

变电站设备检修现场安全管理风险防控研究

成磊磊, 张义如, 贺银志, 李 慧

(国网伊犁伊河供电公司, 新疆 伊宁 835000)

摘 要 本文以变电站设备检修现场实操场景, 系统拆解检修全流程中的人员、设备、环境、管理等四大维度的安全风险, 深入剖析现阶段现场安全管控与风险防范工作的短板及深层成因, 融入智能巡检、数字孪生等先进技术应用方向, 提出针对性风险防控优化路径, 构建事前预判、事中管控、事后复盘的全链条防控体系, 为变电站设备检修现场安全管控提供理论参考, 助力提升电力系统整体运维安全水准。

关键词 变电站; 设备检修; 现场安全管控; 风险防控

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.035

0 引言

变电站设备检修现场具有鲜明的作业特殊性, 户外与户内作业场景交织, 包含高空、高压、密闭空间等高危作业工况, 设备布局密集、电气接线繁杂, 误操作风险始终处于较高水平。检修作业需检修、运维、试验、监护等多岗位人员协同推进, 人员流动性强、作业流程繁琐, 对作业人员的专业能力、安全素养及现场管理效能提出极高标准。在变电站设备检修作业过程中, 人身触电、高空坠落、设备误动、火灾爆炸等安全事故仍时有发生。此类事故不仅会造成人员伤亡与直接经济损失, 还会破坏区域电网的正常供电秩序, 进而对社会生产生活的平稳运转产生间接影响。

1 变电站设备检修现场安全管控核心

1.1 人员维度风险

安全意识缺失易引发违规操作。部分检修人员存在侥幸心理, 未严格恪守安全作业规程, 未按标准佩戴绝缘手套、绝缘靴等作业防护用具, 擅自简化作业流程、违规开展操作, 作业期间注意力分散、行为散漫, 大幅提升触电、高空坠落等安全事件的发生概率。高压设备检修环节, 部分人员未严格落实验电、接地等标准化流程, 直接接触带电设备, 极易引发人身触电事故。

1.2 设备维度风险

设备操作及防护措施落实不到位。检修期间, 设备停送电、接地、隔离等操作程序不规范, 易引发设备误动、带电作业风险。停送电操作未严格执行操作票管控流程, 擅自操作断路器、隔离开关, 易造成电网误停电、带电设备误接地等问题^[1]。检修设备未按

标准设置隔离防护设施、悬挂警示标识, 易导致人员误触带电设备。接地系统失效、接地线松动、接地电阻超标, 易引发跨步电压、接触电压伤害。

1.3 环境维度风险

恶劣天气干扰作业安全。变电站多以户外布置为主, 检修作业易受暴雨、雷电、高温、严寒、大风等极端天气影响。暴雨天气易造成现场积水、设备受潮, 大幅提升触电风险; 雷电天气易引发雷击事故, 损毁设备且威胁作业人员人身安全; 高温天气易导致人员中暑、注意力下降, 同时降低设备绝缘性能; 严寒天气易造成设备元器件冻裂、操作机构失灵, 增加检修难度与风险; 大风天气开展高空作业, 高空坠落风险显著上升。

1.4 管理维度风险

管理制度体系不完善。部分电力企业未结合变电站检修现场实操特点, 构建适配性强的安全管理制度体系, 制度内容笼统、实操性差, 岗位安全职责、检修工序标准、风险防控措施等核心内容界定模糊, 导致现场安全管控无章可循、秩序混乱。

2 变电站设备检修现场安全管控现状及问题

2.1 风险辨识缺乏系统性与精准性

部分电力企业检修现场风险辨识工作缺乏系统化思维与针对性, 存在重显性风险、轻隐性隐患, 重表面问题、轻深层诱因的偏差。风险辨识范围覆盖不全, 多集中于人员违规操作、设备显性故障等常见点位, 对环境干扰、管理漏洞、新型设备衍生风险等内容排查不全面, 智能设备检修环节的软件故障、数据传输风险等问题未能及时识别。风险辨识方法单一, 过度

作者简介: 成磊磊 (1986-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 变电安全管理。

依赖管理人员经验判断,未引入作业风险评估(JSA)、故障树分析(FTA)等专业工具,风险辨识精准度不足,无法全面掌握现场风险分布特征与危害等级,难以制定针对性防控措施。危险源分类辨识体系不健全,未按电气、机械、环境、管理四大类别开展全方位排查,存在风险遗漏问题。

2.2 安全管理制度执行落地不到位

多数电力企业已构建完善的变电站检修安全管理制度体系,但实际操作环节中,制度与执行存在脱节现象,制度约束效力未能充分发挥^[2]。部分管理人员责任意识薄弱,现场安全管控流于形式,未严格监督作业人员遵守安全规程,对违规操作、不安全行为视而不见,“两票三制”、安全防护、隐患整改等核心制度执行缺失。

