

# 软土地基中地铁旁深基坑施工技术管理

虞凌峰

上海浦东建设股份有限公司 上海 浦东 200120

**【摘要】**：在大规模推进城市更新的进程中，有较多项目地块邻近已运营的地铁线路或车站，若项目所在地质为软土地基且基坑开挖深度较深，在施工过程中将会对已有地铁隧道区间及车站结构产生较大影响。本文结合一已建同类型项目，研究总结了一套针对地铁旁软土地基深基坑项目的技术质量、现场施工、安全管理及环境监测的一系列措施，力求控制施工对于地铁变形的影响，确保地铁运营的安全。

**【关键词】**：深基坑；地铁保护；施工管理

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.096

## 1 引言

本市虹口区某一地铁旁项目，基坑开挖深度 20.25m，基坑南侧边界与地铁 12 号线隧道区间距离 21.6~28.8m。项目自 2018 年 5 月启动施工准备工作至 2019 年 6 月底完成 1 区底板施工工作，期间经历桩基施工、围护施工、基坑开挖及底板施工各个阶段。除了常规深基坑的管理动作外，针对地铁旁项目，需按照交通管理部门的施工作业及地铁结构变形要求进行更为精细化的管控。另外，本地块原有地下障碍物的问题，以及地铁区间隧道另外一侧另一项目深基坑同步施工都会对本项目深基坑工程产生影响。

## 2 工程概况

### 2.1 项目情况

项目地块用地面积 14146.3m<sup>2</sup>。项目总建筑面积 116632.6m<sup>2</sup>，其中地上 68632.6m<sup>2</sup>，地下 48000m<sup>2</sup>。本工程由 1 个地下室（地下 4 层）、2 栋办公楼（地上 21 层，高 99.99m）、1 栋文化中心（地上 5 层，23.99m，5658m<sup>2</sup>）、一栋社区中心（地上 5 层，23.99m，5183m<sup>2</sup>）以及 1 个 110KV 变电站（地上 3 层）组成。地下室含人防工程，面积 4073m<sup>2</sup>。

### 2.2 围护设计概况

本工程基坑开挖面积约 11650 m<sup>2</sup>，1 区基坑开挖深度约 20.6m。深坑落低 1.5~3.2m。基坑根据地下连续墙布置形式，分为 3 个区域，1 区基坑约 10300 m<sup>2</sup>（地下四层）、2 区基坑约 600 m<sup>2</sup>（地下二层）、3 区基坑约 750 m<sup>2</sup>（地下二层）。

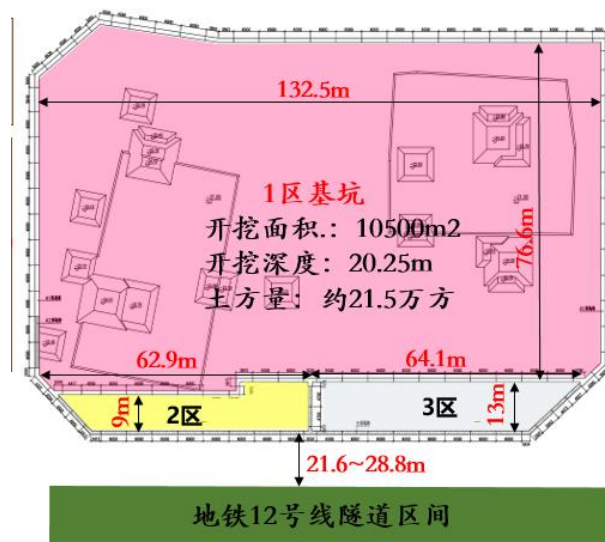
### 2.3 地质概况

本文引用项目位于上海市，上海市位于长江三角洲入海口，地理上属三角洲冲积平原。根据上海市工程建设规范——《岩土工程勘察规范》（DGJ08-37-2012）中附图 A “上海市地貌类型图”，本项目位于的场地属滨海平原地貌类型，地貌形态较为单一。开工建设前，拟建为空地，场地内原有建筑均已拆除，地势较为平坦，勘察期间测得各勘探点的孔口标高一般在 2.69~3.18m 之间，平均标高约 2.95m。

