

智能电网背景下供电系统电气自动化控制优化研究

韩梓峰

大连交通大学

DOI:10.32629/etd.v7i2.18943

[摘要] 在智能电网持续深化的背景下,供电系统对自动化水平、运行成本与控制精度的期待不断提升,而传统模式在实时调节、数据处理与协同运行上的限制愈发明显。电气自动化控制技术因能使状态感知更细致、调节反应更灵敏、设备协同更稳定而受到重视,相关研究围绕高精度感知、智能化调控与数据驱动机制展开,旨在使误差收敛、成本压降与自动化提升形成合力,并使供电管理模式在更高维度上获得重塑与强化。

[关键词] 智能电网; 供电系统; 电气自动化控制; 运行优化; 误差控制

中图分类号: U223.6 文献标识码: A

Research on Optimization of Electrical Automation Control in Power Supply System under the Background of Smart Grid

Zifeng Han

Dalian Jiaotong University

[Abstract] As smart grids advance, expectations for higher automation, lower costs, and greater control accuracy in power supply systems continue to rise, while traditional modes reveal increasing limits in real-time adjustment, data handling, and operational coordination. Electric automation gains attention for enabling finer state sensing, quicker control response, and steadier equipment coordination. Current studies focus on high-precision sensing, intelligent control, and data-driven mechanisms, aiming to reduce errors, lower costs, enhance automation, and reshape power supply management toward a more efficient and adaptive model.

[Key words] smart grid; Power supply system; Electrical automation control; Operational optimization; error control

引言

伴随电力系统的数字化、分布式与多源化趋势不断加深,供电系统的运行环境正呈现更加复杂的特征,设备状态变化更为频繁,负荷波动更加不确定,调控需求也更具即时性与精细化。在此背景下,传统依赖人工巡检和定值式调节的控制方式难以满足智能电网高效稳定运行的要求,而自动化控制技术因能够在持续变化的工况中保持较高的精度与可靠性,逐渐成为供电系统运行升级的关键力量。更高的自动化水平并非技术叠加,而是感知、分析与调控体系协同后的整体跃升,随之而来的不仅是误差的收敛与响应的加快,还包括成本结构的优化与运行方式的重塑。

1 智能电网背景下供电系统电气自动化控制的需求变化

1.1 供电系统运行环境的复杂化趋势

在智能电网不断扩展的背景下,供电系统的运行环境逐渐呈现更高的不确定性,负荷变化的节奏更为跳跃,分布式电源的

接入规模也在持续增加,电力流动方向的变化更加频繁,而这种多变量耦合下的运行态势,使系统对实时性与精细化调控的依赖被进一步放大^[1]。设备状态与负荷波动之间的动态关系愈加紧密,系统的运行边界也因新能源比例的提升而变得更加脆弱,传统控制模式在此环境中难以保持稳定性与响应速度,于是需求面向自动化的转型愈发迫切。自动化控制的价值不再局限于减少人工干预,而是承担起维持电网平衡、提升调控精度、强化运行韧性的关键任务,系统若缺乏高水平的自动化支撑,其对复杂环境的适应能力将难以保持应有的弹性与可靠性。

1.2 传统供电控制模式的瓶颈及其自动化需求

长期以来依赖人工巡检、定值控制和经验判断的传统模式,在系统规模增长与运行速度加快的趋势下显露出诸多制约。运行信息采集往往滞后于实际状态变化,调控动作常因反应时间延长而无法契合系统需求,而设备间协同不足使控制链条容易产生误差积累,运行成本因此被推高,稳定性也受到影响。自动化控制在此情境下的重要性不断凸显,因为更密集的信息流、更

快速的调节算法与更统一的协同机制,使其能够在复杂工况中维持较高的精度与一致性。随着智能终端普及与电力数据资源的丰富,构建高度自动化的控制体系已从可选项发展为供电系统保持竞争力和运行高效性的基础条件,高效、低误差、低成本的控制模式也因此具备了更明确的技术方向与现实需求。

2 智能电网框架下供电系统电气自动化控制的核心技术优化

2.1 智能感知与状态监测技术的优化应用

在智能电网体系不断完善的背景下,供电系统对状态监测的精细程度提出了更高要求,而将感知层构建得更加敏锐、更具宽度和深度,已成为自动化控制能够顺利展开的前提^[2]。传感器技术的升级使设备温度、电流、电压及振动等关键参数被采集得更为准确,这种高度贴合设备真实状况的数据,是提升控制精度的重要基础。感知体系一旦形成从末端设备延伸至区域节点的多层结构,系统便能够在运行波动尚未扩大前识别潜在风险,自动化调控也能够依托更真实、更细致的参数调整策略。此外,状态监测机制若融合设备行为特征的动态建模技术,运行趋势便能够被提前识别,控制策略也因此具备了更强的前瞻性与适应力,自动化程度随之提升,误差也随之收敛。

