

新能源发电中电子电力技术的应用

文 / 赵 力 中国电建集团湖北工程有限公司

摘要：新能源发电的快速发展对电力电子技术提出更高要求，但当前应用仍面临效率、可靠性及电磁兼容等挑战。效率问题主要体现在功率损耗与能量转换效率的优化空间；可靠性问题涉及复杂工况下的设备稳定运行与寿命周期管理；电磁兼容与谐波抑制则关乎电网电能质量与系统安全。针对上述问题，需通过智能化与数字化控制技术提升系统响应精度与自适应能力；在多能互补系统中实现电力电子装置的协同控制，优化能源配置效率；同时围绕碳中和目标，推动宽禁带器件、模块化设计等技术创新，以构建高效、可靠、低碳的新能源电力电子应用体系。

关键词：新能源发电；电力电子技术；智能化控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.094

引言

在全球能源结构加速转型背景下，新能源发电已成为实现可持续发展的核心路径。电力电子技术作为新能源发电系统的关键支撑，在能量转换、并网控制及系统优化中发挥着不可替代的作用。但其当前在效率提升、可靠性保障及电磁兼容等方面仍存在显著技术瓶颈。所以深入研究电力电子技术在新能源发电中的应用策略，对推动能源清洁低碳转型具有重要意义。

一、电子电力技术在新能源发电中应用存在的问题

（一）效率问题

新能源发电系统，如光伏和风电，其输出功率具有波动性和间歇性特点，对电子电力装置的转换效率提出更高要求。当前，多数电力电子设备在实际工况下的转换效率未能达到理论最优值，尤其是在部分负载运行时，效率下降更为明显^[1]。

（二）可靠性问题

电子电力装置的可靠性是新能源发电系统长期稳定运行的基础。但实际运行中，电力电子设备因承受频繁的电压波动、温度变化及机械应力，易出现器件老化、故障率上升等问题。例如，在风电变流系统中，功率模块长期处于高负荷工作状态，其故障率显著高于传统发电设备。

（三）电磁兼容与谐波抑制

1. 电磁兼容问题

电子电力装置在工作过程中会产生高频开关噪声和电磁辐射，这些干扰信号不仅可能影响设备自身的正常运行，还可能通过传导或辐射方式干扰邻近的电子设备。例如，在光伏逆变器和风力发电变流器中，高频开关操作会产生较强的电磁干扰（EMI），若未采取有效屏蔽措施，可能导致通信误码、控制失灵等问题。

2. 谐波污染及其影响

电子电力装置的非线性特性是导致谐波污染的主要原因。在整流、逆变等功率转换过程中，电流波形会发生畸变，产生大量高次谐波。这些谐波注入电网后，可能引起电压失真、增加线路损耗，特别是在分布式发电系统中，多个电力电子设备并联运行时，谐波叠加效应更为显著。

二、基于新能源发电的电子电力技术应用策略

（一）智能化与数字化控制技术的应用

智能化与数字化控制技术通过引入先进的算法、模型与数据驱动方法，进而提升电子电力装置在复杂工况下的自适应能力与控制精度^[2]。

1. 自适应控制算法的应用

新能源发电系统面临光照、风速等外部环境的动态变化，传统固定参数控制策略难以适应多变工况。自适应控制算法的基本原理如图1所示，通过实时辨识系统状态与外部扰动，动态调整控制参数，实现系统性能的持续优化。以光伏逆变器为例，其最大功率点跟踪（MPPT）控制采用自适应扰动观察法、电导增量法（INC），能够根据光照强度与温度变化自动调整步长与方向，提高跟踪速度与精度。

