

# 地铁站施工期基坑监测研究现状

帅博文, 黄河, 刘恒材, 冯宇, 顾磊

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南  
Email: 2741187889@qq.com

收稿日期: 2021年7月25日; 录用日期: 2021年8月9日; 发布日期: 2021年8月24日

---

## 摘要

本文通过查阅大量相关文献, 对基坑工程监测的目的、基坑施工过程中需要监测的内容以及地铁站基坑施工过程中监测的一些方法进行了总结, 特别是光纤监测的方法, 为今后开展基坑工程监测提供一些参考。

## 关键词

基坑工程, 基坑监测, 光纤地质监测

---

# Status Quo of Research on Foundation Pit Monitoring during Construction of Subway Station

Bowen Shuai, He Huang, Hengcai Liu, Yu Feng, Lei Gu

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui  
Email: 2741187889@qq.com

Received: Jul. 25<sup>th</sup>, 2021; accepted: Aug. 9<sup>th</sup>, 2021; published: Aug. 24<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

Through a large number of related documents, this article summarizes the purpose of foundation pit engineering monitoring, the content that needs to be monitored during the construction of the foundation pit, and some methods of monitoring during the construction of the subway station foundation pit, especially the method of optical fiber monitoring, so as to provide some reference for foundation pit engineering monitoring in the future.

## Keywords

Foundation Pit Engineering, Foundation Pit Monitoring, Optical Fiber Geological Monitoring

Copyright © 2021 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

随着社会的发展,城市化建设进程逐步加快,轨道交通日益成为当代各大城市的重要的交通方式[1]。城市建设速度的不断加快,人们对土地资源的需求与城市中有限的土地资源产生了矛盾,使得城市建设不断地向高空和地下争取空间,许多高层建筑与地下工程如雨后春笋般广泛地出现,为方便人们的出行,许多建筑物经常会建设在地铁附近,有的甚至与地铁车站进行连通[2] [3]。在这种复杂的条件下,在确保新建基坑本身稳定的同时,又要控制由于基坑施工引起的附近地层移动,保证邻近建筑物、市政工程以及地铁结构的安全和正常运营[4]。由此可见,新建基坑工程施工对既有地铁车站结构及轨道的影响及施工控制进行研究对城市建设工程的开展和轨道交通的正常运营都有着重要的指导意义。

## 2. 基坑工程监测目的

基坑工程,是基础工程的一个组成部分。它是指建筑物或构筑物地下部分施工时,需开挖基坑,进行施工降水和周边的围挡,同时要对基坑四周进行监测和维护,确保正常、安全施工的综合工程[5]。通常在深基坑开挖施工的过程中,需要利用相关设备等,或者其他手段,对周围的建筑物、土体、道路等周围环境和支护结构变化,进行全面掌握,重视土地的应力、沉降、开裂等,这就是深基坑开挖监测技术。在开挖之前,首先须需要掌握土体变位动态,将各种行为表现,进行监测,通过大量岩土的信息,进行整合和分析,对勘察结构和预期现状进行分析[6] [7]。结合原来预期的想法,对设计成果研究,同时,需要结合现在施工现场实际情况,制定科学合理的施工方案。从而有效预测下阶段施工中可能出现新问题。

## 3. 基坑工程监测研究内容

基坑监测是基坑工程施工中的一个重要环节,是指在基坑开挖及地下工程施工过程中,对基坑岩土性状、支护结构变位和周围环境条件的变化,进行各种观察及分析工作,并将监测结果及时反馈,预测进一步施工后将导致的变形及稳定状态的发展,根据预测判定施工对周围环境造成影响的程度,来指导设计与施工,实现所谓信息化施工[8] [9]。

基坑监测主要包括:支护结构、相关自然环境、施工工况、地下水状况、基坑底部及周围土体、周围建(构)筑物、周围地下管线及地下设施、周围重要的道路等[10] [11] [12]。

### 3.1. 水平位移监测

可采用小角度法和视准线法测定水平位移,测定监测点任意方向的水平位移时可视监测点的分布情况,采用自由设站法和前方交会法等;当基准点距基坑较远时,可采用 GPS 测量法或三角、三边、边角测量与基准线法相结合的综合测量方法。当监测精度要求比较高时,可采用微变形测量雷达进行自动化全天候实时监测[13] [14]。

### 3.2. 竖向位移监测

基坑竖向位移的监测可采用液体静力水准或者几何水准等方法。

### 3.3. 深层水平位移监测

土体和围护结构的深层水平位移通常采用在墙体或土体中预埋测斜管，当被测土体变形时，测斜管轴线产生挠度，用测斜仪测量测斜管轴线与铅垂线之间夹角的变化量，从而可以得到岩土体内部各个位置点的水平位移[15] [16]。

### 3.4. 裂缝监测

裂缝监测[17]应包括裂缝的位置、走向、长度、宽度及变化程度，需要时还包括深度。裂缝监测数量根据需要确定，主要或变化较大的裂缝应进行监测。

### 3.5. 支护结构内力监测

可以在结构表面或者内部安装钢筋应力计来测量基坑开挖过程中的结构内力。钢筋混凝土支撑用钢筋计进行测量；钢结构支撑宜采用轴力计进行测试[18]。

### 3.6. 土压力监测

土压力宜采用土压力计量测量。土压力计埋设可采用埋入式或边界式。沿监测深度选择等间距布设多个土压力计，或者根据具体地层条件设计土压力计的埋深。随着埋深增加传感器量程逐渐增加，以提高监测精度。土压力传感器布设完毕后，岩土体土压力即作用在传感器压力膜上，随着开挖施工逐渐进行，基坑周边土体压力逐渐发生变化，通过监测压力膜的状态实现土压力的实时监测[19]。

