

建筑工程深基坑支护技术与管理风险防控策略研究

田海军

广州珠江监理咨询集团有限公司 广东广州 510000

摘要：随着城市化进程的不断推进，城市土地开发日趋集约化，深基坑工程作为高层建筑、地铁车站、地下商业空间等建设的重要前置环节，其技术复杂性与管理风险显著上升。深基坑施工过程中涉及土体稳定、地下水控制、支护结构变形控制等诸多技术难题，同时伴随施工扰动、周边建（构）筑物沉降以及安全责任不清等管理风险。本文系统梳理了深基坑支护的主要技术类型及适用条件，深入分析了影响施工安全与稳定的关键因素，构建了“设计—施工—监测—应急”全过程风险防控策略体系。通过引入信息化监测手段与多维管理协同机制，提出一套针对性强、可实施性高的深基坑支护技术与管理风险控制方案，以期为城市深基坑工程安全可持续发展提供理论支持与实践路径。

关键词：深基坑工程；支护结构；风险管理；信息化监测；建筑施工安全

引言

随着我国城市建设密度的不断提升，城市中心区域的土地利用呈现垂直发展趋势，地下空间开发强度不断加大，深基坑工程成为建筑施工过程中的重要组成部分。其结构设计、施工组织与风险防控要求呈现出日益系统化与精细化的特点。深基坑施工不仅关系到主体结构的顺利建设，更直接影响到周边环境安全与地下设施稳定。因此，对其支护技术和管理机制开展系统研究，已成为当前建筑工程技术管理的重要课题。由此出发，本文旨在通过技术路径与管理策略的系统整合，为深基坑工程构建可控、可预警、可闭环的支护与风险防控机制。

一、深基坑支护技术体系与应用现状

（一）常见支护结构类型及适用条件分析

当前工程实践中常见的深基坑支护技术主要包括放坡支护、土钉墙、排桩支护、地下连续墙、逆作法支护

与复合支护结构等如下表1。放坡支护适用于边坡稳定性较好、施工场地宽裕的浅基坑工程，具有经济性高、施工便捷等优点；土钉墙则多用于中等深度基坑，能够通过土体与钢筋构件的协同作用提升边坡稳定性；排桩支护适应性强，常用于土层厚度大、水位高的深基坑；地下连续墙因其止水性与整体性优异，广泛用于地下水丰富区域；而逆作法支护则适用于城市核心区空间受限工程，能有效解决边界沉降控制问题。

支护结构的选型不仅取决于基坑深度和地质条件，还与周边建构筑物分布、施工工期、地下水位及环境保护要求密切相关。因此在设计阶段需综合地质勘察资料与施工条件进行多方案比选分析，并辅以有限元模拟与变形预测，确保支护体系的稳定性与经济性。

（二）支护结构变形控制与施工工艺优化

深基坑支护设计的核心在于控制边坡变形、限制围护结构内力与位移，同时保障周边建筑构筑物的沉降稳定性。在施工过程中，支护结构需与土体逐级协同受力，

表1 常见深基坑支护结构类型对比表

| 支护类型 | 适用深度 | 地层条件 | 止水性能 | 施工场地要求 | 成本 |
|-------|-------|----------|------|--------|----|
| 放坡支护 | < 4m | 稳定土层 | 差 | 需较大空间 | 低 |
| 土钉墙 | 4-10m | 黏性土或砂土 | 一般 | 中等 | 较低 |
| 排桩支护 | 5-20m | 多种地层 | 中 | 较宽 | 中 |
| 地下连续墙 | > 15m | 软弱土层/高水位 | 优 | 空间受限 | 高 |
| 逆作法支护 | > 15m | 城市密集区 | 优 | 非常狭小 | 高 |

常采用分层开挖、同步支护与支撑反力分布调控等技术手段。为此,钢支撑、混凝土内支撑与预应力锚索等构件的布设方式与受力顺序设计至关重要。在施工工艺方面,信息化与机械化水平显著提升,旋挖钻孔、SMW工法桩、高压旋喷加固等新技术广泛应用,极大提高了施工效率与支护效果。此外,通过BIM+GIS技术实现施工过程可视化与结构变形动态仿真,有助于提前识别支护系统薄弱环节并实施预控措施。

二、深基坑工程管理中的主要风险类型与成因分析

(一) 技术风险与结构失稳

深基坑工程的技术风险主要源于岩土条件的不确定性、设计理念的滞后性以及施工工艺与现场条件的不匹配。其中,地质复杂性是造成结构失稳的核心根源之一。一方面,软弱土层、强风化岩层或夹层分布不均会对支护结构承载稳定性造成非均匀影响;另一方面,地下水丰富且水位变化剧烈区域容易引发管涌、流砂、流土等地质灾害,使基坑底部承压水浮力迅速上升,出现隆起破坏甚至基底突涌。支护结构的设计刚度与强度不足也易引发结构破坏问题。如在高土压或深水位环境下,若未设置足够数量与刚度的水平支撑,易致围护桩过度位移、整体失稳或墙体断裂。同时,支撑系统中的反力分配不均,常因施工步序调整、支撑安装误差或地基沉降不同步等因素引发受力集中,进一步诱发局部失效并演化为系统性安全事故。值得关注的是,当前部分项目对地勘资料的依赖度高但深度分析不足,未能充分利用钻探、原位测试与室内试验等综合数据对岩土体结构、力学特性与含水特征进行系统建模。

