

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2021.06.053

某桥台填土与桩基施工对地铁线影响分析

徐立强, 麦毅康, 李亚如

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京市 100082)

摘要: 地铁运营后,跨线桥桥台路基段填土以及桩基施工会对已建成的地铁线隧道产生不利影响,为保证地铁安全,需在开工前进行分析。依托彩梅立交 K1+105 梅林关方向桥台填土与桩基施工对既有深圳地铁 10 号线的影响分析,通过 PLAXIS 3D 有限元分析软件对桥台填土、桩基成孔浇筑等工序进行模拟,对既有地铁线进行安全评估,并对施工监测提出相应要求。其结果表明:对于该工程,桥台后填土与桩基施工过程中,地铁隧道安全可靠,可以进行施工。同时,该模拟对类似工程工况可提供指导。

关键词: 桥台填土;桩基施工;有限元软件;地铁线安全分析

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)06-0204-04

0 引言

桥梁桩基、路基填土等施工会影响已运行的地铁隧道安全,为保证施工过程中地铁隧道的安全,相应的安全分析评估尤为重要。目前,国内外对桩基与隧道相互影响已经有相关研究。例如李文琛、魏洋洋对桩基与邻近地铁盾构隧道的相互影响、保护等进行了理论研究^[1,2],主要基于理论计算方法,如剪切位移法等,以及 MIDAS/NX、HS 本构模型、FLAC 软件等软件进行数值模拟分析。李文琛得出桩基成孔与混凝土浇筑施工对临近地铁盾构隧道以竖向沉降为主;魏洋洋得出盾构推进对周围土层影响规律,拟合出相关土体水平位移的经验公式等结论。周晓夫、董必成等针对桥台设置与桥台填土等对隧道的影响进行了相关研究^[3,4],采用 FLAC3D 有限差分软件、GOODMAN 单元、HSS 模型进行数值模拟。周晓夫得出竖向变形量对承台与盾构之间的竖向净距非常敏感,横向由于基坑开挖均采用了支撑,影响不敏感;董必成得出填土引起的地铁隧道附加荷载与变形均满足地铁盾构隧道保护要求等结论。

本文以彩梅立交桥台填土以及相应桩基施工方案对现有地铁运营线安全评估分析项目为依据,采用有限元软件 PLAXIS 3D 进行数值分析,分析施工工艺以及相应步骤对隧道的影响,为类似项目提供理论依据和参考。

1 工程概况

深圳市彩梅立交为市区与关外交通转换的重要节点。彩梅立交全线共新建主线桥 1 座,匝道桥 5 座,通道 4 座。根据现有设计方案,彩梅立交 K1+105(梅林关方向)桥台填土区域在地铁 10 号线和联络线正上方。桥头路基填土最大高 2.53 m,长 8.8 m,宽 27.45 m,其中所涉及的 10 号线隧道埋深约 21.2 m,上下行隧道净距 5 m,路基填土中心与 10 号线间距,对于左线约 20.05 m,右线约 8.93 m,联络线约 18.5 m,填土面中心与联络线隧道净距约 14.4 m。填土材料为人工填土,容重不大于 20 kN/m³。

彩梅立交 K1+105(梅林关方向)桥台桩基分别位于 10 号线、联络线隧道之间,其与 10 号线主线隧道最小净间距 1.60 m,与联络线最小净间距 4.25 m,如图 1 所示。