### 3.7. 孔隙水压力监测

孔隙水压力宜通过埋设钢弦式、应变式等孔隙水压力计，采用频率计或应变计量测。基坑围护墙(桩)外侧布设若干孔隙水压力监测点，布点位置选择重点监测底层位置。传感器布设深度与设计监测深度一致。传感器布设至监测埋深后，孔隙水压力变化会引起传感器压力膜变化，通过监测压力膜感测的压力状态实现孔隙水压力实时监测。

### 3.8. 地下水位监测

基坑工程地下水位监测包含坑内、坑外水位监测，基坑工程地下水位监测又有浅层潜水和深层承压水位之分。通过坑内水位观测可以检验降水方案的实际效果，通过坑外水位观测可以了解坑内降水对周围地下水的影响范围和影响程度，防止基坑工程施工中坑外水土流失。

## 4. 基坑工程监测研究方法

### 4.1. 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术可以获取准确的激光扫描数据，将相应的数据信息输入到可视化系统当中，能够获取准确的三维激光扫描图像[20]。应用三维激光扫描技术能够提升建筑基坑测绘的准确性，借以获取高精度数字模型。方便施工人员更好的了解建筑基坑施工中的缺陷，同时制定合理的优化措施。陈致富等[21]分析了三维激光扫描系统在基坑监测中的技术优势和存在的问题，对三维激光扫描系统在基坑监测中的实际应用具有指导意义。

## 4.2. BIM 自动化监测技术

在基坑监测中工程中结合运用 BIM 技术,可以提高工程施工的可视化程度,让操作人员更加直观地了解整个工程,提高工程效率,使工程管理更加精细,减少现场返工,节约成本。BIM 还有场景漫游、施工模拟、实时监控、空间量测、分析报警、历史数据查询等功能[22]。孙程鹏[23]以常州市某地铁站深基坑工程为依托,通过将 BIM 与“互联网+”技术应用到基坑工程的施工和监测中,实现了基坑可视化模型建立、施工可视化模拟与基坑变形性状分析。

## 4.3. GIS 技术

GIS 技术是多种学科交叉的产物,它以地理空间为基础,采用地理模型分析方法,实时提供多种空间和动态的地理信息,是一种为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统。张凤瑞和张磊[24]针对天津市深基坑工程质量安全信息化管理的迫切需求,利用 GIS 及网络视频、Web 地图 API 等技术进行综合设计,开发出了天津市深基坑监测信息管理系统,实现了基坑工程信息管理、监测数据管理、监测数据自动分析与预警提示、监测专业图表曲线的生成、视频实时监控等功能。范本等[25]在传统 GIS 的基础上,在三维空间(XYZ)信息的基础上加入了时间维度,形成一种四维的(X, Y, Z, T) GIS 信息系统。将时态 GIS 概念引入传统的基坑监测项目中,实现了监测点位实时地图显示、变形过程曲线的直观绘制、数据的自动分析处理以及数据信息的便捷管理与报表等功能,提高了监测数据的信息化程度,易于管理和资源共享。

## 4.4. GPS 技术

近年随着 GPS 技术的进步,利用 GPS 技术进行变形监测得到了广泛的应用[26]。王建强[27]探讨了 GPS 技术在基坑位移变形监测中的应用,结果表明 GPS 技术在基坑位移监测中获得了稳定和可靠的监测数据,这对预警建筑工程是否安全具有很重要的意义。

## 4.5. 光纤监测技术

光纤传感技术可以在整个光纤长度上对沿光纤分布的环境参数进行测量,同时获得被测量的空间分布状态和随时间变化的信息。

利用先进成熟的光纤传感技术,借鉴光纤传感技术成功应用案例,结合基坑结构及环境,确定光纤传感技术可以应用到如下方面当中:可以采用密集分布式应变感测技术对围护墙(桩)深层水平位移、结构内力进行监测;采用光纤光栅传感技术对支撑内力进行监测;采用密集分布式应变感测技术对坑内土体隆起进行监测;采用光纤光栅传感技术监测基坑周边水土体压力、孔隙水压力、地下水位;采用光纤光栅传感技术监测基坑上部结构沉降;采用光纤光栅传感技术监测基坑锚杆和土钉内力;采用分布式温度感测技术对围护墙接缝浇筑缺陷进行检测。

刘凯文等[28]依托上海地铁轨道交通某地铁站工程,采用密集分布式光纤光栅感测技术对深基坑开挖中坑内土体隆起、基坑上部结构沉降和中心立柱桩变形问题进行了研究,建立了基坑隆起剖面的光纤监测系统,获得基坑底部土体多场多参量随时空的变化。为实现基坑隆起的智能监测提供了技术支持,为基坑开挖的安全评价提供了参考依据。崔振东等[29]以苏州地铁车站支护体系的地连墙变形监测为例,介绍了光纤分布式传感测量技术在基坑支护体系中的试验方案,并对测试数据进行了分析,同时与传统测斜仪测试数据作了比较,指出光纤传感是实现线性、实时监控的技术,为施工提供了便利。崔咏军等[30]设计了一种新型的光纤测斜传感器,并将其应用到实际基坑工程的监测当中。将分布式光纤的监测结果与传统测斜仪进行对比,结果表明封装后的光缆能够适应工程现场的恶劣环境,满足长期监测的要求,

