

# 基坑开挖对基坑及围护结构稳定性影响分析

王 建<sup>1,4</sup>, 陈洪波<sup>2,5</sup>, 何书通<sup>3,5</sup>, 常学文<sup>6</sup>

(1. 江苏省水利工程建设局, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省水文水资源勘测局常州分局, 江苏 常州 213001;  
3. 江苏省水利防汛物资储备中心, 江苏 南京 210029; 4. 江苏省新孟河枢纽工程建管局, 江苏 常州 213022;  
5. 江苏省太湖治理工程建设管理局, 江苏 常州 213022; 6. 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 211100)

**摘要:**在基坑工程建设中,土体的变形会给周围环境及建筑物造成严重破坏,甚至还会直接或间接的给人类生活和生存环境带来不利影响。本文通过 Plaxis 2d 建立基坑平面应变模型,利用有限元极限平衡法来计算基坑开挖过程中土体的变形,并对变形过程中土体的总主应力、垂直位移和水平位移以及围护结构的变形进行分析,评价基坑和围护结构的稳定性。计算结果表明,土体竖直位移值在  $-1.25 \sim 14.74$  mm 范围内,水平位移值在  $-2.65 \sim 2.84$  mm 范围内,围护结构水平位移变化在  $1 \sim 3$  mm 范围内,基坑是稳定的。

**关键词:**基坑开挖; 数值模拟; 土体变形; 围护结构变形

中图分类号:TU942 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2021)10-0020-04

## Analysis on the influence of foundation pit excavation on the stability of foundation pit and retaining structure

WANG Jian<sup>1,4</sup>, CHEN Hongbo<sup>2,5</sup>, HE Shutong<sup>3,5</sup>, CHANG Xuewen<sup>6</sup>

(1. Jiangsu Water Conservancy Engineering Construction Bureau, Nanjing 210029, China;  
2. Changzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Changzhou 213001, China;  
3. Jiangsu Provincial Water Conservancy and Flood Control Material Reserve Center, Nanjing 210029, China;  
4. Jiangsu Xinmeng River Hub Project Construction Bureau, Changzhou 213022, China;  
5. Jiangsu Province Taihu Treatment Project Construction Administration, Changzhou 213022, China;  
6. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** In the foundation pit construction, the deformation of soil could cause serious damage to the surrounding environment and buildings, and even directly or indirectly bring adverse effects on human life and living environment. The plane strain model of foundation pit was established by Plaxis 2d, and the deformation of soil in the process of foundation pit excavation was calculated by the finite element limit equilibrium method. The total principal stress, vertical displacement and horizontal displacement of soil in the deformation process and the deformation of retaining structure were analyzed to evaluate the stability of foundation pit and retaining structure. The calculation results showed that the vertical displacement of soil was in the range of  $-1.25 \sim 14.74$  mm, the horizontal displacement of soil was in the range of  $-2.65 \sim 2.84$  mm, the horizontal displacement of retaining structure was in the range of  $1 \sim 3$  mm, and the foundation pit was stable.

**Key words:** foundation pit excavation; numerical simulation; soil deformation; deformation of retaining structure

收稿日期:2021-04-29

作者简介:王建(1970—),男,三级调研员,主要从事水利重点工程建设管理工作。E-mail:1120805002@qq.com

通信作者:常学文(1996—),男,硕士研究生,主要从事地质体稳定性研究工作。E-mail:431960252@qq.com

基坑开挖是在半无限空间中进行的, 在开挖过程中必然导致周围土体变形以及邻近建筑物的破坏。土体变形主要是指卸荷回弹, 建筑物破坏主要是指由于基坑开挖导致周围土体发生沉降从而引起建筑物的下沉。随着社会的发展, 工程建设随之增多。基坑开挖是其中重要一环, 同时也影响着国家民生。因此, 分析基坑开挖对基坑以及围护结构的稳定性影响成为重要的研究方向。

