

# 智能配电系统在电气自动化中的应用

梅建平 芮绍伟 徐立力

**摘要:** 智能配电系统通过融合物联网、大数据、云计算等现代信息技术,实现了对电力流、设备状态及用户用电行为的实时监测与智能管理。本文从核心技术、应用场景出发,系统分析其在电气自动化中的关键作用,重点探讨智能仪表、故障自愈、电力电子控制及通信技术的协同机制,并结合配电网自动化、需求侧管理、可再生能源接入及工业楼宇场景的实践案例,揭示其提升供电可靠性、优化资源配置及推动能源转型的核心价值。

**关键词:** 智能配电系统; 电气自动化; 故障自愈; 需求侧管理; 可再生能源接入

## 引言

随着电力系统向数字化、智能化转型,传统配电模式已难以满足复杂电网运行需求。智能配电系统通过集成传感器、通信网络与智能算法,实现了对电力设备的实时监测、故障快速定位与自愈控制,成为保障电网安全运行、提升能源利用效率的核心技术。本文从技术原理与应用实践双维度,解析其在电气自动化中的关键价值。

## 一、智能配电系统的核心技术

### 1. 智能仪表与远程监控

智能仪表与远程监控是智能配电系统实现数据感知与全局管控的核心基础。智能电表作为终端感知单元,不仅具备高精度电流、电压及功率计量能力,更集成了谐波分析、电能质量监测等高级功能,可实时捕捉电网运行中的异常波动。例如,某城市配电网部署的智能电表通过高频采样技术,精准识别出某区域因非线性负载引发的谐波污染,为后续治理提供数据支撑。远程监控系统依托5G与光纤通信网络,构建起覆盖全域的实时数

据传输通道,将分散的智能电表、断路器等设备状态信息汇聚至云端平台。调度人员通过可视化界面,可直观查看电网拓扑结构与设备健康度,快速定位故障点。某工业园区曾因雷击导致线路跳闸,远程监控系统在10秒内完成故障定位并推送告警信息,运维人员根据系统提供的最优路径迅速抵达现场,将停电时间压缩至传统模式的十分之一,显著提升了供电可靠性。

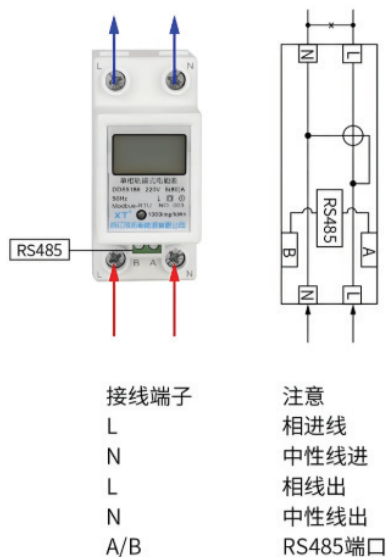


图1 智能电表接线示意图

### 2. 故障诊断与自愈技术

故障诊断与自愈技术是智能配电系统保障供电连续性的关键防线。智能配电系统通过分布式传感器网络实时采集电流、电压、温度等参数,结合机器学习算法对设备状态进行动态评估,可提前发现绝缘老化、接触不良等潜在隐患。例如,某区域电网通过部署局部放电传感器,捕捉到开关柜内微弱放电信号,经算法分析锁定故障设备,在故障发展初期完成主动检修,避免大面积

## 作者简介:

- 梅建平(1983.01——)男,汉族,本科学历,中级工程师,主要从事电气自动化、电气设备制造方面的研究工作。
- 芮绍伟(1989.09——)男,汉族,本科学历,中级工程师,主要从事中低压电气设备研发、制造和技术服务方面的研究工作。
- 徐立力(1986.02——)男,汉族,本科学历,中级工程师,主要从事电气自动化、电气设备制造方面的研究工作。

停电。自愈技术则依托智能终端的快速决策能力，当线路发生短路或接地故障时，系统自动触发预设控制策略，通过环网柜、分段开关等装置快速隔离故障段，并重构供电路径。某10kV线路曾因外力破坏导致断线，自愈系统在0.3秒内完成故障定位与隔离，随后通过联络开关将非故障区域负荷转移至相邻线路，全程无需人工干预，用户侧仅感知到短暂电压波动，供电恢复时间较传统模式缩短90%以上，显著提升了电网韧性。

