

文章编号:1674-2869(2017)02-0175-07

地铁盾构下穿立交危险断面的数值模拟

张守领,黄胜方

淮北职业技术学院建筑工程系,安徽 淮北 235000

摘要:依托合肥地铁盾构下穿五里墩立交工程项目,结合有限差分软件计算,分析施工过程中4个危险断面的地表变形及桩基变形规律.研究表明:右线隧洞盾构引起地表沉降槽呈单峰型,左线隧洞盾构后沉降槽呈双峰型;当左右线隧洞距离较近时沉降量变化仍呈现单峰型,当左右线隧洞距离较远时,地表沉降量变化则呈现双峰型;桩基距离隧洞越近,其沉降变形越大,实际情况也会越危险;地铁近距左右线隧道盾构依次开挖对土体产生的扰动具有叠加效应,且叠加效应明显.以数值分析来考虑区间变形,方法简洁可行,从思路上为类似工程分析提供参考.

关键词:盾构掘进;下穿立交;剖面分析;数值模拟;地面沉降;桩基变形

中图分类号:U455.43 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2017.02.013

Numerical Simulation of Dangerous Sections of Shield Tunnel Under-Passing Flyover Bridges

ZHANG Shouling, HUANG Shengfang

Department of Civil Engineering, Huaibei Vocational and Technical College, Huaibei 235000, China

Abstract: The deformation of ground and pile foundation of four critical fracture surface in constructing Hefei subway shield under passing the Wulidun flyover bridges was analyzed by the finite difference calculation software. The result shows that the tunnel shield on the right-side brings the ground subsidence to be unimodal, and the left-side one causes the ground subsidence to be bimodal; the variation of ground deformation is still of unimodal pattern when the distance between two tunnels is relative short, and the variation of ground deformation becomes bimodal when the distance is longer; the actual situation is more dangerous when the variation of ground deformation is larger and the distance between pile foundation and tunnel is shorter. The construction of short-gap tunnels in turn has a broadly apparent superimposed effect on soil mass. The method is concise and practicable, providing a reference for similar projects' analysis.

Keywords: shield jacking; under-passing; profile analysis; numerical simulation; land subsidence; pile deformation

现在轨道交通已经成为现代城市重要的公共交通方式,轨道交通成为衡量一个国家或城市现代化、经济实力、人们生活水平甚至综合竞争力的

重要标志^[1].城市轨道交通区间隧道大多采用盾构掘进,盾构施工不可避免地会对周围地层产生扰动,引起地层变形和沉降.地层的变形又会引起邻近

收稿日期:2016-03-27

基金项目:2016年高校优秀青年人才支持计划重点项目(gxyqZD2016551);淮北职业技术学院质量工程项目—工程监理教学团队(2015jxt-01)

作者简介:张守领,硕士,讲师. E-mail:zhangshouling1967@126.com

引文格式:张守领,黄胜方. 地铁盾构下穿立交危险断面的数值模拟[J]. 武汉工程大学学报,2017,39(2):175-181.

ZHANG S L, HUANG S F. Numerical simulation of dangerous sections of shield tunnel under-passing flyover bridges [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2017, 39(2): 175-181.

建筑物、结构物的一系列反应,如沉降、侧向位移、附加应力等,产生所谓的“近接施工问题”.国内外学者^[2-4]对建筑结构近接施工问题做了很多研究,得到了很多成果.目前,有限元法蓬勃发展并应用于工程中,有限元法能够模拟各种工况以及施工因素,通过有限元对盾构掘进引起的地表及邻近建筑物变形研究很多,也取得了不少成果^[5-12].

笔者依托合肥地铁盾构下穿五里墩立交工程,基于FLAC3D软件,实现对危险断面盾构掘进施工的模拟,定量分析盾构掘进过程所引起地面以及与邻近立交桩基的变形规律.

1 工程概况

合肥地铁2号线青阳路站到西园站区间在SK26+050~SK26+450处需下穿五里墩立交桥,五里墩立交桥为合肥市重要交通枢纽桥梁,其上部

为多跨连续梁结构,下部结构采用直径1.2 m~1.5 m人工挖孔灌注桩.在隧道通过五里墩立交桥段,盾构隧道侧穿桩基.纵断面上该穿越段隧道平均埋深约27 m,桩基底部平均埋深约19 m.区间范围上覆第四系人工填土、硬塑性黏土,向下分别为全风化泥质砂岩、强风化泥质砂岩、中等风化泥质砂岩.

