

文章编号:1671-2579(2013)05-0218-04

WSS工法下双线暗挖隧道下穿既有城市主干道施工过程模拟

李现者¹, 王道远^{1,2}, 袁金秀¹, 郑阳³(1. 河北交通职业技术学院 土木工程系, 河北 石家庄 050091; 2. 西南交通大学 土木工程学院;
3. 石家庄铁道大学 土木工程学院)

摘要:以某双线暗挖隧道下穿既有城市主干道为工程背景,利用FLAC^{3D}有限差分软件建立三维计算模型,对不同WSS加固范围下既有主干道沉降、在建暗挖隧道受力、收敛、掌子面挤出位移以及塑性区开展深度进行分析。结果表明:WSS上半断面加固范围已满足施工过程中变形和受力要求。其结论可供类似工程借鉴和参考。

关键词:城市;隧道;施工过程;WSS;数值模拟

1 工程概况

某城市地铁采用双线暗挖法垂直下穿既有城市主干道,其暗挖隧道净跨5.1 m,净高5.33 m,埋深10.5 m,隧道中心间距18.68 m,断面如图1所示。隧道位于第四系地层中,从上至下依次为杂填土、粉土、粉质粘土、砂类土、圆砾土。场地范围内地下水主要为第四系孔隙潜水,含水层为砂、卵石层,主要由大气降水补给。地下水水位埋深45~50 m,均位于结构底板以下,不需降水。在WSS(WSS参数详见文献[1])加固体的保护下采用上下台阶预留核心土加临时支撑的方法同时同向开挖,并且下穿过程不中止既有城市主干

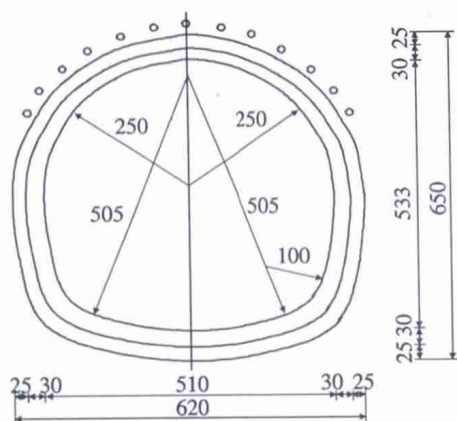


图1 结构断面图(单位:cm)

道的交通,风险较大。因此,该文采用有限差分软件FLAC^{3D}对隧道下穿过程进行动态模拟,研究WSS工法的适用性,为实际施工提供一定指导。

2 数值模拟分析

2.1 模型的建立

计算模型按实际土层选取,从上至下分别为路面层、杂填土、粉土、砂土、粉质粘土、圆砾土。为减少边界效应,模型左右边界和下边界均满足3~5倍洞跨(洞高)。指定沿隧道轴线里程增大方向为Z轴正向,竖直向上为Y轴正向,隧道掘进横断面向右方向为X轴正向,整个计算模型在X、Y、Z三个方向尺寸为100 m×40 m×60 m,模型左、右、前、后和下部边界均施加法向约束,地表为自由边界。

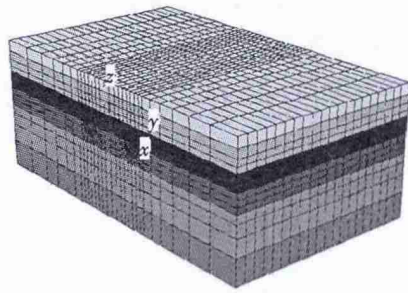
另外,由于既有路面存在交通荷载,故在模型顶部施加20 kPa的均布压力。围岩、WSS加固体、初支、临时支护及二衬均采用八节点六面体Brick单元来模拟,其模型共划分了16 044个节点和14 400个单元,三维计算模型如图2所示。

围岩和支护结构的物理力学参数根据地质资料确定,其物理力学计算指标如表1所示。

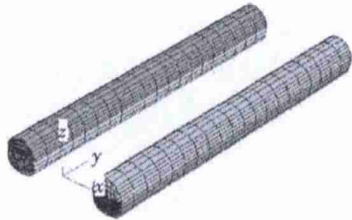
收稿日期:2013-04-25

基金项目:河北省高等学校自然科学基金资助项目(编号:Q2012107)

作者简介:李现者,女,硕士,讲师。E-mail:hb-lxz@163.com



(a) 整体计算模型



(b) 隧道计算模型

图 2 三维计算模型

表 1 模型材料计算参数

类别	$\gamma/$ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	$E/$ MPa	ν	$c/$ kPa	$\varphi/$ ($^\circ$)
路面层	20.0	500	0.29	4 000	35
杂填土	16.5	4	0.31	12	10
粉土	19.4	8.4	0.30	29	21
砂土	19.5	17.7	0.31	3	18
粉质粘土	19.6	20.2	0.30	40	32
圆砾	21.0	41.1	0.30	40	42
WSS 加固体	21.5	100	0.28	600	45
初支、临时支护	22.0	23 000	0.19		
二衬	25.0	31 000	0.167		

