

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.02.025

隧道施工参数对地表沉降的影响研究

吴迪

(中国建筑上海设计研究院有限公司辽宁分公司, 辽宁 沈阳 110086)

摘要: 隧道施工选取的敏感性参数对地表沉降的影响尤为重要,以哈尔滨地铁某区间隧道为依托,利用大型通用岩土工程分析软件 MIDAS/GTS 建立隧道开挖的数值分析模型,对不同施工工况下的隧道开挖过程进行模拟并对相应的地表沉降计算结果进行分析。分析结果表明:双线隧道施工时土体扰动范围相对较大;隧道错距带来的土层变形的影响并不显著;随着隧道埋深的增大,双隧道开挖引起的土层变形也随之增大。

关键词: 区间隧道;MIDAS/GTS;地表沉降;施工工况;土层变形

中图分类号: U231.3

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2018)02—0131—04

Effect of Construction Parameters on Ground Settlement

WU Di

(China Shanghai Architectural Design and Research Institute Co., Ltd Liaoning Branch, Shenyang, Liaoning 110086, China)

Abstract: It is very important to analyze the effect of construction parameters on ground settlement. Based on interval tunnel of Harbin subway, the 3D finite element model is developed to analyze the effect of tunnel excavation on ground settlement using the MIDAS/GTS in the construction sequences. The results indicate that the two-line tunnel has more risks than single line tunnel in the construction stage, and alternate distance two-line tunnel excavation has limited effects on soil deformation, at the same time with the increase of buried depth of tunnel, the soil deformation also increase which is caused by two-line tunnel excavation.

Keywords: internal tunnel; MIDAS/GTS; ground settlement; construction condition; soil deformation

中国经济的快速发展使人们在地面上的活动空间越来越狭窄,这就促使人们逐渐将空间利用的目光转向地下,在地下空间的开发活动中,隧道建设成为主要的手段^[1-4]。在隧道开挖过程中,其对周边岩层或土体会产生较大扰动,而这之中地表沉降是最为明显的表现之一^[5-6]。较大的地表沉降会严重威胁到人民的生命财产安全,所以实现地表沉降的有效控制至关重要^[7-8]。Peck R B^[9]首先提出了沉降槽的思路,开创了隧道开挖对地表沉降计算的先河,后续有很多学者对其方法进行了改进。

漆泰岳^[10]利用 FLAC^{3D}建立三维数值模型,对无或有建筑物条件下的地层和建筑物沉降特征进行对比研究,探讨地铁隧道施工引起建筑物沉降的安全控制标准。Ding Zhi 等^[11]通过研究发现不考虑地表建筑自重的情况下沉降值与沉降槽计算结果会有较大差距。但是建筑物对地基产生的附加荷载对沉降

结果影响很大,一般针对地表的沉降监测都会在建建筑物上布设监测点。韩焯等^[12]利用高斯曲线对现有的 Peck 公式进行了修正,但他在进行黏性土沉降分析时对沉降槽宽度系数的选取受到较大质疑。袁长丰等^[13]以胶州湾隧道开挖导致的监测数据为例,建立考虑节理几何特征的数学预估模型,依照随机介质理论,推导地表岩块概率分布函数,建立单元岩块沉降预测公式。孟益平等^[14]采用 ANSYS 对青岛某区间隧道进行分析,结合监测数据和数值计算结果,研究隧道断面开挖对地面沉降的影响。陈自海等^[15]通过杭州某盾构施工的实时监测,采用 ABAQUS 有限元软件研究了浆液弹性模量、注浆压力及土舱压力等因素对地表沉降的影响。

本文以哈尔滨地铁某区间为依托,利用大型通用岩土工程分析软件 MIDAS/GTS 建立隧道工程的有限元数值模型,对隧道开挖过程进行模拟并对不

同施工工况下的地表沉降结果进行分析,为以后类似工程的施工提供参考。

1 工程背景

工农大街站—终点区间,从工农大街站开挖,顺丽江路向东前进通过半径 3 m 的曲线,至丽江路到达终点。区间起讫里程为 DK42 + 445.683—DK42 + 869.516,区间全长 424.678 m,地址剖面见图 1。该隧道区间采用暗挖法施工,断面形状为单洞单线马蹄形。区间竖向为单向坡,最大的坡度为 1.509%,其上覆土厚度约为 15.2 m,基础模型中两隧道轴线距离为 14 m,隧道初衬和二衬支护厚度分别取 0.25 m、0.30 m,见图 2。

