

水利工程施工安全管理与深基坑风险防控

刘忠凯¹ 王峰²

1. 淮安市淮阴区活动坝水利工程管理所 江苏 淮安 223001

2. 苏州市水利建设监理有限公司 江苏 苏州 215000

摘要: 水利工程施工安全管理聚焦人员、设备、环境与制度全要素管控,通过岗前培训、设备检测、极端天气应对及标准化操作体系降低风险。深基坑作为高风险环节,需结合地质勘察优化支护结构选型,采用井点降水与实时监测技术控制地下水,运用BIM与GIS实现动态施工模拟与风险预警。同时,建立分级响应应急预案,强化特种作业人员管理,形成覆盖设计、施工、监测、应急的全周期防控体系。

关键词: 水利工程; 施工安全管理; 深基坑风险防控

引言: 水利工程作为国家基础设施建设的核心领域,其施工安全直接关乎民生保障与生态稳定。随着工程规模扩大与地质条件复杂化,深基坑开挖、高边坡支护等高风险作业日益增多,其中深基坑工程因涉及地质灾害、地下水渗透、支护结构失稳等多重风险,成为安全管理的重难点。本文系统梳理水利工程施工安全管理理论框架,聚焦深基坑工程风险识别、评估模型构建及防控技术优化,旨在为提升工程安全水平、降低事故发生率提供科学依据与实践参考。

1 水利工程施工安全管理理论基础

1.1 施工安全管理核心概念

(1) 安全管理的定义与内涵: 是以保障施工全过程人员生命安全、设备完好运行、环境不受破坏为目标,通过制度建设与执行实现风险防控的系统性工作。其中,人员管理聚焦岗前培训、安全意识培养及防护装备配备;设备管理涵盖进场检测、定期维护与故障排查;环境管理针对施工区域水文、地质、气象等条件,制定极端天气应对与生态保护措施;制度管理则构建责任分工、操作规范、应急处置等体系,形成全要素管控闭环。(2) 水利工程安全管理特点: 其一,周期长,从规划到竣工常跨越数年,需长期维持安全管理强度;其二,环境复杂,多涉及河道、库区等水域,面临洪水、滑坡等自然风险,且施工区域多为偏远地带,应急救援难度大;其三,多工种协同,涵盖土建、机电、航运等专业,交叉作业频繁,需强化工序衔接中的安全协调^[1]。

1.2 安全管理相关理论

(1) 事故致因理论: 海因里希法则指出,每1起重大事故背后伴随29起轻伤事故、300起无伤害事件,强调通过排查轻微隐患预防重特大事故;能量意外释放理论认为,事故是能量(如机械动能、电能)意外转移导致的

伤害,需通过设置防护装置(如安全阀、防护栏)控制能量释放路径。(2) 风险矩阵法与LEC评价法: 风险矩阵法通过“事故可能性”与“后果严重程度”二维矩阵划分风险等级,为管控优先级提供依据;LEC评价法(危险性=暴露率L×可能性E×后果C)通过量化计算确定作业面危险性,如高风险区域需采取停产整改措施。(3) PDCA循环在安全管理中的应用: 计划(P)阶段制定安全目标与管控方案,如年度安全培训计划;执行(D)阶段落实措施,如开展应急演练、设备检修;检查(C)阶段通过隐患排查、事故分析评估效果;改进(A)阶段总结经验,修订制度(如完善高空作业规范),推动管理持续优化。

1.3 法规与标准体系

(1) 国内水利工程安全法规: 《安全生产法》明确企业主体责任与政府监管职责,为安全管理提供根本法律依据;《水利工程建设安全生产管理规定》细化水利行业要求,涵盖施工组织设计安全审查、特种作业人员持证上岗等内容;此外,《水利水电工程施工安全防护设施技术规范》等标准进一步规范现场安全防护措施。(2) 国际标准参考: ISO45001职业健康安全管理体系强调“预防为主、持续改进”,通过建立系统化管理框架,帮助企业识别并控制职业健康安全风险,其要求与国内法规互补,可指导水利工程企业提升国际化安全管理水平,尤其适用于跨国水利项目的安全管控。

2 水利工程中深基坑工程风险识别与评估

2.1 深基坑工程特点与风险源

(1) 深基坑定义与分类: 深基坑是指水利工程中开挖深度超过5m(含5m),或虽未超过5m但地质条件复杂、周边环境特殊的基坑工程。按深度可分为浅基坑(<5m)、深基坑(5-10m)、超深基坑(>10m);按地质条件可

