

文章编号: 1007-2993(2021)06-0400-06

# 近邻基坑非对称开挖对既有建筑影响及优化分析

朱 纯<sup>1</sup> 任亚坤<sup>2</sup> 谭 鑫<sup>2,3</sup> 徐培军<sup>1</sup> 周 康<sup>1</sup>

(1. 长沙市公共工程建设中心, 湖南长沙 410023; 2. 湖南大学土木工程学院, 湖南长沙 410082;  
3. 建筑安全与节能教育部重点实验室(湖南大学), 湖南长沙 410082)

**【摘要】** 以长沙市区某既有浅基础建筑物近邻非对称基坑工程为依托, 通过有限差分法数值程序建立了考虑结构-基础-地基共同作用的数值模型。通过数值模拟方法, 分析了建筑物两侧非对称基坑采用不同开挖方案对地层变形和既有建筑变形及受力的影响。数值分析结果表明, 既有浅基础建筑物的存在, 会影响基坑开挖引起坑外地表沉降曲线的形态。近邻既有建筑的非对称基坑开挖顺序也对地层变形及建筑结构受力有重要影响。综合考虑施工条件、基坑开挖对地层及建筑物变形影响等因素的情况下, 应优先施工既有建筑远侧的基坑, 后施工近侧基坑。

**【关键词】** 既有建筑; 基坑; 非对称开挖; 施工影响; 数值模拟

**【中图分类号】** TU 753

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.06.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Influence of Adjacent Asymmetric Foundation Pit Excavation on the Existing Building and the Optimized Analysis

Zhu Chun<sup>1</sup> Ren Yakun<sup>2</sup> Tan Xin<sup>2,3</sup> Xu Peijun<sup>1</sup> Zhou Kang<sup>1</sup>

(1. Changsha Public Engineering Construction Center, Changsha 410023, Hunan, China; 2. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China; 3. Key Laboratory of Building Safety and Energy Efficiency (Hunan University), Ministry of Education, Changsha 410082, Hunan, China)

**【Abstract】** Based on the asymmetric excavation project adjacent to an existing shallow foundation building in Changsha, the proposed study used the finite difference numerical program to establish numerical models that considers the interaction between the structural foundation and the ground. Through the numerical simulation method, the influence of different excavation schemes on the ground deformation, the deformation and force of existing buildings has been analyzed. Numerical analysis results show that the existence of shallow foundation building affects the settlement curve of the ground surface caused by excavations. The asymmetric excavation sequence has an important influence on ground deformation and structural forces of adjacent existing buildings. Taking into account the construction conditions and the impact of excavations on the deformation of the ground and buildings, priority should be given to the excavation of the foundation pit on the far side of the existing building, and then the foundation pit excavation on the near side.

**【Key words】** existing building; foundation pit; asymmetric excavation; construction impact; numerical simulation

### 0 引言

随着我国经济社会的不断发展, 城市中心用地日趋紧张, 越来越多的深基坑工程位于既有建筑物周边。基坑开挖卸载会改变周围土体的应力场和位移场, 进而导致既有建筑基础产生差异沉降, 引起建筑上部结构产生附加内力。若建筑物的倾斜超过规范

允许值, 则其正常使用将受到严重影响<sup>[1-3]</sup>。浅基础建筑物由于整体刚度低, 抵抗变形能力较差, 受深基坑开挖影响尤为严重<sup>[4-6]</sup>。许多研究者针对近邻建筑物基坑开挖对地层变形特征的影响进行过研究。韩健勇等<sup>[2]</sup>通过实测得出了邻近建筑物深基坑开挖围护桩的变形特征, 并分析了建筑基础埋深和围护桩距

**基金项目:** 湖南创新型省份建设专项经费资助(2019GK1010)

**作者简介:** 朱 纯, 女, 1974 年生, 学士, 高级工程师, 主要从事工程技术管理和研究。E-mail: 369288726@qq.com

**通讯作者:** 谭 鑫, 男, 1983 年生, 湖南长沙人, 博士, 副教授, 主要从事岩土工程领域的教学与科研工作。E-mail: xintan@hnu.edu.cn

离对基坑变形的影响。张治国等<sup>[3]</sup>基于 Winkler 地基模型,将框架结构和基础简化,得出了邻近建筑物深基坑开挖坑外地表沉降解析解,研究了基坑开挖对建筑物沉降和内力的影响。高 波等<sup>[7]</sup>探讨了隔离桩和锚杆静压桩组合加固措施的保护作用。吕文龙<sup>[8]</sup>、刘念武等<sup>[9]</sup>基于实测资料,研究了基坑开挖对周边建筑物变形的影响和建筑物沉降的时间效应和空间效应。信磊磊等<sup>[10]</sup>、梅 楨等<sup>[11]</sup>基于实际工程背景,采用数值模型研究了两侧基坑开挖顺序对建筑物的影响。

