

基于有限元法对深基坑围护桩水平位移的分析

曹小兵¹, 周莉莉²

(1. 郑州中建建筑设计院, 河南 郑州 450004; 2. 郑州交通职业学院, 河南 郑州 450062)

摘 要:利用有限单元法,通过有限元程序来进行模拟计算。将所研究问题假定为平面应变问题;岩土体为理想弹塑性模型,采用平面四节点等参单元,遵循适于岩石的 Drucker - Prager 屈服准则;桩与岩土体之间通过设置接触单元来模拟基坑围护桩桩与岩土体的相互作用,重点分析建筑物与基坑的不同距离、基坑围护桩的刚度变化和围护桩底端土体物理力学参数变化时基坑开挖对围护桩变形的影响。

关键词:深基坑;近邻建筑物;数值模拟;变形;环境影响

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)04-0047-04

Analysis on the Horizontal Displacement of Bracing Pile for Deep Excavation Based on General Purpose FE Software/CAO Xiao-bing¹, ZHOU Li-li² (1. Zhengzhou Architectural Design Institute of CSECE, Zhengzhou Henan 450004, China; 2. Zhengzhou Jiaotong University, Zhengzhou Henan 450062, China)

Abstract: This paper studies the deformation of deep excavation in mountainous area of Guizhou. The finite element method and large finite element method program ANSYS10.0 are used to simulate and analyze excavation and adjacent buildings interaction. In this model, the study issue has been presumed as plane strain. Seemly, the soil is seemed as ideal elastoplastic model, and four - node equal-parameter element is used abiding by Drucker-Prager yield criteria of soil. At the same time, contact element is set between pile and soil to simulate the interaction. What is more, this paper has analyzed the effect of bracing pile deformation by excavating with different distances between excavation and adjacent buildings, the different stiffness of bracing system and physical mechanics parameter variation of soil at the pile bottom.

Key words: deep excavation; adjacent structure; numerical simulation; deformation; environmental effect

随着我国社会和经济的迅速发展,城市面貌日新月异,大量的高层建筑如雨后春笋般不断涌现。尤其是近几年来,随着城市建设用地的紧张,城市发展模式向地下或空间发展成为一大趋势,由于建筑结构及使用功能上的要求,基坑开挖深度越来越深。随着城市建筑物和生命线工程(即水、电、路)以及光缆等各类地下管网的密集化,对深基坑开挖的要求也越来越严格,不仅要确保开挖基坑本身的安全与经济,而且还要考虑到周边临近建筑物的安全和各类线网的通畅。于是,严格控制基坑开挖引起的周边地面沉降与横向位移就成了首要的任务,基坑变形必须满足坑内、坑外周边环境两方面的控制要求^[1]。本文就基坑围护桩水平位移在不同条件下的变化做一些分析,为基坑工程设计、施工提供依据。

1 计算模型及参数取值

1.1 计算模型及简图

本基坑模型来源于实际工程,但略有修改。基

坑尺寸为 60 m × 40 m × 10 m (长 × 宽 × 深),基坑采用预应力锚索排桩支护。

预应力锚索采用 3 束 705 钢绞线。锚索支护的设置是按照工程实际,在距地表以下 3.6 m 处设置预应力锚索一排,行间距为 2 m,锚索与水平面成 25° 倾角;锚索长 22.4 m。

围护桩为圆形钢筋混凝土桩,桩直径 1000 mm,桩长 14 m,嵌入白云岩深度 4 m。

在数值模拟计算中,把建筑物对基坑的作用近似等效为均布荷载施加在基坑顶面。

对于基坑开挖问题,其真实的边界条件应是无穷远处的位移为零,为了简化模型,取一定的范围进行数值分析。由文献[2]知,当基坑开挖宽度大于或等于基坑开挖深度 H 时,开挖面后的边界取在 $(2 \sim 3)H$ 处,下边界在开挖底面以下 $0.5H$ 处,再扩大计算范围对基坑变形没有显著的影响。在数值计算中,模型尺寸为 160 m × 34 m,为了简化模型,利用其对称性,取其二分之一进行计算,即 80 m × 34 m。计算边界离基坑边 60 m (大于 $3H$),基坑底面边界

