

# 基坑开挖引起周围管线位移分析

尤 弋, 江南宁

(江苏省岩土工程公司, 江苏 南京 210018)

**摘要:**为探讨深基坑开挖对周围管线位移的影响,明确管线位移轨迹模式,以南京江东软件城深基坑工程为背景,对管线位移实际监测数据进行分析。首先介绍该基坑工程的设计、施工和监测方案;在此基础上结合施工过程,分析周围4根管线竖向沉降和水平位移发展规律,并探讨二者之间的关系,揭示管线位移轨迹。由分析可知,竖向沉降先于水平位移发生,随基坑施工的开展,竖向和水平位移同步增大;在基坑第二道支撑施工后,竖向沉降出现平台,水平位移明显减小;地下室底板施工后,变形趋于稳定。距离基坑侧壁垂直距离较近的管线位移轨迹为三次多项式曲线,距离基坑侧壁较远的管线沿直线状向坑脚移动。

**关键词:**基坑开挖;基坑监测;管线;位移轨迹;顺作法

**中图分类号:**TU473 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)11-0078-05

**Analysis on the Displacement of Surrounding Pipeline Caused by Deep Foundation Pit Excavation/YOU Yi, JIANG Nan-ning** (Geotechnical Engineering Company of Jiangsu Province, Nanjing Jiangsu 210018, China)

**Abstract:** To further understand the effect of deep foundation pit excavation on surrounding pipelines and determine the pipeline displacement track model, with the background of a deep foundation pit project of Nanjing, the analysis is made on the actual monitoring data of pipeline displacement. The design, construction and monitoring schemes of the foundation pit project are introduced; on this basis, according to the construction process, this paper analyzes the variation rules of vertical settlement and horizontal displacement of 4 surrounding pipelines and explores the relationship between them to reveal pipeline displacement track. By the analysis, it is concluded that the vertical settlement happened prior to the horizontal displacement in time domain, along with the development of foundation pit construction, vertical settlement and horizontal displacement developed synchronously; after the completion of the second support construction for foundation pit, the vertical settlement exhibits plateaus and the horizontal displacement reduced; after the construction of the basement floor, both the horizontal settlement and vertical displacement tend to be stable. The track of the pipeline displacement track vertically closer to the foundation pit side wall is a cubic polynomial curve and the pipeline displacement track far from the foundation pit side wall moves straightly toward the foot of the pit.

**Key words:** foundation pit excavation; foundation pit monitoring; pipeline; displacement track; normal excavation construction method

## 0 引言

随着我国城市化进程的不断加快,城市地下空间的建设进入新的纪元,基坑工程建设向着规模更大、深度更深、环境条件更复杂的方向发展。这给基坑工程设计、施工和监测带来巨大挑战,如何保证基坑安全并尽量减小对周边设施的影响成为基坑工程研究的热点<sup>[1-4]</sup>。

细致的基坑监测方案是基坑设计完成后,保证施工中基坑安全的重要保障<sup>[5]</sup>。以实际工程为例,多位学者对不同地域基坑监测结果进行了分析。安关峰等<sup>[6]</sup>对广州地铁公园前地下空间深基坑综合

支护监测进行分析,主要分析了土压力、孔隙水压力、地下水位、土体测斜、桩体测斜和锚索应力的监测结果。丁智等<sup>[7]</sup>对杭州地铁新塘路、景芳路交叉口工程深基坑开挖过程中的地下连续墙墙体深层水平位移、钢支撑轴力、地表沉降和地下水位等监测数据进行分析,并提出基坑监测的建议。李苏春等<sup>[8]</sup>对采用钻孔灌注桩加内支撑支护方案的苏州凤凰国际书城基坑监测进行分析,包括深层水平位移、地下水位降深和地铁车站变位等。

上述基于大型工程监测方案的分析中,多侧重分析支护结构内力、基坑土体位移和地下水位变化;

