

# 电气自动化现状及其与人工智能融合的展望

侯越

国电电力内蒙古新能源开发有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17528

**[摘要]** 本文聚焦电气自动化与人工智能在风电和光伏领域的融合,阐述了电气自动化理论基础、人工智能关键技术及二者融合逻辑。分析电气自动化在风电和光伏领域的发展现状,包括技术阶段、应用领域与现存瓶颈。探讨了融合的技术基础、作用机制与优势。最后展望融合的技术演进方向,如边缘智能深化等,以及应用场景拓展,涵盖智能风电场运维、光伏发电精准预测等六大领域,凸显二者融合对构建新能源产业生态的重要意义。

**[关键词]** 电气自动化; 人工智能; 融合的展望

**中图分类号:** TM76 **文献标识码:** A

## Current Status of Electrical Automation and Prospects for Its Integration with Artificial Intelligence

Yue Hou

State Power Investment Corporation Inner Mongolia New Energy Development Co., Ltd.

**[Abstract]** This paper focuses on the integration of electrical automation and artificial intelligence in the fields of wind power and photovoltaics. It elaborates on the theoretical foundations of electrical automation, key artificial intelligence technologies, and the logic behind their integration. The current development status of electrical automation in wind power and photovoltaics is analyzed, including technological stages, application areas, and existing bottlenecks. The technical basis, mechanisms, and advantages of their integration are explored. Finally, the paper looks ahead to the direction of technological evolution in this integration, such as the deepening of edge intelligence, and the expansion of application scenarios, covering six major areas including intelligent wind farm operation and maintenance and precise prediction of photovoltaic power generation. This highlights the significant importance of the integration of electrical automation and artificial intelligence for building a new energy industry ecosystem.

**[Key words]** Electrical automation; Artificial intelligence; Prospects for integration

### 1 电气自动化的理论基础与概念界定

#### 1.1 电气自动化的核心内涵

电气自动化是工业文明的核心驱动力,其本质是通过电力电子技术、自动控制理论、传感器与执行器等技术的深度融合,实现工业生产、能源管理、交通系统等领域的智能化控制。其核心目标在于减少人工干预,提升系统运行的效率、安全性与可靠性。从技术构成看,电气自动化涵盖三大维度:一是硬件基础,包括电力电子器件、电机驱动装置、工业机器人等物理设备;二是软件支撑,涉及可编程逻辑控制器(PLC)、分布式控制系统(DCS)等工业软件;三是通信网络,依托现场总线、工业以太网、物联网等技术实现设备互联与数据交互。以汽车制造为例,电气自动化技术贯穿冲压、焊接、涂装、总装四大工艺环节<sup>[1]</sup>。在焊接车间,工业机器人通过PLC编程实现高精度轨迹控

制,配合视觉传感器完成焊缝定位,焊接合格率从传统人工操作的85%提升至99.2%;在总装线,AGV小车通过激光导航实现零部件精准配送,生产节拍从每分钟1.2辆缩短至0.8辆,产能提升33%。这种从单机自动化到全流程智能化的演进,正是电气自动化核心内涵的生动体现。

#### 1.2 人工智能的关键技术范畴

人工智能作为数字时代的战略技术,其技术体系包含七大支柱:机器学习通过数据驱动实现模式识别与预测,在电气故障诊断中准确率达92%;知识图谱构建实体关系网络,为设备运维提供知识推理支持;自然语言处理实现人机语音交互,使操作指令下达效率提升5倍;计算机视觉赋予系统“视觉感知”能力,在产品质量检测中识别精度达0.01mm;生物特征识别通过指纹、人脸等生物特征实现安全认证,误识率低于0.0001%;虚拟现实

(VR)与增强现实(AR)技术创建沉浸式操作环境,降低培训成本60%;以深度学习为例,其在电气自动化中的应用已形成完整技术链:数据采集层通过传感器网络获取设备运行数据;特征提取层利用卷积神经网络(CNN)自动识别振动、温度等异常特征;决策层采用强化学习算法优化控制策略,实现设备能耗降低15%。这种技术闭环使系统具备自主学习能力,能够适应复杂多变的工业环境。

### 1.3 二者融合的理论逻辑

电气自动化与人工智能的融合遵循“感知-认知-决策-执行”的逻辑链条。传感器网络作为感知层,实时采集设备状态、环境参数等多元数据;大数据平台作为认知层,通过数据清洗、特征工程等手段挖掘数据价值;人工智能算法作为决策层,基于机器学习模型生成优化控制指令;执行机构作为行动层,通过电机驱动、阀门调节等方式实现物理世界干预。这种融合突破传统自动化系统的固定逻辑限制,赋予系统自适应、自优化能力。以智能电网为例,传统调度系统依赖人工经验制定发电计划,响应速度慢且难以应对新能源波动。引入人工智能后,系统通过LSTM神经网络预测光伏发电功率,准确率达94%;采用多智能体强化学习算法协调火电、水电、储能等多源发电单元,实现发电计划动态调整,新能源消纳率提升18%。这种融合使电网从“被动响应”转向“主动适应”,显著提升能源利用效率。

