

# 智能化技术在电力系统电气自动化控制中的应用探讨

徐金晖, 胡蝶

(国网湖北省电力有限公司黄冈供电公司, 湖北 黄冈 438000)

**摘要** 在电力系统电气自动化控制中应用智能化技术, 能提升发电效率与新能源消纳能力, 强化电网安全与输电效率, 实现变电站无人化与智能化运维, 支撑分布式能源接入与主动配电网建设。应用智能化技术加强数据采集与感知、新能源发电功率预测、发电机组智能控制、智能巡检、故障诊断与定位、智能调压控制、分布式能源与虚拟电厂管控等, 能促进电力系统电气自动化控制水平显著提升。

**关键词** 电力系统; 电气自动化; 智能化技术

中图分类号: TM76; TP2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.010

## 0 引言

电气自动化控制指电力系统发、输、变、配、用等环节对电气设备与系统运行状态进行实时监测、全面分析、自动控制, 其依靠全面状态感知、可靠信息通信、智能分析与控制、精准动作响应等, 实现电力系统的自主调节与快速响应。加强电气自动化控制, 能保障电力系统安全稳定运行, 也能提升供电可靠性与电能质量, 更能提升系统运行效率与经济性。

## 1 智能化技术在电力系统电气自动化控制中的应用价值

### 1.1 提升发电效率与新能源消纳能力

智能化技术在电力系统电气自动化控制中的应用, 能通过部署火焰图像识别系统、构建深度学习模型、建立设备参数预测模型等方式, 实现对锅炉燃烧的优化、对汽轮机转速的智能调节、对水电厂梯级联合调度的优化、对设备的预测性维护等, 最终达到降低火电煤耗、缩短机组调峰响应时间、提升水电厂发电量、减少设备非计划停机时间等作用, 有效提高发电效率。另外, 应用智能化技术还可通过功率预测模型、强化学习算法等, 对风电、光伏的功率进行预测, 对风机变桨与偏航进行智能控制, 对光伏逆变器最大功率点跟踪进行优化, 对新能源场站集群进行协同控制, 从而实现对风电与光伏功率的精准预测, 降低弃风弃光率, 缩减场站运维成本, 切实强化电力系统对新能源的消纳能力<sup>[1]</sup>。

### 1.2 强化电网安全与输电效率

电网安全是电力系统电气自动化控制与管理的重点。在电力系统中应用智能化技术, 可通过无人机与机器视觉技术实现对电力线路的智能化巡检, 通过直升机激光雷达实现设备扫描, 通过传感器对线路温度以及弧垂进行在线监测, 从而显著提升巡检效率、降低人工成本、缩短线路故障发生时间, 为电网安全提供有力保障。另外, 智能化技术的应用还可促进柔性输电与电网潮流智能化控制, 通过电网数字孪生模型对潮流变化进行实时推演, 依托强化学习算法对柔性交流输电系统设备输出进行动态化、智能化控制, 从而推动输电效率提升。

### 1.3 实现变电站无人化与智能化运维

智能化技术在电力系统电气自动化控制中的应用, 能通过智能终端与合并单元实现一次设备与二次系统的数字化交互, 也能通过设备故障诊断模型实现对各种故障的动态监测和提前预测, 配合程序化操作、机器人巡检、故障自处理等, 支持变电站自动化、智能化控制。基于数据自动采集与机器学习模型的潜伏性故障自动识别技术, 能对变压器、断路器等核心设备的运行状态与寿命进行评估和预测, 同时自动生成差异化的维护计划, 支持设备预测性维护以及变电站智能运维。

### 1.4 支撑分布式能源接入与主动配电网建设

应用智能化技术, 可在配电站部署边缘计算节点, 配合数学模型对配电网控制算法进行预测, 根据光伏、储能以及电动汽车等的实际用电需求实现分布式能源

作者简介: 徐金晖 (1996-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 电气试验。

的协同控制,从而提高配电网供电可靠性,同时提高分布式能源渗透率,维持配电网稳定运行。分布式馈线自动化技术的应用,能通过对等通信对配电网故障进行快速定位,同时触发断路器动作进行隔离故障以及通过联络开关对非故障区段供电加以恢复,实现无需人工干预的配电网故障自愈,将故障停电时间缩短至秒级并降低用户停电损失<sup>[2]</sup>。

