

复杂地质条件下深基坑施工安全风险管理与应急措施

张 斌

新疆兵团城建集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：复杂地质条件下的深基坑施工因地质不确定性高、风险因素复杂，易引发突水突泥、边坡失稳等安全事故，对施工安全、周边环境及既有构筑物构成严重威胁。本文针对此类工程安全风险管理的必要性，分析当前存在的风险识别不全面、评估方法不科学、监测体系不完善、方案匹配度低及应急准备不足等问题，提出针对性解决方案：通过制定应急预案与强化演练、建立实时监测与智能预警系统、实施典型地质风险专项处置、强化应急资源储备与联动、动态管控施工风险及推行信息化应急指挥，旨在为复杂地质条件下深基坑施工安全提供系统性风险管理与应急处置思路，以保障施工安全与周边环境稳定。

关键词：复杂地质条件；深基坑施工；安全风险；应急管理；应急措施

引言：随着城市化进程加速，深基坑工程在高层建筑、地下交通等领域应用日益广泛，但其施工安全受地质条件影响显著。复杂地质条件具有高不确定性，易诱发突水突泥、边坡坍塌、周边建筑及管线变形等事故，不仅威胁施工人员生命财产安全，还可能造成恶劣社会影响。当前，深基坑施工安全风险存在风险识别滞后、评估方法不匹配、监测数据应用不足等问题，应急响应能力有待提升。为此，聚焦复杂地质条件下深基坑施工安全风险管理的必要性，剖析现存问题，提出系统化应急措施，以期提升工程安全管控水平、防范重大风险提供理论与实践参考。

1 复杂地质条件下深基坑施工安全风险管理的必要性

1.1 应对地质条件不确定性的必然要求

复杂地质条件涵盖断层破碎带、富水地层、软土地基等多种形态，其分布规律与物理力学性质存在显著不确定性。施工前的地质勘察难以完全精准揭示地下隐蔽构造，易出现勘察数据与实际不符的情况。若缺乏系统的安全风险管理，施工中可能因突发地质变化引发安全事故。通过全面识别潜在地质风险、动态跟踪地质条件变化，能提前预判风险，为应对地质不确定性提供科学依据，是保障施工顺利进行的必然要求。

1.2 降低深基坑施工高风险性的核心手段

深基坑施工本身具有高风险性，复杂地质条件进一步放大了风险发生的概率和危害程度。施工过程中，土方开挖、支护结构施工等环节易扰动地质体，引发突水突泥、边坡失稳等事故。安全风险通过识别、评估和管控，能提前制定防范措施，将风险控制在可接受范围。它能指导施工方案优化，合理安排施工工序，减少风险因素影响，是降低施工高风险性的核心手

段，可有效避免事故造成的人员伤亡和经济损失。

1.3 保障施工人员生命与财产安全的基本前提

施工人员的安全和工程财产安全是深基坑施工的首要目标。复杂地质条件下的施工风险一旦失控，会直接威胁施工人员生命，造成设备损坏、工程停滞等财产损失。安全风险通过建立完善的风险防控体系，能及时发现和处理安全隐患，为施工人员创造安全的作业环境。同时，通过制定应急预案，在事故发生时可快速响应，最大限度减少人员伤亡和财产损失，是保障施工人员生命与财产安全的基本前提。

1.4 保护周边环境与既有构筑物的重要保障

深基坑施工会对周边地质体产生扰动，复杂地质条件下这种扰动更易传递至周边环境，导致既有建筑物沉降、地下管线破裂等问题。周边环境与既有构筑物的安全关系到居民生活和城市正常运转。安全风险通过评估施工对周边环境的影响，制定针对性保护措施，可有效控制施工引起的变形和位移。同时，通过实时监测周边环境变化，及时调整施工方案，避免周边环境破坏和既有构筑物受损，是保护周边环境与既有构筑物的重要保障^[1]。

2 复杂地质条件下深基坑施工安全风险存在的问题

2.1 风险识别缺乏全面性与前瞻性

当前风险识别多依赖经验判断，对复杂地质条件下的隐蔽风险（如深层溶洞、暗河、局部软弱夹层等）探查不足，易遗漏潜在隐患。同时，识别过程多停留在施工前静态分析，对施工中地质条件变化引发的新风险预判滞后，难以应对富水地层水位波动、软土蠕变等动态风险，导致风险识别存在明显局限性。