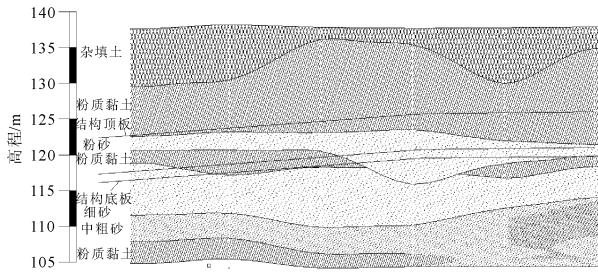


图 1 地层剖面图

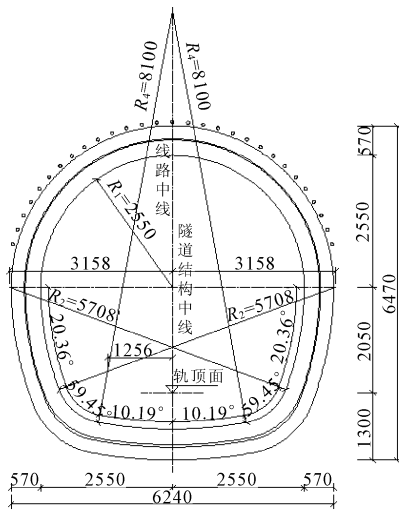


图 2 隧道的断面图

本区间线路主要沿丽江路由北向南敷设,沿线主要建筑物为商业与居民楼。线路从工农大街站引

出后北行,向南敷设,到达终点。本区间施工方法为矿山法,其区间相连车站均采用明挖法施工,隧道开挖断面为马蹄形断面。

2 数值模型的建立

2.1 基本假定

三维模型中采用如下基本假定:

(1) 材料采用修正 Mohr - Coulomb 破坏屈服准则,考虑土体卸载和重加载刚度硬化。

(2) 各土层均简化为匀质成层水平分布。

(3) 本暗挖隧道的施工是在降水的前提下进行施工,无需考虑地下水渗流在隧道开挖过程中的影响。

2.2 单元类型及材料参数

隧道的围护结构均采用弹性材料,隧道初衬结构采用三维板单元进行模拟,二衬支护结构采用修改单元属性的计算模块,通过设定特有边界修改单元属性。隧道锁脚锚杆采用植入式桁架单元,单元截面采用圆形断面,按照原设计注浆锚杆进行轴向刚度等效。本模型根据场地地质特点,将场地土简化为四层土,各层土的物理力学参数见表 1。

2.3 计算模型

按照隧道开挖的影响范围大小,计算模型范围在水平和垂直方向取 3 ~ 5 倍隧道的跨度,向上取至地表。模型在水平方向取 4 倍的隧道开挖断面宽度,垂直方向从隧道底部开始取向下 3 倍洞径。计算模型的垂直方向的深度为 35 m,横向宽度为 72 m,纵向长度取 30 m。

模型的左右两侧约束水平方向的位移,底面约束水平和垂直方向上的位移,上表面为自由边界。土体材料均采用可考虑土体硬化和刚度与应力相关性的修正莫尔 - 库仑模型。该模型共有 14 154 个节点,13 960 个单元。其计算模型见图 3。

3 结果分析

3.1 不同台阶长度的影响

为研究不同台阶长度对地层变形的影响,分别取 0.5D、1.0D、1.5D、2.0D (D 为隧道开挖断面跨度,约 6 m),上下台阶高度取隧道高度的一半。

表 1 土层参数表

参数类型	密度 ρ /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	泊松比 μ	黏聚力 c/MPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	割线刚度 /MPa	切线刚度 /MPa	卸载弹性 /MPa
杂填土	1700	0.33	16	20	50	50	150
粉质黏土	1630	0.35	18	19	20	20	40
粉细砂	1800	0.30	5	30	60	60	180
中粗砂	1900	0.30	5	36	120	120	360

