

桥梁桩基托换及基坑施工对既有地铁隧道影响分析

文 / 曾培勇 中铁四院集团西南勘察设计有限公司

摘要: 本文以成都地区某铁路隧道基坑临近地铁7号线为工程依托,采用有限元方法,动态模拟了桩基托换及基坑开挖施工对地铁隧道的影响。研究结果表明:通过对既有区间隧道采取保护措施,桩基托换及基坑施工引起既有隧道结构最大位移为3.37mm,满足变形控制要求,桩基托换及基坑施工引起的既有隧道结构安全系数满足规范控制要求,验证了该工程的安全性,可为类似工程设计、施工提供参考与借鉴。

关键词: 桩基托换; 基坑施工; 地铁隧道; 数值分析; 保护措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.051

引言

随着我国城市化进程的不断深入,城市地下空间的开发利用呈现出网络化、密集化和深层化的趋势,由于空间的局限性,市域铁路线路将不可避免地出现穿越既有桥梁^[1-2],并且邻近既有运营隧道的情形,为了确保既有桥梁和既有隧道的安全和正常使用,通常采用桩基托换技术对既有桥梁进行加固处理,并对邻近隧道采取保护措施^[3-4]。

该工程面临三重核心难题:其一,明挖基坑开挖将引起土体应力释放和围护结构变形,直接影响邻近桥梁桩基的受力状态^[5];其二,桩基托换作为关键解决方案,其荷载平稳转换过程对桥梁安全至关重要^[6];其三,同时,施工产生的土体扰动会传递至邻近地铁隧道,可能引起隧道结构的不均匀沉降和收敛变形,对地铁运营安全构成威胁^[7]。针对这一多因素耦合的复杂系统工程,必须采取一种系统性的控制策略。这包括对明挖基坑的精细化支护设计与变形控制、对桩基托换全过程的模拟与实时监控,以及对邻近地铁隧道的多维度立体化监测与保护。近年来,众多学者对此开展了深入研究。例如,王伟星等人^[5]通过三维数值模拟,系统分析了基坑开挖对邻近隧道的影响,并提出了地铁保护的相关措施。而彭华等^[8]通过数值模拟和现场实测相结合的方式,分析了桩基托换过程的主要变形规律。

以上关于桩基托换的研究,主要集中在桩基托换对上部结构的影响及基坑开挖对既有隧道的影响分析,而关于桩基托换及基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响的研究较少。针对以上研究现状,本文结合成都市某铁路隧道桩基托换及基坑开挖邻近成都轨道交通运营地铁隧道工程,采用资料调研、数值模拟等方法,考虑实际施工工序进行三维数值模型模拟,并分析桩基托换及基坑施工全过程对既有区间隧道结构变形与受力影响,相关研究成果可为类似工程的设计及施工提供借鉴和参考。

一、依托工程背景

(一) 工程概况

成都某铁路隧道(明挖施工)下穿机场高速立交桥,该桥梁下部结构为圆形墩和桩柱式基础。两工程交叉角度约为65°,由于该铁路隧道与机场高速48#

桥墩干扰,需进行托换处理。需要托换的墩身直径为 $\phi 1.2\text{m}$,桩基直径 $\phi 1.5\text{m}$,需要托换的桩基础为2根。同时,该工程明挖隧道上跨地铁区间隧道,基坑深度10.2m~25.8m,基坑底部距离7号线盾构区间边线最小距离为5.65m。采用 $\phi 1200@2200\text{mm}$ 排桩+内支撑的支护结构施工。基坑内支撑采用钢管支撑,基坑平面内一般采用对撑,水平间距为2.5m。

(二) 工程地质条件

基坑开挖范围内从上到下主要土层为<1>人工填土、<1-1>粉质黏土、<1-2-1>粉土、<5>卵石土、<6-W3>强风化泥岩、<6-W2>弱风化泥岩,坑底坐落在卵石土中,场地岩土层的物理力学计算参数根据勘察报告提供参数取值。

