

采用滑降式预支撑体系的超深基坑受力变形特性研究

罗赛楠

上海隧道工程有限公司, 上海

收稿日期: 2023年5月1日; 录用日期: 2023年5月21日; 发布日期: 2023年5月31日

摘要

随着城市地下空间持续开发, 基坑变形及环境保护成为地下工程实施的重要控制内容。为应对深基坑无支撑暴露时间的变形, 上海轨道交通市域线机场联络线华泾站4区西端头井基坑开挖过程中首次引入滑降式快速预支撑体系。本文依托上海轨道交通市域线机场联络线华泾站基坑, 对引入深基坑滑降式快速预支撑体系的开挖应用效果与传统基坑开挖施工效果进行对比分析, 以探讨深基坑滑降式快速预支撑体系的有效性, 以期对该体系在后续类似工程中的应用提供借鉴作用。

关键词

深基坑, 滑降式, 快速预支撑, 对比分析

Research on Deformation Characteristics in Deep Foundation Pit with Sliding Type Rapid Pre-Support System

Sainan Luo

Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai

Received: May 1st, 2023; accepted: May 21st, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

With the development of urban underground space, foundation pit deformation and environmental protection have become important control contents in the implementation of underground engineering. In order to cope with the deformation of unsupported exposure time of deep foundation pit, the sliding rapid pre-support system was introduced for the first time in the excavation of the

foundation pit of the west end well in zone 4 of Huajing station of the airport connecting line of Shanghai rail transit. Based on Huajing station of the airport connecting line of Shanghai rail transit, this paper compares and analyzes the excavation application effect of the sliding rapid pre-support system of deep foundation pit with that of the traditional foundation pit excavation, so as to explore the effectiveness of the sliding rapid pre-support system of deep foundation pit, in order to provide a reference for the application of the system in subsequent similar projects.

Keywords

Deep Foundation Pit, Glide Type, Rapid Pre-Support, Contrastive Analysis

Copyright © 2023 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

随着城市地下空间持续开发,深度增加,如何有效控制城市中心区域软土地区深基坑工程的安全、稳定和变形,成为地下空间开发的重要课题。深基坑工程通常由于构造复杂,涉及大量工序及人工操作,并涉及地下水抽排等措施,对周边环境的影响显著[1]。砼支撑由于施工时间长,导致无支撑暴露时间明显增加,变形量较大[2]。根据以往深基坑工程经验,通常在开挖期间通过设置临时支撑对围护结构无支撑暴露变形[3][4]进行控制,虽该方法取得了一定的控制效果,但临时钢支撑拆装工序也较为繁琐,效率不高,无法根本解决无支撑暴露变形[5]。

滑降式快速预支撑体系作为一种高效、可循环、支撑效果佳、多用途的深基坑支撑体系,以主动控制深基坑围护结构变形,最终降低基坑施工对周边环境的影响为目的[6],通过对现有工艺、技术原理进行充分吸收借鉴,并在其基础上加以创新,以计算机模拟技术为辅助,设计出一套深基坑滑降式快速预支撑体系及其关键技术,实现基坑支护机械化、流水化作业。首次被引入上海轨道交通市域线机场联络线华泾站4区西端头井内,并成功使用,在深基坑开挖施工过程中,成功将围护结构变形减小20%。

工程上,一般通过当前基坑监测数据,对本基坑的开挖效果进行分析评价,或者通过不同基坑监测数据,对基坑变形特性进行分析研究[7][8]。本文基于上海轨道交通市域线机场联络线基坑实测数据,为进一步明确滑降式快速预支撑体系对基坑开挖变形的控制效果,选取上海轨道交通市域线机场联络线华泾站不同区段基坑进行横向对比。选取4区作为基准项,选取土质条件及支撑情况基本完全相同且开挖深度基本一致的1区作为对比项,以探讨深基坑滑降式快速预支撑体系的有效性,为今后滑降式快速预支撑体系广泛投入使用提供参考。

2. 工程概况

2.1. 华泾站4区(西端头井)基坑概况

华泾站自西向东分4个工区施工,分区4为盾构接收井,基坑外包尺寸 27.5×30 m(长 \times 宽),最大开挖深度约42.95 m。围护结构采用1.2 m厚地下连续墙+两侧水泥搅拌桩槽壁加固的形式,地下连续墙深度为107.5 m,接头形式为套铣接头,槽壁加固桩长25 m,桩径850 mm,桩心距600 mm;内支撑为全钢筋混凝土支撑,从上至下共设置9道,其中第7、8道为留撑。地下连续墙墙缝处设置桩径2200 mm的N-jet墙缝止水。基坑桩基形式为钻孔灌注桩,坑内设置5根抗拔桩和4根立柱桩。基坑平面布置见图1。

