

# 新建基坑对邻近在建地铁车站结构的影响研究

邢巍巍

(南京地铁建设有限责任公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:**以南京地铁 7 号线在建永初路站旁某新建基坑开挖为工程背景,根据该工程的施工方案和地质情况,采用 MIDAS GTS-NX 软件构建三维有限元模型,通过对基坑开挖过程中在建地铁车站变形的模拟,得到车站水平位移、竖向位移、侧墙弯矩和周边地层竖向位移的分布规律;通过将基坑开挖过程控制点的变形值与实际监测数据进行对比,得出采用现有施工方案,基坑开挖过程中在建地铁车站关键控制点的变形均满足规范要求,并在此基础上提出了减小基坑开挖和地铁施工之间交互干扰的措施。

**关键词:**隧道;基坑开挖;地铁车站;数值模拟;近接施工;变形

**中图分类号:**U456.3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-2668(2020)05-0145-05

目前,大多数浅埋地下工程采用明挖法施工,开挖中会对周边土体的初始应力场产生扰动,当该扰动传递到邻近地下结构时,可能诱发邻近地下结构变形。针对基坑施工对坑外既有隧道产生的变形影响,郑刚等利用土体小应变刚度特性有限元法,得到了基坑开挖过程中不同围护结构变形模式和最大水平位移条件下邻近既有隧道变形的影响区域。贾夫子等针对基坑开挖过程中邻近既有地铁车站与隧道区间不均匀沉降开展研究,得到了基坑开挖引起的地铁车站和区间隧道沉降差与水平位移差的比值。胡海英等通过研究基坑开挖诱发的地层变形在周边岩土体内的传递路径,得出了基坑开挖对邻近隧道的作用并不是单一的卸载作用,有时会增加隧道围压的结论。左殿军等通过数值模拟研究了基坑开挖对邻近盾构隧道位移的影响,得出地表沉降、隧道位移随基坑开挖深度增大而变大,且在基坑内支撑间距离较大时,沉降与位移增加速率较大。魏纲研究了基坑开挖对下卧既有隧道竖向变形的影响,得到了计算隧道最大隆起值的经验公式。为分析基坑开挖对周围管线的影响,谢雄耀等结合有限元数值分析方法和现场监测数据,得出使用 MJS 工法进行土体加固具有良好效果。针对目前基坑开挖对邻近隧道影响研究中存在的三维有限元建模复杂、耗时长的缺陷,张治国等提出了可用于基坑开挖对邻近地铁隧道纵向变形影响分析的理论方法。黄宏伟等采用有限元软件对基坑开挖诱发下卧隧道变形开展研究,得出基坑开挖对下卧隧道影响区域约为 6 倍基坑宽度。文献[9-11]研究了基坑开挖过程中邻近

既有隧道的变形和应力分布特征。上述研究主要针对新建基坑对已建成地铁结构的影响,对新建基坑对在建地铁车站影响的研究较少。该文以南京地铁 7 号线在建永初路车站附近某新建基坑开挖工程为例,采用数值模拟技术,对基坑开挖过程中在建地铁车站的变形进行模拟,分析基坑开挖对在建地铁车站变形的影响。

## 1 工程概况

拟建阿里巴巴江苏总部暨产业社区项目由 A、B、C、D 4 个地块组成,其中拟建 B1、C1 基坑位于在建地铁 7 号线永初路站—雨润路站区间隧道两侧的地块内。永初路站为 7 号线第 4 座车站,位于友谊街北侧,垂直于宁和城际永初路站布置。车站主体为地下 3 层岛式车站,主体为三柱四跨箱形框架结构,西侧附属为单层箱形结构,主体与附属之间不设变形缝。拟建 B1 基坑距离 7 号线永初路站北端头井地下连续墙 21.5 m,距离标准段地下连续墙 25 m,距离 7 号出入口 52 m,距离 8 号出入口 15.2 m;拟建 C1 基坑距离 7 号线永初路站地下连续墙 14.3 m,距离 7 号出入口 16 m,距离 8 号出入口 53 m。B1 基坑标准段地下 2 层基坑深 12.85 m,基坑面积 27 228.6 m<sup>2</sup>,采用 1 000 mm 厚地下连续墙+内支撑作为基坑围护结构;C1 基坑标准段地下 3 层基坑深 16.45 m,基坑面积 18 870.3 m<sup>2</sup>,采用 1 200 mm 厚地下连续墙+内支撑作为基坑围护结构。拟建 B1、C1 基坑与 7 号线永初路站及 7 号线永初路站—雨润路站区间隧道的平面关系见图 1。

