

徐州地铁 1 号线临河车站基坑的变形特性研究

张杰¹ 张礼仁² 张绍华¹

(1. 江苏省交通规划设计院股份有限公司, 江苏南京 210005;

2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北武汉 430071)

摘要: 以徐州市轨道交通 1 号线为工程背景, 针对学院东路站深基坑临河产生的偏压荷载对支护结构变形的作用, 采用有限元 Midas 软件, 对其分步开挖进行了数值模拟, 侧重分析了对称荷载和偏压荷载下的基坑变形差异, 并探讨了临河距离对基坑变形的影响。研究表明: 临河引起的偏压荷载不仅会引起基坑最大水平位移的增加, 同时存在着向临河侧整体倾覆的趋势, 威胁基坑安全, 但临河引起的偏压荷载效应仅在基坑开挖深度较大时方能体现。临河越近, 基坑两侧水平位移差值随基坑临河距离呈指数变化关系, 临河越远(1H), 基坑两侧水平位移差值随基坑临河距离变化趋于平缓。

关键词: Midas 软件; 基坑; 临河距离; 变形

中图分类号: TU 443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-431X(2015) S2-0113-05

A study on deformation characteristics of foundation pit for Xuzhou metro station near the river

Zhang Jie¹ Zhang Liren² Zhang Shaohua¹

(1. Jiangsu Province Communications Planning and Design Institute Limited Company, Nanjing 210005, China;

2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: This paper investigated deformation characteristics of a foundation pit near a river excavated for a subway station of No. 1 line in Xuzhou. Finite element method, i. e. software Midas, was used to simulate stepped excavation and bias loads imposed on one side of the foundation pit along the river. Deformations of supporting structures for the pit were calculated. The effect of distance between the pit and the river was discussed. Studies show that bias load will induce horizontal displacements and may result in general failure towards the river especially in deep excavation. The more close the foundation pit to the river, the greater difference of horizontal displacement on both sides of the pit. If the pit is far from the river, i. e. more than 1 time of the pit depth, horizontal displacements on both sides are almost the same.

Keywords: Midas software; foundation pit; over-river distance; deformation

E-mail: 523812168@qq.com

近几年,城市轨道交通在我国迅速发展,城市轨道交通以其用地省、运能大成为了城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统,城市轨道交通已被称为“城市交通的主动脉”^[1]。

地铁车站建设的周边环境错综复杂且干扰因素较多,对基坑安全设计及施工提出了严峻的挑战。众所周知,基坑一侧临河开挖必会受到偏压荷载作用,而偏压荷载是一种对基坑围护极不利的因素。偏压荷载将严重影响车站围护结构、河岸边坡的受力和变形,使车站深基坑两侧出现非对称变形,易造成基坑结构的失稳,大大降低地铁车站的使用寿命^[2-3]。

目前,很多学者研究了偏压荷载对基坑的影响,并已取得一定的成果。林刚等^[4]模拟了不平衡堆载作用下基坑支护结构的内力和变形,得出了在不平衡堆载情况下,基坑两侧围护结构内力、位移都存在较大差异;董瑶瑶^[5]介绍了两侧不对称基坑围护结构的计算方法;熊楚炎等^[6]探讨了临河基坑设计方法及施工注意事项;李志高等^[7]分析了邻近地铁车站基坑开挖位移传递规律;方明^[8]研究了软土地区土压力不平衡基坑的变形特点;舒进等^[9]讨论了合肥临河地铁车站深基坑变形规律。但目前研究主要采用平面应变的方式,偏压荷载下基坑开挖的三维模型比较少见。同时,研究发现,二维分析和三维分析存在一定区别。Chew 等^[10]对内撑式支护结构进行了二维和三维有限元计算比较,认为支护结构变形表现出了明显的空间

作者简介:张杰,硕士

收稿日期:2015-03-10

效应; Hong 等^[11]针对排桩式围护结构基坑,对二维和三维有限元分析结果进行了对比; Faheem 等^[12-13]用有限元法对软土地区基坑的坑底稳定性进行了二维和三维的分析。

针对这一情况,本文以徐州地铁 1 号线学院东路站为工程背景,运用 Midas 软件模拟了三维情况下临河基坑开挖变形的规律。笔者探讨了基坑开挖深度和临河距离对围护结构侧向水平变形的影响,这对指导选择合适的车站方位、控制基坑施工过程中围护结构局部变形、提高基坑安全等具有十分重要的工程价值。

