

滑降式预支撑体系与传统支护体系基坑变形对比研究

王殊阳

上海隧道工程有限公司，上海

收稿日期：2025年5月24日；录用日期：2025年6月16日；发布日期：2025年6月26日

摘要

随着地下工程基坑深度持续加深，传统基坑支护体系受限于施工效率与变形协调能力，难以满足深基坑的严苛变形要求。基于上海轨道交通市域线机场联络线工程四处深基坑案例，结合现场监测数据量化分析，对采用滑降式预支撑体系的基坑围护结构侧移变形与传统支护体系的围护结构侧移变形进行对比研究。滑降式预支撑体系通过模块化滑降结构与实时应力补偿协同作用机制，最大水平位移较传统体系减少23%~30%，实现支护结构“随挖随支”的动态响应，为高效基坑支护施工提供借鉴作用。

关键词

滑降式，预支撑体系，基坑变形，对比分析

Comparative Study on Deformation between Sliding Type Rapid Pre-Support System and Conventional Support Systems in Foundation Pits

Shuyang Wang

Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai

Received: May 24th, 2025; accepted: Jun. 16th, 2025; published: Jun. 26th, 2025

Abstract

With the increasing depth of underground foundation pits, conventional retaining systems face challenges in meeting stringent deformation requirements due to limitations in construction

文章引用：王殊阳. 滑降式预支撑体系与传统支护体系基坑变形对比研究[J]. 土木工程, 2025, 14(6): 1515-1522.
DOI: 10.12677/hjce.2025.146163

efficiency and deformation coordination. This study focuses on four deep foundation pits in the Shanghai Rail Transit Airport Link Project, conducting a comparative analysis of lateral deformations in retaining structures between the sliding type rapid pre-support system and conventional systems through quantitative field monitoring data. The sliding type rapid pre-support system integrates a modular sliding-down structure with a real-time stress compensation mechanism, enabling dynamic “excavation-support synchronization”. Results indicate that the maximum horizontal displacement of the sliding type rapid pre-support system is reduced by 23%~30% compared to conventional systems. This research validates the effectiveness of the SDPS in deep excavation scenarios, providing a valuable reference for efficient foundation pit support construction.

Keywords

Glide Type, Pre-Support System, Deformation of Deep Foundation Pit, Contrastive Analysis

Copyright © 2025 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

随着城市的发展，交通系统不断加密，城市中心区域土地资源日趋紧张，地下空间的开发力度与日俱增，随着各类地下建筑物、管线日趋密集、复杂，基坑的深度不断增加，开挖环境不断复杂化。传统的超深基坑支护体系中普通钢支撑轴力小、刚度小、易失稳，钢筋混凝土支撑由于其材料特性，无法做到随挖随撑。因此，在开挖期间引入附加机械提前主动支护，更加有效且高效控制深基坑支撑施工期间的变形，对周边已有建筑保护和基坑安全具有重大意义。

上海轨道交通市域线机场联络线华泾西端头井基坑开挖过程中使用滑降式快速预支撑体系，主动控制深基坑开挖过程中地下连续墙变形的发展趋势，降低基坑施工对周边环境的影响，实现基坑支护机械化、流水化作业[1] [2]。

本文基于基坑围护结构水平位移实测数据，通过对华泾西端头井与东端头井、梅富路端头井、3#风井三个同类基坑监测数据分析研究，探讨深基坑滑降式快速预支撑体系的有效性，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，为后续滑降式预支撑体系广泛使用及高效基坑支护施工提供借鉴。

2. 基坑工程概况

2.1. 华泾西端头井概况

华泾西端头井基坑尺寸 27.5×30 m，最大开挖深度 42.95 m，地下连续墙深度 107.5 m，接头形式为套铣接头，共设置 9 道钢筋混凝土支撑，采用明挖顺作法施工，支撑布置及地质关系剖面图见图 1。

