

盾构区间上方大面积开挖影响分析

康晶¹, 邹磊堂², 高大¹

(1.沈阳市市政工程设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110015; 2.中国建筑上海设计研究院有限公司辽宁分公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 随着国内轨道建设的迅猛发展,在盾构区间上方进行基坑开挖的情况时有发生,大面积土体卸载会对既有盾构区间产生较大影响。运用有限元分析软件对基坑开挖施工工况进行计算,可分析既有区间的变形程度,并指导基坑开挖的分层分步顺序。现结合沈阳某新建道路框构桥与既有运营地铁区间平行上下设置的工程,运用有限元软件 MIDAS GTS,对区间上方大面积基坑开挖工程给已建盾构结构带来的影响进行数值模拟。由于采用了坑底注浆加固及分步分层开挖的方式,该工程实例有效地控制了既有盾构区间的水平及竖向位移,能给国内其他类似基坑工程实施提供对比参考。

关键词: 盾构区间; 大面积开挖; 卸载影响

中图分类号: TU317+.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0218-04

0 引言

随着沈阳地铁建设的持续发展,各条主干道下方多有已建的地铁车站和区间,地面快速路的再次施工势必会与已建地铁区间存在平面上的交叉。桥梁承台及桥桩的施工、框构桥基坑的开挖等都会对既有区间产生影响。为了保证地铁运行的安全,要求施工时应采取有效措施,控制基坑开挖产生的区间回弹量在可控范围内。在国内的一些发达城市,比如北京、上海、深圳等,对已运营地铁区间上方土体的卸载工程已频频出现,采取何种安全措施能保证下方地铁的运营安全,成为了工程师们最为关注的焦点问题。

在大面积土体卸载后,坑底土体会相应产生回弹变形,导致内部的隧道结构上抬,隧道形状由原来的扁圆型变为鸭蛋型,已运营的盾构区间对管片间的差异沉降较为敏感,因此应采取必要措施。近年来,相关研究十分丰富:王正波^[1]对比分析了减小软土地区河道开挖对已运营隧道影响的三种保护方案,结果显示对隧道周边土体进行加固和设置抗拔桩均为必要措施;高强等^[2]采用 FLAC3D 有限差分程序针对市政隧道基坑开挖对下卧地铁盾构隧道的影响进行了数值分析,结果表明采用跳槽、分段、分层、对称的方式开挖并结合“板凳桩”加固区间隧道

的设计方案能有效控制基底土体的隆起和隧道的变形;魏纲等^[3]计算了基坑坑底隆起变形对下卧盾构隧道纵向变形的影响,建立了基坑开挖引起的土体位移计算模型,同时通过对三个实际工程的数据进行监测验证了模型正确性。

综上所述,当前国内外学者针对基坑开挖对已运营盾构隧道的影响已进行了大量研究,但是类似本项目基坑开挖范围之大的研究工作还较少。该文正是基于前人研究基础上,以沈阳某快速路框构桥平行设置于地铁盾构区间上方的工程为例,利用有限元软件 MIDAS GTS 模拟基坑开挖对盾构隧道的影响。

1 工程概况

1.1 快速路与盾构区间概况

沈阳市某快速路工程沿沈李公路南北向铺设,北段基坑全长 351 m,包含长度为 51 m 的框构桥和长度为 120 m 的 U 形槽,其余为挡墙类浅基坑。基坑深 0.75~6.5 m,均采用明挖法施工,其中深基坑采用钻孔灌注桩加一道混凝土支撑的围护结构形式。

既有地铁的盾构区间为单洞单线 6 m 盾构,线间距为 15~20 m,在基坑影响范围内盾构段覆土厚 11.2~15.7 m。隧道内径为 5.4 m,管片厚度为 0.3 m,环宽 1.2 m,采用了错缝拼装的结构形式。