但是目前研究较少考虑双侧非对称基坑开挖对邻近既有建筑物的影响。既有建筑物双侧非对称基坑的不同开挖方式会导致既有建筑物两侧土体产生更为复杂的加卸载应力路径。相同设计参数下不同的开挖步骤对既有建筑的影响也大为不同。因此,本文依托某既有浅基础建筑物两侧非对称基坑工程,研究了不同开挖顺序对地层变形特征和对既有建筑物变形及内力的影响,明确了最优施工方案。

## 1 工程概况

依托工程位于湖南省长沙市主城区,场地近邻既有建筑物为现浇钢筋混凝土框架结构。建筑物平面形状为长条矩形,建筑基础采用柱下独立基础,埋置深度 2~3 m。既有建筑南北侧拟建三层地下室的人防工程项目,基坑开挖深度约为 15~16 m。场地内的第四系地层自上而下依次为:素填土、杂填土、粉质黏土、圆砾、残积粉质黏土,下伏基岩为中元古界冷家溪群板岩。通过地质勘察获得了场地地层空间分布情况、特征综述和室内土工试验与原位测试指标等结果,地质钻孔揭示的场地典型地层及室内试验获得的基本力学参数见图 1。根据拟建地下室的特征及岩土勘察结果,该基坑安全等级为一级。基坑开挖深度较深,且邻近重要建筑物,基坑设计采用支护桩+预应力锚索联合支护。北侧基坑紧邻既有建筑物,拟采用直径为 1.5 m 桩间距 2.0 m 的 C30 钢筋混凝土支护桩;南侧基坑采用直径 1.2 m 桩。钢筋混凝土支护桩间均设置素混凝土咬合桩。