2.3 防控举措针对性与实效性不足

部分电力企业现场风险防控举措采用“一刀切”模式,未结合现场风险特征、作业工况差异制定差异化防控措施,高空、带电等高危作业场景专项防控举措缺失,内容笼统无法覆盖具体风险。防控举措落地质量不佳,安全防护设施搭设不规范、检测仪器未按期校验、应急物资储备不足等问题普遍存在,导致防控措施无法发挥应有作用。防控举措动态调整机制缺失,未结合检修进度、设备工况、环境变化实时优化,部分举措与现场实际脱节,风险防范效果不佳。

2.4 智能管控技术应用深度不足

现阶段,多数变电站检修现场安全管控仍以人工模式为主,智能化管控水平偏低,难以适配大规模、复杂化检修作业管控需求。风险监测依赖人工巡检,巡检效率低下、误差率较高,无法实现设备工况、环境变化、人员行为的实时监测,隐性隐患难以及时发现。大数据、人工智能、物联网等前沿技术融合应用不足,智能化风险防控体系尚未构建,设备状态监测、人员行为监控等系统缺失,无法实现风险实时预警、动态管控,风险防控主动性不足。智能巡检、数字孪生等技术与现场管控融合度偏低,数据采集碎片化、信息孤岛问题突出,全流程闭环管控难以实现。

2.5 应急处置能力难以适配实战需求

部分电力企业检修现场应急管理工作存在明显短板,应急处置能力无法适配实战需求。应急预案内容笼统,未结合现场风险点位细化处置流程、责任分工、操作要点,可操作性不强。应急演练开展频次不足、场景单一,演练流于形式,作业人员对突发事件处置流程、救援技能掌握不深入,事故发生后无法快速开展处置工作。应急物资储备缺口较大、日常维护缺失,

急救设备、消防器材未按期检查更新,事故发生后无法及时调配使用,易导致事故扩大。现场急救箱配备不到位、药品未及时补充更换,影响应急救援时效性。

3 变电站设备检修现场安全管控风险防控优化路径

3.1 健全风险辨识体系,实现精准风险定位

引入专业风险分析方法,结合现场实操特点,综合运用作业风险评估(JSA)、故障树分析(FTA)、事件树分析(ETA)等工具,全面拆解各类风险,明确风险表现形式、潜在危害及危害等级,划分一般、较大、重大、特别重大四级风险,建立现场安全风险清单,为防控措施制定提供数据支撑^[3]。高压带电作业等高危工序,通过专项风险评估拆解全流程风险,制定专属防控方案。构建风险动态辨识机制,结合检修进度、设备工况、环境变化开展周期性风险复核,实时更新风险清单、调整风险等级,确保风险辨识与现场实际同步适配。鼓励作业人员主动上报隐性风险,构建全员参与的风险辨识格局。

3.2 强化制度执行效力,完善监督考核机制

健全的制度体系与严格的监督考核,是防控措施落地的核心保障,需着力解决制度与执行脱节问题,确保安全管理制度落地见效。修订完善现场安全管理制度,贴合检修实操场景及行业标准,细化岗位职责、检修工序标准、风险防控要求,提升制度实操性。重点完善“两票三制”、安全防护、隐患整改、应急管理为核心制度,规范工作票、操作票填写、审批、执行流程,实现全工序有章可循。各单位结合现场实际制定规程实施细则,经审批后落地执行。优化安全监督考核体系,将安全履职情况纳入人员绩效考核核心指标,实现安全绩效与薪酬待遇、职务晋升、评优评先直接挂钩。对严守安全底线、履职到位的人员给予正向激励,对违规操作、引发安全隐患的人员给予严肃惩处,充分调动全员安全履职的积极性。建立隐患整改闭环考核机制,对整改不及时、不达标者给予通报追责,确保隐患清零到位。

3.3 夯实人员队伍建设,提升专业能力与安全素养

新入职人员必须完成岗前系统培训及考核,考核合格后方可上岗;资深人员定期参加新型设备、新技术迭代培训,更新知识体系,适配产业升级需求。定期组织行业规程专项学习,确保全员熟练掌握标准要求。开展多元化安全警示教育,通过事故案例剖析、安全知识竞赛、专项主题宣讲等形式,强化人员安全红线意识,摒弃侥幸心理,树立安全优先的作业理念。定期通报行业内检修安全事故案例,深挖事故诱因及教训,引导人员规范操作、遵守规程。规范人员资质

管控机制,定期开展人员专业技能、安全素养考核,考核不合格人员暂停上岗资格,经补考合格后方可恢复作业。严格落实行业规程要求,作业人员定期开展体检,杜绝身体病症影响作业安全。规范特种作业人员管理,确保其持证上岗,严禁无证操作。

