

房建施工中深基坑支护结构选型与稳定性分析

何 鹏

新疆华电天山发电有限公司 新疆 哈密 839000

【摘要】：房建工程向高层、超高层推进，深基坑工程数量逐年上升，支护结构选型与稳定性关联施工安全、周边环境及工程成本。结合工程实例，本文介绍土钉墙、钢板桩、地下连续墙、护坡桩四种常用深基坑支护结构的构造特点与适用条件，分析地质水文、基坑深度、周边环境、施工技术与成本四大选型影响因素，探讨支护结构整体稳定性、土体滑移、地下水影响及施工监测等控制要点，提出管控措施，为房建工程深基坑支护结构合理选型、稳定控制提供理论参考与工程借鉴。

【关键词】：深基坑；支护结构；选型因素；稳定性控制；房建工程

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.086

引言

房建工程施工中，深基坑是地下结构施工的前置环节，施工安全至关重要。城市建设用地紧张，高层、超高层住宅及商业建筑日渐增多，深基坑开挖深度持续增加，地质条件更为复杂，周边建筑、管线密集，对支护结构安全性、稳定性要求更高。支护结构选型不合理、稳定性控制不足，易引发基坑坍塌、周边建筑沉降、管线破损等安全事故，造成人员伤亡与经济损失。研究深基坑支护结构类型、选型影响因素及稳定性控制方法，结合工程实际优化支护方案，对保障房建深基坑施工安全、提高工程质量、控制工程成本有重要现实意义与工程价值。

1 深基坑支护结构类型及适用条件

1.1 土钉墙支护结构

土钉墙支护是房建工程中应用广泛的经济型支护形式，核心施工原理是用专业钻孔设备在基坑侧壁土体中成孔，将加工合格的钢筋或钢筋笼缓慢置入孔内，再灌注高黏度、高耐久性注浆材料，使土钉与周边土体紧密粘结，结合喷射混凝土面层形成整体受力体系，有效提升土体整体稳定性，抵御侧向土压力^[1]。该结构适用于基坑深度 $\leq 6\text{m}$ 、土质条件较好且地下水位较低的房建工程，华北地区多层住宅基坑施工中应用尤为普遍。施工需控制钻孔深度、长度与孔径，确保土钉植入位置准确，同时把控注浆材料配合比与灌注质量，保障土钉与土体粘结强度。造价低、施工便捷、工期短是其优势，软土地区应用时却存在局限，土体承载力不足易导致土钉受力不均，需搭配水泥搅拌桩等加固措施增强稳定性。济南某住宅小区 6m 深基坑采用该支护形式，通过分层注浆、挂网喷砂及坡脚加固等措施，将边坡位移有效控制在 30mm 以内，完全满足施工安全规范要求。

1.2 钢板桩支护结构

钢板桩支护以热轧型钢为核心材料，合理排布形成连续挡土体系，施工高效、刚度充足、拆装便捷，适用于中等深度、场地狭小的基坑工程，适配工期紧张的房建项目^[2]。施工需严控钢板桩材质与搭接精度，确保形成完整防护结构抵御土体滑

移，长三角地区商业裙房基坑中应用广泛。上海某商业配套项目 5.5m 深基坑采用拉森 IV 型钢板桩配合钢管内支撑，有效阻隔侧壁土体变形，保障周边管线安全。

1.3 地下连续墙支护结构

地下连续墙用专用设备成槽，下放钢筋笼后以导管法浇筑混凝土，形成连续钢筋混凝土墙体，兼具挡土与防渗功能，刚度大、整体性强、对周边环境扰动小，适用于基坑深度 $>15\text{m}$ 、地质复杂且周边建筑密集的超高层房建工程。施工需做好测量放线、泥浆护壁与成槽精度控制，防止塌孔与墙体渗漏。石家庄河北第一深基坑（河北省人民医院综合楼基坑，深度 29m）采用该墙体联合支撑体系，严控墙体垂直度与接缝质量，实现基坑变形与周边建筑沉降双达标。