## 2 智能化技术在电力系统电气自动化控制中的应用要点

### 2.1 发电侧电气自动化智能控制

1. 数据采集与感知。智能化技术的应用离不开数据的支撑。发电侧电气自动化智能控制需以对发电设备的全状态、高精度、实时监测为基础,构建多源异构传感网络,根据电网特性以及发电设备类型,合理部署不同传感器,采用“有线为主、无线为辅”的数据混合传输方案,在设备就地部署边缘计算节点以实现数据的预处理并减轻上行传输带宽压力,部署统一的数据中台实现对异构数据的融合存储与运用。传感器选择需优先考虑工业级、抗干扰、高精度的传感器,并且要统一传感器通信协议,确保传感器量程与精度适配设备运行参数范围,根据数据类型的时效性需求合理设定传感器采样频率,利用 GPS/北斗授时与精密时钟同步技术确保不同设备上传感器数据间时间戳一致,而且核心设备的关键参数需进行双传感器冗余配置<sup>[3]</sup>。例如:针对锅炉设备,一般需配置温度传感器、压力传感器、振动传感器以及超声波传感器,从而实现炉膛温度、汽包压力、管壁温度、烟气成分、炉膛振动等参数的监测与采集;针对变压器,一般需配置温度传感器、绝缘传感器与振动传感器,从而实现绕组温度、顶层油温、套管绝缘、局部放电、油中溶解气体等参数的监测与采集。

2. 新能源发电功率预测。在电网建设与运行中,新能源发电规模持续扩大。新能源发电具有较强的随机性,必须做好相应的发电功率预测工作以支持电网供需平衡以及消纳能力提升。应用智能化技术进行新能源发电功率预测,可利用多源数据融合分析与先进算法保障预测精度。对风电/光伏输出功率、并网点电压、并网点电流、并网点有功/无功功率、风速、风向、光照强度、环境温度、降水、气压、湿度、风机转速、桨距角、偏航角度、光伏板清洁度、逆变器效率、汇流箱状态等数据进行采集,采用时序数据库对多源数据进行存储,可为新能源发电功率预测提供数据支撑。对采集的数据进行预处理,通过缺失值补全、异常值剔除、时间同步与数据对齐、数据标准化等手段,

有效消除数据噪声干扰并为后续的新能源发电功率预测奠定良好基础。合理采用时空图神经网络、长短期记忆网络等深度学习算法,构建气象大模型与深度学习模型,采用时间序列法进行数据集划分,通过均方误差、平均绝对百分比误差作为损失函数,采用时间序列交叉验证,再通过网络搜索、随机搜索、贝叶斯优化等方法进行超参数调优,采用集成学习方法进行模型融合,持续更新数据进行增量训练,从而构建相应的新能源发电功率预测模型<sup>[4]</sup>。于发电厂本地部署边缘计算节点,在云端部署完整模型,将模型预测结果通过标准化接口与电网系统进行适配,规范模型预测结果输出格式,从而通过模型预测为电网日前调度、日内滚动调度、实时调度以及发电厂发电计划优化、储能系统充放电控制等提供依据,发挥新能源发电功率预测的作用并支撑电网调度。

3. 发电机组智能控制。智能化技术在电力系统电气自动化控制中的应用,发电机组智能控制是发电侧电气自动化智能控制的核心,其能有效解决传统控制系统在变工况、强扰动条件下精度不足与响应滞后的问题。火电/燃气轮机机组作为电网主力调节电源,其智能化控制需实现快速响应负荷、稳定参数以及高效低排放燃烧。系统对汽包压力、炉膛温度、氧量、转速、功率、主汽流量、频率信号等数据进行实时监测与分析,通过模型预测控制对机组的主汽压力、温度、负荷等变量进行滚动优化与约束控制,通过自适应 PID 进行变工况下的设备参数控制,通过模糊控制对燃烧、传热等非线性环节的参数进行精准控制,结合自适应励磁控制、非线性励磁控制、模型驱动的阀位控制、火焰图像识别系统、氧量在线监测仪、神经网络算法、强化学习算法、低氧燃烧控制等,可实现火电/燃气轮机机组的智能协调控制、智能励磁与调速控制、智能燃烧控制。水电/抽水蓄能机组作为电网的优质调节电源,其智能化控制需强调协同控制、快速启停与并网、工况自适应。采用自适应控制与模糊控制,接入流域水文预测系统,通过动态规划、粒子群优化算法,将转速调节响应时间压缩至秒级,制定标准化的机组停机、开机、励磁、并网全流程自动化规范,通过准同期控制进行并网管控,控制调速器在孤网运行条件下自动切换为频率主控制模式,可实现水轮机调速器智能控制与机组工况智能控制。风电/光伏作为新能源主力电源,其智能化控制需以最大功率点、电网友好并网以及设备损耗抑制为重点。其中风机智能控制需基于数据进行变桨角与发电机转速的预测控制,通过强化学习算法进行基于振动反馈的塔筒共振抑制,设置变桨速率上限优化机械损耗,配合电网一次调频、

调压指令进行变桨控制与变频器调节。光伏电站智能控制则要通过组串级逆变器实现组串级最大功率点跟踪控制,结合光照预测数据提前调整逆变器工作模式实现平滑并网,基于电网调压指令动态调节无功输出,通过分布式控制架构实现光伏阵列的电压分层控制。

