

# 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

王向民

焦作煤业(集团)有限责任公司 河南 焦作 454000

**摘要:** 随着全球对可再生能源的日益重视,分布式光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,得到了快速发展。然而,大规模分布式光伏接入对电网调控运行带来了诸多挑战。本文旨在探讨这些影响,并提出相应的解决措施,以保障电网的安全、稳定和高效运行。

**关键词:** 分布式光伏; 电网调控; 电能质量; 系统稳定; 解决措施

## 引言

分布式光伏发电具有环保、灵活、经济等优点,对于优化能源结构、实现“双碳目标”具有重要意义。然而,随着其接入规模的不断扩大,对电网的调控运行带来了诸多挑战。本文将从多个方面分析这些影响,并提出相应的解决措施。

### 1 大规模分布式光伏接入对电网调控运行的影响

#### 1.1 对电能质量的影响

##### 1.1.1 电压波动与闪变

大规模分布式光伏电站的接入,使得电网中新增了大量分散、间歇性的电源点。光伏发电的输出功率高度依赖于太阳辐射强度、环境温度、云层遮挡等自然因素,这些因素均具有显著的不确定性和时变性,导致光伏发电输出功率呈现出强烈的间歇性和随机性特征。当大量这样的电源同时并网时,其功率输出的波动会叠加到电网中,引起系统电压的频繁波动,甚至可能导致电压闪变现象。电压波动和闪变不仅会降低电网的供电质量,还可能对敏感用户设备(如精密仪器、计算机系统)造成损害,影响用户的正常用电体验。

##### 1.1.2 谐波污染

光伏逆变器作为将光伏电池产生的直流电转换为交流电以供电网使用的关键设备,其转换过程中不可避免地会产生谐波电流。谐波电流的存在会对电网造成多方面的负面影响,包括但不限于:增加电网损耗、引起变压器和电动机过热、干扰通信系统、降低继电保护装置的准确性<sup>[1]</sup>。特别是当大量光伏逆变器同时工作时,它们产生的谐波电流可能相互叠加,形成更为严重的谐波污染。这种污染不仅会降低电网的电能质量,还可能对电网的安全稳定运行构成威胁。

#### 1.2 对系统稳定的影响

##### 1.2.1 频率稳定性

传统电力系统中,发电机组的旋转部件(如汽轮机的转子)具有较大的惯量,能够在电网频率发生变化时,通过释放或吸收能量来维持系统频率的稳定。然而,光伏发电作为一种将光能直接转换为电能的技术,其发电过程中并不涉及旋转部件,因此不具备传统机组的惯量特性。当大规模光伏电站并网后,这些无惯量的电源替代了部分有惯量的传统机组,导致整个电力系统的等效惯量显著降低。惯量的减少意味着系统对频率变化的响应能力减弱,即频率稳定性变差。在负荷突然增加或发电机突然退出运行等情况下,系统可能无法迅速调整频率至额定值,导致频率偏移过大,甚至可能触发频率保护装置动作,造成停电等严重后果。此外,光伏发电输出功率的间歇性和随机性也可能加剧频率的波动,进一步影响系统的频率稳定性。

##### 1.2.2 功角稳定性

功角稳定性是电力系统稳定运行的重要指标之一,它反映了电网中发电机之间功率传输的稳定程度。在传统电力系统中,发电机组的惯量不仅有助于维持频率稳定,还能在功率缺额或突发波动时提供必要的支持,保持功角的稳定。然而,光伏发电由于不具备惯量,无法在功角稳定性方面提供有效的支持。当电网中出现功率缺额或由于故障导致功率突然波动时,光伏发电无法像传统机组那样通过调整自身出力来迅速平衡功率,这可能导致功角失稳,进而引发电网的连锁反应,如线路跳闸、设备损坏等,严重时甚至可能导致电网崩溃。因此,大规模光伏并网对电网的功角稳定性构成了潜在的威胁,需要电网调度和运行人员采取更加精细化的调控措施来确保系统的稳定运行。

#### 1.3 对配电网规划的影响

### 1.3.1 增加负荷预测难度

在传统的配电网规划中,负荷预测是基于历史用电数据、经济发展趋势、用户用电行为等因素进行的。然而,大规模分布式光伏的接入彻底改变了这一格局。光伏发电的输出功率高度依赖于太阳辐射强度、环境温度、云层遮挡等自然因素,这些因素具有显著的不确定性和时变性,导致光伏发电的输出功率难以准确预测。当大量分布式光伏电源接入配电网后,它们产生的电力会直接影响到配电网的负荷分布和特性。在晴朗的天气条件下,光伏发电可能会产生大量的电力,使得配电网的负荷水平显著降低;而在阴雨或多云天气,光伏发电输出减少,配电网的负荷则可能回升。这种由天气条件引起的负荷波动,极大地增加了负荷预测的难度,使得配电网规划人员难以准确把握未来负荷的发展趋势,从而影响配电网规划的准确性和有效性。

