

高铁盾构隧道施工对邻近桩基影响数值分析

张 杰

(铁道第三勘察设计院有限公司, 天津市 300251)

摘 要:以天津—潍坊高铁双线海河隧道下穿既有市政桥梁工程为依托,为探究盾构施工过程中对地表沉降及市政桥梁桩基变形的影响规律,采用有限元分析软件 Midas/GTS NX 对盾构开挖全过程进行模拟。模拟结果表明,高铁隧道开挖至市政桥梁附近时地表沉降速率变大;地表沉降量最大的位置并不是桥梁桩基附近;在地质条件不好的情况下,隧道穿越桩端位置时,桩基础容易发生向内的倾斜,同一排桩的位移值基本一致,桩端的水平位移大于桩顶,且同一个墩台下的前排桩的水平位移小于后排桩、竖向位移大于后排桩。

关键词: 高铁隧道;既有桥梁;数值分析;水平位移;沉降

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)03-0164-04

1 概 述

随着城市交通网的快速发展,可接入交通枢纽的地面用地越发紧张,城市地下空间不断地被开发利用,不可避免地出现盾构隧道穿越市政桥梁桩基的情况。

盾构施工会导致周围地层地应力损失,从而引起地表沉降,进而打破既有桥梁桩基原有的稳定,桥墩产生位移,过大的位移会给桥梁的正常使用带来了潜在风险^[1]。很多国内外学者针对地铁隧道施工过程中对既有桥梁的影响问题通过多种方法做了一系列研究^[2-9]。但对高铁双线盾构断面这种较地铁盾构断面大的多的盾构施工对桥梁的影响分析较少。本文以天津至潍坊高铁工程为背景,利用有限元软件进行分析模拟,研究高铁盾构穿越施工对既有桥梁的影响。

2 工程概况

天津至潍坊铁路工程线路自天津滨海站引出后并行中央大道海河隧道,上跨规划 B3 线后向南以隧道形式下穿海河、天津大道桥等。天津大道桥穿越段上部结构为 30 m 预应力混凝土简支箱梁,高铁双线盾构隧道外径 13.3 m,穿越天津大道桥下行线处理深约为 39.6 m,1#桥墩下为 9 根桩径 1.0 m 的钻孔灌注桩,桩长 42 m,桩端埋深约 44 m,桩基与隧道最小净距 5.0 m,桩端高于隧底 9.05 m;2#桥墩下为 4

根桩径 1.5 m 的钻孔灌注桩,桩长 60 m,桩端埋深约 62.3 m,桩基与隧道最小净距 6.3 m,桩端低于隧底 9.96 m。隧道穿越桥梁和规划 B2 线范围采用二次深孔注浆控制地层变形。高铁盾构隧道与既有市政桥梁位置关系见图 1。

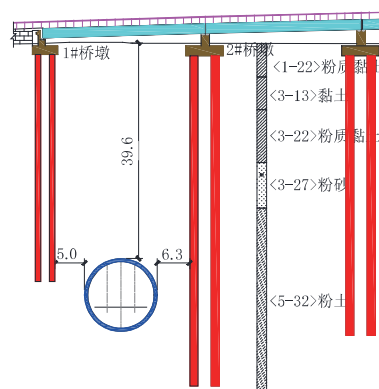


图 1 隧道与既有桥梁位置关系(单位:m)

3 高铁隧道下穿市政桥梁数值模拟

3.1 模型的规模

计算模型中,为确保计算的精度,土体的选取范围拟定为:沿隧道方向,在天津大道上行线和规划 B2 线下行线距离的基础上各向外扩一个隧道埋深的距离,合计取 190 m;沿隧道横向,一侧外扩一倍隧道埋深,一侧外扩 30 m,合计取 120 m;竖向土体厚度取 100 m。根据津—维高铁隧道结构与天津大道桥桩基、规划 B2 线的空间位置关系,建立三维数值模型,见图 2。

