

非对称连续施工对已运营车站的变形影响分析

李志军

(广州地铁设计研究院股份有限公司, 广东广州 510000)

摘要: 随着城市地铁建设的快速发展,地铁深基坑开挖工程对周围已有地铁车站的相互影响也日益突出。为了研究车站两侧非对称连续施工对已运营车站的影响,保证已运营车站的安全运行,采用三维数值分析方法建立模型,对已运营车站一侧接暗挖通道施工、另一侧2号风亭明挖基坑施工,按先施工暗挖通道后施工明挖风亭进行模拟计算,考虑叠加施工影响,分析已运营车站的位移变化。结果表明:已运营车站两侧非对称施工引起的不均匀沉降,比单侧施工引起的不均匀沉降更小;已运营车站一侧进行暗挖通道施工、另一侧2号风亭明挖基坑施工,明挖风亭开挖对已运营车站的变形影响明显大于暗挖区间,在距已运营车站距离一致时,开挖体积越大,已运营车站变形影响越大,当2号风亭开挖至基底时,已运营车站的不均匀沉降达到最大。

关键词: 暗挖;明挖;非对称;不均匀沉降;地铁;变形

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2021)03—0234—06

Analysis of the Influence of Asymmetric Continuous Construction on the Deformation of an Already Operating Subway Station

LI Zhijun

(Guangzhou Metro Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000)

Abstract: With the rapid development of urban subway construction, the mutual influence of subway stations has become increasingly prominent. In order to study the impact of asymmetric continuous construction on both sides of the station on the existing stations, and to ensure the safe operation of the existing stations, a three-dimensional numerical analysis method was used to establish the model. The construction of the undercut channel on one side of the existing subway station and the No.2 wind pavilion on the other side. The undercut channel is constructed first and then the open-cut wind pavilion is constructed for simulation calculation, considering the impact of superimposed construction, and analyzing the displacement changes of the already operating stations. The result are as follows. The uneven settlement caused by the asymmetric construction on both sides of the operating station is smaller than that of the unilateral construction. Undercut channel construction is carried out on one side of the operating station, the open-cut foundation pit construction of No.2 wind pavilion on the other side, and the open-cut wind pavilion is opened. The impact of excavation on the deformation of the operating station is significantly greater than that of the undercut section. When the distance from the operating station is the same, the larger the excavation volume, the greater the impact of the deformation of the operating station. When the No.2 wind pavilion was excavated to the base, the uneven settlement of the existing station reached its maximum.

Keywords: undercut channel; open cut; asymmetric; uneven settlement; subway; deformation

近年来我国城市轨道交通建设得到了快速发展,轨道交通网络逐步形成,地铁枢纽车站日益增

多,已运营车站旁边基坑开挖、结构改建等技术难题逐渐增多。

在临近既有车站及区间进行基坑开挖,会导致既有结构产生变形,地铁结构可能会因变形过大而产生渗漏水、区间结构错位等问题^[1-3]。随着基坑开挖逐渐加大,临近的地铁及区间变形越来越明显,且结构变形以竖向位移为主,基坑开挖至基底后,竖向位移达到峰值^[4-6]。基坑开挖产生了明显的地层损失,隧道在非对称卸载作用下会产生上浮和偏移,随着基坑的开挖,隧道产生的变形越来越大,离基坑较远的隧道,受扰动作用逐渐减小^[7-8]。张玉伟等^[9]通过研究在浅埋下卧地铁隧道附近进行非对称开挖基坑,提出了在隧道旁边进行非对称基坑开挖土体卸载,会造成隧道结构偏移和整体上浮,越靠近基坑的中心,影响越是明显。垂直地铁轴线方向的竖向沉降及变形是两侧基坑开挖对车站结构的主要影响。和非对称开挖相比,车站两侧基坑对称开挖对车站的影响相对较小^[10-11]。信磊磊等^[12]采用有限元分析方法进行数值计算,并考虑了土体小应变硬化特性,分析提出对称开挖能有效地减小隧道和车站结构的水平位移,当现场条件限制,必须采用非对称开挖时,先施工较小的基坑对车站和隧道的影响较小。深大基坑紧邻既有的地铁车站进行施工,通过分层分段均匀对称施工,可有效控制基坑开挖对临近地铁车站结构的影响^[13-15]。