1.2 快速路与盾构区间相对关系

快速路基坑与既有地铁盾构区间沿沈李公路平行上下设置。影响范围内的快速路里程为:K0+363.00~

收稿日期: 2023-11-03

作者简介: 康晶(1981—),女,硕士,高级工程师,从事地铁及市政工程结构设计。

K0+724.00,基坑底距区间结构顶高约8 m。

快速路与地铁盾构区间的平面位置关系如图1所示,纵剖面如图2所示,横剖面如图3所示。

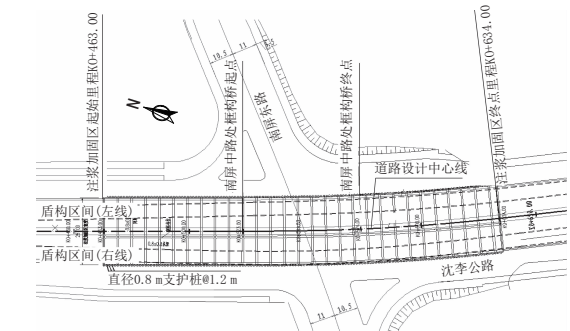


图1 平面图(单位:m)

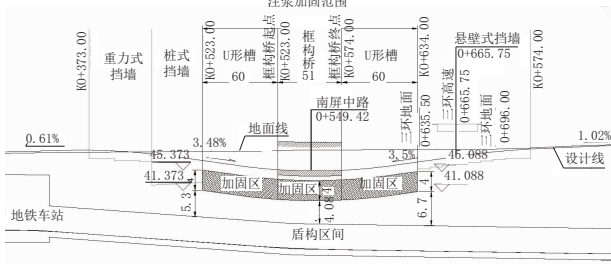


图2 纵剖面图(单位:m)

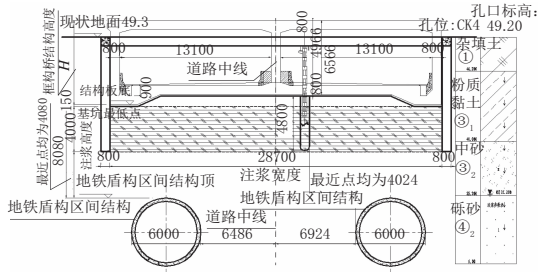


图3 横剖面图(单位:mm)

1.3 工程及水文地质概况

本工程场地在地貌上属浑河冲洪积扇,岩性以砾砂、圆砾为主。从上到下,场地地层依次为杂填土、粉质黏土、中砂、砾砂、圆砾等。该场地主要含水层位于冲洪积扇上部,可见一层地下水,为孔隙潜水,主要赋存于③-4-0砾砂及以下土层中,初见水位埋深约为12.80~15.20 m,稳定水位埋深约为13.20~15.70 m。

场地按Ⅱ类环境类别判定,本场地地下水对混凝土结构有微腐蚀性;对钢筋混凝土结构中的钢筋有微腐蚀性。

1.4 既有盾构区间保护标准

根据《城市轨道交通隧道结构安全保护技术规范》(CJJ/T 202—2013)^[5]及《沈阳地铁结构安全保护技术标准》^[6]的规定,既有盾构区间的安全控制值应取值如下:

隧道水平、竖向位移及径向收敛<10 mm;

安全评估要求既有隧道位移值应小于预警值,即10×60%=6 mm,所以数值模拟计算时的位移控制值取6mm。

1.5 加固设计方案

南屏中路框构桥段及U形槽采用明挖法施工,基坑围护结构采用直径800 mm、间距1 200 mm的钻孔灌注桩,并在基坑内部架设钢管内支撑。结合南屏中路框构桥的施工工法及围护形式,全面考虑施工对已运营地铁的影响,采取的地基处理措施应为坑底高压旋喷桩注浆加固,以保证将施工影响控制在一定范围内。注浆加固里程范围为桩号K0+463.00~K0+634.00,总长度为171 m,基坑底加固厚度为4 m。

