

智能电网中电气自动化控制系统的优化设计与实现

严炳根

新余矿业有限公司新余江能光伏公司，江西新余，336600；

摘要：能源转型与数字技术融合推动智能电网成为电力系统发展核心，电气自动化控制系统作为其核心组成，直接影响电网运行质量。传统系统存在响应延迟、调度效率低、数据融合能力不足等问题，无法适配新能源并网与多元用电需求。本文结合智能电网技术特性，先分析控制系统现状与瓶颈，再从架构、算法、安全三方面提出优化方案，明确模块功能与协同机制，最后阐述系统实现流程与技术路径，为提升智能电网调控能力和综合效益提供支撑，助力电力系统向高效可靠方向升级。

关键词：智能电网；电气自动化控制系统；优化设计；系统实现

DOI：10.64216/3104-9664.25.02.024

引言

可再生能源规模化应用与交互式负荷增长，使电力系统源网荷结构发生变革，对电网调控能力提出更高要求。电气自动化控制系统是智能电网实现“源网荷储”协同的关键，其性能优化是解决电网运行问题的重要手段。传统集中式控制系统在应对电源波动和工况切换时易出现滞后，数据处理与安全防护也难以匹配智能电网发展。开展该系统优化设计研究，对推动智能电网升级意义重大。

1 智能电网中电气自动化控制系统的发展现状与瓶颈

1.1 智能电网的技术需求

智能电网的核心特征体现在高效、可靠、互动等方面，这些特征对电气自动化控制系统提出了明确的技术需求。首先是实时响应能力，新能源发电的波动性要求系统在毫秒级内完成数据采集与调控指令下发，避免电网频率与电压出现大幅波动。其次是协同调度需求，随着“源网荷储”一体化发展，系统需实现对发电侧、电网侧、用户侧及储能设备的统一协调，提升能源利用效率。最后是柔性调节需求，面对多样化的用电负荷，系统要具备灵活的调节能力，在保障供电可靠性的同时，满足用户个性化用电需求。

1.2 系统运行现状

当前我国智能电网中的电气自动化控制系统已初步实现规模化应用，在部分区域电网中完成了基础自动化功能的覆盖。从结构上看，多数系统仍以集中式调控为主，通过主站系统对下属变电站及配电设备进行统一

管理。在功能实现上，能够完成基本的遥测、遥信、遥控功能，保障电网的常规运行监控。但从实际运行效果来看，系统在应对高比例新能源并网时逐渐显现不足。部分老旧系统的硬件设备性能老化，数据处理速度较慢，难以适应海量数据的处理需求。同时，软件系统的兼容性较差，不同厂家的设备与系统之间存在数据交互壁垒，影响了调控效率的进一步提升。整体而言，系统正处于从基础自动化向智能调控转型的关键阶段。

1.3 核心发展瓶颈

电气自动化控制系统在发展过程中面临着多方面的核心瓶颈。其一，调控延迟问题突出，集中式架构下数据传输路径长，加上部分通信网络带宽不足，导致系统对电网故障的响应时间过长，易引发连锁反应。其二，数据融合能力薄弱，电网运行产生的多类型数据分散在不同系统中，缺乏统一的数据标准与融合平台，无法为调控决策提供全面准确的数据支撑。其三，自适应能力不足，系统参数多为固定设置，在面对新能源出力突变、负荷剧烈波动等复杂工况时，难以自动调整调控策略，需要依赖人工干预。这些瓶颈不仅影响了系统性能的发挥，也制约了智能电网整体效能的提升，亟需通过优化设计加以解决。

2 电气自动化控制系统的优化设计原则与目标

2.1 核心优化原则

电气自动化控制系统的优化设计需遵循多项核心原则，以确保优化方案的科学性与可行性。实用性原则是首要前提，优化设计需紧密结合电网实际运行场景，充分考虑现有设备的改造潜力，避免过度追求技术先进而脱离实际应用需求。可靠性原则不可或缺，系统优化

后需具备更高的运行稳定性,能够抵御外部干扰与内部故障,保障电网连续可靠供电。经济性原则同样重要,在优化过程中要合理控制成本,通过技术升级实现效益最大化,避免资源浪费。此外,扩展性原则也需重视,优化后的系统应具备良好的升级空间,能够适应未来智能电网技术与业务拓展的需求,延长系统的生命周期。

