

预制梁体整体吊装对毗邻地铁结构安全影响分析

曹志光

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

摘要: 城市桥梁建设往往毗邻于现状地下的地铁盾构隧道结构,对预制桥梁上部结构施工时,需采用大型起重吊机起吊预制梁进行吊装施工,造成地面附加荷载,对邻近地下的地铁盾构隧道结构的安全造成影响,为了保证地铁结构的安全运营,需要对其进行安全评估,针对如何计算预制梁桥在进行吊装施工时对地下地铁结构的安全影响,提出了两种计算方法初步分析吊装荷载对地铁盾构隧道结构的影响,计算分析结果与监控数据结果基本接近,可供相关类似工程设计参考。

关键词: 地铁;预制梁;吊装荷载;安全评估

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)12-0172-03

0 引言

随着城市交通的不断的快速发展,越来越多的立交桥梁涌现城市建设中,其中城市桥梁建设往往毗邻现状地铁隧道结构附近,桥梁施工往往需要地面加载(支架现浇或预制吊装荷载)或卸载(承台基坑)施工,这对附近下卧的地铁结构容易造成影响,且地铁车站、隧道对变形极较为敏感,对其附近地面加载或卸载等该方面的施工荷载有着较为严格的要求,也对设计、施工要求高,如果疏忽该施工工况则可能导致出现相关工程事故^[1-4]。在该类邻近地铁的桥梁建设中,其地铁主管部门也会要求对其进行安全评估,同时为了桥梁总体方案的合理性,在该类桥梁施工前有必要进行地铁安全影响评估分析论证,采用必要的控制措施保证施工过程的安全性,并最终安全风险控制在安全合理的范围内,是该相关工程关注的重点。

1 工程概况

本文以同泰路、尖彭路-白云大道立交工程为背景,分析其地面施工活载(起重机吊装荷载)对毗邻地铁结构的影响,工程总体平面见图 1,该工程

位于广州市白云区中部,为白云大道、华南快速路三期(快速路)、同泰路-尖彭路(次干道)的交汇点。该工程需要设置 Z1、Z5 匝道桥跨现状南北走向的白云大道桥。另设 Z2、Z7 匝道桥实现 Z1、Z5 匝道的左转功能,Z8 匝道桥实现地面辅道接入 Z5 匝道桥,该工程的 5 个匝道桥梁上部结构均为预制结构,桥梁上部结构需要进行预制吊装施工,Z1 匝道桥及 Z2 匝道梁邻近既有地铁三号线的隧道盾构结构。