分为软土基坑、岩石基坑、混合地质基坑，其中软土基坑因土体稳定性差，风险防控难度更高；按施工方法可分为放坡开挖基坑、支护开挖基坑（如排桩支护、地下连续墙支护），支护开挖基坑多用于空间受限或地质薄弱区域。（2）典型风险源：地质灾害方面，基坑开挖易破坏土体平衡，引发塌方、滑坡，尤其在暴雨天气下，雨水入渗会加剧土体自重与孔隙水压力，增加灾害概率；地下水渗透易导致管涌、流砂，造成基坑积水、基底隆起，影响施工安全；支护结构失稳多因设计不合理、材料强度不足或施工偏差，如排桩断裂、锚杆失效，可能引发基坑坍塌；周边环境表现为基坑开挖导致周边土体沉降，进而造成邻近建筑物开裂、地下管线（水管、燃气管）变形破坏，对周边居民生活与工程进度造成严重影响。

2.2 风险识别方法

（1）专家调查法：德尔非法通过多轮匿名咨询水利、地质、结构工程领域专家，逐步收敛意见，确定关键风险因素，适用于前期风险排查；头脑风暴法组织专家围绕深基坑施工全流程自由讨论，激发思维碰撞，快速识别潜在风险点，如施工工序衔接中的安全隐患。（2）故障树分析（FTA）与事件树分析（ETA）：FTA从“基坑坍塌”等顶事件出发，反向推导导致事故的直接原因与间接原因（如支护失效、降水不足），构建逻辑故障树，明确风险传导路径；ETA从“地下水突涌”等初始事件出发，正向分析事件发展的不同可能性及后果，为风险防控提供针对性方向^[2]。（3）基于BIM的风险模拟与可视化技术：通过建立深基坑BIM模型，集成地质勘察数据、施工方案信息，模拟基坑开挖、支护施工全过程，可视化呈现土体变形、支护结构应力变化情况，提前识别施工中的风险区域，如支护结构应力集中部位。

2.3 风险评估模型构建

（1）定性评估：采用风险矩阵法，横向轴为“风险发生概率”（如高、中、低），纵向轴为“风险后果严重程度”（如经济损失、人员伤亡、工期延误），将深基坑风险划分为极高、高、中、低四个等级，如“支护结构失稳”通常判定为极高风险，需优先管控。（2）定量评估：有限元数值模拟软件（FLAC3D、PLAXIS）可构建深基坑力学模型，计算开挖过程中土体位移、支护结构内力，量化风险发生概率与影响范围；蒙特卡洛模拟通过随机抽样生成大量风险场景，统计不同工况下的风险损失值，为工程决策提供数据支撑。（3）动态评估：结合基坑监测系统（如沉降观测、地下水位监测）获取的实时数据，与预设阈值对比，若出现异常（如土体沉降

速率超标），及时调整评估模型参数，更新风险等级，并触发相应防控措施（如增加支护刚度、加强降水），实现风险动态管控。

3 水利工程中深基坑风险防控技术与措施

3.1 设计阶段防控措施

（1）地质勘察与水文分析优化：需组织专业勘察团队，采用钻探、物探结合的方式，加密勘察点位，重点探明基坑范围内土层分布（如软土厚度、砂层埋藏深度）、地下水位埋深及渗透性，形成详细勘察报告。针对水利工程临近水域的特点，还需分析季节性水位变化对基坑的影响，预测暴雨、汛期可能引发的水位骤升风险；通过水文地质计算，确定地下水补给路径与涌水量，为后续降水方案设计提供精准数据支撑，避免因勘察疏漏导致支护失效、管涌等风险。（2）支护结构选型：需结合基坑深度、地质条件及周边环境综合确定。对于软土或超深基坑，优先选用刚度大、防渗性好的地下连续墙，其能有效抵抗土体侧压力，减少周边沉降；深度5-10m的普通基坑，可采用排桩支护（如钻孔灌注桩），配合高压旋喷桩止水帷幕，平衡安全性与经济性；若基坑周边无重要建筑物且地质条件较好，土钉墙支护（结合喷射混凝土面层）可降低施工成本，但需严格控制边坡坡度与土钉间距。同时，需通过力学计算验证支护结构强度、刚度及稳定性，确保能抵御基坑开挖过程中的各类荷载^[3]。（3）降水方案设计：根据地下水位高度与土层渗透性选择合适方式。对于砂性土层或地下水位较高的基坑，采用井点降水（如轻型井点、喷射井点），通过布设多层井点管，形成稳定降水漏斗，将水位降至基坑底面以下0.5-1.0m；若土层渗透系数大、涌水量多，需选用管井降水，设置大口径管井，配备大功率水泵，实现快速排水。方案中需明确降水井布置密度、深度及抽水速率，同时考虑降水对周边环境的影响，设置回灌井，避免因地下水位过度下降导致周边土体沉降、管线开裂。

