

文章编号: 1674—8247(2022)01—0043—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.01.008

基坑开挖对既有隧道的影响与支护方案对比研究

张昊然¹ 姚海波¹ 耿英宸² 李嘉兴¹ 王增月¹

(1. 北方工业大学, 北京 100144; 2. 中化学路桥建设有限公司, 北京 101100)

摘 要:为研究基坑开挖时不同支护方案对既有铁路隧道的影响,本文通过 MIDAS - GTS 有限元软件进行分析建模,模拟在基坑开挖的过程中,地下连续墙支护方案与钻孔灌注桩支护方案下对既有铁路隧道的影响。计算结果表明,随着开挖的进行,地下连续墙方案中,隧道衬砌上的最大主应力值、最小主应力值和剪力值均小于钻孔灌注桩方案下的应力值;同时,地下连续墙支护方案中的隧道沉降量也明显小于钻孔灌注桩支护方案下的沉降量。可以得出结论,在基坑开挖过程中,地下连续墙支护方案更加稳定,要优于钻孔灌注桩支护方案。研究成果可为相似的工程施工提供参考。

关键词:基坑开挖; 基坑支护; 铁路隧道; 应力与位移分析

中图分类号:U455

文献标志码:A

Comparative Study on Impact of Foundation Pit Excavation and Supporting Schemes on Existing Tunnels

ZHANG Haoran¹ YAO Haibo¹ GENG Yingchen² LI Jiaxing¹ WANG Zengyue¹

(1. North China University of Technology, Beijing 100144, China;

(2. China Chemical Engineering Road Bridge Construction Corporation Ltd., Beijing 101100, China)

Abstract: In order to study the impact of different support schemes on existing railway tunnels during foundation pit excavation, this paper analyzes and models the impact of underground diaphragm wall and bored piles on existing railway tunnels with the finite element software MIDAS-GTS. The results show that with the excavation, the maximum principal stress, the minimum principal stress and the shear force on the tunnel lining in case of the underground diaphragm wall are less than those in case of bored piles. Moreover, the settlement of the tunnel in case of the underground diaphragm wall is obviously smaller than that in case of bored piles. It can be concluded that for foundation pit excavation, the underground diaphragm wall is more stable and superior to the bored piles. The conclusions may be used as reference for similar projects.

Key words: foundation pit excavation; foundation pit support; railway tunnel; stress and displacement analysis

随着国家经济的蓬勃发展,交通运输的建设也急速发展,交通重心从地上逐渐变成地下,铁路等地下交通设施愈发重要。随着铁路隧道的建设,地下空间利用率增加,可用地下空间减小,加之目前很多城市的铁

路隧道线路错综复杂,在建筑建设的基坑开挖阶段,不可避免地会有与铁路隧道近接的情况。基坑开挖势必会对临近隧道造成影响,因此,如何设计基坑支护,保证施工安全进行,减小对附近隧道的影响尤为重要。

收稿日期:2021-05-24

作者简介:张昊然(1997-),男,在读研究生。

引文格式:张昊然,姚海波,耿英宸,等. 基坑开挖对既有隧道的影响与支护方案对比研究[J]. 高速铁路技术,2022,13(1):43-48.

ZHANG Haoran, YAO Haibo, GENG Yingchen, et al. Comparative Study on Impact of Foundation Pit Excavation and Supporting Schemes on Existing Tunnels[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1):43-48.