3.2 模型的参数

(1)力学模型

依据地层特性及埋深,土体的材料特性采用

收稿日期: 2021-05-31

作者简介: 张杰(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

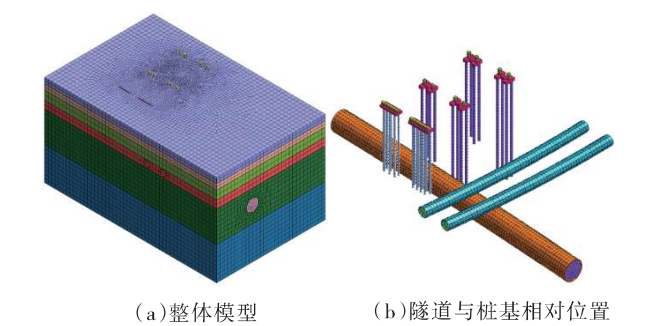


图 2 三维数值模型

Modified Mohr–Coulomb 模型模拟土体的弹塑性; 桥墩、承台和桩基等结构采用线弹性模型。土体、桥梁结构均采用实体单元模拟; 桩基础采用梁单元模拟; 盾构管片采用板单元模拟。

(2) 地层及结构参数

地层参数根据实际地勘资料取值, 并假定不同地层均按照相应厚度水平层状分布。数值模拟过程中所采用的工程地质参数见表 1。

表 1 岩土及结构参数

岩土及结构	重度 / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	内摩擦角 / ($^{\circ}$)	黏聚力 / kPa	泊松比	弹性模量 / MPa
杂填土	18.7	6	13	0.4	22.6
粉质黏土	19.1	9.4	19	0.32	60.4
淤泥质黏土	18.1	4	13	0.3	42.9
黏土	19.8	8.3	31.1	0.32	84.6
粉质黏土	18.9	12.4	21	0.3	90.4
粉土	20.4	30.7	23.1	0.32	120.5
桩基	21	—	—	0.2	11 500
桥墩及承台	21	—	—	0.2	31 500
管片	26	—	—	0.2	27 000
注浆层	21	—	—	0.2	800

(3) 边界条件

地表取为自由边界, 模型底部完全固定约束, 四周取为竖向滑动约束, 桥墩、承台和桩基刚接。

(4) 计算荷载

计算模型中的计算荷载除箱梁自重简化为同等质量的荷载施加到桥墩上外, 其余荷载作用由程序自行考虑。

3.3 模型的施工阶段

施工阶段采用结构单元的激活与钝化来模拟土层的注浆加固、土体的开挖及盾构管片的施作, 通过在施工阶段中改变注浆范围的参数的方法实现对土层加固的过程。同时为了避免模型模拟隧道开挖过程中不收敛, 将隧道开挖引起的应力释放分为 2 部分, 即隧道开挖且未施作管片之前应力释放 25%, 施作管片后释放其余部分。

高铁隧道施工阶段设置初始应力场分析、位移

清零及 20 个开挖步, 各开挖步详见表 2。

表 2 开挖步情况

步序	盾构位置	步序	盾构位置
开挖 1	掘进至桥墩前 84 m	开挖 11	掘进至桥墩前 4 m
开挖 2	掘进至桥墩前 76 m	开挖 12	掘进至桥墩后 4 m
开挖 3	掘进至桥墩前 68 m	开挖 13	掘进至桥墩后 12 m
开挖 4	掘进至桥墩前 60 m	开挖 14	掘进至桥墩后 20 m
开挖 5	掘进至桥墩前 52 m	开挖 15	掘进至桥墩后 28 m
开挖 6	掘进至桥墩前 44 m	开挖 16	掘进至桥墩后 36 m
开挖 7	掘进至桥墩前 36 m	开挖 17	掘进至桥墩后 44 m
开挖 8	掘进至桥墩前 28 m	开挖 18	掘进至桥墩后 52 m
开挖 9	掘进至桥墩前 20 m	开挖 19	掘进至桥墩后 60 m
开挖 10	掘进至桥墩前 12 m	开挖 20	掘进至桥墩后 68 m

