

邻近地铁规划控制区超深超大基坑快速 施工关键技术

周浩飞,王德飞,陈家康,徐清艳,汪业松

(中国建筑第四工程局有限公司深圳总承包公司,广东 深圳 515100)

[摘要] 深圳某典型基坑工程面临基坑超大深、邻近地铁规划线路、场地受限等多重挑战,依托该工程对地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑快速施工关键技术进行了研究,形成了一套完整的关键技术,包括支护设计优化、支护桩快速施工、可回收锚索快速施工、土石方快速施工、监测监控、降水及地下水控制、质量控制与安全管理等关键技术。

[关键词] 地铁;规划控制区;超深基坑;快速施工;质量控制;锚索回收;安全

[中图分类号] TU753

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)18-0107-06

Key Technologies for Rapid Construction of Ultra-deep and Ultra-large Foundation Excavation Adjacent to Subway Planning Control Area

ZHOU Haofei, WANG Defei, CHEN Jiakang, XU Qingyan, WANG Yesong

(Shenzhen General Contracting Company of China Construction Fourth Engineering Division
Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 515100, China)

Abstract: A typical foundation excavation project in Shenzhen is faced with multiple challenges such as ultra-deep foundation excavation, adjacent subway planning line and limited site. Based on this project, the key technology of rapid construction of ultra-deep and ultra-large foundation excavation in zero construction site of subway planning control area is studied, and a complete set of key technologies is formed, including support design optimization, rapid construction of retaining piles, rapid construction of recyclable anchor cables, rapid construction of earthwork, monitoring and control, precipitation and groundwater control, quality control and safety management and so on.

Keywords: subways; planning control area; ultra-deep foundation excavation; rapid construction; quality control; anchor retrieval; safety

0 引言

随着城市发展步入新阶段,可建设土地资源日益紧张。为满足城市建设的迫切需求,对现有建筑或闲置土地进行再开发与改造成为关键,最大化利用现有资源。通过实施控制区等措施,有效降低了对新土地的占用,确保在有限的场地内开展建设。随着科技的持续进步与施工经验的不断积累,新的施工技术、支护系统及监测手段得以广泛引入和应用,促使更多建设项目快速向地下空间拓展,超深

超大基坑工程因此得到广泛应用。然而,这些建设项目普遍面临施工场地受限问题,特别是位于地铁规划控制区内的项目,更是遭遇了前所未有的施工挑战。

基坑快速建造在缩短建造周期中的重要性主要体现在以下几方面:加速项目进度、有效降低成本、严格控制风险、确保工程安全及提升项目灵活性。这些显著优势使得基坑快速建造成为现代建筑工程中不可或缺的关键环节。通过广泛查阅相关领域的研究成果,包括超深超大基坑施工技术、近零施工场地管理及地铁规划控制区的施工技术等多个方面,笔者发现,尽管已有部分研究从不同

角度对地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑快速施工技术进行了分析和案例研究,但尚未形成一套相对系统且全面的关键技术总结。因此,该领域研究仍有待进一步深入分析和总结。

1 工程概况

深圳市宝安区凤塘鸿荣源项目(暂定名)是集商业、酒店、办公、公共配套设施于一体的大型城市综合体,为深圳市目前最大在建综合体项目。该项目位于宝安沙井中轴板块,西邻大空港与国际会展中心、海洋新城,南向紧邻福永中心;周边航空、海港、铁路、高速公路等立体交通网络发达,地块与地铁 11 号线站点塘尾站实现无缝接驳,占据良好的交通优势。该项目总体量约 250 万 m²,共计分为 9 个地块,分别为 04-12S, 04-12N, 04-10S, 04-10N, 03-06, 03-07, 12-01, 13-01, 13-02 地块,具体总平面如图 1 所示。



图 1 凤塘鸿荣源项目总平面

Fig. 1 General plan of Fengtang Hongrongyuan project

项目基坑快速施工重难点如下。

1) 位于地铁控制区的超深超大基坑支护设计方案是基坑快速施工的根本也是难点。本项目紧邻 1 条既有地铁线,位于 2 条地铁规划控制区,基坑面积>25 万 m²,深逾 23m,需多地块同步快速开发。基坑施工效率对项目进度至关重要,其核心在于支护设计的优化。本方案旨在从源头提供高效解决方案,确保基坑快速、安全施工。

