

城市复杂环境下深基坑施工难点与综合应对措施

孙东飞

上海中关建筑装饰设计有限公司, 上海 201103

DOI:10.61369/ERA.2026070012

摘 要： 本文以上海市闵行区新镇路地下通道新建工程为背景，项目地处建成区，周边管线密集、环境敏感，基坑开挖深度7.83m，属超过一定规模危险性较大分部分项工程。为此，针对城市建成区深基坑施工中围护止水可靠性不足、软土变形控制困难及承压水突涌风险等关键技术问题，结合施工过程中的参数优化与现场调整实践，从SMW工法桩成桩质量控制、分层降水深度控制、土方分区开挖工况选择及渗漏应急处置等方面，总结了具有针对性的施工技术措施。通过对施工参数的动态调整与监测数据反馈分析，有效控制了基坑变形与渗漏风险，可为类似复杂环境条件下深基坑施工提供技术参考。

关 键 词： 深基坑；复杂环境；SMW工法；基坑监测；渗漏防治

Construction Challenges and Comprehensive Countermeasures for Deep Foundation Pits in Complex Urban Environments

Sun Dongfei

Shanghai Zhongguan Architectural Decoration Design Co., Ltd., Shanghai 201103

Abstract： This paper takes the newly constructed underground passage project on Xinzhen Road in Minhang District, Shanghai, as the background. Located in a built-up area with dense surrounding pipelines and a sensitive environment, the excavation depth of the foundation pit is 7.83m, which falls under the category of a sub-project with significant risks exceeding a certain scale. In response to key technical issues in deep foundation pit construction in urban built-up areas, such as insufficient reliability of enclosure waterproofing, difficulties in controlling soft soil deformation, and the risk of pressure-induced water surges, this paper summarizes targeted construction technical measures. These measures are based on parameter optimization and on-site adjustment practices during construction, covering aspects such as quality control of SMW (Soil Mixing Wall) method pile formation, depth control of stratified dewatering, selection of excavation conditions for earthwork zoning, and emergency response to leakage. Through dynamic adjustment of construction parameters and feedback analysis of monitoring data, the risks of foundation pit deformation and leakage have been effectively controlled, providing technical references for deep foundation pit construction under similar complex environmental conditions.

Keywords： deep foundation pit; complex environment; SMW method; foundation pit monitoring; leakage prevention and control

引言

当前，我国城市地下空间开发正朝着深层化、复杂化的方向发展。在城市建成区进行深基坑施工，往往面临地质条件复杂、周边环境敏感、施工空间受限等多重挑战^[1]。上海市闵行区新镇路地下通道新建工程位于城市核心区域，基坑紧邻交通主干道、地下管线网、架空高压线路和公园绿地，施工环境极为复杂。本文以该工程为例，围绕基坑开挖深度大、周边管线密集等难点，探讨系统性施工控制措施，以提升复杂环境下基坑工程的安全性与可控性。

一、工程概况与施工环境分析

(一) 工程基本情况

新镇路地下通道新建工程位于上海市闵行区七宝镇闵行文

化公园内，是连接地铁出入口与公园停车场的重要通道工程。工程总用地面积131m²，总建筑面积344m²，其中地下建筑面积245m²。本工程包含两条地下通道：第一条下穿新镇路，连接16-02地块与新建地铁出入口，通道长度40m。第二条同样下穿

新镇路，连接19-03地块与闵行文化公园西门，通道长度35m。基坑工程为本次施工的核心内容，基坑周长80m，开挖面积288m²，开挖深度7.83m，坑底标高-3.11m（相对±0.00为地面标高+4.72m）。本工程基坑安全等级确定为二级，东侧紧邻文化公园区域环境保护等级为二级。围护结构设计使用年限为1年，满足地下结构施工周期要求。工程采用现浇钢筋混凝土框架结构，设计使用年限50年，结构安全等级二级，抗震设防类别丙类，抗震设防烈度7度，设计基本地震加速度0.10g。