收稿日期:2008-10-21

作者简介:曹小兵(1982-),男(汉族),河南信阳人,郑州中建建筑设计院助理工程师,岩土工程专业,硕士,研究方向为高层建筑结构设计,河南省郑州市金水区城东路 108 号, cxb305@163.com。

取离基坑底 24 m(大于 0.5H)。

边界条件为:模型底面边界认为是静止不动的,对称轴边采用对称约束,开挖面后的边界采用水平方向的约束。

基坑模型简图如图 1 所示。

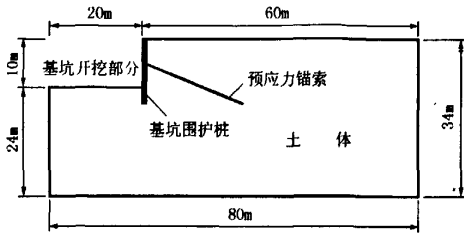


图1 基坑模型示意图

1.2 计算模型参数取值

场区内岩土构成依次由杂填土、红粘土(包括硬塑红粘土层、可塑红粘土层以及软塑红粘土层)、白云岩组成。岩土体的物理力学指标见表 1。

表 1 岩土体的物理力学指标

土层	厚度 /m	弹性模量/MPa	泊松比 μ	c /kPa	φ /(°)	γ /(kN · m ⁻³)
杂填土	1.6	3.00	0.23	10	4	18.50
红 硬塑	5	4.33	0.37	45	9	17.60
粘 可塑	8.8	2.4	0.32	40	8	17.20
土 软塑	0.4	3.07	0.30	25	5	16.90
白云岩	-	3500	0.25	670	35	25.00

预应力锚索则采用的是 3 束 7 ϕ 5 钢绞线,弹性模量 E 为 200 GPa,每束直径为 $1.374 \times 10^{-4} \text{ m}^2$,泊松比 μ 为 0.3,初始应变为 3.116×10^{-3} 。锚索与水平面成 25°倾角;锚索长 22.4 m。

圆形钢筋混凝土桩的直径为 1000 mm,桩长为 14 m,弹性模量 E 为 28 GPa,泊松比 μ 为 0.2,密度为 2500 kg/m³。

预应力锚索、钢筋混凝土桩各参数取值详见表 2。

表 2 预应力锚索、钢筋混凝土桩各参数取值

土层	弹性模量 E /MPa	泊松比 μ	γ /(kN · m ⁻³)
抗滑桩	28000	0.20	25.00
锚索	200000	0.30	78.00

2 计算模型及参数取值

2.1 建筑物位置变化对基坑围护桩水平位移的影响

从位移云图及图 2 可以看出:

(1)随着建筑物与基坑距离的增加,基坑开挖对围护桩的水平位移影响逐渐减小。

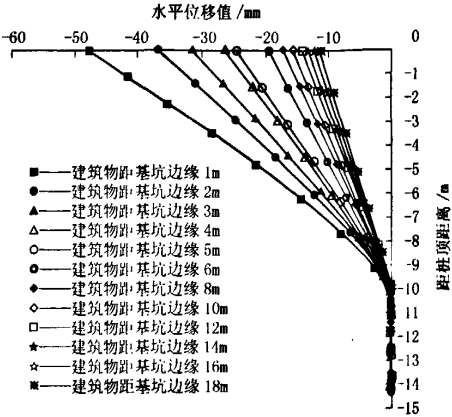


图2 围护桩水平位移随建筑物位置变化图

(2)当建筑物与基坑距离在 8 m 以内变动时,建筑物荷载对围护桩的水平位移影响较大,围护桩的最大水平位移发生在建筑物距基坑 1 m 处,最大位移为 48.05 mm,建筑物距基坑 2、3、4、5、6、8 m 对应围护桩的位移分别为 36.80、31.67、26.50、24.67、19.60、17.12 mm;当建筑物与基坑距离在 8 m 以外变动时,建筑物距离的改变对围护桩水平位移的影响已不明显,建筑物距基坑 10、12、14、16、18 m 时对应围护桩的位移分别为 15.62、14.29、13.28、12.32、11.40 mm。无建筑物时,基坑围护桩的最大水平位移为 4.56 mm。

(3)由于围护桩嵌入比较新鲜的白云岩层,围护桩桩底基本无侧移。

2.2 基坑围护桩刚度变化对其水平位移的影响

从位移云图及图 3 可以看出:

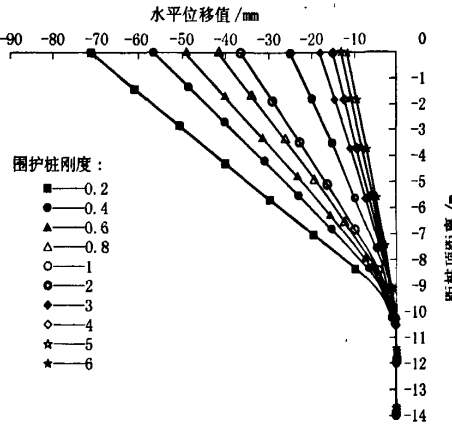


图3 围护桩水平位移随自身刚度变化图

(1)随着围护桩刚度的增加,基坑开挖对围护桩的水平位移影响逐渐减小。

(2)当围护桩相对刚度在 3 以下变化时,基坑

开挖对围护桩的水平位移影响较大,围护桩桩顶的最大水平位移发生在围护桩相对刚度为 0.2 处,最大位移 71.30 mm,围护桩相对刚度为 0.4、0.6、0.8、1、2、3 对应围护桩桩顶位移分别为 57.00、49.69、41.78、36.80、25.05、18.08 mm;当围护桩相对刚度在 3 以上变化时,基坑开挖对围护桩的水平位移影响不明显,围护桩相对刚度为 4、5、6 对应围护桩桩顶位移分别为 15.39、13.34、11.87 mm。

(3) 由于围护桩嵌入比较新鲜的白云岩层,即使围护桩刚度很小,围护桩桩底也基本无侧移。

2.3 围护桩底端土体变化对其水平位移的影响

由于此工程中围护桩底端土体为比较新鲜的白云岩,物理力学参数较好,在上述计算过程中,围护桩嵌岩段部分基本无侧移,这对于基坑支护体系来说,是一种非常好的状态,但有时也会遇到围护桩底端土体性质较差的情况,导致围护桩底端侧移很大,对基坑周围环境不利。因此,下面这部分内容将是分析围护桩底端变化对基坑变形及建筑物变形的影响。围护桩底端土体是指基坑开挖面以下那部分土层的土体,如图 4 斜线部分。

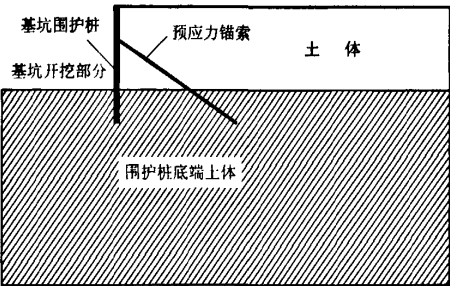


图 4 基坑围护桩底端土体示意图

围护桩底端土体物理力学参数是参考有关文献^[3,4],选取有代表性的几组参数,进行计算分析,具体参数详见表 3。

表 3 围护桩底端土体的物理力学指标

土层名称	弹性模量 E/MPa	泊松比 μ	c /kPa	φ /(°)	γ /(kN·m ⁻³)	参考土层名称
1 号土体	3.07	0.30	25	5	16.90	软塑红粘土
2 号土体	60	0.28	50	18	19.80	强风化岩石
3 号土体	189	0.27	113.5	22.5	20.00	中风化岩石
4 号土体	500	0.27	113.5	22.5	20.00	中风化岩石
5 号土体	1000	0.25	670	35	25.00	新鲜岩石
6 号土体	2000	0.25	670	35	25.00	新鲜岩石
7 号土体	3500	0.25	670	35	25.00	新鲜岩石
8 号土体	4000	0.25	670	35	25.00	新鲜岩石
9 号土体	20000	0.24	900	38	26.00	新鲜岩石

数值计算中,围护桩底端土体以上的土层及其参数不变,与表 1 相同,即从上至下依次为杂填土层、硬塑红粘土层、可塑红粘土层、软塑红粘土层。

当围护桩底端土体为软塑红粘土时,软塑红粘土对围护桩已基本没有锚固作用,围护桩的变形很大(围护桩最大水平位移达 0.7 m,围护桩嵌入土层部分最小位移也达 0.59 m,建筑物总沉降已近 1 m),此时基坑围护结构已失去作用。《贵州建筑岩土工程技术规范》(DB 22/46-2004)第 8.3.1 条规定:基坑围护桩桩底土质松软、压缩性较高时不宜采用排桩式锚杆(锚索)支护。故下文分析时此种情况已不再考虑。

