

邻近建筑基坑边坡支护的参数优化

宋代福, 汪锡烨, 赛音吉亚, 陈彪华

(中国十九冶集团有限公司, 山东 济南 250100)

摘要:为减少基坑开挖对邻近建筑稳定性扰动,文章针对基坑边坡支护,利用 Abaqus 建立数值模型,综合考虑基坑周边应力分布、区域变形等因素,对比分析不同土钉墙支护方式下的支护效果,讨论了土钉长度、孔径等支护参数。结果表明:阶梯型土钉支护方式能有效地提高边坡土体整体强度,减少边坡应力集中程度,降低边坡土体变形。采用土钉进行边坡支护时,土钉支护参数长度宜为 7 m,孔径宜为 50 mm,布置方式宜为阶梯型布置。

关键词:边坡支护; 支护参数; 数值模拟

中图分类号:TU476

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)04-0037-05

doi:10.13402/j.gcjs.2024.04.048

Optimization on parameters of slope support of deep foundation pit adjacent to buildings

SONG Daifu, WANG Xiye, SAIYINJIYA, CHEN Biaohua

(China 19th Metallurgical Group Corporation Limited, Jinan 250100, Shandong, China)

Abstract: In order to reduce the disturbance of foundation pit excavation on the stability of adjacent buildings, a numerical model was established using Abaqus for the support of foundation pit slopes. Factors such as stress distribution and regional deformation around the foundation pit were comprehensively considered, and the support effects of different soil nail wall support methods were compared and analyzed. Support parameters such as soil nail length and aperture were discussed. The results show that the stepped soil nail support method can effectively improve the overall strength of the slope soil, reduce the degree of stress concentration on the slope, and reduce the deformation of the slope soil. When using soil nails for slope support, the length of soil nail support parameters should be 7 m, the aperture should be 50 mm, and the layout should be stepped.

Key words: slope support; support parameters; numerical simulation

近些年,随着建筑行业的蓬勃发展,城市空间发展日益饱和。作为房屋建筑工程中的首要工作,基坑工程^[1]大大促进了地下空间利用率的使用以及高层建筑的建设。郁炳尧^[2]研究模拟了复合地层条件下深基坑开挖过程,总结了基坑开挖所引起的周边地表位移特征与规律;张爱英^[3]以排桩加土钉的基坑支护形式为基础,进行了 FLAC3D 三维有限差分模拟和 ANSYS 内力分析,获得了深基坑开挖前后临近建筑物基础的变形规

律和内力变化规律。

上述关于基坑工程的研究成果多集中于基坑开挖与支护理论方面,对边坡支护的方式、合理参数等方面的研究较少。针对上述问题,本文利用 ABUSQUS 有限元模拟软件,对基坑开挖与边坡支护过程进行有限元仿真模拟,研究分析基坑开挖对邻近建筑基础的扰动影响,并从土钉长度、土钉间距等支护参数上对边坡支护效果进行对比分析,研究结果对基坑工程施工和临近建筑的保

收稿日期:2023-01-06

作者简介:宋代福(1996—),男,硕士研究生,从事工程建筑方面的研究。

护具有指导作用。

1 工程概况

界首市复兴苑安置区工程项目土层由巨厚的第四纪冲洪积物堆积而成，项目工程概况如图 1 所示，地层岩性主要为杂填土、粉质黏土、粉土夹粉质黏土、粉质土夹粉土等组成。根据土层物理力学性质可将土层自上而下分为 5 层，上部(1)层为第四纪新进回填、堆积及冲洪积层(Q_4^{ml})，(2)~(5)层均为第四纪晚更新世冲积层(Q_4^{al})，场地主要地基物理力学参数如表 1 所示。

2 数值模型建立

对于基坑土层，其物理力学特性在一定区域内保持一致，可将基坑开挖与支护过程视为二维平面应变问题。在数值仿真模拟过程中，基坑土体材料属性设置为 Mohr – Coulomb，土体参数参照表 1 进行分层建模。为减少边界效应影响，将模

型沿水平方向基坑外侧延伸两倍开挖深度，在竖直方向延伸约两倍开挖深度。如图 2 所示，其中，模型水平宽度为 30 m，竖直高度为 15 m，基坑开挖深度为 5.7 m，开挖坡度为 63° ，模型左右两侧为法向位移约束，底部为固支约束。

本基坑工程周围存在邻近高层建筑，距基坑开挖边线 8.8 m，数值仿真模拟过程中，需考虑临近建筑自重载荷对边坡土体变形的影响。为简化模拟过程，将邻近建筑的自重作用进行简化，采用 20 kN/m^2 的均布载荷等效替代。

