

地铁深基坑支护体系多项目监测数据分析

刘旺军

上海京海工程技术有限公司, 上海 200120

[摘要]随着城市的不断发展,地上的空间有限,地下空间内的地铁深基坑施工便高速发展起来,在这些深基坑施工期间很多问题也凸显出来了。开挖基坑地质条件不良,以及周边环境复杂,因此需要专业的人员进行基坑监测,并根据数据变化对基坑支护变形的实际情况进行合理分析,单独分析一种项目监测数据不能客观反映施工质量程度及安全状态,这时候就需要对多项目的系统监测数据去分析,多项目监测数据系统性分析对施工具有指导意义,有一定的前瞻性,能一定程度上提前发现安全隐患,确保地铁工程能安全顺利完成。

[关键词]墙顶沉降; 墙顶水平位移; 墙体水平位移; 轴力监测; 水位监测

DOI: 10.33142/sca.v5i7.7868

中图分类号: U2

文献标识码: A

Multi-project Monitoring Data Analysis of Subway Deep Foundation Pit Support System

LIU Wangjun

Shanghai Jing Hai Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract: With the continuous development of the city and the limited space on the ground, the subway deep foundation pit construction in the underground space has developed rapidly, and many problems have also emerged during these deep foundation pit construction. The geological conditions of the excavation foundation pit are poor and the surrounding environment is complex. Therefore, professional personnel are required to monitor the foundation pit and reasonably analyze the actual situation of the foundation pit support deformation according to the data changes. The monitoring data of a single project cannot objectively reflect the construction quality and safety status. At this time, it is necessary to analyze the system monitoring data of multiple projects, Systematic analysis of multi-project monitoring data has guiding significance for construction and is forward-looking to a certain extent, which can detect potential safety hazards in advance to ensure the safe and smooth completion of the subway project.

Keywords: wall top settlement; horizontal displacement of wall top; horizontal displacement of wall; axial force monitoring; water level monitoring

1 工程概况

XX 风井位于复兴路和老复兴路 T 字路口南侧,中河北侧,沿复兴路铺设。周边现状西侧为加油站,南侧为中河。风井起点里程右 K7+620.279 (左 K7+621.751),中心里程右 K7+630.081 (左 K7+631.856),终点里程右 K7+639.885 (左 K7+641.695),全长 19.9m (轴线距离)。

南侧中河距 XX 风井主体基坑围护外皮 15.9m,附属风亭围护外皮 7.1m。白塔桥距离基坑外皮 25.6m。西侧加油站油库离基坑外皮最小距离 19.3m。

复兴路上管线众多,其中有 1000 给水管(埋深 1.3m)、1000 污水压力管(埋深 1.8m),电力管沟 1800×1450(10kV 埋深 1.25m)等。

2 监测项目

2.1 监测项目

根据本工程基坑分区明挖顺筑法施工的特点,结合现场的周边环境情况及基坑围护设计提出的监测技术要求,本基坑主要监测内容按照一级监测等级布设如下:

- a 围护墙侧向变形(测斜);
- b 支撑轴力;

- c 地下水位;
- d 墙顶沉降及水平位移;
- e 立柱沉降;
- f 周边地下管线垂直位移;
- g 坑周地表沉降;
- h 周围建构筑物沉降;

2.2 测点布设顺序和测点保护措施

(1) 监测点布设顺序

各项监测点的布设随基坑工程的施工工序而开展,基本按以下顺序进行:

- ①管线改迁施工时随施工进行地下管线监测点布设、建(构)筑物沉降点。
- ②地下连续墙施工时,同步安装墙体内部的测斜管。
- ③连续墙坑内外加固施工完后,布设地表沉降点,钻孔埋设坑外水位孔。
- ④连续墙顶的圈梁浇筑时,同步埋设墙顶的沉降及位移测点,并做好测斜管的保护工作,进行初始值的测取工作。
- ⑤第一道支撑施工时,同步安装支撑轴力计,并测出初读数。

