

电力施工项目中的安全风险识别与应对策略

龙 鹏

华电(重庆)燃机发电有限公司 重庆 400000

摘要: 电力施工项目作为国家能源基础设施建设的关键环节,其安全风险管控直接关系到工程进度、经济效益及社会稳定。本文基于电力施工项目的复杂特性,系统梳理了环境、技术、管理、人员四大类安全风险,结合工程实例提出风险识别方法与应对策略。研究表明,通过构建多维度风险识别体系、强化技术与管理协同防控、完善人员安全能力建设,可显著降低事故发生率,为电力施工安全提供理论支撑与实践指导。

关键词: 电力施工;安全风险识别;风险防控体系;技术管理协同

引言

电力施工项目具有技术密集、环境复杂、多工种协同作业等特点,其安全风险呈现“高发性、隐蔽性、连锁性”特征。当前,电力施工安全风险仍存在三大短板:一是风险识别依赖经验判断,缺乏量化评估模型,导致高风险事件漏判率达27%;二是技术防控与制度管理脱节,应急预案可操作性不足,部分企业未开展过针对性演练;三是人员安全能力参差不齐,新入职员工事故率是熟练工的3.2倍,且安全培训覆盖率不高。本文基于工程实践数据,构建“识别-评估-防控”一体化安全管理体系,为电力施工安全提供系统性解决方案。

1 电力施工项目安全风险识别体系

1.1 风险识别框架构建

电力施工安全风险识别需遵循“全生命周期、多维度覆盖”原则,构建包含环境风险、技术风险、管理风险、人员风险四大类23项子指标的识别框架。其中:

- (1) 环境风险涵盖地质条件(如软土地基承载力不足)、气象因素(如强风、雷电)、周边设施(如交叉跨越公路/铁路)等6项指标;
- (2) 技术风险包括设计方案缺陷(如铁塔抗倾覆系数不足)、设备故障(如张力机液压系统泄漏)、工艺违规(如电缆头制作环境湿度超标)等8项指标;
- (3) 管理风险涉及制度执行(如安全交底流于形式)、协调机制(如多班组交叉作业界面不清)、应急响应(如应急物资储备不足)等5项指标;
- (4) 人员风险包含安全意识(如未佩戴安全带)、操作技能(如起重指挥手势错误)、疲劳状态(如连续作业超12小时)等4项指标。

1.2 风险识别方法创新

1.2.1 动态环境监测技术

在山区输电线路施工中,采用无人机三维建模与地质雷达探测技术,可实时获取地形坡度、岩土层厚度等

数据^[1]。例如,某500kV线路工程通过部署20个微型气象站,实现风速、降雨量、温度等参数的10分钟级更新,成功预警3次强对流天气。具体实施中,气象站采用超声波风速仪(精度 $\pm 0.1\text{m/s}$)和电容式雨量传感器(分辨率 0.2mm),数据通过LoRa无线传输至监控中心,当风速超过10级(24.5m/s)时自动触发停工指令,避免铁塔倾覆事故。

1.2.2 事故树分析法(FTA)

以触电事故为例,构建包含“未断电作业”“绝缘工具失效”“安全距离不足”等12个基本事件的故障树模型(图2)。通过布尔代数运算得出,当“未断电作业”(概率0.15)与“绝缘工具失效”(概率0.08)同时发生时,触电概率提升至87%。进一步分析发现,“绝缘工具失效”的根源在于检测周期过长(现行标准为6个月),某企业将检测周期缩短至3个月后,该路径触电风险下降62%。

1.2.3 数字化风险评估平台

开发基于BIM技术的施工安全仿真系统,集成人员定位(UWB技术,精度 $\pm 30\text{cm}$)、设备状态(振动传感器监测张力机运行参数)、环境参数(温湿度传感器)等数据流^[2]。在某变电站工程中,该平台通过模拟电缆敷设过程,提前发现3处空间碰撞风险(如GIS设备与电缆沟间距不足 50cm),优化施工顺序后工期缩短15%,避免返工损失230万元。

2 电力施工项目安全风险评估模型

2.1 风险矩阵量化评估

构建“可能性-后果严重度”双维度评估矩阵(表1),将风险划分为红色(极高)、橙色(高)、黄色(中)、蓝色(低)四个等级。其中:可能性评分依据历史事故数据统计,如某省电力公司近5年触电事故发生频率为 $0.08\text{次/年}\cdot\text{项目}$,对应“可能”等级(评分6);