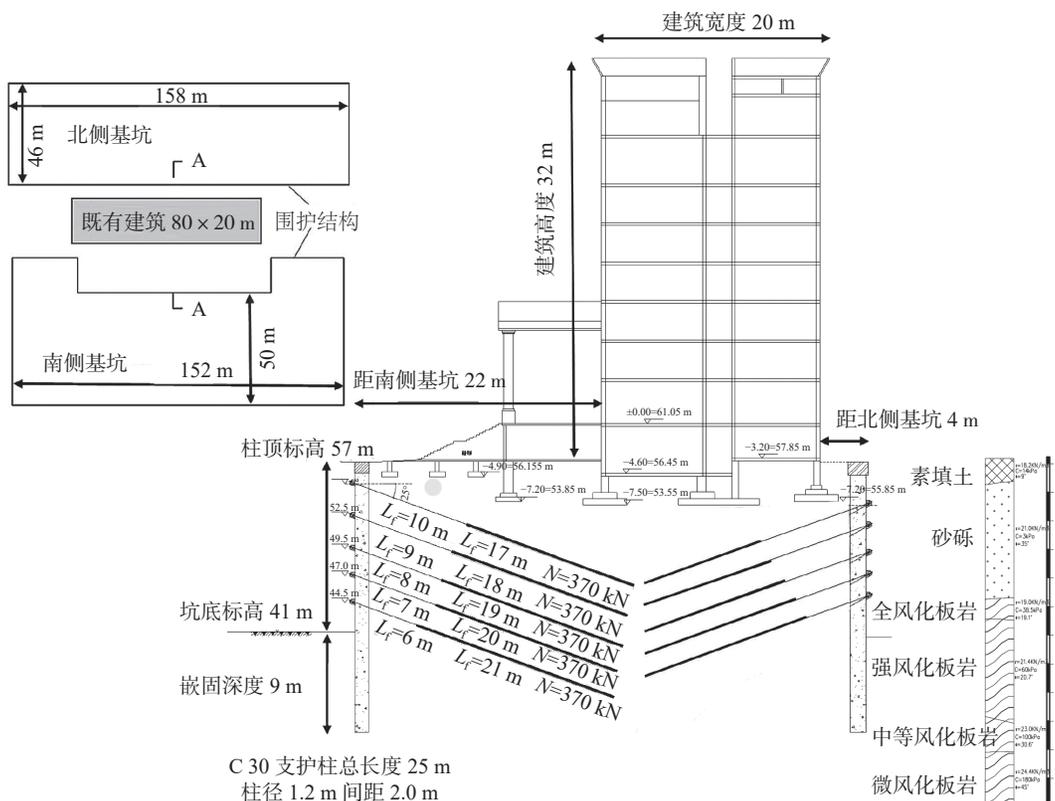


图 1 基坑与既有建筑概况图

如图 1 所示,两侧基坑支护桩上均设置五排预应力锚索,最小预应力锁定值设为 370 kN 以上。既有浅基础建筑物对地层变形较为敏感,且近邻南北两侧的非对称基坑开挖可能对既有建筑产生不利影响。在工程项目施工过程前应当制定完善、可靠的施工

技术方案,尽可能减少对近邻建筑物的影响。

## 2 数值模型建立

### 2.1 数值模型

采用有限差分法程序 FLAC,利用实体和结构单元建立地基-基础-结构相互作用数值模型。参考依

托工程的地层条件,将基坑与既有浅基础建筑简化为平面应变问题(见图2)。基坑内水平边界取在其开挖中心线处,计算模型尺寸为120 m×35 m。模型侧边及底部均为简支约束,地表为自由边界。

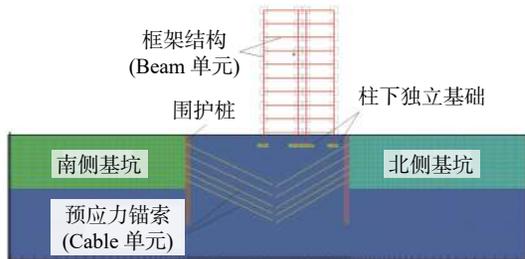


图2 数值模型

浅基础既有建筑根据实际监测尺寸采用 Beam 结构单元建立框架结构。框架结构柱下独立基础以及基坑围护桩则采用弹性实体单元进行模拟。预应

力锚索采用 Cable 结构单元模拟,在施工过程的模拟阶段考虑了预应力锚索的张拉效应,锚索设计参数见图1。框架结构和基坑支护结构材料变形参数按照原设计成果进行简化换算(见表1)。

表1 结构模型参数

结构	弹性模量 $E$ /MPa	泊松比 $\nu$
框架结构	30000	0.20
围护桩	10000	0.25
预应力锚索	210000	0.30

## 2.2 材料参数

根据地勘报告提供的岩土基本力学参数,并结合相关研究<sup>[12]</sup>提供的经验取值方法,采取摩尔-库仑模型模拟地层土体,各地层采用的模型参数见表2。

表2 土体本构模型及基本力学参数

地层土体	厚度/m	重度 $\gamma$ /(kN·m <sup>-3</sup> )	弹性模量 $E$ /MPa	泊松比 $\nu$	黏聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\phi$ /(°)
填土	1.5	18	4.2	0.3	14	9
砂砾层	12	19	25	0.3	3	35
全风化板岩	2	20	35	0.3	38	19
强风化板岩	10	22	100	0.3	60	21
中等风化板岩	15	24	200	0.25	100	30

## 2.3 施工模拟及比选方案

根据既有建筑物南北两侧拟建人防工程深基坑开挖与支护实际情况,拟采用3种施工方案考虑不同开挖顺序进行数值模拟研究。图3所示流程图为考虑不同开挖方式的三种施工过程数值模拟的具体计算步骤。首先需要进行天然地层的自重地应力场平衡,然后利用 Beam 结构单元生成既有建筑框架结构,赋予结构自重后再次平衡模型并进行位移清零。根据不同的开挖方案对两侧基坑分别进行开挖和支护:施工方案1是先开挖远(南)侧基坑至坑底,再开挖近(北)侧基坑;施工方案2是先开挖近(北)侧至坑底,再开挖远(南)侧基坑,施工方案3是两侧基坑同时开挖。开挖和预应力锚索锚拉交替进行直至开挖至设计标高。计算全过程记录3种不同方案地表沉降和围护桩体变形特征,并进行对比分析确定最优开挖方案。

