

光伏项目设备运行逻辑优化与参数精准调校技术研究

张家若

大唐蒲城第二发电有限责任公司 陕西渭南 715501

【摘要】随着世界范围内对清洁能源及低碳发展的需求日益迫切，光伏发电已经成为最主要的可再生能源形式，并网规模大且占比高成为其发展趋势；但因受不可控因素的影响，以及自身固有的间歇性、随机性的特点，这对电力系统安全稳定经济运行带来巨大挑战，为此，本文主要目的旨在对光伏设备运行优化基础理论、关键技术及总体方案、工程化实施方法进行全面探讨研究；首先对光伏组件非线性出力特性以及在智能电网下多源互补情况进行深入分析；随后对最优功率跟踪、逆变器自适应控制及最大化效益下的系统协同优化关键技术原理进行了深入分析并给出系统集成方法设计，同时给出了全生命周期的性能评估方法总结。综上所述，通过对运行工艺进行智能优化，对参数进行合理调节，能够提升光热发电系统集成热效率、可靠性及经济性水平，为光热发电项目实现信息化、智慧化奠定了基础。

【关键词】光伏项目；设备运行；逻辑优化；参数调校

Research on Operational Logic Optimization and Parameter Precision Calibration for Photovoltaic Project Equipment

Zhang Jiaruo

Datang Pucheng No.2 Power Generation Co., Ltd., Weinan, Shaanxi 715501

【Abstract】 With the growing global demand for clean energy and low-carbon development, photovoltaic power generation has become the primary form of renewable energy, characterized by large-scale grid integration and high penetration rates. However, its inherent intermittency and unpredictability pose significant challenges to the safe, stable, and economical operation of power systems. This study comprehensively explores fundamental theories, key technologies, and implementation strategies for optimizing photovoltaic equipment operations. The research begins with an in-depth analysis of the nonlinear output characteristics of photovoltaic modules and multi-source complementary scenarios in smart grids. Subsequently, it delves into critical principles of optimal power tracking, inverter adaptive control, and system coordination optimization for maximum efficiency, while proposing integrated system design methodologies and comprehensive lifecycle performance evaluation approaches. Through intelligent optimization of operational processes and rational parameter adjustments, this study enhances the thermal efficiency, reliability, and economic viability of concentrated solar power systems, laying the foundation for digitalization and intelligent transformation in photovoltaic power generation projects.

【Key words】 photovoltaic project; equipment operation; logic optimization; parameter tuning

1 引言

当前，光伏行业蓬勃发展，并逐步由补充能源向主力能源发展。这不仅体现在光伏发电装机规模迅速扩大上，在光伏电源侧与电网之间交互模式上也在发生变化，即从被动地“并网运行”的并网电源转变为能够参与调频、调压及提供稳定支撑的“友好型电源”。然而，光伏发电效率和发电量受到太阳辐射度的变化、温度变化和阴影影响非常大，导致光伏组件的 P-U 特性曲线和 MPPT 的位置时刻都在发生

变化，在受影区可能会出现多个峰点的情况，致使传统控制方法很容易陷入局部最优解，由此造成巨大的能量损失。而且在智能电网下多种能源协同工作的复杂环境下，光伏发电设备还需要具备更强的预判性、控制性和调节能力，以满足电力系统的调度需求以及整个系统运行的总成本及污染物排放最小化的要求。

针对上述问题，研究如何从光伏项目设备本身的工作机理及参数精准整定出发提升整个系统运行效率是解决问题的关键点。工作机理决定设备对外部变化响应的方式，而参

数是对该方式执行的一种参照依据。传统的基于静态参数、预设工作机理的控制策略已不能适应复杂多变的高动态化环境。因此,本文研究的重点是探索将人工智能、先进控制方法、大数据分析以及电力电子技术的优势相结合,形成能自适应、能自我学习、能自动优化的一种光伏装置智能管理方案,以期光伏发电场实现更为经济性、可靠性及高效性的目的提供整体化的技术研究框架。

2 光伏设备运行逻辑优化理论基础

2.1 光伏系统运行特性与核心挑战

对于光伏发电系统而言,主要的问题是该系统的电源不稳定以及设备的工作状态不稳定性。因为光伏电池组件发电的电流、电压、力矩受光照条件和工作温度的影响是非线性关系,所以其最大功率点的位置在不断变化着。具体来说,若因云影、树影或建筑阻挡导致部分光伏面受遮挡,则其电压曲线会出现多个峰值,极大增加了最大功率点追踪难度。此外,大型光伏场站常布置在开阔区域,各地方小气候条件不一,此外各个单元模块老化速率也不尽相同,导致整个光伏面的输出特性呈现非均匀性,“木桶效应”,减少整体输出功率。在系统层面上,太阳能电池出力具有间歇性和随机性,这又违背了电网运行稳定性要求,尤其对于分布式光伏资源丰富的区域,容易引发电网电压越限、功率反送等问题,因此对太阳能电池发电设备提出自动支撑电网的要求。

