

深基坑施工影响下邻近既有地铁设施的监测及变形分析

戴加东

上海勘察设计研究院(集团)有限公司, 上海

收稿日期: 2022年7月28日; 录用日期: 2022年8月8日; 发布日期: 2022年8月22日

摘要

为了研究深基坑开挖对邻近既有地铁设施的影响, 以某项目为工程背景, 通过对施工影响下既有地铁设施的施工监测, 分析了整个施工周期下地铁设施的结构变形情况。研究表明: 深基坑的开挖导致邻近地铁轨行区和站厅层产生变形, 距离越近, 变形越显著。在工程施工过程中, 应关注地铁结构赋存土层性质、基坑局部深坑对地铁结构变形的影响, 同时也应关注基坑的时空效应对周边环境的影响。

关键词

深基坑开挖, 地铁, 施工监测, 结构变形

Monitoring and Deformation Analysis of Adjacent Existing Subway Facilities Influenced by Deep Foundation Pit Excavation

Jiadong Dai

SGIDI Engineering Consulting (Group) Co., Ltd., Shanghai

Received: Jul. 28th, 2022; accepted: Aug. 8th, 2022; published: Aug. 22nd, 2022

Abstract

In order to study the influence of deep foundation pit excavation on adjacent existing subway facilities, taking a project as the engineering background, through the construction monitoring of existing subway facilities under the influence of construction, the structural deformation of subway facilities during the whole construction period is analyzed. The results show that the excavation of the deep

foundation pit leads to the deformation of the adjacent subway track area and station hall floor. The closer the distance is, the more significant the deformation is. During the construction of the project, attention should be paid to the nature of the soil layer in the subway structure, the influence of the local deep pit of the foundation pit on the deformation of the subway structure, and the influence of the space-time effect of the foundation pit on the surrounding environment.

Keywords

Deep Excavation, Subway, Construction Monitoring, Structural Deformation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着中国城市化进程的不断发展和, 城镇人口的不断增加, 轨道交通已成为大中型城市交通运输中较为普遍的一种交通方式。城市轨道交通作为城市的“运输血脉”, 地铁车站常坐落于城市繁华地段, 行车隧道贯穿城市地下空间, 城市的发展建设中不可避免的会出现在既有地铁设施周边进行的建设项目, 其中尤以邻近深基坑的开挖对既有地铁设施的影响最大。在深基坑施工过程中, 对邻近地铁设施的监测和变形分析可以实时掌握其受影响程度, 研究其在运营过程中的变形特性。

目前国内外研究深基坑开挖对邻近建、构筑物影响的方式主要有现场监测、室内试验、理论解析和有限元数值计算等手段。张陈蓉、俞剑(2012) [1]等基于位移控制理论, 对板式支护体系由于基坑开挖而引起的周围自由土体位移场分布规律进行了探讨。杨成永、董焯(2020) [2]等以管土刚度比为因变量来研究管土共同变形的规律。施有志、葛修润、李秀芳(2017) [3]等以厦门地铁一号线某深基坑的实测资料为基础, 对基坑施工对邻近管线影响规律进行参数分析。李昌宝(2021) [4]以上海某深基坑施工为背景, 分析了不同施工方案对邻近地铁的影响, 对施工方案的优化提出了建议。齐成成和王增吉(2021) [5]研究了深基坑开挖对邻近文物保护单位的影响, 从基坑变形控制和文物加固两方面提出了建议。徐有娜、关蕾蕾(2021) [6]等采用有限元数值模拟的方式研究了超大深基坑开挖对邻近地铁和环隧的影响, 对工程的安全性进行了评价。颜超、孙廉威(2021) [7]等研究了深基坑开挖施工中, 邻近建筑物与深基坑的相互影响关系, 并提出施工优化方案。黄军华、周志健(2021) [8]等对紧邻运营地铁深基坑开挖的变形控制展开了研究, 结果表明, 施工中通过土体加固、分层开挖和限时开挖等手段可有效控制结构变形。潘红宝、傅志峰(2022) [9]等以武汉某深基坑开挖为工程背景, 研究深基坑开挖对邻近隧道的影响, 结果表明深基坑开挖会引起邻近隧道产生较大变形, 施工中需施加变形控制措施。

