

电力安全生产中电气设备自动化控制方法研究

曾 颖 何丽霞

湖北紫电电气集团有限公司 湖北 荆州 434000

【摘 要】：针对电力生产电气设备自动化控制精度适配性差、监测体系不完善、运维机制缺失等问题，本文结合电力系统复杂工况特性，从控制算法自适应改进、多源状态感知增强、运维响应机制系统化构建三个维度展开研究。通过改进动态自适应控制算法、构建全维度智能监测体系、搭建一体化安全防控运维机制，有效解决了传统控制模式适配性弱、隐患排查滞后、运维管控被动等问题。研究成果显著改善了电网动态响应特性，增强了控制系统在参数扰动条件下的自适应跟踪性能，为电力安全生产智能化升级提供了技术支撑。

【关键词】：电力安全生产；电气设备；自动化控制；智能监测；运维体系

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.090

引言

电力电气设备自动化控制是保障电网安全稳定运行的核心关键。随着新能源装机容量持续攀升，电力系统运行工况趋于复杂化，电气设备控制面临强非线性、多变量耦合及频繁扰动的多重挑战。当前自动化控制系统在精度适配、状态感知及运维保障等方面存在明显不足，传统控制架构难以满足高可靠性运行要求。本文针对上述问题，从动态自适应算法优化、全维度监测能力升级及安全运维体系构建三个层面展开研究，为提升电气设备自动化控制水平提供技术路径。

1 电力安全生产中电气设备自动化控制现存技术问题

1.1 自动化控制精度适配性不足

电力生产场景涵盖高压输电、变电、配电等多种工况，不同场景下电气设备的运行负荷、电压电流参数、环境干扰条件存在显著差异，现有电气设备自动化控制系统的控制精度无法实现全场景精准适配。多数自动化控制程序基于常规标准工况参数设定调控阈值，在设备超负荷运行、电网负荷波动、极端温湿度环境等特殊工况下，系统参数校准滞后，调控数据与设备实际运行需求出现偏差。高精度调控模块仅适配大型主力电气设备，对于线路辅助设备、末端配电设备的精细化调控能力薄弱，易出现调控幅度失衡、响应参数偏移等问题。工况切换过程中，系统精度衔接存在漏洞，细微运行偏差无法被及时修正，长期累积易引发设备过载、参数异常等安全隐患，无法满足复杂电力生产场景的安全运行管控标准。

1.2 设备运行监测防控体系不完善

现阶段电力电气设备自动化监测防控架构存在覆盖盲区与功能短板，整套监测体系多聚焦于电气设备核心运行参数的表层监测，对设备内部元器件损耗、线路隐性故障、绝缘性能

衰减等隐性安全隐患的监测识别能力严重不足^[1]。各类监测设备与自动化防控系统数据交互标准不统一，不同层级、不同类型的监测终端数据无法实现互联互通，形成独立的数据孤岛，导致设备运行状态数据采集碎片化，无法构建全方位、连续性的动态监测模型。系统防控机制偏向事后故障告警，缺乏针对设备运行异常趋势的预判分析与主动防控功能，无法提前干预设备运行隐患，且联动防控响应机制不完善，单一设备出现异常时，无法同步联动关联电气设备完成防护调控，大幅降低电力生产整体安全防控效能。

1.3 自动化系统安全运维机制缺失

电力电气设备自动化控制系统长期处于连续运行状态，软硬件设备易出现老化、程序缓存堆积、数据传输故障等各类隐性问题，现阶段电力生产领域尚未搭建适配智能化管控需求的系统化安全运维体系^[2]。多数运维工作仅停留在故障发生后的被动检修层面，针对系统程序漏洞、网络传输风险、硬件模块损耗的常态化预判运维工作存在大面积空白。系统运行过程中的日志数据、异常参数、设备损耗数据缺乏规范化的定期筛查与分析流程，隐性安全隐患无法在萌芽阶段被排查处置。同时，针对自动化系统的专项运维标准与设备更新迭代节奏不匹配，新型智能电气设备配套的控制系统的运维规范不完善，数据加密、权限管控、网络防护等运维环节存在漏洞，极易造成系统数据泄露、程序误运行、电网调控紊乱等风险，严重制约电力生产运行的稳定性与安全性。

2 电力安全生产电气设备自动化控制优化技术方法

2.1 动态自适应控制算法优化设计

动态自适应控制算法优化设计旨在应对新能源高渗透率引发的随机扰动及模型参数不确定性。针对传统控制策略在复杂工况下适应性不足的问题，基于自适应动态规划（ADP）的

分布式协调控制策略构建零和博弈模型,将区域耦合项与随机负荷统一视为扰动因素,无需精确系统模型即可求解最优策略。工程验证表明,该算法在电压与频率协调控制中效果显著,经张北柔性直流电网试验示范工程投运验证,该系统在新能源大幅波动工况下频率控制精度满足 GB/T 15945-2008 对 3000 MW 及以上互联电力系统规定的 ± 0.1 Hz 允许范围要求。为进一步增强非线性条件下的参数自整定能力,融合径向基函数(RBF)神经网络与改进粒子群优化(PSO)算法的复合控制方案被引入虚拟同步发电机控制,通过拟合角频率与虚拟惯量、阻尼的非线性映射关系,有效抑制了功率与频率的附加振荡,弥补了传统自适应策略灵活性不足的缺陷,见表 1。