现阶段,国内外的专家学者对于既有铁路隧道下基坑开挖支护的研究主要有,刘远亮^[1]对地层自重固结、基坑开挖施工的整个过程进行模拟分析,得出基坑开挖过程中土体开挖卸荷作用对临近隧道结构的位移变形以水平变形为主,竖向变形较小,开挖至基坑底部时,隧道结构变形量达到最大;陈丽敏^[2]对基坑开挖引起的邻近建筑及地铁隧道变形情况进行三维建模,分析后发现基坑开挖后建筑物地下室整体表现为沉降变形的趋势,采用单排桩支护形式,建筑物的倾斜度会达到规范临界值;孙琳^[3]等分析基坑开挖是否考虑降水对基坑支护结构变形的影响,并与现场基坑支护结构的监测结果进行对比,发现初始地下水水位越浅,对基坑及邻近建筑物影响越大;赵志孟^[4]在进行基坑正常支护和基坑坍塌两种情况下隧道的变形分析后,提出软弱土层可以采用“地连墙+3道内支撑”作为深基坑的支护方式,能够有效控制变形;贾瑞晨^[5]分析地铁隧道后期监测中的变化后,认为浇筑底板、支撑直接影响隧道位移控制的稳定性,支撑稳定后各个指标不会产生多种波动;赵良云^[6]分析邻近盾构地铁隧道两侧深基坑开挖的围护设计后,认为轨道交通控制保护区内,基坑开挖施工顺序的选择应仔细考虑;张汝捷^[7-9]等对包括区间隧道水平位移及收敛、区间道床竖向位移、管缝和裂缝、轨道几何形态等在内的主要指标进行评估研究后,发现基坑开挖时深基坑的施工对临近地铁区间隧道的影响总体表现为道床的下沉,隧洞结构的径向收敛、区间隧道水平方向的位移和轨距变化。综上,对于既有铁路隧道的基坑开挖的影响已经有了较为完善的研究,但是基坑开挖不同支护形式对既有铁路隧道影响的对比研究较少。本文采用MIDAS-GTS有限元软件模拟不同支护方法基坑开挖对既有铁路隧道的影响,进行对比分析,结果可为相关工程提供参考。

1 工程概况

本工程基坑周边场地复杂,有既有铁路隧道1座,半径6 m,埋深6 m。因临近铁路,将钻孔灌注桩+内支撑支护与地下连续墙支护方案进行对比分析。其中,为增加实验数据可靠性,设置两种开挖工况。工况Ⅰ:基坑开挖深度12 m,分3次开挖,每次4 m,形状为五边形。工况Ⅱ:开挖深度15 m,分3次开挖,每次5 m,形状为五边形,两种开挖情况下隧道基坑位置如图1、图2所示。基坑与既有隧道最右侧水平距离15 m,隧道拱顶与基坑底竖直距离6 m,隧道为复合衬

砌结构,衬砌采用C20喷射混凝土。基坑平面如图3所示。钻孔灌注桩直径1.2 m,地下连续墙墙厚1 m,钻孔灌注桩、地下连续墙嵌固端深度18 m。土层总深度40 m,包含3个土层,第一层为杂填土20 m,第二层为黏土10 m,第三层为粉质黏土10 m。因本工程整体结构都在地下水位以上,故不考虑地下水问题。



图1 隧道基坑位置(工况Ⅰ)图(m)

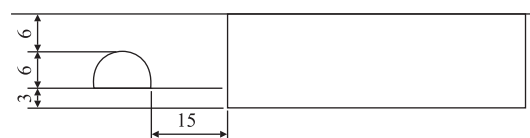


图2 隧道基坑位置(工况Ⅱ)图(m)

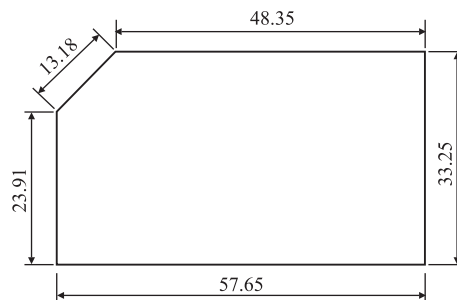


图3 基坑平面图(m)

2 计算情况

2.1 计算模型

以京张城际铁路基坑为背景,根据实际参数信息,建立MIDAS-GTS有限元3D计算模型。为充分考虑基坑及周围土体对其的影响,模型尺寸为长195.36 m、宽157.94 m、高40 m。该模型所受自重荷载及约束条件可通过静力边坡自动添加。计算模型如图4所示。

