

电力工程输配电与用电工程自动化运行技术研究

文 / 赵 力 中国电建集团湖北工程有限公司

摘要：在电力系统规模扩大与用电需求多元化的大背景下，输配电及用电工程的自动化运行成为提升电网效能的关键。基于此，本文围绕电力工程自动化运行技术展开研究，系统阐述智能监控调度、通信信息处理及故障自愈等核心技术要点。通过融合智能传感与数据分析技术，实现对输配电状态的实时感知与动态调度；依托高速通信网络与信息集成平台，保障多源数据的高效传输与协同处理；基于故障诊断算法与快速隔离机制，提升电网自愈能力与供电可靠性。

关键词：电力工程；输配电；自动化技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.081

引言

近年来，我国能源结构转型与电力负荷持续增长，传统输配电及用电工程面临运行效率与可靠性双重挑战。自动化运行技术作为提升电网智能化水平的重要手段，正逐步应用于电力系统各环节。本文聚焦电力工程中输配电与用电工程的自动化运行技术，系统分析其关键技术要点，旨在为提升电网调度灵活性、故障响应速度及整体运行效能提供理论参考与实践指导，推动电力系统向高效、安全、智能方向发展。

一、电力工程自动化运行技术概述

电力工程自动化运行技术是现代电力系统实现高效、可靠、安全运行的重要支撑，其核心在于依托先进的控制理论、信息技术与通信手段，构建具有自感知、自决策、自调节能力的智能化电力系统^[1]。该技术体系涵盖输电、变电、配电及用电等环节，通过实时监测、远程控制、智能调度与故障自愈等功能，显著提升电力系统的运行效率与供电可靠性。

在输电环节，自动化技术主要应用于广域监测系统、柔性交流输电系统，以及高压直流输电等先进控制手段，实现对电网状态的全景感知与动态调节；变电环节则以智能化变电站为核心，通过数字化、网络化与集成化的设备配置，实现设备状态在线监测、保护控制自动化及运行维护智能化。配电环节借助配电自动化系统（DAS）、馈线自动化（FA）及分布式电源接入控制，实现对配电网的精细化管理与快速故障响应。用电环节则通过智能计量、需求侧响应及用户侧能源管理系统，促进用电行为的科学化与高效化。

二、基于电力工程输配电与用电工程的自动化运行技术要点

（一）智能监控与调度技术

智能监控与调度技术是电力工程自动化运行体系中的核心组成部分，其通过先进的信息采集、数据处理与决策支持手段，实现对电力系统运行状态的实时感知、动态调控与优化管理。

1. 技术架构与系统组成

智能监控与调度系统通常采用分层分布式架构，主要包括感知层、传输层、平台层与应用层四个层次。感知层由各类智能传感器、监测装置与智能终端组成，负责采集电网运行中的电压、电流、功率、频率、温度等关键参数，以及设备状态信息；传输层依托光纤通信、无线专网、电力线载波（PLC）及5G等通信技术，实现数据的可靠传输与实时交互；平台层是系统的核心，通常由数据服务器、应用服务器、数据库系统及各类算法模型构成，负责数据的存储、处理、分析与决策支持^[2]；应用层则面向调度人员、运维人员及系统管理者，提供可视化界面、报警提示、操作指令下达及报表生成等功能。

在系统组成方面，智能监控与调度系统通常包括SCADA（数据采集与监控系统）、EMS（能量管理系统）、DMS（配电管理系统）以及AMI（高级计量架构）等子系统。这些子系统通过统一的信息交互平台实现数据共享与功能协同，构建起覆盖输、变、配、用全环节的智能监控与调度体系。

2. 功能实现

智能监控与调度技术的主要功能包括实时监测、故障诊断、状态评估、负荷预测、优化调度与应急指挥等。实时监测功能通过遍布电网的传感设备，实现对电网运行状态的全面感知，确保调度人员能够及时掌握电网动态。故障诊断功能依托智能算法与历史数据，能够快速定位故障点、判断故障类型，并提出隔离与恢复方案。状态评估功能则通过对设备运行数据的分析，评估设备健康状况，预测潜在风险，为预防性维护提供依据。

负荷预测是智能调度的重要基础，通过结合历史负荷数据、气象信息、节假日效应及社会经济活动等因素，采用时间序列分析、神经网络、支持向量机等预测模型，实现对短期、中期与长期负荷的精准预测。优化调度功能则基于负荷预测结果与电网实时状态，通过经济调度、安全约束调度、多目标优化等算法，实现发电资源的优

