

电气工程自动化控制现状及智能化技术的有效应用分析

牛柏林

西宁特殊钢股份有限公司 青海西宁市 810005

摘 要: 随着物联网、大数据与人工智能技术深度融合, 电气工程自动化控制领域正经历系统性变革。本文从理论视角剖析其发展现状, 指出核心技术对外依赖、系统集成不足、信息安全薄弱等问题。重点探讨人工智能、物联网、大数据、区块链等智能化技术在相关场景的应用机理, 结合案例验证有效性。研究表明智能化技术可显著优化系统性能, 最后提出核心技术研发、标准体系构建等对策, 为智能化转型提供理论支撑。

关键词: 电气工程; 自动化控制; 智能化技术; 智能电网

1. 引言

电气工程自动化控制是现代工业核心支撑技术, 其水平直接影响能源效率、生产效能及基础设施安全。伴随信息技术革新, 其已从传统控制演进至当前智能化协同控制阶段。在“双碳”与工业 4.0 战略驱动下, 电力系统对灵活性等要求提升, 传统技术因自适应不足等短板难以适配复杂需求。智能化技术为其突破提供新路径, 人工智能等与电气工程融合推动控制模式从“被动响应”转向“主动预测”“智能决策”。在此背景下, 梳理自动化控制现状、分析智能化技术应用机理与价值, 对突破技术瓶颈、推动行业高质量发展具有重要意义。

2. 电气工程自动化控制发展现状分析

2.1 技术应用广度逐步拓展

经过数十年发展, 电气工程自动化控制技术已渗透至能源、制造、交通、建筑等多个领域。在电力系统领域, 自动化控制技术实现了从发电、输电、配电到用电全链条的覆盖, 常规火电厂的自动化率已达 95% 以上, 变电站无人值守模式成为主流; 在工业制造领域, 自动化生产线通过 PLC 与 SCADA (数据采集与监视控制系统) 的协同, 实现了生产流程的精准控制, 汽车、电子等行业的生产线自动化率超过 80%; 在轨道交通领域, 牵引供电系统、信号控制系统的自动化实现了列车运行的安全调度与能效优化。同时, 自动化控制技术与新能源产业的融合不断深化。为应对风电、光伏等分布式能源的间歇性、波动性挑战, 自动化控制技术通过实时数据采集与动态调节, 实现了分布式能源与大电网的协同运行。如张家口风电基地通过自动化控制与智能化调

度的结合, 弃风率从 15.6% 降至 5.3%, 显著提升了新能源消纳能力。

2.2 技术发展呈现阶段化特征

当前我国电气工程自动化控制技术发展呈现“高端突破、中低端普及”的阶段化特征。在中低端领域, PLC、变频器等基础自动化设备已实现国产化替代, 市场占有率超过 60%, 有效降低了中小企业的应用成本; 在高端领域, 特高压输电、智能电网等重大工程推动了核心技术的突破, 国家电网研发的特高压换流站自动化控制系统, 实现了 $\pm 1100\text{kV}$ 电压等级的稳定控制, 技术水平达到国际领先。但需注意的是, 高端核心技术仍存在短板。高性能 PLC、高端工业软件、先进传感器等关键设备仍大量依赖进口, 如在高端 PLC 市场, 西门子、罗克韦尔等外资品牌的市场占有率超过 70%; 在工业控制软件领域, 我国自主研发的软件在兼容性、稳定性等方面与国际先进水平存在差距, 制约了自动化控制系统的整体效能提升^[1]。

2.3 现存核心问题亟待解决

尽管电气工程自动化控制技术取得了显著进展, 但在技术研发、系统集成、安全保障等方面仍存在突出问题。其一, 核心技术自主化程度不足。如前文所述, 高端控制器、工业软件等关键领域对外依赖度较高, 缺乏自主可控的技术体系, 这不仅增加了产业发展的风险, 也限制了技术创新的深度; 其二, 系统集成能力薄弱。不同厂商的设备采用差异化协议, 导致跨平台、异构系统之间存在“信息孤岛”, 如某大型制造企业的生产线中, 设备来自 5 家不同厂商, 数据交互需通过定制化接口实现, 增加了系统维护成本; 其三,

信息安全风险凸显。随着自动化控制系统与互联网的连接日益紧密,黑客攻击、数据泄露等风险显著提升,2023年我国工业控制系统安全事件同比增长23%,其中电力行业占比达35%;其四,能源效率优化不足。在部分传统工业领域,自动化控制系统仍采用粗放式控制策略,设备能耗较高,如钢铁行业的电弧炉供电系统,传统控制模式下的能源利用率比智能化控制低15%–20%^[2]。