3.2 施工阶段防控技术

（1）监测技术：安装自动化监测系统，在基坑周边土体、支护结构及邻近建筑物上布设位移传感器（如GNSS接收机、测斜仪），实时监测土体水平位移、沉降及支护结构深层位移；在支护桩、锚杆上安装应力传感器，监测结构受力变化；在基坑内外布设水位传感器，跟踪地下水位动态。监测数据通过无线传输至控制中心，设定预警阈值（如日均沉降超3mm），一旦数据超标，立即触发报警，为风险处置争取时间。（2）应急预案：建立分级响应机制，将风险等级划分为一般、较大、重大、特别重大四级，对应不同响应流程。一般风险由施工班

组现场处置,较大风险由项目部启动应急小组,重大及以上风险需上报建设单位与主管部门,联动消防、医疗等外部资源。同时,储备充足应急物资,包括沙袋、水泵、应急照明设备、支护加固材料(如钢支撑)及急救药品,定期组织应急演练(如基坑坍塌模拟救援、管涌封堵演练),提升团队应急处置能力。(3)信息化施工:推动BIM与GIS技术融合应用,基于BIM模型构建深基坑三维可视化场景,集成施工进度、监测数据等信息,动态模拟施工过程,提前发现工序冲突与风险隐患;借助GIS技术叠加周边地形、管线、建筑物分布数据,分析基坑施工对周边环境的影响范围。施工中,通过移动端实时上传现场数据至BIM平台,管理人员远程监控施工质量与安全,实现“实时感知、智能分析、精准管控”^[4]。

3.3 管理措施优化

(1) 安全教育培训与持证上岗制度:针对深基坑施工特点,制定专项培训计划,内容涵盖地质风险识别、支护结构施工规范、应急操作流程等,采用理论授课与现场实操相结合的方式,确保施工人员掌握安全技能。对特种作业人员(如起重工、电焊工)严格审核资质,实行持证上岗,定期开展技能考核,不合格者暂停作业,重新培训合格后方可上岗;新进场人员必须经过三级安全教育(公司、项目、班组),考核通过后方可参与施工。(2) 分包单位资质审核与动态考核:选择深基坑施工分包单位时,严格审查其资质等级、过往业绩(重点核查类似工程安全记录)及技术团队实力,避免选用无资质、业绩差的单位。施工过程中,建立动态考核机制,从施工质量(如支护桩垂直度、降水效果)、安全管理(隐患排查整改率、事故发生率)、进度履约等方面定期评分,考核优秀的单位优先参与后续合作,不合格的单位责令整改,整改

不到位则终止合同。(3) 安全检查与隐患排查“双预防”机制:构建“日常检查+专项检查+综合检查”体系,施工班组每日开展班前安全检查,项目部每周进行专项检查(如支护结构、降水系统检查),建设单位每月组织综合检查。对排查出的隐患分类登记,建立台账,明确整改责任人、整改时限与整改措施,实行“闭环管理”;同时,定期分析隐患类型与成因,识别风险源头,制定预防措施(如针对雨季管涌风险,提前加固排水系统),实现“隐患排查”与“风险预防”双向发力,降低事故发生概率。

结束语

水利工程施工安全管理与深基坑风险防控是保障工程顺利推进、维护生态与民生安全的基石。通过系统应用事故致因理论、风险矩阵法等科学工具,结合地质勘察优化、智能监测预警、分级应急响应等全周期防控技术,可显著提升风险识别精度与处置效率。未来需持续深化BIM+GIS融合、AI风险预测等技术创新,强化人员培训与制度执行,构建“技术-管理-人员”协同防控体系,推动水利工程安全管理向智能化、精细化方向迈进。

参考文献

- [1]胡竞文,王松.水利工程深基坑排水控制技术与安全管理要点分析[J].水上安全,2024,(19):185-187.
- [2]刘志超,卢凡.水利工程深基坑排水控制技术与安全管理要点分析[J].水上安全,2024,(03):133-135.
- [3]洪振国,潘忠华,陈立松.大型水利工程隧洞进口深基坑支护型式研究[J].灌溉排水学报,2024,43(S1):25-27.
- [4]龙钢.水利工程永临结合预应力管桩深基坑支护关键技术[J].水上安全,2024,(20):130-132.