

浅谈建筑施工安全风险控制与新设企业安全管理模式创新

李西红

中国电建集团山东电力建设有限公司 山东 济南 250101

摘要：建筑施工面临高处坠落、物体打击、触电、机械伤害和坍塌等多重风险。传统安全管理模式存在理念滞后、方法单一、信息化程度低等问题。本文提出新设企业基于数字化转型的安全管理创新框架，通过构建“智能识别—精准干预—动态优化”的全流程风险管控体系，引入区块链赋能的安全信用管理平台，创新“韧性安全”组织管理模式，结合VR/AR沉浸式培训与智能穿戴设备的实时监测，形成多维度、立体化的安全管理新范式，为建筑施工安全管理提供了创新性解决方案。

关键词：建筑施工；安全风险控制；安全管理；模式创新

引言：随着城市化进程加速，建筑施工规模与复杂度持续提升，安全风险呈现多样化、隐蔽化趋势。传统安全管理模式以“经验主义”为核心，依赖人工巡查与事后整改，难以应对动态复杂的风险场景。本文突破传统思维，提出融合数字孪生、边缘计算、区块链等前沿技术的安全管理创新路径，构建“技术赋能+组织革新+数据驱动”的三维创新体系，为解决建筑施工安全管理的痛点提供了新的理论视角和实践方案。

1 建筑施工安全风险的系统结构与致因机理分析

建筑施工安全风险的复杂性源于其动态开放的系统特性，涉及人、机、环、管等多要素耦合作用。本研究基于系统安全理论，将安全风险划分为五类典型形态，并运用事故致因模型揭示其内在机理。

1.1 高处坠落风险的人因—环境耦合机制

高处坠落事故占建筑施工伤亡的40%以上，其本质是作业人员与高空环境的不安全交互。从人因工程角度，高空作业人员的生理疲劳（如连续作业4小时后平衡能力下降23%）、心理压力（恐高人群事故率是普通人群的3.2倍）与安全行为（安全带使用率不足60%的工地事故率提升40%）构成直接致因。环境方面，临边洞口防护缺失、脚手架搭设不达标等物理缺陷，与风速 $>6\text{m/s}$ 、照度 $<50\text{lux}$ 等自然因素形成风险叠加。例如，某超高层建筑施工中，工人因未系安全带且脚手板扣件松动坠落，本质是个体安全意识、防护设施失效与环境动态变化的多重失效^[1]。

1.2 物体打击风险的能量意外释放模型

根据能量意外释放理论，物体打击是势能或动能超出人体承受阈值的结果。塔吊吊装过程中，吊物脱钩（机械失效）、钢丝绳断裂（材料缺陷）与作业人员站位不当（人为失误）共同导致能量失控。研究显示，80%

的物体打击事故与吊装作业管理缺陷相关。BIM技术的应用可通过4D施工模拟，提前识别吊装路径冲突，将碰撞风险降低65%。例如，上海某大厦施工中，通过BIM预演发现塔吊与结构构件的空间冲突，避免了潜在事故。

1.3 触电风险的本质安全设计缺陷

触电事故的根本原因在于电气系统本质安全设计不足。施工现场临时用电系统中，TN-S接地保护缺失、线路老化、漏电保护器失效等技术缺陷，与作业人员带电检修形成致因链。分析表明，电气设备非标准化管理（如私拉乱接）是关键诱因。据研究，智能漏电监测系统通过零序电流互感器实时采集数据，结合AI算法预测漏电风险，可将事故概率降低65%以上。

1.4 机械伤害风险的人机界面冲突

机械伤害反映了人机交互界面的不匹配性。挖掘机、升降机等设备的运动部件防护缺失、操作空间不足，与操作人员技能不足、疲劳作业等因素共同导致事故。运用HFACS（人为因素分析与分类系统），可将机械伤害归因于组织管理（如培训不足）、监督失误（如旁站缺失）、预控失效（如设备维护不到位）及不安全行为（如误操作）的多层次失效。某地铁施工中，挖掘机碰撞支撑结构引发坍塌，即体现了设备操作与环境管理的双重失效^[2]。

1.5 坍塌风险的复杂系统脆性特征

坍塌事故具有复杂系统脆性，局部失效可能引发连锁反应。基坑支护失稳、模板支撑破坏等事故，往往是地质条件复杂（如软土地基承载力 $<80\text{kPa}$ ）、施工方案不合理（如支撑间距超标）、监测预警滞后（位移速率 $>5\text{mm/d}$ 未报警）等多因素耦合的结果。据研究，分布式光纤传感技术通过监测结构应变，可提前2小时发出坍塌预警，为应急处置提供宝贵时间。

