

深基坑工程施工风险控制及支护技术研究

高明宏

沂南县广安市政园林工程有限公司 山东 临沂 276300

摘 要：深基坑施工面临地质水文、支护结构、施工过程及环境扰动等多重风险。本文详细阐述了风险识别与分类体系，剖析了风险作用机制；介绍了无内支撑、有内支撑、复合及新型支护技术体系与选型原则；提出了风险动态控制策略，涵盖预防、过程控制及监测反馈；探讨了智能化、绿色施工技术及多学科交叉融合等创新发展方向，为深基坑工程安全施工提供全面指导。

关键词：深基坑工程；施工风险控制；支护技术体系；动态控制策略；技术创新

引言：在城市建设中，深基坑工程日益增多，其施工安全至关重要。深基坑施工环境复杂，涉及多种风险因素，精准识别风险源、合理选择支护技术并有效控制风险，是保障工程顺利推进的关键。从地质水文条件到支护结构特性，从施工过程管理到周边环境影响，每一环节都关乎基坑稳定与安全。深入研究深基坑施工风险控制及支护技术，对于提高工程质量、保障人员安全、减少环境影响具有重要意义。

1 深基坑施工风险识别与分类体系

1.1 风险源维度划分

在深基坑施工领域，精准识别风险源是保障工程安全的关键前提。从地质水文层面审视，不良地质体犹如隐藏在地下的不定时炸弹，可能引发局部塌陷等严重后果。地下水突涌与管涌流砂现象也不容忽视，一旦发生，会迅速改变基坑内土体状态，威胁支护结构稳定。支护结构方面，设计缺陷可能导致结构承载能力不足，无法有效抵御土体压力^[1]。施工偏差则可能使支护结构偏离预定位置，影响整体稳定性。材料劣化会削弱支护结构的强度与耐久性，在长期受力下易出现破坏。施工过程风险同样多样。开挖顺序不当会打破土体应力平衡，引发局部失稳。支撑安装滞后会使基坑暴露时间过长，增加变形风险。降水控制失效可能导致地下水位上升，增大土体含水量，降低土体强度。环境扰动风险也不可小觑。周边建筑沉降会破坏建筑结构，影响使用安全。管线破裂会中断供水、供电等基础设施运行。道路塌陷会阻碍交通，甚至引发次生灾害。

1.2 风险作用机制分析

土体与支护结构相互作用是深基坑施工风险的重要来源。主动土压力与被动土压力的大小和分布直接影响支护结构受力状态，水土分算与合算方法的选择则关乎计算结果的准确性。变形传递路径是风险传导的关键环

节。基坑开挖引发土体应力重分布，这种变化通过地层逐渐传递至周边环境，导致周边建筑、管线等出现变形。多场耦合效应对支护体系稳定性有着综合影响。渗流场中地下水的流动会改变土体孔隙水压力，应力场中土体应力变化会影响支护结构受力，温度场中温度升降可能导致材料性能改变，三者相互交织，共同作用，增加了支护体系失稳的风险。

2 深基坑支护技术体系与选型原则

2.1 支护结构类型

2.1.1 无内支撑体系

无内支撑体系凭借自身结构特点实现基坑稳定。放坡开挖通过合理放坡，利用土体自身强度维持基坑边坡稳定，适用于场地开阔、地质条件良好区域。土钉墙将土钉与喷射混凝土面板结合，增强土体整体性，有效抵抗土压力^[2]。悬臂式排桩依靠桩体自身刚度与入土深度，阻挡土体侧向位移，在深度较浅基坑中应用广泛。重力式水泥土墙通过水泥与土体搅拌形成具有一定强度的墙体，依靠自身重力维持稳定，常用于软土地基。

2.1.2 有内支撑体系

有内支撑体系借助内支撑结构提供额外约束。钢支撑具有安装拆卸便捷、可重复使用等优点，能快速提供支撑力，适应不同基坑形状。混凝土支撑刚度大、变形小，能为基坑提供可靠支撑，但施工周期相对较长。组合支撑结合钢与混凝土材料优势，充分发挥两者特性，提高支撑体系性能。环形支撑通过形成闭合环形结构，有效分散土压力，增强整体稳定性。

2.1.3 复合支护体系

复合支护体系整合多种支护形式优势。地下连续墙与内支撑结合，地下连续墙兼具挡土与止水功能，内支撑提供水平支撑，适用于复杂地质与周边环境条件。排桩与止水帷幕组合，排桩阻挡土体，止水帷幕防止地下

水渗入，保障基坑干燥施工环境。桩锚支护利用锚杆与桩协同作用，增强支护结构抗倾覆能力。

2.1.4 新型支护技术

新型支护技术顺应时代发展需求。装配式支护结构通过工厂预制、现场组装，提高施工效率与质量。微扰动施工技术减少施工对周边环境影响，适用于对变形敏感区域。支护结构永久化将支护结构与主体结构结合，减少后期拆除工作，实现资源高效利用。

