

软土地基逆作法超深基坑变形控制 – 以苏州中南中心为例

宗秀金¹, 王帅亮¹, 李 建²

(1. 中建集成建设(江苏)有限公司,江苏 苏州 215000;2. 中建科技集团华东有限公司,上海 200126)

摘要: 苏州市软土地基下不同深度埋藏有多层承压含水层,局部工程开挖已进入承压含水层;对周边环境的影响较大,变形控制要求严格。因此,在高地下水位的软土地基中开挖超深超大的基坑工程中,如何有效的控制基坑变形至关重要。文章以苏州中南中心深基坑工程为研究对象,总体采用化大为小、分区分层的施工方式,共划分为3个大区,20个小区,采用顺逆结合的施工方式合理安排3个大区的施工顺序;针对苏州中南中心非对称基坑,采用对称开挖、跳仓施工;通过限时开挖、限时支撑、跳仓施工、分区流水等技术实现时空效应;通过信息化监测监控数据、精细化降水降压、土体加固等辅助性手段,动态指导施工。结果表明:基坑墙斜监测最大累积值为 54.07 mm;周边建筑物沉降最大累积值 15.61 mm,始终使基坑处于安全可控状态。

关键词: 大面积超深基坑; 顺逆结合; 跳仓施工; 时空效应; 降水监测

中图分类号: TU753.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)12-0062-07

doi:10.13402/j.gcjs.2024.12.163

Deformation control of ultra deep foundation pit using reverse construction method for soft soil foundation-taking Suzhou Zhongnan center as an example

ZONG Xiujin¹, WANG Shuailiang¹, LI Jian²

(1. China Construction Integrated Construction(Jiangsu) Co., Ltd., Suzhou 215000, Jiangsu, China

2. China Construction Technology Group East China Co., Ltd., Shanghai 200126, China

Abstract: There are multiple confined aquifers buried in different depths under the soft soil foundation in Suzhou city, and local engineering excavation has entered the confined aquifer. It has a great impact on the surrounding environment and requires strict deformation control. Therefore, how to effectively control the deformation of foundation pit is very important in the excavation of ultra-deep and super-large foundation pit in the soft soil foundation with high groundwater level. This paper takes the deep foundation pit project in the central South of Suzhou as the research object, and adopts the construction method of large and small, zoning and stratification in general. It is divided into 3 large areas and 20 small areas. The construction sequence of 3 large areas is rationally arranged by the construction method of combination of forward and backward. According to the asymmetric foundation pit of Suzhou Zhongnan Center, symmetrical excavation and skip construction are adopted. The time-space effect is realized through time-limited excavation, time-limited support, warehouse jumping construction and zoning water flow. Through information monitoring and monitoring data, fine precipitation pressure reduction, soil reinforcement and other auxiliary means, the construction is dynamically guided. The maximum cumulative value of pit wall slope monitoring is 54.07 mm; The maximum cumulative value of the settlement of the surrounding buildings is 15.61 mm, which always keeps the foundation pit in a safe and controllable state.

Key words: ultra deep foundation pit; combination of forward and backward; skip construction; time-space effect; precipitation monitoring

收稿日期: 2024-04-26

作者简介: 宗秀金(1989—),男,工程师,从事建筑工程施工技术方面的工作。

通信作者: 王帅亮(1992—),男,工程师,从事超高层、深基坑、装配式建筑方面的研究工作。

随着国民经济的迅猛发展,越来越多的超高层建筑不断涌现,其中不乏 500 m 以上的摩天大楼。根据构造及施工的要求,基坑埋深也逐渐增加,从而产生了大量的深基坑工程。就目前现状而言,大量深基坑位于建筑密集区域,周边环境保护要求高,导致深基坑施工越来越重要,施工过程如何有效的控制软土地基深基坑^[1]的变形、提高经济效益、加快施工周期等问题成为关键问题。

向贤华^[2]研究了不同施作顺序下引起邻近车站变形对比分析,发现随着开挖深度的增加,深基坑围护结构水平变形逐渐增大,近基坑侧和远基坑侧围护结构均发生朝向内侧区深基坑的位移,且明挖顺作段的水平变形与盖挖逆作段相比较大;金玉^[3]研究了复杂环境条件下异形深基坑的开挖变形,结合工程实际提出了采取“分区、分块开挖”方式,按照“由外向内、空间对称、随挖随撑”原则,选用分层支撑式开挖的异形深基坑变形控制施工方法,可以有效的控制基坑变形;张炳焜等^[4]研究了对新旧车站间侧向与底部土体进行注浆加固,以保障基坑和既有车站的安全,注浆加固后围护结构桩体水平位移和地表沉降最大值均较加固前减小;王刚刚^[5]研究了临近大直径管线深基坑的支护变形,发现增大围护结构刚度、设置被动区土体加固以及设置换撑杆件都能有效控制基坑开挖及拆撑导致的管线位移;杨玉江等^[6]研究了分坑技术在饱和软黏土深大基坑变形控制中的应用,发现采用合理的分坑技术后,基坑变形值均有所控制,可解决饱和软黏土地区深大基坑开挖变形控制难题,达到控制基坑变形、保护周边环境的目的。