（二）周边环境与管线分布

工程地处滨海平原地貌，周边环境复杂。东侧红线处存在10kV 架空高压电线，水平距离围护桩约5.5m。新镇路一侧红线内埋设有2根采用浅埋套管保护的35kV 高压电缆，埋深约0.4m。非机动车道下分布有DN800上水主管道，埋深1.5m。场地内尚存在数条不明管线，目前已委托第三方实施搬迁。周边管线主要集中在新镇路人行道下方，以电力与通信管线为主。施工过程中需严格控制土体变形，确保管线及周边构筑物安全。

（三）水文地质条件

场地浅部地下水属潜水类型，受大气降水与地表径流补给。勘察期间实测潜水稳定水位埋深为0.38 ~ 1.15 m，对应标高3.42 ~ 4.37 m，平均标高4.05 m。参考上海地区经验，潜水水位年变化幅度为0.5 ~ 1.5 m，年平均水位埋深为0.5 ~ 0.7 m，设计确定抗浮设防水位为室外地坪下0.5 m。承压水主要赋存于第④₂层和⑤₂层。依据地区长期观测资料，该层承压水头呈周期性变化，水位埋深变化幅度为2 ~ 5 m。设计按最不利工况考虑，取第④₂层承压水头埋深为2.0 m。鉴于该承压含水层层顶埋深为14.2 m。经计算，Pcz/Pwy=1.03 < 1.05，表明第④₂层承压水对基坑底板存在突涌风险，需采取专项降压或加固措施。在勘察深度50 m 范围内，场地地层属第四纪全新世 Q4 至晚更新世 Q3 沉积层，主要由填土、淤泥质土、粘性土和粉性土组成。根据地层岩性与物理力学特性，可划分为6个主层及若干亚层。具体特征如下，见表1：

表1 地层特性表（部分）

土层编号	土层名称	层顶标高（m）	平均厚度（m）	状态	压缩性
①	杂填土	4.61 ~ 5.53	2.52	松散	不均匀
② ₁	粉质黏土	1.91 ~ 3.03	2.08	可塑	中等
② ₃	砂质粉土	0.12 ~ 0.83	2.43	稍密	中等
③	淤泥质粉质黏土	-2.69 ~ -1.47	2.91	流塑	高
④ ₁	淤泥质黏土	-5.39 ~ -4.41	4.49	流塑	高
⑤ ₁	粉质黏土	-11.68 ~ -10.77	8.78	软塑	中偏高

根据勘察结果，场地不良地质条件主要表现为以下三方面：场地浅部普遍分布有厚度约2.52 m 的杂填土层，其成分以粘性土混杂碎石砖块为主，土质不均且结构松散，开挖前需进行清表处理。现状道路下方存在不明管线，施工前需通过物探方法予以核实并定位，以确保管线安全。第③层及第④₁层淤泥质土工程性质

较差，具有高压缩性与低承载力的特点，在基坑开挖过程中易引发显著土体变形。

二、深基坑施工主要难点分析

灌注桩施工易对周边环境产生显著扰动。本工程采用直径700mm、桩长22m 的钻孔灌注桩，在饱和软土中成孔时，应力释放与泥浆压力变化会引发周边土体位移，对邻近管线及构筑物安全构成威胁。基坑开挖深度达7.83m，属超过一定规模的危大工程，对支护体系变形控制及整体稳定性要求高。坑底分布厚层淤泥质土，强度低、易回弹，进一步增加了开挖阶段的安全风险。围护结构采用SMW 工法桩（三轴搅拌桩内插H 型钢）作为支护兼止水体系。施工中受地质、工艺等因素影响，桩间搭接部位易形成渗水通道，尤其在渗透性较好的砂质粉土层中，渗漏可能引发水土流失及支护结构背后土体沉降。工程周边环境复杂，邻近10kV 高压线、35kV 电缆、DN800 上水管及公园设施，对施工引起的变形、振动及地下水变化极为敏感，环境保护要求严格。场地地质条件不良。浅部分布较厚杂填土，土质不均。下部③、④₁层为淤泥质土，承载力低、压缩性高、灵敏度大，开挖后变形持续时间长，易导致坑底隆起及边坡稳定问题。此外，第④₂层承压水头较高，经计算其承压水头对基坑底板存在突涌风险，需采取专项降压或加固措施。