基坑开挖对临近地铁车站的影响已做了较多的研究,基坑内基坑开挖深度、基坑距车站距离、建构物荷载均会对已运营车站产生一定的变形影响。基坑开挖越深,基坑距离车站越近,建构物荷载越大,则对车站的变形影响越大。已运营车站两侧明挖基坑施工时,同步施工对车站的影响较小。本文通过对已运营车站一侧明挖、一侧暗挖进行研究,分析非对称连续施工对已运营车站的变形影响。

本文依托某已运营车站,车站东南象限拟施工暗挖通道,西北象限拟施工明挖2号风亭。按先施工暗挖通道后施工明挖风亭进行数值模拟计算,考虑叠加影响,分析已运营车站的位移变化,从而得出非对称施工对已运营车站的变形影响,并对已运营车站两侧非对称连续施工提出相关建议,为后期其它已运营车站两侧非对称施工提供参考依据。

1 依托工程概况

某换乘车站如图1所示,南北向车站部分已运营,东西向车站主体施工完成(未运营)。已运营车站为地下两层双柱三跨岛式车站,标准段外包总宽23.1 m,基坑埋深约17.1 m,地下水位位于地面下

约18.0 m。换乘节点处车站为地下三层,埋深约24.9 m,暗挖通道与结构负三层结构相接。

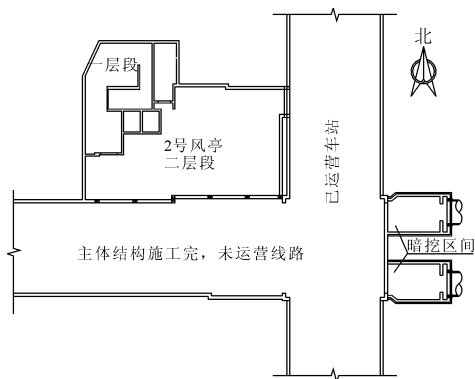


图1 已运营车站平面布置图

车站东南象限拟建暗挖通道长度为15.0 m,暗挖最大断面高度约10.7 m,暗挖通道埋深约25.6 m。初支采用超前小导管+大管棚,CRD法施工。暗挖主要穿越土层为3-21粉质黏土。暗挖超前支护采用 $\Phi 108, t=8$ 自进式大管棚, $L=18$ m, $\Phi 42$ 超前注浆小导管, $L=3.0$ m,环向间距均为400,纵向间距1.5 m,管棚与小导管交叉布置。初衬C25早强网喷混凝土,厚35 mm,全断面支护,格栅钢架间距0.50 m。二衬采用C35防水钢筋混凝土,抗渗等级P10,厚600 mm。暗挖通道与已运营车站剖面位置关系图如图2所示。

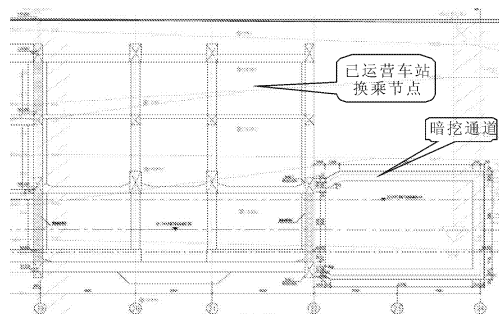


图2 暗挖通道与已运营车站剖面位置关系图

车站西北象限拟建2号风亭平面尺寸约为 $48.00\text{ m} \times 25.95\text{ m}$,为地下两层结构,西北象限凸出新风道处为地下一层结构。两层段基坑深约18.22 m。基坑支护方式采用 $\Phi 1000@1400$ 的钻孔灌注桩+ $\Phi 609$ (厚度16 mm)钢管撑,围护桩入土深度7 m,竖向采用3道钢管支撑。新风道部分(地下一层段)基坑深约10.5 m,采用 $\Phi 800@1300$ 的钻孔灌注桩,竖向设2道支撑,桩间采用挂钢筋网喷射混凝土挡土。自上而下主要开挖土层为1-1杂填土、3-32黏质粉土、3-33黏质粉土。2号风亭与已运营

