

电力工程输配电与用电工程 自动化运行技术研究

赵 军

(国网山西省电力有限公司吕梁供电分公司, 山西 汾阳 033000)

摘 要 在输配电与用电工程领域, 通过引入电力自动化技术构建自动化运行管理体系, 能够有效保障电力系统的长期稳定与安全运行。本文从输电和用电工程中采用自动化运行技术的优势出发, 分析自动化运行的关键技术, 提出其在输配电及用电工程中的应用策略。通过构建完整的自动化运行技术体系, 对输配电系统进行全面优化升级, 以期提升我国电力系统的运行效率与可靠性提供有益参考。

关键词 电力工程输配电; 自动化运行技术; 大数据; 自适应保护; 分布式能源系统

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.34.012

0 引言

电力自动化技术的全方位融入及运用, 对于电力管理自动化、电能精准配给等工作而言意义极为重大, 能进一步契合当下社会各行业的用电需求, 为社会生活与生产提供强大的助力。自动化技术的实现不能单纯依赖各项自动化设备、仪器, 应将互联网渗透性的电力数据加以全方位运用, 借助相关自动化监测软件和智能分析平台, 以多元数据解析和融合利用的形式, 将不同时间段的电网负荷、配给需求等进行明确, 同时设置线路能耗损失感应元件, 形成汇集电能传输、电流监测、故障处置等多种功能的自动化运行管理系统。

1 自动化技术在输配电及用电工程中的应用优势

1.1 凸显电力系统运行效益

自动化运行技术对改善电网运行效率有重要作用, 其可以对电网各参数进行实时监测与管理, 确保相关电力设备一直保持最佳工作状态, 减少能源浪费和操作投入。借由构建具有自适应调整发电和分配功能的自动化控制系统, 减少不必要的负荷切换和频繁的开关操作。通过对这些数据的分析与预测, 可以实现对电网资源的合理配置, 促使电力系统的运行效益得以显现。

1.2 降低输配电及用电环节的电能损耗

采用自动化运行技术, 可对输配电及用电流程加以综合调控, 优化电能传输线路布局, 实现对线损的有效遏制目标。在电力工程中, 自动化运行技术的价值不单体现在输配电系统的管控层面, 更能借助用户的用电行为选择加以阐释。在此过程中, 对自动化运

行技术加以深层次挖掘和使用, 无论是输配电线路可能存在的线损情形, 还是用户用电行为的监测, 均能得以直观反馈, 进而帮助运行管理企业完成减损目标, 并以差异化电价的形式对用户不合理的用电方式加以调节, 达成预期的降耗目标^[1]。

1.3 凸显电力系统的运行安全性

在电力安全层面, 采取切实可行的控制手段, 将可能出现的设备与线路故障、运行事故等风险降至最低。其中, 远程监测方案的设置, 能借助先进的传感装置, 动态收集输配电线路的电压、电流、温度等数据, 即时反馈数据处理终端, 由技术人员进行数据解析与整合, 报告至管理部门形成决策意见。在远程监测系统的加持下, 相关管理与调控工作可覆盖整个电网, 运行与维护工作的执行仅需将决策信息下发给自动化控制单元, 即能完成整个故障识别、排查与检修流程。如当电力设备或线路出现异常运行数据时, 可借助实时监测与定位功能模块, 迅速查明故障信号的来源, 然后经由与历史资料及电力模型的对比, 精确判定故障所处区域及具体成因, 显著缩减故障判定与诊断所需时长。由此搭建的电力故障预警模型, 无疑畅通了电力数据的流通渠道, 将故障区域的情况、后续演变趋向等加以直观呈现, 切实凸显电力系统运行的安全性^[2]。

2 输配电及用电工程中自动化运行的关键技术

2.1 大数据与边缘计算

大数据在当下已逐步演变为各行业不可或缺的技术应用形式。借助数据挖掘与分析手段, 迅速且精确地获取数据, 为后续决策提供基础支持。在此过程中,

电力设备及线路中设置的内嵌式传感器发挥了关键作用，其能提供电力设备与线路的运行参数，实时反馈给管理单元，构建起“数据传输—清洗—应用”的管理闭环。

边缘计算作为一类有着自身特色的算法体系，支持集中处理各类电力运行数据的功能。其将不同数据处理与其生成位置进行连接，在配网各节点设立单独的管理单元，完成电力数据的初步筛选和提取，并将关键信息片段传输至中央服务器。该技术采用分布式结构，对以往因数据传输带来的延时性问题加以彻底解决，能够精准定位异常数据、迅速排除故障区域。

