

深厚软土地层基坑监测工程实践

陈琦慧

(浙江化工工程地质勘察院有限公司, 浙江 杭州 311122)

摘要:在浙江冲海积以及湖沼积平原地貌区,普遍分布深厚软土地层,由于软土的工程特性,在基坑开挖施工过程中,极易引发基坑周边土体侧向变形过大和沉降量超允许值的问题。以科学规范的方式进行基坑工程全过程监测,对于保障基坑工程安全至关重要。本文以绍兴市越城区某基坑工程为实例,针对该基坑工程布置了7类监测项目,根据规范设计监测点布置方式与监测方法,并对基坑监测数据进行科学合理的分析,为工程施工提供了关键的监测数据支撑,确保了基坑工程的安全顺利进行。结合本基坑监测工程实例,对基坑监测过程中各阶段需要重点注意的问题进行了总结分析。

关键词:深厚软土;基坑工程;基坑监测;监测方法;监测分析

中图分类号:TU473 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0401-06

Practice of monitoring engineering for deep soft soil foundation pit

CHEN Qihui

(Zhejiang Chemical Engineering Geological Survey Institute Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 311122, China)

Abstract: In the geomorphic areas of alluvial-plain and limno-lacustrine plain in Zhejiang, thick soft soil strata are widely distributed. Due to the engineering characteristics of soft soil, during the construction of foundation pit excavation, it is extremely easy to cause problems such as excessive lateral deformation of the soil around the foundation pit and settlement exceeding the allowable value. The whole-process monitoring of the foundation pit project by a scientific and standardized manner are of great importance for ensuring the safety of the foundation pit project. Taking a foundation pit project in Yuecheng District, Shaoxing City as an example, this paper arranges 7 categories of monitoring items for the foundation pit project, designs the layout and monitoring methods of monitoring points according to specifications, and scientifically and reasonably analyzes the foundation pit monitoring data, providing key monitoring data support for the project construction and ensuring the safe and smooth progress of the foundation pit project. Finally, combined with the practical case of this foundation pit monitoring project, the key issues that need to be paid attention to in each stage of the foundation pit monitoring process are summarized and analyzed.

Key words: deep soft soils; foundation pit; foundation pit monitoring; monitoring methods; monitoring analysis

0 引言

随着城市地下空间开发建设的持续推进,各类基坑工程的规模与深度不断加大。在基坑工程施工过程中,做好基坑工程监测工作,保证监测质量,为基坑工程建设提供信息化施工和优化设计的科学依据,对于确保基坑工程安全、保护基坑周边环境具有至关重要的意义。

在深厚软土地层区,由于软土具有高压缩性、

低抗剪强度、高灵敏度等工程特性,且施工过程中可能存在周边环境变化、施工工况调整、地面临时堆载等不确定性,导致基坑侧向土体位移较计算值显著增大,进而增加了基坑周边建构筑物的保护难度^[1]。特别是在建筑物密集区域,基坑位移增大导致对邻近既有建构筑物产生不利影响,如房屋沉降、隧道和地下管线位移,严重时甚至可能导致建构筑物结构破坏^[2-4]。因此,在软土地区深基坑工程施

收稿日期:2025-04-18; 修回日期:2025-06-10 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.066

作者简介:陈琦慧,男,汉族,1979年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事岩土工程勘察设计工作,浙江省杭州市余杭区闲林街道文卫路32号,295611985@qq.com。

引用格式:陈琦慧.深厚软土地层基坑监测工程实践[J].钻探工程,2025,52(S1):401-406.

CHEN Qihui. Practice of monitoring engineering for deep soft soil foundation pit[J]. Drilling Engineering, 2025,52(S1):401-406.

