

## 富水砂层深基坑盖挖逆作施工对周边环境的影响\*

黄志强<sup>1</sup> 柳 策<sup>1</sup> 张 宁<sup>1</sup> 王国林<sup>2</sup> 于富来<sup>2</sup>

(1. 沈阳工业大学建筑与土木工程学院, 110870, 沈阳; 2. 中铁上海工程局集团市政环保工程有限公司, 201906, 上海)

**摘 要** [目的] 随着我国城市现代化的不断推进, 城市内可利用的空间越来越少, 而深基坑多建设于环境敏感区域, 基坑施工对周边环境的影响不可避免, 尤其是富水深厚砂层地区的深基坑施工, 一旦施工控制不当极易出现严重危害, 因此需研究富水砂层深基坑盖挖逆作法施工对周边环境的影响。[方法] 以沈阳地铁 4 号线沈阳北站为例, 通过施工监测方法, 分析了深基坑施工过程对地上建筑物、地下构筑物、地下管线、电力管廊的变形影响。[结果及结论] 开挖初期, 地上建筑物以沉降变形为主, 随着开挖深度的增加, 沉降变形逐渐减小, 最终均呈现为隆起变形。地下构筑物变形受基坑开挖面位置影响较大, 当开挖面接近构筑物基础埋深时, 构筑物变形达到最大。地下管线有明显的位置性影响, 右侧管线变形远大于左侧管线变形, 两侧均以沉降变形为主。电力管廊变形与基坑开挖深度密切相关, 当开挖深度较浅时, 电力管廊基本不受影响, 而在车站地下四层开挖施工期间, 电力管廊变形开始逐渐增大。

**关键词** 地铁; 盖挖逆作法施工; 周边环境的影响

**中图分类号** U231.3

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2024.12.030

### Impact of Deep Foundation Pit Covered-excavation Reverse Construction in Water-rich Sand Layers on Surrounding Environment

HUANG Zhiqiang<sup>1</sup>, LIU Ce<sup>1</sup>, ZHANG Ning<sup>1</sup>, WANG Guolin<sup>2</sup>, YU Fulai<sup>2</sup>

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Shenyang University of Technology, 110870, Shenyang, China; 2. Municipal Environmental Production Engineering Co., Ltd., of CREC Shanghai Group, 201906, Shanghai, China)

**Abstract** [Objective] With the continuous advancement of urban modernization in China, the available space within cities is becoming increasingly scarce. Deep foundation pits are often constructed in environmentally sensitive areas, inevitably making impact on the surrounding environment. This is particularly true for deep foundation pits in areas with thick, water-rich sand layers, where improper construction control can easily lead to severe hazards. Therefore, it is necessary to study the

impact of deep foundation pit covered-excavation reverse construction in water-rich sand layers on the surrounding environment. [Method] Using Shenyang North Railway Station on Shenyang Metro Line 4 as an example, the deformation impact of deep foundation pit construction on the above-ground buildings, underground structures, underground pipelines, and power corridors is analyzed through construction monitoring method. [Result & Conclusion] In the initial stages of excavation, the above-ground buildings primarily exhibit settlement deformation. As the excavation depth increases, settlement deformation gradually decreases, eventually presenting as upheaval deformation. The deformation of underground structures is significantly affected by the position of the excavation face, with maximum deformation occurring when the excavation face approaches the foundation buried depth of the structures. Underground pipelines show a clear positional impact, with the deformation of the right-side pipelines being much greater than that of the left-side pipelines, both primarily exhibiting settlement deformation. The deformation of power corridors is closely related to foundation pit excavation depth. When the excavation depth is relatively shallow, the power corridors are largely unaffected, but during the excavation of the fourth underground level of the station, the deformation of the power corridors begins to increase gradually.

**Key words** metro; covered-excavation reverse construction method; impact on surrounding environment

地铁车站大多位于城市繁华区域, 所建地铁车站周边地上高层建筑物及地下构筑物往往较为密集, 且基坑周边存在大量地下管线, 基坑施工难度日益增加。基坑降水及开挖施工过程会打破周边地下土体的平衡状态, 造成土体发生一定程度的位移, 引起基坑周边建筑物或管线结构发生变形, 进而出现建筑物裂缝、道路塌陷、管线损坏等危险。

基于基坑周边的复杂环境情况, 已有文献对基坑周边的环境风险进行了研究。文献[1-2]基于数

\* 国家自然科学基金项目(42007241)

值模拟、施工监测等方法,研究了基坑施工过程中邻近地下管线的变形情况,研究结果表明,地下管线竖向位移变形程度与地下管线材质及位置、基坑深度、施工方法等因素密切相关。文献[3-4]基于实测和数值模拟方法,分析了城市地带、富水软弱砂层基坑施工对周边环境的影响。文献[5]基于实时监测数据,分析了基坑开挖对邻近老建筑物的影响,研究结果表明,老建筑物在开挖阶段的变形主要以横向变形为主。文献[6-7]分析了基坑施工过程中的邻近隧道及下卧隧道的变形规律,并针对隧道变形情况提出了相应的施工控制方法。

