

# 发电厂电气集控运行技术研究

贾浩然 赵志贺 张 旭

济宁华源热电有限公司 山东 济宁 272000

**摘要：**发电厂电气集控运行技术通过集成自动化与信息化手段，构建覆盖全厂的智能管控体系，显著提升电力生产效率与系统稳定性。该技术以数据采集与监控系统（SCADA）、分布式控制系统（DCS）为基础，融合物联网、人工智能等前沿技术，实现设备状态实时监测、智能控制与故障预警。当前火电厂应用中，集控技术已实现设备集中管控与远程操作，但面临硬件老化、算法适应性不足等问题。本文从硬件升级、算法优化、管理革新三方面提出改进策略，包括高精度传感器部署、自适应控制算法研发及标准化运维体系构建，为火电厂智能化转型提供技术路径与管理框架。

**关键词：**发电厂；电气集控运行技术；策略

引言：在能源结构转型与电网智能化需求驱动下，发电厂电气集控运行技术成为保障电力供应安全与效率的核心支撑。集控技术通过数据融合与智能决策，实现发电设备全生命周期管理。本文从技术架构、应用现状与优化路径出发，系统分析集控技术在数据采集、智能控制、系统集成等环节的关键突破，并结合火电厂典型场景提出硬件智能化改造、多目标优化算法及预测性维护等解决方案，为电力行业数字化转型提供理论参考与实践指导。

## 1 发电厂电气集控运行技术概述

发电厂电气集控运行技术，是指通过自动化、信息化手段，将发电厂内分散的电气设备运行参数采集、监控、控制功能集成于统一平台，实现集中化、智能化管理的技术体系。该技术打破传统分散操作模式，显著提升电力生产效率与可靠性，是现代电力工业迈向数字化、智慧化的关键路径。该技术的发展历经多个阶段。早期发电厂依赖人工操作与简单继电保护装置，效率低且安全性差。随着计算机技术的发展，数据采集与监控系统（SCADA）逐步应用，实现基础数据的远程监测；随后，分布式控制系统（DCS）的普及，使电气设备实现分层分布式控制；近年来，物联网、大数据、人工智能等技术的融合，推动集控运行向智能决策、自适应控制方向升级。

电气集控运行技术由硬件与软件两部分构成。硬件层面，包含传感器、控制器、通信网络及监控终端，负责实时采集设备运行数据并传输至控制中心；软件层面，依托SCADA、DCS及智能分析系统，对数据进行处理、分析，通过预设算法实现设备启停、负荷调节、故障预警等功能。二者协同运作，构建起覆盖全厂的智能

管控网络。相较于传统运行模式，集控运行技术优势显著。一是提升运行效率，通过自动控制减少人工干预，降低操作延迟；二是增强系统稳定性，实时监测与故障诊断功能可快速定位异常，避免事故扩大；三是优化资源配置，基于数据分析实现发电负荷与电网需求动态匹配，降低能耗<sup>[1]</sup>。

## 2 电气集控运行的关键技术

### 2.1 数据采集与监控技术

数据采集与监控技术其核心功能在于构建设备运行状态感知体系，实现参数的实时采集、传输与处理。在硬件部署层面，传感器网络呈现多层次、多类型的架构特性。底层通过罗氏线圈传感器实现高精度非侵入式电流测量，基于霍尔效应原理的电压传感器保障电压参数的精确获取；针对高压、高温等特殊环境，光纤温度传感器与MEMS振动传感器凭借抗电磁干扰、耐腐蚀特性，实现设备关键参数的稳定采集。数据传输环节采用混合组网模式，现场总线用于设备近程互联，工业以太网与5G通信构成远程骨干网络，其中5G的URLLC特性使数据传输延迟降至毫秒级，满足实时控制需求。

SCADA系统作为数据处理中枢，采用C/S与B/S混合架构提升系统灵活性。其数据处理模块集成卡尔曼滤波、小波变换等算法，有效消除噪声干扰；存储系统采用时序数据库实现海量数据的高效压缩存储，压缩比可达10:1以上。异构系统交互通过OPCUA协议实现，该协议基于TCP/IP与WebServices，支持跨平台数据语义互操作，通过地址空间建模实现设备信息的标准化描述，确保不同厂商设备的无缝对接。边缘计算节点的引入，进一步实现数据的本地预处理，降低云端负载与网络延迟。

### 2.2 智能控制算法

智能控制算法通过融合传统控制理论与人工智能技术，解决电气系统非线性、强耦合、时变特性带来的控制难题。传统PID控制基于比例、积分、微分调节的线性组合，其参数整定依赖Ziegler-Nichols等经验公式，但在复杂工况下易出现超调量大、响应延迟等问题。为突破这一局限，自适应控制技术通过在线辨识系统参数，动态调整PID参数；滑模控制利用切换函数构建滑动模态，增强系统鲁棒性。