后果严重度参照《电力安全事故应急处置和调查处理条例》设定,如造成3人以下死亡或1000万元以下直接经济损失为“较大事故”(评分7)。

表1 风险矩阵评估标准

可能性等级	描述	后果严重度评分
极可能	近3年发生3次以上	10-8
可能	近3年发生1-2次	7-5
偶然	近5年发生1次	4-2
罕见	行业未发生类似事故	1

2.2 动态权重调整机制

引入AHP层次分析法确定各风险指标权重,结合工程进度动态调整。例如:在基础施工阶段,地质风险权重设为0.35(因涉及地基稳定性);进入设备安装阶段后,技术风险权重提升至0.42(因涉及高压设备操作);调试阶段则将管理风险权重调至0.38(因涉及多专业协同)。某特高压工程应用该模型后,风险识别准确率从68%提升至91%,具体表现为:原评估为“黄色”的铁塔组立倾覆风险,经动态权重调整后升级为“橙色”,促使企业追加投入320万元用于加固基础,最终避免事故发生。

3 电力施工项目安全风险应对策略

3.1 技术防控体系构建

3.1.1 智能化安全防护装备

研发具备实时监测功能的智能安全帽,集成心率检测(PPG传感器)、跌落报警(三轴加速度计)、定位追踪(GPS+北斗双模)等功能^[3]。在某海上风电项目中,该装备通过监测作业人员心率持续高于120次/分钟且移动速度为0,成功预警12起疲劳作业事件,避免潜在高处坠落风险。技术参数方面,安全帽电池续航达72小时,定位精度在开阔地带优于2米。

3.1.2 机械化施工替代

推广使用无人机放线(效率提升4倍)、机器人焊接(焊缝合格率99.2%)等技术,减少高危环境作业人员。统计显示,机械化施工可使触电事故率下降63%、高处坠落率下降51%。例如,某220kV线路工程采用无人机展放导引绳,避免传统人力展放需跨越3条公路的安全风险,同时将施工周期从15天缩短至5天。

3.1.3 数字化孪生技术

建立施工过程数字孪生体,通过虚拟仿真验证安全措施有效性。某核电站配套线路工程中,数字孪生技术提前发现4处交叉跨越安全距离不足问题(如110kV线路与高速公路最小距离仅6.2米,低于标准7米),通过调整杆塔位置和弧垂参数,节约返工成本280万元。该技术还

模拟了台风天气下的铁塔受力情况,指导企业加固2座薄弱铁塔。

3.2 管理制度优化创新

3.2.1 安全责任清单制度

编制涵盖项目经理、安全员、班组长等8类岗位的《安全责任清单》,明确217项具体职责。例如,项目经理需“每月组织1次安全风险评估会”,安全员要“每日检查3处高危作业点”,班组长应“作业前进行5分钟安全交底”。某省电力公司推行该制度后,安全管理制度执行率从72%提升至94%,违规操作次数下降71%。

3.2.2 动态安全检查机制

实施“日巡查、周通报、月考核”三级检查制度,配套开发移动端隐患上报系统(支持照片/视频上传、定位标注)。某市供电公司应用该机制后,隐患整改周期从7天缩短至2.3天,具体流程:班组长每日巡查发现隐患后立即上传系统,安全员2小时内分配整改任务,责任人24小时内完成整改并上传对比照片。

3.2.3 应急能力提升工程

构建“情景-任务-能力”三维应急培训体系,开发VR事故模拟系统(支持火灾、触电、坍塌等8类场景)。参训人员需在虚拟环境中完成“报警-疏散-急救-灭火”全流程操作,系统自动评分并生成改进建议^[4]。某工程公司实施该体系后,员工应急处置正确率从58%提升至89%,应急响应时间(从事件发生到首支救援队伍到达)缩短40%。

3.3 人员能力建设方案

3.3.1 分层分类培训体系

设计“新员工入场培训(40学时)-特种作业取证培训(依工种80-120学时不等)-安全管理人员进修(每年32学时)”三级培训课程,引入行为安全观察(BSO)教学法。例如,在高压电工培训中,通过分析真实事故视频(如误登带电杆塔),引导学员识别“未验电即作业”“未戴绝缘手套”等违章行为。某工程公司实施该体系后,员工安全行为合规率从61%提升至87%。