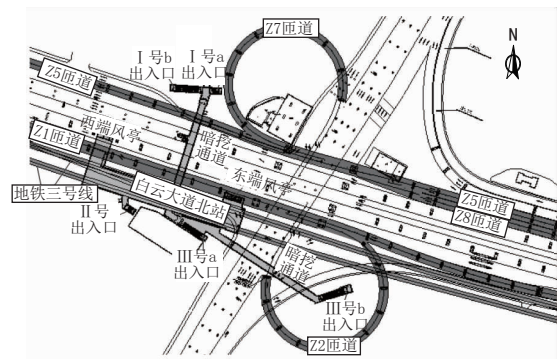


图 1 工程平面图

Z2 匝道梁的 Z2-1 轴距离地铁结构最近,其净距为 3.5 m,地铁埋深约 8.6 m,位置关系剖面见图 2。

由工程的地质勘察报告(见图 3)可知,拟建桥梁安全评估位置的地质从上到下主要地层依次为杂填土、中粗砂、黏性土、残积土、微风化灰岩。

2 地铁安全评估荷载结构分析法

立交 Z2 匝道桥起始桥跨毗邻地铁隧道,其上部

收稿日期: 2024-02-02

作者简介: 曹志光(1984—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁结构设计工作。

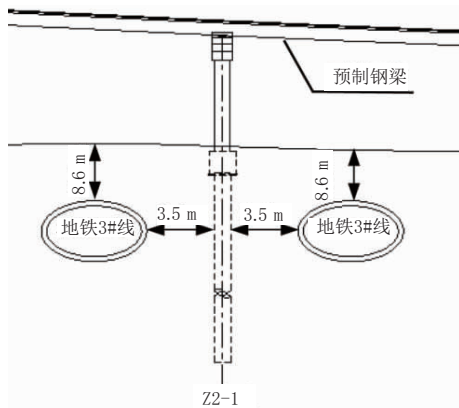


图2 地铁隧道桥梁关系剖面图

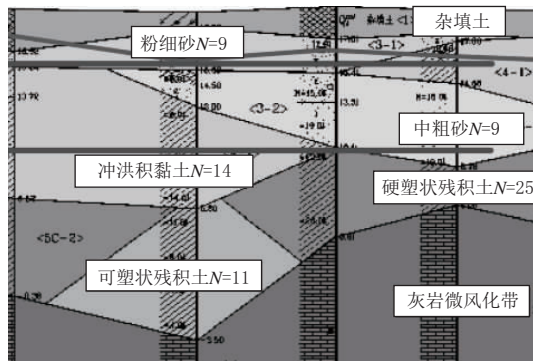


图3 地铁隧道附近地质剖面图

结构采用预制钢箱梁,拟采用两台起重机起吊钢箱梁,钢箱梁最大重量为 70 t,吊车起重机最大额定起重重量为 80 t,整机质量为 55 t,底盘桥数 4 桥。由于吊装过程中起重机和吊装的钢箱梁总荷载较大,可能会对地铁结构安全造成影响,为了保证地铁盾构结构安全,将其起重机支腿与地铁隧道水平净距控制在不小于 5 m,平面荷载分析见图 4。根据其起重机荷载位置作用与地铁隧道相对位置关系,采用荷载结构法分析起重机荷载对地铁盾构隧道的影响,进而评估地铁的结构安全性。

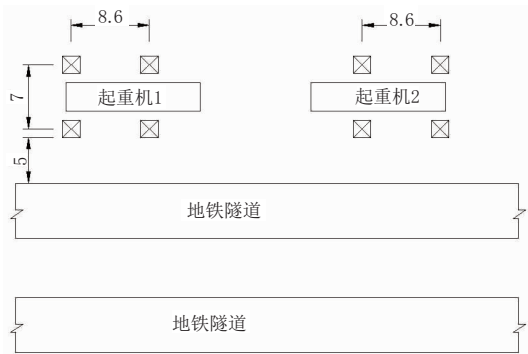


图4 荷载平面关系图(单位:m)

分析模型采用梁-弹簧计算地铁隧道的内力变形及安全状态,地铁安全评估计算处的地铁结构埋深约 8.6 m。衬砌盾构结构管片采用用梁单元模拟,纵缝接头及环缝接头用弹簧模拟,管片环与土体的

相互作用用土体弹簧模拟。图 5 为梁-弹簧计算模型。考虑实际情况的错缝拼装,本模型用四环模拟错缝效果,中间两环为目标环。计算管片环宽度即单元宽度 1.5 m,计算盾构隧道埋深约 8.6 m,外径 6 m,内径 5.4 m,管片厚度 0.3 m,隧道衬砌环由 6 块管片拼装而成,管片混凝土等级为 C50。

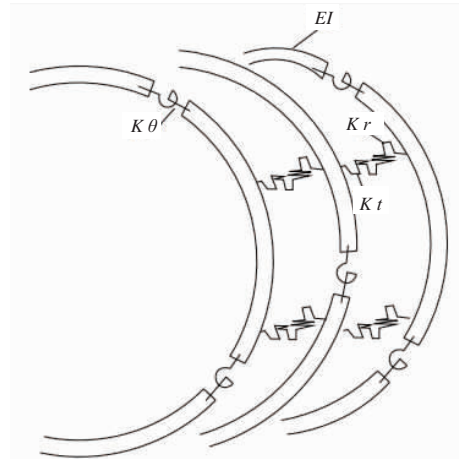


图5 地铁梁-弹簧计算模型图
 EI 为管片抗弯刚度, K_{θ} 为横向连接, K_r 为纵向连接刚度, K_t 为与土体连接刚度

图5 地铁梁-弹簧计算模型图

吊车起重机和钢梁荷载传递到地铁隧道上方的荷载 P 分别采用 Boussinesq 解和根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012) 计算的应力扩散原理分别计算,取较大值进行地铁隧道的荷载计算,分布荷载加载计算示意简化见图 6、图 7。

