

电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展分析

孟阿拉木沙

特变电工国际工程公司 天津 301700

【摘要】：电力系统运行规模扩大及设备结构复杂化，对运行监测、故障处理和调度控制提出了更高要求。电气工程及其自动化技术依托智能监测、自动控制、信息通信及数据处理手段，可实现设备状态感知、运行参数调节和故障快速处置。针对电力系统自动化应用中的信息协同、控制精度及运行可靠性问题，应加强自动控制技术集成、智能监测系统建设和调度控制优化，提升电力系统自动化、智能化运行水平。

【关键词】：电气工程；自动化技术；电力系统；智能监测；调度控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.034

引言

电力系统承担电能生产、输送、分配和控制等重要功能，其运行状态直接影响供电质量与电网安全。传统依靠人工巡检和分散控制的运行方式，在设备状态识别、故障响应及调度协同方面存在一定局限。电气工程及其自动化技术能够融合自动控制、通信传输和智能检测功能，为电网运行提供实时信息和精准控制支持。因此，有必要分析自动化技术在电力系统中的应用机制、现实制约及发展方向，为提升电网安全稳定运行能力提供技术思路。

1 电力系统自动化技术运行特征

1.1 自动监测技术的应用形态

自动监测技术已由单一设备参数采集逐步延伸至电网运行状态的连续感知，监测对象涵盖电压、电流、频率、功率、温度、绝缘状态及设备负荷等关键参数。依托传感器、智能终端、在线监测装置和通信网络，可将现场运行信息实时传送至监控平台，并对异常波动、越限状态和设备劣化趋势进行识别。变电站、输电线路及配电设备之间的数据采集方式也更加统一，监测结果能够与设备台账、检修记录和历史运行数据形成关联，为状态检修、故障预警及运行调整提供连续的数据依据。对不同时间尺度、不同运行区域的数据进行汇聚分析，还可识别设备参数变化趋势和异常特征，及时发现潜在劣化迹象，并结合运行负荷、环境条件和检修周期对设备状态进行综合判定，使监测信息由单纯记录转向辅助分析和动态决策，提高运行维护工作的针对性与准确性。

1.2 自动控制技术的运行方式

自动控制技术主要承担运行参数调节、设备动作执行及异常状态干预等任务，其运行方式已由局部独立控制向分层协同控制发展。继电保护、自动重合闸、无功补偿、电压调节及频率控制等功能，可依据实时运行参数和预设控制逻辑完成指令判断，并由执行装置快速响应^[1]。控制系统还可结合负荷变化、设备运行边界和电网潮流状态动态修正控制目标，使发电、输电、变电与配电环节保持协调。部分关键设备具备就地控制与

远程控制切换能力，在通信异常或系统故障情况下仍可维持必要的保护和控制功能，提高控制过程的连续性与可靠性。

1.3 智能调度技术的配置特征

智能调度技术侧重于对电网运行信息进行集中分析和资源协调，其配置逐渐形成调度主站、通信网络、数据平台及现场终端相互配合的体系。调度平台可汇集负荷变化、设备状态、电源出力及线路潮流等信息，并结合预测模型、优化算法及安全校核结果生成运行调整方案。面对新能源出力波动、区域负荷差异和线路容量约束，调度系统能够动态分配电力资源，调整机组出力和网络运行方式。自动化调度还加强了告警信息分级、事故状态分析和控制指令下发功能，使运行人员能够更准确掌握电网整体状态，并减少多环节信息传递造成的响应延迟。

2 电力系统自动化运行制约因素

2.1 多源运行数据协同性不足

电力系统自动化运行涉及调度平台、变电站监控系统、配电终端、智能电表及在线监测装置等多类数据来源，不同设备在通信规约、采样周期、数据格式和时间同步方式上存在差异，容易形成信息分散与数据接口不统一的问题。部分运行数据只能在独立系统内部调用，跨平台共享时需要进行格式转换和重复处理，降低了信息传递效率。数据更新时间不一致还可能造成运行状态判断出现偏差，使负荷变化、设备状态和故障信息难以形成统一关联，影响调度分析、状态评估以及控制指令生成的准确程度。特别是在负荷快速波动或设备异常突发时，若部分节点数据上传存在延迟，调度平台接收到的信息就可能与现场实际状态不同步，进而造成潮流计算、风险判断和控制策略之间出现时间偏差。长期存在的数据不同步还会削弱历史数据分析的可靠性，使设备状态趋势识别、异常规律判断以及运行方式优化缺少完整的数据支撑。