对于软土地区的深基坑变形控制,首先采取合理的设计措施,包括“大小坑设计”、“土体加固”、“分层降水井”、“加强围护结构”、“加强支撑体系”、“逆作法”等;其次现场合理的施工策划和施工进度是控制基坑变形的另一种重要措施,由于现场施工的不确定性,如何及时调整施工思路反而成为基坑变形控制的重要举措,极大的影响最终的基坑安全。

在现场实际施工过程中,除采用常规的技术、工程和设计措施外,结合现场施工时的实时监测数据进行分析,动态调整开挖思路:如在开挖较

浅土方时,预留边跨土方护壁,利用原状土被动土压力,可以提前开挖下一层的中心区域的土方;在开挖较深土方时,提前形成环撑区域内的水平支护结构,可以提前开挖下一层的中心区域的土方;综合节省单层施工时间约 5 ~ 7 d,在地下六层的施工全周期内可节约 30 ~ 35 d,有效缩短了基坑开挖暴露时间,极大地减少对周边环境的影响,降本增效,始终使基坑处于安全可控状态。

本文以苏州中南中心深基坑工程为研究对象,针对苏州中南中心非对称基坑、超深基坑、周边环境复杂、承压水位高、软土地基、复杂地质水文、工程量大、场地狭小、周边管线复杂等重难点,探讨如何在深基坑工程中有效的实施基坑变形控制技术,同时通过查缺补漏的方式对基坑控制通用施工技术进行完善与升级。

1 深基坑变形控制施工重难点及施工技术

(1) 微承压水含水层,同时在砂土层的底部与下一层土的交界处,部分水体常年对土体的侵蚀,会形成一层约 200 mm 厚度的夹层水,该层土体内的水横向透水性差,上部土体由于液化形成一道密封层,导致夹层水^[7]难以正常抽取。基坑开挖最深处已涉及⑨层承压水层,地墙最深处涉及⑩层承压水层,如图 1 所示。采用分层降水、按需降水、水位监测等^[8]施工技术来保证基坑开挖过程中使基坑变形较少。

(2) 地墙存在渗漏风险,基坑存在突涌风险。地墙渗漏主要位置是地下连续墙幅与墙幅的接缝位置,采用 2.2 m 定角度大直径高压旋喷桩(RJP)进行加固,以减少地墙渗漏风险。