收稿日期:2017-06-30; 修回日期:2017-09-10

作者简介:尤弋,男,汉族,1986年生,硕士,从事基坑支护设计、施工、监测及滑坡地质灾害防治工程方面的工作,江苏省南京市江宁区上元大街88号金王府52栋702,113154481@qq.com。

随着城市地下空间构筑物日渐密集,有学者专门研究基坑开挖对周围管线位移的影响。李大勇、龚晓南等<sup>[9]</sup>建立了同时考虑基坑围护结构、土体与地下管线变形耦合作用的三维有限元分析模型,对地下管线保护措施的几种方法进行了数值分析,细致分析了加固措施对减少地下管线位移程度的影响,为工程实际提供参考。段辉乐等<sup>[10]</sup>以天津某深基坑为例,总结了基坑施工工况、基坑长短边和距基坑中心处的距离对周围埋地管线沉降影响规律;并对监测数据进行拟合得到预测管线沉降的经验公式。王德刚等<sup>[11]</sup>以上海浦东新区某基坑工程为例,综合分析了各种工况下管线的位移并提出预防措施。李镜培等<sup>[12]</sup>结合工程实例,研究了框架逆作法施工的超大深基坑的变形特性及其对周边环境的影响,结果表明,框架逆作法可以有效地控制基坑的变形和保护周围环境。然而,这些研究中,多仅关注管线的竖向沉降,而少研究管线水平位移,更未见关于管线竖向沉降与水平位移发展关系的研究。

鉴于此,本文以南京江东软件城一深基坑工程为背景,结合施工过程,分析周围四根管线竖向沉降和水平位移的关系,并探讨二者之间的关系,揭示管线的位移轨迹。这对提高对基坑开挖过程中管线位移发展规律的认识有较大意义,并且可为类似工程管线位移发展规律预测提供建议。

## 1 工程地质条件和基坑设计

该工程为南京江东软件城 ITO 园区 E07 地块工程。基坑主体结构为 3 层地下室,框剪结构,负三层底板顶标高 -12.50 m,底板厚 0.8 m,柱下承台厚 1.5 m。基坑开挖深度为 12.60 ~ 14.60 m,基坑面积约 28000 m<sup>2</sup>,周长 660 m。

### 1.1 工程地质条件

场地地貌单元为长江漫滩,拟建场地拆除后表层堆填较多建筑和生活垃圾。基坑影响深度范围内场地岩土层自上而下分布及各层物理力学参数如表 1 所示。

根据勘察揭示的岩土层结构特征分析,场地地下水为浅层潜水及深层弱承压水。潜水主要分布于①层填土、②<sub>1</sub>、②<sub>2</sub>层软粘土中;③层砂性土及④层粗砂混砾石层中为弱承压水;⑤层基岩中基本不含地下水。场地地下水主要受大气降水补给,以径流、蒸发形式排泄。勘察期间降雨较多,场地潜水稳定

表 1 土层分布及参数

土层	土层名称	层厚 $h/m$	重度 $\gamma/$ ( $kN \cdot m^{-3}$ )	粘聚力 $c/kPa$	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$
①	杂填土	1.8 ~ 5.2	18.8	15.0	10.0
② <sub>1</sub>	淤泥质粉质粘土	5.2 ~ 26.6	18.2	15.0	15.1
② <sub>2</sub>	淤泥质粉质粘土 与粉砂互层	2.2 ~ 19.2	18.2	14.9	16.0
③ <sub>1</sub>	粉细砂	3.7 ~ 17.7	18.9	3.7	31.7
③ <sub>2</sub>	粉质粘土与粉砂 互层	2.2 ~ 31.7	18.0	15.9	9.8
③ <sub>3</sub>	粉细砂及粉土	1.0 ~ 21.6	18.7	4.0	28.6

