

深基坑开挖对武汉长江隧道影响数值模拟

邓 凯¹, 胡福洪², 陈建刚¹, 曾纪文², 贺 浩²

(1.湖北华滨置业有限公司,湖北 武汉 430072; 2.武汉地质勘察基础工程有限公司,湖北 武汉 430072)

摘要:以临近武汉长江隧道的华电集团华中总部研发基地基坑项目为研究对象,采用岩土、隧道结构专用有限元分析软件 MIDAS/GTS NX 对该基坑施工过程中的 9 个施工工况进行模拟,得到基坑开挖完成后的地层、连续墙、隧道变形情况以及基坑开挖前后的隧道应力情况,并进行分析,得出模型的建立是合理可行的,且基坑开挖、支护变形带动坑外土体位移,引起临近基坑侧隧道产生水平位移最大值为 4.17 mm;隧道的应力值与基坑开挖前的变化不大,在安全范围内。

关键词:深基坑;基坑开挖;长江隧道;数值模拟;变形;应力

中图分类号:TU753.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)12-0053-05

Numerical Simulation of Influence of A Deep Foundation Pit Excavation for Wuhan Yangtze River Tunnel/DENG Kai¹, HU Fu-hong², CHEN Jian-gang¹, ZENG Ji-wen², HE Hao² (1.Hubei Huabin Real Estate Co., Ltd., Wuhan Hubei 430072, China; 2.Wuhan Geological Prospecting Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430072, China)

Abstract: Taking some foundation pit project of huadian group huazhong headquarters R&D base adjacent to the Wuhan Yangtze River tunnel as the research object, the finite element analysis software MIDAS/GTS NX of rock and soil structure was used to simulate the nine construction conditions during the construction of the foundation pit. The deformation of formation, diaphragm wall, and tunnel after the completion of the foundation pit excavation and the tunnel stress before and after foundation pit excavation, were obtained and analyzed. The results show that it was reasonable and feasible to establish the model; the foundation pit excavation and support soil produced the soil displacement outside the pit which caused the maximum 4.17mm horizontal displacement of the tunnel near the foundation pit; the stress value of the tunnel and the change before the excavation of the foundation pit were not significant and within the safe range.

Key words: deep foundation pit; excavation of foundation pit; Yangtze River tunnel; numerical simulation; deformation; stress

1 工程概况

1.1 工程基本情况

华电集团华中总部研发基地项目位于长江一桥、长江二桥之间的武昌滨江商务区,临江大道以东、过江隧道以北。拟建项目临近武汉长江隧道,地下室外边线距离隧道结构净距离最近为 35.9 m,地下室基坑最深处为 23.4 m。基坑开挖临近的武汉长江隧道为盾构法施工段。拟建基坑距离隧道较近,且基坑深度临近隧道顶部。

1.2 工程地质条件

拟建场地属长江右岸一级阶地地貌,场地原为煤场,经人工整平,现地形较平坦,地面高程在 23.70~28.03 m(依孔口高程计),高差为 4.37 m。场地内分布的地层有人工填积(Q^{ml})层、第四系全新统冲积(Q^{al})层和志留系坟头组(S₂f)岩层。

根据岩土工程勘察报告,拟建场地区域内土层有①₁杂填土、③₁粉质粘土(可塑)、③₂粉质粘土(软塑)、④淤泥质粉质粘土(流塑)、⑤粉质粘土夹粉土、粉细砂(软塑)、⑥₁粉细砂(中密)、⑥₂粉细砂(密实)、⑧₁泥质砂岩(强风化)、⑧₂泥质砂岩(中风化)等,基坑土层参数如表 1 所示。

2 基坑支护设计

拟建项目地下室底板面标高为-18.800 m;底板底标高-19.900 m。其周边环境非常复杂,紧临长江,有重要的建筑物,有重要的公共交通设施,基坑支护设计需考虑变形、地下水控制、监测等重要技术要求必须满足隧道、堤防及周边管线和房屋的变形要求。根据工程的边环境、工程条件和地层情况,结合武汉地区很多成熟的基坑施工经验,经过多种

收稿日期:2018-08-15; 修回日期:2018-11-04

作者简介:邓凯,男,汉族,1970年生,硕士,湖北省武汉市武昌区积玉桥街办事处和平大道 336 号咸宁大厦 24 层。

通信作者:胡福洪,男,汉族,1989年生,工程师,硕士,岩土工程专业,主要从事地基基础设计及施工工作,湖北省武汉市武昌区八一路 463 号,964114961@qq.com。

