

# 深基坑支护施工技术与变形控制研究

李亚鹏

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450000

DOI:10.32629/ems.v8i5.20140

**[摘要]** 随着我国城镇化进程加快,高层建筑与地下空间开发规模持续扩大,深基坑工程已成为城市建设中的重要工程类型,其支护施工质量与变形控制效果直接决定工程建设的稳定与安全。本文结合深基坑工程的施工特征,梳理了当前主流的支护施工技术体系与适用场景,系统分析了深基坑变形的主要影响因素,构建了覆盖前期设计、施工过程、地下水治理、监测预警的全流程变形控制路径,为城市深基坑工程的安全施工与质量管控提供技术参考。

**[关键词]** 深基坑工程; 支护施工技术; 变形控制; 地下水治理

## 引言

当前我国城市地下空间开发利用进入快速发展阶段,高层建筑、城市轨道交通、地下综合管廊等工程的建设,推动深基坑工程向大深度、大面积、复杂地质条件方向发展。深基坑支护与变形控制是工程建设的关键环节,直接关系到基坑本体、周边构筑物与地下管线的安全<sup>[1]</sup>,当前部分项目存在支护技术选型不合理、变形管控不到位等问题,引发基坑坍塌、周边沉降等安全隐患。基于此,本文系统分析深基坑支护施工技术与变形控制路径。

## 1 深基坑支护工程的基本特征与变形危害

### 1.1 深基坑支护工程的基本特征与功能定位

深基坑工程是指开挖深度超过 5m,或深度未超过 5m 但地质条件、周边环境复杂的基坑土方开挖、支护与降水工程,是一项兼具岩土工程、结构工程、施工技术的综合性系统工程。其基本特征主要体现在三个方面<sup>[2]</sup>:一是工程环境复杂,城市深基坑多位于建成区,周边紧邻既有构筑物、地下管线与交通干道,对基坑变形的控制要求极高;二是地质条件差异化显著,不同区域的土体物理力学指标、地下水位分布差异大,需结合地质条件定制支护方案;三是施工工序多、协同性要求高,土方开挖、支护施工、降水作业需紧密衔接,任何工序的失控都可能引发安全风险。

深基坑支护体系的核心功能主要分为两个维度:一是挡土功能,通过支护结构承受基坑开挖产生的土压力与水压力,阻挡坑外土体向坑内滑移,保障基坑开挖过程的边坡稳定;二是控变形功能,通过支护结构的刚度约束,控制基坑边坡的水平位移、坑底隆起与周边土体的沉降,避免对周边构筑物、地下管线造成破坏,保障周边环境的安全稳定。

### 1.2 深基坑变形的类型与工程危害

深基坑变形主要分为三类,各类变形相互关联、相互影响,共同决定基坑的整体稳定状态。一是基坑边坡的水平位移,是基坑变形最直观的表现,主要由土压力作用下支护结构的侧向变形引发,水平位移过大易导致支护结构开裂、失稳,甚至引发基坑坍塌;二是坑底土体隆起,主要由基坑开挖卸荷引发,坑底软弱土体在卸荷作用下产生向上的回弹变形,隆起量过大易导致支护结构底部失稳、基坑整体滑移;三是坑外土体沉降,由支护结构侧向变形、坑底隆起与地下水降水引发,坑外土体沉降过大,会导致周边构筑物不均匀沉降、墙体开裂,地下管线变形破损,造成严重的经济损失与社会影响<sup>[3]</sup>。

深基坑变形引发的工程危害具有不可逆性与连锁性特征,轻微变形会导致支护结构开裂、周边地面沉降,影响工程正常施工;严重变形会引发基坑边坡失稳、坍塌,造成人员伤亡与财产损失,同时对周边城市基础设施造成不可逆的破坏,甚至引发群体性安全事件,是城市建设中重点防控的工程风险类型。

## 2 主流深基坑支护施工技术体系

### 2.1 排桩支护施工技术

排桩支护是当前城市深基坑工程中应用最广泛的支护技术,以钢筋混凝土灌注桩为主要支护构件,通过桩体之间的冠梁、腰梁与锚杆、内支撑连接,形成完整的支护结构体系。排桩支护技术的适配性极强,可根据基坑深度、地质条件与变形要求,调整桩径、桩间距与支护形式,分为悬臂式排桩、锚拉式排桩、内支撑式排桩三类,其中悬臂式排桩适用于开挖深度不超过 6m 的基坑,内支撑式排桩可适配开挖深度超

过 20m 的深基坑工程。

排桩支护施工技术的优势在于施工噪音低、对周边环境干扰小, 桩体刚度大、挡土效果好, 可适配多种复杂地质条件; 施工过程中需重点控制桩体的成孔质量、钢筋笼安装与混凝土浇筑精度, 保障桩体的垂直度与完整性, 同时做好桩间土的防护, 避免桩间土坍塌引发的支护结构变形<sup>[4]</sup>。

