

# 土木工程深基坑支护技术

寇天峰

内蒙古首信建设监理有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要：**土木工程深基坑支护技术是地下空间开发安全的关键保障，核心在于合理设计与施工以控制基坑变形、保障周边环境安全。本文系统介绍了深基坑支护技术的定义、重要性与发展历程，深入剖析了土钉墙、排桩等关键支护技术的原理及应用场景。同时指出当前存在支护结构设计不合理、施工质量不一、监测体系不完善、环保意识薄弱等问题。结合行业趋势，提出绿色环保技术、智能化监测系统融合、多技术联合支护及理论研究创新等发展方向，为深基坑工程提供理论参考。

**关键词：**土木工程；深基坑支护；技术

引言：随着城市化进程加快，高层建筑与地下空间开发规模持续扩大，深基坑工程面临复杂地质与周边环境约束，其支护技术的安全性和可靠性成为工程建设核心难题。深基坑支护既要保障基坑稳定，又要控制土体变形，防止对邻近建（构）筑物和地下管线造成损害。虽土钉墙、排桩等传统技术广泛应用，但工程事故仍频发，凸显设计、施工和监测环节的不足。此外，“双碳”目标与智能化趋势对深基坑支护技术提出新要求，如何在确保工程安全的同时实现绿色化、智能化升级，成为行业亟待攻克的课题。

## 1 土木工程深基坑支护技术概述

### 1.1 深基坑支护技术的定义

深基坑支护技术是土木工程领域保障地下空间开发安全的关键技术，通常针对开挖深度超过5米或地质条件复杂的基坑工程。它以土力学、结构力学及工程地质学为理论基石，通过构建多样化的支护体系，实现对基坑土体稳定性与变形的精准控制。具体而言，该技术融合了支挡结构（如排桩、地下连续墙）、土体加固技术（如高压旋喷桩、注浆加固）和辅助支撑系统（如预应力锚杆、内支撑梁），旨在平衡基坑侧壁的土压力与水压力，有效防止土体坍塌、滑移及渗透破坏，确保基坑施工安全与周边环境稳定，为地下工程建设筑牢安全屏障。

### 1.2 深基坑支护技术的重要性

深基坑支护技术在现代土木工程建设中占据核心地位，其重要性体现在多维度。从安全角度看，科学的支护方案能够抵御复杂地质条件下的土体荷载与地下水作用，避免基坑坍塌事故，保障施工人员生命安全；从环境层面出发，在高密度城市建设中，精准的支护技术可有效控制基坑变形，防止周边建筑沉降、地下管线破

裂等次生灾害，维护城市基础设施正常运转；在经济维度，合理的支护设计能优化施工流程，减少事故导致的工期延误与成本增加，提升工程建设的综合效益。此外，其对推动地下空间高效开发、缓解城市用地紧张具有战略意义，是实现城市可持续发展的关键技术支撑。

### 1.3 深基坑支护技术的发展历程

深基坑支护技术的演进是一部与土木工程需求协同发展的历史。早期，受限于材料与技术，多采用钢板桩、放坡开挖等简易支护方式，仅适用于浅层基坑。20世纪中叶，随着钢筋混凝土与钢结构技术的突破，排桩支护、地下连续墙等刚性结构广泛应用，显著提升了深基坑支护能力。20世纪80年代后，土钉墙、预应力锚杆等主动加固技术兴起，通过土体与结构协同作用增强稳定性，推动支护技术向主动控制方向迈进。近年来，计算机数值模拟与BIM技术的普及，使设计从经验判断转向精准计算；同时，装配式支护结构、绿色支护材料及智能化监测系统的应用，标志着深基坑支护技术正朝着安全高效、绿色智能的方向加速迭代，以适应复杂工程环境的挑战<sup>[1]</sup>。

## 2 土木工程深基坑支护的关键技术

### 2.1 土钉墙支护技术

土钉墙支护技术基于土体原位加固原理，通过在基坑侧壁钻孔置入钢筋、钢管等土钉，并注入水泥浆形成复合体，将土体与土钉构成共同受力体系。施工时，先按设计开挖一定深度，随后安装土钉、铺设钢筋网并喷射混凝土面板，分层施工直至基坑底部。该技术适用于地下水位低、土质较好的黏性土、粉土及砂土基坑，深度通常控制在12米以内。其优势在于施工设备简单、工期短、成本低，且对周边环境影响小；同时，土体与土钉协同工作能有效限制基坑变形。然而，土钉墙在软