1.4 护坡桩支护结构

护坡桩多采用钻孔灌注桩或人工挖孔桩形式，合理排布形成支挡体系，适配各类地质与基坑深度，稳定性与耐久性突出，兼顾经济性与安全性，是房建深基坑常用支护形式。设计需结合水文地质、基坑深度确定桩径、桩长与布置间距，施工严控成孔质量、混凝土浇筑与桩身完整性。济南某高层住宅 8m 深基坑采用 $\phi 800$ 护坡桩+锚索组合，桩端嵌入稳定土层，有效抵御侧向土压力，保障基坑全程稳定。

2 深基坑支护结构选型影响因素

2.1 地质与水文条件

地质与水文条件是深基坑支护结构选型的核心依据，决定支护结构类型、参数及施工方案，影响贯穿选型与施工全过程。黏土、粉质黏土等稳定性较好土层，土体承载力较高、渗透性弱，优先选用土钉墙、护坡桩等经济型支护结构，既能满足安全需求，又能有效控制工程成本。软土、砂土等软弱土层，土体承载力低、流动性强、渗透性大，易引发坍塌、流沙隐患，需采用钢板桩、地下连续墙等刚度大、整体性强的支护形式，强化抗滑移与抗倾覆能力。地下水位高低、渗透系数大小同样影响选型，水位高、渗透系数大的场地，需搭配旋喷桩、高压注浆等止水帷幕，或采用深井降水、轻型井点等降水措施，降

低地下水对土体的软化作用，避免涌水、流沙引发基坑失稳。西南软土地区某房建基坑，场地分布深厚淤泥质土，地下水位埋深1.2m，土体承载力极低，初期选用土钉墙方案后土体变形超标，后续改用护坡桩+旋喷桩止水组合体系，成功杜绝渗漏与土体软化问题，保障基坑施工安全。

2.2 基坑开挖深度与规模

基坑开挖深度与规模决定支护结构刚度、形式及布置方式，直接影响其受力状态与安全性能。按开挖深度可分为浅基坑（深度 $\leq 6\text{m}$ ）、中深基坑（6-15m）与超深基坑（深度 $> 15\text{m}$ ），不同深度基坑对支护刚度需求差异明显。浅基坑开挖深度浅，土体侧向压力小，选用土钉墙、简易护坡桩等轻型支护结构，兼顾经济性与便捷性；中深基坑侧向压力适中，采用钢板桩、护坡桩+锚索组合支护体系，强化支护刚度；超深基坑侧向压力大、受力复杂，需采用地下连续墙或多种支护形式组合，保障结构稳定。基坑规模与平面形状同样影响布置，狭长型基坑受力集中，采用钢板桩+内支撑体系，便于控制侧向变形；大面积基坑受力均匀性差，需分区选型、分段施工，避免一次性开挖引发整体失稳。河北某超深基坑开挖深度29m，平面形状不规则，通过分区设计，采用桩锚、悬臂桩等多种组合形式，适配不同区域受力需求，有效控制基坑变形。

2.3 周边环境约束

周边环境约束是深基坑支护结构选型的重要考量因素，市区房建基坑尤为明显，周边建筑、地下管线、道路密集，对基坑沉降与变形控制要求严苛，直接决定支护结构选型方向^[3]。市区基坑周边多有既有建筑、老旧管线，且距离较近，支护结构施工需减少对周边环境扰动，优先选用地下连续墙、高精度护坡桩等低扰动、变形小的支护形式，同时加强施工监测，保障周边建筑与管线安全。郊区或空旷场地的房建基坑，周边无敏感设施，对沉降与变形控制要求宽松，可采用土钉墙、放坡+支护等经济型方案，降低工程成本。济南中心城区某房建基坑地处老城区，距既有多层居民楼仅3m，居民楼为浅基础，对沉降敏感，初期拟用土钉墙支护，发现易引发墙体沉降后，改用 $\phi 1000$ 护坡桩+预应力锚索支护体系，严控桩身质量与锚索拉力，将周边居民楼沉降控制在5mm以内，符合规范限值，避免建筑结构损伤。