且测量结果与测斜仪一致，说明分布式光纤可以很好地代替传统测斜仪，将其应用于岩土工程的深层水平位移监测中可以实现安全监测的自动化和智能化。

此外，还有一些基坑施工过程中其它的监测方法，如 BP 神经网络法[31]、无人机遥感测绘技术[32]、地质雷达技术[33]、GNSS 技术[34]等在基坑施工过程中都得到了不少的实际应用。

## 5. 案例分析

### 5.1. 项目概况及布设方案

为了验证光纤传感技术在基坑监测中的可行性，在深圳某地铁车站进行了基坑围护结构内力与变形的分布式光纤监测。监测主要利用基坑自身维护结构布设密集分布式光缆，实现水平位移及内力监测，本项目围护结构为葶素咬合桩，光缆随结构钢筋笼绑扎布设，竖向连续监测，葶桩的迎土面和背土面各一条测线，结合现场实施情况，通过监测基坑围护结构内力与变形情况，监测车站主体工程建设过程中的安全情况。监测点位剖面图与传感布设示意图如下图 1、图 2。

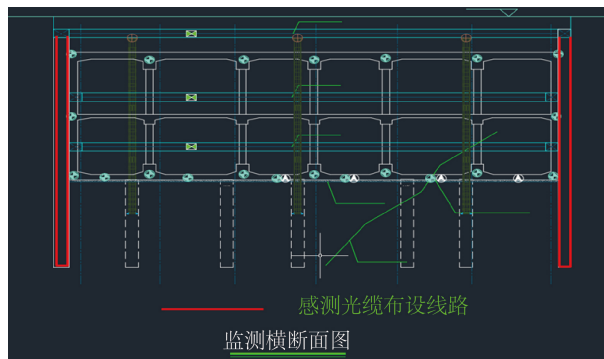


Figure 1. Design cross-sectional view of monitoring points

图 1. 监测点位设计剖面图

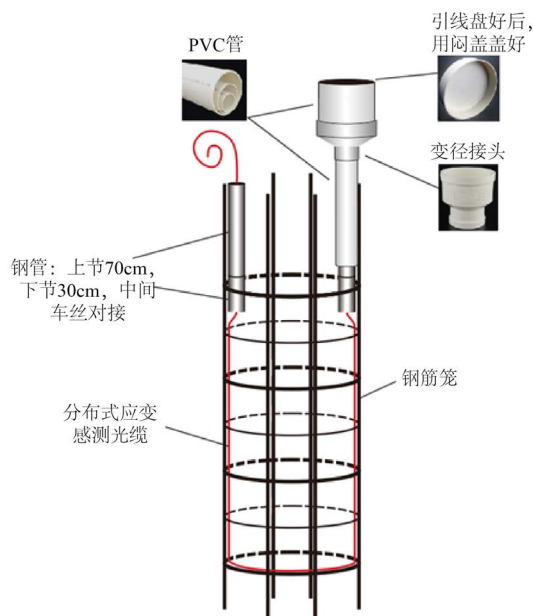


Figure 2. Schematic diagram of sensor optical cable layout

图 2. 传感光缆布设示意图

在咬合桩结构钢筋笼加工过程中，将定点密集分布式应变感测光缆、非金属高强密集分布式温度感测光缆绑扎在钢筋笼设计位置上。然后下放到开挖的沟槽内，浇注成型。采用光纤光栅解调仪来实现光纤传感器的数据获取，从而实现对地连墙在基坑开挖过程中的变形、水平位移和结构内力的监测。

## 5.2. 监测结果与分析

本次基坑围护结构内力与变形监测采用内定点式密集分布式应变感测光缆，采用独特内定点设计，实现空间非连续非均匀应变分段，配合密集分布式应变感测技术(FBG)使用，具有良好的机械性能和抗拉压性能，能与岩土体、混凝土等结构很好耦合。施工便捷，同时能抵御各种恶劣工况环境。同时采用非金属高强密集分布式温度感测光缆用于温度补偿校正，此光缆采用两层非金属加筋丝，增加整根光缆的抗拉强度，光纤外围采用高强度 PBT 松套管保护，管内填充高润滑性油膏，松套管外部设计一圈阻水层，用于阻止水分进入。光缆全部采用非金属加强件设计，具有极高的绝缘性。适用于电力、高磁场、混凝土结构环境温度监测。

测试采用的柜式密集分布式光纤解调仪，可同时采集上千个光栅点，系统集成度高。围护桩深层水平位移共监测 6 根围护桩，均已实现自动化采集和数据分析。

经过监测所得到的 6 根围护桩深层水平位移如下图 3~14。

由 6 根桩的深层水平位移图可知，此为抛物线型测斜曲线，主要线型特征为底部位移小，由下至上位移逐步增大，最后逐步减小。

深层水平位移正值表示围护桩向基坑内弯曲，最大水平位移量为 56 mm，对应 YHH564 桩。平均最大深层水平位移为 28 mm，最大位移埋深为 15~20 米左右。从深层水平位移最大值变化趋势看，从 11 月 21 日开始桩身最大水平位移量缓慢增加，桩身深层水平位移逐渐趋于稳定。由于测试光缆顶部位于有