本文以福州市仓山区林浦广场(二期)建设项目为工程背景, 对邻近深基坑施工场地的地铁设施展开监测, 并对监测数据进行分析, 研究深基坑开挖影响下邻近地铁设施的变形特性。

2. 工程概况

林浦广场(二期)项目基坑面积约为 1.5 万平方米, 普遍开挖深度为 10.95 m, 其中与地铁 4 号线林浦站 1 号出入口合建区域开挖深度为 18.5 m, 为局部深坑。基坑围护结构采用地下连续墙加内支撑体系。项目东侧紧邻地铁 4 号线林浦站车站, 地墙与 4 号线林浦站共用, 共墙区域长度约 119 m。项目南侧为地铁 6 号线, 距离约为 16 m, 基坑边线投影 6 号线地铁结构长度约 176 m, 项目基坑开挖深度低于地铁

4、6号线埋深。图1为基坑与地铁设施平面位置关系示意图，图2、图3分别为项目与邻近地铁4号线、6号线设施竖向位置关系图。

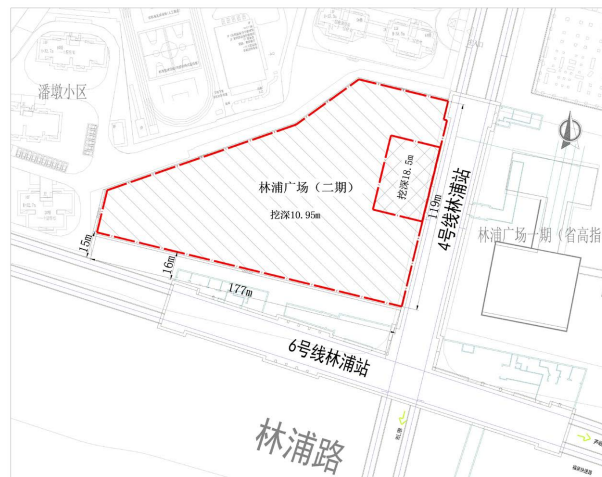


Figure 1. Schematic diagram of plane position relationship between foundation pit and subway facilities

图1. 基坑与地铁设施平面位置关系示意图

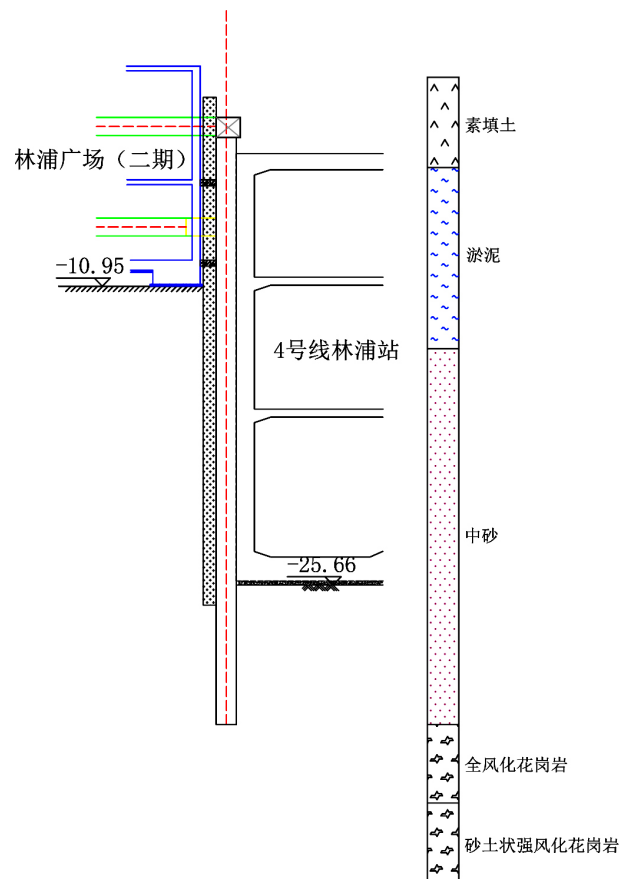


Figure 2. Schematic diagram of vertical position relationship between foundation pit and Metro Line 4 facilities

