

建筑工程施工中深基坑支护的施工技术分析

孙建军

320823*****5015

摘要: 随着我国城市化进程的加速和高层、超高层建筑、大型地下空间的蓬勃发展,深基坑工程已成为现代建筑工程中至关重要且技术复杂的环节。深基坑支护技术不仅直接关系到基坑自身的安全与稳定,更对周边建筑物、地下管线及公共环境的安全具有深远影响。本文首先阐述了深基坑工程的特点与支护必要性,继而系统分析了当前主流的深基坑支护技术,包括排桩支护、地下连续墙、土钉墙、锚杆支护以及内支撑体系等,对其工作原理、适用条件、技术要点进行了深入探讨。在此基础上,文章进一步分析了影响深基坑支护设计与施工的关键因素,如工程地质与水文条件、周边环境、基坑深度与形状等,并针对施工中的关键技术控制要点,如变形监测、地下水控制、土方开挖顺序等进行了论述。最后,结合行业发展趋势,对深基坑支护技术的未来发展进行了展望,以期对相关工程的实践提供理论参考与技术借鉴。

关键词: 深基坑; 支护技术; 地下连续墙; 变形控制; 施工监测; 地下水

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.064

引言

在土地资源日益紧张的城市核心区,向地下空间拓展已成为不可逆转的趋势。作为连接地上结构与地下基础的关键过渡阶段,深基坑工程(通常指开挖深度超过5米的基坑)的规模与难度不断攀升。深基坑施工犹如在复杂地质与密集环境中进行的一场“外科手术”,其核心挑战在于如何在开挖卸载后,有效平衡坑内外土压力,控制土体变形,确保基坑本体及周边环境在施工期间的安全与稳定。一旦支护失效,轻则导致基坑坍塌、工程延误,重则引发邻近建筑开裂、管线破裂、道路塌陷等灾难性后果,造成巨大的人员伤亡与经济损失。因此,深基坑支护已不再是单一的土方开挖支撑问题,而是涉及岩土工程、结构工程、水文地质、环境工程及工程管理的综合性学科。

近年来,我国在深基坑支护技术领域取得了长足进步,从早期单一的放坡、钢板桩支护,发展到如今种类繁多、工艺成熟的技术体系。然而,深基坑工程具有显著的个案性,其成功高度依赖于对场地特定条件的精确把握与支护技术的合理选用。不同的地质条件、水文环境、基坑深度、周边敏感度要求,对应着截然不同的支护方案与施工逻辑。当前实践中,仍存在因地质勘察不明、支护选型不当、施工控制不严、监测预警不力而引发的工程事故。因此,对现有主流深基坑支护技术进行系统性梳理,深入分析其内在机理、适用边界与关键技术控制环节,对于提高工程设计科学性、施工安全性及风险预见性,具有极其重要的理论与现实意义。本文旨

在通过对各类支护技术的深入剖析,结合关键影响因素与施工控制要点的论述,构建一个更为清晰的深基坑支护技术认知框架,以服务于工程实践。

1 深基坑支护技术的主要类型及应用分析

1.1 排桩支护体系

排桩支护是深基坑工程中最常用的支护形式之一,其核心是通过沿基坑周边按一定间距施工一系列竖向受荷桩(如钻孔灌注桩、旋挖桩、SMW工法桩等),形成一道挡土墙体,并通过桩顶冠梁连接成整体。根据是否设置横向支撑或锚拉,可分为悬臂式排桩、锚拉式排桩和内支撑式排桩。

悬臂式排桩:完全依靠桩体自身的刚度和嵌入坑底以下稳定土层深度(嵌固深度)来抵抗土压力和水压力。其结构简单,施工空间开阔,但仅适用于深度较浅(一般不超过6-8米)、土质较好、周边环境空旷的基坑,否则桩顶水平位移较大。

锚拉式排桩:在排桩外侧土体中设置一层或多层预应力锚杆(索),将桩体承受的侧向荷载传递到后方稳定的岩土层中。这种方式能有效减小桩身弯矩和位移,适用于开挖深度较大(可超过15米)且锚杆有足够锚固长度的场地。但其应用受限于周边地下空间权属,若锚杆需超出红线侵入相邻地块,则可能无法实施。

内支撑式排桩:在基坑内部设置水平支撑体系(钢支撑或混凝土支撑),与排桩形成框架结构。内支撑能提供强大的水平约束,控制变形效果好,尤其适用于狭

窄、形状规则（如矩形）的深大基坑。但其缺点在于支撑构件占用坑内空间，影响土方开挖和主体结构施工，需进行多次换撑，工序复杂，工期较长。

1.2 地下连续墙

地下连续墙是利用专用成槽设备，沿基坑周边开挖出具有一定宽度和深度的沟槽，然后在槽内吊放钢筋笼、浇筑混凝土，形成连续的地下钢筋混凝土墙。它集挡土、止水、承重（可作为永久结构的一部分）于一体，是当前最深（可超过50米）、最可靠的支护形式之一。