## 3 数值模拟结果

图4分别显示了各方案地层在两侧基坑均开挖完成后的位移场。在目前设计支护参数下各方案均能保证基坑安全,但不同方案引起的地层变形响应不

同,施工方法存在可优化空间。水平位移最大值均出现在基坑支护桩体处,远侧基坑支护桩最大水平变形出现在桩体中部,而近侧基坑出现在桩体顶部。基坑内地层竖向位移主要表现为开挖引起的回弹,而坑外地层的竖向位移分布则明显受到既有建筑物独立基础位置的影响。在邻近建筑物柱下独立基础附近产生的竖向位移均较大,并且不同基础沉降值并不一样,出现了差异沉降。靠近远侧基坑方向的独立基础附近地层产生的竖向位移最大,建筑物出现了向远侧基坑方向倾斜的变形趋势。综合对比坑外地层的变形情况,采用方案2先挖近侧后挖远侧基坑的非对称开挖方法对地层变形控制最为不利。

图5为不同施工方案下最终围护桩桩体水平位移随埋深的分布曲线。远侧基坑开挖后桩体水平变形呈鼓肚子形态,其水平位移最大值产生在围护桩入土处附近;方案2最大水平位移超过20 mm,其余两种均控制在17 mm以内。近侧基坑开挖后桩体水平变形呈上大下小的形态,最大水平位移均出现在桩顶处,方案2位移最大,达到45 mm;其余两种方案均控制在35 mm之内。模型三种方案计算的桩体最大