### 1.3.2 提高配电网要求

分布式光伏接入对配电网的电压调节、潮流控制、继电保护等方面也提出了更高的要求。首先,在电压调节方面,由于光伏发电的间歇性和随机性,配电网的电压水平可能会频繁波动,需要更加灵活和精确的电压调节手段来保持电压的稳定。其次,在潮流控制方面,分布式光伏的接入改变了配电网的潮流分布,可能会出现逆向潮流的情况,即电力从配电网的末端流向源头,这要求配电网必须具备更强的潮流控制能力<sup>[2]</sup>。最后,在继电保护方面,分布式光伏的接入可能会改变故障电流的大小和方向,对继电保护装置的正确动作构成挑战,需要重新评估和调整继电保护方案,以确保电网的安全可靠运行。

## 2 解决措施

### 2.1 技术层面

#### 2.1.1 优化逆变器控制策略

逆变器作为光伏发电系统的核心设备,其控制策略的优化对于提升系统稳定性至关重要。传统的逆变器控制往往侧重于将光伏电池产生的直流电高效转换为交流电并网,但在大规模光伏接入的背景下,仅满足这一基本功能已远远不够。为了应对光伏发电输出功率的间歇性和随机性,需要研发更为先进的逆变器控制算法,实现有功功率和无功功率的解耦控制。解耦控制意味着逆变器能够根据电网的实际需求,独立调节其输出的有功功率和无功功率。在有功功率方面,通过实时跟踪光伏发电的最大功率点,确保逆变器在光照条件变化时能够迅速调整输出功率,最大化利用光能。而在无功功率方面,逆变器则可以根据电网的电压水平,灵活调节其输

出的无功功率,为电网提供必要的电压支撑,从而增强系统的电压稳定性和抗扰动能力。

#### 2.1.2 加强电能质量监测与管理

电能质量是衡量电网供电水平的重要指标,直接关系到用户的用电体验和设备的正常运行。大规模分布式光伏接入后,由于光伏发电的间歇性和逆变器产生的谐波等问题,电能质量可能会受到显著影响。因此,加强电能质量的监测与管理显得尤为重要。为了实现这一目标,可以在电网的关键节点安装电能质量监测装置,实时监测电网的电压偏差、谐波含量、闪变等电能质量指标。这些监测装置能够准确捕捉电能质量的异常情况,并及时将监测数据上传至电网调度中心。调度中心根据这些数据,可以迅速判断电能质量问题的严重程度和影响范围,并采取相应的调控措施,如调整发电机的出力、投切无功补偿装置等,以恢复电能质量至正常水平。此外,还可以建立电能质量管理体系,对监测数据进行深入分析,挖掘电能质量问题的根源和规律,为电网的规划和运行提供科学依据。通过不断优化电网结构和设备配置,从源头上提升电能质量,确保电网的供电品质满足用户和设备的需求。

#### 2.1.3 合理应用储能技术

储能技术作为缓解光伏发电输出随机波动对电网影响的有效手段,近年来得到了广泛关注和应用。通过合理配置储能装置,如蓄电池、超级电容器等,可以在光伏发电输出不足时释放储存的电能,补充电网的功率缺额;在光伏发电输出过剩时吸收多余的电能,避免电网电压的过度升高。储能技术的应用不仅可以平滑光伏发电的输出功率,减少其对电网的冲击,还可以为电网提供辅助调频支持<sup>[3]</sup>。在电网频率发生波动时,储能装置可以迅速响应,通过调整其充放电功率来平衡电网的功率供需,从而维持电网频率的稳定。此外,储能技术还可以用于电网的无功补偿和电压支撑,进一步提升电网的稳定性和电能质量。

### 2.2 管理层面

#### 2.2.1 加强设备审核与验收

随着分布式光伏电站的大量涌现,其设备质量直接关系到电网的稳定性和安全性。因此,加强设备审核与验收工作成为管理层面的首要任务。这要求电网企业建立一套完善的设备审核与验收机制,对并网光伏电站的设备进行全面的检查与评估。在设备审核阶段,应重点关注设备的合规性、技术先进性和可靠性。这包括检查设备是否符合国家相关标准和规范,是否具备必要的安全认证和检测报告,以及设备的技术参数和性能是否满

足电网运行的要求。同时,还应考察设备制造商的资质和信誉,确保设备来源的可靠性。在设备验收阶段,则应对设备的安装质量、接线方式、接地保护等进行严格检查。这包括确认设备是否按照设计图纸和安装规范进行安装,接线是否牢固可靠,接地保护是否完善等。此外,还应进行设备的功能测试和性能测试,确保设备能够正常运行并满足电网的调度需求。

