

盾构隧道下穿既有车站施工控制措施及安全性分析

姚任行¹ 黄毅² 刘海智³ 郑云辉³

1. 宁波市轨道交通集团有限公司 浙江宁波 315010

2. 宁波市轨道交通集团有限公司建设分公司 浙江宁波 315000

3. 浙江数智交院科技股份有限公司 浙江宁波 310006

摘要: 本文以宁波轨道交通8号线下穿既有3号线车站为研究对象,采用数值分析的方法对软土地层盾构下穿既有运营车站影响规律进行分析。结果表明:(1)8号线车站主体结构开挖及结构施工期间,邻近3号线既有车站主体已产生初始位移。(2)8号线盾构隧道穿越施工期间造成3号线既有车站位移的进一步增加。(3)8号线隧道贯通后,隧道上方换乘通道基坑开挖期间,贯通隧道表现为隆起位移,此时,3号线既有车站位移达到最大值。(4)根据数值分析结果,本项目盾构施工引起既有车站位移变形能够控制在轨道交通结构安全指标范围内,相关的施工控制措施可为类似工程提供借鉴。

关键词: 盾构隧道;软土地层;数值分析;变形

引言

近年来,随着我国地铁隧道的建设和发展,隧道施工对周边环境造成了较大的影响,因此,加强对其影响因素的研究,并提出相应的解决方案,是当前地铁建设中亟待解决的重要问题^[1]。陈郁等^[2]基于弹性理论,旨在计算相邻新建隧道对既有结构的影响。综合考虑了新建隧道开挖及施工卸荷,以及相邻结构的作用这两个主要因素。计算过程包括确定新建隧道开挖引起的附加应力和位移场,将其叠加到既有结构上计算变形值。何川等^[3]进行了室内模型试验,探究了新建地铁隧道穿越既有隧道时对垂直方向的影响。盾构隧道穿越既有隧道时,导致既有隧道顶部和底部出现了先隆起后沉降的变形规律。

本文以宁波市轨道交通8号线下穿地铁3号线为研究对象,采用数值模拟的方法,对该工程区盾构隧道施工结构响应规律进行分析,为类似工程施工提供经验。

一、工程概况

1.1 区间概况

新建南部商务区站是宁波轨道交通8号线第4个车站,建成后与既有3号线南部商务区站通道换乘。8号线

新建车站位于鄞州区天童南路和泰康中路十字路口西侧,沿泰康中路东西向布置;既有3号线车站沿天童南路南北向布置。

8号线南部商务区站为地下三层13m岛式站,双柱三跨钢筋混凝土框架结构,采用明挖顺作法施工,车站中心里程覆土埋深约为3.50m。车站总长162.200m,标准段宽22.3m,盾构井段宽26.8m。车站两端均为盾构法区间隧道,东西端盾构双接收,区间概况如图1所示。

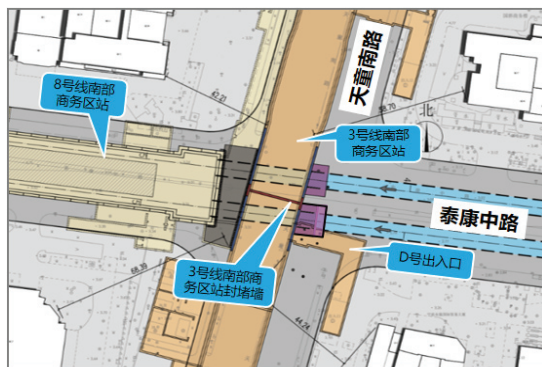


图1 区间概况

鄞州高教园站~南部商务区站区间工程下穿3号线南部商务区站,工程区域位于轨道交通既有运营线路保护区范围内,外部建设(作业)行为将不可避免地对邻近轨道交通设施产生影响,并可能影响到轨道交通设施的结构安全、正常运营和作为百年工程的耐久性

作者简介: 姚任行(1984-),男,汉族,浙江宁波人,硕士,高级工程师,从事城市轨道交通研究。

能。因此，以通车运营的3号线南部商务区站为拟建工程的重点保护对象，需评估鄞州高教园区站~南部商务区站区间工程盾构施工对3号线轨道交通结构安全的影响。

1.2 水文地质条件

工程沿线广泛发育厚且多为流塑状态的粘土层，具有较低的机械强度和较高的压缩性。孔隙潜水：存在于浅层的填土、粘性土和粉质土中。表层回填土构造疏松、孔隙较大、富水性较差，属于强渗层，缺水；浅层粘土层的富水性较差，属于微渗层，含水量较少；地下水与地表水体有着紧密的关系，地下水的补给途径有大气降水、地表径流和地表径流等，其中以蒸发为主。