## 2.2 地下连续墙支护施工技术

地下连续墙支护技术是通过专用成槽设备, 在地下开挖出连续的沟槽, 浇筑钢筋混凝土形成连续的地下墙体, 兼具挡土、止水与承重功能, 是超深、复杂环境深基坑工程的首选支护技术。地下连续墙的墙体刚度大、整体性好、止水性能优异, 可有效控制基坑的侧向变形与周边土体沉降, 适配开挖深度超过 30m 的超深基坑工程, 同时可作为地下结构的外墙使用, 实现支护结构与主体结构的一体化, 提升工程经济性。

地下连续墙支护技术的优势在于变形控制能力强、止水效果好、适用地质范围广, 可在软土、砂卵石等复杂地质条件下施工; 施工过程中需重点控制成槽精度、槽壁稳定、墙体混凝土浇筑与槽段接头处理, 避免槽段接头渗漏引发的地下水流失与周边土体沉降。

## 2.3 土钉墙与复合土钉墙支护技术

土钉墙支护技术属于原位土体加筋的主动支护体系, 通过在基坑边坡土体中设置通长土钉杆件, 与喷射混凝土面层、被加筋的原位土体形成三位一体的复合支护结构, 其核心受力机理是依靠土钉与土体之间的界面粘结力, 将边坡土体的滑动力传递至深层稳定土层, 约束土体侧向变形与滑移趋势, 充分调动原位土体的自身强度, 实现基坑边坡的主动稳定。该技术无需大型施工设备, 作业面占用小、分层施工灵活性强, 施工速度快、工程造价显著低于排桩、地下连续墙等刚性支护体系, 常规适用于地下水位以上的粘性土、粉土、密实砂土等地质条件, 无辅助措施的情况下, 基坑适用开挖深度通常不超过12m, 施工中需严格遵循“分层开挖、分层支护”的原则, 严控单次开挖深度与无支护暴露时间。

复合土钉墙是针对传统土钉墙技术短板优化形成的改进型支护体系, 通过将土钉墙与水泥土搅拌桩止水帷幕、超前微型桩、预应力锚杆、型钢桩等技术组合, 解决了传统土钉墙止水性能差、软土地层变形控制能力弱、适用范围受限的问题。其中水泥土搅拌桩可形成封闭止水帷幕, 阻断坑内外

地下水渗流, 适配高地下水位地层; 超前微型桩可提前约束边坡土体变形, 适配软土等软弱地质条件; 预应力锚杆可主动施加预拉力, 大幅提升边坡变形控制能力。优化后的复合土钉墙可将适用范围拓展至软土、高地下水位等复杂地质条件, 最大适用开挖深度可提升至15m, 施工过程中需重点控制土钉成孔深度、注浆饱满度、喷射混凝土面层厚度与止水帷幕的连续性, 防范边坡滑移、渗流破坏等风险。

## 2.4 型钢水泥土搅拌墙支护技术

型钢水泥土搅拌墙工程中常称SMW工法桩, 是集挡土受力与截水防渗于一体的劲性复合支护技术, 通过三轴或多轴深层搅拌钻机完成原位土体切削钻进, 同步注入水泥固化浆液与土体全断面充分搅拌, 形成连续搭接的水泥土搅拌桩墙体, 在水泥土初凝前将热轧H型钢作为受力劲性骨架精准插入, 依靠水泥土硬化后的握裹力与型钢形成协同受力的复合支护结构。该技术将支护结构与止水帷幕合二为一, 无需单独设置截水体系, 施工占用场地宽度小, 适配城市建成区狭窄场地的基坑施工, 可广泛应用于软土、粉质粘土、粉土、砂土等各类地层, 尤其适配高地下水位区域的基坑工程, 常规适用基坑开挖深度为6~15m, 搭配预应力锚杆或内支撑体系后, 可适配最大开挖深度20m的基坑工程。

该技术相较于传统排桩+止水帷幕的支护模式, 具备显著的技术与经济优势: 一是截水防渗性能优异, 连续搅拌的水泥土墙体可实现无缝搭接, 杜绝了传统止水帷幕的接头渗漏隐患; 二是综合经济性突出, 基坑工程完工后可通过专用设备拔出H型钢实现重复周转利用, 大幅降低支护结构的一次性投入; 三是施工效率高、环境影响小, 无传统灌注桩的大量泥浆排放问题, 施工噪音低、无振动, 符合城市绿色施工要求。施工过程中需重点管控水泥掺量、水灰比与搅拌钻进速度, 保障水泥土搅拌均匀性与成桩连续性, 严控H型钢插入的垂直度与定位精度, 同时做好型钢表面的减阻隔离处理, 保障后期型钢顺利回收, 避免墙体渗漏、型钢偏位等问题引发基坑变形。

## 3 深基坑工程变形控制全流程路径

### 3.1 前期勘察与设计优化管控

前期勘察与设计是深基坑变形控制的源头环节, 直接决定变形控制的整体效果。首先需开展精细化的工程地质与水文地质勘察, 全面查明基坑影响范围内的土体物理力学指标、地下水位分布、含水层特征, 以及周边建构筑物、地下管线

