mm	20mm
地下管线竖向位移 (刚性)	GX9	-9.1mm	-10mm

4.2 工程实践关键建议

基于本项目监测与施工经验，针对软土地区前撑式

抗压注浆钢管桩应用提出以下建议：一是支护体系设计需结合地质分层特征，锚固段应嵌入⑤1黏土等承载力较高土层，长度不小于5m，确保锚固力满足受力要求；止水帷幕施工需严格控制三轴搅拌桩垂直度（偏差<1/200）与水泥掺量，避免因搭接不严密导致渗水，本项目通过注浆补强处理2处渗漏点，有效控制水位异常下降。二是施工过程需加强关键工序管控，钢管桩打设前需复核角度与位置，偏差控制在±1°内；注浆作业采用分段注浆工艺（自下而上，每2m为一段），实时监测注浆压力与流量，避免压力过大引发土体隆起。三是监测方案需动态优化，支撑拆除、暴雨等特殊阶段应加密监测频率，重点关注围护墙深层位移与支撑轴力变化；建立监测数据与施工的联动机制，当变形超预警值时，立即暂停开挖，采取回填反压、增设临时支撑等措施，待变形稳定后再继续施工。

结语

本文通过临港西岛金融中心深基坑工程的全周期监测，系统分析前撑式抗压注浆钢管桩支护体系的变形特性与应用效果。研究表明，该支护技术能有效控制软土基坑变形，保障周边环境安全，兼具施工高效、成本可控、环保友好的优势。监测揭示的“开挖期变形增长、底板后收敛”规律，以及支护结构与周边环境变形的空间分布特征，为软土地区深基坑工程设计与施工提供重要参考。

参考文献

- [1]夏水龙.微型钢管桩支护下基坑变形监测及承载特性试验研究[J].江西建材,2025(1):167-170.
- [2]叶玉洁,马政武.高层建筑基坑的支护设计及变形特性分析[J].中国新技术新产品,2025(13):107-109.
- [3]胡飞.深基坑支护工程监测及变形特性分析[J].砖瓦世界,2024(21):136-138.
- [4]赵平,季陈晨.近接群桩深基坑支护结构受力及变形特性研究[J].蚌埠学院学报,2025,14(5):72-79,97.
- [5]王生强.地铁深基坑变形特性及支护方案优化研究[J].中国住宅设施,2025(1):169-171.