

电力自动化技术及其在电力系统中的应用

于志强

国家能源集团华北电力有限公司廊坊热电厂 河北 廊坊 065000

摘要：电力自动化技术作为现代电力系统高效运行的核心支撑，通过集成数据采集、智能控制、高效通信与优化决策等技术，全面提升发电、输电、配电及用电各环节的智能化水平。本文系统分析了电力自动化技术的核心构成与原理，重点探讨了其在发电调控、输电监测、配电调度与用电管理等场景的具体应用，并针对多系统兼容性、复杂工况稳定性等关键问题提出优化方向。同时结合智能化、绿色化与数字化发展趋势，展望了AI融合、新能源适配、数字孪生等新技术在电力自动化领域的应用前景，为电力系统安全、经济、低碳运行提供技术参考。

关键词：电力自动化技术；电力系统；应用场景；技术优化；发展趋势

引言：随着社会对电力需求的持续增长及新能源的广泛接入，传统电力系统已难以满足高效、稳定、低碳的运行需求。电力自动化技术作为提升电力系统管理水平的关键手段，可实现数据实时采集、精准控制与智能决策，对保障电力供应安全、优化资源配置意义重大。当前，电力自动化技术虽已在各环节应用，但仍面临系统兼容、工况适应等问题。深入研究其技术原理、应用场景及优化方向，对推动电力行业高质量发展具有重要现实意义。

1 电力自动化技术的核心构成与技术原理

1.1 数据采集与监测技术

数据采集技术包含模拟量采集、数字量采集等类型。模拟量采集通过传感器将电压、电流等连续物理量转换为电信号，经信号放大、滤波等处理方式提升数据精度；数字量采集则直接获取设备开关状态、故障信号等离散信息，减少信号转换环节的误差^[1]。实时监测技术以传感器网络为基础，通过持续采集电力系统运行参数，依托高速数据传输通道将信息实时传递至控制中心，其核心原理是利用定时采样与动态更新机制，确保数据能反映系统当前运行状态。数据采集与监测系统采用分层式技术架构，底层为现场采集层负责数据获取，中间为传输层保障数据稳定传递，顶层为应用层实现数据展示与初步分析，各层级协同实现对电力系统的全面监测。

1.2 控制与调节技术

自动控制技术涵盖PID控制、模糊控制等基本类型。PID控制通过比例、积分、微分环节的协同计算，根据设定值与实际值的偏差调整输出量，实现对系统参数的精准控制；模糊控制基于模糊数学理论，将专家经验转化为控制规则，适用于难以建立精确数学模型的复杂场

景。动态调节技术通过实时捕捉系统参数变化，快速启动调节机制，其响应机制依赖于预设的阈值判断逻辑，当参数超出正常范围时立即触发调节动作，通过不断优化调节参数，减少调节过程中的超调与震荡。控制与调节系统遵循协同工作原理，控制模块生成调节指令后，由执行模块精准执行，反馈模块实时将执行结果传回控制模块，形成闭环控制流程，确保系统运行参数稳定在合理区间。

1.3 通信与传输技术

电力系统专用通信技术包括光纤通信、电力线载波通信等类型。光纤通信凭借高带宽、低损耗的传输特性，适用于大容量数据长距离传输；电力线载波通信利用现有电力线路实现数据传输，减少额外布线成本。数据加密与抗干扰技术通过对称加密、非对称加密等方式对传输数据进行处理，防止信息泄露，同时采用信号滤波、频率规避等措施，降低电力系统内部电磁干扰对通信质量的影响。通信网络采用星型、环型等拓扑结构，星型结构便于集中管理与故障排查，环型结构具备自愈能力保障通信连续性，数据交互流程遵循预设的通信协议，确保不同设备间数据格式统一、传输时序协调，实现信息高效交互。

1.4 决策与优化技术

数据分析与建模技术以统计学、机器学习等为核心方法，通过对历史运行数据、实时监测数据的挖掘，构建反映电力系统运行规律的数学模型，为决策提供数据支撑。智能决策技术基于预设算法与逻辑框架，结合实时数据与模型分析结果，自动生成运行调整、故障处理等决策方案，其算法原理涵盖决策树、神经网络等，能适应不同场景下的决策需求^[2]。系统优化技术以提升电力系统经济性、稳定性为目标设定优化方向，通过调整机