- ⑥布设立柱沉降点。
- ⑦基坑开挖前，测出上述各测试项目的初始值。
- ⑧随着基坑的开挖，第二道、第三道支撑的应力计随支撑的施工而同步安装。

(2) 监测点的保护措施

监测点布设过程中以及布设完成后均要做好明显的标记，便于后期寻找及保护工作。

①监测人员在监测工作期间常驻现场，每日对监测点进行巡视保护。

②对关键部位监测点，设置完成后与施工单位管理人员进行沟通，请求协助保护。

③监测过程中施工现场监测点容易被大型机械碾压破坏，发现监测点被破坏应及时通报业主、监理和施工总包方并及时重新埋设，重新取得初始值后监测数据在破坏前的累计上继续延续，确保测点监测数据的连续性。

④对于各类监测孔，一旦破坏将难以恢复，必要时采取特别保护措施。

⑤墙体测斜孔由于在顶圈梁施工时极易遭到破坏，除加强巡视外，还及时用布条堵塞防止异物掉入孔内；混凝土浇筑前检查管口是否接至圈梁顶部。

2.3 监测工作方法

2.3.1 沉降测量

基准点：基准点高程采用值为最新测量成果。监测工作实施前在基坑周边3倍影响范围外布设不少于3个浅埋点作为工作基点，与施工单位给定的交桩点进行联测，以不低于1次/月的频率进行基准点联测，确保数据真实有效。

监测范围内的各类监测点高程是由工作基点来进行测定，工作基点与甲供高程基准点之间严格按照国家二等水准测量要求进行联测。各监测点按布设顺序进行布设并按监测实施方案进行初始值采集，施工过程中的日常监测值与初始值的差为其累计沉降量，本次值与前次值差值为本次沉降量。

2.3.2 水平位移测量

基准点：以施工区域影响范围以外的目标为基准参照点。

按照极坐标法进行观测，如下图所示，在已知点A安置仪器，后视点为另一已知点B，通过测得AB—AP的角度以及A点至P点的距离，计算得出P点坐标。设A点坐标为A(XA, YA)，A—B的方位角为αA-B，则P点坐标P(XP, YP)的计算公式为：

$$XP=XA+S \cdot \cos(\alpha_{A-B}+\beta)$$

$$YP=YA+S \cdot \sin(\alpha_{A-B}+\beta)$$

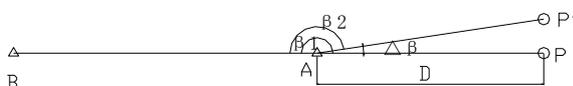
由微分公式可得：

$$\Delta X_p = \cos(\alpha_{A-B}+\beta) \cdot \Delta S - \sin(\alpha_{A-B}+\beta) \cdot S \cdot \Delta \beta / \rho$$

$$\cdot S \cdot \Delta \beta / \rho$$

$$\Delta Y_p = \sin(\alpha_{A-B}+\beta) \cdot \Delta S + \cos(\alpha_{A-B}+\beta) \cdot S \cdot \Delta \beta / \rho$$

$$\cdot S \cdot \Delta \beta / \rho$$



2.3.3 墙体测斜测量

测斜管管顶位移使用全站仪进行测量。测量时采用测斜仪，假定墙顶为不动点，逐步叠加测量每0.5m深度处墙体的水平位移量。每次测量按管口处的墙顶位移值进行修正。深层水平位移内业计算方法：围护体水平位移采用由上向下叠加推算各点的位移值，土体水平位移采用由向上叠加推算各点的位移值。

测斜监测点的初始值在开挖前试降水之前进行采集，尽可能在不同日期同一时间段进行不少于三次的初始值采集取其平均值作为最终初始值，施工过程中的日常监测值与初始值的差为其累计水平位移量，本次值与前次值的差值为本次位移量。

2.3.4 地下水位置量测

水位管管口高程可用水准仪测得。管口顶部至管内水位的高差由钢尺水位计测出，由此计算水位与自然地面相对标高。各孔水位高程的初始值在观测管理设稳定后并在基坑开挖前作至少三次测定，取平均值为其初始值。日常监测值与初始值的差值为其累计变化量，本次与前次测得之值的差值为其本次变化量。