工过程中,基坑变形控制监测以及周边环境保护监测是衡量基坑工程安全的重要指标,根据监测结果合理优化基坑施工设计,对于基坑工程安全具有重要意义。

前人针对深基坑施工监测问题进行了一些研究:李进益等^[5]对地铁深基坑的止水帷幕水平位移和周边地表沉降进行监测,并与数值计算结果比较分析。郭雪源等^[6]对基坑的支撑轴力、围护结构变形和地表沉降进行了监测,并总结了工程实践中的施工技术和经验。李毅等^[7]对采用多种综合支护方案的基坑工程进行监测,分析了桩水平和竖向位移、地表沉降以及锚杆拉力等的变化规律。周乐木等^[8]对基坑降水时支护结构变形、基坑内外水位及周边建筑物变形进行实时监测,总结了施工关键技术。

基于前人的研究成果,本文以浙江绍兴深厚软土区基坑工程为实例,通过制定科学合理的监测方案,以规范、严谨的方式组织并实施各项基坑监测工作,切实保障了基坑周边既有建筑物的安全,对于其他软土地层区基坑工程监测工作的开展具有一定的研究价值与借鉴意义。

1 工程概况

1.1 基坑工程概况及周边环境

绍兴市龙山书院项目位于绍兴市镜湖区镜水路与兴越路交叉口西北角地块。建筑基础采用预制桩及钻孔灌注桩,工程±0.000相当于黄海高程6.400 m。地下室基础底板顶面标高为-6.10~-7.55 m,底面标高为-6.60~-8.05 m,周边基础承台底面标高-7.55~-9.00 m,电梯井区基础底面标高-8.10 m。基坑实际开挖深度按周边基础底板及承台底面综合考虑为5.85~6.50 m。基坑周边长约1200 m。

基坑北侧用地红线外为已建镜水湾小区(3~18F,桩基础);基坑东侧用地红线外为已建镜水路,

地下为宽约15 m的规划综合管廊(埋深20 m,盾构法施工,部分位置与基坑同时施工);基坑南侧用地红线外为已建兴越路;基坑西侧用地红线外为现状河道(河面宽度约80 m,河面常水位3.92 m)。

基坑四周支护形式:(1)基坑东侧、南侧及西南侧邻近现状道路及重要管线地段,采用钻孔灌注桩加钢筋砼内支撑、双排钻孔灌注桩门架式支护,双轴水泥搅拌桩止水,压顶梁以上部位喷射砼护面;(2)基坑西侧、北侧、东北侧邻近河道及场地内部地段,采用放坡开挖加拉森钢板桩支护,西侧靠近河道段局部河汊延伸进入场地位置,采用围堰进行封堵;(3)电梯井坑中坑,采用水泥搅拌桩重力式挡墙支护及放坡开挖;(4)基坑降排水采用坑内、坑外明沟集水坑排水方案。

1.2 工程地质及水文地质条件

根据本工程岩土工程勘察报告,基坑支护影响范围内的场地土层结构见表1。其中③₁淤泥质粉质黏土层呈流塑状,具有高含水量、高压缩性、高灵敏度、易触变等工程特性,为特殊性岩土软土层,工程地质性质差,是影响基坑稳定的主要土层,层顶标高-1.34~-3.66 m,层厚11.00~22.50 m。

根据地下水的含水介质、赋存条件及水理性质,本工程地下水主要为第四系孔隙潜水及承压水。孔隙潜水主要分布于浅部填土层及黏性土中,主要接受大气降水及地表水入渗补给,蒸发及径流为主要排泄方式,勘察期间实测地下水位埋深0.80~2.30 m,对应高程3.21~4.51 m,年变化幅度一般>2.00 m。承压水主要赋存于细砂中,含水层透水性一般,水头标高为-1.50 m,根据邻近场地桩基施工经验,承压水对本工程基础施工的影响较小。