车站剖面位置关系图如图 3 所示。各土层的物理力学指标详见表 1。

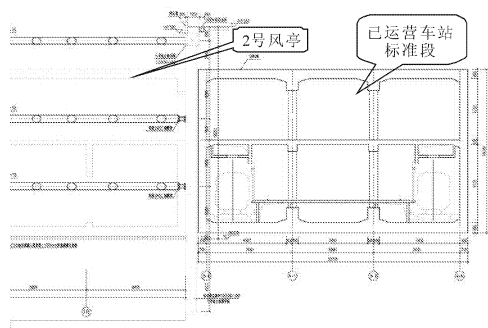


图 3 2 号风亭与已运营车站剖面位置关系图

根据现场条件,施工顺序为先进行暗挖通道施

工,后进行明挖 2 号风亭施工。

考虑叠加施工对已运营车站影响,分析已运营车站的位移变化。

对已运营车站分别取 2 个不同位置处横断面,按不同施工步序提取车站轨道下底板水平位移及竖向位移,并考虑连续施工的影响,分析两侧非对称连续施工对已运营车站产生的影响。

2 模型计算

2.1 模型的建立

采用 MIDAS/NX 进行建立三维计算模型,采用地层结构法进行实际施工工况的开挖模拟,分析已运营车站东南象限暗挖通道和西北象限 2 号风亭连续施工对已运营车站的变形影响。

表 1 各土层的物理力学指标

土层名称	层厚 /m	泊松比	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	K_0	饱和重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙比	压缩模量 /MPa	摩擦角 /($^\circ$)	黏聚力 /kPa
1-1 杂填土	2.165	0.310	18.0	0.50	20	0.672	7.2	16.0	10.0
3-32 黏质粉土	2.800	0.310	18.5	0.43	20	0.672	13.3	24.0	17.0
3-33 黏质粉土	8.000	0.296	19.0	0.42	20	0.731	14.5	24.1	18.0
3-34 黏质粉土	5.000	0.296	19.1	0.41	20	0.715	15.0	23.5	18.5
3-21 粉质黏土	5.000	0.306	19.5	0.40	20	0.725	8.0	16.5	34.0
3-22 粉质黏土	11.500	0.301	19.3	0.40	20	0.685	9.5	17.0	33.5
4-21 粉质黏土	10.500	0.291	19.4	0.40	20	0.685	12.0	17.5	34.5

考虑模型简化及分析对象特征,根据圣维南原理,模型纵向长度取 152.6 m,横向长度取 126.7 m,竖向高度取 40 m。有限元模型如图 4—图 6 所示。模型的侧面为水平约束,底面为竖向约束,上边界为自由地表。模型中,有限元数值计算中土体采用“修正莫尔-库仑”弹塑性模型,车站围护桩、地连墙、结构板墙、初衬、二衬、初支中隔墙采用板单元,支撑、格构柱、梁柱采用梁单元,土体采用实体单元。