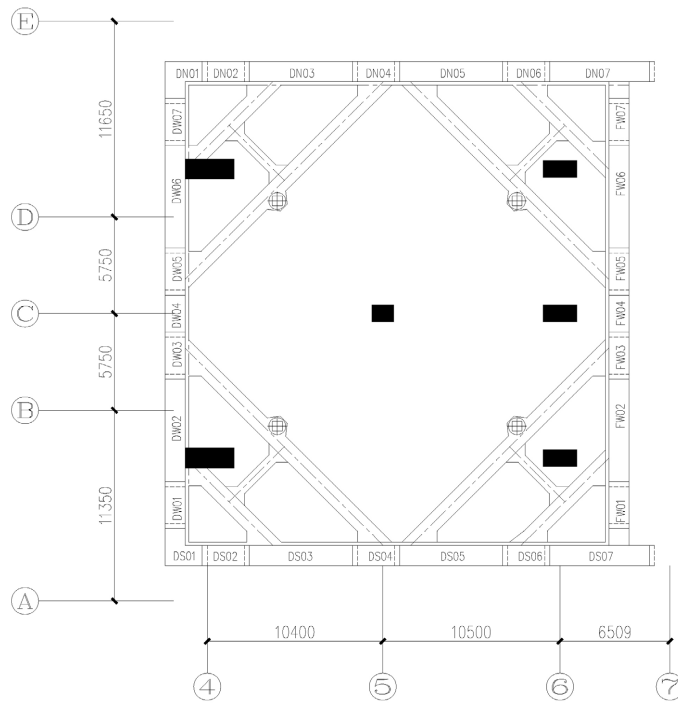


Figure 1. Huaqing station area 4 foundation pit plan
图 1. 华泾站 4 区基坑平面图

2.2. 滑降式快速预支撑体系介绍

滑降式快速预支撑体系采用钢框架支撑模块(包括钢围檩和斜撑),配合千斤顶液压伺服系统模块进行提前主动支护,有效控制或减缓钢筋混凝土支撑施工期间的基坑变形。同时,钢框架支撑模块可用作支撑底模,省去了普通素砼底模的工作量,提高施工速度。通过竖向滑降系统模块可以在钢筋混凝土支撑形成强度后,将钢框架支撑模块快速下放到下一层开挖作业面,尽可能减少基坑无支护暴露时间。

