

土木工程施工过程中的安全管理技术探讨

杨汝俊 范宗强 张莹
山东博物馆 山东 济南 250014

摘要：土木工程施工过程中的安全管理涉及多维度技术体系与防控策略。通过标准化作业技术实现施工流程规范化，借助动态风险评估技术提升风险预判能力，结合人机协同优化技术降低作业风险。能量隔离、冗余设计、本质安全改造等手段强化事故预防能力，行为引导与应急响应技术进一步完善风险控制链条。智能化安全管理技术融合AI监控、数字孪生与智能穿戴设备，推动安全管理向数字化、精细化方向发展。

关键词：土木工程；安全管理技术；风险防控；智能化应用；安全保障

引言：随着土木工程规模扩大与施工环境复杂化，传统安全管理方式难以满足现代工程需求。安全管理技术需从标准化操作、风险动态识别、设备智能协同等方面构建系统性防护机制。通过引入先进技术手段，提升施工全过程的安全可控性，为工程建设提供坚实保障。安全管理已由事后应对转向事前预防和全过程干预。

1 土木工程安全管理技术体系构建

1.1 标准化作业技术

标准化作业技术是土木工程安全管理的基础保障。分项工程标准化作业技术手册针对模板支撑、深基坑开挖、高空作业等关键施工环节，详细制定标准化操作流程。以模板支撑为例，手册对架体材料规格、立杆间距、水平杆步距等技术参数进行明确界定，确保支撑结构力学性能满足施工要求。在深基坑开挖环节，规定分层分段开挖深度、边坡坡度及支护跟进时间，从技术层面规避坍塌风险。高空作业部分，则规范防护栏杆高度、安全网挂设方式及作业平台搭建标准，为施工人员提供可靠安全屏障^[1]。工序交接技术依托技术交底与验收单制度运行。在每道工序开始前，施工人员需接收详细技术交底，了解作业内容、质量标准与安全要点。完成工序施工后，通过验收单制度进行质量与安全双重确认，前道工序未通过验收，后续工序不得开展。这种机制有效避免因工序衔接不规范、质量隐患未排除而引发的安全事故，实现施工过程的有序可控。

1.2 动态风险评估技术

基于BIM技术构建的土木工程风险模拟技术系统，利用三维模型直观呈现施工场景。针对深基坑支护工程，系统可模拟不同工况下支护结构受力变化，预判失稳风险；在钢结构吊装环节，通过算法模拟吊装路径，识别可能发生的碰撞风险，并生成可视化风险分布图，使施工人员对潜在危险一目了然。该系统不仅能在施工前进

行风险预判，还可作为施工过程中风险管控的重要参考依据。风险等级动态调整技术模型结合实时监测数据与历史风险数据库运行。施工过程中，天气变化、设备运行状态、人员工作强度等因素实时输入模型。例如，当监测到强风天气时，模型自动提升高空作业风险等级，并根据历史数据中类似天气条件下的事故案例，更新相应风险防控技术措施，为施工安全提供动态化保障。

1.3 人机协同优化技术

智能塔吊防碰撞技术融合激光雷达、视觉识别与传感器技术。激光雷达对吊装区域进行全方位扫描，实时获取障碍物空间位置信息；视觉识别技术进一步确认障碍物类型与状态；传感器则实时监测塔吊运行参数。当检测到存在碰撞风险时，系统自动触发预警，若操作人员未及时响应，将启动急停机制，避免塔吊与周边建筑物、设备或人员发生碰撞，保障吊装作业安全。混凝土浇筑机器人与钢筋绑扎机械臂技术的应用，有效降低人工在高风险环境中的暴露频率。混凝土浇筑机器人可精准控制浇筑速度与位置，避免因人工操作不规范导致的漏振、过振等问题，提升浇筑质量。钢筋绑扎机械臂能够高效完成复杂节点钢筋绑扎作业，不仅提高施工效率，还减少了施工人员在高空、狭小空间内作业的安全风险，实现作业精度与安全性的双重提升。

2 土木工程风险防控技术策略

2.1 能量隔离与控制技术

在土木工程电气系统安全管控中，双电源自动切换与漏电保护连锁技术发挥核心作用。双电源自动切换装置基于电路拓扑优化设计，当主电源出现故障时，能够迅速且稳定地切换至备用电源，保障施工设备基础供电需求不间断。漏电保护连锁技术通过高精度电流传感器实时监测电路中电流变化，一旦检测到漏电异常，触发多重连锁机制，不仅立即切断故障电源，还同步向整个