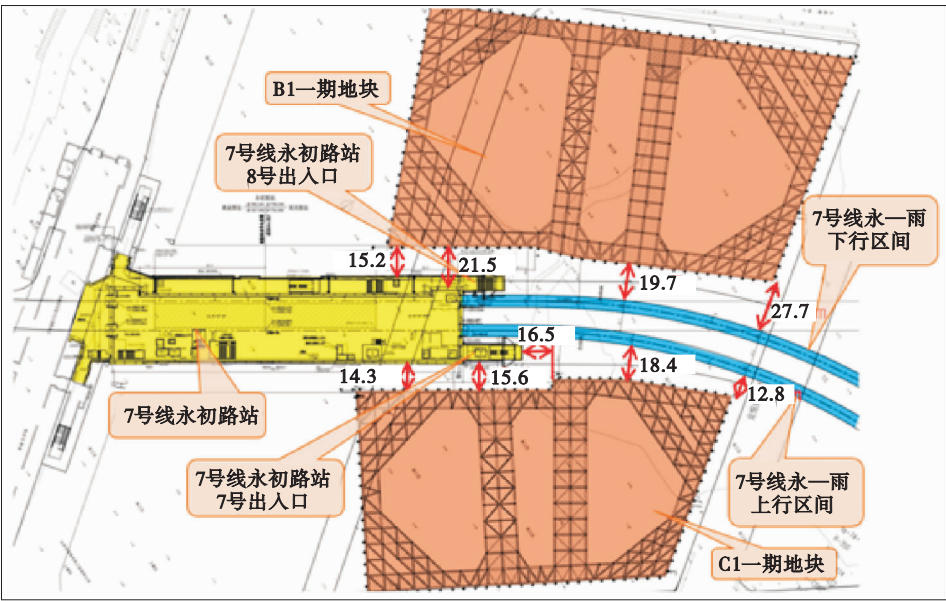


图 1 拟建 B1、C1 基坑与 7 号线车站的平面位置关系(单位:m)

2 工程地质情况

根据地质详勘资料,拟建场地属于长江漫滩地貌单元。根据地层成因及物理力学性质差异,揭露的岩、土体自上而下划分为 5 个土层、10 个亚层:1) 1 杂填土,硬质含量分布不均;素填土,稍密,以黏性土为主。2) 淤泥质粉质黏土,以流塑为主,局部软塑,具层理高压缩性;粉砂夹粉质黏土、粉土,以稍密为主,局部中密,中等压缩性;粉质黏土夹粉砂,软塑~流塑,呈千层饼状,层理清晰,中等偏低干强度,中等偏低韧性,中高压压缩性。3) 粉细砂,以中密为主,中等压缩性;粉细砂,以密实为主,中等偏低压压缩性。4) 中粗砂混卵砾石,密实,颗粒级配差,分选性差。5) 强风化粉砂质泥岩,密实,岩芯风化严重,风化裂隙发育,岩芯质量等级为 V 级;中风化粉砂质泥岩,

岩芯风化层呈长短柱状,岩体完整程度分类以较完整为主,岩石坚硬程度分类为极软岩,岩体基本质量等级为 V 级。

拟建钻探深度范围内,地下水类型主要为孔隙潜水、承压水。其中孔隙潜水赋存于填土层及淤泥质粉质黏土层浅土层中;承压水主要赋存于粉砂类粉质黏土和粉土层、中密粉细砂层、密实粉细砂层、中粗砂混卵砾石层中,富水性较好,这 4 层含水层的地下水相互连通,具有承压性,设计时应考虑地下水的影响。B1、C1 所在位置的土层参数见表 1。

