

软土深基坑传统支护与绿色支护对比分析

雷亚玲

湖北建艺岩土工程勘察设计有限公司, 湖北 荆州 434000

[摘要]针对江汉平原软土地区邻近地下管线的深基坑工程,传统钻孔灌注桩与独立止水帷幕体系存在材料不可回收、资源消耗大、环境影响突出等问题。文中以绿色建造为方向,通过方案对比分析,从技术性能、环境保护、经济效益进行综合评价:SMW工法桩实现支护与止水一体化,减少泥浆污染与建筑垃圾;使用高压旋喷可回收锚索,避免地下障碍物遗留,降低碳排放;结合局部混凝土内支撑,有效控制软土变形并保护周边管线。方案对比分析表明,优化方案在确保基坑安全的前提下,显著提升材料回收率与施工绿色化水平,降低综合成本,符合“双碳”战略要求。文中通过典型基坑工程案例分析与实践,可为类似软土地区邻近敏感环境的基坑工程提供绿色转型参考。

[关键词]江汉平原软土地区;深基坑;SMW工法桩;高压旋喷可回收锚索;绿色支护

DOI: 10.33142/sca.v9i6.19802

中图分类号: TU473

文献标识码: A

Comparative Analysis of Traditional Support and Green Support for Deep Foundation Pits in Soft Soil

LEI Yaling

Hubei Jianyi Geotechnical Engineering Survey and Design Co., Ltd., Jingzhou, Hubei, 434000, China

Abstract: In response to the deep foundation pit engineering near underground pipelines in the soft soil area of the Jiangnan Plain, traditional drilled pile and independent waterproof curtain systems have problems such as non recyclable materials, high resource consumption, and prominent environmental impact. The article focuses on green construction and conducts a comprehensive evaluation of technical performance, environmental protection, and economic benefits through scheme comparison and analysis. The SMW method pile achieves the integration of support and waterproofing, reducing mud pollution and construction waste; High pressure rotary spray recyclable anchor cable can be recycled to avoid underground obstacles and reduce carbon emissions; Combined with local concrete internal support, effectively control soft soil deformation and protect surrounding pipelines. Comparative analysis of the schemes shows that the optimized scheme significantly improves material recovery rate and construction green level, reduces comprehensive costs, and meets the requirements of the "dual carbon" strategy while ensuring the safety of the foundation pit. Through the analysis and practice of typical foundation pit engineering cases in the article, it can provide green transformation references for foundation pit engineering in similar soft soil areas with adjacent sensitive environments.

Keywords: soft soil area in Jiangnan Plain; deep foundation pit; SMW construction method pile; high pressure rotary spray recyclable anchor cable; green support

引言

随着城市化向纵深推进,地下空间开发规模持续扩大,深基坑工程面临的变形控制与环境保护矛盾日益突出。江汉平原广泛分布深厚软土层,且地下水具有“埋深浅、水量丰、动态稳、易补给”的鲜明特征,加之基坑周边密布市政道路与地下管线,任何过大变形均可能引发次生灾害。如何在软土地区实现基坑工程的安全、经济与绿色统一,已成为岩土领域的重要课题。

传统钻孔灌注桩结合独立三轴搅拌桩止水帷幕的方案应用广泛,但其不足日益凸显:支护与止水结构均为不可回收,大量混凝土、钢筋永久埋入地下,施工过程产生废弃泥浆及建筑垃圾,环境污染显著,且独立止水增加工序与成本。在绿色建造与“双碳”战略背景下,发展可回收、低扰动、资源节约型支护技术成为必然选择。

SMW工法桩将支护与止水合为一体,施工速度快、泥浆排放少;高压旋喷可回收锚索可实现预应力筋完全回

收，避免地下障碍物遗留。本文通过对比两种支护方案，从技术性能、环境效益与经济性角度系统分析优化方案的可行性，为同类工程提供绿色转型参考。

1 工程概况

本工程位于江汉平原的荆州市，是一个集商业与住宅于一体的大型商住综合体项目。本项目由 7 栋主楼及地下室组成。主楼设计为 17~33F，建筑高度为 53.00~99.00m，结构型式为剪力墙结构；整个场地地面以下设 2 层地下室，结构型式为框架结构。基础型式为钻孔灌注桩基础。整体呈“J”形，平面尺寸约 220×120m，基坑开挖面积约