采用桩径为700 mm的高压旋喷桩,中心距为650 mm;浆液采用1:1水泥浆,喷浆压力为30 MPa,要求加固土体侧限抗压强度≥1 MPa。

基坑的开挖应充分利用“时空效应”作用,分层、分段进行,严格遵循“先撑后挖,不得超挖”的原则,严禁全长同步、一次开挖或在一个工况条件下一次开挖到底。

基坑的分层厚度要求不大于1 m,分段长度原则上不大于15 m。基坑开挖到底后尽快进行垫层(早强)及结构底板的施工,在底板施工完成后立即进行侧墙及顶板的施工。下一施工段基坑开挖完成时,确保前一施工段结构底板已施工完成。

2 有限元模型的建立及参数选取

2.1 有限元模型的建立

根据类似工程的经验和分析方法,本模型采用Midas GTS NX分析软件,对快速路上跨盾构隧道的施工过程进行三维数值模拟分析。模型中的土层采用修正莫尔库伦本构模型。其中,隧道管片、框构桥围护桩和框构桥主体结构均采用板单元模拟,土层采用实体单元模拟。模型长度为280 m,宽度为128 m,高度为30 m。共设置100 846个节点,138 072个单元。设置模型的约束条件为:地表采用自由表面,其他面均为法向约束。三维模型如图4、图5所示。

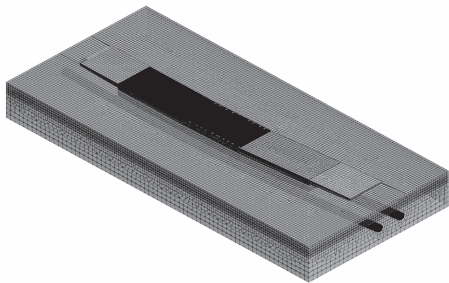


图4 有限元整体模型

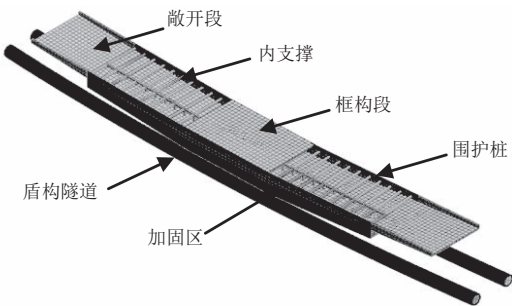


图5 隧道与基坑相对关系图

2.2 计算参数选取

根据本工程基本情况建立了三维数值模型。结合地勘资料数据,对本工程的土层进行简化处理,将部分物理性质相近的土体进行归并。简化后工程所在地区的土层大致分为3层,由上到下依次为杂填土、粉质黏土、中砂。土层的基本物理力学参数如表1所示,结构的基本物理力学参数如表2所示。同时,本工程已经在基坑周边布置降水井,设定在降水达到设计要求后才能进行基坑开挖。因此,未考虑地下水对基坑和基坑底部盾构区间变形的影响。

表1 土体参数表

编号	厚度/m	压缩模量/MPa	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
杂填土	3.0	5.1	18.2	5	10
粉质黏土	6.2	5.29	17.8	10.5	25.1
中砂	20.8	21.5	19.8	0	34.7
加固土		100	23	30	70

表2 结构参数表

结构名称	弹性模量/ 10^4 MPa	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	泊松比
管片	3.45	25	0.2
框构桥	3.25	25	0.2
围护桩	3.00	25	0.2

2.3 施工工况

模型对施工工况的模拟分为以下几种情况:

- (1)工况1:模拟初始地应力,模型位移清零;
- (2)工况2:模拟旋喷桩加固施工;
- (3)工况3:模拟基坑围护桩施工;
- (4)工况4:模拟施工基坑内第一层土方开挖(开挖至第一道支撑下0.8 m);
- (5)工况5:模拟施工基坑内第二层土方开挖,(开挖至基坑底部);
- (6)工况6:模拟框构桥主体结构施工;
- (7)工况7:框构桥施工完成,恢复路面交通。

