

DOI: 10.7672/sjgs2026070038

# 邻近既有建筑深基坑开挖变形特性及 支护结构优化分析\*

张奎

(中铁十八局集团第三工程有限公司,河北 涿州 072750)

[摘要] 通过对邻近既有建筑深基坑工程开展现场实测,并建立相应的基坑开挖三维有限元模型,分析了基坑和既有建筑变形随基坑开挖的变化规律。研究了不同桩径、桩间距和内支撑水平距离对基坑和既有建筑变形的影响,对基坑支护结构进行了优化。结果表明,桩体水平位移、既有建筑水平位移和沉降随基坑开挖深度增加而增大,桩体水平位移沿深度方向先增大后减小,最大值出现在深度16m处。既有建筑水平位移随建筑高度增大而增大,沉降随距基坑边缘距离增加而减小。基坑开挖过程中既有建筑结构较为安全。桩体水平位移和既有建筑沉降随桩径增大而减小,随桩间距和内支撑水平间距增大而增大。建议基坑围护桩桩径1200mm、桩间距1000mm、内支撑水平间距3m,此时最大桩体水平位移为30.7mm,既有建筑沉降为18.4mm,比原支护方案分别减小约17%和12%。

[关键词] 深基坑;既有建筑;变形;沉降;支护;优化

[中图分类号] TU473

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)07-0038-08

## Deformation Characteristics and Support Structure Optimization of Deep Foundation Excavation Adjacent to Existing Building

ZHANG Kui

(China Railway 18th Bureau Group Third Engineering Co., Ltd., Zhuozhou, Hebei 072750, China)

**Abstract:** Based on field monitoring of a deep foundation excavation constructed adjacent to existing building, together with the establishment of a corresponding three-dimensional finite element model of the excavation, the deformation evolution of both the foundation excavation and existing buildings during excavation was investigated. The influences of pile diameter, pile spacing, and horizontal spacing of internal supports on the deformation behavior of the foundation excavation and adjacent building were analyzed, and the support system was optimized accordingly. The results indicate that the horizontal displacement of retaining piles, as well as the horizontal displacement and settlement of existing building, increase with excavation depth. The horizontal displacement of piles first increases and then decreases with depth, with the maximum value occurring at a depth of 16m. Larger horizontal displacements of piles are observed in zones close to the existing building. Horizontal displacement of existing building increases with building height, while the settlement decreases with increasing distance from the excavation edge. The existing building remained in a relatively safe condition throughout the excavation process. Both pile horizontal displacement and building settlement decrease with increasing pile diameter, but increase with larger pile spacing and greater horizontal spacing of internal supports. It is recommended that the retaining piles adopt a diameter of 1200mm, a pile spacing of 1000mm, and an internal support horizontal spacing of 3m. Under these conditions, the maximum pile horizontal displacement is 30.7mm and the building settlement is 18.4mm, representing reductions of approximately 17% and 12%, respectively, compared with the original support scheme.

\* 中铁十八局集团有限公司 2024 年度科研创新项目(2024-031)

[作者简介] 张奎,助理工程师,E-mail:3950768090qq.com

[收稿日期] 2026-01-25

**Keywords:** deep foundation excavation; existing building; deformation; settlement; supports; optimization

## 0 引言

基坑开挖卸荷会使得周边土体应力重分布,并产生不同程度的变形,对周边环境产生扰动,引发道路开裂、桩基破坏、既有建筑沉降和基坑失稳等不良后果<sup>[1-4]</sup>。因此,保证基坑开挖进程中支护结构稳定性及既有建筑安全至关重要。

已有学者对基坑开挖支护结构变形特性,以及基坑开挖对周边建(构)筑物的影响开展了研究。针对基坑开挖变形特性,丁小文等<sup>[5]</sup>基于室内模型试验的结果表明,非对称荷载对基坑土体变形有较大影响,附加荷载较大一侧支护桩的土压力更大,使得基坑产生更大的变形。朱殷航等<sup>[6]</sup>分析表明,软土深基坑地下连续墙变形呈现明显的空间效应,即长边处地下连续墙变形和周边地表沉降量比短边处更大。王卫东<sup>[7]</sup>提出了软土深基坑变形控制指标和周边环境影响控制指标,为软土深基坑工程安全控制提供了依据。武玉山等<sup>[8]</sup>基于现场实测和数值模拟获得了佛山软土深基坑的变形发展规律。张利平等<sup>[9]</sup>通过现场监测和数值模拟分析了双基坑开挖对既有车站变形的影响,并获得了最优内支撑间距。左磊<sup>[10]</sup>对城市更新中基坑开挖对邻近建筑的影响开展了评估,其结果表明既有建筑变形以水平位移为主。Feng等<sup>[11]</sup>分析了邻近高层建筑对基坑开挖变形的影响,并探究了地下连续墙变形和高层建筑沉降之间的关系。刘建华等<sup>[12]</sup>分析了基坑开挖时周边既有建筑群变形规律,探讨了基坑开挖过程中建筑物沉降、偏转角和建筑与基坑相对位置、建筑数量的关系。郑刚等<sup>[13]</sup>基于变形控制将基坑开挖影响区域分成4块,为基坑变形控制和既有建(构)筑物安全评估提供了参考。上述研究深入分析了深基坑开挖变形特性,并针对基坑开挖时周边地铁车站、邻近建筑和隧道的变形控制问题开展了研究,为基坑变形和稳定性分析提供了重要参考。基坑关键支护参数对基坑变形和既有建筑物变形具有重要影响,然而,现有研究尚未充分分析基坑关键支护参数对基坑和既有建筑物变形控制效果。