3. 电气工程自动化控制中智能化技术的核心应用机理

3.1 人工智能技术:实现控制决策的智能化升级

人工智能技术通过模拟人类智能的学习、推理与决策过程,为电气工程自动化控制提供了自适应、自优化的核心能力,其应用主要集中在负荷预测、故障诊断与自主控制三个维度。在负荷预测方面,深度学习算法通过挖掘历史数据与多维度影响因素的关联,显著提升预测精度。广东省电网公司研发的DLCF系统,集成LSTM(长短期记忆网络)与注意力机制,分析近5年历史负荷数据及14类气象参数,实现96小时预测误差稳定在2.1%以内,为电网调度提供了精准依据。在故障诊断领域,人工智能算法突破了传统基于阈值的诊断模式,实现了故障的早期预警与精准定位。南方电网在深圳试点的“慧眼”诊断平台,融合红外热像、局部放电超声波等多模态数据,构建CNN(卷积神经网络)与SVM(支持向量机)的混合模型,对变压器、开关柜等关键设备的故障识别准确率达92%以上,较传统方法提升30%;上海电气构建的“智维”专家系统,整合近20年故障案例库,利用知识图谱实现故障模式的多维度关联分析,在安徽某电厂应用中,10分钟内诊断出汽轮机振动异常根源,较人工效率提升8倍。

在自主控制方面,强化学习算法通过与环境的实时交互优化控制策略,适用于复杂动态系统。清华大学团队在雄安新区综合能源站应用深度强化学习算法,优化冷-热-电协同控制,使系统综合能效达82.4%,较传统PID控制策略提升28%,充分体现了人工智能技术在控制优化中的优势。

3.2 物联网技术:构建全链路数据感知体系

物联网技术通过“感知层-网络层-应用层”的架构,实现电气设备的互联互通与数据实时采集,为自动化控制的精准化提供数据支撑。感知层通过智能传感器、RFID等设备,采集电压、电流、温度、振动等关键参数,如平高电气的GIS设备数字孪生系统集成3000+传感器,实现设备运

行状态的全方位监测;网络层通过5G、工业以太网等技术,实现数据的低延迟传输,许继集团研发的智能边缘终端采用5G通信,数据延迟控制在50ms以内,满足实时性控制需求;应用层通过数据整合分析,实现远程监控、智能调度等功能。

在智能电网领域,物联网技术的应用实现了电网的全景感知与协同控制。国家电网“灵枢”工程构建的数字孪生体,通过5G+边缘计算实现毫秒级数据同步,为电网拓扑优化、故障隔离提供实时支撑;南方电网在深圳试点的物联网监控系统,实现变电站、输电线路、用电设备的全链路数据互联,使设备故障率下降18%,运维成本降低22%。

在工业领域,物联网技术推动自动化生产线向“数字孪生工厂”转型,中国宝钢集团的智能制造车间通过物联网实现设备互联,生产数据实时传输至控制中心,使生产效率提升12%,生产成本降低8%。

3.3 大数据技术:挖掘数据价值赋能决策优化

电气工程自动化系统运行过程中产生的海量数据,经大数据技术的清洗、挖掘与分析,可转化为控制优化的决策依据,其应用集中在能效优化、运维管理等场景。在能效优化方面,大数据分析通过识别能耗瓶颈实现精准调控,华能集团电厂通过分析机组运行数据,找出影响能效的关键参数,优化后电厂能效提高8%,年节约能源成本超5000万元;在建筑电气领域,大数据技术分析用户用电行为与环境参数,动态调节空调、照明系统,使建筑能耗降低15%–20%。

在运维管理方面,大数据技术通过趋势分析实现预测性维护,替代传统定期维护模式。平高电气的GIS设备数字孪生系统,通过分析传感器采集的海量数据,构建设备健康指数(EHI),在郑州某220kV变电站应用中,提前48小时预警隔离开关机械卡涩故障,使检修效率提升40%,维护成本降低35%;国电南瑞的风机运维系统,分析风机运行数据与环境数据,预测叶片、齿轮箱等部件的寿命,使非计划停机时间减少25%。

3.4 区块链技术:保障能源交易与数据安全

区块链技术的去中心化、不可篡改特性,为电气工程自动化控制中的能源交易与数据安全提供了创新解决方案。在能源交易领域,区块链通过智能合约实现分布式能源的点对点交易,打破传统集中式交易模式。国网浙江电力开发的“电易链”交易平台,采用智能合约技术实现光伏、风电等

