

电力工程中电气自动化技术的分析和应用

张 烁

天津华电福源热电有限公司 天津 300400

摘要：电力工程中电气自动化技术通过集成计算机、通信与控制技术，实现电力系统的智能化运行。该技术涵盖变电站自动化、电网调度、发电厂分散测控等核心环节，采用分层分布式结构与实时数据采集系统，提升电力设备监控效率与故障响应速度。其应用显著降低人工干预需求，提高供电可靠性，并通过智能算法优化资源配置，为电力工程提供高效、安全、经济的解决方案，推动行业向智能化、网络化方向转型。

关键词：电力工程；电气自动化技术；应用

引言：在电力工程高速发展的当下，提升系统运行效率与稳定性成为关键目标。电气自动化技术作为融合计算机、控制及通信等多学科的先进手段，凭借其智能化、精准化特性，在电力工程中发挥着日益重要的作用。它不仅能实现电力设备的自动监测、控制与保护，还能优化电力资源配置，降低运维成本。深入分析电气自动化技术并探索其应用路径，对推动电力工程现代化发展具有重大现实意义。

1 电气自动化技术基础理论

1.1 核心技术与原理

(1) 智能控制技术：作为电气自动化的核心控制中枢，PLC（可编程逻辑控制器）以其高可靠性、灵活编程特性，广泛应用于离散控制场景，实现设备启停、逻辑联锁等精准控制；DCS（分布式控制系统）侧重过程控制，通过分散控制单元与集中监控层的协同，保障化工、电力等连续生产过程的稳定；SCADA系统则以远程监控为核心，依托通信网络实现对广域分布电气设备的状态监测与远程调度，三者互补构成智能控制的核心体系。(2) 传感器与数据采集技术：传感器是电气系统的“感知器官”，通过温度、压力、电流等各类传感器，实现对电气设备运行参数的实时采集；物联网技术构建了设备间的数据传输网络，结合5G的高带宽、低时延特性，确保采集数据快速、稳定传输至控制中心，为后续控制决策提供数据支撑^[1]。(3) 人工智能算法：人工智能算法为电气自动化赋予了智能决策能力，深度学习通过对海量电力运行数据的学习，可精准预测负荷变化、识别设备故障隐患；模糊控制则适用于电力系统中难以建立精确数学模型的场景，在复杂电力调度中，能根据多变量模糊信息实现动态优化调度，提升供电可靠性与经济性。

1.2 技术架构与模块化设计

(1) 分层分布式控制系统架构：该架构遵循“分散控制、集中监控”原则，站控层作为核心监控中心，实现全系统数据汇总、人机交互与全局决策；间隔层负责特定电气间隔的局部控制与保护，具备独立运行能力，提升系统可靠性；过程层直接对接传感器、执行器等现场设备，完成数据采集与控制指令执行，三层协同确保系统运行高效、稳定，且便于故障隔离与维护。(2) 边缘计算与云计算协同机制：边缘计算部署于电气设备近端，实现数据本地实时处理、快速响应控制指令，降低远程传输延迟与带宽压力；云计算依托云端强大的算力，开展海量数据的深度分析、模型训练与全局优化决策，两者协同形成“本地快速响应+云端全局优化”的格局，既保障了电气系统的实时控制需求，又能通过云端大数据分析持续优化系统运行效率。

2 电力工程中电气自动化技术的关键应用

2.1 发电环节的自动化控制

(1) 火电/水电/新能源发电的智能监控与优化调度：电气自动化技术贯穿各类发电形式的全流程管控。火电领域，通过自动化系统实现锅炉燃烧、汽轮机调速、发电机励磁的精准协同控制，实时监测烟气排放、热效率等参数，动态优化燃料供给，提升发电效率与环保水平；水电领域，依托自动化设备实现水轮机开度调节、机组启停的远程控制，结合水文数据动态调整发电负荷，保障机组稳定运行；新能源发电（风电、光伏）领域，自动化系统可实时追踪风光资源变化，协调机组出力，规避波动性对电网的冲击，同时联动电网调度中心实现跨能源品种的优化调度^[2]。(2) 案例：风电场功率预测与偏航控制系统：该系统基于电气自动化与人工智能融合技术，通过部署风速、风向传感器采集实时环境数据，结合历史数据与气象预报，利用深度学习算法精准预测风电场短期及中长期输出功率，为电网调度提供