基于此,依托西安市拟建文教园项目邻近既有建筑深基坑工程,对基坑和既有建筑物变形开展现场监测,分析基坑开挖时基坑和既有建筑物的变形规律。建立基坑开挖三维有限元模型,并对有限元模型进行验证,研究不同桩径、桩间距和内支撑水平间距对基坑和既有建筑变形的影响,

获得优化后的基坑支护参数,对比优化前后基坑和既有建筑变形量,并对基坑支护参数优化效果进行评价,以期对邻近既有建筑深基坑支护设计提供参考。

## 1 工程概况

### 1.1 基坑工程概况

拟建文教园项目位于西安市能源金融贸易区文教园片区,场地东侧毗邻文津路。基坑开挖段总长约81.5m,标准宽度为42m,最大开挖深度达24m,基坑支护结构安全等级为一级。基坑东侧紧邻1栋高度约16.2m的6层框架结构既有建筑,该建筑平面尺寸约为21m×8m,基础形式为钻孔灌注桩,桩长12m、桩径0.8m。既有建筑与基坑开挖边界的最小净距为10.3m。基坑平面布置及其与周边建筑物的空间关系如图1所示。

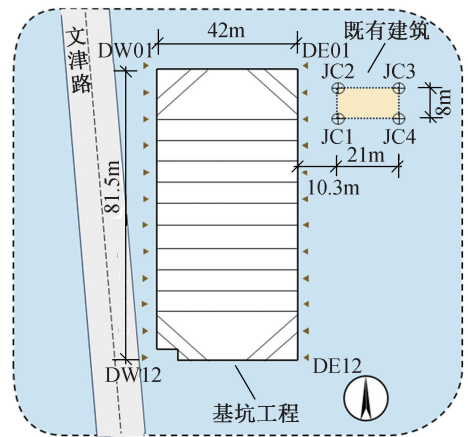


图1 基坑工程平面

Fig. 1 Plane of the foundation excavation engineering

在基坑开挖过程中,保证基坑变形处于允许范围内,对于保障周边建筑物安全至关重要。基于现场工程实际情况,基坑采用钻孔灌注桩作为围护结构,钻孔灌注桩混凝土强度等级为C35,桩径和桩间距分别为1000mm和800mm,桩长为31m。冠梁采用C30混凝土浇筑,设计截面尺寸为1.0m×0.8m。基坑内支撑采用 $\phi 609 \times 12$ 钢管,水平间距3m,竖向间距自上而下分别为4、7.5、7.5m。基坑支护标准断面如图2所示。

基坑施工过程主要可分为以下6个步骤:①基坑围护结构施工,即平整场地后,进行钻孔灌注桩和冠梁施工,并进行基坑降水;②基坑开挖至埋深2.0m处,在埋深0.5m处进行第1道内支撑施工;③基坑开挖至埋深4.5m处,在埋深4.0m处进行第2道内支撑施工;④基坑开挖至埋深12.0m处,在埋

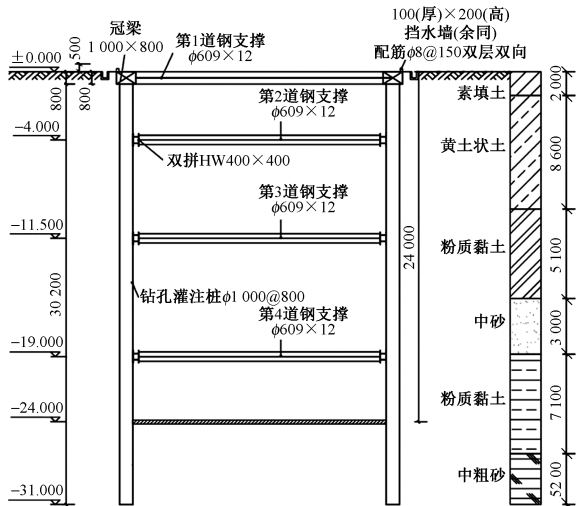


图2 基坑支护标准断面

Fig. 2 Standard cross-section of foundation excavation support

深 11.5m 处进行第 3 道内支撑施工;⑤基坑开挖至埋深 20.0m 处,在埋深 19.0m 处进行第 4 道内支撑施工;⑥基坑开挖至埋深 24.0m 处,并浇筑基坑底板。

为保证开挖过程中基坑稳定性,并防止周边建筑物产生破坏,对钻孔灌注桩桩体水平位移开展现场监测,在基坑西侧和东侧分别布置 12 个桩体水平位移监测点,分别为 DW01~DW12 和 DE01~DE12。并在周边建筑物布置 4 个沉降监测点 JC1~JC4,监测点位平面布置如图 1 所示。

## 1.2 工程地质概况

基坑所在场地较为平坦开阔,周边以市政道路为主。根据地质勘查报告,场地范围内地层自上而下分别为素填土、黄土状土、粉质黏土、中砂、粉质黏土、中粗砂和圆砾,场地湿陷性黄土等级为轻微湿陷性,各土层物理力学性质如表 1 所示。场地地下水埋深约 4.6m,地下水位年均波动 1.0~2.0m。