不少学者已经在对基坑数值模拟的应用上取得了较好的成果。陈立敏<sup>[1]</sup>利用 MidasGTS NX 对基坑开挖引起的邻近建筑变化进行三维数值模拟, 得出了基坑开挖后建筑物地下室整体表现未沉降变形趋势的结论。车法等<sup>[2]</sup>对基坑使用放坡开挖基坑的方式建立模型, 通过改变坡体的坡率和土体的参数进行数值模拟, 结果表明: 基坑底部回弹位移随着坡率的减小而减小, 当坡率降低到 1:1.5 时, 随着坡率降低基坑底部回弹量趋于稳定, 剪切模量对基坑底部回弹位移和地基表面位移影响较大, 体积模量和内摩擦角对位移影响相对较小。黏聚力的折减比例超过 1.8 时, 黏聚力对基坑底部回弹位移和地基表面位移几乎没有影响。还有不少学者<sup>[3-5]</sup>在基坑开挖深度与空间效应、柱桩的隆起位移以及地表建筑物沉降方面进行了大量研究。刘拴龙等<sup>[6]</sup>对地连墙在基坑开挖过程中的变形做了一些研究, 分析出了地连墙的位移变化趋势, 取得了很好的研究效果。

鉴于此, 在综合考虑地表沉降的影响因素<sup>[7]</sup>后, 使用 Plaxis2d 对基坑进行数值模拟, 通过数值模拟得到基坑在采用分步开挖和放坡开挖<sup>[8]</sup>方式下每一次开挖后土体的应力、位移以及围护结构位移的变化情况, 并通过以上数据的变化对基坑的稳定性做出评价, 提出改进措施, 旨在为此后基坑工程的建设提供参考。

## 1 工程概况及模型构建

### 1.1 工程概况

新孟河延伸拓浚工程的目的是改善太湖和湖西地区的水环境, 提高流域和区域的防洪排涝标准, 增强流域和区域的水资源配置能力, 兼顾地区航运。工程总体布局北起长江右岸的大夹江, 在引(入)江口处兴建界牌水利枢纽, 沿老新孟河拓浚至京杭运河, 在新孟河与京杭运河交汇处兴建奔牛水利枢纽, 过运河后新开河道南延至北干河, 拓浚北干河连接洮湖、滆湖, 拓浚太湖运河和漕桥河入太

湖, 工程总长 116.69 km, 其中拓浚老河道 81.50 km, 新开河道 35.19 km。根据新孟河延伸拓浚工程总体规划, 奔牛水利枢纽工程为新孟河延伸拓浚工程干河枢纽工程之一, 位于常州市奔牛镇新孟河与京杭运河交汇处, 工程的主要任务包括防洪、引排水和通航, 枢纽由京杭运河立交地涵、船闸、节制闸和孟九桥组成。枢纽中京杭运河立交地涵的主要功能是沟通京杭运河南、北侧新孟河河道, 实现新孟河与京杭运河的立体交汇, 保证新孟河延伸拓浚工程引水入太湖的水质和水量, 兼顾京杭运河以南的太湖湖西地区通过立交地涵向北排涝入长江; 船闸的工程任务是维持新孟河与京杭运河之间的航运要求; 节制闸的主要功能是将京杭运河上游涝水通过新孟河北排入长江。

### 1.2 参数选取及模型构建

本文使用 Plaxis2d 软件对选取的两个基坑剖面进行数值模拟, 两个剖面分别记 A-A 剖面和 B-B 剖面, 该基坑深度为 20.2 m, 宽度为 309.5 m, 考虑到边界效应, 设计模型深度为 30 m, 宽度为 360 m, 对剖面构建的模型如图 1、图 2 所示, 根据三轴试验(UU)得到的土层参数, 确定每层土的抗剪力学参数如表 1 所示。