图2. 基坑与地铁4号线设施竖向位置关系示意图

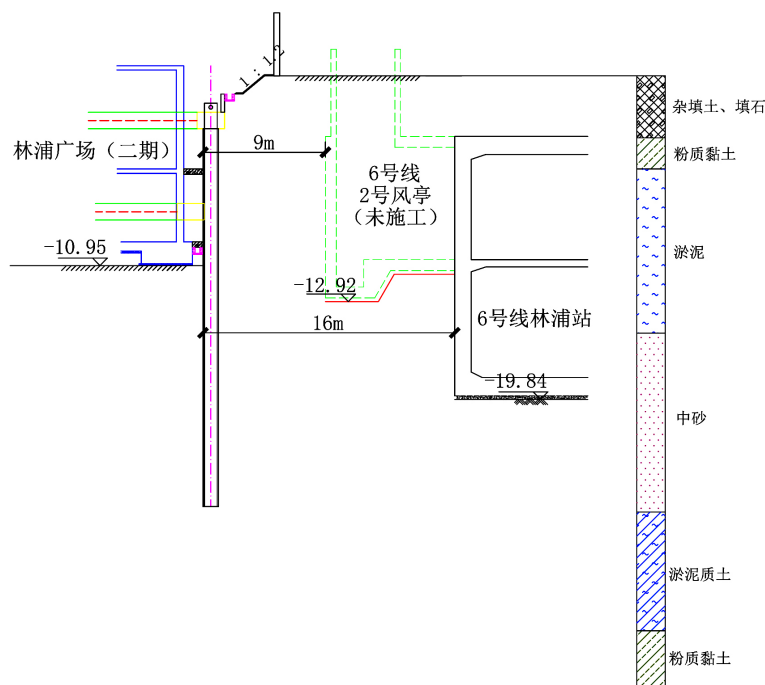


Figure 3. Schematic diagram of vertical position relationship between foundation pit and Metro Line 6 facilities

图 3. 基坑与地铁 6 号线设施竖向关系示意图

3. 地铁设施监测

林浦广场(二期)项目紧邻地铁 4、6 号线, 基坑开挖面积大, 影响地铁结构范围长, 工程施工难度大, 风险程度高, 在基坑施工过程中, 必须加强对地铁结构变形监测, 保障地铁正常运行。

3.1. 监测范围

按照相关规范, 本项目监测等级如表 1。

Table 1. Project monitoring levels

表 1. 项目监测等级

序号	监测项目	影响分区	接近程度	等级
1	4 号线临浦站	强烈影响区	非常接近	特级
2	6 号线林浦站	一般影响区	接近	二级

4 号线监测范围: 项目基坑东侧正对的地铁 4 号线林浦站长度约 119 m, 两端各外放 3 倍基坑深度(约为 33 m), 地铁 4 号线监测范围长度 185 m。

6 号线监测范围: 项目基坑南侧正对的地铁 6 号线林浦站, 两端各外放 3 倍基坑深度(约为 33 m), 地铁 6 号线监测范围长度为 242 m。

3.2. 监测内容

项目实施过程中具体的监测项目和测点数量如表 2, 测点布设采用棱镜, 采用测量机器人进行自动化监测。

Table 2. Monitoring items and points
表 2. 监测项目和测点

线路	观测项目		测点数量	测量次数		
4 号线	竖向位移	车站轨行区	上行线	54	170	
			下行线	26	167	
	水平位移	车站站厅层	上行线	26	175	
			下行线	14	175	
	6 号线	竖向位移	车站轨行区	上行线	54	170
				下行线	26	167
水平位移		车站站厅层	上行线	26	175	
			下行线	14	175	
6 号线	竖向位移	车站轨行区	下行线	32	129	
		车站站厅层	下行线	15	123	
	水平位移	车站轨行区	下行线	32	129	
		车站站厅层	下行线	15	123	

4. 地铁结构竖向位移

基坑的开挖打破了原有的地层平衡，随着基坑的开挖，地铁结构产生了不同程度的竖向位移。由于基坑施工的影响，监测工作结束时，4、6 号线地铁结构产生了约 5.2~6.3 mm 的向下位移，竖向位移最大值汇总见表 3。从监测数据上看，由于 4 号线站厅层紧邻基坑，站厅层竖向位移大于轨行区。6 号线距项目距离稍远，6 号线竖向位移略小于 4 号线，随着基坑暴露时间不断增加，由于基坑时空效应，基坑开挖的影响不断向外侧扩展，两条地铁线最终累计竖向位移量差距不大。