(二) 施工管理与组织协调风险

深基坑工程的施工组织具有高度的交叉性和阶段性特征,涉及土方开挖、支护安装、降水布置、监测实施等多专业工序,管理协调的复杂程度远超一般地上结构施工。若在计划编制与资源调度方面缺乏系统安排,极易造成作业面拥堵、工序冲突与资源浪费,进而影响工期与工程质量。例如,基坑边坡开挖过程中未能与锚杆施工、支护结构浇筑形成有效衔接,常因工序错位导致边坡临时失稳或支护滞后,成为事故频发点。施工管理人员之间的信息割裂也是常见风险来源。在部分工程中,承包方、监理方与设计单位间沟通机制不畅,施工过程中关键节点如支撑体系调整、降水井布置变更未能及时上报与审批,导致信息时滞、决策失误和责任模糊,增加工程不可控性。此外,由于深基坑施工作业通常采用

昼夜不间断轮班制,现场施工队伍庞杂,操作人员素质差异大,亦易因管理疏漏导致质量隐患与安全事故。

有效的施工组织协调机制应坚持“系统化+模块化”原则,即将深基坑作业划分为可控的子系统,如支护系统施工单元、降水系统管理单元、监测系统布控单元等,并配套实施分区动态管理制度,确保各系统间逻辑清晰、作业协调、信息互通。同时,可引入基于BIM的可视化施工模拟与基于低代码平台的任务协同系统,提升施工组织的实时调度与预警能力,实现管理“穿透性”和响应“即时性”的提升。

(三) 周边环境影响与社会风险

深基坑工程位于城市建成区核心区域时,其施工扰动对周边环境的影响不容忽视。支护结构在受力变形过程中引发的土体移动、地下水扰动、振动传播等效应,极易对周边管网、地铁线路、地基承载力较弱的老旧建筑产生不可逆影响。研究表明,支护墙体水平位移每增加10mm,其背后50米范围内地表沉降可增加4~6mm,若无有效预警机制,极易引发市政设施断裂、道路结构变形乃至建筑物基础失稳等次生灾害。深基坑开挖过程伴随大量的机械作业、材料转运与连续降水作业,易引发噪音扰民、扬尘超标、排水污染等环境问题,成为周边居民投诉与舆论聚焦的高发领域。一旦事故或纠纷发生,不仅影响工程进度和信誉,还可能带来舆情危机和诉讼成本,形成社会层面的风险扩散效应。

因此,深基坑施工需将环境风险纳入全生命周期管理体系。一方面,应在项目初期实施周边环境风险普查与敏感目标识别,结合沉降控制指标制定“变形-响应-处置”控制流程;另一方面,完善社会公众沟通机制,通过设立项目公示牌、投诉热线、社区协商小组等手段加强信息透明度与矛盾预处理能力。工程实施层面,应同步开展“绿色施工”管理体系建设,如采用低噪设备、智能喷雾抑尘系统、封闭式运输通道等方式,从源头削减环境扰动,确保项目与城市环境和谐共处。

三、深基坑工程风险防控机制构建路径

(一) 信息化监测系统集成与数据预警机制

信息化监测系统在深基坑工程风险管控中发挥着“早发现、早预警、早处置”的核心作用,其有效性直接决定了风险响应的及时性与工程安全保障的可靠性。传统监测手段存在数据采集频率低、时效性差、分析依赖人工判断等局限,难以满足深基坑多工况、多阶段、多目标的动态控制需求。因此,建立集“自动化采集、

智能分析、动态预警、快速响应”于一体的监测系统成为现代基坑工程的重要发展方向。

当前工程中常用的监测技术包括：用于支护结构位移监测的光纤光栅传感器、电子测斜仪与全站仪；用于地表与结构沉降的自动水准仪与GNSS定位系统；用于地下水水位与孔隙水压力监控的渗压计和自动水位计等。这些设备通过无线传感网络接入集中数据平台，实现多点、多源数据的高频采集与可视化展示。平台层面通常引入物联网（IoT）技术与云计算架构，配套构建以数字孪生为核心的结构—工况双重动态模型，形成“监测数据—虚拟模型—实际状态”三位一体的感知决策机制。

在数据处理与预警环节，通过对历史监测数据构建多变量时序分析模型，结合机器学习算法（如LSTM、随机森林等）进行趋势预测与异常识别，可实现对基坑变形、支护内力、地下水水位等关键指标的提前预判。一旦监测值超出设定阈值，系统将自动推送预警信息至项目管理人员及监理单位，实现实时响应机制启动与快速决策。研究表明，相较于传统人工监测与经验预判，信息化集成监测系统可将事故预警时间提前48小时以上，极大增强了应对突发性风险的主动性与时效性。