2.2 智能电网环境下的优化运行目标

在智能电网的发展模式下,光伏系统的建设目标由单纯的“提升发电量”转变为全方位的“综合效益最优”,这也就要求光伏设备不再只是一块简单的能量转换器,而是一个能够调节、适应的智能化电网单元。至少要具备以下改善条件:首先是成本控制方面,即通过分时电价、市场交易等,智能调节以使出力曲线变化匹配峰值负荷时段,实现全寿命周期内出力收益最大化,而非单纯追求总发电量增长。二是可靠性层面,即通过网状管理等措施。三是安全,即在电网故障及扰动发生时,能够自组织提供稳定的电压、频率支撑以提高电网的韧性。为了保证设备不处在不良的状态下运行,保障电厂运行的安全性,在上述所列举的各种优化目标实现的过程中都需要一个能够进行全方位感知、智能分析以及精准控制的有效工作机制来支撑其完成。

3 参数精准调校关键技术

3.1 最大功率点跟踪技术的智能化演进

最大功率点追踪是提升光伏阵列发电效率的重要环节,传统的方法有扰动观察法以及电导增量法,在大范围均匀光照下运行良好,但在不同变化情况下的光照条件下可能会出现误判的情况。目前的研究热点是利用混合智能优化算法实现关键变量在线搜索与寻优。如一种优化模糊遗传自调系统将模糊控制器的比例度、隶属度函数参数等编码为基因串,利用遗传算法全局最优解的优点进行搜索;该方法能以较少的参数得到较理想的动特性曲线,在大扰动情况下仍具有跟踪精度高及收敛速度快等特点。另一种抗冲击方法考虑到对光伏系统模态不确定性的处理,并为恒定阶次设计鲁棒控制器。利用瞬时气候信息更新经典扰动观测器来获得最优参考电压,在包含未知的系统模型的基础上构造控制器,其参数是求解加权混合灵敏度问题的结果。从而保证了跟踪动态特性的同时具有很好的抗模型误差以及外界扰动的能力,在气象突变或者负荷变化的情况下也表现出了良好的鲁棒性。以上这些方法都促使最大输出电压点的跟随方式从“追随既定路径”转变为“自主探寻最优”,是本质上的变化。

3.2 构网型逆变器参数自适应控制技术

随着新能源渗透率越来越高,具有自主建立试验电力系统电压和频率的能力而备受关注,但是如何实现控制参数自整定以适应电网阻抗变化从而保证输出稳定是其主要挑战之一。采用瞪羚算法训练卷积神经网络解决上述问题。首先构建构网型逆变器控制器模型,利用卷积神经网络建立从系统状态信息到控制量的映射关系,并采用收敛速度快、全局优化能力强的瞪羚算法对卷积神经网络进行超参数调优,以提升其特征提取的能力。最后将该模型应用于根据在线采集的电网阻抗等信息自适应获得最优逆变器控制参量,并实现基于电网阻抗变化的自适应稳定控制,说明了逆变器控制从单纯依赖精确的离线模型及固定参量向利用在线学习和实时优化的方向演进。

3.3 面向系统收益最大化的协同调校

对电厂级而言,调节参数目标为最大发电效益这一最终经济目标,这就意味着调控手段应深度嵌入到电力市场规则之中。例如,针对智能跟踪支架,其控制模式已从“追日而动”的获取最短照射距离,从单纯的根据时间点电价、地理位置以及天气状况等单一因素进行判断,升级为综合考虑以上各类影响因素做出的智能化决策。先进的智能跟踪系统可以通过对不同场景因子分析,比如针对大雾天气可以采取较小角度增加反射光收集量,对于地形复杂情况可以精准控制角度避免前后遮挡等。甚至还可以根据峰谷电价不平衡的特点来自动调节方向,让高峰时段的发电恰好对应高峰电

价,从而实现提高发电率的同时获得更高的赢利增加额。此外为了满足“自产自用电量不上网”的规定要求,防倒灌措施参数设置也很重要。该项目通过对电网节点处的智能电表实时监测上网电流,若发现有反向送电现象,则在管理服务器端及时给群集中的并网逆变器下发减小出力指令。为确保此种控制方式的有效性精确度,在具体实施中需合理配置并网逆变器台数、响应速度、负载特性等参数。因此既保障了用户的切身利益又保证了电网安全稳定运行。