2.2 支护技术选型依据

地质条件适应性是选型关键考量因素。软土地区土体强度低、变形大，为有效控制基坑变形，优先选用刚度大的支护形式。岩层地区土体稳定性好，可采用悬臂式结构，减少支撑设置。周边环境约束对选型影响显著。当邻近建筑对变形敏感时，为降低基坑施工对周边建筑的影响，需采用控制变形能力强的复合支护体系，确保周边建筑安全。施工可行性也是选型重要限制条件。场地条件限制大型设备进入与作业，设备能力决定能否采用特定支护形式。工期要求紧张时，应选择施工速度快的支护技术，以满足工程进度需求。经济性平衡需综合考虑全生命周期成本。不仅要关注材料成本，还要考虑施工周期对工程进度的影响，以及后期维护费用，通过全面权衡实现成本优化，确保工程经济效益。

3 深基坑施工风险动态控制策略

3.1 风险预防措施

在深基坑施工风险防控体系里，设计阶段是奠定安全基础的关键一环。需依据全面且精准的地质勘察报告开展精细化设计工作，充分考虑施工过程可能遭遇的各类不确定性因素。不同地质条件对支护结构受力影响差异巨大，唯有精准把握地质特征，才能设计出贴合实际、科学合理的支护方案，从源头上降低风险发生几率。施工准备阶段的工作同样不可或缺^[3]。技术交底能让施工人员清晰了解

施工工艺、质量标准与安全要求，避免因操作失误引发风险。安全培训可提升施工人员的安全意识与应急处置能力，使其在面对突发状况时能迅速做出正确反应。应急预案编制明确了各类风险的应对措施与责任分工，为事故处理提供清晰指引。监测系统布设则能实时、准确获取基坑及周边环境的关键信息，为风险预警提供数据支撑。材料控制是保障工程质量与安全的重要环节。对支护结构材料进行严格性能检测，确保强度、刚度等指标符合设计要求，防止因材料质量问题导致支护结构失效。对止水帷幕施工质量进行严格验收，保障止水帷幕止水效果，避免地下水渗漏引发土体流失、支护结构失稳等问题。

3.2 过程控制方法

开挖过程需遵循科学原则。分层分段开挖可逐步释放土体应力，减少对周边环境的扰动。一般来说，分层开挖高度不宜超过3-5米，分段长度可根据基坑形状和地质条件确定，通常在10-20米之间。对称平衡卸载能保持基坑内土体相对平衡，避免因一侧受力过大导致支护结构偏移。限时开挖原则可控制基坑暴露时间，降低土体变形与支护结构受力变化风险。支撑安装环节要严格把控。随挖随撑能及时为支护结构提供支撑力，防止基坑变形过大。预加轴力控制可使支撑提前承受一定压力，增强支护结构稳定性。对支撑节点连接可靠性进行仔细检查，确保节点连接牢固，避免因节点松动导致支撑失效。降水管理对深基坑施工至关重要。优化降水井布置，根据基坑形状、地质条件等因素合理确定降水井位置与数量，提高降水效率。一般来说，降水井的间距可根据土层渗透系数确定，渗透系数越大，降水井间距可适当增大。开展地下水位动态监测，及时掌握地下水位变化情况，为降水调整提供依据。应用回灌技术，在降水过程中向周边地层回灌适量水分，减少因降水导致的地面沉降，具体管控要求如表1所示。

表 1

控制要点	关键参数	控制标准
优化降水井布置	降水井位置与数量 降水井间距	根据基坑形状、地质条件确定，沿基坑周边均匀布置或根据地下水流向与补给情况调整，不宜大于20米
地下水位动态监测	监测频率	根据施工阶段和地下水位变化情况确定，一般每天1-2次，降水关键阶段增加监测频率
应用回灌技术	回灌水量	根据地下水位下降情况与周边建筑物变形情况调整

3.3 监测与反馈机制

监测内容涵盖多个关键方面。支护结构位移监测可实时掌握支护结构变形情况，判断其是否处于安全状态。内力监测能了解支护结构受力变化，及时发现受力异常部位。周边建筑沉降监测可评估基坑施工对周边建筑的

影响程度。地下水位监测为降水管理提供重要数据。

监测频率需根据施工阶段和变形速率动态调整。在施工关键阶段或变形速率较快时，增加监测频率，以便及时捕捉风险变化信息。在施工平稳阶段或变形速率较慢时，可适当降低监测频率，提高监测效率。对监测数