华泾西端头井为明挖顺作，坑内无加固。开挖深度 42.9 m，内支撑采用砼支撑，共九道。第二层土方开挖后采用滑降式快速预支撑体系。

2.2. 类比基坑概况

华泾东、西端头井地理位置相同，土层基本一致，与梅富路端头井、3#风井尺寸相近，地理位置相近，土层相近，故选择上述 3 个基坑作开挖变形分析的对比样本。

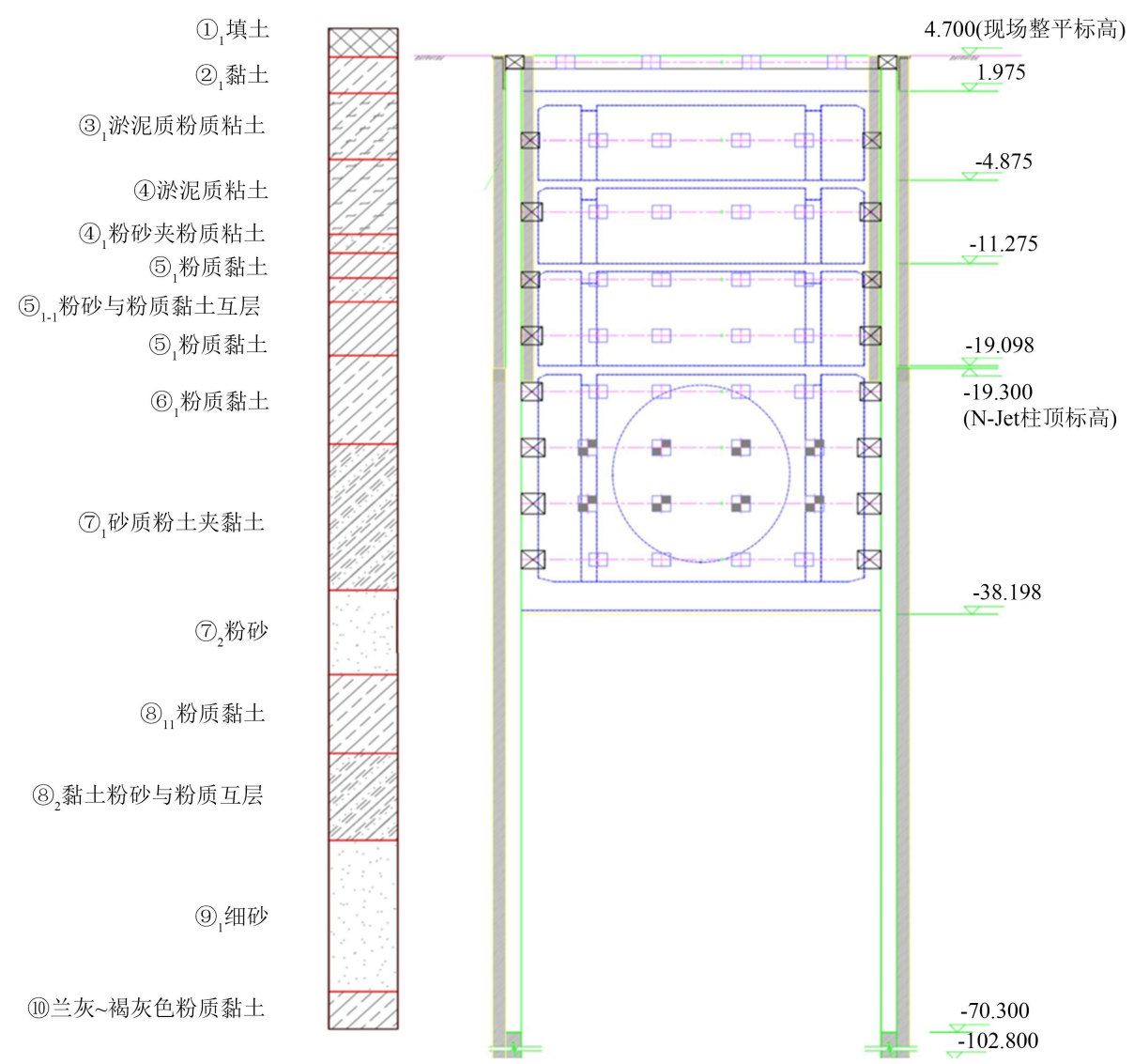


Figure 1. Support layout and geological profile diagram of west Huajing head well
图 1. 华泾西端头井支撑布置及地质关系剖面图

梅富路为明挖法，框架侧墙逆作工序，地下 13 m 范围内抽条加固，加固土层覆盖淤泥质粉质黏土，开挖深度 36.4 m，内置支撑体系采用钢支撑 + 砼支撑，共 10 道，间距较密，施工至第五道砼支撑后，拆除第二道钢支撑施作侧墙。