化配置与电网运行的经济高效。应急指挥功能则在电网发生突发事件时，通过快速决策与联动控制，最大限度减少事故影响，保障电网安全稳定运行。

技术特点方面，智能监控与调度技术具有高实时性、高可靠性、高智能化与高兼容性等特点^[3]。高实时性体现在数据采集与处理的快速响应，确保调度决策的及时性；高可靠性则通过冗余设计、容错机制与多重保障措施，确保系统在极端条件下的稳定运行；高智能化体现在人工智能与大数据技术的深度应用，使系统具备自主学习、自优化与自决策能力；高兼容性则通过标准化接口与开放协议，实现与不同厂商设备、不同层级系统的无缝对接。

3. 关键设备与技术支撑

智能监控与调度技术的实现离不开一系列关键设备的支撑。智能终端设备（RTU、FTU、DTU等）负责数据采集与指令执行，是系统感知与执行的基础。智能电表作为AMI的核心设备，不仅能够实现电能计量，还具备数据存储、远程通信与负荷控制等功能。通信设备包括工业交换机、路由器、无线通信模块等，保障数据传输的可靠与高效。服务器与存储设备则提供强大的计算与存储能力，支撑海量数据的处理与分析；在技术支撑方面，人工智能技术（如机器学习、深度学习、知识图谱等）被广泛应用于负荷预测、故障诊断与优化调度等场景，进一步提升系统的智能化水平^[4]。其中，大数据技术通过对海量运行数据的挖掘与分析，为电网状态评估、风险预警与决策支持提供数据支撑。物联网技术则通过万物互联的理念，实现设备、系统与人的全面连接，构建起智能电网的感知网络。边缘计算技术通过在靠近数据源的地方进行数据处理，降低了系统延迟，提高了响应速度，特别适用于对实时性要求较高的场景。

4. 应用案例

以某城市智能电网示范工程为例，该工程通过构建覆盖输、变、配、用全环节的智能监控与调度系统，实现对电网运行状态的全面感知与智能调控；系统采用分层分布式架构，集成SCADA、EMS、DMS与AMI等子系统，通过光纤通信与5G无线通信相结合的方式，确保数据传输的可靠与高效；在负荷预测方面，系统采用基于LSTM神经网络的预测模型，预测精度达到98%以上。

（二）通信与信息处理技术

近年来，伴随着电力系统向智能电网方向转型，通信与信息处理技术不仅成为实现自动化运行的基础，更在保障电网安全、优化调度策略、提升用电效率等方面发挥着不可替代的作用。

1. 通信网络架构

电力系统通信网络根据功能层级与应用场景，通常划分为骨干通信网、接入通信网与终端通信网三部分。具体为：骨干通信网主要承担电力调度中心、区域变电站与大型发电厂之间的数据交互，多采用光纤通信、微波通信及卫星通信等高带宽、高可靠性的传输方式；接入通信网则连接变电站、配电站及分布式能源等节点，常采用工业以太网、无线专网（如LTE-230）及电力线载波（PLC）等技术，兼顾带宽与覆盖范围；终端通信网负责与智能电表、传感器、保护装置等终端设备的连接，通常采用低功耗广域网（LPWAN）、ZigBee、LoRa等短距离通信技术，以适应终端数量多、分布广的特点。

在通信协议方面，电力系统广泛采用IEC61850标准，该标准规范了变电站内设备间的通信规约与数据模型，支持设备互操作性与系统扩展性；不仅如此，IEC60870-5-101/104、DNP3等协议在远动通信与数据采集系统中应用广泛，而Modbus、CAN总线则多用于设备层通信。近年来，随着物联网技术的发展，MQTT、CoAP等轻量级协议也逐渐在智能终端通信中得到应用。

2. 信息处理流程

信息处理流程，如图1所示^[5]。

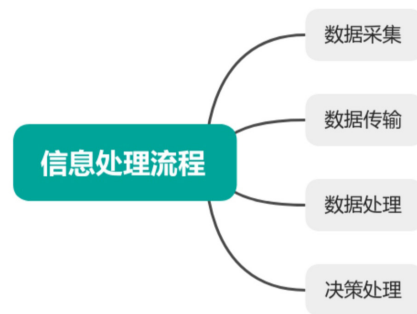


图1 信息处理流程

数据采集环节中，通过各类传感器与智能终端，实时获取电网运行参数与设备状态信息；数据传输环节依托通信网络，将采集到的数据传送至数据中心或调度平台；数据处理环节包括数据清洗、数据融合、特征提取与模式识别等步骤，旨在从海量数据中提取有效信息；决策支持环节则基于处理后的数据，通过算法模型与专家系统，为调度与运维人员提供操作建议或自动执行控制指令。

在数据处理过程中，时间同步技术至关重要。电力系统对数据的时间精度要求极高，通常采用GPS、北斗等卫星授时技术，进而确保全网数据的时间一致性。

3. 关键技术手段

（1）数据传输

光纤通信技术凭借其高带宽、低延迟与抗干扰能力，

成为电力骨干通信网的首选；而且5G技术的引入为配电网自动化、分布式能源监控等场景提供了高可靠、低时延的通信保障。

(2) 实时数据处理

边缘计算技术的应用显著提升了系统的响应速度。通过在靠近数据源的边缘节点进行数据处理，减少了数据传输的延迟与带宽压力，适用于故障检测、负荷预测等实时性要求高的场景；云计算平台则为大规模数据的存储与复杂计算提供了支持，适用于历史数据分析、系统仿真与优化调度等任务。