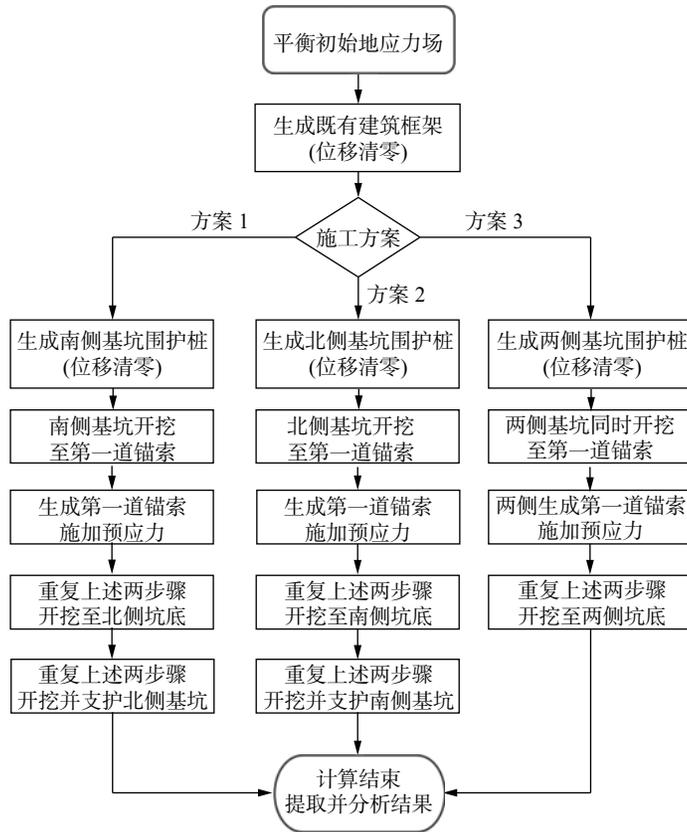


图3 不同施工方案数值模拟过程

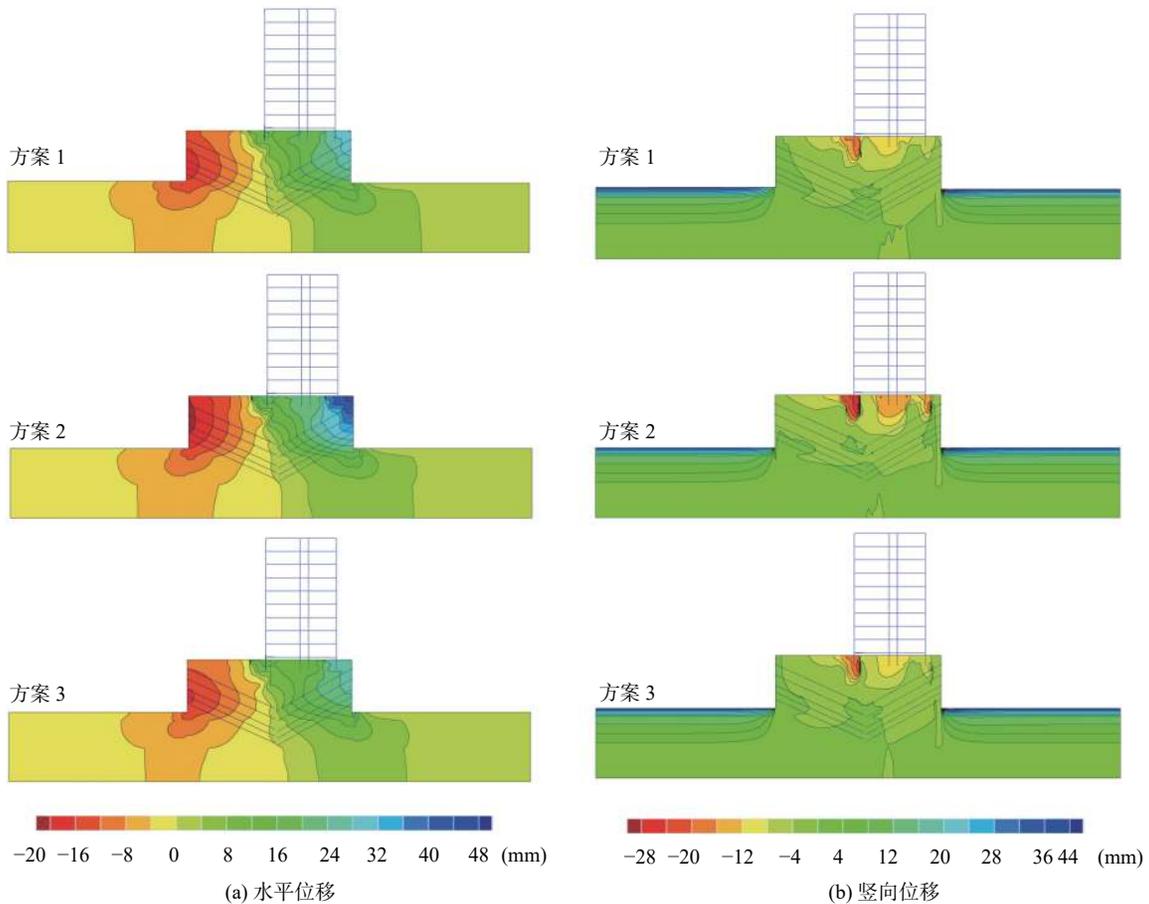


图4 地层位移场结果

水平位移处于 0.1% ~ 0.3% 基坑开挖深度内,与文献 [2] 统计的实测分布值相符。综合模型计算得到围护结构位移大小而言,方案 3 对于限制桩体水平

位移的效果最好,其次是方案 1,方案 2 将产生较大的桩体水平位移。

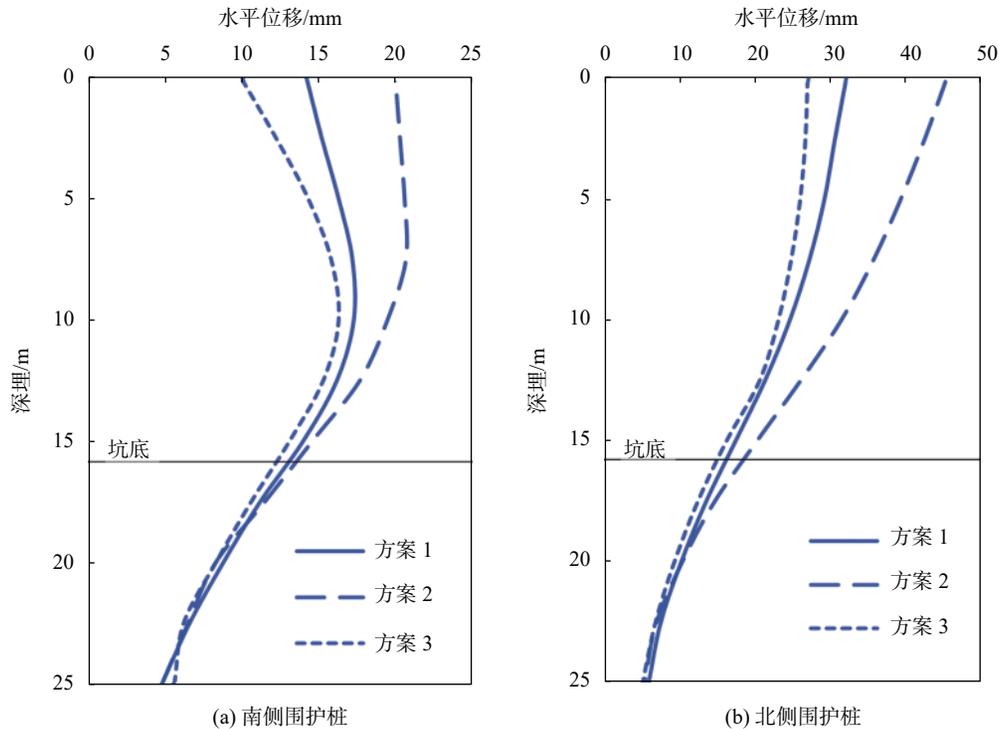


图 5 围护桩水平位移分布

Ou、Hsieh 等<sup>[13]</sup>和 Schuster 等<sup>[14]</sup>通过大量实测数据总结了基坑开挖造成的地表沉降,并提出了类似凹槽形的地表沉降经验曲线。但经验曲线无法考虑既有建筑物的影响。图 6 显示了不同方案下最终地表沉降的分布曲线。基坑开挖完成后,方案 1 中地表沉降最大值为 18 mm;方案 2 地表沉降最大值为 26 mm;方案 3 地表沉降最大值为 20 mm。对于坑外地表沉降的控制而言方案 1 最优,方案 2 最差。图 6 显示既有建筑物的存在明显改变了地表沉降曲线的形态,在靠近既有建筑独立基础位置的地表沉降均有所增加。尤其在靠近远侧基坑的独立基础位置处沉降增加更为明显,形成了更深的沉降槽。