Table 3. Summary of maximum vertical displacement of Line 4 and Line 6
表 3. 4、6 号线竖向位移最大值汇总表

监测项目	累计最大变形量	备注
4 号线站厅层	6.3 mm	向下位移
4 号线轨行区	5.5 mm	向下位移
6 号线轨行区	5.2 mm	向下位移

图 4 为监测工作结束时 4 号线上行线监测点竖向位移断面图。整体看，地铁 4 号线主要表现为向上位移，对应局部深坑位置的地铁结构向上位移更大。上行线最终累计竖向位移在 -2.9~3.4 mm 之间，累计最大值为测点 4SC16 (累计值为 3.4 mm)，该点位于局部深坑中部对应位置。

图 5 为 4 号线上行线竖向位移代表性测点历时曲线图，从图中可以看出桩基施工期间，地铁结构变化较小，在基坑开挖后，由于土体挖除，地铁结构向上位移，局部深坑开挖完成后，测点向上位移达到最大值，随着地下室底板大体积混凝土浇筑后，地铁结构向下位移速度有所加大，之后地下水降水的停止，地铁结构有向上位移的趋势，最终竖向位移趋于稳定。

图 6 为 6 号线上行线竖向位移代表性测点历时曲线图，从图中可以看出，基坑开挖后，地铁结构向上位移，在卸载引起的土体应力释放的结束，地铁结构缓慢向下位移，随着本项目底板浇筑和地下结构

施工, 地铁结构向下位移速率有所加大, 之后变形速率趋于稳定。

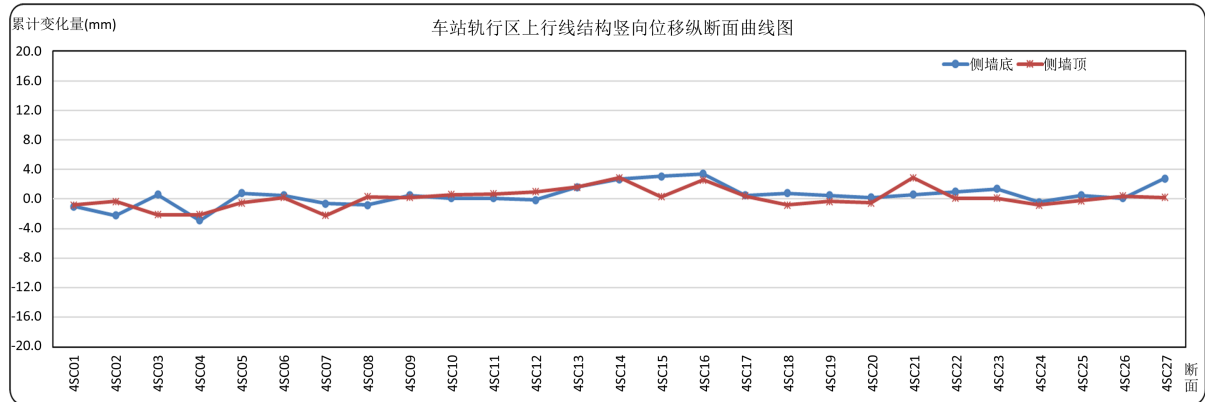


Figure 4. Vertical displacement section of monitoring points on the uplink of Line 4