三、综合应对措施

（一）围护结构施工技术

1.SMW 工法桩施工技术

围护结构采用三轴搅拌桩内插H 型钢，桩径850 mm，桩心距600 mm，型钢规格H700×300×13×24，长17 m，密插布置（图1）。施工质量控制措施如下：水泥采用P.O42.5。结合场地砂质粉土层透水性较强、桩间渗漏风险高的特点，通过试桩对比20% 与22% 掺量成桩效果，最终确定正式桩水泥掺量为20%，并在砂层段局部提高至22%。搅拌下沉速度控制在0.5 ~ 0.8 m/min。施工中通过实时监测主机电流变化，当电流波动幅度大于15% 时，及时降低下沉速度，以保证软弱土层中水泥土搅拌均匀性。桩位放样采用全站仪，偏差不得超过20 mm。桩机就位后调整立柱垂直度，偏差控制在1/200 以内。预搅下沉至设计深度后，记录电流值变化以判断地层均匀性。喷浆搅拌过程中记录每米水泥用量，确保掺量均匀。型钢插入前表面均匀涂刷减摩剂，厚度不小于2 mm。型钢插入采用定位架控制，平面位置偏差≤30 mm，垂直度偏差≤1/200。桩顶设置型钢定位卡具，防止位移^[2]。邻近管线区域特殊部位在管线两侧各增加2根搅拌桩，提高止水可靠性。转角部位采用“十”字交叉套打，确保止水连续性。

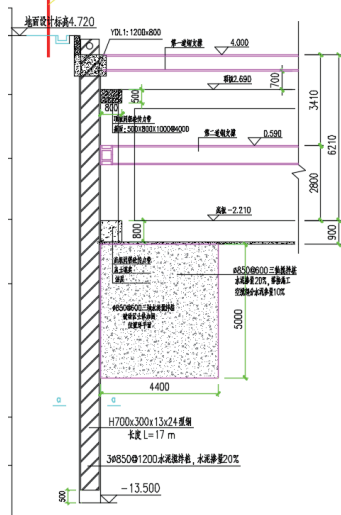


图1 围护剖面图

2. 钢支撑系统施工

基坑设置两道 $\phi 609 \times 16$ mm 钢管支撑，第一道支撑中心标高 -0.50 m，第二道支撑中心标高 -4.00 m。支撑系统施工要点为：支撑安装前地面预拼装，检查支撑直线度，偏差不得超过支撑长度的1/1000。第一道支撑与冠梁预埋钢板焊接连接，第二道支撑通过 HW400 $\times$ 400 双拼钢围檩传递荷载。支撑安装采用 80 t 汽车吊分节吊装，每节长度不超过 12 m。支撑就位后，采用 2 台 100 t 液压千斤顶同步施加预应力，第一道预加力 300 kN，第二道 500 kN。预应力分两次施加，初次加至设计值的 50%，检查节点后加至 100%。支撑端头与围檩或预埋钢板间隙采用钢楔块塞紧，确保接触密实。

(二) 基坑降水与排水系统设置

依据水文地质条件与开挖深度，采用坑内疏干井降水方案，要求降水深度降至开挖面以下 1.0 m。经计算，共布置 3 口深井，井深 9.5 m，井管采用 $\phi 273$ mm 钢管，滤管长 6 m，填料采用 2 - 4 mm 石英砂。降水井结构参数见表 2：

表2 降水井结构参数表

井号	井深 (m)	滤管长度 (m)	井管直径 (mm)	滤网规格 (目)	设计降深 (m)
J1	9.5	6.0	273	80	8.5
J2	9.5	6.0	273	80	8.5
J3	9.5	6.0	273	80	8.5

成井施工采用 GPS-10 型钻机，成孔直径 600 mm，确保孔壁垂直度。下管前测量孔深，偏差不得超过 0.5%。滤管包扎采用 80 目尼龙网加铅丝固定，外包一层土工布。填料时边填边测量填料高度，保证滤料连续均匀。洗井采用活塞与空压机联合方式，直至水清砂净。抽水试验要求单井稳定出水量不少于 5 m³/h，影响半径约 25 m。开挖前 15 天开始预降水，使水位缓慢降至设计标高。遵循“按需降水”原则，依据开挖进度调整抽水量。每日监测坑内外水位并记录单井出水量。坑内水位控制在开挖面以下 0.5 - 1.0 m，避免过度降水。坑外观测井每日监测。当连续两日水位下降速率接近 0.5 m/d 时，立即下调抽水量 20%，以避免过度降水引起周边地表沉降扩大。坑顶四周设置 300 $\times$ 300 mm 混凝土截水沟，坡