盾构下穿五里墩大型立交桥施工安全需要综合考虑地面及桩基础的变形,复杂性和综合性更强.根据《地铁穿越五里墩专项设计》可知工程有4个危险剖面,分别为A-A、B-B、C-C及D-D,各剖面位置与五里墩立交桥桩基关系如图1所示.在空间上,盾构隧道与桥梁桩基础距离较近,施工对桩基周围地层扰动过大,从而引起桩基变形,施工风险较大.

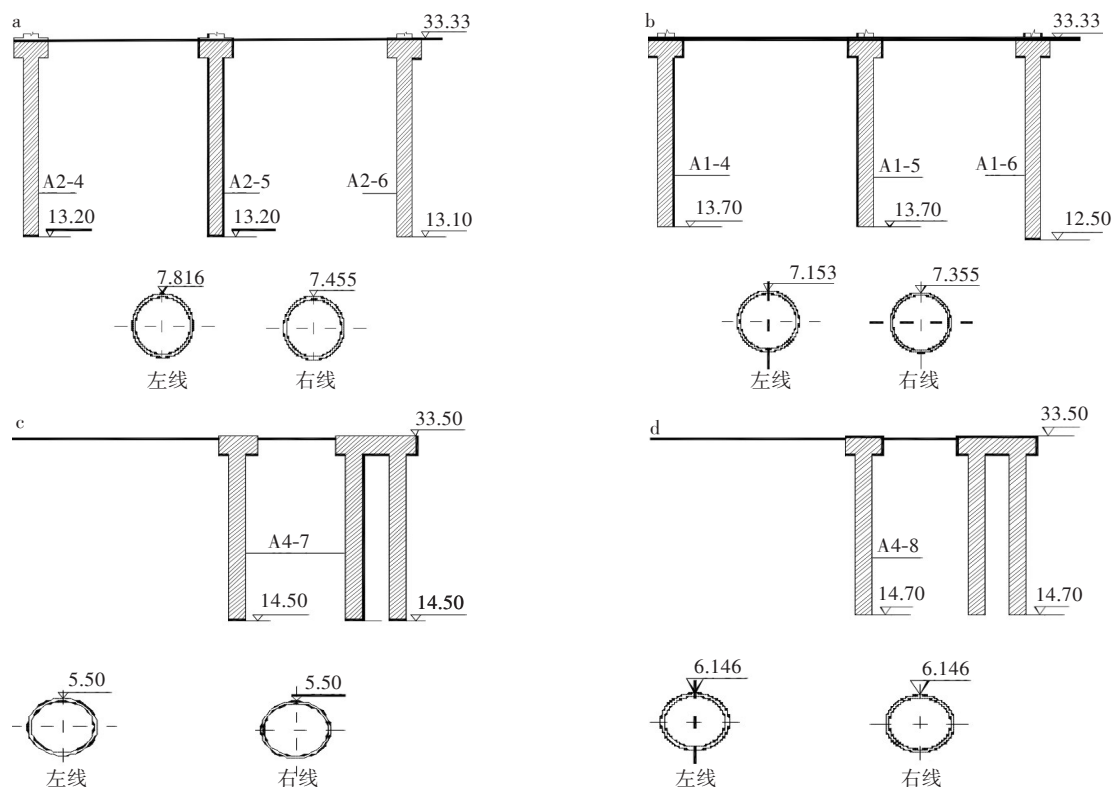


图1 危险断面(a)A-A、(b)B-B、(c)C-C、(d)D-D隧道与立交桥桩基关系(单位:m)

Fig. 1 Position relationships between tunnel and pile foundation of flyovers in the dangerous section of (a) A-A, (b) B-B, (c) C-C and (d) D-D (unit: m)

2 计算模型

2.1 数值网格模型

笔者采用近似平面的模型来模拟各断面的盾构掘进,模型尺寸200 m×120 m×6 m.基桩与土层之间设置无厚度的接触单元来模拟桩土之间的接

触^[13-15].各危险断面的数值模型如图2所示.

2.2 本构模型和屈服准则

本次三维数值模拟计算分析过程中,岩土体的本构模型为理想弹塑性本构模型,屈服准则为Mohr-Coulomb屈服准则.