的位置、结构形式与变形承受能力,获取精准的设计参数,杜绝勘察数据失真导致的设计缺陷。其次需结合基坑深度、地质条件与周边环境要求,合理选型支护技术体系,优先选用刚度大、变形控制能力强的支护形式,优化支护结构的设计参数,通过数值模拟验算支护结构的变形量<sup>[5]</sup>,确保设计方案满足基坑变形控制要求。同时需做好土方开挖、降水、支护施工的协同设计,明确各工序的施工顺序与控制要求,避免工序不合理引发的基坑变形。

### 3.2 施工过程精细化动态管控

施工过程的精细化管控是变形控制的关键环节,需严格遵循“分层开挖、先撑后挖、对称均衡、限时开挖”的基本原则,杜绝超挖、乱挖引发的基坑变形。首先需优化土方开挖方案,采用分层、分段、对称开挖的方式,严格控制每层开挖的深度与长度,避免基坑边坡长时间暴露,软土地区每层开挖深度不宜超过1m,开挖完成后需在规定时间内完成支护结构施工,实现开挖与支护的紧密衔接。其次需严格控制支护结构的施工质量,对排桩、地下连续墙、土钉等支护构件的施工全过程开展质量管控,确保支护结构的强度、刚度与完整性符合设计要求,避免支护结构施工缺陷导致的变形失控。同时需建立施工过程动态调整机制,根据监测数据实时调整施工工序与施工参数,当监测到变形速率超过预警值时,立即停止开挖,采取回填反压、增设内支撑等措施,控制变形持续发展。

### 3.3 地下水系统治理与防控

地下水是引发深基坑变形的重要因素,地下水治理是变形控制的重要内容,需构建“截、降、排、封”一体化的地下水治理体系。首先需做好基坑周边的截水防渗,在基坑外侧设置水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等止水帷幕,阻断坑外地下水向坑内的渗流,避免地下水流失引发的坑外土体沉降;止水帷幕需深入不透水层,确保止水效果,杜绝帷幕渗漏引发的地下水流失。其次需优化基坑降水方案,根据地下水位分布与地质条件,合理设置降水井,采用分层、分段降水的方式,严格控制降水速率与降水深度,避免降水过快、过大引发的坑外土体沉降;降水过程中需同步开展坑外地下水位与土体沉降监测,根据监测数据调整降水参数。同时需做好基坑内的排水工作,设置排水沟、集水井,及时排除坑内积水,避免积水浸泡坑底土体,导致坑底土体软化、隆起变形。

### 3.4 全过程监测与预警体系构建

全过程监测是深基坑变形控制的重要抓手,可为施工过程管控提供数据支撑,实现变形风险的早发现、早处置。首先需构建全覆盖的监测体系,根据基坑等级、周边环境要求,合理设置监测点位,监测内容包括支护结构水平位移、坑底隆起、坑外土体沉降、周边建构筑物与地下管线变形、地下水位、支护结构内力等,确保监测数据全面反映基坑的变形状态。其次需严格控制监测频率,基坑开挖过程中需每日开展监测,变形速率较大或临近预警值时,需加密监测频次,实现变形数据的实时跟踪。同时需建立分级预警机制,根据设计要求与规范标准,设置三级预警值,当监测数据达到预警值时,立即启动应急响应,分析变形原因,采取针对性的处置措施,控制变形持续发展,避免风险扩大。

## 4 结语

本文系统梳理了深基坑工程的基本特征与变形危害,分析了排桩支护、地下连续墙、土钉墙、型钢水泥土搅拌墙等主流支护技术的适用场景与技术特征,构建了覆盖前期设计、施工管控、地下水治理、监测预警的全流程变形控制路径。当前我国城市地下空间开发持续向深、向广发展,深基坑工程面临的地质条件与周边环境愈发复杂,对变形控制的要求持续提高。未来需进一步深化深基坑变形机理研究,推广智能化监测、信息化施工技术的应用,完善复杂环境下深基坑支护与变形控制的技术标准体系,持续提升深基坑工程施工的安全性及稳定性。

### 【参考文献】

- [1] 葛唱. 深基坑支护施工技术在房屋建筑工程施工中的应用[J]. 中国建筑装饰装修, 2026, (03): 124-126.
- [2] 杨斌. 深基坑支护结构施工技术及其变形控制研究[J]. 砖瓦, 2025, (12): 154-156+160.
- [3] 张兆敏. 深基坑支护施工变形监测与控制[J]. 中国房地产业, 2025, (27): 194-197.
- [4] 王军鹏, 田立军. 高层建筑项目中的深基坑支护施工技术研究[J]. 价值工程, 2025, 44(22): 105-107.
- [5] 徐浩, 倪志胜. 复杂地质条件下深基坑支护施工技术研究[J]. 新城建科技, 2025, 34(01): 153-155.

作者简介: 李亚鹏, 1992年10月, 男, 汉族, 籍贯: 河南南阳, 工程师, 本科, 从事建筑施工技术与管理方面的工作。