据进行实时分析,建立科学合理的预警阈值。当监测数据超过预警阈值时,及时发出预警信号,指导施工人员调整施工参数,采取针对性措施消除风险隐患,确保深基坑施工安全顺利进行。

4 深基坑支护技术创新与发展方向

4.1 智能化技术应用

在深基坑支护技术领域,智能化技术的应用正成为推动行业发展的重要力量。物联网监测系统为基坑安全监测带来了全新变革。传感器网络如同敏锐的神经末梢,被巧妙布置在基坑的各个关键部位,能够实时感知支护结构的位移、应力变化以及地下水位等关键信息。这些传感器具备高精度与高可靠性,可精准捕捉细微的数据波动^[4]。无线传输技术则搭建起数据传输的桥梁,将传感器收集到的海量数据迅速、稳定地传送至云端数据分析平台。云端平台凭借强大的计算能力与先进的算法模型,对数据进行深度挖掘与分析,不仅能够实时呈现基坑的动态状况,还能通过历史数据对比与趋势预测,提前发现潜在的安全隐患,为施工人员提供及时准确的预警信息,助力决策者制定科学合理的应对策略。数字孪生技术为基坑施工过程的管理与决策提供了创新思路。通过构建基坑施工过程的虚拟仿真模型,将实际工程中的各种要素,如地质条件、支护结构、施工工艺等,以数字化形式精准呈现。在这个虚拟世界中,可以对基坑施工的全过程进行模拟与分析,提前预见可能出现的风险场景,如支护结构失稳、地下水位异常变化等。基于模拟结果,对施工方案进行优化调整,实现风险预判与决策优化的有机结合,有效提高施工的安全性及效率,降低施工成本与风险。

4.2 绿色施工技术

随着环保意识的日益增强,绿色施工技术在深基坑支护领域的应用愈发广泛。可回收支护结构的出现,为减少材料浪费、实现资源循环利用提供了有效途径。装配式钢支撑采用标准化设计与工厂化生产,具有安装便捷、拆卸容易的特点。在基坑施工完成后,可将其拆卸回收,经过简单处理后再次投入使用,大大降低了材料消耗与成本支出。可拆卸锚杆同样具备可回收特性,在满足基坑支护要求的同时,避免了传统锚杆留在地下造成的资源浪费与环境污染。低影响施工方法注重在施工过程中最大程度降低对周边环境的扰动。微扰动注浆技术通过精确控制注浆压力与注浆量,将浆液均匀注入土体中,在增强土体强度的同时,减少对周边土体的挤压

与破坏,有效控制地面沉降与变形。静力压桩技术利用静压力将桩体压入土中,施工过程中无振动、无噪音,对周边建筑物与地下管线的影响极小,适用于对环境要求较高的城市区域施工。

4.3 多学科交叉融合

深基坑支护技术的创新发展离不开多学科的交叉融合。岩土力学与结构工程的协同研究,深入探究支护结构与土体之间的共同作用机制。土体性质复杂多变,支护结构在不同地质条件下的受力状态与变形规律也各不相同。通过两者的协同分析,能够更准确地把握支护结构与土体的相互作用关系,为支护结构的设计与优化提供理论依据,提高支护结构的适应性与可靠性。人工智能辅助设计为支护方案的优化与风险评估带来了新的机遇^[5]。基于机器学习算法,对大量的工程数据与成功案例进行学习与分析,建立支护方案与工程效果之间的映射关系。在面对新的深基坑工程时,能够快速生成多种可行的支护方案,并根据工程特点与要求进行优化筛选。同时,利用人工智能技术对施工过程中的风险因素进行实时评估与预警,为施工安全提供有力保障,推动深基坑支护技术向智能化、精准化方向发展。

结束语

深基坑工程施工风险控制及支护技术研究是一个不断发展和完善的领域。通过精准识别风险、合理选型支护技术以及实施动态控制策略,能够有效降低施工风险,保障基坑及周边环境安全。智能化、绿色施工技术的应用以及多学科的交叉融合,为该领域带来了新的发展机遇和挑战。持续探索创新,不断优化技术和管理方法,能够更好地应对复杂多变的工程条件,推动深基坑工程技术迈向新的高度。

参考文献

- [1]黄雪彬.深基坑工程施工风险控制分析[J].江西建材,2021(6):131-132.
- [2]范长春.邻近地铁既有线的深基坑工程施工风险控制[J].建筑机械化,2025,46(5):154-158.
- [3]许春明.大型深基坑工程施工风险控制研究[J].建筑施工,2025,47(6):825-828.
- [4]崔豪,林志,朱志喜,等.复杂条件下深基坑工程施工风险控制[J].建筑工程技术与设计,2021(31):666-667.
- [5]余同山.复杂地质条件下桥梁深基坑工程施工安全风险演化及控制技术探究[J].中国公路,2026(2):96-98.