

电力系统自动化中安全性与稳定性优化的研究

刘涛

赣州恩菲环保能源有限公司，江西赣州，341000；

摘要：随着新能源大规模并网、电力电子设备广泛应用，电力系统结构日趋复杂，自动化运行的安全性与稳定性面临严峻挑战。电力系统自动化是保障能源可靠供应的核心支撑，其安全稳定直接关系社会生产生活与国家能源安全。本文聚焦电力系统自动化场景，剖析影响安全稳定的关键因素，从技术架构、控制策略等维度探索优化路径。通过梳理自动化技术与系统安全稳定的内在关联，提出针对性优化思路，为提升运行可靠性与抗干扰能力提供参考，助力构建安全高效的现代化电力系统。

关键词：电力系统自动化；安全性；稳定性；优化策略；能源可靠供应

DOI：10.69979/3029-2727.25.11.093

引言

“双碳”目标推动下，电力系统正从传统化石能源主导转向新能源为主体的新型模式。自动化技术以其高效精准的特性，成为电力系统灵活调度、实时监控与智能运维的核心手段。新能源的波动性、电网互联扩大及极端天气等因素，使自动化运行中设备故障、频率电压波动等问题愈发突出。系统安全稳定失衡可能导致局部供电中断，甚至引发大面积停电。因此，研究电力系统自动化中安全稳定优化问题，破解技术瓶颈，对推动电力系统高质量发展、保障能源安全具有重要现实意义。

1 电力系统自动化中安全性与稳定性核心内涵及关联

1.1 自动化技术特征

电力系统自动化依托计算机、通信及控制技术，实现发电、输电、配电全环节的实时监测与智能调控。其核心技术特征体现为集成化与智能化，通过多系统数据交互打破传统环节壁垒，提升调度效率。运行逻辑以“感知-分析-决策-执行”为闭环，借助终端设备采集运行参数，经中央系统分析处理后下发控制指令。这种模式减少人工干预，降低操作失误风险，同时能快速响应运行状态变化，为系统安全稳定提供基础支撑，是现代电力系统高效运行的核心保障。

1.2 安全与稳定的内涵

电力系统安全性指系统抵御故障与干扰的能力，即面对设备故障、负荷突变等情况时，避免事故扩大的能力。稳定性则侧重系统在扰动后恢复原有运行状态或过渡至新稳定状态的特性，包括频率稳定、电压稳定等核心维度。两者评价需结合多个指标，安全性评价关注故

障切除时间、供电恢复速度等；稳定性评价则以频率偏差、电压波动范围为核心。明确二者内涵与评价维度，是开展优化研究的前提，可避免优化方向出现偏差，确保技术措施更具针对性。

1.3 技术与安全稳定的关联

自动化技术与电力系统安全稳定运行存在双向作用。先进的自动化技术能提升安全稳定水平，例如实时监控系统可及时发现异常，避免故障萌芽发展为事故。而系统安全稳定需求又推动自动化技术升级，复杂的安全稳定问题促使控制算法与监测技术不断创新。这种相互作用形成良性循环，自动化技术的应用为安全稳定提供技术保障，安全稳定的更高要求则引导自动化技术向更精准、更可靠的方向发展，共同支撑电力系统的高质量运行。

2 电力系统自动化中安全性与稳定性的主要影响因素

2.1 系统架构风险

电力系统架构的结构性矛盾主要源于传统电网与新能源接入的适配问题。传统电网设计以集中式发电为核心，而新能源多为分布式接入，导致电网拓扑结构复杂度提升。部分区域电网联络线传输能力不足，易出现潮流越限问题。同时，各级电网自动化系统数据交互标准不统一，形成信息孤岛，影响全局调度决策的及时性与准确性。这些架构层面的问题，使系统在应对扰动时缺乏协同能力，增加安全稳定风险，成为制约系统运行水平提升的重要因素。

2.2 设备性能问题

自动化控制设备的性能局限与适配问题不容忽视。

部分老旧地区仍使用传统控制设备，运算速度与数据处理能力不足，无法满足新能源高波动场景下的实时控制需求。新投入的智能设备与原有系统存在兼容性问题，通信协议不匹配导致数据传输延迟或丢失。此外，设备长期运行后易出现精度下降、响应滞后等问题，若未及时维护更换，会在故障发生时无法快速执行控制指令，加剧系统安全稳定隐患，影响整体运行可靠性。