2.2 自动控制响应精度存在偏差

自动控制过程需要依据实时参数完成电压调节、无功补偿、负荷分配及设备动作，但传感器测量误差、通信延迟、控

制模型参数失配等因素会直接影响指令计算结果^[2]。当电网负荷快速变化或新能源出力产生波动时,固定参数控制策略可能难以及时适应运行边界变化,容易出现调节幅度过大、响应滞后或控制指令频繁切换等情况。部分设备长期运行后还会受到执行机构磨损和性能漂移影响,使计算指令与实际动作之间产生偏差,降低自动控制对复杂工况的适应能力。尤其在频繁启停、负荷波动较大或环境条件持续变化的运行场景下,机械传动部件、调节机构和传感单元的响应特性可能逐渐发生变化,造成动作时间延长、调节幅度失准或反馈信号偏移。若缺少定期校验和状态修正,控制模型中的参数将难以真实反映设备性能,进一步增加局部调节误差和连续控制过程中的累积偏差。

2.3 系统故障识别处置能力有限

电力系统故障具有类型多样、传播速度快和关联范围广等特点,现有自动化系统在复杂故障识别方面仍存在一定局限。部分告警信息主要依赖固定阈值触发,当设备出现缓慢劣化、间歇性异常或多参数联动变化时,单一阈值难以及时识别潜在风险。大量告警同时出现还可能形成信息堆积,增加故障源定位难度。不同保护装置、监控平台和调度系统之间若缺乏统一的故障信息关联机制,容易延长故障判断和处置链路,使隔离范围、恢复顺序及控制策略难以快速匹配实际运行状态。

3 电气工程自动化技术优化路径

3.1 完善多层级智能监测体系

多层级智能监测体系应覆盖发电、输电、变电和配电等关键环节,根据设备重要程度和运行风险设置差异化监测节点。现场层可配置智能传感器、综合在线监测装置及边缘采集终端,对电压、电流、温度、局部放电和绝缘状态等参数持续采集;站端层负责数据预处理、异常筛选和状态判断,减少无效信息上传;调度层则汇集不同区域运行数据,形成统一监测视图。针对采样周期不一致和接口标准不统一问题,还需规范通信规约、时间同步和数据编码方式,使多源信息能够稳定接入同一平台,提高运行状态识别的完整性与连续性。

3.2 强化自动控制与调度协同

自动控制与调度协同需要打通现场控制装置、站端控制系统与调度平台之间的信息链路,使控制指令能够根据电网实时状态动态调整。可将电压控制、无功补偿、负荷分配、潮流调节等功能纳入统一协调机制,在调度侧完成运行边界判断和控制目标计算,再由现场装置执行具体操作^[3]。针对新能源出力波动和负荷快速变化,可引入滚动预测与在线校正方法,对控制参数进行持续修正,避免固定控制策略出现响应滞后。还应设置分级控制权限和异常切换逻辑,在通信中断或局部故障条件下保留必要的就地控制能力,维持关键设备稳定运行。

3.3 构建设备故障智能诊断机制

设备故障智能诊断机制应从单一阈值告警转向多参数关

联识别,将实时监测数据、历史故障记录、检修信息和设备运行特征统一纳入分析范围。针对变压器、断路器、输电线路及配电设备,可建立对应的状态特征库,对温升异常、绝缘劣化、机械振动和电气参数突变进行分类识别。诊断平台可利用趋势分析、特征匹配和智能算法筛选异常信号,减少重复告警和无效告警对故障判断的干扰。故障发生后,还需结合保护动作顺序、设备拓扑关系和运行工况定位异常区段,并给出处置优先级,为故障隔离、检修安排和供电恢复提供更加准确的判断依据。

4 自动化技术应用成效检验

4.1 运行参数实时控制效果

自动化技术应用后,电力系统运行参数的采集、分析与调节能够形成更紧密的闭环控制。调度平台可依据负荷变化、节点电压、线路潮流及无功需求及时修正控制指令,使电压偏差、频率波动和功率分配保持在合理范围内。在线控制方式减少了人工判断与指令传递之间的时间间隔,对短时负荷突变和局部运行状态变化的适应能力更加突出。自动调压、无功优化和负荷转移等功能协同运行后,可降低部分设备长期处于高负荷或偏离经济运行区间的情况,使运行参数调整更加连续、精细,为电网稳定供电提供可靠控制条件。