## 2 电气自动化发展现状分析

### 2.1 技术发展阶段与核心成果

电气自动化技术演进经历三个阶段:继电器控制时代(1950-1970年代)以电磁继电器为核心,实现简单逻辑控制;计算机辅助控制时代(1980-2000年代)引入PLC、DCS等技术,实现分布式控制与数据采集;智能控制时代(2010年至今)融合物联网、人工智能等技术,构建工业互联网平台。当前技术成果呈现三大特征:硬件层面:电力电子器件向高功率密度、高频化发展,碳化硅(SiC)器件损耗降低70%;工业机器人负载能力突破3吨,重复定位精度达 $\pm 0.02\text{mm}$ ;伺服系统响应速度提升至1ms以内,满足高速精密加工需求。软件层面:IEC61131-3标准推动PLC编程语言统一,Codesys平台支持六种编程语言混合开发;OPCUA协议实现跨厂商设备数据互通,打破信息孤岛;数字孪生技术构建虚拟工厂模型,缩短产品开发周期40%。网络层面:5G+TSN(时间敏感网络)实现工业数据低时延( $<10\text{ms}$ )传输;边缘计算节点部署在生产现场,数据处理时延降低至5ms以内;工业互联网平台连接设备超1.2亿台,形成全球最大工业数据资源池<sup>[2]</sup>。

### 2.2 典型应用领域现状

电气自动化技术已深度应用于风电和光伏领域,形成两大核心应用集群:(1)风电领域:海上风电发展迅速,我国海上风电装机容量突破3000万千瓦,单机容量10MW以上机组占比超过30%;陆上风电向大型化、智能化方向发展,低风速地区风电开发技术不断成熟,风电场平均利用小时数稳步提升。风电场自动化监控系统普及率达95%以上,实现对风力发电机组的远程监控、故障诊断和功率控制;风电功率预测系统准确率不断提高,

短期预测误差控制在10%以内。(2)光伏领域:集中式光伏电站规模不断扩大,西北地区大型光伏基地装机容量超千万千瓦;分布式光伏发展迅猛,工商业分布式光伏和户用光伏装机容量快速增长。光伏电站自动化监控系统实现对光伏组件、逆变器等设备的实时监测和故障报警;光伏功率预测系统准确率达85%以上,为电网调度提供可靠依据;智能光伏清扫机器人应用逐渐增多,提高光伏组件发电效率。

### 2.3 现存瓶颈与发展局限

尽管取得显著进展,电气自动化发展仍面临三大挑战:一是技术层面:异构设备互联互通标准不统一,导致系统集成成本增加30%;工业数据安全防护体系不完善,2024年工业控制系统漏洞数量同比增长45%;人工智能模型可解释性不足,故障诊断结果可信度受质疑。二是产业层面:核心零部件依赖进口,高端传感器国产化率不足20%;中小企业数字化转型成本高,平均投入回收期超过3年;行业人才缺口达200万,复合型人才占比不足15%。三是应用层面:柔性生产需求难以满足,传统自动化线改造成本超千万元;能源管理精细化程度不足,工业用电峰谷差达40%;智能家居场景联动性差,设备协同响应时间超5秒。

## 3 人工智能与电气自动化融合的技术基础与作用机制

### 3.1 融合的核心技术载体

二者的融合依托四大技术载体:智能传感器:集成温度、压力、振动等多参数测量功能,采用MEMS(微机电系统)技术实现微型化,尺寸缩小至毫米级;内置边缘计算芯片,可本地完成数据预处理,减少云端传输量80%。工业AI芯片:针对电气自动化场景开发专用芯片,如寒武纪思元270芯片支持INT8量化计算,能效比达4TOPS/W;华为昇腾910芯片采用3D堆叠技术,算力密度提升3倍,满足实时控制需求。工业互联网平台:构建“云-边-端”协同架构,阿里云工业互联网平台连接设备超8000万台,支持200+工业协议解析;腾讯WeMake平台提供低代码开发工具,应用开发周期缩短60%。数字孪生系统:通过CAD/CAE/CAM技术构建虚拟模型,西门子MindSphere平台实现产品全生命周期模拟,设计验证时间从周级缩短至天级;达索3DEXPERIENCE平台支持多物理场耦合仿真,预测精度达95%。

### 3.2 融合的关键作用机制

融合通过三大机制实现价值创造:数据驱动机制:传感器网络实时采集设备运行数据,经边缘计算节点清洗后上传至云端;大数据平台采用流处理技术实现毫秒级响应,如ApacheFlink处理速度达百万条/秒;机器学习模型基于历史数据训练,生成优化控制策略<sup>[3]</sup>。知识赋能机制:知识图谱构建设备故障库,包含10万+故障案例与解决方案;专家系统集成行业经验,实现故障诊断自动化;自然语言处理技术将维修手册转化为结构化知识,查询效率提升10倍。协同优化机制:多智能体系统协调多个控制单元,如在智能电网中协调火电、水电、储能发电计划;强化学习算法动态调整控制参数,如在空调系统中根据环境变化优化制冷量,能耗降低15%。

