

# 大跨度市政通道开挖近接轨道交通隧道变形特性分析

万连满

重庆市轨道交通(集团)有限公司 重庆 400000

**摘要:** 某大跨度市政通道近接轨道交通环线,为维护近接轨道交通线路结构的可靠与安全,本文结合工程实际情况,建立三维有限元模型,并对近接通道和轨道交通环线隧道结构的变形情况进行了分析,结合变形特征及计算结果,提出了控制隧道变形的工程技术措施,以为相关工程施工建设提供一定参考。

**关键词:** 大跨度;市政通道;开挖;轨道交通;隧道变形

## 前言

近年来,我国城市化进程持续推进,为缓解交通压力,城市交通呈现出立体化发展特点,在此过程中,轨道交通工程和市政通道工程难免会彼此影响,并且相关工程周边区域开发也会对城市轨道交通工程产生一定影响,所以为合理实施规划路线,并维护轨道交通隧道稳定与安全,需要在相关工程施工中采取合适的施工方法。某大跨度市政通道近接轨道交通环线,该轨道交通已完成建设,为尽量减少市政通道施工对已建成轨道交通的影响,有必要对该通道开挖近接轨道交通产生的隧道变形特性展开深入分析。

## 1 工程概述

某城市轨道交通环线一期工程已完工,施工中选择浅埋暗挖法,隧道属于双连拱暗挖断面。该城市规划建设一条快速路,路段内设置有一座长度4000m的隧道,并且主线有3550m的暗埋段,规划建设的城市快速路隧道和轨道交通环线一期工程区间隧道段有相交,相交部位市政通道属于单层双跨矩形隧道,该隧道断面高度和宽度分别是6.2m、20m,顶板设计覆土75cm。市政工程通道结构施工中无需降水,不过轨道交通隧道施工过程中需降水,为避免后期通道施工中因地下水位上浮使轨道交通隧道出现上浮变形情况,要在市政通道和轨道交通隧道相接近部位确保施工前以及施工中依旧持续降水,由此使地下水位始终低于轨道交通隧道底板1m及以上,市政通道和轨道交通相接近部位选择明挖施工方法。

## 2 模型建立

结合市政通道基坑和该轨道交通隧道两者所保持的位置关系,同时考虑工程特点以及土层地质条件等,选择通过MIDAS/GTS对该市政通道近接轨道交通所引发的变形展开数值模拟分析。结合工程经验,可基于高于基坑深度3倍及以上明确模型宽度和方向,经综合分析,模型高度、宽度和长度分别是55、100、95m,涉及到

的土层共5层,每层深度分别是5.5、11.1、22.8、2.3、15.6m。模型参数主要结合工程现场土层情况以及具体构造选取。

## 3 施工模拟

为明确该市政通道开挖施工对已完成建设的轨道交通环线所产生的影响,模拟期间严格按照实际开挖施工次序分区施工,涉及到的区块有A、B、C、D、E区。整体开挖中,首先开挖A区、C区,随后开发B区、D区,最后开挖E区。在前4个区域开挖过程中,首先进行围护桩、立柱桩施工作业,随后开挖基坑,设置首层钢支撑,之后继续开挖,进行第2层钢支撑的设置,随后浇筑底板。浇筑结束并且强度达到设计值后,先对第2层钢支撑进行拆除作业,对通道结构进行施工,最后将首层钢支撑拆除,回填基坑<sup>[1]</sup>。针对E区,主要将其划分成7个小节,逐步开挖,最大程度减少对已建成轨道交通的影响,每一节都要根据施工设计循环开挖。

## 4 基坑开挖对轨道交通隧道的影响

数值模拟期间,分别布设地表沉降、支撑轴力、隧道拱顶沉降测点。其中,支撑轴力设置点位在A区首层支撑中心,地表沉降监测点位分别分布在A区、C区、E区上方,而拱顶沉降监测点分布在轨道交通左线隧道的拱顶之上,所设置测点共11个,呈均匀分布状。

### 4.1 基坑开挖对隧道结构的影响

基坑开挖中A区设置的第1层支撑轴力变化情况,以其中4个支撑中点当做轴力测试点。根据变化情况,发现在设置支撑之初,轴力快速增加,保持在150~200kN区间,在开挖施工逐步推进过程中,轴力值基本没有出现大的改变。对于第2个支撑来说,在整个开挖期间其轴力值均大于其他支撑,在对下方通道结构进行施工期间,出现最大轴力值,为209kN。

研究中主要选择3条地表测线沉降值,这3条测线均顺着Y轴方向经过A区、C区、E区中间段,三条测线上设

置有13个测点,呈均匀分布状。经分析,发现测线1和3有较大的沉降以及隆起波动幅度,尤其在开挖基坑的点位,沉降幅度较大,其沉降最大值为19.6 mm,隆起最大值是12.5 mm。测线2其沉降隆起波动幅度不大,因为这条测线经过E区,E区下方分布着轨道交通,在此部分市政通道开挖以及回填施工中是分阶段进行的,所以所引发的影响相对较小。综合分析,这3条测线数值都在基坑部位发生沉降,并且基坑量测中都有隆起情况。