图 1 A-A 剖面模型网格剖分图

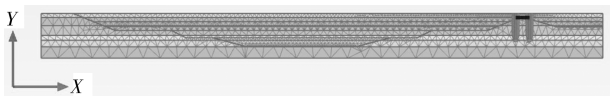


图 2 B-B 剖面模型网格剖分图

表 1 土层物理力学参数

土层	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
第 1 层	17.53	14.22
第 2 层	11.86	22.30
第 3 层	17.53	14.22
第 4 层	13.17	14.56
第 5 层	31.73	17.41
第 6 层	18.45	18.21
第 7 层	17.97	15.38
第 8 层	10.25	24.62
第 9 层	15.85	16.65
第 10 层	34.67	15.64

## 2 基坑开挖对基坑稳定性的影响

### 2.1 基坑总主应力分析

对选取的基坑剖面 A-A 和 B-B 进行模拟开挖, A-A 剖面分 4 次开挖进行, 第一次开挖深度约为 2.5 m, 第二次开挖深度约为 2.44 m, 第三次开挖深度 2.56 m, 第四次开挖深度约为 3.5 m。B-B 剖面由于选取的该剖面深度较大, 故对其分 6 次模拟开挖进行, 第一次开挖深度约为 2.50 m, 第二次开挖深度约为 2.70 m, 第三次开挖深度约为 2.60 m, 第四次开挖深度约为 2.60 m, 第五次开挖深度约为 4.50 m, 第六次开挖深度约为 5.30 m。对开挖完成后的总主应力  $\sigma_1$  进行分析, 如图 3 所示, 可以看出在分步开挖过程中, A-A 剖面开挖深度小,  $\sigma_1$  的最大值为  $468.6 \text{ kN/m}^2$ , B-B 剖面开挖深度大,  $\sigma_1$  的最大值为  $596.2 \text{ kN/m}^2$ , 方向均为竖直向下, 集中分布在所建模型中涉及土层的最底部边界处, 由于底部边界中间段上覆地层的土体被开挖, 底部土体主应力呈现两边大、中间小的趋势, 从底部边界往上的土体中, 主应力大小逐步递减, 在基坑坑底面下部的地层中转为竖直向上的主应力, 在基坑坑底表面达到最大值, 但竖直向上的主应力值很小, 基本都在  $0.0069 \text{ kN/m}^2$  以下, 引起该变化的原因是土体开挖后基坑表面土体发生卸荷回弹现象, 土体略微隆起, 但隆起量不大, 这就说明在施工开挖过程中基坑是稳定的。

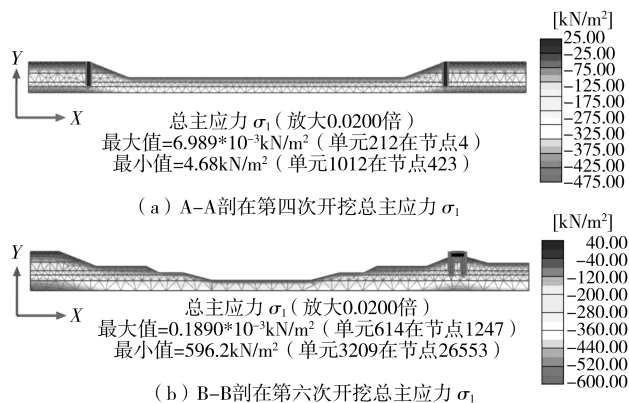


图3 各剖面分步开挖完成后总主应力  $\sigma_1$

### 2.2 基坑特征点变形分析

A-A 剖面的监测点示意图如图 4 所示, 特征点垂直位移如图 5 所示, 特征点水平位移如图 6 所示, 图中 G 为右侧坡顶面上一点, C、D 为基坑底部点, B、E 是坡脚点, A、F 为坡顶点。由图 5 可知, 随着开挖施工次数的增加, 各特征点水平位移逐渐增加, 但位移都在 2 mm 以下, 其中 A 点、B 点、E 点、F