4 设备运行优化系统集成方案

4.1 智能化监控与全维度数据采集体系

对光伏系统而言,一切的基础都是在数据的基础上进行运行优化。为了能做有效的优化决策,首先要保证它是可观测可度量的。用先进技术比如给光伏组件、线缆、逆变器一直到箱变加装智能电表、传感器以及通讯模块搭建起一套全链条的数据采集体系。该系统不仅要高精度秒级或者分钟级的电量信息如电压、电流、功率以及温度进行实时监测,还需加入气象站信息及设备状态信号乃至视频图像资料。为了克服分布式光伏发电系统的逆变器种类多、通信协议不一的情况,特别设计了规约转接器及接口转接器等将各类异构数据转为标准协议,再传回至监视中心形成全景可视化的监视界面。深度整合也可以体现在数据分析及挖掘层面,通过独特的损耗追踪分析技术以及能效差异性分析机制,将低效环节自动标示出来,并对产生发电损耗的原因进行剖析,有助于后续配置优化及管理决策提供可视化依据。

4.2 协调控制与柔性功率调节系统

在全面感知的基础上,系统应该具备弹性和适应性,即能够根据电力系统指令或是自身优化方式准确控制发电机。因此就需要设计一个多层次的多级协调管理系统,在这个下层当中,每一个逆变器以及跟踪支撑机构都是执行指定的调

功和调压命令。而站级则部署智能策略控制主机作为“脑”,集成自治驱动控制、自动电压控制、防逆流控制、智能追光策略等多类高级应用算法,既可以接收电调指令,又可以基于自身发电收益优化模型计算出全站最优功率分配方案及参量整定值,最后下发至各个执行机构。其中柔性调节就是关键环节之一,在用电高峰时可平滑地降低光伏出力,在发生部分阴蔽现象时可通过动态切换各串并列运行点以降低失配损失。这种集群控制能力及方式使得光伏电站从单纯的被动型电源转变为一种能主动与电网互动的友好电源。

5 结语

对于光伏组件运行及精细化调参而言,是实现光伏产业从规模发展向质量发展的关键性技术路径之一。该研究总结归纳了从组件级最大功率点追踪自动寻优、单元级逆变器自适应,到系统级多目标协同优化在内的多项技术体系,并具体给出了上述技术的具体智能监控以及协同控制集成方案,并给出确保上述方案可行的检验方法。本文的研究也指出了一些进一步发展的思路:第一,控制对象将更为复杂而以经济为首要目标,改善手段也将从单纯的最优出力转化为基于复杂的电力市场的最优。第二,在其过程中会运用到人工智能技术,不仅限于在设置参数方面,还会利用它来制作数字孪生体、预测设备寿命及安排全站作业。第三,电力系统之间互动更加智能自由化,由于光伏电站在一个大规模电网中作为核心组成部分之一,其运行方式将会全面参与到大规模电力系统调控运行当中,并主动参与多种辅助服务供给,例如:调峰、调频以及备用等等。由此可见,未来的光伏电站在不断迭代自身运行逻辑及参数后,最终成为具备充分自治能力、智能协同能力和价值最大化功能的生产、调节节点,将成为构建新型电力系统的必备核心基础。

参考文献

- [7]谢佳彧.基于DAB型单级DC-AC变换器的光伏并网微型逆变器控制策略研究[D].哈尔滨工业大学,2025.
- [8]秦颖婕,樊玮,杨诚,等.基于深度学习的光伏储能电站负荷模糊逻辑优化控制算法[J].机械与电子,2024,42(07):31-35.
- [9]蒋德玉,张恒,林刚,等.基于模糊逻辑的光伏微网智能运行控制方法研究[J].电子设计工程,2024,32(14):121-124+129.
- [10]谢炜.基于模糊逻辑的水库光伏发电MPPT研究[J].科技视界,2024,14(17):61-65.
- [11]朱乐,刘云,沈岩,等.M701F4型燃气-蒸汽联合循环机组FCB试验的分析与研究[J].电气技术与经济,2024,(05):56-63.
- [12]王宛阳,朱立颖,张明,等.黑猩猩算法优化光伏MPPT的研究[J].电源技术,2024,48(03):426-432.
- [13]曹同屹.基于PV_{sys}的光伏与储能系统仿真[J].中外能源,2021,26(11):20-27.

作者简介:张家若,1975.6,男,汉族,陕西蓝田人,本科,高级工程师,研究方向:新能源。