

智能化背景下电气系统的发展路径研究

段文斌

江南机电设计研究所，贵州 贵阳 550009

DOI: 10.61369/TACS.2026060021

摘 要： 在全球能源转型和智能化技术深度交融的大环境下，电气系统是能源供给和传输的主要载体，它的智能化转型成了促进行业高质量发展的关键。本文主要研究智能化背景下电气系统发展遇到的困难，整理出数据处理、多能调节、算力部署、安全防护等各方面的主要问题，从数据整合、控制策略、部署方式、安全保障四个方面提出相应的解决办法，并通过实际项目案例来检验路径的可行性和实用性。研究清楚地表明了智能化技术同电气系统深度结合的实施逻辑，给各类场景下的电气系统智能化升级赋予了可以落地的方法论和实践参照，助力电气系统运行效率和安全性的提升，推动新型电力系统创建和能源绿色低碳发展。

关 键 词： 智能化背景；电气系统；发展路径

Research on the Development Path of Electrical Systems Under the Background of Intelligence

Duan Wenbin

Jiangnan Institute of Mechanical and Electrical Design, Guiyang, Guizhou 550009

Abstract： Against the backdrop of the in-depth integration of global energy transition and intelligent technologies, electrical systems serve as the main carrier for energy supply and transmission, and their intelligent transformation has become the key to promoting the high-quality development of the industry. This paper mainly studies the difficulties encountered in the development of electrical systems under the background of intelligence, sorts out the main problems in data processing, multi-energy regulation, computing power deployment, safety protection and other aspects, and proposes corresponding solutions from four dimensions: data integration, control strategies, deployment methods, and safety guarantees. Practical project cases are used to verify the feasibility and practicality of the proposed paths. The research clearly clarifies the implementation logic of the in-depth integration of intelligent technologies and electrical systems, endows the intelligent upgrading of electrical systems in various scenarios with actionable methodologies and practical references, helps improve the operational efficiency and safety of electrical systems, and promotes the construction of new power systems and the green and low-carbon development of energy.

Keywords： background of intelligence; electrical systems; development paths

在能源绿色低碳转型和“人工智能+”能源战略的双轮驱动之下，电气系统作为能源供给和传输的主要载体，也处在深刻的变革之中。传统的电气系统依靠固定的逻辑控制和人工干预来适应高比例新能源并网、复杂工况的应对以及能效优化等各方面的需求，不能满足新型电力系统建设以及智能制造发展的需要。目前，物联网、大数据、人工智能等技术已经渗透到电气系统的全过程之中，但是应用过程中还存在着技术融合不够深入、标准不统一、核心技术受制于人的状况。在此背景下，系统探究智能化背景下的电气系统发展道路，破除现存瓶颈，促使电气系统由高效、可靠、智能方向转变，既是保证国家能源安全的必然选择，又是推进电气行业高质量发展的主要手段，有着十分重要的理论和现实意义^[1]。

一、智能化背景下电气系统的发展路径研究意义

开展智能化背景下的电气系统发展路径研究有重大的理论和现实意义。从理论上讲，本文以人工智能、物联网和电气技术交叉融合的角度出发，对新型电气系统运行逻辑和技术架构进行梳理，可以充实智能化电气领域研究体系，给以后的学术研究提供

思路。从实践角度出发，就传统电气系统适应新能源能力欠缺、智能化技术融合程度不高、行业标准缺失等现实状况而言，探寻科学可行的发展道路，有益于冲破核心技术瓶颈，加强电气系统的运行稳定性和能源利用效能，契合新型电力系统创建的需求^[2]。另外还可以给电气行业的数字化转型提供实践指导，保证能源安全稳定的供应，推进智能制造和能源产业的高质量发展，促进国

家绿色低碳转型战略的落实。

二、智能化背景下电气系统的发展路径研究难点

（一）数据异构融合与实时处理难

电气系统智能化过程中，各种终端设备、传感器、子系统所产生出来的数据种类繁多，包含电气参数、设备状态、环境信息等等，各个来源的数据格式、精度、传输协议存在着较大的差别，造成数据孤岛的现象。现有的数据处理技术不能很好地整合各种各样的异构数据，并且对于电气系统运行中产生的数据具有实时性和突发性的特点，大量的数据流快速到来时，容易造成数据延迟、失真的情况发生，从而影响到智能化决策的及时性以及准确性^[3]。

