

# 高层建筑深基坑施工风险识别与安全防控措施研究

汪 旭

麻城立业建设工程有限公司 湖北 麻城 438300

**摘要：**高层建筑深基坑施工安全风险具有动态耦合特征，对城市安全挑战显著。研究旨在构建系统化的风险识别与防控体系：系统分析多维风险因素及其相互作用机理，揭示风险传递与放大效应；建立融合多源监测数据的动态识别模型与量化评估指标体系；形成集成实时监测、智能预警与应急处置的智能化防控方案。同时，从技术标准、监管创新及人员能力三方面提出政策建议。研究成果旨在提升施工风险预控能力，为城市地下空间安全开发提供支持。

**关键词：**高层建筑；深基坑施工；风险识别；安全防控

引言：城市化进程中，高层建筑深基坑工程规模与复杂性持续增加，邻近密集建筑与管网，施工易引发重大安全事故，风险管控难度大。传统方法基于静态经验判断，难以应对风险动态演变；防控措施碎片化，缺乏系统集成。因此，亟需构建一套能科学识别动态风险并实现精准智能防控的技术与管理体系统。本研究从风险系统分析、动态识别模型、智能防控技术及标准化建设四个层面展开，旨在形成全链条风险管控方案，为工程本质安全提供新思路。

## 1 高层建筑深基坑施工风险因素系统分析

### 1.1 风险因素分类与作用机理

高层建筑深基坑施工风险是一个多源、动态的复杂系统，可系统性地将风险源归纳为四大类：地质环境风险、工程技术风险、周边环境风险与组织管理风险。地质环境风险是基础性风险，包括不良工程地质（如软土、砂层、溶洞）、水文地质（高水位、承压水）及复杂地形条件，其作用机理是改变岩土体的物理力学性质，直接影响基坑的稳定性。工程技术风险涉及设计、工艺与设备，如支护结构选型不当、降水方案失效、土方开挖顺序不合理等，其作用机理在于技术决策或实施误差直接引发工程系统的失衡。周边环境风险指施工对邻近建筑物、地下管线、地铁隧道等的影响，其作用机理是基坑开挖卸载与降水引起的地层应力重分布与变形传递。组织管理风险则涵盖管理体系、人员素质与应急预案的缺陷，其作用机理是通过管理失效放大前述各类客观风险。这四类风险相互关联、彼此影响，共同构成深基坑施工的风险网络。

### 1.2 风险耦合效应分析

深基坑施工中的各类风险因素并非独立存在，而是频繁发生相互作用，产生“1+1>2”的耦合效应，显著放大整体风险水平。耦合效应主要表现为链式传递与非

线性叠加两种模式。链式传递是指一个风险事件触发一系列后续事件，例如，降水井失效（技术风险）导致地下水位上升，引发坑底管涌（地质风险），进而造成支护结构受力剧增并危及邻近管线（环境风险），形成事故链。非线性叠加则是指两个或多个风险因素共同作用时，其综合影响远大于各自独立影响之和，如软土地质（地质风险）与不均衡开挖（技术风险）耦合，可能引发远超预期的围护结构位移和地面沉降<sup>[1]</sup>。对风险耦合效应的分析，有助于识别关键风险路径和系统性薄弱环节，从而制定更具针对性的综合防控策略，避免因孤立看待单一风险而导致的防控疏漏。

## 2 高层建筑深基坑施工风险动态识别模型构建

### 2.1 风险识别方法创新

为克服传统风险识别方法的静态与主观局限性，本研究提出一种融合多源信息与智能算法的动态风险识别模型。该模型的核心创新在于：首先，整合实时监测数据（如深层水平位移、支撑轴力、地下水位、周边沉降）、地质勘察资料、施工工况信息及历史事故案例，构建动态更新的风险信息数据库。其次，引入机器学习算法（如长短期记忆网络、梯度提升决策树）对海量时序数据进行分析与学习，挖掘风险前兆信号与关键监测参数之间的隐含关联规律。模型能够根据实时输入的数据流，自动识别当前施工阶段的主要风险类型及其演化趋势，实现从“事后判别”到“事前预测”的转变。此外，模型还结合贝叶斯网络，在专家经验知识的基础上，进行概率推理，量化不同风险场景发生的可能性，为风险动态分级与预警提供量化依据。

