电气自动化在光伏发电中的应用探究

章逸辰
中能建国际建设集团有限公司　北京　100025

摘　要：在新能源产业快速推进的行业背景下，光伏发电凭借清洁低碳、资源可再生的优势，成为电力体系升级发展的重要方向。光伏发电受光照、温度等自然因素影响极大，输出功率存在明显波动与间歇性。本文梳理光伏发电与电气自动化的基础理论，重点研究最大功率点跟踪控制、自动稳压恒功率控制、并网自动化控制、智能数据采集与故障防护等自动化技术的应用路径。

关键词：电气自动化；光伏发电；应用

引言

传统光伏发电系统多采用固定运行模式，缺少动态调节能力。系统运行监测、参数调整、故障排查长期依赖人工操作，整体调控精度不足，响应速度滞后，无法适配光伏动态变化的运行特点。容易出现发电效率偏低、电能参数不达标、并网稳定性差、设备隐患积累等一系列问题，在一定程度上制约了光伏发电的推广质量与供电可靠性。电气自动化技术具备实时监测、自动调控、智能防护、远程运维的技术特点，能够弥补传统光伏系统运行管控的诸多不足，可以根据实时工况完成自适应调节，实现发电全过程的精细化管控。

1 光伏发电与电气自动化相关理论基础

1.1 光伏发电系统工作原理与系统组成

（1）光伏发电的核心工作原理基于半导体光电效应，当太阳光辐射照射至光伏电池表面时，光子能量会被电池内部的半导体材料吸收。材料内部的电子受到光能激发会脱离原有束缚状态，形成自由电子与空穴。两类载流子在内部电场的引导下发生定向移动，进而在电池两端形成稳定的电势差。外接负载回路接通之后就会产生持续电流，最终完成太阳能到电能的物理转化过程。光照强度、环境温度以及电池自身性能状态，都会直接影响光电转化效率与输出功率的稳定性。（2）完整的光伏发电系统结构组成层次清晰，主要分为光伏阵列、电能变换设备、控制系统以及辅助配电设备几个核心部分[1]。光伏阵列是系统的能量采集单元，由大量光伏组件通过串联与并联组合而成，负责大面积接收太阳辐射并完成基础电能输出，是整个发电系统的基础核心结构。（3）光伏阵列输出的电能为不稳定的直流电，无法直接满足并网供电和设备用电的标准需求，需要依托电能变换单元完成电能形式优化。逆变器是其中的核心设备，可以将波动性直流电转换为频率与幅值稳定的交流电，适配电网供电标准。（4）控制系统与传感监测设备是保障系统稳定运行的关键单元，也是电气自动化技术的主要落地载体。相关设备可以实时采集光照参数、组件温度、输出电压电流等运行数据，实现发电状态的实时监测与运行参数的自动调控。辅助配电与保护装置负责完成电能输送、电路保护与负荷适配工作，可以有效规避过载、短路、漏电等异常工况带来的系统运行风险。各单元相互配合协同工作，共同构成完整且可稳定运行的光伏发电体系。

1.2 光伏电池工作特性与输出影响因素

（1）光伏电池具备非线性的电气输出特性，区别于常规稳压供电设备。在常规光照与温度条件下，光伏电池的输出电流会随着负载阻值变化产生小幅波动，输出电压整体保持稳定。当负载条件发生持续变化时，电池输出功率会呈现先升高后降低的变化趋势。整个变化过程存在一个最优工作区间，也就是最大功率输出点。光伏电池的电压电流特性曲线和功率电压特性曲线均呈现非线性变化特征，这种动态变化特性也是光伏系统需要依靠自动化技术进行实时调控的根本原因。（2）光照强度是影响光伏电池输出性能的核心外部因素。光照条件的变化会直接改变光伏电池内部光子激发数量，改变载流子的生成效率。光照强度提升时，光伏电池的短路电流会出现明显增长，整体输出功率随之增大。光照强度减弱时，电池发电能力会快速下降，直接造成发电功率大幅衰减。自然环境下的光照条件会随天气和时段持续变化，让光伏电池的输出状态始终处于动态波动过程。（3）环境温度同样会对光伏电池的工作性能产生显著影响。温度变化不会直接改变电池的短路电流数值，但会对电池开路电压产生明显抑制作用。环境温度持续升高会造成光伏电池内部半导体材料性能衰减，开路电压逐步降低，最终导致整体光电转化效率下降。长期高温运