2 监测内容

基坑开挖过程中,土体的平衡遭到破坏,使得

表1 土层基本物理性质指标

层号	土层名称	含水量 $\omega/\%$	孔隙比 e	压缩模 量/MPa	抗剪强度指标 (固快)	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	容重 $\gamma/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	地基承载力特征 值 f_{ak}/kPa
①	杂填土				(10)		15	(18)	
②	粉质黏土	29.9	0.852	4.80	28.6(24.3)	14.8	12.6	18.70	75
③ ₁	淤泥质粉质黏土	43.5	1.249	3.02	13.1(11.1)	11.3	9.6	17.08	55
③ ₂	粉质黏土	32.4	0.949	4.45	27.1(23.0)	16.7	14.2	18.14	100
④	粉质黏土	30.7	0.868	4.89	28.4(24.1)	18.0	15.3	18.69	180

坑内外土体隆起或沉降,从而使基坑周边管线发生变形,当变形达到一定程度时,管线可能会破坏。同时,工程施工超载也会对周边建筑物产生一定的影响。为实时掌握基坑的工作状态,确保桩基施工、基坑施工正常进行,以及周围建筑物和管线等的安全,在施工过程中必须对周边环境和基坑变形

情况进行动态监测。由于软土在荷载作用下变形持续时间长、影响距离远、变形破坏具有突发性等特征,因此基坑监测周期相对较长、监测范围适当扩大;监测频率相应加密。本基坑工程主要监测内容见表2,各监测内容测点布置见图1。

表2 监测内容汇总

序号	监 测 内 容	监 测 点 编 号	监测方法	仪器名称	监测点数
1	深层土体位移	CX1-CX26	测斜仪量测	CX-3EL测斜仪	26孔
2	地下水位	SW1-SW6	水位仪	水位计100 m	6孔
3	水平位移及竖向位移	CJ1-CJ26/WY1-WY26	二级水准/小角法	天宝 dini 0.3	52个
4	支撑轴力	ZL1-ZL9	轴力测读仪	KTS-442R10	9组
5	立柱沉降	LZ1-LZ12	二级水准	CA-PLY-609	12个
6	周边地下管线及道路沉降	GXCJ1-GXCJ 34/DLCJ1-DLCJ 34	二级水准	天宝 dini 0.3	68个
7	建筑物沉降	JZWCJ1-JZWCJ4	二级水准	天宝 dini 0.3	4个