(3) 智能分析方面

机器学习与深度学习算法被广泛应用于负荷预测、故障诊断、异常检测与优化调度等领域。例如，基于LSTM神经网络的负荷预测模型，可准确预测未来一段时间内的负荷变化；基于卷积神经网络的图像识别技术，可用于设备状态监测与缺陷识别。

(4) 信息安全

电力系统作为国家关键基础设施，其通信网络面临着网络攻击、数据篡改与非法接入等多重威胁。为此，系统通常采用防火墙、入侵监测系统（IDS）、虚拟专用网络（VPN）及数据加密等技术，构建多层次的安全防护体系。

(三) 故障诊断与自愈技术

故障诊断与自愈技术是电力工程自动化运行体系的重要组成部分，其核心在于通过实时监测、智能分析与自动控制，实现对电力系统故障的快速识别、精确定位与自动恢复，从而提升系统的可靠性、安全性与供电质量。近年来，伴随着智能电网建设的推进，该技术在输配电与用电工程中的应用日益广泛，并逐步向智能化、自主化方向发展。

1. 技术原理与功能定位

故障诊断与自愈技术的本质是构建具备感知、判断、决策与执行能力的智能系统。其技术原理基于电力系统运行数据的实时采集与分析，通过模式识别、故障推理与状态评估，判断系统是否存在异常，并在确认故障后启动自愈控制流程，实现故障隔离与系统重构。该技术的主要功能包括故障检测、故障定位、故障隔离、负荷转移与供电恢复，旨在最大限度减少故障对用户的影响，缩短停电时间，提升供电连续性。

2. 系统组成与架构设计

故障诊断与自愈系统通常由监测终端、通信网络、主站系统与执行装置四部分组成。监测终端负责采集电流、电压、功率等电气参数及设备状态信息，通常安装于变电站、开关站及配电网关键节点。通信网络承担数

据传输任务，采用光纤、无线专网或电力线载波等方式，确保数据的实时性与可靠性。主站系统是核心决策单元，集成数据采集、故障分析、自愈策略生成与指令下发等功能，通常部署于电力调度中心或区域控制中心。执行装置包括断路器、负荷开关、重合器等，负责执行隔离与恢复操作；系统架构设计上，一般采用分层分布式结构，分为终端层、网络层、控制层与应用层。终端层实现数据采集与初步判断，网络层提供数据传输通道，控制层完成故障诊断与自愈逻辑运算，应用层则实现人机交互与系统管理。这种架构既保障了系统的实时性，又提高了灵活性与扩展性。

3. 技术实现

故障诊断与自愈技术的实现依赖于多种先进技术手段的融合应用。其中，故障检测与定位技术是基础，主要采用电流差动保护、阻抗测量、行波测距等方法，结合人工智能算法如神经网络、支持向量机等，提高故障识别的准确性与速度。自愈控制技术则依赖逻辑判断与自动控制策略，通过预设规则或实时优化算法，生成最优的故障隔离与供电恢复方案。

而且，近年来，基于机器学习的智能诊断方法逐渐成为研究热点。比如：贵州电网公司提出的“基于机器学习的配电网故障自愈方法及系统”，通过历史故障数据训练模型，实现对故障类型的智能识别与自愈策略的自动优化，进一步提升故障处理的效率与准确性。

结语

本文围绕电力工程输配电与用电工程的自动化运行技术展开研究，重点探讨了智能监控调度、通信信息处理及故障自愈等核心技术的应用价值。实践表明，自动化技术的深度融合可显著提升电网运行效率与可靠性，为现代电力系统的智能化发展提供有力支撑。所以，伴随着人工智能与大数据技术的持续进步，企业应注重自动化运行技术在电力系统中的应用，助力构建更加安全、高效、绿色的能源体系。

参考文献

- [1] 赵长浩. 输配电及其用电工程自动化运行技术分析[J]. 仪器仪表用户, 2025, (03): 154-156.
- [2] 张寒. 输配电及用电工程中的自动化运行技术与智能化研究[J]. 中国宽带, 2024, 20(11): 100-102.
- [3] 李伟. 输配电及用电工程的自动化运行维护技术的研究[J]. 家电维修, 2024, (09): 83-85.
- [4] 安宗成. 输配电及其用电工程的自动化运行维护研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(S2): 169-171.
- [5] 张凯藤, 杨潇. 输配电及用电工程中应用自动化运行技术的研究[J]. 电工技术, 2023, (S1): 59-61.