

DOI: 10.19479/j.2095-719x.2401001

软土地区超深基坑设计优化分析

王 淞¹, 刘永超^{1,2}, 张建新¹, 宋昭煌³

(1. 天津城建大学, 天津 300384; 2. 天津建城基业集团有限公司, 天津 300301;

3. 天津市建筑设计院, 天津 300074)

摘要: 天津一中心医院新址基坑工程位于天津西青软土区, 具有超大、超深的特点。开挖后由于工期因素, 需要对原支护方案进行优化调整, 采用启明星软件和 Plaxis 2D 有限元模拟对优化前后的典型剖面进行对比, 并将开挖实测数据与模拟值进行综合对比分析。结果表明: 在支护桩已经完成的条件下, 优化后方案技术可行, 安全可靠, 支护桩的弯矩和截面变化处于合理范围内。同时, 在北侧和西南角设立两座出土栈桥, 有利于提高开挖效率, 缩短工期, 降低成本, 部分区域支护桩最大侧向水平位移地表沉降值比原方案有所增加, 变形依旧控制在合理范围内, 可对类似的超大深基坑工程方案优化提供借鉴。

关键词: 方案优化; 支护桩侧移; 地表沉降; 数值模拟

中图分类号: TU753 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-719X(2024)01-0001-08

Optimization and Analysis of Ultra-Deep Foundation Pit Design in Soft Soil Area

WANG Song¹, LIU Yongchao^{1,2}, ZHANG Jianxin¹, SONG Zhaohuang³

(1. Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Jiancheng Development Group Co., LTD, Tianjin 300301, China; 3. Tianjin Architectural Design Institute, Tianjin 300074, China)

Abstract: The foundation pit of the new site of Tianjin NO.1 Central Hospital is located in Xiqing soft soil area of Tianjin and the pit is extremely large and deep. Due to the construction period after excavation, the original support scheme needs to be optimized and adjusted. QiMingXing software and Plaxis 2D finite element simulation are used to compare the typical sections before and after optimization, and the measured excavation data and simulated values are comprehensively analyzed. The results show that: under the condition of supporting pile being completed, the optimized scheme is technically feasible, safe and reliable, and the bending moment and section change of the supporting pile are within a reasonable range. Two unearthed piers are added in the north and southwest at the same time, increasing the efficiency of excavation. Construction period has been shortened and the cost has been greatly lowered down; parts of supporting pile maximum lateral horizontal displacement of the surface subsidence value have also been increased compared to the original plan. The deformation is still controlled within a reasonable range, and it can be used as reference for optimization of similar extra-large deep foundation pit engineering schemes.

Key words: scheme optimization; lateral displacement of supporting pile; surface settlement; numerical simulation

随着城市化的发展, 在复杂的环境下建立超深、超大的基坑工程现如今已成为一种常态, 因此合理地设计针对此种基坑工程的支护方案尤为关键。超大深基坑工程中, 钻孔灌注桩及地下连续墙等结合内支撑是目前使用较多的支护形式。内支撑具有变形小、刚度大、不受周边场地不足的限制等良好特性, 其形式有水平对撑、斜撑、正交或斜交平面杆系支撑、环形杆系或板系支撑等^[1-2]。

目前已有学者对软土基坑变形特性及其优化进行分析研究。李琳等^[3]通过总结杭州和上海软土地区深基坑开挖实测数据并进行研究, 分析了最大开挖深度与支护最大水平位移及其所在位置之间的联系; 徐中华等^[4]收集了上海地区 315 个基坑工程的详细资料, 对这些实测数据进行分析并研究了支护结构与地下主体结构相结合深基坑的变形性状; Tan 等^[5]分析了上海某顺作法地铁车站深基坑的变形性状, 发现长边

收稿日期: 2022-03-29; 修订日期: 2022-05-06

作者简介: 王 淞(1997—), 男, 辽宁大连人, 天津城建大学硕士生。

通讯作者: 刘永超(1970—), 男, 教授级高工, 博士, 从事岩土工程设计与施工技术研究与管理。E-mail: chao96521@vip.sina.com