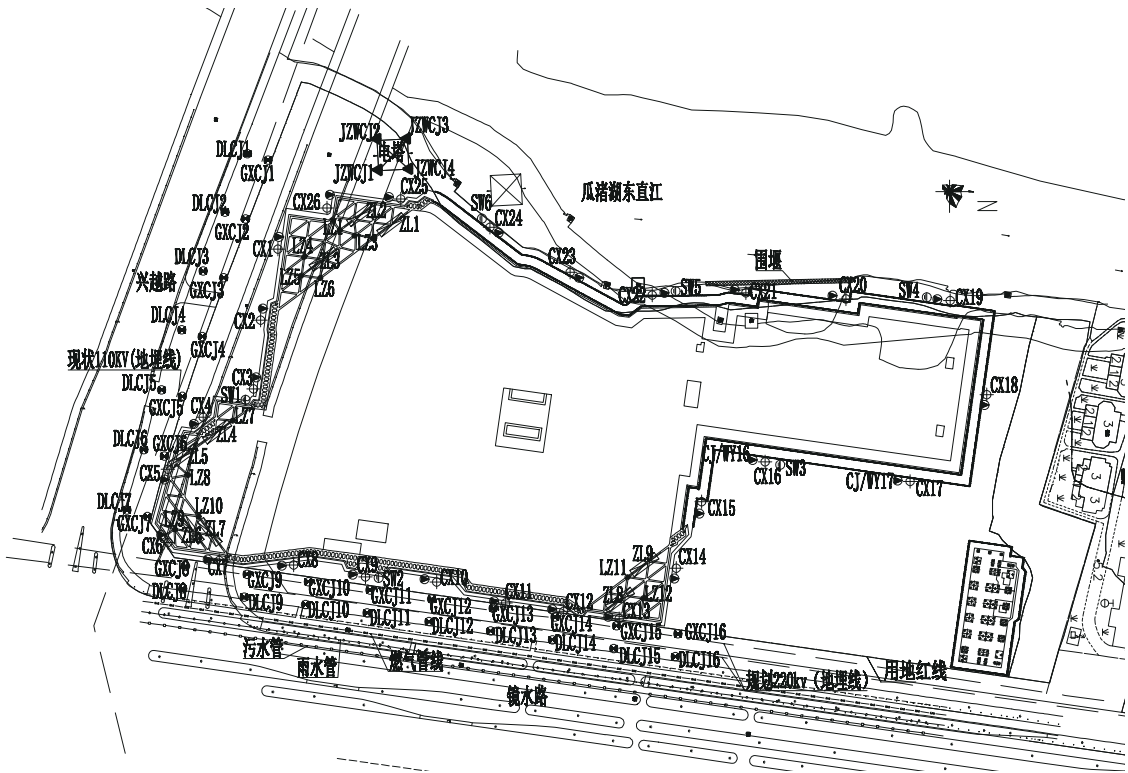


图1 基坑测点布置

2.1 深层土体位移监测

根据设计要求和现场实际情况,在每隔一段适当的位置埋设测斜管,共布设26个监测点位,编号为CX1~CX26。测斜管选用内径70 mm的PVC管,首先在监测位置用XY-1型钻机用 $\varnothing 110$ mm钻头成孔至监测深度,然后将专用的测斜管逐节连接

后埋置到设计标高。埋设完毕后,切实做好管口的保护措施,沿孔口用砖砌成小井,井口略高于孔口,边长为20~40 cm,并将各点的位置告知业主、监理和施工单位,做好监测点的保护工作。几天后土体闭合,可测取各深度的初始坐标,位移值置为零,以后随施工进展测取各深度的坐标值,减去初始坐

标,即为该孔的深层土体位移值。

2.2 地下水位观测

根据现场情况将基坑外的观测孔埋设在围护墙外约2 m处土体中,孔深12 m,孔径100 mm,使用小型钻机成孔至设计深度,然后将管径为53 mm的PVC水位管放入孔中,用土工布裹住管上的进水孔,管外回填中粗砂至进水段上方30 cm,上方回填黏土封孔,以防地表水流入,管口设必要的保护装置。通过水准测量测出孔口标高 H ,将探头沿孔套管缓慢放下,当测头接触水面时,蜂鸣器响,读取测尺读数 ai ,则地下水位标高 $H_{wi}=H-ai$ 。则两次观测地下水位标高之差 $\Delta H_w=H_{wi}-H_{wi-1}$,即水位升降数值。

2.3 水平位移及竖向位移监测

2.3.1 水平位移监测

不规则的支护结构顶部水平位移测量按前方交会法进行观测。在平面控制点设工作站A、B,2个平面控制点与1个水平位移监测点 P 形成一个三角形,分别测出两工作站基点与所测点之间的角度 α 、 β ,每次3测回取平均值,根据平面控制点坐标 $A(a,b)$ 、 $B(c,d)$ 与所测角度 α 、 β ,求出监测点坐标 $P(x,y)$,从而得到监测点每次位移数值。

规则的水平位移测量按小角度法进行观测:用全站仪测定观测墩到测点的水平距离,观测测点方向与基准方向之夹角,根据其夹角的变化值计算出累计位移量。

2.3.2 竖向位移监测

竖向位移测量采用精密水准仪,按国家二等水准要求观测。以附和或闭合路线在水准路线上联测各监测点,以水准控制点为基准,测算出各监测点标高。同一测点相邻两次标高差即为本次该测点沉降量:前次高程-本次高程=本次沉降,向下沉降量为正值。第一次沉降量累加至当次沉降量即为该测点累计沉降量。测点的初测高程测量两次并取其平均值。