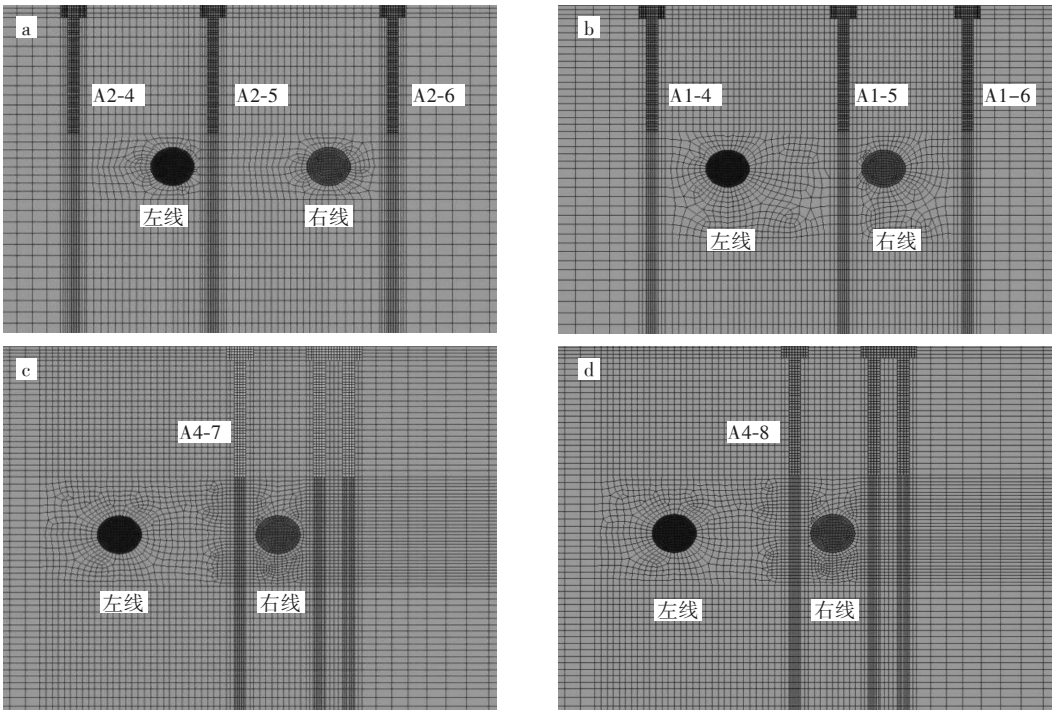


图2 剖面(a)A-A,(b)B-B,(c)C-C,(d)D-D数值模型

Fig. 2 Numerical models of section(a)A-A ,(b)B-B,(c)C-C and (d)D-D

2.3 计算参数

根据《合肥市轨道交通2号线工程青阳路站至西园路站区间岩土工程勘察报告》,现场监测资料

反演及类似的研究成果^[10-11]类比,综合确定各材料的物理力学参数,具体见表1和表2所示.

表1 桩土接触面基本力学参数			
Tab. 1 Basic mechanical parameters of the contact surface of pile and soil			
切向刚度	法向刚度	摩擦角	粘聚力
shear stiffness / (N/m)	normal stiffness / (N/m)	friction angle / (°)	cohesion force / kPa
21×10 ⁷	1×10 ⁷	45	200

表2 材料基本物理力学参数							
Tab. 2 Basic physical and mechanical parameters of materials							
材料	泊松比	弹性模量	内摩擦角	粘聚力	抗拉强度	密度	岩土特性
material	Poisson's ratio	elastic modulus / MPa	friction angle / (°)	cohesion force / kPa	tensile strength / kPa	density / (kg·m ⁻³)	rock and soil characteristic
人工填土	0.39	5	13	17	/	1 850	粘性土为主,局部夹杂的细沙和碎石,层厚0.40 m~8.20 m
硬塑性黏土	0.31	15	15	33	/	1 960	可塑~硬塑,稍光滑,干强度及韧性高,层厚8.00 m~12.50 m
全风化泥质砂岩	0.23	37	20	39	3	2 000	硬塑,密实,干强度及韧性中等,层厚12.50 m~18.00 m
强风化泥质砂岩	0.22	750	33	120	12	2 120	风化呈土状,弱胶结状,湿~稍湿,坚硬,密实,可见氧化铁铁锰质侵染及云母碎片,层厚18.00 m~26.00 m
中等风化泥质砂岩	0.21	1 800	35	140	14	2 220	极软岩,泥状、砂状结构,岩芯呈短柱状,较破碎层厚6.40 m
桩、承台	0.167	2.5×10 ⁴	/	/	1 200	2 500	/