1 工程概况

徐州地铁 1 号线学院东路站位于和平大道与学院

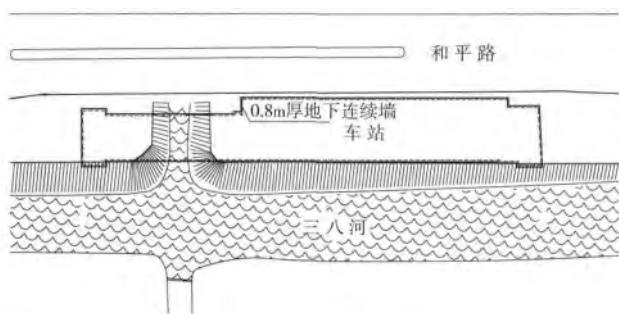


图 1 车站基坑平面布置图

Fig.1 Station foundation pit plan layout diagram

路交叉口西侧绿地内,沿和平大道与三八河之间绿化带东西向布置。车站北侧邻和平大道,南侧紧贴三八河(河道底宽 6 ~ 11m,水位高 2 ~ 4m)。车站总长 262.2m,总宽 19.7 ~ 26.5m,为地下两层岛式站台车站,车站具体位置布置如图 1 所示。

学院东路站基坑宽度约 20.0m,标准段开挖深度约 15.0m,基坑支护结构采用 800mm 厚地下连续墙,插入土体深度为 19.0m。设置 3 道内支撑,第一道为 800mm × 800mm 钢筋混凝土支撑,位于墙顶,水平间距为 9.0m,其余均采用 $\phi 609$ mm,厚度 $t = 16$ mm 的钢支撑,分别位于距墙顶 6.4m、11.4m 的位置,水平间距为 3.0m。图 2 为车站基坑支撑及三八河位置剖面图。

根据地质勘测结果,基坑土层从上到下依次为杂填土 1-1 层、黏土 2-3 层、黏土 5-3-4 层,中风化石灰岩 11-1-3 层,各土层的物理力学参数如表 1 所示。

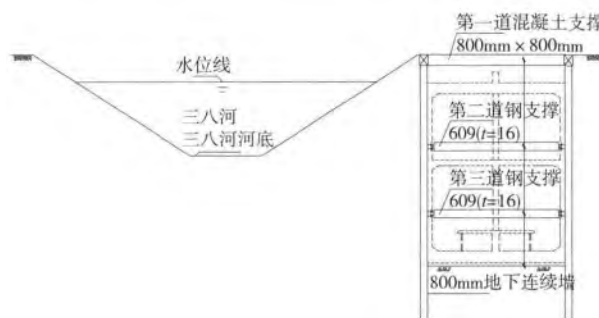


图 2 车站基坑支撑及三八河位置剖面图

Fig.2 The location cross-sectional view of foundation pit supporting and thirty-eight river

表 1 土体物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of the soil

土层名称	厚度 (m)	容重 (kN/m ³)	黏聚力 (kN/m ²)	摩擦角 (°)	弹性模量 (kN/m ²)	泊松比	初始孔隙比 e ₀	侧压力系数 K ₀
1-1 填土	2.0	17.2(18.2)	15.0	10	6100	0.35	0.988	0.47
2-3 黏土	3.0	18.8(19.8)	30.0	10	6900	0.33	0.975	0.51
5-3-4 黏土	10.0	19.3(20.3)	71.0	13	15400	0.31	0.801	0.58
中风化石灰岩	25.0	20.6(21.6)	100.0	50	1500000	0.30	0.376	0.36

注: 容重括号内数值表示饱和容重。

2 对称荷载和偏压荷载下的基坑变形特性

2.1 计算模型和计算参数

车站基坑是一狭长方体,为提高计算效率,模型取长度一半。为分析偏压荷载对车站基坑影响效应,本文分别建立两种模型:不存在河道的对称荷载模型(图 3)和以学院东路站为背景的临河偏压模型(图

4)。

基坑临河距离为 1m,开挖深度为 15m。土体用体单元模拟,钢支撑、钢筋混凝土撑用梁单元模拟,地下连续墙用板单元模拟,通过析取方式耦合支护结构与土体之间的变形协调,初始水位为地下 2m。