3 数值模拟结果分析

3.1 基坑开挖模拟方案

对基坑工程进行基坑开挖与边坡支护模拟时，参照以下 7 个步骤对其进行逐层模拟。

(1) 步骤 1：沿开挖坡度 63° 对基坑土层进行开挖，开挖至 -2 m 处。



图 1 界首市安置区工程项目概况

表 1 地基土体物理力学参数

土层编号	土层名称	重力密度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力/kPa	内摩擦角/($^\circ$)	土层深度/m
1	杂填土	18.0	15.0	5.5	0~3.0
2	粉质黏土	19.2	44.4	9.3	3.0~4.0
3	粉质黏土	19.1	30.0	6.3	4.0~5.3
4	粉质黏土	19.5	50.1	9.8	5.3~7.7
5	粉土夹粉质黏土	19.0	15.3	22.5	7.7~15.0

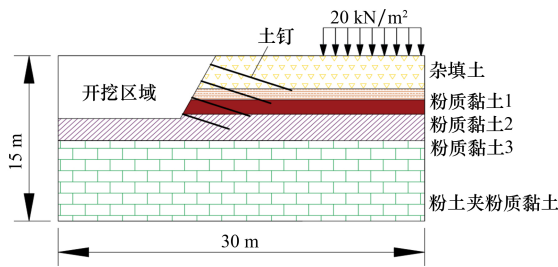


图2 基坑土层模型示意

(2) 步骤2: 在边坡 -0.8 m 处设置入射角为 20° 的土钉。

(3) 步骤3: 沿开挖坡度 63° 对基坑土层进行二次开挖, 开挖至 -4 m 处。

(4) 步骤4: 在边坡 -2.3 m 处设置入射角为 20° 的土钉。

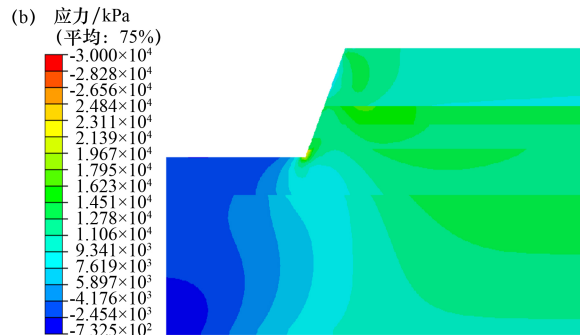
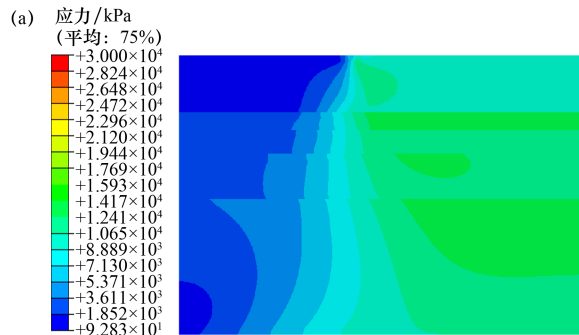
(5) 步骤5: 在边坡 -3.8 m 处设置入射角为 20° 的土钉。

(6) 步骤6: 沿开挖坡度 63° 对基坑土层进行三次开挖, 开挖至 -5.7 m 处。

(7) 步骤7: 在边坡 -5.3 m 处设置入射角为 20° 的土钉。

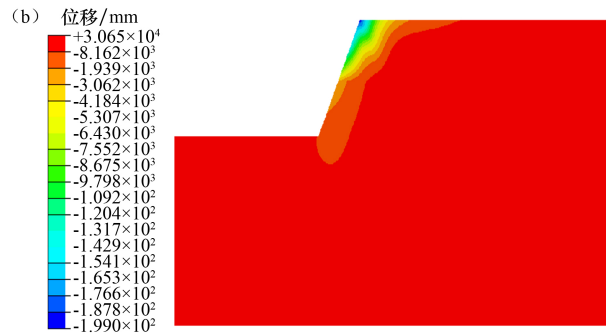
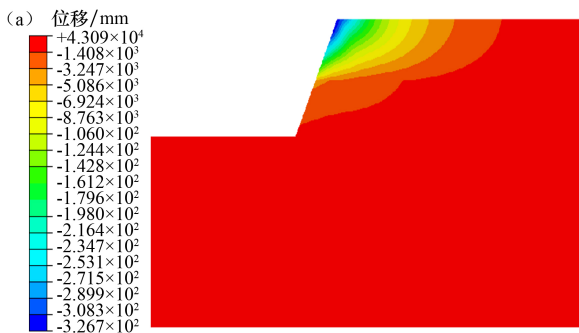
3.2 基坑开挖结果分析