行还会加剧电池组件老化速度，缩短设备使用寿命。

1.3 电气自动化技术核心原理与技术优势

（1）电气自动化技术的核心运行原理以闭环自动控制理论为基础。整套技术体系通过前端传感设备实时采集系统运行的电压电流、功率、温度等各类运行参数。采集得到的数据会实时传输至核心控制单元进行集中运算分析。控制系统会结合预设的运行标准和实时工况差异，自动输出对应的调节指令，驱动执行设备完成参数修正与工况调整[2]。整个过程可以持续循环开展数据采集、对比分析和自动调节工作，形成不间断的闭环控制体系，实现电气系统运行状态的动态平衡。（2）相较于传统人工管控模式，电气自动化技术具备极强的实时调控能力。光伏系统受环境影响波动频繁，人工值守很难做到全天候不间断监测与调整。自动化控制系统可以二十四小时持续监测设备工况，及时捕捉细微的参数波动并完成精准修正，有效弥补人工操作存在的滞后性问题。（3）电气自动化技术还具备数据智能化处理与自主防护的优势，系统可以自动记录各类运行数据，完成数据整理与状态分析，为后期运行优化提供数据依据。当系统出现过载、电压异常或设备故障等问题时，自动化防护机制可以自主触发保护动作，及时切断故障回路或调整运行模式，降低设备损坏概率。（4）电气自动化技术可以实现设备远程管控与多模块协同运行。能够有效减少现场人工值守的工作压力，降低人为操作失误带来的运行隐患，全面提升光伏发电系统的发电效率、运行安全性与整体管理水平。

2 电气自动化在光伏发电系统中的具体应用

2.1 基于自动化技术的光伏最大功率点跟踪控制

（1）最大功率点跟踪控制是电气自动化在光伏系统发电调控中的核心应用内容。该控制技术依托自动化检测单元，持续采集光伏阵列的实时输出电压与电流参数。通过内置控制算法对实时功率数值进行持续运算对比，快速判别当前工作点与最大功率点的偏差状态。控制系统可以根据工况变化趋势，自主输出调节指令，动态修正光伏系统的工作电压与负载匹配状态。（2）相较于传统固定工况运行模式，自动化跟踪控制可以实现全天候动态自适应调节。面对日间光照逐步增强、傍晚光照持续衰减以及短时云层遮挡造成的光照突变等复杂工况，跟踪控制模块都可以快速响应环境变化[3]。及时捕捉功率波动趋势并完成工作点修正，避免系统长期偏离最优发电区间。这种实时调节能力能够大幅弱化外界环境波动对发电效率造成的负面影响。（3）自动化跟踪控制技术还可以有效解决多组件匹配失衡带来的功率损耗问题。光伏阵列由大量组件组合运行，不同组件存在轻微性能差异，长期运行后会出现衰减程度不一致的情况。自动化控制系统可以通过精细化单点调控，弱化组件不匹配造成的功率塌陷问题，提升整体阵列的发电利用率。（4）依托电气自动化技术实现的最大功率点跟踪控制，响应速度更快，调控精度更高，全程无需人工干预。可以稳定挖掘光伏组件的发电潜能，持续提升光能转化利用率，从核心调控层面改善传统光伏系统发电效率低、工况适配性差的突出问题，为光伏系统高效稳定运行提供重要技术保障。

2.2 光伏电站自动稳压与恒功率控制应用

（1）自动稳压控制是光伏系统稳定运行的基础保障技术。该功能依托自动化传感单元不间断采集光伏侧输出电压、并网侧电压等关键参数。控制系统通过实时比对标准电压阈值与实际运行数值的偏差，自主驱动电力电子调节设备完成动态修正。在电压出现异常升高时及时抑制幅值波动，在电压偏低时适当补偿输出参数，让系统电压始终维持在规范允许的合理区间，避免电压超限带来的运行隐患。（2）恒功率控制则主要针对光伏出力不稳定的问题进行专项优化。传统光伏系统任由输出功率随环境变化自由波动，无序的功率波动会增加电网调峰压力，也会造成站内负荷适配混乱。自动化恒功率控制可以根据系统运行需求锁定目标输出功率，当外界环境小幅变化引发功率浮动时，控制模块能够自主调节光伏阵列的工作状态。通过动态匹配负载输出和电能转换参数，抵消环境波动带来的功率扰动，保证整体输出功率保持平稳状态。（3）自动稳压与恒功率控制相互配合，能够实现光伏系统输出工况的双向稳定调控。稳压控制负责保障电能参数质量，恒功率控制负责平衡整体出力水平，两者共同弱化光伏发电间歇性与波动性带来的负面影响。整套控制过程全程由设备自主完成，无需人工实时干预，响应速度远高于传统人工调节方式。