### 2.2 风险评估指标体系

建立一套科学、全面、量化的风险评估指标体系，是进行精准风险识别与分级管控的基础。该体系采用“目标层-准则层-指标层”的层次结构。目标层即为深基坑

施工整体风险等级。准则层对应四大风险类别：地质环境稳定性、支护系统可靠性、周边环境影响度及施工管理完善性。指标层则细化为一系列可直接观测或计算的定量与定性指标。定量指标包括：基坑最大侧向位移与变化速率、支撑轴力设计值百分比、降水深度与设计值偏差、地表沉降速率、管线差异沉降值等。定性指标包括：地质条件复杂等级、支护设计安全储备系数、应急预案完备性、人员持证上岗率等。各指标通过专家打分与熵权法相结合的方式确定权重，并设定不同等级的阈值区间。通过该指标体系，可对施工任一阶段的风险状态进行综合评分与动态评估，实现风险的量化管理与对比分析<sup>[2]</sup>。

### 3 高层建筑深基坑施工智能化安全防控技术体系

#### 3.1 实时监测与预警系统

智能化安全防控的基础是构建一个“感知-传输-分析-预警”一体化的实时监测与预警系统。该系统利用物联网技术，在基坑内外关键部位（如围护墙顶、深层土体、支撑端头、周边建筑）密集布设各类智能传感器，如倾角计、轴力计、渗压计、静力水准仪等，实现变形、应力、水位等多物理量的7×24小时不间断自动化采集。数据通过无线传输网络实时汇聚至云平台。平台内置基于第2章动态识别模型开发的风险分析引擎，对数据流进行实时处理与智能解译。当监测数据超过预警阈值，或分析引擎判断出风险演化趋势异常时，系统立即通过平台界面、手机APP、现场声光报警装置等多级渠道发布预警信息，明确风险位置、类型、等级及建议措施，实现风险从“被动发现”到“主动推送”的转变，为及时干预赢得宝贵时间。

#### 3.2 风险应急处置技术

针对预警系统识别出的不同等级与类型的风险，需配套高效、精准的智能化应急处置技术。对于基坑变形超限风险，可启用自动化补偿系统，如利用伺服液压系统对钢支撑实施自动增压补偿，或控制注浆设备对土体进行自动化定点、定量注浆加固。对于突涌、管涌等渗流破坏风险，系统可联动启动备用降水井群或应急引流设备。所有应急处置指令的执行过程与效果，通过监测系统实时反馈，形成“预警-处置-再评估”的闭环控制。同时，系统集成三维地质模型与基坑模型，在虚拟环境中对应急方案进行模拟推演，优化处置参数，辅助现场决策。这套技术体系将传统依赖人工经验的应急响应，升级为数据驱动、部分自动化的快速精准干预，大幅提升应急处置的及时性与有效性。

#### 3.3 施工过程优化控制

智能化防控不仅在于风险应对，更应前置于施工过程的优化控制。基于实时监测数据与风险预测模型，可对施工方案进行动态调整与优化。例如，根据土体变形反馈，动态调整分区分层开挖的厚度与顺序；根据支撑轴力监测结果，优化支撑拆除的时机与流程；根据地下水渗流模拟与实时水位数据，精细化控制降水速率与深度。系统可生成施工进程的“数字孪生”模型，将实际施工进度、设备状态、环境效应与计划方案进行实时对比与仿真，提前发现可能存在的工序冲突或风险隐患，从而指导施工方案的在线优化<sup>[3]</sup>。这种基于实时数据的施工过程自适应控制，能够最大程度地减少施工扰动，将风险控制于萌芽状态，实现真正意义上的过程安全管控。

### 4 高层建筑深基坑施工政策与标准化建议

#### 4.1 技术标准完善

现行深基坑工程技术标准在智能化监测、风险动态评估及数据互联互通方面存在显著滞后性，难以支撑新技术、新方法的规模化应用。例如，智能传感器精度与布设规范缺乏统一标准，导致不同项目监测数据可比性差；动态风险评估方法多依赖经验判断，缺乏量化指标与流程指引；勘察、设计、施工、监测各阶段数据格式不兼容，形成“信息孤岛”。为此，需加快标准修订与制定：一是制定《基坑工程智能化监测技术标准》，明确智能传感器精度等级（如位移传感器误差 $\leq 0.1\text{mm}$ ）、布设密度（软土地区每 $200\text{m}^2$ 不少于1个测点）、数据采集频率（支护结构位移每10分钟1次）及传输协议（推荐采用MQTT或HTTP/2），同时规定监测数据平台需具备实时预警、历史数据回溯、多项目对比分析等功能。二是推动《深基坑施工风险动态评估指南》编制，细化动态评估流程（如“监测数据采集→模型分析→风险等级更新→处置措施调整”闭环），建立包含地质条件、支护结构状态、周边环境敏感度等维度的指标体系，并明确评估报告需包含风险演化趋势图与处置建议。三是建立《基坑工程信息模型（BIM）应用与数据交付标准》，统一各阶段BIM模型精度（如勘察阶段LOD200、施工阶段LOD400）、数据格式（推荐IFC4.0）及交付要求，确保数据在全生命周期内无缝流转，为智能化管理提供基础支撑。通过标准引领，推动行业技术规范化和高质量发展。