2.3.5 轴力测试

应力传感器采用振弦式传感器，出厂时厂方均提供其受力率定系数表。测量时，用配套频率计连接各传感器导线，加低压测出各传感器频率，通过率定表计算换算成轴力。

钢支撑振弦式轴力计计算公式

$$F=K \cdot (f_0^2-f_i^2) \text{ (KN)}$$

其中：K为标定系数，单位为KN/Hz²。

f₀为传感器初始零位，单位Hz。

f_i为测量值，单位为Hz。

混凝土支撑轴力计算公式

$$F = F_i / A_i \cdot (A_s + A_c \cdot E_c / E_s)$$

其中：F_i为钢筋的平均力，单位为KN。多个钢筋计可以取其平均值。

$$F_i = K \cdot (f_0^2 - f_i^2)$$

K为钢筋计标定系数，单位为KN/Hz²。

f₀为传感器初始零位，单位Hz。

f_i为测量值，单位为Hz。

A_i：钢筋计标称面积；

A_s：支撑钢筋总面积；

A_c：净混凝土面积；

E_c：混凝土弹性模量；

E_s：支撑钢筋弹性模量。

3 现场安全巡视

3.1 现场巡视检查特点

(1) 直观、快捷

基坑工程容易发生的工程事故多为围护结构坍塌，土体滑坡，支撑体系变形，周围建筑物沉降、裂缝等。很多

工程事故的发生都是在监测正常进行下发生的,监测点的数量有限,都分布于常见的重要位置,有时仅从监测数据上并不能预测到基坑的个别部位。通过最直观的目视检查往往能更及时的发现事故的前兆,特别是对暴雨天气后基坑周围土体的一些细微变化,土体的局部的沉陷,地面与建筑的裂缝等的发现。

(2) 定性准确

仪器监测的结果均是定量数据,在数据上体现为一种量变的过程,目前一些规范和工程经验的报警限值都是大家长期沿用下来的安全底线,它是一个具体的量值。而直接导致某一工程事故或其前兆现象发生的量值临界范围存在一定的波动性,有时会远远高于常规控制值,有时甚至会底于常规控制值。目测有时能更及时的发现质变的前兆,对现象做出定性结论。

3.2 巡视检查的内容

(1) 对开挖面稳定情况巡视以下内容:

①现场开挖情况与开挖专项方案的符合情况、开挖面地质与地勘报告的符合情况、基底暴露情况等;

②降排水效果。

(2) 对支护结构体系巡视以下内容:

- ①支护体系施作及时性情况;
- ②止水帷幕渗漏水情况;
- ③支护体系开裂、变形变化情况。

(3) 对基坑周边巡视以下内容:

- ①坑边堆载、超载;
- ②基坑周边地表积水;
- ③基坑周边地表变形及裂缝。

(4) 对周边环境巡视以下内容:

- ①建(构)筑物;
- ②桥梁;
- ③道路、地面;
- ④河流;
- ⑤地下管线;
- ⑥周边临近施工情况;
- ⑦监测设施。

3.3 巡视检查方法

(1) 巡视检查主要依靠目视、耳听、手摸、鼻嗅等直观方法,可辅以锤、钎、量尺、放大镜、望远镜、照相机、摄像机等工器具进行。

(2) 巡视检查应做好记录,每次检查均应按各类检查规定的程序做好现场填表和记录,必要时应附有略图、素描或照片。

(3) 现场记录及填表必须及时整编,并将本次检查结果与上次或历次检查结果对比,分析有无异常迹象。在整编分析过程中,如有疑问或发现异常迹象,应立即对该检查项目进行复查,以保证记录准确无误。重点缺陷部位

