

建筑工程中深基坑支护施工技术的应用

熊剑

360425*****7019

摘要: 随着我国城市化进程的快速推进,高层建筑、地下空间开发及大型市政工程日益增多,深基坑工程作为其基础性关键环节,其施工技术难度与安全风险也显著增加。深基坑支护施工技术不仅直接关系到基坑本身的安全稳定,更对周边建筑、管线及公共环境具有深远影响。本文系统阐述了深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用,首先分析了深基坑工程的特点及其对支护技术的要求;其次,详细论述了常见支护结构类型(如排桩、地下连续墙、内支撑、锚索(杆)、土钉墙等)的工艺原理、技术特点与适用条件;再次,深入探讨了基坑降水、土方开挖、变形监测等关键配套技术与工序的协同要点;最后,结合工程实践,分析了支护施工中常见问题、风险控制策略及技术创新发展趋势。研究表明,科学合理的支护方案选择、精细化施工过程控制以及动态化的信息监测是确保深基坑工程安全、经济、高效实施的核心。

关键词: 深基坑; 支护技术; 施工工艺; 变形控制; 风险监测

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.066

引言

基坑工程是建筑工程开端,任务是为地下结构施工创造安全稳定作业空间。当基坑开挖深度超一定界限(我国规范及实践通常认为超5米)进入“深基坑”范畴,地质条件、环境效应和施工复杂性质变。深基坑工程是多学科交叉的复杂系统工程。当前,城市建设用地紧张,建筑向高空和地下发展。摩天大楼需深基础埋深,大型商业综合体等对地下空间开发有更高要求。这使深基坑工程数量增多、规模扩大、深度增加、周边环境更复杂。在此背景下,深基坑支护施工技术面临挑战,要在保证基坑稳定的同时控制土体变形、确保周边环境安全并实现工程经济性与工期目标。因此,对深基坑支护施工技术进行系统性梳理、总结与深入研究有重要理论与现实意义。

1 深基坑工程特点与支护技术基本要求

深基坑工程区别于一般浅基坑,其核心特征在于“深”所带来的系列连锁反应,这直接决定了支护技术的特殊性和高要求。

首先,地质与水文条件的复杂性及不确定性是深基坑工程面临的基础性挑战。开挖深度增加意味着揭露的地层更多样,可能遇到软土、砂层、承压水等不利地质单元。地下水,特别是承压水的处理,常常成为工程成败的关键。支护结构必须能够抵御更大的土压力和水压力,并具备良好的止水或降水适应能力。

其次,显著的时空效应。基坑开挖是一个卸载过程,

必然引起土体应力重分布和地层变形。这种变形并非瞬间完成,而是随时间发展。同时,开挖顺序、支护设置与土方开挖的时空配合,对基坑变形和内力有着决定性影响。“先撑后挖、分层开挖、严禁超挖”等原则,正是基于时空效应提出的。

再次,严峻的环境效应。深基坑开挖引发的土体位移(包括水平位移和地表沉降)会波及周边数十米甚至上百米的范围。这种影响可能导致邻近建筑物开裂、倾斜,地下管线断裂,道路塌陷等次生灾害。因此,现代深基坑支护设计已从单纯保证基坑自身稳定的“强度控制”,发展到必须严格控制变形的“变形控制”。

最后,高度的风险性与综合性。深基坑工程属于危险性较大的分部分项工程,其失效往往是突发性的,后果严重。成功的工程实施依赖于精准的地质勘察、合理的支护设计、严格的施工工艺、周密的监测预警以及高效的应急管理等多环节的协同。

基于以上特点,深基坑支护技术体系必须满足以下基本要求:1.可靠性:支护结构体系必须具备足够的强度、刚度和稳定性,能够安全承载施工期间的全部荷载。2.控制性:必须能够有效控制基坑及周边地层的变形,将其限制在允许范围内,保护环境安全^[1]。3.适应性:能够适应场地的工程地质、水文地质条件和周边环境限制,并具备一定的应对不确定性的能力。4.可行性:施工工艺成熟,技术可行,设备条件满足,能够在既定工期和场地条件下实施。5.经济性:在满足安全、环境和技术要求的前提下,力求方案经济合理,节约造价。

2 主要深基坑支护结构类型及施工工艺

2.1 排桩支护结构

排桩支护是通过在基坑周边按一定间距施工桩体（钻孔灌注桩、旋挖桩、预应力管桩等），形成桩墙来挡土和止水（或结合止水帷幕）的结构形式。其刚度大、适用范围广，是深基坑中最常用的支护形式之一。