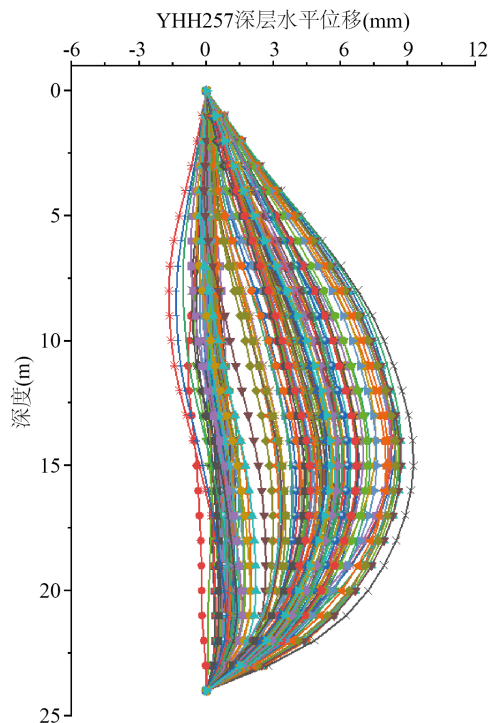


Figure 3. YHH257 pile deep horizontal displacement diagram  
图 3. YHH257 桩深层水平位移图

YHH257深层水平位移最大值变化(mm)

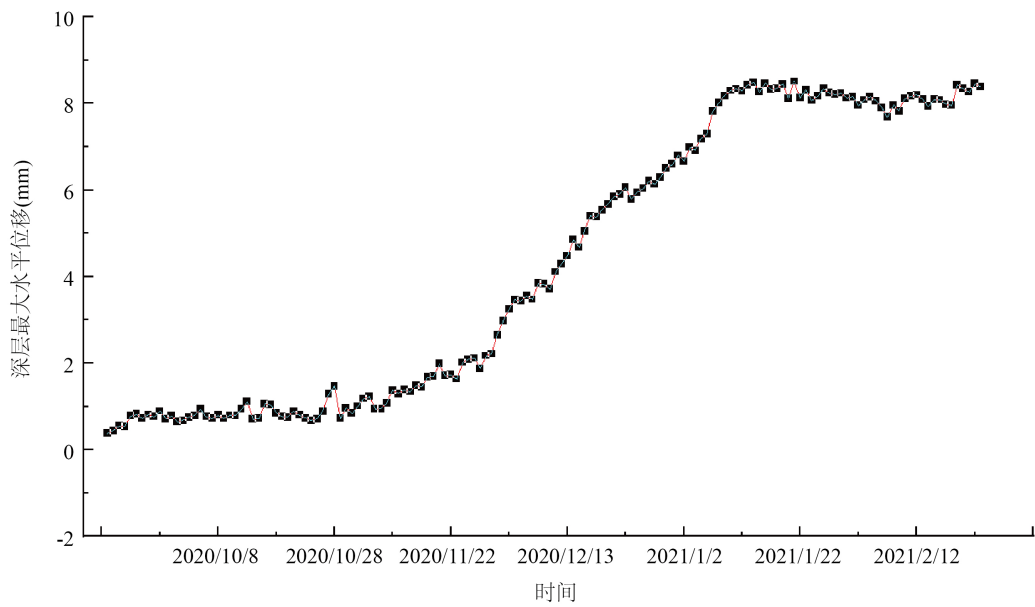


Figure 4. The change of the maximum value of the deep horizontal displacement of YHH257 pile  
图 4. YHH257 桩深层水平位移最大值变化图

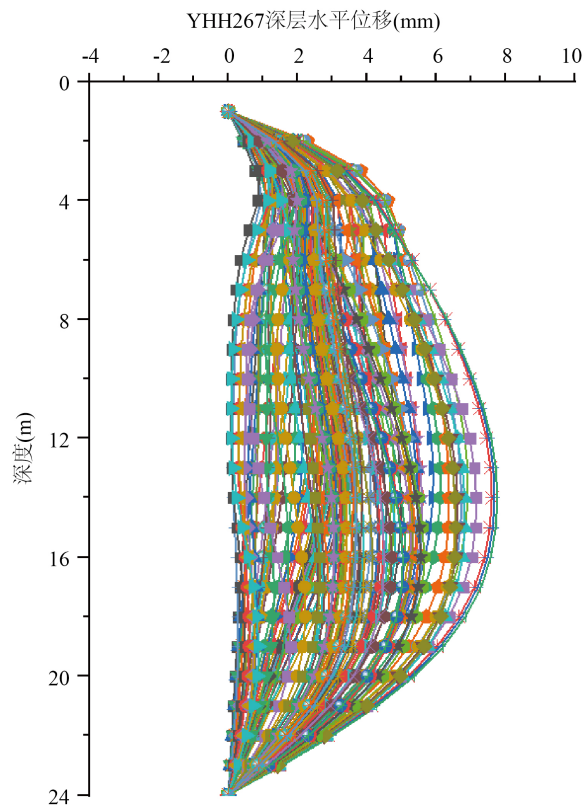
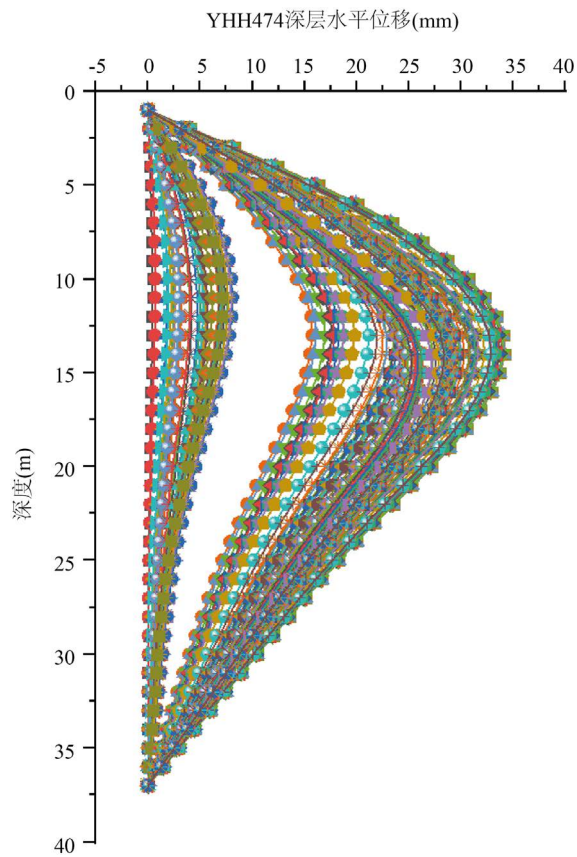