优点：整体刚度大，变形控制能力极强，止水性能优异，施工噪音振动较小，对紧邻建筑物保护性好。可适应各种复杂地层。

缺点：施工工艺复杂，技术要求高，需要大型专用设备，造价昂贵，泥浆处理需符合环保要求，墙体接头处是防水的薄弱环节。通常用于超深基坑、周边环境极其敏感（如邻近地铁、历史保护建筑）、对止水要求极高或需要“两墙合一”（支护墙兼作地下室外墙）的重大工程。

1.3 土钉墙与复合土钉墙

土钉墙是一种主动加固原位土体的支护技术。其原理是随基坑分层开挖，在坡面铺设钢筋网并喷射混凝土形成面板，同时以近乎水平的角度将土钉（通常是带肋钢筋）打入或钻入土体，通过注浆使其与周围土体粘结，形成加筋土复合体，共同抵抗滑移和变形^[1]。

特点：结构轻型，柔性大，施工简便快捷，成本相对较低，开挖作业空间大。适用于地下水位以上或经过降水后的粘性土、粉土及砂土等有一定自稳能力的土层，开挖深度一般在12米以内。

复合土钉墙：为扩大土钉墙的应用范围和提高其安全性，常将其与预应力锚杆、微型桩、止水帷幕等结合，形成复合支护。例如，“土钉+预应力锚杆”可增强整体稳定性；“土钉+旋喷桩止水帷幕”可解决地下水位以下砂层中的流砂问题。

1.4 内支撑体系

如前所述，内支撑常与排桩或地下连续墙结合使用。其设计关键在于支撑的布置形式。常见的有对撑、角撑、环梁支撑等。

对撑/角撑体系：受力明确，适用于长方形基坑。但支撑杆件密集，对坑内作业干扰大。

环形支撑体系：在基坑内设置大型环形或椭圆形钢筋混凝土圈梁，利用混凝土受压性能好的特点，将桩（墙）传来的水平力转化为环向压力。其优点是能提供巨大的

内部无支撑空间，便于大型机械土方开挖和结构施工，经济效益显著。但对设计计算和节点构造要求极高。

1.5 其他支护与止水技术

型钢水泥土搅拌墙（SMW工法）：通过三轴搅拌桩机在土中钻进切土、喷浆搅拌的同时，插入H型钢，形成一道兼具挡土和止水功能的连续墙体。施工速度快，止水效果好，型钢可回收重复利用，经济环保。适用于软土地区中等深度的基坑^[2]。

止水帷幕：对于地下水位高的地区，无论采用何种支护，常需设置独立的止水帷幕，如高压旋喷桩、搅拌桩、注浆帷幕等，以截断基坑外的地下水渗流路径，是控制坑底突涌、管涌和周边地面沉降的关键措施。

2 深基坑支护设计与施工的关键影响因素

2.1 工程地质与水文地质条件

这是决定支护方案的根本。土层分布、各层土的物理力学性质（如粘聚力、内摩擦角、压缩模量）、岩面埋深直接影响支护结构的选型、嵌固深度和稳定性计算。地下水的类型（潜水、承压水）、水位、补给排泄条件则是决定降水或止水方案的核心。例如，深厚软土层通常需要刚度大的支护（如地下连续墙）并配合地基加固；砂层、粉土层需重点解决渗透稳定问题；承压水头过高时，需验算坑底抗突涌稳定性。

2.2 周边环境条件

基坑开挖的影响范围通常为1-3倍开挖深度。需详细调查此范围内既有建筑物、构筑物（特别是年代久远的基础薄弱建筑）、市政管线（给排水、燃气、电缆等）、城市道路、地铁隧道等的类型、基础埋深、结构现状、对变形（沉降、水平位移）的敏感性和容许值。环境越敏感，对支护体系的刚度、变形控制能力及施工扰动控制要求就越高^[3]。

2.3 基坑本体参数

基坑的开挖深度、平面形状与尺寸是设计的直接输入参数。深度越大，土压力呈非线性增长，对支护体系的强度和刚度要求越高。平面形状不规则（如L形、弧形）会导致应力集中，角部效应明显，需进行针对性加强设计。大面积基坑还需考虑时空效应，合理划分施工段。