度 0.5%。每 15 m 设 600 $\times$ 600 $\times$ 800 mm 集水井，配置 3 kW 潜水泵。坑内沿基坑长边设置 200 $\times$ 200 mm 临时排水沟，距坑边 2 m。排水经三级沉淀池处理后接入市政管网。雨季施工时，排水能力按增加 20% 储备。

(三) 土方开挖与支撑安装

基坑平面尺寸约为 30.6 m $\times$ 10.5 m，采用分层分块的方式进行开挖。根据竖向分层设计，共分为三个开挖层：第一层开挖至标高 2.89 m，土方量约为 527 m³；第二层开挖至标高 -0.52 m，土方量约为 982 m³；第三层开挖至坑底设计标高 -3.11 m，土方量约为 745 m³。总开挖方量约为 2255 m³。开挖过程严格遵循“先撑后挖、对称平衡、限时完成”的原则，每层开挖作业时间控制在 48 小时以内。结合监测数据分析发现，淤泥质土层卸荷后 24 ~ 48 h 为变形快速发展阶段，因此通过缩短开挖暴露时间，减少围护结构的无支撑受力时长^[3]。

工况一（第一层开挖）：开挖前降水至 1.89 m（开挖面下 1.0 m）。采用 1 台 0.8 m³ 挖机开挖，人工配合修坡。开挖后 24 h 内完成第一道支撑安装，并施加预应力至 300 kN。

工况二（第二层开挖）：降水至 -1.52 m（开挖面下 1.0 m）。采用 2 台 0.8 m³ 挖机对称开挖。开挖后 16 h 内安装钢围檩及第二道支撑，预应力施加至 500 kN。

工况三（第三层开挖）：降水至 -4.11 m（开挖面下 1.0 m）。采用人工配合小挖机开挖，避免扰动坑底。开挖后 8 h 内浇筑 200 mm 厚 C20 混凝土垫层，并及时施工地下室底板。

开挖边坡按 1:1.5 放坡，坡面采用 50 mm 厚喷射混凝土护面。坑底预留 300 mm 厚土层人工清理，防止超挖。机械开挖时距围护桩体保持 500 mm 安全距离。每层开挖后及时测量坑底标高，偏差控制在 ± 30 mm 内。土方外运车辆加盖篷布，出场前冲洗轮胎，控制扬尘^[4]。

(四) 基坑监测技术

1. 监测项目与布点

监测等级为二级，内容包括围护结构、支撑体系及周边环境。具体布设如下：围护桩顶沉降与水平位移沿基坑周边每 15 m 布设 1 点，共 6 点。围护桩体测斜在基坑长边中部各布设 1 孔，共 2 孔。支撑轴力于每道支撑选择 3 根进行监测，共 6 测点。坑内外地下水位设坑内 3 个、坑外 4 个观测井。周边地表沉降沿基坑每 10 m 布设 1 点，共 8 点。地下管线沉降在重要管线上方布设 5 点。周边建筑物沉降在东侧公园建筑上布设 3 点。

2. 监测频率与数据分析

开挖前获取初始值，连续测量 3 次取平均。开挖期间至底板浇筑完成后 3 天每天 1 次，变形速率大时增至每天 2 次。地下室施工期间每周 2 次。监测数据当日分析，绘制变形时程曲线以判断发展趋势。具体如图 2。该曲线表明，围护桩顶水平位移随施工进度呈现前期快速增长、中期增速趋缓、后期趋于稳定的规律，最终累计位移 23mm，低于 25mm 的报警值。位移在基坑开挖初期响应敏感，随着支撑体系及时施加预应力及底板浇筑，变形得到有效约束并趋于收敛。这表明分层降水、限时开挖、支撑预加力等综合措施有效控制了软土地区深基坑的变形风险，保障了周边复杂