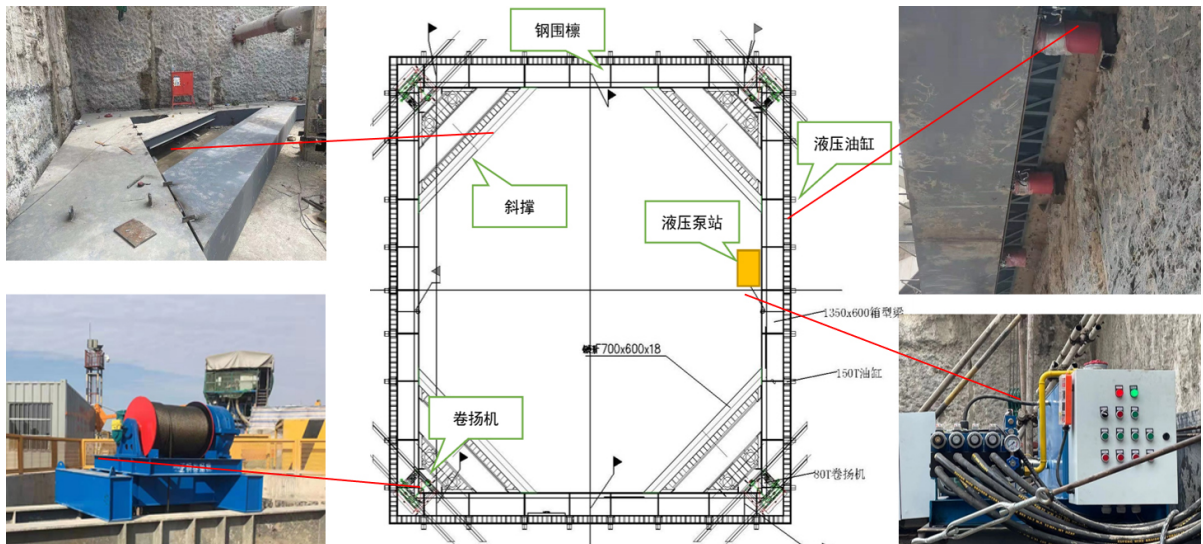


Figure 2. Sliding type rapid pre-support system
图 2. 滑降式快速预支撑体系

通过在钢框架外侧设置翼板和斜撑,适应不同截面尺寸的钢筋混凝土支撑施工需要,控制钢框架支撑总重。滑降式快速预支撑体系组成见图 2。通过体系的控制监测系统,控制预加顶力在钢筋混凝土支撑最大轴力的百分比,达到最优支撑效果。同时,实现体系滑降过程中超过规定限值时报警自锁,防止滑降过速、坠落等风险发生。

3. 超深基坑受力变形分析

结合上海市硬 X 射线自由电子激光装置 5 号井的实测围护墙变形数据,利用 PLAXIS 2D 通用岩土有限元计算软件,采用土体硬化模型本构,对华泾站 4 区工作井开挖进行模拟。得到华泾站 4 区工作井在未使用深基坑滑降式快速预支撑体系下的基坑变形曲线。

由于预支撑体系对于基坑的作用是主动、可控、分级的,深基坑滑降式快速预支撑体系对围护施加各级预支撑力,基坑最大变形与预支撑力呈现线性递减趋势,预支撑力大于 1000 kN/m 后围护对预支撑力的敏感度略有降低。综合考虑施工实施可行性及造价等因素,根据 4 区实施工序、确定采用 500 kN/m 预顶力作为滑降式预支撑体系实施标准。

经计算,得到 4 区工作井未使用滑降式预支撑体系及使用滑降式预支撑体系的两条基坑变形曲线。未引入滑降式快速预支撑体系基坑变形为 106.12 mm,引入深基坑滑降式快速预支撑体系基坑变形为 93.81 mm。基坑变形差值 12.31 mm,减少约 11.6%,墙身变形对比见图 3。引入深基坑滑降式快速预支撑体系后对地墙配筋基本无影响,但可以有效控制基坑开挖期间的变形。

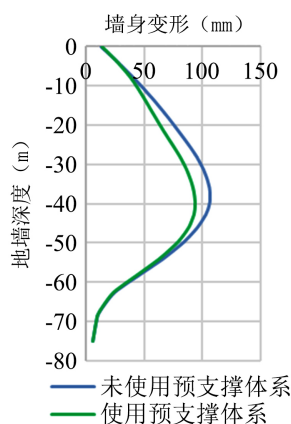


Figure 3. Comparison of wall deformation in zone 4 of Huajing station
图 3. 华泾站 4 区墙身变形对比图

4. 滑降式预支撑体系的工程实践

4.1. 工程施工工况介绍

本工程钢构件在加工厂内进行制作,运至现场拼装,冠梁施工过程中,在结构内部预埋卷扬机固定梁。预支撑体系安装在井下按照钢围檩、斜撑的顺序拼装,连接成整体后用卷扬机整体提升,进行液压油缸、油管、液压泵站等安装,完成后进行体系的试运转。

土方开挖至设计标高,基面整平压实,检查滑降设备。依次调整卷扬机使其钢丝绳受力,千斤顶采用先松后收的方式对称收回,确认钢框与混凝土脱开,然后进行滑降。下放到位后,按设计值逐级施加顶力,间隙回填黄沙。后续进行围檩支撑施工,待混凝土强度可以承受自身重力,恢复滑降系统与钢框架支撑模块连接,开挖下一层土方至指定深度,进行下一循环。体系应用工序见图 4。