3 施工方案

基坑施工方案:基坑内整体采用地下连续墙+内支撑支护形式;地段临近地铁侧采用加厚地下连续墙;地段内外侧采用φ850@1200三轴搅拌桩进

表 1 土层力学参数

土层	压缩模量/MPa	泊松比	容重/(kN·m <sup>-3</sup> )	黏聚力/kPa	摩擦角/(°)
松散杂填土	4.500	0.35	18.6	5.0	13.0
软~可塑素填土	4.199	0.38	18.8	11.0	12.0
流塑(局部软塑)淤泥质粉质黏土、粉质黏土	3.592	0.43	18.1	12.9	14.4
软~流塑粉质黏土、淤泥质粉质黏土夹稍密粉砂	4.782	0.41	18.4	10.4	18.2
中密粉细砂	12.166	0.31	19.0	8.3	30.0
软~流塑粉质黏土夹稍密粉砂	4.516	0.42	18.3	12.1	16.5
密实粉细砂	13.722	0.30	19.1	8.5	32.1
软~流塑粉质黏土夹稍密~中密粉砂	5.389	0.42	18.2	10.5	18.4
含卵砾石中粗砂	15.000	0.29	20.5	5.0	34.0
强风化泥岩、粉砂质泥岩	12.000	0.30	22.4	32.0	21.0
中风化泥岩、粉砂质泥岩	20.000	0.28	24.3	80.0	35.0

行槽壁加固;基地采用三轴搅拌桩裙边加固;C1 地段地下连续墙的止水帷幕墙底进入强风化岩层不小于 1.5 m。

地铁车站及盾构区间施工方案:车站主体为地下 3 层岛式车站,主体为三柱四跨箱形框架结构,西侧附属为单层箱形结构,主体与附属之间不设变形缝;车站采用明挖顺作法施工,车站附属出口采用明挖顺作法施工,区间采用外径 6.6 m、内径 5.9 m 的圆形单层衬砌断面形式。

由于永初路站正在进行围护结构施工,且地下连续墙已施工完毕,正在进行土方和支撑架设,结合其施工进度,综合考虑 B1、C1 的建设时间节点,拟订以下 6 种 B1、C1 基坑工况:工况 1 为施工 B1、C1 基坑 150 m 范围外地下连续墙;永初路站标准段开挖 1 个月(开挖至第 4 道支撑),北端头井回筑完负二层板,南端头井施工完成(初始状态,位移置零)。工况 2 为施工 B1、C1 基坑 150 m 范围内第一部分地下连续墙;永初路站标准段开挖至坑底,北端头井拆完支撑,还未浇筑顶板,南端头井施工完成,施工区间两侧隔离桩、西侧附属及 7、8 号口围护。工况 3 为施工 B1、C1 基坑 150 m 范围内第二部分地下连续墙;永初路站标准段回筑底板,南、北端头井施工完成,7、8 号口附属开挖完成。工况 4 为 B1、C1 第 1 次开挖,架设第 1 道支撑;永初路站标准段回筑完负二层板,南、北端头井施工完成,7、8 号口拆除完支撑,施工完成底板侧墙,顶板还未施工,左线盾构第 1 次掘进。工况 5 为 B1、C1 第 2 次开挖,架设第 2 道支撑;永初路站标准段拆完第 4、5 道支撑,一层中板还未回筑,7、8 号口施工完成,西侧附属开挖到第 2 道支撑以下,架设第 2 道支撑,左线盾构第 2 次掘进,右线盾构第 1 次掘进。工况 6 为 B1 开挖至坑底设计标高,C1 第 3 次开挖,架设第 3 道支撑;永初路站标准段拆除第 2、3 道支撑,顶板未回筑,西侧附属开挖至坑底设计标高,左线盾构第 3 次掘进,右线盾构第 2 次掘进。工况 7 为 C1 开挖至坑底设计标高;永初路站标准段施工完成,西侧附属底板浇筑完成,拆除支撑,顶板未浇筑,右线盾构第 3 次掘进。