2) 施工组织是零施工场地条件下基坑快速施工的核心策略与关键保障。在地铁规划控制区等

空间极度受限环境中,如何有效利用有限场地及科学规划施工流程,成为确保基坑快速施工的重要挑战。

2 研究目标及预期效果

2.1 研究目标

结合实际建设工程项目,对地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑快速施工从 7 个方面展开关键技术研究,并对研究成果与应用效果进行了细致分析和总结。

2.2 预期效果

结合“一种深基坑栈桥混凝土立柱桩与水平连系梁的连接节点”“一种混凝土立柱桩与地下室底板连接节点结构”“一种用于钢筋废料回收的结构”“一种用于旋转机械式锚索回收的配套专用工具”“一种用深基坑换撑之间钢筋垂直吊装的辅助装置”5 项专利,总结形成一套完整的地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑快速施工关键技术,包括地铁规划控制区超深超大基坑的支护设计优化技术要点、零施工场地超深超大基坑支护桩快速施工技术、零施工场地超深超大基坑可回收锚索快速施工技术、零施工场地超深超大基坑土石方快速施工技术、零施工场地超深超大基坑监测监控技术、地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑降水及地下水控制技术、地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑质量控制与安全管理等技术要点。

3 研究方法与研究思路

3.1 研究方法

本文将采用试验法、查找文献法及实证研究法 3 种方法展开研究。

3.2 研究思路

结合本项目实际情况介绍超深超大基坑施工在地铁规划控制区的重要性和挑战性,并查阅文献对相关领域的研究现状进行分析,包括超深超大基坑施工技术、近零施工场地限制条件等相关研究,获取前期工程经验,从受限条件下基坑设计、施工监测等方面开展技术攻关并应用到本项目的基坑快速施工中,并通过实践检验快速建造技术的成熟度,对有待提升的快速施工技术及时调整策略,最终形成一套完整的地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑快速施工关键技术。

4 关键技术研究与应用

4.1 地铁规划控制区超深超大基坑支护设计要点

4.1.1 研究内容

以本项目其中一个地块的基坑支护设计作为研究对象,分析其周边环境、地质条件、基坑深度、

地下水及周边管线情况,并结合专业施工单位建议的
的施工方法、专家评审意见及外部监测监控要求
等,提供一个从根本上能保证此基坑快速施工的基
坑设计解决方案。

4.1.2 实施过程

1)项目为地铁规划控制区内 23m 深基坑,采用
咬合桩+可回收锚索代替地下连续墙/咬合桩+内支
撑支护形式

在基坑支护设计论证阶段,专家建议地铁规划
控制区 23m 深基坑采用内支撑支护形式,但考虑到
基坑快速施工要求,将专家论证意见优化为咬合
桩+可回收锚索支护形式。由于引入可回收锚索,
基坑开挖时可在预留一定量土台(兼作锚索施工工
作面)前提下提前开挖大面积土石方,可缩短先撑
后挖等待技术间歇及复杂的对撑施工时间,从根本
上提高基坑施工速度。

同时,由于可回收锚索在回收阶段仅需地下室
外墙与支护结构间的空间即可满足施工需求,不存
在内支撑拆除严重制约地下室结构施工进度的情
况,高效缩短了地下室施工阶段的总体工期。在实
施过程中研发了一种用深基坑换撑之间钢筋垂直
吊装的辅助装置,为此支护形式的优势提供了技术
支撑。

2)深浅相邻基坑之间的支护设计优化

本项目 04-10S 地块东侧与 04-12S 地块基坑相
邻,且基坑深度比 04-12S 地块深 11m,两基坑间为
31m 宽规划市政路(下含规划地铁线),在设计初
期,为保留场内综合施工道路规划功能,此处相邻
基坑间土方保持在原始标高,深基坑一侧采用垂直
支护形式。考虑基坑快速施工要求,经过建设单
位、施工单位与设计单位现场协调,多次研究后对
此处支护形式做了相应优化。在保证施工道路可
正常通行满足交通组织的前提下进行局部放坡,取
取消放坡段的垂直支护,减少支护结构的工程量以加
快基坑施工速度。

具体优化内容为:两地块间道路长约 120m,在
靠近施工大门的 40m 范围保留原设计,在此 31m
宽、40m 长区域设置交通干道及基坑出土阶段的洗
车槽;后 80m 长度范围按放坡形式放坡至较浅地块
的基坑底,在此标高上对深基坑进行另一侧放坡
开挖。