在施工结束后,顶部沉降以及底部隆起顺着通道纵向发生改变,其中测点均匀的布置在通道拱底和拱顶中心点位。经分析,发现无论哪个点位,通道底部其隆起绝对值均超过顶部沉降值。顶、底部的沉降值以及隆起值主要顺着通道纵向方向分布,并呈凹型。这两类数值在E区均比较小,而在A区、C区两类值相对较大,其中顶部沉降值最大是15.8 mm,底部隆起值最大是18.1 mm。

## 4.2 基坑开挖对隧道结构变形的影响

### 4.2.1 竖向变形

通道施工结束之后,轨道交通的拱顶发生竖向位移。经分析,发现竖向位移主要顺着隧道纵向分布,并呈现为凸形,中间部位出现了最大的竖向位移,该区域处于基坑开挖下方,受到基坑卸载作用影响,隧道所产生的竖向位移幅度较大,位移最大值为13.2mm,该参数控制标准是20 mm,达到标准限制要求。在和基坑间距不断增大过程中,竖向位移也呈现出逐渐减小趋势。

轨道交通拱顶所设置的3个测点会在开挖工作不断推进过程中发生竖向变形,通过分析其变化规律,发现3个测点都分布在轨道交通中间部位,也就是市政通道的正下方。经过分析,发现基坑在分区开挖期间,轨道交通隧道结构在竖向方向发生隆起变形,并且呈逐渐上升趋势。各分区在开挖以及覆土回填施工中,轨道交通隧道结构在竖向方向的隆起变形呈现出明显减少状态,尤其是第1波段的隆起值减小幅度比较大,考虑是因为A区、C区进行覆土回填作业阶段上方荷载逐步增大,由此出现这一结果<sup>[2]</sup>。同时,第2波段的隆起值同样发生大幅下降,这是因为B区、D区进行了覆土回填作业。

综合分析,在A区、B区、C区、D区展开开挖以及覆土回填施工中,隧道隆起表现出较大波动幅度。而在开发E区过程中,虽然竖向隆起变形呈现出不断增加趋势,不过和前几区段相比,此区段施工中竖向变形增幅明显更小,主要原因是此区段开挖施工和回填施工都分阶段进行,所产生的扰动影响比较小<sup>[3]</sup>。

### 4.2.2 水平变形

市政通道在施工期间,轨道交通区间隧道所产生的

水平变形情况比较小,通道结构在完成施工之后,通过分析隧道结构水平变形情况,发现在轨道交通隧道结构中,2段水平位移方向与中间部位水平位移方向保持相反关系,而且轨道交通隧道中间部位出现了最大的水平变形情况,最大值是0.62 mm,而控制标准是20mm,远低于限制要求<sup>[4]</sup>。

### 4.2.3 基坑开挖对隧道几何形态的影响

经数值计算,发现隧道结构当中其水平净空收敛以及竖向净空收敛最大值分别是0.28、0.47 mm,控制标准是20mm,均符合限制要求。另外,通过数值计算得到隧道结构其相对曲率半径最大值是31158m,远大于15000m,符合限制要求。隧道钢轨在10m区间内差异变形最大值是1.3mm,相对变曲率是1.3:10000,远小于1/2500,达到控制要求<sup>[5]</sup>。因为施工因素造成的区间隧道轨道横向高差最大是0.19 mm,符合<4mm的要求。因施工导致区间隧道轨道纵向高差最大值是1.1mm,符合<4mm的要求。因施工因素导致的区间隧道轨间距变形最大值是0.15mm。符合-4~6mm的要求。

## 5 工程技术措施

根据现场实际情况,结合计算分析结果,为最大程度规避因通道施工影响轨道交通结构的可靠性、安全性,可采取以下技术措施:对于近接轨道交通隧道的部分落实注浆加固措施,其中平面加固范围主要是隧道外侧1m到围护桩土体,竖向加固范围主要是隧道上方从地面之下2m直到轨道交通隧道之上0.75m位置,对于隧道双侧,从地面之下2 m直到隧道底板之下3m点位均采取压密注浆加固措施;轨道交通上方主要通过门式抗浮结构以最大程度减少坑底隆起,使工程桩和底板两者共同组成门状形式的整体;针对通道底板上方,通过堆载钢板压重设计,堆载值是50kN/m<sup>2</sup>;通道开挖施工中要限定一定时间分块开挖,底板可均匀地划分成多条板带逐步施工,每条板带宽度3m,以有效控制基坑开挖范围,并合理缩减基坑暴露时间;在市政通道开挖施工过程中一直维持降水,以防轨道交通隧道完成施工后由于降水停止引发地下水位上升,进而造成隧道上浮问题<sup>[6]</sup>。