4 新建基坑对地铁结构影响的数值模拟

4.1 新建基坑周边存在在建地铁的三维数值模型

采用有限元软件 MIDAS GTS-NX 分析 B1、C1 基坑各施工工况对在建地铁 7 号线永初路站的影响。三维数值模型见图 2 和图 3。

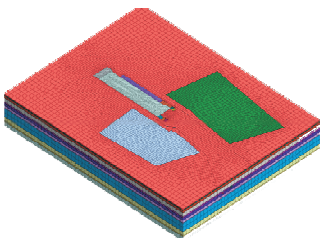


图 2 三维数值模型整体图

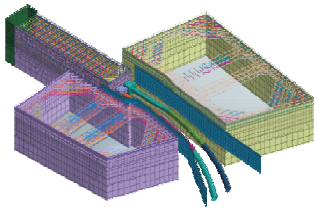


图 3 拟建基坑与在建地铁车站支护结构的三维数值模型

根据土体参数、地铁施工设计方案和基坑开挖尺寸,建立长 406 m×宽 529 m×深 74 m 模型,其中宽为沿隧道延伸方向的长度;隧道管片采用外径 6.2 m、壁厚 0.35 m 的 C50 砼模拟;土体采用 Mohr—Coulomb 模型,模型中板、墙和围护采用壳单元模拟,梁柱等采用梁单元模拟,临时立柱和桩采用梁单元模拟。基坑开挖过程及结构施工过程中需进出各种施工机械,根据小型机械等参数及超载设计取值,选取超载值为 20 kN/m<sup>2</sup>。永初路站一雨润路站区间盾构掘进掌子面支护力为 100 kN/m<sup>2</sup>。地铁结构的材料参数见表 2。

表 2 地铁结构的材料属性

结构	弹性模量/ (kN·m <sup>-2</sup> )	泊松比	重量密度/ (kN·m <sup>-3</sup> )
C30 砼	3.00×10 <sup>7</sup>	0.20	25
C35 砼	3.15×10 <sup>7</sup>	0.20	25
C50 砼(管片)	3.45×10 <sup>7</sup>	0.20	25
钢支撑 Q235	2.06×10 <sup>8</sup>	0.33	79

4.2 基坑开挖对在建地铁结构影响分析

根据基坑开挖工序及地铁开挖设计方案,模拟各工况下地铁车站结构的变形,分析基坑开挖对在建地铁结构的影响。限于篇幅,主要列出工况 7 下已施工完毕永初路站侧墙的水平位移、竖向位移、弯矩和周边地层竖向位移云图(见图 4~7)。各工况下该站变形和弯矩见表 3~5,地表沉降数值模拟结果与实测结果对比见表 6。

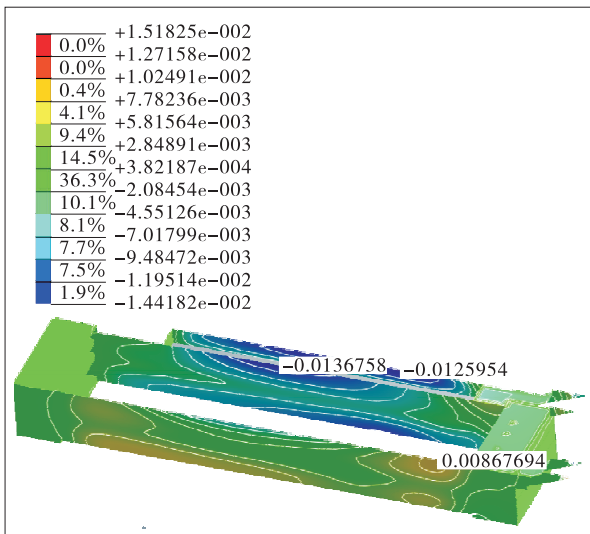


图4 工况7下已施工完毕永初路站侧墙的水平位移云图(单位:m)

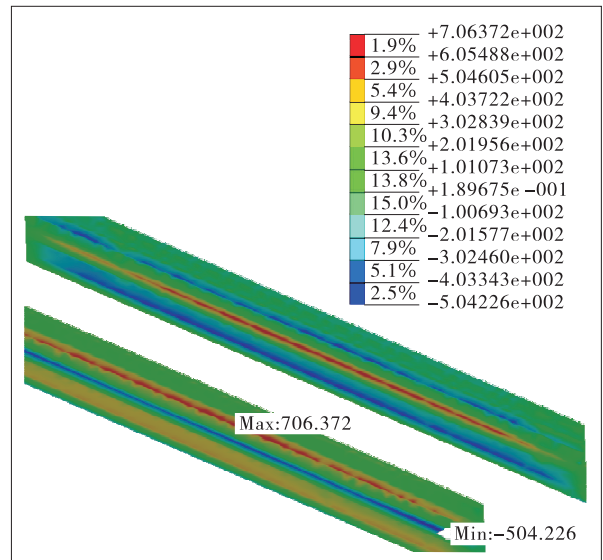


图6 工况7下已施工完毕永初路站标准段侧墙的弯矩云图(单位:kN·m)