表 1 土层物理力学性质

Table 1 Physical and mechanical indexes of strata

土层	密度 $\rho/$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	压缩 模量 $E_s/$ MPa	黏聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	泊松比 $\nu$	厚度/ m
素填土	1 760	5.0	10.0	12.0	0.38	2.0
黄土状土	1 810	12.3	32.0	23.0	0.34	8.6
粉质黏土	1 950	12.9	19.5	23.5	0.30	5.1
中砂	1 920	19.8	0	33.0	0.30	3.3
粉质黏土	1 950	16.3	30.0	24.0	0.32	7.1
中粗砂	1 920	21.1	0	34.5	0.28	10.0
圆砾	2 050	37.8	0	35.0	0.25	13.9

## 2 深基坑开挖数值模拟

### 2.1 基坑有限元分析模型

采用 ABAQUS 软件建立基坑开挖及支护有限元分析模型,包括土体模型、基坑支护结构模型和既有建筑模型,如图 3 所示。现有研究表明,基坑开挖对周围环境的水平影响范围约 3~5 倍的基坑开挖长度,竖向影响范围约 2~4 倍基坑开挖深度<sup>[6,9,14]</sup>。为避免边界条件对数值分析结果的影响,并考虑计算效率,模型长度、宽度和高度分别设置为 300,150,100m。在计算过程中,模型边界条件设置为底部固定,四周水平约束,上表面为自由面,并通过生死单元功能来模拟基坑开挖过程。

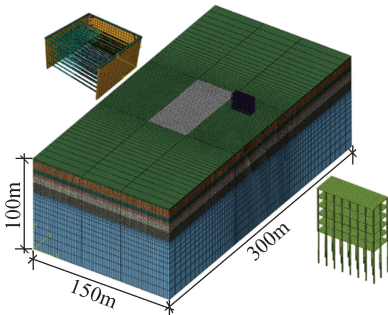


图3 有限元分析模型

Fig. 3 Finite element analysis model

### 2.2 模型参数选取

为了准确反映基坑开挖过程中的变形情况,地基土体采用莫尔-库伦本构模型进行模拟,模型中各层土体的物理力学参数按表 1 进行选取。基坑围护结构及钢支撑、周边建筑物框架结构及桩基选用线弹性模型进行模拟,其物理力学参数指标如表 2 所示。此外,基坑围护结构中的钻孔灌注桩采用等刚度原则,按式(1)换算成地下连续墙单元进行计算分析,换算得到地下连续墙单元厚度为 0.7m<sup>[14-15]</sup>。为了准确反映既有建筑附加荷载对基坑变形的影响,根据既有建筑设计资料,建筑物每层竖向设计荷载为 10~15kN/m<sup>2</sup>,本次计算中建筑物每层竖向荷载采用 12.5kN/m<sup>2</sup>。

$$h = 0.838D \left(1 + \frac{t}{D}\right)^{-\frac{1}{3}} \quad (1)$$

式中: $h$  为换算得到的地下连续墙单元厚度; $D$  和  $t$  分别为钻孔灌注桩的直径和桩间距。

为模拟钻孔灌注桩与周边土体之间的相互作用,在模型中设置桩-土接触类型为面-面接触,选取钻孔灌注桩表面为主面,土体表面为从面,采用硬接触模拟桩-土法向接触行为,采用罚函数模拟桩-土切向接触行为,围护结构和既有建筑的桩-土摩擦

表 2 支护结构及既有建筑材料参数

Table 2 Material parameters of supporting structures and existing building

材料名称	密度/( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	弹性模量/MPa	泊松比
钻孔灌注桩	2 500	$31.5\times 10^3$	0.20
冠梁	2 500	$30\times 10^3$	0.20
钢支撑	7 850	$206\times 10^3$	0.18
底板	2 500	$30\times 10^3$	0.20
框架结构	2 500	$30\times 10^3$	0.20
桩基	2 500	$30\times 10^3$	0.20

系数  $\mu$  参考 Potyondy 的研究结论,取值为  $\mu = \tan(0.65\varphi)$  [16]。

### 2.3 数值模拟过程

根据基坑开挖施工过程,数值模拟过程设置 7 个步骤,分别为初始地应力平衡(步骤 1)、钻孔灌注桩及冠梁施工(步骤 2)、基坑开挖至  $-2.000\text{m}$  与第 1 道钢支撑施工(步骤 3)、基坑开挖至  $-4.500\text{m}$  与第 2 道钢支撑施工(步骤 4)、基坑开挖至  $-12.000\text{m}$  与第 3 道钢支撑施工(步骤 5)、基坑开挖至  $-20.000\text{m}$  与第 4 道钢支撑施工(步骤 6)、基坑开挖至  $-24.000\text{m}$  与底板施工(步骤 7)。需要说明的是,为反映既有建筑对地基土附加应力的影响,采用包含地基土模型和既有建筑模型的有限元分析模型开展初始地应力平衡计算。