针对数值模拟结果与实际施工数据存在一定差异性的问题,本文通过监测方法对沈阳地铁4号线沈阳北站富水砂层深基坑盖挖逆作法施工过程中,周边地上建筑物、地下构筑物、地下管线、横穿基坑电力管廊的竖向位移变化规律进行了分析。本文研究可为复杂环境下深基坑施工的风险研究提供参考与借鉴。

## 1 工程概况

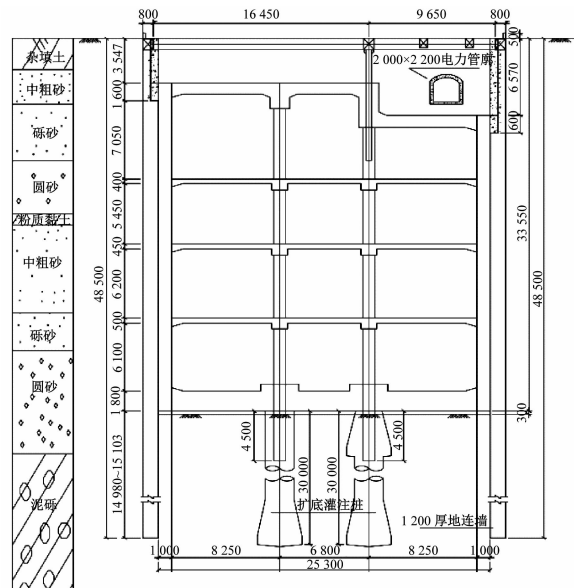
### 1.1 设计概况

沈阳北站位于北站路与友好街丁字路口右侧,沿北站路东西方向敷设。该车站为地下四层双柱三跨岛式车站,车站长为148.4 m,站台宽度为16.0 m,车站标准段、盾构井段宽度分别为25.3 m、29.3 m,车站顶板覆土厚为4.0 m,电力管廊限制顶板下沉段覆土厚为6.9 m,车站标准段及盾构井段底板埋深分别为33.55 m、35.45 m。

围护结构采用地下连续墙(以下简称“地连墙”)形式,其幅宽为6.0 m,宽为1.2 m,深为48.5~51.0 m,共计60幅。车站顶板下沉段厚为1.1 m,非下沉段厚为1.0 m;负一层、负二层、负三层中板厚为0.40 m、0.45 m、0.50 m,底板厚为1.80 m;车站标准段侧墙厚为1.0 m,扩大端侧墙厚为1.1 m;中间桩柱采用钢管柱+扩底桩形式,顶板覆土厚为4.0 m范围内采用单扩底桩,顶板下沉段覆土厚为6.9 m范围内采用双扩底桩,单、双扩底桩各18根,其有效桩长均为30 m。车站剖面示意图如图1所示。

### 1.2 地质与水文条件

基坑施工场地土层从上至下的分布情况为:①杂填土(Q4ml);④中粗砂(Q42al);④砾砂(Q42al);④圆砾(Q42al);⑤粉质黏土(Q32al +



单位:mm

图1 车站剖面示意图

Fig. 1 Diagram of station profile

pl),该层为薄夹层且不连续分布;⑤中粗砂(Q32al + pl);⑤砾砂(Q32al + pl);⑤圆砾(Q32al + pl);⑦泥砾(Q1gl)。地下水类型主要为第四系孔隙潜水,稳定水位埋深为16.50~17.00 m,地下土层从36 m开始见泥砾层。该工程地下水含量丰富,土层渗透性强,周边环境敏感,基坑降水需采用坑内疏干+坑外泄压相结合的降水方式。

### 1.3 砂土物理力学特性

基坑施工场地地层主要由第四系全新统和更新统黏性土、砂类土及碎石类土组成,地下水主要储存于砂土层。沈阳地区的砂土具有黏聚力小、易松散、自稳能力差、颗粒之间摩阻力较高、压缩性小等特点,且地层具有较强的渗透性,渗透系数为80~110 m/d。

### 1.4 基坑周边环境概况

基坑周边环境异常复杂,存在8个一级风险源,其基本环境概况如表1所示。

## 2 基坑开挖方案及监测方案

### 2.1 基坑开挖方案

沈阳北站基坑地下土体开挖采用分层分区、对称跳槽开挖方案。该基坑开挖区域由于电力管廊存在,在开挖至顶板的过程中需要施作管廊悬吊体系,然后开挖至顶板位置并施作顶板、顶梁等结构。在盖挖逆作法施工过程中,基坑中层板作为主要支