3 变形分析

3.1 监控点布置

为研究盾构掘进造成的地面沉降,在两隧道

中心连线的中点左右各30 m范围内,每间隔2 m布置监控点;为研究盾构掘进引起的桩基沉降及其侧移,沿桩基布置监控点,如图3所示。

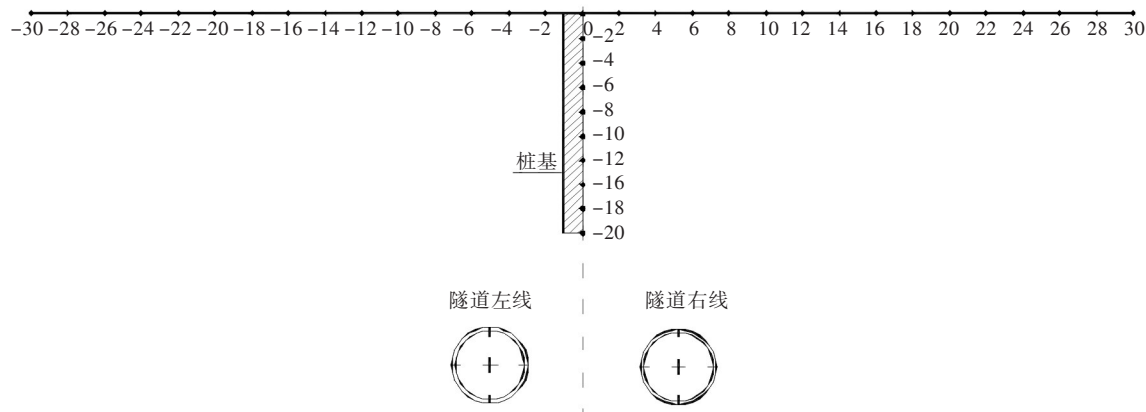


图3 地表监控点及桩基监控点布置(单位:米)

Fig. 3 Arrangement of monitoring points on surface of earth and pile foundation(unit:m)