3#风井为明挖法，框架逆作工序，地下 18 m 范围内裙边加固，加固土层覆盖淤泥质粉质黏土，开挖深度 33.6 m，内置支撑体系采用钢支撑 + 砼支撑，共 9 道，间距较密。各基坑基础工况对比见表 1。

Table 1. Comparison table of foundation working conditions for each excavation
表 1. 各基坑基础工况对比表

基坑	华泾西端头井	华泾东端头井	梅富路端头井	3#风井
基坑尺寸	25.1 × 27.6	136.3 × 27.6	25 × 25	28 × 33
开挖深度	42.9 m	44.023 m	36.4 m	33.701 m

续表

施工工序	明挖顺做	明挖顺做	明挖，侧墙框架梁逆作	明挖，框架梁逆作
支撑	9 道混凝土支撑	9 道混凝土支撑	5 道钢 + 5 道混凝土支撑	5 道钢 + 4 道混凝土支撑
支撑间距	$6 + 5.5 + 5.2 + 4.3 \times 5 + 4.2$	$6 + 5.5 + 5.2 + 4.6 + 4.5 \times 4 + 4.223$	$5.3 + 4.4 + 3.8 + 3.3 \times 3 + 3 \times 2 + 3.4 + 2.86$	$7 + 3.8 + 3 + 3.7 + 3 + 3 + 3.1 + 3 + 3.5 + 3$
地下连续墙厚度	1.2 m	1.2 m	1.2 m	1.2 m
地下连续墙深度	107.5	85	66	60
插入比	0.713	0.703	0.448	0.785
加固形式	-	-	抽条加固(地面下 13 m)	裙边加固(地面下 18 m)
有利措施	配合深基坑滑降式快速预支撑体系	-	支撑数量及间距加密，侧墙、框架梁逆作	支撑间距加密，框架梁逆作

3. 滑降式预支撑体系情况

滑降式预支撑体系采用钢框架支撑模块加液压千斤顶伺服模块，体系构造组成见图 2，通过滑降框架与千斤顶应力补偿协同作用机制，在开挖完成到混凝土支撑形成强度之间的暴露时间进行主动支护，有效缩小支撑施工期间的墙体水平位移[3]。

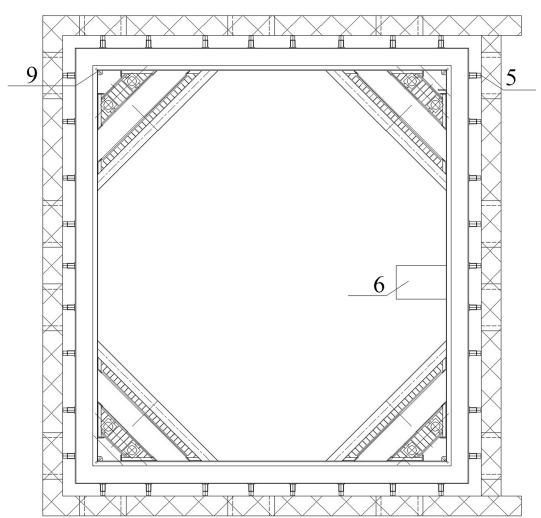


Figure 2. Structural diagram of sliding type rapid pre-support system
图 2. 滑降式预支撑体系构造图

结合已实施项目变形曲线分析，选取 PLAXIS 2D 通用岩土有限元计算软件，采用土体硬化模型本构，对华泾西端头井开挖进行模拟。得到一条可靠的未使用深基坑滑降式快速预支撑体系下的基坑变形曲线。再引入分级预支撑力，得到基坑使用预支撑体系后，各级预支撑力下的变形曲线。综合考虑施工实施可行性及造价等因素，确定按 500 kN/m 加载。

经统计，华泾西端头井每道支撑施工时间为 9 天。模块式滑降结构形成临时支撑体系仅需 4 小时，较传统的支护体系更快，同时减少了混凝土养护等候期，达到一定设计强度即可向下开挖，极大地缩短了工期[4]。

4. 监测数据对比分析

4.1. 监测数据汇总

华泾站西端头井东侧地墙为封堵墙,西南、西北角角部空间效应明显,选用西侧变形最大的点位 CX1 作为类比标准点。华泾东端头井东侧地墙外施作盾构始发加固,墙体水平变形最小,端头井南、北侧距东侧地墙较近位置适合作对比点,选取北侧 CX56 点位,该点位与转角距离和西端头井标准点 CX1 点与转角距离相近,受力模型一致。

