

文章编号:1005-0523(2011)05-0057-06

临河地铁车站深基坑变形规律研究

舒进¹,丁春林¹,张思源²

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 200092; 2. 合肥城市轨道交通有限公司,安徽 合肥 230001)

摘要:针对合肥市轨道交通1号线及规划2号线中的某车站深基坑,基于有限元Plaxis分析软件,采用硬化土模型,对其进行了分步开挖数值模拟。研究了不同临河距离下深基坑开挖对围护结构和地表变形影响规律,并探讨了临河距离对深基坑两侧非对称变形的影响。研究结果显示:当深基坑临河距离较小时,临河侧地表出现较大隆起变形,另一侧为沉降变形,临河侧地下连续墙侧向变形明显小于背河侧连续墙变形;当临河距离大于1.5倍的深基坑深度时,深基坑两侧的非对称变形可以忽略不计。

关键词:深基坑;临河距离;数值模拟;地下连续墙;地表;变形

中图分类号:TU470

文献标志码:A

随着城市轨道交通在我国的快速发展,很多城市的地铁车站深基坑施工不可避免地要在临河或临江地段进行,特别是在河网密布的沿江或沿海城市。深基坑施工是一个非常复杂的工程,尤其在离江河距离较近时,深基坑将会受到非对称荷载作用,而非对称荷载是一种非常不利的荷载,它严重影响车站围护结构、地表及河岸边坡的受力和变形,使得车站深基坑两侧出现非对称变形,从而易造成深基坑结构的失稳,大大降低了地铁车站的使用寿命^[1-2]。因此,研究不同临河距离下深基坑开挖对地表沉降及围护结构侧向变形的影响规律,探讨深基坑临河距离多大时,深基坑两侧非对称变形较小,对选择合适的深基坑位置及在深基坑施工过程中控制局部地表沉降及围护结构局部变形进而保障施工安全并提高基坑使用寿命具有十分重要的指导意义。

本文采用有限元软件Plaxis对合肥市轨道交通1号线及规划2号线中某车站深基坑开挖及支护进行模拟,分析并得到了不同临河距离下深基坑坑周地表沉降和围护结构侧向变形规律及临河距离对深基坑两侧非对称变形的影响规律。

1 工程概况

合肥地铁某车站是1号线与规划2号线的换乘站(2号线车站沿长江东路方向布设),位于胜利路和长江东路交叉路口,道路西侧为河滨公园绿地,东北角为古井假日酒店(5层裙楼离围护结构外皮约4 m),东南角为省交通研究所等多座高层建筑,2号线车站的东南角为18层的圣大国际(距离较近,离围护结构外皮约8 m)。南淝河从车站南侧和西侧绕过。其中1号线车站离河较近,约20~40 m,2号线车站离河相对较远(超过40 m)。

本次1号线车站与2号线车站同期施工,1号线车站初期规划为地下4层、14 m宽岛式车站,2号线车站初期规划为地下3层、13 m宽岛式车站。另外,根据地质勘测结果,该车站场地土以第四纪沉积物为主,深

收稿日期:2011-07-22

作者简介:舒进(1987—),男,硕士研究生,主要研究方向为地下工程、岩土工程等方面。

部为白垩纪基岩。土体在50 m深度范围以内地层自上而下依次为:4.5 m厚填土层、2.7 m厚粘土②层、2.3 m厚粉质粘土②1层、7 m厚粉细砂②2层、5.5 m厚粉质粘土②1层及28 m厚基岩。车站顶板覆土约为2.5 m,1号线基坑开挖深度约为29.5 m,座落在强风化泥岩④层,进入潜水位约25 m;2号线为地下3层,底板埋深约为22 m,座落在强风化泥岩④层表面,进入潜水位约18 m。各土层的物理力学参数如下表1所示。