表 1 基坑周边环境概况

Tab.1 Overview of foundation pit surrounding environment

序号	风险源名称	基本情况描述
1	时代广场酒店	筏板基础结构,地上四层和五层、地下二层结构,距盾构井结构外边线水平距离为 15.00 m
2	地下停车场 (I) 区	地下二层箱型结构,底板埋深为 12.05 m,顶板覆土厚为 1.5 m,与车站主体水平距离为 17.15 m
3	地下停车场 (II) 区	地下二层箱型结构,底板埋深为 12.45 m,顶板覆土厚为 1.50 m,与车站主体水平距离为 5.76 m
4	友好街地下灯饰城及换乘通廊	地下一层箱型结构,底板埋深为 8.80 m,顶板覆土厚为 1.80 m;友好街地下灯饰城出入口及连接通道与主体结构水平距离为 8.20 m,换乘通廊与车站主体西侧盾构井结构水平距离为 7.70 m
5	灯饰城仓库	地下一层箱型结构,底板埋深为 6.85 m,顶板覆土厚为 1.70 m,与主体结构水平距离为 5.80 m
6	国铁换乘中央大厅	地下一层箱型结构,底板埋深为 8.58 m,顶板覆土厚为 1.55 m,与主体结构端头水平距离为 1.70 m
7	电力管廊	内净空为 2.0 m×2.2 m 钢筋混凝土结构,埋深为 6.50 m,东西方向横穿基坑内部,位于基坑南半幅顶板之上,与标准段主体结构内边线距离 0.80~1.06 m,与东、西侧端头井结构内边线距离为 2.97 m、2.61 m,管廊底与未下沉段及下沉段顶板最低处距离分别为 0.72 m、1.12 m
8	地下管线	地下管线主要为 DN 1 000 mm 及 DN 500 mm 排水管线,管线埋深为 1.00~3.00 m,距地连墙 3.40~9.20 m

撑结构,在开挖地下一层、二层、三层、四层土体时需要分别待顶板、地下一层底板、地下二层底板、地下三层底板 C40 混凝土的强度达到设计强度时,再分层、分区、对称跳槽开挖下层土体。本工程的车站基坑为地下四层结构,每层土体划分为 7 个单元

区域,沈阳北站主体基坑开挖分区示意图如图 2 所示。具体土方开挖过程为,先开挖每层土体的①区和③区土体,再开挖②区和④区土体,该方案可以充分利用 4 个出土口,出土效率较高。

## 2.2 监测方案

### 2.2.1 监测难点分析

本工程监测的重点、难点为:①地下车站周边环境异常复杂,周边建筑物及地下构筑物较多,进行监测时行人车辆往往较多,存在一定的危险性,且具有较多的不稳定性;②基坑周边存在大量地下管线,其埋深均位于地面 1.0 m 以下,故无法直接对其变形情况进行监测,只能采取间接法监测,且基坑外侧车流量较大,地下管线监测点布置存在一定的困难;③基坑上方存在横穿基坑的电力管廊,由于电力管廊与路面高差较大,无法布设直接监测点,故需在电力管廊上方、地面下方 50 cm 处埋设液压式静力水准仪,布设间接监测点;④在顶板施工完成后需进行覆土回填,以恢复既有路面,在覆土回填过程中,测点容易发生损坏。

### 2.2.2 基坑周边环境风险监测方案

沈阳北站基坑周边环境的监测等级均为一级,在盖挖逆作法开挖施工过程中,对基坑周边的建筑物、地下构筑物、邻近地下管线及横穿基坑的电力管廊变形情况进行全面监测,监测点布置情况示意图如图 3 所示。基坑周边环境监测项目及其控制值如表 2 所示。

## 3 基坑周边环境监测结果分析

### 3.1 基坑周边地上建筑物

时代广场酒店为地上四层、五层及地下二层的筏板基础结构,距基坑盾构井外边线 15 m。时代广场酒店各监测点竖向位移历时曲线如图 4 所示。时代广场酒店的竖向位移受基坑开挖时间的影响较

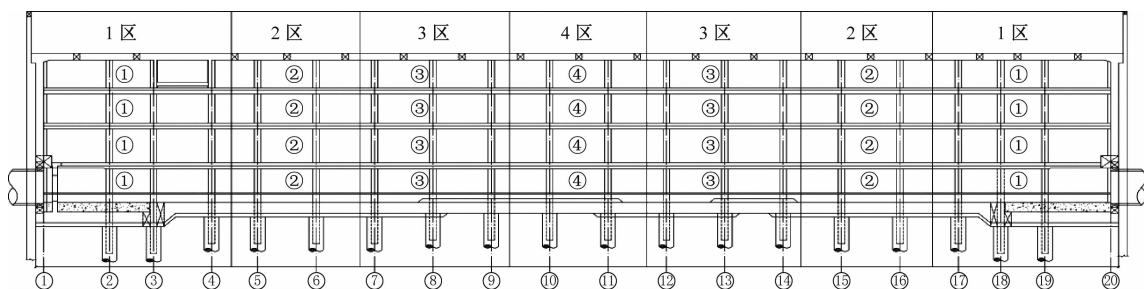


图 2 沈阳北站主体基坑开挖分区示意图

Fig.2 Diagram of Shenyang North Railway Station mainbody foundation pit excavation partition

