

新能源开发进程中电气工程自动化控制策略探析

马友骏

国电电力内蒙古新能源开发有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17531

[摘要] 全球能源转型下,新能源产业爆发式增长,我国在装机规模、技术水平、产业格局上成绩斐然,但也面临外部壁垒、消纳压力、技术迭代等挑战。电气工程自动化技术融合多学科,通过智能控制实现能源系统自主优化,与新能源开发融合具有必然性,能解决新能源间歇性等问题。本文剖析新能源发电特性与自动化需求,阐述了电气工程自动化控制技术体系,并探讨其在光伏、风电、储能、微电网等领域的应用,为全球能源转型提供方案。

[关键词] 新能源开发; 电气工程自动化; 控制策略

中图分类号: TG502.34 **文献标识码:** A

Research on Automated Control Strategies in Electrical Engineering within the Process of New Energy Development

Youjun Ma

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

[Abstract] Under the global energy transition, the new energy industry has experienced explosive growth. China has achieved remarkable results in installed capacity, technological level, and industrial structure, yet it still faces challenges such as external barriers, consumption pressure, and technological iteration. Electrical engineering automation technology, integrating multiple disciplines, enables autonomous optimization of energy systems through intelligent control. Its integration with new energy development is inevitable, as it can address issues like the intermittency of renewable energy. This paper analyzes the power generation characteristics of new energy sources and their automation requirements, elaborates on the technical system of automated control in electrical engineering, and discusses its applications in fields such as photovoltaics, wind power, energy storage, and microgrids, providing solutions for the global energy transition.

[Key words] New energy development; Electrical engineering automation; Control strategies

1 新能源开发与电气工程自动化的关联剖析

1.1 新能源产业发展态势

全球能源转型已进入关键阶段,新能源产业作为核心驱动力正经历爆发式增长。截至2023年底,我国新能源和可再生能源发电装机突破15亿千瓦,历史性超越火电装机占比,其中风电光伏发电装机突破10亿千瓦,占全国发电总装机34%,年新增装机连续多年保持全球第一。技术层面,我国陆上低风速风电技术、海上大容量风电机组技术、光伏组件转换效率均达到世界领先水平,2022年可再生能源发电量相当于减少碳排放22.6亿吨,为全球气候治理贡献我国方案。产业格局上,我国已形成完整的新能源产业链,光伏产业占据全球70%以上市场份额,风电设备出口覆盖40多个国家,储能技术专利数量全球第一^[1]。然而,产业高速发展背后仍面临三大挑战:一是外部环境复杂化,美欧通过技术壁垒、碳关税等手段构建绿色贸易壁垒;二是消纳压力持

续增大,2023年西北地区弃风弃光率仍达8.2%;三是技术迭代风险,全球新能源技术更新周期缩短至3—5年,部分领域存在被“弯道超车”风险。

1.2 电气工程自动化技术解析

电气工程自动化技术是融合控制理论、信息处理、电力电子技术的交叉学科,其核心在于通过智能控制实现能源系统的自主优化。该技术体系包含四大层级:基础层以传感器网络实现数据采集,涵盖温度、压力、电流等200余种参数监测;控制层采用PLC、DCS等控制器,结合PID控制、模糊控制等算法实现精准调节;执行层通过变频器、伺服电机等设备完成动作指令;管理层依托工业互联网平台实现全系统协同。技术特征上呈现“三化”趋势:智能化方面,深度学习算法使风电功率预测误差降低至8%以内;网络化方面,5G+TSN技术实现控制指令传输时延小于1ms;绿色化方面,智能无功补偿装置使线路损耗降低15%

—20%。在新能源领域,该技术已渗透至发电、输电、储能全链条,成为破解新能源间歇性难题的关键支撑。

1.3 二者融合的内在逻辑与价值

新能源开发与电气工程自动化的融合具有必然性。从能源生产端看,光伏组件输出功率受光照强度、温度影响波动率达30%—50%,风电机组输出功率随风速变化呈现非线性特征,传统控制方式难以满足稳定运行需求。从系统运行端看,新能源高渗透率导致电网惯量缺失,2023年甘肃电网新能源占比达48%时,频率波动幅度较传统电网扩大2.3倍。电气工程自动化技术通过三大机制实现价值创造:其一,构建“源-网-荷-储”协同控制体系,青海海南州共和光伏电站通过智能调度系统使弃光率从12%降至3%;其二,开发自适应控制算法,金风科技2.5MW风机采用变桨距控制技术使发电效率提升7%;其三,建立数字孪生模型,华能濮阳风电场通过虚拟映射实现设备故障预测准确率92%。这种融合不仅提升新能源利用率,更推动能源系统向零碳化、智能化方向演进。