组出力、线路潮流等参数,在满足安全约束的前提下,实现资源最优配置,其实现路径需综合考虑多方面因素,通过迭代计算找到最优解决方案,持续提升系统运行效率。

2 电力自动化技术在电力系统中的核心应用场景

2.1 在发电环节的应用

发电机组自动化控制与运行状态调控通过实时采集转速、油压、水温等关键参数,依据预设阈值自动调整燃油喷射量、气门开关角度等操作,使机组始终维持在最佳运行状态,减少人工操作带来的误差,同时降低设备空载损耗。发电效率动态优化与能耗调控依托数据分析技术,结合不同时段的发电负荷需求与燃料消耗数据,优化机组启停顺序与运行组合,在保障供电充足的前提下,减少冗余发电带来的能源浪费,提升单位燃料的发电效率。发电系统安全稳定监测与异常预警通过在设备关键部位布设传感器,持续监测绝缘状态、振动频率等指标,当数据超出安全范围时,系统自动发出声光预警并记录异常信息,提醒工作人员及时排查故障,避免因设备损坏导致的停机事故,保障发电过程连续稳定。

2.2 在输电环节的应用

输电线路状态实时监测与故障识别利用搭载传感器的在线监测装置,实时捕捉线路温度、覆冰厚度、导线弧垂等数据,通过无线通信将信息传输至控制中心,系统对比分析数据变化趋势,判断线路是否存在老化、损伤等问题,一旦发生故障能快速定位故障区段,为抢修工作提供精准指引。输电网络潮流优化与动态调节基于实时潮流分布数据,通过自动控制装置调整变压器分接头位置、投切无功补偿设备,平衡各条线路的负荷承载,避免部分线路因潮流过载引发过热损坏,同时减少线路损耗,提升输电效率。输电系统稳定性控制与风险防控通过监测系统频率、电压波动情况,当出现大幅波动时,迅速启动稳定控制策略,如切除部分非重要负荷、投入备用电源等,防止系统失稳引发连锁故障,保障输电网络整体安全。

2.3 在配电环节的应用

配电网自动化调度与负荷均衡调节根据区域内用户用电负荷的实时变化,通过智能调度算法自动调整配电网的供电路径与功率分配,将高峰负荷分散至不同线路,避免单一线路因负荷过高跳闸,同时保障偏远区域用户的供电质量。配电设备状态监测与远程控制通过在开关设备、配电变压器等设备上安装智能监测模块,实时获取设备运行温度、电流、电压等数据,工作人员可通过远程终端对设备进行分合闸操作、参数调整,无需

现场作业,大幅提升设备管理效率,减少运维成本。配电网故障定位与自愈控制借助故障指示器与通信网络,快速确定故障位置并自动隔离故障区域,同时将非故障区域切换至备用电源线路,实现故障自动恢复供电,缩短用户停电时间,提升配电网供电可靠性。

2.4 在用电环节的应用

用电信息采集与能效监测通过智能电表实时记录用户用电量、用电时段、功率因数等数据,每日自动上传至用电管理平台,系统生成用电分析报告,清晰呈现用户用电规律与能效水平,为用户提供节能改造建议。需求侧响应与用电负荷调控在用电高峰时段,通过价格激励或自动控制手段,引导工业用户、商业用户调整非核心设备运行时间,减少高峰时段的用电需求,同时优先保障居民生活、医疗等关键领域用电,缓解电网供电压力^[3]。用户用电安全监测与异常预警通过监测用户线路的电流、电压波动情况,当出现短路、漏电等安全隐患时,系统自动切断故障线路电源,同时向用户发送安全预警信息,保护用户用电设备不受损坏,避免触电事故发生,保障用户用电安全。

3 电力自动化技术应用中的关键问题与优化方向

3.1 技术应用中的核心问题

多系统协同运行的兼容性问题表现为不同阶段建设的自动化系统采用差异化技术标准,通信协议与数据格式不统一,导致系统间数据交互受阻,无法形成统一调控体系,增加整体运行管理难度,尤其在跨区域电网联合调度时,易出现指令传递延迟或偏差。复杂工况下技术稳定性问题体现在极端温度、雷雨天气或负荷骤变时,传感器数据采集易出现偏差,控制指令执行精度下降,甚至引发系统短暂失稳,影响电力供应连续性,对工业生产、居民生活等关键用电场景造成不利影响。海量数据处理的效率与准确性问题源于电力系统实时产生的监测、运行数据规模庞大,现有处理技术难以快速完成数据筛选与分析,易出现数据延迟或误判,制约决策的及时性与可靠性,可能错过故障处理的最佳时机。