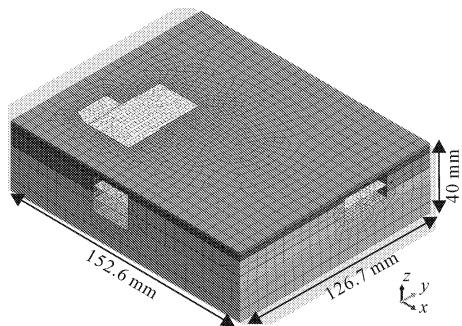


图 4 有限元计算整体模型图

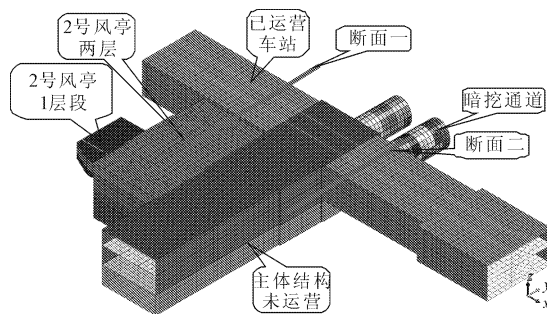


图 5 暗挖通道和 2 号风亭施工与已运营车站位置关系图

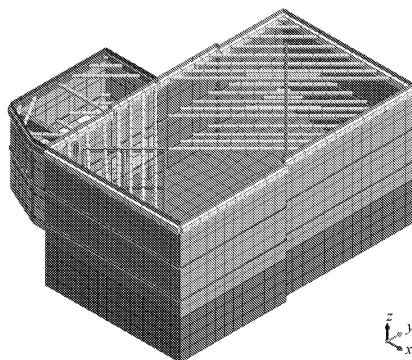


图 6 2 号风亭围护支撑结构轴测图

模型模拟施工步主要如下:(1) 左线暗挖通道施工,采用 CRD 工法施工,按左上、左下、右上、右下顺序开挖,台阶长度 6 m,左右两个掌子面间距 12 m;(2) 右线暗挖通道施工,采用 CRD 工法施工,按左上、左下、右上、右下顺序开挖,台阶长度 6 m,左右两个掌子面间距 12 m;(3) 拆除中隔壁并施工二衬;(4) 2 号风亭 2 层段围护桩施工,分步进行基坑开挖及第一、二、三道支撑架设,开挖至基底,分步回筑主体结构并拆除支撑,顶板以上土体回填;(5) 2 号风亭 1 层段围护桩施工,分步进行基坑开挖及第一、二道支撑架设,开挖至基底,分步回筑主体结构并拆除支撑,顶板以上土体回填。

2.2 计算结果与分析

结合已运营车站东南象限暗挖通道及西北象限明挖 2 号风亭分布情况,取已运营车站的两个代表性的截面提取计算结果,分析东南象限暗挖通道施工及西北象限明挖 2 号风亭施工对已运营车站断面的变形影响。分别提取已运营车站临近 2 号风亭断面(断面 1)和临近暗挖通道断面(断面 2),如图 5 中剖线所示。按不同施工步序提取车站两个断面轨道下底板水平位移及竖向位移,并考虑连续施工的影响,分析两侧非对称连续施工对已运营车站产生的影响。

断面图中左侧墙为已运营车站东侧墙(临近明挖 2 号风亭),右侧墙为已运营车站西侧墙(临近暗挖通道)。

2.2.1 断面 1 计算结果

暗挖通道施工完成及 2 号风亭施工完成时断面 1 结构变形见图 7 和图 8。断面 1 各施工阶段底板竖向位移和水平位移见图 9 和图 10。

断面 1 计算结果表明:(1) 暗挖通道施工完成后,断面 1 底板结构最大沉降为 1.06 mm,最大水平位移 0.13 mm,结构侧墙最大水平位移 0.27 mm,断面 1 竖向沉降约为水平位移的 4 倍,表明在已运营车站侧下方进行土体开挖,对车站的影响以竖向位移为主;(2) 暗挖通道施工时,已运营车站断面 1 向东南象限倾斜,东南象限底板结构沉降约为西北象限(远离暗挖通道)的 10 倍;(3) 2 号风亭施工完成后,断面 1 底板结构最大沉降为 1.08 mm,最大水平位移 0.29 mm,侧墙最大水平位移 2.07 mm,约为最大沉降的 2 倍,表明在已运营车站一侧进行基坑开挖,对车站的影响以水平位移为主;(4) 2 号风亭施工主要对临近的断面 1 左侧底板沉降变化比较明显,而右端底板沉降变化较小,离基坑越远,结构沉

降越小;(5) 2 号风亭施工至基坑底时,断面 1 底板结构的竖向位移和水平位移均达到最大值,2 号风亭的基坑开挖范围和开挖工程量达到最大,其施工对已运营车站产生的时空效应影响最大;(6) 2 号风亭施工完成后,断面结构的不均匀沉降明显减小。