表1 车站各土层物理力学参数

Tab.1 Physical-mechanical parameters of the soil in the station

层号	土层名称	重度/kN·m ⁻³	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	压缩模量/MPa	静止侧压力系数
① ₁	杂填土	19.0	20	18		0.45
②	粘土	19.5	40~45	12~15	8~10	0.45~0.50
② ₁	粉质粘土	19.4	35~40	14~20	7~12	0.43~0.50
② ₃	粉细砂	20.5	0	20~25	10~15	0.40~0.45
⑥	全风化泥质岩	21.0	28~38	23~28	20~30	0.35~0.42
⑥ ₃	强风化泥质岩	21.5	33~40	25~35	25~35	0.33~0.40

2 计算模型建立与基坑开挖过程模拟

2.1 本构模型的选择

土体是一种很复杂的复合体,在外力的作用下,土体不仅产生弹性变形,而且还会产生不可恢复的塑性变形^[3]。土的弹塑性本构模型能较好地反映土体应力路径、土的硬化和软化特性。本文在采用有限元Plaxis模拟计算中,土体采用了硬化土模型,该模型是改进的摩尔—库伦模型,是最通用的岩土本构模型。不同于理想弹塑性模型,硬化塑性模型的屈服面在主应力空间中不是固定的,而是由于塑性应变的发生而膨胀,适用于模拟包括软土和硬土在内的不同类型的土体^[4]。

构造Hardening-Soil模型的基本思想是三轴加载下竖向应变 ε_1 和偏应力 q 之间为双曲线关系。标准排水三轴试验往往会得到如下表示的曲线

$$-\varepsilon_1 = \frac{q}{2E_{50}(1-q/q_a)} \quad (1)$$

对 $q < q_f$,在这里 q_a 是抗剪强度曲线上的渐进值,参数 E_{50} 是主加载下与围压相关的刚度模量,它由下面的方程给出

$$E_{50} = E_{50}^{\text{ref}} \left(\frac{c \cos \phi - \sigma_3 \sin \phi}{c \cos \phi + p^{\text{ref}} \sin \phi} \right)^m \quad (2)$$

其中: E_{50}^{ref} 对应于参考围压 p^{ref} 的参考刚度模量。在Plaxis中缺省设置为 $p^{\text{ref}}=100$ 应力单位,实际应力值依赖于主应力 σ_3 ,也就是三轴试验中的围压。应力相关程度由幂 m 给出, q 和 q_a 之间的比值由破坏比 R_f 给出。极限偏应力 q_f 和 q_a 定义如下

$$q_f = (c \cot \phi - \sigma_3) \frac{2 \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$q_a = \frac{q_f}{R_f} \quad (4)$$

当 $q=q_f$ 时,破坏准则得到满足,土体发生塑

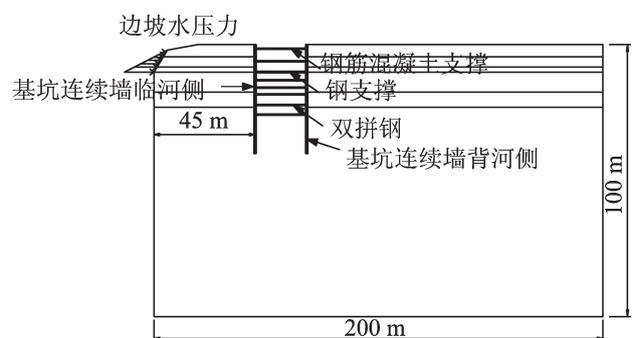


图1 计算模型断面图

Fig.1 Section diagram of the calculation model

性屈服。

2.2 计算模型和计算参数

计算模型断面如图1所示,模型宽200 m,高100 m,模型左右两侧边界为水平约束,下边界为双向铰支约束,上边界为自由边。在开挖工况模拟中,每一步应力全部释放^[5]。坑周土体用平面单元模拟,钢支撑、钢筋混凝土撑及双拼钢支撑用杆单元模拟,地下连续墙用板单元模拟,支护结构与土体之间的接触行为用接触面单元来模拟,南淝河边坡受到的水压力用等价大小的外荷载模拟^[6-7]。

