

文章编号: 1005—0523(2007)04—0036—03

软土地层近距离上穿既有隧道变形的数值模拟

孙玉永, 宋天田, 周顺华

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200331)

摘要: 针对上海市某地铁隧道近距离上穿运营中的地铁二号线, 二者最小净间距为 1.33m, 通过三维数值模拟得到在新隧道推进过程中, 地铁二号线和地表都表现为隆起, 二号线最大隆起量为 7.29mm, 地表最大隆起量为 16mm; 地铁二号线的变形分为沉降、隆起及稳定三个阶段等结论。

关键词: 盾构隧道; 上穿; 变形; 三维有限元; 数值模拟

中图分类号: TU4 **文献标识码:** A

1 引言

随着我国经济建设的不断发展, 作为城市基础设施的地下铁路也得到了迅速发展. 然而在城市繁华地区或一些特定地段, 随着地下空间的开发和隧道网络不断完善, 隧道相互穿越的距离将会越来越接近, 这给已建隧道保护带来了极大的困难. 近年来, 国内外对叠交隧道方面的研究比较多. 文献^[1~4]结合实际工程, 研究了相邻隧道施工的相互影响过程及其控制措施, 得出了一些对施工具有指导性作用的结论.

以上研究都是针对“下穿”既有隧道的情况, 对于“上穿”的情况则研究的很少, 而在“上穿”时, 既有隧道表现为隆起, 且新建隧道埋深肯定较浅, 可能对地表影响比较, 这给变形控制提出了新的要求, 因此有必要对其进行研究.

2 工程概况

该轨道交通曲阜路站~人民广场站区间, 隧道从运营中的地铁二号线上部斜向穿越, 两隧道的最小净距为 1.33 m, 新建隧道的上覆土厚度为 2.95 m, 两隧道的平面图及剖面图如图 1 所示.

本工程所处的土层地质条件如下: ①层填土, 上部含较多碎石, 砖块混凝土等杂物, 下部以粘土为主; ②1-1 层粉质粘土, 下部土质较软; ③层淤泥质粉质粘土, 局部夹多量薄层粉砂, 土质不均匀; ④层淤泥质粘土, 夹少量薄层粉砂, 下部夹多量贝壳碎屑, 土质软, 呈流塑状, 具有较高的压缩性, 新建隧道主要是穿越该层; ⑤1 层粉质粘土, 局部夹粘土; ⑤3 层粉质粘土, 夹薄层粉砂, 土质均匀. 各土层的力学参数见表 1 所示.

表 1 地层的力学参数

层号	含水量 W(%)	天然重度 γ(KN/m ³)	孔隙比 e	液限 W _L (%)	塑限 W _P (%)	直剪固快峰值强度		压缩模量 (MPa)	静止侧压力系数 K ₀ (KN/m ³)
						内聚力 C(kPa)	内摩擦角 φ(°)		
② ₁₋₁	38.7	2.73	1.07	36.7	20.9	17	21	4.16	0.46
③	56.0	2.74	1.54	37.5	19.8	14	13.5	1.71	0.50
④	65.1	2.76	1.81	45	21.8	13	11.5	1.68	0.59
⑤ ₁	33.5	2.72	0.97	33.1	19.3	10	27	3.98	0.51
⑤ ₃	31	2.72	0.93	32.8	18.9	14	29.5	7.13	0.50