2.2 自适应保护

自适应保护技术的关键在于外部环境感知与自适应调控，以此确立自动化、高效化的电力系统运行模式。首先，经由对电力系统的运行数据实时动态监测，依据各设备及线路的运行状态，自动调节保护设备的工作电压、电流等参数。而且，自适应保护机制的确立主要依托实时数据传输与交互，对由各传感装置采集的数据加以分析和提取，实现对电力系统整体运行状态的全方位认知，为相关决策提供必要支持。此外，自适应保护系统并非单一的功能模块，其能接入能源管理系统、配电管理系统及其他自动化系统中，促使整个电力工程的实施更为有序^[3]。

2.3 分布式能源系统

采用分布式能源管理与调度机制，将不同类别的能源加以整合，确立综合管理体系，对各供电方案加以协调，防范能源投入方案的重复或出现冲突。动态化的能源调度方案具有实时优化资源配置的功能，即就是说，系统可基于不同时段的电力负荷、用户需求等因素，完成配电网的出力调节。此外，为进一步凸显对分布式能源系统的控制效果，先进的通信手段也是必不可少的，需要搭建基于智能传感器的数据交互与多向流通机制，以数据化形式将各节点的运行状态加以直观呈现，并执行相应的调控策略。分布式能源系统中开发了需求反馈与执行功能模块，在不同时段对电力用户的消费行为进行分析和评估，以电价机制有序协调用电需求，促使电网负荷维持相对均衡的状态^[4]。

2.4 集成式智能电网技术

自动化输配电系统采用分布式数据接口、智能配电网管控终端以及远程控制终端组成，在光纤、以太网等有线通信以及 NB-IoT、LoRaWAN 等无线通信的支持下，达到实时、高效、稳定的数据传输目标。同时，

采取电力电子技术，对不同电力信号加以数据化转换，完成动态运行参数的采集和处置。此外，引入能源管理系统（EMS），依托海量电力数据的采集与分析平台，借助特定算法支持，将电力设备与线路的能耗数据加以直观呈现和反馈。

3 自动化技术在输配电及用电工程中的具体应用

3.1 输电环节

3.1.1 实时监测与数据采集

在输电设备层面，分布式智能传感器可精确测量输电线路的重要参数：光纤传感器利用光电信号的变化，对线路表面的温度、覆冰厚度进行实时检测，其精度达到 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 1\text{ mm}$ ；复杂地形条件下机载 Lidar 与红外热像仪的运用，可对输电线路进行毫米级建模和热点探测。例如：国网平凉电力公司使用的“御空 4T”工业版无人机，结合人工智能辨识系统，可以对绝缘子破损、导线断股等故障进行自动检测和标记，将漏检概率减少 85% 以上。在此基础上，利用卫星雷达识别线路周围的地质灾害隐患，实施滑坡危险性分析，从而达到对输电线路的安全预警。

数据传送和处理链路上，采取“边缘计算+云计算”体系结构：边缘节点将采集到的原始数据进行噪声处理，并通过 5G 专用网络或者电力无线接入点的信道，将其传输到调度中心；利用机器学习的方法，在云平台上建立一套完整的线路健康状况数字孪生模型。如长园深瑞继保电力公司的架空线智能监控系统，实现了导线温度、微气象等 72 小时变化趋势预报。此类多层次监控架构，将输电线路的运行状况由“定期抽检”提升至“全时在线”。

3.1.2 故障诊断与快速恢复

准确定位、快速隔离和智能化重构是输电线路故障自动化处理的核心内容。行波定位技术的运用，可在故障发生过程中，通过捕获暂态行波信号，借助深度学习对故障位置进行精确定位。如在江苏宇拓电力科技有限公司开发的分布式故障监控器中，其基于卷积神经网络完成波前特征提取，于 500 kV 输电线路试验中，使测量精度由 $\pm 200\text{ m}$ 降到 $\pm 50\text{ m}$ ，而在工程实践中，平均定位误差大致在 280 m 左右。智能继电保护装置与自动化排程组成的连接网络，保证故障的迅速隔离。行波定位系统一旦触发报警装置，借助其双端智能型断路器，实现 10 毫秒内自动跳闸。同时，电网调度中心依靠广域量测系统采集电力设备的全部信息，并在无故障范围内自动制定出供电网恢复计划^[5]。