Figure 5. YHH267 pile deep horizontal displacement diagram  
图 5. YHH267 桩深层水平位移图

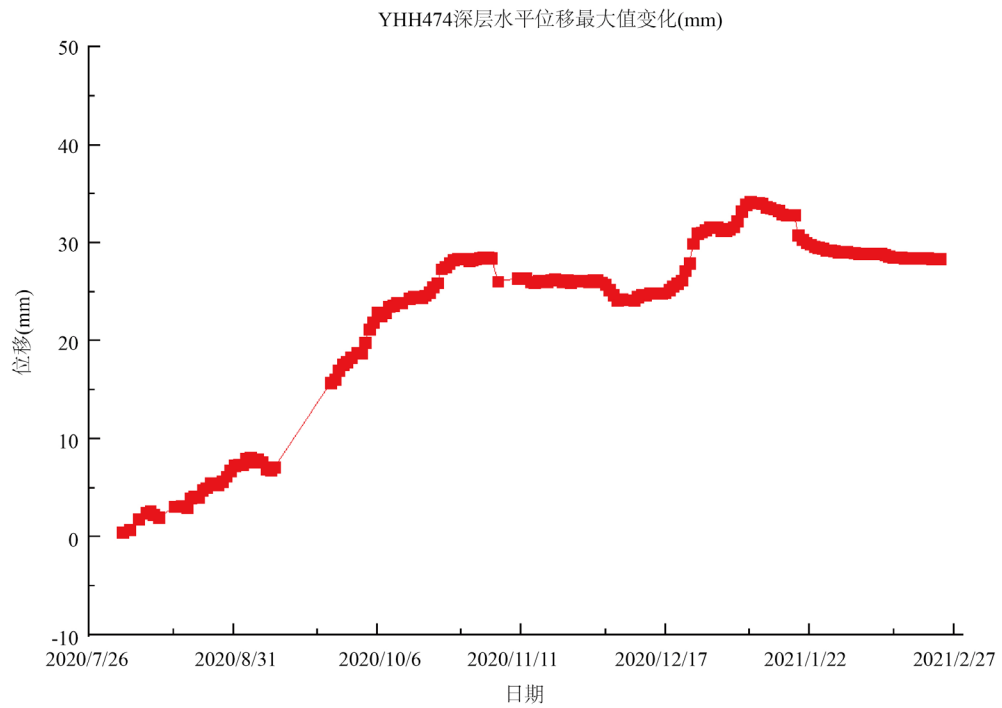


**Figure 6.** The change of the maximum value of YHH267 pile deep horizontal displacement  
**图 6.** YHH267 桩深层水平位移最大值变化图

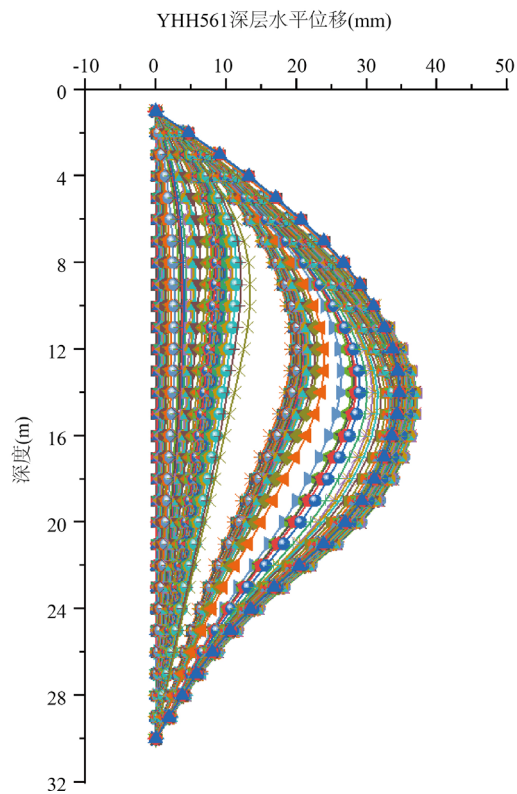


**Figure 7.** The horizontal displacement diagram of YHH474 pile in depth  
**图 7.** YHH474 桩深层水平位移图





**Figure 8.** Variation diagram of the maximum value of YHH474 pile deep horizontal displacement  
**图 8.** YHH474 桩深层水平位移最大值变化图



