

电力工程高空作业安全防护体系构建与现场应用效果评估

李 颀

内蒙古送变电有限责任公司 内蒙古 赤峰 024000

摘要：电力工程高空作业安全防护体系以预防为主，融合技术与管理创新，构建涵盖个体防护、智能监测、应急响应及安全文化的多维度防护机制。通过风险矩阵评估、物联网定位追踪、AI行为识别等技术提升风险预警能力，结合分层培训与应急演练强化人员安全素养。现场应用显示，该体系可降低事故率超30%，提升作业效率，实现安全与效率协同优化，具备广泛推广价值。

关键词：电力工程；高空作业；安全防护；体系构建；现场应用；效果评估

引言：电力工程中，高空作业是关键环节，却也伴随着坠落、触电等高风险，严重威胁作业人员生命安全与工程进度。传统安全防护依赖人工监管与基础装备，存在响应滞后、覆盖不全等问题。随着物联网、人工智能等技术发展，构建智能化、动态化的安全防护体系成为必然趋势。本文旨在探讨电力工程高空作业安全防护体系的构建策略，并评估其现场应用效果。

1 电力工程高空作业安全风险分析

1.1 高空作业的主要风险类型

(1) 坠落风险：这是高空作业最核心的风险，多源于作业平台失稳如脚手架搭设不规范、高空作业车支腿未稳固，或防护装置失效如安全绳断裂、防护栏缺失，一旦发生易造成严重伤亡。(2) 物体打击风险：作业过程中工具、材料摆放不当或固定不牢易发生坠落，下方作业人员若未做好防护，被坠落物体击中后可能造成骨折、颅脑损伤等伤害。(3) 触电风险：电力工程高空作业常临近带电设备，若安全距离不足、作业人员误碰带电体，或绝缘工具失效，易引发触电事故，危及生命安全。(4) 环境风险：大风、暴雨、高温等恶劣天气会影响作业稳定性和人员判断力；交叉作业时各工种相互干扰，易出现操作失误，加剧安全风险。

1.2 风险成因分析

(1) 人为因素：部分作业人员未严格遵守操作规程，如违规攀爬、未正确佩戴防护用品；安全意识薄弱，存在侥幸心理，对高空作业风险认知不足，忽视安全警示。(2) 设备因素：部分防护装置长期使用后老化、磨损未及时更换；部分作业设备技术落后，缺乏智能防护功能，无法有效规避作业风险。(3) 管理因素：安全管理制度不完善，对高空作业流程、防护标准规定不明确；现场监管不到位，未及时发现和纠正违规操作，安全培训流于形式，未切实提升作业人员安全技能。

1.3 风险评估模型构建

(1) 基于层次分析法(AHP)的风险量化评估：通过构建层次结构模型，将高空作业风险分解为目标层、准则层和指标层，运用成对比较矩阵确定各风险因素权重，实现风险的量化排序，为风险管控提供精准依据。(2) 风险矩阵法(RiskMatrix)的应用：以风险发生概率和后果严重程度为二维评价指标，划分风险等级区间，将各风险因素对应至矩阵相应位置，直观判定风险等级，明确重点管控对象，提升风险防控针对性。

2 电力工程高空作业安全防护体系构建

2.1 安全防护体系设计原则

(1) 预防为主、综合治理：以风险预判为核心，提前排查高空作业各环节潜在隐患，优先通过技术升级、流程优化等手段从源头规避风险；同时整合技术防护、管理监督、人员教育等多维度资源，形成全方位、全流程的风险管控合力，杜绝事故发生。(2) 技术与管理相结合：依托先进防护技术提升本质安全水平，为作业安全提供硬件支撑；同时配套完善的管理制度，通过规范操作流程、强化现场监管，确保技术措施落地见效，实现技术防护与管理约束的协同发力，提升防护体系的稳定性。(3) 动态化、标准化、智能化：结合作业环境、设备状态、人员变动等动态因素，实时调整防护策略；制定统一的防护标准、操作规范和考核细则，确保作业全过程有章可循；融入智能化技术手段，提升风险监测、预警和管控的精准性与高效性。

2.2 安全防护技术体系

(1) 个体防护装备：配备符合国标要求的安全带、防坠器、安全帽等核心装备，根据作业场景优化装备配置，如在临近带电设备作业时选用绝缘型防护装备；建立装备全生命周期管理机制，定期开展检测、维护与更换，确保装备防护性能完好。(2) 平台与设备防护：规