和重要建(构)筑物,应设立专项卡片。

(4) 巡视检查应按编制日巡视检查报告。

4 各项监测数据分析

4.1 地表沉降

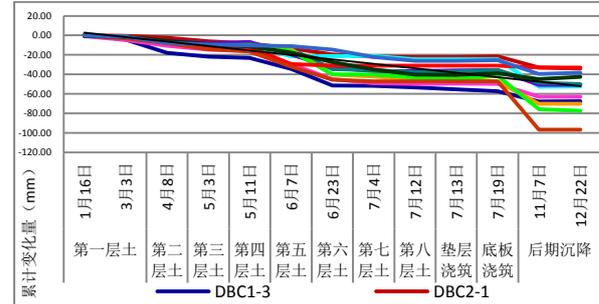


图1 XX风井基坑施工期间地表沉降变化曲线图

上图1为XX风井基坑施工过程中地表沉降变化曲线图。从图中可以看出,在取第四层至第六层土以及底板浇筑完成初期这两个期间沉降明显,结合现场实际工况分析其原因主要为在基坑开挖至第四层土期间,地墙漏水较为严重,坑外深层降水,导致基坑周边的水位下降较大,引起的地表沉降严重。在侧墙浇筑完成后停止坑外深层降水后,数据变化明显趋于稳定。

4.2 立柱沉降

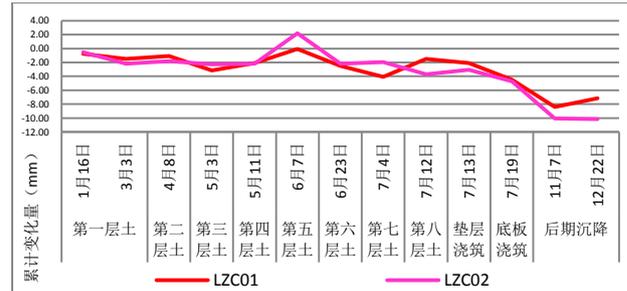


图2 XX风井基坑施工期间立柱沉降变化曲线图

上图2为XX风井基坑施工过程中立柱沉降变化曲线图,从立柱变形图2可以看出,立柱沉降在开挖期间变化表为平稳,在垫层浇筑完成后沉降趋势明显。根据施工工序和工况分析原因,由于逆作法施工,在开挖期间立柱影响较小;在垫层浇筑结束由于坑内、外降水原因,对立柱和基坑自身带来影响。

4.3 墙顶沉降

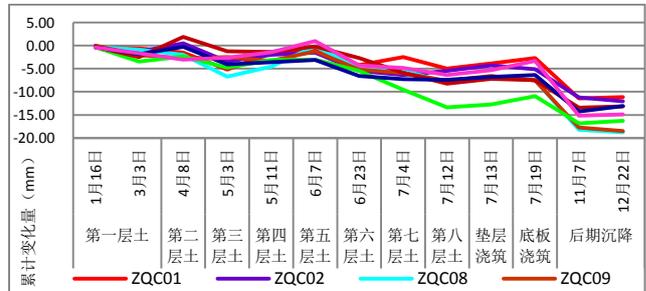


图3 XX风井基坑施工期间墙顶沉降变化曲线图

上图 3 为 XX 风井基坑施工过程中围护结构墙顶沉降曲线图。从图中可以看出，在基坑开挖第五层至第六层土，底板浇筑结束，这两个时间段，测点呈下降趋势。其变形趋势和原因与立柱沉降相似，这也起到了各测点间的相互印证。

4.4 建筑物沉降

(1) 储油罐沉降

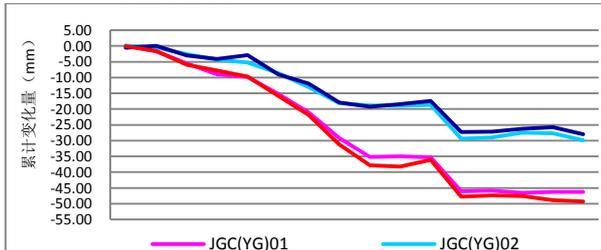


图 4 XX 风井基坑施工期间建筑物（储油罐）变化曲线图

上图 4 为基坑施工过程中建筑物（储油罐）沉降曲线图。基础形式为夯实黄沙垫层。建筑物（JGC (YG) 04）距离基坑最近距离约 19m；从图中可以看出，在基坑开挖第四层至第八层土期间，呈匀速沉降趋势，在基坑底板浇筑结束后沉降明显趋于稳定。

