

变电检修运维中的安全风险评估与管控措施研究

吴 佳

- 1. 浙江容大电力工程有限公司 浙江 杭州 310000
- 2. 浙江容大电力工程有限公司富阳供电服务分公司 浙江 杭州 310000

摘 要：本文聚焦变电检修运维中的安全风险评估与管控措施，深入剖析设备自身、作业环境及人员操作管理等风险因素，构建科学的安全风险评估体系，明确指标选取原则、评估方法及风险等级划分标准。从技术、管理、人员三个层面设计针对性管控措施，包括应用智能监测技术、完善安全管理制度、强化人员培训等。研究成果为提升变电检修运维安全水平提供理论依据与实践指导，有助于降低安全事故发生概率，推动电力系统安全、高效运行。

关键词：变电检修运维；安全风险评估；风险管控；风险因素；电力系统

1 引言

随着现代社会对电力需求的持续增长，变电设备的稳定运行成为保障电力供应的关键环节。变电检修运维工作因作业环境复杂、技术要求高、操作流程繁琐，面临诸多安全风险，任何疏漏都可能引发设备故障甚至电力事故，严重影响社会生产与居民生活。科学评估与有效管控安全风险，是确保变电检修运维高效、安全开展的核心。目前，电力行业对安全风险防控日益重视，但现有研究在风险评估体系的系统性及管控措施的精准性上仍存在提升空间。本文基于此背景，深入分析变电检修运维安全风险因素，构建完善的评估体系，并提出针对性管控措施，旨在为电力企业提升安全管理水平提供理论支持与实践参考，助力电力系统安全稳定运行。

2 变电检修运维安全风险因素分析

2.1 设备自身风险因素

变电设备在长期运行过程中，受电气、机械、热效应等多重因素影响，不可避免出现老化、磨损与性能衰退现象，构成显著安全风险。变压器内部绝缘材料在高电压、高温作用下，会逐渐老化变质，引发局部放电甚至绝缘击穿，造成设备损坏与电力中断；断路器触头频繁分合操作，导致机械磨损加剧，触头烧蚀、接触不良等问题，影响正常开断与保护功能；隔离开关长期暴露于户外环境，易出现触头氧化、锈蚀，导致接触电阻增大，引发过热甚至熔焊事故。此外，设备设计缺陷、制造工艺不良等先天性问题，如部件材质不达标、装配精度不足，也会使设备在运行初期就存在安全隐患，增加故障发生概率，给检修运维工作带来巨大挑战，一旦在运行中出现故障，不仅影响供电可靠性，还可能危及检修人员人身安全。

2.2 作业环境风险因素

变电检修运维作业环境复杂多变，各类环境因素对

作业安全构成直接威胁。在户外变电站，恶劣天气是主要风险源，暴雨、雷电、大风等极端天气会增加设备故障风险，雷击可能损坏避雷器、变压器等设备，强风易导致异物搭接线路引发短路，暴雨积水则可能造成电缆沟进水、设备基础下沉。高温环境下，设备运行温度升高，加速绝缘老化，同时检修人员易出现中暑、疲劳等状况，影响操作准确性与安全性；低温环境中，设备油液黏度增加、机械部件变脆，易发生操作失灵、管道冻裂等问题。此外，变电站内复杂的电磁环境会干扰检测仪器正常工作，影响故障诊断准确性；部分老旧变电站空间狭窄、布局不合理，设备间距不足，增加了检修操作难度与误碰相邻带电设备的风险，使检修人员面临更高的触电、机械伤害等安全威胁。

2.3 人员操作与管理风险因素

人员操作与管理层面的问题是引发变电检修运维安全风险的关键因素。在操作方面，部分检修人员专业技能不足，对设备工作原理、操作规程掌握不透彻，在倒闸操作、高压试验等复杂作业中，易出现操作顺序错误、安全措施不到位等问题；工作中存在侥幸心理与习惯性违章，如不按要求佩戴防护用具、擅自简化操作流程，直接导致触电、高空坠落等事故发生。管理层面，安全管理制度不完善，责任划分不明确，导致安全管理工作落实不到位；安全培训流于形式，未能针对实际工作需求开展有效培训，人员安全意识淡薄；现场监督管理缺失，无法及时发现并纠正违规操作行为；应急预案缺乏实战演练，在突发事故发生时，不能迅速、有效地进行应急处置，从而扩大事故影响范围，给变电设备安全运行与人员生命安全带来严重威胁。

