

# 配电网调度自动化系统建设策略及发展方向分析

刘鲁运

山东第一医科大学附属颈肩腰腿痛医院 山东济南 250000

**摘要:** 随着新型电力系统建设加速推进,高比例分布式能源接入与多元化负荷增长使配电网运行复杂度显著提升,传统调度模式难以满足高可靠性供电需求。本文针对配电网调度自动化系统建设的关键问题,从制定统一的系统建设标准、统一规范软件开发模式、应用先进信息技术建设策略,重点突破通信覆盖与终端部署,实现源网荷储协同优化。同时,结合数字孪生、人工智能、5G-uRLLC等新技术应用,探讨系统向高弹性、低碳化、自治化方向演进的发展路径,为我国配电网智能化转型提供理论依据与实践参考。

**关键词:** 配电网;调度;自动化系统

## 前言

配电网作为联结主干电网与终端用户的“最后一公里”,正面临能源结构转型与用电需求升级的双重挑战。以分布式光伏、风电为代表的新能源渗透率持续攀升,波动性电源大规模接入导致潮流双向化、网络拓扑动态化,而负荷侧多元化,如电动汽车充电桩、数据中心等新型负荷激增,负荷峰谷差扩大至30%以上,局部过载风险加剧。在此背景下,传统人工调度模式已无法满足分钟级故障恢复要求,构建智能高效配电网,成为配电网调度自动化建设的方向。当前配电网建设中,存在系统孤岛化、响应滞后性、技术适配不足等问题,本文主要阐述配电网调度自动化建设策略及未来发展方向。

## 一、配电网调度自动化系统的核心组成

配电网调度自动化系统采用四层逻辑结构,形成“感知-传输-决策-控制”闭环。系统成绩架构包括:数据采集层(终端层)、通信网络层(传输层)、平台支撑层(数据层)、应用功能层(决策层)。以下是系统层级架构核心组成详解

### (一) 数据采集层

数据采集层功能主要包括:实时感知配电网设备运行参数,执行远程控制指令。核心设备有:远程终端单元,部署于110kV/35kV变电站,采集断路器状态、母线

电压、馈线电流等数据,支持IEC 60870-5-104协议,采样频率达100Hz;配电终端单元安装于10kV环网柜、开闭所,实现“三遥”功能(遥测、遥信、遥控),集成过流保护逻辑,响应时间 $\leq 20\text{ms}$ ;馈线终端单元专用于故障检测,具备电流录波能力,可识别短路故障特征波形;智能量测装置包括高级量测体系电表、分布式电源监控终端,采集用户负荷曲线、光伏逆变器出力数据。数据采集层终端设备兼容多协议,支持边缘计算。

### (二) 通信网络层

通信网络层功能是确保终端与主站间低延时、高可靠通信。该技术方案包括光纤专网与采用光纤专网HPLC+5G融合通信,光纤专网是在城市核心区主干通道,采用无源光网络技术。而HPLC+5G融合通信,适用于中低压配电网场景,高速电力线载波(HPLC)解决“最后一公里”接入。在安全保障方面,采用传输层加密与数字身份认证,确保通信网络安全。

### (三) 平台支撑层

平台支撑层功能是构建电网数字孪生底座,支撑上层应用。核心模块包括数据监控、GIS平台、数据中台三部分。数据监控能够实时处理10kV线路量测数据,执行遥控指令,对过负荷、接地故障等进行告警事件分类。GIS平台集成设备地理坐标、拓扑连接关系,支持CIM/G格式电网模型导入/导出。数据中台存储秒级量测数据,统一数据模型,消除多系统差异。

### (四) 应用功能层

应用功能层核心系统包括配电管理系统、馈线自动化、高级应用模块三部分构成。配电管理系统融合

**作者简介:** 刘鲁运(1984.10-),男,汉族,山东省菏泽市鄄城县人,工程师,本科,研究方向:电气工程及其自动化。

SCADA、PMU数据，对配电网状态进行评估，并基于传输算法优化开关组合，实现网络重构。馈线自动化包括集中式FA与智能分布式FA，能够实现主站决策、终端自治。高级应用模块对负荷预测，动态调整电容器组，对于分布式电源进行储能输出调整，提升消纳率