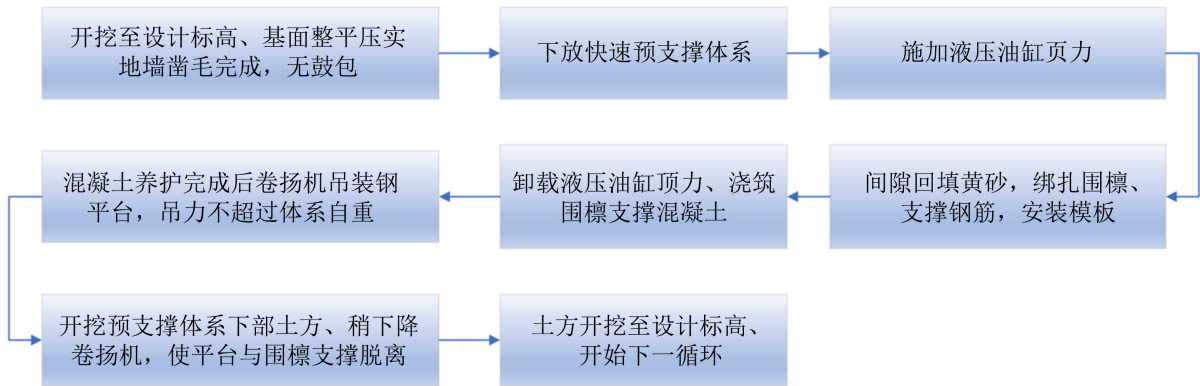


Figure 4. Application process diagram of deep foundation pit sliding fast pre support system
图 4. 深基坑滑降式快速预支撑体系应用工序图

该体系从第二道支撑施工前开始安装，反复循环至第八道支撑。第三~第八道支撑施工养护平均时间不到 9 天，减小了混凝土养护暂停施工时间，极大地提高了支撑施工速度。

4.2. 监测数据分析

分区 4 基坑围护结构深层水平位移监测点共 9 个。其中 CX1 至 CX7、CX9 为人工采集测斜点，CX8 为自动化采集测斜点。测点分布如下图 5 所示。

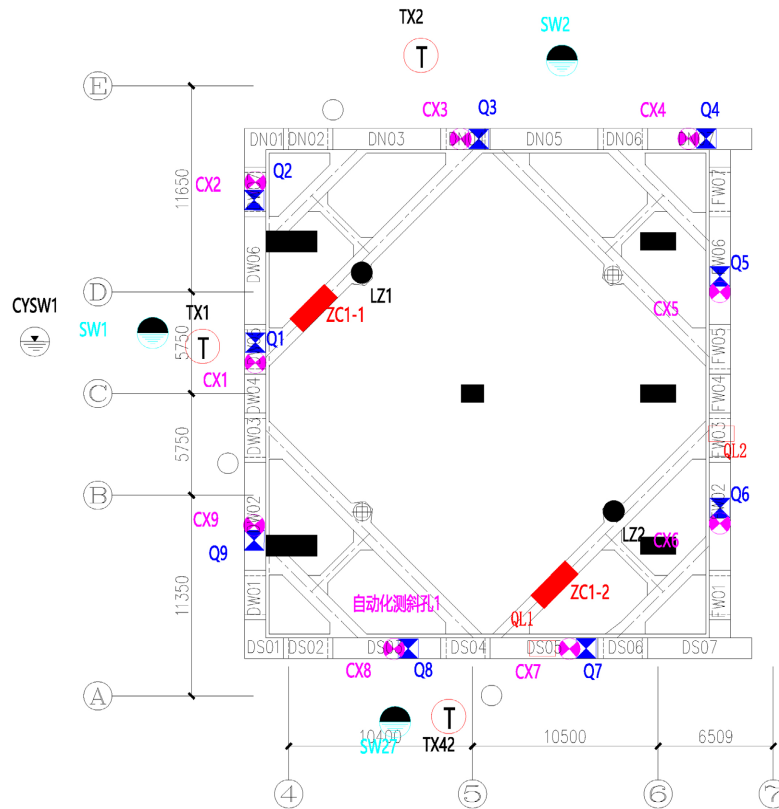


Figure 5. Layout of monitoring points for the retaining structure and support of the foundation pit in zone 4 of Huajing Station
图 5. 华泾站 4 区基坑围护结构及支撑监测布点图

根据统计分析,每层混凝土支撑施工平均用时不到9天。整个体系从当前层下降至下一层开挖面并形成支撑效应仅需4小时左右,极大地减少了无支撑暴露时间。较传统地钢支撑更快,能够及时地对围护结构形成支护,混凝土支撑施工完成后,等待养护的时间缩短,向下进行土方开挖,节省了工期。