土、高水位或流沙地层中易失效,需配合降水或止水措施,且对施工质量要求严格,若注浆不饱满或土钉长度不足,将严重影响支护效果。

## 2.2 排桩支护技术

排桩支护技术通过在基坑周边间隔或连续布置钢筋混凝土桩、钢板桩等,形成竖向挡土结构。施工时,先采用钻孔灌注桩、预制桩等工艺成桩,再根据基坑深度与荷载设置冠梁及内支撑体系。其适用于各类土质与复杂环境条件,尤其在软土地区及对变形控制要求高的深基坑工程中应用广泛。排桩支护刚度大、抗渗性强,能有效阻挡土体侧压力与地下水渗透;通过调整桩间距、桩径及支撑形式,可灵活适应不同工况。但该技术施工成本较高,需专业机械设备,且灌注桩施工易产生泥浆污染;此外,排桩间缝隙若未妥善处理,可能导致水土流失,影响周边地基稳定性。

## 2.3 地下连续墙支护技术

地下连续墙支护技术是利用专用成槽设备,沿基坑周边分段开挖沟槽,在泥浆护壁条件下,吊放钢筋笼并浇筑水下混凝土,形成连续的钢筋混凝土墙体。该墙体兼具挡土、截水、承重等多重功能,适用于各种复杂地质条件及超深基坑工程,尤其在城市密集区施工优势显著。地下连续墙整体性好、刚度大,能有效控制基坑变形,减少对周边建筑的影响;墙体防渗性能优异,可作为永久结构的一部分。但其施工工艺复杂,需大型成槽设备,造价较高;成槽过程中易受地质条件影响,若遇孤石、硬岩等情况,施工难度与成本将大幅增加;同时,泥浆处理与排放需符合环保要求,避免造成环境污染。

## 2.4 锚杆支护技术

锚杆支护技术通过在基坑侧壁钻孔,将高强度钢筋线、钢筋等锚杆体置入土层或岩层,注入水泥浆形成锚固段,利用土体与锚杆间的摩阻力提供拉力,与支护结构共同抵抗土体侧压力。施工时,先完成支护桩或地下连续墙施工,再按设计角度与深度钻孔、安装锚杆并张拉锁定。该技术适用于岩土层较好的基坑工程,可减少内支撑使用,增加施工空间,尤其适合狭窄场地作业。锚杆支护能主动施加预应力,有效控制基坑变形,且经济性较好;但其锚固力依赖土体性质,在软土或松散地层中需进行土体改良;此外,锚杆施工质量受注浆工艺、张拉控制等环节影响大,若锚固失效,可能引发基坑失稳。

## 2.5 重力式水泥土墙支护技术

重力式水泥土墙支护技术以水泥为固化剂,通过深

层搅拌机械将原位土与水泥浆强制搅拌,形成具有一定强度与整体性的壁状加固体,依靠自身重力与抗滑、抗倾覆能力维持基坑稳定。施工时,采用双轴、三轴搅拌桩机沿基坑周边连续搭接成墙,固化剂掺量与搅拌深度根据土质条件调整。该技术适用于软土地基、开挖深度不超过7米的基坑,具有施工简便、成本低、无噪声污染等优点;同时,搅拌桩止水效果良好,可减少降水对周边环境的影响。但重力式水泥土墙自重大,需占用较大空间,对地基承载力要求较高;墙体变形相对较大,在变形控制严格的工程中应用受限,且需注意水泥土养护期,避免早期强度不足导致墙体开裂。

## 3 土木工程深基坑支护技术存在的问题

### 3.1 支护结构设计不合理

在深基坑支护结构设计环节,部分设计人员对地质勘查资料分析不充分,未能准确把握土层特性与地下水分布,导致支护参数选取偏差。例如,对软土地层的土体力学指标估算过高,造成支护结构承载能力不足。同时,设计过程中过度依赖经验公式,忽视基坑周边环境差异,如临近地铁、古建筑等特殊工况下,未针对性加强支护设计,存在安全隐患。此外,部分设计单位为降低成本,简化计算模型,忽略复杂应力状态对支护结构的影响,使得设计方案难以满足实际工程需求,增加基坑失稳风险。

### 3.2 施工质量参差不齐

深基坑支护施工中,施工质量受人员、设备、工艺等多因素影响,问题频发。部分施工单位技术人员专业水平不足,对施工规范理解不透彻,导致土钉墙注浆压力控制不当、排桩钢筋笼下放深度不足等操作失误。施工设备老化、精度不达标也影响工程质量,如搅拌桩机搅拌不均匀,致使水泥土墙强度离散性大。此外,部分企业为赶工期压缩工序,未严格执行养护时间要求,在混凝土强度未达设计标准时即开展下一步作业,削弱支护结构整体性,为基坑安全埋下隐患。

### 3.3 监测工作不到位

深基坑监测是保障施工安全的重要防线,但实际工程中监测工作常存在缺陷。监测点布置缺乏科学性,部分项目监测点数量不足、位置不合理,无法全面反映基坑及周边环境变形情况。监测频率设置不规范,施工关键阶段未加密监测,导致变形趋势异常时难以及时发现。同时,监测设备精度低、稳定性差,数据传输与处理滞后,无法为施工决策提供实时有效支持。此外,部分监测人员专业能力不足,对监测数据缺乏深入分析,未能及时预警潜在风险,降低了监测工作的有效性<sup>[2]</sup>。