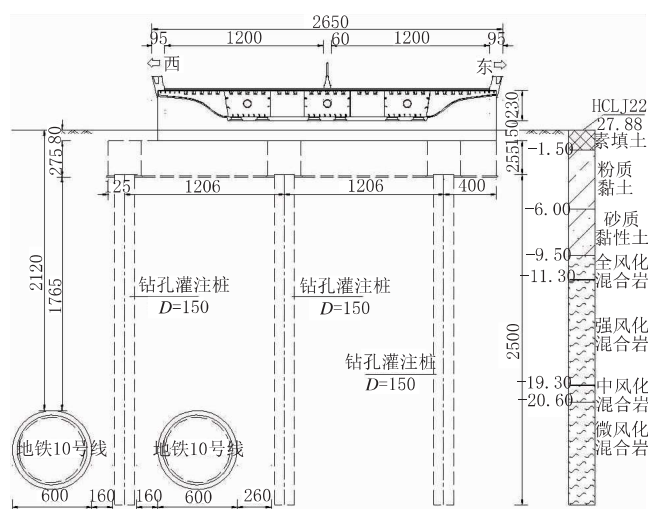


图 1 K1+105(梅林关方向)桥台桩基与隧道位置关系图(单位:cm)

收稿日期: 2020-12-03

作者简介: 徐立强(1983—),男,硕士,高级工程师,从事隧道与地下工程工作。

彩梅立交 K1+105(梅林关方向)邻近地铁 10 号线主线隧道采用矿山法施工,隧道宽 6.2 m,高 6.75 m,联络线采用矿山法施工,隧道宽 6.86 m,高 6.92 m。初期支护为 C25 混凝土,二衬为 C35 混凝土。

2 《深圳市地铁集团有限公司地铁运营安全保护区和建设规划控制区工程管理办法》相关规定

2.1 地铁运营安全保护区范围划分

本工程项目符合地铁运营线路及周边的特定范围内设置的保护区域。具体包括地下车站与隧道结构外边线外侧 50 m 范围内,地面、高架车站及区间结构外边线外侧 30 m 范围内,出入口、通风亭、变电站等建筑物、构筑物外边线外侧 10 m 范围内。

2.2 地铁建设规划控制区

地铁线路交由深圳市地铁集团做前期预、工可研起,至工程建成施工单位向我司正式移交期间的地铁建设线路及周边的特定范围内设置的控制和保护区域,其区域范围按照 2.1 执行。本工程项目可根据 2.2.1~2.2.2 相关控制指标执行。

2.2.1 车站及隧道结构安全控制指标

车站及隧道的水平位移、竖向位移、径向收敛、变形缝差异变形、隧道轴线变形曲率半径、隧道变形相对变曲、车站及隧道结构外壁附加荷载、车站及隧道振动速度等指标的控制值按照式(1)确定:

$$r_i=K_i \times R_i \tag{1}$$

式中: r_i 为项目允许值; K_i 为安全控制系数, $K_i \leq 1$, 具体值由技术管理中心根据地铁设施健康档案、隧道形态、地铁服役现况和评估报告确定; R_i 为控制值(具体数值参见表 1)。

2.2.2 轨道安全控制指标

运营线路轨道静态尺寸容许变形值:轨道高低、轨向变形 $<4\text{ mm}/10\text{ m}$;两轨道横向高差 $<4\text{ mm}$;三角坑高低差 $<4\text{ mm}/18\text{ m}$;扭曲变形 $<4\text{ mm}/6.25\text{ m}$;

表 1 车站及隧道结构安全控制指标标准值

安全控制指标	控制值 R_i
车站及隧道结构水平位移	$\leq 10\text{ mm}$
车站及隧道结构竖向位移	$\leq 10\text{ mm}$
车站及隧道结构径向位移	$\leq 10\text{ mm}$

轨距 $+3\text{ mm}, -2\text{ mm}$;道床脱空量 $\leq 5\text{ mm}$ 。

3 有限元模型建立

3.1 有限元模型建立参数选定

(1)材料模型及计算参数

本次模拟分析均采用线弹性体分析,不考虑材料及接触非线性,对于弹性分析本文选用小应变硬化土模型(HSS)模拟。结构与土体连接采用 Goodman 单元,其中衬砌结构、围护桩采用板单元,根据地勘报告与相关经验确定土层计算参数(见表 2)。