#### 4.2 监管机制创新

传统监管模式难以适应智能化施工带来的变革，需构建“互联网+监管”新范式。一是建立省级或市级的深基坑工程安全监管一体化平台，要求所有符合条件项目（如开挖深度 $\geq 5\text{m}$ 或周边环境复杂）的实时监测数据（如支护结构位移、地下水位、土压力）通过标准接口上

传至平台,监管部门可远程查看项目风险状态、历史数据及预警记录,实现“一图统览、一键调度”的宏观态势感知。二是推行基于风险的差异化精准监管,平台内置数据分析模型(如随机森林算法),结合地质条件、施工进度、监测数据等参数,自动识别高风险项目(如支护结构变形速率超限或邻近地铁隧道沉降超标),并生成检查清单(如重点核查支护桩施工记录或降水井运行状态),将监管资源聚焦于关键环节,提升监管效率<sup>[4]</sup>。三是探索第三方专业化监测与风险管理服务机构的认证与信用评价体系,制定服务机构资质标准(如注册岩土工程师数量、类似项目经验),定期开展服务质量抽查,并将服务成效(如预警准确率、事故发生率)纳入企业信用记录,对高信用机构给予政策倾斜(如优先承接政府项目),对低信用机构实施限制措施,形成“市场驱动、优胜劣汰”的约束机制,弥补行政监管力量不足的问题。通过机制创新,构建政府主导、市场补充、技术支撑的多元化监管格局。

#### 4.3 人员能力建设

智能化安全防控体系的落地依赖高素质从业人员,需从执业资格、职业教育与企业培训三方面同步推进。一是在注册土木工程师(岩土)、一级建造师等执业资格继续教育中,增加深基坑智能化监测(如传感器原理与故障排查)、风险信息化管理(如动态评估模型应用)、BIM技术应用(如模型创建与协同设计)等课程,考核方式结合理论考试与实操案例分析(如模拟处理监测数据异常场景),确保从业人员掌握新技术核心技能。二是鼓励高校、职业院校与龙头企业合作开设“智能建造”专业或方向,课程设置覆盖岩土工程力学、物联网技术、大数据分析等跨学科知识,采用“双导师制”(学校教师与企业专家联合授课),并通过校企合作基地开展现场教

学(如参与实际项目监测系统部署),培养既懂岩土工程又熟悉信息技术的复合型人才。三是施工企业建立常态化内部培训机制,针对一线技术员、安全员开展智能监测设备使用(如全站仪操作与数据导出)、预警信息解读(如根据预警等级确定处置措施)、应急处置流程(如突涌水事故的封堵步骤)等专项培训,并利用虚拟仿真技术模拟基坑坍塌、管线破坏等事故场景,组织人员开展沉浸式应急演练,通过“培训-考核-演练”闭环提升现场风险感知与应对能力。人员能力现代化是智能化安全防控体系从“技术可行”向“实践有效”转化的关键保障。

#### 结束语

深基坑施工安全关乎人民生命财产与城市运行。本文从系统论剖析其风险构成与耦合机理,构建基于多源数据与智能算法的动态风险识别模型,提出涵盖实时监测、智能预警、应急处置与过程优化的智能化安全防控体系,并给出政策标准与人员能力建设建议,形成完整风险管控方案。推动信息技术与基坑工程深度融合,实现风险动态感知、智能研判与精准控制是提升本质安全水平的必然方向。未来,新技术进步将推动其安全管控迈向更智能、透明、协同的新阶段。

#### 参考文献

- [1]邓兴刚.高层建筑工程施工风险和安全管理策略[J].居业,2023,(10):158-160.
- [2]雷昊.建筑工程施工阶段工程安全控制策略分析[J].建设机械技术与管理,2024,37(05):132-134.
- [3]李贵勇.临湖富水区建筑深基坑帷幕注浆止水施工技术[J].中国建筑金属结构,2024,23(06):48-50.
- [4]何福森.建筑工程深基坑施工及安全控制措施[J].江西建材,2025,(06):255-258.