水位在 1.3 m;承压水稳定水位埋深为 3.1 ~ 3.65 m。

### 1.2 基坑设计

本基坑周边环境复杂,根据基坑周边环境要求确定本工程的侧壁安全等级为一级。根据南京南大岩土工程技术有限公司提供的“南京鼓楼科技园 E07 地块详勘报告”,综合场地的工程地质、水文地质条件及周边环境的保护要求,以“安全可靠,经济合理,技术可行,方便施工”为原则,确定本基坑的支护结构方案如下。

#### 1.2.1 支护结构设计方案

MNAB、CDEFGHJK 段采用  $\varnothing 1100 @ 1300$  钻孔灌注桩加两层钢筋混凝土支撑作为支护结构,支护桩外侧设置  $\varnothing 850 @ 1200$  三轴深搅拌桩作为止水帷幕;BC、KLM 段采用  $\varnothing 1200 @ 1400$  钻孔灌注桩加两层钢筋混凝土支撑作为支护结构,支护桩外侧设置  $\varnothing 850 @ 1200$  三轴深搅拌桩作为止水帷幕;深浅基坑分界处采取 1.45 m 宽水泥土重力式挡墙支护,坑内局部采用三轴深搅拌桩加固,三轴深搅拌桩加固桩与支护桩之间的孔隙采用压密注浆充填连接;塔楼电梯井深坑采用  $\varnothing 800 @ 1000$  钻孔灌注悬臂桩支护,支护桩外侧设单排  $\varnothing 850 @ 1200$  三轴深搅拌桩作为止水帷幕。支护结构典型平面和剖面图如图 1 所示。

#### 1.2.2 地下水处理

支护桩外侧设置  $\varnothing 850$  mm 三轴深搅拌桩作为止水帷幕;基坑内布设 102 口降水井控制性降低地下水承压性,保证土方顺利开挖及主体结构施工;坑外暂布 27 口观测井,观测井具体数量、位置根据止水帷幕冷缝位置及环境保护进行调整,必要时作为坑外回灌井;支护结构顶部采用排水沟疏排大气降水及地表水。

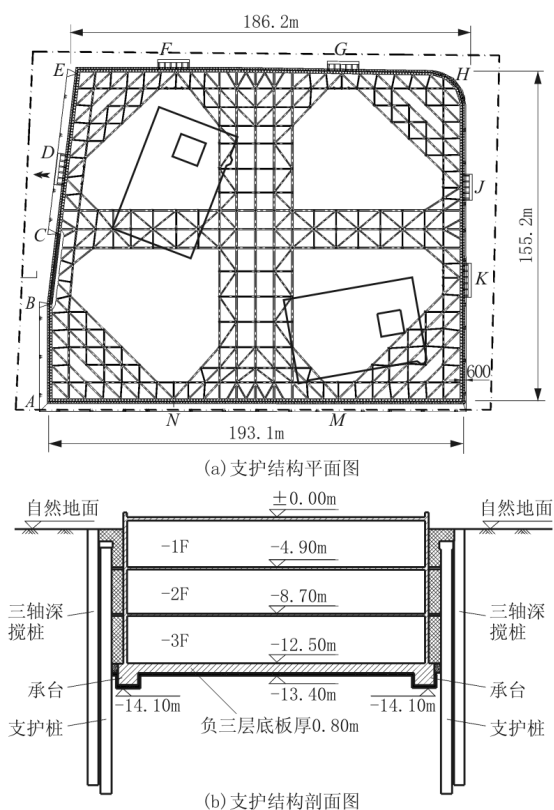


图1 支护结构示意图

## 2 基坑监测和施工方案

本基坑工程侧壁安全等级为一级,基坑开挖及地下结构施工必须加强基坑监测。本基坑具体监测内容包括:支护结构顶部水平位移、沉降,支护结构侧向位移,支撑轴力,支撑立柱沉降,地下水位观测,道路路面沉降,电塔及地下管线水平、垂直位移。本文主要分析其中4根管线的竖向沉降和水平位移。该4根管线位于B点附近,沿基坑竖直剖面的四根管线的相对位置如图2所示。其中,G1和G3管线距离基坑侧壁约6.5m,G2和G4管线距离基坑侧壁10m;G2、G3、G4和G1管线距离地面分别为3.0、4.5、7.0和8.5m。