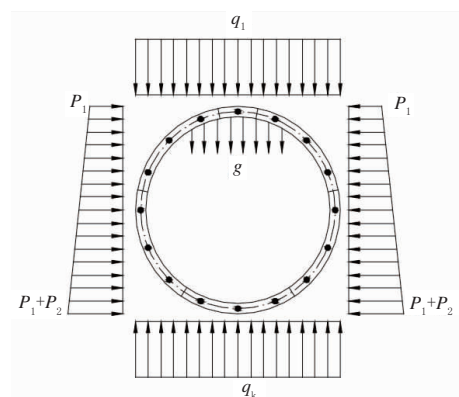


图6 地铁梁-弹簧计算模型图
注: q_1 —隧道上部土体压力荷载; P_1 、 P_1+P_2 —土体对隧道的侧压力荷载; q_k —隧道下部的压力荷载; g —盾构自重; $P_{传}$ —地面吊机及钢梁传来的荷载。

图6 地铁梁-弹簧计算模型图

其中:

$$P_1 = 78 \text{ kN/m}, P_1 + P_2 = 130 \text{ kN/m}$$

$$q_1 = 172 \text{ kN/m}, q_k = 197 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{传} = 4 \text{ kPa}, P_{传} = 267 \text{ kN/m}$$

根据上述方法,利用 MIDAS 软件建立数值计算梁单元模型,得到相关结果,图 8 为桥梁吊装施工前

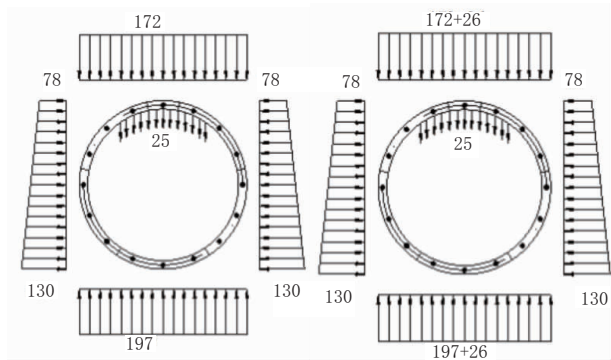


图 7 桥梁吊装施工作用前后结构外侧的压力(单位:kN/m)

即正常荷载下管片环结构位移图,最大位移径向收敛值约 4.4 mm,图 9 为桥梁吊装施工后即附加汽车起重机和预制钢梁荷载下管片环结构位移图,最大位移径向收敛值约 5.7 mm。故由地面施工活载引起的位移径向收敛值为 1.3 mm,根据《城市轨道交通既有结构保护技术规范》(DBJ/T 15-120-2017),地铁径向收敛不得超过 15 mm,能满足规范要求。

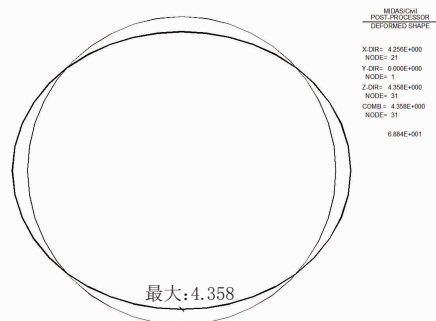


图 8 桥梁吊装施工作用前隧道结构变形图(单位:mm)

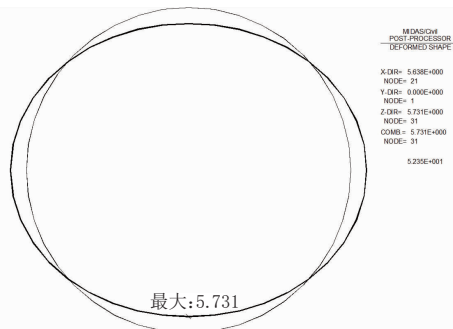


图 9 附加吊装施工作用后隧道结构变形图(单位:mm)