土体的计算参数如表 1 所示,支撑、墙单元主要计算参数见表 2。

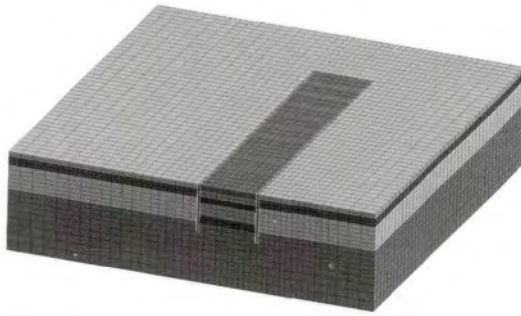


图 3 对称荷载几何模型

Fig.3 Symmetrical load geometry

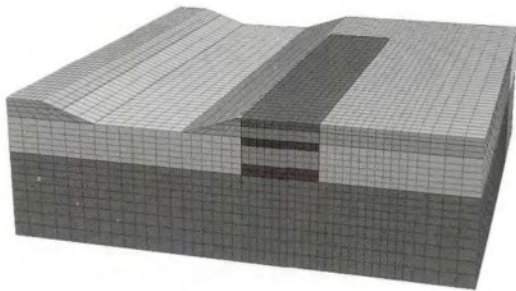
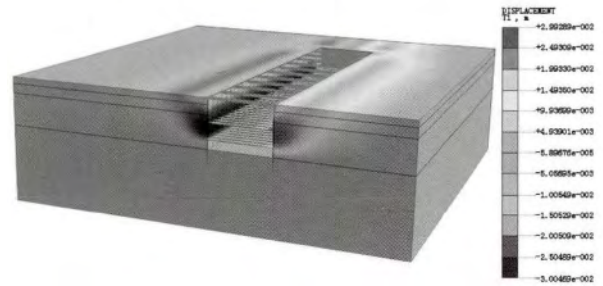


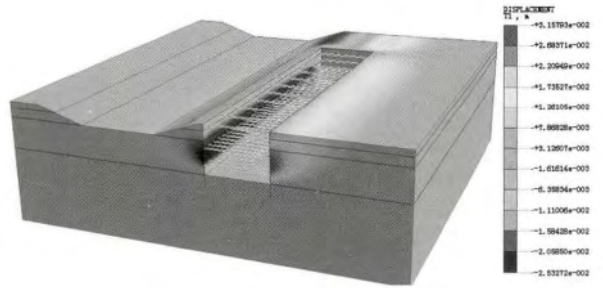
图 4 偏压荷载几何模型

Fig.4 Bias load geometry

载对基坑的影响作用具有十分重要的工程意义。



(a) 对称荷载



(b) 偏压荷载

图 5 基坑水平位移云图

Fig.5 Foundation pit horizontal displacement cloud diagram

表 2 地下连续墙特性

Table 2 Diaphragm wall characteristics

围护形式	弹性模量(kPa)	等效厚度(m)	重度(kN/m ³)	泊松比
地下连续墙	26790000	0.8	25	0.3

表 3 支撑特性

Table 3 Support characteristics

支撑形式	弹性模量(kPa)	泊松比	水平间距(m)
混凝土支撑	30000000	0.2	9
钢支撑	210000000	0.3	3

2.2 计算结果分析

图 5 为模型开挖到坑底的水平侧向变形云图。从图 5(a) 可知,模型两边的侧向变形是对称的,基坑两侧水平位移形式均是中间大、两端小,最大水平位移为 3cm。而从图 5(b) 可看出,基坑两侧水平位移显然是不对称的,背河侧水平位移明显小于向河侧。同时,偏压荷载作用下,向河侧最大水平位移会有所增加,由原来的 3cm 变为 3.16cm;而背河侧最大水平位移会有所减小,由原来的 3cm 变为 2.53cm。

综上所述,基坑临河所引起的偏压荷载对基坑是十分不利的,一方面会引起基坑最大水平位移的增加,另一方面会存在基坑向临河侧整体倾覆的趋势,从而威胁基坑安全。所以,研究临河情况下的偏压荷

3 开挖深度对偏压荷载下的基坑变形特性的影响

图 6 为基坑两侧水平位移差值随基坑深度变化图。从图 6 可知,当基坑开挖深度较小即 2m 时,临河产生的非对称荷载对基坑变形影响不大,基坑两侧水平变形基本一致,仅相差 0.15mm。当基坑开挖到 7m 时,基坑两侧水平位移的非对称性并没有出现加强趋势,相差量仍 0.15mm。当基坑开挖到 12m 时,基坑两侧水平位移出现明显非对称性,相差量变为 4.17mm。基坑开挖到 15m 时,基坑两侧水平位移的非对称性进一步增强,相差量变为 6.25mm。

