

关于电力工程自动化技术研究

张 乐

国网新疆电力有限公司哈巴河县供电公司 新疆 阿勒泰 836500

摘 要：本文围绕电力工程自动化技术展开系统性研究，阐释技术核心内涵、系统架构与迭代发展历程，剖析该技术在电网调度、变电运维、输配电管控、设备运维四大场景落地应用成效。结合现阶段行业调研，梳理老旧设备适配性差、信息安全薄弱、复合型人才短缺、区域发展失衡四大现存问题，针对性提出设备迭代、安全防护、人才培养优化策略，并预判人工智能、物联网、低碳分布式控制等未来发展趋势，助力智能电网提质增效、长效稳健建设。

关键词：电力工程；自动化技术；实际应用

引言：电力行业是国民经济支柱产业，电网规模化扩容、新能源大规模并网，对电力系统运行稳定性、调度精准度与运维效率提出更高要求。传统人工运维、就地管控模式弊端凸显，难以适配现代电网运行需求，电力工程自动化技术成为行业转型升级核心抓手。基于此，本文立足行业发展现状，梳理自动化技术体系与落地应用痛点，深挖技术应用短板，制定可行优化方案，预判技术发展方向，为电力自动化技术落地、电网智能化升级提供理论参考。

1 电力工程自动化技术基础概述

1.1 电力工程自动化核心内涵与研究价值

(1) 电力工程自动化技术基本定义。电力工程自动化是综合运用计算机技术、通信技术与控制技术，对电力系统发电、输电、变电、配电及用电各环节实施自动监测、保护、调度与管理的技术体系，旨在实现电力生产与分配的全过程智能管控。(2) 电力工程自动化技术核心工作原理。该技术基于“采集—传输—决策—执行”闭环控制机制：前端传感器实时采集电气量与状态量，经通信网络传送至主控系统，由智能算法进行分析判断并生成控制指令，最终驱动执行机构完成调节或保护操作^[1]。(3) 电力工程自动化技术应用研究价值。其价值体现在提升供电可靠性、优化经济运行水平、降低人工干预强度、增强故障响应速度，并为可再生能源并网与智能电网建设提供核心技术支撑。

1.2 电力工程自动化系统核心构成

(1) 数据采集与监控子系统。由传感器、远程终端单元及数据服务器组成，负责电压、电流、功率等运行参数的实时采集与可视化展示。(2) 智能控制与调度子系统。基于自动发电控制、经济调度等算法，实现发电出力优化、无功电压调节及负荷均衡分配。(3) 故障检测与安全防护子系统。集成继电保护、故障录波与在

线预警功能，可在毫秒级时间内隔离故障并防止事故扩大。(4) 通信传输与数据处理子系统。依托光纤、5G等通信网络，完成各子系统之间的数据交换与协议转换，支撑海量信息的低延时交互。

1.3 电力工程自动化技术发展历程

(1) 初代人工辅助半自动化发展阶段。采用电磁式继电器与就地操作面板，实现局部设备的远程分合与简单保护，但系统间彼此孤立，依赖人工巡检与操作。

(2) 模块化集中自动化发展阶段。引入微机监控与RTU终端，形成以调度中心为核心的集中式SCADA系统，各站所实现数据联网与遥控遥调功能。(3) 数字化、智能化全域自动化发展阶段。融合数字孪生、人工智能与边缘计算技术，推动电网自愈、自适应保护与云端协同控制，迈向全面智能化的新一代电力系统。

2 自动化技术在电力工程中的实际应用分析

2.1 电网调度工作中自动化技术应用

(1) 电网负荷实时智能监测应用。调度自动化系统通过部署在各级变电站及关键节点的远程测控终端，以秒级采样频率实时获取全网有功、无功、频率及电压数据，并利用数据可视化技术生成动态负荷曲线与地理分布图。当负荷突变或越限时，系统自动发出告警并推演发展趋势，为调度员提供精准的态势感知能力。(2) 全域电网资源动态优化调度。基于自动发电控制与经济调度算法，系统根据实时负荷需求、机组出力特性及输电断面约束，自动计算并下发各发电单元的出力指令，实现水火风光多源协调。同时，在电网出现阻塞时，系统能够快速调整潮流分布，重新分配备用容量，确保电力供应与经济性的最佳平衡^[2]。(3) 调度数据云端存储与可视化管理。调度自动化平台将历史运行数据、操作记录及故障事件统一上传至云端数据库，支持多维度检索与回溯分析。结合三维可视化与数字孪生技术，调度人