## 2.4 地铁相关概况

场地南侧城市主干路下有正在运营的轨道交通隧道区间段。设计地墙边线（本项目地库为复合墙外墙结构形式）与轨道交通隧道最近距离仅 18.8m。

本隧道区间段靠近轨道交通 12 号线提篮桥站，隧道顶部埋深约为 9m。



基坑与地铁平面关系图

## 3 技术管理

### 3.1 技术方案

本项目基坑周边分部有市政道路、地下管线，因此，在本工程的桩基围护施工以及挖土过程中，如何控制基坑变形，保护运行中的轨道交通 12 号线区间隧道、周边道路和地下管线，减少对地铁及周边的环境影响是本工程的难点一。

应对措施：

(1) 根据“时空效应”理论，编制合理的施工流程，选择合理的施工方案，并通过监测数据分析，调整施工速度和施工方案，力争将地铁结构设施的变形量控制在允许范围之内。

(2) 在靠近地铁隧道侧地下连续墙施工时, 首先沿着地墙两侧施工三轴搅拌桩, 对地下连续墙的槽壁进行加固。

(3) 在靠近地铁隧道处地下连续墙施工时, 采取间隔施工的方法, 适当减小每幅地墙的宽度, 根据现场的施工状况, 调整泥浆的比重。

(4) 为了保证地墙的成槽质量, 保护地铁区间隧道, 适当加深导墙。

(5) 在钻孔灌注桩施工时, 连续施工桩位间距大于 8D, 并加大泥浆比重, 在泥浆中掺入膨润土或直接采用人造泥浆等措施, 防止因坍孔而引起孔外土体沉降进而影响地铁区间隧道。

(6) 坑内泄压井原则不开启, 待群井抽水试验后, 根据坑外观测井水位下降情况判断地墙封闭性, 如围护墙存在渗漏, 进行围护墙聚氨酯发泡引孔注浆封闭, 如效果不佳, 根据计算临界开挖深度, 相应进行减压井的开启。

(7) 组织有地铁侧施工经验的技术人员编制施工组织设计, 在开工前与地铁建设与运营公司沟通, 施工组织设计根据地铁运营公司要求深化。

(8) 由于本工程基坑邻近地铁 12 号线区间隧道, 土方开挖必须遵循“时空效应”的原则, 严格遵循“分层、分区、分块、分段”, 每区每块施工时先形成中间支撑, 后限时对称平衡形成端头支撑, 减少无支撑暴露时间”的原则。地铁侧支撑采用抽条开挖的方式逐条形成。

(9) 支撑拆除采用静力切割减少对地铁及周边环境的影响, 另外采用自动应力补偿系统, 根据每根钢支撑的预应力损失情况及时进行复加应力, 确保地铁侧的基坑变形在控制范围内。

(10) 在地铁侧加密监测点的布置, 并加强监测频率。隧道内部由专业公司采用自动监测方式, 及时监控隧道变形。

(11) 加强落实项目信息化管理, 特别注重基坑监测数据信息及时传递、可视化功能的应用, 为项目参建单位及时了解基坑变形及周边环境受影响的情况提供更加便利的渠道。更加系统的监测信息收集、整理、归纳, 也为在项目实施过程中的风险应对提供最基础的资料。

(12) 在整个地下工程施工期间, 项目部成立地下施工抢险小组, 编制地下施工紧急施工预案, 该小组由建设单位、监理单位、总承包单位、基坑围护设计单位、围护施工单位的主要领导组成, 以保证一有险情, 所有命令、方案能够畅通无阻地实施下去, 与险情抢时间、拼速度。另外必须在施工现场准备一定的抢险物资, 例如各种注浆材料, 以应付各种突发事件发生。

(13) 项目开工前, 全面复核场地地下管线竣工资料与产

权单位交底信息, 结合前期管线资料及现场局部勘察完成管线精准定位, 形成现场标识与管线分布图。由项目技术负责人牵头, 对一线作业人员开展分级专项安全技术交底, 同步留存影像与签字记录; 建立相应保护责任制, 明确项目负责人、专职安全员、班组长、操作岗位四级管控职责, 将管线保护纳入班前教育与过程考核, 确保责任到岗、到人。

(14) 开工前建立管线保护专项管理体系, 设置专职管线监护员, 负责施工影响范围内地下管线日常巡查、状态监护与应急处置。严格执行经企业技术负责人审批、监理与建设单位确认的专项施工方案及管线保护技术措施, 对关键工序实行旁站监护, 在机械作业区段设置物理隔离与警示标识, 临近管线区域优先采用人工开挖, 杜绝野蛮施工。