(3) 地质为软弱地基。采用 $\varnothing 850$ mm@600 mm 三轴水泥土搅拌桩进行加固,以提高坑底被动区土体抗力,减小基坑变形。

(4) 基坑土方量大,开挖深度达 35.2 m。

(5) 基坑工程工期要求高且受雨雪等不利天气影响。

(6) 逆作结构节点复杂,人工及机械运转效率低。

(7) 场地内可利用空间较小。

(8) 周边环境保护要求高。

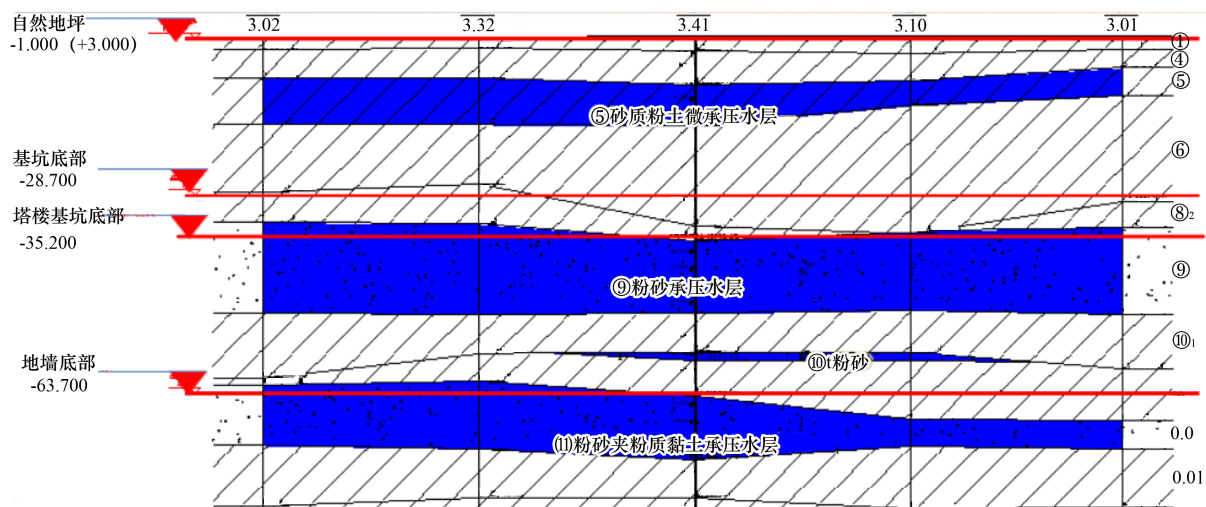


图 1 地质水文条件剖面 m

综上所述,深基坑工程变形综合施工技术主要为化大为小,分仓施工、顺逆结合^[9]、时空效应^[10]、流水施工、分层降水、按需降水、信息化监测等。

2 苏州中南中心深基坑工程概况

2.1 项目概况

基坑总面积约为 2.6 万 m², 基坑总周长约为 695 m, 地下六层, 基坑开挖深度达 35.2 m, 总土方量为 75 万 m³, 塔楼高度为 499.15 m。项目所在地存在⑤层微承压水、⑨层承压水及⑪层承压水; 基坑开挖最深处已进入⑨层承压含水层。

基坑围护体系采用“两墙合一”的地下连续墙, 地下连续墙既作为基坑开挖阶段的挡土止水围护体, 同时作为地下室结构外墙, 地墙完全隔断⑤层微承压水、⑨层承压水, 如图 2 所示。

2.2 周边环境概况

2.2.1 周边建筑物

苏州中南中心位于苏州工业园区湖西 CBD 核心区域, 基坑北侧紧邻运营中苏州地铁一号线区间隧道, 西侧邻近星阳街, 南侧邻近苏惠路, 东侧和东南侧为苏州中心。基坑西侧交通银行和信息大厦两栋高层建筑距离本工程地下室约为 20 m;

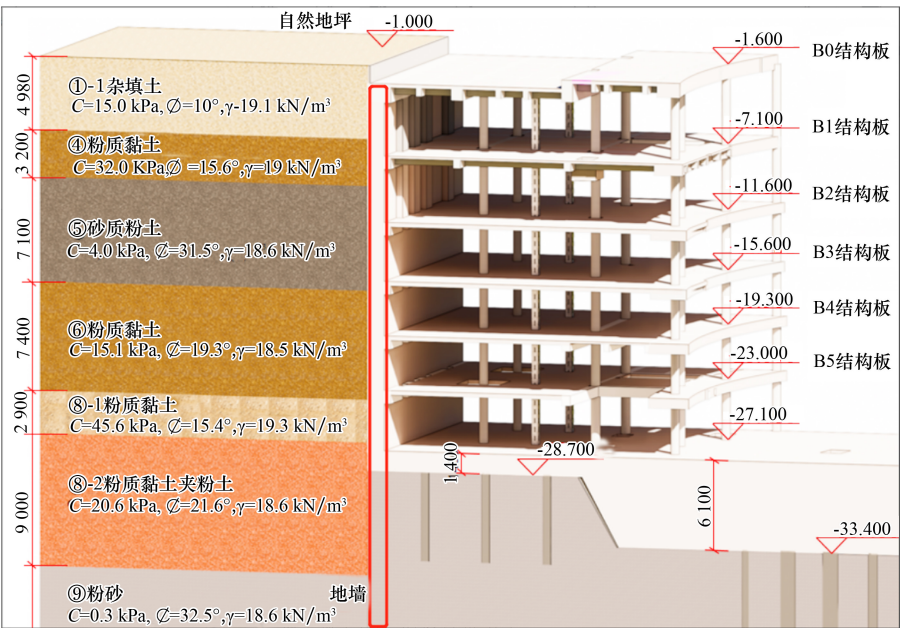


图 2 深基坑围护剖面 mm

基坑东侧为已建苏州中心广场塔楼距离本工程最近约 2.0 m。

2.2.2 周边管线

项目周边地下管道错综复杂,除供电、有线电视、路灯、电信网络等无压线路外,四周普遍存在燃气、蒸汽、雨水、给水及污水有压管线。基坑南侧涉及一道燃气管道,距离 9 m;西侧涉及一道蒸汽管道,距离 6 m;南侧涉及一道给水管道,距离 8 m。

2.2.3 地铁

基坑北侧为正在运行的苏州地铁一号线隧道,隧道直径为 6.2 m,隧道顶部埋深约 9 m,距离地下二层区最近约 8.65 m。

2.3 复杂地质水文

地下不同深度埋藏着多道承压含水层,塔楼底板已进入⑨层承压含水层,为确保州中南中心基坑顺利开挖,施工中首次在苏州地区进行大规模抽取第 11 层承压水,整体降水工程难度大。