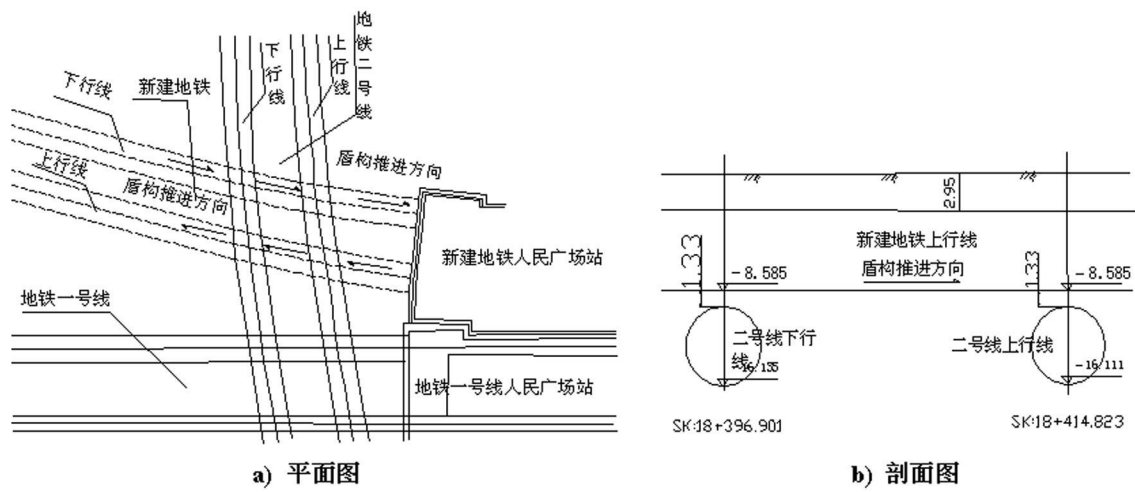


图 1 叠交隧道的相互位置关系图

3 三维有限元仿真分析

3.1 计算模型

隧道推进是一个三维问题,要直接模拟隧道推进产生的三维效应是非常困难的,为此,本文根据文献[5],将这些与施工密切相关又不易量化的变量概化为均质、等厚的等代层,结合地层特性、隧道管径和注浆情况等,以及参考文献[6],最终确定扰动层厚度为 20 cm.

由于该线与地铁二号线的夹角为 75°,因此在模型建立中取为正交以简化计算.有限元模型整体尺寸为:沿盾构隧道推进方向(纵向)尺寸为 62.6 m,横向尺寸为 62.6 m,深度尺寸为 50 m.在叠交区域进行了网格细化,划分过的有限元模型如图 2 所示.为了更好的模拟实际盾构推进过程,沿盾构推进方向每条隧道分 16 步开挖.

步:

- (1) 计算初始自重应力场,作为计算的初始阶段;
- (2) 盾构机推进第一环,周围的等代层低刚度单元“生”,这时还要考虑盾构机自重荷载和刚度对周围土体的作用;
- (3) 盾构推进到第二环,第一环周围地层应力释放 25%(偏于安全的取值),第二环周围土体低刚度单元“生”;
- (4) 盾构推进到第三环,第一环预设管片单元“生”,同时在管片周围土体施加均布荷载,以模拟注浆压力的作用,第二环周围土体应力释放 25%;
- (5) 盾构推进到第四环,第一环等代层低刚度单元“死”,高刚度单元“生”,用以模拟注浆对周围土体的加固作用.

3.3 数值模拟结果分析

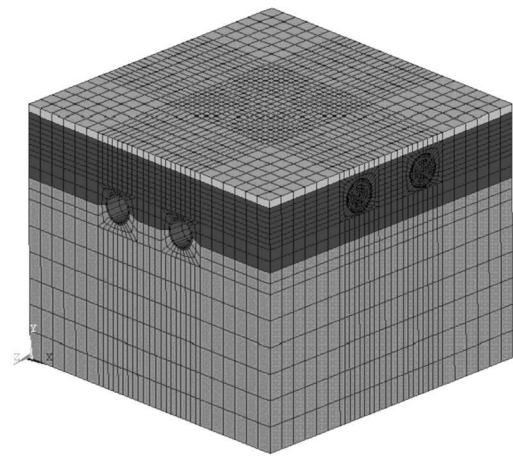


图 2 有限元模型图

3.2 数值模拟计算分析步骤

盾构推进过程的数值模拟步骤主要分为如下几

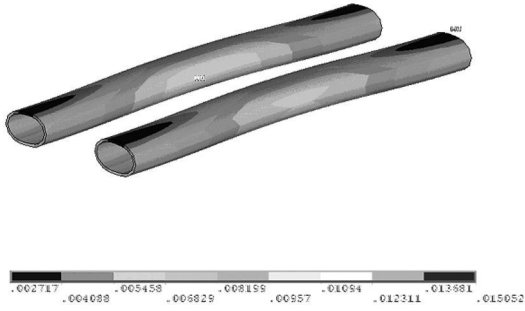


图 3 地铁二号线变形云图(单位:m)

图 3~图 4 为盾构隧道推进完成时地铁二号线和地表的变形云图.从图中可以看出,地铁二号线和地表都表现为隆起.新建隧道推进过程中下部土体的卸载回弹,是地铁二号线产生隆起的主要原因.地表的隆起主要是基于如下原因,其一,由于隧道叠交距离很近(1.35 m),地铁二号线隆起的贡献作用;其

二,由于新建隧道上覆土厚度较薄(2.95 m),而壁后注浆压力一般为0.2~0.3 MPa,这也是造成地表隆起的主要原因.