（二）风险闭环管理机制与责任分解体系

构建覆盖深基坑全生命周期的闭环风险管理机制，是防止风险演化、实现系统性治理的核心路径如图1。该机制应涵盖“识别—评估—预警—处置—反馈—优化”六大核心环节，并以责任明晰、流程闭合、机制可溯为基本特征。其关键在于打通设计、施工、监理、检测、审查等各管理层级的信息与职能边界，形成系统集成的协同治理格局。在风险识别阶段，依托地质勘察成果与初步设计方案，采用风险清单法（Risk Checklist）与层级分析法（AHP）对可能的技术风险、管理风险与环境风险进行定量评估，并根据项目特点构建风险等级矩阵。在风险评估阶段，引入模糊综合评价法或Bayesian网络方法，结合历史项目数据与专家经验知识库，对风险发生概率与损失后果进行联合建模，输出关键控制点清单与响应优先级。

责任分解方面，建议采用“任务矩阵—责任分级—响应链条”的方式明确各参与方职责。例如，设计单位需对支护结构稳定性与施工可行性承担可追溯责任；总包单位需建立风险工序交底制度，明确班组、管理岗及技术岗的风险节点职责；监理单位应具备风险预警处理权限，对异常指标可直接发起暂停施工建议；业主单位

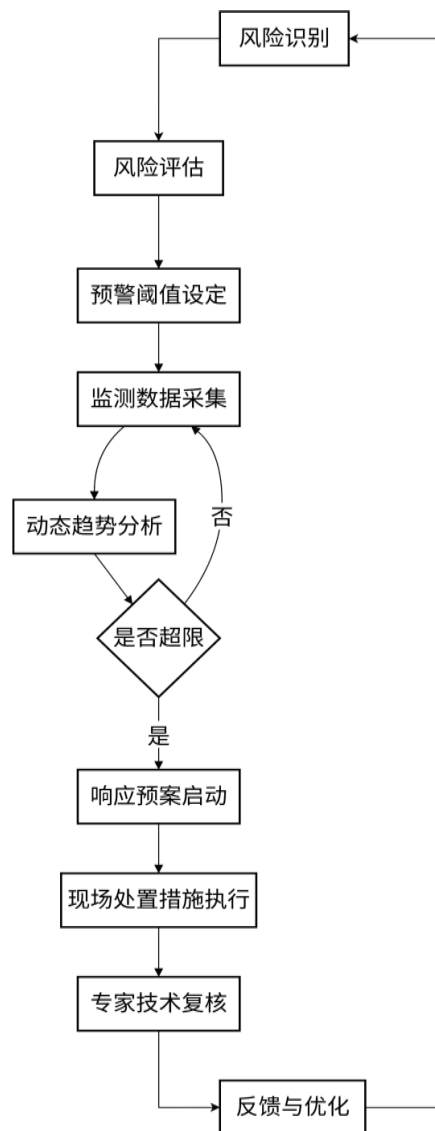


图1 深基坑工程全过程风险闭环管理流程图

则需建立项目安全统筹机制，保障跨单位应急响应协同效率。在处置机制上，建立快速联动的“响应预案—指挥调度—技术复核—媒体公关”四级处置体系，可有效压缩突发事件响应时间窗口。例如，当基坑监测系统触发红色预警信号，平台可同步联动施工现场紧急停工、启动支护结构加固流程并通知周边居民疏散，同时由专职技术小组进行复核分析，并由宣传团队及时发布权威信息，防止舆情失控。

反馈与优化环节是实现闭环控制的保障机制。每一次风险事件处理后，均应通过事故分析会或项目总结会进行经验归纳，完善风险数据库与管理制，并动态调整施工方案与监测布控方案，实现系统性风险管理水平的持续提升。

结论

深基坑工程作为城市地下空间开发的关键前置环节,其施工技术复杂性与风险管理多样性决定了必须从支护结构设计、施工工艺控制与全过程管理机制入手,构建集成化、系统化的风险防控体系。本文梳理了当前主要支护结构技术类型与变形控制机制,深入剖析了施工管理中常见的风险类型与诱发机理,并提出信息化监测与责任闭环协同治理路径,构建适应多变工况与高风险特征的深基坑工程综合管控策略。展望未来,随着智慧建造理念的推进与新材料、新装备的广泛应用,深基坑支护技术将朝着更高效、更绿色、更智能的方向演进。特别是基于数字孪生的风险仿真与AI预测分析技术的引入,将为深基坑全过程安全管控提供更强有力的

技术支撑与决策辅助,助力建筑工程高质量与安全可持续发展。

参考文献

- [1] 罗文.深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(20):89-91. DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202520030.
- [2] 周波.房屋建筑深基坑支护承压结构施工技术研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(13):87-89. DOI:10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2025.13.029.
- [3] 杨周俊.深基坑工程施工中的时间成本管理及质量监测研究[J].城市建筑,2025,22(13):221-223. DOI:10.19892/j.cnki.csjz.2025.13.50.