

供用电技术安全性与可靠性的影响因素

杨中刚 都旭超

北京科学中心 北京 100029

摘要：本文系统剖析供用电技术安全性与可靠性的影响因素，从设备、人员、环境、管理等维度切入，深入探讨其对供用电系统的作用机制。同时，针对这些影响因素，提出技术创新、设备管理优化、人员培训、环境保护及管理完善等提升策略，旨在为保障供用电安全可靠运行、推动电力行业稳定发展提供理论与实践参考。

关键词：供用电技术；安全性；可靠性；影响因素；提升策略

引言

在现代社会，电力供应如同经济社会发展的“生命线”，供用电技术的安全性、可靠性直接关系到生产生活的正常运转。一旦供用电系统出现问题，将引发生产中断、经济损失，甚至威胁人身安全。随着电力需求增长与系统复杂度提升，深入研究供用电技术安全性与可靠性的影响因素，并探寻有效提升策略，成为保障电力稳定供应的关键课题。

1 供用电技术概述

供用电技术贯穿电力从生产到消费的全链条，是维系现代社会运转的关键技术体系。从发电端的能源转换开始，火电利用煤炭燃烧驱动汽轮机发电，水电依靠水流推动水轮机，风电、光伏则分别将风能、光能转化为电能；输电环节依托高压、超高压线路，跨越数百公里将电力输送至负荷中心；变电环节通过变压器改变电压等级，满足不同场景的用电需求；配电系统如同城市的“电力毛细血管”，将电能精准分配到社区、工厂；用电环节则关乎各类电器设备的安全高效运行。这一系列环节紧密相连，涉及系统规划布局、设备选型维护、电能质量调控等多方面内容。其核心目标聚焦于电力供应的稳定、高效与安全。安全性要求通过完善的绝缘防护、精准的继电保护装置，防范触电、火灾等风险，守护人员安全与设备稳定；可靠性着重减少停电时间与频次，确保电力持续供应。在实际运行中，二者相互依存：只有保障供用电安全，才能维持电力稳定输送；而可靠的电力供应，又能避免因频繁停电、电压波动引发的安全隐患。二者共同构成衡量供用电技术水平的核心标准，直接影响着社会生产与居民生活的正常运转^[1]。

2 供用电技术安全性的影响因素

2.1 设备因素

设备是供用电系统的物质基础，其质量与状态直接决定安全性。设备制造缺陷会导致先天性不足，如变压

器铁芯硅钢片叠装不紧密，会产生较大的空载损耗与振动噪声，长期运行可能引发绝缘老化甚至故障。设备老化问题也不容忽视，输电线路的绝缘子长期受风雨侵蚀，表面绝缘性能下降，易引发闪络放电；电缆绝缘层老化开裂，会导致漏电甚至短路。此外，设备选型不当，如断路器额定电流无法满足实际用电负荷，易引发过载烧毁，威胁系统安全。

2.2 人员因素

人员操作与管理行为对供用电安全影响深远。操作人员专业技能不足，在进行高压设备检修时，可能因接线错误导致相间短路；安全意识淡薄的人员，未按规定佩戴绝缘防护用品进行带电作业，极易发生触电事故。管理人员决策失误，如不合理安排电网运行方式，可能导致局部电网潮流分布不均，引发设备过载，增加安全隐患。

2.3 环境因素

自然环境与电磁环境均会干扰供用电安全。雷击可能直接击中电力设施，造成设备绝缘击穿；暴雨导致地下配电室积水，会使电气设备受潮损坏。复杂电磁环境中，附近的大型工业设备产生的谐波注入电网，会影响继电保护装置正常工作，导致误动作；通信基站的电磁辐射可能干扰电力自动化控制系统，引发信号传输错误。

2.4 管理因素

管理体系不完善会削弱供用电安全性。设备维护管理制度缺失，无法及时对设备进行预防性维护，小故障逐渐积累成大问题；安全监督机制不健全，对违规操作行为不能及时发现与纠正；应急预案缺乏针对性与实操性，面对突发事故时，无法迅速有效应对，可能扩大事故影响范围^[2]。

3 供用电技术可靠性的影响因素

3.1 电源侧因素

电源的稳定性是保障供电可靠性的源头。发电机组

故障,如汽轮机叶片断裂,会导致发电中断;新能源发电受自然条件制约,风力发电场风速不稳定、光伏发电受光照强度影响,导致输出功率波动大,难以满足稳定供电需求。电源容量不足,在用电高峰时期,无法满足用户负荷需求,会引发拉闸限电,降低供电可靠性。