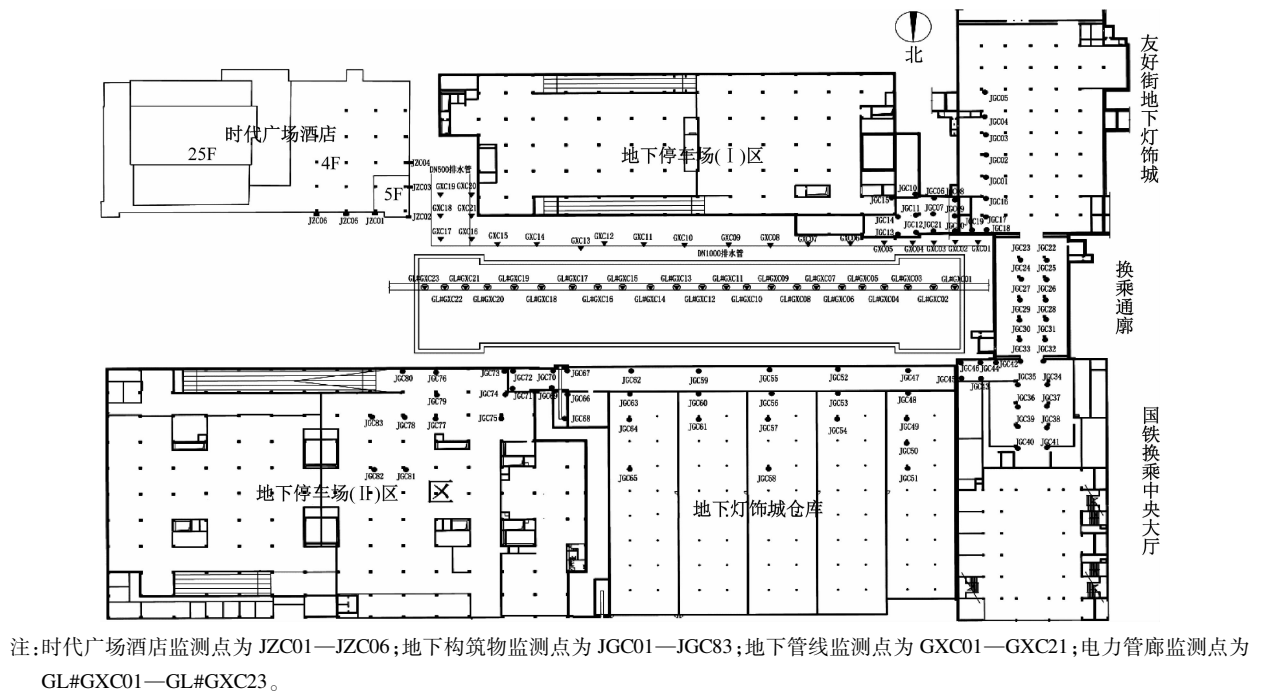


图 3 基坑周边监测点布置示意图  
Fig. 3 Layout diagram of foundation pit surrounding monitoring points

表 2 基坑周边环境监测项目及其控制值

Tab. 2 Foundation pit surrounding environment monitoring items and their control values

监测项目	测点布置位置及间距	测点数/ 个	监测仪器	监测控制值		预警等级		
				累计变形/ mm	变形速率/ (mm/d)	红色	橙色	黄色
周边建筑 物变形	布设在建筑物拐角外墙处,间距 为 15~30 m	6	电子水准仪	20	2	20.00 mm、 2.00 mm/d	17.00 mm、 1.70 mm/d	14.00 mm、 1.40 mm/d
周边构筑 物变形	布设在柱或墙上,间距为 5~ 15 m	83	电子水准仪	20	2	20.00 mm、 2.00 mm/d	17.00 mm、 1.70 mm/d	14.00 mm、 1.40 mm/d
地下管线 变形	布设在管线接头及敏感处,间距 为 10~15 m	31	液压式 静力水准仪	35	3	35.00 mm、 3.00 mm/d	29.75 mm、 2.55 mm/d	24.50 mm、 2.10 mm/d
电力管廊 变形	布设在管廊顶部,间距为 5~ 10 m	23	液压式 静力水准仪	20	2	20.00 mm、 2.00 mm/d	17.00 mm、 1.70 mm/d	14.00 mm、 1.40 mm/d

注:预警等级中第 1 个数值为累计变形预警等级值,第 2 个数值为变形速率预警等级值。

为显著,建筑物测点的竖向位移呈现出开挖前期沉降逐渐增大、开挖中期沉降变小且趋于稳定、开挖后期隆起变形逐渐增大的趋势。开挖前期,即地下一层、地下二层开挖过程中,土体卸载效应不明显;随着开挖深度的增加,建筑物的沉降变形不断变大。开挖中期,即地下三层开挖过程中,基坑需进行坑内疏干+坑外泄压降水施工;随着降水时间的增加,建筑物的沉降变形逐渐增大,而此时基坑内部的开挖深度也逐渐增大,土体卸载效应愈加明显;在卸载效应引起的基底回弹变形和坑外泄压降水引起的沉降变形共同作用下,建筑物呈现为稳定

的沉降变形。开挖后期,即地下四层开挖过程中,由于基坑开挖深度达到了 35 m,受土体卸载效应影响,基底发生较大的回弹变形,使邻近建筑物产生一定的隆起变形。  
以 JGC04 测点在施工全过程的变形情况为例,2021 年 3 月 22 日、6 月 5 日由于地下一层、地下二层层板等结构的施作,测点的沉降变形逐渐减小;2021 年 11 月 27 日基坑底板开始施作后,建筑物隆起变形的增长趋势得到了遏制;随着底板的施作进程,建筑物的变形最终趋于稳定。由此可知,分层、分区、对称跳挖土方开挖和盖挖逆作法施工方法可