墙后地表沉降的影响范围比一般基坑的要大;梁发云等^[6]对上海浦东某基坑工程所采用的双基坑大直径双环梁支护体系进行了现场监测,发现大尺寸双环形支撑体系基坑的侧墙沉降和位移、地表沉降影响范围及地表最终沉降量处于同地质区域矩形基坑的正常范围内;周传波等^[7]以武汉地铁站二号线一期深基坑工程为研究背景,针对其问题分析深基坑支护结构设计和优化设计的基本原理,建立支护结构计算分析求解模型,应用有限元法、非线性规划方法、遗传算法、以及 MATLAB 语言编程等研究手段,对地铁深基坑的支护结构参数进行优化,建立科学、合理的优化模型和优化软件,并据其选择相关支护结构参数,为地铁深基坑支护结构设计提供合理的依据;程池浩等^[8]采用有限元分析软件 Plaxis 进行数值模拟,分析了地下连续墙的插入比、厚度、支撑道数和土体加固深度对基坑稳定性、地表沉降、支撑轴力、墙体位移及墙体轴力的影响;丁习富等^[9]基于理正软件验算基坑支护结构,并将 Plaxis 与 Midas 有限元软件结合,考虑到存在渗流场、位移场的情况,按实际深基坑开挖工况建立对应的三维数值模型,对开挖工法进行优化,从而达到控制深基坑及临近车站受力变形最小的目的,并对基坑开挖对该站地铁的影响进行评估分析;陶勇等^[10]以南京某车站西区标准段基坑工程为背景,将开挖阶段现场实测位移与数值模拟进行对比,验证数值模拟方法的正确性,并通过数值模拟分析首道支撑类别、支撑刚度,以及首末道支撑位置、支撑预加轴力对基坑变形及受力的影响,并对钢支撑体系进一步优化;罗忠行等^[11]在考虑桩土非线性共同作用弹性反力法的基础上进行理论计算,研究深基坑开挖中 h 型桩支护结构的受力特性和变形规律,将理论成果应用于工程实例,与实测结果进行对比分析,并建立二维有限元模型,优化 h 型双排桩的设计参数;贺振昭等^[12]采用有限元软件建立了三维有限元模型,模拟分析了不同内支撑数量对该深基坑支护结构的影响,并兼顾了安全性与经济性优化了支撑方案;蔡子勇等^[13]以实际工程为例,基于 MATLAB 语言编程,采用遗传算法对支撑位置、地连墙厚度及墙体嵌固深度进行优化设计,通过数值模拟对优化前后进行对比分析,并结合现场监测进行可行性评价。

文章以天津一中心医院新址超深基坑为背景,介绍了支护结构调整后的优点,且通过模拟和实测数据相结合验证了此变更的合理性。在此基础上进一步研究基坑施工过程中支护桩侧移、立柱竖向位移等实测

数据的规律,为同类基坑的实施提供参考。

1 工程概况

1.1 基坑规模

该基坑位于天津市西青区侯台风景区东南角,西青区保泽西道、春明路、保山西道、文正路围成地块内。该项目为较大地下空间,地下面积近 20 万 m^2 ,周长约 1 100 m, 基坑整体开挖深度 18.5 m。东北角为直线加速器,该处基坑开挖深度 20.1 m,其电梯深坑 22.1 m, 基坑占地面积约 5.9 万 m^2 。

1.2 周边环境概况

基坑北侧地下室外墙距用地红线现状围墙约 15.4~30 m,红线外 10 m 为规划道路保泽西道;基坑西侧地下室外墙距用地红线现状围墙约 15.9~30.7 m,红线外 10 m 为规划道路文正路;基坑东侧地下室外墙距用地红线现状围墙约 12~31.1 m,红线外 30 m 为既有道路春明路,红线与既有道路之间为一简易的土路。基坑南侧地下室外墙距用地红线现状围墙约 10.6~13.9 m, 红线外 10 m 为既有道路保山西道。南侧管线分布在保山西道下,主要为雨水管等,距离坑边相对较远。

1.3 工程地质与水文条件

拟建场地地处华北平原,以粉土、粉质黏土为主,属冲积、海积低平原地貌单元,土层分布较稳定,土质较均匀。本场地地下埋深 85.00 m 范围内主要潜水含水层为 4-2 粉土层、6-3 粉土层和 6-4 粉质黏土层,主要承压含水层为 8-2 粉土层和 11-2 及 11-3-1 粉砂层,即第一微承压含水层和第二微承压含水层。潜水静止水位埋深 0.30~3.20 m,相当于标高 0.56~0.13 m;第一微承压含水层静止水位区域大沽标高 0.00 m 左右,厚度 1.80~6.30 m;第二微承压含水层静止水位区域大沽标高-0.50 m 左右,其中 11-2 粉砂层厚度约 4.50~8.00 m,11-3-1 粉砂层厚度约 2.00~7.90 m,土层物理力学指标详见表 1。

1.4 原方案及其问题

原方案采用卸土+灌注桩+TRD 止水+三道混凝土支撑的形式,支撑形式采用桁架环梁+桁架式对撑+角撑、辐射撑的形式。变更前支护结构剖面示意如图 1 所示。采用三道支撑方案施工周期较长,成本较高,出土效率低下,延长了施工工期,对施工各方面皆产生不利影响,基坑初始设计时受周边围墙所限,不具备放坡条件,因此采用了该方案并进行了支护桩和止水帷幕的施工。

表 1 土体物理力学参数

土层名称	孔隙率 e	含水率 $\omega/\%$	天然容重 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	饱和容重 $\gamma_{\text{sat}}/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\Phi/(\text{°})$	压缩模量 $E_{\text{SI-2}}/\text{Mpa}$	厚度/m
① ₃ 素填土	0.998	34.4	18.4	34.4	8.73	3.43	3.1	2.60
④ ₂ 粉土	0.728	25.5	19.6	25.5	7.90	30.05	13.2	0.90
⑥ ₃ 粉土	0.814	28.8	19.1	28.8	8.65	28.35	10.2	3.50
⑥ ₄ 粉质黏土	0.794	28.1	19.3	28.1	12.37	21.02	6.1	4.20
⑦ 粉质黏土	0.683	24.2	20.0	24.2	10.29	17.31	5.3	1.80
⑧ ₁ 粉质黏土	0.645	22.8	20.2	22.8	14.42	19.23	6.3	4.50
⑧ ₂ 粉土	0.648	22.9	20.1	22.9	6.83	30.00	13.8	4.00
⑨ ₁ 粉质黏土	0.696	24.1	19.9	24.1	16.84	17.43	6.6	8.00
⑩ ₂ 粉砂	0.601	20.6	20.3	23.5	7.29	31.47	15.7	6.00
⑪ ₃ 粉质黏土	0.675	23.5	20.1	20.6	20.19	16.81	7.7	14.50