23000m²，基坑开挖周长 700m。

本工程地下室区域基坑开挖深度约为 8.0~9.5m，主楼区域基坑开挖深度约为 9.0~10.5m。

2 周边环境条件

场地南侧及东侧均为城市主干道，北侧为城市次干道，西侧南段为城市支路，西侧北段为多层建筑。坑壁四周距用地红线约一倍挖深范围内；既有道路下方埋设大量市政管线，坑壁距道路边线约一至两倍挖深范围内；坑壁距离多层建筑约一至两倍挖深范围内。

拟建场地地下室周边环境详见下表：

表 1 基坑周边环境表

方位		周边空间	周围建（构）筑物
北侧		坑壁距离用地红线 10.9m；距离红线外城市次干道路路中心线约 5.2m；	城市次干道：分布有市政天然气管道、雨污管线及电力管沟，其埋深约 0.15~2.73m。
东侧		坑壁距离用地红线 4.9m；距离红线外城市主干道一道路边线约 11.0m；	城市主干道一：分布有市政天然气管道、通讯电缆、雨污管线及电力管沟，其埋深约 0.25~3.05m。
南侧		坑壁距离用地红线 8.9m；距离红线外城市主干道二道路边线约 15.7m；	城市主干道二：分布有市政天然气管道、通讯电缆、雨污管线及电力管沟，其埋深约 0.21~2.69m。
西侧	北段	坑壁距离用地红线 5.4m；距离红线外已有砼 2 约 18.5m；	砼 2：天然地基，基础埋深 1.0m。
	南段	坑壁距离用地红线 9.1m；距离红线外城市支路道路边线约 11.6m；距离红线外综合商业中心约 29.2m；	城市次干道：分布有雨污管线及电力管沟，其埋深约 0.22~2.50m。 综合商业中心：4~29F，桩基础，基础埋深 3.5~4.0m。

3 工程地质条件

本项目场地属长江一级阶地地貌单元，地形平坦，本场区分布的地层主要为人工堆积层（ Q^{ml} ）、第四系全新统冲洪积层（ Q_4^{al+pl} ）及第四系上更新统冲洪积层（ Q_3^{al+pl} ）。

（1）人工堆积填土层（ Q^{ml} ）：分布在表部 0-3.0m：主要为杂填土层，主要由砖渣、碎石、大块混凝土、建筑垃圾组成，其间充填少量粉质黏土，物质组成、密实度不均匀。

（2）第四系全新统冲洪积层（ Q_4^{al+pl} ）：分布在中部 3.0~23.0m：3.0m~4.0m 为粉质黏土夹粉土，湿，可塑，

局部软塑；4.0m~5.0m 为淤泥质粉质黏土，湿，软塑-流塑；5.0m~8.0m 为粉砂夹粉土，饱水，松散；8.0m~12.0m 为粉质黏土夹粉土粉砂，湿，软塑；12.0m~23.0m 为细砂，饱水，中密。这五层均属中压缩性土，层内构造均匀性一般。

（3）第四系上更新统冲洪积层（ Q_3^{al+pl} ）：分布在 23.0m 以下：主要为圆砾、卵石层，孔隙间充填粗砂、粉细砂等。该层属低压缩性土，层内构造均匀性一般。局部卵石层中存在砾砂透镜体，中密~密实，该层属中压缩性土。