## 二、配电网调度自动化系统现状

### （一）基础覆盖初具规模，但智能化深度不足

目前我国配电网调度自动化建设中，城市核心区DTU/FTU覆盖率达85%以上，但农村地区不足40%。智能电表普及率超90%，但高级量测功能（如分钟级数据采集）应用率仅30%。在通信网络上，目前的地级市光纤专网覆盖率达70%，县域HPLC+4G为主，5G应用限于试点。在一些偏远山区仍依赖GPRS无线公网，时延超500ms，难以支撑实时控制。现有的主站系统中，SCADA系统已基本普及，但DMS高级功能仅在30%电网企业部署。在功能实现方面，馈线自动化城市中心区覆盖80%，农村<20%，存在问题主要是以集中式FA为主，智能分布式FA不足10%。

### （二）区域发展差异显著

按照配电网调度自动化发展水平，可以分为领先地位、中等发展地区、滞后地区三个等级。领先地位代表城市有：深圳、杭州、苏州工业园区等，这些地区配电网调度自动化技术特点是部署“5G+光纤”双通道，FA故障隔离时间 $\leq 1$ 分钟，并且试点AI调度，配电网自愈覆盖率100%。中等发展地区主要以地级市为主，具备基础SCADA+部分FA功能，依赖人工介入处置故障，而DMS仅用于潮流监视，未实现优化控制。滞后地区以县域及农村为代表，通信覆盖不足，30%台区无可靠通信通道，主站功能薄弱，无DMS系统，故障定位依赖人工巡线。

### （三）面临的技术、经济、体制多重瓶颈

配电网调度自动化系统建设中，技术层面存在数据孤岛问题，SCADA、GIS、营销系统独立运行，数据共享依赖人工导出。现有存量设备兼容IEC 101/104、Modbus等多协议，新老系统集成成本增加。此外，以AI预测模型为代表的高级算法落地难，在真实场景中误差跳变。经济与资源层面，现有建设成本高，农村单台区自动化改造成本超50万元（含通信+终端），资金成本压力大，在运营维护上，县级供电企业缺乏专业IT团队，系统故障修复平均耗时72小时。机制体制障碍方面，跨部门协同缺位，调度、运维、营销业务分离，分布式电源接入

需经6个部门审批。标准体系滞后，国家层面缺乏分布式能源调度协议标准，企业自建系统互操作性差。

## 三、配电网调度自动化系统建设策略

### （一）制定统一的系统建设标准

在配电网调度自动化系统建设中，建立统一的技术标准是确保系统高效运行的核心基础。这需要从硬件设备、软件平台、通信协议三个层面进行规范化：硬件层面：明确服务器、传感器、通信设备等关键硬件的技术参数和选型要求。例如，规定数据采集终端的响应速度必须达到毫秒级，通信设备需支持高可靠传输，确保在复杂环境下稳定工作。所有设备需符合国家电力行业安全规范，具备防电磁干扰和物理防护能力。软件层面：制定系统架构设计框架，要求软件平台具备模块化扩展能力，支持未来功能升级。明确数据存储格式和处理流程，确保实时数据吞吐量满足大规模节点监控需求。通信与安全层面：统一数据交互协议，规定主站与终端、子系统之间的通信规则，消除信息传输壁垒。同步建立严格的安全防护体系，包括数据加密传输、分级权限控制、操作行为审计三大机制，防范网络攻击和未授权操作。通过强制推行标准化，可解决设备兼容性差、数据孤岛等问题，使故障定位时间缩短60%以上，系统可靠性提升至99.99%。

### （二）统一规范软件开发模式

规范化的软件开发模式是降低运维成本、提升系统稳定性的关键，需从设计、编码、运维全流程建立统一规则：架构设计原则，采用分层模块化设计，将核心功能拆分为独立单元（如数据采集、故障处理、负荷预测），各单元通过标准化接口交互。这种设计使系统具备灵活扩展能力，新增功能时无需重构整体框架。开发过程管控，制定严格的编码规范，包括变量命名规则、代码注释标准、版本管理流程，确保不同团队开发的代码可读性强、维护成本低。建立全生命周期文档管理体系，要求从需求分析到测试验收的所有环节均有可追溯记录。系统协同机制，定义跨系统数据交换规范，明确数据格式、传输频率、异常处理流程。例如调度系统与营销系统交互时，采用统一的数据字典和校验规则，避免因数据歧义导致决策失误。通过实施该策略后，软件缺陷率可下降40%以上，版本迭代周期从数月压缩至数周。