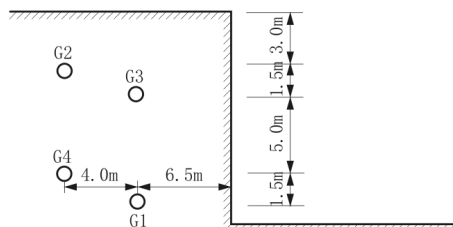


图2 管线相对位置示意图

本工程采用顺作法施工,施工过程如图3所示,包括8种工况。

(1)工况一:施工工程桩、钻孔灌注支护桩、三轴深层搅拌桩及立柱桩;(2)工况二:待深层搅拌桩、钻孔桩达到设计强度80%后,土方开挖至围梁及第一层钢筋混凝土支撑;(3)工况三:待圈梁及第一层钢筋混凝土支撑达到设计强度80%后,土方开挖至围梁及第二层支撑底,施工钢筋混凝土围檩及第二层支撑;(4)工况四:待钢筋混凝土围檩及第二层支撑达到设计强度80%后,土方开挖基坑底标高,及时浇筑垫层至支护桩边;(5)工况五:待垫层达到设计强度后人工掏挖承台、电梯井等深坑,并及时浇筑地下室底板至支护桩桩边;(6)工况六:待地下室底板及换撑结构达到设计强度80%后,拆除第二道钢筋混凝土支撑及围檩;(7)工况七:继续施工地下室主体结构,完成负一、二层底板及换撑结构施工;(8)工况八:待负一、二层地下室底板及换撑结构达到设计强度80%后,拆除第一道钢筋混凝土支撑,继续施工地下室主体结构至±0.00m,地下室外墙与支护桩区域。

## 3 管线位移分析

所分析持续2个半月的测试数据为图3(b)~(f),涵盖整个主要开挖过程。

### 3.1 竖向沉降和水平位移的发展

自2011年6月7日到2011年8月18日,整个开挖过程中,图2所示4根管线竖向沉降和水平位移随监测时间的推移变化情况如图4所示。

由图4可知,6月7日起管线已有初始沉降5~6mm,随着基坑施工的开展,竖向沉降逐渐增大。并在7月中旬出现一个平台,7月10日到7月17日一周内,竖向沉降保持稳定,对应图(d)施工第二道支撑的过程。随着基坑开挖的继续,沉降继续增加,并最终稳定于一个不变的值。该值即对应第三道支撑,即地下室底板的施工。开挖完成后,按沉降位移从大到小排序为G2、G3、G4和G1,即距离地表越近的管线基坑开挖将引起其更大的沉降。

水平位移随施工过程的变化规律与沉降总体一致。但沉降出现第一个平台位置处,即第二道支撑施工后,水平位移不仅不继续发展,而是出现了相反方向的位移。说明第二道支撑对基坑侧壁产生一定压应力,起到了很好的控制变形发展的作用。开挖完成后,按水平位移从大到小排序为G3、G1、G4和

