

大规模分布式光伏接入对电网调控运行的影响及解决措施

李阳

国网河北省电力有限公司定兴县供电分公司 河北保定 072650

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12260

[摘要] 分布式光伏发电作为一种清洁、高效的能源形式,近年来在全球范围内得到了快速发展,分布式光伏电源的接入改变了传统电网的单一电源结构,使得电网的潮流分布、电压稳定性、频率控制等方面都发生了显著变化。因此,深入研究大规模分布式光伏接入对电网调控运行的影响,并探索有效的解决措施,对于保障电网的安全稳定运行、促进可再生能源的健康发展具有重要意义。在此背景下,本文探讨了分布式光伏电源的特点、接入模式及并网技术要求,分析了其对配电网调控运行的影响,包括电力平衡调度难度加剧、系统调频能力受损、局域调压受扰及孤岛效应等。为应对挑战,本文提出了电网调控技术与策略,如预测技术与智能控制、加强日常调度管理与防孤岛保护机制、确保光伏电源设备的安全运行等,以保障电网的稳定与高效运行。

[关键词] 大规模分布; 分布式光伏; 电网调控

1 分布式光伏电源的特点和接入模式

1.1 分布式光伏电源的特点

分布式光伏发电作为一种典型的清洁能源发电方式,其核心在于高效转换太阳能为电能,供给发电系统使用,系统核心组件包括逆变器、太阳能电池板和控制器^[1]。

①高度环保。分布式光伏电源在运行过程中几乎不产生噪音,同时也不会对水资源和大气环境造成负面影响,真正践行了绿色发电理念。②输出功率稳定适中。实践经验表明,分布式光伏系统的容量大多集中在几千瓦级别,其发电效率与太阳能发电站规模无直接关联,因此对经济效益的影响相对有限。③缓解电网压力。分布式光伏发电能够有效降低对传统化石能源的依赖,从而在一定程度上缓解区域用电紧张问题。尽管光伏发电的能量密度较低,且太阳能电池板安装位置受限,但其在减轻电网负担方面仍具有积极作用。④实现发电用电同步。分布式光伏接入配电网后,能够实现发电与用电的同步进行,促进能源的本地化消纳,提高能源利用效率。

1.2 分布式光伏的接入模式

分布式光伏系统是一种以太阳能为主要能源的发电方式。其接入配电网后,工作电压维持在10 kV及以下,与配电网形成互补关系,有效改善局部地区的供电状况,减轻供电压力。在分布式光伏接入配电网的过程中,为确保电网的稳定运行,必须严格控制单向并网的整体装机容量,确保其不超过6 MW,有助于保障电网的安全性和稳定性,同时充分利用分布式光伏系统的发电能力,为局部地区提供可靠的电力支持。

2 分布式光伏并网技术要求

2.1 有功功率调控

在分布式光伏系统的并网过程中,有功功率的调控至关重要的一环^[2]。无论分布式光伏系统是通过35kV还是10kV的电压等级接入电网,都需具备主动调控功能,以确保其出力偏差和出力变化率能够严格遵循电网调控机构所设定的具体指标,要求系统能够根据电网频率的实时波动以及电网调度机构的指令,进行灵活且适时的调整。对于380V接入的分布式光伏系统,若其设计有向公用电网输电的功能,必须严格遵循电网管理部门的相关要求,实施主动控制策略,以确保电网的稳定运行,而对于220V接入的分布式光伏系统,由于其容量相对较小,对电网的影响有限,因此通常不被要求参与有功功率的调节。

2.2 无功电压调节

分布式光伏并网的功率因数,是衡量其无功电压调节能力的重要指标。为了确保电网的稳定性和高效性,分布式光伏并网的功率因数应具备高度的可调节性,范围应在0.95(超前)至-0.95(滞后)之间,有助于电网管理部门根据实际需求,对分布式光伏系统的无功输出进行精确调控,

从而优化电网的电压质量和功率因数。

2.3 电网异常

2.3.1 电压穿越能力

35kV和10kV配电网中的分布式光伏系统需具备一定的低压和高压穿越性能,当并网点电压出现异常波动时,系统需能够保持在低压高压穿越区内的连续运行,且能在0.9至1.1倍的工作电压范围内保持稳定工作。有助于减少电网电压波动对分布式光伏系统的影响,从而提高其并网的可靠性。具体要求参考图1。