**Figure 9.** The horizontal displacement diagram of YHH561 pile in depth  
**图 9.** YHH561 桩深层水平位移图

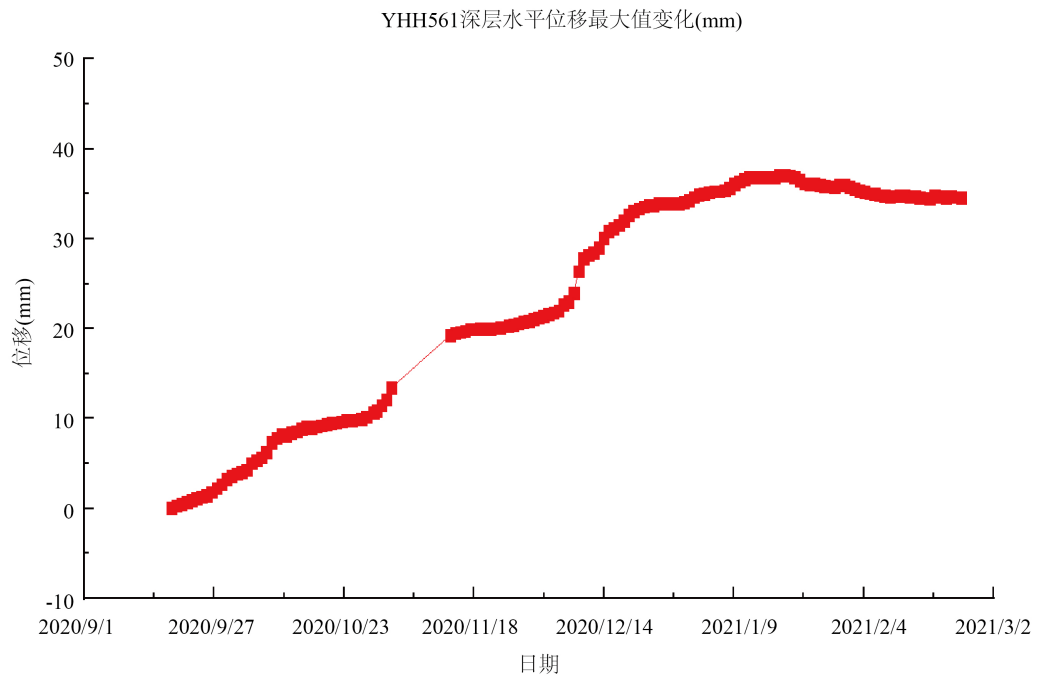


Figure 10. The change of the maximum value of YHH561 pile deep horizontal displacement  
图 10. YHH561 桩深层水平位移最大值变化图

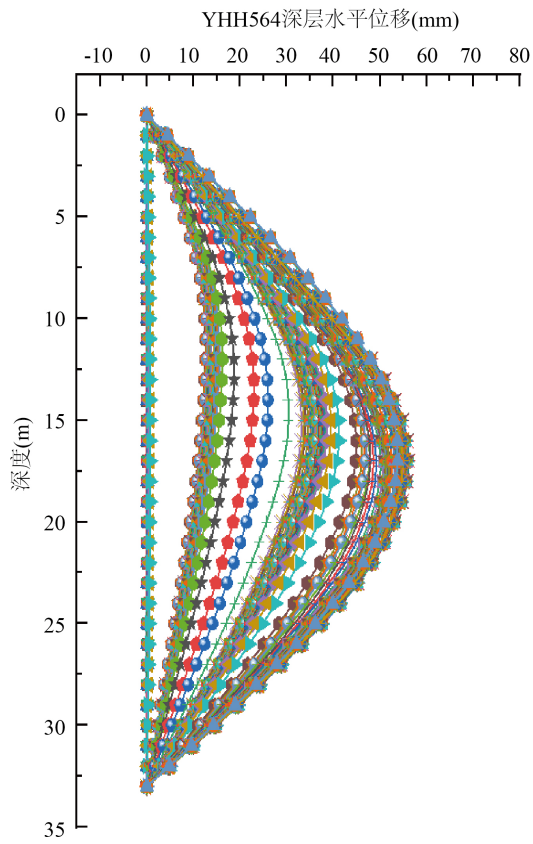
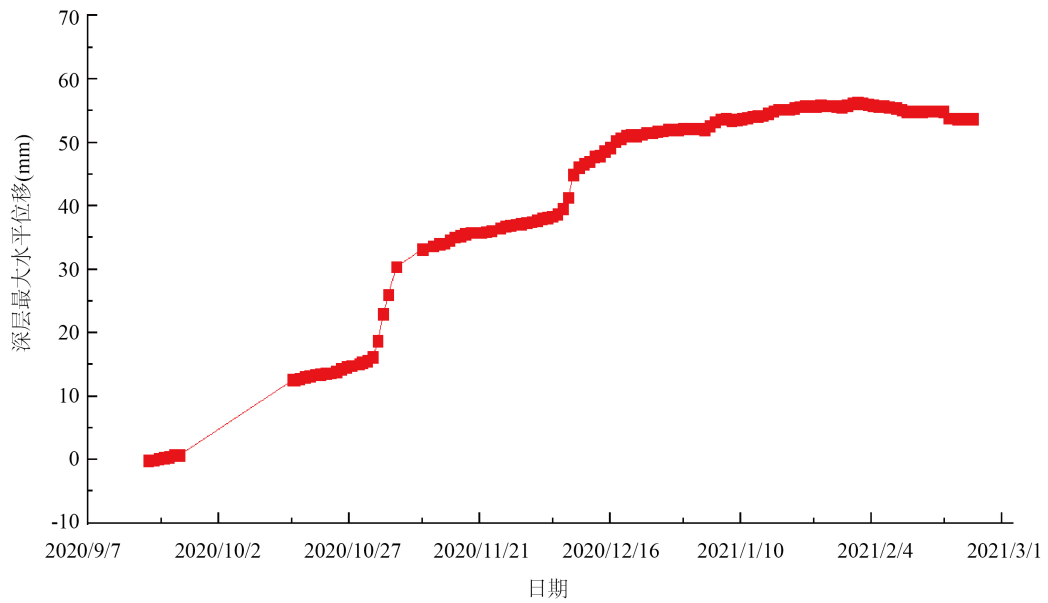
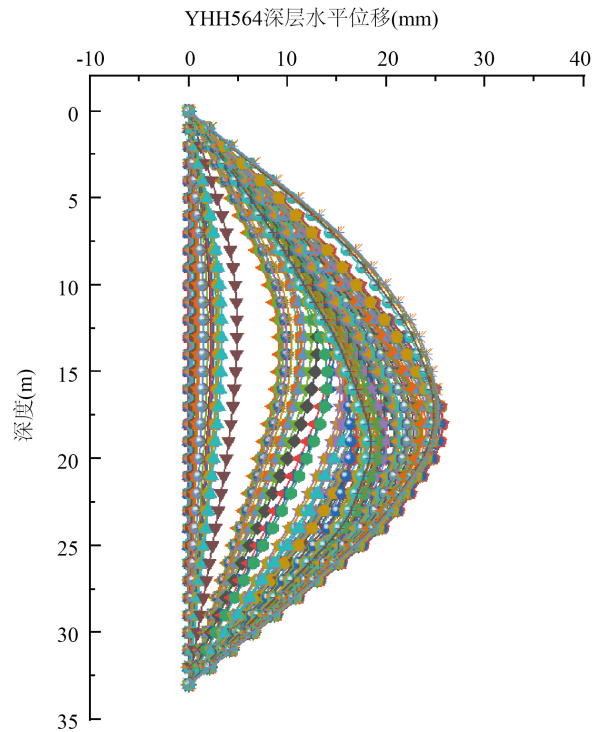