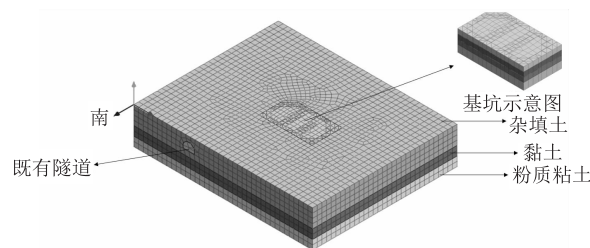


图4 计算模型图

2.2 计算参数

本模型为弹塑性本构模型,运用修正摩尔-库伦准则进行有限元计算,计算模型结构的参数如表 1、表 2 所示。

表 1 土层参数表

土层名称	泊松比	容重/kN	初始孔隙比	三轴试验割线刚度N/m	卸载弹性模量/kPa	剪切破坏时的摩擦角/(°)	粘聚力/kN
杂填土	0.32	18	0.84	28 800	150 000	10.7	36
黏土	0.3	19.6	0.8	54 000	200 000	27.2	40
粉质黏土	0.32	21.4	0.7	73 800	300 000	4.3	42

表 2 结构参数表(kN/m/sec)

结构名称	单元类型	本构模型	所用材料
土层 1	3D 实体单元	修正摩尔库伦	杂填土
土层 2	3D 实体单元	修正摩尔库伦	黏土
土层 3	3D 实体单元	修正摩尔库伦	粉质黏土
腰梁	1D 梁单元	线弹性	C35 混凝土
冠梁	1D 梁单元	线弹性	C35 混凝土
支撑	1D 梁单元	线弹性	C35 混凝土
地下连续墙	2D 板单元	线弹性	C40 混凝土
钻孔灌注桩	1D 桩单元	线弹性	C40 混凝土
隧道衬砌	2D 板单元	线弹性	C20 混凝土

2.3 施工情况

本模型采用施工阶段的求解类型,整个计算过程包括 5 个施工阶段,分别为:地应力平衡、隧道开挖、第一次开挖与基坑支护、第二次开挖与基坑支护以及第三次开挖与基坑支护。具体添加步骤如表 3 所示。

表 3 施工阶段步骤表

阶段号	阶段名称	阶段类型	激活数据	钝化数据	备注
1	地应力平衡	应力	土层 1~3、第一、二、三次开挖、自重荷载、边界条件	-	勾选位移清零
2	隧道开挖	应力	隧道衬砌	隧道土	-
3	第一次开挖与基坑支护	应力	冠梁、内支撑 1、地下连续墙或钻孔灌注桩	第一次开挖与基坑支护	-
4	第二次开挖与基坑支护	应力	腰梁 1、内支撑 2	第二次开挖与基坑支护	-
5	第三次开挖与基坑支护	应力	腰梁 2、内支撑 3	第三次开挖与基坑支护	-