表 1 控制策略优化设计核心性能指标与工程验证数据

指标类别	具体参数与数值
频率控制精度	$\leq \pm 0.1$ Hz
绿电输送能力提升	$>30\%$
累计输送绿电量	341 亿千瓦时
新能源出力波动平抑	10 分钟平均波动率由 30%降至 $<5\%$
满功率运行能力	450 万千瓦

2.2 全维度设备智能监测技术升级

全维度设备智能监测技术升级依托物联网传感技术、大数据采集分析技术完成电力电气设备运行状态的全方位动态监测改造,突破传统监测仅聚焦常规电参量采集的局限,拓展至机械振动、局部放电、热状态等多物理量同步感知(见图 1)。升级后的监测体系可覆盖电力系统输电、变电、配电各类电气设备的运行温度、绝缘性能、负荷波动、线路损耗、机械工况等多项核心指标,同时捕捉设备运行环境的温湿度、电磁干扰、粉尘浓度等外部影响参数。高精度微型传感装置全面部署于各类大型电气设备与末端配电设备中,实现设备运行数据的毫秒级实时采集与同步传输。后台智能分析系统可对海量监测数据进行分层解析与动态比对,精准识别设备隐性故障、参数偏移、运行异常等各类风险隐患,弥补传统监测技术数据采集片面、动态追踪能力薄弱的技术短板,适配复杂多变的电力生产运行工况。

参考文献:

- [1] 耿超,夏新新.基于 PLC 技术的电气设备自动化控制策略分析[J].产业创新研究,2024,(8):111-113.
- [2] 孙伟,甄力,王彦贞,等.电气自动化控制设备可靠性测试方法分析[J].电子测试,2022,36(14):42-44.
- [3] 杨星.人工智能在电气自动化控制中的应用方法[J].中国科技信息,2021,(13):49-50.

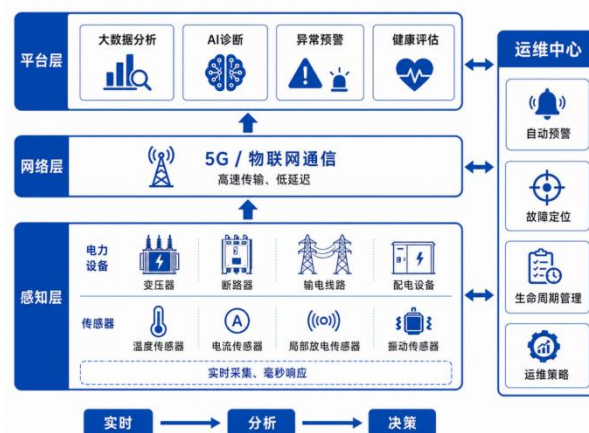


图 1 电力设备全维度智能监测系统架构图

2.3 安全防控与运维技术体系构建

电力电气设备自动化运行的安全稳定离不开系统化防控与运维机制保障,构建一体化安全防控与智能运维技术体系,能够全面规避设备运行风险、补齐运维管理短板。该体系融合智能传感监测、大数据分析、故障预警等自动化技术,搭建全域设备动态监测模块,实时采集电压、电流、温度等关键运行参数,全天候甄别设备隐性故障、参数偏移与潜在运行隐患。体系遵循分级防控思路,依据输电、变电、配电各环节设备风险等级设置差异化自动防控阈值与处置逻辑,可完成异常状态自动告警、智能调节及紧急闭锁动作^[3]。体系融入设备全生命周期运维思路,依托自动化数据分析能力,整合设备历史运行数据、故障台账与检修资料生成智能运维方案,摒弃传统被动式人工检修模式,精准锁定故障点位与运维重点,推动风险预警前置防控与常态化运维工作深度协同,从整体上强化电力电气设备自动化运行全过程安全管控能力。

3 结语

针对电气设备自动化控制中精度适配不足、监测覆盖不完整及运维响应滞后等共性问题,本文提出的动态自适应控制算法优化、全维度智能监测升级及一体化安全防控运维体系三项技术方案,已在理论分析与工程验证层面展现出良好的适用性。该技术框架能够有效应对复杂工况下的控制品质下降问题,降低设备非计划停运概率,延长安全运行周期,为电力系统自动化控制向智能化、精细化方向发展提供了可行的技术参考。