(三) 主要施工工序

- 1、建立监测体系,对既有公路桥墩施工前各特征点(桥面、墩顶、垫石顶)位移、沉降进行监测。
- 2、施工隧道开挖防护桩。
- 3、钻孔施工托换桩。
- 4、托梁基坑开挖。
- 5、被托换桥墩柱、基础在托梁范围内设置企口,其余接缝凿毛处理,并植筋(植筋宜在后半夜少车时候进行)。
- 6、托换梁预应力钢束管道布置及普通钢筋布置,被托换墩柱植筋与托梁钢筋相接。
- 7、同时灌注托换梁砣与公路柱身环箍加强柱底部分。
- 8、张拉托换梁预应力钢束,预应力钢束张拉完毕,必须及时压浆。
- 9、待托换梁达到设计强度后,将托梁底既有公路桥墩基础逐步切割断开,分级转换。在切除过程中应观测墩顶的位移变化。
- 10、完成被动托换。
- 11、施工隧道其余围护结构。
- 12、隧道开挖施工及回筑。

(四) 既有地铁隧道保护措施

在明挖基坑开挖之前,采取地表预注浆加固的方式对机场高速桥墩托换工程桩基周围地层进行加固,加固范围为桩周2m范围,加固深度为地表至明挖基坑底以下2m。围护桩施工应采用跳桩间隔施工工序^[9],影响既有地铁隧道范围的明挖区间在开挖前,通过地表预注浆的方式对坑底部以下3m高度、基坑宽度范围地层进行注浆加固处理。邻近盾构区间某铁路隧道隧道施工过程中采用小开挖面开挖,分段、分层、分块和跳仓开挖,施工,并及时支撑和施工底板封闭,以减小对临近地铁区间盾

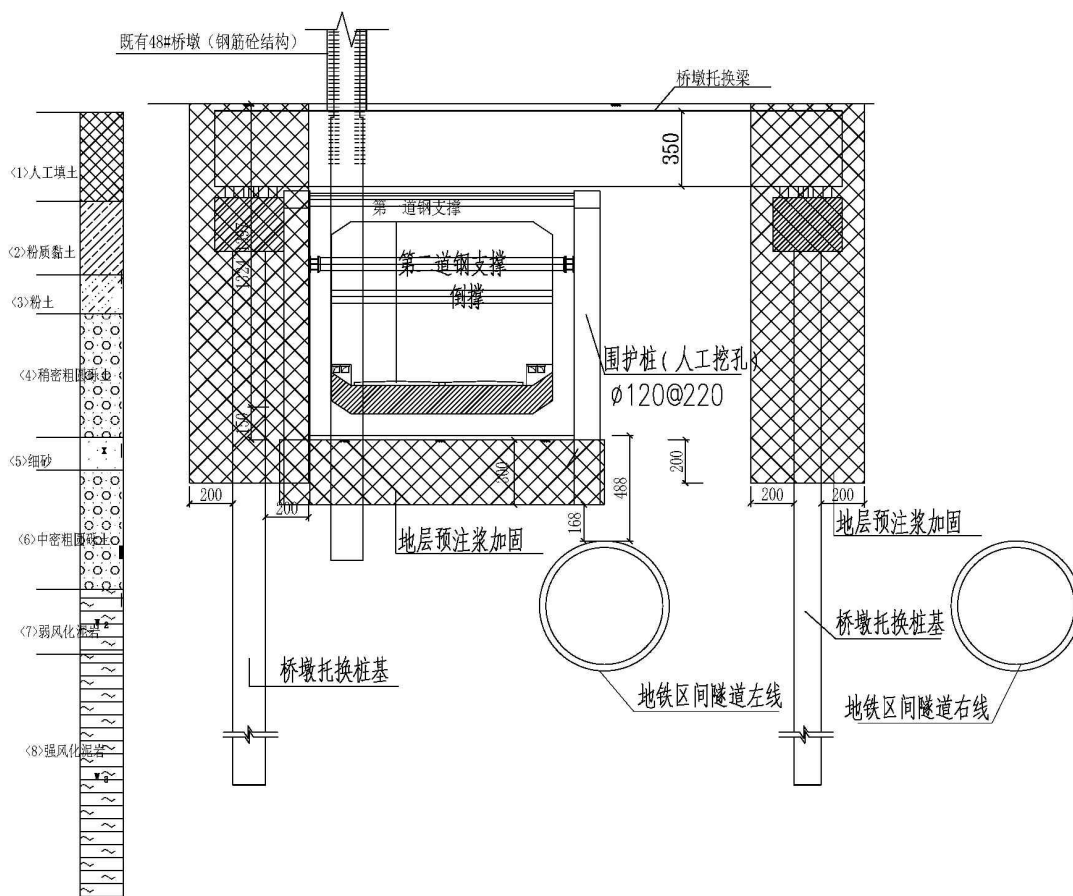


图 1. 隧道穿越桥梁桩基托换立面图

构隧道结构变形的影响^[10]。施工全过程中，对既有运营地铁采用全自动监控量测^[11]。

二、计算分析

(一) 三维计算模型

铁路隧道明挖段及桩基托换施工对邻近地铁区间的影响分析采用 MADIS GTS NX 有限元软件进行模拟，根据实际位置关系及地层，所建立的三维有限元模型如图 2 所示。