(15) 由建设单位委托具备资质的第三方检测机构, 对受施工扰动的地下管线布设专用沉降观测点, 形成标准化监测点位布置图。施工期间按工况加密观测频率, 实时采集沉降、位移数据, 及时整理并向建设单位、监理单位、各管线权属单位及施工总承包单位报送沉降观测记录与分析报告; 出现预警值时立即启动处置流程, 同步调整施工参数, 保障管线运营安全与结构稳定。

(16) 若检测值到报警值时, 应查找原因, 调整施工顺序和流程或报设计、监理等单位共同研究处理方案。

(17) 施工过程中发现管线现状与交底内容、资料不符或出现直接危及管线安全等异常情况时, 立即通知建设单位和有关管线单位到场研究, 商议补救措施, 在未作出统一结论前, 不得擅自处理或继续施工。

## 3.2 底板分仓施工工艺

### 3.2.1 背景概况

本工程底板面积约 1.1 万平方米, 普遍厚度 1.8m, 局部深坑厚度 2.4m, 整体放量约 1.8 万方。根据设计后浇带位置及施工分块要求, 将底板划分为 12 个分区。当时项目一直在探索在工期紧张的情况下, 提升底板浇筑质量, 特别是控制好结构裂缝, 减少后续渗漏隐患。

本项目作为上海市虹口区北外滩地铁口商业项目, 代表建设单位商业项目的最高品质。项目团队在前期设计、施工方案研究过程中反复针对底板抗渗问题进行多次专题研究, 最终结合项目实际情况及地铁旁地下室结构施工特点, 锁定了“跳仓法”施工工艺。

针对本项目地处地铁旁、软土地基、中心城区, 严控施工质量与环境风险的特点, 大体积混凝土结构裂缝控制成为施工关键技术要点。本工程所采用的跳仓法浇筑技术, 源自我国结构裂缝控制领域的成熟理论体系, 其核心依托“抗放结合、以放为主”的裂缝控制基本准则, 通过科学划分浇筑区段、合理组织间歇施工, 最大限度释放混凝土早期温度应力与收缩应

力,在超长、超宽及大体积混凝土结构控裂方面具备显著优势,且工艺简洁、现场可操作性强,高度适配中心城区狭小场地与精细化施工要求。

跳仓法的核心技术逻辑,是依据结构受力特点与现场条件,将整体混凝土结构划分为若干独立仓格,实施间隔跳仓、有序浇筑的分段作业方式,通过取消或优化常规后浇带设置,实现连续施工与裂缝防控的双重目标。该工艺早期主要应用于大型地下空间结构、水利枢纽等重点工程,是解决超长、大体积混凝土开裂风险、提升施工效率的成熟技术路径;随着城市建设对结构耐久性要求不断提高,该项技术已广泛推广至民用建筑工程领域,可高效解决超长、超宽、超厚混凝土构件施工缝留置、处理难题,与本项目软土地地沉降敏感、老旧城区管线密集、施工空间受限的现场条件高度匹配。

当时本市在建的同类型项目包括有:北外滩89#地块上实项目、世博新开发银行项目及真如副中心A6地块项目。

当时相关的国标规范也提供了相应的施工依据:GB50496-2018大体积混凝土施工规范第5.1.6超长大体积混凝土施工,应选用下列方法控制结构不出现有害裂缝:1留置变形缝;2后浇带施工;3跳仓法施工:跳仓的最大分块尺寸不宜大于40m,跳仓间隔施工时间不宜小于7d,跳仓接缝处应按施工缝的要求设置和处理。

### 3.2.2 工艺原理

跳仓法施工的核心机理在于:混凝土早期开裂受结构构造、现场工法、原材料性能、环境温湿度及现场管控水平等多重因素耦合影响,针对本项目地处中心城区、软土地基敏感、周边管线密集的复杂工况,必须采用混凝土钢筋约束与应力释放相结合、刚柔并济的综合控裂思路,从源头降低混凝土收缩与温度应力带来的开裂风险。

采用跳仓间隔浇筑方式,可有效释放混凝土早期因温度变化与干燥收缩产生的约束应力,降低结构开裂风险。在施工过程中,于混凝土初凝阶段开展多次精细化收面压光处理,消除塑性阶段因大幅塑性收缩可能形成的初始微裂缝与表面缺陷;结构浇筑完成后及时采取保温、保湿相结合的养护措施,控制混凝土温降速率与水分散失速度,充分发挥混凝土自身的应力松弛特性,削弱多重应力叠加效应,提升结构整体抗裂性能与耐久性。