梅富路端头井西侧地墙外盾构始发加固,开挖至坑底时该侧墙身变形最小,南北侧 P3 与 P25 点位距角部距离与华泾站西端头井 CX1 点位距角部距离基本一致,选取墙身变形较大点 P3 点位进行对比。3# 风井东西侧分别为盾构接收始发侧,北侧为附属结构,南侧 P09 点位距角部距离与类比标准华泾西端头井 CX1 点位距角部距离基本一致,选取 P09 点位进行对比。

相关监测由专业第三方监测单位进行,在围护结构墙体施工过程中预埋测斜管,开挖期间使用活动式测斜仪每天监测围护墙体深层水平位移,各监测点位开挖阶段累计围护深层水平位移变化统计见表 2。墙体深层水平位移开挖阶段累计变化曲线见图 3、图 4。

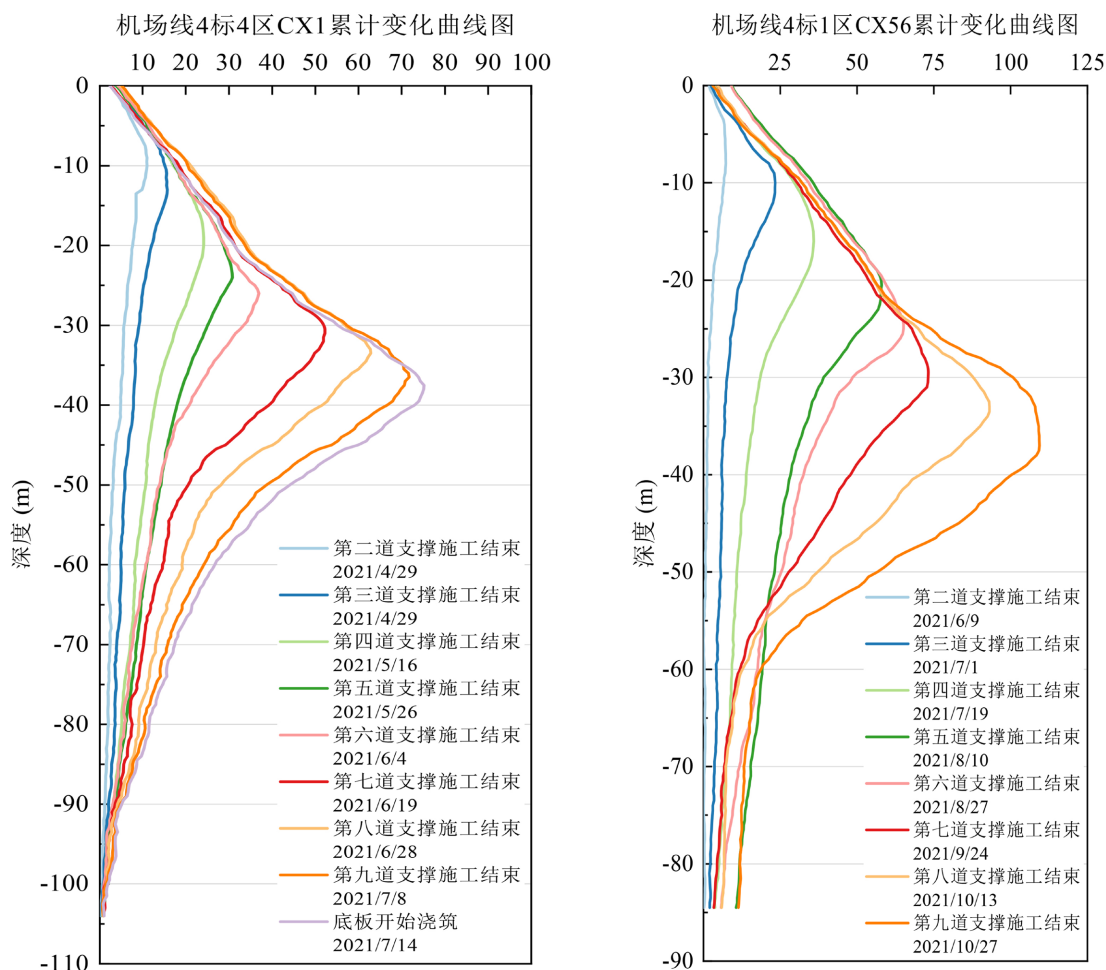


Figure 3. Cumulative horizontal displacement curves of wall deep layers at CX1 (west Huajing head well) and CX56 (east head well) during excavation