2 传统建筑施工安全管理模式的系统性缺陷与新设企业挑战

2.1 管理理念的路径依赖于新设企业的创新困境

传统安全管理理念呈现显著的“事后响应型”特征，其根源在于建筑行业长期形成的路径依赖。企业在安全管理中过度依赖经验主义，形成“事故—整改—再事故”的恶性循环。新设企业虽具有组织扁平化、决策灵活等优势，但往往因缺乏历史数据积累和成熟管理体系，在安全管理理念转型上面临双重困境。组织扁平化虽提升决策效率，但也导致安全管理经验难以沉淀，加剧了数据积累不足的问题。据研究，某新设装配式建筑企业因沿用传统现浇模式的的安全管理理念，导致预制构件吊装事故率高于行业均值30%。

2.2 管理方法的结构化矛盾与新设企业的资源约束

传统管理方法的单一性本质上是科层制组织结构与复杂施工环境的结构性矛盾体现。人工巡查、制度约束等方法在应对动态风险时表现出显著的时滞性与局限性。新设企业由于企业文化、资金实力、人才素质等限制，难以快速构建多元化的管理体系。例如，某装饰工程公司因过度依赖人工巡查，未能及时发现隐蔽的电气线路隐患，导致火灾事故造成重大损失。这种资源约束迫使新设企业必须探索低成本、高效能的管理方法创新^[9]。

2.3 信息化转型的数字鸿沟与新设企业的后发优势

传统模式的信息化缺失实质是数字时代的“数字鸿沟”在安全管理领域的体现。新设企业虽面临数字化基础薄弱的挑战，但具有“蛙跳式发展”的后发优势。例如，某新设智能建造企业通过直接部署云原生安全管理平台，跳过传统企业的信息化改造阶段，实现了施工现场的实时监控与风险预警，将隐患整改效率提升40%。然而，这种转型也面临数据孤岛、技术适配性等新问题，需要在技术选择与组织变革之间寻求平衡。

3 建筑施工安全风险控制的适应性策略与新设企业创新路径

3.1 基于韧性理论的风险识别与评估体系重构

针对传统风险识别的静态化缺陷，提出构建动态韧性评估模型。该模型融合FAHP（模糊层次分析法）与系统动力学，通过以下创新实现风险的精准识别。

情景化风险模拟：利用BIM技术构建施工过程的数字孪生模型，模拟不同情境下的风险演化路径，为新设企业提供低成本的风险预演工具。

敏捷化评估流程：借鉴敏捷管理思想，将风险评估分解为迭代周期，适应多元化的企业项目需求，降低风险概率。

轻量化数据采集：开发基于移动端的隐患上报系统，利用图像识别技术自动提取风险特征，解决新设企业数据采集能力不足的问题。针对传统风险评估的静态化缺陷，结合新设企业的动态需求，需从制度层面重构管理框架

3.2 制度创新的权变管理与新设企业的组织赋能

传统制度的刚性与新设企业的灵活性需求形成鲜明矛盾，需构建权变安全管理制度体系。

弹性责任矩阵：采用RACI矩阵（责任分配与协作优化的黄金工具）明确各参与方权责，适应新设企业动态的组织架构。

嵌套式激励机制：结合OKR（目标与关键成果法）与安全绩效挂钩，激发员工参与安全管理的积极性。某新设绿色建筑企业通过设置“零隐患奖金”使安全合规率提升至98%。

数字化制度载体：将安全管理制度嵌入企业数字化平台，实现制度的自动推送与执行追踪，降低新设企业的制度执行成本。

3.3 行为干预的精准化策略与新设企业的文化塑造

针对传统培训的低效问题，提出神经行为安全干预体系。

认知诊断与个性化培训：利用眼动追踪、脑电波监测等技术分析员工的风险认知模式，为新设企业员工定制培训方案。实验表明，该方法使培训效果提升35%（Smithetal.,2022）。

游戏化行为养成：开发安全知识竞赛、虚拟安全演练等游戏化应用，利用多巴胺激励机制提升新设企业员工的参与度。

微文化渗透策略：通过开展“会前五分钟、现场两小时、每天六坚持”、领导班子“三靠近”活动（靠近现场、靠近员工、靠近问题）等管理手段，提升企业安全文化。同时大力通过企业微信公众号、短视频平台等媒介，传播安全文化微内容，营造“安全即效益”的文化氛围。

4 建筑施工安全管理模式创新

4.1 智慧安全管理系统的技术架构与实施路径

智慧安全管理系统通过数字孪生、AI、边缘计算等技术的深度融合，构建“感知—分析—决策—执行”的闭环管理体系，实现安全风险的精准管控。

4.1.1 数字孪生驱动的三维可视化平台构建

基于BIM技术与物联网传感器，建立施工现场的数字孪生模型，实现物理场景与虚拟空间的实时映射。通过部署激光扫描仪、倾角传感器、环境监测设备等，采集

结构变形、设备运行状态、环境参数（温湿度、噪声、空气质量）等数据，以三维可视化形式呈现风险源分布。例如，在深基坑施工中，数字孪生平台可动态展示支护结构的应力变化，结合GIS技术标注地下管线位置，提前预警开挖风险。