表1 基坑土层参数

地层代号	岩土名称	天然重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	承载力特征值 f_{ak} / kPa	压缩模量 E_s / MPa	粘聚力 c_k / kPa	内摩擦角 $\varphi_k / (^\circ)$
① ₁	杂填土	19.00			8	18
③ ₁	粉质粘土	19.10	130	5.5	20	11
③ ₂	粉质粘土	18.40	90	4.0	17	9
④	淤泥质粉质粘土	18.20	80	3.5	15	7
⑤	粉质粘土夹粉土、粉细砂	18.50	110	5.5	20	10
⑥ ₁	粉细砂	19.50	180	17.0	0	33
⑥ ₂	粉细砂	20.00	270	25.0	0	36
⑧ ₁	泥质砂岩	22.60	500	(44.0)		
⑧ ₂	泥质砂岩	25.37	(1200)	不可压缩层		

方案比选,对地下室基坑支护采用“二墙合一”地下连续墙方案。地连墙同时兼做地下室外墙,墙厚1.0m;设置3层临时水平钢筋混凝土内支撑。如图1所示:地下连续墙采用嵌岩落底式地连墙,在连续墙外围墙段接头处设置高喷止水,隔断基坑与周边地下水

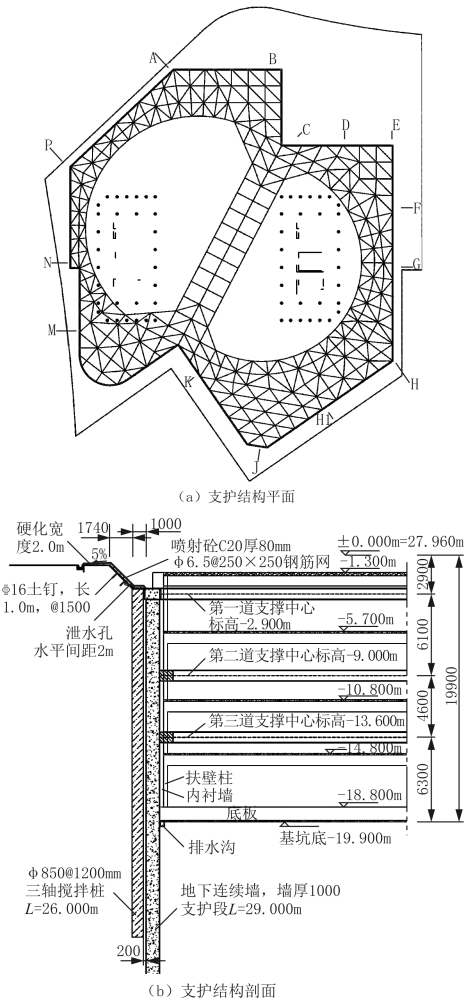


图1 基坑支护结构

的联系。同时设置一定数量的备用降水井以疏干基坑内积水和作为应急之用。基坑采用的是全落底封闭式围护结构,降水对基坑及隧道变形影响不大,未考虑降水井的影响。

3 模型的构建

3.1 模型的选取与建立

本次采用岩土、隧道结构专用有限元分析软件MIDAS/GTS NX进行三维数值模拟计算分析拟建项目基坑施工对已建长江隧道的影响,隧道结构管片连接采用壳弹簧模型。

由于岩土材料物理力学特性的随机性和复杂性,要完全模拟岩土材料的力学性能和严格按照实际的施工步骤进行数值模拟是非常困难的。在建模和计算过程中,应考虑主要因素,忽略次要因素,结合具体问题适当简化。在数值模拟中假设围岩土体材料为均质、各向同性的连续介质,假设其为理想弹塑性材料。