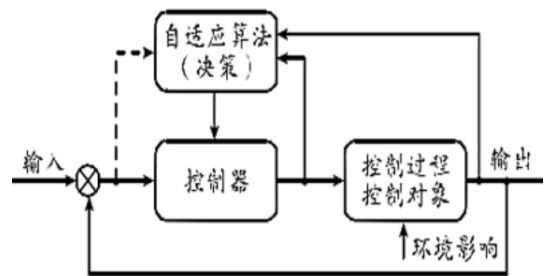


图1 自适应控制算法的基本原理

2. 模糊逻辑与神经网络控制

模糊逻辑控制适用于非线性、强耦合系统，在新能源发电中主要用于解决不确定性问题。例如，在光伏并网逆变器中，模糊控制器可根据直流侧电压波动、电网电压畸变程度，智能调节PWM调制策略，保持输出电流的稳定与低谐波；神经网络控制则通过训练历史数据，建立系统输入输出之间的非线性映射关系，在预测控制、故障诊断等方面表现出色。

3. 强化学习在调度优化中的应用

强化学习通过与环境交互不断优化控制策略，在多目标调度优化中具有独特优势。在包含光伏、储能与负荷的微电网系统中，基于Qlearning或深度确定性策略梯度（DDPG）算法的智能调度控制器，能够根据实时电价、

负荷需求与发电预测，自主决策储能充放电策略，实现经济性与可靠性的平衡。

4. 数字孪生技术的应用

数字孪生技术通过构建物理系统的虚拟映射，实现全生命周期仿真与优化。在新能源发电系统中，数字孪生平台可实时采集逆变器、变流器等设备运行数据，构建高精度动态模型，用于故障预警、性能评估与控制策略验证。比如：光伏电站通过建立逆变器数字孪生体，可模拟不同老化程度、温度条件下的效率变化，提前制定维护计划。在风电场中，通过数字孪生仿真极端风况下的机组响应，优化桨距角与转矩控制策略，提升机组抗扰动能力。

5. 边缘计算与实时控制

传统集中式控制架构存在通信延迟高、实时性差等问题，边缘计算通过在设备端部署计算资源，实现数据的本地处理与实时决策。在新能源发电系统中，边缘控制器可实时采集电压、电流、频率等信号，执行本地保护与控制逻辑，如快速孤岛检测、低电压穿越（LVRT）等，显著提高系统响应速度。在光伏电站中，边缘计算节点可实时分析组串式逆变器的输出特性，

自动识别遮挡或故障组串，执行动态功率点重新分配，最大化发电效率。

6. 智能化与数字化融合的控制架构

新能源发电系统的控制通常分为设备层、场站层与系统层三个层次。智能化与数字化技术的融合使各层次之间实现信息互通与协同优化。设备层通过智能传感器与边缘控制器实现本地实时控制；场站层通过场级能量管理系统（EMS）进行多设备协调；系统层则通过区域调度中心实现跨场站资源优化。以某大型光伏电站为例，该电站引入基于模糊逻辑与神经网络的自适应 MPPT 控制器，结合边缘计算实现组串级动态功率优化。实际运行数据显示，系统在多云天气下的发电效率提升约 8%，逆变器损耗降低 12%。并且通过数字孪生平台预测设备老化趋势，运维成本降低 15% 以上^[3]。

(二) 多能互补系统中的电力电子协同控制

多能互补系统是指将风能、太阳能、储能系统、传统电网等多种能源形式有机结合，通过电力电子装置实现能量的高效转换与协同调度。其核心目标在于提升能源利用效率、降低碳排放、增强系统灵活性与抗干扰能力。以风力发电为例，电力电子协同技术的具体应用如表 1^[4]。

表 1 电力电子协同在风力发电中的应用

序号	项目	内容
1	有功功率分配	通过对风力发电系统进行控制，实现对风机有功功率的有效分配
2	定子侧变流器控制	通过对定子侧变流器控制进行优化，提高机组运行的稳定性
3	直流输电系统	主要由换流器、换流站以及换流器控制装置组成
4	风电并网技术	需要对风机进行控制，保障电网的安全稳定运行