数据支撑。偏航控制模块通过自动化执行机构,实时调整风机机舱朝向,确保风轮始终正对风向,最大化捕获风能;同时具备风速超限保护功能,当风速超过安全阈值时,自动触发停机程序,保障设备安全,该系统使风电场发电效率提升10%以上,大幅降低了弃风率。

2.2 输电环节的智能化升级

(1) 柔性直流输电(VSC-HVDC)技术:作为电气自动化在输电领域的核心应用,该技术依托电压源换流器实现电能的灵活转换与传输,通过自动化控制系统精准调节换流器的输出电压、电流与相位,具备快速功率调节、四象限运行等优势。其可有效连接新能源电站与主电网,解决新能源发电波动性、间歇性问题,同时适用于孤岛供电、城市电网扩容等场景,提升输电系统的稳定性与灵活性。(2) 线路故障定位与自愈技术:行波测距技术通过自动化装置捕获线路故障时产生的暂态行波信号,结合行波传播速度与时间差,精准定位故障点,误差可控制在百米以内,大幅缩短故障排查时间;分布式馈线自动化(FA)技术依托智能终端与通信网络,实时监控线路运行状态,当发生故障时,无需主站干预即可实现故障区域的快速隔离与非故障区域的供电恢复,实现输电线路的“自愈”,提升供电可靠性,减少停电损失。

2.3 变电环节的数字化改造

(1) 智能变电站设计:基于IEC61850标准构建的智能变电站,通过电气自动化技术实现设备信息的数字化采集、传输与共享。站内采用智能传感器、合并单元、智能终端等设备,替代传统电磁式设备,实现开关、变压器等核心设备的状态感知与远程控制;通过统一的信息模型与通信协议,构建全站信息一体化平台,实现保护、测控、计量等功能的协同联动,提升变电站的运行效率与运维智能化水平。(2) 变压器在线监测与状态评估系统:该系统通过在变压器本体及附件部署油中溶解气体、绕组温度、绝缘状态等传感器,借助自动化数据采集与传输模块,实时获取设备运行参数。系统内置专家诊断模型,对采集的数据进行分析处理,评估变压器健康状态,提前预警绝缘老化、局部放电等潜在故障,实现从“定期检修”向“状态检修”的转变,延长设备使用寿命,降低运维成本^[1]。

2.4 配电与用电侧的互动化

(1) 需求响应(DR)与虚拟电厂(VPP)技术:需求响应通过电气自动化与通信技术,实现电网与用户的双向互动,当电网负荷紧张或新能源出力过剩时,调度中心通过价格信号或激励机制,引导用户调整用电负

荷(如错峰用电、削减非必要负荷);虚拟电厂技术则将分布式电源(光伏、储能、电动汽车)通过自动化控制系统聚合,形成虚拟电源单元,参与电网调度,平抑新能源波动,提升配电系统的供电可靠性与灵活性^[4]。

(2) 智能家居与微电网协同控制:电气自动化技术实现智能家居与微电网的深度协同,智能家居通过智能电表、物联网终端实时反馈用电数据,微电网控制系统根据用户用电需求与分布式电源出力情况,动态优化电能分配。当电网停电时,微电网可自动切换为孤岛运行模式,通过储能设备与分布式电源为智能家居供电;当电网恢复供电时,自动并网运行,实现电能的高效利用,提升用户用电的可靠性与经济性。

3 电力工程中电气自动化技术创新与挑战

3.1 前沿技术融合趋势

(1) 数字孪生技术在电力设备全生命周期管理中的应用:数字孪生技术通过构建电力设备的虚拟映射模型,融合传感器实时数据与历史运维数据,实现设备全生命周期的可视化管理。在电气自动化系统支撑下,可精准模拟设备运行状态、预测故障演化趋势,提前制定维护策略;同时在设备设计阶段可通过虚拟仿真优化结构参数,运维阶段实现远程故障诊断与虚拟调试,大幅提升设备可靠性,降低运维成本。(2) 区块链技术保障电力交易安全与透明性:区块链的去中心化、不可篡改特性与电气自动化技术结合,为电力交易提供安全可信的技术支撑。通过区块链构建电力交易平台,自动化记录每笔交易信息,实现交易全流程可追溯;同时借助加密算法保障交易数据安全,规避信息篡改与欺诈风险,尤其适配分布式能源参与的peer-to-peer交易,促进新能源电力的高效消纳。