3.2 地表沉降变形分析

在盾构掘进过程中,在土体开挖卸荷作用的影响下地表会产生一定的沉降变形.根据各个断

面的地表监控点位移值来分析整个五里墩立交桥的地表变形规律,图4为四个危险断面地表位移变形曲线图。

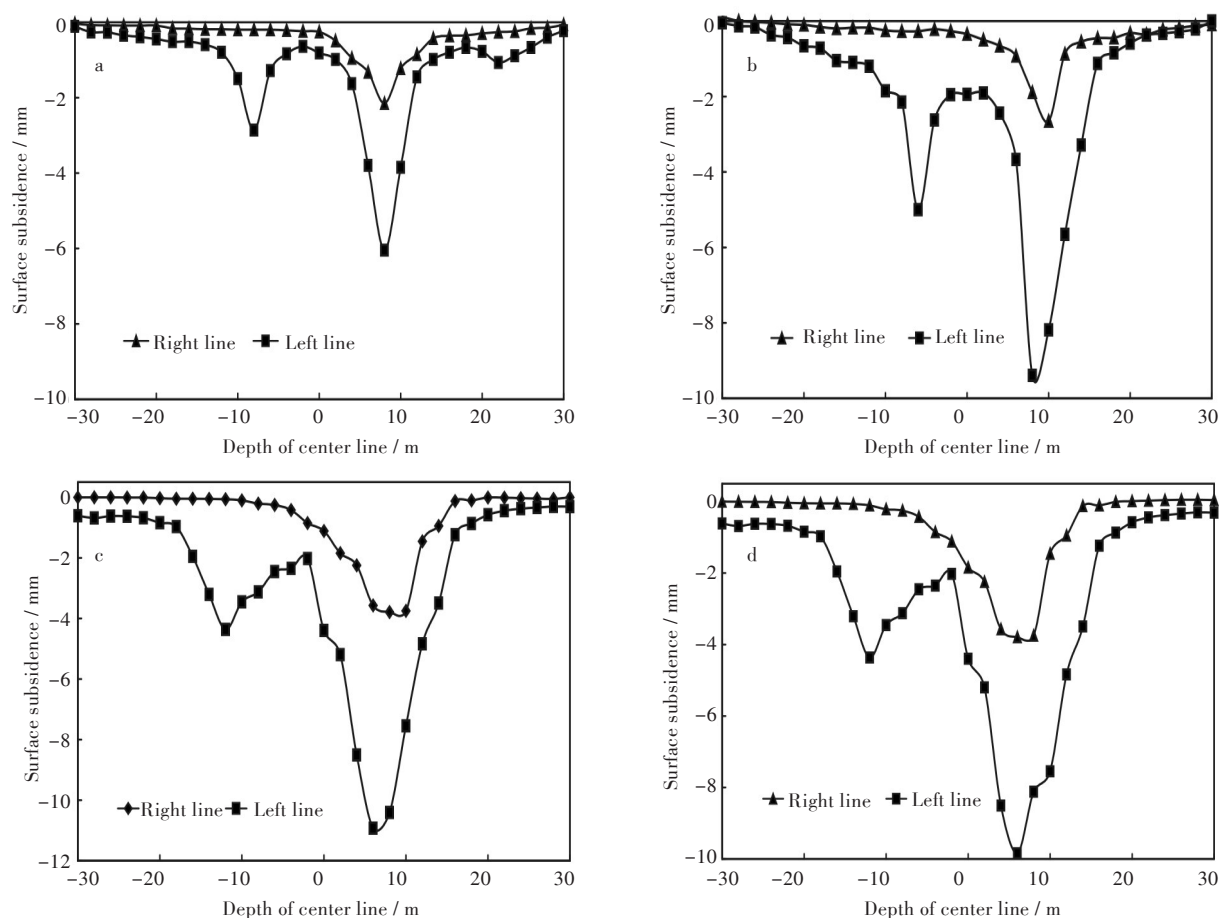


图4 危险断面剖面(a)A-A,(b)B-B,(c)C-C,(d)D-D地表沉降位移变形曲线

Fig. 4 Curves of surface settlement in dangerous section of (a) A-A, (b) B-B, (c) C-C and (d) D-D

分析各断面地表沉降曲线可以发现:

1)各断面地表沉降的规律基本相同,在盾构隧洞线上方产生较大的地表沉降,即监控点越靠近盾构开挖区域的沉降量越大。

2)从地表沉降曲线的形状来看,在右线隧道开挖过程中,地表沉降呈单峰型,左线隧道施工后,因左线隧道盾构施工引起的沉降峰值会向左线隧道方向偏移。若左右线隧道距离小于7 m时,沉降曲线仍然呈现单峰型,而当两隧道距离较远时,则会呈现双峰型的沉降曲线。

3)通过对左右线同一位置的沉降值对比,易

发现左线盾构对右线施工已产生的沉降有影响,使得已有沉降进一步增大,这说明左线开挖对右线已经扰动的土体产生叠加效应。

从图4可以看出:左线和右线隧道盾构掘进引起最大地表沉降均在剖面C-C,最大值分别为3.791 mm和10.93 mm,除此之外,另外三个危险断面A-A、B-B和D-D的沉降值也比较大。