环境的安全。

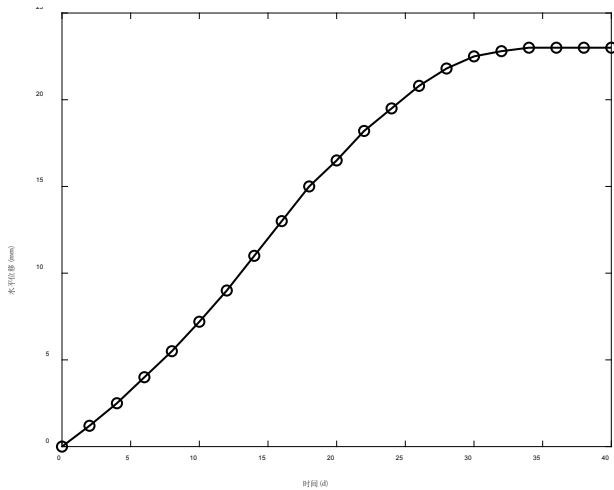


图2 检测数据

（五）渗漏预防

严格控制桩体垂直度，确保搭接厚度不小于250 mm。相邻桩施工间隔不超过24 h，在砂质粉土层中水泥掺量提高至22%，型钢插入后检查桩顶水泥土质量，缺陷及时补强。基坑开挖阶段：开挖前采用红外热成像仪探查桩体渗漏异常。每层开挖后立即检查暴露桩面，重点检查桩间搭接缝，在桩间缝预设间距1.5 m、深6 m的注浆管。根据渗漏情况，按严重程度分三级处理。分级标准除考虑渗水量外，同时结合是否夹带泥沙及周边监测变形速率综合判定，以避免仅凭水量误判险情等级。一级（轻微渗水）为表面湿润或轻微渗水，清理后涂刷1.5 mm厚水泥基渗透结晶防水涂料。二级（明显渗漏）为连续水流且水量 $< 0.5 \text{ L/min}$ ，坑内设砂

袋围堰并打入 $\phi 25 \text{ mm}$ 引流管，坑外侧钻孔注水泥-水玻璃双液浆，压力0.3-0.5 MPa。三级（严重涌水）为水量 $> 2 \text{ L/min}$ 且携泥沙，立即回填土方至上一道支撑标高，坑外采用三重管高压旋喷桩加固，桩径800 mm、深12 m，加固7天后重新开挖。

四、实施效果

通过落实前述综合技术措施，本工程深基坑施工取得预期成效。在变形控制方面，围护桩顶最大水平位移为18mm，低于25mm的报警值。桩体最大测斜变形为21mm，处于可控范围。周边地表最大沉降10mm，管线最大沉降5毫米，均符合控制标准。支撑轴力最大值为设计值的68%，结构安全储备充足。基坑整体稳定，未出现滑坡、塌方等险情。支护体系与支撑系统工作正常，无失稳现象。环境控制成效显著，周边管线保持完好，未发生破损。相邻公园环境未受明显影响，相关投诉为零。扬尘与噪音控制均通过环保部门验收。土方开挖效率达日均 200m^3 ，满足进度要求。

五、结语

工程实践表明，在城市复杂环境条件下，深基坑施工安全不仅依赖常规支护与降水措施，更取决于施工过程中对关键参数的动态调整与技术判断。通过对SMW工法桩成桩质量、降水深度及开挖节奏的针对性控制，有效降低了软土变形与渗漏风险。相关施工技术经验对类似工程具有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 龙江. 复杂城市环境下深基坑支护与施工优化技术研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(4):85-87.
- [2] 张建. 复杂环境下某地铁站超深基坑施工难点与对策 [J]. 建筑科技, 2025, 9(4):109-113.
- [3] 朱君. 复杂环境地质条件下的深基坑设计与施工探讨 [J]. 建材发展导向, 2025(6).
- [4] 宋洪武. 简述复杂环境条件下深基坑施工技术控制措施 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(4):4.
- [5] 姜命强, 向新志. 复杂环境下城市深基坑墙下止水帷幕施工技术 [C]//2023 水利水电地基与基础工程技术创新与发展. 2023.