参照步骤1、3、5, 对基坑土层进行基坑开挖



(a) 未开挖; (b) 已开挖

图3 基坑土层应力分布



(a) 水平位移; (b) 竖直位移

图4 基坑土层位移变化

数值模拟, 得到应力和位移变化情况, 其中图3(a)为未开挖时基坑边坡应力分布图, 图3(b)为开挖完成后基坑边坡应力分布图。

图4(a)为开挖完成后基坑边坡土层水平位移变化图, 图4(b)为开挖完成后基坑边坡土层竖直位移变化。

基坑开挖后, 由于基坑土体开挖卸载, 基坑周边土体应力向开挖区域集中, 并在边坡位置处形成应力集中区, 边坡土体应力由未开挖时的 12 kPa 增加至开挖后的 20 kPa 。边坡土体土体在主动土压力的作用下, 逐渐向基坑内侧偏移, 基坑土体位移变化主要集中于边坡的中上段区域, 相比而言, 基坑开挖对边坡土体水平位移的影响要明显强于对竖向位移的影响, 边坡坡顶的最大水平位移与竖向位移分别为 30 mm 、 20 mm 。因此, 在对边坡土体进行支护结构及支护效果研究分析时, 对边坡中上段土体的水平位移监测是主要指标。

3.3 边坡支护效果分析

参照步骤1、2、3、4、5、6、7对边坡土体进行支护结构及支护效果进行有限元仿真模拟研究, 在沿竖直方向距边坡顶部 -0.8 、 -2.3 、 -3.8 、 -5.3

的边坡处分别设置土钉结构，土钉竖向间距为 1.5，土钉外径为 50 mm，土钉与边坡土体之间采用 surface-to-surface 接触。图 5(a) 为开挖前后边坡土层水平位移变化图，图 5(b) 为开挖前后边坡土层竖直位移变化图。

图 6(a) 为未支护情况下边坡土层塑性应变破坏分布图，图 6(b) 为已支护情况下边坡土层塑性应变破坏分布图。

数值仿真模拟结果显示，边坡支护完成后，在土钉与边坡钢筋网的联合相互作用下，边坡土体的塑性应变区域范围逐渐缩小，整体刚度与抗

拉抗剪强度得到有效提升，进而增加了边坡土体抵抗变形的能力，减小了对边坡土体水平和竖直位移的扰动影响，其中水平位移的降低幅值最为明显。最大水平位移降低处位于边坡坡顶位置处，降低幅值为 13.7%，竖直位移最大降低幅值处位于距边坡坡顶约 2 m 处，降低幅值为 10%。

3.4 支护参数分析

土钉的长度与孔径大小是影响基坑边坡支护效果的主要因素，参照方案对基坑边坡支护过程中进行仿真模拟研究分析，如表 2 所示。图 7 为不同支护方案时边坡水平位移变化曲线。