图 4. 4 号线上行线监测点竖向位移断面图

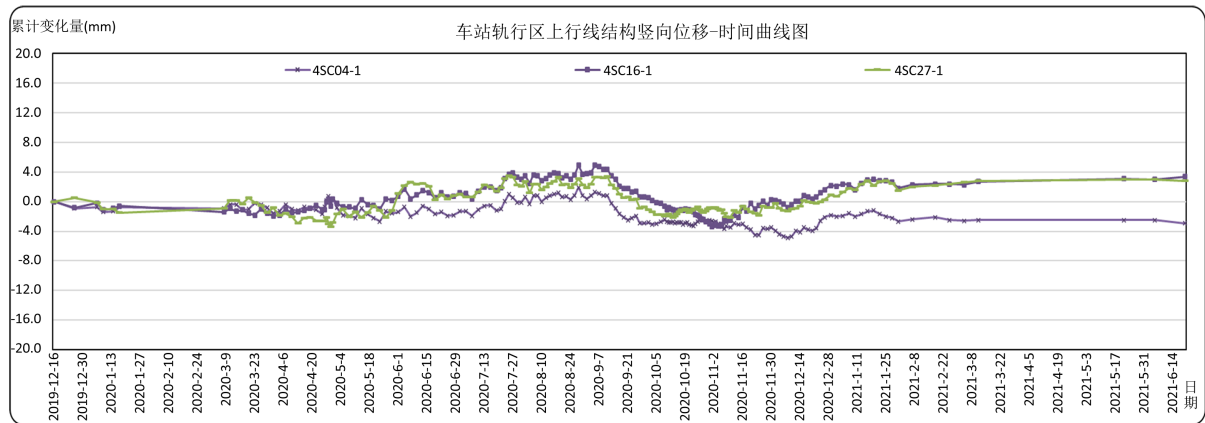


Figure 5. Duration curve of representative measuring points of vertical displacement of Line 4 uplink

图 5. 4 号线上行线竖向位移代表性测点历时曲线

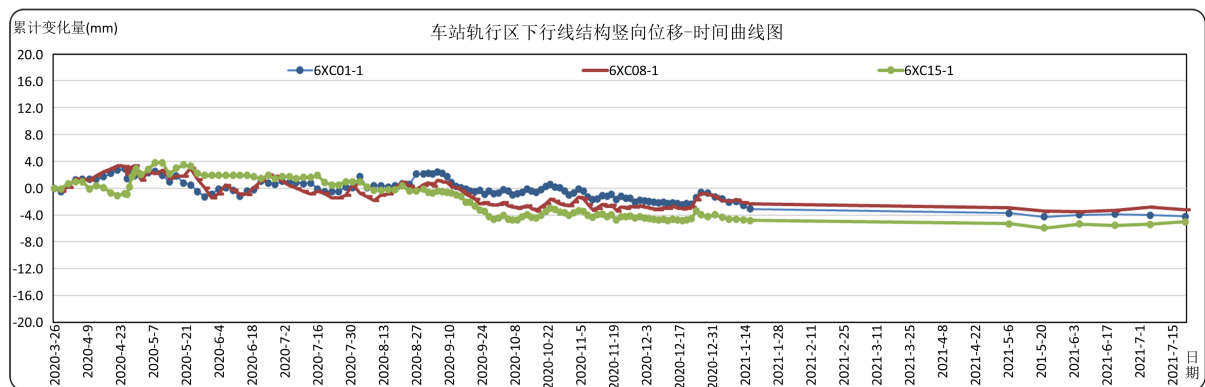


Figure 6. Duration curve of representative measuring points of vertical displacement of Line 6 uplink

图 6. 6 号线上行线竖向位移代表性测点历时曲线

5. 地铁结构水平位移

随着基坑的开挖, 地铁结构侧方卸载, 地铁结构产生了向基坑开挖面的水平位移, 项目完成后, 4、

6号线地铁结构产生了约5.2~6.5 mm的水平位移,水平位移最大值汇总见表4。与竖向位移规律相类似,4号线站厅层水平位移大于轨行区,由于位置距离远近不同,6号线水平位移略小于4号线,而6号线车站结构埋深浅,大部分地下结构处于淤泥层,同时随着基坑暴露时间不断增加,由于基坑时空效应影响,两条地铁线最终累计水平位移量差距不大。

Table 4. Summary of maximum horizontal displacement of Line 4 and Line 6

表 4. 4、6号线水平位移最大值汇总表

监测项目	累计最大变形量	备注
4号线站厅层	6.5 mm	向基坑方向
4号线轨行区	5.4 mm	向基坑方向
6号线轨行区	5.2 mm	向基坑方向

图7为监测工作结束时4号线上行线监测点水平位移断面图。整体看,地铁4号线主要表现为向基坑开挖方向位移,对应局部深坑位置的地铁结构水平位移值最大。上行线最终累计竖向位移在-1.6~5.1 mm之间,累计最大值为测点4SP16(累计值为5.1 mm),该点位于局部深坑中部对应位置。