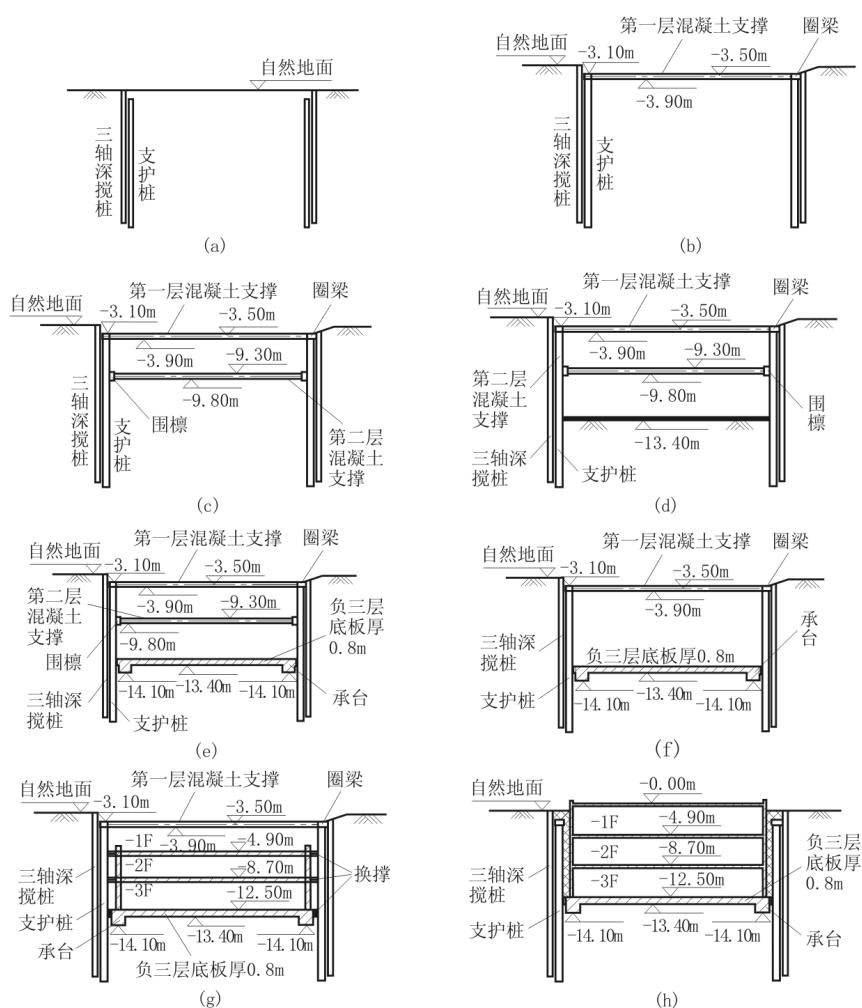


图 3 基坑施工过程

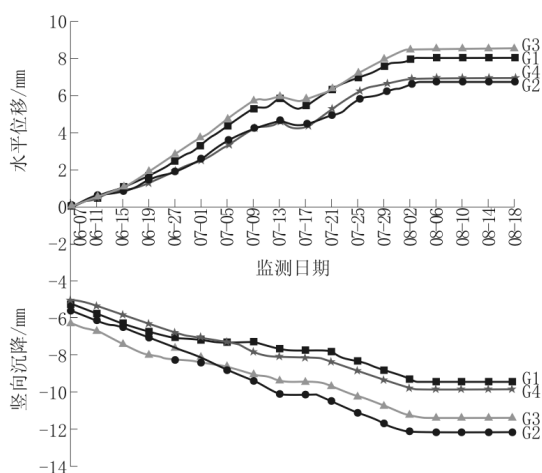


图 4 管线竖向沉降和水平位移随时间的变化

G2;即距离基坑侧壁垂直距离近的 G3 和 G1 管线比距离远的 G4 和 G2 管线水平位移大,相同垂直距离处,近处越靠近地表(G3)水平位移越大,而远处并非如此。

可见,竖向沉降和水平位移的发展是基本同步的。但初始的水平位移为 0,说明沉降是先于水平位移发生的。之后的过程中,随沉降的发展水平位移同时发展,沉降出现第一个平台后水平位移出现平台并略有减小;变形继续发展,最终一起趋于稳定。整个施工过程中,管线竖向沉降均远低于沉降警戒值 28 mm 和沉降报警值 32 mm。说明基坑支护和施工方案安全合理。而竖向沉降的绝对值均大于对应时刻的水平位移值,可见,以相同的控制标准定义竖向和水平的位移值,对于实际竖向位移的控制是偏于保守的。