3)先浅后深施工复杂工况下的深浅基坑交界
面基坑支护设计复核论证

本项目 04-10S 地块北侧与 04-10N 地块基坑相
邻,且基坑深度比 04-10N 地块深 11m,两基坑间无

间隔,04-10N 地块优先开发,且主楼位于深基坑支
护边界,基坑安全面临极大挑战。后经专家论证调
整,将 04-10S 地块北侧 8—8 剖面的 04-10N 地块塔
楼分布段支护桩增大桩径,支护桩桩径由 1.0m 调
整为 1.2m,无塔楼分布段增设锚索。

4)增加零施工场地超深超大基坑设置快速出
土栈桥与临时土坡道结合的深基坑出土环路技术

04-10S 地块北侧紧贴优先施工的 04-10N 地块
基坑,西侧连接 03-07 地块深基坑,东侧为 04-12S
地块主要通道,南侧为市政绿化区域,整个地块为
零施工场地。最终考虑在南侧占用绿化区域后形
成一条临时施工道路,本地块仅能从南侧出土。结
合现场路口及支护与红线位置,在南侧利用临时路
口作为出土口并设置出土栈桥,与东北侧基坑临时
土坡道结合形成施工临时环路,便于施工车辆、机
械设备通行及施工材料运输,保证深基坑出土进
度。在实施过程中研发以上 5 项专利,为基坑快速
施工提供有利的技术支撑。

5)基本试验、监测及验收等方面高标准的设计
要求保证基坑快速施工安全平稳

基坑快速施工的前提是确保基坑安全,为此本
项目设计方案要求:可回收锚索在施工前做 4 条非
原位试验锚索,提供设计依据,并在基坑上部和中
部分别做 3 条原位基本试验锚索,再次论证设计方
案,并将可回收锚索的验收试验比例由普通的 5%
提高至 25%,同时在设计文件中提高对项目周边管
线、地下水位、基坑沉降、水平位移、深层位移及轴
力等方面的监测频率,降低预警上限值。

本项目 04-10S 地块的基坑设计方案效果如图 2
所示,提供一个从根本上能保证基坑快速施工的基
坑设计解决方案。

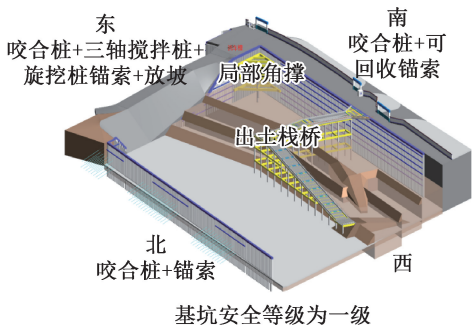


图 2 基坑设计方案效果

Fig. 2 Effect of foundation excavation design scheme

4.2 零施工场地超深超大基坑支护桩快速施工
技术

1)要合理配置测量员和旋挖钻机操作人员,确
保施工人员数量和专业技能与进度需求匹配。以

04-10S 地块为例,配置测量员 3 人,每台旋挖钻机操作员 1 人,每 4 台配备 1 个 2 人组成的杂工班组,每 3 台配备 1 个混凝土浇灌班组。

2) 实时监测成孔进尺和入岩情况,根据打桩顺序合理安排机位布置,确保施工高效进行。在 04-10S 地块施工过程中,按土层每台旋挖钻机成孔约 $7\text{m}^3/\text{h}$ 、高硬度岩层(中微风化)成孔约 $0.7\text{m}^3/\text{h}$ 的施工作业制定了桩基施工标准化工期,计算距离:普通土层地质 1.2m 直径桩基 10 000m 安排 6 台旋挖钻机同时施工,按每天 10h 有效工作时间计算,共需 27d。

3) 提前计划、及时沟通,确保钢筋进场和混凝土供应,关注钢筋后台钢筋笼制作及泥浆供应,保证资源的充足准备。在旋挖钻机进场准备前硬化场地,根据同时供应的桩基数量确定钢筋车间大小,一般约 $30\text{m}\times 30\text{m}$ 为宜。在合理位置设置泥浆池,并在钻前开挖或砌筑就位,泥浆宜用优质膨润土制作,及时采集泥浆样品,测定性能指标。泥浆池大小=充盈系数 $\times$ 供应的机械设备数量 $\times$ 桩身体积。

4) 进行机械状态监控,及时维护检修,确保旋挖钻机和挖掘机设备状态良好、运转正常。旋挖钻机选型控制输出扭矩在 $360\text{kN}\cdot\text{m}$ 以上,数量结合工期需要安排,极限情况下可每隔 25m 设置 1 台旋挖钻机。

