

电气设备安全运行与风险防控研究

王双喜

德宝路股份有限公司, 山东 德州 253000

[摘要]电气设备属于工业生产和民生保障的关键性基础设施,它所处的安全状况直接关联到人身安全,而且会波及到生产持续性以及社会运转的稳定情况。目前设备老化隐患累积、运维管理粗放、保护措施缺乏、人员安全意识薄弱等问题交织在一起,造成电气安全风险不断加剧,迫切需要从系统、全过程的角度来加强防控。文章从电气设备安全运行的基本要求入手,对目前存在的主要问题进行分析,并从状态监测、检修维护、保护防护、人员管理、预警应急五个方面提出相应的防控措施,为电气设备安全管理提供系统的参考。

[关键词]电气设备;安全运行;风险防控;状态监测;应急处置

DOI: 10.33142/hst.v9i8.20431

中图分类号: TM774

文献标识码: A

Research on Safe Operation and Risk Prevention of Electrical Equipment

WANG Shuangxi

Debaolu Co., Ltd., Dezhou, Shandong, 253000, China

Abstract: Electrical equipment is a critical infrastructure for industrial production and livelihood security. Its safety condition is directly related to personal safety and can affect the sustainability of production and the stability of social operation. At present, the accumulation of hidden dangers caused by equipment aging, extensive operation and maintenance management, lack of protective measures, and weak personnel safety awareness are intertwined, resulting in the continuous aggravation of electrical safety risks. It is urgent to strengthen prevention and control from the perspective of systems and the entire process. The article starts with the basic requirements for the safe operation of electrical equipment, analyzes the main problems currently existing, and proposes corresponding prevention and control measures from five aspects: status monitoring, maintenance and repair, protection and protection, personnel management, and early warning and emergency response, providing a systematic reference for electrical equipment safety management.

Keywords: electrical equipment; safe operation; risk prevention and control; status monitoring; emergency response

引言

电气设备在发电、输电、配电和用电各个环节都起着重要的作用,它的安全运行是现代社会正常运转的保证。近些年来,由于设备老化、管理欠缺以及操作失误造成的电气事故频发,显示出现行安全运行保障体系存在着明显的不足。2025 年全国共接报火灾 84.1 万起,其中由于电气故障引起的火灾有 25.9 万起,占总数的 30.8%,电气火灾已经成为各类火灾中占比最高的致灾因素,电气安全管理工作面临严峻考验。在此情况下,怎样从设备、技术、管理、人员等各方面创建起系统的风险防控体系,由被动应对变为主动防范,就成为电气安全管理领域的重要问题。本文按照基本要求、现状问题、防控措施的逻辑顺序进行论述,以期给实践提供可以操作的参考框架。

1 电气设备安全运行的基本要求

电气设备安全运行的基本要求包含设备本体、运行环境、管理制度、人员资质这四个方面的内容,构成一个互相联系的规范体系。设备本体上要保证绝缘性能好、载流部件连接紧固、保护装置灵敏可靠,运行参数要控制在额定范围内,高、低压电气设备的维修和定期预防性试验应符合现行行业标准《电力设备预防性试验规程》DL/T 596 的规定。运行环境应保证通风良好、温度和湿度适宜、孔洞严密封堵、有完善的消防设施,以防止外界环境过快造成设备老化。管理制度上要建立设备台账、运行档案,制定并落实巡检、检修、试验等规程,明确各级人员的安全责任,使设备从投运到报废的全过程都有制度可依。人员资质方面要求电气作业人员持证上岗,熟知操作规程及应

急处理程序,按规定穿戴绝缘手套、绝缘鞋等劳动防护用品,使作业行为在可控范围内。这四个层面互相支撑,任何一个环节出现疏漏都会成为事故的诱发因素,所以安全运行保障要覆盖设备整个生命周期以及作业全过程,在每一个环节上都要构筑起牢固的安全防线。