(2) 加油站沉降

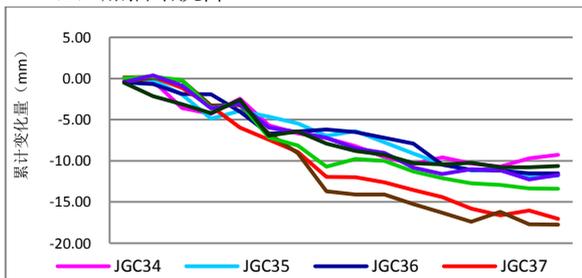


图 5 XX 风井基坑施工期间建筑物（加油站）变化曲线图

上图 5 为 XX 风井基坑施工过程中建筑物（加油站）沉降曲线图。距离主体基坑最近处约 50.2m。从曲线图中可以看出在第五层至第七层图开挖期间，沉降趋势明显，是由于地连墙渗水及坑外深层降水造成。在基坑底板浇筑结束后沉降明显趋于稳定。

(3) 中河河堤

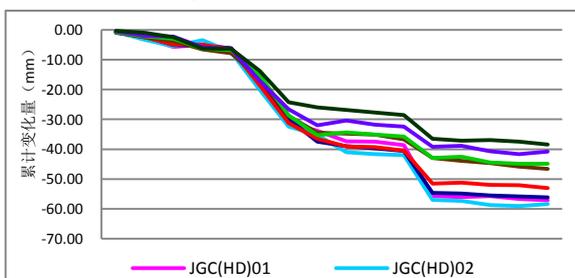


图 6 XX 风井基坑施工期间建筑物（中河河堤）变化曲线图

上图 6 为 XX 风井基坑施工过程中建筑物（河堤）沉降曲线图。建筑物中河河堤在第一层土至第四层土期间，呈平稳趋势；在基坑开挖第四层至第七层土期间和底板浇

筑结束后，沉降趋势明显趋于稳定。

综合以上建筑物测点的变形情况，得出的主要结论为，周边建筑变形趋势基本一致。结合工况分析，沉降主要因为，在施工期间地墙渗漏水较为严重，采取坑外深层降水措施；基坑周边地质以沙土为主。坑外降水建筑物周边地下沙土流失严重产生沉降。基坑开挖对周边建筑物的影响由前期挖土数据分析，影响较小。周边建筑物整体沉降呈均匀下沉趋势。