## 3 基坑开挖变形特性

### 3.1 桩体水平位移

基坑开挖施工过程中,监测点 DW03 和 DE03 处围护桩桩体水平位移沿深度分布曲线如图 4 所示,图 4 中桩体水平位移以向基坑内为正。由图 4 可知,随着开挖深度的增大,围护桩桩体水平位移不断增大。基坑开挖施工完成后,监测点 DW03 和 DE03 处的最大桩体水平位移分别为  $25.07\text{mm}$  和  $37.05\text{mm}$ 。由图 4a 可知,当基坑开挖至埋深  $20\text{m}$  时,桩体水平位移增长速率较大,当基坑从埋深  $20\text{m}$  开挖至埋深  $24\text{m}$  时,最大桩体水平位移仅增加约  $4\text{mm}$ ,且最大桩体水平位移出现在深度  $14\sim 16\text{m}$  处,埋深  $16\text{m}$  以上的围护桩基本不再产生水平位移,桩体水平位移主要在埋深  $16\sim 20\text{m}$  处产生,这表明由围护桩和钢支撑形成的支护结构能够较好地抵抗由基坑开挖造成的主动土压力。如图 4b 所示,随着基坑开挖的进行,桩体水平位移不断增大,其最大桩体水平位移也出现在深度  $14\sim 16\text{m}$  处,但监测点 DE03 处的桩体水平位移比监测点 DW03 处的更大。此外,监测点 DE03 处的围护桩桩顶水平位移随基坑开挖过程不断增大,开挖结束后桩顶的最大水平位移约  $10\text{mm}$ ,这是由于建筑荷载会影响基坑周边

土体应力重分布与变形发展,造成更大的基坑支护结构变形 [5,12],因此,应加强基坑开挖过程中既有建筑位置处的监测。

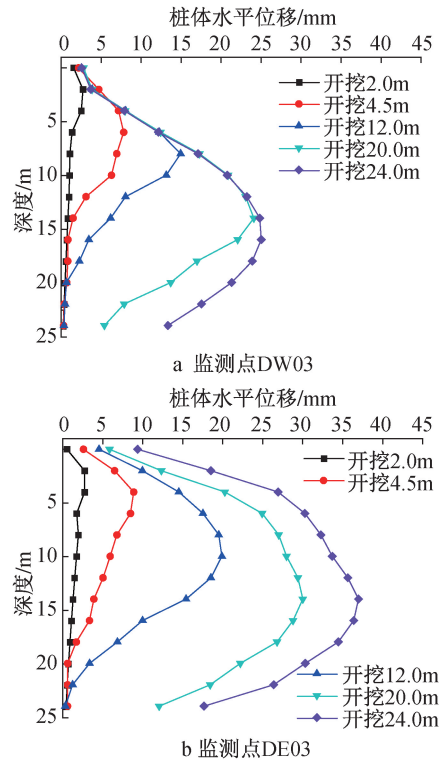


图 4 桩体水平位移

Fig. 4 Horizontal displacement of retaining pile

### 3.2 既有建筑水平位移和沉降

监测点 JC2 处既有建筑水平位移随开挖深度的发展规律如图 5 所示,图中以向基坑方向的水平位移为负。由图 5 可知,既有建筑水平位移随高度的增加而增大,表明既有建筑物在基坑开挖过程中整体向基坑方向倾斜。随着基坑开挖深度的增加,既有建筑水平位移不断增大,其底层和顶层的最大水平位移分别为  $8.1\text{mm}$  和  $14.3\text{mm}$ ,既有建筑倾斜度约为  $1/2\ 610$ 。GB 50497—2019《建筑基坑工程监测技术标准》要求基坑开挖施工过程中,建筑物整体倾斜度超过  $2/1\ 000$  时应当进行预警。因此,本次基坑开挖过程中,既有建筑倾斜度未超过预警值,采用的基坑支护结构能够对建筑物水平位移起到较好的控制效果。

既有建筑沉降量随基坑开挖施工的变化规律如图 6 所示。由图 6 可知,基坑开挖过程中,既有建筑以沉降为主,并且沉降量随着开挖深度的增加而增大。监测点 JC1 和 JC2 处的沉降量最大,距离基坑边缘距离越远,既有建筑沉降量越小。开挖结束后,监测点 JC1 和 JC2 处既有建筑沉降量分别为  $18.5\text{mm}$  和  $19.9\text{mm}$ ,既有建筑差异沉降分别为

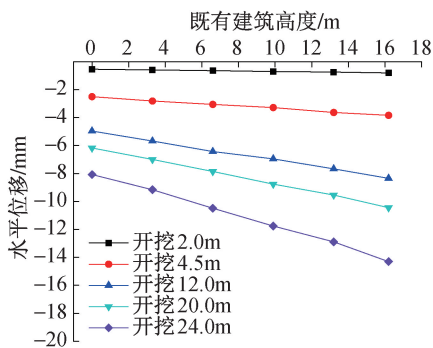
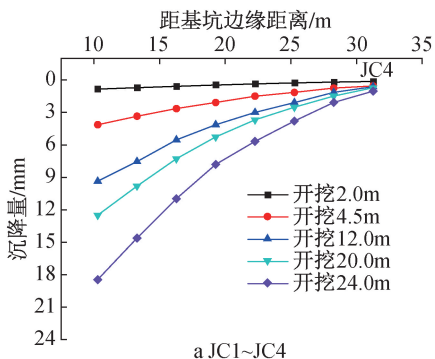