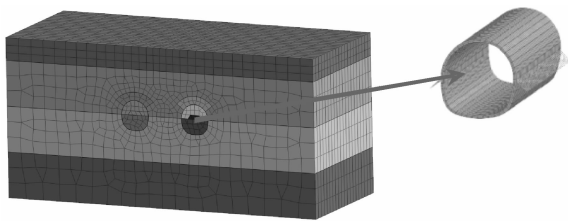


图 3 有限元模型

单个隧道和双隧道的土层变形总位移,见图 4 和图 5。由图 4 和图 5 可以看出,土体变形最大处位置位于隧道顶部起始开挖处,这是由于隧道起始开挖处

受扰动时间较长,会产生比其他位置更多的变形。

对于单线隧道,0.5D 和 1.0D 台阶长度开挖引起的纵向土体变形分别是 5.9 mm 和 10.8 mm,后续随着台阶长度的增加,对土体纵向变形影响较小。对于双线隧道和单线隧道的规律相似,0.5D 和 1.0D 台阶长度开挖引起的纵向土体变形分别是 6.7 mm 和 11.2 mm,后续随着台阶长度的增加,对土体纵向变形影响较小。总体来说,台阶长度的增加扩大了隧道开挖引起土体扰动的范围,但当台阶长度是 1.0D 后,对土体扰动的趋势减弱。