4.5 管线沉降

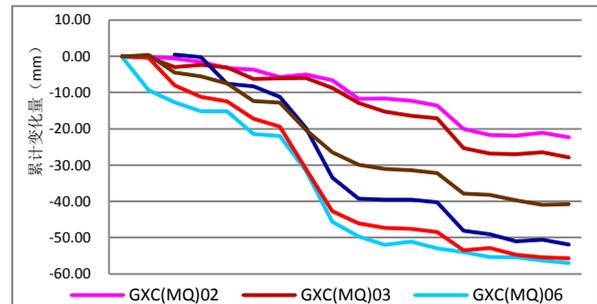


图 7 XX 风井基坑施工期间煤气管线变化曲线图

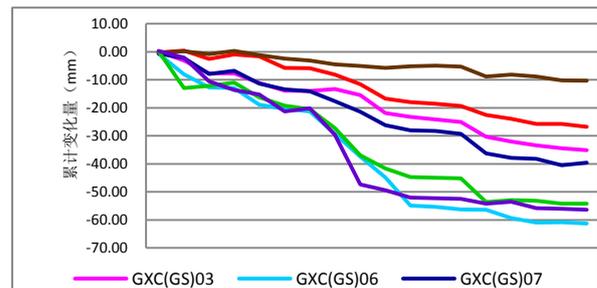


图 8 XX 风井基坑施工期间给水管线变化曲线图

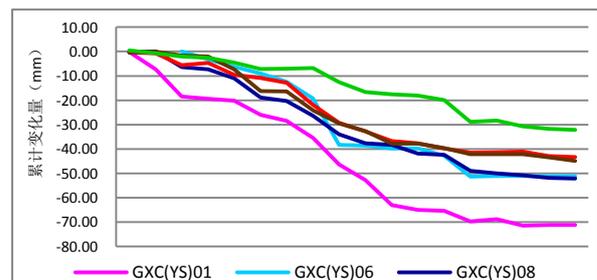


图 9 XX 风井基坑施工期间雨水管线变化曲线图

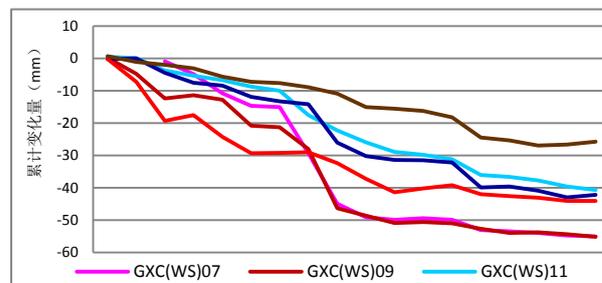


图 10 XX 风井基坑施工期间污水管线变化曲线图

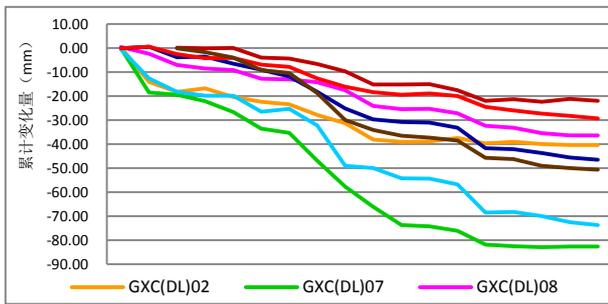


图 11 XX 风井基坑施工期间电力管线变化曲线图

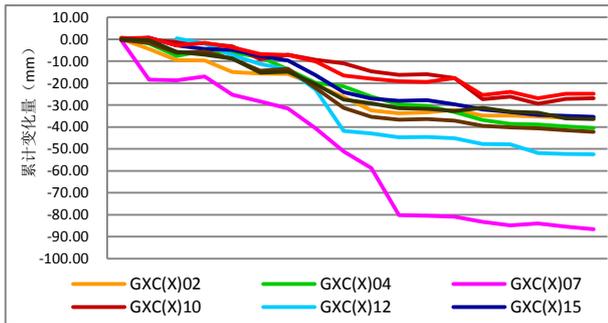


图 12 XX 风井基坑施工期间通信管线变化曲线图

上图 7~图 12 为基坑周边各类管线在基坑施工过程中的变形曲线图，综合以上管线测点的变形情况，得出的主要结论是，周边管线形趋势基本一致，结合工况分析，沉降主要原因为，坑内土方的不断卸载，导致了土体压力的失衡，带来土体扰动，从而引起叠加效应；在施工期间地墙渗漏水较为严重，采取坑外深层降水措施，坑外水位下降严重，对周边管线影响较为明显。周边管线在后续结构施工阶段沉降基本趋于稳定。

4.6 墙顶水平位移

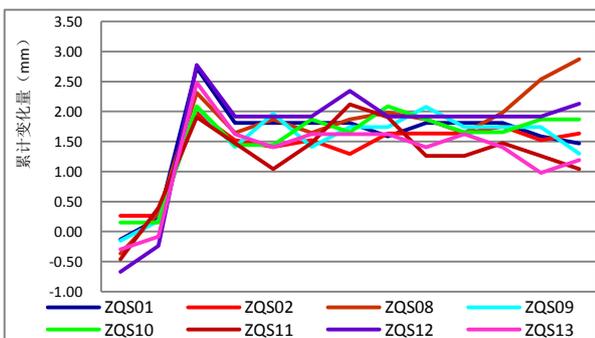


图 13 XX 风井基坑施工期间墙顶水平位移变化曲线图

上图 13 为 XX 风井基坑墙顶水平位移在基坑施工过程中的变形曲线图，通过监测数据来看，墙顶水平位移变化趋势为基坑开挖初期，由于取土施工坑内土压力的释放，墙顶向坑内位移比较明显，随着基坑各层土层的取土施工，第二道、第三道等支撑架设后发挥了其作用，墙顶向基坑内形变逐渐稳定。