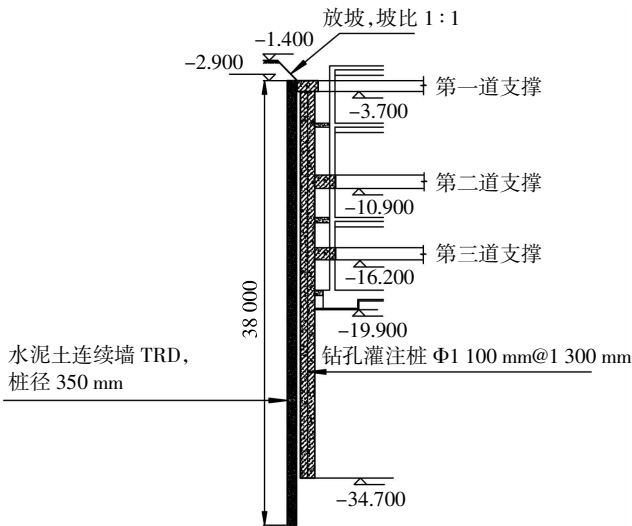


图 1 支护结构优化前剖面示意

2 基坑设计方案优化分析

2.1 方案优化数值计算

该项目因区域功能性要求,原方案工期较为紧张,需将原支护结构进行优化,进行基坑优化时钻孔灌注支护桩已施工完毕,竖向构件已固化,仅能在适

当增加卸土范围、部分围墙有限外扩情况下对水平受力构件进行优化.原方案的双环支撑能提供最大的施工开敞空间,且能留出主楼位置,使得主楼在不拆撑的情况下,继续施工,因此原方案支撑形式得以保留,支撑各处杆件对横截面积及材料进行稍许调整.变更后基坑内减少了一道支撑,放坡区域有限,针对放坡部分采用了土钉墙或抗滑桩+双轴水泥土搅拌桩的形式,采用了两种软件进行了对比分析.

2.1.1 启明星基坑设计软件计算

采用常用的同济启明星系列软件对围护结构主要截面进行计算,优化后较优化前相比取消了第一道撑,对标高-5 m 以上原植入桩做了截桩处理,由原来 1:1 放坡、坡高 1.5 m、台宽 1.3 m 改为 1:1.25 放坡、坡高 5 m,台宽 5.5 m,并在坡中植入土钉从而使支护结构整体由原来单一的放坡+悬臂支撑形式变成新型的土钉加排桩复合围护结构,计算结果如表 2 所示.从表 2 可以看出,变更后支护结构变形、最大弯矩及各向安全指标较变更前变化较小,满足《建筑基坑工程监测技术标准》^[4]要求.说明方案的优化能够节约时间与成本,合理利用了原支护桩的刚度,从而保证了基坑作业的安全性.

表 2 围护结构主要截面变更后计算结果

剖面	位置	优化前			优化后		
		开挖至基底位移/mm	最大弯矩/($\text{kN}^2\cdot\text{m}$)	整体稳定安全系数	开挖至基底位移/mm	最大弯矩/($\text{kN}^2\cdot\text{m}$)	整体稳定安全系数
1-1	南侧	29.4	-1 314~1 453.2	1.86	25.1	-969.7~1 389.9	1.84
2-2	西侧	26.8	-1 107.3~1 658.1	1.83	26.2	-1 022.5~1 301.7	1.81
3-3	北侧	29.7	-1 730.8~2 814	1.6	28.5	-1 601.9~1 536.7	1.8
4-4	北侧	32.5	-2 859.1~4 288.7	1.48	35.5	-3 187.4~4 969	1.5

2.1.2 Plaxis 2D 有限元分析

为综合评价优化方案的合理性和安全性,笔者采用 Plaxis 2D 有限元软件对原方案典型支护结构进行

建模分析.为减小基坑空间效应对支护结构位移计算造成的影响,且选取点支护的结构形式及变形形态能够尽量代表基坑大部分边缘处,故选取基坑西侧中点

附近(CX14)处作典型剖面. 土体单元采用小应变土体本构(HSS)模型, 基坑边离模型边距不小于2倍坑深, 模型高度不小于基坑3倍坑深, 故模型尺寸取150 m × 60 m. 排桩采用板单元模拟, 弹性模量为 3×10^4 MPa. 根据等刚度原理求得板宽为0.872 m, 支撑采用锚单元模拟, 第一道撑、第二道撑、第三道撑轴向刚度EA分别为 5.28×10^7 、 7.15×10^7 、 6.24×10^7 Mpa. 工程桩采用Embedded桩单元模拟, 弹性模量为 3×10^4 MPa, 直径取0.8 m.

结构单元变形形态皆设为线弹性. 考虑到混凝土结构与土体之间的相互作用, 各结构单元重度皆取 7 kN/m^3 . 模型建立后自动划分四面体土体单元网格(见图2), 共生成网格3378个单元, 27480个节点. 按照施工方案中工况顺序建立分析步, 具体如表3所示.

