

# 深基坑工程施工风险及支护方案优化研究

李旭虎 王斌斌

陕煤集团榆林化学有限责任公司 陕西 榆林 719302

**【摘要】**：深基坑工程施工存在基坑失稳、周边环境破坏等风险，受地质水文、支护设计、施工管控等多因素耦合影响，且当前风险管控存在机制碎片化、技术滞后等问题。本文通过识别施工风险表现形式与影响因素，采用风险矩阵法、层次分析法等构建分级评估体系，结合多源监测、BIM技术及数值模拟等方法排查高风险环节，针对性优化不同地质条件下的支护方案，并完善施工实施与质量管控流程。实践表明，优化后的支护方案可有效提升体系稳定性，降低风险危害，验证了优化设计的可行性与有效性，为深基坑工程安全施工提供技术支撑。

**【关键词】**：深基坑工程；施工风险；支护方案优化；风险管控；地质适配

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.014

## 引言

随着城市地下空间开发不断深入，深基坑工程在高层建筑、市政设施建设中的应用日益广泛，其施工安全直接关系到工程整体质量、人员财产安全及周边城市功能正常运转。深基坑施工工况复杂，受地质水文条件、周边环境、施工工艺等多重因素影响，风险隐患频发且防控难度较大，支护体系作为风险防控的核心环节，其设计合理性与施工质量直接决定基坑工程安全。当前，传统支护方案在复杂地质与敏感环境下的适配性不足，风险管控存在诸多薄弱环节，引发的安全事故时有发生。因此，开展深基坑施工风险识别、评估及支护方案优化研究，具有重要的工程实践价值，可为同类工程安全施工提供科学指导。

## 1 深基坑工程施工风险识别及现存问题

### 1.1 深基坑施工风险的主要表现形式

深基坑施工风险主要源自基坑本体失稳、周边环境受损及现场作业管控偏差，隐患具有隐蔽突发与连锁关联特质。复杂地质条件搭配开挖坡率不当、降水不完善，易诱发边坡滑移垮塌。据住建部2020—2024年事故统计，软土基坑事故占比高达78%，采用SMW工法桩支护的软土基坑事故占比达41%，凸显软土抗剪弱、渗透性强导致的侧壁损毁风险。基坑开挖扰动引发地下水位回落与地层沉降，造成周边建筑开裂变形，上海某地铁共墙基坑开挖深度达29.05m，需将共墙变形控制在42.6mm以内方能保障运营安全。支护构件安装偏移、锚索张拉不规范、土方开挖无序等疏漏会放大隐患，外部环境如台风暴雨等气象条件也会对地层稳定造成冲击，直接威胁现场作业安全。

### 1.2 深基坑施工风险的核心影响因素

深基坑施工风险受地质水文条件、支护设计适配度、施工工艺选用及外部荷载扰动多重因素共同作用。软土砂层分布及高位地下水环境易催生边坡失稳、管涌流砂等不良工程现象，大幅提升现场施工不确定程度。周边既有建筑、地下管线与交

通荷载对基坑形变约束提出严苛标准，形变超出容许范围极易诱发连锁安全隐患。支护体系规划若未兼顾土压力分布规律、支撑刚度配比及锚固埋设深度，整体防护效能会大幅弱化<sup>[1]</sup>。现场开挖节奏失控、分层分段排布失当、降水布设不完善等作业疏漏都会放大风险传导效应。监测信息更新滞后、预警防控体系缺位会造成隐患无法及时甄别处置，各类影响因子相互交织动态演变，形成深基坑工程风险滋生蔓延的内在动因。

### 1.3 当前深基坑施工风险管控的薄弱环节

当前深基坑施工风险管控短板主要表现为管理体系割裂与技术应用滞后。前期地质勘察数据精准度不足，水文环境研判粗放，后续设计缺少扎实数据支撑。施工阶段监测布设范围有限，预警阈值设定不科学，难以动态把控围护形变、水位异动等关键指标。不少项目仍依赖传统经验，缺少BIM及数值模拟技术支撑的风险预判能力，面对突发险情常被动应对。参建各方信息互通存在壁垒，权责划分不清，风险处置指令流转迟缓。极端天气频发背景下，现有应急方案应对能力严重不足，台风过境时基坑水位6小时内可暴涨2~3m，常规排水设备难以满足排涝需求，强风荷载易诱发支撑体系受力突变，极端高温还会导致混凝土护壁产生温度裂缝，整体风险抵御能力难以满足工程实际需求。

## 2 深基坑施工风险的分级分析及危害评估

### 2.1 深基坑施工风险的分级标准制定

深基坑施工风险的分级标准制定需综合考虑地质条件、支护结构形式、周边环境敏感度及施工工艺复杂性等多维指标，构建科学、量化的评估体系。通常采用风险矩阵法或层次分析法(AHP)，将风险事件的发生概率与后果严重程度进行量化赋值，划分为低、中、高、极高四个等级。地质方面，软土、高水位、断层破碎带等不良地层被赋予更高权重；环境因素则重点考量邻近既有建筑、地铁隧道、地下管线的距离与抗变形能力；施工环节中，开挖深度超过15米、分段开挖节奏失控、降水措施失效等情形均纳入高风险判据。分级标准还需结合地