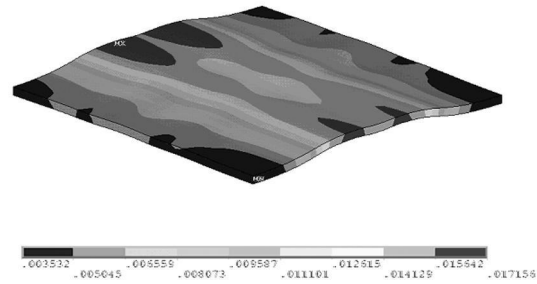


图4 地表变形云图(单位:m)

3.3.1 地铁二号线变形分析

图5为地铁二号线下行线竖向位移随盾构推进的关系曲线(新建隧道下行线中心坐标为23.1 m,上行线中心坐标为39.5 m).从图中可以看出,在隧道下行线推进完成时,地铁二号线最大隆起量为7.29 mm,10 m弦长测量的高低最大失度值为2.46 mm;待上行线推进完成时,最大隆起量为11.6 mm,最大失度值为2.2 mm.根据《铁路线路维修规则》,当行车速度 $v \leq 100$ km/h时,10 m弦测量的高低最大失度值的作业验收值为4 mm.由此可知在盾构推进过程中,地铁二号线能够满足正常运营的要求.

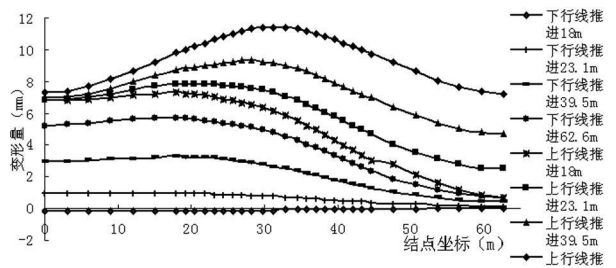


图5 地铁二号线下行线竖向位移随盾构推进曲线

从图中同样可以发线地铁二线线的变形主要发生在下行线推进过程中,因此在这期间对地铁二号线进行变形控制具有重要工程实际意义.

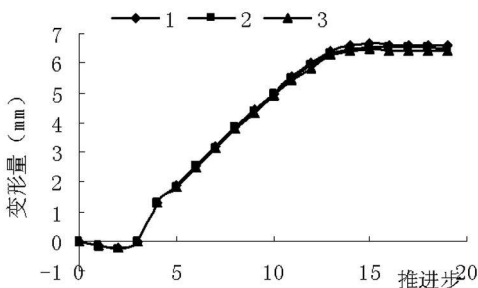


图6 地铁二号线竖向位移随盾构推进曲线

图6为隧道下行线推进过程中两隧道交叠处地

铁二号线竖向位移变化曲线.从图中可以看出,既有线的变形过程可分为如下几个阶段:沉降阶段、隆起阶段和稳定阶段.沉降阶段,在盾构推进到既有隧道之前,由于盾构机前舱压力及盾构机本身自重作用下,既有隧道上方土层的土压力增加和超孔隙水压力产生,从而使既有隧道发生沉降,但沉降值较小.隆起阶段,主要是由于盾构推进过程中引起的土体卸载回弹,地层损失以及壁后注浆压力的作用.稳定阶段,在盾构推过既有线一定距离(本次模拟显示为26 m左右),地铁二线线的变形趋于稳定,并有一定的下降,这主要是由于盾构推进过程中对周围土体产生一定的扰动,在盾构推过以后,土体产生的固结沉降变形.

3.3.2 地表变形分析

图7为地表竖向位移随盾构推进的关系曲线.从图中可以看出,在隧道下行线推进完成时,地表最大隆起量为12.4 mm,最大倾斜率为1/1 200;待上行线推进完成时,地表最大隆起量为16.0 mm,最大倾斜率为1/1 300.根据《既有建筑地基基础加固技术规范》,对于一般框架结构当最大倾斜率 $< 1/500$,最大沉降量 < 20 cm时,建筑物不需要进行加固.因此在盾构推进过程中,地表既有建筑物可以满足正常使用的功能要求.