2.4 测点布置

选择隧道与基坑并行区段中心截面以及此截面沿隧道方向前后 20 m、40 m 为监测面,每个监测面上布置 8 个测点,如图 5 所示。

3 应力结果分析

3.1 隧道衬砌主应力分析

计算完成后,提取两种工况下,不同支护方案、不

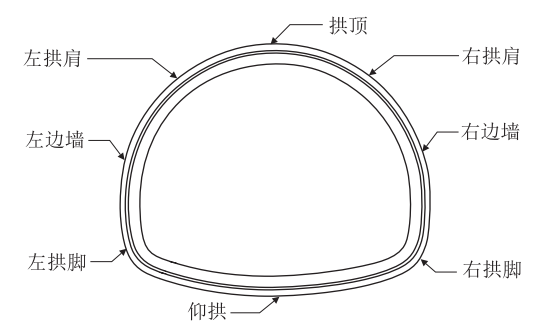


图 5 测点布置图

同基坑开挖阶段,隧道与基坑并行区段中心截面处衬砌右拱肩位置的最大主应力和最小主应力值(以 3 次开挖完成后工况 I 为例)如图 6、图 7 所示。

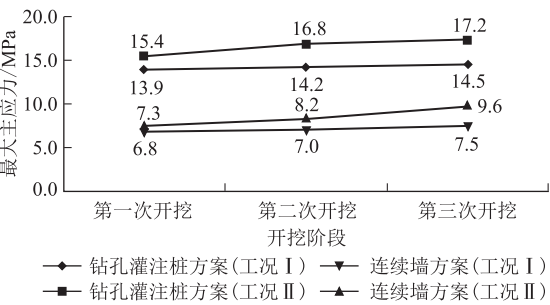


图 6 隧道衬砌最大主应力图

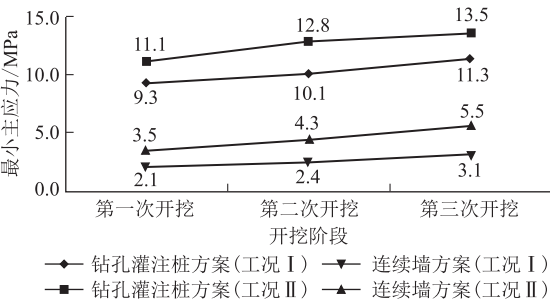


图 7 隧道衬砌最小主应力图

从图 6、图 7 可以看,随着开挖深度的不断加深,两种支护方案中隧道衬砌上的最大主应力值和最小主应力值均缓慢增长,不同工况下的最大主应力值和最小主应力值都是地连墙方案小于钻孔灌注桩方案。

3 次开挖完成后,隧道与基坑并行区段中心截面上的 8 个测点最大主应力值如图 8、图 9 所示。

从图 8、图 9 可以看出,3 次开挖完成后,两种工况下的不同支护方案中,隧道衬砌上的最大主应力值和最小主应力值都随着开挖的进行而增大,均在右拱肩处达到最大。其中,连续墙方案下的最大主应力值和最小主应力值整体大于钻孔灌注桩方案下的应力值。