3.2 电网侧因素

电网结构不合理会制约供电可靠性。部分地区电网网架薄弱,输电线路过长、导线截面过小,导致线路损耗大、电压质量差,且一旦某条线路故障,易引发大面积停电。变电站设备老化、继电保护装置误动或拒动,也会影响电网正常运行。此外,电网运行方式安排不当,如环网未合理解环运行,故障时会扩大停电范围。

3.3 用户侧因素

用户端用电行为与设备状况影响供电可靠性。用户内部电气设备故障,如工厂大型电机绝缘损坏发生短路,可能引发上级电网跳闸;用户无序用电,在同一时段集中启动大功率设备,会造成电网电压骤降,影响其他用户正常用电。部分用户缺乏自备应急电源或应急电源无法正常投入使用,在停电时无法保障自身用电需求,也间接反映出供电可靠性问题^[3]。

4 提高供用电技术安全性与可靠性的策略与措施

4.1 技术创新与应用方面

(1) 智能电网技术凭借先进的传感器、通信与控制技术,正重塑供用电系统的运行模式。在城市配电网中,通过在变压器、断路器等关键设备上部署智能传感器,可实时采集设备温度、电流、电压等运行数据。一旦监测到某条线路出现短路故障,系统能在毫秒级时间内定位故障点,并自动控制附近的分段开关动作,将故障区域隔离,避免停电范围扩大到整个片区。例如,在上海某新区的智能电网改造后,故障平均修复时间从过去的2小时缩短至15分钟。(2) 分布式能源技术的应用为供电可靠性提供了新路径。在工业园区内,企业可建设屋顶光伏发电系统与小型风力发电装置,所产生的电能就近接入配电网。当外部大电网出现故障时,分布式电源能快速切换至孤岛运行模式,保障园区内关键生产线的持续供电。美国加利福尼亚州部分地区通过分布式能源系统,在山火导致主电网中断期间,仍维持了医院、消防站等重要机构的电力供应。将分布式能源融入现有体系时,需攻克并网技术难题。例如,研发具备功率平滑控制功能的逆变器,解决新能源发电功率波动问题;建设微电网能量管理系统,实现分布式电源与主电网的协同运行。(3) 电力电子技术在改善电能质量方面成效显著。在钢铁厂、电弧炉等非线性负荷集中区

域,安装静止无功发生器(SVG)和有源电力滤波器(APF),可实时补偿无功功率,抑制谐波电流。某大型铝厂应用APF后,电网中的谐波含量下降60%,变压器损耗降低15%,有效减少了因电能质量问题引发的设备故障。为推动这些技术的广泛应用,需开展设备国产化研发。目前部分高端电力电子器件依赖进口,通过产学研合作,突破功率半导体器件、控制芯片等核心技术,降低设备成本,提高市场普及率。

4.2 设备管理与维护优化方面

(1) 完善设备采购管理是保障系统安全的第一道防线。电力企业应建立涵盖技术参数、生产工艺、质量认证、售后服务等维度的供应商评估体系。在变压器采购中,除了关注额定容量、短路阻抗等基本参数,还需考察厂家的绝缘材料生产工艺、绕组绕制技术。通过实地考察供应商的生产车间,检查硅钢片裁剪精度、真空干燥处理流程,确保设备制造质量。同时,建立供应商黑名单制度,对曾提供劣质设备的厂家实施市场禁入,倒逼企业重视产品质量。(2) 科学的设备维护计划需结合设备运行数据与历史故障记录制定。对于110kV及以上电压等级的输电线路,可根据线路负荷、绝缘子污秽度、气象条件等因素,划分不同的维护等级。在重污染工业区附近的线路,缩短绝缘子清扫周期;在雷暴高发区,提前检查线路防雷装置。引入状态检修技术后,红外热成像仪可检测电气接头的发热情况,局部放电检测仪能捕捉设备内部的绝缘缺陷。某变电站利用红外测温发现主变套管将军帽处温度异常升高,及时安排检修,避免了套管爆炸事故。通过建立设备健康档案,将检测数据与历史状态对比分析,预测设备剩余寿命,实现精准维护^[4]。