智能算法层面，模糊控制基于Mamdani或Takagi-Sugeno模型，将专家经验转化为模糊规则库，通过隶属度函数实现精确量到模糊量的转换，在励磁控制、调速系统中有效提升动态响应性能。神经网络控制采用多层感知机、递归神经网络等架构，其中LSTM网络通过门控机制解决长序列数据的梯度消失问题，适用于负荷预测与频率控制。深度强化学习结合深度神经网络与Q-learning算法，在电网动态经济调度中通过与环境交互优化策略，实现发电成本与网损的协同控制。多智能体强化学习则针对分布式电源集群控制，通过智能体间的信息交互实现全局优化。

### 2.3 系统集成技术

系统集成技术以构建统一管控平台为目标，从硬件架构与软件协同两方面实现系统融合。硬件层面采用三层分布式架构：现场设备层部署智能电子设备与可编程逻辑控制器，通过PROFINET、EtherCAT等实时以太网协议实现毫秒级数据交互；控制层以DCS系统为核心，通过冗余控制器与热备切换技术保障控制连续性；管理层部署数据中心服务器，运行能量管理系统与厂级监控信息系统。网络架构采用双环网冗余设计，支持链路故障时的自动切换，保障通信可靠性。

软件集成依赖标准化协议与中间件技术。OPCUA协议采用信息模型分层架构，通过数据访问、报警与事件、历史数据访问等服务接口实现数据全生命周期管理。物联网平台通过设备建模、规则引擎实现数据的实时分析与业务逻辑编排；数字孪生技术基于Unity3D或UnrealEngine构建三维仿真模型，通过OPCUA或MQTT协议与物理设备实时同步，支持虚拟调试与故障预演。容器化技术与微服务架构的应用，实现软件模块的轻量化部署与弹性扩展，提升系统运维效率。

### 2.4 故障诊断与预警技术

故障诊断与预警技术通过多源数据融合与智能分析，实现设备异常状态的早期识别。信号处理层面，短时傅里叶变换（STFT）、小波变换（WT）等时频分析方法将时域信号转换为二维时频图谱，通过峰值检测算法

提取故障特征；希尔伯特-黄变换（HHT）结合经验模态分解（EMD），可自适应分析非平稳信号，在局部放电检测中应用广泛。基于模型的诊断方法采用状态空间模型、Petri网等工具构建设备数学模型，通过卡尔曼滤波估计系统状态，当残差超过阈值时触发故障诊断。

人工智能技术的应用推动诊断技术向智能化发展。卷积神经网络（CNN）通过多层卷积层与池化层自动提取图像或信号特征，在绝缘子缺陷识别中准确率可达95%以上；Transformer架构引入自注意力机制，有效处理长序列数据，在发电机振动信号分析中表现优异。知识图谱技术整合设备参数、运行日志与专家经验，构建故障诊断知识库，通过图神经网络（GNN）实现故障关联推理<sup>[2]</sup>。预警系统采用多指标融合评估模型，基于D-S证据理论融合多个传感器数据，结合马尔可夫链预测故障发展趋势，通过分级预警机制实现风险的差异化管控。

## 3 火电厂电气集控运行技术的应用现状

在当前电力生产格局中，火电厂仍占据主导地位，电气集控运行技术的应用成为提升火电厂运行效率与可靠性的关键。现阶段，多数火电厂已引入电气集控运行技术，实现对各类电气设备的集中管控。通过构建分布式控制系统，将发电、输电、变电等环节的设备数据进行整合，运行人员可在集控室内对全厂电气设备进行实时监测与远程操作，极大提升了操作的便捷性与响应速度。例如，在机组启停过程中，集控系统能够按照预设程序自动协调各设备动作，减少人工干预，降低误操作风险。技术应用过程中也暴露出一些问题。部分火电厂集控系统的硬件设施老化，传感器精度下降，导致设备运行参数采集不准确，影响后续的控制决策。随着电力需求的增长与电网运行要求的提高，老旧的集控软件在功能拓展与兼容性方面表现出不足，难以满足新的调度指令与复杂工况下的控制需求<sup>[3]</sup>。在汽温、主汽压力、再热汽温等关键系统的控制上，现有集控技术仍存在优化空间。