2.4 支撑轴力监测

支撑轴力采用振弦式钢筋计(见图2)用来监测混凝土支撑结构中钢筋应力,通过频率仪测得混凝土支撑或其它结构应力的数值。

钢筋应力计可以采用绑扎和焊接的方式埋设。钢筋计可根据基坑围护设计图纸或结构要求选定测试点,设4组测试点,每组2只,将振弦式应变计平行

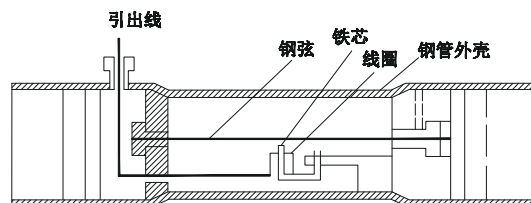


图2 振弦式钢筋计构造示意

结构应力方向安装,采用细匝丝将应变计捆绑在结构钢筋上,测试导线沿结构钢筋引出,并绑扎好。直径 <25 mm的仪器适用对焊机对焊;直径 <25 mm的仪器现场电焊安装前先将仪器及钢筋焊接处按电焊要求打好 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的坡口,并在接头下方垫上10 cm略大于钢筋的角钢,以盛熔池中的钢液。将钢筋计的连接杆件焊接于支撑主筋上,引出导线后,连同钢筋计一并浇筑于砼中。待砼达到设计强度后测读钢筋计的初始频率,量测示意图见图3。

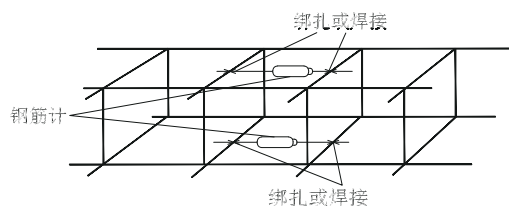


图3 钢筋计量测支撑结构轴力示意

2.5 地下管线沉降监测

根据管线与基坑的相对位置将监测点选择在土层位移大的地方,在管线有出露时(如管井),基坑开挖出露,可适当布置监测点。每条管线选择节点作为变形监测点,测点间距20 m。

对于变形精度要求不高或主路上不便开挖的管线可以采取间接观测,即在管线正上方开孔打开硬地面,把钢筋尽量足够长打入管顶部位,进行地面沉降观测。对精度要求较高地面有检修井或有条件开挖或钻孔的管线,常用的观测装置是抱箍式、直埋式和套筒式,即在地下管线改排过程中,直接将钢筋埋置在管线上,钢筋底部焊接分叉,安放在管线上。埋设方法见图4和图5所示。

