

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.04.047

# 地铁深基坑施工对邻近隧道的变形影响分析

刘雪飞

(中铁十四局集团隧道工程有限公司,江苏南京 210000)

**摘要:**为研究地铁深基坑邻近隧道施工时既有隧道的受力与变形特性,以南京地铁9号线管子桥站基坑工程为背景,通过三维有限元分析,研究基坑开挖引起的既有隧道的受力与变形特性,计算结果表明:地铁基坑开挖引起的既有隧道最大沉降值为7.32 mm,最大水平位移为5.74 mm,隧道变形满足相关规范要求;隧道主体沿Y方向和Z方向产生的位移远大于沿X方向产生的位移;基坑开挖时,隧道敞开区与暗埋段会产生沉降差异,施工时应采取相应措施控制沉降差。

**关键词:**基坑开挖;隧道变形;有限元分析;变形控制

**中图分类号:** TU46

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)04-0197-03

## 0 引言

近年来,我国城市轨道交通事业快速发展,地上及地下轨道线路越来越密集,地铁车站施工临近既有隧道的情况时有发生。针对这一现象,广大研究人员运用理论分析、现场检测、数值模拟等方法对既有隧道的受力与变形特性做了大量的研究。冯国辉等<sup>[1]</sup>针对现有理论方法的缺陷,采用Mindlin解并引入Fourier函数提出了一种可以预测基坑开挖引起隧道隆起变形的理论解析方法。郭院成等<sup>[2]</sup>针对堆土工况与基坑开挖产生的叠加效应使既有地铁隧道产生较大变形的现象,建立了三维数值模型分析既有隧道的变形。王灿等<sup>[3]</sup>针对粉质黏土地质,研究了基坑开挖过程中土体性状改变对邻近隧道变形的影响。丁智等<sup>[4]</sup>根据实际工程监测数据,分析了邻近既有运营隧道基坑开挖过程中的施工危险区域。石钰锋等<sup>[5]</sup>依托杭州某基坑工程邻近隧道施工,建立了三维有限元模型,分析了基坑开挖过程中,既有隧道的受力变形特性。本文旨在研究地铁基坑平行于由敞开区及暗埋段组成的隧道大面积开挖对既有隧道的影响。

## 1 工程概况

南京地铁9号线管子桥站为地下两层岛式站台车站,结构形式为双柱三跨箱型框架结构。管子桥站

收稿日期:2023-04-11

作者简介:刘雪飞(1983—),女,本科,工程师,从事土木工程施工管理工作。

采用明挖顺作法施工,车站外包总长210.15 m,标准段外包宽22 m,顶板覆土厚度约5.0 m。管子桥隧道全长468 m,其中暗埋段长166 m,北侧及南侧敞开区均长151 m,隧道结构标准横断面宽度29.2 m,高度7.7 m。管子桥车站主体与隧道并行,离主体基坑围护结构最小距离约2.42 m,隧道泵房与主体基坑围护结构最小间距约4.61 m,两者平面相对位置关系见图1。

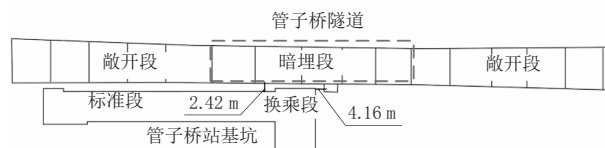


图1 在建工程与管子桥隧道位置关系平面图

管子桥站以封堵墙为界,南侧换乘节点处先封闭再单独向下分层开挖,北侧由北端头向南分段分层开挖。按照车站施工流程,标准段竖向分为八层进行开挖,换乘节点处分为十二层进行开挖,每层厚度不超过3 m,具体开挖顺序见图2。



图2 土方开挖顺序示意图

## 2 有限元模型

### 2.1 模型尺寸

为研究地铁车站基坑施工对管子桥隧道的影响,根据实际施工资料数据建立三维数值模型,见图3。

模型长 650 m,宽 195 m,高 70 m,约束模型四周的水平位移及底部的竖向位移,模型上表面设置为自由边界。

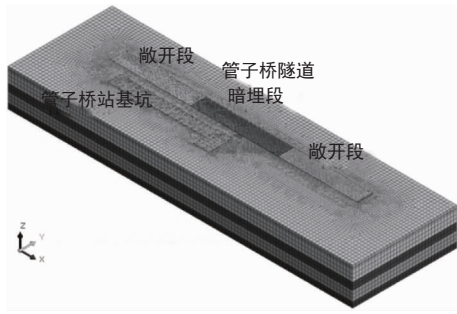


图3 数值模型

2.2 模型参数

根据地勘报告及相关资料,场地自上而下分别为杂填土、淤泥质粉质黏土、粉质黏土、粉细砂及强风化粉砂质泥岩,采用 Modified Mohr-Coulomb 本构模型模拟土体,具体参数见表 1。

