

变电站智能化升级对电网安全性的影响研究

冯辉

国华爱依斯（黄骅）风电有限公司，河北省沧州市，061100；

摘要：电力系统作为支撑社会运转的核心基础设施，其安全稳定运行直接关系到工业生产连续性与居民生活保障。随着用电负荷持续增长、新能源并网规模扩大，传统变电站在实时监测精度、故障响应速度、系统协同能力等方面逐渐难以满足现代电网需求，智能化升级成为电力行业转型的必然选择。本文结合变电站智能化升级的实际技术应用场景，从设备状态感知、故障处置流程、风险抵御能力三个维度，分析智能化技术对电网安全性的提升作用；同时针对升级过程中暴露的技术可靠性短板、网络安全隐患、人员管理漏洞等问题展开讨论，并结合基层运维经验提出可落地的应对方案，为电力企业推进变电站智能化改造、保障电网安全提供实践参考。

关键词：变电站；智能化升级；电网安全性；运维管理

DOI: 10.69979/3060-8767.25.11.011

引言

近年来，我国电力系统加速从“传统调度”向“智能调控”转型，变电站作为电网关键节点，其效率与安全直接影响整体稳定。传统变电站依赖人工巡检与本地控制，存在数据滞后、故障判断靠经验、跨站协同弱等问题，极端天气或用电高峰时易发生安全风险。随着物联网、大数据、人工智能技术应用，变电站智能化升级普及，实现设备“实时感知”、故障“自动响应”、电网“全局优化”，但也出现传感器失准、通信中断、运维人员技术不匹配等新问题。因此，分析智能化升级对电网安全性的双重影响并探索解决路径，对智能电网发展意义重大^[1]。

1 变电站智能化升级的核心技术特征

1.1 设备状态的“全面感知+实时传输”

相较于传统变电站依赖人工巡检、定点采样的监测模式，智能化变电站通过在变压器、断路器、开关柜等关键设备上部署多类型传感器，实现对设备运行参数的全方位采集——不仅能实时监测电流、电压等电气量，还可捕捉油温、绕组温度、触头磨损程度、绝缘状态等关键指标。例如，某 220kV 智能化变电站在变压器上安装 6 组光纤温度传感器，可实时采集绕组不同部位温度，数据采样间隔缩短至 1 秒，远优于传统变电站每 2 小时人工抄录 1 次的效率。同时，这些监测数据通过工业以太网、光纤通信网络传输至站内监控系统，部分关键数据还可同步上传至区域调度中心，实现“设备-站内-调

度”三级数据实时共享，为电网安全运行提供精准数据支撑^[2]。

1.2 运行控制的“自动调节+智能决策”

智能化变电站借助自动化控制系统，能自动调节电网运行状态：区域负荷波动致电压超限时，可自动调整变压器分接头、投切电容器组恢复电压；新能源并网时，还能实时监测出力变化并调整无功补偿设备，避免影响电网稳定。此外，通过大数据与 AI 算法对比分析设备历史及实时数据，构建健康评估模型可提前预判故障风险，如某变电站通过分析断路器分合闸时间，发现其从标准 0.08 秒延长至 0.12 秒，及时预警并排查出触头磨损问题，规避了断路器拒动事故^[3]。

1.3 故障处置的“快速定位+自愈恢复”

传统变电站发生故障时，需运维人员携带仪器到现场排查，故障定位往往需要 30 分钟以上，且隔离故障、恢复供电依赖人工操作，耗时较长；而智能化变电站通过“故障录波装置+智能诊断算法”，可实现故障的快速定位与自动处置。例如，当某条 110kV 线路发生短路故障时，站内故障录波装置可在 0.02 秒内捕捉故障电流、电压波形，系统结合线路参数、保护动作信息，通过智能算法在 0.1 秒内确定故障点位置；同时，自动化系统可自动触发断路器跳闸，隔离故障区域，并通过备用线路转移负荷，实现非故障区域供电的快速恢复。某地区电网实践显示，智能化变电站故障处置时间平均缩短至 5 分钟以内，较传统变电站缩短 80% 以上，大幅降低了停电损失。

2 智能化升级对电网安全性的积极影响

2.1 提升电网安全监测的“精准度”与“时效性”