根据地质勘察报告,计算模型的相关参数如表2所示。

表2 基坑土层的材料参数

地层岩性或材料	容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ MPa	泊松比	内摩擦角/ ($^\circ$)	粘聚力/ kPa
① ₁ 杂填土	19.00	2.0	0.47	18	8
③ ₁ 粉质粘土	19.10	16.5	0.42	11	20
③ ₂ 粉质粘土	18.50	12.0	0.41	9	17
④ 淤泥质粉质粘土	18.40	10.5	0.39	7	15
⑤ 粉质粘土夹粉土、粉细砂	18.70	16.5	0.37	10	20
⑥ ₁ 粉细砂	19.80	51.0	0.33	33	0
⑥ ₂ 粉细砂	20.50	75.0	0.33	36	0
⑧ ₁ 泥质砂岩	22.90	132.0	0.30	40	100
⑧ ₂ 泥质砂岩	25.54	1000.0	0.25	42	300
钢筋混凝土支撑 C30	25.00	30000.0	0.20		
地下连续墙/隧道管片结构 C40	25.00	32500.0	0.20		
三轴搅拌桩 C20	20.00	25500.0	0.20		
立柱桩 C25	25.00	28000.0	0.20		
格构柱	20.00	25500.0	0.20		
地下室桩 C50	25.00	34500.0	0.20		
筏板 C40	25.00	32500.0	0.20		

根据工程经验和理论分析,考虑到基坑开挖面积较大影响范围,所取模型范围为 $400 \text{ m} \times 300 \text{ m} \times 60 \text{ m} (X \times Y \times Z)$ 。在此区域模拟土层,通过激活和钝化开挖区的土体单元、衬砌单元、围护桩及支撑,模拟基坑及隧道施工过程,整个三维有限元计算模

型共 676996 个单元,131537 个节点,本结构模型采用摩尔库伦模型。根据实际情况建立了整体模型(图 2),并模拟了围护结构及基坑支撑与隧道的关系(图 3、图 4)。

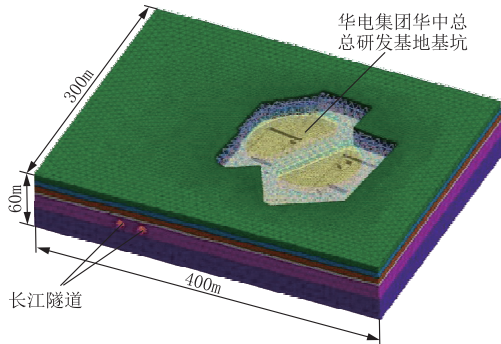


图 2 三维数值计算整体模型

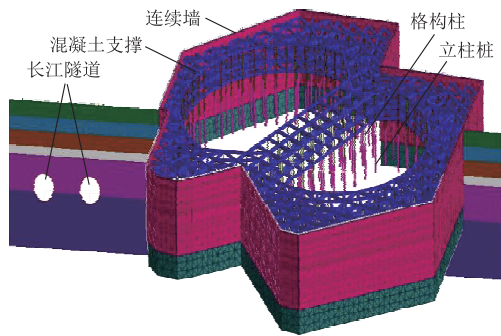


图 3 模型围护结构与隧道关系

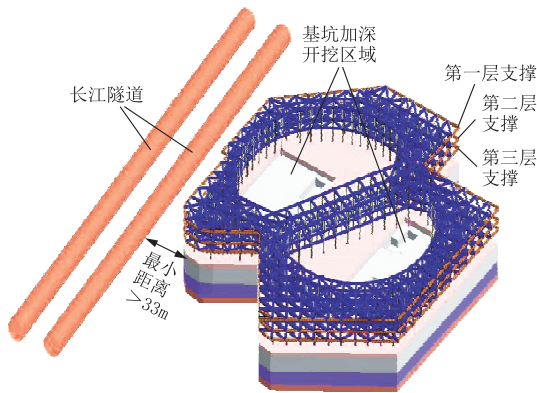


图 4 模型基坑支撑与隧道关系

3.2 施工工况模拟

- 工况 1:初始地层应力平衡;
- 工况 2:隧道开挖及拼装管片(位移清零);
- 工况 3:施做连续墙、三轴搅拌桩及立柱桩格构柱结构;

工况 4:开挖基坑土体到第一层支撑位置,开挖厚度 2.9 m,施加冠梁及第一层支撑;

工况 5:开挖基坑土体到第二层支撑位置,开挖厚度 6.1 m,施加二层支撑;

工况 6:开挖基坑土体到第三层支撑位置,开挖厚度 4.6 m,施加三层支撑;

工况 7:开挖基坑土体到坑底 20.4 m 深度,开挖厚度 6.8 m;