### 3.4 环境保护意识淡薄

在深基坑支护施工过程中,环境保护意识淡薄问题突出。泥浆护壁施工产生的大量废弃泥浆未经处理直接排放,造成土壤与水体污染;锚杆张拉、灌注桩成孔等工序产生的噪声与振动,对周边居民生活及既有建筑结构造成不良影响。部分施工单位未采取有效降尘措施,土方开挖与运输过程中扬尘污染严重,影响空气质量。此外,降水施工中未合理控制抽水量与回灌措施,导致周边地下水位下降,引发地面沉降、建筑物开裂等环境地质问题,违背绿色施工理念。

## 4 土木工程深基坑支护技术的发展趋势

### 4.1 绿色环保技术的应用

在“双碳”目标和生态优先的发展理念下,深基坑支护技术正加速向绿色环保方向转型。材料层面,可重复使用的模块化支护构件得到广泛应用,如装配式钢支撑、可回收预应力锚杆,显著降低钢材损耗;生物降解材料也逐渐进入试验阶段,有望替代传统化学注浆材料。施工工艺上,泥浆零排放技术成为主流,通过“机械分离+化学絮凝+压滤脱水”组合工艺,实现废弃泥浆的资源化利用;同步采用低噪音、低振动的液压铣槽机、全回转套管钻机等设备,减少施工对周边环境的影响。此外,生态修复型支护结构不断创新,如将植被混凝土技术融入挡土墙设计,既能稳固边坡,又能恢复生态景观,实现工程建设与环境保护的双赢。

### 4.2 智能化技术的融合

智能化浪潮推动深基坑支护技术进入智慧化发展阶段。物联网技术实现了监测设备的全域覆盖,通过在支护结构、周边土体及建筑物上布设智能传感器,实时采集位移、应力、水位等数据,并借助5G网络实现毫秒级传输。人工智能算法则赋予系统自主分析能力,通过深度学习历史数据,精准预测基坑变形趋势,自动触发三级预警机制。BIM与GIS技术深度融合,构建基坑工程的数字孪生模型,支持施工进度模拟、方案比选及风险预演。施工环节中,智能机器人承担高危作业,如锚杆自动张拉机器人、混凝土智能浇筑系统,不仅提升施工精度,还能有效降低人工安全风险,推动行业向无人化、少人化方向发展。

### 4.3 多种支护技术的联合应用

复杂地质条件与严苛的工程要求,促使深基坑支护从单技术应用转向多技术协同。面对深厚软土地层,常

采用“地下连续墙+内支撑+地基加固”的联合方案,利用地连墙挡土止水,内支撑控制变形,地基加固提升土体承载力;在临近既有建筑的深基坑中,“排桩+预应力锚杆+隔离桩”组合能有效减少施工影响。此外,创新型复合支护结构不断涌现,例如“钢管桩+高压旋喷桩”形成刚柔结合的挡土体系,“微型桩+注浆加固”增强土体自稳能力。联合支护通过优势互补,既能灵活适应复杂工况,又能优化成本,如某超深基坑工程采用“地连墙+逆作法+智能监测”组合方案,相较传统工艺节省工期30%,经济效益显著。

### 4.4 理论研究的深化与创新

深基坑支护理论研究正突破传统框架,向多学科交叉、精细化方向迈进。在土力学领域,考虑土体结构性、各向异性及时间效应的本构模型不断完善,如基于微观结构分析的离散元模型,能更准确描述土体破坏机理;多场耦合理论取得新进展,通过建立渗流-应力-温度-化学(THMC)耦合模型,揭示地下水渗流、土体变形与化学反应间的交互作用。计算方法层面,人工智能与数值模拟深度融合,遗传算法优化支护结构参数,深度学习反演土体力学指标;高精度的三维有限元分析结合虚拟现实技术,实现基坑开挖过程的全生命周期仿真,为复杂工程设计提供可靠依据,推动行业从经验驱动向理论创新驱动转变<sup>[1]</sup>。

### 结束语

深基坑支护技术作为土木工程地下空间开发的核心保障,其发展水平直接影响工程安全与城市建设质量。面对复杂地质条件与日益严苛的施工要求,当前技术虽存在设计、施工、监测等方面的问题,但绿色环保、智能化、技术融合与理论创新的趋势已为行业指明方向。未来,随着新材料、新技术、新理论的持续突破,深基坑支护技术将在保障工程安全的基础上,实现与生态保护、智能建造的深度融合,为城市地下空间开发与可持续发展注入新动能。

### 参考文献

- [1]郑贵日.土木工程施工中深基坑支护施工技术[J].工程建设与设计,2024,(24):166-168
- [2]崔建敏.关于土木工程中深基坑支护施工技术的探究[J].建材发展导向,2024,22(19):80-82.
- [3]杨国涛.土木工程房屋建设中深基坑支护技术的应用[J].砖瓦,2024,(08):168-170