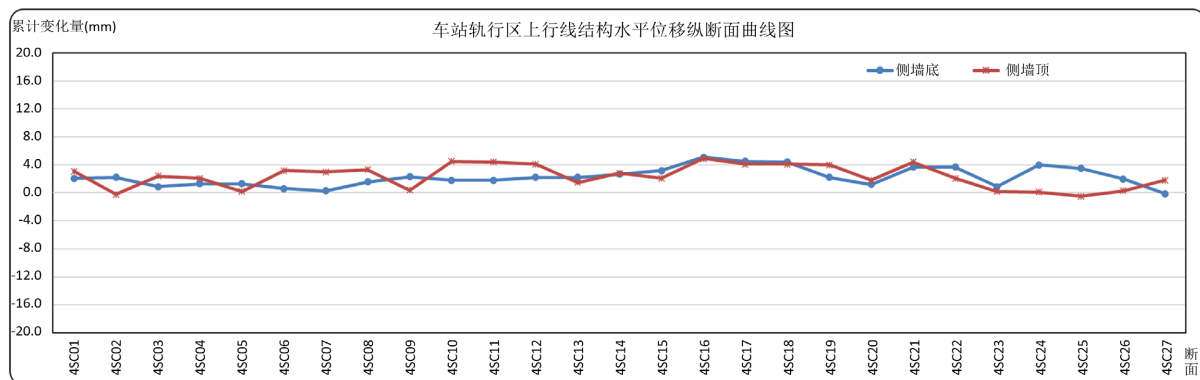


Figure 7. Cross section of horizontal displacement of monitoring points on the uplink of Line 4

图 7. 4号线上行线监测点水平位移断面图

图8为4号线上行线水平位移代表性测点历时曲线图,从图中可以看出桩基施工期间,地铁结构变化较小,在基坑开挖后,由于土体侧方卸载,水平方向上地铁结构向基坑方向位移,基坑开挖到底后,水平位移基本达到最大值,局部深坑对水平位移影响较小,在地下结构施工期间,水平位移基本保持稳定。

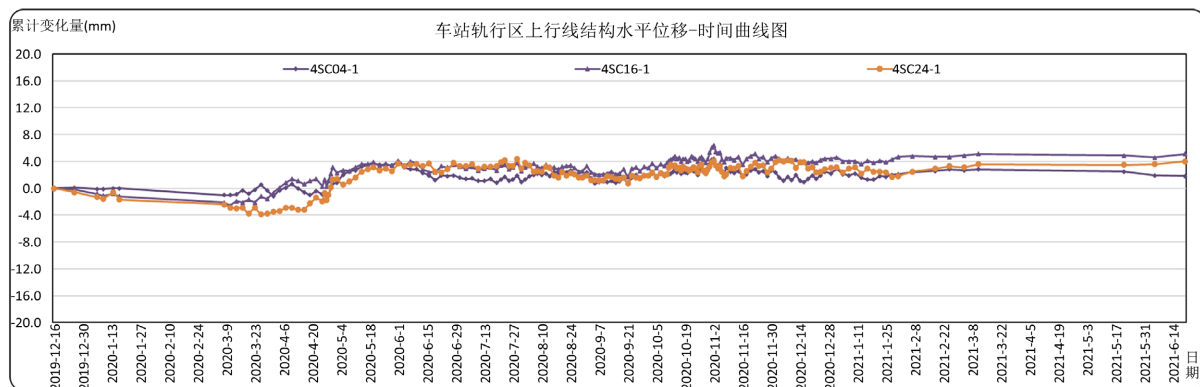


Figure 8. Duration curve of representative measuring points of horizontal displacement of the uplink of Line 4

图 8. 4号线上行线水平位移代表性测点历时曲线

图9为6号线下行线竖向位移代表性测点历时曲线图,从图中可以看出,基坑开挖后,地铁结构向基坑位移,在卸载引起的土体应力释放的结束,由于地铁结构埋设浅,所处地层大多为淤泥,淤泥土灵敏度高,易于发生变形,在底板浇筑阶段,水平位移有小幅波动。