2.4 施工条件与工期要求

场地作业空间的大小决定了大型设备（如成槽机、桩机）能否进场以及支护形式的选择（如锚杆是否有足

够施工场地)。工期紧张的项目可能倾向于选择施工速度快的工法(如土钉墙、SMW工法),而对造价不敏感但环境要求极高的项目则可能首选可靠但工期较长的地下连续墙。

3 深基坑支护施工关键技术控制要点

优秀的支护设计必须通过精细化的施工来实现。施工过程中的关键技术控制是工程安全的生命线。

3.1 信息化施工与全过程动态监测

这是现代深基坑工程的灵魂。监测如同工程的“眼睛”,通过布设于支护结构、周边土体及环境对象上的传感器(测斜管、沉降点、轴力计、水位观测井等),实时获取基坑变形、支撑内力、地下水位等关键数据。监测数据不仅用于判断当前安全状态,实现预警(设定报警值、控制值),更重要的是用于反演分析,验证和修正设计参数,指导后续施工(如土方开挖速度、支撑预加轴力调整),实现动态设计与信息化施工的闭环^[4]。

3.2 地下水控制

“十坑九水”,水是基坑工程的大敌。必须根据水文地质条件制定周密的控水方案。对于潜水,常采用坑外帷幕止水结合坑内明排或轻型井点降水;对于承压水,可能需要进行深井降压。降水过程需严格控制,防止因降水过快过猛引起周边土体固结沉降,对建筑物造成损害。必要时可采用回灌技术,补偿地下水位。

3.3 土方开挖的时空效应

土方开挖必须严格遵循“分层、分段、对称、平衡、限时”的原则。分层厚度需与支护施工步序匹配(如一道支撑一层土)。分段开挖可减少每次卸载的范围,利用土体自身的抗剪强度。对称开挖避免支护结构承受偏压。挖出的土方应及时运走,避免堆载在坑边。每一层土方开挖后,应在设计规定时限内完成该层支撑或土钉的施工,尽快形成新的受力平衡体系。

3.4 支护结构施工质量

这是控制变形的根本。对于排桩,要确保桩径、桩长、垂直度、混凝土强度及钢筋笼安装质量。对于地下连续墙,需严格控制槽壁垂直度、槽段接头刷洗质量、泥浆指标和混凝土浇筑连续性,防止夹泥、断墙。对于锚杆,要确保成孔深度、注浆饱满度和预应力张拉锁定值。对于支撑,要确保支撑与围檩的紧密贴合,并按设计要求施加预加力^[5]。

3.5 应急预案

深基坑工程属于高风险作业,必须制定详尽的应急预案。预案应包括:出现监测数据超标、支护结构严重变形、渗漏流砂、管涌、周边建筑沉降开裂等险情时的应急处理流程、人员物资设备准备、疏散路线等,并进行演练,确保响应迅速。

4 结语

深基坑支护工程是一项技术密集、风险突出的系统性工程,其成功实施是安全、经济、环保、高效等多重目标平衡下的产物。本文通过对排桩、地下连续墙、土钉墙、内支撑等主流支护技术的深入剖析,揭示了各自的技术内核、适用场景与局限性。同时,强调了工程地质水文条件、周边环境、基坑本体参数及施工要求等关键因素对支护方案选择的决定性影响。更进一步指出,在施工阶段,以全过程动态监测为核心的信息化施工、精准的地下水控制、遵循时空效应的土方开挖、严格的支护结构施工质量把控以及周密的应急预案,是确保深基坑工程安全平稳推进的五大技术支柱。

展望未来,深基坑支护技术将朝着更加绿色、智能、集成的方向发展。绿色化体现在对环境影响的最小化,如低噪音低振动施工工艺、可回收支护材料的推广应用(如可回收锚索、型钢)、施工废弃物的资源化处理。智能化则深度融合物联网、大数据、BIM(建筑信息模型)和人工智能技术,实现从勘察、设计、施工到监测的全过程数字化孪生与智能决策支持,预测性维护与风险主动防控将成为可能。集成化则是支护结构与永久地下结构更深度结合,以及支护、降水、土方、主体结构施工的一体化协同管理,以追求整体工期和成本的最优化。

参考文献

- [1] 廖启斌. 建筑工程施工中深基坑支护施工技术管理研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2026, (03): 40-42.
- [2] 丁少梅, 马聪. 建筑工程施工中深基坑支护的施工技术分析[J]. 城市建设, 2025, (29): 26-28.
- [3] 高渊. 深基坑支护施工技术在房屋建筑工程施工中的应用研究[J]. 石油化工建设, 2025, 47(11): 99-101.
- [4] 唐世凯, 王守彬, 李北平, 等. 建筑工程施工中深基坑支护施工技术管理分析[J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(10): 227-229.
- [5] 丁韬. 深基坑支护施工技术在建筑工程施工中的应用研究[J]. 石材, 2025, (10): 77-79.