### 3. 电力电子技术

电力电子控制技术是智能配电系统实现灵活调控与高效运行的核心驱动力。该技术以全控型功率器件（如IGBT、SiC MOSFET）为基础，通过高频开关动作与脉宽调制（PWM）策略，对电能进行毫秒级精准调控。例如，在分布式电源接入场景中，电力电子变流器可快速响应风光发电的功率波动，将间歇性电能转化为稳定交流输出，确保其与电网同步运行。柔性交流输电装置（如STATCOM、DVR）通过动态补偿无功功率、抑制电压暂降，为敏感负荷提供高质量供电。某数据中心曾因雷击引发电压骤降，动态电压恢复器在2毫秒内注入补偿电压，保障了服务器持续运行。此外，固态开关替代传统机械断路器，实现故障电流的毫秒级分断与负荷的无缝切换，某工业园区通过应用固态切换开关，在母线故障时0.5毫秒内完成供电路径转移，关键设备未出现停机，生产连续性得到革命性提升，电力电子技术正重塑配电系统的响应速度与控制精度。

### 4. 通信技术

5G与光纤通信构建起高速数据通道，前者凭借低时延（<1ms）与大带宽特性，支持配电终端实时上传设备状态、故障波形等海量数据，并接收控制指令，某城市配电网通过5G切片技术实现控制信号与视频监控流的独立传输，确保调度指令零延迟下达；后者则以抗干扰性强、传输稳定的优势，承担骨干网数据汇聚任务，将变电站、环网柜等关键节点信息可靠传输至控制中心。无线专网（如LTE230）与LoRa技术填补了偏远区域通信空白，山区配电网通过部署LoRa终端，实现杆塔倾斜、温湿度等环境参数的远程监测，运维人员可提前预判外力破坏风险。边缘计算节点下沉至配电房，对本地数据进行预处理与特征提取，仅将关键信息上传云端，某工业园区配电系统通过边缘计算将数据传输量压缩70%，同时支持本地故障自愈决策，通信技术与边缘智能的融合正推动配电系统向自主化、实时化方向演进。

## 二、智能配电系统在电气自动化中的具体应用

### 1. 配电网自动化

配电网自动化是智能配电系统实现高效运行与精准管控的核心载体，其深度融合信息技术与电力技术，重塑了传统配电网的运维模式。通过部署智能终端（如FTU、DTU）与分布式传感器，系统可实时采集线路电流、开关状态、设备温度等全维度数据，并借助光纤与5G网络实现毫秒级信息回传，某沿海城市配电网利用5G专网将终端数据上传时延控制在5ms以内，为快速决策提供支撑。配电自动化站依托大数据分析的人工智能算法，对海量数据进行深度挖掘，可自动识别线路过载、三相不平衡等异常工况，并生成优化策略，某区域电网通过AI负荷预测模型，提前30分钟预判用电高峰，自动调整变压器分接头与电容投切，避免设备过载。馈线自动化功能通过终端间的逻辑协同，实现故障的快速定位、隔离与非故障区域供电恢复，某10kV线路遭遇雷击断线时，系统在0.8秒内完成故障隔离，并通过联络开关重构供电路径，用户停电时间从传统模式的2小时缩短至2分钟。此外，地理信息系统（GIS）与配电自动化系统的深度融合，将电网拓扑、设备台账与实时状态叠加至三维地图，调度人员可直观定位故障点并规划最优抢修路径，某山区电网通过GIS可视化功能，将抢修响应时间缩短40%，显著提升了供电可靠性与应急处置能力。

### 2. 需求侧管理

需求侧管理是智能配电系统挖掘用户侧资源潜力、实现供需平衡的关键手段，其通过双向互动与智能调控，重构了传统电力消费模式。智能电表与家庭能源管理系统（HEMS）的协同，使用户可实时获取分时电价、碳排放强度等信息，并基于动态电价信号调整用电行为，某城市居民用户通过接入智能平台，在电价低谷时段自动启动电动汽车充电与热水器蓄热，高峰时段用电量较传统模式降低30%，同时缓解了电网峰谷差。商业用户则通过部署智能楼宇管理系统（BMS），对空调、照明等设备进行精细化控制，某购物中心利用AI算法优化空调温度设定，在保障顾客舒适度的前提下，年节能率达18%。工业用户借助需求响应平台，将可中断负荷纳入电网调度资源池，某钢铁厂在电网紧急状态下主动降低非关键产线功率，获得经济补偿的同时，避免了拉闸限电带来的生产损失。此外，分布式储能与虚拟电厂技术的集成，使用户侧资源具备聚合参与电网调节的能力，某园区通过聚合分布式光伏、储能与可调负荷，在用电高峰时段