表1 地层物理力学参数

名称	泊松比	重度 / (kN·m <sup>-3</sup> )	E <sub>50</sub> <sup>ed</sup> / MPa	E <sub>ocd</sub> <sup>ed</sup> / MPa	E <sub>ur</sub> <sup>ed</sup> / MPa	摩擦角 / (°)	黏聚力 / (kN·m <sup>-2</sup> )
杂填土	0.31	19.0	4.4	4.4	13.2	5.0	15.0
粉质黏土	0.43	17.9	3.3	3.3	9.9	12.1	12.7
粉质黏土	0.40	18.0	3.8	3.8	11.4	14.3	15.3
粉细砂	0.29	19.5	10.9	10.9	32.7	31.0	3.0
粉砂质泥岩	0.26	21.5	25	25	75	26.0	28.0

地铁车站标准段基坑支护结构采用 1 m 厚地连墙及混凝土支撑 / 钢支撑,端头井基坑支护结构采用 1 m 厚地连墙。其中地连墙采用板单元模拟,混凝土支撑、钢支撑及隧道桩基均采用梁单元模拟,既有隧道采用实体单元模拟,具体参数见表 2。

表2 模型其他材料物理力学参数

名称	重度 / (kN·m <sup>-3</sup> )	弹性模量 / GPa	泊松比
混凝土撑	25	30	0.2
钢管撑	78	206	0.29
隧道桩基	25	30	0.2
隧道主体	25	31.5	0.2
地连墙	25	31.5	0.2

2.3 计算步骤

根据实际施工顺序,总体上设置 10 大分析步骤,具体计算工况见表 3。

3 计算结果分析

3.1 暗埋段隧道变形分析

基坑开挖完成后隧道暗埋段的整体位移云图见

表3 计算分析步骤

工况	施工步骤
1	初始应力场分析,位移清零
2	管子桥隧道施工
3	地连墙、格构柱施工
4	开挖一:基坑开挖至 5.8 m
5	开挖二:基坑开挖至 9.4 m
6	开挖三:基坑开挖至 13.0 m
7	开挖四:基坑开挖至 16.6 m
8	开挖五:基坑开挖至 20.2 m
9	开挖六:换乘段基坑开挖至 24.8 m
10	开挖七:换乘段基坑开挖至 29.5 m

图 4。由图 4 可知,管子桥隧道暗埋段 X 方向最大位移为 -1.24 mm, Y 方向最大位移为 -5.74 mm, 竖向最大位移为 -6.47 mm。根据《江苏省城市轨道交通工程监测规程》(DGJ32/J 195—2015), 基坑工程周边环境监测报警值为 10~30 mm, 隧道变形满足规范要求。

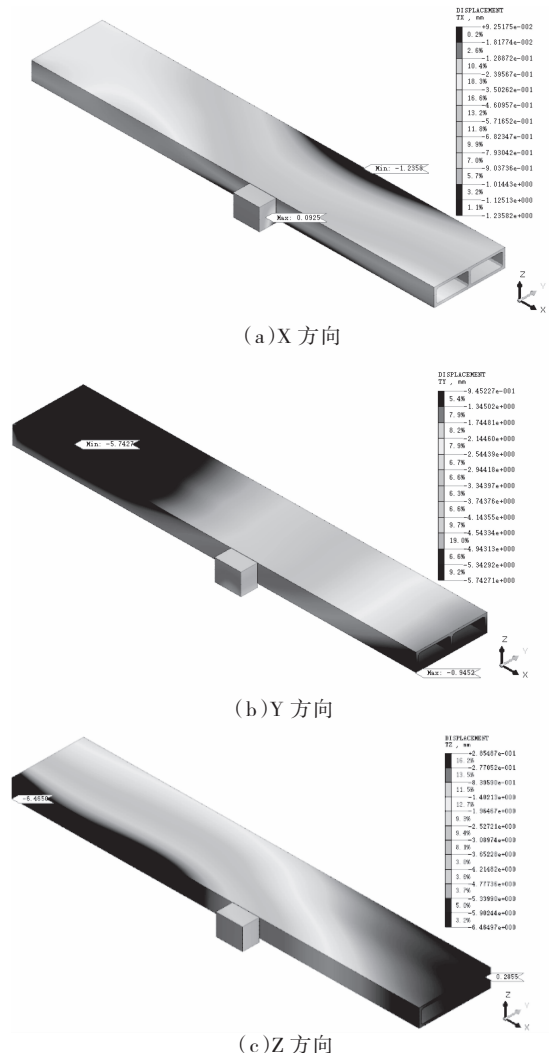


图4 基坑开挖完成后隧道暗埋段位移云图

基坑开挖过程中,隧道暗埋段各阶段变形最大值见图5。由图5可以看出,在基坑平行于隧道开挖的过程中,隧道暗埋段沿X方向产生的水平位移较小且变化平缓,而沿Y方向产生的水平位移较大,这是由于基坑开挖前,既有隧道在周围水土压力和自重的作用下处于受力平衡状态,基坑土方开挖后,基坑支护结构由于土体的应力释放从而产生了向坑内的位移,导致隧道受到的侧向压力减小,从而隧道产生了指向坑内的横向变形,由于基坑平行于既有隧道不断分区分层开挖,故而应力释放也不断增大,从而隧道暗埋段沿Y方向产生的位移也不断增大。在基坑开挖的前两个阶段,坑底土体卸载回弹,导致隧道轻微上浮,随着基坑开挖深度的增大,坑底上部土体卸载沉降,从而隧道产生沉降位移,且沉降幅度不断增大,随着开挖工作接近尾声,隧道沉降趋于稳定。

