

深基坑支护工程技术优化与安全监测研究

王 博

陕西建工第十建设集团有限公司 陕西汉中 723000

摘 要：深基坑工程是城市地下空间开发与重大基础设施建设中的关键环节，其支护体系安全性直接关系周边建筑物、地下管线及施工人员安全。随着工程向“大深度、近邻敏感环境、复杂地层”发展，传统经验型支护设计与粗放式监测管理已难以满足高风险施工需求。本文围绕深基坑支护工程技术优化与安全监测展开研究，系统梳理排桩—内支撑、地下连续墙、土钉墙、锚索复合支护等技术在不同工况下的适配性，分析变形控制、止水降水、时空效应与施工扰动耦合机理；同时构建“设计优化—施工控制—监测预警—动态反馈”的全过程管理框架。研究认为，采用多源监测融合、分级预警阈值和信息化施工闭环，可显著提升风险识别与处置效率，降低基坑失稳概率，实现工程安全、工期与经济性的协同优化。

关键词：深基坑；支护技术优化；安全监测；信息化施工；风险预警；变形控制

引言

深基坑工程具有隐蔽性强、时效性高、环境效应敏感等特点，是岩土工程中事故高发领域之一。实际工程中，基坑安全问题往往并非由单一因素引发，而是地层非均质性、地下水条件变化、支护刚度不足、施工时序不合理及监测反馈滞后等多因素叠加的结果。尤其在软土地区、密集城区和近邻既有结构条件下，支护变形控制与周边沉降管理难度显著提高。近年来，有限元分析、BIM+GIS协同、自动化监测与智能预警等技术逐步应用于基坑工程，为支护方案精细化设计与施工风险前控提供了新路径。基于此，本文从技术优化方法、安全监测体系和工程实施机制三方面进行提纲化研究，旨在形成可操作、可评价、可推广的深基坑安全管理思路。

一、深基坑支护工程技术现状与主要风险识别

（一）复杂地层与邻近环境条件下的基坑工程特征

复杂地层与邻近环境是深基坑支护工程的核心制约因素，其工程特征呈现显著复杂性与高风险性。复杂地层主要包括软土、砂层、强风化岩层及岩溶地层，软土地层承载力低、沉降量大，砂层易发生管涌、流沙，岩

溶地层易出现坍塌隐患，均大幅增加支护难度。邻近环境条件方面，城市深基坑多邻近既有建筑物、地下管线、城市道路，基坑开挖易引发周边土体沉降、位移，进而导致建筑物开裂、管线破损、道路塌陷，且施工空间狭窄，施工扰动易相互影响。此外，深基坑施工还受降水、暴雨、地震等环境荷载影响，进一步加剧工程复杂性，对支护技术与安全管控提出更高要求。

（二）常见支护体系及其适用边界分析

深基坑常见支护体系类型多样，各体系适用边界与地层、环境条件高度相关，需精准选型适配。排桩支护刚度大、抗侧移能力强，适用于软土、砂层等复杂地层及邻近重要建筑物的深基坑，但施工成本较高；地下连续墙整体性好、防渗性强，适用于超深基坑、岩溶地层及对防渗要求高的场景，施工工艺复杂、工期较长；土钉墙支护施工便捷、成本较低，适用于粉质土、砂性土等稳定性较好的地层，不适用于软土及地下水丰富区域；钢板桩支护安装快速、可回收，适用于临时支护及浅至中深基坑，抗侧移能力较弱，不适用于复杂地层。明确各体系适用边界，是保障支护效果、规避安全风险的前提。

（三）典型失稳模式与事故致因链条识别

深基坑典型失稳模式主要分为四类，其事故致因形成完整链条，需精准识别防控。失稳模式包括：边坡坍塌，因岩土体强度不足、坡度过陡或降水不当引发；支护结构失效，表现为排桩断裂、连续墙渗漏、支撑变形，导致基坑侧移过大；管涌流沙，多因砂层地层降水过度

作者简介：王博（1988.01.01-），性别：男，民族：汉族，籍贯：陕西省汉中市，学历：本科，单位：陕西建工第十建设集团有限公司，职称：工程师，研究方向：项目管理，工程管理，工程技术。

或止水措施不到位引发；邻近建筑物、管线损坏，由基坑开挖导致周边土体沉降、位移超标引发。事故致因链条核心为：地质勘察不精准→支护选型适配性不足→施工工艺不规范→监测预警不到位→应急处置不及时，各环节相互关联，任一环节出现问题，均可能引发基坑失稳事故，需全链条管控。