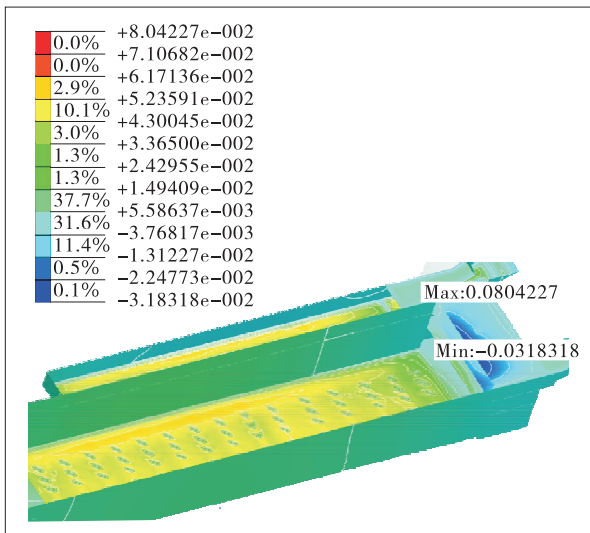


图5 工况7下已施工完毕永初路站的竖向位移云图(单位:m)

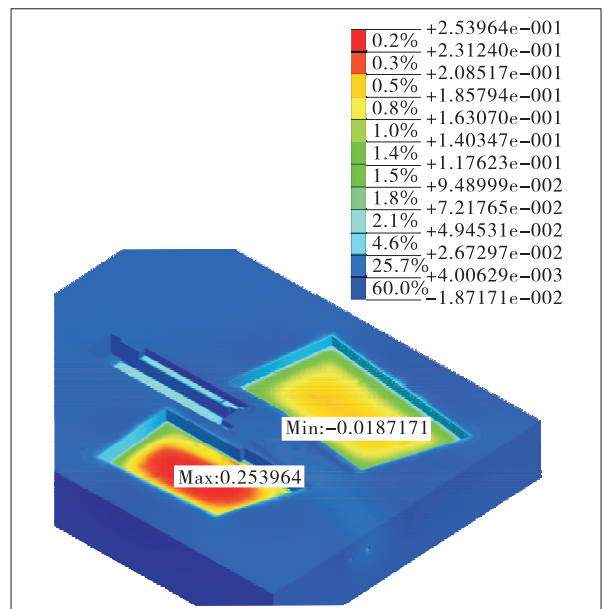


图7 工况7下永初路站周边地层竖向位移云图(单位:m)

从表3~5可看出:1) B1、C1基坑开挖对永初路站变形影响较大。为确保基坑开挖过程中地铁车站的施工安全,根据DGJ32/J 195—2015《江苏省城市轨道交通工程监测规程》中城市轨道交通结构安全控制指标,制定该项目施工过程中变形控制标准并与数值模拟结果进行对比。主体侧墙最大水平位移增量为1.92 mm,7、8号口侧墙最大水平位移增量分别为2.21、2.32 mm,西侧附属侧墙最大水平位移增量为1.54 mm,均小于5 mm,满足规范要求。此外,基坑开挖过程中永初路站底板竖向位移发生变化,其中7号口底板最大隆起增量最大,约为4.69

表3 B1、C1基坑开挖诱发的永初路站侧墙水平位移 mm

工况	永初路站侧墙水平位移增量			
	主体侧墙	7号口侧墙	8号口侧墙	西侧附属侧墙
工况2	0.37	—	—	—
工况3	1.92	—	—	—
工况4	1.41	-0.13	3.78	—
工况5	1.76	-0.62	3.85	—
工况6	-1.05	-1.38	3.01	—
工况7	-0.43	-2.21	2.32	1.54

表 4 B1、C1 基坑开挖诱发的永初路站底板竖向位移 mm

工况	永初路站底板竖向位移增量			
	主体 底板	7 号口 底板	8 号口 底板	西侧附 属底板
工况 2	0.25	—	—	—
工况 3	1.42	—	—	—
工况 4	1.15	1.68	2.27	—
工况 5	0.63	3.49	3.00	—
工况 6	0.11	4.78	2.00	—
工况 7	0.81	4.69	1.00	3.67

