

## 智能控制技术在电力工程管理中的应用

吴晶晶

中国华电科工集团有限公司, 北京 100000

**[摘要]**智能控制技术正深度重构电力工程管理的技术范式,通过算法迭代与系统集成推动管理流程向自主决策演进。其在电力系统全环节的应用形成多维赋能体系:发电侧通过预测控制优化机组协同,调度侧依托数字孪生实现源网荷储动态匹配,用电侧借助联邦学习构建柔性负荷调节机制。设备运维领域创新性地融合迁移学习与多源数据特征提取,构建起从状态监测到寿命预测的闭环管理体系;安全管理维度通过UWB定位与对抗生成网络构建主动防御体系,突破传统被动防护局限。这些技术突破不仅实现了管理颗粒度的精细化跃升,更通过“感知-认知-决策”智能链路的贯通,推动电力工程从经验驱动向数据驱动的范式转型,为新型电力系统构建提供兼具理论深度与实践价值的框架体系。

**[关键词]**智能控制技术; 电力工程; 工程管理; 技术应用

DOI: 10.33142/aem.v7i4.16363

中图分类号: TM76

文献标识码: A

## Application of Intelligent Control Technology in Power Engineering Management

WU Jingjing

China Huadian Engineering Co., Ltd., Beijing, 100000, China

**Abstract:** Intelligent control technology is deeply reconstructing the technical paradigm of power engineering management, promoting the evolution of management processes towards autonomous decision-making through algorithm iteration and system integration. Its application in the entire power system forms a multidimensional empowerment system: the generation side optimizes unit coordination through predictive control, the dispatch side relies on digital twins to achieve dynamic matching of source grid load storage, and the power consumption side uses federated learning to construct a flexible load regulation mechanism. Innovatively integrating transfer learning and multi-source data feature extraction in the field of equipment operation and maintenance, constructing a closed-loop management system from state monitoring to life prediction; The security management dimension constructs an active defense system through UWB positioning and adversarial generation network, breaking through the limitations of traditional passive protection. These technological breakthroughs not only achieve a refined leap in management granularity, but also promote the paradigm shift of power engineering from experience driven to data-driven through the integration of the "perception-cognition-decision" intelligent link, providing a framework system that combines theoretical depth and practical value for the construction of new power systems.

**Keywords:** intelligent control technology; electric power engineering; engineering management; technical application

### 引言

在新型电力系统建设与能源结构深度转型的背景下,电力工程管理正经历着从刚性管控向柔性治理的范式重构。面对高比例新能源接入引发的电网拓扑动态演化、源荷双侧强不确定性叠加的复杂工况,传统基于经验决策的管理模式已难以满足实时态势感知与精准调控需求。智能控制技术通过构建“感知-认知-决策”的闭环赋能体系,在发电侧实现风光储多能互补的动态优化,基于模型预测控制技术精准协调燃煤机组调峰深度与新能源出力波动;在调度侧依托数字孪生平台构建源网荷储全要素镜像系统,运用深度强化学习算法推演多时间尺度下的最优运行策略;在用电侧通过联邦学习框架实现海量用户负荷特征的隐私计算,形成需求响应的分布式协同机制。这种技术体系革新不仅突破了传统电力系统刚性边界的约束,更通过自组织、自适应的智能体网络架构,为高弹性电网建设注入动态博弈决策能力,推动能源管理体系从“人工干预

型”向“算法驱动型”跃升,为构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系奠定技术基石。

### 1 智能技术的应用优势

#### 1.1 发电智能化

在发电环节的智能化转型中,智能控制技术通过多维技术融合推动能源生产模式革新。基于模糊逻辑算法与深度神经网络构建的协同优化模型,实现对燃煤机组燃烧效率的实时动态调节,在提升热能转化效率的同时建立硫氧化物、氮氧化物的闭环控制机制。新能源领域通过模型预测控制重构风电机组偏航系统,结合气象大数据进行叶片攻角自适应调整,显著提升低风速环境下的发电效能。数字孪生技术的深度应用形成发电设备全生命周期管理体系,通过高精度仿真平台同步映射锅炉管壁热应力分布与汽轮机轴系振动频谱特征,构建起涵盖设备退化预警、故障根因分析、维修策略优化的智能决策链<sup>[1]</sup>。这些技术创新不仅强化了传统能源的清洁化生产能力,更为风光储协