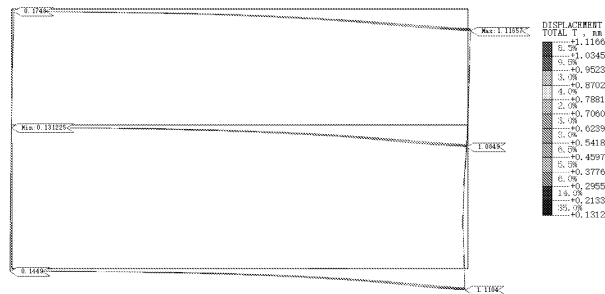


图 7 暗挖通道施工完成时断面 1 结构变形

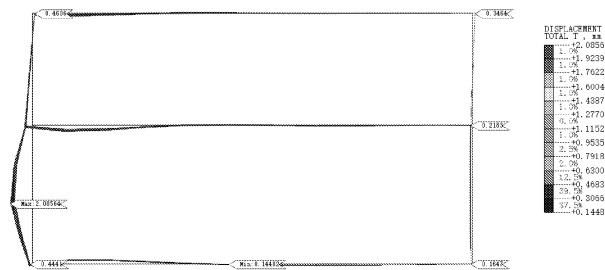


图 8 2 号风亭施工完成时断面 1 结构变形

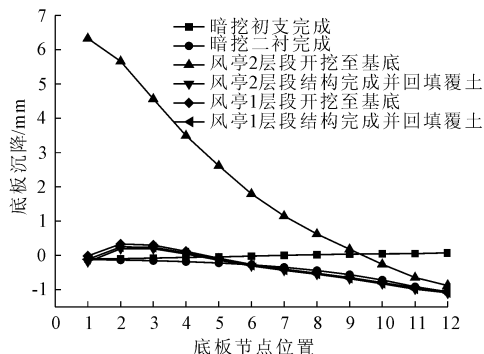


图 9 断面 1 各施工阶段底板沉降

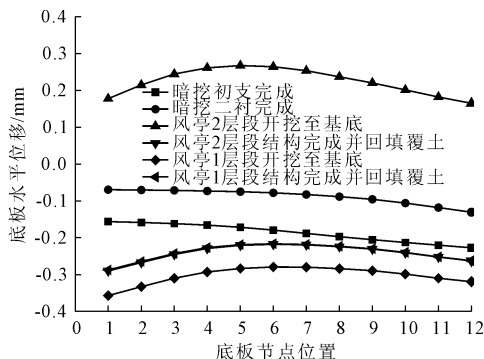


图 10 断面 1 各施工阶段底板水平位移

2.2.2 断面 2 计算结果

暗挖通道施工完成及 2 号风亭施工完成时断面 2 结构变形见图 11 和图 12。断面 2 各施工阶段底板竖向位移和水平位移见图 13 和图 14。

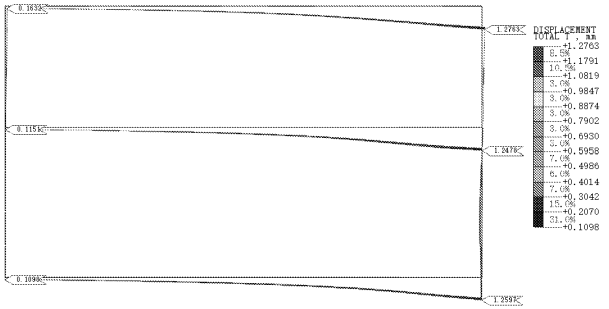


图 11 暗挖通道施工完成时断面 2 结构变形

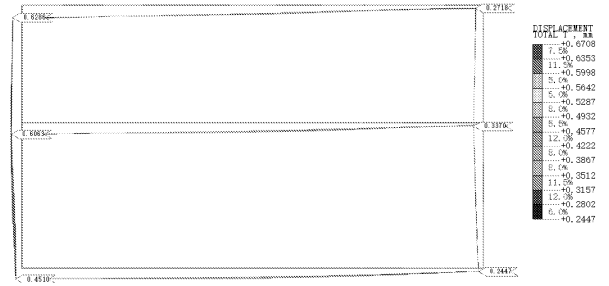


图 12 2 号风亭施工完成时断面 2 结构变形

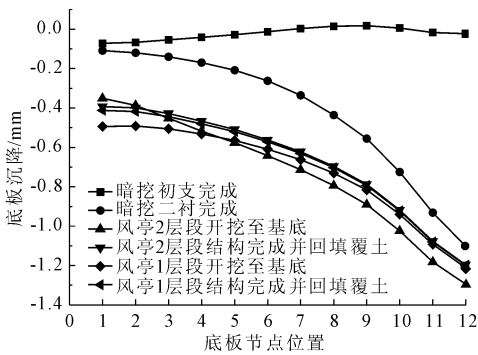


图 13 断面 2 各施工阶段底板沉降

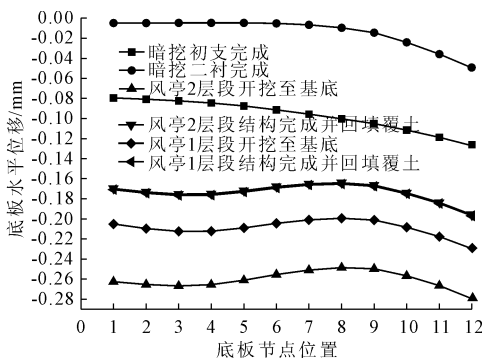


图 14 断面 2 各施工阶段底板水平位移

断面 2 计算结果表明:(1) 暗挖通道施工完成后,断面 2 底板结构最大沉降为 1.10 mm,最大水平

位移 0.05 mm,侧墙最大水平位移为 0.16 mm,断面 2 竖向沉降约为水平位移的 6 倍,表明在已运营车站侧下方进行土体开挖,对车站的影响以竖向位移为主;(2) 暗挖通道施工时,底板右侧结构沉降明显大于左侧,约为左侧的 12 倍,结构沉降呈抛物线形,主要沉降分布在临近暗挖通道半幅断面;(3) 2 号风亭施工完成后,断面 2 结构最大沉降为 1.20 mm,最大水平位移 0.19 mm,侧墙最大水平位移为 0.3 mm,断面 2 竖向沉降约为水平位移的 4 倍,表明离 2 号风亭较远的已运营车站结构断面,因受土体卸载影响较小,断面变形以竖向位移为主;(4) 2 号风亭施工完成后,断面结构的不均匀沉降明显减小;2 号风亭施工未在断面 2 左侧墙处卸载土体,对侧墙的水平变形影响相对较小;(5) 2 号风亭施工至基坑底时,断面 1 底板结构的水平位移和竖向位移均达到最大值。