Figure 11. YHH564 pile deep horizontal displacement diagram  
图 11. YHH564 桩深层水平位移图

YHH564深层水平位移最大值变化

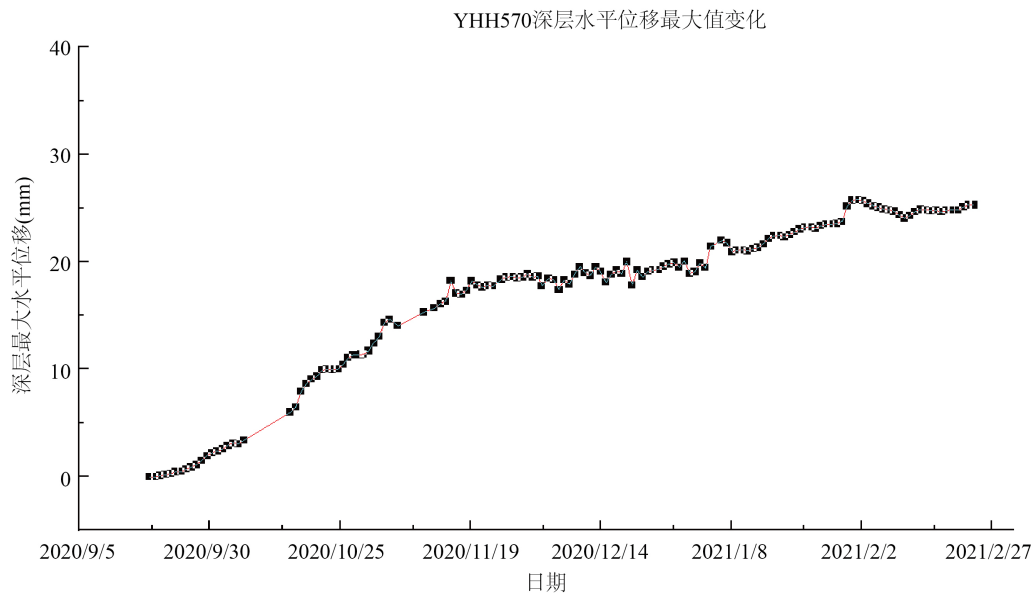


**Figure 12.** The change of the maximum value of the deep horizontal displacement of YHH564 pile  
**图 12.** YHH564 桩深层水平位移最大值变化图



**Figure 13.** The deep horizontal displacement of YHH570 pile  
**图 13.** YHH570 桩深层水平位移图

冠梁与支撑的支护结构处，而底部位于稳定持力层，因此，顶部与底部的位移皆较小；中部由于侧向水土压力的影响，会产生较大偏向基坑内的位移，与光纤传感实测值相符合，可见光纤传感技术所测的变



**Figure 14.** The change of the maximum value of YHH570 pile's deep horizontal displacement  
**图 14.** YHH570 桩深层水平位移最大值变化图