3.4 计算结果及分析

3.4.1 地层变形分析

随着高铁隧道的掘进, 打破了原有土层的地应力平衡, 主要表现为地层的竖向沉降, 同时也会引起隧道邻近桩基础的变形, 见图 3。

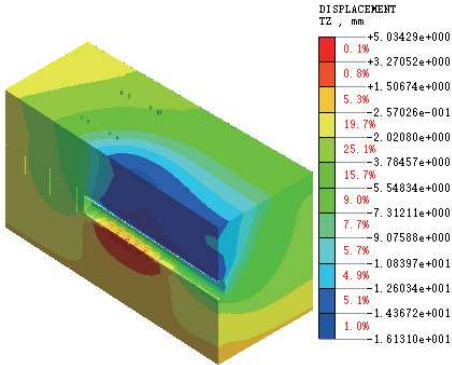


图 3 盾构开挖过程中地层变形云图

图 3 为第 12 个开挖步, 掘进至桥墩后 4 m 时的地层变形云图, 从图中可知: 在盾构开挖过程中, 地层整体呈下沉趋势, 地表出现典型的沉降槽, 下沉最大值出现在隧道掘进面后隧道顶部某一范围, 最大值为 16.13 mm; 在隧道掘进面后隧道底部某一范围土体由于应力释放导致土体回弹, 最大回弹量为 5.03 mm。

图 4 和图 5 分别为沿市政桥梁中心线方向和隧道中心线方向在隧道掘进过程中奇数施工步的地表沉降值曲线图。

从图 4 可以看出: 地表沉降呈 V 形分布, 地表最大沉降区域在隧道中心线附近, 且随着开挖的进行最大沉降呈增长趋势; 隧道开挖通过桥墩过程中, 地表沉降速率呈现慢 – 快 – 慢的趋势, 开挖至桥墩附近时地表沉降速率最大; 隧道贯通后地表沉降最大值为 14.45 mm。

从图 5 可以看出: 随着开挖的进行, 桥墩中心线附近的地表沉降呈增长趋势; 隧道入口位置的沉降最

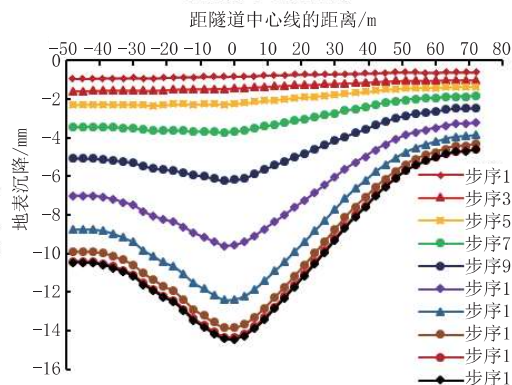


图4 桥梁中心线方向地表沉降(单位:mm)

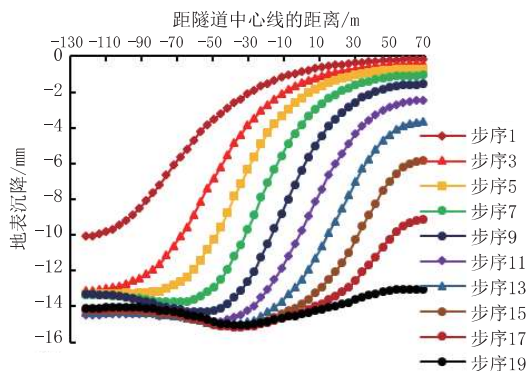


图5 隧道中心线方向地表沉降(单位:mm)

早趋于稳定,出口位置最晚趋于稳定;隧道贯通后地表沉降最大值为15.03 mm,位于桥墩中心线前40 m左右,并不是在桥梁桩基附近;从图中开挖步序13~19可以看出隧道贯通后在入口附近隧道底部土体发生回弹。