2.2 自动化控制系统的智能化调节路径

在供电运行愈加复杂的条件下,控制系统若想具备足够的灵活性,其调节逻辑必须从传统的单参数响应跃升至多维信息综合判断,而智能化算法正促使这一能力得以实现。控制策略不再拘泥于固定阈值,而是围绕系统实时状态实施动态调整,使调节动作能够与负荷波动相吻合,控制曲线随运行节奏变化而不断更新。模型预测、模糊控制、自适应调节等算法的应用,使系统的响应时间被显著缩短,精度也得以提升。此外,若自动化控制能够结合设备健康度评估机制,调节行为便不仅关注当前的运行需求,也同时兼顾设备寿命与能耗水平,使控制模式更加均衡,也更加具有长期效益,成本结构因此更加合理。

2.3 数据驱动的控制优化机制构建

在智能电网的运行过程中,数据流的密度与实时性逐渐成为影响控制体系效能的关键因素,而数据驱动机制的建立,使自动化控制获得更完整的决策依据^[3]。供电系统在汇聚来自不同层级的运行数据后,若能够建立融合历史规律、当前状态与未来趋势的分析模型,控制策略便能在变化尚未出现前完成预测,从而使调节动作更加主动而非被动。负荷预测模型为系统提供了稳定规划的基础,状态估计技术提升了信息的准确度,异常识别机制强化了系统对风险的免疫能力,而这些能力相互交织,使控制系统具备更高的稳定性和可靠性。此外,数据驱动机制若与自动化平台相结合,系统运行策略将具备自我学习与自我修正的能力,误差逐渐趋于最小化,运行成本也因调节策略更为合理而持续下降,自动化的价值最终得以在系统的整体表现中充分呈现。

3 智能电网背景下供电系统电气自动化控制的优化策略与应用实践

3.1 基于数据驱动的自动化控制优化路径

在智能电网的整体运行格局中,供电系统若希望保持足够的韧性及敏捷度,控制策略必须借助数据形成自我修正、自我判断的能力,而这种依托数据关联性的优化路径,使系统能够在多重运行条件下维持较高的精度与协调度^[4]。大量运行记录被汇聚并被重构为可用于分析的特征体系,负荷变化的节奏、设备状态的漂移、运行边界的逼近趋势都得以揭示,从而使控制策略的制定不再停留在静态依据,而是随时间、环境与设备状态不断演化。数据驱动体系一旦具备预测能力,其价值便迅速扩大,因为系统能够提前制定符合未来负荷形势的动作,使自动化调节更具前瞻性与稳定性。某些情况下,数据驱动模型依托深度学习结构强化了对复杂非线性运行状态的刻画,使误差的收敛速度显著提高,而这类结构若搭配轻量化优化,可在硬件条件受限的场景中仍保持较强的计算能力,也进一步降低了建设与维护成本。

在若干地区的调控中心便出现了类似做法,例如某沿海城市供电部门在建设负荷预测平台时引入分段式训练模型,使高峰、低谷不同时间段的特征能够被区分处理,预测曲线与实际负荷高度贴合,自动化控制系统据此调整调节策略,使峰段电压偏差显著缩小,低谷时期的无功分配也更加均衡,这类实践印证了数据驱动机制在自动化体系中的基础性作用。

3.2 自动化控制系统的协同优化与平台构建

供电系统的自动化调控若仅依赖单一设备或独立系统,其效能往往难以体现,而构建协同化的平台,使监测、分析与执行处于连贯链条,是提升系统整体性能的关键举措。平台架构通常由感知层、传输层、分析层与调节层相互支撑构成,数据流在不同层级之间不断循环,决策逻辑因而更具整体性。自动化平台一旦具备跨区域、跨设备的调控能力,其在故障隔离、实时调节、状态评估等方面便呈现集成效应,使系统的运行边界更加清晰,控制动作更加迅速。

为了展示不同自动化策略对控制精度及运行成本的影响,可呈现表1作为参考。

表1 不同自动化控制策略的性能对比

控制策略类型	调节响应时间 (ms)	控制误差水平 (%)	年运行成本 (万元)
传统定值控制	180 - 250	3.8 - 5.1	210 - 240
半自动调节	90 - 130	2.4 - 3.2	170 - 190
智能协同控制	40 - 75	1.1 - 1.8	120 - 150