2 电气设备安全运行现状及主要问题

2.1 设备老化与故障隐患

设备老化属于目前电气安全运行所面对的首要问题。大量配电设施建成年代较早,设备使用年限大于设计寿命之后,绝缘材料老化、导电回路接触电阻增大、机械操作机构磨损等状况比较明显。在对 179 家企业的电气安全专项检查中,共发现各种缺陷项 1076 项,现场类隐患 970 项,占全部的 91.2%,主要集中在线路敷设不规范、电气设备老化、安全工器具不合规、孔洞封堵不严、私拉乱接、杂物堆积等 10 个方面。这些隐患有隐蔽性和渐进性的特点,变压器绝缘老化会引起匝间短路,电缆绝缘层破损会引发接地故障甚至电气火灾,断路器机构卡涩会造成拒动或者误动,在日常巡检时很难被及时发现,一旦发展成故障,后果十分严重。部分厂房、仓库使用年限大于十年,电气线路老化、设备损耗等结构性隐患较多,老旧设备数量多、隐患多,设备运维保障压力不断增大。

2.2 运行维护管理不到位

运行维护管理不到位属于设备隐患产生的一种制度性原因。部分用电单位缺少系统的设备管理制度,巡检流于形式,维保计划执行不到位。管理类缺陷主要表现为维保缺失、应急预案空白、安全责任悬空、电工无证上岗、制度不健全等。一些单位的设备运行档案不完整,检修记录缺少,不能追溯到设备状态变化的趋势,部分场所长时间没有进行预防性试验,造成设备带病运行的情况比较普遍。目前很多用电单位的系统设备既有新设备又有旧设备,老旧设备处在典型的故障“浴盆曲线”的两端,传统运维模式下设备故障隐性、线路风险突然等现象越来越突出,管理链条的断层造成技术层面的隐患不能用制度手段加以控制^[1]。运维人员数量不足、技术水平参差不齐也影响了管理质量的提高,巡检发现的问题不能及时闭环处理,管理缺失和技术隐患互相叠加,成为很多电气事故的共同前兆。

2.3 电气保护措施存在不足

电气保护措施是防止事故扩大、保证人身安全的有力防线,在实际运行过程中常常会因为配置不当或者维护缺失而出现隐患。接地保护方面,部分设备的接地电阻大于规定的值,接地线连接不牢固,保护接零或者保护接地线

路上不允许装设开关、熔断器以及任何断开零线或者地线的保护电器,但是违规装设的情况仍然存在。漏电保护方面,一些场所没有按照规定安装漏电保护器,或者安装后没有定期做动作试验,造成保护功能失效。一般场合漏电保护器的额定漏电动作电流不应大于 30mA,额定漏电动作时间不应大于 0.1s,使用在潮湿或者有腐蚀性介质场所的,剩余电流动作保护器应为防溅型产品,但在实际执行过程中,部分场所仍未达到标准。继电保护装置定值设置及检验管理还存在着薄弱之处,一些保护装置长时间没有进行校验,导致动作可靠性得不到保障。缺少保护措施会使设备一旦出现故障就无有效的隔离和切除方式,故障范围会迅速扩大,由单台设备损坏发展成区域性停电或者人身伤害事故。

2.4 作业人员安全意识有待提升

人的不安全行为属于电气事故的诱发因素。从事故调查结果可以看出,触电事故的主要间接原因都是违章操作。事故间接原因有作业人员没有取得特种作业操作证、没有切断电源、没有佩戴劳动防护用品的情况下,独自进行低压涉电作业,也包括相关单位未对设备检修存在的危险有害因素进行分析、未制定相应的消除和控制危害的措施。部分作业人员存在侥幸心理,习惯性违章操作时有发生;新上岗人员、劳务外包人员安全培训不到位,对电气危险认识只停留在表面^[2]。安全意识的缺乏在操作环节上也有体现,在风险辨识环节上也存在,作业前没有进行安全风险辨识,没有对设备进行安全检查,没有发现存在的漏电隐患,就贸然进入作业状态。安全意识的提高不能只依靠教育培训,还要依靠制度约束、现场监督来形成行为习惯的固化,把安全规程从外在的要求变成内在的自觉。