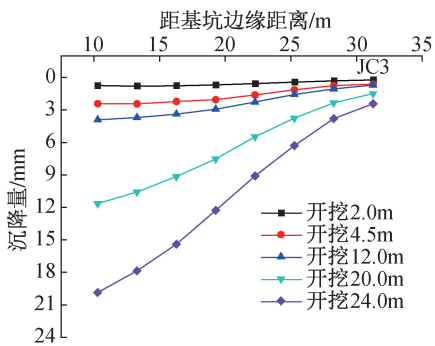
图5 既有建筑水平位移

Fig. 5 Horizontal displacement of existing building

17.4mm 和 17.5mm, 均小于 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》中地基变形允许值和差异沉降允许值。此外,对比图 6a 和图 6b 可知,基坑开挖完成后,监测点 JC1 和 JC2 处以及监测点 JC3 和 JC4 处的沉降量大小基本相同,表明既有建筑沉降较为均匀,基坑开挖过程中既有建筑物变形较为协调。



a JC1~JC4



b JC2~JC3

图6 既有建筑沉降量

Fig. 6 Settlement of existing building

## 4 基坑支护结构优化

### 4.1 数值模型验证

选取监测点 DW03 和 DE03 处的桩体水平位移以及既有建筑沉降量的分布曲线对数值模型的有效性进行验证,如图 7 所示。由图 7 可知,现场监测与数值模拟获得的桩体水平位移较为接近,桩体水平位移沿深度方向分布规律一致。既有建筑沉降

量的监测结果和数值模拟结果也吻合较好。上述分析表明所建立的数值模型可以合理地反映基坑开挖过程中基坑支护结构和既有建筑的变形规律。

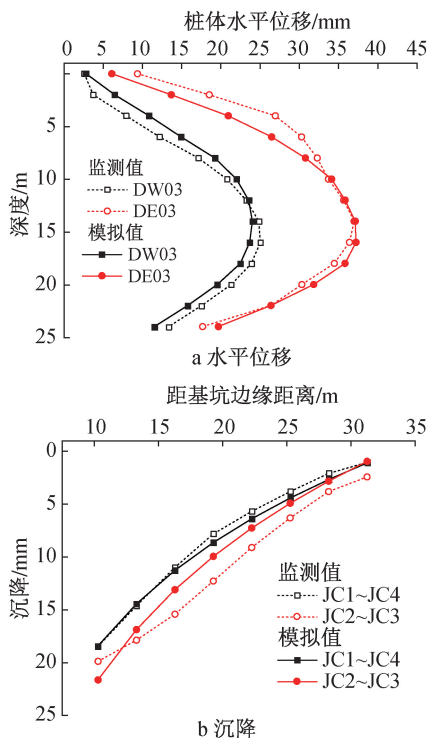


图7 监测值与模拟值结果对比

Fig. 7 Comparison of monitoring data and simulation results

### 4.2 围护桩桩径优化

围护桩是抵抗基坑开挖卸荷造成的土压力的主要支护结构,围护桩桩径  $d$  与基坑土体变形发展密切相关。为此,分别设置  $d = 800, 1\ 000, 1\ 200, 1\ 400\text{mm}$  4 种桩径,对比不同桩径下基坑围护桩桩体水平位移和既有建筑变形发展规律,计算结果如图 8 所示。由图 8 可知,不同桩径时桩体水平位移沿深度方向均呈“弓”字形分布,最大位移出现在深度 16m 处。当桩径  $d = 800\text{mm}$  时,最大桩体水平位移为 45.5mm,达到《建筑基坑工程监测技术标准》要求的预警值。随着桩径由 800mm 增加至 1 400mm,桩体水平位移不断减小。桩径由 1 000mm 增加至 1 200mm 时,最大桩体水平位移减小 8.5mm,而桩径由 1 200mm 增加至 1 400mm 时,最大桩体水平位移仅减小 3.1mm。对于既有建筑而言,其沉降随围护桩桩径的增大而减小。当桩径由 800mm 增大至 1 200mm 时,既有建筑沉降明显减小,而桩径继续增大至 1 400mm 时,增大桩径对既有建筑沉降减小的效果不明显。因此,可适当增大桩径至 1 200mm,以保证基坑开挖稳定性,并使既有建筑得到保护。

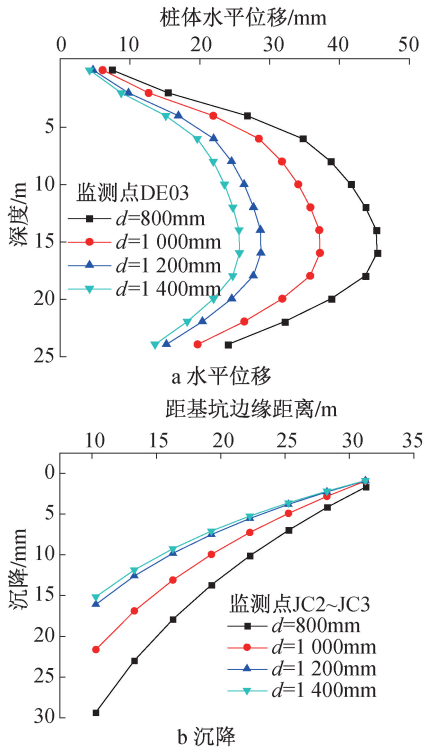


图8 不同桩径时桩体水平位移和既有建筑沉降量  
Fig.8 Horizontal displacement of retaining pile and settlement of existing building under different pile diameters