3.3 桩基沉降变形分析

按照图3中桩基监控点布置,通过有限差分软件模拟计算得到桩基的整体沉降值如图5~图12所示。

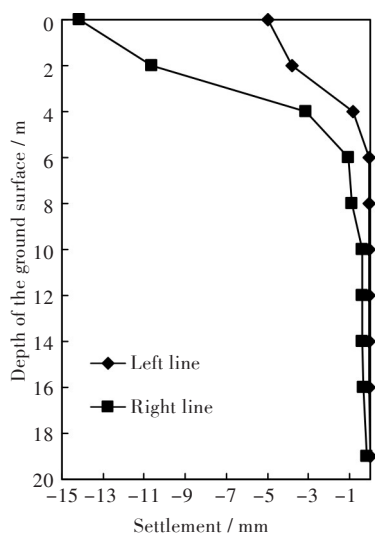


图5 桩A1-4沉降变形

Fig. 5 Settlement of pile A1-4

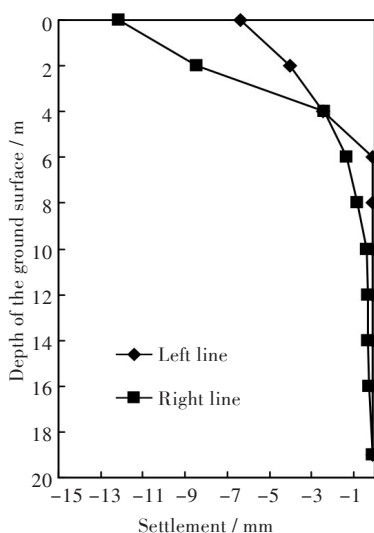


图6 桩A1-5沉降变形

Fig. 6 Settlement of pile A1-5

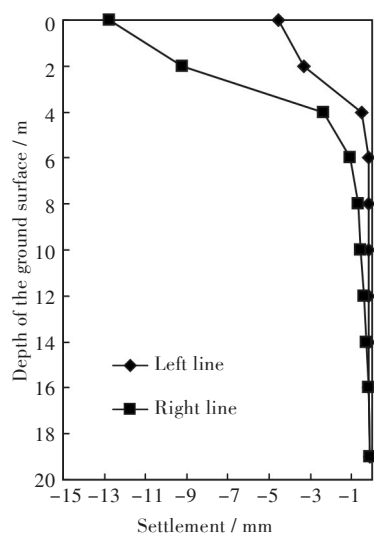


图7 桩A1-6沉降变形

Fig. 7 Settlement of pile A1-6

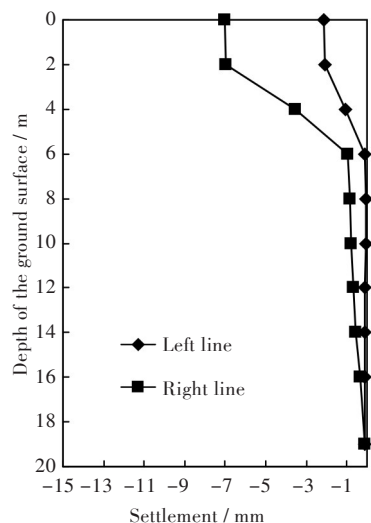


图8 桩A2-4沉降变形

Fig. 8 Settlement of pile A2-4

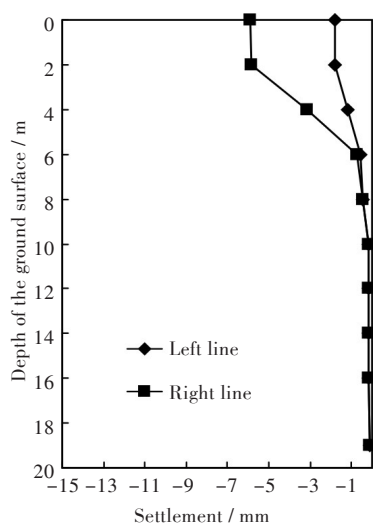


图9 桩A2-5沉降变形

Fig. 9 Settlement of pile A2-5

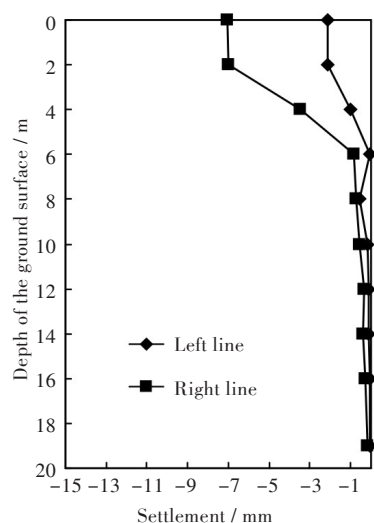


图10 桩A2-6沉降变形

Fig. 10 Settlement of pile A2-6

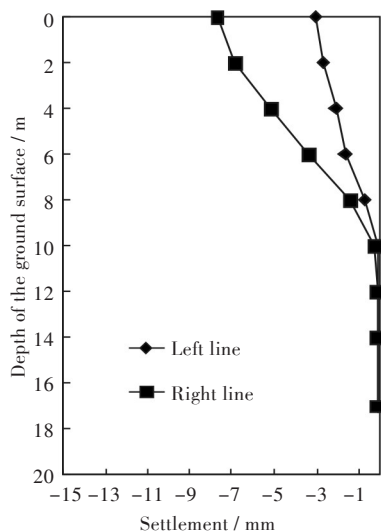


图 11 桩 A4-7 沉降变形

Fig. 11 Settlement of pile A4-7

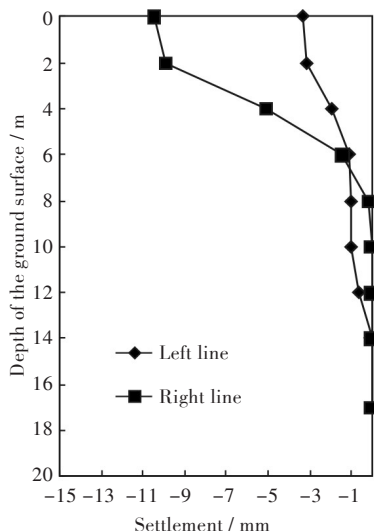


图 12 桩 A4-8 沉降变形

Fig. 12 Settlement of pile A4-8

从图 5~图 12 中各桩基沉降变形曲线可以看出:由于地铁隧道的盾构掘进,立交桥桩基均有不同程度的沉降;地表承台处的沉降值最大,整个桩基础沉降自地表向下逐渐减小,这说明隧道盾构开挖引起围岩变形,而在桩底附近的土体位移为零,隧道围岩确实形成压力拱。同时,地表承受车辆动荷载,承台承受立交桥上部结构重力及车辆荷载。在荷载及拱效应的作用下,桩基变形呈现上大下小,即桩基压缩变形。