3.2 技术优化方向

技术集成度提升与系统简化可通过制定统一行业技术规范,推动不同厂商的自动化系统采用通用通信协议与数据接口,实现硬件设备与软件平台的无缝对接。同时整合分散的监测、控制功能到统一管理平台,开发标准化数据转换模块,消除系统冗余环节,减少数据交互障碍,降低运维成本的同时提升整体运行效率。抗干扰能力与容错机制强化需从硬件与软件两方面入手,硬件层面选用抗电磁干扰材料制作传感器与通信设备,增设

金属屏蔽罩、滤波电路等装置减少外部环境干扰；软件层面开发容错算法，建立设备故障应急预案，当部分设备故障或数据异常时，系统能自动切换至备用设备或调用备份数据，保障核心功能正常运行，避免局部问题扩大为整体故障。数据处理算法与决策逻辑优化需引入深度学习、并行计算等先进技术，搭建分布式数据处理平台，提升数据处理速度与精度，同时结合电力系统运行规律优化决策模型，加入动态调整机制，使系统能在海量数据中快速提取关键信息，生成科学调控指令，更好应对复杂运行场景，进一步保障电力系统稳定高效运行。

4 电力自动化技术的发展趋势

4.1 智能化技术融合应用趋势

AI、大数据与电力自动化的深度结合将重塑电力系统运行管理模式。AI技术可通过分析海量历史运行数据，优化负荷预测模型，提升预测精度，为发电计划制定与电网调度提供更可靠依据；同时能自主学习故障特征，缩短故障诊断时间，提高故障处理效率^[4]。大数据技术则可整合电力系统各环节数据，挖掘数据背后的运行规律，识别潜在风险点，为系统优化调整提供数据支撑。二者与电力自动化融合后，能推动系统从“被动响应”向“主动预判”转变，实现更精准的调控与更高效的管理，进一步提升电力系统运行的智能化水平。

4.2 绿色化技术发展趋势

适应新能源并网的自动化技术革新成为电力自动化发展的重要方向。随着风电、光伏等新能源大规模接入电网，其出力波动性给电网稳定运行带来挑战。电力自动化技术需优化新能源发电预测算法，更精准掌握发电出力变化规律；同时改进电网调度自动化系统，提升对新能源发电的接纳能力，实现新能源与传统能源的协同调度。此外，还需开发新能源场站自动化管理技术，实现对新能源设备的实时监测与智能控制，减少能源损耗，推动电力系统向清洁低碳方向发展，助力“双碳”目标实现。

4.3 数字化技术升级趋势

数字孪生技术在电力自动化中的应用将大幅提升系统管理效能。该技术可构建与物理电力系统高度一致的数字模型，通过实时采集物理系统数据，在数字空间

模拟系统运行状态，实现对电力系统全生命周期的可视化管理。借助数字孪生模型，工作人员可提前模拟设备运维、电网改造等场景，预判可能出现的问题并优化方案；在系统运行过程中，能实时监测设备状态，及时发现异常并进行虚拟调试，减少物理系统停机维护时间。数字孪生与电力自动化的结合，将打破传统管理模式局限，推动电力系统管理向数字化、精细化转型。

4.4 分布式技术应用趋势

分布式控制技术在电力系统中的推广将增强系统灵活性与可靠性。传统集中式控制模式依赖中心节点，一旦中心节点故障易导致整体系统瘫痪。分布式控制技术可将控制功能分散到多个局部节点，各节点自主完成局部调控任务，通过节点间协同实现整体系统稳定运行。这种模式能减少对中心节点的依赖，提升系统抗干扰能力；在分布式电源、微电网快速发展的背景下，可更好地适配分散式能源接入需求，实现对局部电力网络的精准控制，保障区域供电稳定，尤其在偏远地区或复杂电网结构中，将发挥重要作用，推动电力系统向分布式、多元化方向发展。

结束语

电力自动化技术作为电力系统发展的核心驱动力，在提升系统可靠性、效率及智能化水平方面发挥着不可替代的作用。尽管在多系统协同、复杂工况应对及数据处理等方面存在挑战，但通过技术集成、抗干扰强化及算法优化等措施，正逐步实现突破。展望未来，智能化、绿色化、数字化及分布式技术的深度融合，将推动电力系统迈向更高层次的自主运行与可持续发展，为全球能源转型提供坚实支撑。

参考文献

- [1]张森.电气自动化技术在电力系统中的应用[J].光源与照明,2021(3):106-107.
- [2]王军.电力系统及其自动化技术的应用研究[J].电力设备管理,2023(3):105-107.
- [3]谢蓓敏,陈万意,李睿.电气工程及其自动化技术在电力系统中的应用分析[J].智能城市,2021,7(18):74-75.
- [4]韩志宏.电力系统自动化中智能技术的应用[J].电气时代,2022(8):102-104.