1.3 不良地质

宁波地区地质调查结果表明，本区不存在岩溶、滑坡、泥石流等不良地质现象，主要表现为浅层沼气、地表沉降、流砂和管涌：

(1) 浅层沼气：该场地的有害气体以浅埋气为主，大部分以囊状形式存在，且分布非常不均匀、连续性差，随着地下水流的流动，甲烷会慢慢聚集；其主要特征为：气层连通性差，储集空间狭小，含气条件差别大，气体压力差大。此次勘测没有发现甲烷等浅层气体逸出，但从类似的工程实践来看，该地区确实有甲烷逸出，而瓦斯通常是非连续性的，需要加强对它的监控。

(2) 地面沉降：从地面沉降的监测数据来看，该项目的沿线一般都在100-200mm的地表沉降线附近，沉降量比较小。宁波市地区地表沉降对整个工程的整体影响较小，结合周边地区已有的高层建筑设计和建造经验，可以忽略该地区地下水位下降所造成的区域地表沉降。

(3) 流砂及管涌：本项目拟采用盾构法施工，穿越粘性淤泥层，在具有特定水头的动水压力下，隧道开挖暴露出容易发生涌砂。如果出现流砂，周围的土体将会被挖空，从而对既有车站的安全造成很大的威胁。为此，在施工过程中，应及时进行管片拼装或灌浆封堵。

二、主要控制措施及施工效果

(1) 下穿区域既有车站围护结构预留盾构磨除穿越条件，围护结构墙体采用玻璃纤维筋，混凝土等级为水下C35。管片外径为6200mm，内径为5500mm。主要穿越的地层③₂粉质粘土、④_{1a}淤泥质黏土层，3号线既有车站基坑施工期间对下穿范围竖向15m范围内土体采用

三轴搅拌桩进行满堂加固。

(2) 施工措施：在紧靠地下连续墙的外侧设置MJS工法加固区，既能提高穿越地层的整体稳定，又能有效解决盾构机刀盘的偏磨问题，并预留开舱换刀条件，确保开仓过程中开挖面的稳定。

(3) 为减少磨除地连墙对车站结构的冲击，采用“低速慢磨”方式，掘进速率为4-6 mm/min，刀盘转速为1.0-1.2 r/min，以减小地连墙对车站结构的振动影响。

(4) 施工效果：左右两条隧道均通过既有车站，实测资料表明：在既有车站，道床的最大沉降在2 mm以内，D号出入口的最大沉降为4.49 mm，周围建筑的最大沉降为1.04 mm，所有监测项目的沉降都在控制范围内。

三、有限元模拟分析

3.1 模型建立

采用有限元法对原有的设计方案进行了数值模拟，并对其进行了验证。本项目以地铁车站为研究对象，以地铁车站为研究对象，以弹性力学为主要研究对象，以Mohr-Coulomb模型为基础，建立考虑地基变形的弹塑性本构关系。通过对8号线车站、区间、换乘通道和3号线车站的扩展尺寸进行数值模拟，根据隧道力学分析结果，模型横向边界为基坑开挖深度2~3倍，模型下边界到基坑开挖深度的2倍，上部边界为地表。该模式假设在不改变水位的情况下进行。区间隧道衬砌采用shell单元模拟，支撑采用梁单元模型，其余部分采用实体单元模拟。

据车站工程筹划，8号线车站工筹顺序如下：8号线主体施工→8号线区间下穿3号线→换乘通道开挖。由于3号线车站连续动土施工反复扰动，故考虑利用FLAC3D，车站主体、附属、区间整体建模，考虑周边施工对3号线的整体影响，如图2所示。