3 地铁安全评估二维有限元分析法

根据汽车起重机荷载作用位置与地铁结构的空间关系,建立的二维有限元精细模型见图 10,计算盾构隧道埋深及结构管片参数同前,仅考虑起动机及其钢箱梁吊装产生的附加荷载,其结构变形见图 11,桥梁吊装施工荷载引起位移为 2.4 mm,可以满足规范的相关要求。

从上结果图 11 可知荷载结构的分析法略偏大,变形为斜椭圆,椭圆的长轴与力作用位置和椭圆中

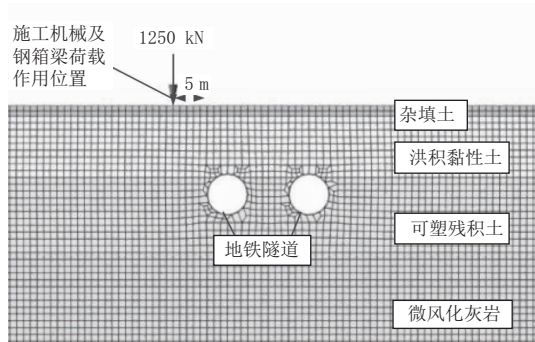


图 10 桥梁吊装施工作用二维模型图

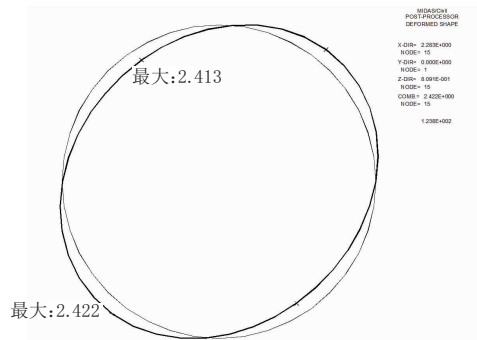


图 11 仅吊装施工作用后隧道二维有限元结构变形图(单位:mm)

心位置的连线近于垂直,该变形规律与荷载结构分析方法一致,因荷载分析方法以传力为竖向均匀分布荷载计算假想为前提,故变形形状为水平的椭圆。

4 施工位移监测结果

该工程施工在桥梁范围地铁 3 号线隧道结构布设隧道监测断面,每个断面 6 个监测点见图 12,并在施工位置最近的点布设一个断面,在吊车起重机进行上述工况吊装施工时,第三方单位进行位移监测的结果显示,最大变形点为图 11 中 R3 点,这与二维有限元分析法较为接近,最大位移为 1.2 mm,其计算结果与荷载结构分析法较为接近。

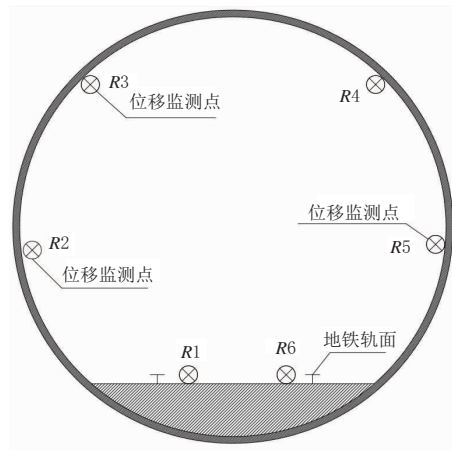


图 12 隧道盾构区间位移监测点布设示意图

5 结 语

当桥梁毗邻现状地铁盾构结构建设,采用预制(下转第 184 页)