1. 电力电子协同控制的技术原理

电力电子协同控制通过协调控制多个电力电子变流器（如光伏逆变器、风机变流器、储能变流器等），实现多能流之间的动态平衡与优化调度。

在多能互补系统中，各类能源的输出具有波动性与不确定性。电力电子协同控制通过实时监测各能源单元的输出功率、负载需求及电网状态，动态调整各变流器的工作模式，维持系统功率平衡。在光照强度下降时，

储能系统可通过电力电子装置快速放电以弥补功率缺口。

2. 电力电子协同控制的关键技术

(1) 分布式协同控制算法

分布式协同控制算法是多能互补系统的核心技术之一，其工作原理图如图 2。与传统集中式控制相比，分布式控制通过本地控制器之间的信息交互，实现全局优化目标。

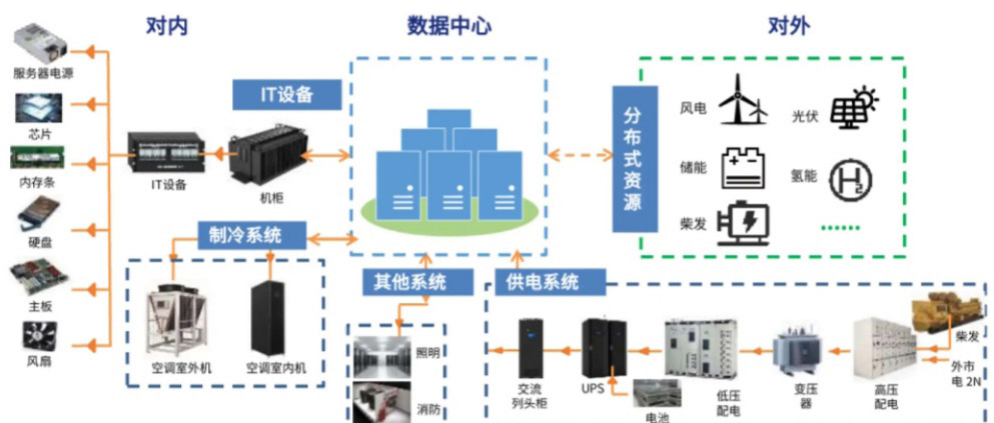


图 2 分布式协同控制系统

实践应用中，一致性算法通过节点间的信息传递，实现各变流器输出功率的一致性分配；而博弈论算法指在多主体系统中，通过博弈模型实现各能源单元的利益均衡；强化学习算法则利用人工智能技术，通过自主学习优化控制策略，适应复杂多变的运行环境。

(2) 电力电子接口的标准化与模块化设计

为实现多能互补系统的高效协同，电力电子接口的标准化与模块化设计至关重要。标准化接口确保不同厂商、不同类型的设备能够无缝接入系统；模块化设计则提升系统的可扩展性与维护性。例如，采用基于 IEC61850 标准的通信协议，可实现设备间的互操作性与数据共享。

(3) 能量路由器的应用

能量路由器是多能互补系统中的核心设备，类似于信息网络中的路由器，能够实现能量的多路径传输与智能调度。通过电力电子技术，能量路由器可动态调整能量的流向与分配，优化系统整体能效。在微电网中，能量路由器可根据实时电价与负荷需求，实现风、光、储的最优组合。

3. 系统架构与实现路径

多能互补系统的电力电子协同控制通常采用分层控制架构，具体为：设备层包括光伏逆变器、风机变流器、储能变流器等，负责能量的转换与本地控制；系统层通过能量管理系统（EMS）实现各设备间的协调控制与优化调度；电网层与上级电网进行交互，实现功率的并网与离网切换。

进一步，由于高速、可靠的通信网络是电力电子协同控制的基础。所以可通过 5G、光纤等通信技术，实现设备间的实时数据传输与控制指令下发。并利用大数据分析技术对系统运行数据进行深度挖掘，为控制策略的优化提供数据支撑。