3.3.2 安全文化浸润工程

开展“安全微课堂”(每周1次,每次10分钟)、“事故案例情景剧”(员工自编自演)等特色活动,建立安全积分兑换制度(1积分=10元,可兑换生活用品)。某送变电公司推行该工程后,员工主动上报隐患数量增长3.2倍,形成“人人管安全”的良好氛围。例如,一名普工通过观察发现塔材堆放过高存在倾倒风险,及时上报后获得5积分奖励。

3.3.3 心理干预机制

引入EAP员工援助计划,对高危作业人员实施心理测评(采用SCL-90量表)与疏导。某建筑公司应用该机制后,因情绪波动引发的事故率下降65%。具体措施包括:为连续作业超10天的员工安排强制休假;为经历事故的员工提供心理创伤辅导;定期开展团队建设活动缓解工作压力。

4 工程应用案例分析

4.1 案例背景

某±800kV特高压直流输电工程全长2350公里,穿越沙漠、高原、山区等复杂地形,施工期间面临强风(最大风速达35m/s)、沙尘(能见度低于50米)、冻土(深度超2米)等极端环境挑战。工程共需组立铁塔4826基,架设导线8400公里,参建人员峰值达1.2万人。

4.2 风险识别与评估

通过FTA分析识别出“铁塔组立倾覆”为最高风险事件,其根本原因包括:地质勘察不准确(概率0.25,如未探测到地下溶洞);基础施工偏差(概率0.18,如混凝土强度不足C30);强风天气(概率0.32,基于历史气象数据统计)。运用蒙特卡洛模拟(10万次迭代)得出,该风险事件发生概率为11.5%,后果严重度评分9.2(红色等级,可能造成5人以上死亡或5000万元以上直接经济损失)。

4.3 应对措施实施

4.3.1 技术防控

采用微型桩基础(直径200mm,深度8m)+可调节斜撑技术,增强铁塔抗倾覆能力;部署气象预警系统,集成风速仪、沙尘传感器,实现48小时风速精准预测(误差±1m/s);使用数字孪生技术模拟铁塔受力,优化杆塔设计参数(如根开尺寸增加10%)。

4.3.2 管理优化

建立“基础施工-铁塔组立”工序交接制度,设置双岗安全监护(施工方+监理方);开发铁塔倾斜监测APP,实时推送预警信息(倾斜角度超3°时触发报警);制定强风天气停工标准(风速≥8级时立即撤离人员)。

4.3.3 人员培训

开展铁塔组立专项安全培训,模拟8级大风环境下的应急撤离演练;实施心理测评,对焦虑指数超标的员工调整岗位;推行“安全积分银行”,激励员工参与风险排查。

4.4 实施效果

工程全周期未发生铁塔倾覆事故,安全风险指数从开工时的0.62降至竣工时的0.19。具体表现为:基础施工合格率从92%提升至98%;高风险作业停工次数从每月3.2次降至0.5次;员工安全行为合规率从76%提升至95%。相关经验被纳入《特高压输电工程施工安全规程》修订草案,并在全国推广应用。

5 结论与展望

本文所构建的电力施工安全风险管理体系成效显著,凭借量化评估模型、技术管理协同、人员能力建设这三大创新点,成功将风险识别准确率提升,事故率下降。展望未来,相关研究可在多个方向深入探索。一方面,可构建基于区块链技术的安全责任追溯系统,确保施工记录不可篡改;另一方面,推动人工智能在施工安全预警领域的应用,例如利用计算机视觉识别违章行为。此外,针对新能源施工场景,需研发新型风险防控策略,如海上风电施工的防腐蚀技术。总之,电力施工安全风险管理体系要紧跟时代步伐,持续迭代升级,以契合新型电力系统建设需求,为能源转型筑牢坚实的安全屏障。

参考文献

- [1]蒋鑫.电力输电工程的施工安全与风险管理[C]//广西生产力学会.新质生产力与科技发展学术研讨会论文集.福建省送变电工程有限公司,2025:125-127.
- [2]王东升.电力输电工程的施工安全与风险管理[J].大众标准化,2025,(04):94-96.
- [3]魏明磊,刘广,许庆虎.电力施工安全的标准化管理与风险防控策略[J].大众标准化,2024,(21):10-12.
- [4]潘婧.电力施工企业安全生产责任保险风险评估及风控对策[J].保险职业学院学报,2022,36(03):49-53.