同控制提供了跨时空尺度的算法框架,推动电力生产向柔性化、低碳化方向演进。

### 1.2 调度智能化

在电力调度智能化转型中,多技术融合重构了能源资源配置范式。深度强化学习算法构建的源网荷储协同优化模型,通过实时校准负荷预测误差实现跨区域电力时空转移的动态匹配。区块链技术支撑的去中心化调度架构,在确保数据隐私安全基础上,将分布式光伏、电动汽车等柔性负荷转化为可调节的虚拟储能单元。量子计算技术的突破性应用,攻克了大规模电网拓扑分析的算力瓶颈,使得复杂网络状态推演具备实时决策能力。这些技术协同形成了“预测-优化-控制”闭环体系,既增强了新能源高渗透场景下的电网韧性,又为极端气候条件下的应急调度提供了多维解决方案,推动电力系统由集中式管控向分布式智能演进。

### 1.3 用电智能化

在用电智能化转型进程中,多技术融合正重构需求侧资源管理范式。基于电力物联网的非侵入式感知网络,通过边缘计算节点实现用电负荷的细粒度解析与行为特征提取,构建数字孪生驱动的用户能效画像体系。联邦学习框架支撑的协同优化系统,在保障数据主权前提下建立跨主体的负荷聚类分析模型,形成兼顾电价弹性与生产约束的柔性调节策略。智能终端设备集成环境感知与设备控制功能,通过自适应算法实现空调、照明等负荷的跨场景协同优化,形成建筑级能效自主优化能力。这些创新推动用户侧从单一能源消费者向“产-储-调”一体化产消者转变,为虚拟电厂聚合与电力市场互动提供技术底座,重塑了供需双侧协同共生的能源生态。

## 2 电力工程管理中的主要问题与挑战

在新型电力系统加速构建的进程中,电力工程管理面临多维度的系统性挑战。设备状态精准评估领域,现有监测技术难以实现变压器绕组热点温度与机械形变的动态关联分析,油中溶解气体与局部放电信号的跨尺度特征融合存在算法瓶颈,导致设备健康状态研判存在时间窗口滞后。多源异构数据治理层面,调度自动化系统、设备在线监测、气象环境感知等异构平台产生的结构化与非结构化数据,因接口标准差异与语义解析障碍难以形成统一知识图谱,制约了设备全寿命周期管理的数字化进程。复杂电网特性分析方面,特高压交直流混联系统中的电磁-机电暂态耦合效应、新能源高渗透引发的宽频振荡现象,对传统仿真模型的精度与算力提出严峻考验。新能源场站集群控制领域,分布式光伏逆变器与储能变流器的异构通信协议导致控制指令传输时延离散化,功率调节的动态一致性难以保障,存在区域电压失稳风险<sup>[2]</sup>。安全风险防控体系中,输电通道山火预警受植被类型多样性与气象突变因素干扰,多光谱遥感数据与地面传感器信息融合不足,造成

预警虚警率偏高;变电站智能巡检机器人面临强电磁干扰环境下的定位漂移问题,以及复杂设备构架中的视觉识别盲区,制约了自主巡检效能。这些技术瓶颈与新型电力系统建设需求形成结构性矛盾,亟待通过跨学科技术融合与管理模式创新实现突破。