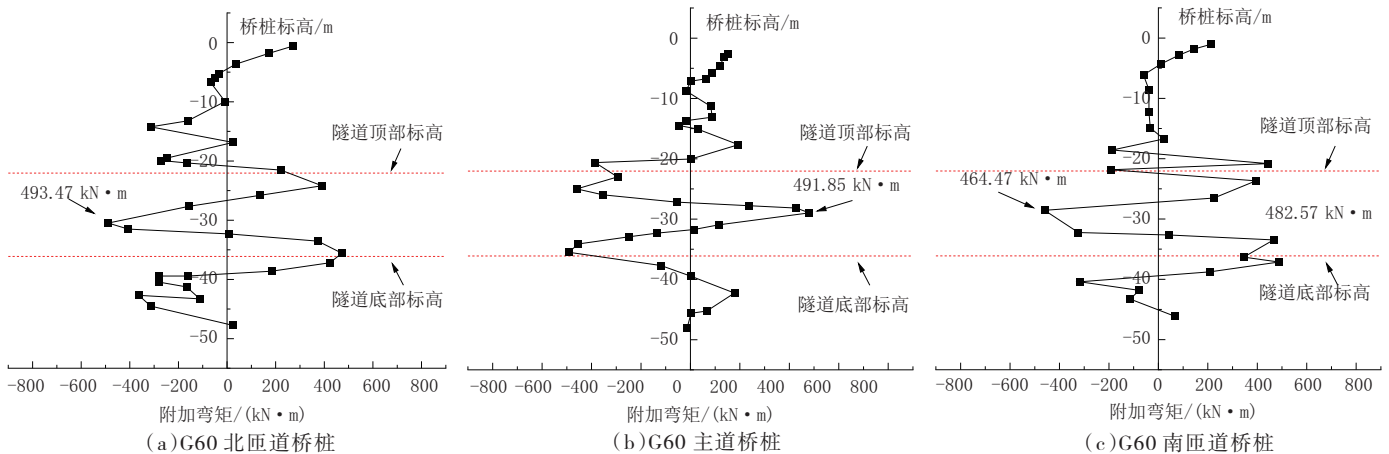


图 9 G60 南北匝道及主道桥桩最大附加弯矩

南北匝道与主道的承台、墩柱的最大水平位移、最大沉降和最大差异沉降均控制在 10 mm 以内。

参考文献:

- [1] 何卫. 暗挖地铁隧道下穿高速铁路路基沉降规律与控制措施研究[D].北京:北京交通大学,2015.
- [2] 常富贵.地铁盾构侧穿高速铁路桥梁桩基施工技术与应用[J].工程建设与设计,2018(24):204-205.
- [3] 田红卫.盾构隧道邻近既有建筑物施工风险评价研究[D].兰州:兰州交通大学,2015.

- [4] Nematollahi M, Dias D. Three-dimensional numerical simulation of pile-twin tunnels interaction-Case of the Shiraz subway line [J]. Tunneling and Underground Space, 2019(86):75-88.
- [5] 吴飞翔. 盾构隧道超近距离侧穿桥梁桩基的影响分析及应对措施[D].武汉:武汉理工大学,2023.
- [6] 刘志宏.盾构下穿在建高铁桩板复合地基变形规律及施工参数优化研究[D].兰州:兰州交通大学,2023.
- [7] 李明睿,陈国平,范秀江,等.盾构施工对临近桩基影响的数值模拟及参数分析[J].土木与环境工程学报(中英文),2022,44(1):45-52.

(上接第 174 页)

吊装施工时,对盾构隧道产生安全影响,该文提出两种计算方法:

(1)采用该文提出的荷载结构分析和二维有限元分析两种计算方法对隧道结构进行安全初步评估,对比其监控数据,具有可行性,可供类似工程参考。

(2)采用二维有限元计算方法计算位移结果略偏大于荷载结构分析方法,类似工程可采用该两种方法计算进行相互校核,当计算结果较大时,应采取相关措施或调整桥梁方案保证地铁结果的安全,如增大起重机吊车的支撑面积减小扩散应力,或增大

避让地铁距离,以保证前期桥梁方案的可行性和工程建设的安全性。

参考文献:

- [1] 谷鸿飞.新建建筑物地基静力荷载对下伏隧道影响研究[J].水利与建筑工程学报,2020,18(2):195-199.
- [2] 蔡武林.深基坑开挖对临近地铁车站及区间影响的数值模拟分析[J].水利与建筑工程学报,2016,14(6):222-226.
- [3] 孙廉威,秦建设,洪义,等.地面堆载下盾构隧道管片与环缝接头的性状分析[J].浙江大学学报(工学版),2017,51(8):1509-1518.
- [4] 邵华,黄宏伟,张东明,等.突发堆载引起软土地盾构隧道大变形整治研究[J].岩土工程学报,2016,38(6):1036-1043.