2.3 外部动态干扰

外部环境与运行工况的动态干扰是影响系统安全稳定的重要因素。极端天气如暴雨、台风等可能损坏输电线路与终端设备，导致供电中断。新能源发电的波动性与间歇性使系统有功、无功功率平衡难度增加，引发频率、电压波动。用户用电负荷的峰谷差日益增大，高峰时段负荷骤增易导致设备过载，低谷时段则可能出现频率偏高问题。这些动态干扰因素具有随机性与不确定性，给自动化系统的精准调控带来挑战，需针对性制定应对措施。

3 电力系统自动化安全性优化的关键技术路径

3.1 智能感知预警

基于智能感知的安全风险实时预警技术是提升系统安全性的关键。通过在发电、输电、配电环节部署物联网传感器、智能电表、光纤光栅传感器等多类型设备，实现对电压、电流、温度、设备振动、绝缘状态等多维度运行参数的全面、高精度采集。利用边缘计算技术在数据采集端对海量实时数据进行快速筛选与初步分析，精准提取设备异常、参数波动等关键信息，再通过5G通信技术的低时延特性快速上传至区域调度中心。结合机器学习算法构建动态更新的风险预警模型，对设备潜在故障、潮流越限、线路覆冰等各类风险进行提前预判，并通过调度系统、移动端APP等多渠道及时发出分级预警信号。该技术将传统的“事后处理”转变为“事前预警”，大幅缩短风险识别时间，为故障处理争取宝贵窗口期，显著降低重大安全事故发生概率。

3.2 冗余设计与故障隔离

自动化系统的冗余设计与故障快速隔离方案是保障系统安全的重要手段，能有效提升系统的抗干扰与容错能力。在调度中心服务器、变电站控制装置等关键控制环节，普遍采用双机热备、三取二表决、多通道通信等多重冗余设计，当主设备或主通道因硬件故障、网络攻击等出现异常时，备用设备或通道可在毫秒级完成无缝切换，从根本上避免系统核心功能中断。针对复杂电网结构，按照“分区供电、独立运行”原则划分多个独

立供电区域，在区域边界设置智能联络开关与高速故障隔离装置。当某一区域发生短路、设备烧毁等故障时，自动化系统通过故障录波装置快速定位故障点，驱动智能开关精准切断故障线路，实现故障区域的快速隔离，防止事故向周边蔓延。同时，系统自动调整周边区域的供电方式与潮流分布，保障非故障区域用户的正常用电，大幅提升系统整体供电可靠性。

3.3 动态防护机制

面向安全边界的动态防护与主动防御机制可有效提升系统抗风险能力，构建全方位的安全防护体系。该机制摒弃传统固定防护策略，结合系统实时运行状态、负荷变化、外部环境等因素，动态调整安全防护等级与策略，通过安全分区、横向隔离、纵向加密、访问控制等核心技术，从物理层、网络层、数据层全方位防止非法访问、数据篡改与恶意攻击。构建电力专用防火墙、入侵检测与防御系统（IDPS）及安全审计平台，对网络流量进行实时监测与深度分析，精准识别勒索病毒、钓鱼攻击等异常行为并立即拦截。针对极端天气、负荷突增等可能出现的极端扰动，提前制定多套主动防御预案，如在负荷高峰前主动调整发电机出力、优化电网运行方式、启动储能系统削峰填谷。

4 电力系统自动化稳定性提升的创新优化策略

4.1 多源数据融合调控

基于多源数据融合的系统状态精准调控方法能有效提升系统稳定性，为电网调度提供科学决策依据。该方法打破数据孤岛，全面整合新能源发电数据（风电风速、光伏辐照度等）、用户负荷数据（工业负荷、居民负荷时序数据）、电网运行数据（节点电压、线路潮流等）及气象数据（降水、气温、极端天气预警）等多类型信息。通过数据清洗、异常值剔除、数据标准化及融合算法，消除数据冗余与误差，形成统一、高质量的数据集。利用大数据分析技术深度挖掘数据背后的关联规律与变化趋势，精准预测未来数小时至数天的新能源出力与负荷变化情况。结合模型预测控制算法与电网仿真平台，制定最优调控策略，实时调整发电机出力、无功补偿装置状态、储能系统充放电模式及电网拓扑结构。

4.2 新能源协调控制

含高比例新能源的自动化协调控制策略优化是应对新能源波动性、间歇性问题的核心，保障新能源高效并网消纳。针对风电、光伏等新能源出力受自然条件影响大的特点，构建新能源发电、储能系统与电网的协同控制平台，通过先进自动化技术实现三者之间的联动调