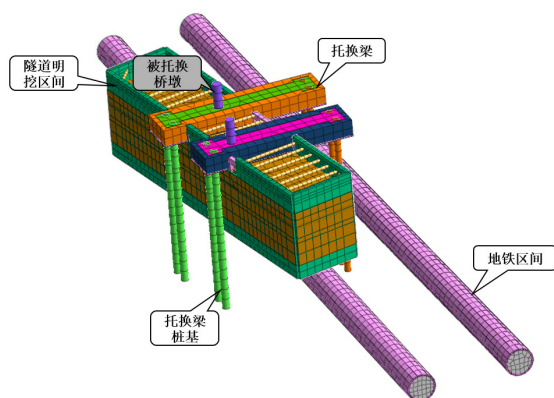


图 2 计算分析模型剖面示意图

(二) 分析工况及计算结果

为了准确分析桩基托换及基坑开挖对邻近地铁区间

的影响，根据施工工序，得到简要分析工况如下：一：模拟原始地形地貌，进行位移清零；二：托换梁桩基及隧道围护桩施工；三：托换梁基坑开挖至基底；四：托换梁施工；五：原桥梁桩基截除；六：隧道基坑开挖第一道支撑并架设第一道支撑；七：隧道基坑开挖第二道支撑并架设第二道支撑；八：隧道基坑开挖基底并浇筑底板；九：隧道基坑回筑完成。

通过上述计算模型计算了各工况下既有隧道的变形情况下表所示，从表中可以看出，桩基托换及隧道基坑施工对既有隧道会产生影响，既有隧道的变形在工况八下达到最大值。

根据计算结果可知，当明挖施工开挖至基底时，既有隧道左线隧道拱顶位移为 3.37mm，净空收敛为 1.10mm，右线隧道拱顶位移为 0.29mm，净空收敛为 0.37mm，皆小于既有隧道竖向位移、净空收敛均小于安全控制值的 10mm。

提取既有地铁隧道内力值，原始地形地貌下，隧道结构最大轴力值为 1995.51kN，最大剪力值为 97.17kN，最大弯矩为 95.42kN·m；隧道基坑开挖基底时，隧道结构最大轴力值为 1991.84kN，最大剪力值为 89.04kN，最大弯矩为 91.65kN·m。

根据《铁路隧道设计规范》(TB10003-2016)