## 6 轨道交通隧道变形控制对策

总体来说,同类工程在基坑开挖中为最大程度规避影响近接轨道交通的隧道变形,可采取以下控制对策。

### 6.1 外部增强加固处理措施

有很多工程在施工中,因为近些轨道交通隧道,为有效控制隧道变形,均选择外部增强加固处理措施。比如上海东方路下立交工程就通过坑底土体注浆以及旋喷的方式进行加固处理,而且在土体开挖过程中选择分

块、分层开发方式；上海雅居乐国际广场工程也遇到同类问题，其为有效控制隧道变形，主要针对坑底土体采取搅拌桩加固处理措施，并且在施工中选择分块、分区以及分层开挖方式；而上海东西信道工程中也为控制隧道变形，对坑内土体进行加固处理，并通过分隔桩进行分坑，基坑开挖过程中选择跳仓以及分层方式；此外在杭州延安路一个地下信道工程施工中，为控制近接隧道变形，选择通过水泥搅拌桩进行满堂加固，并在基坑当中合理设置抗拔桩，而且在开挖施工中选择分块以及分期开挖方式。结合相关案例，可发现深基坑开挖期间有时空效应，可对基坑时空效应予以利用，以分块、分区以及分层的形式开挖，并采取有效控制坑底土地回弹，由此可有效控制因基坑开挖导致的进阶轨道交通隧道变形问题。为使坑底还有隧道周边的土体具有更高的高度和强度，应主要采取地基加固措施，这在软弱土层工程中广泛应用，通过加固坑底土体，可较为明显的控制土体回弹，同时合理设置抗拔桩等控制坑底土体回弹装置，一般可获得较好效果。此外，可结合工程实际情况联合使用抽条开挖以及板锚（桩）支护措施，或者在拉槽开挖基础上对坑底土体进行加固处理。

### 6.2 隧道结构加固处理

为使隧道进一步提升承载能力和刚度，还可对隧道结构采取加固处理措施，主要可结合不同的加固位置采取不同加固方式，包括隧道管片加固、隧道周围注浆加固。针对隧道周围采取注浆加固措施，可使隧道周围的土体具有更高强度与刚度，并使土层地基基床系数提升，优化隧道和周边土体两者接触特性，强化隧道纵向刚度，尤其在富水砂层可有效的通过注浆处理措施进行加固处理。隧道管片加固是在隧道具有较大的横向收敛变形情况下，通过粘贴芳纶纤维布或使用球状石墨铸铁环片或者内装钢圈等形式提升横向刚度。内贴钢板加固法主要是将钢板粘贴于隧道内侧，并在管片和钢板两者之间填充具有较高强度和粘结能力的胶结材料还有膨胀螺栓，促使管片、钢板形成整体，进一步增强结构刚度，加大结构变形抵御能力。

### 6.3 施工过程监测

虽然当前在施工中可通过多种途径对通道开挖所导致的近接轨道交通隧道应力以及应变状态变化情况进行全面分析，但当前无论是计算能力还是数值计算模型等均有一定局限性，无法对基坑开挖涉及到的所有问题实现全面模拟。所以，在近接轨道交通相关工程基坑开挖施工中，为有效控制隧道变形，需要在施工全过程落实多项监测措施，对项目施工可能会影响地铁隧道结构的施工范围实现全过程监测，并积极利用自动化监测技术动态掌握施工中所造成的近接轨道交通隧道变形以及变位等问题，及时落实防治措施，有效消除轨道交通隧道安全隐患，维护地铁运营安全。

### 结束语

某大跨度市政通道在基坑开挖过程中上穿已完成建设的环线，在施工中主要通过分区分层开挖方式，同步应用钢板桩以及围护桩，重点针对轨道交通上方落实分快放坡开挖技术，有效控制了通道施工对轨道交通产生的负面影响，在通道基坑开挖过程中导致地形变形最明显的区域分布于基坑周边。在开挖通道底部之后发生隆起情况，同时顶部有沉降，中间部位保持较小的位移变化幅度，综合分析，该轨道交通环线的隆起变化率相对偏小。

### 参考文献：

- [1]周小杰,蒋辉,张志强.贵阳市轨道交通1号线地下通道开挖对轻轨1号线区间隧道影响分析[J].四川建筑,2020,40(03):60-62.
- [2]侯福金.超大跨度水平层状围岩隧道变形机理与稳定性控制[D].山东大学,2019.
- [3]明亮.基坑开挖对邻近地铁区间结构的变形影响研究[D].安徽建筑大学,2020.
- [4]刘彦坡,于琪.深基坑开挖对邻近地铁车站结构变形的影响研究[J].低温建筑技术,2019,41(04):106-110.
- [5]潘清.基坑贴地铁盾构隧道的实施方案研究及变形影响分析[J].城市道桥与防洪,2020(01):191-195+24.
- [6]李东明.厦门轨道交通1号线某区间盾构隧道施工引起的地表变形特征研究[J].城市轨道交通研究,2020,23(10):109-114.