3 安全风险评估体系构建

3.1 风险评估指标选取原则

变电检修运维安全风险评估指标的选取必须遵循全面性、科学性、动态性和可操作性原则。全面性要求评估指标体系能够完整覆盖变电检修运维过程中涉及的设备、环境、人员及管理等方面，避免因指标遗漏导致风险评估不完整。科学性强调指标的选取要以电力工程理论和安全管理科学为依据，确保各项指标能够客观、准确地反映实际风险状况，例如通过设备的运行年限、故障频率等量化指标衡量设备老化程度。动态性是考虑到电力系统运行工况和外部环境的变化，要求指标体系能够适应新技术应用、设备更新以及环境条件的改变，及时纳入新出现的风险因素。可操作性则要求评估指标的数据易于采集和计算，能够在实际检修运维工作中高效应用，避免因指标过于复杂导致评估流程繁琐、成本过高。通过严格遵循这些原则，构建的评估指标体系能够精准捕捉变电检修运维过程中的潜在风险，为后续风险评估提供可靠的数据基础。

3.2 评估方法与模型构建

科学的评估方法与模型是准确评估变电检修运维安全风险的关键。本研究采用层次分析法（AHP）与灰色关联分析相结合的评估方法构建评估模型。层次分析法能够将复杂的风险评估问题分解为目标层、准则层和指标层，通过专家打分构建判断矩阵，确定各风险因素的权重，从而清晰地反映不同风险因素对整体风险的影响程度。灰色关联分析则针对变电检修运维中存在的信息不完整、数据量有限等问题，通过计算各风险因素与参考序列之间的关联度，量化评估风险因素的重要程度。两种方法的结合，既能有效处理复杂风险因素间的层次关系，又能克服数据不充分带来的评估难题。通过建立风险评估指标体系，运用该模型对变电检修运维中的各项风险因素进行综合评估，最终得出风险等级，为风险管控提供科学依据。如图一所示：

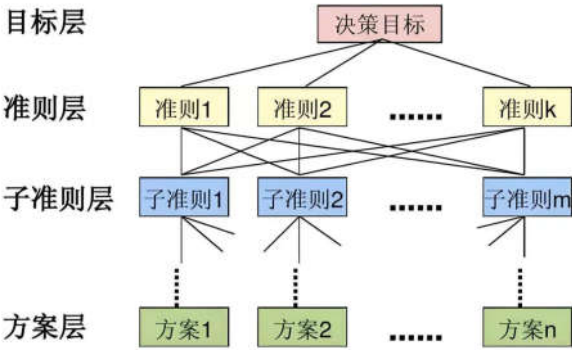


图1 层次分析法示意图

3.3 风险等级划分标准

合理的风险等级划分标准是实现风险分级管控的基

础。本研究依据风险发生的可能性和后果严重程度，将变电检修运维安全风险划分为四个等级：低风险、一般风险、较大风险和重大风险。低风险指发生概率较低且造成的后果轻微，不会对设备运行和人员安全构成实质性威胁，如设备表面轻微锈蚀等小问题。一般风险表示风险发生的可能性中等，一旦发生可能导致设备局部故障或短暂停电，对电力供应产生一定影响，例如个别保护装置出现误动作隐患。较大风险意味着风险发生概率较高，可能引发设备严重损坏、区域停电等事故，对电力系统安全稳定运行构成较大威胁，如变压器内部局部放电现象。重大风险则是指风险发生可能性高且一旦发生将造成大面积停电、设备损毁甚至人员伤亡等灾难性后果，如高压开关设备绝缘击穿等严重故障。明确的风险等级划分标准，能够帮助运维人员快速识别风险严重程度，以便采取相应的管控措施，合理分配安全资源，优先处理高风险问题，确保变电检修运维工作安全有序进行。