传统变电站人工巡检存在明显不足：巡检间隔长，难以及时捕捉设备突发异常；部分关键参数无法检测，易形成安全盲区，且数据多为纸质或表格记录，人工分析易滞后、误判。智能化升级后，实时监测系统可 24 小时不间断采集数据，填补人工空白。比如某变电站通过开关柜局部放电传感器，发现局部放电量从 5pC 骤升至 30pC，及时预警并排查出绝缘拉杆裂纹，避免短路故障，此类隐患靠人工巡检难以及时发现。同时，智能化变电站借助监控平台将数据可视化呈现，预设参数阈值，数据超限时自动报警，既减少人工工作量，又降低人为误判风险^[4]。

2.2 增强电网故障处置的“速度”与“效率”

传统变电站故障处置效率低：线路故障需人工携设备逐塔排查，复杂地形下耗时超 1 小时；故障隔离依赖人工操作断路器，夜间或恶劣天气易延误，扩大故障范围。智能化变电站则大幅提升处置速度与效率：通过故障录波数据结合 GPS 定位，能快速标注故障点，如某山区 110kV 线路故障，系统 10 秒内定位，运维人员 20 分钟修复，较传统节省 1.5 小时；同时依托“保护装置-自动化系统-断路器”联动，可自动隔离故障、转移负荷，某城市变电站应用后，单次故障停电范围从 3 个小区缩至 0.5 个，停电时间从 40 分钟减至 8 分钟^[5]。

2.3 提高电网抵御外部风险的“韧性”

近年来极端天气对电网威胁加剧，智能化变电站通过部署环境监测设备，实时掌握气象条件并制定应急策略：台风来临前，系统依风速数据预警，助力运维人员提前防护设备，调度中心也能据此调整电网运行、转移负荷，如 2023 年台风“泰利”期间，某沿海智能化变电站实现零设备损坏、零大面积停电。同时，针对变电站联网带来的网络安全风险，智能化变电站构建“物理隔离+通信加密+访问控制”多层防护体系，从物理、通信、应用层强化防护，某变电站就通过入侵检测系统，及时拦截连续 10 次尝试破解密码的 IP，避免系统被非法入侵^[6]。

3 智能化升级过程中面临的安全挑战

3.1 技术可靠性短板：传感器与通信系统故障风险

传感器作为智能化变电站数据采集核心，因运行环境复杂易出问题：某变电站夏季高温时，变压器油温传感器零点漂移，测量值比实际低 8℃，险些因误判引发故障；部分局部放电传感器受电磁干扰，频繁出现虚假数据，增加运维负担。而通信系统是自动化控制与数据传输的关键，一旦故障会致系统“失明”“失控”：某变电站因光纤线路被误碰，通信中断期间线路短路，保护装置动作却无法传跳闸指令，导致故障扩大；另有变电站因通信设备电源故障，近 1 小时无法采集数据，未能及时发现变压器负荷过载。

3.2 网络安全隐患：外部攻击与内部漏洞并存

当前针对电力系统的网络攻击手段愈发复杂，黑客不仅通过仿冒运维平台钓鱼网站骗取账号密码，还会利用监控软件已知漏洞植入恶意程序、篡改设备参数，这类攻击隐蔽性强，传统防护手段难以完全防范。同时，部分变电站“重技术、轻管理”，存在明显内部漏洞：运维人员私接手机热线形成网络“后门”、离职人员账号未及时注销遭滥用、设备运行数据未定期备份导致丢失后无法溯源，这些问题均加剧了网络安全风险。

3.3 人员与管理适配问题：运维能力与制度建设滞后

智能化变电站引入大量新技术，但部分运维人员仍依赖传统经验，对新技术理解不足：处理传感器数据异常时仅能判断阈值超标，无法分析原因；不熟悉自动化控制系统逻辑，系统故障时难快速切换手动模式，导致处置延误。同时，部分电力企业未制定智能化变电站配套管理制度，仍沿用传统流程：未建立传感器定期校准制度，数据精度下降未及时发现；应急预案未更新，面对通信中断、系统失控等新问题，运维人员缺乏指引易失误，造成管理与技术脱节^[7]。

4 应对智能化升级安全挑战的实践策略

4.1 强化技术可靠性：从设备选型到运维全流程管控

传感器选型优先适配变电站复杂环境，如用光纤传感器减少电磁干扰，并依设备特点合理布局以覆盖关键监测点；运维中建立定期校准制度，每季度现场校准、每年第三方检测，异常时及时排查更换，某变电站借此将传感器数据失准率从 8%降至 1%以下。针对通信中断