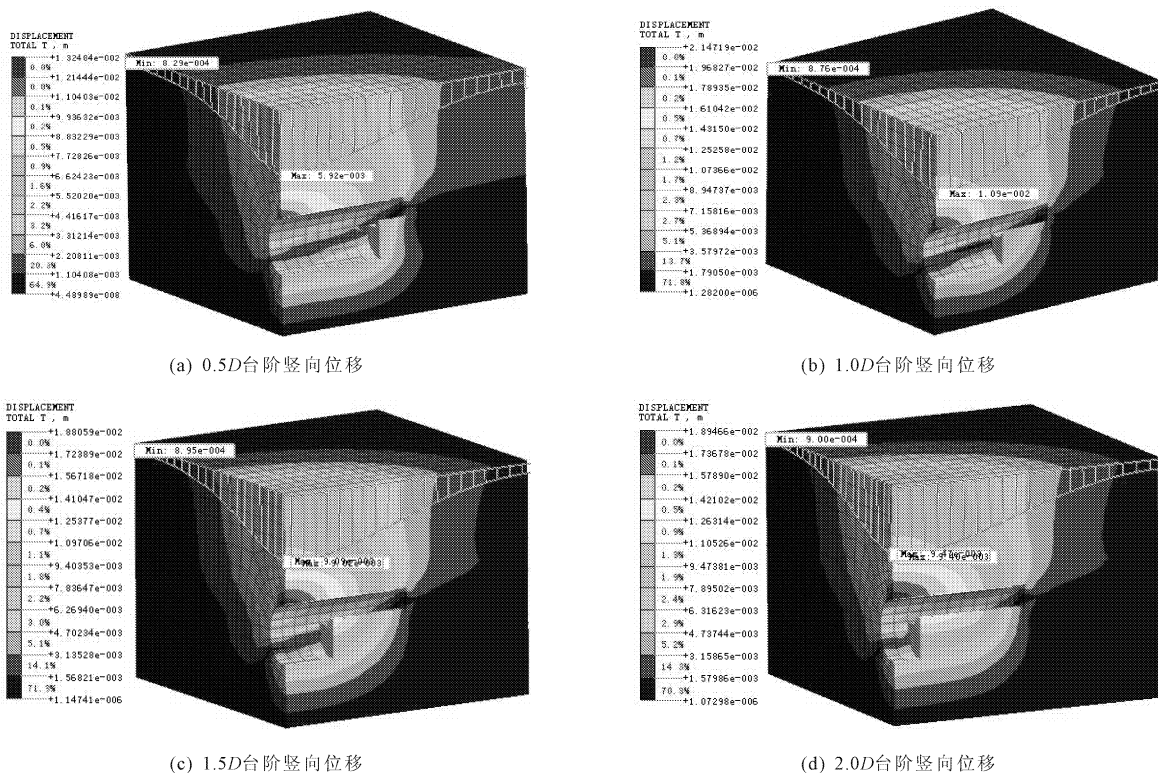


图 4 单线隧道总位移云图

根据上述分析可知,台阶长度对于地层变形产生较大影响:台阶的长度越长,拱顶沉降量和地表沉降就越大。因此应避免过长的台阶长度。但台阶长度过短会造成开挖面前方土体失稳,造成开挖面前方土体坍塌。当台阶的长度约为 1 倍的隧道开挖宽度时,开挖面前方土体能够在核心土和下台阶土的平衡作用下保持稳定。除此之外,在施工过程中应采取加固措施,尽早封闭成环,以便控制开挖面稳定性。

3.2 不同隧道错距长度的影响

在实际隧道开挖施工过程中,不同隧道(或导洞)之间的开挖错距长度对土体变形以及支护结构的稳定性都会产生一定的影响。

根据不同隧道错距长度,进行暗挖隧道开挖数值模拟,对比不同隧道错距长度对地层变形以及支

护结构内力的影响。两隧道开挖面的错距分别取 0.0D、1.0D、2.0D 和 3.0D,其他参数均与基础模型相同。通过不同隧道错距长度对隧道开挖的影响分析,得出合理有效的隧道施工开挖方法,对实际施工进行指导。

从四种隧道错距开挖方案的竖向位移和总位移的对比可知,在隧道埋深较大(约 11 m)、隧道间距较远(约 14 m)的情况下,隧道开挖面的错距多少对施工中的变形控制影响效果并不明显,当两隧道同时开挖的时候产生的土体变形稍大。地表沉降最大值均在 13.4 mm~14.0 mm 之间,拱顶沉降最大值出现在右线隧道顶部,约为 18.0 mm~19.5 mm。隧道上方土体的总变形量和土体扰动范围受隧道开挖面错距距离的影响也不显著。