(2)结构计算参数

图 2 为本工程的三维模型建立,本工程中地铁隧道初衬衬砌混凝土强度等级 C25,二衬钢筋混凝土强度 C35,结构计算参数直接根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)确定。

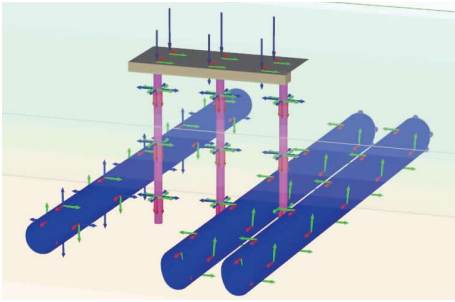


图 2 有限元模型透视图

3.2 有限元模型

边界约束对模型影响较大,为保证边界约束更接近实际受力情况,沿隧道纵横向均考虑 50 m 外伸,另外模型平面尺寸选用 200 m(长) $\times$ 100 m(宽)。根据现场勘察资料(深圳地铁 10 号线),场地内下卧风化混合岩,对于微风化压缩性很小,模型中不予考

表 2 地层计算参数表

土层	γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	c /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	φ /($^\circ$)	E_{30}^{ref} /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	$E_{\text{ed}}^{\text{ref}}$ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	$E_{\text{lr}}^{\text{ref}}$ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	G_0^{ref} /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	$\gamma_{0.7}$
素填土	18.0	10	8	3 500	3 500	17 500	35 000	0.001
粉质黏土	19.0	18	14	3 500	3 500	10 500	17 500	0.001
粗砂	18.5	0	25	6 000	6 000	18 000	30 000	0.001
砂质黏性土	18.5	22	22	6 000	6 000	18 000	30 000	0.003
全风化岩	19.2	25	28	15 000	15 000	45 000	75 000	0.002
强风化岩	20.0	30	30	20 000	20 000	60 000	120 000	0.002
中风化岩	21.0	30	30	30 000	30 000	90 000	150 000	0.002

虑,因此模型底取到微风化顶,即高度取 40 m。

3.3 模拟过程

有限元数值模拟所对应现场施工步骤充分考虑实际施工工况及步骤(见表 3)。

表 3 有限元数值模拟步骤

施工步骤	具体施工步
1	初始应力生成
2	隧道开挖(包括衬砌激活、土体开挖)
3	位移清零
4	隧道底以上桩基钢套管施工(套管激活、土方开挖)
5	隧道底以下桩基成孔(土方开挖、泥浆护壁)
6	桩身施工(桩身混凝土激活)
7	重复 4~6 步,完成所有桩基施工
8	承台放坡开挖(开挖土体冻结)
9	承台施工(桥台混凝土激活)
10	回填施工(回填土激活)
11	施加桥梁荷载

4 计算结果分析

本计算结果重点对桩基成孔及台后填土两个施工阶段进行分析(为减小桩基施工对隧道影响,经方案论证最终选用单排桩方案)。其中 K1+105(梅林关方向)桥台填土与桩基施工对地铁 10 号线及联络线影响模拟结果(如图 3、图 4 所示)分别为桩基成孔施工完成时隧道竖向变形及水平变形云图,由图 3、图 4 可知,对于隧道最大水平向和竖向变形量:左线分别为 0.018 mm 及 0.035 mm;右线分别为 0.09 mm 及 0.079 mm;联络线分别为 0.048 mm 及 0.064 mm。