4 安全风险管控措施设计

4.1 技术层面管控措施

在变电检修运维安全管理中，技术层面的管控措施是提升系统本质安全水平的核心路径。一方面，大力推进智能监测技术的深度应用，构建基于物联网与传感器技术的设备状态感知网络，对变压器油色谱、局部放电、开关柜温度等关键参数进行24小时不间断监测，结合机器学习算法建立设备健康状态评估模型，实现故障隐患的智能诊断与预测性维护，提前规避因设备异常引发的安全风险。另一方面，积极引入智能化作业装备，推广无人机自主巡检系统，利用高分辨率成像与红外热像技术，快速发现绝缘子闪络、导线断股等隐蔽缺陷；部署智能巡检机器人，执行设备外观检查、数据采集、局放检测等任务，替代人工完成高压带电区域的近距离作业，显著降低人员暴露在危险环境中的概率。此外，针对老旧设备开展系统性技术改造，采用复合绝缘材料提升设备绝缘性能，应用永磁操动机构增强开关设备机械可靠性，通过技术升级从根源上消除设备先天性缺陷，提升设备运行稳定性与安全性，为变电检修运维筑牢技术防护屏障，有效降低设备故障引发的安全事故风险。

4.2 管理层面管控措施

科学完善的管理体系是保障变电检修运维安全的重要基石。首先，构建全流程安全管理制度框架，明确从检修计划制定、作业许可审批到现场执行、验收反馈各环节的安全标准与操作规范，细化岗位安全职责清单，将安全责任落实到具体岗位与个人。其次，强化作业现

场动态管控,严格执行“两票三制”,运用电子工作票系统实现作业流程的标准化与信息化管理;通过布置智能安全围栏、电子锁具等装置,构建物理隔离与权限控制双重防护体系,防止人员误入带电区域或误操作设备。同时,建立风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制,定期开展安全风险辨识与评估,针对高风险作业制定专项管控方案;利用隐患排查治理信息平台,实现隐患的发现、上报、整改、验收全流程闭环管理。此外,优化跨部门协同机制,加强与调度、运行、物资等部门的信息共享与联动,科学统筹检修计划,避免因交叉作业、资源冲突引发的安全风险,通过系统化、精细化的管理手段,提升变电检修运维安全管理效能。

4.3 人员层面管控措施

人员作为变电检修运维的直接参与者,其安全意识与专业能力是风险管控的关键防线。在安全教育培训方面,采用“理论+实操+案例”三位一体的培训模式,系统开展电力安全规程、设备操作技能、应急处置方法等培训,结合虚拟现实(VR)技术模拟触电、高空坠落等事故场景,强化人员对风险的直观认知与应急能力。建立分层分类培训体系,针对新入职员工、技术骨干、管理人员设计差异化培训课程,并通过在线学习平台实现培训资源的随时获取与巩固。在人员资质管理上,严格执行特种作业持证上岗制度,定期组织技能考核与资质复审,确保作业人员能力持续满足岗位需求。同时,关注人员身心健康管理,建立员工健康档案,推行弹性排班制度,避免因疲劳作业、情绪波动导致的操作失

误;通过开展安全知识竞赛、安全标兵评选等活动,培育企业安全文化,增强员工的安全责任感与自我保护意识。此外,建立健全安全奖惩机制,对安全表现优异的个人与团队给予奖励,对违章行为严肃追责,形成“人人重视安全、人人参与安全”的良好氛围,从根本上减少人为因素导致的安全风险。

5 结语

本研究围绕变电检修运维安全风险,系统剖析了设备、环境、人员及管理层面的风险因素,构建了科学的安全风险评估体系,并从技术、管理、人员维度提出针对性管控措施。未来,随着智能技术的发展,变电检修运维安全风险管控将向智能化、精准化方向深化,通过新技术与管理手段的融合,持续筑牢电力安全防线。

参考文献

- [1]崔恒月.智能变电站运维安全与设备维护分析[J].电子技术(上海),2023,52(11):336-337.
- [2]姜万新.变电系统运维中的风险与应对策略研究[J].中国科技期刊数据库 工业A,2023(5):191-193.
- [3]马伟东,韩伟,崔宁宁,刘磊,孔圣立.智能变电站二次设备检修风险控制技术研究[J].河南科技,2018(17):136-139.
- [4]刘洋.电力工程变电运行的安全技术要点及管理策略探究[J].数码设计(电子版),2024(2):0028-0030.
- [5]杨益公.500kV变压器运行风险评估及管控案例[J].电工技术(下半月),2017(8):54-55+57.