施工区域的电力管理系统发送警报,避免因电气故障引发火灾或人员触电事故。对于压力容器与管道这类储存和传输能量的关键设施,机械锁闭与能量释放验证技术形成严密防护体系。机械锁闭装置采用高强度合金材料制造,具备抗冲击、耐腐蚀特性,可通过物理锁具将压力容器或管道阀门锁定在安全状态^[2]。能量释放验证技术则依托压力传感器与智能控制系统,在作业前对容器或管道内部压力进行实时检测,当压力值降至安全阈值以下,系统才允许进行后续操作,若压力异常则持续发出警报并禁止操作,从根源上杜绝因能量意外释放导致的爆炸、泄漏等恶性事故。

2.2 冗余安全设计技术

高空作业平台的安全保障依赖于双回路液压系统与独立安全绳锚固技术的协同运作。双回路液压系统构建两套独立的液压驱动装置,当其中一套液压系统因管路破裂、元件损坏等原因失效时,另一套系统能立即接管工作,维持作业平台的稳定升降与定位。独立安全绳锚固技术采用高强度纤维绳索与专用锚固装置,作业人员将安全绳固定于牢固的建筑物上,即使作业平台发生意外,安全绳也能提供可靠的悬挂保护,防止人员坠落。深基坑支护工程中,钢支撑与混凝土内支撑复合技术配合应力监测传感器和数据分析算法,实现支护结构安全的动态管理。钢支撑具备安装便捷、可重复使用的特点,能够快速形成基坑临时支护;混凝土内支撑则拥有良好的抗压性能,为基坑提供长期稳定支撑。应力监测传感器被植入两种支撑结构关键受力部位,实时采集压力、应变等数据,并传输至数据分析系统。算法对数据进行处理和分析,通过建立力学模型模拟支护结构受力状态,一旦发现应力超过设计阈值,立即发出预警,提醒施工人员采取加固措施,避免基坑坍塌事故发生。

2.3 本质安全改造技术

自锁式脚手架连接件技术从结构设计层面提升脚手架安全性能。连接件采用独特的机械咬合结构,当部件正确安装时,会自动触发自锁机制,形成牢固的连接节点。防误装传感器集成在连接件内部,通过感应部件安装位置、角度等参数,判断是否安装到位。若检测到误装或漏装情况,传感器会发出声光警报,同时锁定脚手架关键部位,阻止继续搭建或使用,有效避免因连接件安装不当引发的脚手架坍塌风险。在材料与工具革新方面,无火花防爆工具采用特殊合金材质制造,在碰撞、摩擦过程中不会产生火花,适用于易燃易爆施工环境,如石油化工工程中的土木工程作业。低毒环保建材技术则从原材料筛选、生产工艺改进入手,减少建材中甲

醛、苯等有毒有害物质的含量,降低施工人员吸入有害气体导致中毒的风险,同时也为建筑后续使用创造健康安全的室内环境。两种技术相辅相成,从工具和材料源头消除安全隐患,推动土木工程施工向本质安全方向发展。

2.4 施工安全行为引导技术

施工安全行为引导技术旨在从人员行为层面强化施工现场安全管理。行为规范标识系统采用高辨识度的图形与文字组合,在施工现场各区域设置安全警示标识、操作流程指示牌。例如,在塔吊作业区设置醒目的吊装半径警示标识,明确危险范围;在脚手架入口处设置操作流程指示牌,引导施工人员规范攀爬与作业。利用投影、灯光等技术,将安全提示信息投射到地面或墙面,在夜间或光线不足区域也能持续提醒人员注意安全。安全行为激励机制通过正向激励促进施工人员养成良好安全习惯^[3]。建立安全积分管理制度,施工人员遵守安全规范、主动报告安全隐患等行为均可获得积分奖励。积分可兑换生活用品、假期等福利,激发人员参与安全管理的积极性。此外,设立安全行为榜样评选制度,定期表彰安全意识强、行为规范的个人与班组,通过榜样示范作用,带动全体施工人员提升安全行为自觉性。

2.5 应急响应技术优化

应急响应技术优化聚焦于提升施工现场突发事件的应对能力。应急通信保障技术构建多链路通信系统,除常规的移动网络通信外,配备卫星电话、对讲机等设备,确保在网络中断等极端情况下应急信息的畅通传递。同时开发应急通信专用APP,集成一键报警、位置共享、语音通话等功能,方便现场人员快速上报事故信息,管理人员及时下达救援指令。应急物资智能管理技术借助物联网技术实现物资的高效调配。为应急物资配备RFID标签,通过读写设备实时掌握物资的种类、数量、存放位置等信息。当发生事故时,系统可根据事故类型与规模,自动生成物资需求清单,并规划最优物资取用路径。定期对物资状态进行检测,对临近失效期的物资自动预警,保障应急物资时刻处于可用状态,为应急救援争取宝贵时间。

