

输配电与用电工程自动化的结合应用

汪书殿

国网山东省电力公司乳山市供电公司 山东 威海 264500

摘要：随着能源需求增长与电力系统智能化升级，传统输配电与用电管理模式已难以满足高效、可靠、低碳的发展需求。本文围绕输配电与用电工程自动化结合展开研究。概述了输配电网核心架构与用电工程自动化核心内容，分析两者结合在提升系统效率、增强供电可靠性、降低成本等方面的优势；剖析了电力系统通信与数据交互、一体化监测、协同控制三大关键技术；最后结合智能电网、工业领域、居民用电场景，阐述具体应用路径。研究表明，输配电与用电工程自动化结合可实现电力系统全链路智能管控，为电力行业高效、安全、经济运行提供技术支撑，具有重要实践价值。

关键词：输配电；用电工程自动化；关键技术；具体应用

引言：输配电网作为电能传输关键纽带，用电工程自动化作为用电端智能管控核心手段，两者的融合成为破解行业痛点的重要方向。本文以此为基础，积极探索两者结合路径。系统梳理输配电与用电工程自动化的概述、关键技术及具体应用，旨在为电力企业推进自动化融合提供理论参考与实践借鉴，助力电力系统高质量发展。

1 输配电与用电工程自动化的概述

1.1 输配电网概述

输配电网是电力系统的核心组成部分，承担着电能从发电厂传输至用户端的关键任务，是连接能源生产与消费的重要纽带。其系统架构主要分为输电和配电两大环节：（1）输电环节以高电压、大容量为特征，通过输电线路将发电厂产生的电能远距离输送至负荷中心，核心目标是降低长距离传输中的电能损耗，保障电力的稳定输送；（2）配电环节则将高压电能降压转换为符合用户需求的电压等级（如居民用电220V、工业用电380V），再通过配电线路、配电变压器、开关设备等设施，将电能分配至工业、商业、居民等各类用户。

1.2 用电工程自动化的内涵

用电工程自动化是指借助自动化控制技术、通信技术、信息技术等手段，实现用电环节从电能计量、负荷监测、用电管理到故障处理的全流程智能化管控，核心目标是提升用电效率、优化用电结构、保障用电安全。其主要内容涵盖以下三个方面：（1）智能计量与数据采集。通过安装智能电能表、采集终端等设备，实时采集用户的用电数据（如用电量、电压、电流、功率因数等），并借助电力通信网络将数据传输至用电信息采集系统，实现用电数据的自动化统计、分析与存储，替代

传统人工抄表模式，提升数据采集的准确性和时效性。

（2）负荷监测与优化控制。利用自动化系统对用户用电负荷进行实时监测，识别高耗能设备、不合理用电行为，通过峰谷电价引导、需求响应机制等手段，实现负荷的错峰调节与优化配置。如对工业用户的高耗能生产线进行自动化负荷管控，在用电高峰时段自动降低非必要负荷，保障电网平稳运行的同时降低用户用电成本。

（3）故障诊断与自动化处理。通过在用电线路、设备上部署故障监测传感器，实时监测设备运行状态，当发生短路、过载、漏电等故障时，自动化系统可快速定位故障位置，并触发保护装置（如自动开关、漏电保护器）实现故障隔离，同时向运维人员发送故障预警信息，缩短故障处理时间，提升用电安全水平。

1.3 输配电与用电工程自动化的结合应用的优势

输配电与用电工程自动化的结合应用的优势如下：

（1）提升电力系统运行效率。自动化结合实现“输配电网”全链路数据实时互通与智能调控，无需人工干预即可完成负荷分配、线路优化等操作，用电侧通过自动化系统精准管控设备运行，减少无效能耗，整体电力资源利用效率显著提高。（2）增强供电与用电可靠性。依托一体化监测技术，可实时捕捉输配电网故障、用电设备异常等问题，故障定位时间缩短至秒级，自动化控制技术能快速隔离故障区段、恢复非故障区域供电，停电时长减少60%以上；用电侧漏电保护、过流保护等自动化装置自动触发防护，有效避免电气火灾、设备损坏，保障用电安全。（3）降低全环节经济成本。输配电网通过自动化运维减少人工巡检投入，运维成本降低30%-40%；用电侧借助峰谷电价自动调控、负荷优化等功能，用户用电成本平均下降15%左右；系统优化减少电能损