在开挖变形方面,我们统计了每层土方开挖期间和快速预支撑体系作用期间围护结构水平位移的平均日变形量和累计变形量,每道支撑施工期间墙身变形统计见表1,变形曲线见图6。结果表明,支撑期间的围护结构日变形量均小于开挖期间,且减小量平均在30%以上,滑降式快速预支撑体系可以有效的控制开挖期间基坑变形。

Table 1. Statistical table of wall deformation during each support construction period

表 1. 每道支撑施工期间墙身变形统计表

开挖位置	day 1	day 2	day 3	day 4	day 5	day 6	day 7	day 8
第三道	10.48	10.73	12.11	13.15	13.48	14.99	15.43	15.76
第四道	14.11	15.44	16.82	18.41	20.28	22.03	23.32	
第五道	26.92	28.48	29.74	29.4	30.26	30.35	29.51	30.43
第六道	20.37	21.19	21.9	22.65	21.53	24.07	25.27	26.09
第七道	43.94	45.64	47.54	49.22	50.35	51.62	51.92	
第八道	49.21	50.84	52.32	53.85	55.5	57.23	58.34	59.46

每道支撑施工期间墙身变形曲线图

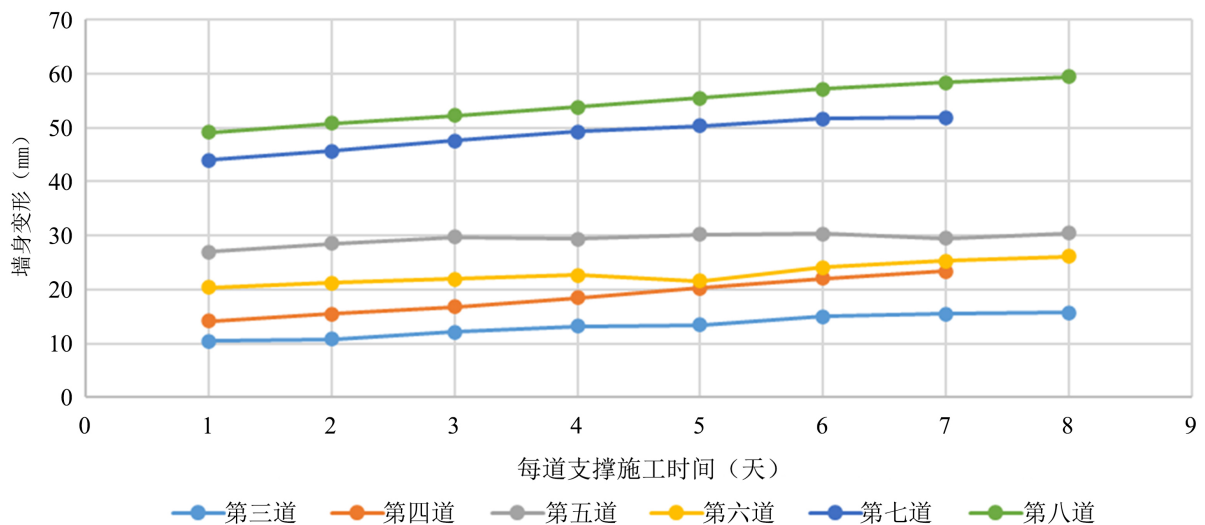


Figure 6. Curve of wall deformation during each support construction period

图 6. 每道支撑施工期间墙身变形曲线图

通过墙体深层水平位移开挖监测数据可知,测斜变化量向坑内位移趋势明显,随着开挖深度加深而向下移,开挖阶段墙体深层水平位移累计变化统计见表2,最大测斜变形为CX1(76.79 mm),累计变形曲线图见图7。大底板浇筑完成25天,第九道支撑拆除结束,数据明显趋于收敛状态。

Table 2. Table of cumulative changes in excavation stage of deep horizontal displacement of partition 4 wall
表 2. 分区 4 墙体深层水平位移开挖阶段累计变化表

工况点号	第二道支撑结束	第四道支撑结束	第六道支撑结束	第七道支撑结束	第八道支撑结束	第九道支撑结束	底板施工结束	最近一次测量
CX1	11.02	23.41	36.27	52.13	62.28	71.10	76.79	85.20
CX2	8.48	12.85	12.80	14.68	19.77	26.38	34.08	37.62
CX3	10.32	19.32	32.29	47.47	56.34	64.82	71.24	79.43
CX4	9.02	12.37	16.15	18.74	24.86	29.93	37.45	46.42
CX5	9.98	14.47	23.95	35.68	42.02	48.73	56.60	64.87
CX6	10.06	15.72	24.30	30.75	35.86	42.30	50.14	59.52
CX7	10.22	15.25	25.37	34.54	41.60	49.49	58.23	68.98
CX8	10.17	17.27	26.73	30.04	31.53	39.19	44.66	55.71
CX9	10.39	18.56	26.23	42.69	52.75	61.89	68.65	76.96