2 新能源发电系统特性与自动化需求

2.1 新能源发电的间歇性与波动性

新能源发电的固有特性对电力系统构成根本性挑战。光伏发电存在“三时段”波动特征:日出时段输出功率在30分钟内从0跃升至额定值80%,正午强光时段因云层遮挡可在5秒内下降40%,日落时段又呈现对称式衰减^[2]。这种波动导致并网点电压波动率超标风险达18%,2023年新疆某光伏电站因电压波动引发3次保护动作。风力发电的波动性更为复杂,阵风作用下单机功率可在10秒内变化200%,尾流效应使风电场整体出力波动系数达0.3。生物质能发电虽稳定性较好,但燃料热值波动仍导致输出功率偏差10%—15%。这些特性要求自动化系统必须具备毫秒级响应能力,国网电力科学研究院研发的动态无功补偿装置可在20ms内完成容性到感性切换,有效抑制电压波动。

2.2 并网技术限制

新能源并网面临三大技术瓶颈:其一,电力电子设备谐波污染,光伏逆变器采用两电平拓扑时3次谐波含量达3%—5%,超出国家标准限值2倍;其二,弱电网接入难题,西北地区某100MW光伏电站接入短路比(SCR)为2的弱电网时,电压波动幅度达±8%,远超±7%的并网标准;其三,低电压穿越能力不足,2022年东北电网故障导致23%的风电机组因不具备LVRT能力脱网,加剧系统失稳风险。针对这些问题,自动化技术提出解决方案:华为智能光伏逆变器采用五电平拓扑将谐波含量降至1.2%,阳光电源研发的构网型逆变器在SCR=1.5条件下仍能保持稳定运行,金风科技2.5MW风机通过改进控制策略使LVRT通过率提升至99%。

2.3 自动化控制的核心需求

新能源系统对自动化控制提出四维需求:在监测维度,需构建覆盖发电、输电、用电全环节的传感器网络,国家电网在张北柔性直流电网工程中部署1.2万个监测终端,实现数据采集频率100Hz;在控制维度,要求开发多时间尺度控制策略,隆基绿能光伏电站采用“分钟级调度+秒级调节+毫秒级响应”三级控制体

系,使功率预测精度提升至92%;在保护维度,需建立快速保护机制,南瑞集团研发的差动保护装置动作时间小于10ms,较传统保护缩短60%;在优化维度,要求实现全生命周期管理,特变电工新能源云平台通过大数据分析使设备寿命延长15%。这些需求推动自动化技术向高精度、高可靠性、高智能化方向演进。

3 电气工程自动化控制技术体系

3.1 传感器与数据采集技术

传感器技术是自动化系统的“神经末梢”,新能源领域应用呈现三大趋势:第一,高精度化,科陆电子研发的0.2S级智能电表测量误差小于±0.2%,满足新能源计量需求;第二,多功能化,施耐德电气推出的智能传感器可同时监测温度、湿度、振动等8类参数;第三,无线化,华为无线温振传感器采用LoRa技术实现500米可靠传输,安装成本降低70%。数据采集系统方面,国电南瑞开发的PSCADA系统支持20000点数据同时采集,采样周期可达10ms,数据吞吐量达50万条/秒。在新能源场站,该系统可实时采集光伏组件温度、逆变器效率、风机齿轮箱振动等300余项参数,为控制决策提供数据支撑^[3]。

3.2 控制理论与策略

控制理论发展经历三个阶段:经典PID控制仍占主导地位,在光伏MPPT控制中应用广泛,但面对复杂工况时调节精度有限;现代控制理论中,模型预测控制(MPC)在风电变桨控制中表现优异,金风科技采用MPC算法使发电量提升3%;智能控制理论方面,深度学习算法开始应用于功率预测,国家电网研发的AI预测模型将风电功率预测误差从18%降至12%。控制策略创新层面,分层分布式控制成为主流,华能集团在青海光伏电站实施“场站层-区域层-设备层”三级控制,使调度响应时间缩短至500ms。自适应控制技术也取得突破,阳光电源逆变器可根据电网阻抗自动调整控制参数,并网成功率提升至99.8%。

3.3 控制器与执行机构

控制器技术呈现集成化、智能化特征。PLC控制器在新能源领域应用广泛,西门子S7-1500系列PLC支持20轴同步控制,周期时间小于1ms,满足风电变桨控制需求;DCS控制器在大型新能源基地发挥核心作用,国电智深EDPF-NT+系统可控制1000台以上设备,数据刷新周期达100ms。执行机构方面,电动执行器占据主导地位,重庆川仪研发的智能阀门定位器控制精度达±0.1%,使用寿命超过100万次;液压执行器在大型风机变桨系统中仍不可替代,南高齿液压变桨系统响应时间小于200ms,定位精度±0.1°。新型执行器不断涌现,电磁执行器在储能系统快速切换场景中应用,响应时间可达10ms级。