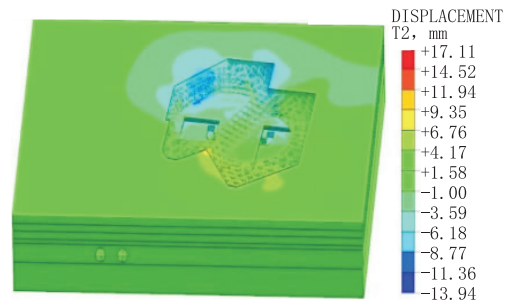
工况 8:开挖基坑中部加深区域土体;

工况 9:施做基坑底部筏板,施加底部荷载。

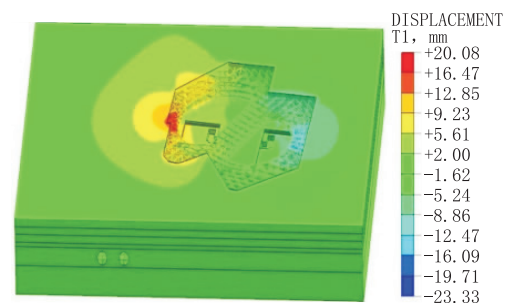
3.3 基坑开挖后对长江的影响

3.3.1 基坑开挖后长江隧道的变形

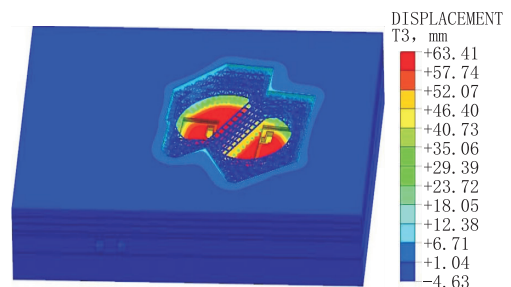
按照模拟施工步骤,采用冻结单元的方法,模拟土体的开挖采用激活单元的方法,模拟结构的施做,并在基坑的开挖过程中,分层开挖,分步释放,避免一次开挖引起过大的变形,得到基坑开挖完成后的地层整体变形如图 5 所示,连续墙围护整体变形如图 6 所示,长江隧道结构整体变形如图 7、图 8 所示。