4.7 坑外水位观测

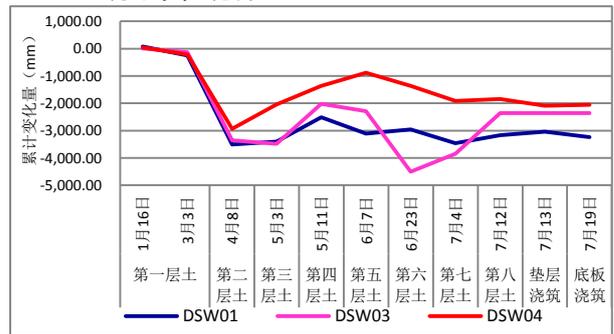


图 14 XX 风井基坑施工期间坑外水位变化曲线图

上图 14 分别为坑外水位孔 DSW01、DSW03、DSW04 在基坑施工过程中的变形曲线图，通过上图及测孔的监测数据来看，DSW01、DSW03、DSW04 在基坑开挖初期较为平稳，在挖第二层土时坑外开始降水，降水期阶段的累计变化量均呈小幅波动状，在开挖期间呈明显平稳趋势。

4.8 支撑轴力

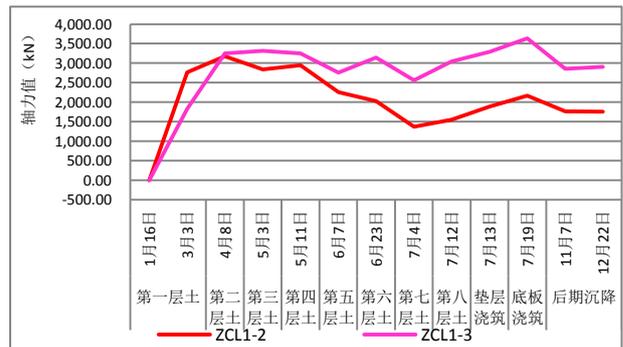


图 15 XX 风井基坑施工期间轴力变化曲线图

上图 15 为基坑施工过程中第一道混凝土支撑轴力变化曲线图。支撑轴力监测数据表明，支撑轴力随着基坑开挖第一、二层土而增大，当第二道支撑架设完成后第一道混凝土支撑轴力逐渐变化平缓，基坑开挖结束时，部分轴力已经超过设计值，至垫层浇筑后支撑轴力开始逐渐稳定。