员可在人机交互界面上直观查看全网拓扑、设备状态及预警信息,显著提升调度决策的效率与准确性。

2.2 变电工程中自动化技术落地应用

(1) 变电站无人值守智能管控应用。综合自动化系统取代传统人工值班模式,通过远程测控终端、智能电子设备及视频巡检联动,实现对变压器、断路器、隔离开关等设备的遥测、遥信、遥控与遥调。运维中心可对多座变电站进行集中监控,异常时自动调用现场摄像头确认状态,大幅减少现场值守人力。(2) 变电设备运行参数自动调控。针对有载调压变压器、并联电容器组及电抗器等设备,自动电压控制系统根据母线电压与无功功率的实时偏差,通过闭环控制策略自动投切电容器或调节变压器分接头,使电压始终维持在合格范围内。整个过程无需人工干预,响应时间缩短至秒级。(3) 变电设备隐患前置预警机制搭建。在线监测装置持续采集绝缘气体压力、局部放电信号、触头温度及振动频谱等特征量,利用阈值判断与趋势分析算法提前识别设备劣化迹象。当参数超过预警线时,系统自动生成隐患报告并推送检修建议,实现从“定期检修”向“状态检修”的转变^[3]。

2.3 电力输配电工程自动化技术应用

(1) 输电线路工况远程自动化监测。在输电铁塔及导线关键部位安装微气象传感器、导线振动监测仪及绝缘子泄漏电流采集器,通过无线公网或北斗短报文将数据传送至监测中心。系统实时分析覆冰厚度、舞动幅度及风偏角,在达到危险阈值前发出除冰或限负荷指令,有效防止倒塔断线事故。(2) 配电网分段故障自动隔离与修复。馈线自动化技术依托分段开关与联络开关上的智能终端,当检测到线路过流或失压时,通过就地控制或主站集中控制逻辑自动跳开故障区段两侧开关,并合上联络开关为非故障段恢复供电。整个隔离与重构过程可在几十秒内完成,非故障用户供电恢复率提升至95%以上。(3) 输配电能耗自动化管控优化。在线损管理系统中,基于各计量点的实时功率与电量数据,自动计算分线、分台区线损率,并运用大数据比对定位高损环节。系统可智能分析无功补偿不足、三相不平衡或线路老化等成因,给出优化投切电容器、调整相序或更换导线等建议,实现降损增效的闭环管控。

2.4 电力运维环节自动化技术应用

(1) 设备运行数据自动化归集分析。智能巡检终端与在线监测装置将设备的运行时长、动作次数、负载率及告警记录等自动上传至运维数据中心。平台利用统计分析与机器学习算法,自动生成设备健康度评分、故障

概率预测及剩余寿命评估,为运维计划的制定提供量化依据。(2) 电力设备自动化定期巡检执行。搭载可见光与红外热成像的无人机、轨道式机器人按照预设航线与路径自动完成变电站及输电线路的巡检任务,自动识别设备过热、异物悬挂、表计读数异常及刀闸位置错误。巡检结束后自动生成结构化报告,标记缺陷位置并分类存档,人工仅需复核确认^[4]。(3) 运维台账智能化自动生成管理。运维自动化系统将设备的检修记录、试验数据、缺陷处理情况及备件更换信息自动关联至设备编码,形成动态更新的电子台账。系统支持扫码快速查询全生命周期履历,并依据规程自动提醒下次校验或大修时间,彻底消除手工填写的错漏与滞后问题。

3 电力工程自动化技术现存问题及优化发展对策

3.1 当前电力工程自动化技术应用现存短板

(1) 老旧电网设备适配性不足,改造难度偏大。早期投运的断路器和隔离开关多采用电磁式操作机构,不具备数字通信接口与智能传感单元,与现代自动化系统的接入协议无法兼容。同时,老旧变电站空间布局紧凑、线缆通道有限,改造施工需要长时间的停电配合,既要保障原有供电任务又要完成设备替换,工程组织与技术对接面临双重困难。(2) 自动化系统信息安全防护体系不完善。随着电力自动化系统与调度数据网、办公网络乃至互联网的互联互通,攻击面显著扩大。部分基层站点仍采用弱口令或默认配置,防火墙与入侵检测系统更新滞后,且缺少对横向移动攻击的有效隔离能力。近年来针对电力行业的勒索病毒与APT攻击事件频发,一旦主站系统被控制,将导致大面积停电风险,信息安全已成为电力自动化运行的突出短板。(3) 复合型专业技术人才储备缺口较大。电力工程自动化融合了高电压技术、通信工程、计算机软件及自动控制等多学科知识,而现有运维人员多出身于传统电气专业,对现代自动化系统的配置、调试和故障诊断能力不足。高校培养方案与产业需求存在错位,能够同时驾驭现场一次设备与后台软件系统的“机电软”复合型人才极为稀缺,制约了新技术在基层的落地效率。(4) 区域自动化技术应用水平差异化明显。东部发达地区已普遍建成智能变电站与配电自动化系统,而西部及偏远农村电网仍以常规继电保护和人工巡检为主。资金投入、运维能力及政策导向的差异导致不同区域的自动化覆盖率、故障处理速度与供电可靠性存在数倍差距,影响了整体电网的协调发展水平。