2.2 风险评估方法科学性与适用性不足

部分工程套用通用评估模型，未结合复杂地质特性（如断层破碎带渗透性、岩土层力学参数离散性）定制方法，评估结果与实际偏差较大。定性评估依赖主观判断，定量评估因地质参数获取不足难以精准计算，对突水突泥、边坡失稳等风险的概率及影响程度测算失真，无法为风险管理提供可靠依据。

2.3 监测体系不完善与数据应用滞后

监测点布设未覆盖高风险区域，对周边建筑物基础、地下管线等关键部位监测频率不足。监测数据多停留在简单记录层面，缺乏专业分析，难以识别数据异常背后的地质风险演变规律。数据传递滞后，无法实时反馈施工中的风险变化，导致风险预警不及时，错失干预时机。

2.4 施工方案与地质条件匹配度低

施工方案设计常忽视地质条件特殊性，如在软土地层沿用硬岩地层的开挖参数，或对富水地层排水措施考虑不足。方案编制缺乏对地质勘察数据的深度解读，未针对断层破碎带、高含水率地层等特殊情况制定差异化工艺，导致支护结构选型不当、开挖步距不合理等问题，加剧施工风险。

2.5 安全管理责任落实与应急准备不足

安全管理责任划分模糊，存在“多头管理、责任真空”现象，一线施工人员安全意识薄弱，违规操作频发。应急预案针对性差，多为通用模板，未结合具体地质风险场景细化处置流程。应急物资储备不足，如止水材料、支护加固设备等关键物资短缺，且与周边应急救援力量联动机制缺失，难以应对突发事件^[2]。

3 复杂地质条件下深基坑施工安全风险管理的应急措施

3.1 制定针对性应急预案并强化演练

在复杂地质条件下，深基坑施工的应急预案需紧密结合地质特点，针对不同地质风险场景设计差异化处置流程。要明确风险等级划分标准，依据风险严重程度界定不同响应级别，并对应制定各层级的处置权限与资源调配方案。同时，细化应急组织架构，设置抢险、技术、监测等专项小组，清晰划分各小组在突水堵截、边坡加固、人员疏散等环节的具体职责，确保责任到人。强化应急演练是提升实战能力的关键。演练需模拟真实地质风险场景，还原可能出现的紧急状况，让各小组在演练中熟悉处置流程和协作方式。根据施工区域的风险程度合理安排演练频率，高风险区域适当增加演练次数。演练结束后要及时进行复盘，分析演练中暴露的问

题，如应急物资调用不及时、小组协同不畅等，针对性地优化预案，通过持续改进确保预案的可操作性，使施工人员在实际事故发生时能迅速、有序地开展应急处置工作。

3.2 建立实时监测与智能预警系统

构建实时监测与智能预警系统时，要全面覆盖深基坑本体及周边环境的关键部位。监测点的布设需遵循“风险导向”原则，在地质条件复杂、风险较高的区域合理增加监测点，对周边建筑物、地下管线等重要设施设置专门的监测装置，根据施工阶段的变化灵活调整监测频率，确保能及时捕捉风险信号。系统的核心在于智能分析模块，该模块需整合地质参数、施工数据及监测数据，构建科学的风险预测模型。当监测数据出现异常时，系统能自动触发预警机制，通过移动端向相关人员推送告警信息，同时明确显示风险位置、发展趋势及建议采取的处置措施，如暂停施工、启动应急加固等。此外，系统应具备数据回溯功能，通过对比分析历史数据与实时数据，挖掘风险演变的规律，为提前干预风险提供有力支撑，实现从被动应对到主动防控的转变。

3.3 针对典型地质风险的专项应急处置

3.3.1 突水突泥事故

突水突泥事故发生后，应立即启动应急止水方案，第一时间停止作业并疏散人员。利用速凝混凝土或专用止水材料封堵出水点，同时启用备用排水系统，通过多台大功率水泵降低基坑内水位，减少水流对周边地层的冲刷。对于泥质涌出，需采用沙袋堆叠形成临时挡墙，控制泥浆扩散范围。技术组同步分析突水来源及地质构造，判断是否存在断层或透水层连通情况，必要时采用注浆加固工艺对周边地层进行防渗处理，防止事故扩大。

3.3.2 边坡失稳或坍塌

边坡出现失稳迹象时，应立即暂停开挖作业，快速组织人员撤离至安全区域。对失稳区域采取“先加固后清理”的处置原则，通过堆载反压或打入钢板桩形成临时支护，遏制边坡继续滑动。若发生局部坍塌，需先清除坍塌物，再采用锚杆、锚索联合喷射混凝土进行坡面加固，同时加密该区域监测频率，实时追踪边坡位移变化。根据地质条件调整后续开挖方案，缩小开挖步距并及时跟进支护，避免二次失稳。