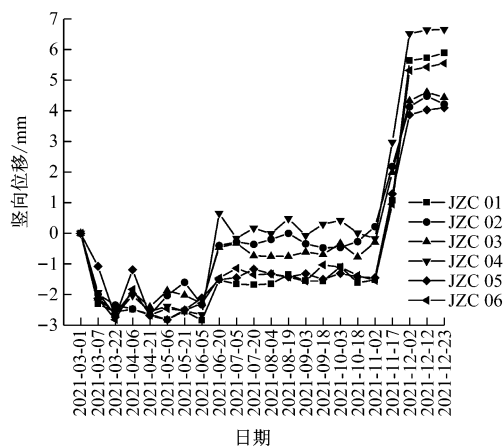


图4 时代广场酒店各监测点竖向位移历时曲线

Fig. 4 Time-history curve of Times Square Hotel vertical displacement at each monitoring point

有效减少基坑施工对周边建筑物的影响。

### 3.2 基坑周边地下构筑物

基坑周边存在较多的地下构筑物,其中:地下停车场(Ⅰ)区、(Ⅱ)区的底板埋深分别为12.05 m、12.45 m,与基坑距离分别为17.15 m、5.76 m;地下灯饰城及换乘通廊底板埋深均为8.8 m,与基坑距离分别为8.2 m、7.7 m;地下灯饰城仓库、国铁换乘大厅底板埋深分别为6.85 m、8.58 m,与基坑距离分别为5.8 m、1.7 m。基坑开挖施工完成后,各地下构筑物的最大竖向位移如表3所示。由表3可知:63个监测点呈现为沉降变形,20个监测点呈现为隆起变形,最大沉降变形为2.5 mm,最大隆起变形为1.1 mm。由此可知,基坑盖挖逆作施工对构筑物的影响主要以沉降变形为主。

表3 各地下构筑物最大竖向位移

Tab. 3 Maximum vertical displacement of each underground structure

名称	最大变形值/mm		所有测点变形类型数量统计/个	
	沉降	隆起	沉降	隆起
地下灯饰城	2.2(JGC02)	0.3(JGC05)	4	1
地下停车场(Ⅰ)区	2.5(JGC09)	0.8(JGC20)	14	2
换乘通廊	1.8(JGC46)	0.8(JGC39)	18	7
地下灯饰城仓库	1.2(JGC55)	1.1(JGC69)	18	8
地下停车场(Ⅱ)区	1.8(JGC77)	1.0(JGC83)	9	2

选取表3中各构筑物的最大沉降变形测点及最大隆起变形测点,分析上述各测点历时数据,结果如图5所示。在施工全过程中,地下构筑物的竖向

位移呈现出先增大后减小再增大、最后趋于稳定的变化趋势。地下构筑物的变形过程主要分为两个阶段:①第1阶段——顶板、地下一层、地下二层施工阶段;②第2阶段——地下三层、地下四层施工阶段。

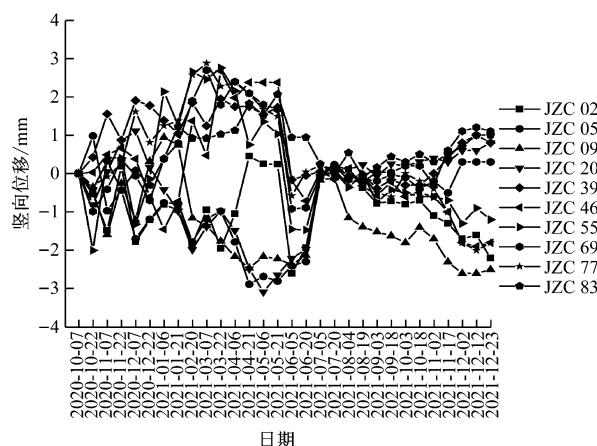


图5 各地下构筑物最大竖向变形监测点的竖向位移历时曲线

Fig. 5 Vertical displacement time-history curves of maximum vertical deformation monitoring points of each underground structures

第1阶段中,车站地下二层开挖时各构筑物测点的竖向位移较大。由此可知,地下构筑物的埋深与基坑开挖面距离越近,其竖向位移变形越大。在2021年6月5日地下二层结构开始施作后,其竖向位移变形迅速减小。由此可知,盖挖逆作法施工对基坑周边地下构筑物的竖向位移有明显的控制作用。

第2阶段中,随着施工进度,各测点的竖向位移逐渐增大,基坑开挖深度越深,周边构筑物变形越大;后期基坑底板施作后,各测点的竖向位移逐渐趋于稳定且有变小的趋势。由此可知,底板的施作对构筑物的竖向变形具有一定的遏制作用。在该阶段发生沉降变形的测点增长趋势明显大于隆起测点的变化趋势,其主要原因为,该阶段施工过程中进行了长达3个月的坑外泄压降水,降水对基坑周边构筑物造成了一定的沉降影响。