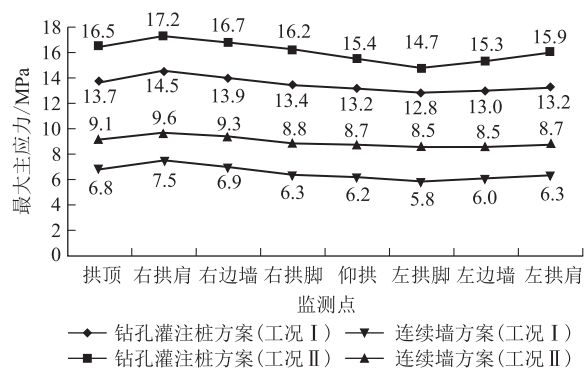


图8 隧道衬砌各测点最大主应力图

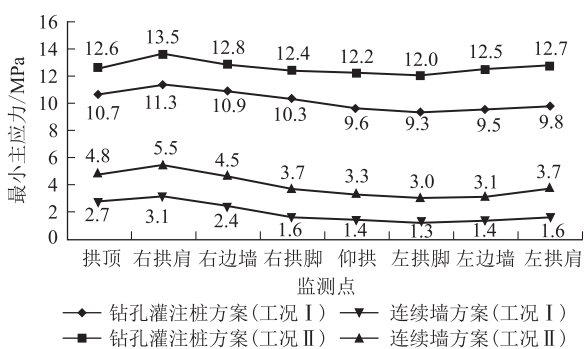


图9 隧道衬砌各测点最小主应力图

3.2 隧道衬砌剪应力分析

计算完成后,提取两种工况下,不同支护方案中,基坑开挖各阶段时,隧道与基坑并行区段中心截面处,衬砌右拱肩位置剪力值(以3次开挖完成后工况I为例),如图10所示。从图10可以看出,随着开挖深度的不断加深,钻孔灌注桩支护方案中隧道衬砌上的剪应力逐渐增大,但并不显著,工况I剪力值最大为11.3 MPa,工况II为12.8 MPa,均大于隧道衬砌所采用的C20混凝土抗剪强度2.7 MPa,此状态下,隧道衬砌产生开裂,隧道结构遭到破坏;连续墙支护方案中隧

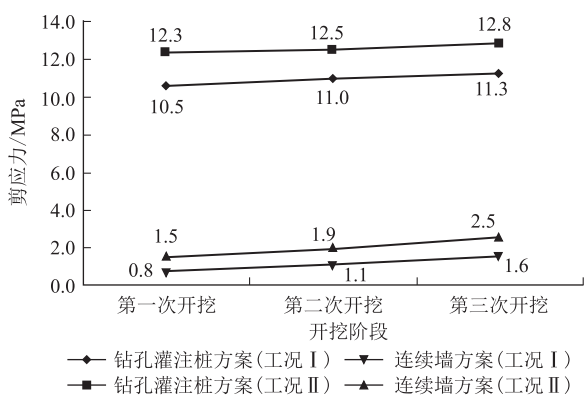


图10 隧道衬砌剪力图

道衬砌所受剪应力则逐渐缓慢增大,工况I剪力值最大为1.6 MPa,工况II为2.5 MPa,均小于C20混凝土抗剪强度,隧道衬砌不会开裂。

3次开挖完成后,隧道与基坑并行区段中心截面上的8个测点剪应力值如图11所示。

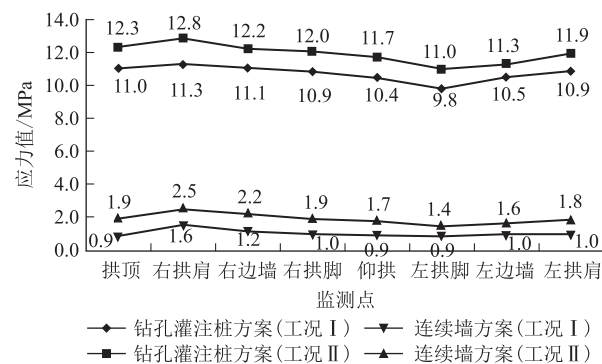


图11 隧道衬砌各测点剪力图

从图11可以看出,3次开挖完成后,两种工况中不同支护方案隧道衬砌的剪应力变化都较为平稳,都在右拱肩处达到最大。其中,钻孔灌注桩方案中的剪应力值整体大于C20混凝土抗剪强度2.7 MPa,隧道衬砌有开裂风险;而连续墙方案下的隧道衬砌剪应力均符合要求,隧道不会开裂。

