

高层建筑深基坑支护结构施工质量安全管控分析

文 / 于洪洋 大连市建筑工程质量安全监督站

摘要：城市扩张进程中高层建筑数量激增，深基坑支护施工质量安全管控成为地下工程建设核心要点。复杂地质条件带来的不确定性、施工工艺协同的高难度以及监测预警体系的滞后性，构成深基坑施工安全主要威胁。本文系统剖析施工各阶段风险因素，结合 BIM 技术全流程模拟、智能传感器实时监测、数字化平台动态管理等手段，提出覆盖规划设计到竣工运维的全链条质量管控、基于数据驱动的动态风险预警、适配复杂工况的技术创新应用策略，为提升施工安全管理水平提供可行方案。

关键词：高层建筑；深基坑支护结构；施工质量；安全管控

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.008

引言

在城市土地资源日趋紧张背景下，高层建筑成为空间开发重要方向。深基坑作为高层建筑地下结构施工基础，其支护结构质量不仅关乎建筑主体稳定，还直接影响周边建筑物安全、地下管线运行及城市交通秩序。深基坑施工涉及多学科交叉应用，面对复杂地质条件与烦琐施工工艺，质量安全管控稍有疏漏，便可能引发基坑失稳、周边环境破坏等严重事故。深入研究施工风险并探索有效管控措施，对保障城市建设安全有序推进具有重要意义。

一、高层建筑深基坑支护结构施工质量安全风险

（一）地质条件与环境因素影响

施工质量直接关系到支护结构的安全性和耐久性，任何施工质量问题都可能导致支护结构失效，进而引发安全事故。深基坑施工质量安全状况很大程度上取决于地质条件与周边环境的相互作用。各地地质构造不同，造就土体力学性能的显著差异，如软土地层具有高压缩性、低强度特点，基坑开挖时易出现较大变形，致使支护结构受力不均；砂卵石地层因透水性强，止水措施若存在漏洞，就容易发生涌水涌砂，直接威胁基坑安全。在周边环境方面，深基坑多处于建筑密集、地下管线复杂、交通繁忙的区域，周边建筑的荷载会改变土体应力分布，地下管线对变形十分敏感，道路交通产生的动荷载也会影响基坑稳定，任何一个因素处理不当，都可能引发一系列环境问题。

（二）施工工艺与技术操作问题

深基坑支护施工涉及多种工艺协同，任何一个环节出现偏差都会影响整体安全。在钻孔灌注桩施工中，成孔深度不准确、钢筋笼安装偏差，都会削弱桩体承载能力；支撑体系安装时，轴力施加不均衡会导致支护结构局部应力过高，引发变形甚至破坏。随着施工新技术、新工艺不断应用，新风险也随之出现。比如预应力锚杆支护，预应力施加的时机和大小控制不好，就会降低锚杆锚固效果；新型装配式支护结构，若连接节点处理不到位，结构整体性就难以满足要求，无法有效发挥支护作用。

（三）施工管理与人员因素

施工管理不到位和人员问题是深基坑施工安全的重要风险。一些施工单位质量管理制度不完善，在材料管理上，对钢材、水泥等原材料进场检验不严格，使用不合格材料直接降低支护结构强度；在进度管理上，盲目追求施工进度，压缩关键工序时间，使得施工质量无法保证。人员方面，施工人员专业技能水平不一，部分人员对深基坑施工技术规范和操作流程掌握不熟练，违规操作时有发生；管理人员质量安全意识不足，对施工现场安全隐患不能及时发现和整改，增加了事故发生的可能性。

二、高层建筑深基坑支护结构施工质量安全管控的重要性

（一）保障工程主体稳定，避免重大经济损失

深基坑支护结构质量直接关系到高层建筑主体结构的稳定，有效的质量安全管控是工程顺利开展的前提。一旦管控缺失，支护结构出现变形、坍塌，会导致建筑基础失稳，引发主体结构倾斜、开裂等严重问题，不仅增加修复成本，严重时还会使建筑无法使用，造成巨大经济损失和资源浪费。

（二）维护周边环境安全，降低次生灾害风险

深基坑施工区域周边环境复杂，严格的质量安全管控能够有效控制基坑变形，防止因土体位移过大对周边建筑产生附加荷载，避免建筑沉降、倾斜或倒塌，还能减少对地下管线的挤压和拉伸，防止燃气、供水、通信等管线破裂，保障城市基础设施正常运行，降低次生灾害发生风险，维持周边道路交通秩序。

（三）减少人员伤亡事故，推动城市经济发展

深基坑施工安全事故往往伴随着人员伤亡，加强质量安全管控可以显著降低事故发生率，保护施工人员生命安全，维护社会和谐稳定。高质量的深基坑施工能够确保工程按时完工，避免因安全问题导致工期延误，保障投资方经济利益，对推动城市建设和区域经济发展、提升城市形象具有重要意义。