#### 4.3 围护桩桩间距优化

围护桩桩间距的设置与基坑开挖变形及稳定性密切相关。通过分别设置桩间距  $s = 800, 1\ 000, 1\ 200, 1\ 400\text{mm}$ , 并开展数值模拟, 结果如图9所示。由图9可知, 当桩间距  $s = 1\ 000\text{mm}$  时, 最大桩体水平位移和既有建筑最大沉降量分别为  $39.7\text{mm}$  和  $23.2\text{mm}$ , 相较于桩间距  $s = 800\text{mm}$  时分别增大  $6.7\%$  和  $6.8\%$ 。而当桩间距大于  $1\ 000\text{mm}$  时, 桩体水平位移和既有建筑沉降量迅速增大。为此, 围护桩桩间距不宜大于  $1\ 000\text{mm}$ 。

#### 4.4 内支撑水平间距优化

内支撑水平间距直接影响支护体系的整体刚度。为分析开挖过程中内支撑间距对基坑变形和既有建筑沉降的影响, 对4种不同水平间距 ( $L = 2, 3, 4, 5\text{m}$ ) 工况下开展数值模拟, 计算结果如图10所示。由图10a可知, 当内支撑水平间距由  $3\text{m}$  减小至  $2\text{m}$  时, 桩体最大水平位移明显减小。当内支撑水平间距由  $3\text{m}$  增大至  $4\text{m}$  时, 最大桩体水平位移由  $37.3\text{mm}$  增大至  $38.6\text{mm}$ , 增加幅度较小。然而, 内支撑水平间距由  $4\text{m}$  增加至  $5\text{m}$  时, 最大桩体水平位移迅速增大, 开挖结束后最大值约  $46.3\text{mm}$ , 基坑有失稳风险。如图10b所示, 既有建筑沉降量随内支

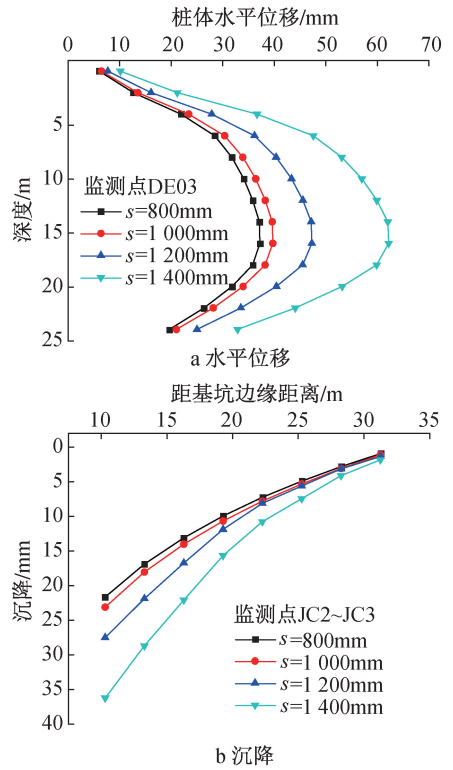


图9 不同桩间距时桩体水平位移和既有建筑沉降量  
Fig.9 Horizontal displacement of retaining pile and settlement of existing building under different pile spacing

撑水平间距的增大近似线性增加。需要注意的是, 当内支撑水平间距由  $4\text{m}$  增加至  $5\text{m}$  时, 既有建筑沉降量由  $25\text{mm}$  增加至  $32\text{mm}$ , 增幅约  $28\%$ , 此时, 既有建筑沉降对内支撑水平间距更加敏感。因此, 建议内支撑水平间距应当小于  $4\text{m}$ 。

#### 4.5 基坑支护优化效果分析

上述分析表明, 本项目基坑工程中围护桩桩径  $d$  宜为  $1\ 200\text{mm}$ , 桩间距  $s$  不宜大于  $1\ 000\text{mm}$ , 内支撑水平间距不宜大于  $4\text{m}$ 。为此, 设计如表3所示的6种基坑支护设计方案, 评估不同基坑支护方案对基坑变形和既有建筑沉降的影响。不同支护方案时桩体水平位移和既有建筑沉降变化曲线如图11所示。由图11a可知, 内支撑水平间距由  $2\text{m}$  增加至  $3\text{m}$  时, 桩体水平位移增长幅度较大。桩径  $1\ 200\text{mm}$ 、内支撑水平间距  $3\text{m}$  时, 桩间距  $800\text{mm}$  和  $1\ 000\text{mm}$  下最大桩体水平位移分别为  $28.8\text{mm}$  和  $30.7\text{mm}$ 。桩径  $1\ 200\text{mm}$ 、内支撑水平间距  $4\text{m}$  时, 桩间距  $800\text{mm}$  和  $1\ 000\text{mm}$  下最大桩体水平位移分别为  $30.1\text{mm}$  和  $34.4\text{mm}$ 。因此, 从控制桩体水平位移的角度来看, 当桩间距设计为  $800\text{mm}$  时, 内支撑水平间距可设置为  $4\text{m}$ ; 当桩间距设计为  $1\ 000\text{mm}$  时, 内支撑水平间距宜设置为  $3\text{m}$ 。由图11b可知, 桩间