表 5 B1、C1 基坑开挖诱发的永初路站侧墙弯矩 kN·m

工况	永初路站侧墙弯矩			
	主体 侧墙	7 号口 侧墙	8 号口 侧墙	西侧附 属侧墙
工况 2	1 834	—	—	—
工况 3	1 835	—	—	—
工况 4	1 839	64.81	285.87	—
工况 5	1 836	58.15	233.69	—
工况 6	1 841	64.49	242.25	—
工况 7	1 843	73.70	243.61	152.87

表 6 B1、C1 基坑开挖诱发的地层变形模拟结果与  
现场监测数据对比 mm

位置	位移	
	数值模拟	现场监测
车站西侧测点	—18.56	—20.45
车站东侧测点	—15.26	—21.89
车站北侧测点	—17.45	—22.56
车站南侧测点	—16.78	—19.43

mm,也小于 5 mm,满足规范要求。2) 基坑施工期间,车站主体侧墙最大弯矩出现在南端头井侧墙处,且受基坑开挖的影响较小,各工况最大弯矩准永久值最大为 1 843 kN·m。由于 7 号口爬坡段埋深较浅,侧墙弯矩较小,最大弯矩为 73.70 kN·m;8 号口侧墙最大弯矩为 285.87 kN·m,西侧附属侧墙弯矩为 152.87 kN·m。各部位侧墙尺寸和配筋均满足要求。

从表 6 可看出:4 个测点沉降的数值模拟结果和现场监测结果较接近,最大差值为 19%。说明数值模拟结果可信,可为基坑开挖过程中地铁车站变形规律研究提供可靠数据支持。

为更好地分析基坑开挖对地铁车站的影响,构建不考虑基坑开挖情况下车站模型,分析不考虑基坑开挖情况下地铁车站的位移并与考虑基坑开挖情况进行对比,结果见表 7。

表 7 考虑和不考虑 B1、C1 基坑开挖情况下  
地铁车站变形对比 mm

项目	位移	
	考虑基坑开挖	不考虑基坑开挖
永初路站侧墙水平位移	3.85	10.65
永初路站底板竖向位移	3.67	3.27

从表 7 可看出:1) 不考虑基坑开挖情况下,车站最大水平位移为 10.65 mm;考虑基坑开挖情况下,车站最大水平位移为 3.85 mm。B1、C1 基坑开挖对在建地铁车站水平变形的影响较大。这是因为 B1、C1 基坑正好位于车站两侧,基坑开挖相当于在车站两侧同时进行土压力卸载。在水平土压力减小的情况下,车站水平位移大幅减小。因此,基坑开挖情况下车站水平位移远小于不考虑基坑开挖情况。2) 考虑与不考虑基坑开挖情况下,车站的竖向位移相差不大,基坑开挖对车站竖向位移的影响不大。

5 结论

(1) 在基坑开挖过程中,在建车站最大水平位移、车站底板最大竖向位移和车站主体侧墙最大弯矩分别出现在 8 号口侧墙、7 号口底板和南端头井侧墙处。采用现有施工方案,基坑开挖过程中,在建地铁车站关键控制点的变形均满足规范要求,现有施工方案可确保地铁 7 号线永初路站的施工安全。

(2) 基坑开挖对在建地铁车站水平位移的影响大于对竖向位移的影响。

(3) 为减小基坑开挖和地铁施工之间的交互影响,建议在 7 号线区间隧道施工和 B1、C1 基坑地下连续墙开始施工前完成 B1、C1 基坑围护结构与临近 7 号线区间隧道两侧隔离桩施工。

参考文献:

[1] 郑刚,杜一鸣,刁钰,等.基坑开挖引起邻近既有隧道变形的影响区研究[J].岩土工程学报,2016,38(4):599—612.  
[2] 贾夫子,王立峰,逯武全,等.基坑开挖对邻近地铁车站和隧道的影响[J].岩土力学,2016,37(增刊 2):673—678+714.  
[3] 胡海英,张玉成,杨光华,等.基坑开挖对既有地铁隧道影响的实测及数值分析[J].岩土工程学报,2014,36(增刊 2):431—439.  
[4] 左殿军,史林,李铭铭,等.深基坑开挖对邻近地铁隧道影响数值计算分析[J].岩土工程学报,2014,36(增刊 2):391—395.