3.4 通信与网络安全技术

通信技术是自动化系统的“神经中枢”,工业以太网成为主流通信方式,PROFINET协议在新能源场站应用广泛,传输速率达100Mbps,时延小于1ms。无线通信技术发展迅速,5G专网在新能源集控中心应用,华为5G电力切片方案实现控制指令时延小于10ms,可靠性99.999%。网络安全防护体系日益完善,国家电网构建“三道防线”:边界防护采用下一代防火墙,检测准确率99.9%;

入侵检测系统(IDS)实现毫秒级响应;数据加密采用国密SM4算法,密钥长度256位。在青海共和光伏电站,该体系成功阻断12次网络攻击,保障系统稳定运行。

4 新能源领域自动化控制策略应用

4.1 光伏发电系统优化

光伏自动化控制聚焦三大场景:在组件层面,华为智能光伏解决方案通过AI算法实现组件级优化,使每串组件发电量提升3%;在逆变器层面,阳光电源推出组串式逆变器,支持最大功率点跟踪(MPPT)路数达16路,较传统集中式逆变器效率提升1.5%;在系统层面,特变电工开发的光伏云平台实现“无人值守”运维,通过无人机巡检+AI图像识别技术,使故障定位时间从2小时缩短至15分钟。青海塔拉滩光伏电站应用上述技术后,系统效率(PR值)从82%提升至88%,年发电量增加6000万千瓦时。

4.2 风力发电系统控制

风电自动化控制围绕提高发电效率和可靠性展开。在变桨控制方面,金风科技采用独立变桨技术,使单机年发电量提升5%;在主控系统方面,远景能源EN171-6.2MW风机搭载智能主控系统,通过大数据分析优化控制策略,使可利用率提升至99.2%;在偏航控制方面,明阳智能研发的激光雷达测风仪可提前10秒预测风向变化,偏航对风精度达 $\pm 0.1^\circ$ 。内蒙古乌兰察布风电基地应用这些技术后,等效满负荷小时数突破3000小时,较传统风电场提高20%。

4.3 储能系统管理

储能自动化控制实现三大功能:一是,能量管理,宁德时代BMS系统采用分层架构,实现电池组均衡控制精度 $\pm 2\text{mV}$,延长电池寿命15%;二是,功率调节,阳光电源储能变流器(PCS)支持四象限运行,响应时间小于20ms,满足电网调频需求;三是,安全防护,比亚迪刀片电池储能系统配备七重安全防护,通过热失控预警算法使热扩散时间延长至30分钟以上。江苏金坛盐穴压缩空气储能电站应用自动化控制系统后,系统效率达67.6%,位居全球前列。

4.4 微电网协同控制

微电网自动化控制构建“源-网-荷-储”协同机制。在控制架构方面,国网电科院开发的多能互补协调控制系统支持分布式电源、储能、可中断负荷的统一调度;在控制算法方面,浙江大学提出的分层分布式控制策略使微电网频率波动范围缩小至 $\pm 0.1\text{Hz}$;在通信协议方面,IEC61850标准在微电网中广泛应用,实现设备间互操作性。广东珠海东澳岛微电网项目应用上述技术后,可再生能源消纳率达98%,供电可靠性提升至99.999%,年减少柴油消耗800吨。新能源开发与电气工程自动化的深度融合,正重塑全球能源格局^[4]。从技术层面看,传感器精度突破0.1级,控制算法响应速度进入毫秒级,通信时延压缩至微秒级;从产业层面看,中国新能源装备自动化率达95%,关键设备国产化率超过90%;从系统层面看,“源网荷储”协同控制体系初步形成,新能源消纳能力显著提升。面向未来,随着数字孪生、人工智能等技术的进一步渗透,新能源系统将实现全生命周期自主优化,为全球能源转型提供我国智慧和我国方案。

5 结束语

新能源开发与电气工程自动化的深度融合,已成为推动全球能源转型的核心力量。技术上,传感器、控制算法、通信等不断突破,实现高精度、高可靠性控制;产业上,我国新能源装备自动化与国产化水平大幅提升;系统上,“源网荷储”协同控制体系成效显著。未来,随着数字孪生、人工智能等技术的深入应用,新能源系统将迈向全生命周期自主优化新阶段,持续为全球能源变革贡献我国智慧与力量。

[参考文献]

- [1]何学圣.人工智能技术在电气工程自动化中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(04):59-61.
- [2]周小杰,李新恒.新工科视域下电气工程及其自动化专业改造升级探索与实践[J].陕西教育(高教),2025,(04):41-43.
- [3]冉光伟.自动化控制技术在新能源发电中的应用[J].集成电路应用,2024,41(11):134-135.
- [4]张人木.电气自动化在新能源发电中的关键技术[J].中国高新科技,2024,(04):34-35+50.