3 电气设备安全运行与风险防控措施

3.1 加强设备运行状态监测

状态监测是发现设备隐患、实施预防性维修的基础方法。根据《变电设备在线监测系统技术导则》DL/T 1430-2025 总体原则、系统架构、配置原则、功能要求、技术要求、试验、调试、验收等要求,对变压器类、开关类、电容型设备、金属氧化物避雷器等变电一次设备进行在线监测装置的配置。该标准由全国电力设备状态维修和在线监测标准化技术委员会归口管理,于 2025 年 12 月发布、2026 年 6 月实施,全部代替 DL/T 1430—2015,体现出有在线监测技术领域的发展要求。监测参数应包括温度、局部放电、泄漏电流、振动等主要参数,用多种类型的传感器进行采集,从而达到热、电、声三方面的数据融合分析的目的。从技术路线来说,可以利用智能算法对电

流信号、用电数据进行深入的分析,快速地发现短路、漏电、线路老化等各种电气火灾隐患,并且可以区分出真实的危险源和误报源。监测系统应该具有异常自动报警、故障定位的功能,保证运维人员可以及时地对隐患进行处理,防止隐患发展成重大事故^[3]。状态监测的价值就是将定期检修转变为按需检修,使有限的运维资源集中在真正需要关心的设备上,提高安全管理的准确性、经济性。

3.2 完善设备检修与维护制度

检修维护制度是保证设备持续安全运行的重要手段。应建立日常巡检、定期检修、状态检修、故障检修相结合的检修体系,明确各种检修的周期、内容、标准、责任分工。日常巡检主要对设备的外观、温度、声音、振动、异味等进行感官检查;定期检修根据计划开展清扫、紧固、绝缘测试和预防性试验等工作。DL/T 596—2021 版规程于 2021 年 12 月正式发布,2022 年 6 月 1 日全面实施,取代运行十多年的旧版规程,增加了特高压交直流设备、新一代 GIS/HGIS 充气设备、大容量交联聚乙烯电缆、新能源并网配套设备、智能成套开关柜等新型装备的试验项目、判定阈值和试验流程,实现了主流电力设备试验标准的全覆盖。还应建立完善的检修记录、档案管理制度,实行设备全寿命周期可追溯管理。具体的检修计划如表 1 所示。

3.3 强化电气保护与安全防护

电气保护和安全防护属于防止事故发生的最后一道技术防线。应按有关标准规范完善接地保护系统,定期检测接地电阻,保证保护接地的连续性、可靠性。漏电保护器的配置要达到分级保护的目的,总配电箱内剩余电流动作保护器的额定剩余动作电流应大于 30mA,额定剩余电流动作时间应大于 0.1s,但是其额定剩余动作电流与额定剩余动作时间的乘积不应大于 30mA·s,在总配电箱和开关箱内分别设置保护装置来实现分级保护,保证故障发生时可以可靠地动作。继电保护装置应按照 DL/T 587—2025 中关于保护装置总体要求、职责分工、技术管理、规划设计、工程管理、运维管理、检验管理、定值管理等要求进行配置和管理,定期校验定值,保证保护装置的选择性、快速性。另外还要加强设备遮栏、警示标志、安全

距离等物理防护措施,保证使用的绝缘工器具是合格的,定期试验,从技术上尽可能地减少触电和电气火灾的发生。保护系统有效性的维持要依靠定期的检验、试验,任何装而不管的保护装置都不能起到安全屏障的作用。

3.4 加强人员安全管理与培训

人员安全管理工作要从资质准入、培训教育、行为监督三个方面进行系统推进。电气作业人员必须经过专门的安全技术培训考试合格后,取得相应操作资格证才可上岗,对新上岗人员和劳务外包人员资质进行审核。培训教育方面,按照应急管理部印发的《低压电工作业人员安全技术培训大纲和考核标准》等 6 个培训大纲和考核标准的要求,定期开展安全知识、操作技能、应急处置培训,内容包括电气安全规程、典型事故案例、个人防护用品使用、应急救援技能。通知于 2025 年 7 月 11 日形成、7 月 18 日发布,目的是提高特种作业人员安全技术培训考核内容的科学性、针对性、实效性,提高培训考核质量。行为监督上要建立作业审批、现场监护制度,高压设备操作双人作业,违章行为严格考核问责,用制度约束来养成安全行为^[4]。安全培训效果不能用培训次数来衡量,而应该以作业人员在实际操作中是否能正确识别风险、规范执行安全措施作为检验标准,使培训真正转化为安全行为能力的提高。