耗, 电力企业无需额外扩容即可满足负荷需求, 降低基础设施建设投入, 实现多方成本节约^[1]。

2 输配电与用电工程自动化结合的关键技术

2.1 电力系统通信与数据交互技术

输配电与用电工程自动化结合的核心, 是依托稳定的通信与数据交互技术, 构建覆盖“输电-配电-用电”全链路的信息传输网络, 实现各环节设备与系统的数据实时共享及指令精准传达, 该技术体系含以下三层架构: (1) 通信网络采用“骨干网+接入网+终端网”分层部署。骨干网以光纤通信为核心, 借SDH(同步数字体系)、WDM(波分复用)技术搭建高带宽、低时延通道, 支撑变电站、配电网调控中心等核心节点间大容量数据传输; 接入网融合无线与有线技术, 用电力线载波通信(PLC)、LoRa、4G/5G专网解决配电台区、用户侧终端接入问题, 其中PLC可利用现有电力线路传输数据; 终端网通过ZigBee、蓝牙等短距无线通信, 连接智能电能表、负荷监测终端等设备, 完成数据采集与本地交互。(2) 数据交互协议要统一“输配电侧-用电侧”标准, 规避数据孤岛。主流采用IEC61850标准, 通过统一数据模型与服务接口实现多端信息互通; MQTT协议因轻量、低带宽占用优势, 广泛用于用户侧终端与云端交互, 实现数据实时上报与指令下发。(3) 数据安全层面, 针对电力数据敏感性构建全流程防护。用AES对称加密、RSA非对称加密保护传输数据; 基于角色分配调度人员、运维人员等访问权限, 避免非授权操作; 部署IDS/IPS系统, 监测网络异常流量, 防范恶意攻击。

2.2 输配电与用电一体化监测技术

该技术通过整合两侧监测设备, 构建全域覆盖监测网络, 实现电力系统运行状态实时感知、异常识别与精准定位, 是两者协同运行的基础, 核心技术如下: (1) 监测设备部署采用“分层监测+重点覆盖”策略。输配电侧部署线路状态监测装置与变电站自动化设备, 采集线路环境参数、设备状态及故障信号; 配电侧装FTU、DTU等终端, 监测线路电气参数与开关状态; 用电侧配智能电能表、负荷监测终端等, 采集用户用电数据, 为高耗能设备加装专用监测模块实现负荷细分监测。(2) 数据融合处理聚焦“多源异构数据”整合。输配电侧数据实时性强、数据量小, 用电侧数据周期性强、数据量大。通过边缘计算在终端或网关预处理数据, 减少云端数据量; 再用卡尔曼滤波、神经网络融合等算法关联分析两侧数据, 提升监测准确性。(3) 状态评估与预警基于监测数据构建设备与系统模型。建立输配电设备健康评价指标体系, 算健康指数实现分级评估; 针对用电

侧, 分析负荷数据建预测模型, 提前识别异常趋势; 设多级预警阈值, 数据超阈值时自动触发预警, 推送信息至调控中心与运维人员。

2.3 输配电与用电协同控制技术

该技术是两者自动化深度结合的核心, 通过整合监测数据与控制策略, 实现协同调度、动态优化及自动控制, 打破传统供电用电模式, 关键技术包括: (1) 协同调度控制构建“源-网-荷”平台, 将用电侧负荷纳入调度体系。平台实时采集供电能力数据与用电负荷数据, 用混合整数规划、模型预测控制等算法制定方案: 高峰时, 供电不足则发需求响应指令, 控工业可调节负荷或引导居民错峰用电; 低谷时, 调度储能充电、引导高耗能设备运行, 提升负荷率与能源效率。(2) 配电网络自动化控制依托系统实现“故障自愈+网络重构”。线路故障时, 系统借FTU、DTU数据定位故障区段, 自动指令开关隔离故障、恢复非故障区供电; 根据用电负荷变化, 自动分析配电网拓扑与容量, 调开关状态实现网络重构, 优化潮流避免过载。(3) 用户侧智能控制通过能源管理系统(EMS)实现设备自动化控制。系统结合用户需求与调度指令, 精细化控设备: 工业EMS据电压波动调设备参数防停机; 居民EMS结合峰谷电价与电网负荷, 控设备在低谷运行降成本、助负荷调节。系统支持远程控制, 用户可通过APP、Web端查状态、控设备^[2]。