三、高层建筑深基坑支护结构施工质量安全管控路径

(一) 构建全流程质量安全管控体系

高层建筑深基坑支护施工质量安全的有效管控，需构建覆盖项目全生命周期的数字化管理体系，打破设计、施工、运维各阶段的管理界限。在设计筹备环节，依托BIM技术将地质勘察获取的土层分布、地下水位、岩石特性等数据进行整合，构建包含工程地质条件的三维模型，并同步建立支护结构的数字化模型。通过模拟基坑开挖、降水、加载等不同工况，对排桩支护、地下连续墙、SMW工法桩等多种支护方案进行力学性能分析，对比各方案在结构稳定性、工程造价、施工周期等方面的表现，筛选出最适合项目实际需求的支护结构形式和参数，例如在处理软土地层深基坑时，可利用BIM模型模拟不同桩径、桩长、桩间距组合下的支护效果，为设计方案的优化提供数据支撑和决策依据。

进入施工实施阶段，借助BIM5D技术实现施工进度、成本投入、质量安全信息与三维模型的深度融合，将各施工工序的计划时间、资源配置等数据预先设定到模型中，通过现场施工进度的实时采集，与计划数据进行对比分析，如果出现偏差，系统立即发出预警提示。将质量安全检查过程中发现的问题，如支撑体系连接松动、混凝土浇筑不密实、防水处理不到位等，与BIM模型中的具体位置进行关联标注，使管理人员能够直观地掌握施工现场的安全隐患分布情况，及时制定针对性的整改方案。建立质量安全责任追溯系统，将每道施工工序的操作人员、技术参数、验收结果等信息完整记录并存储，形成可追溯的数据链条，发生质量安全问题，可以快速定位责任主体，确保整改责任得到有效落实。



图1 基坑的交错相间排桩支护

(二) 应用智能监测与动态预警技术

基于物联网技术搭建的智能监测系统，是实现深基坑施工安全动态管控的核心工具，在基坑支护结构的关

键部位，如灌注桩桩顶、支撑梁关键节点、锚杆锚固段，以及周边环境敏感区域，如邻近建筑物、地下管线、道路路基等位置，合理布置位移传感器、应力传感器、水位传感器、倾斜仪等监测设备，构建起全方位、立体化的监测网络，这些传感器持续、实时地采集基坑变形、土体压力、地下水位变化、建筑物沉降等数据，并通过物联网通信技术将数据传输至监测中心服务器。

运用机器学习算法对海量的监测数据进行深度分析和挖掘，建立符合工程实际情况的变形预测模型。以长短期记忆网络(LSTM)模型为例，结合历史监测数据、施工进度信息、气象条件等多源数据，对基坑未来的变形趋势进行精准预测。依据工程设计要求和安全标准，设置多级预警阈值，当监测数据接近或超过预警阈值时，系统自动触发预警机制，通过短信、手机APP推送、邮件等多种方式，将预警信息及时发送给项目管理人员，同时在施工现场的LED大屏幕上实时显示预警内容和具体位置，根据预警等级，系统自动匹配相应的处置预案，指导施工人员迅速采取加强支撑、回填土方、调整降水方案等应急措施，将安全隐患消除在萌芽状态。

(三) 创新施工技术与工艺应用

施工技术与工艺的创新升级，是提升深基坑支护施工质量安全水平的重要推动力，在支护结构技术方面，装配式预应力鱼腹梁钢结构支撑体系凭借其标准化设计、工厂化预制、现场快速组装的特点，逐渐成为传统混凝土支撑体系的有力替代方案，该体系由鱼腹梁、对撑、角撑等标准化构件组成，各构件通过高强度螺栓连接，具有安装拆卸便捷、可重复利用、施工速度快等优势，能有效缩短施工周期，减少混凝土浇筑和拆除过程中产生的建筑垃圾，符合绿色施工理念。针对软土地层深基坑，TRD工法(等厚度水泥土搅拌墙工法)通过链锯式刀具的横向切割和搅拌，形成连续厚度的水泥土搅拌墙，相比传统搅拌桩，该工法有效解决了垂直度控制难、墙体搭接不紧密的问题，大幅提升了止水防渗效果。

智能施工设备的应用实现了施工过程的精细化和自动化控制。智能锚杆张拉设备集成了高精度压力传感器和自动控制系统，在锚杆张拉过程中，实时监测预应力值，并根据设定参数自动调整张拉速度和张拉力，确保预应力的施加精度满足设计要求。智能混凝土浇筑设备配备了激光测距仪、自动控制系统和振捣传感器，可根据浇筑高度、面积自动调节浇筑速度，同时实时监测混凝土的密实度，保证混凝土浇筑质量均匀稳定，有效减少蜂窝、孔洞等质量缺陷，提高施工质量和效率。