### 3.3 地下管线

基坑南侧的地下管线主要为DN 1 000 mm及DN 500 mm排水管线,管线埋深为1~3 m,距地连墙3.4~9.2 m。基坑施工完成后,地下管线的最终竖向位移如图6所示。由图6可知:基坑施工对地下管线的变形影响较大;测点GXC11右侧部分的

地下管线均发生了较大的沉降变形,其中,GXC06 测点处的最大沉降变形达到了 31.9 mm;GXC11 左侧部分的地下管线最大隆起变形为 5.2 mm,位于测点 GXC14 处,最大沉降变形为 5.1 mm,位于测点 GXC21 处;基坑右侧地下管线变形远大于左侧地下管线变形。

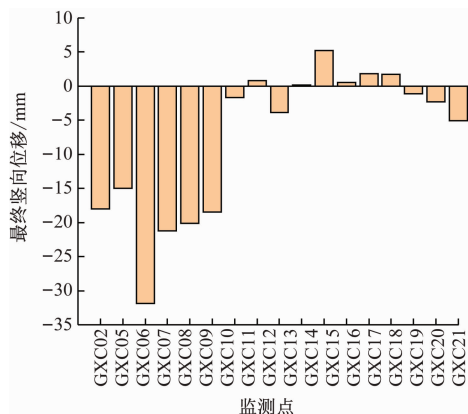


图 6 地下管线最终竖向位移

Fig. 6 Final vertical displacement of underground pipelines

选取地下管线的部分测点,对其历时数据进行分析,结果如图 7 所示。基坑右侧的地下管线测点受施工过程的影响较为明显,左侧测点 GXC14、GXC16 的变形受施工过程的影响较小,主要发生隆起变形。随着施工进度,基坑右侧地下管线除 GXC06 测点外,其余测点的变形均呈现出变形逐渐增大与变形稳定两个阶段,即地连墙、顶板、地下一层、地下二层施工和地下三层、地下四层、降水施工两个阶段。在第 1 阶段中,地下管线变形受施工阶段的影响较大,随着开挖进程,管线的沉降变形也逐渐增大。在第 2 阶段中,即 2021 年 6 月 5 日后,地下管线变形受施工阶段的影响较小,管线变形量有较小的波动;在 2021 年 8 月 19 日后,管线变形趋于稳定状态。在支撑结构施作期间,地下管线的沉降值有所降低。由此可知,支撑结构的施作对地下管线的沉降变形具有一定的控制作用。

基坑右侧 GXC06 测点的变形最大,在 2021 年 8 月 4 日后,该管线的变形达到了橙色预警。随着施工进度,该测点的变形值有逐渐增大的趋势,并于 2021 年 9 月 3 日达到了最大变形值 34.85 mm,逼近管线的变形控制值 35.00 mm。此时,暂缓进行该测点邻近区域的施工,加固该管线测点附近土体,采取在管线及地连墙之间注浆加固的方法,减缓管线沉降变形。加固后,该测点沉降位移的增大

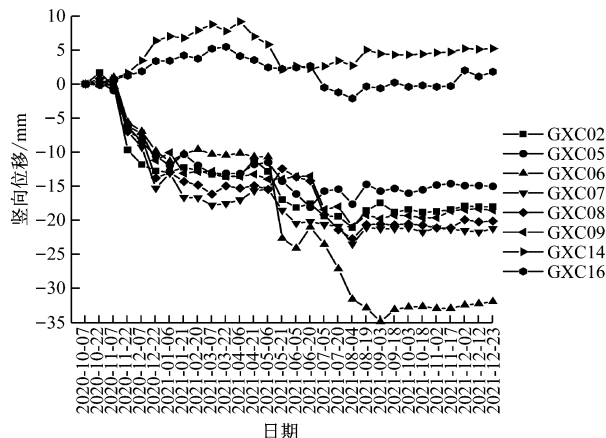


图 7 地下管线部分测点竖向位移历时曲线

Fig. 7 Vertical displacement time-history curves of underground pipeline at some measuring points

趋势得到了遏制,沉降变形有所减小。由此可知,压密注浆方法对稳定地下管线变形有一定的作用。

### 3.4 电力管廊

电力管廊为内净空  $2.0\text{ m} \times 2.2\text{ m}$  的钢筋混凝土结构,埋深为 6.5 m,位于基坑南半幅顶板之上,东西向横穿整个基坑,与基坑顶板距离为 0.72 ~ 2.97 m。基坑施工完成后,电力管廊的最终竖向位移位移如图 8 所示。由图 8 可知:基坑施工对电力管廊的影响主要以沉降变形为主;管廊中间部位的变形明显大于管廊端部的变形,最大沉降变形为 2.2 mm,位于 GL#GXC14 处;部分测点发生隆起变形,但最大隆起变形仅为 0.7 mm,位于 GL#GXC16 测点处。由此可知,电力管廊变形受基坑施工影响较小,其变形值远小于黄色预警值 14.0 mm。

