

[光伏发电]

分布式光伏发电并网的管理研究

文/许煜炜

华润新能源投资有限公司福建分公司

随着分布式光伏发电技术的发展，有效管理并网过程以确保系统安全和高效运行变得尤为重要。研究旨在评估分布式光伏系统并网的关键技术和管理策略，特别是在电网稳定性和系统效率方面。通过分析具体的工程案例，详细探讨了并网系统的设计、监控、安全措施以及长期运营管理。结果显示，通过先进的监控系统和预防性维护措施，系统的稳定性和效率显著提高。结论表明，持续优化技术和管理策略是确保分布式光伏系统成功并网和高效运行的关键，对推动全球可再生能源的广泛应用和能源可持续发展具有重要意义。

随着全球能源结构的转型和可再生能源技术的快速发展，分布式光伏发电系统作为一种清洁且可再生的能源解决方案，正日益受到世界各国的重视。分布式光伏发电不仅有助于缓解化石能源带来的环境压力，还能增强电网的灵活性和可靠性^[1]。然而，随着分布式光伏系统规模的扩大和并网数量的增加，如何有效管理并网过程，确保系统安全、高效运行，成为了一个亟待解决的问题。本研究旨在深入探讨分布式光伏发电系统并网的关键技术与管理策略，通过分析具体的工程案例，评估并网后的运行效果，提出优化的管理措施，以期相关政策制定和技术改进提供科学依据。通过研究，可以提高分布式光伏系统的经济性和稳定性，有助于推动可再生能源的广泛应用，对实现能源可持续发展。

分布式光伏发电系统概述

1. 分布式光伏系统的组成及工作原理

分布式光伏系统主要由光伏阵列、逆变器、测量与监控设备以及连接到电网的相关电气设施组成。如图1所示，系统从光伏阵列开始，阵列由多个光伏电池板构成，负责捕捉太阳光并将其转换为直流电^[2]。电流传送至逆变器，逆变器的主要功能

是将直流电转换为可供家庭或电网使用的交流电。在系统中还包括配电盘和保护装置，确保电力的安全分配和输送。系统的智能管理部分通过电源控制系统（PCS）实现，监控和调节电能的流动，确保电网的稳定性^[3]。此外，系统中集成了智能电表和远程监控模块，允许操作者通过移动设备或中央监控室实时监控光伏系统的性能和电网的需求响应^[4]。与此同时，系统还包括了环境监测装置，如风速和气温传感器，这些都是优化系统性能和保障设备安全运行的关键因素。通过这种配置，分布式光伏系统能够高效地将太阳能转化为电能，同时通过并网接口与电网无缝连接，实现能源的双向流动。

2. 分布式光伏系统的关键技术

在分布式光伏系统中，光伏电池效率是核心指标之一。其效率公式 $\eta = \frac{P_{out}}{I_{in} \times V_{in}} \times 100\%$ 定量描述了系统将入射光能转换成电能的能力。式中， P_{out} 表示电池输出的功率， I_{in} 是入射光产生的电流，而 V_{in} 是光伏电池在标准测试条件下的电压^[5]。通过这个公式，开发团队可以精确测定不同技术或材料的效率影响，优化光伏电池设计。另一个关键技术是最大功率点跟踪（MPPT），通过实时调整光伏系统

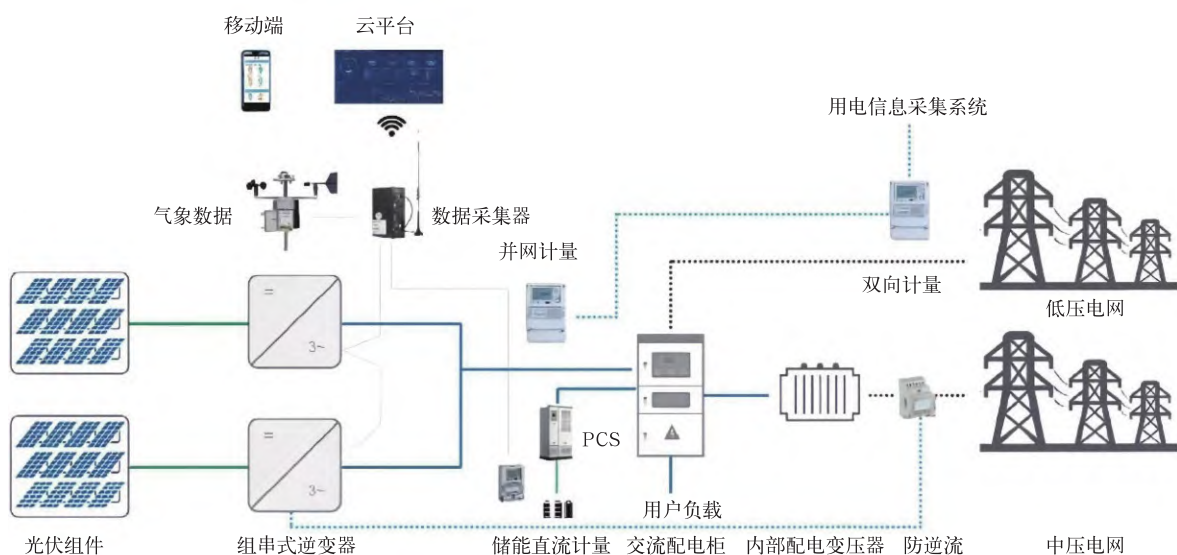


图1 分布式光伏系统的组成

的工作点，确保系统在任何环境条件下都能输出最大功率。MPPT的核心是通过解算 $\frac{dP}{dV}=0$ 来寻找功率和电压的最优组合点，其中 P 是输出功率， V 是电压。该技术通过动态调整，使系统始终在最佳工作状态，最大化能源输出。在能源存储方面，系统效率通过公式 $\eta_{\text{storage}} = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{in}}}$ 来计算，其中 E_{out} 是从存储设备释放的能量， E_{in} 是存入的能量。这一比率评估了在储能过程中的能量损失，优化电池存储解决方案和提高整体系统效率。