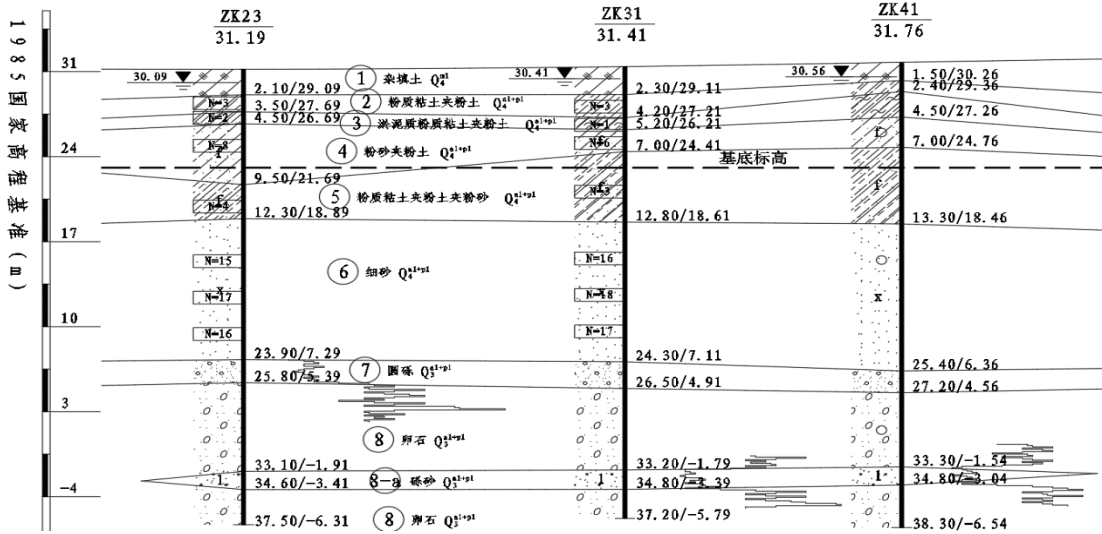


图 1 基坑典型地质剖面展开图

基坑支护设计有关参数取值于下表:

表2 基坑设计参数表

土层编号及名称	γ	f_{ak}	$E_s (E_o)$	抗剪强度	
	(kN/m^3)	(kPa)	(MP_a)	$C (kPa)$	$\Phi (^\circ)$
①杂填土	18.0	/	/	8.0	18.0
②粉质粘土夹粉土	18.2	100	4.0	17.0	10.0
③淤泥质粉质粘土夹粉土	17.0	60	3.0	12.0	5.0
④粉砂夹粉土	18.5	90	9.0	0	21.0
⑤粉质粘土夹粉土及粉砂	18.2	90	4.0	17.0	10.0
⑥细砂	19.5	200	18.0	0	32.0

4 水文地质条件

场地地下水类型主要为上层滞水和承压水。上层滞水赋存于场区内填土层中,属季节性含水层及生活污水,受气候的影响水幅变化较大,但其总体水量不大。承压水主要赋存于深部砂、砾卵石层中,该承压水主要接受临区含

水层及长江侧向补给,层间侧向径流排泄,本工程测得承压水水位高程为 27.14m,根据区域水文地质资料,近三年,本场地所在区域承压水水位年变幅在 2.0m~3.0m。

5 基坑支护方案

5.1 钻孔灌注桩方案

针对本基坑开挖深度大、周边环境紧张、软土地层变形控制要求高等工程特点,支护方案需综合考量支护结构刚度、止水可靠性及施工可行性等关键要素。结合类似工程经验,选用钻孔灌注桩+三轴搅拌桩止水帷幕+钢筋混凝土内支撑的支护形式。

支护体系采用钻孔灌注桩,桩径 800mm、间距 1200mm,具有刚度大、抗弯承载力高的优势,可有效控制软土地区基坑侧向变形。止水帷幕为桩后采用单排三轴搅拌桩,桩径 850mm,与灌注桩搭接形成封闭止水体系。支撑体系采用钢筋混凝土内支撑。