## 3 智能控制技术在电力工程中的应用

### 3.1 电力系统自动化中的智能控制技术应用

在电力系统自动化深度演进过程中,智能控制技术正构建起多层级协同控制体系。基于李雅普诺夫稳定性理论设计的自适应励磁控制器,通过在线辨识机组功角特性曲线与阻尼系数,建立参数自修正机制,实现对电力系统低频振荡模态的主动抑制。配电网重构领域,融合禁忌搜索策略的改进型粒子群算法,构建了含分布式电源接入的馈线拓扑动态优化模型,通过多目标寻优破解负荷均衡与网损降低的协同难题。数字孪生平台通过多模态数据融合技术,将 SCADA 量测信息、PMU 动态数据与设备台账参数进行时空对齐,构建电网运行状态的超实时仿真环境,在此基础上继电保护装置虚拟校核系统,可模拟复杂故障序列下保护逻辑的响应轨迹,实现定值整定误差的毫秒级修正。这些技术突破不仅重构了电网稳定控制范式,更通过“感知-决策-执行”闭环体系的智能化升级,为新型电力系统应对高比例新能源波动提供了坚实的技术保障。

### 3.2 智能化调度与监控系统在电力工程中的应用

在新型电力系统智能化调度与监控体系建设中,多技术融合正推动能源管理范式发生根本性变革。智能调度系统通过构建多时间尺度嵌套优化框架,将混合整数规划算法与随机优化理论相结合,形成涵盖日前计划、滚动修正、实时调整的三级决策体系。该体系在考虑机组启停成本与碳排放限额约束的同时,引入风电功率预测误差的置信区间建模技术,实现火电机组爬坡速率的动态自适应调节,有效平衡新能源波动性与系统调节能力之间的矛盾。调度架构创新层面,云边协同计算平台将区域级优化任务分解至边缘节点,通过分布式共识算法确保跨控制区指令的时空一致性,显著提升大规模新能源基地的消纳效率。在电网监控领域,多模态数据融合技术突破传统监测系统的信息孤岛壁垒,构建了包含 SCADA 稳态量测、PMU 动态相量、设备状态监测数据的全息感知网络,通过时空配准算法消除异构数据采集时标偏差,形成电网运行状态的毫米级刷新数字镜像。基于知识图谱的智能诊断系统通过本体建模技术构建设备故障逻辑树,结合时序推理引擎实现保护动作信号、设备告警信息与环境扰动因素的多维关联分析,其自学习机制可不断吸收历史缺陷案例优化诊断规则库,形成故障定位精度持续进化的闭环体系<sup>[3]</sup>。这些技术创新不仅重构了电网调度监控的技术架构,更通过“物理-信息-决策”系统的深度耦合,为高弹性电网建设提供了核心支撑能力。

### 3.3 智能控制在电力设备运维中的应用

在电力设备智能化运维体系构建中,智能控制技术正推动传统检修模式向全生命周期健康管理转型。针对变压器绝缘状态评估难题,基于迁移学习的多源数据融合框架通过域适应算法建立实验室加速老化数据与现场运行工况的关联映射模型,结合油色谱特征气体浓度时序变化与局部放电脉冲图谱的联合解析,构建聚合度衰退轨迹预测体系,实现绝缘纸热老化程度的在线诊断与剩余寿命动态评估。断路器机械特性监测领域,小波包分解与样本熵联合特征提取技术突破传统振动信号分析的频域局限,通过时频域突变特征捕捉与支持向量数据描述算法,构建操动机构健康状态基线模型,可提前识别缓冲器卡涩、分闸弹簧疲劳等潜伏性缺陷。无人机智能巡检系统通过引入注意力机制改进 YOLOv5 网络架构,强化复杂背景下的金具缺陷特征提取能力,同步融合激光点云数据与可见光影像的多模态识别算法,实现输电线路螺栓松动、绝缘子破损等隐患的三维立体检测。这些技术创新构建起“数据感知-特征挖掘-状态研判-决策优化”的闭环运维体系,为电力设备从计划检修向预测性维护转型提供技术支撑。