节与精准匹配。平台实时采集新能源出力数据与电网负荷数据，当新能源出力过剩导致电网频率升高时，立即控制储能系统切换至充电模式储存多余电能，同时向新能源电站发送降出力指令；当新能源出力不足导致电网频率下降时，储能系统快速放电补充电能，配合常规电源提升出力。同时，优化新能源并网逆变器的控制策略，引入虚拟同步发电机（VSG）技术，提升其调压、调频能力与惯量支撑，增强新能源发电系统与电网的动态适应性。

4.3 自适应调节技术

提升系统抗干扰能力的自适应调节技术可增强系统稳定性，确保系统在复杂扰动下仍能稳定运行。该技术核心是采用自适应控制算法（如模型参考自适应控制、自适应 PID 控制等），使自动化系统能实时感知外部干扰（如极端天气、设备故障、负荷突变）与系统内部状态变化，自动调整控制参数与控制策略，无需人工干预即可实现动态优化。针对台风、暴雪、高温等极端天气及设备突发故障等突发干扰，专门设计鲁棒控制模块，通过强化控制算法的抗干扰能力，确保系统在参数摄动、外部强扰动等恶劣条件下仍能维持稳定运行状态。在配电网中大力推广柔性交流输电设备，如静止同步补偿器、静止无功发生器（SVG）等，这类设备能快速响应电网电压、电流的动态变化，在毫秒级完成无功功率的实时补偿与调节，有效抑制电压波动、闪变及谐波污染。

5 电力系统自动化安全稳定优化的保障体系构建

5.1 技术标准完善

技术标准与规范的完善与落地实施是优化工作的重要保障。结合新型电力系统发展需求，修订完善电力系统自动化技术标准，明确设备性能、数据交互、安全防护等方面的要求。针对新能源并网、储能系统接入等新场景，制定专项技术规范，规范其自动化控制流程。加强标准执行的监督力度，将标准落实情况纳入电力企业考核体系。通过统一技术标准，减少设备兼容性问题，提升自动化系统运行的规范性与可靠性，为安全稳定优化提供制度支撑。

5.2 全生命周期运维

自动化系统全生命周期的运维管理机制能延长设备寿命，保障系统稳定运行。在设备采购阶段，严格筛选符合技术标准的产品，做好质量把控。安装调试阶段，

按照规范完成设备部署与系统联调，确保各项功能正常。运行阶段，通过自动化运维平台实时监测设备状态，开展预防性维护，及时更换老化、性能下降的设备。退役阶段，制定科学的设备回收与处置方案，避免环境污染与资源浪费。全生命周期运维实现了运维工作的常态化与精细化，降低设备故障风险。

5.3 跨领域协同模式

跨领域协同的安全稳定保障协作模式能整合各方资源，提升优化效果。建立电力企业、设备制造商、科研机构的协同合作机制，共同开展技术研发与难题攻关。电力企业提供运行数据与实际需求，设备制造商负责研发适配的自动化设备，科研机构提供理论支持与技术指导。加强与气象部门、交通部门的信息共享，提前获取极端天气、道路施工等信息，做好应对准备。通过跨领域协同，实现资源互补与优势整合，形成安全稳定保障的合力。

6 结论

电力系统自动化的安全性与稳定性优化是新型电力系统发展的核心任务，直接关系能源安全与社会稳定。本文研究表明，系统安全稳定受架构、设备、外部干扰等多方面因素影响，需从技术、策略、保障体系多维度制定优化措施。智能感知预警、冗余设计等技术路径可有效提升安全性，多源数据融合调控、自适应调节技术能增强稳定性，完善的标准与协同机制则为优化工作提供保障。未来研究可结合人工智能、数字孪生等新技术，进一步提升优化的精准性与前瞻性，推动电力系统自动化向更安全、更稳定、更高效的方向发展，为“双碳”目标实现提供支撑。

参考文献

- [1] 孙茜. 电力自动化技术及其在电力系统中的应用[J]. 光源与照明, 2021, (12): 117-118.
- [2] 崔明亮, 徐新森. 电力自动化系统中智能技术应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(06): 218-219.
- [3] 杨升正, 解志. 电子信息技术在电力自动化系统中的实践应用探讨[J]. 信息系统工程, 2023, (03): 88-90.
- [4] 徐海娟, 张伟. 电子信息技术在电力工程自动化中的应用研究[J]. 电工技术, 2024, (S1): 191-193.
- [5] 刘春伟. 浅析智能技术在电力系统自动化控制中的应用[J]. 科技创新导报, 2018, 15(35): 1+3.