

智能电力设备在风光互补发电系统中的应用研究

苏继荣¹ 李睿² 靳良³ 余振龙⁴ 侯峰⁵

1 青岛城投新能源集团有限公司

2 中国三峡新能源(集团)股份有限公司宁夏分公司

3 大唐中卫新能源有限公司

4 宁夏龙源新能源有限公司

5 国网宁夏电力有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i4.6271

[摘要] 全球能源结构转型背景下,风光互补发电系统有着可再生能源协同方面的优势。传统的电力设备因受到静态控制逻辑以及孤立运行模式的限制,难以对多能互补场景下动态的能量管理需求起到支撑作用。而智能电力设备借助嵌入式算法以及信息物理融合技术,为系统运行的优化提供了技术层面的突破口。本文将关注点放在智能设备于风光互补系统里的功能重构以及技术适配上,对其在能量优化分配、故障诊断、多源协同等不同维度所发挥的核心作用展开解析,对设备智能化和系统集成化协同发展的机制加以探讨,进而为可再生能源实现高效消纳给予理论方面的支撑。

[关键词] 智能电力设备; 风光互补发电系统; 应用研究

中图分类号: V351.31 文献标识码: A

Research on the Application of Intelligent Power Equipment in Wind Solar Complementary Power Generation System

Jirong Su¹ Rui Li² Liang Jin³ Zhenlong Yu⁴ Feng Hou⁵

1 Qingdao City Investment New Energy Group Co.

2 China Three Gorges New Energy (Group) Co., Ltd. Ningxia Branch

3 Datang Zhongwei New Energy Co., Ltd

4 Ningxia Longyuan New Energy Co., Ltd

5 State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd

[Abstract] Against the backdrop of global energy structure transformation, wind solar complementary power generation systems have advantages in renewable energy synergy. Traditional power equipment is limited by static control logic and isolated operation mode, making it difficult to support dynamic energy management requirements in multi energy complementary scenarios. Intelligent power equipment, with the help of embedded algorithms and information physical fusion technology, provides a technological breakthrough for optimizing system operation. This article focuses on the functional reconstruction and technological adaptation of intelligent devices in wind solar complementary systems, analyzing their core roles in different dimensions such as energy optimization allocation, fault diagnosis, and multi-source collaboration. The mechanism for the coordinated development of device intelligence and system integration is explored, providing theoretical support for the efficient consumption of renewable energy.

[Key words] intelligent power equipment; Wind solar complementary power generation system; application research

引言

风光互补发电系统对风能与光能时空互补特性加以整合,单一能源间歇性缺陷得以被其有效缓解,但是就其能量转换效

率以及系统可靠性而言,依旧受到设备性能的制约。传统电力设备处于复杂工况下时,功率失配、响应滞后等问题容易出现,致使系统整体能效降低。而智能电力设备借助算法驱动以及边缘

计算能力,对能量管理范式完成了重构。本文以设备功能重构这一角度为切入方向,针对智能逆变器、储能装置以及监测终端的技术迭代逻辑展开解析,将其在动态功率平衡、多模式调控以及数据融合方面的技术耦合机理予以揭示。

1 风光互补发电系统与智能电力设备概述

1.1 风光互补系统构成与能量转换原理

风光互补系统融合风力发电与太阳能发电技术,通过风力发电机和太阳能电池捕捉自然能源,经过智能控制系统对蓄电池进行科学充电,最终稳定输出电力,其核心部分由风力发电机组、光伏阵列、储能单元以及电力转换装置所组成。基于气动效应的风力机组把风能转化成机械能,经齿轮箱与发电机耦合之后输出三相交流电;利用半导体材料光生伏特效应的光伏阵列,可直接将太阳辐射转换为直流电能。在并网之前,两类异质能源需通过电力电子接口装置来完成交直流转换以及电压适配的操作,其中,风电所具有的波动性和光伏呈现出的昼夜周期性形成了天然的互补态势,借助气象预测模型以及对负荷需求的分析,该系统能够动态地对能量传输路径加以调整,以此实现整体输出稳定性的优化。作为能量暂存介质的储能单元,凭借充放电循环来平抑由风光出力突变而引发的功率振荡,而电力转换装置不仅承担整流逆变功能,更深度嵌入自适应控制算法,以应对电网频率波动与谐波干扰。系统集成过程中,各组件间的动态耦合关系需匹配能量流的双向传输特性,例如风电高惯性与光伏快响应的协同效应,要求硬件拓扑设计兼容不同时间尺度的能量交互需求^[1]。