机场线4标4区CX1累计变化曲线图

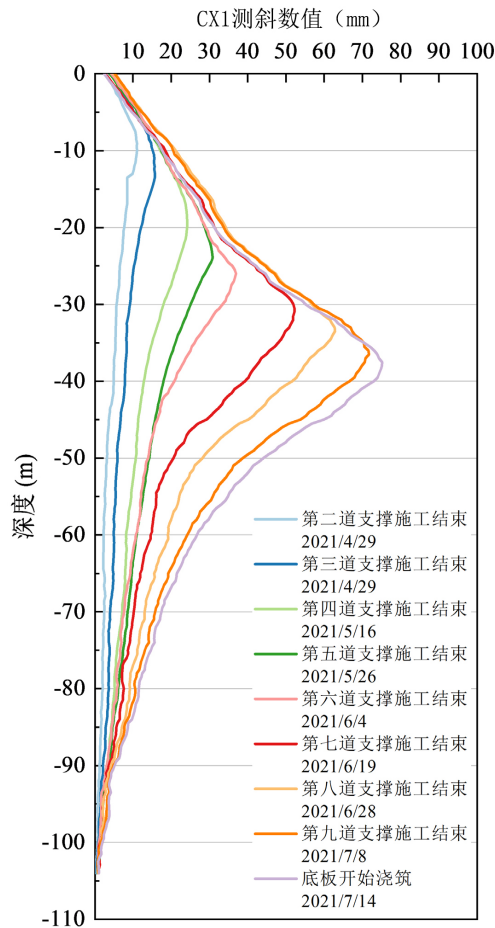


Figure 7. CX1 point cumulative deformation curve
图 7. CX1 点位累计变形曲线图

5. 与华泾站 1 区基坑的开挖对比

5.1. 华泾站 1 区东端头井概况介绍

1 区基坑围护结构选用 1200 mm 厚地下连续墙，采用明挖顺作法施工，基坑长度 136.3 m × 27.6 m，东端头井与盾构落深段同时施工。

盾构落深段基坑(47 轴~51 轴)深度约 40 m，选用 1200 mm 厚地下连续墙，落深段范围内地墙墙长 85 m (其中构造加长 23.5 m)，墙趾位于第⑨层细砂中，沿基坑深度方向设置九道支撑(其中第七道与第八道留撑)。东端头井段基坑(51 轴~53 轴)深度约 44 m，选用 1200 mm 厚地下连续墙，东端头井段范围内地墙墙长 85 m (其中构造加长 10 m)，墙趾位于第⑨层细砂中，沿基坑深度方向设置九道支撑(其中第七道与第八道留撑)。1 区基坑落深段与东端头井平面图及监测点位布置图见图 8 和图 9。

1 区、4 区均在华泾站基坑范围内，地理位置相同，土层无较大起伏，基本一致。华泾站 1 区东端头井墙体深层水平位移开挖阶段累计变化表见表 3。

Table 3. Cumulative changes in the excavation stage of deep horizontal displacement of the wall in zone 1 (east end head well) of Huajing station

表 3. 华泾站 1 区(东端头井)墙体深层水平位移开挖阶段累计变化表

工况点号	第二道支撑完成	第三道支撑完成	第四道支撑完成	第五道支撑完成	第六道支撑完成	第七道支撑完成	第八道支撑完成	第九道支撑完成
CX56	7.3	23.37	35.93	57.98	65.13	73.21	93.12	109.38
CX57	5.83	19.13	34.54	52.47	60.16	69.83	86.79	105.13
CX58	5.85	11.1	20.12	28.36	35.99	44.53	53.71	58.25
CX59	4.47	9.33	19.14	27.85	37.14	42.26	52.94	58.36
CX60	4.43	10.77	20.7	29.91	37.29	46.21	59.6	64.77
CX61	7.23	23.9	38.57	57.84	66.84	73.52	91.88	108.27