同时,应从混凝土原材料控制与构造配筋优化两方面采取综合技术措施。一方面,严格把控原材料质量,通过优选骨料级配、控制粒径大小与含泥量指标,并优化混凝土配合比设计,降低混凝土自身收缩与水化热峰值;另一方面,合理加强构造配筋措施,重点在楼板角部增设放射状加强钢筋,并在大梁截面配置足够的腰筋,以提升结构整体抗裂能力与约束效果。



现场增设底板角部放射钢筋

### 3.2.3 施工缝留设

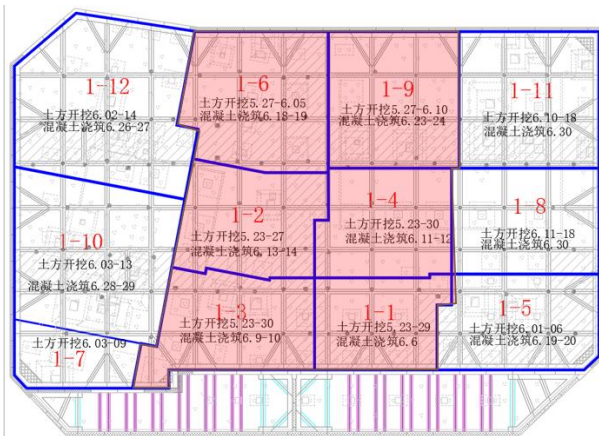
传统底板分块采用后浇带作为施工缝留设的方式,而分仓法直接采用之钢板。两种方案对比如下表所示:

对比项	后浇带	跳仓法
操作度	工艺复杂、不易实施	工艺简易,容易实施
质量控制	由于工艺复杂,后浇带封闭前时间跨度大,期间成品保护难度大,造成后期渗漏隐患点多,质量控制难度较大。	合理安排浇筑分块及浇筑时间,优化混凝土配合比,注意施工缝界面处理,即可确保质量。结构成型跨度时间短,成品保护难度低。
现场HSE	地下室未封闭前雨水易灌入,文明施工不易实施。后浇带保护临时去除,形成水平洞口,成为安全隐患。	结构已在施工时封闭,无后浇带相应的HSE隐患
施工进度	工艺复杂,工期较长。	工艺简单,工期较短。
施工成本	工艺复杂,成本高。	工艺简单,成本较低。
施工实施	无严格顺序与间隔要求。	须严格按照方案的施工顺序与施工间隔施工。

综合跳仓法和后浇带各项优劣的比较,跳仓法仅在施工实施上对施工分块、间隔有较为严格的需求。其他方面,无论是操作度、质量控制还是HSE、进度和成本跳仓法均优于传统留设后浇带的做法。

### 3.2.4 施工概况

地下室底板按照跳仓法施工分为11个分块(后期进度调整将10#分块与7#分块进行合并),实际施工在满足跳仓法对于每个分块混凝土浇筑间隔的前提下,优先施工基坑中部南北向底板分块,以减小基坑及地铁隧道结构变形。



底板分块示意图

分块	平面尺寸(m2)	浇筑方量(m3)	浇筑完成日期
1-1	603	784	2019/6/6
1-2	761	1156	2019/6/14
1-3	805	1299	2019/6/11
1-4	731	1418	2019/6/12
1-5	768	1201	2019/6/20
1-6	983	1361	2019/6/19
1-8	800	1340	2019/7/1
1-9	919	1714	2019/6/24
1-10	1578	3409	2019/6/28
1-11	979	2246	2019/7/1
1-12	1457	2142	2019/6/26
合计	10384	18070	
已完合计	10384	18070	
已完占比	100%	100%	

底板浇筑时间表

### 3.2.5 经验总结

现场实际施工基本遵循相邻施工分块混凝土浇筑间隔不少于 7d 的原则，通过间隔施工，期间释放混凝土绝大部分前期温度变形与干燥收缩变形引起的约束应力。

在底板正式启动浇筑前，联系施工单位混凝土材料供应单位，通过优化混凝土配合比设计，合理降低胶凝材料与拌合水用量，结合优化材料运输线路、现场实时监控，严格控制混凝土入模温度及坍落度指标，可有效降低混凝土自身收缩趋势，减少早期收缩裂缝的产生。同时现场通过优选原材料质量、实施均匀密实振捣、强化构造配筋等综合手段，进一步提升混凝土本体密实性与抗拉性能。