向电网反向供电，实现了从“单纯消费者”到“产消者”的转变。

### 3. 可再生能源接入

可再生能源接入是智能配电系统推动能源转型、实现绿色低碳发展的核心环节，其通过柔性接入与智能调控，破解了分布式电源高比例并网的难题。光伏、风电等间歇性能源的波动性对电网稳定性构成挑战，智能配电系统依托高精度气象预测与发电功率预测模型，可提前48小时预判风光出力曲线，某海上风电场通过融合多源气象数据与机器学习算法，将短期功率预测误差控制在5%以内，为电网调度提供精准依据。储能装置与智能逆变器的协同控制，实现了可再生能源的平滑输出与就地消纳，某偏远岛屿微电网通过配置锂电池储能系统，在夜间无光照时释放白天存储的电能，保障了全岛72小时持续供电，同时减少了柴油发电机运行时间。虚拟同步机技术赋予逆变器惯量支撑能力，使分布式电源具备类似传统同步发电机的调频调压特性，某工业园区光伏电站应用该技术后，在电网频率波动时自动调整输出功率，参与系统一次调频，提升了区域电网的抗干扰能力。此外，区块链技术构建的分布式能源交易平台，使用户可直接参与绿电交易，某社区通过该平台将屋顶光伏余电售卖给周边用户，实现了清洁能源的优化配置与价值共享。

### 4. 工业与楼宇自动化

工业与楼宇自动化是智能配电系统赋能终端用能场景、提升能效与舒适度的前沿阵地，其通过深度感知与智能决策，重塑了能源利用模式。在工业领域，智能配电系统与生产设备深度集成，实时监测电机、压缩机等高耗能设备的电流、振动与温度参数，某汽车制造厂通过部署边缘计算网关，对焊接机器人进行能效分析，识别出空载运行时段并自动触发待机模式，年节电量达120万千瓦时。楼宇场景中，智能照明系统结合环境光传感器与人体感应技术，动态调节灯具亮度与开关状态，某

写字楼通过该系统将公共区域照明能耗降低45%，同时利用建筑信息模型（BIM）与配电系统联动，根据室内外温差优化空调送风策略，实现冷热负荷的精准匹配。此外，工业微电网与楼宇能源管理平台（EMS）的融合，使分布式电源、储能与柔性负荷形成协同优化单元，某化工园区通过聚合光伏、储能与可中断负荷，在电价高峰时段减少外购电30%，并参与电网需求响应获得收益。能源数字孪生技术进一步构建了虚拟与现实交互的能效优化闭环，某数据中心通过孪生模型模拟不同温控策略下的能耗表现，将PUE值优化至1.2以下，推动了工业与楼宇能源管理向精细化、智能化跃迁。

### 结论

智能配电系统作为电气自动化的核心支撑技术，通过集成多学科技术，实现了电力系统的智能化升级。其在提升供电可靠性、优化资源配置及推动能源转型方面具有显著优势。未来随着人工智能、区块链等技术的深度融合，智能配电系统将进一步向自主决策、协同优化方向发展，为全球能源互联网建设提供关键支撑。

### 参考文献

- [1] 张嘉诚. 电气自动化技术在智能配电网建设中的应用[J]. 电气技术与经济, 2025(3).
- [2] 孙钦团, 段德萌. 电气自动化技术在电力系统中的应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(7): 119-121.
- [3] 闫培. 电气自动化技术在电力系统中的运用研究[J]. 电力设备管理, 2024(2): 149-151.
- [4] 李龙. 电气自动化控制在供配电系统中的应用[J]. Engineering Management & Technology Discussion, 2023, 5(5).
- [5] 王艳柳, 保佩佩. 电气自动化技术在电力工程中的应用[C]// 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(六). 2024.