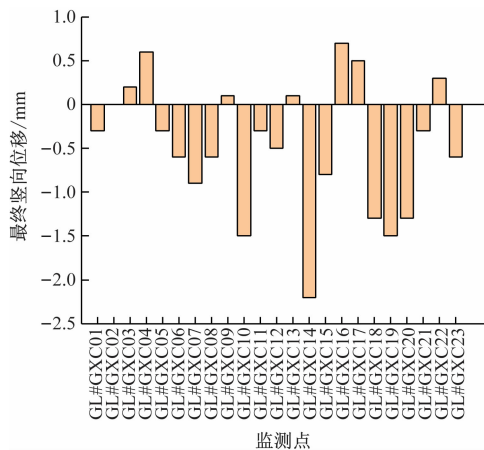


图 8 电力管廊最终竖向位移

Fig. 8 Final vertical displacement of power pipe gallery

选取电力管廊部分测点,对其历时数据进行分析

析,结果如图9所示。电力管廊在2021年11月2日之前的施工过程中基本未发生明显的变形,由此可知,基坑降水及前期开挖施工对电力管廊的影响较小。施工后期,即地下四层施工过程中,电力管廊的竖向位移呈现出明显的增长趋势;随着开挖深度的增加,电力管廊的竖向位移不断增大,其中沉降测点的增长速率大于隆起测点的增长速率。基坑底板开始施作后,电力管廊竖向位移的增大速率有所减缓,底板施作完成后,其竖向位移变形减缓且部分测点变形减小。由此可知:当基坑开挖深度未超过一定界限时,电力管廊的变形受开挖影响较小;施工后期,随着开挖深度的增加,电力管廊的变形不断增大;底板施作对管廊的变形具有一定的控制作用。

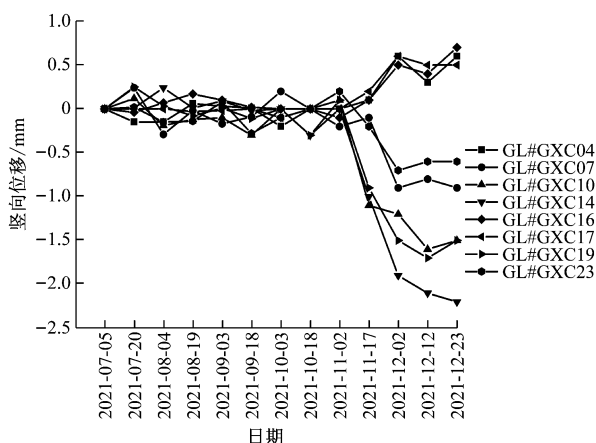


图9 电力管廊部分测点竖向位移历时曲线

Fig. 9 Vertical displacement time-history curves of power pipe gallery at some measuring points

## 4 结语

本文利用现场监测方法,主要分析了富水砂层地质条件下深基坑盖挖逆作法施工对邻近地上建筑物、地下构筑物、地下管线及电力管廊的竖向位移影响规律。主要获得以下结论:

1) 基坑开挖前期,邻近地上建筑物的沉降变形随着开挖的进程不断增大;降水施工期间,在坑内开挖及坑外泄压降水共同作用下,地上建筑物的沉降变形有所减小,且呈现出稳定的沉降变形趋势;施工后期,随着基坑开挖深度的不断增加,基底回弹影响明显,建筑物沉降变形逐渐减小,最终呈现为隆起变形。

2) 基坑周边地下构筑物竖向位移受基坑开挖面位置影响较大;随着开挖深度的不断增加,构筑

物竖向位移逐渐增大;当开挖面位置与构筑物基础位置接近时,构筑物变形达到最大值,支撑结构施作后的构筑物变形值降至最小;施工后期,地下构筑物竖向位移随着开挖深度的增加而不断增大;底板施作后,地下构筑物变形呈现出减小的趋势。

3) 地下管线竖向位移受管线位置影响较大,基坑右侧地下管线沉降位移远大于基坑左侧管线变形。随着基坑开挖深度的增加,地下管线变形呈现为先增大后趋于稳定的趋势。

4) 电力管廊变形具有一定的界限效应;当开挖深度未超过界限值时,电力管廊受基坑施工影响较小;当开挖深度超过界限值时,电力管廊的竖向位移随着开挖深度的增加而不断增大;施工完成后,电力管廊竖向位移趋于稳定。

5) 基坑施工完成后,地上建筑物的最大隆起变形为6.66 mm,地下构筑物的最大沉降变形为2.50 mm,地下管线的最大沉降变形为31.90 mm,电力管廊的最大沉降变形为2.20 mm。由此可知,盖挖逆作法施工可有效降低基坑周边的环境风险,但施工过程中需加强对地下管线的变形控制。施作底板可以极大地减缓周边环境变形的增长速率,建议类似基坑工程施工时,在开挖完成后,应尽快施作底板,以减少基坑暴露时间。