5) 桩基检测前置。在开始施工前确定桩基检测方案,事先按比例埋设声测管、界面钻芯管等,避免无法顺利检测等失误,确保基坑快速施工。

通过上述管理落实,04-10S 地块实现支护桩施工比要求节点提前 18d 完成。

4.3 零施工场地超深超大基坑可回收锚索快速施工技术

通过基本试验对比 3 种形式的可回收锚索实施效果,选取最适合的可回收锚索为本项目基坑快速施工提供技术支撑,并总结零施工场地超深超大基坑锚索快速施工的重点管理内容。实施过程如下。

4.3.1 基本试验前置

在施工前进行一系列基本试验,本项目在实施过程中选择了 3 种锚索进行锚杆拉力试验、锚索胶浆强度试验,分析其原理并总结施工材料的质量和施工工艺可行性,选择了最适合快速施工的锚索形式。在基本试验及项目实施阶段研究发现,此 3 种形式的锚索各有特点,本文将从回收原理及优缺点等方面分别对 3 种锚索开展详细分析。

1) 应力分散性热熔式可回收锚索。热熔式可

回收锚索原理是锚固段端部设置热熔解锁装置,解锁时通过对锚索施加高温加热使金属熔化从而使锚索与锚固段分离。在需回收锚索时,通过在锚固段施加热源使锚固段与锚索连接处的金属材料达到熔化温度,从而使锚索脱离锚固段实现回收。这种热熔式可回收锚索通常采用特殊的回收设备,在施工过程中需对加热温度、时间和加热方式进行控制。从理论上来说,热熔式锚索通过导线通电进行热熔解锁,具有最可靠的锚固效果。由于其分单元控制特点,可适用于应力分散型锚索,能有效节约锚索材料,成本较低,但由于锚索体附有导线在安装过程中易损坏,过程中需反复通电测试,在快速施工条件下回收率控制较困难,而且回收需使用专用通电设备和自动回收设备,解锁热熔时间较长,相较于有快速施工要求的项目其适用性并不高。

2) 旋转解锁机械式可回收锚索。旋转解锁机械式可回收锚索原理是通过旋转解锁装置的操作,使锚索与锚固段解除连接。在施工过程中,锚索通过与锚固段连接以产生预应力作用。而在需回收锚索时,通过旋转解锁装置解除锚索与锚固段连接。旋转解锁装置可实现锚索与锚固段间的可控解锁,使锚索可回收并重新使用。这种机械式可回收锚索对比热熔式可回收锚索主要是回收原理更简单,且无需繁琐的通电测试及专用设备,回收工艺也较简单。但此种锚索由其原理可知存在自身的设计缺陷,在锚索长度较长情况下,无法有效传力至末端进行解锁,故一般只适用于锚索长度 15m 以下的基坑,对于超深超大基坑,锚索长度基本在 25m 及以上,此类锚索的适用性明显降低。

3) 压力型机械式可回收锚索。压力型机械式可回收锚索原理是通过张拉回收索使锚索与锚固段解除连接。在施工过程中,锚索在张拉过程中与锚固段连接产生预应力作用。而在需回收锚索时,通过张拉回收索,施加适当的力使锚索与锚固段解除连接。回收阶段张拉后整体解锁,解锁简单,解锁回收方式灵活高效,回收率控制较好。此种锚索设有专门回收索,且无法做到分单元,原材成本较其他锚索高。

对比以上 3 种锚索,本项目 04-10S 地块采用压力型机械式可回收锚索,最终实现提前 28d 完成预定施工节点,也在实施过程中研发了一种用于机械式锚索回收的配套专用工具。

4.3.2 资源配置充足

提前与厂家定制锚索材料,并确保其数量充足,以免在施工过程中因材料不足而延误工期。由

于垄断,热熔式可回收锚索材料提前 14d 下单。锚索机数量结合工效及工期需要安排,极限情况下可每隔 20m 设置 1 台锚索机。在作业人员方面配置测量员 2 人,每台锚索机操作员 2 人,注浆后台 1~2 人,每 2 台锚索机配备 1 台辅助挖掘机,每台辅助挖掘机需配备 1 名挖掘机驾驶员,锚索张拉 3 人 1 组,设置 1~2 组。

4.3.3 合理分段施工

将整个锚索的施工过程划分为多个分段,每个分段都有明确的计划和目标。在每周计划中,要确保每个分段的施工进度能按时完成,以保证整体施工进度的顺利推进。

本项目在实施过程中岩层锚索每台锚索机每天 30m,土层锚索每台锚索机每天 80m,锚索施工后至张拉龄期约 15d,期间确保腰梁具备 3d 龄期即可。特别提示岩层施工时需配备专用空压机,否则无法正常钻孔。