4 位移结果分析

4.1 隧道竖向位移分析

3次开挖之后,记录两种支护方法下的各监测面数据(以3次开挖完成后工况I为例),如图12、图13所示。

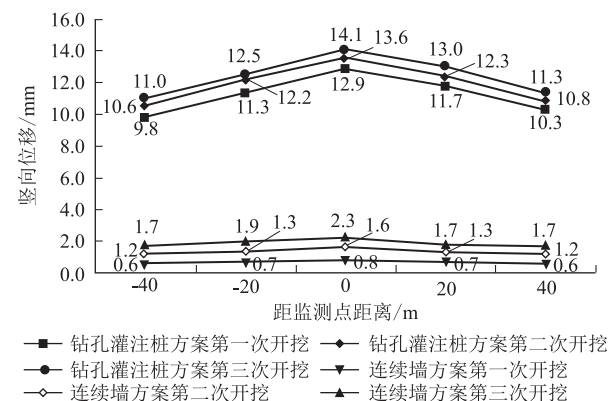


图12 隧道竖向位移折线(工况I)图

从图12、图13可以看出,在两种工况下,3次开挖完成后,钻孔灌注桩支护方案中隧道衬砌竖向位移先增大后减小,在隧道中间面处达到最大,工况I为

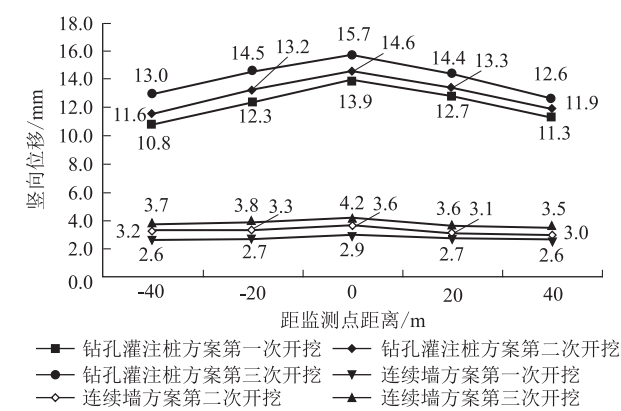


图 13 隧道竖向位移折线(工况 II)图

14.1 mm,工况 II 为 15.7 mm;连续墙支护方案中隧道衬砌竖向位移变化基本平稳,在隧道中间面处达到最大,工况 I 为 2.3 mm,工况 II 为 4.2 mm。GB 50911 – 2013《城市轨道交通工程监测技术规范》中规定的控制值为 10 mm。因此钻孔灌注桩支护方案并不满足规范要求,而连续墙支护方案则满足规范要求。

由上述结果可知,在基坑开挖完成后,隧道与基坑并行区段中心截面处竖向位移最大,监测面上 8 个测点的竖向位移如图 14 所示。

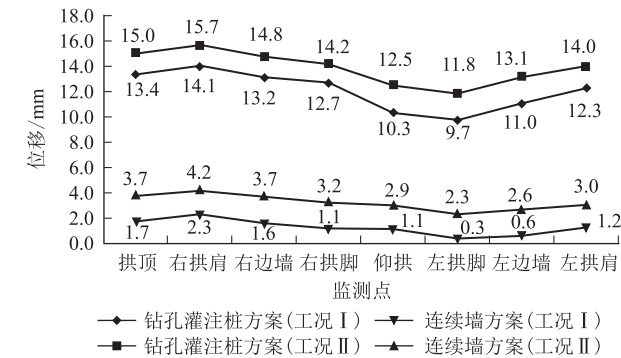


图 14 隧道各测点竖向位移折线图

从图 14 可以看出,3 次开挖完成后,两种工况不同支护方案下的竖向位移在靠近基坑处较大,其中,钻孔灌注桩支护方案下,各测点位移变化较明显;连续墙支护方案下,各测点位移变化相对平缓,两种方案下的最大位移均发生在右拱肩处。

4.2 隧道水平位移分析

3 次开挖之后,记录两种工况中,不同支护方案下的各监测面数据(以 3 次开挖完成后工况 I 为例),得出每次开挖时隧道监测面水平位移折线图,如图 15、图 16 所示。