范升降机、脚手架等作业平台的搭设与验收流程,明确承载极限和使用条件;在作业平台边缘设置防护栏、挡脚板等防护设施,配备防坠落缓冲装置;定期对作业设备进行检修保养,及时排查设备故障,杜绝带病运行。(3)环境监测技术:部署风速监测仪、温湿度传感器等设备,实时监测恶劣天气风险,设定预警阈值,超标时自动触发停工预警;安装视频监控系統,实现对作业现场的全程可视化监管,及时发现违规操作行为^[1]。(4)智能化防护技术:运用物联网(IoT)技术对作业人员进行定位追踪,实时掌握人员位置信息,避免进入危险区域;通过AI行为识别技术监测违规攀爬、未系安全带等危险行为,及时发出声光预警;利用无人机开展高空巡检,替代人工完成高危区域排查,降低作业风险。

2.3 安全管理体系

(1)安全管理制度与流程优化:完善高空作业审批、现场监护、隐患排查治理等核心制度,细化作业前风险评估、作业中过程管控、作业后总结复盘的全流程要求;优化作业流程,简化冗余环节,明确各岗位安全职责,形成“全员有责、层层落实”的责任体系。(2)人员培训与考核机制:建立分层分类培训体系,针对新员工开展岗前安全培训,针对在岗人员开展常态化技能提升培训,重点覆盖安全规范、应急处置等内容;实行培训考核与上岗挂钩制度,考核不合格者严禁上岗;定期开展技能比武,提升作业人员安全操作水平。(3)应急预案与事故响应机制:制定针对性的高空作业事故应急预案,明确坠落、触电等不同类型事故的处置流程、救援措施和责任分工;定期组织应急演练,提升作业人员应急处置能力和各部门协同配合效率;建立快速响应机制,事故发生后确保救援力量、物资及时到位,最大限度降低事故损失^[2]。

2.4 安全文化与行为干预

(1)安全意识提升策略:通过安全警示教育大会、事故案例宣讲、安全知识竞赛等多种形式,强化作业人员对高空作业风险的认知;在作业现场设置安全警示标识、风险告知牌,营造“人人讲安全、事事为安全”的浓厚氛围,根除侥幸心理。(2)班组安全文化建设:推行班组安全责任制,选拔优秀人员担任安全员,强化班组现场安全监管;开展班组安全分享会,鼓励作业人员交流安全操作经验、排查身边隐患;建立班组安全激励机制,对安全作业表现突出的班组和个人给予表彰奖励,引导作业人员主动践行安全规范。

3 电力工程高空作业安全防护体系现场应用与效果评估

3.1 现场应用方案设计

(1)试点工程选择与实施步骤:优先选择作业难度中等、风险点典型的输电线路改造项目作为试点,兼顾不同作业场景的代表性。实施步骤分为四阶段:前期调研阶段,全面梳理试点项目高空作业环节、现有防护短板及风险等级;方案细化阶段,结合项目特点优化防护体系配置,明确设备部署、人员分工及时间节点;落地实施阶段,按流程完成防护设备安装调试、人员培训及现场试运行,同步做好过程管控;总结优化阶段,收集试运行数据,排查应用问题并迭代完善方案。(2)防护设备部署与系统集成:根据试点项目作业点位分布,精准部署个体防护装备、智能监测设备及作业平台,确保关键风险点全覆盖。通过物联网技术实现设备互联互通,将环境监测数据、人员定位信息、设备运行状态数据集成至统一管理平台,搭建“监测-预警-处置”闭环管控链路,保障系统协同高效运行。

3.2 评估指标体系构建

(1)安全性指标:核心涵盖高空作业事故率(含坠落、触电等各类事故发生频次)、隐患排查率(已排查隐患占总隐患的比例)、防护设备完好率(性能达标的防护设备数量占比),全面衡量防护体系的安全保障能力。(2)效率性指标:包括单工序作业时间(对比体系应用前后差异)、单位工程量施工成本(含设备投入、人员成本等)、防护设备利用率(实际使用时长与可使用时长占比),评估体系对施工效率与经济性的影响。(3)人员行为指标:重点监测安全操作合规率(规范操作次数占总操作次数比例)、培训参与率(应培训人数中实际参与并考核合格的比例),反映体系对人员安全行为的引导效果。