3.2 电力工程自动化技术优化改进策略

(1) 迭代硬件设备,升级老旧自动化控制系统。制

定分批次改造计划, 优先更换核心变电站的断路器智能单元和测控装置, 采用支持IEC61850标准的一二次融合设备, 减少外部接线复杂度。对于短期内无法整体替换的老旧设备, 可加装外置式智能采集终端与协议转换网关, 实现模拟信号向数字通信的无缝过渡, 逐步完成全系统的数字化改造^[5]。(2) 搭建加密防火墙, 筑牢电力数据安全防线。在调度主站与厂站之间部署电力专用正向隔离装置与纵向加密认证网关, 所有远程控制指令必须经过数字签名验证。建立全流量安全监测平台, 实时识别异常访问与病毒传播行为, 并实施分区、分域的零信任网络架构。定期开展红蓝对抗演练, 及时修补系统漏洞, 确保自动化系统在攻防对抗中具备主动防御能力。(3) 完善人才培养体系, 补齐技术人力短板。电力企业与高校联合开设“智能电网与自动化”方向微专业或订单班, 将SCADA系统组态、工业控制安全、继电保护编程等实操课程纳入教学体系。在岗人员实施分层技能认证, 建立自动化实训基地, 通过虚拟仿真与真机演练相结合的方式提升实战水平, 并设立专项津贴激励技术骨干下沉基层站所。

3.3 新时代电力工程自动化技术未来发展趋势

(1) 人工智能与电力自动化深度融合发展。深度学习算法将广泛应用于负荷预测、新能源出力区间估计以及故障波形自动识别。智能代理技术可实现电网自主学习、自决策的闭环控制, 例如利用强化学习优化无功电压调节策略, 较传统PID控制提升响应速度与适应性。

(2) 物联网技术赋能全域一体化智能电网建设。海量低功耗无线传感器部署于杆塔、电缆沟及用户侧, 通过5G广域低时延网络汇聚至物联网平台, 形成覆盖“源-网-荷-储”全环节的泛在感知体系。设备即插即用、自动组网, 支撑分布式能源接入与虚拟电厂聚合调度。

(3) 低碳节能化、分布式自动化系统主流发展。为适

应高比例可再生能源并网, 自动化系统将从集中式调度向边缘自治与协同优化演进。微电网控制器与台区智能终端具备独立运行能力, 在并网与孤岛模式间平滑切换, 最大程度消纳清洁能源并降低碳排放。(4) 虚拟仿真技术助力自动化工程调试优化。在工程实施前, 利用数字孪生平台搭建完整的电力系统模型, 对自动化策略、通信协议及保护定值进行全场景仿真测试。调试人员可在虚拟环境中完成联调、验证与故障预演, 待方案成熟后再下装至实际设备, 大幅缩短现场调试周期并降低误操作风险。

结束语

综上, 电力工程自动化技术是优化电网运行、降低运维成本、保障供电稳定的核心技术, 现阶段应用优势突出但仍存在多重现实短板。后续行业需统筹设备改造、安全防护、人才建设、区域均衡发展多项工作, 贴合双碳目标与智能电网建设要求, 深度融合前沿数字技术, 优化自动化控制体系。持续补齐行业发展短板, 推动全域电网协同管控, 助力电力行业绿色化、智能化、一体化长效高质量发展。

参考文献

- [1] 郑土明. 电力工程电气自动化技术优化及应用路径研究[J]. 电工技术, 2025, 18(8): 156-158.
- [2] 郝文清. 电气自动化技术在现代电力工程建设中的应用与发展[J]. 电力设备管理, 2024, 13(11): 89-91.
- [3] 孟航, 薛向阳, 黄山. 变电站一键顺控自动化技术优化与工程应用[J]. 自动化应用, 2024, 65(4): 39-42.
- [4] 赵军. 输配电工程电力自动化运行技术落地实践研究[J]. 智能科技, 2025, 34(12): 72-74.
- [5] 李博文. 新时期电力工程自动化运维体系构建与技术革新[J]. 中国电力企业管理, 2023, 9(27): 68-69.