

光伏并网变电站继电保护及并网方式改进的研究

张开远

五凌电力有限公司宁夏分公司 宁夏 银川 750200

摘要：光伏并网给变电站继电保护带来显著挑战，传统保护配置与动作逻辑难以适应光伏出力波动特性。本文围绕光伏并网变电站继电保护及并网方式改进展开研究，分析光伏出力间歇性对短路电流、潮流方向及保护动作逻辑的影响机理，提出继电保护配置优化、动作逻辑改进及与光伏特性适配的系统方案，同时从并网方式结构、并网接口及动态适配三个层面给出改进策略，为提升光伏并网变电站运行安全性与保护可靠性提供理论支撑与技术路径。

关键词：光伏并网变电站；继电保护；并网方式；适配改进

引言：随着光伏能源规模化发展，光伏并网变电站作为电能转换与传输的核心枢纽，其运行稳定性直接关系到光伏电能的高效消纳与电网安全。光伏电源的波动性、间歇性的特点，与传统电源存在显著差异，导致现有继电保护系统难以充分适配，并网方式也无法完全满足光伏并网的运行需求，出现保护误动拒动、并网冲击等问题。因此，深入分析光伏并网变电站运行特性与现存问题，探索科学合理的继电保护与并网方式改进路径，对推动光伏能源高质量并网、保障电网稳定运行具有重要意义。

1 光伏并网变电站核心构成与运行特性

1.1 光伏并网变电站主要设备构成

光伏并网变电站设备配置围绕电能转换、传输与调控需求展开，形成协同运作的完整体系。升压箱变是能量转换的核心设备，集成光伏专用干式变压器与低压开关柜，将光伏逆变器输出的低压交流电升至电网适配的高压等级，同时实现光伏阵列与电网的电气隔离，降低运行损耗^[1]。预制舱式开关站集成一次与二次设备，一次设备包含并网柜、计量柜、出线柜等，负责电能的通断、计量与传输；二次设备涵盖监控主机屏、综合保护

屏、SVG无功补偿柜等，实现运行数据监测、故障保护与电能质量调控。此外，站内还配置电化学储能设备与远动装置，前者用于平抑光伏出力波动，后者实现与上级调度系统的数据交互与指令执行。在实际工程中，一座典型的110kV光伏并网变电站通常配置2台主变压器，总装机容量在50MW至100MW之间，储能系统容量按光伏装机的10%至15%配置，远动装置采用双机热备方式运行，确保调度指令的可靠执行与数据回传的连续性。

1.2 光伏电源并网的基本运行规律

光伏电源并网运行的核心规律由光伏出力特性与电网接入要求共同决定。光伏出力受太阳辐射强度、温度等自然因素影响，呈现显著的波动性与间歇性，日内出力整体呈钟形分布，云层移动、沙尘等会引发短时剧烈波动，季节变化也会导致出力出现明显差异。光伏电源并网后，需通过逆变器将直流电转换为交流电，经最大功率点跟踪技术实时调整工作点，确保光伏组件始终运行在最大功率输出状态，如图1所示。并网运行过程中，需维持输出电压、频率与功率因数符合电网接入标准，通过无功补偿设备动态调节无功缺额，保障电能质量满足并网要求，实现与电网的高效协同运行。

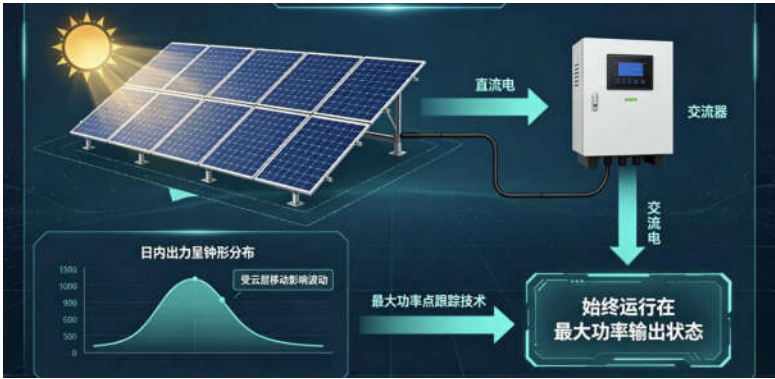


图1

1.3 光伏并网对变电站运行的影响

光伏并网给变电站运行带来多方面影响,既改变传统运行模式,也带来新的调控挑战。光伏出力的波动性会导致变电站母线电压波动与频率偏差,增加站内调度调控难度,若波动超出调节范围,可能影响设备正常运行。大规模光伏并网可能改变变电站潮流分布,部分区域出现电能倒送现象,加重输电通道负荷,甚至引发局部电压越限。此外,光伏并网后,变电站保护装置需适配出力波动特性,传统保护定值需进行优化调整,否则可能导致保护误动作,影响变电站运行安全。同时,光伏并网也推动变电站向智能化、灵活化转型,对站内监控系统与调控能力提出更高要求。