点相比其他特征点位移较大, 原因是 B 点、E 点位于坡脚, A 点、F 点位于坡顶, 形成坡面后, 在自重的影响下出现比其他特征点更明显的位移。由图 6 可知, 随着开挖次数的增加, 各特征点垂直位移也逐渐增加, 位移最大值为 18.56 mm, 在开挖过程中, 由于卸荷回弹的原因, 基本上各特征点垂直位移都为正值, 但 G 特征点的垂直位移为负值, 根据现场勘查情况, 原因是 G 特征点位于住宅区, 其上部有房屋荷载的影响。

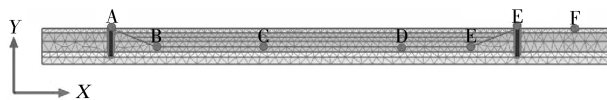


图4 A-A剖面监测点示意图

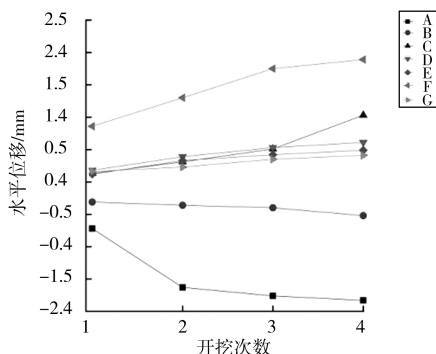


图5 A-A剖面特征点水平位移图

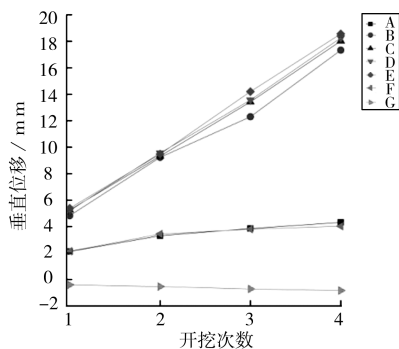


图6 A-A剖面特征点垂直位移图

B-B 剖面的监测点示意图如图 7 所示, 图中 F、G 为基坑底部点, B、D、I、K、N 是坡脚点, A、C、E、H、J、L、M 为坡顶点, 特征点垂直位移如图 8 所示, 由图 8 可知, 随着开挖次数的增加, 各特征点垂直位移逐渐增加, 位移最大值为 15.08 mm, 在开挖过程中, 由于卸荷回弹的原因, 各特征点垂直位移都为正值。其中, A 点、L 点、N 点的位移增幅趋势幅度不同于其他各特征点, 呈缓慢递增趋势, 原因是上述 2 种特征点为接近于地表的特征点, 开挖后位于坡顶, 卸荷回弹变化量小, 其他特征点位移变化趋势几乎呈现为线性增加, F 点、G 点也不同于其他特征点变化趋势, 原因是特征点 F 点、G 点是位于

完全开挖后基坑基底面上的点,无开挖临空面,每一次开挖都只存在减少上覆土体压力的影响,产生卸荷回弹。

特征点水平位移如图9所示,由图可知,A点、G点、H点、I点、J点、L特征点的水平位移方向发生了变化,原因是在开挖的过程中,基坑发生卸荷回弹,导致基坑边坡发生垂直向上位移,进而使其水平位移方向发生改变。其余特征点随着开挖施工次数的增加,水平位移逐渐增加,其中第五次开挖完成后,各特征点位移变化量较大,这是由于此次开挖深度较深,开挖完成后土体卸荷回弹明显,整体开挖位移值均小于3.0 mm。