地下管线监测点的布设应尽量避免布设在行车、行人道内,否则给测点保护、日常监测带来较大的难度,如必须布设时应把测点加工到路面以下并加盖保护,见图6所示。

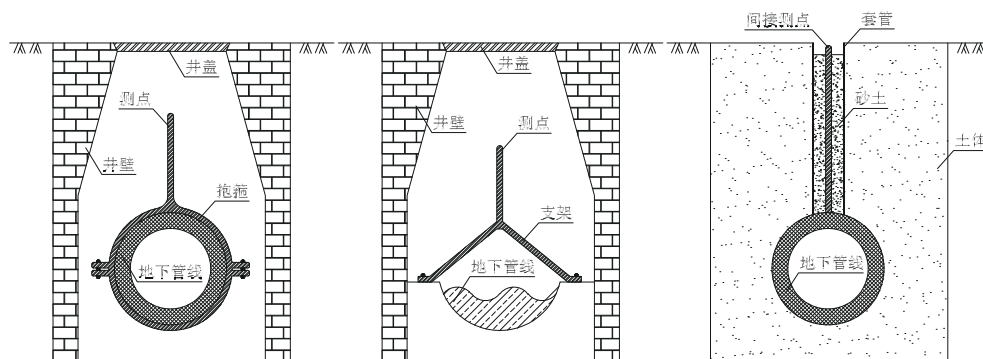


图4 抱箍式、直埋式和套筒式管线测点埋设示意

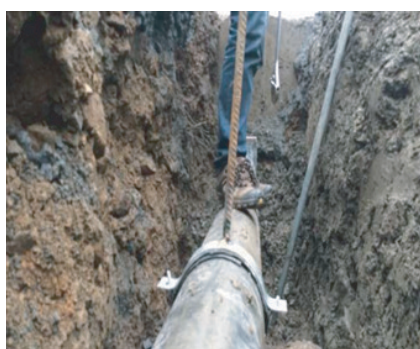


图5 直埋式管线测点现场埋设



图6 管线监测点保护盖

3 监测数据整理与分析

根据本基坑工程现场实时监测结果,对所测的各项监测数据进行详细分析,各监测项目的监测结果数据如表3所示。根据基坑工程实时变形监测结

果记录和累计最大变形量监测统计图(图7)显示,可清晰反映各项监测数据的动态变化趋势,各项监测数据的变化能够有效反映基坑工程施工开挖过程中的实时变形及沉降变化情况。

表3 基坑工程监测变形监测结果记录

序号	监测项目	累计变化最大量监测点	累计最大变化量/mm	预警值/mm ^[9]	安全评估
1	深层土体水平位移	补CX11	29.41	30	安全
2	围护桩体水平位移	WY18	28.66	40	安全
3	围护桩体垂直位移	CJ7	-28.63	40	安全
4	立柱垂直位移	LZ9	-19.38	30	安全
5	周边建筑物沉降	JGWCJ1	-15.19	30	安全
6	坑外地下水位	SW3	-940.00	1000	安全

在土体侧向位移方面,通过对不同时段监测数据的对比分析,能精准定位基坑周边土体在各施工阶段的水平位移变化,如在基坑开挖初期,靠近河道一侧的土体侧向位移增长速率较快,随着支护结构的逐步完善,位移增长速率逐渐趋于平稳,这反映出基坑开挖进程与土体位移变化之间的紧密关联。在沉降监测上,不同位置监测点的沉降数据差异较为明显,靠近既有建筑物的区域沉降量相对较

小,而远离既有建筑、靠近基坑边位置的区域沉降量相对较大,这表明基坑周边环境与支护结构差异对沉降情况有着较显著影响。这些数据全面且有效地呈现了工程基坑的实际变形与沉降状况。

在整个基坑工程建设过程中,持续对各项基坑监测内容进行实时监测是保障工程安全的重要环节。根据实时监测数据,能够敏锐捕捉到基坑变形或沉降的异常情况。一旦监测到某区域变形沉降

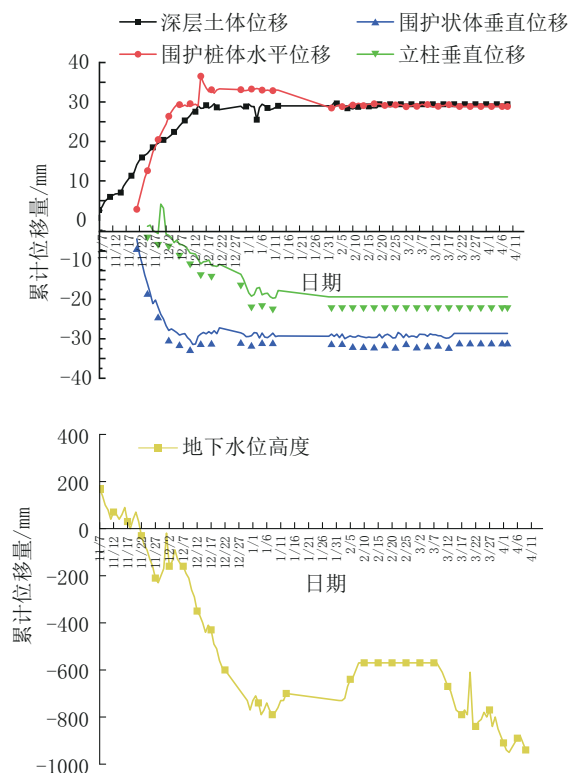


图7 累计最大变形量监测统计

速率超过设计预警值,或是土体侧向位移超出安全范围,便可迅速依据实际情况调整施工方案。例如,适当放缓开挖速度,给予土体一定的稳定时间;或是针对性地增强支撑结构强度,增设临时支撑,以此来有效控制基坑变形,切实保障整体工程的安全与稳定,确保施工顺利推进。