方规范与工程经验，设定动态调整机制，确保在不同区域和项目类型下具备适用性与可操作性，为后续差异化管控提供依据。

### 2.2 不同等级风险的危害程度分析

不同等级深基坑风险带来的危害程度各不相同，低风险多表现为支护局部轻微形变与少量渗水，不会扰动工程整体安全，依靠日常巡查与常规监测即可管控。中等风险易出现支护桩偏移超标、地表沉降速率加快，引发周边管线接口松动、非承重墙体开裂，需启动专项处置方案并加密现场监测频次。高风险往往伴随基坑侧壁失稳、支撑构件屈曲变形及地下水突涌，易造成道路塌陷、建筑基础悬空，直接威胁现场人员与施工设备安全<sup>[2]</sup>。极高风险涵盖连续墙破损、地层深层滑移及基坑整体倾覆，不仅造成工程停工与巨额经济损耗，还会衍生城市地下空间连锁灾害，波及地铁线路、市政管网及公共安全。各类风险危害范围需依托工程地质条件与周边敏感设施量化划分，实现防控资源合理配置。

### 2.3 高风险环节的精准排查方法

高风险施工环节精准排查依托多源数据融合与智能识别技术协同支撑，布设测斜仪、水位计、应力计及 GNSS 位移监测设备，持续采集支护形变、水位波动与地表沉降等核心参数。依托 BIM 与 GIS 搭建地质工程三维耦合模型，实现施工全流程可视化追踪及动态预警。机器学习算法依托历史事故样本与实时监测数据开展训练研判，可精准甄别软弱土层交界、近建筑基坑侧壁、降水敏感地带等高风险区域。无人机倾斜摄影搭配探地雷达可非接触式探测基坑周边隐蔽空洞、管线渗漏等潜在隐患，大幅提升隐患排查精细度。风险排查注重时空连续特性，不单研判单点监测异常，更着重形变速率、变化加速度及关联指标的演变规律，于风险萌芽阶段完成精准识别前置干预，规避传统人工巡检自带的滞后性与主观判断偏差。

## 3 基于风险防控的深基坑支护方案优化设计

### 3.1 现有支护方案的适用性不足分析

复杂城市环境中，现有深基坑支护方案受地质多变、周边敏感及施工动态性影响，适配性存在明显短板。悬臂桩、土钉墙、内支撑等传统支护形式，在软土高水位及临近既有建筑区域，难以平衡形变约束与整体稳固状态，易出现支护偏移超标乃至局部失稳<sup>[3]</sup>。不少工程依靠经验类比确定支护参数，忽略地层空间差异与时变特征精细建模，造成支护刚度和现场实际荷载不相匹配。常规支护布局缺少暴雨入渗、地下障碍物突发工况的冗余设计与应急调节能力，超深及异形基坑里标准化支护也难以适配非对称荷载与三维空间作用，诱发局部应力集中及支护失效，整体体系在环境适配、风险响应及动态调控层面仍有较大优化空间。

### 3.2 支护方案优化的核心设计要点

支护方案优化的核心设计要点在于综合考虑地质条件、基坑深度、周边环境敏感度及施工工法的协同性，形成系统化、动态化的支护结构体系。在结构选型上，需依据土层力学参数与地下水分布特征，合理匹配排桩、地下连续墙、内支撑或锚索等支护形式，确保整体稳定性与局部承载力的协调统一。支护构件的布置密度、嵌固深度及刚度分配应通过数值模拟与反演分析进行精细化调整，以有效控制围护结构变形及地表沉降。同时，支护体系需预留足够的安全冗余，以应对突发荷载或地质异常情况。在材料选择方面，优先采用高强度、耐腐蚀、可回收的新型建材，提升结构耐久性与绿色施工水平。此外，支护设计应融合信息化监测反馈机制，实现对支护状态的实时感知与动态修正，使设计方案具备前馈控制与自适应调节能力，从而在风险源头实现精准防控。

### 3.3 不同地质条件下的支护方案优化适配

软土地区基坑开挖常伴随围护结构大幅水平位移与地表沉降，此类地质需重点管控土体蠕变，地下连续墙搭配内支撑体系可提升整体刚度，杭州某大型商业综合体基坑临近地铁侧布设三道支撑及应力伺服系统，地铁轨道变形控制在 5mm 内。上土下岩二元地层中，上部土层开挖时围护结构变形平缓，进入风化岩层后桩体水平位移骤增且最大位移点上移，土岩交界面附近布设支撑可限制土层内桩体变形发展。黄土地区桩锚支护设计需严控降水速率并增设锚索道数，兰州某基坑监测显示桩顶最大水平位移 10.7mm，远低于规范预警值。砂卵石及高渗透性地层需注重止水帷幕与地连墙深度匹配，数值分析显示地连墙厚度超 1.0m 后变形抑制效果提升平缓，搅拌桩深度达 35m 后支护效能改善有限，松散砂土及黏性土层可采用模块化箱式支护系统，标准化预制构件组合形成封闭作业空间，海南某污水管网工程应用该技术成功规避塌方隐患，见图 1。