由于既有建筑物基础埋深较浅,因此受到基坑开挖诱发地表沉降的影响比较大。尤其是浅层独立基础,不同基础间会产生一定差异沉降。差异沉降导致建筑物出现倾斜,引起其建筑重心发生变化,从而导致不同位置的独立基础产生一定的荷载重分布。荷载增大的独立基础下产生更大的基底附加压力,并进一步诱发附加沉降,从而加深了独立基础处的地表沉降槽。参考《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)<sup>[15]</sup>可确定各类建筑物倾斜容许变形值。根据建筑形式高度等条

件得到本工程既有建筑最大容许基础倾斜率为 0.003,而本文模型计算基础倾斜率最大出现在方案 2 中,仅为 0.001,因此近邻建筑在既有各施工工况下的不均匀沉降均满足设计规范要求。其中方案 1 和方案 3 产生的基础倾斜率较小。

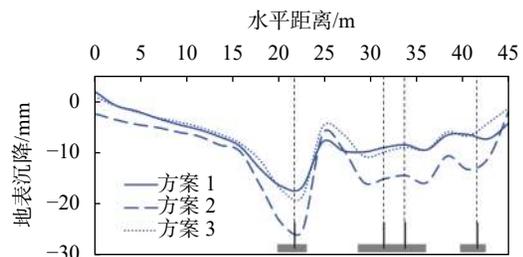


图 6 地表沉降分布

基坑开挖完成后围护桩体竖向应力分布见图 7。由于基坑开挖,一侧土体卸荷,导致坑外土体的土压力全部作用在围护结构上。作用在围护桩上的压力随埋深逐渐增大,因此最大桩体弯矩均出现在基坑坑底上方位置。桩体入土后,可以观察到受压区位置与上方桩体出现差异,因此桩体弯矩在入土处将出现反弯。图 7 显示 3 种不同施工方案围护桩受力差别不大。