4.2 故障识别处置效率改善

智能诊断与自动化控制机制投入运行后,故障处置由单纯依赖告警信息判断逐步转向多参数联合分析。系统能够结合保护动作、异常波形、设备状态及网络拓扑关系识别故障区域,缩短异常信息筛选和故障定位所需时间^[4]。对于线路短路、设备异常跳闸及局部供电中断等情况,可根据故障范围执行隔离、转供和恢复指令,减少处置环节中的重复核查。告警分级与关联分析还能够压缩无效信息数量,使关键异常更加突出。检修任务可依据故障等级和设备状态合理排序,避免轻重缓急判断不清造成资源占用,提高故障处理过程的针对性与连续性。

4.3 电网安全稳定水平提升

自动化技术对电网安全稳定性的改善主要体现在运行边界控制、风险预警和异常状态快速调整等方面。实时监测数据能够持续反映线路负载、母线电压、设备温升及重要节点运行状态,当参数接近安全限值时,可触发告警并启动对应控制措施,避免局部异常持续扩大。调度系统结合潮流变化和备用容量重新配置运行方式,有利于减轻重载线路压力并提高供电路径的灵活性。故障隔离与供电恢复过程更加迅速后,可缩小异常影响范围,降低连续故障发生概率。关键设备状态变化得到持续跟踪,也便于提前安排检修,减少突发停运对系统稳定运行造成的影响。

5 电力系统自动化深化发展方向

5.1 推进人工智能与控制系统融合

人工智能与电力控制系统的融合应突出算法分析与实时控制之间的联动,将机器学习、模式识别和预测分析嵌入负荷预测、设备状态判断、运行方式优化等环节。依托历史运行数据与实时采样信息,可持续训练电压波动、负荷变化和异常识别模型,提高复杂工况下的判断准确性。控制系统还可根据预测结果提前调整无功补偿、潮流分布和备用容量配置,降低被动响应造成的控制滞后。人工智能算法接入时需要设置模型校验、权限边界和异常回退机制,避免算法误判直接影响控制指令执行,使智能决策能够在安全约束条件下参与电网运行调节。

5.2 加强数字孪生与运行平台协同

数字孪生技术可将电网物理设备、网络拓扑、运行参数和控制逻辑映射到虚拟空间,并与实际运行平台保持持续数据交互。系统可依据实时采集信息动态更新线路负荷、设备状态和潮流分布,在虚拟环境中开展运行方式推演、故障影响分析和控制策略验证^[5]。对于计划检修、设备切换及负荷转供等操作,可提前模拟不同方案对节点电压、线路容量和供电范围产生的影响,降低直接调整带来的运行风险。数字孪生平台还应与调

度自动化、设备管理和在线监测系统建立统一接口,使模型参数随设备状态变化及时修正,提高虚实映射的准确程度。

5.3 提升新型电力系统自主调控能力

新型电力系统中新能源、电化学储能、柔性负荷及分布式电源接入规模扩大,传统依赖集中指令的控制模式需要向源网荷储协同调节转变。自主调控体系可依据新能源功率预测、负荷变化趋势、储能荷电状态和网络约束条件,动态确定功率平衡与调节策略。当局部区域出现功率波动或线路重载时,可协调储能充放电、可调负荷响应和电源出力变化,维持区域供需平衡。控制架构还需强化分层分区自治能力,使站端、区域控制单元和调度中心按照不同时间尺度执行控制任务,提升高比例新能源接入条件下的运行适应性。

6 结语

电气工程及其自动化技术的深化应用,使电力系统在运行感知、控制调节、故障诊断和资源调度方面形成更加紧密的技术联系。完善多层级监测、控制协同与智能诊断机制,可提高运行参数调节精度和异常处置效率。进一步融合人工智能、数字孪生及源网荷储协同控制,有助于增强复杂运行条件下的自主决策与动态调节能力,为电网安全、稳定、高效运行提供持续技术支撑。

参考文献:

- [1] 高文俊.电气工程及其自动化的质量控制与安全管理[J].中国战略新兴产业,2025,(32):131-133.
- [2] 刘云飞,马文博,安旺成.基于电气工程中的继电保护自动化运行及其维护措施探讨[J].全面腐蚀控制,2025,39(10):215-217.
- [3] 罗柳军.电气工程自动化技术在电力系统中的应用分析[J].光源与照明,2025,(9):233-235.
- [4] 马兆后.电气工程及其自动化技术的智能化应用研究[J].时代汽车,2025,(20):31-33.
- [5] 李竞.智能电网背景下电力电气设计的创新思路与实践[C]//中国国土经济学会,河北地质大学.2025 中国国土经济学会学术年会暨太行论坛城市规划与工程技术管理分论坛论文集(二).[出版者不详],2025:129-132.