2.2.3 断面 1、断面 2 不均匀沉降

断面 1 和断面 2 各施工阶段下的不均匀沉降见表 2。

表 2 断面 1、2 各施工阶段下的不均匀沉降表

断面	工况	底板左侧沉降 /mm	底板右侧沉降 /mm	底板不均匀沉降/mm
断面 1	1 暗挖初支完成	-0.10	0.08	0.18
	2 暗挖二衬完成	-0.12	-1.06	-0.94
	3 风亭 2 层段开挖至基底	6.33	-0.88	-7.21
	4 风亭 2 层段结构完成并回填覆土	-0.19	-1.09	-0.90
	5 风亭 1 层段开挖至基底	-0.01	-1.05	-1.04
	6 风亭 1 层段结构完成并回填覆土	-0.12	-1.08	-0.97
断面 2	1 暗挖初支完成	-0.07	-0.02	0.06
	2 暗挖二衬完成	-0.11	-1.22	-1.11
	3 风亭 2 层段开挖至基底	-0.38	-1.40	-1.02
	4 风亭 2 层段结构完成并回填覆土	-0.42	-1.30	-0.88
	5 风亭 1 层段开挖至基底	-0.52	-1.32	-0.80
	6 风亭 1 层段结构完成并回填覆土	-0.44	-1.31	-0.87

断面 1 和断面 2 各施工阶段下的不均匀沉降对比,如图 15 所示。

由图 15 可得:(1) 已运营车站一侧进行暗挖通道施工、另一侧 2 号风亭明挖基坑施工,明挖风亭开挖对已运营车站的变形影响明显大于暗挖区间,在距已运营车站距离一致时,开挖体积越大,已运营车

站变形影响越大,当2号风亭开挖至基底时,已运营车站的不均匀沉降达到最大;(2)在2号风亭2层段基坑开挖至基底时,已运营车站底板两个断面的不均匀沉降差达到最大,已运营车站沉降受2号风亭基坑开挖引起的侧墙土体卸载影响较大,断面1的底板不均匀沉降最大值约为断面2的7倍;(3)暗挖通道二衬施工完成时,已运营车站的不均匀沉降约增大了10倍,表明拆除中隔壁对已运营车站的不均匀沉降影响较大;(4)2号风亭施工完成后,断面结构的不均匀沉降明显减小。已运营车站两侧非对称施工引起的不均匀沉降,比单侧施工引起的不均匀沉降更小。