### 2.2.2 规范调控人员操作,提升电网调度水平

调控人员作为电网运行的核心力量,其操作规范性和专业性直接影响到电网的调度水平和安全性。在大规模分布式光伏接入的背景下,调控人员需要全面掌握已接入电网的分布式光伏电源点情况,包括光伏电站的地理位置、装机容量、发电特性等。为了规范调控人员的操作行为,电网企业应制定详细的调度规程和操作指南。这些规程和指南应明确调控人员在不同情况下的操作流程和注意事项,如停送电操作、故障处理、无功补偿调节等。同时,还应加强对调控人员的培训和考核,确保其能够熟练掌握调度规程和操作技能。在实际操作中,调控人员应严格执行调度规程,按照规定的操作流程进行停送电操作和无功补偿调节等。在操作过程中,应密切关注电网的运行状态和分布式光伏电源的输出情况,及时发现并处理异常情况。此外,还应加强与光伏电站的沟通协调,确保双方的操作能够相互配合、协调一致。

### 2.2.3 建立协调规划机制,促进光伏与电网融合发展

分布式光伏与配电网建设的协调规划是确保电网能够安全、稳定、高效地接纳分布式光伏电源的关键。为了实现这一目标,电网企业应与光伏电站开发商建立紧密的合作关系,共同制定协调规划机制。在协调规划过程中,应充分考虑分布式光伏的发电特性和电网的运行需求。这包括分析光伏电站的地理位置、装机容量、发电特性等对电网运行的影响,以及电网的输电能力、电压水平、无功补偿等对光伏电站接入的制约因素。基于这些分析,双方应共同确定光伏电站的接入方案、并网方式、无功补偿配置等关键参数。同时,还应建立完善的沟通协调机制,确保双方在信息共享、技术交流、问题解决等方面能够保持畅通无阻。这包括定期召开协调会议、建立信息共享平台、设立专项联系人等。通过这些措施,可以及时发现并解决光伏电站接入过程中出现的问题和矛盾,确保光伏与电网的融合发展能够顺利进行。

## 2.3 监测与保护

### 2.3.1 加强运行监控

为了实现对分布式光伏电站的全面、实时监控,需

要建立一套高效、智能的分布式光伏监控系统平台。该平台应能够实时采集并网光伏电站的运行信息,包括发电功率、电压、电流等关键参数,以及设备的运行状态和故障信息。通过数据分析与挖掘,系统能够及时发现并预警潜在的故障点,为运维人员提供准确的故障定位与诊断依据。在运行监控过程中,应重点关注光伏电站的输出波动情况、设备异常状态以及电网的电压、频率等关键指标。一旦发现异常情况,监控系统应立即触发报警机制,并通过短信、邮件等方式通知相关人员进行处理。同时,系统还应具备历史数据分析功能,以便对光伏电站的运行趋势进行预测和优化,进一步提升系统的可靠性。

### 2.3.2 合理配置保护装置

针对分布式光伏接入后可能带来的电网安全问题,应根据电网条件、装机容量以及光伏电站的接入方式,合理配置各类保护装置。这些保护装置应能够迅速、准确地响应电网故障,确保故障被及时隔离和处理,从而避免故障扩大和对电网造成更大的影响<sup>[4]</sup>。具体来说,可以考虑配置光纤差动保护,该保护具有高速、准确的特点,能够迅速识别并切除故障线路;同时,也可以配置三相两段式方向闭锁过流保护,以应对不同类型的短路故障。此外,还可以根据实际需要配置其他类型的保护装置,如过电压保护、低电压保护等,以形成完善的保护体系。

## 结语

大规模分布式光伏接入对电网调控运行带来了诸多挑战,但通过优化逆变器控制、加强电能质量监测与管理、应用储能技术、加强设备审核与验收、规范调控人员操作、建立协调规划机制以及加强运行监控和配置保护装置等措施,可以有效应对这些挑战,保障电网的安全、稳定和高效运行。未来,随着技术的不断进步和政策的持续支持,分布式光伏将在电网中发挥更加重要的作用。

## 参考文献

- [1]林燕.分布式光伏接入对电网调控运行的影响及解决对策[J].光源与照明,2022,(12):97-99.
- [2]陈炳旭.分布式光伏电源接入对配电网的影响探析[J].中关村,2024,(09):90-91.
- [3]郭建华,李领南.分布式光伏电站接入对配电网系统的影响[J].农村电工,2024,32(09):33-34.
- [4]章小飞.分布式光伏低压接入对电网的影响分析[J].大众用电,2024,39(07):35-36.