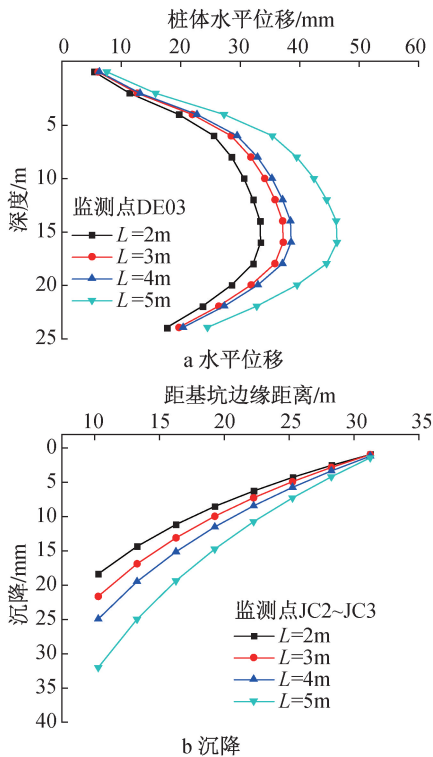


图10 内支撑不同水平间距时桩体水平位移和既有建筑沉降量

Fig. 10 Horizontal displacement of retaining pile and settlement of existing building under different horizontal strut space

距  $s=800\text{mm}$ 、内支撑水平间距  $L=4\text{m}$  时,既有建筑沉降约  $18.4\text{mm}$ ;桩间距  $s=1\,000\text{mm}$ 、内支撑水平间距  $L=3\text{m}$  时,既有建筑沉降约  $17.5\text{mm}$ 。

表3 基坑支护设计方案

Table 3 Design schemes for foundation excavation support

桩径/mm	桩间距/mm	内支撑水平间距/m
1 200	800	2,3,4
1 200	1 000	2,3,4

综上所述,建议基坑围护桩桩径  $d=1\,200\text{mm}$ 、桩间距  $s=1\,000\text{mm}$ 、内支撑水平间距  $L=3\text{m}$ ,此时最大桩体水平位移和既有建筑沉降量分别为  $30.7\text{mm}$  和  $17.5\text{mm}$ ,比原支护方案分别减小约  $17\%$  和  $12\%$ 。

## 5 结语

通过对西安市拟建文教园项目邻近既有建筑深基坑工程开展现场监测和数值模拟,研究了基坑开挖过程中围护桩的变形特性,分析了既有建筑水平位移和沉降随基坑开挖的变化规律,并对基坑支护结构围护桩桩径、桩间距和内支撑水平间距进行了优化设计,开展了优化效果评价,主要结论如下。

1) 围护桩桩体水平位移随基坑开挖不断增大,沿深度方向呈先增大后减小,最大桩体水平位移出

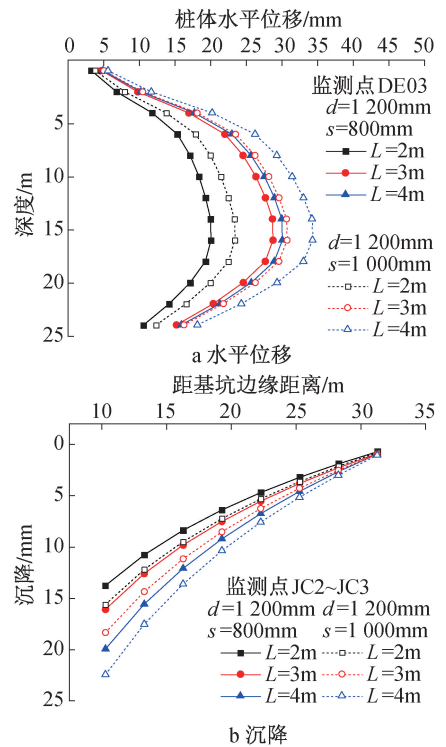


图11 不同基坑支护方案时桩体水平位移和既有建筑沉降量

Fig. 11 Horizontal displacement of retaining pile and settlement of existing building under different design schemes for foundation excavation support

现在深度  $16\text{m}$  处。既有建筑附近产生更大的桩体水平位移,应加强对基坑变形的监测。

2) 既有建筑水平位移和沉降随基坑开挖深度的增加而增大。既有建筑水平位移随建筑高度的增加而增大,沉降量随距基坑边缘距离的增大逐渐减小。基坑开挖过程中既有建筑变形较为协调,既有建筑未产生破坏。

3) 围护桩水平位移和既有建筑沉降随围护桩桩径增大而减小,随围护桩桩间距的增大而增大。当内支撑水平间距由  $2\text{m}$  增加至  $5\text{m}$  时,桩体水平位移和沉降不断增大,内支撑水平间距  $5\text{m}$  时,桩体水平位移较大,基坑失稳风险较高。

4) 建议基坑围护桩桩径  $d=1\,200\text{mm}$ 、桩间距  $s=1\,000\text{mm}$ 、内支撑水平间距  $L=3\text{m}$ ,此时最大桩体水平位移为  $30.7\text{mm}$ ,既有建筑沉降量为  $17.5\text{mm}$ ,比原支护方案分别减小约  $17\%$  和  $12\%$ 。

## 参考文献:

- [1] SCHUSTER M, KUNG G T, JUANG C H, et al. Simplified model for evaluating damage potential of buildings adjacent to a braced excavation [J]. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 2009, 135(12): 1823-1835.
- [2] 木林隆, 朱孟玺, 黄茂松, 等. 基于临近桩基保护要求的基坑变形控制指标研究 [J]. 岩土工程学报, 2021, 43(3):