从图 15、图 16 可以看出,3 次开挖完成后,钻孔灌注桩方案下,隧道衬砌水平位移先增大后减小,在隧道

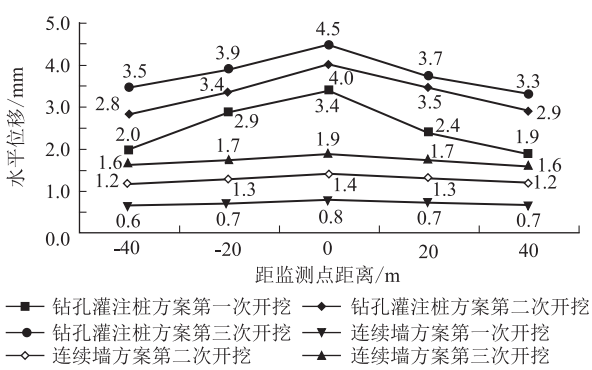


图 15 隧道水平位移折线(工况 I)图

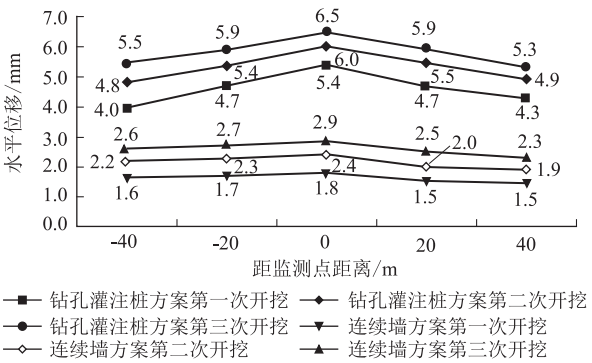


图 16 隧道水平位移折线(工况 II)图

中间截面处达到最大,工况 I 为 4.5 mm,工况 II 为 6.5 mm;连续墙支护方案下,隧道衬砌水平位移基本平稳,在隧道中间面处达到最大,工况 I 为 1.9 mm,工况 II 为 2.9 mm。GB 50911 – 2013《城市轨道交通工程监测技术规范》中规定的控制值为 10 mm。因此,两种支护方案均满足要求。

由上述结果可知,在基坑开挖完成后,隧道与基坑并行区段中心截面处水平位移最大,监测面上 8 个测点的水平位移量,如图 17 所示。

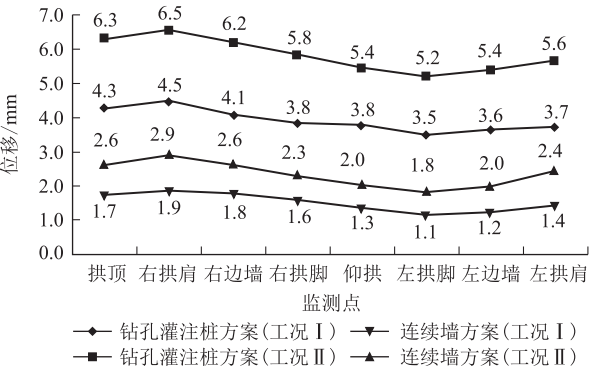


图 17 隧道各测点水平位移折线图

从图 17 可以看出,3 次开挖完成后,两种工况不同支护方案的水平位移量均在靠近基坑处数值较大,

其中钻孔灌注桩支护方案下的位移量变化与连续墙支护方案相比更加明显。两种方案下的水平位移量都是在右拱肩处达到最大。

5 结论

本文通过分析不同支护方法基坑开挖对既有铁路的影响,得出以下主要结论:

(1)连续墙支护方案下隧道衬砌上的最大主应力 7.5 MPa(工况 I)、9.6 MPa(工况 II)和最小主应力 3.1 MPa(工况 I)、5.5 MPa(工况 II)明显小于钻孔灌注桩方案中最大主应力 14.5 MPa(工况 I)、17.2 MPa(工况 II)和最小主应力 13.5 MPa(工况 I)、11.3 MPa(工况 II);同时,连续墙支护方案下隧道衬砌上的剪力值 1.6 MPa(工况 I)、2.5 MPa(工况 II)也小于钻孔灌注桩方案下的剪力值 11.3 MPa(工况 I)、12.8 MPa(工况 II),且地下连续墙方案下隧道衬砌不会开裂。

(2)在3次开挖过程中,连续墙支护方案中隧道中心截面沉降量 2.3 mm(工况 I)、4.2 mm(工况 II)远小于钻孔灌注桩支护方案沉降量 14.1 mm(工况 I)、15.7 mm(工况 II);两种方案下的隧道水平位移量有少许差异,其中钻孔灌注桩方案变化明显。