根据设计资料,土体的计算参数如表1所示,其中土体界面强度折减因子根据经验取为0.5,强风化泥质砂岩的弹性模量取为压缩模量的10倍,其余土层弹性模量取为压缩模量的3倍^[8-9]。计算中支撑、墙单元主要计算参数见表2。

表2 围护结构与支撑计算参数

Tab.2 Calculating parameters of envelope and support calculation

	跨度/m	采用模型	抗压刚度 c/Pa	抗拉刚度 t/Pa	泊松比/ μ
钢支撑	3	线弹性	6.0×10^6	6.0×10^6	0.30
钢筋混凝土撑	6	线弹性	2.4×10^7		0.28
双拼钢支撑	3	线弹性	1.2×10^7	1.2×10^7	0.30
连续墙		线弹性	3.0×10^7	2.5×10^6	0.20

2.3 计算工况模拟

以临河45 m 1号线标准段为例来模拟基坑的开挖与支护。根据施工工序,计算模型的开挖与支护模拟共分为10个步骤进行,如表3所示。在模拟计算中,首先考虑土体在自重应力下初始应力平衡,然后分步进行开挖和支护。

表3 基坑开挖施工数值模拟计算工况

Tab.3 Numerical simulating calculation of pit excavation construction

计算步骤	计算工况
1	施加水压力荷载及施作地下连续墙
2	开挖基坑至-1.5 m
3	在-1.5 m处设置第1道钢筋混凝土撑,然后开挖基坑至-6.07 m
4	在-6.07 m处设置第2道钢支撑,然后开挖基坑至-10.07 m
5	在-10.07 m处设置第3道钢支撑,然后开挖基坑至-13.12 m
6	在-13.12 m处设置第4道钢支撑,然后开挖基坑至-15.77 m
7	在-15.77 m处设置第5道钢支撑,然后开挖基坑至-18.27 m
8	在-18.27 m处设置第6道钢支撑,然后开挖基坑至-22.22 m
9	在-22.22 m处设置第7道双拼钢支撑,然后开挖基坑至-25.72 m
10	在-25.72 m处设置第8道双拼钢支撑,然后开挖基坑至-29.5 m,施作垫层及底板

3 计算结果分析

3.1 不同临河距离下深基坑开挖对坑周地表变形影响分析

本文模拟了1号线和2号线在临河距离为25 m,45 m,60 m,75 m四种工况下深基坑开挖对坑周地表变形的影响,其中,1号线深基坑开挖引起的坑周地表变形曲线见图2(负值表示沉降变形,正值表示隆起变形。)所示。限于篇幅,2号线深基坑开挖引起的地表变形略去。由图2可以得到:不同临河距离下深基坑背河侧地表变形差异较小。背河侧坑周地表均出现沉降变形,且随着临河距离的增大,在一定范围内,地表沉降逐渐减小,地表沉降最大值均约在深基坑背河侧10 m(基坑深度的1/3)处,在距离深基坑背河侧40 m(约为基坑深度的1.5倍)外,地表沉降均在1 mm以内;不同临河距离下深基坑开挖临河侧地表变形差

异较大。临河 25 m 时,靠近深基坑处地表出现最大隆起变形,之后地表随着离深基坑临河侧距离增大而隆起变形逐渐减小,至出现微小沉降。临河 45, 60, 75 m 变形差异较小,靠近深基坑处有微小隆起,之后随着离深基坑临河侧的距离增大而出现沉降,沉降值逐渐增大,沉降最大值约出现在离深基坑临河侧 15 m(基坑深度的 1/2)处;在距离深基坑两侧 40 m(约为基坑深度的 1.5 倍)外,地表沉降均在 1 mm 以内。