图 3. 华泾西端头井 CX1 点位与东端头井 CX56 点位墙体深层水平位移开挖阶段累计变化曲线图

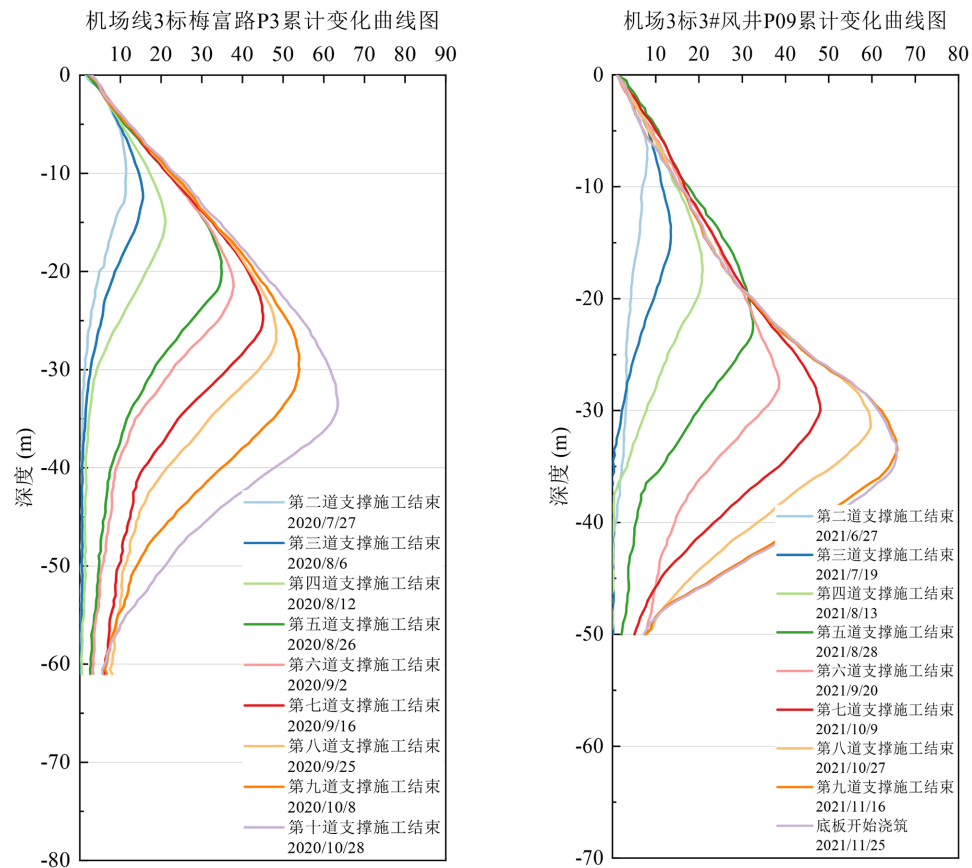


Figure 4. Cumulative horizontal displacement curves of wall deep layers at P3 (Meifu Road head well) and P09 (Vent shaft No.3) during excavation

图 4. 梅富路端头井 P3 点位与 3#风井 P09 点位墙体深层水平位移开挖阶段累计变化曲线图

Table 2. Statistical table of cumulative changes in deep horizontal displacement of retaining structures during excavation stages

表 2. 围护深层水平位移开挖阶段累计变化统计表

基坑	华泾西端头井	华泾东端头井	梅富路端头井	3#风井
点位	CX1	CX56	P3	P09
第二道	11.02	7.3	11.4	8.1
第三道	15.76	23.37	15.6	13.5
第四道	23.41	35.93	21.1	20.8
第五道	30.43	57.98	34.9	32.9
第六道	36.27	65.13	37.9	38.2
第七道	52.13	73.21	45.1	45.4
第八道	62.28	93.12	48.3	55.6
第九道	71.11	109.38	54	62
第十道	/	/	63.4	/
底板	76.79	130.11	67.8	65.7