（二）多能耦合协调与动态建模难

智能化电气系统要实现电、气、热、冷等各种能源形式的协同供应和优化配置，各种能源的物理特性、传输规律、约束条件差别很大，相互之间存在着复杂的耦合关系，并且会不断发生变化。现有的建模方法不能很好地刻画出多能耦合过程中非线性性和时变的特性，不能很好地体现能源供需波动、设备运行状态的变化对整个系统性能的影响，造成模型和实际运行场景相脱离，不能支持多能协同优化控制策略的制定和实施^[4]。

（三）边缘端算力受限部署实施难

电气系统边缘端设备大多处在户外复杂的环境中，受到安装空间、供电条件和成本的制约，算力资源比较少，不能满足复杂智能化算法运行的要求。而且边缘端设备种类繁多、接口不统一，各个厂家的设备之间兼容性不好，智能化算法部署起来比较困难。^[5]除此之外，边缘端和云端之间数据交互还要考虑实时性和安全性，有限的算力下怎样实现算法轻量化部署、保证数据传输效率，也成了影响系统智能化落地的因素。

（四）系统自愈容错与安全防护难

随着智能化电气系统接入设备越来越多，网络连接越来越复杂，各种恶意攻击、网络入侵、设备故障等发生的概率也越来越大，对系统的自愈容错能力和安全防护能力提出了更高的要求。系统运行过程中，单个设备出现故障或者局部网络出现问题很容易波及到整个系统，现有的容错机制很难对故障进行及时的识别、定位和自愈，而且传统的安全防护技术也很难适应智能化系统的动态运行特点，不能很好地抵御新型网络攻击，不能保证系统运行的稳定性和数据的安全性^[6]。

三、智能化背景下电气系统的发展路径研究路径

（一）构建统一数据语义互操作平台

工作人员要整理出电气系统各种数据类型、格式以及传输协议，创建起统一的数据语义标准和接口规范，冲破各个设备、子系统之间数据壁垒。通过创建数据整合框架来达成异构数据的标准化转换和清洗工作，进而达成数据资源的集中管理以及共享目的。另外还要对数据交互方式进行改进，提高数据传输的及时性

以及准确度，给后面智能化分析和决策提供标准化、高质量的数据支持，使各种数据在系统内实现快速流通并加以充分运用^[7]。

以“工业园区电气系统智能化升级项目”为例，工作人员要对园区内变压器、开关柜、传感器等各种设备的数据源进行全面摸排，整理出各个厂家设备数据格式的不同和传输协议的种类，按照行业标准来制定适合园区场景的统一数据语义规范，确定电压、电流、设备温度等主要数据的统一编码和解析规则。创建园区级的数据整合平台，把配电、照明、能耗监测等各个子系统所产生出来的数据汇集起来，利用数据清洗算法消除异常数据，补齐缺失数据，从而达成多源数据的标准化整合并集中保存^[8]。优化数据交互链路，使用5G+边缘传输技术减小数据延迟，保证设备运行数据及时上传到平台，建立数据共享接口，给园区电气系统的能耗分析、故障预警、优化调度等智能化应用赋予统一、高质量的数据支撑，有效地冲破各个子系统之间数据孤岛的状况，加强园区电气系统的智能化管理水准。

（二）研发多时间尺度协同控制策略

工作人员要依照电气系统多能耦合的动态特性，把不同的控制目标和约束条件划分成不同的时间尺度，并且明确各个尺度之间的协同关系。利用先进的控制理论以及智能算法相结合的方法建立分层协同的控制体系，从短期的能源供需平衡和长期的系统优化运行两个方面综合考虑。优化控制参数迭代机制，在负荷波动、能源供应等变化过程中，使不同的控制目标同步推进，保证系统稳定高效^[9]。

比如在城市综合能源站电气系统协同控制项目中，工作人员要根据能源站电、气、热多能耦合运行特点，将时间尺度分为日内实时控制、短期调度优化、长期规划调整三个阶段，确定各个阶段的控制目标，日内以负荷实时平衡为目标，短期以能源利用效率提升为目标，长期以系统可持续运行为目标。融合模型预测控制和强化学习算法，设计分层协同控制结构，把不同的时间尺度控制指令做联动优化，防止单个时间尺度的控制造成系统失衡。利用实时获取的能源供给、负荷需求数据，对控制参数进行动态迭代优化，当遇到极端天气造成负荷突增或者新能源供应出现波动的时候，立刻改变控制手段，从而达成日内即时响应以及短期优化调度的结合，兼顾能源供需平衡和系统运行效能，保证城市综合能源站电气系统稳定高效运作。