3.3.3 周边建筑或管线变形超标

当监测发现周边建筑或管线变形超限时，应立即停止相关区域施工，启动变形控制应急措施。对建筑基础采用注浆抬升或静压桩加固，抑制沉降加剧；对管线变形部位，采用钢板包裹或支架固定，防止管线破裂。同

时,通过调整基坑开挖顺序、放缓开挖速度、增加支护刚度等方式,减少对周边地层的扰动。技术团队需持续分析变形数据,评估影响范围,必要时协调产权单位参与处置,确保建筑结构安全和管线正常运行。

3.4 强化应急资源储备与联动机制

强化应急资源储备需构建“分级分类、按需配置”体系。结合复杂地质风险特点,在施工现场核心区域设立应急物资总库,储备速凝混凝土、止水材料、钢板桩等专用材料,同时配备排水泵、支护设备、气体检测仪等特种装备,确保能满足多次抢险需求。在各作业面设置应急物资分点,存放沙袋、应急照明、急救包等常用物品,方便快速取用。建立物资动态管理制度,定期检查物资完好度,根据施工进度和风险变化调整储备清单。联动机制建设要突破单位壁垒,与当地应急管理部门、地质灾害防治中心、消防救援队伍签订合作协议,明确24小时响应热线和现场支援流程。定期组织联合应急演练,模拟复合型事故,检验多部门协同处置能力。同时,与周边建材供应商、机械设备租赁公司建立应急供货机制,确保特殊物资和大型设备能及时进场,形成“现场自救—专业救援—社会支援”的三级联动网络。

3.5 加强施工过程中的风险动态管控

施工过程风险动态管控需建立“实时监测—动态评估—即时调整”闭环体系。在基坑开挖前,依据地质勘察报告绘制风险热力图,标注软土分布区、富水地层等高危区域,明确各区域监测频率和控制指标。开挖阶段采用“分层分段、快挖快支”工艺,每完成一层开挖,立即同步开展地质复核,通过超前钻孔探测前方地层结构,若发现与勘察数据存在明显偏差,立即启动风险再评估。每日召开风险研判会,由技术负责人牵头,结合当日监测数据、施工记录和地质变化情况,分析风险发展趋势。对出现的风险苗头,立即采取管控措施:暂停危险区域作业,增设临时支护,加密监测频次。建立风险处置台账,详细记录隐患发现时间、处置措施、整改结果及验证情况,确保每个风险点都有明确闭环轨迹,

防止小隐患演变成大事故。

3.6 推行信息化与智能化应急指挥

信息化与智能化应急指挥体系建设以“数据融合、智能决策”为核心。搭建集BIM模型、物联网监测、地理信息于一体的指挥平台,将基坑结构、地质分层、周边建筑及管线等数据三维可视化呈现。在平台中植入风险预警模型,可自动关联监测数据与地质参数,当出现突水征兆时,平台能快速计算涌水影响范围,生成“先封堵后排水”的处置流程图,并标注附近应急物资存放点和最优运输路线。现场部署智能穿戴设备,为施工人员配备定位手环和语音通讯装置,实现人员位置实时追踪和群呼指挥。在基坑周边安装高清摄像头和红外传感器,通过AI算法自动识别“未佩戴安全装备”“违规进入危险区”等行为,及时发出声光告警。事故发生时,指挥人员可通过平台远程调取现场实时画面,与后方专家视频连线会商方案,向作业人员推送分步操作指令,实现“看得见、呼得通、调得动、控得住”的智能化指挥,显著提升应急响应效率^[3]。

结束语

复杂地质条件下深基坑施工安全风险管理与应急处置是系统性工程,需贯穿施工全流程。通过强化资源储备与联动机制筑牢物质基础,依托动态管控实现风险精准防控,借助信息化指挥提升应急效能,三者协同形成闭环管理体系。实践中,需始终以地质条件为导向,将风险意识融入方案设计、施工组织与应急响应各环节,通过前瞻性预防与高效处置相结合,最大限度降低事故风险。

参考文献

- [1]杨康林.复杂地质隧道施工安全风险与施工管理[J].建材发展导向(下),2020,18(1):344.
- [2]岳新晖.复杂地质隧道施工安全风险与施工管理[J].百科论坛电子杂志,2022,(15):78.
- [3]邹华.复杂地质隧道施工安全风险与施工管理[J].建筑工程技术与设计,2021,(14):2490.