多源信息整合对于复杂电力难题的处置极为关键。利用无人机巡检图像、PMU等同步相量观测资料,结合天气监测系统获取的风场信息,在专家系统的支持下对各类故障类型(雷击、外力损伤等)进行综合判定,提出差异化处理方案。例如:某电力公司的无人值守系统在发现管道出现异常发热后,将其与过去的负荷数据及环境温度进行关联,判断为接触电阻增加所致,并形成规范的处理方案,使得故障处理效果显著提升。

3.2 配电环节

在配电自动化系统的构建中,通过安装各关键部位的终端设备,可实时完成配电数据的监测任务以及远程调控功能。该系统能有效辨识电网结构、监测负载,自动定位故障点。当出现单相接地、过负荷等失效问题时,在不依靠人工检测的基础上,就能完成从终端设备到主站的协调联动,快速地把发生故障的区域隔离,并对现有电网功能进行重新配置,针对无故障区域实施持续供电。

对于分布式能源接入系统的管理,基于分布式能源监控与调度平台,完成各类分布式能源的动态特性监测,并结合配电网的实际负荷特点,实施相应的运行参数调整。例如:当光伏电源功率突然增加时,该系统可以自动控制储能装置对其进行充电,或者传送给邻近的负荷单元,规避电压超限的情形;在出力急剧下降的情况下,亦可迅速启动或调节主电源,保证系统电压和频率的稳定性。

在配电网调控维度,经由对各线路负载的实时监控,实现对切换状态的动态调整,进一步优化电网结构,使一些重载线路的负荷向轻载线路转移。同时,为了解决电压凹陷和谐波污染等问题,系统可通过对电容器组进行自动投切,或者调整静态无功发电机等,促使供电品质得以改善。此外,以需求反馈模块为基础,系统能够及时获取用户侧的用电需求信息,并对其进行动态调整,实现“电网—用户”协同交互的新型运行方式^[6]。

3.3 用电环节

在用电信息的收集和分析上,通过大范围智能仪表及电能消费信息收集系统的应用,可以实现数据的自动采集、远程传输以及集中式处理等功能。自动化系统的运用,实现对海量用电数据的多维挖掘与深度解析,并针对不同类型用户的电力消费特性和行为方式加以辨识,进而完成电能定价方案的调节。同时,开发移动端电网APP,用户可以实时查看电力消耗情况,

对用电费用组成有更直观的认识,以便对电力使用行为进行调节,促使节能效益的显现。

在需求反馈层面,自动化技术的融入能确立“电网—用户”双向交互运行机制。在电网负荷较大的时段,可利用自动化系统对用户发出相关信息,引导工商业用户调整生产计划,同时也促使居民用户延时有电。在无人为干预的情形下,用户端的自动控制装置可以实现电能的供需均衡。

在安全用电层面,通过加装过负荷、漏电和过电压等监测装置,对用户端的各种用电参数进行全方位监控,当出现过电流、漏电、电压失稳时,能及时断电,有效防止电器发生火灾、触电等事故。同时,经由对电网运行状态的解析及判定,实现对电网运行数据的综合把握,维持电力系统的平稳运行性能。

4 结束语

电力自动化运行体系的构建,是有效提升输配电与用电工程运行效益的关键。针对现有输配电与用电工程的自动化运行模式,将其中涉及的关键技术予以提炼和总结,阐述自动化技术在不同场景下的运用路径,以突显电力系统的运行实效。未来,在先进技术手段的加持下,将基于“智慧电网”建设目标,引入“集成式数字化值班”系统,完成高阶自动化技术的融合运用,形成“数据支持—自动反馈—优化决策”的自动化管理闭环。

参考文献:

- [1] 吴秋伟,赵文曦.数字孪生与生成式人工智能赋能新型电力系统运行控制研究综述[J].电力自动化设备,2025,45(11):59-71.
- [2] 张波.智能农业电网建设中电力工程技术的应用创新与实施效果:以涿鹿县电网建设为例[J].数字农业与智能农机,2025(09):124-126.
- [3] 王俊国.理信息系统(GIS)在配网电力安全管理信息化中的深度应用探究[J].中国信息化,2025(09):85-86.
- [4] 张子倩.电力工程中的电力自动化技术及其应用研究:以南方某城市新区的220kV变电工程为例[J].生态与资源,2024(11):108-110.
- [5] 何宇斌,周华锋,顾慧杰,等.电网调度控制中心的业务演变趋势与发展路径探讨:以南方电网为例[J].企业改革与管理,2024(01):165-168.
- [6] 杜慧珺,雷现惠,周佳,等.基于互联网技术的智能电力监控系统研究:以泰山景区电力系统为例[J].信息记录材料,2020,21(10):185-186.