### 3.2 管线位移轨迹

以监测水平位移为横坐标,竖向沉降为纵坐标,可得到 4 根管线的位移轨迹如图 5 所示。

图 5 中同样可以观察到竖向沉降先于水平位移发生,且竖向位移出现第一个平台时,水平位移略微

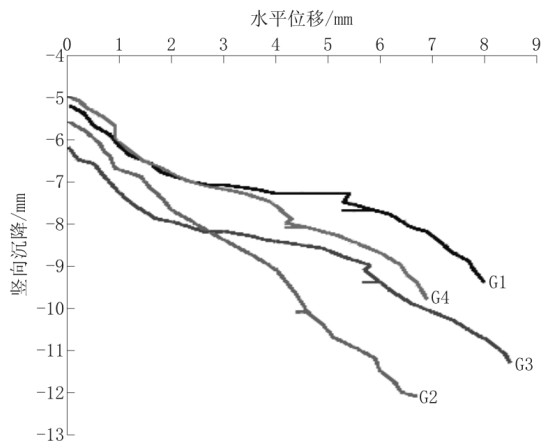


图5 管线位移轨迹

减小。靠基坑侧壁近的 G1 和 G3 管线的位移轨迹基本呈三次多项式曲线的形式,而距离基坑侧壁较远处的 G2 和 G4 管线的位移轨迹呈直线向坑脚移动。

#### 4 结论

结合具体工程的设计和施工方案,对监测的管线位移数据进行分析,得到的结论有。

(1)随基坑施工过程的开展,竖向沉降逐渐发展,并出现第一个平台,对应基坑第二道支撑的施工;随着开挖的进行,沉降继续发展,随着地下室底板的施工,管线沉降趋于稳定。

(2)水平位移的发展总体与竖向位移同步,但第二道支撑施工后,水平位移不仅是不再继续增大,反而减小。说明第二道支撑起到很好的控制水平位移的作用。

(3)竖向沉降先于水平位移发生,二者发展规律一致,最终趋于稳定。但竖向沉降的绝对值始终大于水平位移值,因此规范采用相同警戒值的控制标准,对竖向沉降的控制是偏于保守的。

(4)距离基坑侧壁垂直距离近的管线,位移轨迹为三次多项式曲线;而距离基坑侧壁距离较远处的管线,位移轨迹呈直线向坑脚移动。

#### 参考文献:

- [1] 甄精莲,段仲源,贾瑞晨.深基坑支护技术综述[J].工业建筑,2006,(S1):691-694,713.
- [2] 李钟.深基坑支护技术现状及发展趋势(一)[J].岩土工程界,2001,(1):42-45.
- [3] 李钟.深基坑支护技术现状及发展趋势(二)[J].岩土工程界,2001,(2):45-47.
- [4] 俞建霖,龚晓南.深基坑工程的空间性状分析[J].岩土工程学报,1999,(1):24-28.
- [5] 王晓梅.深基坑监测方法浅析[J].城市地质,2015,(S2):57-61.
- [6] 安关峰,高峻岳.广州地铁公园前地下空间深基坑综合支护监测分析[J].岩土工程学报,2007,(6):872-879.
- [7] 丁智,王达,虞兴福,等.杭州地铁新塘路、景芳路交叉口工程深基坑监测分析[J].岩土工程学报,2013,(S2):445-451.
- [8] 李苏春,袁运涛.苏州凤凰国际书城基坑监测分析[J].水文地质工程地质,2013,(1):129-133.
- [9] 李大勇,龚晓南,张土乔.软土地基深基坑周围地下管线保护措施数值模拟[J].岩土工程学报,2001,(6):736-740.
- [10] 段辉乐,王番.超深基坑邻近地理管线变形规律研究[J].内蒙古煤炭经济,2016,(16):147-150.
- [11] 王德刚,李新同.深基坑施工周边管线变形监测分析和处理[J].上海地质,2007,(2):21-24.
- [12] 李镜培,柏挺,杨军.框架逆作超大基坑施工对周边环境的影响[J].岩石力学与工程学报,2012,(11):2354-2362.