## 4 优化火电厂电气集控运行技术的策略

### 4.1 硬件设施升级与智能化改造策略

硬件设施的性能直接决定集控系统的基础能力，需从以下三方面进行系统性升级。（1）在传感器层面，推广高精度、智能化传感器的应用，采用光纤电流传感器替代传统电磁式电流互感器，利用其抗电磁干扰特性提升测量精度；部署MEMS振动传感器与红外测温传感器，构建多参数感知网络，实现设备状态的立体化监测。引入智能传感器节点，集成边缘计算能力，在数据源头完成信号滤波、特征提取等预处理，减少传输带宽

占用与云端计算压力。(2)通信网络优化方面,构建工业以太网与5G混合组网架构。核心控制数据通过冗余工业以太网传输,确保低延迟与高可靠性;设备巡检、视频监控等非实时数据借助5G网络传输,利用其广覆盖特性提升系统灵活性。网络拓扑采用环网冗余设计,配置快速生成树协议实现故障链路毫秒级切换,并部署工业级防火墙与入侵检测系统,保障数据传输安全。(3)控制终端的升级聚焦人机交互与控制性能。采用高分辨率触控屏替代传统仪表盘,通过分层分级的可视化界面设计,实现关键参数与系统状态的直观展示;引入虚拟现实与增强现实技术,构建沉浸式操作环境,辅助运行人员进行复杂操作模拟与故障推演。

#### 4.2 软件算法优化与智能控制策略

软件算法是实现集控系统智能化的核心,需从以下三个方向进行创新。(1)在基础控制领域,针对火电厂主汽压力、再热汽温等非线性、大滞后系统,采用自适应控制算法替代传统PID控制。通过在线辨识系统参数,动态调整控制参数,如利用递推最小二乘法实时估计模型参数,结合模型预测控制(MPC)实现多变量协同优化,提升控制精度与抗干扰能力。(2)优化决策算法层面,引入人工智能技术实现发电过程的全局优化。基于深度强化学习(DRL)算法,构建发电负荷动态分配模型,通过与电网实时交互,综合考虑煤耗、碳排放、电网调度指令等因素,生成最优发电策略;利用遗传算法对机组组合进行优化,在满足电力需求的前提下,降低机组启停成本与能耗。构建基于大数据的能效分析平台,通过聚类分析、关联规则挖掘等算法,识别运行过程中的能耗异常点,为优化运行参数提供数据支撑。(3)故障诊断算法的优化采用多技术融合策略。将深度学习算法与信号处理技术相结合,利用卷积神经网络(CNN)自动提取电流、振动信号的故障特征,实现设备早期故障的精准识别;基于长短时记忆网络(LSTM)对设备运行数据进行时序分析,预测故障发展趋势。构建知识图谱,整合设备设计参数、历史故障案例与专家经验,通过图神经网络(GNN)实现故障的快速定位与

原因溯源,提升故障诊断的准确性与效率。

#### 4.3 管理模式革新与运维体系优化策略

管理模式与运维体系的优化是保障技术落地的关键,需从以下三个方面着手。(1)在标准化建设方面,制定统一的集控系统设计与施工与验收标准,规范设备接口、通信协议与数据格式,解决不同厂商设备兼容性问题。建立全生命周期管理标准,涵盖设备选型、安装调试、运行维护、退役更新等环节,确保系统持续稳定运行。(2)人员能力提升聚焦复合型人才培养。构建分层分类的培训体系,针对运行人员开展智能控制算法、数据分析工具等新技术培训;对维护人员进行网络安全、系统集成等专项技能训练。引入虚拟仿真培训系统,模拟各类复杂工况与故障场景,提升人员应急处理能力。(3)数字化运维体系的构建依托物联网与大数据技术<sup>[4]</sup>。搭建设备健康管理平台,通过传感器实时采集设备运行数据,结合机器学习算法评估设备健康状态,实现预测性维护;利用数字孪生技术构建火电厂虚拟模型,将物理设备与数字模型实时映射,支持远程调试、优化仿真与故障预演。

结束语:发电厂电气集控运行技术是电力工业迈向智慧化的关键路径,其通过数据驱动与智能决策重构了传统生产模式。本文研究表明,集控技术的深化应用需从硬件、算法、管理三维度协同发力:硬件层面需突破传感器精度与通信可靠性瓶颈,算法层面需强化非线性系统控制与多目标优化能力,管理层面需构建标准化运维体系与复合型人才培养机制。

#### 参考文献

- [1]蒋晓峰,王建庆.发电厂电气集控运行技术研究[J].电力设备管理,2023(9):53-55.
- [2]张博超.发电厂电气集控运行技术研究[J].魅力中国,2019(35):333-334.
- [3]曹雪伟.发电厂电气集控运行技术研究[J].百科论坛电子杂志,2021(9):1355.
- [4]吴伟,卢兵,张鑫.发电厂电气集控运行技术分析[J].科技创新与应用,2022,12(33):169-172.