2.2 性能优化目标

基于智能电网的发展需求与系统现状,电气自动化控制系统的性能优化设定了明确目标。在响应速度方面,将系统对电网异常工况的响应时间从秒级缩短至毫秒级,确保能够快速抑制故障扩散。在调度效率方面,实现新能源消纳率提升 10% 以上,通过精准调控减少弃风弃光现象。在运行稳定性方面,将系统平均无故障运行时间延长 50%,降低设备故障对电网运行的影响。在数据处理能力方面,实现对海量多源数据的实时处理与分析,数据处理延迟控制在 100 毫秒以内。这些具体目标为优化设计提供了清晰的方向,也为后续的系统实现提供了评价依据。

2.3 协同适配要求

优化后的电气自动化控制系统需与智能电网形成良好的协同适配关系,这是保障系统效能充分发挥的关键。在技术层面,系统需兼容智能电网中的各类新技术与新设备,包括新能源发电系统、储能装置、智能电表等,实现数据的无缝交互与共享。在业务层面,要与电网的调度运行、检修维护、用电服务等业务深度融合,为各项业务提供精准的调控支持。在管理层面,需符合智能电网的统一管理规范,纳入电网整体的运维管理体系,实现系统运行状态的实时监控与统一调度。通过多维度的协同适配,使控制系统成为智能电网不可分割的有机组成部分,推动电网整体效能提升。

3 电气自动化控制系统的核心优化设计方案

3.1 分布式架构重构

针对传统集中式架构的弊端,优化设计采用分布式调控架构对系统进行重构。该架构将电网按区域划分为多个调控单元,每个单元设置区域控制节点,实现对本区域内设备的自主调控。区域控制节点之间通过高速通信网络实现数据交互,形成分布式协同调控模式。这种架构减少了数据传输距离,提升了响应速度。同时,采用分层控制模式,主站系统主要负责全局协调与优化决策,区域节点负责实时调控,实现了“全局优化+局部

快速响应”的有机结合。架构重构过程中,还引入了标准化的接口协议,解决了不同厂家设备的兼容性问题,为系统的灵活扩展提供了支撑。

3.2 自适应算法革新

算法革新是提升系统调控性能的核心手段,优化设计引入了基于机器学习的自适应调控算法。该算法通过对电网历史运行数据的学习,建立不同工况下的调控模型,能够根据实时运行状态自动调整调控参数。与传统固定参数算法相比,自适应算法具备更强的灵活性与适应性。在新能源出力波动时,算法可快速预测出力变化趋势,提前制定调控策略,减少电网波动。针对复杂的“源网荷储”协同问题,算法采用多目标优化方法,在保障供电可靠性的同时,实现能源利用效率最大化。算法应用过程中,通过离线训练与在线更新相结合的方式,不断提升模型的预测精度与调控效果。

3.3 数据融合模块优化

数据融合模块的优化重点在于构建统一的数据处理平台,解决多源数据分散的问题。首先建立标准化的数据采集规范,对来自发电侧、电网侧、用户侧的不同类型数据进行统一格式转换,确保数据的一致性。然后采用边缘计算技术,在数据采集终端对原始数据进行预处理,过滤冗余信息,减少数据传输量。平台核心采用分布式数据库,实现海量数据的高效存储与快速查询。同时,引入数据挖掘技术,对融合后的数据进行深度分析,提取电网运行规律与潜在故障特征,为调控决策提供数据支撑。优化后的模块数据处理延迟显著降低,数据准确性明显提升。

4 电气自动化控制系统的安全防护体系优化

4.1 安全风险识别评估

系统安全风险的识别与评估是构建安全防护体系的基础。从风险来源来看,主要包括网络攻击风险、设备故障风险与数据泄露风险。网络攻击风险主要来自外部恶意攻击,可能导致系统瘫痪或调控指令被篡改。设备故障风险包括硬件设备老化与软件漏洞,易引发系统运行异常。数据泄露风险则可能导致电网运行数据被窃取,影响电网安全。评估过程中,采用定性与定量相结合的方法,对各类风险发生的概率与造成的损失进行分析。通过建立风险评估指标体系,对系统安全状态进行实时监测与评估,为后续安全防护措施的制定提供依据,确保风险识别全面、评估准确。