工艺原理：桩体嵌入坑底以下一定深度，依靠其抗弯和抗剪能力抵抗土压力。桩间可挂网喷浆，或设置专门的止水桩、旋喷桩形成止水帷幕。

施工要点：钻孔灌注桩施工需重点控制垂直度、桩径、钢筋笼制作与安放、混凝土浇筑质量。旋挖桩效率高，但在复杂地层需注意护壁。桩顶通常设置钢筋混凝土冠梁，将各桩连成整体共同工作^[2]。

适用条件：适用于各种土层，特别在软土地区、周边环境对变形要求较高的基坑中应用广泛。常与内支撑或锚杆（杆）结合，形成“桩+撑”或“桩+锚”体系。

2.2 地下连续墙

地下连续墙是利用专用挖槽设备，沿基坑周边开挖出具有一定宽度和深度的沟槽，在槽内吊放钢筋笼并浇筑混凝土，形成连续的钢筋混凝土墙体。

工艺原理：地下连续墙既是挡土结构，又是可靠的止水帷幕，同时可作为主体地下结构的外墙，是功能最全面的深基坑支护形式。

施工要点：包括导墙施工、槽段划分、成槽、泥浆护壁、清孔换浆、钢筋笼吊装、水下混凝土浇筑等关键工序。成槽垂直度控制、槽壁稳定性、槽段接头防渗处理是技术核心。

适用条件：适用于深度大、地质条件差、周边环境极其敏感、对止水要求极高的重大工程。虽然造价高，但因其优异的整体性和止水性，在重大项目中优势明显。

2.3 内支撑体系

内支撑是在基坑内部设置水平或斜向的支撑杆件，将作用于围护墙上的侧向压力通过支撑传递到对侧围护墙或基坑中部设置的竖向支承系统。

工艺原理：通过施加预应力，主动限制围护墙的位置，将悬臂或锚拉结构转变为简支或连续梁结构，大幅减小墙体弯矩和变形。

施工要点：钢支撑（圆钢管、H型钢）施工快、可回收、可施加预应力，但刚度相对较小，需注意节点连接和稳定性控制。钢筋混凝土支撑刚度大、形式灵活（可形成平面支撑体系），但施工养护时间长、拆除繁琐。支撑体系的安装必须严格遵循“先撑后挖、分层支撑”

原则，并做好预加轴力工作。

适用条件：适用于形状规则（长方形、圆形）的基坑，尤其在不允许设置锚索的场地（如红线外无锚固空间、存在地下障碍物）是唯一选择。是控制基坑变形的有效手段^[3]。

2.4 土层锚杆（索）

土层锚杆（索）是一种将围护墙承受的荷载通过锚杆（索）传递到基坑外侧稳定土层中的受拉杆件。

工艺原理：由锚头、杆体（钢绞线或钢筋）和锚固段组成。通过对杆体施加预应力，主动加固土体，为围护墙提供弹性支点。

施工要点：包括钻孔、杆体制作与安放、注浆（常采用二次高压注浆工艺提高承载力）、张拉锁定等。成孔质量、注浆体的密实度和强度、锚固段长度是影响锚杆承载力的关键。需进行基本试验和验收试验以验证其性能。

适用条件：适用于非软土地区，且基坑外侧有足够空间设置锚固段。能为基坑提供开阔的作业空间，但受周边地下空间权属限制，在城市建设中的应用趋于谨慎。

2.5 土钉墙与复合土钉墙

土钉墙是采用土钉（钢筋、钢管）加固基坑侧壁土体，并与喷射混凝土面层相结合，形成类似重力式挡墙的支护结构。

工艺原理：通过土钉与土体的相互作用，提高原位土体的强度和整体稳定性，属于被动支护、土体加筋技术。

施工要点：随开挖随支护，分层开挖，分层施作土钉、挂网和喷射混凝土。土钉注浆质量、面层与土钉的连接可靠性至关重要。

适用条件：适用于地下水位以上或经降水后的粘性土、粉土及有一定胶结能力的砂土，基坑深度一般不宜超过12米。在软土中或深度较大时，常与微型桩、预应力锚杆等结合形成复合土钉墙，增强其稳定性和变形控制能力。

3 关键配套施工技术与过程控制

一个成功的深基坑工程，不仅依赖于合理的支护结构选型，更依赖于一系列关键配套技术的精准实施和全过程的精细化控制。

基坑降水技术：有效的地下水控制是深基坑施工的前提。降水方法主要包括管井降水、轻型井点降水、喷射井点降水及帷幕止水（如搅拌桩帷幕、旋喷桩帷幕、TRD工法等）。选择时需根据水文地质条件、基坑规模