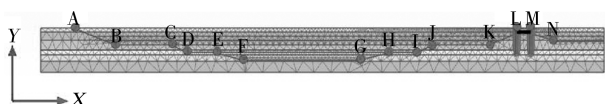


图7 B-B剖面监测点示意图

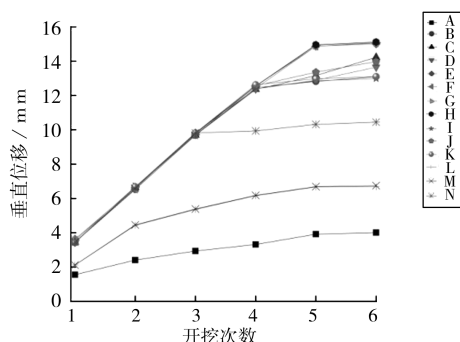


图8 A-A剖面特征点垂直位移图

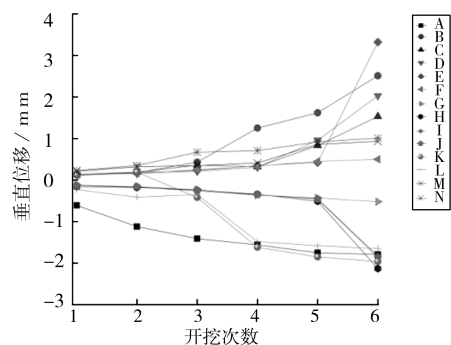


图9 A-A剖面特征点水平位移图

### 3 结论与建议

基于基坑开挖设计图,钢板桩和现场基坑结构分布情况,同时结合现场情况,建立了工程区二维有限差分模型,对不同基坑剖面进行了开挖模拟后,得出以下结论:

(1)基坑开挖过程中,由于卸荷的影响,基坑表面的土体会有隆起现象,并且隆起量随着开挖深度的增加而增加;

(2)邻近基坑周围的土体由于土体自重以及建

筑物荷载的影响,会发生沉降,但因在施工开挖时增加了围护结构,土体的沉降量很小,不影响建筑物的安全;

(3)在整个基坑开挖过程中,土体的水平位移一直都很小,并以基坑的中点为基点向基坑两侧移动,且呈对称趋势;

(4)围护结构对土体的变形起到了良好的支撑效果,且自身的变形也较小,围护结构在整个施工阶段处于稳定状态。

针对模拟结果,给出以下建议:

(1)经二维剖面开挖计算,京杭运河支流中的基坑已经有钢板桩支护。因水流量较小、钢板桩支护稳定,同时开挖深度较浅,经计算,可不再增加新的支护;

(2)经二维剖面开挖计算,京杭运河干流中的基坑,静水压力较小,开挖初期可不作支护,在第二次及第三次开挖过程中,经过放坡后基坑位移仍然较大,同时水压力作用效果也更加明显,因此在第二次及后续开挖过程中,建议增加钢板桩支护,同时考虑水头作用,建议采用钢板桩或混凝土抗滑桩支护或者采用隔水防水措施;

(3)考虑到该地区雨季较多,持续时间较长,年降水量较高,基坑在雨季有失稳可能性,同样建议对基坑进行抗滑桩处理。

### 参考文献:

- [1] 陈立敏. 基坑开挖对邻近建筑及地铁隧道的影响研究[J]. 山西建筑, 2021, 47(1): 55-56.
- [2] 车法, 孙润生, 吕威. 不同因素对基坑开挖回弹变形的数值模拟分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(11): 38-41.
- [3] 李镜培, 陈浩华, 李林, 等. 软土基坑开挖深度与空间效应实测研究[J]. 中国公路学报, 2018, 31(2): 208-217.
- [4] 操小兵, 金文, 李镜培, 等. 基坑开挖卸荷引起立柱桩的隆起位移计算[J]. 结构工程师, 2018, 34(1): 131-137.
- [5] 李睿峰, 刘大刚, 王明年, 等. 基坑开挖对邻近框架建筑物沉降的影响分析[J]. 路基工程, 2018(1): 60-64.
- [6] 刘拴龙, 张书杰. 深基坑地连墙在开挖过程中的变形趋势[J]. 港工技术, 2017, 54(5): 74-76.
- [7] 李向群, 李培豪, 侯学飞. 基坑开挖对周边地表沉降的影响因素分析[J]. 吉林建筑大学学报, 2018, 35(2): 21-24.
- [8] 李善豪. 深基坑土钉支护中分级放坡的作用[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2017.