根据以上数据对比,四个基坑最大变形监测点位开挖至坑底围护墙体深层水平位移累计变化量见表3,变化曲线对比图见图5。

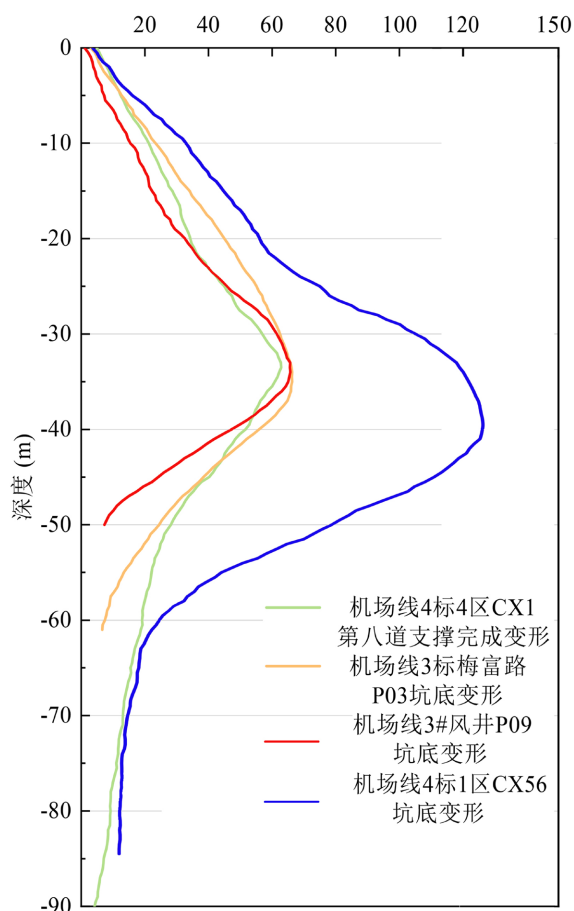


Figure 5. Comparative diagram of deep horizontal wall displacement curves during four excavations to final grade

图 5. 四个基坑开挖至坑底墙体深层水平位移变化曲线对比图

Table 3. Statistical table of cumulative deep horizontal displacement of retaining structures

表 3. 围护深层水平位移累计变化统计表

基坑	华泾西端头井		华泾东端头井	梅富路端头井	3#风井
测点编号	CX1		CX56	P09	P03
开挖深度	42.9 m	35.7 m	44.023 m	33.701 m	36.4 m
变形对比	76.79 mm (坑底)	62.84 mm (第八道)	130.11 mm (坑底)	67.8 mm (坑底)	65.7 mm (坑底)

4.2. 数据对比分析

华泾西端头井与东端头井地理位置相同,西端头井除在开挖期间使用深基坑滑降式快速预支撑体系,其余施工工序与东端头井一致,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,开挖至坑底最大变形量相差 53.32 mm,在开挖至第九道支撑位置最大变形量相差 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%。

华泾西端头井与梅富路端头井在开挖至深度 36.5 m 处最大变形值基本一致,与 3#风井在开挖至深度 34 m 处最大变形值基本一致。梅富路端头井设置 5 道砼支撑 + 5 道钢支撑, 3#风井开挖深度较华泾西端头井浅约 10 m, 共设 9 道支撑, 4 道砼支撑 + 5 道钢支撑, 支撑竖向间距小。基坑为明挖侧墙、框架梁逆作, 该工序较华泾西端头井的明挖顺作来说对于墙身变形的控制更为有利。梅富路端头井地面下 13 m 范围内对开挖区域的淤泥质粉质黏土层进行抽条加固处理, 3#风井地面下 18 m 范围内对开挖区域的淤泥质粉质黏土层进行裙边加固处理该措施可有效减小围护在软弱土层开挖过程中的变形。以上三项措施对梅富路端头井、3#风井有效控制围护开挖变形起到了积极良好的作用。华泾西端头井采用明挖法配合深基坑滑降式快速预支撑体系的效果基本可同于使用多道支撑及逆作框架控制变形的效果。

5. 结论

通过对华泾西端头井与同类工作井墙体变形的比较与分析, 可知, 深基坑滑降式快速支撑体系在深基坑开挖期间能起到良好的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, 明挖顺做配合深基坑滑降式快速支撑体系变形控制效果接近或等同于逆作法且通过增大支撑竖向间距来减少支撑道数。对于相近规模、相近土层及相近开挖深度的基坑, 使用深基坑滑降式快速支撑体系, 滑降式预支撑体系通过模块化滑降结构与应力补偿协同作用机制, 最大水平位移较常规明挖顺做体系减少 23%~30%, 实现支护结构“随挖随支”的动态响应。

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] 罗赛楠. 采用滑降式预支撑体系的超深基坑受力变形特性研究[J]. 土木工程, 2023, 12(5): 684-693.