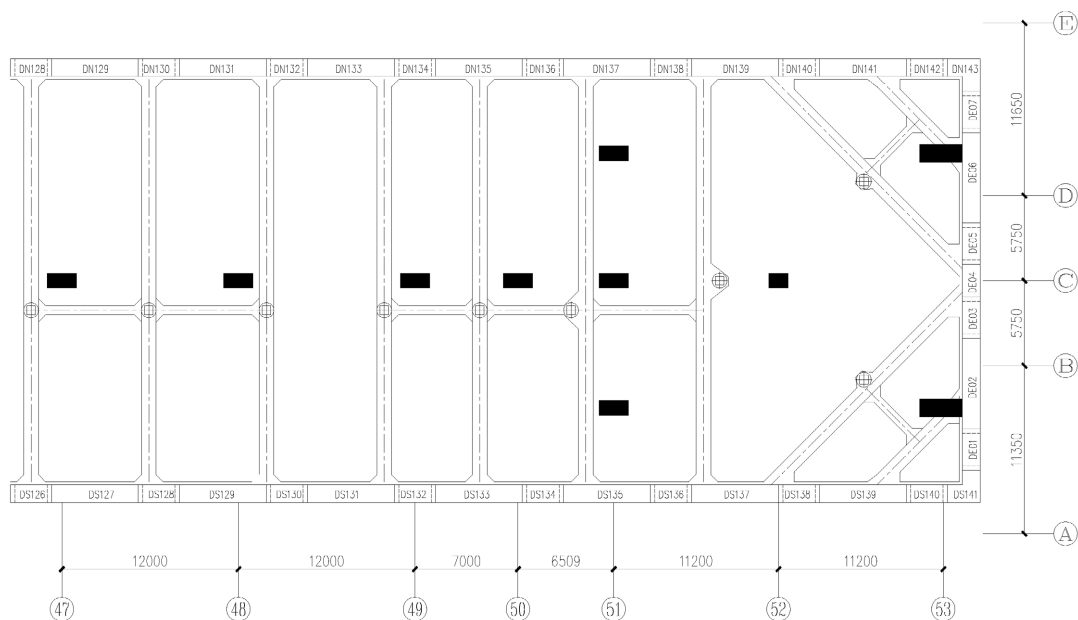


Figure 8. Plan view of the foundation pit (falling depth section and east end head well) in zone 1 of Huajing station
图 8. 华泾站 1 区基坑(落深段与东端头井)平面图

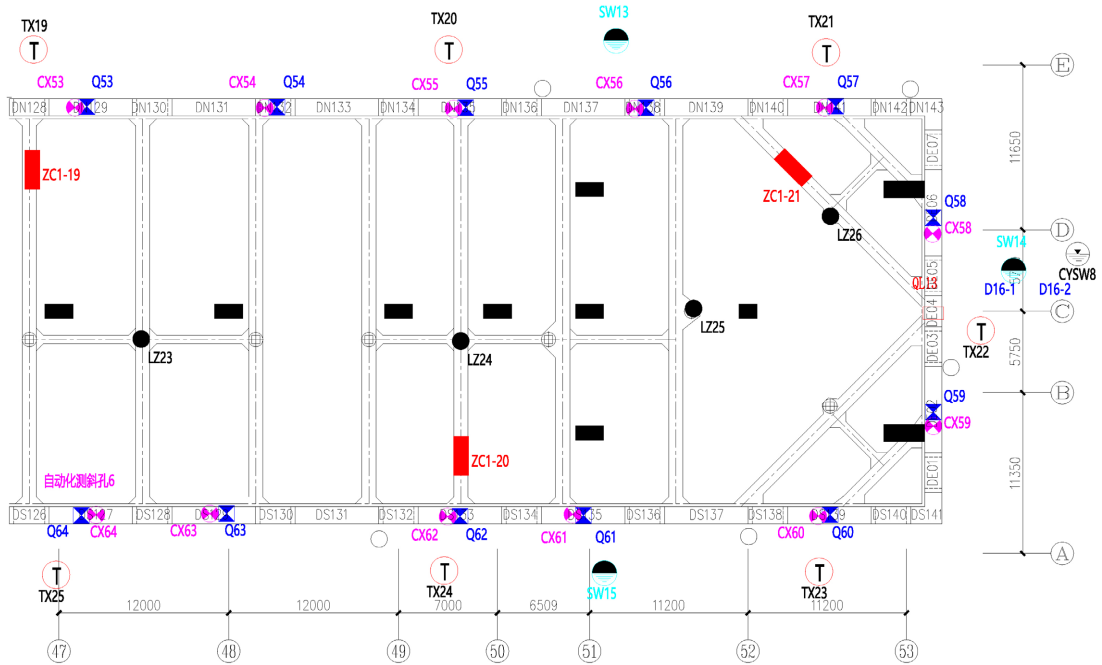


Figure 9. Layout of monitoring points for the foundation pit (falling depth section and east end head well) in zone 1 of Huajing station