3.5 建立风险预警与应急处置机制

风险预警和应急处置机制是把安全管理工作向前推进、削减事故影响的关键保证。预警机制建设上,应根据 GB/T 40437—2021《电气安全风险预警指南》中给出的一般原则与逻辑过程,以预警风险要素确定、预警风险要素监测、预警等级确定、预警措施及预警评估等环节为基础来建立完整的流程,该标准适用于交流额定电压 1000V 及以下、直流额定电压 1500V 及以下的电气设备及系统进行电气安全风险预警。根据设备健康状况、运行环境、负荷变化等各方面因素来综合判定预警等级,当监测系统出现异常信号的时候,会立刻发出相应的等级预警并传送到相关责任人处,从而达到快速反应的目的。应急处置上要针对电气火灾、触电事故、设备爆炸等典型情况制订专项应急预案,确定处置流程和人员分工,定时举行演练,保证预案的可行性与有效性。事后要及时进行事故分析

表 1 电气设备检修维护制度

检修类型	周期	主要内容	执行标准/要求	责任人	记录归档
日常巡检	每班/每日	温度、声音、振动、异味、指示仪表、接头状态	巡检卡、运行规程	值班员	巡检记录
定期检修	半年/年度	清扫、紧固、绝缘检查、接地检查	检修规程、DL/T 596	检修班	检修报告
状态检修	按监测结果	根据在线监测数据及试验结果安排	状态评价标准	技术员	状态评估记录
故障检修	故障发生后	故障定位、部件更换、修复后试验	抢修规程	检修负责人	抢修记录
预防性试验	年度/规定周期	绝缘电阻、耐压试验、接地电阻测试	DL/T 596 等相关标准	试验人员	试验报告

与整改,把经验教训反馈到预警指标及防控措施的改进上,从而形成监测、预警、处置、改进的闭环管理。预警机制有效与否取决于预警阈值设置是否合理、预警响应流程是否顺畅,不能因为阈值过高而造成漏报,也不能因为阈值过低而频繁出现误报,从而产生“狼来了”的效果。

4 结语

电气设备安全运行和风险防控属于牵涉设备、技术、管理以及人员的系统工程。设备老化及隐患累积、运维管理不善、防护措施欠缺、人员安全意识低下的问题互相交错,这就决定风险防控要实施多方面、全方位的综合手段。通过状态监测实现隐患早发现,完善检修维护制度保证设备健康水平,强化保护防护筑牢技术防线,提高人员安全素质减少人为失误,建立预警和应急机制保证快速响应,才能构建起预防为主、防控结合的电气安全保障体系。伴随着在线监测技术以及智能诊断方法的不断发展,电气

安全管理也由原来的定期检修向状态检修、由被动应对转向主动防控转变,给提高电气设备的安全运行水平赋予了新的技术途径,在实践中不断探索并加深。

[参考文献]

- [1]马红.电气设备及系统的安全风险预警体系构建研究[J].电气技术与经济,2020(1):80-83.
- [2]聂龙.高层建筑电气设备消防安全管理[J].中国科技纵横,2026(11):136-138.
- [3]陈国伟.现代建筑电气设备安全检测技术研究[J].新城建科技,2024,33(9):113-115.
- [4]毛雨.建筑工程施工现场用电安全及电气设备供电安全探究[J].中国设备工程,2022(20):66-68.

作者简介:王双喜(1984—),山东德州人,中级工程师,毕业于山东农业大学电气工程及其自动化专业,本科,运保车间副主任,专业方向为电气设备的运行维护、保养及维修等。