(a) 土层X变形



(b) 土层Y变形



(c) 土层Z变形

图 5 拟建项目基坑开挖后土层整体水平变形

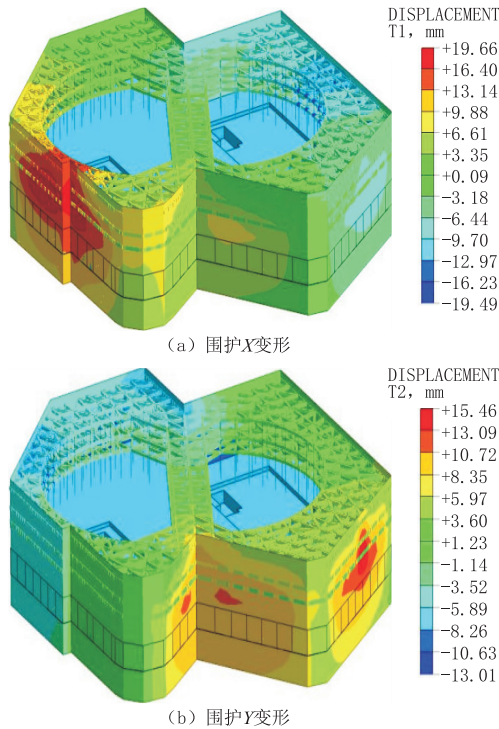


图6 基坑开挖后连续墙围护水平变形

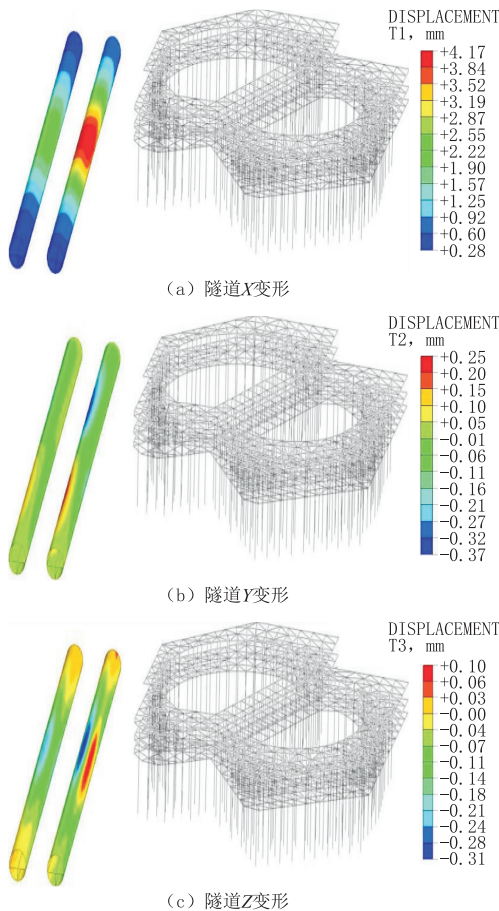


图7 基坑开挖后长江隧道结构水平变形

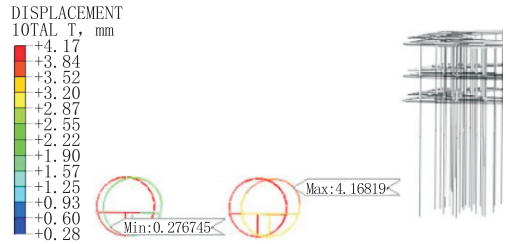


图8 基坑开挖后长江隧道结构水平整体变形

由图5~8可知,拟建项目基坑施工过程中,因支护变形带动坑外土体位移,会引起临近隧道产生水平位移和竖向位移。项目基坑开挖完成后的地层最大水平位移 23.33 mm,位于坑底加深附近基坑侧面,竖向最大位移 63.41 mm,竖直向上,位于坑底;项目基坑开挖完成后的连续墙最大水平位移 19.6 mm,位于坑底加深附近,距离隧道最近的地方;项目基坑开挖完成后的隧道最大水平位移 4.17 mm,位于隧道与基坑距离最近的位置,隧道结构向基坑方向变形。

考虑地下工程建设施工的不确定性,且项目施工期隧道已通车运营,隧道安全责任重大,建议拟建项目基坑施工加强隧道监控测量措施,保证运营的安全。

3.3.2 基坑开挖后长江隧道的应力

考虑到基坑开挖会引起隧道周围应力的变化,影响长江隧道的应力情况,所以有必要分析基坑开挖前后的隧道应力情况。模型计算得到的隧道弯矩和轴力如图9~10所示。

由图9~10可知,基坑开挖对盾构隧道结构力也存在一定的影响。长江隧道在基坑开挖前的最大弯矩为 472.18 kN·m,最大轴力为 3439.74 kN;出入段线隧道的最大弯矩为 476.84 kN·m,最大轴力为 3436.14 kN。可以发现,隧道结构由于基坑开挖的原因发生了变形,这种变形在隧道结构内引起的是应力的变化和改变,对比隧道建成后的管片内力和基坑开挖完成后的内力可以发现,由于基坑的开挖,长江隧道的结构弯矩有所增加,轴力有所减小,但改变值都比较小,所以对隧道结构的裂缝发展影响不大。