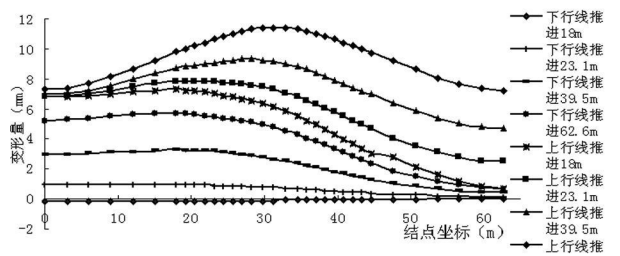


图7 地表竖向位移随盾构推进曲线

待两隧道推进完成后,地表变形出现两个峰值,位置在既有隧道上方,并且变形也主要发生在下行线隧道推进过程中.

4 结语

- 通过以上三维数值模拟分析,得到结论如下:
- (1) 在盾构推进过程中,由于土体卸载回弹及壁后注浆压力的作用,地铁二号线和地表都表现为隆起.
 - (2) 在盾构推进过程中,地铁二号线变形过程依次分为:沉降阶段、隆起阶段和稳定阶段.

(下转第45页)

4 结语

乐温高速公路排水系统的设计,不但考虑了边沟自身的排水需要,同时边沟设计力求与高速公路

总体景观相协调,尤其挖方段暗埋式边沟的设置,增大了路堑边坡的绿化面积,拓宽了驾乘人员的绿化视角,增加了行车的安全感,为路堑段外侧防撞护栏的取消创造了条件,取得了良好的效果。

The Design of Le Wen Highway Drainage System

WAN Jian-jun¹, HE Hui-qun²

(1.Jiangxi Communication Engineering Group Corp·Nanchang, 330016;2.Jiangxi Communication Design Institute·Nanchang, 330002, China)

Abstract: Drainage system is an important part of highway design, and it has an essential effect of ensuring the running quality and life-span of highway. This text directs towards the drainage system of Le Wen Highway, primarily to introduce the design of median divider drainage, surface drainage, side drain of roadbed drainage and intercepting drain of cutting excavation drainage. Besides, there are some design practices and specific mechanical control measures according to the coordination between highway drainage system and surroundings, which can offer a reference for drainage design of slightly precipitous plains.

Key words: Le Wen Highway; drainage system; design

(上接第 38 页)

(3) 地铁二号线和地表的变形主要发生在下行线推进过程中。

参考文献:

[1] Richards J A. Inspection maintenance and repair of tunnels; international lessons and practice[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1998, 13(4): 369—375.

[2] Chang C T, Suna C W, Duannb S W, et al. Response of a Taipei Rapid Transit System (TRTS) tunnel to adjacent excavation [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2001, 16(3): 151—158.

[3] 胡群芳, 黄宏伟. 盾构下穿越已运营隧道施工监测与技术分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(1): 42—47.

[4] 王如路, 蔡轶昊, 刘建航. 上海市轨道交通 4 号线盾构隧道穿越地铁运营线路的监护工程[J]. 地下工程与隧道, 2004, (3): 23—30.

[5] 陈中, 焦苍. 埋深和盾构推力对盾构隧道的地表变形影响分析[J]. 隧道建设, 2005, 25(5): 15—18.

[6] 易宏伟. 盾构法施工对土体扰动和地层移动影响的研究 [D]. 上海: 同济大学, 1999.

3D—FEM Simulation of Deformation of Short Distance Overlapped
Tunnels in Soft Soil Stratum

SUN Yu-yong, SONG Tian-tian, ZHOU Shun-hua

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200331, China)

Abstract: A shield-driven tunnel is constructed adjacent to the Metro Line 2 tunnels in Shanghai. A minimum distance is 1.33m between the two tunnels. From the 3D—FEM simulation, the Metro Line 2 and ground surface are built-up, the max deformation of which 7.29mm and 16mm, and the three steps—settlement, build-up, stabilization of the Metro Line 2 are gained when the shield driving.

Key words: shield tunneling; over drifted; deformation; 3D—FEM; numerical simulation