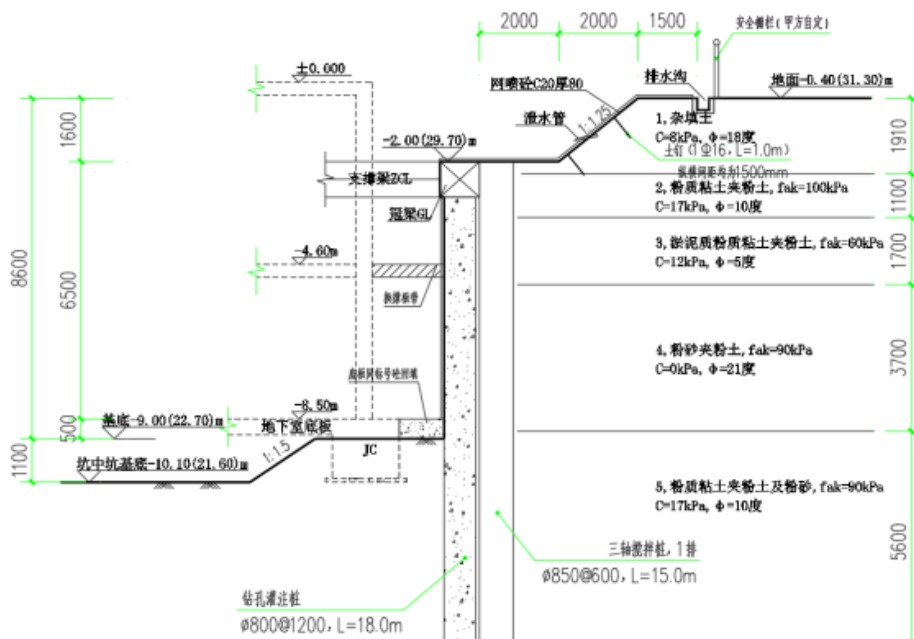


图2 支护剖面图一

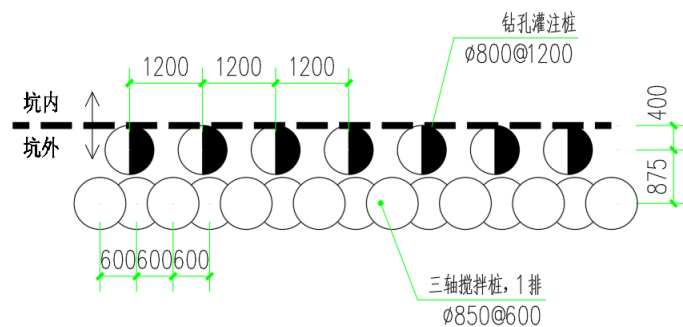


图3 支护桩平面布置示意图一

5.2 SMW 工法桩方案

基于绿色建筑理念及可回收支护技术的发展,本工程提出 SMW 工法桩+高压旋喷可回收锚索,局部于基坑阳角区域增设钢筋混凝土内支撑支护型式作对比支护方案。以型钢水泥土搅拌墙兼作挡土与止水结构,以可回收锚索为主要锚固体系。

支护体系采用 SMW 工法桩,三轴搅拌桩桩径 850mm、桩中心距 600mm,内插 H700×300×13×24 型钢。锚固体系采用 2 束 $\phi 15.2$ 高压旋喷可回收锚索,以旋喷直径 500mm 的扩大头提供锚固力,锚索长 21.0~24.0m,间距 1.2m 均匀布置。