4 结语

(1)考虑地下工程建设施工的不确定性,且项目施工期隧道已通车运营,隧道安全责任重大,建议拟建项目基坑施工加强隧道监控测量措施并制定基坑

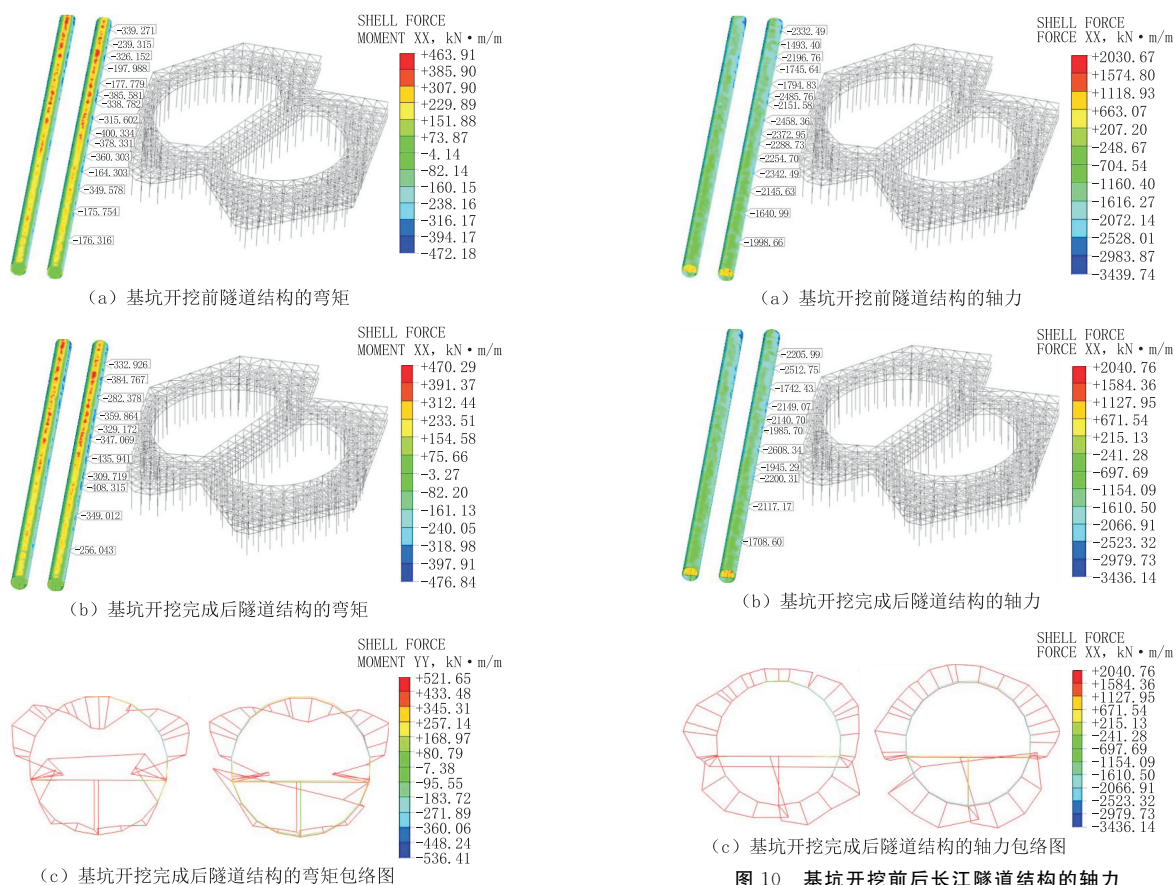


图 9 基坑开挖前后长江隧道结构的弯矩

图 10 基坑开挖前后长江隧道结构的轴力

施工的风险评估方案和应急预案,以保证基坑施工的顺利进行以及隧道通车运营的安全。

(2) 拟建项目紧邻武汉长江隧道武昌岸盾构段,地下室主体结构距隧道结构最小净距 35.9 m,基坑坑底标高与隧道顶标高最小净距 3.6 m。根据对两者的相互影响分析,在采取足够安全措施,保证施工及运用期间武汉长江隧道正常运营的前提下,该工程方案可予实施。即当隧道距离基坑约 1.5 倍开挖深度范围外,当采取合理的支护方式,可以基本不考虑基坑开挖对隧道的影响。

(3) 通过三维数值计算分析,项目基坑施工过程中,因基坑开挖、支护变形带动坑外土体位移,引起临近基坑侧隧道产生水平位移最大值为 4.17 mm;隧道的应力值与基坑开挖前的变化不大,在安全范围内。

总之,拟建项目基坑工程在该设计情况及正常施工情况下不会影响长江隧道结构安全和正常使用。

参考文献:

[1] 张来安.复杂条件下基坑对周边环境及支护结构的影响分析[J].施工技术,2018,47(8):83-86.

[2] 李立新,胡雪君.长江第一隧——武汉长江隧道的建设过程[J].百年潮,2016,(8).

[3] 赵中棕.基于 MIDAS-GTS 基坑支护三维数值模拟分析[D].辽宁大连:辽宁师范大学,2014.

[4] 何明.基于 Midas GTS NX 软件的基坑支护数值模拟研究[J].工程技术研究,2017,(10).

[5] 朱瑞钧,高谦,齐干.深基坑支护桩周边建筑物沉降分析[D].重庆:重庆科技大学,2006.

[6] 张尚根,陈志龙,曹继勇.深基坑周围地表沉降分析[J].岩土工程技术,1999,(4):7-9.

[7] 杨春柳.地铁车站超深基坑围护结构变形监测结果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):47-51.

[8] 尤弋,江南宁.基坑开挖引起周围管线位移分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):78-82.

[9] 陈卫华,胡福洪,陈锋.基于边坡稳定性计算方法比较分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(9):71-74.