3 苏州中南中心深基坑变形控制综合技术应用

3.1 化大为小,分仓施工

基坑总体划分为地下六层区与地下二层区,地下二层区划分为 A 区与 B 区。总体施工流程采用先深后浅、先大后小的顺序,具体为地下六层区→地下二层区 A 区→地下二层区 B 区,如图 3 所示。

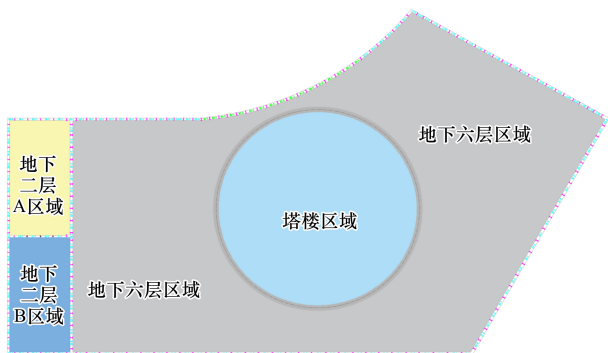


图 3 基坑分区图

3.2 裙房逆作,塔楼顺作

(1) 总体原理:本工程地下室采用“裙房先逆作(局部顺作),塔楼后顺作”的施工方法,以 B1 板作为施工界面层,逆作裙房 B0 边两跨,顺作 B1 及 B0 中间区域,随后逆作 B2 板至裙房底板结构施工。

(2) 提前逆作完成 B0 板边两跨区域,利用 B0

板边两跨区域解决场内环形道路及材料堆场。在保证基坑安全的前提下,B1 边两跨留土护壁,中间区域直接开挖至 B1 板,随后逆作 B1 板中间区域,待 B1 板中间区域结构完成顺作 B0 板中间区域结构。待 B0 板中间区域结构达到一定强度后,开挖 B1 板边两跨区域,逆作完成 B1 板边两跨结构。待 B1 板边两跨结构达到一定强度后,逐层向下逆作完成 B2 板、B3 板、B4 板、B5 板及裙房底板结构。待裙房底板结构达到一定强度后,开挖塔楼底板,顺作完成塔楼底板结构。待塔楼底板结构达到一定强度后,塔楼结构一层一层逐层顺作至正负零。

3.3 流水施工,时空效应

3.3.1 分区流水,跳仓施工

本基坑为大面积软土地基深基坑,时空效应较为显著,采用分区流水,跳仓施工。六层区地下室 B0 与 B1 两层整体分为边两跨与中心两个区域先后施工,其中边两跨分为 14 个施工段,中心分为 8 个施工段,平均每个施工段的面积约 700 ~ 1 000 m²,施工段南北对称开挖,并进行结构施工。B2、B3、B4、B5 整体分为环撑与四周两个区域先后施工,其中环撑分为 12 个施工段,四周分为 6 个施工段,平均每个施工段的面积约 500 ~ 1 100 m²,施工段由中心向东西两侧南北对称开挖,先行形成结构环撑、先行在地连墙中部形成结构支撑,便于控制开挖变形,如图 4 所示。

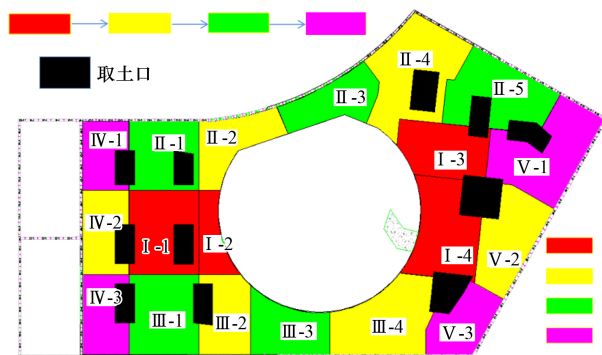


图 4 B2 ~ B5 分区示意图及施工流水

底板 B6 层延续上一层的开挖顺序,对分区分块微调,环撑区域分为 9 个施工段,四周区域分为 4 个施工段。环撑区域南北各一个施工段先行开挖,随后向东西两侧南北对称开挖,最后开挖北侧及东南角区域剩余土方。裙房环撑区域完成后,开挖塔楼底板土方,如图 5 所示。

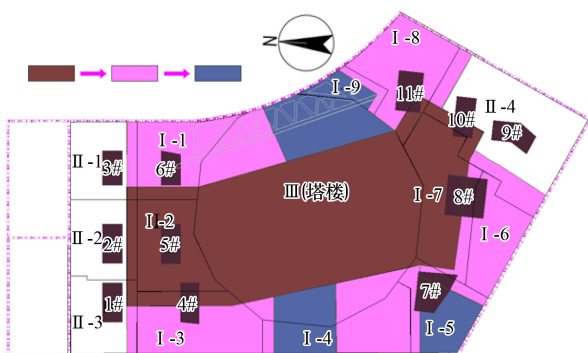


图 5 裙房底板分区示意图及施工流水

3.3.2 综合分析，动态调整

根据上层开挖工况与监测数据对比分析，调整下层土方开挖的分区分块及顺序。变形较大的区域应尽量采用小流水段施工，变形较小的区域可适当放大流水段施工。根据同层开挖工况与监测数据对比分析，可以按照上述原则实时调整土方开挖分区分块及顺序。