2 光伏并网变电站继电保护现存问题

2.1 继电保护配置存在的不足

继电保护配置缺乏针对性,未能充分结合光伏并网的出力特性与故障特点进行优化设计。部分变电站仍沿用传统电网的继电保护配置方案,未考虑光伏电源低惯性、低短路容量的特性,导致保护装置覆盖范围存在盲区,难以对光伏并网环节的各类故障进行全面监测与快速响应^[2]。保护装置选型存在偏差,部分设备不具备适配光伏出力波动的能力,在出力剧烈变化时易出现保护灵敏度不足的情况,无法及时识别轻微故障,埋下安全隐患。此外,保护系统的冗余配置不合理,关键环节未设置备用保护装置,一旦主保护装置出现故障,无法快速切换至备用装置,延长故障处置时间,扩大故障影响范围。

2.2 继电保护动作逻辑存在的缺陷

继电保护动作逻辑设计未能适配光伏并网后的故障特征,导致动作可靠性不足。传统继电保护动作逻辑以固定时限与固定定值为核心,未考虑光伏出力波动对故障电流、电压的影响,在光伏出力较低时,故障电流幅值较小,保护装置易出现拒动现象;在出力骤增时,又可能因电流突变引发误动。动作逻辑的协同性不足,不同保护装置之间的动作时限未进行合理匹配,易出现保护越级动作的情况,导致故障切除范围扩大,影响电网运行稳定性。同时,动作逻辑中未融入光伏逆变器的控制特性,逆变器的低电压穿越功能会改变故障时的电流特性,导致保护装置无法准确判断故障类型与故障位置,影响动作准确性。

2.3 继电保护与光伏并网特性的适配问题

继电保护系统与光伏并网特性之间的适配性不足,成为制约保护性能发挥的关键因素。光伏电源的间歇性与波动性导致变电站故障电流呈现随机性与不确定性,传统继电保护的定值设定多为固定值,无法根据光伏出

力的实时变化进行动态调整,导致保护精度下降。光伏并网后,变电站潮流方向可能发生反转,传统继电保护的方向元件设计未充分考虑这一情况,在潮流反转时易出现方向判断错误,导致保护装置误动或拒动。潮流方向判据可通过功率表达式 $P=3UI\cos\varphi$ 判断,式中 φ 为电压与电流的相位差,当 $P>0$ 时潮流为正向(从电源流向负荷),当 $P<0$ 时潮流为反向(电能倒送),传统方向元件未适配 $P<0$ 的场景,易出现方向判断偏差。此外,继电保护系统与光伏监控系统、储能系统的信息交互不畅,无法实时获取光伏出力、逆变器运行状态等关键数据,难以实现保护动作的精准调控,进一步降低保护系统的适配能力。

3 光伏并网变电站继电保护改进方案

3.1 继电保护配置优化思路

结合光伏电源短路支撑能力薄弱、系统转动惯量偏小的运行特质,对变电站继电保护配置开展系统性优化,突破传统电网保护布设的固有局限。依据光伏并网故障差异化特征重新划定保护监测区间,补齐原有保护体系的监测空白,针对并网线路、升压设备及逆变单元等核心设备增设专属保护模块,强化故障信号捕捉与异常工况识别能力^[3]。优选高抗扰动、高灵敏度的智能保护设备,适配光伏功率随机波动的复杂运行工况,削弱出力波动对故障识别精度的干扰。合理梳理保护层级架构,在电网关键输电节点增设后备保护,完善主备保护联动投切机制,有效缩短故障持续时长、严控故障扩散范围。

3.2 继电保护动作逻辑改进方法

为改善传统固定定值保护逻辑适配性较差的问题,结合光伏并网故障演化规律优化继电保护动作判定机制。摒弃恒定参数运行的传统模式,搭建依托光伏实时功率数据的自适应参数调节体系,依据光伏出力动态修正保护定值,有效解决低出力工况下故障电流微弱引发的保护拒动、出力骤变导致的保护误动问题。规范各保护单元的层级关系与动作时序,优化保护配合逻辑,规避越级动作问题,精准隔离故障区域,保障非故障区域电网平稳运行。结合光伏逆变器低压穿越电气特性,优化保护判定运算流程,融合逆变器实时运行数据,提升故障位置与故障类型的识别精准度,大幅降低保护误动、拒动概率。