(三) 面向碳中和目标的电力电子技术创新

1. 新型半导体材料的应用

传统硅基电力电子器件在效率、功率密度和耐高温性能方面已接近物理极限。宽禁带半导体材料（如碳化硅、氮化镓）凭借其高击穿场强、高热导率、高开关频率等优势，成为电力电子技术创新的重要方向。不仅如此，SiCMOSFET 和二极管具有更低的导通和开关损耗，可显著提升变流器效率。例如，在光伏逆变器中应用 SiC 器件后，系统效率可提升 1~2 个百分点，而且散热需求降低，系统体积减小约 30%；GaN 器件适用于中低功率高频应用场景，如充电桩、数据中心电源等。其开关频率可达兆赫兹级别，大幅减小无源元件体积，提升系统功率密度。

2. 模块化与集成化设计

为提升电力电子装置的可靠性与可维护性，模块化设计成为重要趋势。通过将功率器件、驱动电路、保护电路集成在一个模块中，简化系统结构，降低故障率^[5]。例如，SiC 功率模块已在新能源汽车和光伏逆变器中广泛应用。

3. 拓扑结构创新

(1) 高效率变流器拓扑

传统两电平变流器在高压大功率场景下损耗较大，谐波含量高。为解决这一问题，多电平变流器（如模块化多电平变流器 MMC、三电平 T 型拓扑等）应运而生。其优势在于：输出电压波形更接近正弦波，谐波含量低，减少滤波器需求；开关损耗较低，系统效率提升，在高压直流输电（HVDC）系统中，MMC 拓扑已成为主流选择。

(2) 双向功率流拓扑

在储能系统、电动汽车充电桩等场景中，能量的双向流动需求日益增加。双向 DCDC 变换器、双向 ACDC 变流器等拓扑结构，能够实现能量的高效双向流动，提升系统灵活性。例如，在光伏+储能系统中，双向变流器可实现光伏发电、储能充放电、并网/离网运行等多种模式的灵活切换。

4. 智能控制策略升级

模型预测控制通过建立系统动态模型，预测未来一段时间内的系统行为，并优化控制输入，实现全局最优。例如，在风电变流器中，MPC 算法可实时调整发电机转矩，实现最大风能捕获。而且基于深度强化学习的能量管理策略可以在微电网中，通过强化学习算法实时优化储能充放电策略，实现削峰填谷与经济运行；基于神经网络的故障诊断与预测则通过分析电力电子装置的运行数据，提前预测潜在故障，提升系统可靠性。

以青海多能互补示范工程为例：该工程集成大规模光伏、风电、储能及氢能系统，通过电力电子协同控制技术，实现多能流的优化调度。该工程采用 SiC 功率模块、MMC 拓扑及基于模型预测控制的能量管理系统，系统整体效率提升 5% 以上，碳排放显著降低。

结语

本文通过对智能化与数字化控制、多能互补协同控制及面向碳中和的技术进行深入研究，希望可以提升新能源发电系统的性能与运行稳定性。实践表明，企业应持续加强基础研究与工程实践结合，推动电力电子技术向高效、智能、绿色方向发展，为实现能源转型与碳中和目标提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1] 陈木斌. 基于云原生构建新能源发电设备监控系统[J]. 工业控制计算机, 2025, (07): 49-50.
- [2] 邢金, 白阳, 陈亮, 等. 基于多场景划分的新能源发电主动配电网优化研究[J]. 能源与环保, 2025, (07): 213-220.
- [3] 黄凯文. 新能源发电预测与电力系统灵活性提升策略研究[J]. 电气技术与经济, 2025, (07): 371-373+377.
- [4] 王宁. 新能源时代电力电子技术在风力发电中的应用分析[J]. 工程建设与设计, 2025, (10): 40-42.
- [5] 杨威. 新能源时代电力电子技术在风力发电中的应用分析[J]. 电气技术与经济, 2023, (08): 54-56.