4.2 安全防护机制构建

基于风险识别与评估结果,构建多层次的安全防护机制。在网络层面,采用防火墙、入侵检测系统等技术,建立网络安全防护屏障,阻止外部恶意攻击。在设备层面,定期对硬件设备进行检修与维护,及时更新软件系统,修复安全漏洞。在数据层面,采用数据加密、访问控制等技术,确保数据传输与存储过程中的安全,防止数据泄露。同时,建立安全应急响应机制,制定应急预案,在发生安全事件时能够快速响应、及时处置,最大限度降低损失。通过多层次的防护机制,形成全方位的安全防护体系,保障系统稳定运行。

4.3 安全效率协同优化

安全与效率的协同优化是安全防护体系设计的重要原则,避免过度强调安全而降低系统运行效率。优化过程中,采用动态安全策略调整机制,根据系统运行负荷与安全风险等级,自动调整安全防护措施的强度。在系统运行负荷较低、风险等级较低时,适当简化安全验证流程,提升运行效率。在负荷较高、风险等级较高时,自动加强安全防护措施,保障系统安全。同时,通过技术优化提升安全防护设备的处理速度,避免因安全设备性能不足导致系统响应延迟。此外,建立安全与效率的协同评估机制,定期对系统的安全状态与运行效率进行综合评估,确保两者达到最佳平衡。

5 优化后电气自动化控制系统的实现路径

5.1 硬件选型集成

核心硬件的选型与集成需围绕系统优化目标展开,确保硬件性能满足系统运行需求。在控制节点设备选型上,采用高性能嵌入式处理器,具备强大的数据处理能力与多任务处理能力,保障区域控制节点的实时调控需求。通信设备选用高速光纤通信模块,提升数据传输速率与稳定性,满足分布式架构下节点间的快速数据交互。传感器设备选用高精度、高可靠性的智能传感器,实现对电网运行参数的精准采集。集成过程中,采用模块化设计理念,将不同功能的硬件模块进行标准化集成,便于安装、维护与升级。同时,进行严格的硬件兼容性测试,确保各模块之间能够稳定协同工作,提升系统整体可靠性。

5.2 软件开发调试

软件系统的开发与调试遵循模块化、标准化的原则。开发过程中,采用面向对象的编程技术,将系统软件分为数据采集模块、算法处理模块、调控指令下发模块等多个功能模块,每个模块独立开发、测试,再进行集成。

数据采集模块实现对多源数据的标准化采集与预处理;算法处理模块嵌入自适应调控算法,完成数据分析与调控策略制定;调控指令下发模块负责将调控指令精准下发至执行设备。调试过程分为单元调试、集成调试与系统调试三个阶段。单元调试针对单个模块进行功能测试;集成调试测试模块间的协同工作性能;系统调试则在模拟电网环境下对软件系统进行全面测试,确保软件功能满足设计要求。

5.3 系统联调测试

系统联调与运行测试是验证优化后系统性能的关键环节。联调过程中,将硬件设备与软件系统进行全面连接,测试系统的整体协同工作能力。重点测试分布式控制节点与主站系统之间的通信稳定性,以及调控指令从下发到执行的全过程响应时间。运行测试采用模拟运行与现场试运行相结合的方式。模拟运行在实验室环境下,构建与实际电网一致的仿真模型,模拟不同运行工况,测试系统的调控性能。现场试运行则选取典型区域电网进行试点应用,实时监测系统在实际运行中的表现,收集运行数据。根据测试结果对系统进行最后的优化调整,确保系统满足设计目标与实际运行需求。

6 结论

本文围绕智能电网中电气自动化控制系统的优化设计与实现展开研究,系统分析了当前系统的发展现状与核心瓶颈,明确了智能电网对控制系统的技术需求。基于此,从优化设计原则与目标出发,提出了涵盖分布式架构重构、自适应算法革新、数据融合模块优化的核心设计方案,并构建了多层次的安全防护体系,阐述了系统实现的硬件选型、软件开发及联调测试路径。

参考文献

- [1]陈彬琦,刘钊,张杰.智能电网中电气自动化技术的实时监控与故障诊断技术[J].自动化博览,2025,42(03):70-73.
- [2]周恣剀,蒋一鸣.电气工程中电气自动化技术的应用研究[J].模具制造,2023,23(09):217-219.
- [3]李腊.智能电网建设中电气工程及其自动化的应用[J].新型工业化,2021,11(08):153-154.
- [4]高建峰.电气自动化技术在电气工程中的应用[J].大众用电,2021,36(05):40-41.
- [5]刘江江.电力系统中电气自动化技术的应用探究[J].数码世界,2020,(06):288.