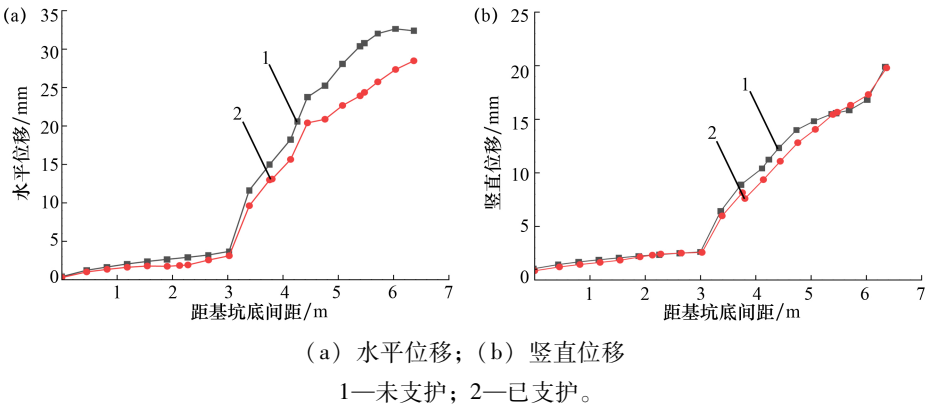


图 5 边坡位移对比

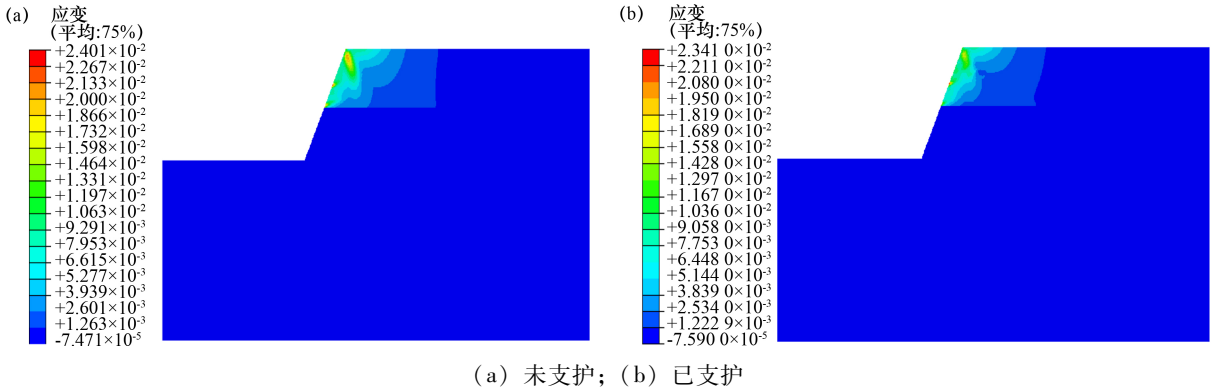
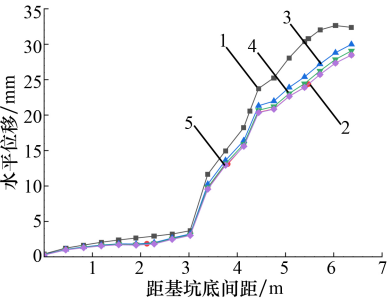


图 6 土体塑性应变破坏

表 2 土钉长度布置方案

方案	土钉长度/m			
	首层土钉	二层土钉	三层土钉	四层土钉
1	7	6	5	4
2	5	5	5	5
3	6	6	6	6
4	7	7	7	7



1—未支护; 2—方案 1; 3—方案 2; 4—方案 3; 5—方案 4。

图 7 不同支护方案边坡水平位移变化

方案 1~4 作用下的边坡, 边坡土体整体刚度与抗剪强度明显提升, 土体水平位移均小于未进行边坡支护时, 且从基坑底部至坡顶, 水平位移的降低幅值愈发明显, 降低幅值较大处基本集中在距基坑底 3~5 m 处。按照方案 2~4(等长度)进行布置土钉时, 边坡支护效果随土钉长度的增加有一定的提升效果, 但整体效果并不明显; 当土钉按照方案 1(阶梯型)进行布置时, 其边坡支护效果与方案 4 布置(等长度)支护效果相似。表明土钉阶梯型布置时的边坡支护效果, 要明显强于等长度布置。

如图 8 所示为不同支护方案边坡竖直位移变化曲线图。

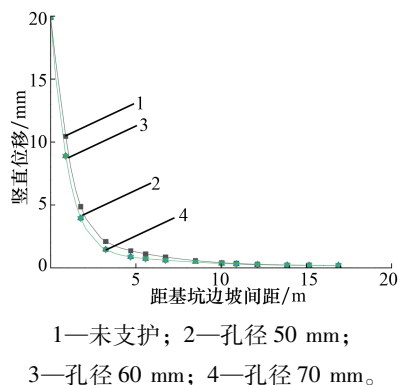


图 8 不同支护方案边坡竖直位移变化

取孔径分别为 0.05、0.06、0.07 m 的土钉, 按照间距 1.5 m, 长度 7 m, 阶梯型进行布置, 研究分析土钉孔径对边坡支护效果的影响。各孔径条件下的边坡支护均存在一定效果, 但整体效果比较接近, 因此在满足设计要求的情况下, 选择孔径为 50 mm 的土钉是最经济合理的。

4 结 论

(1) 由于基坑土体开挖卸载, 基坑土体应力在边坡位置处形成应力集中区, 在主动土压力的作用下, 边坡土体向基坑内侧偏移, 坡顶的最大水平位移与竖直位移分别为 30、20 mm。

(2) 在土钉与边坡钢筋网的联合相互作用下, 边坡土体整体刚度与抗拉抗剪强度得到有效提升, 对边坡土体水平和竖直位移的扰动影响减弱, 水平位移的降低幅值最为明显, 为 13.7%, 竖直位移的降低幅值为 10%。

(3) 阶梯型土钉布置方式具有良好的边坡支护效果, 可有效降低边坡土体的水平位移与竖直位移, 降低边坡土体塑性变形。与等长度土钉布置方式相比, 阶梯型土钉布置方式达到相同支护效果所使用的材料更少。

(4) 对于阶梯型土钉支护, 以土钉间距 1.5 m, 土钉长度 7、6、5、4 m 阶梯型布置, 当土钉孔径为 0.05 m 时, 边坡支护效果较好, 使用材料较少。

参考文献:

- [1] 伍尚勇, 杨小平, 刘庭金. 双侧深基坑施工对紧邻地铁隧道变形影响的分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(S1): 3452-3458.
- [2] 郁炳尧, 于广明. 土岩复合地层深基坑开挖引起地表位移特征与规律研究[J]. 工程建设, 2018, 50(9): 18-24.
- [3] 张爱英. 基坑开挖对邻近建筑物影响的数值模拟分析[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.