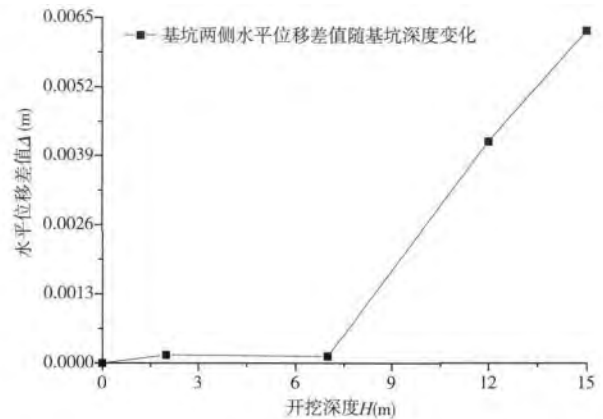


图 6 基坑两侧水平位移差值随基坑深度变化图

Fig.6 Horizontal displacement difference on both sides of foundation pit with its depth change diagram

综上所述,当基坑开挖深度较小,未达到一定深度时(小于7m),临河所引起的偏压荷载对基坑的影响非常有限,基本可忽略不计。但当基坑开挖深度较大(大于7m),临河所引起的偏压荷载对基坑的影响会突然迅速增强,且随着深度增加,影响越来越强。

所以,对于小于7m开挖深度的基坑,一般可忽略临河产生的偏压荷载的影响。但当开挖深度大于7m时,临河产生的偏压荷载必须引起重视,并采取相对应的措施。

4 临河距离对偏压荷载下的基坑变形特性的影响

图7为基坑两侧水平位移差值随临河距离变化图。从图7可知,当基坑临河距离为1m时,临河产生的偏压荷载对基坑影响很大,基坑两侧水平变形差值达到6.25mm。将基坑移动到离河3m时,临河产生的偏压荷载对基坑的影响大大折减,基坑两侧水平变形差值减小到3.06mm。将基坑移动到离河分别为6m和9m,分析离河距离3m、6m、9m的基坑两侧水平变形差值发现,由3m变为6m时,基坑水平位移差值由3.06mm变为2.30mm,而离河6m变为9m时,基坑水平位移差值由2.30mm变为1.70mm。前者减小0.76mm,后者仅减小0.6mm。所以,相同的临河水平距离增量,前者产生的影响明显大于后者。

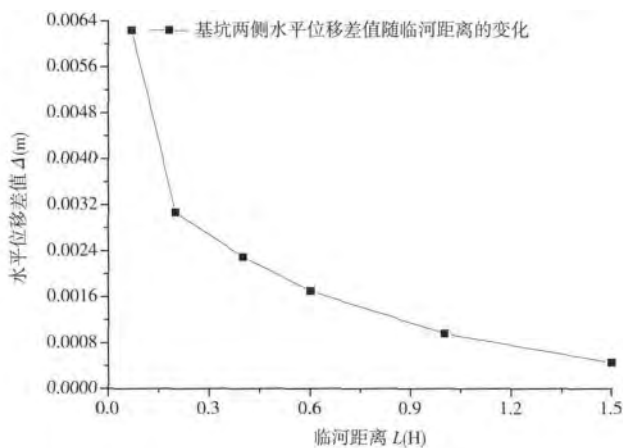


图7 基坑两侧水平位移差值随临河距离变化图

Fig.7 Horizontal displacement difference on both sides of foundation pit with river distance change diagram

当基坑临河距离达到1H(H为开挖深度)和1.5H时,临河产生的偏压荷载对基坑的影响已较小,基坑两侧水平变形差值分别为0.95mm和0.44mm。如式1相比于临河较近,当基坑临河较远时,移动基坑临河水平距离所产生的影响很有限。

$$\frac{0.95 - 0.44}{1.5H - 1H} = 0.068 \ll \frac{0.6}{9 - 6} = 0.2 \quad (1)$$

综上所述,当基坑临河距离较近时,增加基坑临河水平距离,基坑两侧水平位移差值呈指数降低,随着移动距离的增加,基坑本身临河距离也越来越远,在此基础上增加基坑与河的水平位移时,基坑两侧水平位移差值下降斜率趋于平缓。

所以,当车站站位离河较近时,应充分调动及调整相应条件,加大临河距离,以减小偏压荷载对基坑两侧水平变形的影响。

5 结论

对国内外有关临河产生偏压荷载对基坑变形的影响进行了研究,本文基于Midas软件着重分析了对称荷载和偏压荷载下基坑变形特性、开挖深度对偏压荷载下的基坑变形特性以及临河距离对偏压荷载下的基坑变形特性,现得出结论如下:

(1) 临河引起的偏压荷载对基坑是十分不利的,不仅会引起最大水平位移的增加,同时基坑存在向临河侧整体倾覆的趋势,降低基坑安全。

(2) 开挖深度较小的基坑,可以不考虑临河产生的偏压荷载作用。但对于开挖深度较大的基坑,临河产生的偏压荷载对基坑有严重影响,必须引起重视,并采取相对应的措施。

(3) 当基坑临河距离较近时,基坑两侧水平位移差值随基坑临河距离呈指数变化关系,当基坑临河距离较远时,基坑两侧水平位移差值随基坑临河距离变化趋于平缓。

上述分析是以徐州地铁1号线为工程背景的,基坑周围仅仅强调河道的作用,对其他因素(道路、管线等)并未列出,而实际基坑受多方面综合因素作用,变形特性必然也会发生变化,还需进一步研究和探讨。

参 考 文 献

[1] 高峰,梁波. 城市地铁与轻轨工程[M]. 北京:人民交通出版社,2002(Gao Feng,Liang Bo. Urban subway and light track[M]. Beijing:China Communication Press,2002(in Chinese))

[2] 伍永平. 巷(隧)道支护中的非对称荷载效应[J]. 西安公路交通大学学报,2001,21(4):55-57(Wu Yongping. Unsymmetrical load effect in tunnel support design[J]. Journal of Xi'an Highway University,2001,21(4):55-57(in Chinese))

[3] 江强,陈凌宇,王植林,等. 非对称荷载下深圆井逆作法施工技术[J]. 施工技术,2009,38(10):66-69(Jiang Qiang, Chen Lingyu, Wang Zhilin, et al. Reverse construction technology of deep and circular well under asymmetry load [J]. Construction Technology, 2009,38

- (10):66-69(in Chinese))
- [4] 林刚,徐长节,蔡袁强.不平衡堆载作用下深基坑开挖支护结构性状研究[J].岩土力学,2010,31(8):2592-2598(Lin Gang, Xu Changjie, Cai Yuanqiang. Research on characters of retaining structures for deep foundation pit excavation under unbalanced heaped load [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(8):2592-2598(in Chinese))
- [5] 董瑶瑶.不对称深基坑围护结构的设计分析[J].中国市政工程,2012,158(2):33-35
- [6] 熊楚炎,杨晓波.某市区临河深基坑支护设计实例[J].岩土工程学报,2006,28(增):1638-1640(Xiong Chuyan, Yang Xiaobo. Design example of protection of a deep foundation pit near a river [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S):1638-1640(in Chinese))
- [7] 李志高,曾远,刘国彬.邻近地铁车站基坑开挖位移传递规律数值模拟[J].岩土力学,2008,29(11):3104-3108(Li Zhigao, Zeng Yuan, Liu Guobin. Numerical simulation of displacement transfer law of excavation adjacent metro station [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(11):3104-3108(in Chinese))
- [8] 方明.土压不平衡基坑的分析及方案优化[J].中国市政工
- 政工程,2011,154(4):83-85
- [9] 舒进,丁春林,张思源.临河地铁车站深基坑变形规律研究[J].华东交通大学学报,2011,28(5):57-62(Shu Jin, Ding Chunlin, Zhang Siyuan. A study on deformation regularity of deep foundation pit for metro station near the river [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2011, 28(5):57-62(in Chinese))
- [10] Chew S H, Yong K Y, Lim A Y K. Three-dimensional finite element analysis of a strutted excavation underlain by deep deposits of soft clay [J]. Proceedings of the Sixth NTU-KU-KAIST Tri-lateral Seminar/Workshop on Civil Engineering: Korea, 1996:13-14
- [11] Hong S H, Lee F H, Yong K Y. Three-dimensional pile-soil interaction in soldier-piled excavations [J]. Computers and Geotechnics, 2003, 30:81-107
- [12] Faheem H, Cai F, Ugai K, et al. Two-dimensional base stability of excavations in soft soils using FEM [J]. Computers and Geotechnics, 2003, 30:141-163
- [13] Faheem H, Cai F, Ugai K, et al. Three-dimensional base stability of rectangular excavations in soft soils using FEM [J]. Computers and Geotechnics, 2004, 31:67-74

张 杰(1988-)男,硕士。主要从事地铁车站设计。

张礼仁(1988-)男,硕士。主要从事地下工程数值模拟研究。

张绍华(1982-)男,硕士。主要从事地铁车站设计。