2.2 模拟工况

根据研究目的,以上下台阶预留核心土加设临时支撑为基本模型,考虑在建隧道同时同向开挖,选取 3 种工况研究 WSS 加固范围的影响。工况 1:无 WSS 加固;工况 2:上半断面加固;工况 3:全断面加固。限于篇幅,该文只列出工况 2 加固范围(图 3)。

2.3 监测点布设

为了尽可能地减小边界效应对计算结果的影响,数值模拟时监测断面设置在隧道计算模型纵向 30 m 处,即模型中间位置。在地表设置沉降监测点,监测断面顶部设置拱顶下沉监测点 1,底部设置底部隆起监

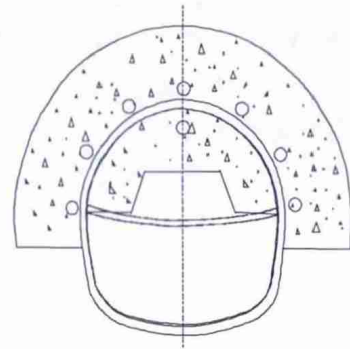


图 3 工况 2:WSS 加固范围图

测点 6,上下台阶各设置一条水平收敛测线,测点 7~22 监测掌子面挤出位移。具体布置如图 4 所示。

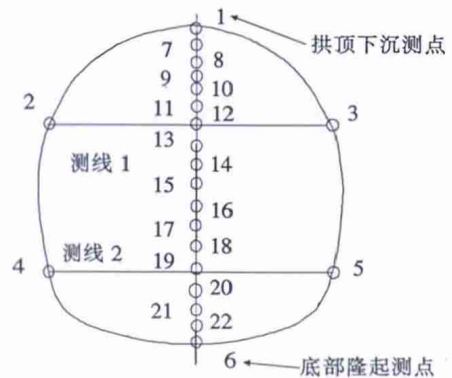


图 4 监测点布置图

3 数值模拟结果

3.1 地表位移对比分析

3 种工况地表沉降情况如图 5 所示。

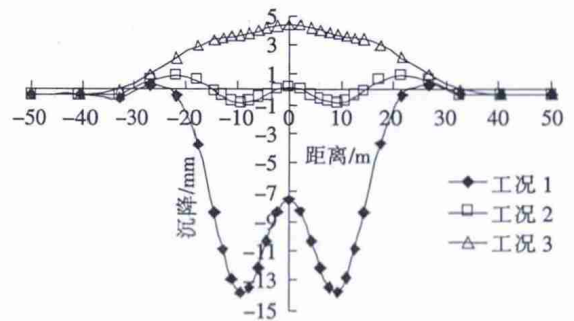


图 5 不同工况下地表沉降曲线图

图 5 表明:WSS 工法对控制地表位移作用显著。工况 1 地表最大沉降为 13.83 mm,工况 3 地表位移主要表现为隆起,最大隆起量为 4.41 mm(隆起原因是工况 3 采用 WSS 加固形成了一个封闭的加固圈,具有较高的强度和抵抗变形能力,同时覆土较薄,隧道开

挖后下部土体向上涌入造成隧道周边整体抬升)。而上半断面加固的 WSS 工法,即工况 2 地表沉降或隆起控制在 $\pm 1 \text{ mm}$ 之间,较好地弥补了地层损失。