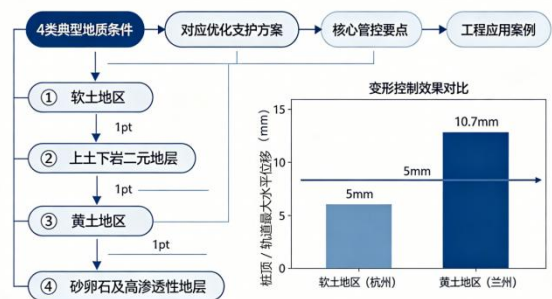


图 1 不同地质条件下支护方案优化与变形控制效果

## 4 深基坑支护优化方案的实践应用及管控

### 4.1 优化方案的现场施工实施流程

优化方案现场施工落地环节需恪守设计初衷与风险管控关键节点，构建规范规整的模块化作业范式。前期筹备阶段落

实细致技术交底与三维模型仿真推演,厘清支护布设点位、开挖层厚标准及构件架设节奏,维系各施工环节衔接平顺。基坑作业遵循分层分段对称限时作业准则,土方掘进尺度匹配支护架设节奏,规避土体长时间悬空诱发的边坡失稳隐患<sup>[4]</sup>。钻孔灌注桩、地下连续墙、预应力锚索这类支护设施施工可参照现场地质实况微调泥浆配比、成孔垂直度、注浆压强等核心工艺指标,现场布设智能监测设备持续捕捉围护形变、支撑受力、地下水文动态信息,数值偏离合理区间即刻启动预警并关停对应作业区域。施工现场整体接入 BIM 智慧管控体系,完成工序校验、资源调配及隐患溯源,适配复杂场地环境保障方案落地质量与作业管控效能。

#### 4.2 施工过程中的支护质量管控措施

施工阶段支护品质管控围绕材料甄选、工序实施及现场监测层面搭建全流程闭环管控模式,支护体系配套混凝土标号、钢筋型号及锚索钢绞线各项性能均需完成进场复检,依托专属编码溯源方式匹配设计既定参数标准。成孔垂直度、桩体完整度与注浆充盈度等关键施工环节可借助超声波探测、钻芯抽样、低应变检测手段完成实体核验,规避缩颈夹泥、桩体断裂等隐性施工隐患。支撑架设环节把控预加轴力施加节奏与分级加载标准,规避张拉超载或加载滞后引发围护体系受力失衡,现场布设自动化监测体系捕捉支护内力、土层位移及周边建筑沉降动态,多级预警标准可及时启动工艺调整与加固处置,各类管控节点纳入数字化平台留存检测档案、现场影像及施工记录,维系开挖工况下支护整体受力安全与长期运行平稳性。

#### 参考文献:

- [1] 危俊鑫,吴能森,施静怡,等.花岗岩地层深基坑支护方案优化设计研究[J].河南城建学院学报,2022,31(02):26-31.
- [2] 杨坤.临近既有建筑深基坑施工风险控制研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(17):53-55.
- [3] 韩斌.房建工程深基坑施工风险及控制实践研究[J].科技与创新,2022,(13):23-26.
- [4] 王建波,张薇,秦娜,等.基于云模型的城市深基坑工程施工风险评价[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2022,38(01):113-120.
- [5] 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(06):825-828.

#### 4.3 优化方案应用后的风险防控效果检验

优化方案落地后,应以多维度系统化方式完成风险防控成效的量化研判与动态校验。自动化监测体系可持续捕捉支护形变、地表沉降、水位波动及周边建筑倾斜等核心指标,高频采集整理现场实测信息还原工程真实工况。数值模拟反演手段可对照实测信息校准前期预测模型,甄别数据偏差成因并完善参数配置,让后续风险预判具备更高精准度<sup>[5]</sup>。施工各阶段可依托风险矩阵完成等级重新划定,研判优化举措对高风险事件发生概率及危害程度的实际消减作用。极端气候、突发渗漏等特殊作业场景下,可复盘应急处置全流程,校验预案启动时效与现场处置方式适配程度。工程现场可搭建监测、反馈、修正、复评的闭环校验模式,让支护优化满足结构安全标准,也能落实全流程风险管控预期,为同类工程项目成效校验提供成熟参考范式。

#### 5 结语

深基坑工程施工风险具有隐蔽性、关联性特征,地质水文条件、支护设计、施工管控及周边环境等多重因素的耦合作用,易诱发安全事故,威胁工程安全与城市公共利益。基于风险识别、分级评估的核心成果,针对性优化支护方案,结合不同地质条件适配合理结构形式、强化质量管控与信息化监测,可有效提升支护体系稳定性,降低风险发生概率与危害程度。实践表明,系统化的风险防控与精细化的支护优化,能破解传统方案适用性不足、管控滞后等难题。未来需进一步融合智能监测与数值模拟技术,完善协同管控机制,推动支护技术迭代升级,为城市深基坑工程安全、高效、绿色施工提供技术支撑与实践参考。