### 3.4 智能控制在电力工程安全管理中的应用

在电力工程安全管理智能化演进过程中,智能控制技术通过多维感知融合与主动防御机制构建起立体化安全屏障。基于超宽带定位与视觉 SLAM 技术集成的空间感知系统,通过多源异构传感器数据时空配准,实现复杂施工场景下人员三维坐标的厘米级动态追踪,结合带电设备电子围栏的自适应生成算法,形成分级预警阈值与智能疏散路径规划能力。智能安全装备领域,集成毫米波雷达、惯性导航单元与边缘计算芯片的下一代安全防护体系,通过多模态传感器数据融合分析,实时监测高处作业人员重心偏移轨迹预测坠落风险,同步利用图像语义分割技术识别脚手架搭设缺陷与临边防护缺失等结构性隐患。网络安全防御层面,数字孪生驱动的攻防演练平台通过对抗生成网络模拟新型 APT 攻击特征,结合图神经网络构建异常流量传播路径溯源模型,形成覆盖电力监控系统协议漏洞、数据篡改行为、异常访问模式的深度防御体系。物理安全与网络安全防护技术的深度融合,推动安全管理从离散化被动响应向系统化风险预见转型,通过“物联感知-智能研判-自主决策”的闭环控制链条,为新型电力系统建设构筑全维度、全周期的安全保障生态。

### 3.5 智能控制技术对电力工程项目管理效率的提升

在电力工程项目管理智能化转型进程中,智能控制技术正重构传统管理模式的技术底座与运行逻辑。基于 BIM 平台构建的数字化孪生体系,通过多专业协同建模实现变

电站三维模型与施工进度计划的动态耦合,依托改进型关键路径算法实时解析工序逻辑关系,自动生成资源冲突预警与施工方案优化建议,形成“设计-施工-验收”全链条的智能推演能力。资源调度领域引入深度强化学习驱动的蒙特卡洛模拟框架,构建考虑天气突变、设备到货延迟等多维不确定因素的动态决策模型,通过多目标优化算法平衡人力、机械与材料的时空匹配关系。物资全生命周期管理通过 RFID 电子标签与区块链智能合约的融合应用,在设备出厂时即植入不可篡改的溯源芯片,实现从原材料采购、生产质检到安装调试、退役回收的全过程数据上链存证,构建起供应链透明化追溯体系<sup>[4]</sup>。智能合同管理系统采用知识图谱与语义理解技术,建立电力工程专业术语本体库,通过双向注意力机制提取技术协议中的责任边界、验收标准等核心要素,自动生成风险条款核查清单与履约进度甘特图。这些技术创新推动项目管理从经验驱动向数据驱动转型,形成“数字孪生推演-智能算法决策-区块链存证追溯”的新型治理范式,为新型电力系统基础设施建设注入智能化基因。

## 4 结语

智能控制技术正在重塑电力工程管理的底层逻辑与技术生态,通过重构感知-决策-控制的技术链条,推动能源系统向自适应、自愈性方向演进。其在设备全生命周期管理、源网荷储协同优化、安全防御体系构建等维度的深度渗透,不仅实现了工程管理模式的范式跃迁,更催化出新型电力系统的柔性调节能力与抗扰动韧性。随着量子感知、神经形态计算等颠覆性技术的突破,智能控制体系将突破传统控制理论框架,在虚拟电厂集群控制、碳能耦合系统优化等前沿领域形成更具解释性的决策模型,为构建零碳能源互联网提供核心算法支撑。这种技术变革既是中国能源体系实现高质量发展的必由之路,也是全球能源转型背景下提升产业国际竞争力的战略支点。

### [参考文献]

- [1]李有强.智能控制在电力工程管理中的应用[J].集成电路应用,2024,41(6):348-349.
- [2]袁岳,彭浩鸣.基于智能控制技术的电力工业工程建设研究[J].自动化应用,2024,65(2):7-9.
- [3]王申树.电力调度中的智能控制技术分析[J].集成电路应用,2024,41(10):262-263.
- [4]徐永顺.智能技术在电力系统自动化中的应用[J].中国电力企业管理,2024(21):95.

作者简介:吴晶晶(1993.10—),女,毕业院校:伯明翰大学,所学专业:管理学,当前就职单位:中国华电科工集团有限公司,职务:采购工程师,职称级别:中级。