及环境保护要求确定。降水设计需计算降水深度、出水量,布置合理的井点系统。施工中需动态监测地下水位,既要保证坑内干作业,又要防止因降水引起过大地面沉降,必要时需采取回灌措施。

土方开挖技术:土方开挖是直接导致基坑应力释放和变形的环节,必须与支护施工紧密协同。必须坚持“分层、分段、对称、平衡、限时”的开挖原则。严禁在支护未达到设计要求强度前超挖。大型基坑常采用中心岛式、盆式开挖等工艺,以利用土体自身抗力,减少支护结构早期变形。开挖过程中需做好坑内排水和坡道设置^[4]。

变形监测与信息化施工:这是深基坑工程安全的“眼睛”和“警报器”。监测内容包括:围护墙(桩)顶水平位移和竖向位移、深层水平位移(测斜)、支撑轴力、锚杆拉力、地下水位、周边建筑物和道路的沉降与倾斜、地表裂缝等。监测方案需精心设计,布点需有代表性。监测数据必须及时采集、分析、反馈。当监测值达到预警阈值时,必须立即启动预警程序,分析原因并采取加固、补撑、堆载反压等应急措施,实现从“经验施工”到“信息化施工”的转变。

季节性施工与应急管理:雨期施工需重点防范雨水入渗导致土体强度降低和侧压力增大,做好截排水和边坡覆盖。冬季施工需注意冻融作用对土体性质和支护结构的影响。必须编制详尽的专项施工方案和应急预案,备足应急物资和设备,并定期组织演练。

4 工程应用中的常见问题与发展趋势

在实际工程应用中,深基坑支护施工仍面临诸多挑战。常见问题包括:地质勘察资料与实际不符带来的方案调整风险;支护结构施工质量缺陷(如桩身缩颈、断桩、连续墙夹泥、锚杆注浆不实);降水效果不佳导致流砂、管涌;支撑安装不及时或预应力损失;监测数据失真或预警响应滞后;以及各分包单位之间工序衔接不畅等。

针对这些问题,未来的深基坑支护技术发展呈现以下趋势:

1.绿色化与环保化:发展低振动、低噪音、少排泥浆的施工工艺,如静压植桩、螺旋钻进等。推广可回收、可重复利用的支护构件(如可回收锚索、装配式钢支撑)。加强对施工废弃物(如废弃泥浆)的资源化处理。

2.智能化与精细化:深度融合BIM(建筑信息模型)、GIS(地理信息系统)、物联网(IoT)和人工智能(AI)

技术。构建深基坑施工数字孪生模型,实现设计方案的三维可视化交底、施工进度的4D模拟、监测数据的实时三维可视化与智能预警。利用传感器和自动化设备,实现支撑轴力的自动补偿、开挖深度的自动监控。

3.预制化与装配化:发展预制排桩、预制地下连续墙等装配式支护技术,提高施工质量、速度和工业化水平,减少现场湿作业和建筑垃圾^[5]。

4.协同化与一体化:推动支护结构与主体结构更深度结合,如“两墙合一”、“顺逆结合”等,以节约造价和工期。发展基于全过程、全要素的风险协同管理平台,整合勘察、设计、施工、监测、监理各方信息,提升整体风险管理能力。

5 结语

深基坑支护施工技术是现代建筑工程中的关键技术之一,其复杂性和重要性日益凸显。从排桩、地下连续墙到各类支撑锚拉体系,支护技术不断丰富与发展,其核心目标始终是平衡安全、环境、经济与工期之间的多元关系。成功的深基坑工程绝非单一技术的胜利,而是建立在对地质环境的深刻理解、对支护机理的准确把握、对施工工艺的精细操控以及对全过程动态信息的敏锐反馈之上的系统工程。面对未来更深、更大、环境更复杂的基坑工程挑战,从业人员必须牢固树立风险意识,秉承严谨科学的态度。在扎实掌握传统成熟工艺的基础上,积极拥抱绿色、智能、预制化等新技术趋势,推动深基坑工程从“经验依赖”向“数据驱动”和“智能决策”转型升级。

参考文献

- [1]张明. 建筑工程中深基坑支护施工技术的应用研究[J]. 中华建设,2026,(02):180-182.
- [2]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.
- [3]罗文彬. 深基坑支护技术在建筑工程项目施工中的应用研究——以SMW工法桩支护技术为例[J]. 城市建设,2025,(30):74-76.
- [4]黄金林. 建筑工程中的深基坑支护施工关键技术的实践分析[J]. 中国住宅设施,2025,(11):212-214.
- [5]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.