4.3 人员培训与素质提升方面

(1) 高校电力专业教育改革应紧跟行业发展趋势。在课程设置上,除了传统的电力系统分析、高电压技术等课程,增设智能电网信息通信、分布式电源并网技术等前沿课程。例如,华北电力大学与国家电网合作开设“智能配电网实践”课程,学生在虚拟仿真平台上操作智能电表、配电自动化终端,掌握故障定位与隔离的操作流程。通过校企联合培养模式,让学生参与实际工程课题研究,提升解决复杂工程问题的能力。(2) 职业培训机构需强化实操技能训练。针对电力电缆敷设、高压试验等实操性强的岗位,建设模拟实训基地。学员在1:1还原的变电站场景中,练习倒闸操作、继电保护调试等技能。培训内容还应涵盖新型设备的操作,如新能源电站的储能系统充放电控制、智能巡检机器人的操作维护。企业内部培训则注重知识更新与安全意识培养。

定期邀请行业专家讲解最新的电力安全规程、智能电网建设案例；组织“安全警示月”活动，通过触电事故VR模拟体验，让员工直观感受违规操作的危害。建立员工技能成长通道，将培训成绩与岗位晋升挂钩，激发员工学习积极性。

4.4 环境保护与应对措施方面

(1) 在自然环境防护上，电力设施建设需因地制宜采取措施。在多雷地区，输电线路可采用“多针式优化避雷针+线路避雷器”的双重防护体系。这种避雷针通过优化针尖结构，扩大保护范围；线路避雷器则安装在绝缘子两端，限制雷击过电压。在沿海台风高发区，变电站的设备架构需加强抗风设计，主变压器采用地埋式安装，降低台风对设备的破坏风险。对于易受洪水侵袭的区域，将配电室基础抬高至历史最高洪水位以上，并设置防水挡板和排水泵。(2) 应对电磁环境干扰，需从屏蔽与滤波两方面入手。在变电站二次设备室，采用铜网屏蔽墙结合金属屏蔽门的方式，将电磁干扰强度降低40dB以上。针对工业企业产生的谐波污染，在用户侧安装无源滤波器，滤除特定频次的谐波电流。在电力规划阶段，通过电磁环境模拟软件，分析新建变电站、输电线路对周边通信基站、广播电视信号的影响，合理调整线路走向和设备布局。某城市在建设500kV变电站时，通过优化选址和加装屏蔽装置，将对附近气象雷达站的电磁干扰控制在标准限值以内^[5]。

4.5 管理完善与制度保障方面

(1) 电力企业需构建覆盖全员、全过程的安全管理制度。在岗位安全职责方面，明确规定运行值班人员每两小时进行一次设备巡检，详细记录设备运行参数；检修人员在作业前必须完成“工作票-操作票”双票审核流程。建立安全责任追溯机制，一旦发生事故，通过调取操作记录、监控视频，明确相关人员责任。激励机制的设计可采用积分制，员工每提出一条有效的安全改进建

议，奖励相应积分，积分可兑换培训机会、绩效奖金。

(2) 应急预案的优化需注重实操性。制定变电站全停、重要用户停电等专项预案，并绘制详细的应急处置流程图。定期组织多部门联合演练，模拟台风导致多条线路跳闸的场景，检验调度部门、运维部门、抢修队伍之间的协同能力。演练结束后，通过复盘会议分析处置过程中的问题，如信息传递延迟、物资调配不及时等，针对性地修订预案。某省级电网通过每年开展3-4次实战演练，将重大故障的平均处置时间缩短30%，应急响应能力显著提升。

结束语

供用电技术安全性与可靠性受多方面因素综合影响，提升其水平是一项系统工程。通过技术创新应用、设备管理优化、人员素质提升、环境保护应对以及管理完善等多维度策略协同推进，可有效降低风险、增强系统稳定性，为经济社会发展提供坚实的电力保障。未来，随着技术进步与管理理念革新，供用电技术将朝着更安全、更可靠的方向持续发展。

参考文献

- [1]倪飞,张小旭.10kV线路供电可靠性影响因素及优化措施研究[J].商情,2020,000(002):182.
- [2]栾乐,马智远,莫文雄,等.综合考虑供用电双方需求的优质电力用户分类方法[J].电力科学与技术学报,2021,36(6):171-181.
- [3]赵冬梅,陶然,马泰屹,等.考虑可靠性与源荷双侧不确定性的多目标需求响应模型[J].华北电力大学学报(自然科学版),2021,48(5):1-14.
- [4]梁永亮,吴跃斌,马钊,等.新一代低压直流供用电系统在“新基建”中的应用技术分析与发展展望[J].中国电机工程学报,2021,41(1):13-24,394.
- [5]张博,唐钰政,代双寅,等.供用电双方满意的电压暂降治理增值服务策略[J].中国电力,2020,53(11):50-59.