浇筑过程中，在混凝土初凝阶段，现场施工班组多次实施精细收面压光工艺，消除塑性阶段所产生的表面初始缺陷；浇筑完成后及时采取保温保湿养护措施，使混凝土内部温度与湿度平稳缓慢释放，减少混凝土内外温度查，充分利用混凝土的

应力松弛特性，降低应力叠加效应，从而提升混凝土结构整体抗裂能力。

## 4 环境监测

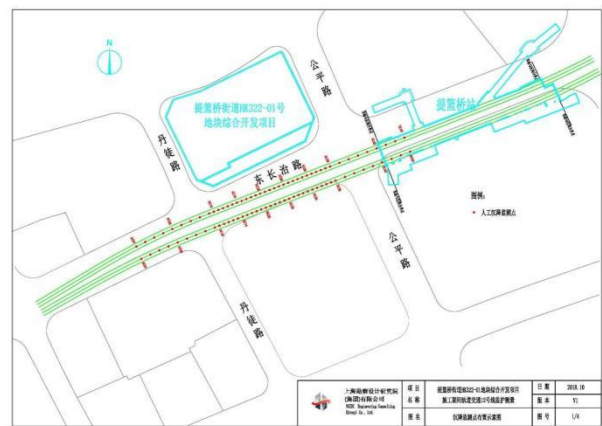
### 4.1 地铁区间结构变形监测

#### 4.1.1 准备工作

经过向申通地铁维保部门方案汇报确认后，其会专门委派测量队伍（上勘院）对本项目相关 12#线区间上、下行线进行监测。维保中心会专门委派项目经理及驻场技术人员负责跟踪，实施之前同基坑监测一样，出具专门的地铁监测方案。在工程启动初期，对本项目基坑印象范围内的地铁隧道进行事前结构确认（渗漏点、开裂点）。于地铁保护区进行作业前，类似于施工许可证也要办理地铁保护区范围内的施工许可，主管部门为交通委，其委托申通地铁进行技术审查，技术审查也分方案设计阶段及施工实施阶段，分别需要提交相应的图纸技术资料 and 进行方案汇报等。

对于地铁保护区进行作业前，类似于施工许可证也要办理地铁保护区范围内的施工许可，主管部门为交通委，其委托申通地铁进行技术审查，技术审查也分方案设计阶段及施工实施阶段，分别需要提交相应的图纸技术资料 and 进行方案汇报等。

序号	完成日期	工作内容
1	2018年10月10日	完成深基坑设计汇报会
2	2018年8月20日	深基坑施工方案科技委专家评审会
3	2018年11月26日	取得地下部分施工许可证
4	2019年1月21日	取得地铁保护区围护施工许可
5	2019年3月8日	深基坑开挖施工方案申通地铁评审会



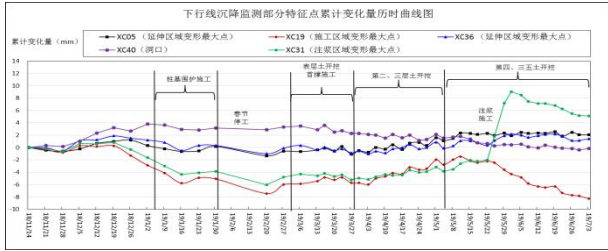
地铁结构监测点位平面布置图

#### 4.1.2 过程监测

##### (1) 沉降变形:

本项目地铁监护进场时间为 2018 年 11 月 14 日，这两张图分别为自地铁监护开始至 1 区底板封闭下行线沉降个点在不同阶段节点的累计变化曲线及各特征点的累计变化历时曲线

图。下行线道床沉降在第二层土至第四层土开挖期间，在施工正对区域呈上抬趋势；在第四层土开挖至底板施工结束，在施工区域呈下沉趋势；下行线累计变化量最大为： $-8.29\text{mm}$ (XC19)；共有25%的监测点累计报警（报警值 $\pm 5\text{mm}$ ）；道床沉降在洞口位置呈轻微下沉趋势；



(2) 收敛变形

上、下行线管径收敛在施工正对区域呈明显的拉伸的趋势，进入底板施工期间逐步趋于稳定；上、下行线管径收敛在注浆施工期间呈明显的压缩趋势；下行线管径收敛累计变化量最大为： $9.5\text{mm}$ (XSL16) 共有32%的监测点累计报警（报警值 $\pm 5\text{mm}$ ）。