风险,采用“双线路+双设备”冗余配置,关键设备通信用双光纤、双电源,同时部署监控软件实时监测状态,异常时自动切换冗余资源,某变电站由此将通信中断时间从40分钟缩至5分钟内。

4.2 筑牢网络安全防线:技术防护与管理并重

在现有防火墙、入侵检测系统基础上,部署网络安全态势感知平台,实现对站内网络流量的实时分析、异常行为的精准识别;采用“白名单”机制,仅允许授权IP地址、设备接入内部网络,禁止外部未知设备连接;对关键系统的软件定期更新补丁,修复已知漏洞,避免被黑客利用。此外,加强数据安全保护,对采集的设备运行数据、控制指令进行加密存储,定期备份数据,防止数据丢失或被篡改。制定《智能化变电站网络安全管理办法》,明确网络接入、用户权限、数据管理等流程;建立用户账号“一人一账”制度,定期核查账号使用情况,离职人员立即注销账号;严禁运维人员将个人设备接入站内内部网络,如需临时接入,需经审批并采取隔离措施。同时,定期开展网络安全培训与应急演练,提高运维人员的网络安全意识和应急处置能力——例如,通过模拟黑客入侵、数据篡改等场景,训练运维人员如何快速发现攻击、阻断连接、恢复系统。

4.3 提升人员与管理适配性:技术培训与制度更新同步推进

培训上,按岗位需求制定分层计划,一线运维人员侧重设备巡检、数据异常判断及简单故障处理;技术骨干开展自动化系统原理、AI算法应用等进阶培训;同时通过“师带徒”、技能竞赛(设传感器校准等实操项目)强化实操能力,拓宽运维视野。制度上,结合智能化特点修订完善:制定《设备巡检规程》明确巡检内容与标准;建立《设备健康状态评估制度》,依据数据评级制定差异化维护计划;更新《应急处置预案》,明确通信中断等新场景的处置流程与分工,并定期演练。

5 结论

综上所述,变电站智能化升级通过技术创新,从实时监测、快速故障处置、灾害防护到网络安全防御,显

著提升了电网“感知、响应、韧性”能力,但也面临技术可靠性、网络安全、人员管理适配性等新挑战。实践证明,唯有结合技术升级与管理优化,强化设备管控、筑牢网络防线、提升运维能力、完善制度,才能化解风险、发挥智能化优势。未来,随着5G、边缘计算等技术应用,变电站智能化水平将进一步提升,对电网安全支撑更凸显,需始终坚持“安全第一”,平衡创新与保障,推动智能电网健康发展。

参考文献

- [1]冯威,王雨露,王海威.智能电网建设与变电站运维管理的协同发展[J].农电管理,2024,(12):78-79.
- [2]亓文华.“四化技术”在35kV干熄焦变电站中的应用和实践[J].矿业装备,2024,(S1):102-104.
- [3]喻启俊.枣山220kV变电站智能化改造方案研究[D].三峡大学,2019. DOI:10.27270/d.cnki.gsxa.2019.000289.
- [4]门亚萍.考虑用电安全性的智能电网负荷调峰方法研究[J].东北电力技术,2025,46(04):48-51.
- [5]卫凯,张海波,龚贤夫,等.提升多馈入受端电网安全性的储能电站规划方法[J].现代电力,2024,41(06):1127-1137. DOI:10.19725/j.cnki.1007-2322.2022.0451.
- [6]谢石木林,白杰,张翔,等.基于5G+MEC的电网边缘计算平台任务安全性调度方法[J].电信科学,2022,38(12):78-85.
- [7]罗杰.考虑安全性和经济性的电网连锁故障预防控制策略研究[D].福建工程学院,2022. DOI:10.27865/d.cnki.gfgxy.2022.000146.
- [8]葛吉刚,赵婷,陈璞,等.基于安全性测试的电网IMS平台架构优化设计[J].电子设计工程,2021,29(11):171-174+180. DOI:10.14022/j.issn1674-6236.2021.11.036.

作者简介:冯辉,1989年8月12日,男,汉,河北省沧州市黄骅市,本科,工程师,研究方向:风力、光伏发电运维。