图 9. 华泾站 1 区基坑(落深段与东端头井)监测点位布置图

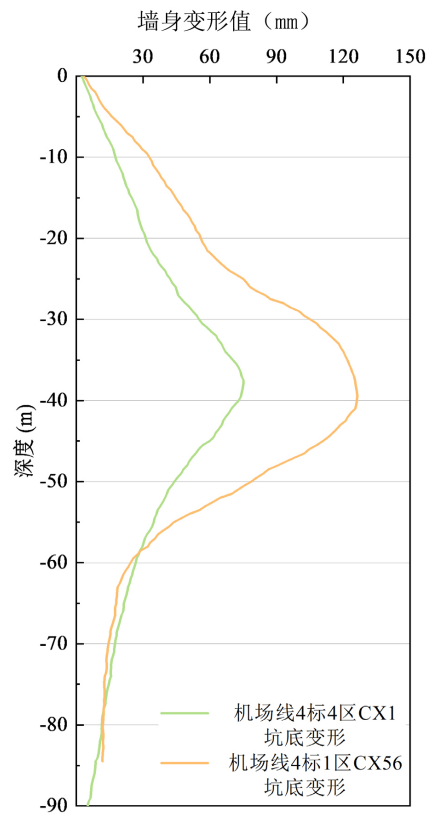


Figure 10. Deformation curve of pit bottom in zone 4 CX1 and zone 1 CX56

图 10. 4 区 CX1 与 1 区 CX56 坑底变形曲线图

5.2. 华泾站 4 区与 1 区开挖数据对比分析

华泾站(西端头井) 4 区除在开挖期间使用深基坑滑降式快速预支撑体系, 其余施工工序与华泾站(东端头井) 1 区一致, 且两个井土质条件及支撑情况基本完全相同, 开挖深度基本一致, 4 区矩形基坑, 1 区由于盾构落底段与东端头井同步施工, 故 1 区为条形基坑。1 区点位选择位于东端头井靠近短边位置, 可作为未使用深基坑滑降式快速支撑体系效果参考样本。

由监测数据可知, 4 区与 1 区最大变形量相差约 32.59 mm, 深基坑滑降式快速预支撑体系使用后效果可将变形减少 29.8%, 4 区最大变形 CX1 与 1 区最大变形 CX56 坑底变形曲线图见图 10。

6. 结论

通过对上海市轨道交通市域线机场联络线工程华泾站 4 区基坑监测数据分析, 并对比 1 区基坑监测数据, 可知深基坑滑降式快速支撑体系在基坑开挖期间能起到良好地控制基坑变形的效果。对于相近规模、相近土层及相近开挖深度的基坑, 引入深基坑滑降式快速支撑体系可将基坑变形控制在通常明挖顺作法变形的 70%左右, 达到同类工程领先水平。

参考文献

- [1] 徐辰春. 深基坑滑降式快速预支撑体系施工工艺研究及应用[J]. 土木工程, 2021, 10(10): 1006-1012.
- [2] 张伟泉. 滑降式快速预支撑体系在超深基坑中的应用研究[J]. 城市道桥与防洪, 2022(10): 158-161+169+21.
- [3] 成雯桢. 滑降式快速预支撑体系设计在深基坑工程中的应用[J]. 建筑科技, 2022, 6(6): 78-82.
- [4] 周冠南. 软弱地层深基坑开挖时空效应分析及控制[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(S1): 1653-1658.
- [5] 欧阳光辉. 软土地区深基坑开挖的时空效应再研究和工程应用[J]. 建筑施工, 2013, 35(5): 353-356.
- [6] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997: 203-211.
- [7] 路鹏. 超深基坑施工支护结构受力变形实测分析[J]. 工程勘察, 2020, 48(7): 12-17.
- [8] 江晓峰, 刘国彬, 张伟立, 李翔宇. 基于实测数据的上海地区超深基坑变形特性研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S2): 570-573.