3.3 继电保护与光伏并网特性的适配改进

为解决继电保护与光伏并网特性适配性不足的问题,依托智能技术实现保护系统与光伏运行工况的深度适配。针对光伏出力随机性导致的故障电气量多变问

题,构建智能参数自适应调控体系,动态微调保护阈值,提升复杂工况下的故障识别精度。优化保护方向判别逻辑,适配光伏并网后电网潮流反转的运行工况,保障潮流双向切换时故障方位判断的准确性。打通继电保护系统与光伏监测、储能调控平台的数据交互通道,实现光伏出力、逆变器工况等核心数据实时共享,消除信息孤岛。优化数据传输链路,降低信号传输时延,全面提升继电保护系统对光伏并网复杂工况的动态适应能力,保障变电站并网运行的稳定性与可靠性。

4 光伏并网方式改进方案

4.1 并网方式结构优化设计

并网方式结构优化需立足光伏电站规模与电网接入条件,打破传统集中式并网模式的局限性,构建灵活多样、适配性强的并网结构体系。针对大规模光伏电站,优化集中式并网结构的拓扑设计,简化输电链路层级,减少电能传输过程中的损耗,同时合理划分并网分区,实现光伏出力的分散调控,降低单一区域出力波动对电网的冲击^[4]。对于分布式光伏电站,推广组串式并网结构,结合用户侧用电需求优化接入点布局,实现光伏电能的就地消纳,减少远距离传输带来的损耗与调控压力。优化并网结构中的储能配套设计,将储能系统与并网结构深度融合,通过储能设备平抑光伏出力波动,缓解并网冲击,提升并网结构的灵活性与稳定性,同时优化储能与并网的联动调控机制,确保储能设备能够精准响应光伏出力变化与电网调控需求。

4.2 并网接口改进方法

并网接口作为光伏电源与变电站、电网衔接的关键环节,其性能直接决定并网的顺畅性与电能质量,改进核心是提升接口的兼容性、稳定性与调控能力。优化并网接口的电气参数设计,调整接口电压、频率调节范围,适配光伏出力波动带来的电气量变化,避免接口参数不匹配引发的并网故障。升级并网接口的硬件配置,选用高性能的接口模块与信号转换设备,提升接口的数据传输效率与抗干扰能力,减少外部干扰对并网信号的影响,确保并网过程中电气量传输的准确性。完善并网接口的控制功能,增加接口的动态调节能力,能够根据电网运行状态与光伏出力变化,自主调整接口运行参数,实现并网电能质量的实时调控,同时优化接口的故障诊断功能,及时识别接口接触不良、信号异常等问

题,缩短故障处置时间,保障并网接口稳定运行。

4.3 并网方式与光伏电源特性的适配改进

推动并网方式与光伏电源特性深度适配,是提升光伏并网运行水平的关键,核心是破解光伏出力波动性、间歇性与并网稳定性之间的矛盾。针对光伏出力的自然波动特征,构建并网方式的动态适配机制,通过实时采集光伏出力数据,动态调整并网功率分配策略,避免出力骤增或骤减引发的并网冲击,确保并网功率与电网接纳能力相匹配。结合光伏电源低惯性、低短路容量的特性,优化并网方式的调控逻辑,引入柔性并网技术,通过电力电子设备的精准调控,缓解光伏并网对电网频率、电压的影响,提升并网运行的稳定性。打通并网方式与光伏监控系统、电网调度系统的数据交互通道,实现光伏出力、电网运行状态等关键数据的实时共享,为并网方式的动态适配提供数据支撑,同时优化适配调控算法,提升并网方式对光伏出力变化的响应速度,实现并网方式与光伏电源特性的动态协同,进一步提升光伏电能消纳效率与并网运行可靠性。

结束语

光伏并网变电站继电保护改进与并网方式优化,是保障新能源高比例接入下电网安全运行的关键环节。通过优化保护配置填补监测盲区,引入自适应动作逻辑解决固定定值与波动出力之间的矛盾,打通保护系统与光伏监控平台的数据交互通道,可显著提升保护动作的准确性与选择性。并网方式从结构拓扑、接口设计到动态适配的系统性改进,有效缓解了光伏出力波动对变电站运行的冲击,降低了潮流反转与电压越限风险。保护改进与并网优化的协同推进,为光伏并网变电站的安全稳定运行与电能高效消纳奠定了坚实基础。

参考文献

- [1]曹洋.光伏并网变电站继电保护整定优化研究[J].通信电源技术,2024,41(20):65-67.
- [2]马海峰,朱国超.基于并网方式改进的光伏并网变电站继电保护研究[J].通信电源技术,2023,40(23):40-42.
- [3]张媛.分布式光伏发电并网的继电保护影响分析[J].电工技术,2022(19):129-131,134.
- [4]顾翔.分布式光伏发电的继电保护策略分析[J].科学与信息化,2024(22):121-123.