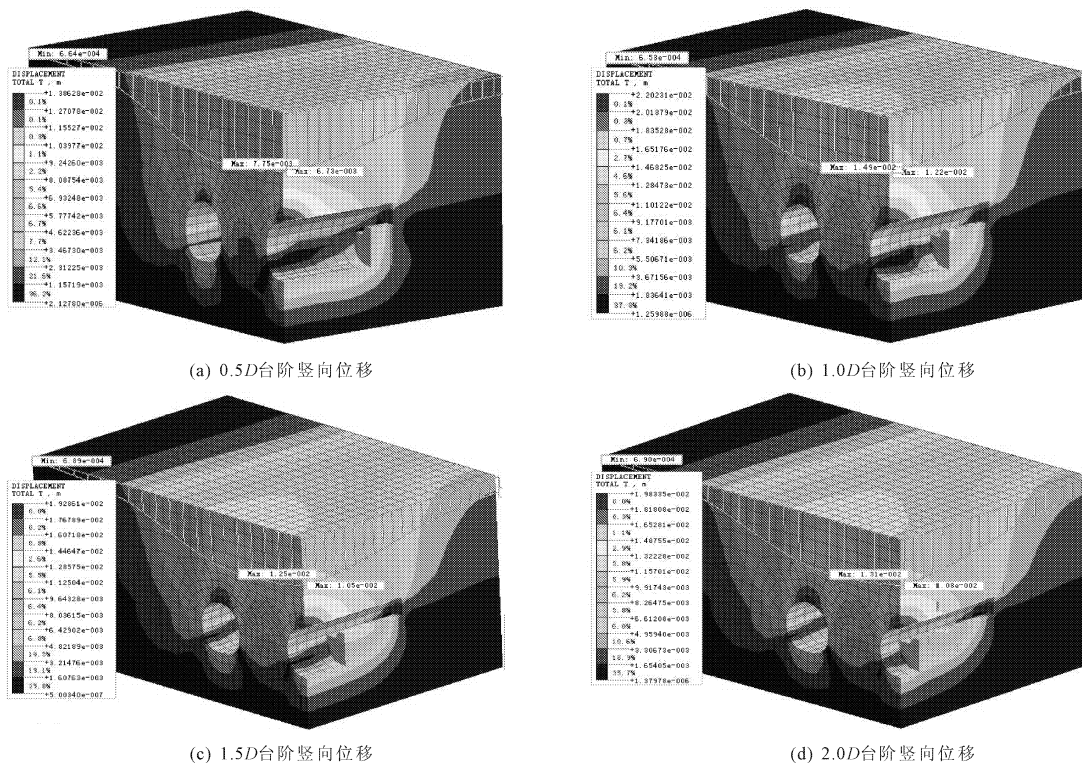


图 5 双线隧道总位移云图

4 结 论

论文采用有限元数值模拟的方法建立隧道开挖的三维模型。分别对不同台阶长度、隧道错距长度和隧道埋深等关键参数引起的地层变形规律进行研究,得出以下结论:

(1) 双隧道开挖在隧道开挖的纵向和横向都出现了更大范围的土体扰动区域,显然双线隧道开挖施工过程中将产生更大的施工风险。

(2) 当两隧道埋深较深且距离较远时,隧道错距带来的土层变形的影响并不显著,可以忽略不计。但在实际工程中,为保证两隧道间土体的稳定性,减小隧道上方土体变形,需采用错距开挖隧道。

参考文献:

- [1] 赵文,姜宝峰,贾鹏蛟,等. STS 管幕结合洞桩法修建地铁车站数值模拟研究[J]. 应用力学学报, 2017, 34(4): 756-762.
- [2] 魏纲,余浩强,陈春来,等. 双线平行盾构隧道侧穿邻近框架建筑物影响的研究[J]. 科技通报, 2017, 33(2): 167-172.
- [3] 洪开荣. 我国隧道及地下工程发展现状与展望[J]. 隧道建设, 2015, 35(2): 95-107.
- [4] 韩健勇,赵文,关永平,等. 地铁车站洞桩法开挖变形规律分析[J]. 应用力学学报, 2015, 32(4): 623-629.
- [5] 李倩倩,张顶立,张成平,等. 不同埋深下暗挖隧道施工

- 的地层响应[J]. 北京交通大学学报, 2013, 37(1): 27-33.
- [6] 陈利杰,张晓平,刘采斌,等. 城市浅埋软岩隧道施工沉降分析及对策[J]. 工程地质学报, 2010, 18(2): 281-288.
- [7] 何桥,叶明亮,田凯,等. 浅埋暗挖隧道施工过程中数值模拟分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(6): 36-41.
- [8] 陈星欣,白冰. 隧道下穿既有结构物引起的地表沉降控制标准研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(1): 103-108.
- [9] Peck R B. Deep excavations and tunneling in soft ground [C]//Proceeding of the 7th International Symposium on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico City: State of the Art Report, 1969: 225-290.
- [10] 漆泰岳. 地铁施工引起地层和建筑物沉降特征研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(7): 1283-1290
- [11] Ding Zhi, Wei Xinjiang, Zhang Tao, et al. Analysis and discussion on surface settlement induced by shield tunnel construction of adjacent structure[J]. Disaster Advances, 2012, 5(4): 341-345.
- [12] 韩焯,李宁, Standing J R. Peck 公式在我国隧道施工地面变形预测中的适用性分析[J]. 岩土力学, 2007, 28(1): 23-28.
- [13] 袁长丰,袁子晋,刘世波,等. 青岛地区隧道开挖引起地表沉降偏态分析及预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S2): 4014-4019.
- [14] 孟益平,徐林海. 地铁隧道开挖引起地表沉降的数值模拟研究[J]. 安徽建筑大学学报, 2016, 24(3): 8-11.
- [15] 陈自海,杨建辉,郭小东. 软土地层中盾构施工参数对地表沉降的影响研究[J]. 隧道建设, 2015, 35(12): 1281-1286.