3.4.2 既有桥梁结构变形分析

为获得盾构施工对既有桥梁桩基的影响,以1#桥墩和2#桥墩下部桩群为例进行桩基的位移分析。桥墩的桩基编号见图6。

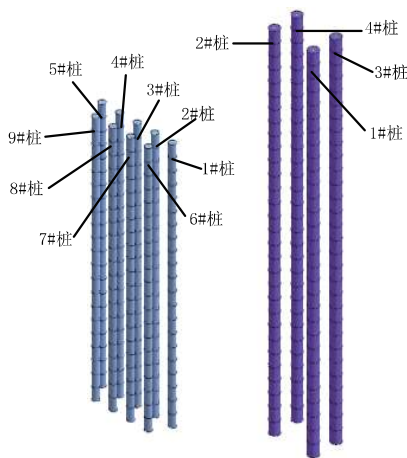


图6 桩基编号

图7是隧道贯通后市政桥梁1#桩基和2#桩基每根基桩的水平位移值。从图中可以看出:由于隧道在1#和2#桩基之间穿过,同时隧道埋深基本处于桩端位置,桩群受到地层扰动以及桥梁结构荷载的

直接作用,隧道上方地应力得以释放,两侧土体受到挤压,呈现桩端向隧道外侧移动,桩顶向内侧靠拢的倾向;同一个墩台下的前排桩和后排桩水平位移基本一致,轻微差别是由于隧道轴线方向与桥梁轴线方向不是绝对垂直引起的;隧道右侧桩基位移相对于左侧桩基位移偏大,是由于桩长、基桩数量和隧道距离综合因素引起的;由于高铁隧道开挖断面大且埋深基本处于桩端位置,导致土体对桩端的扰动更大,桩端的水平位移大于桩顶,且同一个墩台下的前排桩的水平位移小于后排桩。

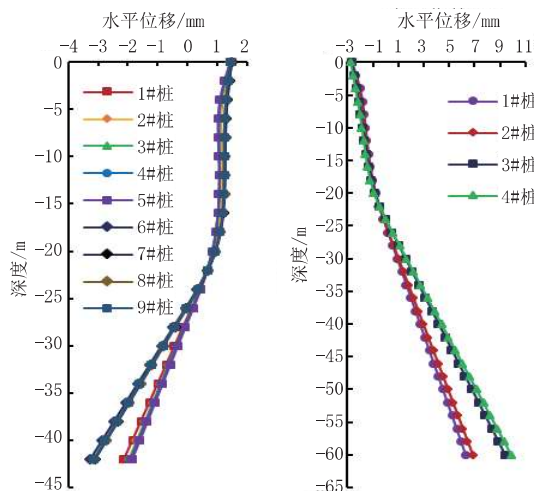


图7 水平位移值(单位:mm)

图8是隧道贯通后市政桥梁1#桩基和2#桩基每根基桩的竖向位移值。从图中可以看出:前排桩的竖向位移大于后排桩,这是由于前排桩的土体竖向位移更大,承台发生向内倾斜的因素导致的;基桩的最大沉降位置在桩顶,且随桩身逐渐减小至不发生变化,这是由于桩体的轴向刚度大于土体刚度导致的;同一个墩台下的前排桩和后排桩竖向位移基本一致,轻微差别同样是由于隧道轴线方向与桥梁轴线方向不是绝对垂直导致的。

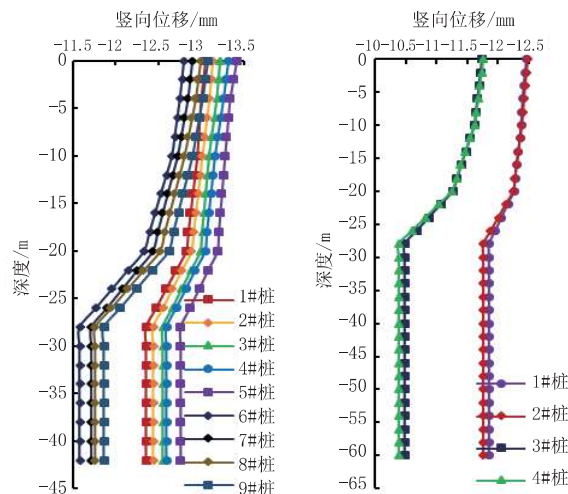


图8 竖向位移值(单位:mm)