4.4 零施工场地超深超大基坑土石方快速施工技术

4.4.1 研究内容

研究内容包括:零施工场地超深超大基坑土石方快速施工的施工机械设备配置,出土口、出土路线、出土干道等平面布置,出土高峰期的管理要素。

4.4.2 实施过程

1) 细化分析总结土石方施工的标准化工期。场区大门在配置 6 人冲洗渣土车的情况下实测渣土车出场的极限车次,确定每小时渣土车在不间断情况下的出土车次,确定除去每天早晚高峰的有效作业时间,计算出每天的出土方量,正式出土启动后每个大门口每天出土量 $\geq 5\,000\text{m}^3$ 。出土口每天巡场时清点有无按要求配置 6 名冲洗渣土车人员,并要求工长实测实际出土车次,确保每天出土量达标。

2) 场区道路规划要点。①主干道设置 3 车道(1 进 1 出 1 备),场区道路设置双车道,且配置 2 台挖掘机专门用来修路;②进车路径宜长,绕场区设置增加场区储车能力,车辆高峰期可保持挖掘机继续装土,在高峰期到现场巡查是否按要求储车。

3) 土石方快速施工的资源配置要求。出土装车区域使用吨级不低于 30t 的挖掘机,渣土车根据现场出土方量及运距确定渣土车数量,1 个洗车池位置配置 6 人 1 组的冲洗小组,每个大门配置 2 名交通指挥人员,每个重要交通路口配置 1 名交通指挥员。

土方在清表单位移交后开始分层开挖,当冠梁、腰梁及预应力锚索未施工完成时预留 8m 宽土

台,继续往下一层土方开挖,保持土方不间断施工。本项目 04-10S 地块实现土方提前 29d 完工。

4.5 超深超大基坑监测监控技术

4.5.1 研究内容

研究内容包括监测点布置、监测数据采集共享及分析处理、实时监测与预警、数据解读与安全评估。

4.5.2 实施过程

1) 合理布设基坑各类监测点。在布置监测点时,结合安全原则、随机代表原则、易施工原则及稳定性原则,要考虑的是施工人员安全,确保监测点位置不会对工人安全造成影响,避免监测点与施工设备或作业区域发生冲突;考虑留设位置便于施工且不易遗漏,监测点位置应能代表基坑各重要部位情况,如边坡较陡处、重要支护结构、管线复杂处等;在基坑内外合理布置监测点,覆盖整个基坑区域,以获取全面准确的监测数据;考虑稳定性,监测点布置应基于基坑的设计 and 支护方案,重点考虑基坑边坡、支护结构附近的监测点。这些位置易受到影响,因此需及时监测,以评估基坑稳定性。

2) 严格控制监测数据采集的真实性。严格控制监测数据采集的真实性对工程安全、预警管理、设计优化、资源利用、成本控制及法律合规都有重要影响。只有确保监测数据的真实性,才能提供准确、可靠的信息支持,为工程决策与管理提供科学依据。尤其对于超深超大基坑在快速施工时,数据的真实性显得尤为重要。本项目在基坑监测过程中委托第三方专业单位负责,重点是对监测仪器进行定期校准,确保其能提供准确的测量结果,过程中随机抽查数据记录过程是否严格按制度实施。

3) 基于上述数据采集的真实性,在出现部分监测数据异常时,第一时间对原始数据进行分析研究,采取紧急处理措施确保基坑安全,并提高处理后的基坑监测频率,对监测数据做分析处理后再共享各方,避免造成不必要的过度担心和不必要的麻烦,确保基坑可顺利快速施工。

4.6 地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑降排水及地下水控制技术

1) 设置合理的降排水系统。基坑降水系统设计应满足工程要求和相关规范要求,包括抽水系统、排水管网、联排系统等。根据基坑尺寸、地质条件和地下水位等因素,合理确定降水设备的类型、数量和位置。考虑到基坑降水过程中可能产生的淤泥、污水等问题,设置相应的黄泥处理设备和排放管道,确保排水达到环保要求。本项目 04-10S 地

块在坑顶设置截水沟,沿坑顶设置 400mm×430mm 截水沟 600m,沿坑底设置 400mm×430mm 排水沟 600m,并每间隔 50m 设置集水井,集水井共 22 口。基坑坑顶设计 3 个三级沉淀池。在集水井中用水泵及时将积水抽掉。