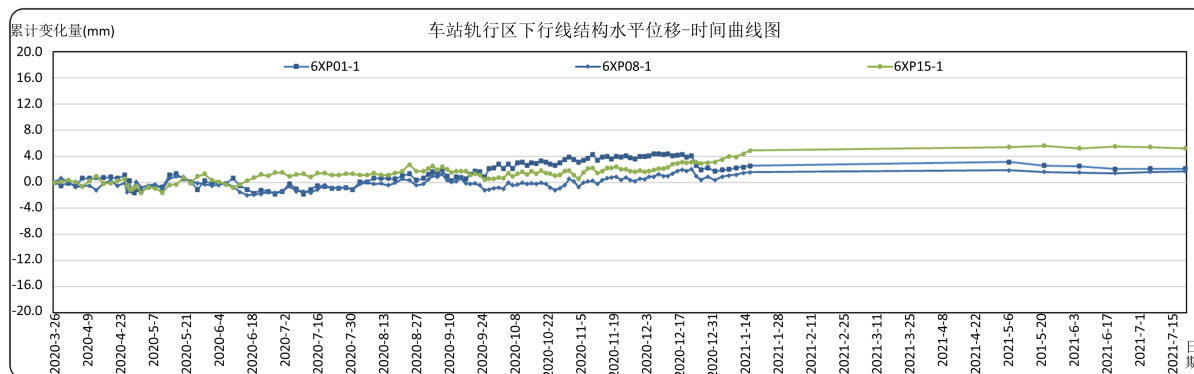


Figure 9. Duration curve of representative measuring points of horizontal displacement of the downline of Line 6
图9.6号线下行线水平位移代表性测点历时曲线

6. 结论

对于临近地铁项目施工时,应采用周密的监测手段,及时获取地铁结构的变形数据,林浦广场(二期)项目基坑零距离、大范围贴近地铁结构设施,通过采用自动化的测量机器人,对地铁结构开展严密和科学的监测工作,成功地保障了施工正常进行和地铁设施的正常运营。

通过本工程地铁结构监测数据分析,可以得到以下结论:

- 1) 对于基坑挖深浅于地铁埋深的项目,由于土体卸载,总体上,地铁结构在竖向上发生向上位移;水平方向上,地铁结构向基坑方向发生位移。
- 2) 在竖向上,由于土体卸载发生回弹,带动地铁结构向上位移,随着土体应力的释放和地下结构施工荷载增加,地铁结构随之向下位移;在水平方向上,土体挖除后,地铁结构向基坑方向位移,局部深坑和后续的施工对地铁结构水平位移变化影响不大。
- 3) 对于施工周期较长的项目,应关注基坑的时空效应,随着时间的增长,对周边环境的影响会加大。
- 4) 基坑存在局部深坑,会对地铁结构的竖向位移产生一定的影响,应关注局部深坑对应的地铁结构竖向位移影响,建议加强竖向差异变形的分析。
- 5) 地铁结构赋存在土层中,地铁结构变形大小和土性有较大关系,应关注淤泥等灵敏度系数较高的土层对地铁结构变形的影响。

参考文献

- [1] 张陈蓉,俞剑,黄茂松. 基坑开挖对临近地下管线影响的安全控制标准[J]. 岩土力学, 2012(7): 2027-2034.
- [2] 杨成永,董焯,程霖,邱美丽,张伦政. 穿越施工中管线与土层共同变形规律分析[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(1): 93-100.
- [3] 施有志,葛修润,李秀芳,林树枝. 地铁深基坑施工对周边管线影响数值分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2017, 56(6): 83-93.
- [4] 李昌宝. 浅坑深基坑分坑开挖对临近地铁附属结构的影响[J]. 城市道桥与防洪, 2021(7): 333-337.
- [5] 齐成成,王增吉. 对邻近文物保护单位的深基坑开挖有限元分析[J]. 工程建设与设计, 2022(6): 31-33.
- [6] 徐有娜,关蕾蕾,王文哲. 超大深基坑开挖对邻近地铁和环隧影响分析[J]. 工程建设与设计, 2021(S1):

108-113+139.

- [7] 颜超, 孙廉威, 程子聪. 深基坑开挖与周边既有建筑物改造相互影响研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2021, 38(6): 80-89.
- [8] 黄军华, 周志健, 刘鑫坤, 张士腾, 石笑笑. 邻近运营地铁的深基坑开挖风险及控制措施[J]. 施工技术, 2021, 50(24): 35-39.
- [9] 潘红宝, 傅志峰, 罗鑫. 深基坑开挖对旁侧既有地铁隧道变形影响及隔离桩控制效果分析[J]. 安徽建筑, 2022, 29(3): 119-121.