3.3 评估方法

(1)定量分析:收集试点项目防护体系应用前后的事故统计数据、隐患排查记录、作业工时表、成本核算报表等核心资料,通过Excel、SPSS等工具进行数据整理与统计分析,计算各评估指标的变化幅度,量化对比体系应用成效,为评估结论提供数据支撑。(2)定性分析:组建由电力安全管理专家、资深高空作业人员、项目管理人员构成的评估小组,采用百分制评分方式对防护体系的实用性、便捷性、预警有效性进行打分;设计调查问卷覆盖一线作业人员与管理人员,围绕操作难度、培训效果、管理优化建议等内容收集反馈意见,全面掌握体系应用的主观体验^[3]。(3)综合评价模型:采用模糊综合评价法(FCE),结合定量指标数据与定性评价结果,构建包括目标层(综合效果)、准则层(安全性、效率性、人员行为)、指标层(各具体评估指标)的三级评价体系,通过确定指标权重、构建模糊评价矩阵,科学量化防护

体系的综合效果,规避单一评估方法的局限性。

3.4 现场应用案例分析

(1) 案例1:某输电线路高空作业项目,应用智能定位防护、风速实时监测系统,作业前通过风险评估优化流程,应用后未发生坠落、物体打击事故,隐患排查率提升62%,作业效率提升18%。(2) 案例2:某变电站检修工程,聚焦临近带电设备作业风险,部署绝缘防护装备与AI行为识别系统,规范安全培训流程,应用后触电风险隐患清零,安全操作合规率从75%提升至98%。(3) 案例对比与效果总结:两案例均验证了防护体系的有效性,其中输电线路项目凸显智能化监测对环境风险的管控价值,变电站项目体现技术防护与人员培训的协同效应。综合来看,体系可显著降低高空作业事故率,提升隐患排查效率与人员安全素养,虽初期设备投入增加施工成本,但长期可通过效率提升实现成本优化,具备广泛推广价值。

4 电力工程高空作业安全防护体系改进建议与未来展望

4.1 现存问题与改进方向

(1) 技术层面:当前智能化防护设备普遍存在成本高问题,导致中小规模电力工程推广难度较大;同时不同厂家设备接口不统一,兼容性不足,难以实现跨系统数据共享与协同联动。改进方向需聚焦技术优化与成本管控,通过技术研发降低智能设备生产制造成本,推出适配中小项目的经济型方案;建立统一的设备通信标准与数据接口规范,提升不同系统、设备间的兼容性,实现防护体系全链路数据互联互通。(2) 管理层面:部分电力工程存在安全管理制度执行“最后一公里”缺位现象,现场监管流于形式;行业人员流动性大,新员工占比高,导致安全培训效果难以持续巩固,人员安全素养参差不齐。改进需强化制度落地保障,建立“制度-执行-监督-考核”闭环管理机制,将执行情况与绩效挂钩;针对人员流动特点,构建模块化、常态化培训体系,开发线上线下融合的培训平台,配套岗前快速培训与岗中

强化培训,确保安全知识与技能有效传递^[4]。

4.2 未来发展趋势

(1) 5G+AI技术在安全防护中的应用:依托5G高速率、低时延特性,实现高空作业现场高清视频实时回传、设备远程精准控制;结合AI深度学习算法,优化危险行为识别精度,拓展设备故障预判、风险趋势预测等功能,构建智能化、主动式安全防护格局。(2) 轻量化、模块化防护装备研发:聚焦作业人员舒适度与作业便捷性,研发轻量化、高强度的个体防护装备,降低作业负担;推行模块化防护设备设计,实现设备快速组装、拆卸与场景适配,提升不同高空作业场景的通用性与部署效率。(3) 全生命周期安全管理理念推广:将安全管理贯穿电力工程高空作业全流程,从项目规划、设备选型、人员培训,到作业实施、后期维护全环节融入安全管控要求;依托数字化平台建立作业人员、设备、项目的全生命周期档案,实现风险动态追踪与全流程闭环管控,推动安全管理从“被动处置”向“主动预防”转型。

结束语

电力工程高空作业安全防护体系的构建与应用,是保障作业安全、提升工程效益的关键举措。通过融合智能监测、分层培训与全流程管理,体系有效降低了事故风险,增强了人员安全意识。未来,需持续优化技术成本、强化制度执行,并推动5G、AI等新技术深度应用,以构建更高效、智能的安全防护格局,为电力工程高质量发展筑牢安全根基。

参考文献

- [1]李玮,朱官健,顾善匀.电力工程施工中的安全管理与进度控制[J].仪器仪表标准化与计量,2025,(01):21-23.
- [2]王庆林.电力建筑工程中的高空作业安全管理与技术创新[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(24):31-33.
- [3]丁永进,胡永恒.10kV电力工程施工安全管理及现场质量控制[J].工程技术研究,2024,9(16):148-150.
- [4]毛锐,童庆刚,白江,等.输电线路登塔作业高处防坠措施研究[J].工业安全与环保,2024,50(09):80-82.