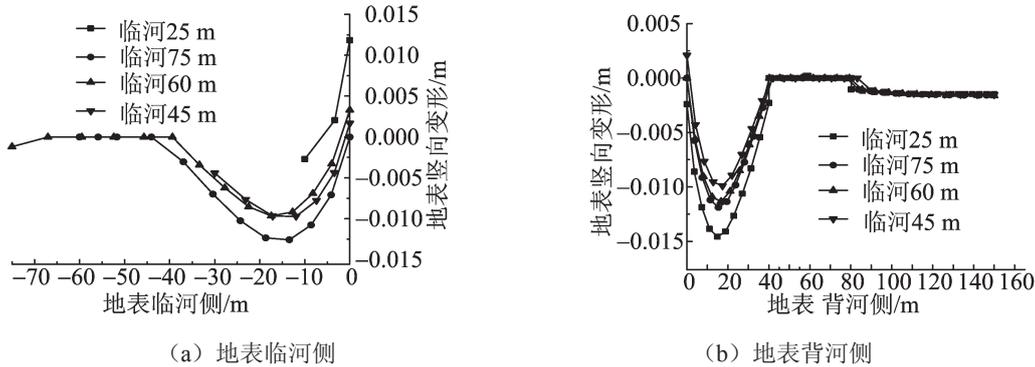


图2 不同临河距离下1号线标准段基坑周地表竖向变形
Fig.2 Vertical deformation of foundation pits of Line 1 in different over-river distance

4.2 不同临河距离下深基坑开挖对连续墙变形影响分析

本文模拟了1号线和2号线在临河距离为25, 45, 60, 75 m四种工况下深基坑开挖对围护结构变形的影响,其中,1号线深基坑开挖引起的围护结构变形曲线见图3所示(由于x轴的正方向向右,所以临河侧连续墙侧向变形值为正,背河侧为负。),限于篇幅,2号线深基坑开挖引起的围护结构变形略去。由图3可以得到:不同临河距离下连续墙临河侧变形的曲线一致,且均在深度约29 m处(即约在基坑开挖底面处),侧向变形达到最大,但临河25 m处的连续墙临河侧变形明显小于45, 60, 75 m三种工况;不同临河距离下连续墙背河侧变形的曲线仍然一致,且均在深度约29 m处(即约在基坑开挖底面处),侧向变形达到最大,但临河25 m处的连续墙背河侧变形明显大于45, 60, 75 m三种工况。

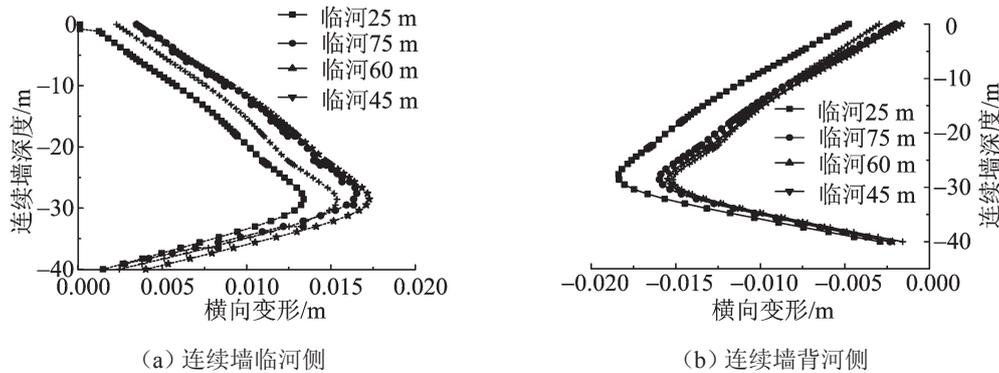


图3 不同临河距离下1号线标准段基坑地下连续墙侧向变形
Fig.3 Lateral deformation of diaphragm wall in foundation pits of Line 1 in different over-river distance

4.3 不同临河距离对抗周地表竖向变形最大值影响分析

1号线和2号线在不同临河距离下深基坑坑周地表竖向变形最大值见图4所示。由图4可以得到,当临河距离为25 m时,临河侧地表最大竖向变形为隆起变形,另一侧则为沉降变形,沉降最大值略大于隆起最大值;随着临河距离的增加,两侧变形最大值趋向相等,当临河距离大于45 m(基坑深度的 1.5 倍)时,两侧竖向最大变形皆为沉降变形,两侧沉降近似相等。