4 结论

通过对各项基坑监测内容的实时监控、数据处理与深入分析,能够及时精准地掌握基坑变形、地下水位变化、支护结构受力变化等情况,为工程安全提供了坚实的保障。基于本文对建设工程项目基坑监测方案的研究与实践分析,可得出以下结论:

(1)监测前期准备与资料管理:基坑开挖前完成监测测点的预埋预设并获取原始数据是监测工作的基础。每次监测后及时向现场监理提交监测成果资料,并认真检查、审核、计算与归拢整理,确保数据准确完整,为后续分析提供可靠依据。

(2)监测成果分析与应用:及时将监测成果整理成图表,深入分析数据变化规律,有利于不同断面和

量测手段的对比。及时向施工负责人汇报基坑稳定状态,定期提交基坑稳定性和支护可靠性书面报告,为施工决策提供科学依据,有效指导工程建设。

(3)多维度数据对比与设计验证:监测数据整理结果需结合工程地质条件、施工工艺等多方面信息,与经验值和设计计算理论值进行对比。以此对基坑工程支护结构形式、支护设计参数、监测预警值以及施工方法和工艺等进行验证,为设计优化和施工调整提供有力支撑,为信息化施工提供保障。

(4)完善的监测预警机制:建立科学合理的监测预警机制至关重要。当监测结果接近或达到预警值时书面通知相关单位;达到报警值时及时报警;出现反常或危险信息时,立即通知业主、监理和施工单位采取应急处理措施,增大监测频率,密切关注基坑动态变化,与各方共同商讨应对策略及处理措施,切实保障工程安全。

综上所述,科学规范的基坑监测工作贯穿于基坑工程建设的全过程,从前期准备、过程监测到成果应用与预警处理,各个环节紧密相扣,对保障基坑工程安全、顺利推进工程建设发挥着不可替代的作用,值得在类似工程中推广应用。

参考文献:

- [1] 王卫东,刘国彬,徐中华,等.基坑工程手册(第二版)[K].上海:华东建筑设计研究院有限公司,2009-12-01.
- [2] 张抗寒,陈锦剑,王建华,等.紧邻基坑同步施工下坑间隧道的变形特性[J].上海交通大学学报,2013,47(10):1537-1541.
- [3] 肖潇,李明广,夏小和,等.基坑开挖对临近明挖暗埋隧道竖向变形的影响机理[J].上海交通大学学报,2018,52(11):1437-1443.
- [4] 刘俊城,谭勇,张生杰.地铁车站深基坑开挖变形智能多步预测方法[J].上海交通大学学报,2024,58(7):1108-1117.
- [5] 李进益,沈程鹏,罗正东.地铁车站基坑变形组合预测方法研究[J].市政技术,2020,38(5):161-163,167.
- [6] 郭雪源,张明聚,武立伟.基坑工程内支撑体系水平刚度系数修正解析计算方法[C]//2021年工业建筑学术交流会议论文集(下册).华北理工大学建筑工程学院,北京工业大学北京城市轨道交通协同创新中心,2021:5.
- [7] 李毅,仲海蛟.北京世园小镇接待中心基坑监测分析[J].钻探工程,2021,48(5):113-118.
- [8] 周乐木,孙开武,殷源,等.大锚锭超深基坑降水施工关键技术及监测分析[J].土木工程与管理学报,2020,37(2):111-114.
- [9] 住房和城乡建设部.建筑基坑工程监测技术标准:GB50497—2019[S].北京:中国计划出版社,2019.

(编辑 王文)