## 2.2 输电线路电气自动化智能控制

1. 智能巡检。应用智能化技术进行输电线路智能化巡检,能实现全天候覆盖、标准化检测、高精度识别、长期运维成本降低、运维效率提升、故障秒级响应、隐患提前预警等。搭载可见光相机、红外热成像仪、紫外成像仪、激光雷达等的多旋翼无人机、固定翼无人机、垂直起降固定翼无人机等,可沿线进行巡检,对绝缘子、导线、金具、树障距离等加以检测;杆塔挂载式的覆冰监测装置、微风振动监测仪、绝缘子泄漏电流监测仪、导线温度监测仪等,能实现对电网各项设备与运行参数的实时监测;直升机、机器人、巡线小车等,则能满足不同的自动化巡检需求<sup>[5]</sup>。巡检数据通过4G/5G、NB-IoT、LoRa、光纤复合架空地线、巡检设备本地缓存等方式进行传输,经处理后通过卷积神经网络、点云分析、时序分析等方式,可基于数据分析实现缺陷自动识别、隐患分级预警、巡检路径优化、运维工单自动生成、设备健康状态评估等功能。

2. 故障诊断与定位。应用智能化技术,可实现对电力系统故障的自动诊断与定位。将数据监测与传统阻抗法相结合,能根据故障时的电压电流测量值计算故障回路阻抗,结合线路单位阻抗自动推算故障距离;将监测数据与行波法相结合,能基于故障产生的暂态行波传播的时间与波速计算故障距离,实现高精度故障定位;将监测数据与故障分析法相结合,能根据同步向量测量单元的同步数据,通过故障模型进行精准分析;应用搭载高清可见光相机与红外热成像仪的无人机,可配合电气量定位结果对导线断股、绝缘子击穿等故障进行定位;应用分布式光纤传感器技术,基于布里渊散射/拉曼散射,可对线路温度、应变、振动进行分布式监测并根据异常数据定位故障区间;应用多源数据融合技术,通过卷积神经网络、长期记忆网络、贝叶斯网络等,实现高精度诊断与定位<sup>[6]</sup>。

## 2.3 配电侧电气自动化智能控制

1. 智能调压控制。应用智能化技术进行配电侧智能调压控制,相较于传统有载调压变压器与电容补偿相结合的调压方式而言,具有实时自适应控制、分布式多节点协同、覆盖全节点、满足不同场景、网损优化良好、响应速度达毫秒级等优势。智能调压控制建立在智能电表、馈线终端、配电终端、台区智能融合终端、分布式电源监控终端、同步向量测量单元等设

备之上,通过模型预测控制、下垂控制、强化学习算法、神经网络算法、多目标优化算法等,既可以由配电网主站统一计算全网调压策略并下发至各执行设备,又可以由各区域控制器本地计算调压策略且仅与相邻节点交互数据,还可实现主站优化全局、区域控制器负责本地精细调节。

2. 分布式能源与虚拟电厂管控。应用智能化技术实现分布式能源与虚拟电厂管控,能促进电力系统安全、消纳、经济、弹性等方面管控目标的实现。分布式能源与虚拟电厂管控模式能通过虚拟电厂实现统一聚合与分层协同控制,响应速度达毫秒级,强化源荷储协同以提升消纳率,并能参与辅助服务市场。虚拟电厂的聚合对象包括分布式光伏逆变器、分布式风电变流器、分布式储能系统、电动汽车充电桩、工业可调负荷、智能楼宇系统、固态变压器、动态静止同步补偿器等,通过台区智能融合终端、馈线终端、通信网络等进行有效聚合。智能电表、台区智能融合终端、分布式能源监控终端、同步向量测量单元、环境监测设备等可对分布式能源运行状态、负荷数据、配电网节点电压/电流/功率数据等进行采集,再经由模型预测控制算法、下垂控制算法、深度强化学习算法、多目标优化算法等,自动生成并网控制、负荷调度、电压调节、频率调节、孤岛运行与黑启动等控制指令,指令通过通信层下发至分布式能源本地控制器后驱动设备动作。

## 3 结束语

智能化技术为电力系统电气自动化控制的创新与升级提供了重要动力,并且其已经在发电、输电、配电等核心环节得到广泛应用。未来,随着人工智能、大数据、数字孪生等先进技术在电力系统中的深度协同应用,相关标准逐步完善,安全防护能力逐步增强,电力系统将更加智能、安全与高效。

## 参考文献:

- [1] 陈鹏飞. 电力系统运行中电气自动化技术的应用研究[J]. 电气技术与经济, 2024(05):121-123.
- [2] 吴燕峰. 智能化技术在电气自动化控制系统开发中的运用研究[J]. 设备监理, 2023(02):1-3,8.
- [3] 田振华. 智能化技术在电气工程自动化控制中的应用探讨[J]. 数字通信世界, 2022(11):137-139.
- [4] 刘俊峰. 电气自动化控制系统的应用展望[J]. 电子技术, 2021,50(06):170-171.
- [5] 林燕霞. 电气自动控制工程中智能化技术应用研究[J]. 机械工程与自动化, 2021(02):221-223.
- [6] 马赫欣. 智能化技术在电气工程自动化控制中的应用探析[J]. 电子元器件与信息技术, 2021,05(02):133-134.