3.2 在建隧道位移对比分析

由于对称性,仅将 3 种工况下在建隧道左洞拱顶、洞周收敛以及底部隆起随开挖步序变化绘制于图 6~8 中。

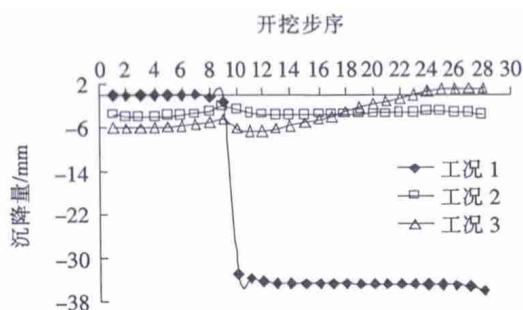


图 6 拱顶沉降随开挖步变化曲线图

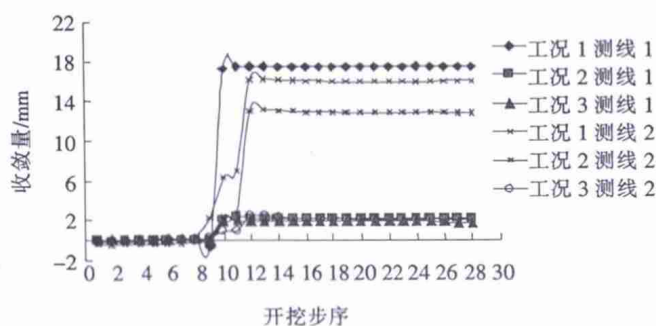


图 7 洞周收敛随开挖步变化曲线图

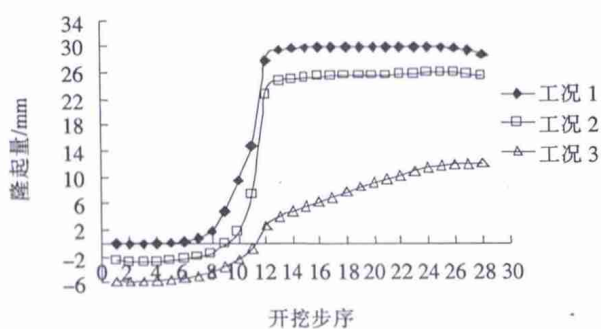


图 8 底部隆起量随开挖步变化曲线图

为便于比较,将图 6~8 在建隧道位移列于表 2。

表 2 在建隧道位移监测结果对比 mm

工况	拱顶沉降	底部隆起	收敛测线 1	收敛测线 2
工况 1	-36.10	28.69	17.44	16.03
工况 2	-3.81	25.40	2.22	12.81
工况 3	1.11	12.08	1.79	2.07

注:“-”表示沉降,“+”表示隆起。

图 6~7 和表 2 显示:工况 2 和工况 3 控制在建隧道拱顶沉降、上半断面洞周收敛的效果较为一致。将无 WSS 加固下的拱顶沉降(-36.10 mm)、上半断面收敛(17.44 mm)分别控制至 -3.81 mm (1.11 mm)和 2.22 mm (1.79 mm)。而 3 种工况在控制底部隆起、下半断面收敛的效果上与 WSS 加固范围成正比,即工况 3 优于工况 2,工况 2 优于工况 1。从在建隧道洞周位移来看,在实际工程中考虑经济与安全的平衡,强化隧道底部的前提下选择工况 2 较为理想。

3.3 掌子面挤出位移对比分析

在下穿既有线隧道施工过程中,掌子面稳定与否既关系到在建隧道的安全,也关系到既有线安全。将掌子面观测点挤出位移绘制于图 9 中。

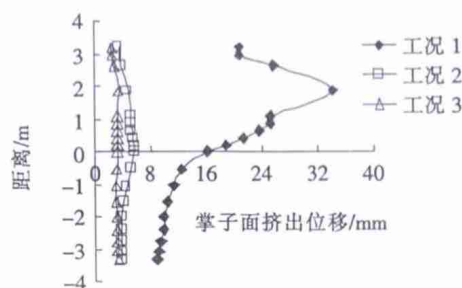


图 9 掌子面挤出位移图

从图 9 可以看出:工况 1 掌子面最大挤出位移发生在上下台阶分界处之上 1.87 m 的位置,其数值为 34.18 mm ;工况 2 和工况 3 对掌子面挤出位移约束效果显著且作用相当,最大挤出位移发生在上下台阶分界处,其位移分别为 5.72 和 3.3 mm 。实际工程中采用 WSS 上半断面加固法稳定掌子面既经济又安全。

3.4 支护结构受力对比分析

实际工程中多关注衬砌拉应力分布情况,3 种工况施工完毕之后,二衬主拉应力分布列于图 10。

为便于比较,将 3 种工况下二衬最大主拉应力值列于表 3 中。

由图 10 和表 3 可知:工况 2 即上半断面加固条件下拱顶和拱底主拉应力分别为 0.63 MPa 和 0.52 MPa ,衬砌结构受力介于工况 1 和工况 2 之间。进一步说明实际下穿过程中采用上半断面 WSS 加固措施较为合理。