从位移云图及图 5 可以看出:

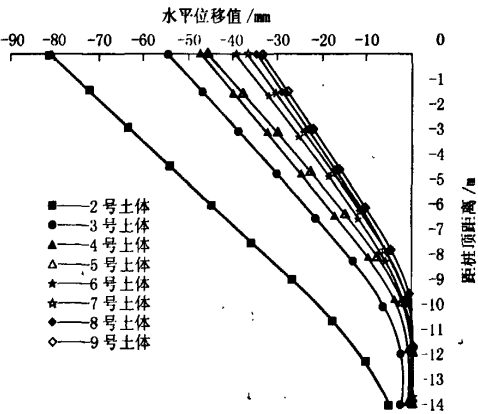


图 5 围护桩水平位移随围护桩底端土体变化图

(1) 围护桩底端土体从 1~9 号土体的变化过程中,各种土体的弹性模量依次增大,围护桩的水平位移逐渐减小,围护桩嵌岩部分的位移也越来越小,围护桩底端土体对围护桩的约束作用越来越强。

(2) 当围护桩底端土体从 2~6 号土体变化时,围护桩桩顶水平位移递减速度较快,分别为 81.43、54.94、47.52、45.74、39.29 mm;当围护桩底端土体从 7~9 号土体变化过程中,围护桩的水平位移变化不大,其对应的围护桩桩顶位移分别为 36.80、34.70、34.08 mm。

此部分的内容主要是针对围护桩底端土体弹性模量的大小对桩顶位移的影响进行研究的,从上面的计算结果分析得到:当围护桩底端土体弹性模量小于 2×10^9 Pa(6 号土体)时,基坑开挖对围护桩的水平位移影响较大;当围护桩底端土体弹性模量大于 2×10^9 Pa 时,基坑开挖对围护桩的水平位移影响不明显。

3 结论

本文采用二维有限元数值计算方法,分别研究了在建筑物距离的变化、桩的刚度变化、不同桩端土体的情况下基坑开挖对基坑及建筑物变形的影响,得出以下结论。

(1)本文在总结前人研究基坑变形的基础上,在模拟过程中在桩土之间加上了接触单元,避免了桩侧与桩周土间无相对位移。大量工程实践表明,桩侧和桩周土之间不仅能传递摩阻力,而且它们之间还有较大的相对位移^[5]。同时参考文献[6]、[7]等,在桩与桩侧土界面设置接触单元,能较好地模拟桩与土之间的剪力传递和相对位移,反映桩土共同工作的真实性态。因此该计算模型是行之有效的。另外,该计算模型采用平面四节点单元,对有限元计算的收敛速度有很大的提高。

(2)本文使用 ANSYS - APDL (Ansys Parameter Design Language) 参数化语言编制计算程序,操作简单,使用方便,大大提高了建模速度。ANSYS - APDL 参数化语言能灵活实现有限元分析的众多相关功能(如循环、表达式和函数等),为工程设计和数值分析提供了有力的开发平台和分析工具。

(3)建筑物位置变化对基坑围护桩水平位移的影响:当建筑物与基坑距离在 8 m (0.8H) 以内变动时,基坑开挖引起基坑侧向变形和建筑物沉降、倾斜非常明显。当建筑物与基坑距离在 8 m (0.8H) 以外变动时,基坑侧向变形和建筑物沉降、倾斜不甚明显。

(4)基坑围护桩刚度变化对其水平位移的影响:当围护桩相对刚度在 3 以下变化时,基坑开挖对基坑侧向变形和建筑物沉降、倾斜的影响非常明显;当围护桩相对刚度在 3 以上变化时,基坑开挖对基坑侧向变形和建筑物沉降、倾斜的影响不甚明显。

(5)围护桩底端土体变化对其水平位移的影响:当围护桩底端土体弹性模量小于 2×10^9 Pa 时,基坑开挖对基坑侧向变形和建筑物沉降、倾斜的影响较大;当围护桩底端土体弹性模量大于 2×10^9 Pa 时,基坑开挖对基坑侧向变形和建筑物沉降、倾斜的影响较小。