形值能够准确反映基坑深层水平位移的实际变化情况。

## 6. 结论

对于地铁站基坑施工过程的监测,重点应放在支护结构的稳定性监测上面。本文通过查阅相关文献,对基坑工程监测的目的、基坑施工过程中需要监测的内容以及基坑工程监测的一些方法进行了总结,特别是光纤监测的方法,为今后开展基坑工程监测提供一些参考。

## 参考文献

- [1] 官莹, 黄瑛. 轨道交通对城市空间形态的影响[J]. 城市问题, 2004(1): 36-39, 22.
- [2] 钱七虎. 城市可持续发展与地下空间开发利用[J]. 地下空间, 1998(2): 69-74, 126.
- [3] 朱军. 我国城市轨道交通发展现状与对策建议[J]. 城市轨道交通研究, 2005(6): 11-14.
- [4] 梁宁慧, 刘新荣, 曹学山. 中国城市地铁建设的现状和发展战略[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(6): 81-85.
- [5] 龚晓南. 21 世纪岩土工程发展展望[J]. 岩土工程学报, 2000(2): 238-242.
- [6] 聂建伟. 建筑工程中深基坑的防护与施工监测[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(6): 153-154.
- [7] 裴巧玲, 庄辛宇, 关金鑫, 陈日朗. 地铁深基坑变形监测分析[J]. 路基工程, 2020(5): 79-82.
- [8] 刘杰, 姚海林, 任建喜. 地铁车站基坑围护结构变形监测与数值模拟[J]. 岩土力学, 2010, 31(S2): 456-461.
- [9] 吴意谦, 朱彦鹏. 兰州市湿陷性黄土地区地铁车站深基坑变形规律监测与数值模拟研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(S2): 404-411.
- [10] 丁勇春, 戴斌, 王建华, 徐中华. 某邻近地铁隧道深基坑施工监测分析[J]. 北京工业大学学报, 2008, 34(5): 492-497.
- [11] 蒋宿平. 基坑监测技术的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [12] 张冬晓. 建筑基坑监测及预测预报系统研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2005.
- [13] 宋建学, 郑仪, 王原嵩. 基坑变形监测及预警技术[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(Z1): 1889-1891.
- [14] 刘兆民. 深基坑变形监测体系研究及工程应用[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [15] 朱春宁, 何晨. 基坑深层水平位移监测新方法的探讨与应用[J]. 工程技术研究, 2020, 5(24): 19-20.

- [16] 陈卫南. 基于应变监测的围护结构深层水平位移监测研究[J]. 工程勘察, 2021, 49(1): 13-18, 72.
- [17] 覃卫民, 逢铁铮, 王浩, 孔文涛. 深基坑附近房屋出现裂缝的施工监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(3): 533-540.
- [18] 杨军, 杨振兴, 包建平, 王采扣. 软土地区深基坑支护结构内力及变形监测分析[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(22): 163-164.
- [19] 彭社琴, 赵其华. 超深基坑土压力监测成果分析[J]. 岩土力学, 2006(4): 657-661, 672.
- [20] 任凌云. 三维激光扫描技术在建筑基坑施工检测中的应用[J]. 价值工程, 2018, 37(26): 235-236.
- [21] 陈致富, 陈德立, 杨建学. 三维激光扫描技术在基坑变形监测中的应用[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(S1): 557-559.
- [22] 吴虹雨, 袁油新. BIM 技术在基坑监测中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(24): 112.
- [23] 孙程鹏. 基于 BIM 与“互联网+”技术的临湖地铁站基坑施工可视化应用研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌工程学院, 2019.
- [24] 张凤瑞, 张磊. GIS 技术下天津市深基坑监测信息管理系统的设计与实现[J]. 测绘通报, 2016(7): 118-121.
- [25] 范本, 胡祝敏. 基于时态 GIS 的基坑监测系统设计与实现[J]. 地理空间信息, 2020, 18(7): 55-57, 62.
- [26] 唐咸远, 林俊, 周振荣. 北斗卫星导航技术在建筑深基坑变形监测中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(11): 66-70.
- [27] 王建强. GPS 技术在基坑位移监测中的应用[J]. 科技传播, 2016, 8(18): 137, 166.
- [28] 刘凯文, 王源, 吴静红, 陈明银, 顾盛. 基于密集分布式光纤光栅感测技术的基坑底部隆起研究[J]. 煤炭科技, 2021, 42(1): 102-108.
- [29] 崔振东, 亓军强, 王明, 许崇甲. 光纤技术在基坑支护体系受力分析中的应用[J]. 山西建筑, 2015, 41(27): 67-68.
- [30] 崔咏军, 孙阳阳, 谢渊洁, 顾盛. 光纤测斜技术在基坑工程监测中的应用研究[J]. 工程质量, 2019, 37(3): 43-46, 52.
- [31] 陈尚荣, 赵升峰. BP 神经网络在基坑变形预测分析中的应用[J]. 上海地质, 2010(1): 29-31, 41.
- [32] 胡贝. 无人机遥感测绘在基坑监测中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2020(24): 242-243.
- [33] 李罡, 张志强, 刘道学, 武其亮, 桂诗军. 基于地质雷达的基坑地下连续墙接缝处渗漏水监测技术[J]. 能源技术与管理, 2020, 45(6): 11-14.
- [34] 张建坤, 王智, 谷冰峰, 贾亮. GNSS 技术在基坑水平位移监测中的应用研究[J]. 工程勘察, 2016, 44(10): 61-65.