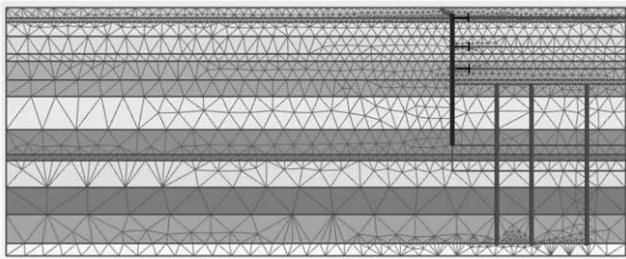


图2 模型网格划分

表3 优化前分析步及工况

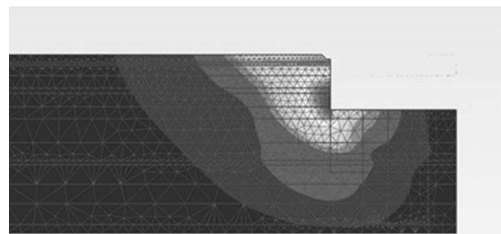
步骤	施工工况
Step1	创建初始应力场
Step2	位移清零, 激活支护桩和工程桩, 降水至基底
Step3	放坡开挖至-2.3 m, 施工第一道支撑
Step4	开挖至-9.5 m, 施工第二道支撑
Step5	开挖至-14.8 m, 施工第三道支撑
Step6	开挖至基底

优化后模型针对该剖面处做出了支撑参数的调整: 土钉采用Embedded桩单元模拟, 弹性模量为 3×10^4 MPa, 直径取0.1 m; 原设计方案中第二道支撑与第三道支撑之间距离减小0.6 m, 从而在减少一道支撑的基础上尽量提高支护结构整体的刚度. 优化后对该模型重新划分网格并建立分析步, 步骤如表4所示.

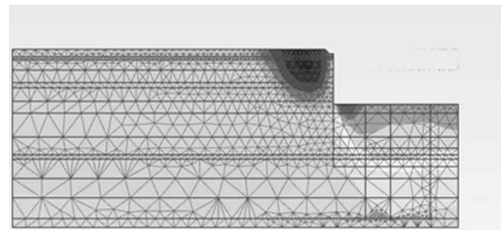
将优化前后模型分别设为Model-1和Model-2, 进行计算并导出结果, 图3为两者开挖工作完成时土体竖向位移及土体水平位移云图. 可以看出, 此时Model-1和Model-2支护结构侧向位移深度增加皆呈现出先增大后减小的趋势, 地表沉降值也随着离基坑边缘距离增大皆呈现出先增大后减小的趋势, 两者形态皆符合基坑开挖的变形规律. Model-1支护桩深层水平位移最大值为32.69 mm(约0.18% H), 最大位移

表4 优化后分析步及工况

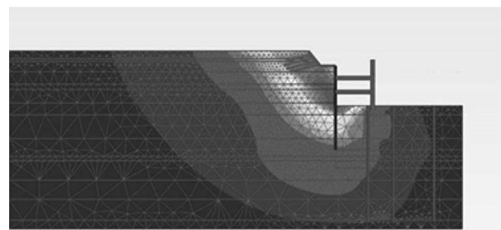
步骤	施工工况
Step1	创建初始应力场
Step2	位移清零, 激活支护桩和工程桩, 降水至基底
Step3	放坡开挖至-1.65 m, 在-1.1 m处施工第一道土钉
Step4	放坡开挖至-2.75 m, 在-2.2 m处施工第二道土钉
Step5	放坡开挖至-3.85 m, 在-3.3 m处施工第三道土钉
Step6	放坡开挖至-5 m, 在-4.4 m处施工第四道土钉
Step7	冻结桩顶设计标高以上的板桩单元
Step8	开挖至-9.5 m, 施工第一道支撑
Step9	开挖至-14.2 m, 施工第二道支撑
Step10	开挖至基底



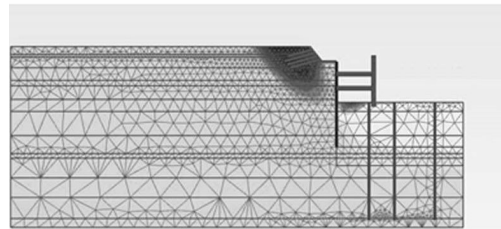
(a) Model-1 土体水平位移云图



(b) Model-1 土体竖向位移云图



(c) Model-2 土体水平位移云图



(d) Model-2 土体竖向位移云图

图3 Model-1及Model-2土体水平及竖向位移云图

发生处标高为-15.5 m, 约0.84倍坑深处, 边坡坡顶水平位移为4 mm, 地表沉降最大值为24.48 mm(约0.13% H), 距基坑边12 m; Model-2支护桩深层水平位移最