2.4 施工技术与成本因素

施工技术水平、设备条件与工程成本是深基坑支护结构选型的现实约束因素，需在安全可靠前提下，实现技术适配与成本优化的平衡。选型需结合施工单位技术水平与现有设备条件，钢板桩、土钉墙施工工艺简单、操作便捷，无需专用大型设备，工期短，适配进度紧张、技术水平中等的项目；地下连续墙支护技术要求高，需专用成槽、浇筑设备，施工难度大、工期长，安全性最优，适合技术实力强、对安全要求极高的超

深基坑项目。成本上，不同支护结构造价差异明显，土钉墙、护坡桩造价较低，每平方米约80-120元，地下连续墙造价较高，每平方米约300-500元，选型需结合工程预算，满足安全与工期要求的同时，优先选用经济合理方案。某商业房建项目初期拟用纯地下连续墙支护，预算偏高，经多方案比选，最终采用护坡桩+局部钢板桩组合方案，既保障基坑安全与工期要求，又较原方案降低造价18%，实现安全与经济双重目标。

3 深基坑支护结构稳定性分析与控制

3.1 支护结构整体稳定性分析

深基坑支护结构整体稳定性是保障基坑施工安全的核心，需结合土体侧压力、地下水压力与上部荷载，通过极限平衡法、有限元分析法等专业方法，全面验算抗滑移、抗倾覆及整体失稳系数，确保结构受力均衡、稳定可靠。不同支护结构的整体稳定性分析各有侧重：土钉墙依赖土钉与土体粘结力提供抗侧力，需验算土钉抗拉强度、面层承载力及土体整体抗滑移能力；钢板桩、护坡桩需核算桩身抗弯、抗剪强度，确认桩端嵌入深度满足抗倾覆要求；地下连续墙侧重验算墙体整体性、接缝强度及抗渗能力，防止接缝渗漏引发整体失稳。分析需结合施工现场地质、水文条件，精准选取土体参数，保障分析结果贴合实际。石家庄超深基坑项目，采用有限元分析软件对地下连续墙联合支撑体系进行整体稳定性验算，优化支撑间距与布置方式，将整体稳定系数提升至1.3以上，远超一级基坑1.2的安全限值，保障支护结构整体稳定。

3.2 土体滑移与基坑失稳控制

土体滑移与基坑失稳是深基坑施工常见安全隐患，由支护结构刚度不足、锚固失效、基坑超挖、土体扰动等因素引发，需从设计与施工双向管控，多措并举防范风险^[4]。设计需结合地质条件与基坑深度，确定支护结构嵌入深度、锚索拉力及支撑布置，软土、砂土等软弱区域增设被动区加固措施，增强土体承载力，减少滑移隐患。施工需遵循“分层分段、限时支护、严禁超挖”原则，每层开挖深度控制在1.5m以内，开挖后及时开展支护作业，避免土体长时间暴露引发扰动软化，同时加强支护结构质量检查，及时处理锚固失效、桩身缺陷等问题。某软土房建基坑施工中，施工人员违规一次性超挖2m，导致基坑侧壁土体轻微滑移，发现隐患后立即停工，采取分层回填、坡脚加固、增设临时支撑等整改措施，后续严格执行分层开挖（每层 $\leq 1.5\text{m}$ ）、随挖随支要求，快速遏制土体变形，避免失稳事故扩大（见图1）。