4.1.2 5G+AI视频智能监控体系

集成5G通信网络与AI视觉算法，构建全覆盖的视频监控网络。在作业面、通道、危险区域部署4K高清摄像头与无人机，实时采集视频流数据，动态识别未戴安全帽、违规操作、区域入侵等行为，通过手机APP实时接收告警，并联动现场广播系统进行语音提示。例如，某地铁工地应用该系统后，违章行为发生率下降35%，应急响应时间从平均15分钟缩短至3分钟。

4.1.3 安全数字孪生体的个性化干预

为每位施工人员建立数字化安全档案，通过智能手环、智能安全帽等可穿戴设备，实时采集心率、体温、疲劳度等生理数据，并结合GPS定位追踪行为轨迹。利用神经网络分析人员行为模式与风险关联，构建个体风险画像。例如，系统可识别连续作业4小时以上的高疲劳人员，自动推送休息提醒，并调整其工作任务。安全数字孪生体还可与工伤保险系统对接，为事故责任认定提供数据支持。

4.2 全员参与安全管理模式的创新实践

通过机制设计与技术赋能，构建“人人有责、人人参与”的安全管理生态，激发组织活力。

4.2.1 区块链赋能的安全合伙人机制

建立“安全合伙人”联盟，将施工单位、分包商、供应商等利益相关者纳入管理网络。基于区块链技术搭建安全信用平台确保数据不可篡改，记录各方安全行为（如隐患上报、培训参与、违章记录）。例如，将安全信用评分与合同履约、工程款结算挂钩，对信用评分高的分包商优先推荐新项目。智能合约技术自动执行奖惩规则，当安全指标达标时，系统自动释放履约保证金，提升管理效率。

4.2.2 游戏化安全管理系统的设计与应用

开发游戏化安全管理平台，融入积分系统、虚拟勋章、安全排行榜等元素。员工通过完成安全培训、上报隐患、参与演练等任务获取积分，积分可兑换实物奖励或优先参与晋升考核。例如，设置“安全达人”勋章，对连续30天无违章的员工授予特殊标识。

4.2.3 安全微社区的自组织生态建设

构建移动端安全微社区，鼓励员工上传隐患照片、分享安全经验，对被采纳的建议给予现金奖励。社区设

置“安全论坛”“案例库”“在线答疑”等板块，形成自组织的知识共享体系^[4]。

4.3 安全管理绩效激励机制的创新设计

通过动态激励与长效机制，激发组织与个人的安全管理积极性。

4.3.1 动态弹性激励模型的构建

设计基于DEA（数据包络分析）的多目标优化模型，将安全绩效指标纳入评价体系。通过DEA计算各指标的效率值，动态调整激励权重。例如，当项目处于高风险阶段（如深基坑开挖），安全指标的权重可提升至40%，实现资源的最优配置。

4.3.2 安全期权与储备金制度的实施

引入“安全期权”概念，对连续3年安全绩效达标且无重大事故的团队，授予项目分红权（如提取项目利润的2%作为奖励）或优先参与优质项目的资格。建立安全风险储备金制度，按项目预算的1%~3%计提储备金，对通过优化安全措施节约成本的团队，按节约额的30%~50%给予奖励，提升员工创新创造积极性。

4.3.3 智能合约驱动的自动化激励

利用智能合约技术，将安全指标（如月度零事故、隐患整改率 $\geq 95\%$ ）写入代码，当条件触发时，系统自动执行奖励发放。例如，某项目设置“安全里程碑奖”，当完成地下室结构施工且无事故时，智能合约自动向团队发放奖金。智能合约的不可篡改性与透明性，确保激励的公正性，减少人为干预。

结束语

本研究通过技术创新与管理革新的双轮驱动，构建了具有前瞻性的建筑施工安全管理模式。未来可进一步探索数字技术与安全管理的深度融合，如开发基于数字孪生的安全决策支持系统，研究人机协同的安全管理伦理问题，推动建筑施工安全管理向智能化、精准化、可持续化方向发展。

参考文献

- [1]中国住房和城乡建设部.(2024).2023年全国建筑施工安全生产形势分析报告.
- [2]李华,张明.(2021).建筑施工机械伤害事故致因分析及预防对策.中国安全科学学报,31(5),123-129.
- [3]东南大学智慧建造与运维国家地方联合工程中心(2024).分布式光纤传感技术在道路空洞监测中的应用.
- [4]Smith,J.,Johnson,R.,&Brown,T.(2022).Neurobehavioral Safety Interventions in Construction. Journal of Safety Research,55,123-135.