### （三）应用先进信息技术

信息技术是驱动配电网智能化的引擎，需在数据感知、分析决策、资源调度三个方向重点突破：智能感知

层：部署高精度传感器和智能电表，实时采集线路负荷、设备温度、电能质量等数据，构建全域监测网络。为调度人员提供设备健康状态评估和故障预警，变被动抢修为主动防控。数据分析层：搭建大数据处理平台，整合气象信息、用户用电习惯等多源数据，通过智能算法预测负荷变化趋势和新能源出力波动。基于预测结果自动生成优化调度方案，如动态调整变压器分接头、投切电容器组，使线损率降低5%~8%。弹性资源层：构建云计算支撑体系，实现计算资源按需分配。在负荷高峰时段自动扩容保障实时控制需求，低谷时段释放资源节约能耗。同步建立安全防护体系，采用数据脱敏、访问控制、入侵检测三重防护，确保核心数据不被窃取或篡改。

#### 四、配电网调度自动化系统的发展方向

##### （一）技术深度融合，向智能化演进

利用人工智能技术，为配电网调度深度赋能。在智能决策上，应用深度学习算法构建调度决策模型，实现负荷预测误差 $\leq 3\%$ ，故障诊断准确率 $\geq 95\%$ 。在电网自动调度中，系统可自动生成网络重构方案，动态优化潮流分布，降低线损。在向智能化演进上，在配电终端嵌入轻量化AI芯片，实现故障毫秒级就地判别，减少主站决策依赖，提升复杂故障处置效率。构建物理电网与虚拟空间的实时映射，集成设备参数、气象数据、用户行为等多元信息，支持台风、冰雪等极端场景的调度策略预演。通过仿真推演优化运行方式，将新能源消纳率提升至98%以上。

##### （二）革新业务模式，支撑新型电力系统

对现有配电网进行改革，实现电网荷储高效协同。聚合分布式光伏、储能、可调负荷等资源，参与电力市场调峰辅助服务。在配电网能源补给上，打通电、热、气多能源网络，利用电制氢、蓄热罐等灵活性资源，平抑新能源波动，提升系统韧性。创新电碳耦合调度机制，嵌入碳流追踪模型，动态计算配电区域碳排放强度，自动生成低碳调度策略。与碳交易市场联动，引导分布式电源在高峰碳价时段优先出力，降低单位电量碳排10%~15%。在市场化运营能力建设上，支持分时电价、需求响应、容量拍卖等机制，通过价格信号引导用户侧柔性负荷参与调节。建立配电网“过网费”精细化核算模型，为增量配电网主体提供公平接入环境。

##### （三）升级基础设施，破解关键瓶颈

通信网络全域覆盖，城市区域部署5G网络，保障控制指令传输时延 $\leq 20\text{ms}$ ；农村地区推广“光纤骨干网+无线Mesh接入”，成本降低的同时满足百毫秒级传输需求。终端设备智能化迭代，更新新型量测装置，宽频智能电表支持谐波监测、分钟级数据采集。开发自愈型开关设备，集成电压电流双判据，故障隔离无需主站干预。强化安全防护体系，引入量子加密技术，建立“端-管-云”三级防护链，抵御新型网络攻击，部署区块链存证平台，保障调度指令不可篡改，操作可追溯率100%。

##### （四）创新机制体制，激活系统潜能

管理模式变革，推动“调度-营销-运维”三中心融合，建立“数据共享、业务协同”的一体化运营平台。试点配电网自治分区，允许区域代理机构独立优化运行。完善标准体系，制定分布式能源即插即用接口规范，强制兼容IEC 61850-7-420协议，统一碳计量与绿电追溯标准，支撑全国性电碳市场联动。向互联网、车企开放配电网可调节资源数据，联合开发车网互动、虚拟电厂等应用，建立政企协同的配电网投资分担机制，吸引社会资本参与升级改造。

#### 总结

配电网调度自动化系统的核心在于构建“终端精准感知-通信可靠传输-平台智能决策-应用高效执行”的技术闭环。未来需重点突破多源异构数据融合、边缘智能协同、高弹性调度等关键技术，支撑新型电力系统下配电网向自治化、低碳化、市场化转型。

#### 参考文献

- [1] 莫岩. 配电网调度自动化系统建设策略及发展方向分析[J]. 科技资讯, 2024(19): 93-95.
- [2] 柏雪枫. 配电网调度自动化系统建设策略及发展方向分析[J]. 光源与照明, 2023(12): 228-230.
- [3] 王娟. 浅谈电网调度自动化系统发展现状及其方向[J]. 百科论坛电子杂志, 2020, 000(008): 1300.
- [4] 马达. 基于县级配电网调度自动化系统建设分析[J]. 探索科学, 2021(5): 15-15.