3 输配电与用电工程自动化结合的具体应用

3.1 在智能电网中的自动化融合应用

在智能电网搭建中, 输配电与用电自动化的结合贯穿以下全环节。(1) 输电环节依托先进传感器与通信网络, 构建全景化线路监测系统——传感器实时采集线路温度、弧垂、振动、覆冰等参数, 经4G/5G或光纤专网传输至监控中心, 结合大数据与AI算法深度挖掘数据, 通过机器学习模型分析温度、电流变化趋势, 提前预警过载风险, 推动输电线路从定期巡检向状态检修转变, 提升输电可靠性与运维效率。(2) 配电环节以配电自动化系统为核心实现智能运行, 在配电站、配电箱、线路中部署FTU、DTU等智能终端, 实时监测电压、电流、功率因数及开关状态、设备温度。线路故障时, 系统依据故障电流、电压突变特征快速定位故障区段, 自动下达分合闸指令隔离故障点, 恢复非故障区域供电, 将停电时间缩短至分钟级; 同时根据用电侧负荷实时变化, 自动调整配电网运行方式, 通过优化开关动作实现网络重构, 均衡线路负载以降低线损, 提升运行经济性。(3) 用电侧通过智能电表与能源管理系统联动, 智能电表具备双向通信功能, 既能精准计量用电量, 又能实时上传

电压、电流、功率等数据至电力公司营销系统与用户能源管理平台。用户可通过手机APP、电脑端查看用电详情、分析用电行为，结合峰谷电价安排设备运行时段以削峰填谷、降低成本；电力公司则基于海量用电数据开展负荷预测与需求响应，引导用户高峰时段减少非必要用电，缓解电网压力，提升电力资源利用率^[3]。

3.2 在工业领域的自动化用电管理应用

工业领域作为用电大户，两者的结合聚焦以下用电监测、负荷控制与电能质量优化。（1）用电监测方面，构建厂级监测网络，在生产车间、大型设备配电柜安装智能监测终端，实时采集三相电压、电流、有功/无功功率等参数，经工业以太网或无线通信汇总至企业能源管理中心，借助数据分析软件生成用电报表与负荷曲线，精准掌握车间、设备用电情况，为能耗分析与成本核算提供数据支撑。（2）自动化负荷控制技术依据生产工艺与用电需求制定精细策略，在电解铝、钢铁等高耗能企业中，针对辅助生产设备、部分加热装置等可调节负荷，结合电网实时电价与供电负荷，自动启停设备或调节功率：高峰时段自动降低非核心负荷，优先保障关键生产；低谷时段安排高耗能设备运行，利用低价电能，实现企业成本与电网负荷平衡的双赢。（3）电能质量优化环节，通过安装监测装置实时追踪电压波动、谐波、三相不平衡等指标，发现异常后自动启动静止无功补偿器（SVC）、有源电力滤波器（APF）等治理设备，动态补偿电能、治理谐波，确保设备稳定运行，避免因电能质量问题导致设备损坏、生产中断，提升生产稳定性与产品质量。

3.3 居民用电场景下的自动化创新应用

居民用电场景中，两者的结合推动用电服务智能化升级，具体应用如下：（1）智能电表全面替代传统机械电表，不仅计量精度提升，还实现远程抄表与实时费控——电力公司通过后台系统远程读取数据、自动生成电费账单并推送至用户手机，用户预存电费不足时系统

及时预警，避免停电困扰；同时电力公司结合电表数据分析居民用电习惯，为电网规划与负荷预测提供依据。

（2）智能家居系统将家庭用电设备与自动化控制深度融合，用户通过手机APP、智能音箱远程控制灯光、空调、电视等设备的开关与运行状态，如下班途中提前启动空调调节室温，外出时远程关闭忘关电器，兼顾便捷性与节能性；此外系统可根据室内光线、温度、人体活动等环境因素自动调节设备，如光线变暗时自动开灯、温度过高时启动空调，实现家庭用电的智能、个性化管理。

（3）社区层面构建智能用电服务平台，整合小区电力设备运行数据与居民用电信息：物业通过平台实时监测电梯、路灯、水泵等公共设备运行状态，及时发现故障隐患并安排维修；居民可在平台查询用电信息公开内容、参与社区节能活动，如参与电网需求响应，高峰时段降低家庭负荷以获取电费补贴，增强节能意识与参与感，营造绿色用电社区环境^[4]。

结束语：输配电与用电工程自动化的结合是电力系统智能化发展的必然趋势。本文通过对两者结合的概述、关键技术及应用场景的分析，明确了融合发展的核心路径与实践价值。从技术层面看，通信交互、一体化监测、协同控制技术为融合提供坚实支撑；从应用层面看，智能电网、工业与居民场景的落地验证了融合的可行性和效益。

参考文献

- [1]陈华.输配电与用电工程自动化的结合应用[J].模型世界,2024(27):208-210.
- [2]黄盛春.电力工程输配电与用电工程自动化的结合应用[J].设备管理与维修,2021(24):112-114.
- [3]秦文俊.电力工程输配电与用电工程自动化的结合应用[J].电脑校园,2020(12):11395-11396.
- [4]宋国钊.输配电及其用电工程自动化的应用分析[J].模型世界,2023(23):57-59.