4 结论及建议

(1)高铁隧道开挖过程中,地表出现沉降槽,开挖至市政桥梁附近时地表沉降速率变大,即地面有附加荷载时会加快地表的沉降速率。建议在施工至桥梁附近时应对隧道周围土层进行加固处理、放缓隧道开挖速度并及时对隧道进行支护。

(2)地表沉降量最大的位置并不是桥梁桩基附近,说明隧道两侧的桩基对地层的扰动有约束作用。

(3)由于穿越桩端位置的隧道对桩端的扰动大,桩基础在地质条件不好的情况下容易发生向内的倾斜;同一排桩的位移值基本一致,桩端的水平位移大于桩顶,且同一个墩台下的前排桩的水平位移小于后排桩、前排桩的竖向位移大于后排桩。建议隧道在穿越地质较差的桩基时,对桩基附近的土层进行加固处理。

参考文献:

[1] 鄧彬,武李和乐,李金华,等.暗挖隧道与邻近桥桩距离对桥梁的影

响性分析[J].中国轨道交通研究,2018(3):24-27.
[2] CHEN L T,POULOS H G.Pile responses caused by tunneling[J].Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,1999,125(3):207-215.
[3] MORTON J D,KING K H.Effects of tunneling on the bearing capacity and settlement of piled foundations[C]//Proceedings,Tunneling 79,London:IMM,1979.
[4] 王述红,赵贺兴,姜磊,等.基于两阶段法地铁盾构开挖对邻近桩基影响分析[J].东北大学学报(自然科学版),2014,35(6):871-874.
[5] 孙吉主.盾构机掘进对基桩影响的工程分析法[J].武汉理工大学学报,2003,25(3):56.
[6] 郭军,陶连金,边金.盾构法施工地铁区间隧道的地表沉降[J].北京工业大学学报,2005(6):589-592.
[7] 刘大刚,陶德敬,王明年.地铁双隧道施工引起地表沉降及变形的随机预测方法[J].岩土力学,2008,29(12):3422-3426.
[8] 杨平,朱逢斌.城市隧道施工对邻近单桩工作性状影响研究[J].现代隧道技术,2006,II(增):234-235.
[9] 王立峰.盾构施工对桩基的影响及桩基近邻度划分[J].岩土力学,2014,35(增2):319-324.

(上接第 146 页)

(4)应定期检查矮塔斜拉桥的混凝土结构和斜拉索锚头,随时掌握桥梁技术状况和发展趋势。

参考文献:

[1] 陈从春,周海智,肖汝诚.矮塔斜拉桥研究的新进展[J].世界桥梁,2006(1):70-73.
[2] 何新平.矮塔斜拉桥的设计[J].公路交通科技,2004,21(4):66-66.
[3] 郭敏,陈亮.城市轨道交通矮塔斜拉桥受力性能研究[J].广东土木与建筑,2020,27(3):32-36,43.

[4] 刘志华.现役矮塔斜拉桥检测与评定[J].北方交通,2019(5):39-42.
[5] 王波,陈开利,钟继卫.基于统计及形态特征指标的桥梁线形监测评估[J].桥梁建设,2011(2):13-17.
[6] 侯波,胡建勋.宜昌长江公路大桥几何线形定期健康监测研究[J].公路,2009(5):264-268.
[7] 王荣辉,薛礼建.矮塔斜拉桥索力测试方法研究[J].中外公路,2011,31(2):116-120.
[8] 刘志华.现役矮塔斜拉桥检测与评定[J].北方交通,2019(5):39-42.