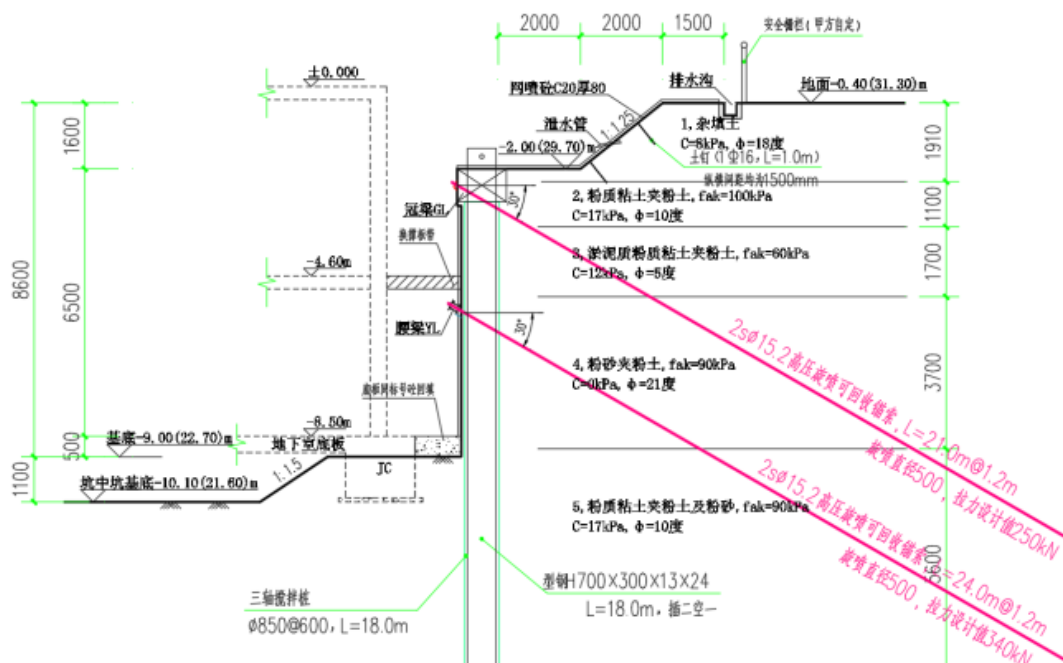


图 4 支护剖面图二

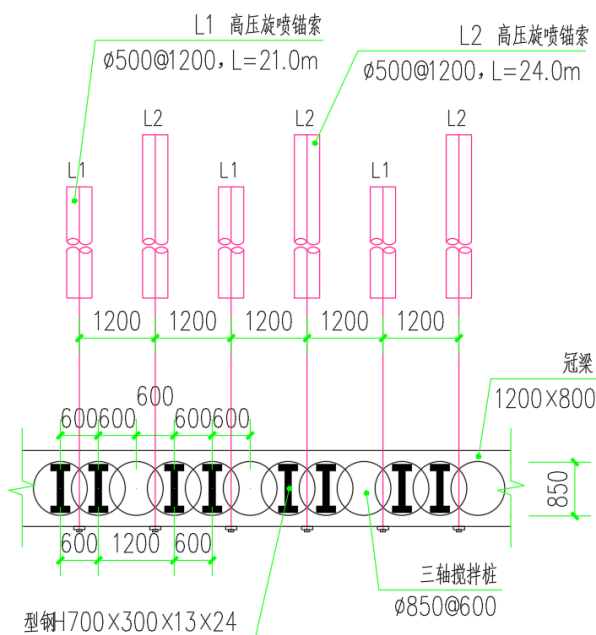


图 5 支护桩平面布置示意图二

6 两种支护方案综合评价

对两种方案从技术性能、环境保护、经济效益三个维度进行综合评价。

6.1 技术性能对比

钻孔灌注桩方案：以钻孔灌注桩（ $\phi 800@1200\text{mm}$ ）作为竖向支护结构，桩身截面刚度大、抗弯承载力强，结合三轴搅拌桩（ $\phi 850@600\text{mm}$ ）形成桩后独立止水帷幕，挡土与止水功能分工明确。钢筋混凝土内支撑体系提供强大的平面内支撑刚度，可有效协调基坑不规则形态的受力分配，支护结构位移控制能力突出。该方案技术成熟可靠，在软土地区深基坑中应用广泛，安全储备高。

SMW 工法桩方案：以三轴搅拌桩（ $\phi 850@600\text{mm}$ ）内插 H700 $\times$ 300 $\times$ 13 $\times$ 24 型钢形成挡土止水合一墙体，型钢采用“插二空一”布置，在保证受力性能的同时兼顾经济性。支锚体系采用 2 束 $\phi 15.2$ 高压旋喷可回收锚索，以旋喷直径 500mm 的扩大头提供锚固力，锚索分两种长度（ $L_1=21.0\text{m}$ 、 $L_2=24.0\text{m}$ ）以适应不同区域受力需求，间距 1.2m 均匀布置，形成桩-锚协同受力体系。相较于内支撑方案，锚索不占用基坑内部空间，施工空间开阔，有利于地下室结构连续施工。技术性能上，该方案以锚索为主、辅以支撑梁作为局部约束，可满足 9~10m 深基坑的变形控制要求。

综合评定：两种方案均可满足基坑安全稳定要求。钻孔灌注桩方案刚度更大、变形控制更优；SMW 工法桩方案以锚代撑，施工空间优势明显，技术性能满足工程需要。

6.2 环境保护对比

钻孔灌注桩方案：产生大量泥浆和废弃混凝土，环保负担较重。钻孔灌注桩施工需泥浆护壁，泥浆排放量大，处置费用高；桩身混凝土及混凝土支撑梁均为一次性消耗材料，基坑回填后支撑梁需破碎清运，产生大量建筑垃圾。钻孔灌注桩为永久埋置物，三轴搅拌桩虽利用原位土体，但止水帷幕与灌注桩均为永久埋置物，地下残留多，对后续地下空间开发构成障碍。

SMW 工法桩方案：环保优势显著。三轴搅拌桩利用原位土体与水泥浆液搅拌成墙，无泥浆排放，土方外运量

少。型钢在基坑回填后可全部拔除回收，实现钢材循环利用；可回收锚索在支护功能完成后可抽出回收，避免传统锚索永久残留对地下空间的污染。支撑梁仅 1200m³ 为原方案的 44%，混凝土用量大幅减少，碳排放相应降低，建筑垃圾显著减少。