4.2 周边建筑物沉降监测

2019年3月5日~3月12日由同济大学房屋监测站对于本项目北侧居民区（3倍基坑深度范围）进行施工过程中的完损情况的检测，检测户数覆盖率达90%。

根据速报结果：部分沉降点观测值已报警、混凝土构件出现多次开裂、露筋锈蚀等现象；木结构多处腐朽、连接节点有多处变形、滑移等现象。

此次检测覆盖面大，基本囊括了基坑影响范围内的周边房屋，为今后开挖变化提供初始依据。

实施过程中，也对刷名房屋及酒店进行沉降点位及裂缝的监测。截至1区底板浇筑完成，居民区沉降点累计最大值未突破报警值（ $25\text{mm}$ ）

参考文献：

[1] 竹相,付耀,胡琦.软土深基坑施工对邻近地铁的影响与有限元分析[J].地基处理,2024,6(S1):64-69.  
 [2] 王锋.基坑开挖对邻近地铁隧道影响的研究进展[J].铁道建筑技术,2025(2):187-192.

4.3 基坑及周边环境监测

4.3.1 设计预警值

基坑分区	围护结构顶部沉降与位移		围护结构测斜		坑外地表沉降		
	累计变形mm	日变形mm/d	累计变形mm	日变形mm/d	累计变形mm	日变形mm/d	
1区	邻地铁侧	15	2	25	2	20	2
	其余侧	20	2	35	2	25	2
2区、3区	邻地铁设施侧	5	1	8	1	8	1
	与1、2区中隔墙	10	1	15	2	10	1

- (a) 立柱桩沉降:  $25\text{mm}, 2\text{mm}/\text{天}$
  - (b) 相邻立柱桩间及围护结构与立柱桩间的差异沉降:  $15\text{mm}, 2\text{mm}/\text{天}$
  - (c) 坑外水位变化:  $350\text{mm}, 100\text{mm}/\text{天}$
  - (d) 混凝土支撑轴力: 主撑(ZC): 第一道  $4000\text{kN}$ ; 第二道  $10000\text{kN}$ ; 第三道  $10000\text{kN}$ ; 第四道  $9000\text{kN}$ ;
  - (e) 管线沉降:  $10\text{mm}, 2\text{mm}/\text{天}$ ; 管线沉降报警值具体以管线管理部门意见为准。
- 注: 对于各监测项目的日变化量速率, 当其连续两天达到日报警值的情况下应报警。

4.3.2 设计监测频率

施工阶段	围护体测斜	围护顶位移、立柱沉降 支撑轴力、坑内外水位	土体测斜、地表沉降、 建筑物位移、管线监测
围护体施工	安装	/	施工位置30m内1次/天 其余位置1次/5天
桩基加固施工	施工位置30m内1次/天 其余位置1次/5天	/	施工位置30m内1次/天 其余位置1次/5天
土方开挖	所有测点1次/1天	所有测点1次/1天	所有测点1次/1天
基础底板施工至 砼浇筑完成15天内	所有测点1次/1天	所有测点1次/1天	所有测点1次/1天
结构回筑	1次/3天	1次/3天	1次/3天
支撑拆除期间 及拆除后一周	所有测点1次/1天	所有测点1次/1天	所有测点1次/1天

特殊紧急阶段视情况另定

5 总结

本文以上海市地铁旁深基坑项目为例，详细论述了此类项目自基坑围护设计、桩基围护施工、基坑开挖与支撑施工至底板完成整个过程中，技术及生产管理要点。技术管理中，设计上，重点描述了基坑大小分坑的设计思路；施工方案上，土方开挖必须遵循“时空效应”的原则，严格遵循“分层、分区、分块、分段”，同时考虑地铁部门对于现场实施的技术审批与保护要求。现场生产管理中，场地布置上，满足在现有环境条件下各道工序同步展开的施工及材料运输加工作业面；在底板的施工工艺上，为了加快施工进度，采用了跳仓法施工，虽对现场施工组织要求较高，但因省去后浇带施工时间，大大加快了基坑底板整体形成的时间。基坑及周边监测分为地铁结构监测及基坑、周边环境监测，现场严格按照设计及地铁部门给出的监测方案实施监测，过程中若产生单日变形或累计变形超限，按照预案进行进一步管理。软土地区地铁旁深基坑施工风险系数大、技术要求高，涉及到技术施工难题方方面面，但宗旨只有一个：在确保地铁及周边环境安全的前提下完成施工，主要措施在于围护设计牢靠，施工方案可行，快速施工结合完善的监测手段。此文的各项措施均以实际项目经验为基础总结而形成，为后续同类型项目设计、施工提供有价值的经验参考。