大值为 37.54 mm(约 0.20% H),比优化前增加了 14.84%,最大位移发生处标高为 -16.3 m,约 0.88 倍坑深处,由于增加了放坡深度,边坡坡顶水平位移较优化前大幅增加,为 24 mm(0.48% H),地表沉降最大值为 30.05 mm(约 0.16% H),比优化前增加了 22.75%。优化后模型中支护桩深层水平位移控制在徐中华^[4]根据上海地区基坑变形数据绘制出的测点平均最大侧移曲线 $\delta_{\text{im}} = 0.25\%H$ (H 为基坑深度)范围内;边坡坡顶水平位移处于杨振杰^[15]提到的(0.1%~0.5%) H 范围内,可以看到土钉墙对坡顶横向位移具有一定程度的控制作用;地表沉降最大值略大于 Clough^[16]总结的硬黏土、残积土及砂土中最大地表沉降(0.15% H),但未超过 Wong^[17]总结的新加坡地区最大地表沉降(0.20% H),最大水平位移深度与基坑深度比值接近 1,符合 Ou^[18]根据实测数据总结的规律。

为进一步研究优化前后支护结构的变形规律,提取 Model-1 和 Model-2 开挖每个阶段的深度-位移数据并绘制出曲线进行综合比对,将 Model-1 中的桩顶标高作为 0 参考,如图 4 所示。由图 4 可知,优化前后位移随深度的变化大致吻合,普遍趋向于“内凸式”,即中间大两端小,桩侧向最大位移位置随着开挖过程的进行逐渐向下且皆位于每个工况所对应的开挖面附近。优化前由于冠梁处有第一道撑约束,桩顶水平位移较小,随着开挖过程的进行,位移逐渐增大,且增加速率放缓直至趋于 0。优化后由于取消了第一道撑,桩顶附近约束消失,因此顶部位移较优化前普遍偏大,尽管随着开挖的进行及支撑的建立,桩顶水平位移增加速率放缓,但增加速率依旧大于优化前,又因最大侧移值变化速率较小,故反弯特性较优化前有所减弱。

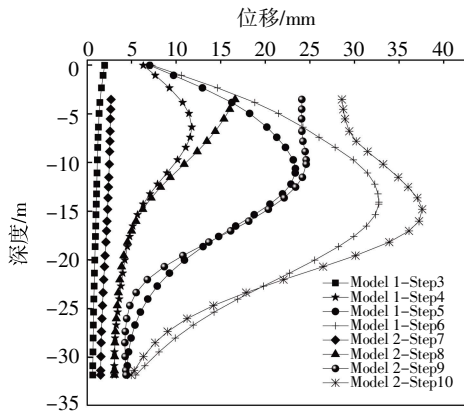


图 4 Model-1 和 Model-2 位移-深度曲线

2.2 支撑方案优化及特点

优化后的方案针对基坑不同边缘处共建立了 6

个剖面,由于基坑周围空间较为紧张,无足够放坡区域,因此针对南侧区域一部分保留原有的支护形式,南侧其余部分及东侧其中一部分采用放坡+抗滑桩+钻孔灌注桩+两道支撑的支护形式。其余区域采用放坡+土钉墙+钻孔灌注桩+两道支撑的支护形式。变更后典型支护结构剖面如图 5 所示。

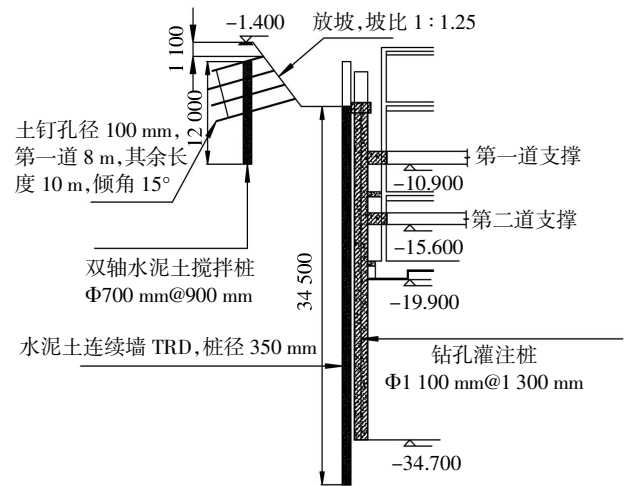


图 5 支护结构优化后剖面

优化后的设计方案不仅在原先的基础上减少一道支撑,节约了施工工期和成本,而且优化了如下两点。

(1) 拆除第一道支撑并增加卸土放坡区域后,基坑上部土体受到的约束减少,导致其稳定性减小,因此对部分放坡区域增加土钉墙或抗滑桩的支护形式并采用双轴水泥土搅拌桩对边坡进行止水,形成类似于多级支护的复合支护结构,弥补了土体抗拉、抗剪强度,从而增强基坑整体稳定性。

(2) 拆除第一层支撑后基坑上部空间增加,在第一、二层支撑的北侧和西南侧增加了两座出土栈桥,出土效率增加,土方开挖和施工进度得以加快。

3 基坑监测及结果分析

根据优化后设计图纸,按规范进行了变形、轴力和地下水位监测,点位布置如图 6 所示。受篇幅所限对主要反应变形特性的指标分析如下。

(1) 支护桩桩身测斜管的布置。为测量桩身深层水平位移,需在桩中心处设置与桩长大致相等的测斜管,每隔 50 m 左右布置一个,共计 16 个(CX1~CX16)。