二、深基坑支护技术优化路径

（一）基于地层与荷载特征的支护选型优化

基于地层与荷载特征优化支护选型，是提升深基坑支护安全性与经济性的核心路径。首先需开展全面详细的地质勘察，精准掌握地层分布、岩土体物理力学性质、地下水埋深等参数，明确基坑开挖深度、荷载类型（自重、邻近荷载、环境荷载）及受力特征。在此基础上，结合各支护体系适用边界，采用单一支护或复合支护体系，软土地层优先选用排桩+锚杆（索）复合支护，提升抗侧移与抗沉降能力；砂层、地下水丰富区域选用地下连续墙+止水帷幕复合支护，强化防渗效果；浅至中深基坑、地层稳定性较好区域，可选用土钉墙支护，兼顾效率与成本，确保支护选型与地层、荷载特征精准适配。

（二）止水降水与支护结构协同设计优化

止水降水与支护结构协同设计，是防范深基坑管涌、流沙及支护失效的关键优化方向。止水设计需结合地下水类型与地层特征，选用止水帷幕、咬合桩、高压旋喷桩等措施，确保止水效果，避免地下水渗透导致岩土体软化、支护结构受力增大；降水设计需采用轻型井点、深井降水等方式，合理控制降水深度与速率，避免降水过度引发周边土体沉降，同时与支护结构协同，优化降水井布设位置，减少对支护结构的扰动。协同设计核心是实现“止水-降水-支护”三者联动，平衡地下水控制与支护结构受力，提升基坑整体稳定性，规避防渗与支护脱节引发的安全隐患。

（三）施工时序、分区开挖与支撑转换优化

施工时序、分区开挖与支撑转换的优化，可有效控制施工扰动，保障深基坑施工安全。施工时序需遵循“分层开挖、分层支护、限时完成”的原则，避免一次性开挖过深，减少土体应力释放，降低基坑失稳风险。分区开挖需结合基坑体型与邻近环境，划分多个开挖区域，优先开挖远离邻近建筑物、管线的区域，逐步推进，减少对周边环境的集中扰动。支撑转换需精准把控转换时机，确保新支撑达到设计强度后，再拆除旧支撑，避免出现支护空窗期；转换过程中加强监测，实时调整施

工参数，确保支撑转换平稳有序，保障基坑在施工全过程的稳定性。

三、深基坑安全监测关键技术研究

（一）变形、内力、地下水多源监测指标体系构建

构建变形、内力、地下水多源监测指标体系，是深基坑安全监测的核心，实现对基坑安全状态的全面覆盖。变形监测指标包括基坑边坡位移、沉降，支护结构水平位移、沉降，邻近建筑物、管线位移、沉降，采用全站仪、位移传感器等设备实时监测。内力监测指标包括支护结构（排桩、连续墙）内力、锚杆（索）拉力、支撑轴力，采用应力计、应变计等设备监测。地下水监测指标包括地下水位、水位变化速率、水质，采用水位计、水质检测仪监测。各指标协同联动，明确监测频率与精度要求，形成全方位、多维度的监测体系，为基坑安全评估提供精准数据支撑。

（二）监测预警阈值分级与动态修正方法

监测预警阈值分级与动态修正，是提升深基坑监测预警精准度的关键技术。结合基坑地质条件、支护类型、邻近环境，将预警阈值分为三级：一级预警（正常范围），监测数据稳定，无需处置；二级预警（异常范围），数据出现波动，需加强监测、排查隐患；三级预警（危险范围），数据接近或超过允许值，需立即启动应急措施。动态修正方法基于监测数据变化趋势、施工进度、环境荷载变化，定期对预警阈值进行修正，避免固定阈值与实际施工工况脱节；同时结合历史工程数据与现场试验，优化阈值分级标准，提升预警的针对性与可靠性，确保及时发现安全隐患。

（三）信息化平台驱动的监测—决策—反馈闭环机制

构建信息化平台驱动的监测—决策—反馈闭环机制，实现深基坑安全监测的智能化、精细化管控。信息化平台整合多源监测数据，实现数据实时传输、存储、分析与可视化呈现，自动识别数据异常，发出分级预警。闭环机制核心流程为：监测数据采集→平台分析研判→发出预警信号→专家决策制定处置方案→现场落实整改措施→数据复核反馈，形成“监测—决策—处置—反馈”的完整闭环。通过该机制，可实现监测数据与施工决策的精准联动，及时处置安全隐患，避免隐患扩大，确保深基坑施工安全，提升安全管理效率。