- 465-470.
- MU L L, ZHU M X, HUANG M S, et al. Control criteria for deformation of foundation excavations based on protection requirements of adjacent pile foundations[J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2021, 43(3):465-470.
- [ 3 ] WANG Z Y, SHEN X L, TIAN X X, et al. Study on the influence and deformation control of rich water foundation excavation on adjacent buildings[J]. Buildings, 2025, 15(1):52.
- [ 4 ] 常书荣. 基于深度学习构建基坑施工诱发的邻近建筑沉降预测模型[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(13):51-56.
- CHANG S R. Prediction model for settlement of neighboring buildings induced by foundation excavation construction based on deep learning[J]. Construction technology, 2025, 54(13):51-56.
- [ 5 ] 丁小文, 曾小广, 林钊睿, 等. 非对称荷载作用下基坑受力变形特性试验研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2025, 42(6):167-176.
- DING X W, ZENG X G, LIN Z R, et al. Experimental study on force and deformation characteristics of foundation excavation under asymmetric load [J]. Journal of architecture and civil engineering, 2025, 42(6):167-176.
- [ 6 ] 朱殷航, 徐中华, 王卫东, 等. 软土地层超深基坑支护结构变形特性三维分析[J]. 地下空间与工程学报, 2023, 19(S2):767-777.
- ZHU Y H, XU Z H, WANG W D, et al. Three-dimensional analysis of the deformation characteristics of the support system of a super-deep excavation in soft soils [J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2023, 19(S2):767-777.
- [ 7 ] 王卫东. 软土深基坑变形及环境影响分析方法与控制技术[J]. 岩土工程学报, 2024, 46(1):1-25.
- WANG W D. Analytical methods and controlling techniques for deformation and environmental influence of deep excavations in soft soils[J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2024, 46(1):1-25.
- [ 8 ] 武玉山, 畅建伟, 马玉龙, 等. 佛山软土地区深基坑开挖变形特性研究[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(11):53-57.
- WU Y S, CHANG J W, MA Y L, et al. Deformation characteristics of deep foundation excavation in soft soil area of Foshan area[J]. Construction technology, 2025, 54(11):53-57.
- [ 9 ] 张利平, 王大梁, 张颖隽, 等. 富水砂卵石地层双基坑开挖引起的邻近既有车站变形规律分析[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(15):83-89.
- ZHANG L P, WANG D L, ZHANG Q J, et al. Analysis of deformation characteristic in adjacent existing station induced by twin foundation excavation construction in water-rich sandy cobble stratum[J]. Construction technology, 2025, 54(15):83-89.
- [ 10 ] 左磊. 城市更新中深基坑开挖对邻近居民楼影响的综合评估与应对策略[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(36):170-175.
- ZUO L. Comprehensive evaluation and countermeasures of the influence of deep foundation excavation excavation on adjacent residential buildings in urban renewal[J]. Theoretical research in urban construction, 2025(36):170-175.
- [ 11 ] FENG W, XU J, ZHANG R, et al. Study on excavation response of metro station foundation excavation in water-bearing strata adjacent to tall buildings[J]. Buildings, 2025, 15(21):3982.
- [ 12 ] 刘建华, 吴绍明, 王林枫, 等. 深长基坑开挖引发邻近建筑群沉降规律研究[J]. 地下空间与工程学报, 2022, 18(4):1374-1382.
- LIU J H, WU S M, WANG L F, et al. Study on the settlement law of adjacent buildings group caused by deep and long excavation [J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2022, 18(4):1374-1382.
- [ 13 ] 郑刚, 杜一鸣, 刁钰, 等. 基坑开挖引起邻近既有隧道变形的影响区研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(4):599-612.
- ZHENG G, DU Y M, DIAO Y, et al. Influenced zones for deformation of existing tunnels adjacent to excavations [J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2016, 38(4):599-612.
- [ 14 ] 李文强, 谢雄心. 砂卵石地层深基坑变形规律与控制技术研究[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(9):111-116.
- LI W Q, XIE X X. Study on deformation law and control technology of deep foundation excavation in sandy pebble stratum [J]. Construction technology, 2025, 54(9):111-116.
- [ 15 ] 方能榕, 蓝燕金, 李继光, 等. 紧邻既有地铁车站基坑开挖变形影响分析[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(12):55-62.
- FANG N R, LAN Y J, LI J G, et al. Influence analysis of excavation deformation of foundation excavation adjacent to existing subway station [J]. Construction technology, 2023, 52(12):55-62.
- [ 16 ] POTYONDY J G. Skin friction between various soils and construction materials [J]. Geotechnique, 1961, 11(4):339-353.

## (上接第9页)

- [ 7 ] 陈泽友, 秦李, 潘燕铃. 建筑业转型技术创新与产能提升[M]. 北京: 化学工业出版社, 2025.
- CHEN Z Y, QIN L, PAN Y L. Technological innovation and capacity improvement in construction industry transformation [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2025.
- [ 8 ] 孙瑜. 科技“智造”未来居所 创新描绘“好房子”蓝图[N]. 科技日报, 2025-11-17.
- SUN Y. Technology “intelligently builds” future residences, innovation draws blueprint for “quality housing” [N]. Science and technology daily, 2025-11-17.
- [ 9 ] 清华大学恒隆房地产研究中心, 清华校友总会城乡建设专业委员会, 全联房地产商会. 中国房地产数字化转型现状与趋势调研[R]. 北京: 清华大学恒隆房地产研究中心, 2024.
- Hang Lung Center for Real Estate of Tsinghua University, Urban and Rural Construction Professional Committee of Tsinghua Alumni Association, China Real Estate Chamber of Commerce. Survey on the current status and trends of digital transformation in China's real estate industry[R]. Beijing: Hang Lung Center for Real Estate of Tsinghua University, 2024.