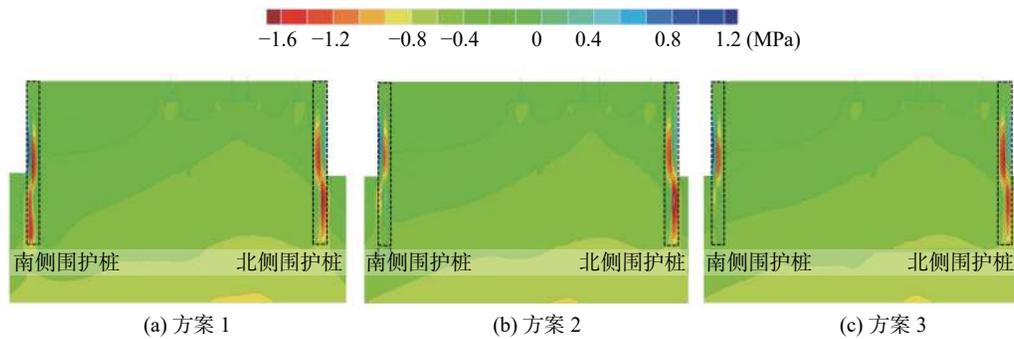


图7 围护桩桩体竖向应力分布

基坑开挖完成后建筑物结构柱弯矩分布见图8。可以看出,建筑物两侧底层的结构柱弯矩值和基坑未开挖前相比有了显著提高,由于基坑开挖造成建筑物基础不均匀沉降而引起上部结构倾斜使结构柱内力发生了变化。三种施工方案产生的最大附加弯矩

均出现在靠近北侧基坑处的结构柱外侧,这与图6所示的建筑物倾斜方向是一致的。和未开挖结构柱弯矩对比,方案3产生的附加弯矩最小,方案2最大,方案1居中。

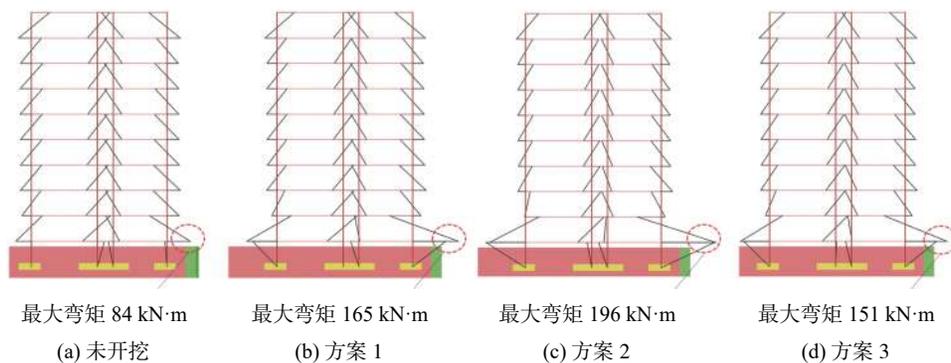


图8 既有建筑结构柱弯矩分布

综合分析三种不同施工方案中桩体最大水平位移、坑外最大地表沉降、既有建筑物最大倾斜率、建筑结构最大附加弯矩。先开挖近(北)侧基坑的方案效果在三种方案中最为不利,而先开挖远(南)侧基坑的方案与两侧同时开挖方案的效果类似。考虑到两侧深大基坑同时开挖需要同时占用大量人力和资源,在实际工程中难以实施,故可优先选择方案1。

#### 4 结论

(1)既有浅基础建筑物的存在会影响基坑开挖引起的坑外地表沉降曲线,基坑的开挖会引起坑外地表不同区域产生不同的沉降导致建筑物上部结构出现倾斜,引起建筑物基础下的地基附加应力重分布,进而加剧建筑物基础差异沉降。因此,在近邻建筑物基坑开挖对地表沉降预测计算时有必要考虑建筑物与地基的共同作用。

(2)双侧基坑同时开挖对控制围护桩水平位移效果最好,首先开挖远侧基坑再开挖近侧基坑对坑外地表沉降和建筑物倾斜影响最小。因此合理制定基坑

开挖顺序能有效减小对地层和既有建筑物的影响。在考虑施工条件、基坑开挖对地层及建筑物变形影响等因素的情况下,应优先施工远侧基坑,后施工近侧基坑。

#### 参 考 文 献

- [1] 耿晔宽,高芬芬,周成君. 深厚软土地区基坑大变形机理与控制对策研究[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(6): 313-316.
- [2] 韩健勇,赵文,关永平,等. 近接浅基础建筑物深基坑变形特性及关键参数[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2018, 39(10): 1463-1468.
- [3] 张治国,杨轩,赵其华,等. 浅基础框架建筑受邻近基坑开挖影响简化分析[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(S2): 224-227.
- [4] 郭延辉,王建国,高才坤. 昆明软土地区深基坑开挖对邻近地铁隧道稳定性的影响[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(5): 254-260.

(下转第410页)