图4~6)为例分析测量结果的可靠性。

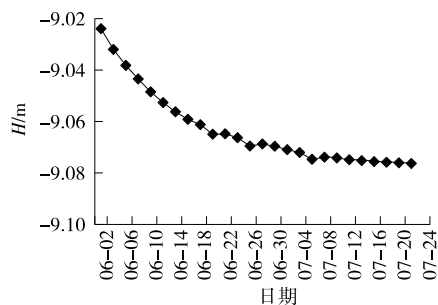


图4 0#断面监测结果

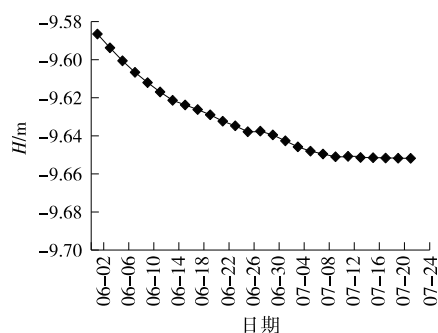


图5 17#断面监测结果

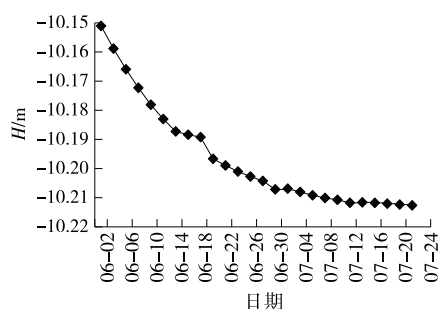


图6 33#断面监测结果

从图4~6可看出:3个断面的监测数据变化平缓、圆滑,只有个别点出现略微起伏;竖向位移整体上呈现越来越小的规律,符合随着盾构机远离管片结构竖向位移逐渐收敛的规律。采用全站仪三角高

程测量方法进行管片结构竖向位移测量科学、可行。

## 4 结论

(1) 传统水准测量方法操作不便,费时费力,而采用全站仪三角高程测量方法快速且精度满足要求,是测量管片结构竖向位移的一种新方法。

(2) 采用全站仪测量时,相邻两测点间可以不通视,仪器只需整平,无需对中,不用量取仪器高,测量快速、灵活,具有明显优势。

(3) 使用全站仪采取三角测量时,若需进一步提高精度,可采取尽量使前后视距相等、尽量降低竖直角、适当增加测回数等措施。

## 参考文献:

- [1] 尹志强.地铁隧道施工拱顶下沉值监测方法分析[J].科技与企业,2014(1):202.
- [2] 雷坚强.测微器水准仪在隧道拱顶下沉量测中的应用[J].现代隧道技术,2012,49(1):171-174.
- [3] 刘绍堂,肖海文.隧道拱顶下沉监测[J].地下空间与工程学报,2007,3(8):1397-1399.
- [4] 曾京,王源,刘建永.免棱镜全站仪测量拱顶下沉的方法与分析[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2009,10(2):179-182.
- [5] 郝士华.全站仪Z坐标测量在大断面隧道拱顶下沉量测中的应用[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2015,17(3):7-10.
- [6] 王方奇,张兴.三角形法量测拱顶下沉及周边位移误差调参研究[J].中国高新技术企业,2010(19):58-62.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市轨道交通工程监测技术规范:GB 50911-2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.

收稿日期:2020-04-29

(上接第149页)

- [5] 魏纲.基坑开挖对下方既有盾构隧道影响的实测与分析[J].岩土力学,2013,34(5):1421-1428.
- [6] 谢雄耀,郁宏杰,王庆国,等.基坑开挖引起下卧既有电力隧道变形的控制技术研究[J].岩土工程学报,2014,36(1):88-97.
- [7] 张治国,张孟喜,王卫东.基坑开挖对临近地铁隧道影响的两阶段分析方法[J].岩土力学,2011,32(7):2085-2092.
- [8] 黄宏伟,黄栩, SCHWEIGER F Helmut.基坑开挖对下卧运营盾构隧道影响的数值模拟研究[J].土木工程学

报,2012,45(3):182-189.

- [9] 杨帆,魏焕卫.基坑开挖对既有地铁隧道的影响分析[J].现代隧道技术,2018,55(增刊2):805-810.
- [10] 吴兰婷,雷安平.基坑开挖与下卧盾构隧道的相互影响分析[J].公路,2019(4):339-344.
- [11] 汪小兵,贾坚.深基坑开挖对既有地铁隧道的影响分析及控制措施[J].城市轨道交通研究,2009,12(5):52-57.

收稿日期:2019-12-27