3.2 现存问题与瓶颈

(1) 数据安全与隐私保护:电气自动化系统接入设备增多、数据交互频繁,面临严峻的网络攻击与数据泄露风险。黑客攻击可能导致控制指令篡改、设备瘫痪,用户用电数据泄露则侵犯隐私。当前加密传输技术存在延迟较高、适配性不足等问题,攻击防御体系难以应对新型恶意攻击手段,数据安全保障体系亟待完善。(2) 异构系统兼容性:电力工程中存量传统设备与新增智能终端并存,形成异构系统。传统设备多采用老旧通信协议,与智能终端的IEC61850等标准协议存在互通壁垒,导致数据无法高效共享、控制指令难以协同执行,制约了电气自动化系统的整体效能发挥,增加了系统集成难度与成本。

3.3 标准化与政策建议

(1) 推动IEC国际标准与国产化的适配：IEC标准是电力自动化领域的核心国际标准，需结合我国电力系统特点推进国产化适配。加快制定适配国际标准的国产化技术规范，优化核心设备与软件的兼容性设计，推动国产设备、系统与国际标准无缝对接，提升我国电力自动化技术的国际竞争力与自主可控水平。(2) 完善电力自动化设备检测认证体系：建立覆盖设备全生命周期的检测认证体系，明确设备性能、安全、兼容性等检测指标。强化检测认证技术研发，提升检测设备的精准度与智能化水平；规范认证流程，加强市场监管，杜绝不合格设备进入电网，保障电力工程中电气自动化系统的稳定可靠运行。

4 电力工程中电气自动化技术的未来发展趋势与展望

4.1 技术演进方向

(1) 面向“双碳”目标的低碳自动化技术：为响应“双碳”战略，低碳化将成为电气自动化技术的核心演进方向。通过构建碳流分析自动化系统，实时追踪电力生产、传输、消费全链条碳足迹，精准核算各环节碳排放强度，为减排决策提供数据支撑；同时升级绿电交易自动化平台，整合光伏、风电等新能源发电数据与用户需求，实现绿电交易的智能匹配、实时结算，提升绿电消纳效率，推动能源结构向清洁低碳转型。(2) 自主可控的国产化替代：核心技术自主可控是行业发展的必然要求，国产化替代将持续深化。以RISC-V芯片为代表的国产化核心元器件，正逐步应用于继电保护装置等关键设备，依托其开源、灵活的特性，结合自主研发的自动化控制算法，可打破国外芯片技术垄断；同时推动操作系统、控制软件等全产业链国产化，构建安全可靠的电气自动化技术体系，保障电力系统核心设备自主可控^[5]。

4.2 行业应用深化

(1) 电力市场改革下的自动化交易平台建设：随着电力市场改革深入，自动化交易平台将成为核心支撑。

平台依托电气自动化与大数据技术，实现电力供需信息的实时归集、分析与匹配，支持中长期交易、现货交易等多场景交易模式；通过智能合约自动执行交易流程，精准核算电费与补贴，提升交易效率与透明度，助力构建市场化的电力资源配置机制。(2) 极端天气下的电网韧性提升技术：极端天气频发背景下，提升电网韧性成为行业重点需求。电气自动化技术将通过部署高精度气象监测与预警系统，实时感知极端天气态势；结合电网动态仿真模型，提前预判故障风险，自动启动负荷转移、储能调度等应急响应策略；同时优化自动化控制逻辑，提升设备抗极端环境能力，保障电网在极端条件下的供电稳定性，降低灾害损失。

结束语

电气自动化技术在电力工程中的应用，已然成为提升电力系统效能与可靠性的关键力量。通过精准监测、智能调控与高效管理，其不仅优化了电力资源配置，降低了运维成本，更推动了电力工程向智能化、绿色化方向迈进。未来，随着技术的持续创新与融合，电气自动化将在构建新型电力系统、促进能源转型中发挥更加重要的作用，为电力行业的可持续发展注入强劲动力。

参考文献

- [1]石磊.电气自动化技术在电力工程中的应用及发展趋势[J].光源与照明,2021(10):131-133.
- [2]樊雅文.电气自动化技术在电气工程中的应用探析[J].电力设备管理,2021(02):174-175.
- [3]赵津易.电力系统运行中的电气工程自动化技术研究[J].应用能源技术,2023(1):24-28.
- [4]伏成志.自动化技术在电力系统运行中的应用[J].电子技术,2023(11):232-233.
- [5]周霓.电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用[J].机械工业标准化与质量,2023(11):53-56.