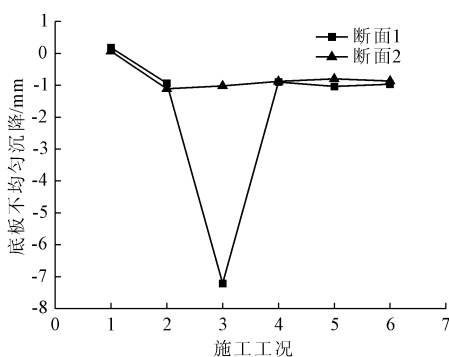


图15 断面1、断面2各施工阶段下的不均匀沉降图

3 结论与建议

本文以某车站两侧暗挖通道和2号风亭非对称施工为研究背景,通过采用数值模拟方法,研究和分析非对称连续施工对已运营车站的变形影响,主要得出以下主要结论:

(1) 暗挖通道引起已运营车站的变形主要以竖向变形为主,结构沉降呈抛物线形,主要沉降分布在临近暗挖通道的半幅车站结构断面。

(2) 暗挖区间拆除中隔壁对已运营车站的不均匀沉降影响较大。实际工程中,需研究对中隔壁分步拆除、隔一拆一等方法,以减小对已运营车站的沉降影响。

(3) 已运营车站两侧非对称施工引起的不均匀沉降,比单侧施工引起的不均匀沉降更小。

(4) 在距已运营车站距离一致时,开挖体积越大,已运营车站变形影响越大。

(5) 在已运营车站一侧进行基坑开挖,当基坑开挖深度和运营车站深度较为接近时,基坑临近已运营车站的断面受土体卸载影响较大,变形主要以

水平位移为主,基坑临近断面处水平位移约为竖向位移的2倍。离明挖基坑较远的已运营车站结构断面,因受土体卸载影响较小,断面变形以竖向位移为主。

参考文献:

- [1] 陈涛,黄亚德,李更召,等.深基坑开挖施工对邻近地铁结构受力性状的影响[J].水利与建筑工程学报,2018,16(3):54-59.
- [2] 宋艺.地铁一侧项目施工对已建地铁结构的安全影响研究[J].隧道建设,2017,37(S1):59-66.
- [3] 丁毅,邢艳如.超长、超大基坑开挖对邻近地铁结构安全影响的数值模拟分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(2):170-175.
- [4] 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.
- [5] 周泽林,陈寿根,涂鹏,等.基坑开挖对邻近隧道影响的耦合分析方法[J].岩土力学,2017,38(12):1001-1011.
- [6] 魏纲,周杨侃.随机介质理论预测近距离平行盾构引起的地表沉降[J].岩土力学,2016,37(S2):113-119.
- [7] 张玉伟,谢永利,翁木生.非对称基坑开挖对下卧地铁隧道影响的离心试验[J].岩土力学,2018,39(7):2555-2562.
- [8] 贾夫子,王立峰,逯武全,等.基坑开挖对近邻地铁车站和隧道的影响[J].岩土力学,2016,37(S2):673-678.
- [9] 张玉伟,翁效林,等.非对称基坑开挖对浅埋下卧地铁隧道的影响[J].地下空间与工程学报,2018,14(3):770-778.
- [10] 江智鹏.基坑开挖方式对轨道交通结构变形影响分析[J].铁道工程学报,2019(6):86-90.
- [11] 刘博韬.地铁车站深基坑开挖对周边建筑物的影响研究[D].南京:东南大学,2016.
- [12] 信磊磊,杜一鸣,郑刚.两侧深基坑开挖对近邻地铁车站及隧道变形影响的优化分析[J].铁道标准设计,2016(5):84-90.
- [13] 郭晓欢.北京某深大基坑工程紧邻既有地铁车站风险分析与控制研究[D].北京:北京交通大学,2016.
- [14] 张立明,朱敢平,郑习羽,等.软土地区深基坑对临近地铁结构影响的实测与分析[J].岩土工程学报,2017,39(S2):175-179.
- [15] 王怀东,刘方明,彭红霞.新建地铁站基坑临近及无覆土下穿运营地铁站安全技术措施研究[J].隧道建设(中英文),2018,38(11):92-101.