2)加强地下水位监测并设置回灌井动态调整控制。本项目在基坑周边区域布设地下水位监测井,获取准确的地下水位数据。并在基坑周边设置 10 口回灌井,以维持地下水位稳定。根据地下水位监测数据的分析和评估,制定合理的调整策略。定期对地下水位监测设备和回灌井进行维护和检查,确保其正常运行和准确性。及时处理设备故障,并进行必要的维修或更换。

4.7 地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑质量控制与安全管理

超深超大基坑施工需确保其结构稳定性和承载力,以防止施工期间或使用期间发生任何质量问题。质量控制措施可确保施工材料符合标准、施工工艺正确执行,并对各环节进行严格监控和检查,以保证基坑质量。施工中存在诸多安全风险,如坍塌、裂缝、地面沉陷等,采取安全管理措施可预防和控制这些风险,确保施工现场安全。安全管理包括现场安全规范和制度执行、安全设施配备及员工安全培训等,这些都可有效减少事故和人员伤亡事件发生。质量控制与安全管理对地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑施工至关重要,它们不仅保证施工质量和工程安全,而且遵守法律法规和促进可持续发展。因此,要在地铁规划控制区零施工场地实现超深超大基坑快速施工,须从根源上重视质量和安全管理,主要是要心怀质量安全的敬畏之心,根据具体项目实际情况和相关法规要求进行质量控制与安全管理,并建立监督和检查机制,持续改进施工质量和安全水平。

5 研究应用结果及效益分析

5.1 研究应用结果

总结形成了地铁规划控制区零施工场地超深超大基坑快速施工的 7 项关键技术,并在实施过程中研发总结了 5 项专利及若干极具参考价值的施工数据。

5.2 效益分析

本项技术的研究主要在于加快基坑施工速度、提高施工效率、缩短施工周期、减少工程风险。在

本项目实施过程中,该项技术得以全面广泛应用。从土方清表开始仅半年时间,本项目基坑工程全部完成,其中优先施工的地块在 1 年内已完成营销中心、园林展示区启用及商品房启售,助力项目成为深圳 2024 年最热门楼盘,在项目各方面均产生良好效益。

6 结语

由于本项目过于复杂、体量超大,限于篇幅无法展开更详细的分析,对本项技术的研究应用还有更进一步的研究空间,后续将针对各子项技术再进行详细研究,形成更加完整的关键技术总结,为类似项目提供更加健全的经验借鉴。

参考文献:

[1] 邹洁文. 可回收锚索在岩土基坑工程中的应用和技术控制[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023 (20) : 93-95.
ZOU J W. Application and technical control of recoverable anchor cable in geotechnical foundation pit engineering[J]. Theoretical research in urban construction, 2023 (20) : 93-95.

[2] 李维. 复杂环境条件下某深基坑设计与应用实例[J]. 山西建筑, 2023, 49 (16) : 77-80.
LI W. Design and application of deep foundation pit under complex environment[J]. Shanxi architecture, 2023, 49 (16) : 77-80.

[3] 刘洪刚, 庄小杰, 周刚, 等. 新型可回收预应力锚索施工技术分析[J]. 安徽建筑, 2022, 29 (12) : 45-46.
LIU H G, ZHUANG X J, ZHOU G, et al. Analysis of construction technology of new recyclable prestressed anchor cable[J]. Anhui architecture, 2022, 29 (12) : 45-46.

[4] 王磊. 工程深基坑支护施工关键技术研究[J]. 建筑与预算, 2023 (7) : 65-67.
WANG L. Research on key technologies of deep foundation pit support construction[J]. Construction and budget, 2023 (7) : 65-67.

[5] 胡颖楷. 建筑基坑变形监测方法分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023 (21) : 104-106.
HU Y K. Analysis of deformation monitoring method of building foundation pit[J]. Theoretical research in urban construction, 2023 (21) : 104-106.

[6] 庞若男. 受限环境深基坑肥槽快速回填施工关键技术[J]. 四川建材, 2025, 51 (4) : 172-174.
PANG R N. Key technology of fast backfilling of fertilizer trough in deep foundation pit in confined environment[J]. Sichuan building materials, 2025, 51 (4) : 172-174.

[7] 林祥云. 邻近地铁建筑深基坑的设计与施工策略研究[J]. 中国住宅设施, 2025 (3) : 245-247.
LIN X Y. Study on design and construction strategy of deep foundation pit adjacent to subway building[J]. China housing facilities, 2025 (3) : 245-247.