各桩最大沉降量见表 3,从数据来看,右线盾构过程中,桩 A1-5 的沉降量最大,为 6.390 mm;左线盾构引起的叠加变形中,桩 A2-5 沉降最大,16.916 mm。桩 A1-4、A1-6 在右线开挖过程中的沉降量较大,都在 4 mm 以上,且在左线开挖过程中的沉降量也较大,均在 10 mm 以上。

表 3 各桩基最大沉降值

Tab. 3 Maximum subsidence values of the pile foundations

桩号 pile	最大沉降值 maximum subsidence value / mm		增率 gaining rate / %
	右线(left line)	左线(right line)	
A1-4	4.997	10.620	64.74
A1-5	6.390	12.130	63.81
A1-6	4.550	9.236	66.86
A2-4	2.129	8.043	69.77
A2-5	3.819	16.916	69.25
A2-6	2.145	8.712	69.69
A4-7	3.269	5.671	42.35
A4-8	3.750	11.400	67.11

从增长率来看,隧道左线盾构掘进诱发的桩基础沉降与右线盾构掘进中的桩基沉降值相比,增加 50% 以上,这说明右线盾构掘进对左线的影响比较大。

4 结 语

采用数值模拟分析方法对合肥地铁盾构隧道施工过程数值模拟计算,得到如下结论:

1)右线隧洞盾构掘进施工时,地表沉降量变化特征呈单峰型曲线,沉降峰值位于右线隧洞上方;左线盾构掘进产生的地表沉降变形要高于先前右线开挖施工扰动产生的沉降,沉降峰值向左线偏移;当左右线隧洞距离较近时沉降量变化仍呈现单峰型,当左右线隧洞距离较远时,地表沉降量变化则呈现双峰型。

2)在右线盾构过程中,桩基沉降最大值达到 6.390 mm,左线盾构掘进引起桩基沉降峰值为 16.916 mm,都比较危险;桩基距离隧洞越近,其沉降变形越大,实际情况也会越危险。