3.5 围岩塑性区对比分析

3 种工况开挖完毕后,塑性区开展情况如图 11 所示。

由图 11 可知:塑性区开展深度随着加固范围的加大而减小。采取 WSS 加固范围内的土体几乎没有形

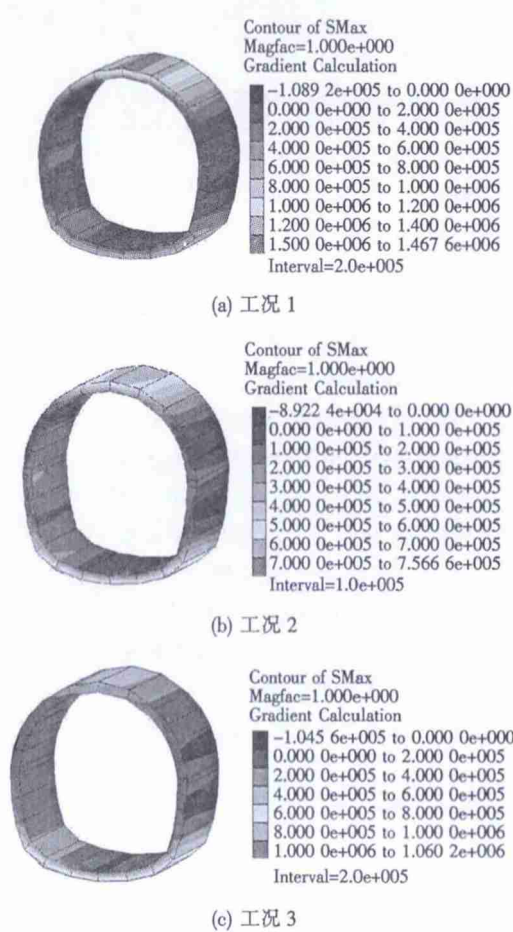


图 10 3 种工况二衬主拉应力分布图(单位:Pa)

表 3 二衬主拉应力

计算工况	主拉应力/MPa		与工况 1 差值百分比/%	
	拱顶	拱底	拱顶	拱底
无加固	1.48	0.43		
上半断面加固	0.63	0.52	57.43	20.93
全断面加固	0.45	0.84	69.59	95.35

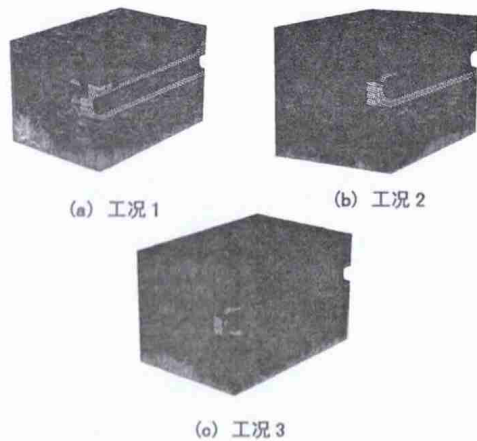


图 11 塑性区分布图

成塑性区。工况 2 的塑性区开展范围及深度介于工况 1 和工况 3 之间。若实际工程采用工况 2 加固措施,应注意隧道底部施工安全,防止土体塑性变形过大而失稳。

4 结论

(1) 通过 WSS 加固措施的抬升作用能较好地弥补在建隧道开挖引起的地层损失,控制既有路面地表变形在±1 mm 之间(如工况 2),说明只要工法得当,在实际穿越过程中实现“0”沉降穿越是可行的。

(2) WSS 加固措施在控制在建隧道的变形、受力方面效果显著,但上半断面加固措施和全断面加固措施在控制拱顶沉降、测线 1 收敛以及掌子面挤出位移方面差别不大。工况 2 计算获得的拱顶和拱底二衬拉应力分别为 0.63 MPa 和 0.52 MPa,介于工况 1 和工况 3 之间。从经济的角度考虑,实际工程中应优先采用上半断面加固措施。

(3) 在实际工程中若采用工况 2 加固在建隧道,应注意隧道底部土体的稳定,实际操作时可采取在拱脚处增设锁脚锚杆,加大仰拱厚度和曲率等措施。

参考文献:

- [1] 袁金秀,王道远,李栋. 北京地铁 6 号线下穿既有 4 号线区间盾构隧道施工技术[J]. 城市轨道交通研究,2012(3).
- [2] 冯卫星,吴康保. 铁路隧道设计[M]. 成都:西南交通大学出版社,1998.
- [3] 朱永全,宋玉香. 隧道工程[M]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [4] 孙钧,侯学渊. 地下结构[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [5] 王道远,袁金秀,赵维普,等. 下穿既有客运专线浅埋大跨双连拱隧道施工技术研究[J]. 昆明理工大学学报,2010(6).
- [6] 王道远,袁金秀. 浅埋偏压双连拱隧道围岩压力计算方法研究[J]. 中外公路,2009(2).
- [7] 冯卫星,王道远,丁军霞. 下穿高速公路结构顶进施工方案和数值分析[J]. 国防交通工程与技术,2010(2).
- [8] 朱正国,黄松,朱永全. 铁路隧道下穿公路引起的路面沉降规律和控制基准研究[J]. 岩土力学,2012(2).
- [9] 李文江,刘志春,朱永全. 铁路站台下暗挖隧道地表沉降控制基准研究[J]. 岩土力学,2005(7).
- [10] 朱正国,李兵兵,李文江,等. 新建铁路隧道下穿既有铁路施工引起的地表沉降控制标准研究[J]. 中国铁道科学,2011(5).