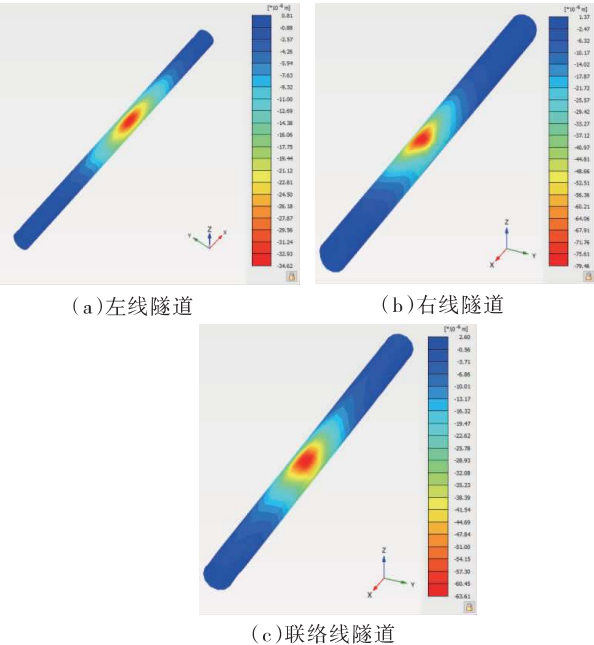


图 3 桩基成孔施工完成时隧道竖向变形云图

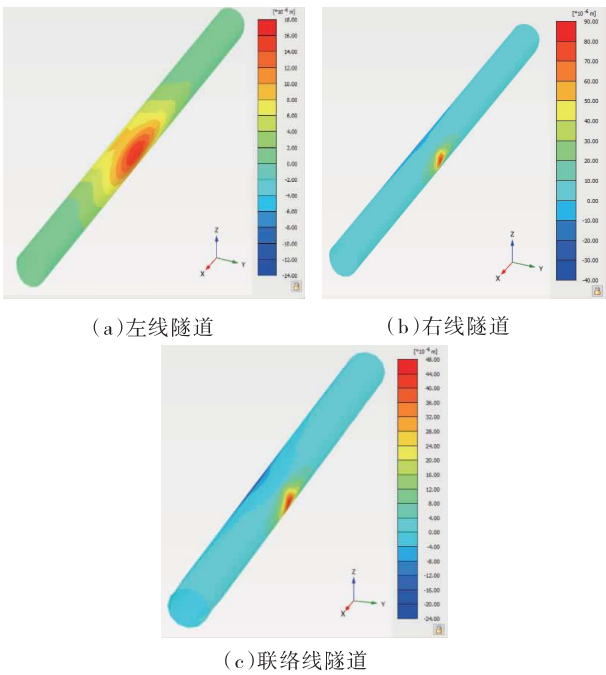


图 4 桩基成孔施工完成时隧道水平位移云图

图 5、图 6 分别为桥头填土施工完成时隧道竖向变形及水平变形云图,由图 5、图 6 可知,对于隧道最大水平向和竖向变形量:左线分别为 0.120 mm 及 0.140 mm;右线分别为 0.161 mm 及 0.251 mm;联络线分别为 0.162 mm 及 0.189 mm。