(1) B1 层边两跨，减少留土。利用基坑东侧及东南侧土压力靠近苏州中心地下室支护结构，基坑侧向土压力较小，可取消 B1 层两侧留土护壁。

(2) 留土护壁，提前开挖下一层。利用上层四角垫层加厚、四周留土护壁及上层结构对称支护提前开挖下层中间区域土方以保证结构与土方流水施工，同时加快施工进度。

(3) 环形支撑，提前施工。利用裙房环形支撑提前开挖塔楼区域土方以保证结构与土方流水施工，同时加快施工进度。

3.3.3 限时开挖，限时支撑

土方从开始开挖至开挖完成时间不得超过 3 d，结构从土方开挖完成至混凝土浇筑时间不得超过 7 d，以总时间不超过 10 d 的速度完成施工段混凝土浇筑，并对围护结构提供支撑。

根据工况推演及现场纠偏，执行每日开挖审批制，每日上报现场实时区块的进度，并根据各区块的施工工况审批第二天的开挖区域，征得各方同意后，下发执行。

3.4 优化设计，加快施工

(1) 优化底板形状，提高施工效率。

塔楼底板厚度达 6.1 m，由于集水井及电梯井密布，塔楼内存在多个坑中坑，深坑与深坑交叉，标高不一，形状不规则，开挖、护坡及结构施工

难度极大。利用 BIM 技术^[11]，将多个深坑连成整体，通过规整边坡布局，并将斜坡优化为直坡，减少开挖难度，减少钢筋绑扎难度，加快结构施工，如图 6、7 所示。

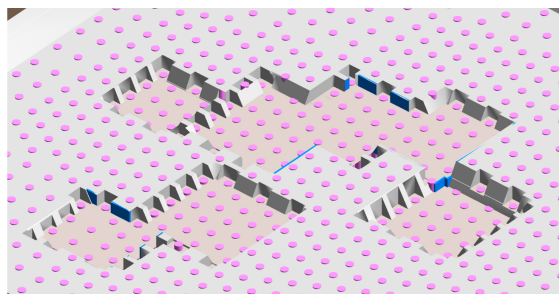


图 6 底板群坑（优化前）

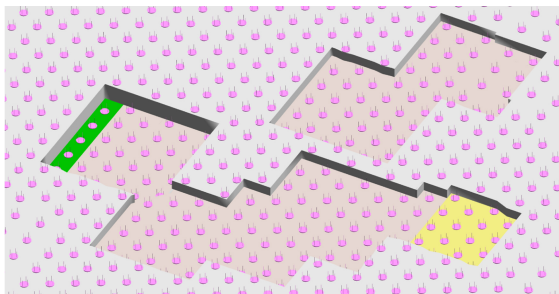


图 7 底板群坑（优化后）

(2) 复杂节点优化，提高施工效率。

逆作施工产生较多复杂节点，如格构柱托换梁节点、钢管混凝土叠合柱梁节点、梁重合节点、巨柱套架与底板钢筋节点^[12]等。采用 BIM 技术三维模拟节点施工工序及工艺，实现设计优化，提高施工效率。

(3) 取土口优化，提高出土效率。

合理布设取土口，利用原结构的坡道、建筑洞口、楼梯等非永久板区域，减少取土口对结构板的占用，最大限度的释放板面可利用场地。

北区设置 6 处取土口，水平间距为 25 ~ 33 m，单个取土口平面尺寸为 7.6 m × 16 m，取土口距离地连墙两跨距离(14 m)，南区设置 5 处取土口，水平间距为 25 ~ 43 m，为了满足距离较远的两处取土口使用需求，扩大此两处取土口的平面尺寸，为 16.2 m × 16.4 m，其余 3 处取土口尺寸仍为 7.6 m × 16 m。中间塔楼区域为直径 84 m 的圆环，如图 8 所示。