4.9 墙体水平位移（测斜）

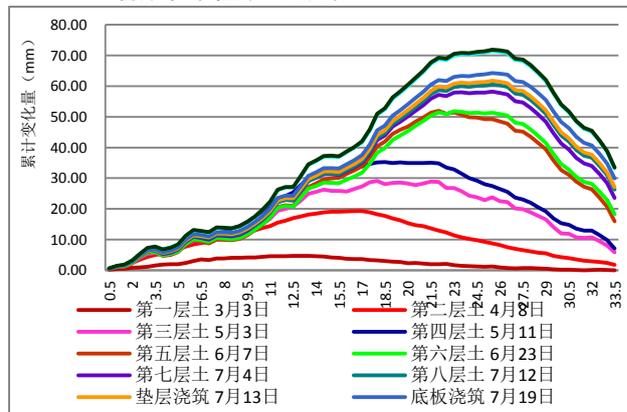


图 16 XX 风井基坑施工期间墙体水平位移（ZQT05）变化曲线图

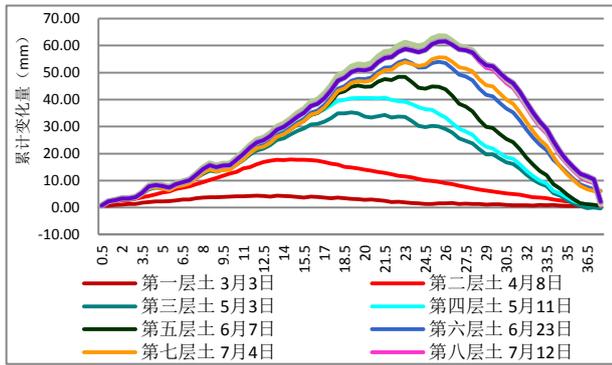


图 17 XX 风井基坑施工期间墙体水平位移 (ZQT06) 变化曲线图

上图 16~图 17 为基坑施工过程中墙体测斜变化曲线图。从图上可以看出，在开挖第二层土至第三层土以及第四层土至第五层土期间墙体测斜向基坑内位移趋势非常明显；在基坑取土期间，墙体测斜随取土施工而逐渐增大，且随开挖面逐步下移，这说明取土施工导致基坑内外土压平缓被打破，导致墙体向基坑内变形，由于取土施工是分层进行且每层土取土完成后会有支撑架设保证与整个围护形成新的内力体系，形成新的平衡，故测斜变化趋势是逐步下移。根据现场施工情况分析变形较大的原因为，由于基坑取土较深，场地施工现场较为狭窄，各施工工序衔接不够及时，导致钢支撑架设及砼支撑施工工区较长，基坑有一点时间的暴露，且开挖期间存在地墙渗漏水等情况，故测斜位移总量较大。

5 结语

(1) 在施工过程中，各个监测项目均有一定的变化量，大部分测点的日变化量和累计量超过了报警值，是由于地墙渗漏水较为严重导致，为了确保基坑围护体系的安全坑外深层降水，故周边环境沉降报警较多，但未影响到周边环境的安全。

(2) 基坑施工过程中，由于地连墙渗漏水较为严重，影响基坑开挖速度，以及坑外大量降水原因，对周边环境及基坑的影响较大；基坑开挖深度较深，砼支撑施工速度较慢对基坑的位移影响较大。

(3) 基坑周边道路为管线改迁回填土，由于回填土未夯实，在基坑围护前期施工，道路大型车辆较多对周边管线影响较为明显。

(4) 本工程施工影响区域周边环境比较复杂，距离基坑较近有建筑物及管线，在施工过程中，对周边管线和建筑物都产生了明显的影响，大部分测点都超过设计报警值。

(5) 施工监测在施工过程中，凭借监测手段能在一定范围内提前预测下一步施工中可能出现的问题，起到提醒施工单位的作用，使得施工单位能及时改进施工技术，从而保证施工安全，同时也为今后改进设计施工提供经验，并为理论研究提供了实测数据。

(6) 施工监测应加强对基坑周边环境及围护体系的巡视，对基坑周边地表、建筑、管线进行排查处置，同时结合各项监测数据进行系统性的分析能有效地起到指导安全施工的作用。

[参考文献]

- [1]城市轨道交通工程监测技术规范. GB50911-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [2]张进. 超深基坑开挖对围护结构的变形影响分析[J]. 建筑工程技术与设计, 2018(12): 461-462.
- [3]静恩鹏, 王庆贺, 张壮壮, 等. 深基坑工程安全监测技术原理[J]. 建筑技术开发, 2021(24): 48.
- [4]魏晓东. 地铁工程安全施工第三方监测体系研究[D]. 山东: 山东科技大学, 2012.
- [5]杜恩从. 浅谈南京青奥轴线地下工程的监控量测技术分析与应用[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2013, 000(13): 1-5.
- [6]王继辉. 基于地铁深基坑支护监测多方法变形数据分析[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2011(3): 45.
- [7]李必刚. 武汉轨道交通四号线铁机村站施工安全监测[D]. 湖北: 武汉理工大学, 2011.

作者简介: 刘旺军 (1993. 12-), 男, 毕业院校: 长江大学工程技术学院, 所学专业: 土木工程, 就职单位: 上海京海工程技术有限公司, 职务: 项目经理