3 土木工程智能化安全管理技术应用

3.1 AI安全监控技术

边缘计算节点与深度学习摄像头技术构建起施工现场实时监控网络。边缘计算节点部署于施工现场关键区域,就近处理摄像头采集的图像数据,减少数据传输延迟。深度学习摄像头搭载先进图像识别算法,可精准识别施工人员未佩戴安全帽、违规跨越警戒线等行为。当算法判定出现违规行为时,系统自动触发语音警示装

置,向违规人员发出提醒,同时将违规画面及具体位置信息推送至管理人员终端设备。管理人员通过移动终端即可掌握现场情况,及时进行干预,实现安全隐患的快速处置。热成像技术与红外传感器的结合为电气设备安全运行提供保障。热成像设备可捕捉电气设备表面温度分布情况,红外传感器则持续监测设备关键部位温度数据。机器学习算法对采集到的温度数据进行分析,建立设备温度变化模型。通过对历史数据与实时数据的对比,算法能够预测设备可能出现的过热故障,进而提前判断火灾风险。一旦检测到异常温度趋势,系统立即发出警报,并生成风险报告,为维修人员提供故障排查依据,避免因电气设备过热引发火灾事故。

3.2 数字孪生管理技术

土木工程全要素数字孪生技术平台整合施工现场各类数据。该平台将人员定位信息、设备运行状态参数、环境监测数据等进行集成,通过三维建模技术构建与物理施工现场1:1对应的虚拟场景。在虚拟场景中,管理人员能够直观查看人员分布、设备运行情况及环境指标,实现风险的可视化呈现。例如,通过观察虚拟场景中深基坑支护结构的应力分布,判断是否存在安全隐患;依据人员定位信息,分析施工区域人员密度是否合理。平台内置的智能决策系统基于数据模型,对潜在风险进行评估,并提供相应的应对策略,辅助管理人员做出科学决策。应急预案推演技术模块依托数字孪生技术发挥重要作用^[4]。该模块可模拟多种事故场景,如脚手架坍塌、火灾、基坑渗漏等。在模拟过程中,系统根据施工现场实际布局、人员分布、设备位置等信息,动态计算事故影响范围与发展趋势。通过反复推演不同救援方案,优化疏散路线规划,确定最佳救援资源配置方案。例如,在火灾模拟中,系统能够根据火势蔓延速度和风向变化,规划出最安全、最快速的人员疏散路线;针对坍塌事故,确定所需救援设备的类型与数量,为实际应急救援提供精准指导,提升施工现场应急处置能力。

3.3 智能穿戴与物联网技术

具备跌落检测与生命体征监测功能的安全帽技术,

通过内置的物联网传感器实现数据采集与传输。跌落检测传感器可实时感知佩戴者的运动状态,当检测到异常跌落动作时,立即向云端管理系统发送警报信息,并附带人员位置数据。生命体征监测传感器则持续采集佩戴者的心率、体温等健康数据,一旦发现数据异常,同样将信息上传至云端。管理人员通过管理系统可随时查看施工人员健康状况,当接收到异常警报时,能够迅速组织救援,保障人员生命安全。AR眼镜与远程协作技术改变了施工现场问题处理模式。施工人员佩戴AR眼镜,其内置摄像头可实时采集现场第一视角画面,并传输至远程专家终端。通过语音交互功能,施工人员与远程专家进行实时沟通。专家依据传输的画面与语音描述,对现场问题进行分析判断,并通过AR技术在眼镜画面中进行标注、绘制解决方案示意图,指导施工人员进行操作。例如,在复杂的设备安装过程中,远程专家可通过AR眼镜指导施工人员准确完成安装步骤,实现问题的快速解决,提高施工效率与安全性,减少因操作不当引发的安全事故。

结束语

土木工程施工安全管理技术涵盖多方面,从体系构建到风险防控,再到智能化应用,各环节紧密相连。通过标准化作业、动态风险评估等技术体系保障施工有序;利用能量隔离、冗余设计等策略防控风险;借助AI、数字孪生等智能化技术提升管理效能。未来应持续创新安全管理技术,为土木工程安全施工提供坚实支撑。

参考文献

- [1]谭文龙.关于土木工程施工质量控制与安全管理的探讨[J].陶瓷,2024,(04):165-168.
- [2]王建军.关于土木工程施工质量控制与安全管理的探讨[J].中国住宅设施,2023,(04):190-192.
- [3]孙博.土木工程建筑施工过程中的项目管理要点[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(18):223-225.
- [4]钟灿.信息化技术在土木工程施工安全管理中的应用[J].安全管理,2023,40(5):121-126.