3)从左右线隧洞盾构引起的地表沉降以及桩基变形可以得到,地铁近距双线隧道盾构依次开挖对土体产生的扰动具有叠加效应,且叠加效果十分明显。

本次地铁盾构下穿立交危险断面数值模拟中,主要从位移上进行规律分析和阐述,地铁盾构下桩基的力学行为,有待进一步研究。

致 谢

合肥工业大学土木与水利工程学院为本研究提供软件支持,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 李炜. 中国城市轨道交通市场发展分析[J]. 科技信息, 2008(26): 327, 329.
- [2] 王占生, 王梦恕. 盾构施工对周围建筑物的安全影响及处理措施[J]. 中国安全科学学报, 2002, 12(2): 45-49.
WANG Z S, WANG M S. Effects of shield-driven tunneling on the safety of adjacent buildings and its countermeasures [J]. China Safety Science Journal, 2002, 12(2): 45-49.
- [3] 刘波, 叶圣国, 陶龙光, 等. 地铁盾构施工引起邻近基础沉降的FLAC元数值模拟[J]. 煤炭科学技术, 2002, 30(10): 9-11.
LIU B, YE S G, TAO L G, et al. Simulation of FLAC element value for adjacent foundation subsidence caused by metro shield construction [J]. Coal Science and Technology, 2002, 30(10): 9-11.
- [4] MTOUEH H, SHAHROUR I. A full 3-D finite element analysis of tunneling-adjacent structures interaction [J]. Computers and Geotechnics, 2003, 30 (3): 245-253.
- [5] 张海波, 刘国楠, 高俊合. 盾构近距离掘进对桥梁桩基的影响分析[J]. 铁道建筑, 2007(8): 37-40.
ZHANG H B, LIU G N, GAO J H. Analysis on influence of shield-driving tunnel nearby on bridge's pile foundation [J]. Railway Engineering, 2007 (8): 37-40.
- [6] 张海波, 殷宗泽, 朱俊高. 地铁隧道盾构法施工过程中地层变位的三维有限元模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 755-760.
ZHANG H B, YIN Z Z, ZHU J G. 3D finite element simulation on deformation of soil mass during shield tunneling [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(5): 755-760.
- [7] 胡德华, 段景川. 盾构掘进对邻近桩基的变形特征研究[J]. 隧道建设, 2015, 35(5): 413-418.
HU D H, DUAN J C. Study on characteristics of deformation of adjacent pile foundations caused by shield boring [J]. Tunnel Construction, 2015, 35 (5): 413-418.
- [8] 朱才辉, 李宁, 柳厚祥, 等. 盾构施工工艺诱发地表沉降规律浅析[J]. 岩土力学, 2011, 32(1): 158-164.
ZHU C H, LI N, LIU H X, et al. Analysis of ground settlement induced by workmanship of shield tunneling [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(1): 158-164.
- [9] 王立新. 盾构超近距离穿越大型立交桩基群影响研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(3): 761-768.
WANG L X. Research on the influences of shield closely passing through the pile foundation of large interchange [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2016, 12(3): 761-768.
- [10] 姜忻良, 崔奕, 赵保建. 盾构隧道施工对邻近建筑物的影响[J]. 天津大学学报, 2008, 41(6): 725-730.
JIANG X L, CUI Y, ZHAO B J. Influence of shield tunnel construction on neighboring building [J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41(6): 725-730.
- [11] 于宁, 朱合华. 盾构施工仿真及其相邻影响的数值分析[J]. 岩土力学, 2004, 25 (2): 292-296.
YU N, ZHU H H. The simulation of shield tunnel construction and analysis of its influence upon surrounding environments [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(2): 292-296.
- [12] 赵宏华, 陈国兴, 叶斌. 盾构掘进施工对周边单桩变形影响研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(4): 794-802.
ZHAO H H, CHEN G X, YE B. Research on the deformation of single pile induced by adjacent shield driving [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(4): 794-802.
- [13] 方勇, 何川. 地铁盾构对隧道施工对近接桩基的影响研究[J]. 现代隧道技术, 2008, 45(1): 42-47.
FANG Y, HE C. Study on the influence of metro shield tunneling on close-by pile foundation [J]. Modern Tunneling Technology, 2008, 45(1): 42-47.
- [14] 李树奇, 曹永华, 叶国良, 等. 盾构掘进对既有桩基影响的数值分析[J]. 中国港湾建设, 2009 (4): 1-4.
LI S Q, CAO Y H, YE G L, et al. Numerical analysis on influence of shield tunneling to neighboring piles [J]. China Harbour Engineering, 2009(4): 1-4.
- [15] 王文斌, 刘维宁, 丁德云, 等. 盾构隧道施工对西安钟楼影响的数值模拟预测[J]. 北京交通大学学报, 2011, 35(4): 33-37.
WANG W B, LIU W N, DING D Y, et al. Discussion on risk management in urban subway project [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2011, 35 (4): 33-37.

本文编辑: 苗 变