由表中指标可见,协同化平台能够在不同维度全面提升系统的运行表现,使响应速度显著加快,误差水平显著下降,同时运行成本也因资源配置更加合理而呈明显下降趋势。某山区电网在提出“全链条自动化调控工程”后,便采用集成控制平台对分布式电源及区域负荷进行统一管理,使调节速度提升近一倍,让频繁波动的节点在短期内获得稳定,与智能平台的介入关系密切。

3.3 预测控制与主动调节机制的创新应用

电气自动化体系要具备更强的主动调节能力, 预测模型的重要性随之攀升, 而这类技术的成熟, 使控制动作不再被动回应外界变化, 而是在变化成形之前便已实施前置调节, 系统稳定性由此显著提高^[5]。预测控制将未来一段时间的运行趋势以模型表征, 而模型与实时数据不断对齐, 使控制系统始终贴近真实工况。自动化系统若将预测模块嵌入调节逻辑之中, 其动作路径会随模型输出持续修正, 从而实现精准化动态调节。

例如在某北方地区冬季负荷剧烈波动的背景下, 当地电力企业采用分布式预测模型刻画采暖负荷的变化轨迹, 使负荷峰值的提前识别成为可能。调控系统借助这一模型提前规划调节动作, 使电压偏移的幅度大幅缩小, 设备的启停节奏也因此更加平稳, 自动化价值得以充分体现。这类实践表明, 在智能电网条件下, 预测控制已不仅是一种技术选项, 而是自动化体系从精细化走向智能化的关键节点。

3.4 自动化控制在供电系统中的工程化落地途径

若自动化体系仅停留在算法层面, 难以支撑供电系统的长期发展, 而工程化落地则要求其具备可维护性、可扩展性与可迁移性, 使其能够在不同区域、不同规模的电网结构中保持稳定运行。工程化结构通常强调模块化设计, 使控制系统能够针对不同的运行场景自由组合, 设备接口标准化后, 升级迭代成本显著降低, 系统运行也更加顺畅。自动化系统一旦具备自诊断、自恢复能力, 运维人员的工作量随之减少, 系统的安全裕度因而提升。

为了呈现工程化落地的可行性, 可举一个更典型的案例。例如某中部省份在开展供电系统自动化升级行动时, 以“分层部署、分区优化”为思路, 将高压、次高压和配网三个层级按不同复杂度分别构建自动化模块, 使高压层负责稳定性, 次高压层负责协调性, 配网层负责快速响应。多层结构形成后, 控制链条更加顺畅, 设备运行更加协调, 运行事故率显著下降。这样的工程

化路径不仅使自动化控制具有更强生命力, 也为其他地区提供了可复制的实施范式。

4 结语

在智能电网加速演进的背景下, 供电系统的自动化水平越是提升, 其稳定性、经济性与安全性便愈加凸显, 而当高精度感知、智能化调节与数据驱动机制逐渐形成协同链条时, 控制误差被不断压缩, 运行成本随之得到重新塑造, 系统整体的应对能力也呈现出更加坚实的态势。自动化体系的价值不仅体现在技术性能的跃升, 更体现在电力系统运行逻辑的深层重构, 当调控由被动转向主动、由静态转向动态、由分散转向协同, 供电系统便具备了面向未来能源格局的适应力与增长潜力。自动化控制的持续优化也将在更广阔的应用场景中释放新的能效价值, 使智能电网的发展路径更为坚定, 亦使供电体系的现代化基础愈加牢固。

[参考文献]

- [1]田振华. 供电系统的自动化控制技术应用分析[J]. 中国新通信, 2022, 24(23): 69-71.
- [2]王军. 探究供电系统电气工程及自动化控制技术[J]. 决策探索(中), 2019, (09): 62.
- [3]卢业. 电气自动化控制中无功补偿技术分析[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(33): 177-180.
- [4]杨珂, 俞英麒. 供配电系统电气自动化控制技术的研究[J]. 中国新通信, 2023, 25(08): 56-58.
- [5]王语菲. 电气工程自动化控制中智能技术的应用分析[J]. 通信电源技术, 2019, 36(10): 166-167.

作者简介:

韩梓峰(2005--), 男, 汉族, 北京人, 大学本科, 研究方向: 电气工程及其自动化供电系统、电气自动化控制。