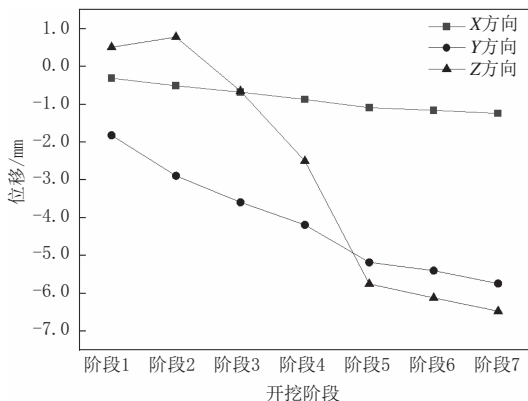


图5 隧道暗埋段各开挖阶段位移最大值

### 3.2 敞开段路面沉降分析

根据计算结果,由于基坑开挖,隧道暗埋段及敞开段均产生不同程度沉降,敞开段路面最大沉降值为 $-7.32\text{ mm}$ ,满足变形要求。各施工阶段隧道敞开段和暗埋段最大沉降值对比见图6。由图6可以看出,随着车站基坑不断分区分层开挖,隧道敞开段与暗埋段将产生沉降差异,最大沉降差值为 $1.05\text{ mm}$ ,从总体上来看,隧道暗埋段产生的沉降变形小于敞开段,这是由于隧道暗埋段以下地基土采用直径为 $0.85\text{ m}$ 的工法桩加固,地基承载力相比于敞开段较好。在整个基坑开挖的过程中,隧道最大沉降差异发生在车站换乘段基坑施工完成后,在施工的过程中

应采取必要的措施控制隧道不均匀沉降。

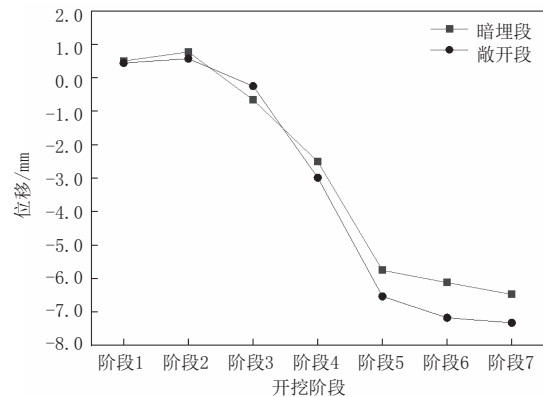


图6 隧道暗埋段及敞开段各阶段位移最大值对比

## 4 结论

本文以南京地铁9号线管子桥站基坑工程为背景,通过数值模拟探讨地铁深基坑邻近既有隧道开挖对既有隧道的影响,主要结论与建议如下。

(1)经计算,隧道暗埋段最大水平位移为 $5.74\text{ mm}$ ,指向坑内,最大沉降位移为 $6.47\text{ mm}$ ,敞开段最大沉降位移为 $7.32\text{ mm}$ ,满足规范规定的变形要求。

(2)隧道主体沿Y方向和Z方向产生的位移远大于沿X方向产生的位移,实际施工时应注意加强基坑支护结构,加固基坑底部垫层,以控制隧道变形。

(3)基坑开挖的过程中,应注意控制隧道暗埋段与敞开段的差异性沉降。换乘段基坑施工完成后,隧道敞开段与暗埋段沉降差异达到最大,实际施工时应注意加强特殊部位的支撑刚度,以减小隧道的不均匀变形。

### 参考文献:

- [1] 冯国辉,陈光仔,张迪,等.基坑开挖诱发下卧既有隧道隆起变形解析[J].铁道科学与工程学报,2023(10):1-11.
- [2] 郭院成,张博闻,孟潮,等.堆土卸卸载与基坑开挖叠加对既有隧道变形的影响研究[J].建筑科学与工程学报,2023,40(1):142-149.
- [3] 王灿,凌道盛,王恒宇.软土结构性对基坑开挖及邻近地铁隧道的影响[J].浙江大学学报(工学版),2020,54(2):264-274.
- [4] 丁智,张霄,金杰克,等.基坑全过程开挖及邻近地铁隧道变形实测分析[J].岩土力学,2019,40(增刊1):415-423.
- [5] 石钰锋,方焘,王海龙,等.基坑开挖引起紧邻地铁隧道力学响应与处理方案研究[J].铁道科学与工程学报,2016,13(6):1100-1107.