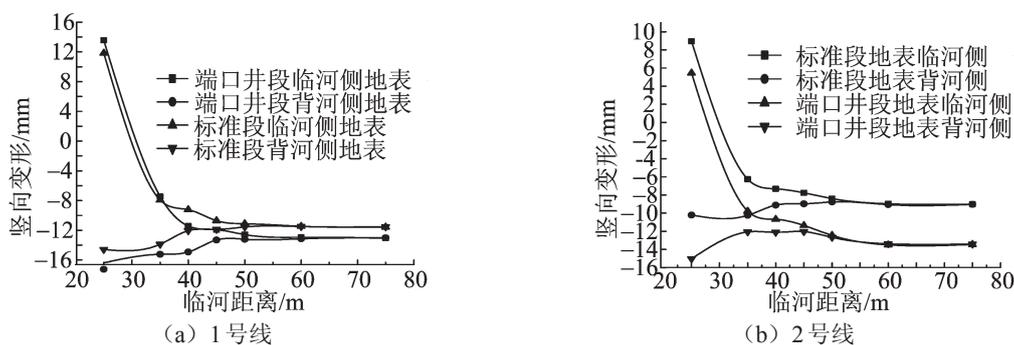


图4 不同临河距离下1号线和2号线深基坑坑周地表竖向变形最大值

Fig.4 Maximum vertical ground deformation of foundation pits of line 1 and line 2 in different over-river distance

4.4 不同临河距离对连续墙侧向变形最大值影响分析

1号线和2号线在不同临河距离下连续墙侧向变形最大值见图5所示。由图5可以得到,当临河距离为25 m时,连续墙背河侧的侧向变形最大值比临河侧的要大5 mm左右,之后随着临河距离的增加,两侧最大值趋向一致;当临河距离为40 m时,两侧侧向变形最大值差异缩小在1 mm以内;当临河距离大于45 m (基坑深度的1.5倍)时,两侧最大值近似相等。

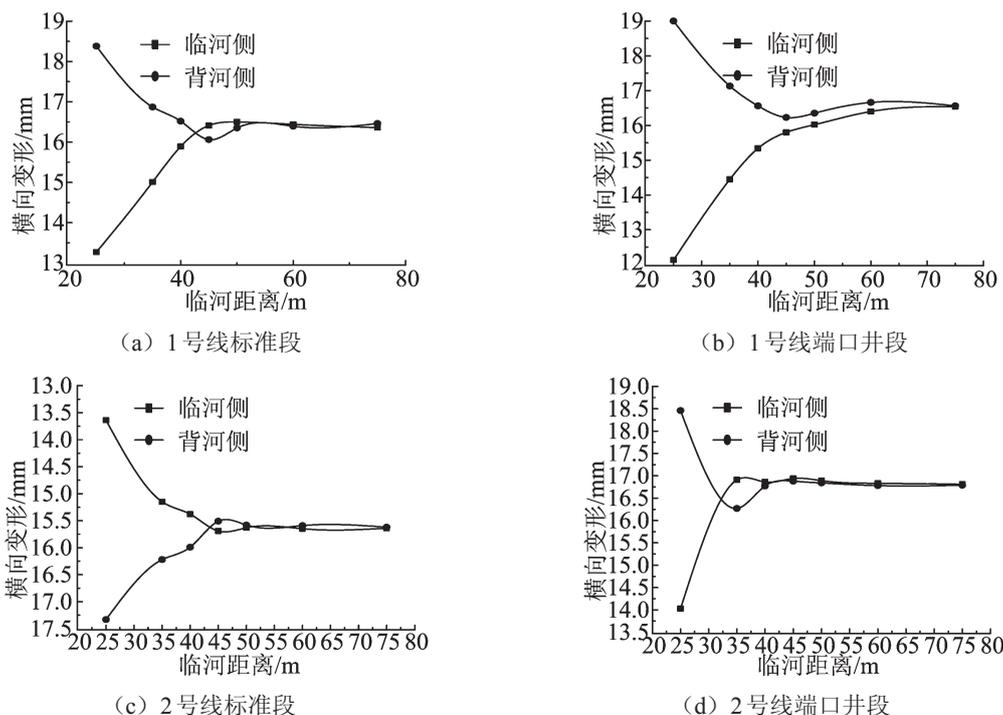


图5 1号线和2号线深基坑地下连续墙的侧向变形最大值

Fig.5 Maximum lateral deformation of the diaphragm wall in deep foundation pits of line 1 and line 2