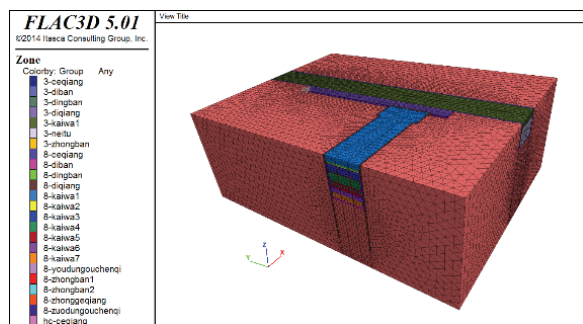


图2 模型概况

3.2 计算工况

工况一：建模原始模型，地应力平衡，仿真原始自

然情况；

工况二：激活既有3号线地铁结构和盾构下穿处加固；

工况三：8号线车站开挖施工：8号线车站地墙施工、加固施工；依次开挖土体，并架设支撑，直至开挖至坑底，如图3所示；

工况四：8号线盾构区间施工，如图4所示；

工况五：换乘通道开挖施工：换乘通道围护桩施工、加固施工；依次开挖土体，并架设支撑，直至开挖至坑底，如图5所示。

3.3 模型计算结果分析

根据车站工程筹划，8号线车站工筹顺序如下：8号线主体施工→8号线区间下穿3号线→换乘通道开挖。由于3号线车站周边连续动土施工反复扰动，故考虑全施工过程数值模拟，计算各工况条件下3号线车站累计变形情况。

工况三（8号线主体车站开挖对3号线影响）。

8号线主体车站开挖对3号线影响：根据数值分析结果，本工况条件下，3号线车站最大水平位移为-3.7mm、最大竖向位移为-5.6mm，3号线车站结构水平向位移及竖向位移云图如图3（a）、（b）所示。

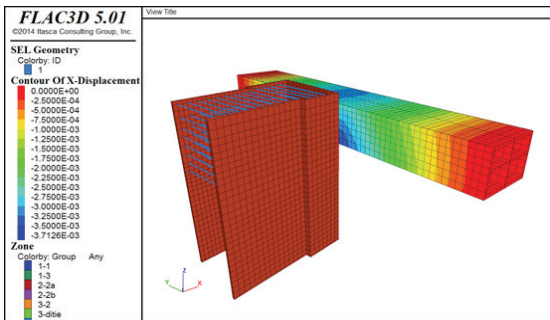


图3（a） 工况三 3号线车站结构水平向位移云图

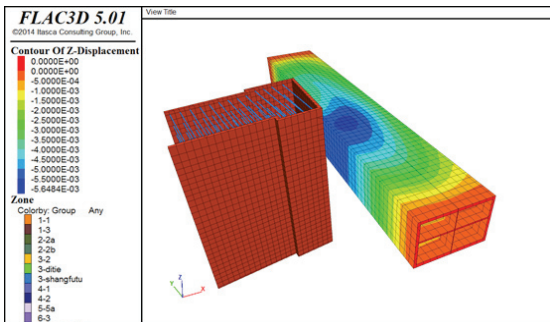


图3（b） 工况三 3号线车站结构竖向位移云图

工况四（8号线区间下穿对3号线影响），如图4所示。

8号线区间下穿对3号线影响：根据数值分析结

果，累计至本工况条件下，3号线车站最大竖向位移为-6.1mm（其中工况三8号线车站主体施工引起的最大竖向位移为-5.6mm，因而盾构穿越施工影响竖向最大位移为-0.5mm），D号口最大竖向位移为-1.04mm。