(四) 强化施工管理与人员培训

完善的施工管理制度和高素质的人员队伍，是保障深基坑施工质量安全的基础。制定深基坑支护施工专项质量安全管理制

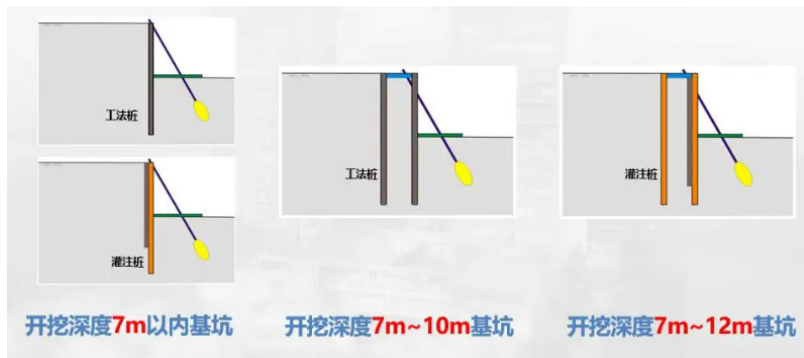


图2 基坑支护结构

员各个岗位的质量安全职责，构建层次清晰、责任明确的管理体系。在材料管理方面，建立供应商评价机制，对钢材、水泥、锚杆、防水材料等原材料供应商进行资质审查和业绩评估，优先选择信誉良好、产品质量可靠的供应商合作；严格执行材料进场检验制度，采用抽样检测和见证取样相结合的方式，对原材料的质量进行严格把关，确保材料性能符合设计和规范要求。施工过程中，加强对关键工序的质量控制，如利用超声波检测仪实时监测钻孔灌注桩的成孔孔径、垂直度和孔底沉渣厚度，通过轴力计动态监测支撑体系的轴力变化，及时发现和纠正施工偏差。人员培训是提升全员质量安全意识 and 技能水平的重要途径。针对施工人员，开展专项技术培训，采用理论讲解与现场实操相结合的方式，详细讲授深基坑支护施工的技术要点、操作规程和安全注意事项，并组织工人进行钻孔灌注桩成孔、钢筋笼制作与安装、混凝土浇筑等实操训练，经考核合格后才能上岗作业。

(五) 完善应急管理体系

科学完备的应急管理体系，是降低深基坑施工安全事故损失的关键保障。制定深基坑施工专项应急预案，按照事故类型进行详细分类，包括基坑坍塌、涌水涌砂、周边建筑物沉降或倾斜、地下管线破裂等，并针对每种事故制定具体的处置流程、技术措施和应急救援方案。明确应急救援领导小组的组成和职责分工，下设技术保障组、抢险救援组、医疗救护组、后勤保障组等工作小组，确保应急响应工作能够有序开展。建立应急物资储备库，根据工程特点和潜在风险，储备充足的应急物资和设备，如沙袋、水泵、注浆设备、钢板桩、应急照明器材等，并对应急物资进行编号管理，定期检查物资的数量和性能状态，保证物资随时处于可用状态。定期开展应急演练是检验和完善应急预案的重要手段。模拟基坑突发涌水、局部坍塌等事故场景，组织应急救援队伍进行实战演练，检验各小组之间的协同配合能力，评估应急预案的可行性和有效性。演练结束后，组织相关人员进行复盘分析，总结演练过程中存在的问题，如应急物资调配不及时、信息沟通不畅、抢险措施执行不到位等，并对

应急预案进行修订和完善。合理的进度管理有助于确保工程按时完成，减少因工期延误造成的经济损失和社会影响。同时，通过优化施工组织和资源配置，提高施工效率和质量水平。

结语

从项目规划设计蓝图绘制，到竣工交付的最终验收，高层建筑深基坑支护施工质量安全管控始终贯穿其中。多变的地质状况、繁杂的施工工艺，叠加参差不齐的管理执行水平，共同交织成复杂的风险网络。只有依靠BIM搭建全流程数字化管控架构，借智能监测实现风险动态追踪，强化人员技能培养、健全管理制度、优化应急处置流程，才能筑牢施工安全防线，护航城市建设稳健发展。

参考文献

[1] 刘凯. 高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制要点[J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (03): 124-126.
 [2] 盛建明. 高层建筑深基坑支护结构施工质量安全管控分析[J]. 中国建筑金属结构, 2025, (02): 171-173.
 [3] 李春燕. 超高层建筑地下主体深基坑支护结构施工质量控制[J]. 石材, 2024, (02): 64-66.
 [4] 林志远. 高层建筑深基坑支护结构的选型及施工[J]. 建筑与预算, 2023, (11): 71-73.
 [5] 晁建伟. 高层建筑深基坑支护结构施工技术分析[J]. 中国科技投资, 2021, (17): 140+144.
 [6] 周景深, 范沙沙, 王晨旭. 高层建筑深基坑支护结构施工技术探讨[J]. 居舍, 2019, (29): 89.
 [7] 李强. 浅谈高层建筑深基坑支护施工的问题及其质量控制措施[J]. 建材与装饰, 2019, (14): 2-3.
 [8] 习少安. 临近高层建筑深基坑桩锚+内支撑结构支护施工技术[J]. 工程建设与设计, 2019, (07): 239-240+243.
 [9] 解开. 浅谈高层建筑深基坑支护施工的问题及其质量控制措施[J]. 建材与装饰, 2019, (02): 8-9.
 [10] 黄峰平. 浅谈高层建筑深基坑支护施工的问题及其质量控制措施[J]. 四川水泥, 2018, (11): 259.