5 结论

通过使用有限元Plaxis软件对合肥市地铁1号线及规划2号线中的某车站深基坑的计算分析,可以得到以下结论:

1) 不同临河距离下深基坑开挖坑周地表背河侧变形规律一致,临河侧有一定差别。背河侧地表均出现沉降变形,且沉降最大值均约在离基坑背河侧10 m处(基坑深度的1/3处)。临河侧地表在临河距离较小时,会出现大的隆起,较大时,出现微小隆起,且沉降最大值均约在离基坑临河侧15 m处(基坑深度的1/2

处)。距基坑两侧45 m(基坑深度的1.5倍)以外,地表沉降值均在1 mm以内。

2) 不同临河距离下深基坑开挖连续墙两侧变形的曲线规律基本一致,侧向变形最大位置均约位于基坑开挖底面处。当临河距离很小时,临河一侧侧向变形较小,另一侧较大。当临河距离大于45 m(基坑深度的1.5倍)时,两侧连续墙的变形接近相等,非对称变形可以忽略不计。

3) 当深基坑离河距离较近时,临河侧的坑周地表最大变形为隆起变形,另一侧为沉降变形。临河侧地下连续墙的最大侧向变形比另一侧要小。之后随着临河距离的增加,两侧最大变形趋向一致。当临河距离大于45 m(基坑深度的1.5倍)时,深基坑两侧的围护结构和坑周地表最大变形接近相等,非对称变形可以忽略不计。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] ITASCA SOFTWARE COMP. Theory and back ground, constitutive model: theory and implementation[P]. User Manual of FLAC3D 3.0, 2005.
- [4] PLAXIS B V. Plaxis version 8: material models manual[P]. Plaxis Manual, 2006.
- [5] 吕晓光, 崔可锐, 李丹, 等. 基于PLAXIS的土质边坡稳定性影响因素分析[J]. 安徽建筑工学报, 2010, 18(3): 67-71.
- [6] 王江宏, 王春波, 卢广宁. PLAXIS在深基坑开挖与支护数值模拟中的应用[J]. 山西建筑, 2007, 33(35): 94-95.
- [7] 桂劲松, 孟庆, 李振国, 等. 基于PLAXIS的板桩结构非线性有限元分析[J]. 水运工程, 2011, 1(6): 11-15.
- [8] 黄天立, 楼梦麟, 曾宪明, 等. 填土边壁(坡)破坏模式模型试验的有限元分析[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(4): 494-497.
- [9] 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.

A Study on Deformation Regularity of Deep Foundation Pit for Metro Station near the River

Shu Jin¹, Ding Chunlin¹, Zhang Siyuan²

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Hefei Urban Rail Transit Co. Ltd., Hefei 230001, China)

Abstract: Aiming at a deep foundation pit for some station of Metro Line 1 and planning Metro Line 2 in Hefei, using hardening-soil model, a numerical simulation on excavation by steps of the deep foundation pit is carried out by analysis software Plaxis. The influence of the excavation on the envelop enclosure and the ground deformation in different over-river distance is studied, and the effect on the unbalanced deformation of the deep foundation pit in different over-river distance are discussed. The analysis results show that if the deep foundation pit is very close to a river, then the side of the ground comes closer to the river appears uplifts, while the other side appears settlements, and the lateral deformation of the side of the diaphragm wall which comes closer to the river is smaller than the other side. If the over-river distance is more than 1.5 times of the depth of the deep foundation pit, the unbalanced deformation on both sides of the deep foundation pit can be neglected.

Key words: deep foundation pit; over-river distance; numerical simulation; diaphragm wall; ground surface; deformation