$$KM \leq R_w bx(h_0 - x/2) + R_g A'_g (h_0 - a') \quad (1)$$

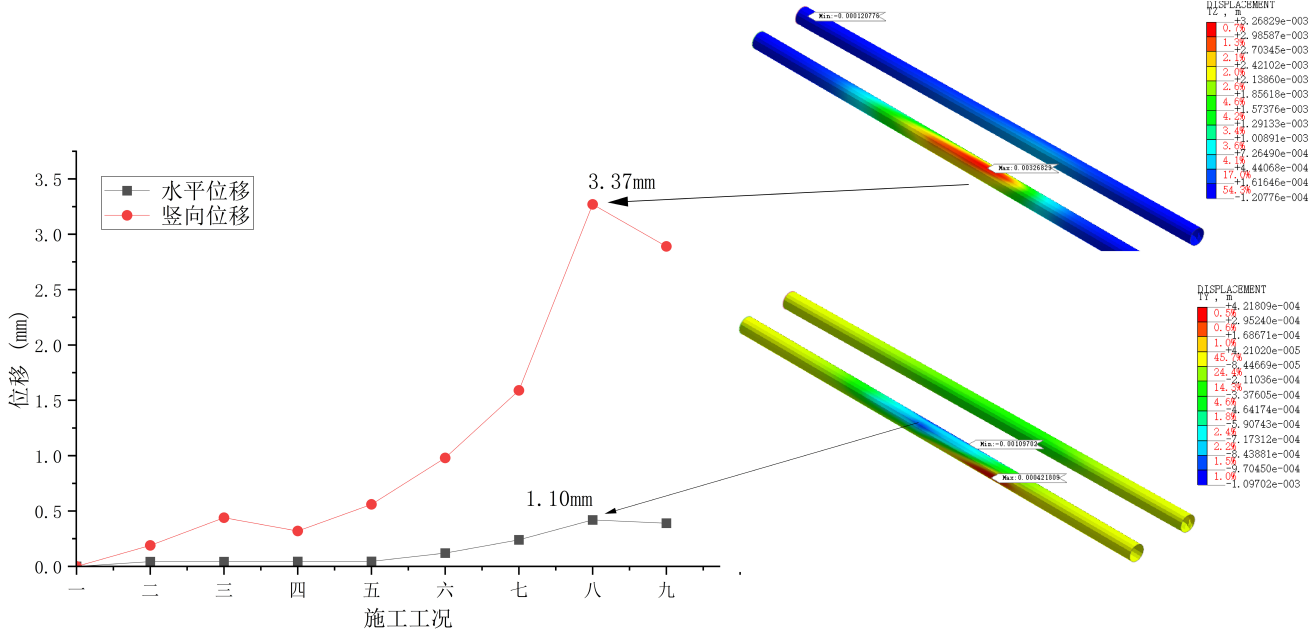


图3 各施工工况下计算结果

将数值模拟计算得到的管片结构弯矩、轴力代入上式(1)中计算盾构区间隧道衬砌结构安全系数分别为5.127、5.191、5.165,皆满足规范要求安全系数抗压控制值2.0。在模拟计算桩基托换及明挖基坑施工过程中盾构隧道结构以压弯受力为主,隧道管片的弯矩、剪力和轴力变化幅度不大,均在配筋要求范围内。

结语

以成都某铁路隧道上跨既有地铁区间隧道工程依托,采用三维数值模拟的方法研究了基坑开挖及桩基托换过程安全性,可以得到以下主要结论:

(1) 桩基托换及隧道基坑开挖过程中,当基坑开挖至基底时既有隧道的变形最大,最大变形为3.37mm(隆起),小于城市运营轨道交通变形控制值10mm。施工过程中应加强监控量测。

(2) 明挖基坑施工、桩基托换施工过程中下方区间隧道结构安全系数皆大于规范抗压控制值的2.0,且还具有一定安全储备,其弯矩、剪力、轴力也皆满足配筋要求范围内。

(3) 由于基坑开挖后围护结构的水平位移和坑底的隆起均具有时空效应,随着开挖面的增大而增大,随着暴露时间的增长而增大,因此邻近地铁区间明挖隧道施工过程中采用小开挖面开挖,分段、分层、分块和跳仓开挖,施工,并及时支撑和施工底板封闭,以减小对邻近地铁区间隧道结构的影响。

参考文献

[1] 程家军,刘远明,郑滔,等.地铁隧道下穿桥梁桩基托换变形与力学特性[J].科学技术与工程,2024,24(36):15665-15675.
 [2] 宋锋.双线盾构隧道下穿桥梁桩基托换施作时机的

影响研究[J].国防交通工程与技术,2024,22(4):80-84.

[3] 温建国.盾构近接桩梁托换加固基础影响特性研究[J].安徽建筑,2025,(2):143-145.

[4] 张庆闯,戴志仁,时亚昕,等.新建隧道近接穿越既有运营地铁隧道关键技术[J].铁道工程学报,2020,37(6):7.

[5] 王伟星,韩侃,刘锬,等.基坑施工对临近地铁隧道结构安全性影响分析[J].防灾减灾学报,2024,40(03):16-24.

[6] 任娜.既有城市高架桥梁桩基托换方案实用性研究[J].四川建筑,2023,43(04):96-99.

[7] 彭健海,申瑾.基坑施工对临近既有地铁隧道影响及开挖顺序研究[J].山西建筑,2023,49(05):155-157.

[8] 彭华,王晓菁,李子晨,等.应用桩基托换技术的深基坑工程下穿地铁高架桥变形控制研究[J].工程力学,2025,(S1):173-182.

[9] 唐晓天.成都地区邻近工程施工对地铁结构安全影响评估要点分析[J].天津建设科技,2021,31(02):25-27.

[10] 高永,赖衍鹏.基坑上跨盾构隧道实测数据分析及保护研究[J].城市道桥与防洪,2022,(01):158-162+21.

[11] 党佳宁.自动化监测技术在桩基托换过程中对既有线路沉降变形分析与应用[J].城市建设,2025,(16):92-94.

作者简介:曾培勇,男,1994年4月,云南昭通,汉,中级工程师,硕士研究生,研究方向:基坑工程、结构工程。