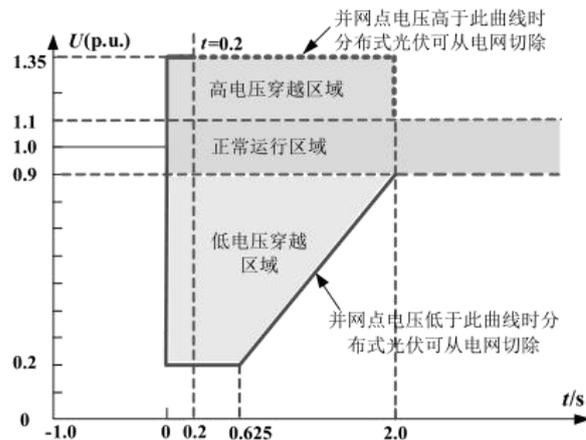


图1 分布式光伏的低/高压穿越要求

2.3.2 频率异常响应

对于通过10kV直接或35kV间接并入公共电网的分布式光伏系统,应具备一定的频率异常耐受能力,要求系统能够在49.5Hz至50.2Hz的频率范围内持续稳定运行,从而有效应对电网频率的异常波动。

2.3.3 防孤岛保护机制

分布式光伏系统需装备有高效的防孤岛保护装置,能够迅速识别孤岛状态,并立即切断与电网的连接,以防止孤岛效应对电网和分布式光伏系统造成损害。防孤岛保护的响应时间不得超过2秒,以确保在孤岛状态发生时能够迅速采取措施,同时防孤岛保护装置还需与配网侧的重合闸及安全自动站保持同步运行,以提高电网的整体安全性和稳定性。

3 分布式光伏接入对配电网调控运行的影响

3.1 电力平衡调度难度加剧,系统灵活性资源匮乏

分布式光伏多以规模化形式接入中低压电网,然而当前尚未完全融入电网的发电平衡体系^[3]。一方面,分布式光伏发电时段与负荷用电时段存在重合现象,使得电网调峰特性发生显著改变,传统调峰模式基于常规电源特性构建,而

分布式光伏的大规模接入打破了原有的平衡格局。另一方面,随着分布式光伏装机占比持续上升,其电力电量支撑能力与常规电源及集中式新能源相比差距明显,难以形成可靠的替代能力,不仅导致常规机组平均出力 and 利用小时数降低,还对常规机组的调峰深度和响应速度提出了更高要求。如在分布式光伏大发时段,常规机组需降低出力;而当分布式光伏出力骤减时,常规机组又要迅速提升出力,该频繁且大幅度的调节需求,加剧了系统平衡的矛盾,而系统灵活性资源的匮乏则进一步凸显了问题的严峻性。

3.2 系统调频能力受损,新稳定性问题凸显

分布式光伏规模化并网会替代部分常规同步电源。常规同步电源具有较大的转动惯量,能在电网遭受扰动时提供惯性支撑,维持电网频率稳定,而分布式光伏多通过电力电子设备接入电网,缺乏传统同步发电机的惯性特性。因此,分布式光伏的大量接入会使受端电网的等效惯量降低,抗扰动能力减弱,进而引发新的稳定分析与控制问题。此外,分布式光伏并网会消纳大量负荷,导致低频低压可切负荷量减少,尤其是午间时段,分布式光伏出力较大,可切负荷量大幅降低,给电网的三道防线安全带来威胁。电网三道防线是保障电网安全稳定运行的重要屏障,可切负荷量的减少可能导致在电网发生严重故障时,无法及时有效切除负荷,从而引发电网崩溃等严重后果。

3.3 局域调压受扰,电能质量下降

与常规电网的单元辐射状结构不同,分布式发电受地理位置以及配网线路电阻大、电抗小等因素影响,容易出现电压波动问题。在光伏大发或小时,配网线路及台区末端电压会相应抬高或拉低,进而引发电压越限、三相不平衡等问题。电压越限可能损坏对电压敏感的设备,三相不平衡则会影响电机等设备的正常运行和使用寿命,同时,现有自动电压控制(AVC)体系较少接入分布式光伏场站,使网络末端电压偏差和越限风险加剧。为平抑分布式光伏并网点电压波动,原有AVC系统需频繁启停,不仅降低了设备的使用寿命,还增加了系统的运维成本和故障风险。

3.4 孤岛效应存在安全隐患

当处于断电状态的光伏发电设施仍在进行电量传输时,就会出现孤岛效应^[4]。若电网企业未能迅速应对并妥善处理这一状况,抢修人员的生命安全将面临严重威胁。尽管我国电网企业目前所使用的逆变电源具备防孤岛功能,然而,由于部分逆变电源存在质量问题,其防孤岛运行的效率往往难以达到预期标准。此外,当光伏发电与孤岛负载无法有效匹配时,孤岛区域内电网的频率与电压容易出现波动,不仅可能导致各类用电设备受损,进而影响设备的正常运行,还会给相关工作带来重重阻碍,给用户带来极大的困扰以及经济损失。

4 电网调控技术与策略

4.1 预测技术与智能控制

在电力系统中,精确的光伏装机容量预测是电网调度人员合理规划用电、实现供需平衡的关键。天气预测作为光伏发电预测的重要组成部分,通过对太阳辐射、云密度、风速等关键气象要素的实时监测与分析,对未来数小时乃至数天内的光伏发电功率进行准确预估,预测结果有助于电网调度人员及时调整用电负荷,灵活应对多变的气象条件,确保电力系统的稳定运行。为进一步提升光伏发电预测的精确度,可利用历史数据和先进的机器学习算法对每个分布式光伏系统的产能进行预测。