3 数值计算结果

3.1 沉降分析

除模拟初始条件的工况1外,各工况下盾构隧道

的竖向位移云图如图6所示,位移曲线如图7所示。

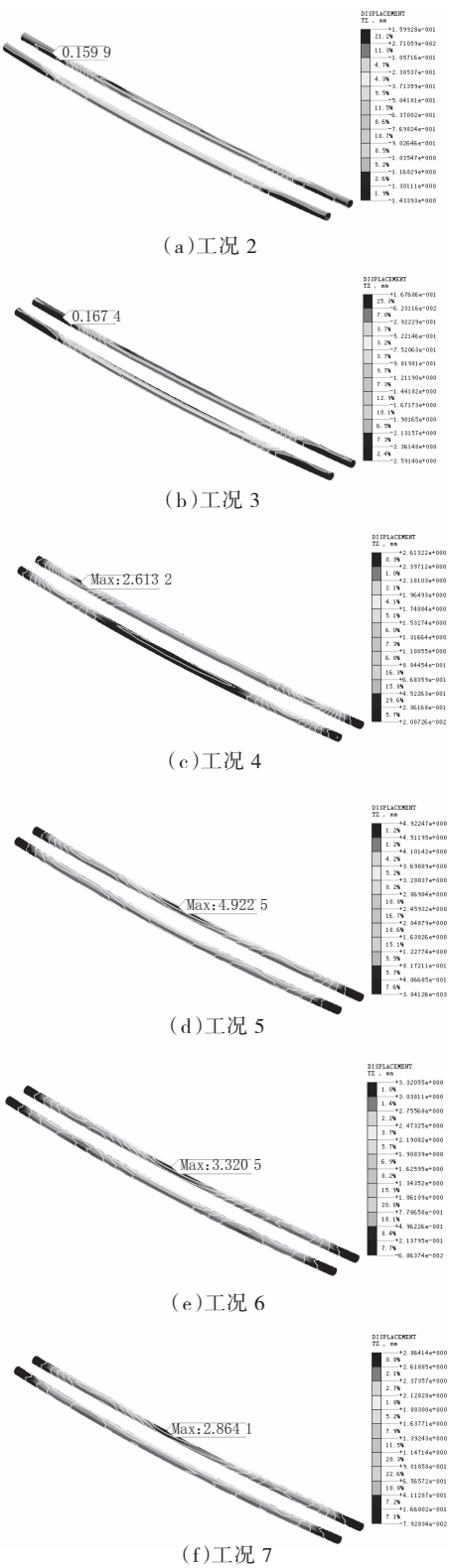


图6 盾构隧道竖向位移云图(单位:mm)

由图6的隧道竖向位移云图可以看出,随着施工进行,隧道位移值逐渐增大,最大位移发生在区间左线上方。当施工至基坑最深处时,隧道左线发生的最大竖向位移 $4.92\text{ mm} < 6\text{ mm}$ 。在施工结束后,隧道左线发生的最大竖向位移 $2.86\text{ mm} < 6\text{ mm}$,二者均

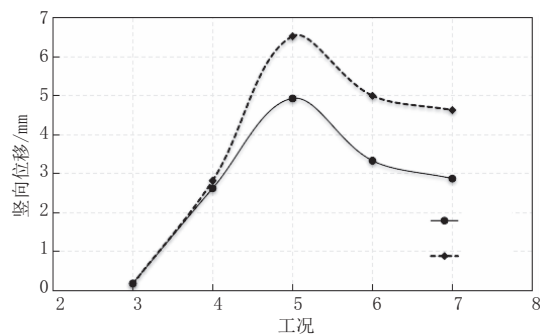


图 7 各工况下盾构隧道位移曲线(单位:mm)

满足控制值要求。

由图 7 的隧道竖向位移曲线可以看到,采取加固措施后在基坑开挖过程中隧道的最大竖向位移为 4.92 mm,相较于不采取加固措施时的 6.52 mm,减少了约 24.5%。至施工完成后,隧道位移减少了约 38%。可见,在基坑底部进行加固可以有效减少隧道位移。这与高大等^[4]针对长距离基坑大面积开挖工程对下方地铁隧道的影响进行分析后得出的结论一致。