## 参考文献

- [1] 奚家米,熊元林,张驰,等. 复杂环境下软土深基坑开挖对周围环境的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2021, 42(1): 68.  
XI Jiami, XIONG Yuanlin, ZHANG Chi, et al. Influence of excavation of deep foundation pit in soft soil on surrounding environment in complex environment[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science), 2021, 42(1): 68.
- [2] 孙超,许成杰. 基坑开挖对周边环境的影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2019, 49(6): 1698.  
SUN Chao, XU Chengjie. Influence of excavation of a deep excavation on the surrounding environment[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2019, 49(6): 1698.
- [3] YANG Y, LI X, CHEN Y. The influence of different excavation methods on deep foundation pit and surrounding environment[M] // Lecture Notes in Civil Engineering. Singapore: Springer Singapore, 2022: 109.
- [4] 丁志刚,邹强,包文成,等. 盖挖逆作法施工对基坑周边变形影响研究[J]. 人民长江, 2021, 52(增刊1): 159.  
DING Zhigang, ZOU Qiang, BAO Wencheng, et al. Study on the influence of top-down construction method of cover excavation on the deformation around foundation pit[J]. Yangtze River, 2021,



- 52(S1): 159.
- [5] 王霖雯. 新发地地铁站深基坑开挖对邻近地下管线变形影响分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2021.
- WANG Linwen. Analysis on the influence of deep foundation pit excavation on the deformation of adjacent underground pipelines in Xinfadi subway station[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2021.
- [6] 张杰. 深基坑开挖对周边建筑物及地下管线的影响研究[D]. 长春: 吉林建筑大学, 2021.
- ZHANG Jie. Study on the influence of deep foundation pit excavation on surrounding buildings and underground pipelines[D]. Chanchun: Jilin Jianzhu University, 2021.
- [7] 范迪. 地铁深基坑开挖对既有管线变形影响规律研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2018.
- FAN Di. Study on the influence law of subway deep foundation pit excavation on the deformation of existing pipelines[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2018.
- [8] 施有志, 李秀芳, 林树枝. 城市中心地带地铁深基坑开挖对周边环境实测分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2017, 37(6): 900.
- SHI Youzhi, LI Xiufang, LIN Shuzhi. Monitoring analysis of effects of subway deep excavation on surroundings in city heartland[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2017, 37(6): 900.
- [9] SONG D, CHEN Z, DONG L, et al. Monitoring analysis of influence of extra-large complex deep foundation pit on adjacent environment: a case study of Zhengzhou City, China[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2020, 11(1): 2036.
- [10] 喻伟, 陈鑫磊, 张学民. 深圳富水软弱地层深基坑施工对周边环境实测分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(9): 2251.
- YU Wei, CHEN Xinlei, ZHANG Xuemin. Analysis on the influence of deep foundation pit construction in water-rich soft ground of Shenzhen on surrounding environment[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2020, 17(9): 2251.
- [11] 郑翔, 汤继新, 成怡冲, 等. 软土地区地铁车站深基坑施工全过程对邻近建筑物影响实测分析[J]. 建筑结构, 2021, 51(10): 128.
- ZHENG Xiang, TANG Jixin, CHENG Yichong, et al. Measured analysis on the impact of entire construction process of deep foundation pits of subway stations on neighboring buildings in soft soil areas[J]. Building Structure, 2021, 51(10): 128.
- [12] 唐新华, 李向阳, 张俊赞, 等. 复杂环境下基坑开挖工序对周边构筑物的变形影响分析[J]. 建筑结构, 2022, 52(增刊1): 2531.
- TANG Xinhua, LI Xiangyang, ZHANG Junyun, et al. Analysis of the influence of foundation pit excavation process on the deformation of surrounding structures in complex environment[J]. Building Structure, 2022, 52(S1): 2531.
- [13] CHEN W, WEI X, FAN J, et al. Monitoring analysis of a deep foundation pit construction adjacent to old buildings[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 780(5): 052015.
- [14] 吕高乐, 易领兵, 杜明芳, 等. 软土地区双侧深基坑施工对邻近地铁站及盾构隧道变形影响的分析[J]. 地质力学学报, 2018, 24(5): 682.
- LYU Gaole, YI Lingbing, DU Mingfang, et al. Analysis of influence of deep foundation pit construction on deformation of adjacent subway station and shield tunnel in soft soil area[J]. Journal of Geomechanics, 2018, 24(5): 682.
- [15] 王凯蒙. 近接施工对既有地铁隧道稳定性影响及应对措施研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2019.
- WANG Kaimeng. Study on the influence of proximity construction on the stability of existing subway tunnel and the countermeasures[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2019.
- [16] 周守强, 汪鹏程, 王景. 潜水地区深基坑降水开挖对下卧隧道影响分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2022, 45(3): 356.
- ZHOU Shouqiang, WANG Pengcheng, WANG Jing. Analysis of the effect of dewatering excavation of deep foundation pit in phreatic aquifer on underlying tunnel[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2022, 45(3): 356.
- 收稿日期:2022-09-30 修回日期:2022-11-15 出版日期:2024-12-10  
Received:2022-09-30 Revised:2022-11-15 Published:2024-12-10
- 第一作者:黄志强,教授,371564093@qq.com  
通信作者:柳策,硕士研究生,1194536812@qq.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

## 敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯、深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