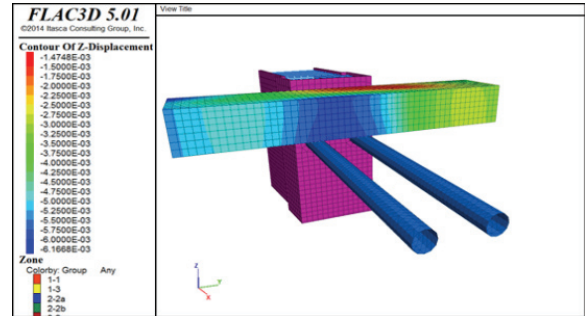


图4（a） 工况四 3号线车站结构竖向位移云图

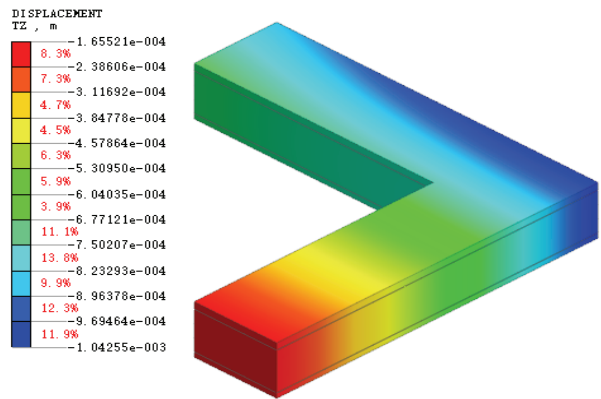


图4（b） 工况四 D号口竖向位移云图

工况五（换乘通道开挖对3号线影响）

8号线换乘通道开挖对3号线影响：根据数值分析结果，累计至本工况条件下，3号线车站最大水平位移为-5.75mm、最大竖向位移为-7.3mm，3号线车站结构水平向位移及竖向位移云图如图5（a）、（b）所示。规定的车站最大水平位移和最大竖向位移允许值为10mm，相关计算结果满足规定的既有车站变形控制标准的保护要求（见表1）。

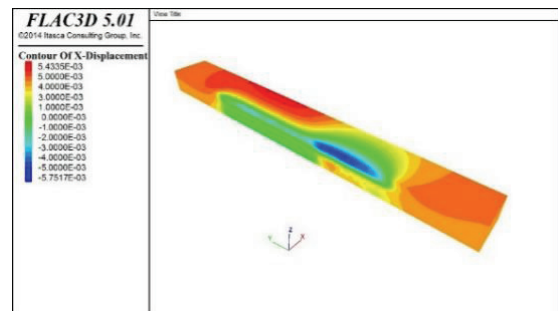


图5（a） 工况五 3号线车站结构水平方向位移云图

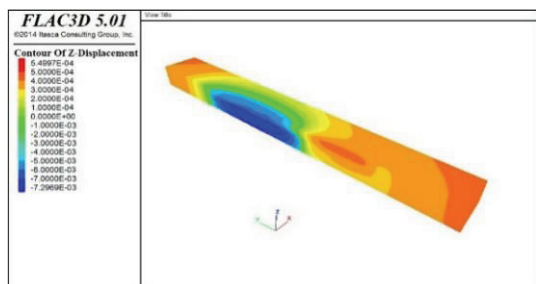


图5 (b) 工况五 3号线车站结构竖向位移云图

表1 计算结果汇总

	计算值	允许值	是否满足
3号线车站水平变形 (mm)	5.75	10	满足
3号线车站底板沉降 (mm)	7.3	10	满足

通过以上分析结果表明：(1) 8号线车站主体结构开挖及结构施工期间，邻近3号线既有车站主体已产生初始位移。(2) 8号线盾构隧道穿越施工期间造成3号线既有车站位移的进一步增加。(3) 8号线隧道贯通后，隧道上方换乘通道基坑开挖期间，贯通隧道表现为隆起位移，此时，3号线既有车站位移达到最大值。(4) 根据数值分析结果，本项目盾构施工引起既有车站位移变形能够控制在轨道交通结构安全指标范围内，相关的施工控制措施可为类似工程提供借鉴。

结论

(1) 在明挖车站、盾构隧道及换乘通道施工综合作用下，3号线既有运营车站最大水平位移为 -5.75mm 、最大竖向位移为 -7.3mm ，均满足规定的既有车站变形控制标准的保护要求。

(2) 临近车站施工和临近换乘通道施工导致既有车站结构变形既有水平位移也有竖直位移；盾构隧道下穿施工导致既有车站结构变形主要表现为竖直沉降变形，水平位移可忽略。

(3) 本工程中既有车站为后期盾构穿越施工预留措施能满足盾构施工及对既有运营车站的变形控制要求，相关施工预留措施可为类似工程提供借鉴。

参考文献

- [1] 王超, 朱春洲, 邹金锋等. 盾构隧道近接斜交侧穿桥梁桩基变形计算方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2024, 58(03): 557-569.
- [2] 陈郁. 基坑开挖引起下卧隧道隆起的研究分析[D]. 上海: 同济大学, 2005.
- [3] 何川, 苏宗贤. 南京长江隧道原型管片结构破坏试验研究[J]. 西南交通大学学报, 2011(8): 564-571.