（三）部署云边端协同轻量化推理系统

工作人员根据边缘端算力情况，对智能化推理算法做轻量化改造，简化算法结构，减少算力消耗，使其适合于边缘端设备的运行。创建云边端协同架构，确定云端和边缘端的功能分工，达成云端对大规模数据进行处理，边缘端对实时数据进行推理并执行本地控制的目的。优化云边数据交互策略，在保障数据安全的基础上提高数据传输和指令下达速度，促进智能化算法的快速部署与应用^[10]。

比如在配电网边缘智能化部署项目中，工作人员要根据配电网边缘端终端设备算力小、安装环境复杂的特点，对配电网故障诊断、负荷预测等主要推理算法进行轻量化改造，去掉多余的计算模块，改善算法的复杂程度，缩减算力耗费，从而保证其能在

配网终端设备上正常运作。搭建云边端协同架构，云端做大规模的历史数据处理、算法模型的训练和升级，边缘端做实时采集配网运行数据、本地推理和控制指令。改进云边数据交互协议，用加密传输方式保证数据的安全，利用断点续传来提高数据传输的可靠性，把云端训练好的轻量化算法模型发送到边缘终端，实现配电网故障的实时诊断、负荷的精准预测，推动配电网智能化算法的高效部署，提高配电网运行管控的实时性、精准度。

（四）建立主动防御与自适应恢复机制

工作人员要对智能化电气系统所存在的安全风险和故障进行梳理，创建起完备的风险评价体系，准确找到系统安全的薄弱之处。将网络安全、设备容错技术融合起来，创建出具备防御和恢复能力的综合体系，从而达到对恶意攻击、设备故障的及时识别和有效拦截的目的。创建故障自愈模型，改善故障定位和恢复流程，加强系统异常情况下自我调节的能力，保证系统一直正常工作。

比如在智能变电站安全防护升级项目中，工作人员要对变电站智能化升级之后可能出现的网络入侵、设备故障、数据泄露等安全风险进行全方位的排查，整理出变压器、测控装置、通信设备等主要设备的故障种类及安全漏洞，创建起包含设备状况、网络安全、数据传输等各方面内容的风险评价体系。整合防火墙、

入侵检测系统和设备容错技术，创建一体化的安全防护和恢复体系，对网络流量及设备运行状况实施实时监测，对恶意攻击行为予以准确识别并加以拦截，对设备小范围的故障情况发出即时警报。建立故障自适应恢复模型，确定各种类型的故障的定位流程和恢复方案，当出现设备故障或者网络异常的时候，迅速找到故障点并启动备用设备以及备用链路，从而达成系统快速自愈的目的，防止安全事故的扩大。

四、结语

综上所述，本文主要对智能化背景下的电气系统发展现状进行梳理，找出数据融合、多能调控、算力部署、安全防护等层面的现实难点，从数据平台建设、控制策略优化、云边端协同部署、安全自愈机制建立四个方面提出电气系统升级的可行途径，并结合实际项目场景验证策略的实践价值。以行业发展实际为基础，兼顾技术可行性及应用落地性，确定了智能化技术同传统电气系统深度融合发展时的操作逻辑，可以给工业园区、配电网、综合能源站等场景的电气系统更新给予理论参照和操作支撑，推动电气行业实现数字化、安全化、高效化的转型，符合新型电力系统创建的现实需求。

参考文献

[1] 陈坚. 智能制造背景下造纸厂电气设备故障诊断与预测维护系统设计 [J]. 华东纸业, 2026, 56(2): 37-39.
[2] 肖伟兰. 新型电力系统背景下电气设备绝缘老化智能诊断技术研究 [J]. 消费电子, 2025(24): 80-82.
[3] 王良伟. 冶金企业工业 4.0 背景下的智能化电气控制系统研究 [J]. 冶金与材料, 2023, 43(11): 46-48.
[4] 顾烜辉. 智能交通背景下公路机电系统的协同发展策略研究 [J]. 时代汽车, 2026(4): 196-198.
[5] 牛卿懿. 基于智能化技术的煤矿电气工程自动化控制系统研究 [J]. 电气技术与经济, 2024(8): 216-218.
[6] 董方晨. 电力系统电气工程自动化中智能化技术运用 [J]. 电力设备管理, 2024, (22)231-233.
[7] 焦学渊. 建筑电气智能化系统联动控制技术研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(1): 97-99.
[8] 蔡泽润. 建筑电气智能化系统设计与实践应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(2): 264-266.
[9] 陈祥, 李城城, 王振蒙, 等. 基于智能化技术的电气自动化控制系统研究与实现 [J]. 中国设备工程, 2024(15): 28-30.
[10] 张允. 基于 PLC 控制的电气自动化智能照明系统设计 [J]. 中国照明电器, 2025(3): 163-165.