四、工程应用与安全管理提升机制

（一）典型工程应用成效与问题复盘

结合城市软土地层、邻近既有建筑、超深基坑等典

型场景的工程案例，系统分析复合支护体系与信息化监测技术的实际应用成效，量化评估基坑自身稳定性、周边构筑物及地下管线的保护效果，以及施工效率、工期控制等方面的提升情况。通过典型项目数据对比，明确支护结构选型、监测布点方案、动态调控策略对工程安全的实际贡献。同时，对工程实施过程进行全面复盘，重点梳理地质勘察精度不足、支护结构与场地条件适配性欠缺、施工工序执行不规范、监测数据反馈滞后、预警响应不及时、应急准备与处置能力薄弱等突出问题，深入剖析勘察、设计、施工、监测各环节的成因链条，总结可复用的经验教训，提出针对性优化措施与改进方向，为后续同类深基坑工程提供可借鉴的实践依据，有效降低同类问题重复发生的概率。

（二）施工组织、应急处置与多方协同管理

完善施工组织、应急处置与多方协同管理体系，是提升深基坑工程全过程安全管控水平的关键保障。在施工组织层面，应基于地质条件与周边环境制定精细化施工方案，明确分层分区开挖、支撑安装与转换、动态调整等关键工序要求，强化现场过程管控，规范作业行为，最大限度减少施工扰动对基坑及周边环境的影响。在应急处置层面，需构建针对性应急预案体系，明确应急组织架构、处置流程、人员职责与物资装备配置，定期开展管涌、支护失稳、周边沉降超标等场景的应急演练，提升突发状况下的快速响应与高效处置能力。在多方协同层面，整合建设、设计、施工、监理、监测等参建主体资源，明晰各方安全责任边界，建立常态化沟通会商与信息共享机制，实现设计优化、施工实施、监测反馈、问题整改的闭环协同，形成齐抓共管的安全管理合力。

（三）标准化、数字化与智能化推广路径

推进深基坑支护工程标准化、数字化与智能化建设，是实现行业高质量发展与本质安全提升的重要路径。标准化层面，应加快构建覆盖地质勘察、支护选型、施工工艺、监测预警、竣工验收与后期运维的全流程统一标准体系，以标准规范工程行为，减少主观决策偏差，全面提升工程质量与安全管理水平。数字化层面，大力推广信息化监测平台、BIM建模与数字孪生技术应用，实

现基坑工程设计、施工、监测全过程可视化、数据化与可追溯管理，提升决策科学性与管理效率。智能化层面，加快部署智能传感设备、自动化预警系统、智能施工装备，实现数据自动采集、风险智能识别、预警精准推送与施工动态调控，推动工程向少人化、智能化转型。结合典型工程开展试点应用，验证技术可行性与管理效益，形成可复制推广模式后逐步在行业内规模化落地，助力深基坑工程安全管理水平整体跃升。

结语

深基坑支护工程安全控制的核心在于“技术优化+实时监测+动态决策”的一体化实施。面对复杂工况与高敏感环境，必须将风险防控关口前移到勘察与设计阶段，并通过施工过程精细控制和多源监测融合实现持续纠偏。未来应进一步加强数据驱动的预警模型、全生命周期安全管理和标准体系建设，推动深基坑工程从经验治理向智能治理转型，全面提升城市地下工程建设的本质安全水平。

参考文献

- [1] 王凯凯. 优化深基坑支护技术，筑牢地下工程安全防线[J]. 楼市，2025，(10)：48-50.
- [2] 李贝，王宗梁. 深基坑支护技术在建筑工程中的优化应用研究[J]. 新城建科技，2025，34(03)：155-157.
- [3] 刘岩. 深基坑支护方案优化及施工力学效应研究[D]. 石家庄铁道大学，2023.
- [4] 刘芳，卓佳. 浅谈建筑工程深基坑支护技术的优化策略[J]. 中国建筑金属结构，2022，(01)：60-61.
- [5] 韩白华. 复杂环境下深基坑支护工程优化设计[J]. 建筑技术开发，2021，48(13)：143-144.
- [6] 张蕾，李佳炜，闫吉祥. 复杂环境下深基坑支护工程优化施工措施[J]. 中国住宅设施，2021，(05)：22-23.
- [7] 苗龙. 复杂环境条件下人防工程基坑支护方案设计数值模拟研究[D]. 吉林大学，2019.
- [8] 赵春，张小平. 深基坑工程预警系统的初步研究[J]. 港工技术，2010，47(05)：39-41+45.