1.2 智能电力设备类型

在风光互补发电系统中,作为能量转换与管理核心载体的智能电力设备,其技术形态呈现出多元化的发展态势。对于具备自适应调节功能的并网逆变器而言,凭借着先进的拓扑结构以及控制算法,能够对风光资源的波动特性予以适应,在完成直流交流转换的进程里实现电能质量的稳定输出。而集成了多类型电池组监测模块的储能管理系统,借助动态均衡技术可达到延长储能单元寿命周期的效果,其配备的双向变流装置还能精准地对充放电时序加以协调。以多传感器融合技术作为基础的环境感知类设备,能够实时对风速、辐照度、组件温度等参数进行采集,进而为系统运行策略提供来自多维度的数据支撑。这些设备在硬件架构方面普遍运用的是高防护等级外壳以及散热设计,软件层面则嵌入了边缘计算能力,部分高端型号更是达到了支持区块链技术以实现分布式能源交易的程度。

1.3 设备智能化与系统集成化发展趋势

风光互补发电系统的智能化演进正驱动设备功能从单一执行向自主决策升级,其技术内核在于电力电子装置与控制算法的深度耦合。智能逆变器通过嵌入式模型预测控制技术,将传统单向电能转换拓展为多模式功率调节,在风电与光伏出力随机波动场景下自主切换并网模式,同时兼容储能单元的充放电特性。监测终端借助边缘计算框架对风光资源数据与设备运行参数进行时空关联分析,构建跨设备的信息共享通道,使故障特征

提取从阈值告警转向模式识别^[2]。系统集成化发展聚焦于异构设备的协议互通与能量交互,依托统一通信架构实现风光储单元的动态重组,例如风电变流器与光伏逆变器的协同控制可消除频域冲突,而跨平台数据总线设计则支持多时间尺度的能量调度指令同步。这种集成化趋势推动设备制造商重构硬件接口标准,促使电力电子拓扑设计兼容模块化扩展需求,为后续虚拟电厂等新型业态预留技术接口。区块链技术的渗透正在重塑设备间的信任机制,分布式账本为多主体协同提供去中心化验证路径,使风光互补系统从集中管控向能源自治过渡。

2 智能电力设备在风光互补发电系统中的功能应用

2.1 动态功率平衡与能量优化分配

智能逆变器内置的风光资源预测模型,能够基于气象数据与历史出力曲线提前预判功率变化趋势,当风电突降或云层遮挡导致光伏出力骤减时,设备自动切换至储能支撑模式,通过调节直流母线电压维持并网功率平滑。储能装置的管理单元实时解析系统功率偏差信号,在秒级时间尺度调整充放电倍率,而在分钟级时间尺度则结合SOC阈值优化充放电深度,防止过充过放引发设备寿命折损。光伏阵列的MPPT控制器与风电变桨系统形成联动机制,当光伏板局部阴影导致多峰特性显现时,风电机组主动提升桨距角以补偿功率缺口,这种跨设备协同策略降低了传统降载运行导致的能量浪费。电力电子接口装置采用多目标优化算法动态分配风光储各单元出力权重,例如在午间光伏出力高峰时段优先消纳光伏电能,同时预留风电并网通道应对傍晚负荷爬坡需求。监测终端通过高速通信链路将设备运行状态映射至数字孪生模型,在虚拟空间预演不同调度策略对系统稳定性的影响,为物理设备的功率指令生成提供仿真验证。系统级能量管理平台引入博弈论模型协调多设备利益目标,既保障储能单元的经济性运行,又满足电网调度端的调频调压需求,避免设备局部优化引发的系统震荡^[3]。

2.2 故障诊断与自适应调控技术

在风光互补发电系统的日常运行维护中,智能电力设备持续追踪着风机叶片转动的细微声响与光伏板表面的温度变化,当某台风力发电机轴承出现异常振动时,嵌入式传感器会立即捕捉到机械结构的应力变化,结合历史运行数据的横向比对,快速锁定故障点位于齿轮箱第三级传动轴区域。现场运维人员的手持终端此时同步弹出三维可视化模型,红色闪烁区域直接指向需要检修的具体位置,这种基于数字孪生技术的诊断方式让原本需要两小时排查的故障缩短至十分钟内完成精确定位。面对光伏阵列中偶尔出现的局部阴影遮挡问题,具备边缘计算能力的智能逆变器会自主启动多路MPPT追踪策略,将受影响的电池板进行电气隔离重组,同时调整相邻单元的串并联结构,最大限度维持整组发电效率稳定。当气象预报显示即将出现连续阴雨天气时,储能系统的能量管理模块会提前启动充电策略优化,综合考虑蓄电池组的剩余循环寿命和未来三天负荷预测,在确保不过度放电的前提下为备用柴油发电机留出合理启动窗口。在用电高峰时段,智能配电柜里的自适应控制器会根据实时电价

信号和用户优先级排序, 自动调节园区内道路照明与水泵房的供电时序, 将非必要负荷平滑转移到储能设备支撑的时间段, 这种柔性调控模式既避免了传统硬性拉闸带来的生产中断, 又让每度电都产生最大经济效益^[4]。