(2) 支撑立柱竖向位移监测点的布置。在立柱顶板位置布置立柱竖向位移监测点,共计 38 个(LZ1~LZ38)。

(3) 坡顶竖向位移监测点的布置。在基坑放坡顶端设置坡顶竖向位移监测点,共计 55 个(P1~P55)。

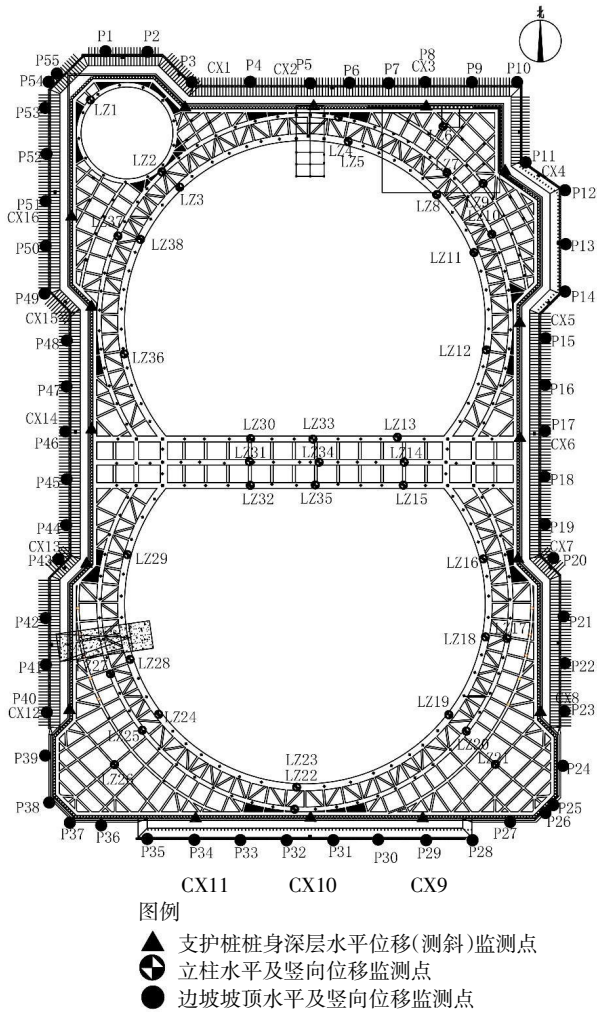


图6 基坑监测水平布置

3.1 支护桩深层水平位移

选取 CX14 开挖至基底时的实测值与前文模拟值进行对比, 如图 7 所示. 图中模拟与实测变形规律基本符合, 实测最大水平位移值 31.39 mm, 与模拟值差别较小, 进一步证明有限元计算软件应用于实际工程中的准确性及可行性.

图 8 为不同支护形式所在剖面处实测值, 在开挖过程中支护桩实测水平位移最大值为 31.32~34.48 mm (0.169%~0.186% H), 均值为 32.72 mm (0.177% H , H 为开挖深度), 小于预警值 35 mm. 最大值 34.48 mm 出现在 CX7 位置. 采用两道撑加快了施工速度, 减小了软土地区基坑变形的时间效应, 由此较好地控制了基坑支护结构变形.

实测中第一步基坑土方开挖支护桩发生了较大的变形. 以 CX2 为例, 从开始基坑开挖到第一步开挖到底, 侧移平均值从 2.63 mm 发展到了 20.14 mm, 变化了 18.14 mm, 占到了总变形的 47.52%, 其与土方开挖量较大和施工工期较长有关.

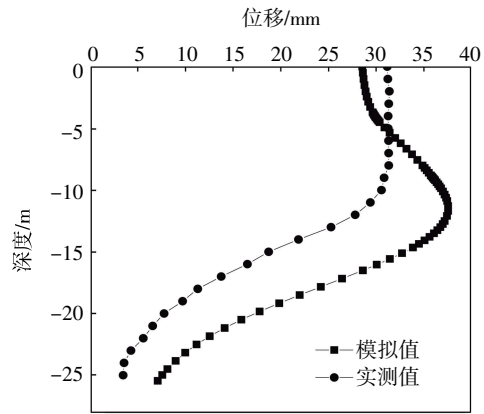
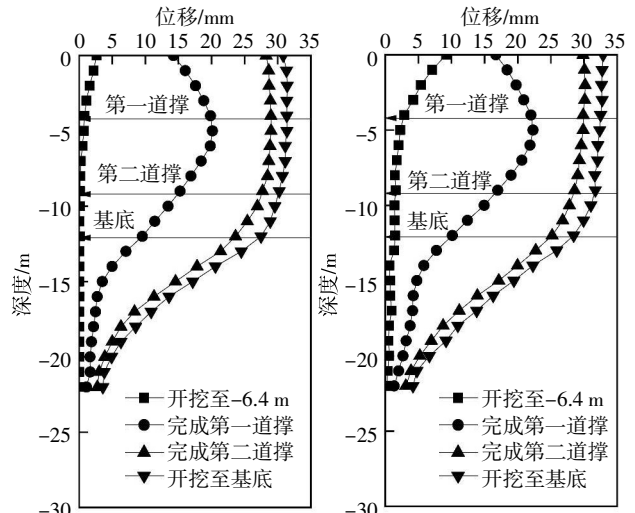
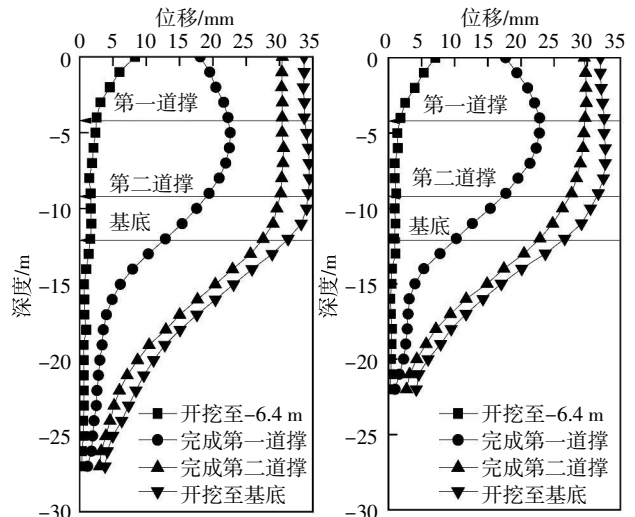