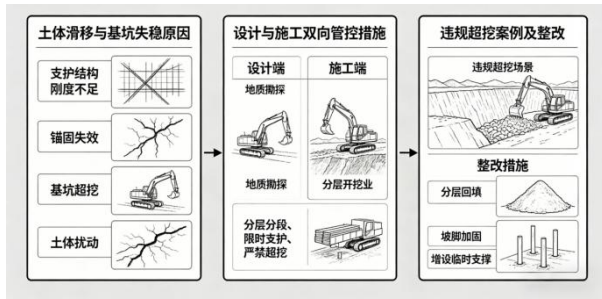


图1 土体滑移与基坑失稳控制

3.3 地下水对稳定性的影响

地下水是影响深基坑支护结构稳定性的重要因素，主要通过三种方式降低支护稳定性：软化土体，降低土体承载力与抗剪强度，导致支护结构受力增大；增大土体侧压力与孔隙水压力，加重支护结构抗倾覆、抗滑移负担；引发流沙、管涌等地质灾害，直接造成基坑失稳。高水位地区深基坑施工，需构建“止水+降水”双重防护体系，从源头控制地下水影响。止水可采用旋喷桩、地下连续墙、高压注浆等封闭结构，形成完整止水帷幕，阻断地下水渗透路径；降水需结合地下水位高低与土层渗透性，选用深井降水、轻型井点降水等方式，将地下水位降至基坑底以下0.5m以上，减少地下水对土体的软化作用。济南某粉质黏土基坑，初期未采取有效止水措施，施工过程中出现侧壁渗水、土体软化，基坑位移逐渐超标，后续新增高压旋喷桩止水帷幕，配合深井降水将地下水位降至基坑底以下0.8m，彻底解决渗漏问题，土体强度恢复，支护结构稳定性得到有效保障。

参考文献：

[1] 郭浩天,胡智飞,王迪,等.深基坑开挖对支护结构及周边环境影响研究[J].低温建筑技术,2025,47(11):85-89.
 [2] 张永奇,赵吉善,王谭敏,等.临河深基坑开挖支护结构变形控制分析[J].河南科技,2025,52(22):60-65.
 [3] 杨明.高层建筑深基坑支护结构选型及变形监测技术研究[J].城市建设,2025,(25):77-79.
 [4] 陆婷,吴洋,张艳敏.基于FAHP的地下综合管廊深基坑支护结构选型研究[J].居舍,2023,(25):174-176+180.
 [5] 蔡兴平,邵永健.大面积深基坑支护结构选型与开挖模拟[J].苏州科技大学学报(工程技术版),2022,35(02):32-39.

3.4 施工监测与稳定性保障措施

施工监测是深基坑支护结构稳定性动态管控的核心手段，实时监测支护结构与周边环境变化，及时发现异常隐患并预警处置，保障基坑施工全程安全^[5]。监测内容覆盖支护桩水平位移、沉降、锚索轴力、地下水位及周边建筑、管线的沉降与位移，采用自动化监测系统，实现数据实时采集、传输与分析，提升监测效率与精度。监测频率随施工阶段动态调整，基坑开挖期土体扰动大，监测频率加密至每天2-3次，基坑稳定后可降至每周1-2次，数据异常时立即加密频率并启动预警机制。结合BIM技术实现信息化施工，将监测数据与BIM模型融合，直观呈现支护结构受力与变形情况，为施工调整提供科学依据。河北某超深基坑建立24小时自动化监测体系，设置监测点50余个，精准捕捉支护结构位移与周边建筑沉降变化，数据接近规范限值时，及时调整支撑轴力、优化施工方案，基坑施工全程未发生失稳隐患，为同类超深基坑监测管控提供借鉴。

4 结语

深基坑支护结构选型与稳定性控制是房建工程地下施工的核心技术难点，需兼顾安全性、经济性与适用性。本文分析常用支护结构类型、选型影响因素及稳定性控制要点，结合多个工程实例验证不同支护方案适配性，得出结论：支护结构选型需结合地质水文、基坑深度、周边环境等核心因素综合研判，优先选用技术可行、经济合理的方案；稳定性控制需从设计、施工、监测多维度发力，严控施工质量，强化动态监测，及时处置隐患。未来需结合新型施工技术和信息化手段，进一步优化支护结构设计与管控模式，为各类房建深基坑工程提供更科学、高效的技术支撑。