2.3 光伏并网自动化控制技术应用

（1）光伏并网自动化控制的核心作用是实现光伏侧发电参数与电网运行参数的精准匹配。电网运行对电压幅值、频率以及相位都有着严格的规范要求。光伏阵列输出的电能具备随机性波动特征，未经调控的电能无法直接安全并入电网。自动化控制系统可以实时采集电网运行状态参数与光伏输出参数，通过内部运算逻辑实时比对双方参数差异[4]。依托电力电子调节装置完成动态修正，让光伏输出的电压、频率和相位始终贴合电网并网标准，满足安全并网的基础条件。（2）在并网运行过程中，自动化技术能够实现并网状态的动态监测与持续

优化。系统会全程跟踪电网负荷变化趋势，根据电网的承载能力自主微调光伏输出功率。避免光伏出力过大造成电网负荷过载，或是出力不足导致电网电能空缺失衡的问题。这种动态适配能力可以有效缓解光伏发电随机性带来的电网冲击，降低并网过程中的电能扰动。（3）光伏并网自动化控制具备完善的异常工况自适应处理能力。当电网出现电压偏移、频率震荡或者线路故障等异常情况时，自动化控制系统可以快速识别故障类型与风险等级。根据预设保护逻辑及时完成功率限制、柔性调压或紧急脱网等操作，有效规避故障扩散造成的设备损坏和电网事故。在电网工况恢复正常后，系统还可以自主完成参数复位与重新并网，保障发电并网工作的连续性。依托电气自动化技术构建的智能并网控制体系，彻底改变了传统被动式的并网管控模式。通过实时参数匹配、动态功率调节和故障自主防护，有效解决了光伏并网稳定性差、可控性弱的行业难题，显著提升光伏电能并网质量，为光伏电站并网常态化、安全化、高效化运行提供可靠技术支撑。

2.4 光伏系统智能检测与数据自动采集技术应用

（1）智能检测依靠各类传感器件完成底层状态感知，不同功能的传感装置布置在光伏阵列、逆变设备以及并网回路的关键位置。传感器可以对组件工作温度、环境光照强度、回路电压电流、实际输出功率等多类物理量进行实时感知。各类传感单元能够把设备运行产生的物理信号转化为可识别的电信号，为后续的数据传输与处理提供原始素材。整套检测工作可以不间断开展，不受昼夜和天气条件的约束，弥补人工巡检在时间维度上的局限性。（2）数据自动采集模块负责接收传感装置输出的信号，完成信号整理、过滤与初步甄别。采集单元会筛除环境干扰带来的无效噪声数据，保留具备参考价值的有效运行信息，再将处理之后的数据向上传输至控制处理单元[5]。该技术改变过去定时抽样记录的工作模式，能够实现高频次连续采集，完整还原光伏系统随外界环境变化的全部运行过程。（3）采集得到的完整数据可以供给上层控制系统开展运算分析。控制系统依托采集的实时数据完成最大功率点跟踪、稳压调节以及并网参数修正等一系列控制动作。历史采集数据还可以留存归档，用来分析设备长期运行的变化趋势，识别组件性能衰减、设备隐性缺陷等不易直接察觉的问题。（4）智能检测与自动采集技术打通了光伏系统状态感知的数据链路，摆脱对人工读数与人工记录的过度依赖。既提升运行数据的采集精度与完整度，也降低现场运维人员的工作负担。为光伏系统各类自动化控制功能的落地实现提供前提条件，是光伏电站实现智能化管控不可缺少的基础技术环节。

结束语

综上所述，电气自动化技术能够实现光伏系统运行参数的实时监测与动态调节。可以有效抑制发电功率波动，提升光能利用效率，改善并网电能质量，同时降低人工运维压力与设备故障风险。相关技术能够全面提升光伏电站运行的稳定性、安全性与经济性。未来可以结合智能算法、大数据分析与远程物联网技术，进一步完善光伏系统全自动化、智能化管控体系，持续提升光伏发电系统的运行精度、稳定水平与综合效益，助力新能源电力行业的高质量发展。

参考文献

[1]王珂,姜红军,张浩.电气自动化在光伏发电中的应用探究[J].今日自动化,2026,(2):65-66+69.

[2]李贺龙.电气自动化技术在光伏发电中的应用研究[J].电气技术与经济,2026,(3):151-153+157.

[3]许显晖.电气自动化在太阳能光伏发电中的应用研究[J].消费电子,2026,(5):188-190.

[4]张书妍.电气自动化控制技术在农网光伏接入中的应用[J].光源与照明,2026,(6):140-142.

[5]彭友君.光伏发电系统电气自动化控制技术的应用[J].电气时代,2026,(1):122-125.