3.4 优化防控举措设计,提升靶向性与落地性

针对设备风险强化全周期管控,检修前期开展全方位设备状态评估及隐患排查,借助专业检测仪器校验设备绝缘性能、运行工况,及时整改隐性隐患;严格把控工器具、备品备件质量,绝缘工器具、检测仪器按期开展性能校验,确保符合安全标准;SF6 电气设备检修严格执行专项规程,防范气体泄漏风险;规范设备停送电、接地、隔离操作流程,按标准设置防护设施及警示标识,定期检测接地系统,确保接地电阻符合要求^[4]。针对环境风险强化动态管控,密切监测天气变化,极端天气下暂停户外作业,待工况达标后恢复作业;对高危作业场景制定专项防控方案,高空作业规范搭设平台及防护设施,在密闭空间作业前完成通风、气体检测,配备应急救援设备;规范现场物料堆放,清理作业通道,及时清除油污、积水,设置安全围栏及警示标识,杜绝无关人员进入作业区域。夜间及密闭空间作业配备充足防爆照明设备,确保作业视线清晰;电缆沟、蓄电池室作业强化通风,防范有毒有害气体危害。建立防控举措动态调整机制,结合检修进度、设备工况、环境变化实时优化防控方案,针对新增隐患强化专项管控,确保防控举措与现场实际高度适配。

3.5 深化智能技术应用,升级管控智能化水平

紧扣智能电网建设趋势,深度融合大数据、人工智能、物联网、数字孪生等前沿技术,推进现场安全管控智能化升级,提升风险防控主动性与精准性,契合智能巡检、数字孪生技术应用方向。搭建设备状态智能监测系统,在核心设备加装传感器、监测终端,实时采集设备温度、振动、绝缘性能、运行参数等数据,通过大数据分析挖掘隐性隐患,实现风险提前预警。变压器等关键设备加装多维度监测装置,参数异常时实时发出预警,便于及时处置。实现风险实时监测、预警、分析、处置闭环管理,为管理决策提供数据支撑。深化智能巡检、数字孪生技术应用,打破数据采集碎片化、信息孤岛问题,搭建现场数字孪生模型,实现作业全过程智能识别、实时响应、风险闭环管控。探索智能巡检与人工巡检协同模式,提升巡检效率与精准度,降低人工依赖,推动检修现场安全管控向全自动、智能化转型。

3.6 完善应急管理体系,提升实战处置能力

健全的应急体系是应对突发事件、降低事故损失的最后防线,需通过预案优化、实战演练、物资保障,全面提升应急处置实战能力,契合行业规程应急管控要求。修订完善专项应急预案,结合现场风险特征,细化应急组织机构、责任分工、处置流程、操作要点,提升预案实操性。针对触电、高空坠落、设备爆炸、火灾等典型事故,制定一对一应急处置方案,明确处置步骤及防护要求。优化应急抢修流程,确保紧急情况下快速开展抢修作业,减少供电中断时间^[5]。开展常态化实战应急演练,针对典型事故场景组织专项演练,模拟事故工况,让全员熟练掌握处置流程、救援技能,提升应急反应及协同配合能力。演练结束后开展复盘总结,优化预案及处置措施,持续提升演练实效性。健全应急物资保障体系,建立专项物资清单,储备充足急救设备、消防器材、应急照明、通信设备等物资,确保随时可调取使用。定期开展应急物资检查维护,及时更换过期药品、失效器材,确保物资性能达标。

4 结束语

智能电网建设持续深化,变电站设备智能化水平不断提高,检修作业工况日趋复杂,安全风险防控标准也将持续提升。变电站设备检修现场安全管控应持续优化升级:深化前沿智能技术融合应用,依托人工智能、大数据、物联网、数字孪生等技术,构建全自动、智能化风险防控体系,实现风险实时监测、智能预警、自动处置;探索智能巡检、远程联动、动态决策一体化管控模式,进一步提升防控精准性与效率;加强行业内外经验交流,借鉴先进管控经验与技术,结合国内变电站实操特点优化防控体系,同步推动行业规程迭代完善,适应新型设备技术发展需求。

参考文献:

- [1] 魏凯,张杰.论变电站检修作业现场一站一案安全管理工作法[J].企业管理,2021(S1):388-389.
- [2] 刘慕娴,陆力瑜,莫蓓蓓,等.智能变电站安全运维策略研究[J].新型工业化,2021,11(10):88-90.
- [3] 赵李鹏.变电站设备状态检修和运维一体化技术分析[J].通讯世界,2025,32(09):133-135.
- [4] 张继敏,郑合欢.变电站设备状态检修方法研究[J].办公自动化,2024,29(21):88-90.
- [5] 李小晖.国网海北检修分公司变电运维检修管理方案优化研究[D].兰州:兰州大学,2021.