(4) 永临结合坡道，提高出土效率。

利用试桩设置运输坡道，结合 B1 层逆作结构设置运土坡道^[13]。车辆先由 B0 板面经临时坡道下至 B1 板面，随后利用单组 5 根试桩浇筑承台并

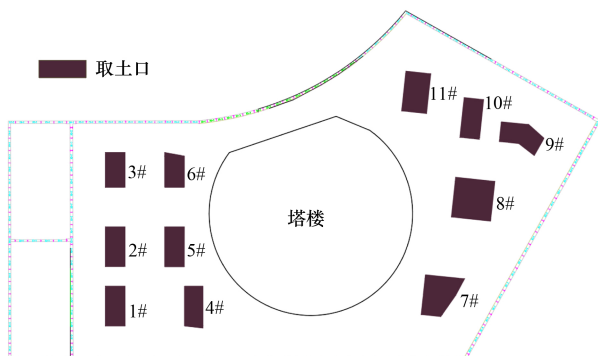


图 8 取土口布置

与逆作结果通过梁板结构形成联系坡道, 下至第一个试桩承台, 按此思路连接第二个试桩承台, 最终通过下部土方坡道下至 B4 结构施工面(-25 m)。渣土运输车可直接运输 B1 至 B4 层间的土方, 加快土方开挖速度, 加快结构施工速度, 减少地连墙无支撑暴露时间, 如图 9 所示。

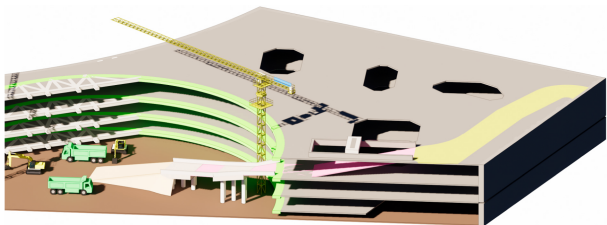


图 9 运输坡道三维图

3.5 抢抓天时, 春节抢工

苏州市一般在 6 月中旬入梅, 雨季对深基坑施工极为不利。同时考虑到全国高考和中考停工影响, 尽量保证塔楼大底板在 6 月初前完成。

项目结合多重因素考虑, 执行春节连续施工, 确保塔楼大底板及时浇筑, 确保基坑安全, 以保护周边环境。

3.6 降水监测, 保驾护航

3.6.1 分层降水, 按需降压

(1) 对于浅部开挖深度范围内的潜水以及逐渐由承压~潜水的第⑤层微承压水, 考虑围护结构已对其有一定的隔水效果, 且其与下伏的第⑨层承压水并无水力联系, 对其采用真空管井进行疏干处理, 控制地下水水位在基坑开挖面以下 1.0 m, 为基坑开挖作业提供良好的环境。

(2) 对第⑨层承压水, 考虑地层埋置深度较大, 围护结构对其已有一定的隔水效果, 但基坑开挖揭穿第⑨层层顶, 故在坑内单独布置第⑨层的减压降水井进行“按需降水”, 保证基坑安全及

施工顺利进行。

(3) 对第⑩t、⑪层承压水, 考虑围护结构对其隔断, 若有突涌风险, 则需单独布置深井进行减压降水, 否则, 对该层以水位监测为主, 避免抽吸该层地下水, 减少可能引起的环境影响。

(4) 降水运行过程中, 随着开挖深度的加大, 对第⑩t 层承压水的控制由“按需降水”控制安全水头到控制安全水位在开挖面以下, 降水难度大。但必须遵循“按需降水”原则, 控制承压水的水位满足开挖时的安全要求, 不得超降。

3.6.2 水位监测, 数据分析

(1) 在基坑内适量布置各层含水层的水位观测井, 根据地下水位监测结果指导降水运行。

(2) 基坑外侧适量布置各层水位观测井, 监测内部抽水后坑外水位变化情况^[2]。

3.6.3 渗漏封堵, 降低风险

(1) 通过微电流渗漏检测及抽水试验, 查找疑似渗漏点, 并针对性进行土体加固。

(2) 地下六层区东侧、东南侧、南侧地下连续墙坑外地墙接缝位置采用 2 200 mm 全角度大直径高压旋喷桩(RJP 工法)进行加固。

(3) 根据群井抽水试验的水位数据分析, 判断渗漏封堵的有效性。

(4) 组织总包单位、分包单位建立渗漏巡查小组, 专人巡查, 专人处理。

(5) 通过对前期施工资料的梳理, 本工程自开工起, 场地内存在的各类孔洞主要包括: 地墙试成槽、灌注桩试成孔、高压旋喷桩取芯孔、桩基取芯孔、地勘探孔、水勘抽水试验孔。为避免管涌风险, 采用聚氨酯注浆+插管注浆处理方式提早完成封闭。