(3)3次开挖完成后,隧道的竖向和水平位移均在隧道与基坑并行区段中心截面处达到最大,在此截面上,靠近基坑处及右拱肩处位移量最大,随着测点远离基坑,位移量也相应减小。同时,隧道衬砌上应力值的变化也遵循这一规律。

(4)开挖深度为 15 m 时,隧道衬砌上的应力值、隧道沉降量、隧道的水平位移量均大于开挖深度为 12 m 时的数值。

参考文献:

[1] 刘远亮. 基坑开挖对邻近地铁隧道影响的 Midas GTS 三维数值模拟分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(1): 70-72.
LIU Yuanliang. Midas GTS 3D Numerical Simulation Analysis on Influence of Foundation Pit Excavation to Subway Tunnel[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling),

2013, 40(1): 70-72.

- [2] 陈立敏. 基坑开挖对邻近建筑及地铁隧道的影响研究[J]. 山西建筑, 2021, 47(1): 55-56.
CHEN Limin. Influence of Foundation Pit Excavation on Adjacent Buildings and Subway Tunnels[J]. Shanxi Architecture, 2021, 47(1): 55-56.
- [3] 孙琳, 李云安, 鲁贤成, 等. 基坑开挖及降水对周边地铁隧道变形的影响分析[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(4): 207-214.
SUN Lin, LI Yunan, LU Xiancheng, et al. Influence of Foundation Pit Excavation and Dewatering on Deformation of Surrounding Subway Tunnels[J]. Safety and Environmental Engineering, 2020, 27(4): 207-214.
- [4] 赵志孟, 郑伟锋, 刘慧芬. 基坑开挖对临近隧道的变形影响分析[J]. 广东土木与建筑, 2021, 28(5): 71-74.
ZHAO Zhimeng, ZHENG Weifeng, LIU Huifen. Analysis of the Deformation Influence on Adjacent Tunnels Caused by Pit Excavation[J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2021, 28(5): 71-74.
- [5] 贾瑞晨. 深基坑开挖对临近既有地铁隧道的纵向影响研究[J]. 江西建材, 2021(3): 192.
JIA Ruichen. Longitudinal Influence of Deep Foundation Pit Excavation on Adjacent Existing Subway Tunnels[J]. Jiangxi Building Materials, 2021(3): 192.
- [6] 赵良云. 两侧深基坑开挖对邻近地铁隧道的影响和保护措施研究[J]. 建筑施工, 2020, 42(12): 2250-2254.
ZHAO Liangyun. Study on Influence of both Sides Deep Foundation Pit Excavation on Adjacent Subway Tunnel and Protection Measures[J]. Building Construction, 2020, 42(12): 2250-2254.
- [7] 张汝捷, 张涛, 胡东东. 基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响研究[J]. 安徽建筑, 2021, 28(2): 108-110.
ZHANG Rujie, ZHANG Tao, HU Dongdong. Research on the Influence of Foundation Pit Excavation on Adjacent Existing Subway Tunnels[J]. Anhui Architecture, 2021, 28(2): 108-110.
- [8] 涂锐, 刘浜霞. 邻近地铁隧道基坑开挖位移控制分析与优化[J]. 低温建筑技术, 2021, 43(4): 128-133.
TU Rui, LIU Bangxia. Analysis and Optimization of Displacement Control of Foundation Pit Adjacent to Metro Tunnel[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2021, 43(4): 128-133.
- [9] 李泽基, 黄旭. 基坑开挖对既有地铁区间隧道的影响性分析[J]. 广东公路交通, 2021, 47(1): 49-52.
LI Zeji, HUANG Xu. Analysis on Influence of Foundation Pit Excavation on Existing Subway Interval Tunnels[J]. Guangdong Highway Communications, 2021, 47(1): 49-52.