### 3. 3融合的技术优势体现

融合带来四大优势: 第一、效率提升: 在汽车焊接车间, 融合视觉引导的机器人焊接速度达12米/分钟, 较传统方式提升40%; 在电力调度中, AI算法优化发电计划使新能源消纳率提升18%。第二、成本降低: 预测性维护使设备故障停机时间减少60%, 维修成本降低35%; 智能排产系统优化生产顺序, 使在制品库存降低25%。第三、质量改善: 计算机视觉检测系统识别精度达0.01mm, 产品合格率从98%提升至99.9%; AI质量追溯系统实现全流程数据可查, 质量追溯时间从小时级缩短至分钟级。第四、安全增强: 生物特征识别门禁系统误识率低于0.0001%, 防止非法进入; AI安全监控系统实时识别异常行为, 响应时间缩短至3秒, 事故发生率降低70%。

## 4 人工智能与电气自动化融合的展望

### 4.1 技术演进方向

未来融合将呈现四大趋势: 边缘智能深化: 边缘节点算力持续提升, 英伟达Jetson AGX Orin芯片算力达275TOPS, 支持本地AI推理; 5G+MEC(移动边缘计算)实现低时延控制, 时延低于5ms; 轻量化模型部署技术成熟, 模型大小压缩至原来的1/10。数字孪生普及: 构建全要素数字孪生体, 集成几何、物理、行为、规则模型; 支持实时双向映射, 虚拟模型与物理实体状态同步误差小于1%; 在产品研发、生产、运维全流程应用, 开发周期缩短50%。自主系统兴起: 基于强化学习的自主控制技术成熟, 系统可根据环境变化自动调整策略; 多智能体协同技术突破, 实现万台设备自主协作; 自主运维系统具备故障自诊断、自修复能力, 运维成本降低80%。量子计算应用: 量子机器学习算法加速模型训练, 处理速度提升1000倍; 量子传感器实现更高精度测量, 分辨率达皮米级; 量子通信保障工业数据安全, 实现无条件安全传输<sup>[4]</sup>。

### 4.2 应用场景拓展

融合将开拓六大新场景: (1) 智能风电场运维, 构建模块化运维单元, 通过AI算法动态调整运维策略, 支持不同机型、不同环境的风电场运维; 实现7天内的精准运维计划制定, 运维成本降低80%; 在海上风电场实现远程自主运维, 减少人员出海次数。(2) 光伏发电精准预测, 构建多源数据融合的预测模型, 集成气象卫星数据、地面气象站数据、光伏电站历史发电数据等; 实现小时级到年级的精准预测, 预测误差控制在5%以内; 为电网调

度提供更可靠的依据, 提高光伏发电的消纳能力。(3) 新能源微电网协同控制, 构建源网荷储协同互动体系, 通过AI算法优化能源配置; 虚拟电厂聚合分布式风电、光伏、储能等资源, 参与电力市场交易; 在工业园区实现能源自给率超70%, 碳排放降低50%。(4) 智慧农业光伏, 农业光伏大棚实现光伏发电与农业种植的有机结合, 通过AI算法优化光照、温度、湿度等环境参数; 农业机器人实现精准播种、施肥、采摘, 劳动力需求减少70%-80%; 农产品质量追溯系统实现全流程监控, 品牌溢价提升20%-30%。(5) 新能源交通, 电动汽车与风电、光伏发电实现智能互动, 通过AI算法优化充电策略; 车网协同系统实现车辆与电网的双向能量流动, 提高能源利用效率; 无人机物流网络利用新能源供电, 覆盖偏远地区, 配送成本降低60%-70%。(6) 空间新能源探索, 月球基地采用自主运维系统, 实现能源、生命保障等系统自主管理; 火星探测器通过AI算法自主规划路径, 利用太阳能实现长期运行, 探测效率提升2-3倍; 太空制造系统利用微重力环境生产高端光伏材料, 成本降低50%-60%。

## 5 结束语

电气自动化与人工智能在风电和光伏领域的融合已成为不可阻挡的时代潮流。从技术演进到应用场景拓展, 二者正携手开创一个充满无限可能的智能新能源世界。尽管当前融合过程中仍面临技术、产业和应用层面的诸多挑战, 但随着边缘智能、数字孪生等技术的不断突破, 以及智能风电场运维、光伏发电精准预测等新场景的持续开拓, 融合的深度和广度必将不断拓展。相信这一融合将为人类社会带来更高效、绿色、智能的新能源发展模式, 开启新能源文明的新篇章。

### [参考文献]

- [1]张雅婕, 杨洁. 电气自动化控制中人工智能技术的运用[J]. 消费电子, 2025(1):40-42.
- [2]李红益. 人工智能技术在电气自动化控制中的应用[J]. 软件, 2025, 46(3):85-87.
- [3]李慧琪, 何军, 郭欣然, 等. 浅谈我国电气自动化的现状及发展前景[J]. 数字通信世界, 2023(8):166-168.
- [4]梁远茂. 人工智能技术及应用: 以电气自动化中的应用为例[J]. 广西物理, 2023, 44(1):74-76.