分布式能源的实时竞价, 2023 年数据显示, 该平台使光伏消纳率提升至 98.5%, 交易结算时间从小时级压缩至 90 秒, 显著提升了交易效率与能源利用率。

在数据安全领域, 区块链通过分布式账本实现数据的可信存储与追溯, 解决自动化控制系统的数据篡改风险。某省级电力公司将电网运行关键数据上传至区块链平台, 实现数据生成、传输、存储全流程的可追溯, 数据被篡改的风险降低至零, 为控制系统的安全运行提供了保障。此外, 区块链技术还可用于设备身份认证, 通过智能合约实现设备接入权限的动态管理, 防止未授权设备接入系统引发安全事故^[3]。

4. 电气工程自动化控制智能化发展的制约因素与对策

4.1 核心制约因素分析

尽管智能化技术在电气工程自动化控制领域的应用成效显著, 但仍面临多重制约因素。从技术层面看, 跨系统数据融合标准缺失是主要瓶颈, 不同厂商的设备采用不同的数据格式与通信协议, 导致数据难以互联互通, 如某地区电网改造中, 因不同厂家的保护装置通信协议不兼容, 增加了智能化调度系统的开发成本; 算法可解释性不足也制约了技术应用, 深度学习等算法的“黑箱”特性, 使其在电力、交通等关键领域的应用面临信任危机。

从产业层面看, 高端人才供给不足问题突出。电气工程自动化控制的智能化转型需要既掌握电气工程基础理论, 又熟悉人工智能、大数据等技术的复合型人才, 而当前高校人才培养体系存在课程设置与工程需求脱节的问题, 如某高校电气工程专业课程中, 人工智能相关课程占比不足 10%, 导致毕业生难以快速适应岗位要求。从政策层面看, 缺乏完善的标准体系与激励机制, 智能化技术的应用缺乏统一规范, 同时对企业研发投入的激励不足, 中小企业智能化改造的积极性不高。

4.2 推进智能化发展的对策建议

针对上述制约因素, 需从技术研发、人才培养、政策保障等多维度发力, 推动电气工程自动化控制的智能化转型。在技术研发方面, 应构建产学研协同创新体系, 集中力量突破核心技术瓶颈。政府应牵头设立专项研发基金, 支持企业与高校、科研院所合作研发高端 PLC、工业控制软件等关键产品; 推动建立跨行业数据融合标准, 由行业协会牵头制定统一的数据格式、通信协议与接口规范, 实现不同系统的互联互通。

在人才培养方面, 应优化高校课程体系, 增加人工智能、大数据、物联网等相关课程的比重, 如在电气工程专业增设“智能控制理论”“大数据分析与应用”等课程; 加强校企合作, 建立实习实训基地, 让学生参与实际工程项目, 提升实践能力。同时, 企业应加强在职人员培训, 通过内部培训、外部研修等方式, 提升现有技术人员智能化技术水平。

在政策保障方面, 应完善标准体系建设, 加快制定智能化技术应用的国家标准与行业标准, 规范技术研发、产品生产与工程应用全过程; 加大政策激励力度, 对企业智能化改造给予税收减免、财政补贴等支持, 激发中小企业的转型积极性; 建立安全监管体系, 制定电气工程自动化控制系统的信息安全标准, 加强对系统运行的实时监控, 防范安全风险^[4]。

5. 结论

本文通过对电气工程自动化控制现状及智能化技术应用的理论分析, 得出以下结论: 当前电气工程自动化控制技术已实现广泛应用, 但在核心技术自主化、系统集成能力等方面仍存在短板; 人工智能、物联网、大数据、区块链等智能化技术通过赋能控制决策、数据感知、决策优化与安全保障, 显著提升了电气工程自动化控制系统的效率与可靠性, 如负荷预测误差降至 2.1%、设备检修效率提升 40% 等案例充分验证了技术价值; 智能化发展面临数据融合标准缺失、高端人才不足等制约因素, 需通过技术研发、人才培养、政策保障等对策加以解决^[5]。

参考文献:

- [1] 吴宇航. 浅谈智能化技术在电气工程及自动化控制中的应用研究[J]. 经济导报, 2025(4): 45-49.
- [2] 张明, 李红. 电气工程及其自动化发展的问题与优化措施探讨[J]. 电气技术, 2025, 26(10): 78-83.
- [3] 王建国, 刘芳. 电气工程及其自动化的智能化技术应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2025, 53(3): 120-126.
- [4] 陈亮, 赵伟. 基于智能化技术的电气自动化控制系统研究与实现[J]. 工业仪表与自动化装置, 2025(6): 56-61.
- [5] 国家电网有限公司. 智能电网技术发展报告(2024)[R]. 北京: 国家电网有限公司, 2024.

作者简介: 牛柏林, 1978 年 1 月, 男, 汉族, 甘肃定西 学历: 本科 职称: 工程师 从事的研究方向或工作领域: 钢铁企业炼铁厂点检作业长(电气技术及自动化专业)