智能控制在电网调控中发挥着至关重要的作用。通过微网与智能电网的深度融合,实现了分布式光伏发电的自治与协同,智能控制系统能够根据气象预报与用电负荷的变化动态调节发电与蓄能运行,从而最大化地提升电能的利用率。此外,智能控制技术还通过对电网运行状态的实时动态调整,实现了电力供需均衡的最优配置,包括主动调节电能流向、利用电池储能技术有效抑制光伏发电的波动性,以及通过合理管理用电侧的负荷,进一步保障电力供需的平衡。

将预测技术与智能控制相结合,可显著提升电力系统的灵活性与稳健性,有效应对光伏电源的波动性与不确定性,

为电网调节提供一种创新性的解决方案,从而确保供电的可持续性、高效性与可靠性。

4.2 加强日常调度管理与防孤岛保护机制

光伏发电因其随机性和间歇性的特性,对电力系统的电压稳定性、潮流分布以及网损等核心参数产生显著影响,进而给配电网的调度工作带来了更大的挑战,需要采用先进的监控技术,实现对分布式光伏发电功率的实时追踪与监控,以便动态调整光伏发电的输出。另一方面,孤岛效应的出现严重威胁电网的运行安全,导致配电网与分布式光伏发电系统断开连接,使其失去有效控制,在极端情况下可能会引发严重的安全问题,为此,需要安装专门的防孤岛保护设备,以实时监控系统中的关键参数,如频率、电压等。一旦检测到孤岛效应,防孤岛保护设备将迅速触发断路器跳闸,切断与配电系统的连接,以最大程度地保障用户及设备的安全。除了安装防孤岛保护装置外,还可以设置小电流、过流、逆功率等保护参数,在孤岛效应发生时,能够确保电力系统及时切断电源,避免对抢修人员的生命安全构成威胁,同时还需要定期对防孤岛保护设备进行检修和测试,确保其运行稳定可靠。

4.3 确保光伏电源设备的安全运行

分布式光伏电源作为配电网的关键构成部分,对维持系统运行的安全与稳定具有不可或缺的作用^[5]。因此,严格把控设备选型环节显得尤为重要。在选型过程中,应优先考虑已通过国家权威机构认证的光伏组件、汇流箱及逆变器等核心设备,确保所选设备的质量与性能均符合既定标准,为系统的稳定运行奠定坚实基础。在设备正式投产前,还需对其进行全面且严格的品质检测,以验证设备的各项性能指标是否达标,进而确保设备能够稳定且高效地运行。此外,为确保光伏电源设备的持续可靠运行,还需制定一套科学、合理的维修养护方案,方案应包括定期的设备检查与维护,以便及时发现并消除潜在的安全隐患,从而保障设备的正常工作状态。

在设备运行期间,若出现故障问题,需迅速组织专业技术人员进行维修处理^[6]。同时,应针对故障产生的具体原因进行深入分析,并据此制定相应的解决策略,以防止故障扩大造成更大的损失。为保障系统在发生故障时能够快速且准确地进行保护,还需在光伏电源设备的接入线路上设置光差保护及过流保护装置。此外,对重合时间的控制也需严格把关,一旦出现失配情况,应立即停止重合操作,以确保电网的安全与稳定。

5 结束语

综上所述,本文全面剖析了分布式光伏电源的显著优势及其并网模式,深入探讨了其对配电网调控运行的复杂影响,并针对性地提出了创新的电网调控技术与策略,不仅极大地优化了分布式光伏的接入与管理流程,更为加速绿色能源的发展进程提供了坚实的理论与技术支持,期望本文的研究成果能为相关领域的研究者与实践者提供宝贵的参考与启示。

[参考文献]

[1] 栗峰,丁杰,周才期,等.新型电力系统下分布式光伏规模化并网运行关键技术探讨[J].电网技术,2024,48(1): 184-196.

[2] 刘英儒.含高渗透率分布式光伏的配电网集群电压控制与优化调度[D].东北电力大学,2024.

[3] 卜强生,吕朋蓬,李炜祺,等.基于SLM-RBF的配电网分布式光伏集群智能划分策略[J].上海交通大学学报,2024,58(10): 1534-1543.

[4] 田由甲,戴彬,郭刚,等.分布式光伏并网方式及数据采集与控制的方式综述[J].农村电气化,2023(4): 63-69.

[5] 史晨豪,唐忠,魏敏捷,等.基于数据驱动的配电网光伏双层优化调控策略[J].电力建设,2020(3): 9.

[6] 史晨豪,唐忠,魏敏捷,等.基于数据驱动的配电网光伏双层优化调控策略[J].电力建设,2020(3): 9.

作者简介:李阳,19870810,女,定兴县,汉族,本科,国网河北省电力有限公司定兴县供电分公司,研究方向:分布式光伏。