图7 开挖至基底处支护桩深层水平位移模拟值与实测值



(a) CX2

(b) CX4



(c) CX7

(d) CX10

图8 支护桩深层水平位移

3.2 立柱竖向位移

图 9 为不同工况下各监测点的立柱沉降曲线. 基坑开挖到基底时立柱最大竖向位移为 11.7 mm, 小于

预警值 30 mm,位于 CX7、CX8 测点;最小竖向位移为 9.9 mm,位于 CX1 测点.从图中可以总结出如下规律.

(1)三个工况中立柱竖向位移皆为正值,说明立柱在基坑开挖卸载的过程中伴随坑底土体回弹产生了立柱回弹的现象.三个工况中立柱回弹量的平均值依次为 4.6, 8.1, 10.9 mm.由此可以看出,基坑开挖初始阶段土体回弹量较小,随着开挖过程的进行,土体回弹量增加,立柱回弹量总体随之增加.

(2)同一工况下,大圆环及对撑处各监测点立柱回弹值大致相等且皆小于预警值,说明支撑体系刚度足够大,充分地展现了该支撑体系的优势.

3.3 边坡坡顶竖向位移

图 10 为其中四个监测点坡顶竖向位移随时间变化的曲线,坡顶竖向位移为负,表现出沉降的形态,且随着土方开挖及支撑施工的进行,位移值不断增加,待开挖至基底施工底板后,变形趋于稳定.坡顶沉降最大值为 16.8~18.2 mm,与有限元模拟中边坡坡顶沉降值 21.6 mm 相近,且远远小于边坡沉降预警值 60 mm,说明针对基坑周围大部分增加卸土放坡区域所进行的坡面植入土钉+挂网喷射混凝土或坡脚插入抗滑桩的措施能够较好地加固边坡土体,从而保证基坑周围环境的稳定性.