3.2 内力分析

在工况 5 时,采取 4 m 加固措施和不采取加固措施的隧道内力云图分别如图 8、图 9 所示,在工况 4 时,采取 4 m 加固措施和不采取加固措施的隧道结构内力对比见表 3。

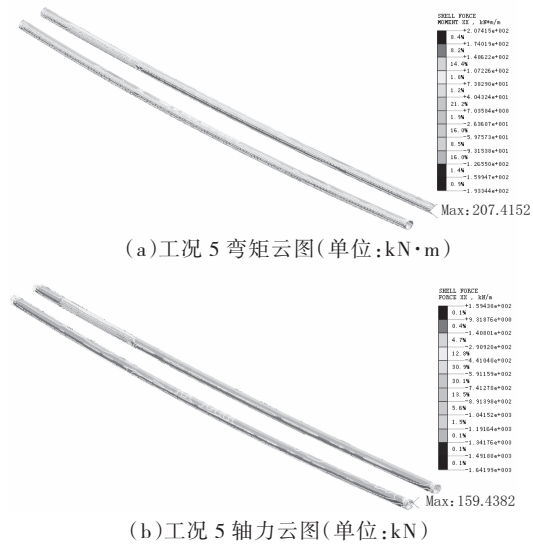


图 8 加固 4 m 盾构隧道内力云图

由图 8、图 9 的内力云图和表 3 的内力表可以看到,对基坑底部土体采取加固措施后,盾构隧道的弯矩值变化很小,轴力则减小了约 3.4%。可见,在对基底进行加固后隧道结构的弯矩基本没有变化,同时隧道结构的轴力略有减小。

4 结 语

本文以沈阳某快速路框构桥平行设置于地铁盾构区间上方的工程为例,利用有限元软件 MIDAS



图 9 不采取加固措施盾构隧道内力云图

表 3 工况 4 隧道结构内力表

项目	弯矩 /(kN·m)	轴力 /kN
不加固	207.5	165.1
加固 4 m	207.4	159.4
变化率 /%	0	3.4

GTS NX 模拟基坑开挖对盾构隧道的影响,得出以下结论。

- (1)在盾构隧道上方开挖基坑,由于大面积卸土会导致隧道发生向上隆起变形,并在基坑开挖至基坑底部时隆起量最大。
- (2)为控制隧道隆起,在基坑底部采用高压旋喷加固措施后可有效减小隧道隆起程度,本工程加固厚度为 4 m,使得隧道最大隆起量减少约 24.5%,说明采取加固措施可保证隧道结构安全。
- (3)在基坑底部采用高压旋喷加固措施后可减小隧道结构轴力,对隧道结构的弯矩则影响较小。本工程加固厚度为 4 m,使隧道结构轴力减小了约 3.4%,而弯矩值基本没有变化。

参考文献:

[1] 王正波.区间上方土体卸载保护方案研究及数值影响分析[J].隧道与轨道交通,2019(4):47-51.

[2] 高强,于文龙.市政隧道基坑开挖对既有下卧地铁盾构隧道影响分析[J].隧道建设,2014,34(4):311-317.

[3] 魏纲,郭丙来,王哲,刘嘉英.考虑开挖宽度的基坑卸荷引起下卧盾构隧道变形计算[J].岩石力学与工程学报,2023,42(4):1019-1030.

[4] 高大,刘阳,李贤东.长距离基坑大面积开挖对下方地铁隧道的影响分析[J].北方交通,2023(1):95-98.

[5] CJJ/T 202—2013,城市轨道交通隧道结构安全保护技术规范[S].

[6] 沈阳地铁集团有限公司.沈阳地铁结构安全保护技术标准(试行稿)[Z].沈阳:沈阳地铁集团有限公司,2020.