3.6.4 信息化监测监控指导施工

(1) 建立综合性基坑巡查制度, 专人采集监测信息, 专人分析编制数据报告。

(2) 结合工况, 对监测数据进行分析, 做到一层一复盘, 一层一论证, 一事一论证。

(3) 加强加密信息化施工的监测监控, 及时发出预警, 将风险降至最低, 以策安全。

(4) 采用信息化抢险并运作, 并备妥应急抢险的信息化装置设备。

(5) 基坑墙斜监测数据变化如图 10 所示。

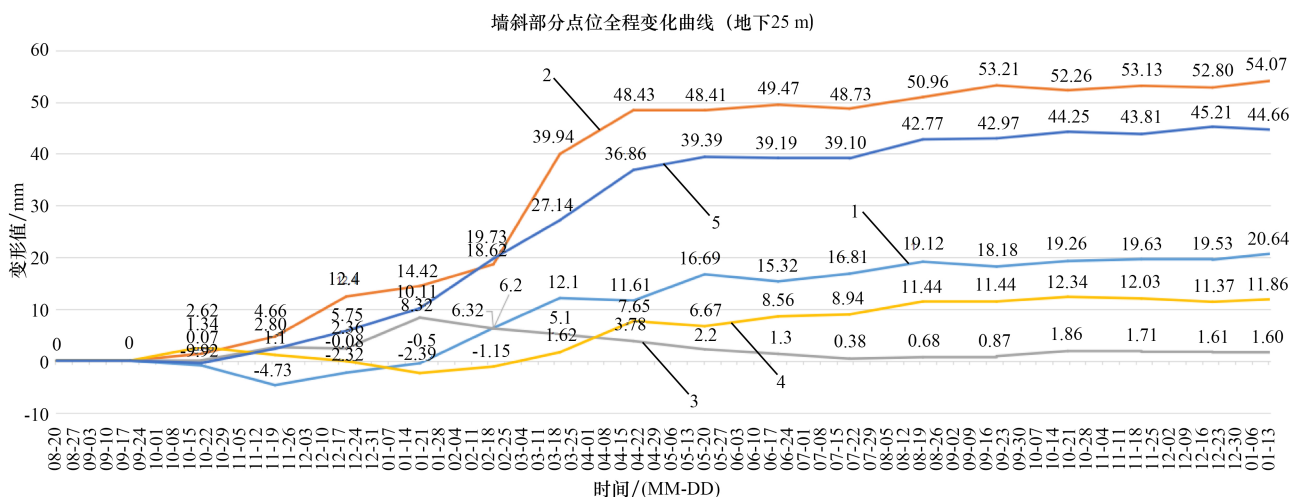


图 10 基坑墙斜变化

3.7 重点管线, 因管施策

(1) 组织各方对基坑周边管线进行调研, 编制专项保护方案, 组织专家论证。

(2) 对西侧道路进行地质勘测, 施工期间根据监测数据对西侧道路进行地基加固。

(3) 风险最大的南侧燃气管线进行迁移保护。

3.8 土体加固, 保护地铁

在临近地铁侧的地下二层区对坑内土体采用 $\varnothing 850 \text{ mm} @ 600 \text{ mm}$ 三轴水泥土搅拌桩进行加固^[14], 以提高坑底被动区土体抗力, 减小基坑变形。其与地墙的槽壁加固间隙采用 $\varnothing 800 \text{ mm} @ 600 \text{ mm}$ 高压旋喷桩进行填充。三轴水泥土搅拌桩加固宽度为 10 m, 呈格栅状布置; 三轴水泥土搅拌桩基底以上水泥掺量为 10%, 基底以下水泥掺量为 20%。在 10 m 加固宽度的基础上, 对于剩余坑内地基土进行了抽条加固, 坑内加固与地下连续墙之间采用 $\varnothing 800 \text{ mm} @ 600 \text{ mm}$ 高压旋喷桩进行加固。

4 结 论

结合周边复杂环境与施工特点, 通过基坑变形综合技术应用使苏州中南中心超深基坑做到了工期短、变形小。

(1) 25 d 完成一层逆作施工。7 d 完成塔楼底板 3.4 万 m^3 土方开挖, 20 d 完成塔楼底板 1 万 t 钢筋绑扎, 60 h 完成 4.5 万 m^3 混凝土浇筑。10 个月完成整个基坑工程。

(2) 基坑施工过程中, 基坑整体变形基本趋于稳定状态, 基坑墙斜监测最大累积值为 54.07 mm;

周边建筑物沉降最大累积值 15.61 mm; 地铁监测变形最大累积值 2.98 mm; 施工过程中, 基坑始终保持安全可控。

参考文献:

- [1] 李向阳. 软土地区土压力不对称围护结构设计分析[J]. 工程建设, 2021, 53(5): 35-40.
- [2] 向贤华. 基坑不同施作顺序引起邻近车站变形对比分析[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(12): 80-85.
- [3] 金玉. 复杂环境条件下异形深基坑开挖变形控制施工技术[J]. 建筑科技, 2023, 7(4): 51-54.
- [4] 张炳焜, 马耀先, 李雪. 超深基坑施工对既有地铁车站变形的控制研究[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(3): 1-5.
- [5] 王刚刚. 临近大直径管线深基坑支护变形控制方法研究[J]. 土工基础, 2023, 37(2): 178-181.
- [6] 杨玉江, 邵亚萍. 分坑技术在饱和软黏土深大基坑变形控制中的应用[J]. 岩土工程技术, 2020, 34(6): 321-324.
- [7] 王朝阳, 殷立锋, 晏姝, 等. 粉性土层中降水效果不佳分析及处理方法[J]. 低温建筑技术, 2022, 44(3): 70-73.
- [8] 陈川, 王帅亮, 宗秀金, 等. 苏州中南中心深基坑降水工程设计与施工[J]. 工程质量, 2024, 42(3): 87-90.
- [9] 戴雅萍, 张敏, 宋鸿誉, 等. 苏州中南中心地下室结构设计研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(7): 1-7.
- [10] 陈川, 王帅亮, 宗秀金, 等. 苏州中南中心深基坑降水工程设计与施工[J]. 工程质量, 2024, 42(3): 87-90.
- [11] 王帅亮, 陈川, 宗秀金, 等. 苏州中南中心逆作法超深基坑 BIM 技术应用[J]. 建筑技术, 2023, 54(23): 2932-2935.

(下转第 81 页)

参考文献:

- [1] 陈梓迁,周俊兆,刘静伟. 钢筋混凝土检查井优化设计研究[J]. 中国设备工程. 2019(4):66-68.
- [2] 贺梦琦,魏连雨. 城市道路检查井井周受力分析研究[J]. 河北工业大学学报. 2014(3):110-112.
- [3] 蒋佳骏,吴张永,王文菊等. 基于 ANSYS 塑料检查井井壁加筋结构仿真分析[J]. 软件. 2020(6):158-163.
- [4] 何维,王勇,王艳丽,等. 检查井沉陷病害产生的力学机理与处治方法[J]. 给水排水工程. 2018(5):157-160.
- [5] 潘永清,饶勤波,张仪萍. 城市道路检查井结构破坏原因分析[J]. 交通工程. 2011(19):134-137.
- [6] 刘深华. 基于振动理论分析城市道路检查井纵向位移研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.
- [7] 饶静波. 交通荷载下检查井受力变形研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.
- [8] 赵全满,王鑫均,卢晓锦,等. 检查井及井周路面影响下的车辆荷载动态特性[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版). 2023. 7,60-68.
- [9] 赵全满,刘瑶,吴楠,等. 井周路面病害特性及平整度模型研究[J]. 中外公路. 2021(4):64-69.
- [10] 何维,王勇,刘伟,等. 市政道路检查井病害调研与成因分析[J]. 市政技术. 2019. (2):186-190.

(上接第 68 页)

- [12] 王帅亮. 超厚基础底板中大跨度组装式钢筋支架的应用——以苏州中南中心为例[J]. 工程建设,2024,56(5):47-52.
- [13] 陈川,胡文,王帅亮,等. 苏州中南中心工程桩永临结合坡道设计与施工[J]. 工程质量,2024,42(2):36-39.
- [14] 段尚磊. 软土深基坑被动区裙边加固方案优化研究[J]. 工程建设,2022,54(9):31-36.

(上接第 72 页)

术与管理方法并没有随之优化与改进,一些浓度比较低的污染物质虽然不会对环境造成严重的污染,但是经过长期的积累会造成严重的影响。因此,需要秉承习总书记的指导“绿水青山就是金山银山”的发展理念^[8],严格地按照相关的制度与要求开展工作,以此促进企业的发展,提高企业的经济效益,使得企业朝着绿色、节能、环保的方向发展。

参考文献:

- [1] 张彩赛. 二氧化硫以及氮氧化物治理及运行控制[J]. 建筑设计. 2016(13):922-922.
- [2] 李洪. 建筑工程造价的动态管理控制分析[J]. 建筑
- 工程技术与设计. 2017(25):773-773.
- [3] 魏淑娟,王爽,周然. 我国烧结烟气脱硫现状及脱硝技术研究[J]. 环境工程. 2014(2):95-97.
- [4] 张范. 电厂脱硫技术与环保措施分析[J]. 城市建设理论研究. 2015(9):5420-5421.
- [5] 褚定杉. 烟气脱硫脱硝一体化技术研究探讨[J]. 科技尚品. 2017(3):24.
- [6] 胡小娟. 热电厂烟气脱硝技术改造[J]. 中国科技纵横. 2015(22):7.
- [7] 穆远庆. 化学工程与工艺中的绿色化工技术研究[J]. 山东化工. 2019(19):139.
- [8] 王永康. 打造“生态保护与生态经济”双示范区[J]. 今日浙江. 2015(6):24-25.