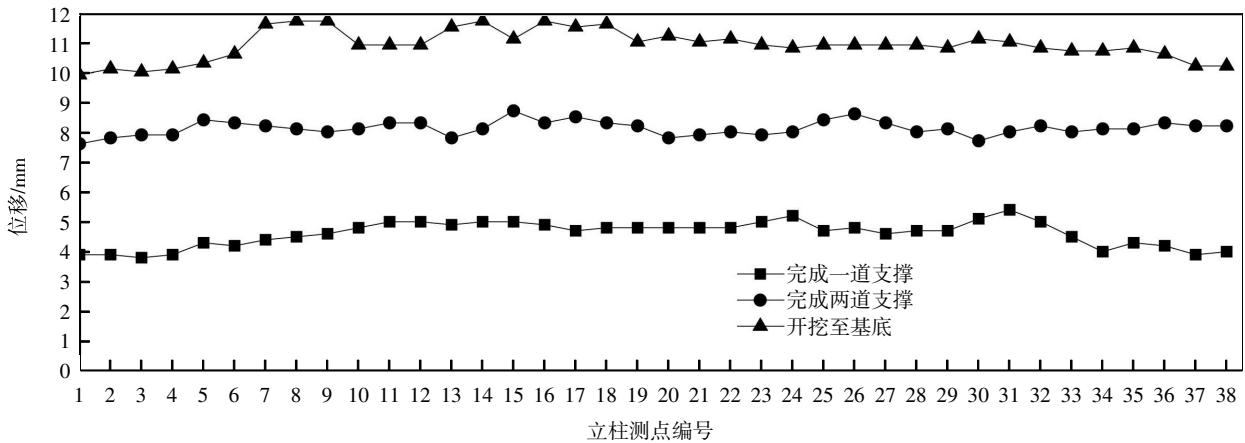


图 9 支撑立柱竖向位移

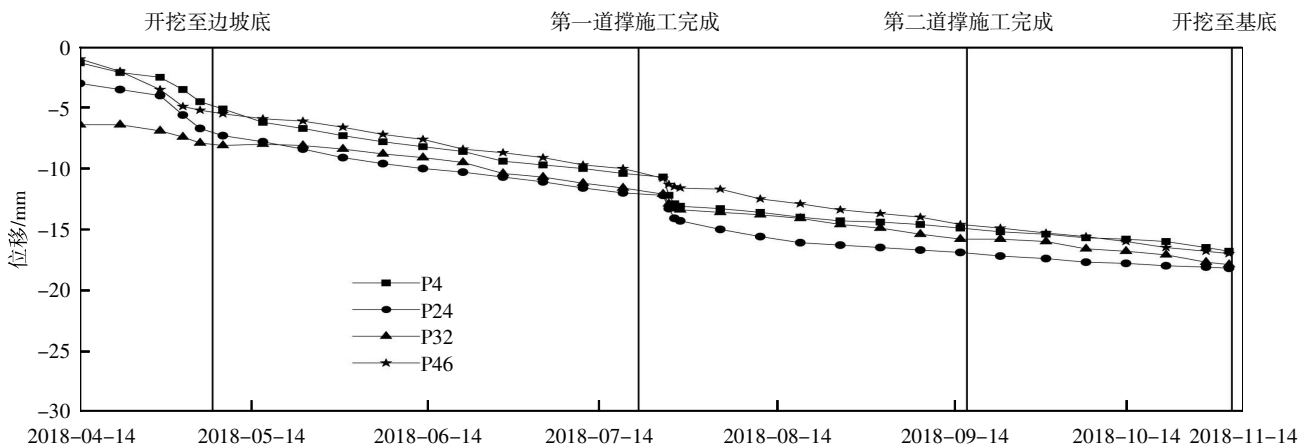


图 10 边坡坡顶竖向位移

4 结 语

本文对天津一中心医院新址基坑支护进行新旧方案的优化比选及实测分析,得出如下结论.

(1)优化后的方案将原方案的三道支撑减少为两

道支撑,对部分区域进行卸土放坡并对该区域采用了土钉墙或抗滑桩+双轴水泥土搅拌桩的形式,使基坑上部的土体稳定性得到保证.通过数值计算发现,优化前后支护结构变形、坡顶水平位移与地表沉降均在合理范围内,未对基坑稳定性造成影响,且综合了节约性的角度,进一步证明了优化的正确性.支护结构

优化后在基坑周围设立的出土栈桥有利于缩短施工工期,提高土方开挖的效率。

(2)抽取 CX14 监测数据与模拟曲线进行对比,验证了有限元分析的可靠性。开挖过程中围护地连墙实测深层水平位移最大值为 31.32~34.48 mm(0.169%~0.186% H),采用两道撑加快了施工速度,减小了软土地区基坑的时间效应,由此较好地控制了基坑支护结构变形。第三步土方开挖时支护桩发生了较大的变形,可以通过加快施工速度来减小。

(3)施工时基坑底土体回弹,且水平支撑承受竖向荷载较小,因此立柱的竖向位移形式也表现为回弹。开挖过程中边坡坡顶竖向位移逐渐增大,变化幅度较为稳定,从而看出边坡土体加固措施取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 王春艳,张方涛,马 郢,等. 基坑圆环支撑体系水平刚度系数计算方法研究[J]. 岩土力学,2017, 38(3): 840-846.
- [3] 李 琳,杨 敏,熊巨华. 软土地区深基坑变形特性分析[J]. 土木工程学报,2007(4): 66-72.
- [4] 徐中华. 上海地区支护结构与主体地下结构相结合的深基坑变形性状研究[D]. 上海:上海交通大学,2007.
- [5] TAN Y,WEI B. Observed behaviors of a long and deep excavation constructed by cut-and-cover technique in Shanghai soft clay[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,2011,138(1): 69-88.
- [6] 梁发云,赵鸣一,陈尚荣. 软土地区深大基坑双环形支撑体系受力变形特性分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2018, 45(S1): 173-177.
- [7] 周传波,蒋 楠,刘文进. 武汉地铁站深基坑支护结构参数优化系统研究[J]. 地下空间与工程学报,2012,8(6): 1267-1275.
- [8] 程池浩,廖少明,潘学政,等. 盾构隧道工作井深基坑围护结构设计优化分析[J]. 地下空间与工程学报,2016,12(5): 1300-1307.
- [9] 丁习富,师 海,孟小伟. 深基坑开挖与紧邻在建地铁站影响优化分析[J]. 地下空间与工程学报,2014,10(S2): 1817-1822.
- [10] 陶 勇,杨 平,贾红征,等. 狭长基坑开挖变形规律及支撑优化研究[J]. 林业工程学报,2020,5(5): 145-151.
- [11] 罗忠行,牛建东,李泽玮,等. 深基坑 h 型双排桩的变形计算及优化分析[J]. 铁道科学与工程学报,2020, 17(7): 1720-1727.
- [12] 贺振昭,杨 新,叶 超,等. 地铁深基坑内支撑结构优化分析[J]. 安全与环境工程,2021,28(1): 68-78.
- [13] 蔡子勇,汤建铭,唐建桥,等. 深厚软土基坑地下连续墙支护优化设计及其评价[J]. 铁道科学与工程学报,2021,18(9): 2299-2306.
- [14] 建筑基坑工程监测技术标准:GB 50497—2019[S].
- [15] 杨振杰. 边坡位移监测与控制[J]. 中国矿山工程,2006(4): 43-46.
- [16] CLOUGH G W,O'ROURKE T D. Construction induced movements of in situ walls[J]. Geotechnical Special Publication,1990(25): 439-470.
- [17] WONG I H,POH T Y,CHUAH H L. Performance of excavations for depressed expressway in Singapore[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,1997, 123(7): 617-625.
- [18] OU C Y,HSIEH P G,CHIOU D C. Characteristics of ground surface settlement during excavation[J]. Canadian Geotechnical Journal,1993,30(5): 758-767.