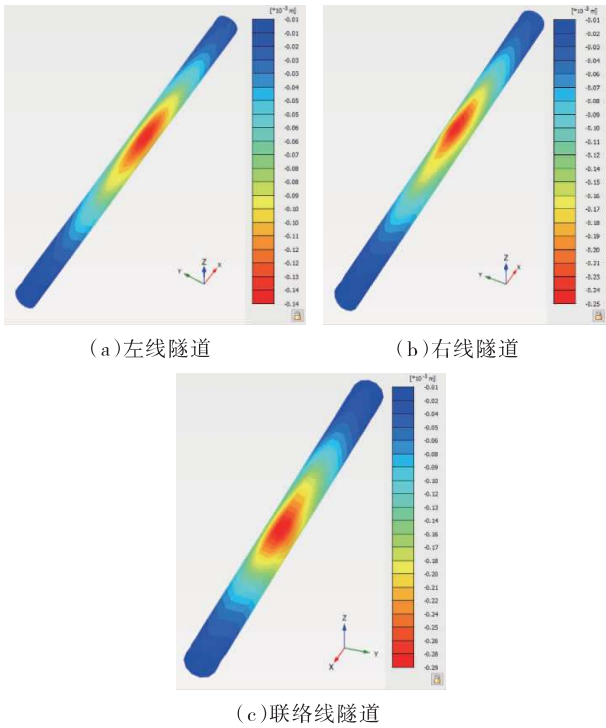


图 5 桥头填土及桥梁结构完成时隧道竖向变形云图

综上所述,对于桩基成孔及台后填土等不同工况,隧道变形形态相近,竖向和水平向位移满足《深圳市地铁集团有限公司地铁运营安全保护区和建设规划控制区工程管理办法》对位移的要求。

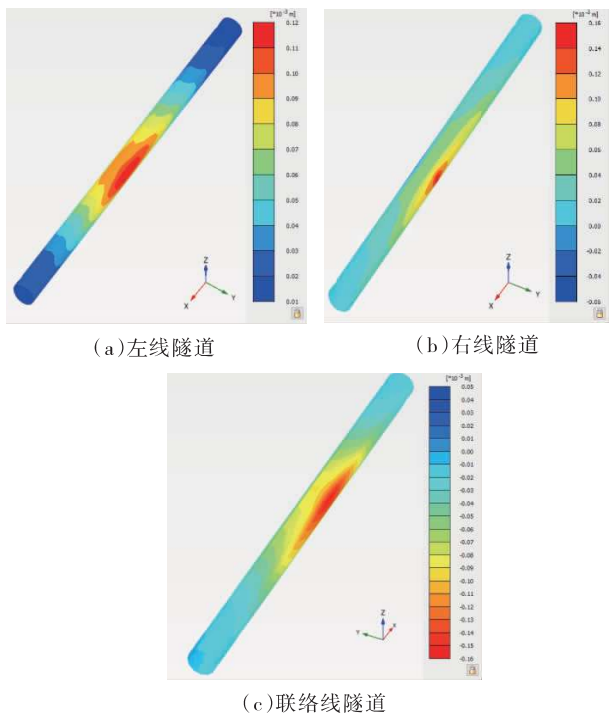


图 6 桥头填土施工完成时隧道水平变形云图

5 结 论

(1)理论分析结果分析

通过理论分析与数值模拟,K1+105 (梅林关方向)桥台填土引起的地铁 10 号线隧道最大附加应力为 3.69 kPa,隧道水平位移与竖向变形均小于 1 mm,隧道附加应力与变形均满足地铁安保控制要求。在

该区域桥台填土与桥梁桩基础正常施工条件下,地铁 10 号线区间隧道与联络线隧道均处于安全状态。

(2)施工方案建议

由于有限元模拟无法精准模拟其施工过程中的振动及施工质量偏差等因素,为保证施工安全提出如下建议。

- a. 在 K1+105 桥台桩基施工过程中建议采用注浆减阻或深圳地区常见的“搓管桩”施工工法,同时需埋置二次注浆孔,出现承载力不足或者地面竖向变形较大时,及时补救;
- b. K1+105 台后填土存在素填土、黏土等,为减少工后沉降,尤其为减少地铁隧道顶部附加应力影响,建议台后尽量采用轻质材料,且分层施工;
- c. 在施工过程中加强监测,尤其加强地铁隧道顶部以及侧壁的位移监测,发现位移偏大时及时停工,分析原因并处理后方可继续施工。

参考文献:

[1] 李文琛. 城市高架桥大直径桩基全寿命期对邻近地铁盾构隧道的影响与保护研究[D].山东济南: 山东建筑大学,2020.
[2] 魏洋洋. 盾构近接穿越对桥梁桩基及土体的影响分析[D].福建福州: 福州大学,2016.
[3] 周晓夫,李怀雷.跨座式承台基础建造对地铁盾构影响的分析评估[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(01):325-328.
[4] 董必成.桥台填土对下卧地铁盾构隧道影响研究[J].珠江水运,2019(10): 23-24.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com