2.3 多源数据融合的实时监测与预警

智能电力设备通过异构传感器的协同采集与边缘计算节点的分布式处理, 形成对系统运行状态的立体感知网络。光伏阵列的智能汇流箱内置光照强度与组件温度传感器, 持续捕获每块组件的发电效率变化, 当局部阴影或热斑效应导致输出异常时, 设备自动生成带有地理位置标签的告警信息并上传至监测平台。风力发电机组的振动监测单元通过高频采样齿轮箱与轴承的机械信号, 结合历史故障数据库中的特征波形对比, 提前识别叶片失衡或偏航系统卡滞等潜在风险。储能系统的电池管理芯片实时追踪单体电压与温度分布, 利用电化学阻抗谱分析技术评估电池健康状态, 在内部微短路或容量衰减加速前触发分级预警。气象站采集的风速风向与辐照度数据经过卡尔曼滤波算法修正后, 与电网调度端的负荷预测信息在时间序列上对齐, 形成未来15分钟至24小时的多维度态势预判。监测终端部署的轻量化机器学习模型对上述数据进行特征提取与关联分析, 例如将光伏出力突降事件与云层移动轨迹进行空间匹配, 验证是否为气象因素导致的正常波动。当检测到风机塔筒倾斜度持续增大且伴随特定频率的振动谐波时, 系统自动生成设备巡检工单并推送至运维人员移动终端, 同时关联该机组历史维护记录与周边地质勘测数据辅助决策。预警信息通过标准化通信协议在设备间共享, 例如储能系统接收到光伏阵列即将进入阴影区的预测数据后, 提前调整充放电计划以缓冲功率突变对电网的冲击。

2.4 智能电网接入技术

智能电网接入技术在风光互补发电系统的实际运行中直接处理着电网调度的复杂需求, 当风力骤增导致输电线路出现瞬时功率波动时, 配置在并网点的智能变流器会瞬间切换至动态无功补偿模式, 自动调节逆变器输出的电压相位角, 把原本可能引发电压越限的过剩电能转化为支撑电网稳定的无功功率。针对偏远地区电网阻抗特性不稳定的问题, 具备宽频带振荡抑制功能的并网装置持续监测着三相电压谐波分量, 当检测到特定次数的谐波幅值超过安全阈值时, 内置的阻抗重塑算法会立即调整变流器控制回路的阻尼参数, 有效避免因谐振引发的设备跳闸事故。在参与电力市场现货交易时, 部署在升压站的数据网

关会解析实时电价曲线与电网调度指令, 结合风机齿轮油温、光伏组件清洁度等设备状态信息, 动态修正次日发电计划上报值, 既满足电网调峰要求又兼顾设备健康度。对于接入点多且分散的屋顶光伏群, 集成了拓扑识别功能的智能电表会定时扫描低压配网线路结构, 自动生成各节点分布式电源的接入容量热力图, 为运维人员快速定位过载线路提供可视化决策支持。

3 结语

通过算法赋能与功能重构, 智能电力设备使风光互补系统的动态响应能力与运行可靠性得到显著提升。企业应深化电力电子拓扑与人工智能融合方面的研究, 实现对设备在极端工况下自适应限界的突破。随着数字孪生以及区块链技术的逐渐渗透, 去中心化的能源自治单元有望借助智能设备得以形成, 进而为风光互补系统向开放互联形态的演进提供支撑。从辅助电源向主力电源进行角色转换的可再生能源, 其转换进程将通过这一技术路径得以加速, 从而为构建弹性电力网络打下基础。风光互补供电系统有望在分布式能源系统、微电网等领域得到更广泛应用, 其经济实惠且环保的特性将使其成为未来能源解决方案的重要选择。

[参考文献]

- [1]陈子航, 朱彦卿, 宋宁峰. 风光水储联合发电系统优化调度方法研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2024, 57(12): 1775-1784.
- [2]郭峰, 吕金龙, 白亮. 风光火互补发电集控系统总体设计探析[J]. 电力设备管理, 2024, (22): 183-185.
- [3]陈邦进. 风光储联合发电系统主动配电网多时段动态无功优化研究[J]. 信息系统工程, 2024, (12): 134-137.
- [4]晏创. 基于人工智能算法的风光互补发电系统优化设计与实现[J]. 电气技术与经济, 2024, (07): 95-97.

作者简介:

苏继荣(1989--), 男, 汉族, 甘肃定西人, 本科, 中级电气工程师, 主要研究方向: 新能源运维与检修新技术研究。

李睿(1986--), 男, 汉族, 宁夏盐池人, 本科, 工程师, 主要研究方向: 新能源运维与检修新技术研究。

靳良(1982--), 男, 汉族, 宁夏西吉人, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 新能源运维与检修新技术研究。

余振龙(1992--), 男, 汉族, 宁夏银川人, 本科, 工程师, 主要研究方向: 新能源场站运维检修技术研究。

侯峰(1987--), 男, 汉族, 宁夏固原人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向: 电网一次设备运维检修技术研究。