综合评定：SMW 工法桩方案在泥浆减排、材料回收利用、地下永久残留控制及碳排放降低等方面均显著优于钻孔灌注桩方案，符合绿色建筑发展方向。

6.3 经济效益对比

钻孔灌注桩方案：直接成本构成：①钻孔灌注桩的成孔、钢筋笼制安、混凝土浇筑费用；②三轴搅拌桩施工费用；③混凝土支撑梁的浇筑及后期破碎清运费；④泥浆处置及外运费。上述各项均为不可回收的刚性支出，全生命周期成本高。

SMW 工法桩方案：直接成本构成：①三轴搅拌桩施工费用；H700 型钢租赁或摊销费用；②两种长度锚索的施工费用；③混凝土支撑梁费用。三轴搅拌桩桩长较原方案增加 3.0m，但型钢、锚索可回收。型钢拔除后残值可冲抵租赁或摊销成本，锚索回收后可在后续工程中重复使用。支撑梁混凝土量减少 1500m³，破除清运费相应减少。

综合评定：SMW 工法桩方案省去钻孔灌注桩成孔及混凝土费用，支撑梁混凝土大幅减少，型钢及锚索可回收利用冲抵成本，综合直接成本较钻孔灌注桩方案可降低 20%~30%。若计入泥浆处置费用节省、工期缩短带来的管理成本降低及材料回收残值，整体经济效益更为显著。

6.4 综合评价

综合技术性能、环境保护及经济效益三项指标，SMW 工法桩+高压旋喷可回收锚索方案在满足基坑安全稳定要求的前提下，以型钢拔除回收、锚索抽出再利用、混凝土用量大幅减少等优势，在绿色环保与经济性方面表现突出，是本工程更为合理的支护方案选择。

7 结论

本文针对江汉平原软土地区深基坑工程，对传统排桩式支护方案与 SMW 工法桩结合可回收锚索的绿色支护

表 3 支护方案工作量表

	钻孔灌注桩方案		SMW 工法桩方案	
钻孔灌注桩（ $\phi 800\text{mm}$ ）	桩根数：570	桩长：18.0m	/	/
三轴搅拌桩（ $\phi 850\text{mm}$ ）	桩根数：1100	桩长：15.0m	桩根数：1100	桩长：18.0m
型钢 H700 $\times$ 300 $\times$ 13 $\times$ 24	/	/	根数：770	长度：18.0m
高压旋喷可回收锚索（旋喷直径 500mm）	/	/	锚索间距：1.2m	锚索长度：21.0~24.0m
冠梁、支撑梁及连系梁	总方量：2700m ³		总方量：1200m ³	

方案进行了对比分析。

传统钻孔灌注桩+独立止水帷幕+混凝土内支撑方案技术可靠、变形控制能力强,但存在泥浆污染、材料不可回收、混凝土消耗大、造价偏高等问题;而 SMW 工法桩+高压旋喷可回收锚索+局部内支撑方案,实现了挡土止水一体化,型钢与锚索可高效回收,混凝土用量大幅减少,施工便捷,综合造价显著降低,在满足一级基坑安全要求的前提下,兼顾了环境保护与经济效益,是传统方案向绿色低碳转型的优选路径。

展望未来,随着“双碳”战略深入推进,型钢水泥土墙、可回收锚索等可循环支护技术将不断拓展应用场景,相关设计理论与施工工艺持续完善。建立涵盖材料消耗、碳排放、回收利用率等指标的全生命周期绿色评价体系,将成为推动支护方案绿色选型的重要支撑。结合智能监测与动态调控技术,实现支护结构的精准设计

与资源循环利用,促进深基坑工程向绿色、智能、可持续发展方向。

[参考文献]

- [1]罗佩峰,张鹏,詹永鑫,等.深大基坑支护中可回收高压旋喷预应力锚索的应用研究[J].四川建材,2021,47(11):82-83.
- [2]刘盛荣.复杂地质基坑支护可回收高压旋喷扩大头锚索施工技术分析[J].四川水泥,2023,11(11):219-221.
- [3]姚金涛.SMW 工法桩与内支撑在深基坑支护中的应用分析[J].安徽建筑,2025,32(12):144-146.
- [4]王世斌.基于绿色建筑理念的高层住宅建筑地下室深基坑支护工程管理[J].居舍,2024(30):123-125.
- [5]白卿鹏.软土地区基坑土方开挖与支护施工技术[J].四川水泥,2026(4):135-137.

作者简介:雷亚玲,毕业于中国地质大学工程管理专业,现就职于湖北建艺岩土工程勘察设计院有限公司,工程师。