参考文献:

- [1] YB 9258 - 97, 建筑基坑工程技术规范[S].
- [2] 陈进杰, 贾金青, 张明聚. 土钉支护工作性能参数分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 618 - 622.
- [3] 叶琼瑶, 黄绍铿. 软岩嵌岩桩的模型试验研究[J]. 岩石力学与土工程学报, 2004, 23(3): 461 - 464.
- [4] 徐祯祥, 闫莫明, 苏自约. 岩土锚固技术与西部开发[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002. 350 - 357.
- [5] 简政, 刘用暖, 李九红. 桩 - 土三维等厚度接触单元模型及其工作性状[J]. 水利学报, 2002, (11): 113 - 118.
- [6] 刘玉涛, 徐伟. 考虑接触影响的超深嵌岩地下连续墙支护深基坑开挖模拟[J]. 结构工程师, 2004, (2): 51 - 54.
- [7] 齐良峰, 简浩, 唐丽云. 引入接触单元模拟桩土共同作用[J]. 岩土力学, 2005, 26(1): 127 - 130.
- [8] GB 50007 - 2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [9] 龚曙光, 谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

阿特拉斯·科普柯推出专为钻井承包商设计的新型移动式空气压缩机

本刊讯 2009年4月10日,阿特拉斯·科普柯为使钻井承包商在更快钻进速度下钻出孔深更深、孔径更大的井孔,推出了新型 35 bar (510 psi) “钻井专家”移动式空气压缩机。与其它移动式压缩机相比,“钻井专家”空气压缩机能提供更大的排气量和更高的空气压力,并同时具备高效节能、耗油率低的优点。

最新的“钻井专家”系列共有 2 种机型——XRY5 557 和 XRY5 577 (XRY5 1220 CD 7 和 XRY5 1260 CD 7),能提供 33 ~ 40.4 m³/min 的排气量。XRY5 577 (XRY5 1260 CD 7) 型号的压缩机同时引入了拥有专利的“钻井专家”完全可变电子调压系统,来确保对压力和流量的完全控制。“钻井专家”通过对压力和流量的灵活调节,能够轻易实现并提供 21 ~ 35 bar (2.1 ~ 3.5 MPa) 之间的精确压力值,亦可提供最大为 673 L/s 可调式流量输出。

由于没有手动调节阀和相应的调节管路,“钻井专家”可以节省高达 3% 的燃油消耗。

节能高效的螺杆主机:使用了全新设计的大排量高压螺杆压缩系统,与之前相比,可节约 4% 能源,降低泄漏风险,同时减少 15% 的推力负荷。该系统还优化了低温环境下的操作性能。全新的齿轮箱结构能减少轴承压力,增大螺杆工作范围,并节省能耗。改进后的润

滑油具备更长的使用寿命,并能提高轴承的效率。新机型同时提供撬装式、支架式和拖车式底盘供客户选择。

强劲稳定的 CAT 柴油发动机:最新机型安装有 429 kW/575 HP 的 Caterpillar C18 Acert T3 柴油发动机,专为重载连续工况设计,并且享有全球性的服务网络。XRY5 557 和 XRY5 577 (XRY5 1220 CD 7 和 XRY5 1260 CD 7) 都装有一个 975 L 或 257.6 美制加仑的油箱,可为撬装或支架型机组选择最大至 1550 L 或 409.5 美制加仑的油箱,来确保长时间的运行。还可选配机载电动燃油补给泵,以加快燃油补给速度,减少停机时间。

便利的维护保养:该款压缩机拥有集中排放保养点,使维护工作能快速顺利进行。可选配低压调节阀和排气口。配备的紧急停机开关,并且高效的发动机油过滤器能提高发动机寿命,提高发动机燃烧和功率输出效率;螺杆机油过滤器能提高螺杆寿命;超长寿命电池能提供卓越的电力供应。由于没有手动调节阀或压力调节管路,XRY5 577 (XRY5 1260 CD 7) 能避免任何由于环境温度过低而导致的问题,确保机组能在寒冷环境下正常运行。

其它改进:出气口配备标准滑阀;箱体内部照明灯;带可锁装置的标准电池开关;标准曲轴箱呼吸管过滤器;可选配遥控启动钥匙。