分布式光伏电站并网工程的工程实例

1. 项目概况

本研究以某城市分布式光伏电站项目为例，该电站拥有20 MW的总装机容量，布置在城市的商业建筑、住宅和工业设施的屋顶，利用18.5%效率的多晶硅光伏板和先进的双向逆变器来优化电能的转换及反馈效率。通过南向的可调角度支架最大化日照捕获，整合的能量管理系统能实时监控并调节发电量以适应电网需求，同时配备自动安全断开和过载保护确保电网异常时系统的安全运行。在并网运行的初期阶段，该系统月均发电量约为 2.9×10^6 kW·h，光伏系统的性能比率（PR）维持在80%以上，系统故障率低于0.5%，并网效率达到98%。这些数据显示了系统与电网之间的良好匹配和高效能量传输，反映

了并网管理策略的有效性。

2. 项目的设计原则与配置

在该项目中，为了适应城市不同建筑的屋顶环境，项目设计了模块化的光伏板安装系统，能够根据具体位置和朝向灵活调整。所有光伏板均设置为最优倾角，通过精确计算日照角度和持续时间，以最大化能量捕获。系统中使用的逆变器具备自动调节功能，能够根据电网状态和实时电力需求调整输出，保障并网操作的高效和稳定。此外，采用先进的负载管理系统，通过实时数据分析，自动平衡发电量和负载需求，优化系统运行效率，确保长期稳定运作。

3. 项目实施过程

实施阶段，团队采用了高效的项目管理方法，按照预定的时间表和质量标准，分阶段完成建设任务。在光伏板安装过程中，每个步骤都经过精密计算和严格测试，从结构安装到电气连接，每个环节都确保符合国际安全标准。并网连接前，进行了多轮的系统测试和调试，以验证系统的性能和并网功能。此外，为确保系统能持续高效运行，项目团队建立了全面的维护和监控计划，包括定期的系统检查、性能监测和远程故障诊断，以实时解决任何可能的技术问题。通过严格的实施措施，电站成功实现了设计目标，初期运行数据显示月均发电量达到 2.9×10^6 kW·h，光伏系统性能比率（PR）维持在

80%以上，展现了项目实施的高效和专业。

4. 项目并网后的运行效果与评估

项目并网后的运行数据表明，该系统已成功实现了设计预期的高效能和稳定性。通过对并网初期运行数据的细致分析，可以观察到电站的性能在多个关键指标上均表现优异。电站自并网以来的运行数据摘要见表1。

表1 电站自并网以来的运行数据摘要

月份	发电量 / (kW·h)	光伏系统性能比率 (PR) (%)	故障率 (%)	并网效率 (%)
2023年1月	2 900 000	81	0.4	98
2023年2月	2 850 000	80	0.3	98
2023年3月	3 000 000	82	0.2	99
2023年4月	2 950 000	80	0.5	98
2023年5月	3 100 000	83	0.3	99

数据显示，月均发电量保持在约2.9~3.1百万kW·h之间，光伏系统的性能比率（PR）稳定在80%以上，证明了光伏板和逆变器的高效能。系统的故障率非常低，平均低于0.5%，反映出项目在设计和实施过程中对质量控制的严格要求。此外，并网效率始终维持在98%以上，说明电站与电网的接口配置及调节策略得当，能有效地将发电量转换为电网可用的电力。通过表1可以总结出该分布式光伏电站在并网后稳定运行，在效率和可靠性方面达到了高标准。

分布式光伏发电并网的管理策略

1. 并网管理的基本要求

分布式光伏发电系统并网管理的基本要求遵循国家能源局发布的规范和标准，确保系统的安全、稳定并高效地与电网连接。根据《光伏发电项目建设与并网管理规程》，并网光伏系统必须满足以下关键技术标准：所有并网系统需要符合国家电网的电压标准，即在220 V/380 V的城市电网中运行，频率保持在 50 ± 0.2 Hz范围内。此外，根据《国家电网公司光伏发电并网技术规范》，光伏系统输出功率的波动不得超过其名义功率的 $\pm 5\%$ ，以确保电网稳定运行不受影响。关于反向功率控制，我国规定并网光伏系统必须具备在电网需求下降时自动减少输出的功能。例如，当电网负荷下降或电网发生故障时，系统能够在20 s内将输出功率降低至50%或更低，确保电网安全。在安全保护方面，光伏系

统并网必须装备有符合《光伏发电安全技术规范》的保护装置，包括过电压保护、过电流保护、短路保护以及接地故障检测等。所有这些保护措施必须在毫秒级别内响应，迅速断开光伏系统与电网的连接，防止故障扩散至电网。此外，光伏并网系统还应具备一定的自适应调控能力，能够根据电网实时负荷和气候变化自动调节发电输出。为此，系统通常配备智能监控和控制技术，包括远程测控系统，使运维人员能够通过数据分析对系统性能进行实时调优，提升能效。

2. 并网运行中的监控与控制策略

在分布式光伏发电系统的并网运行中，监控与控制策略扮演着核心角色，确保系统的高效性和电网的稳定性。针对这一环节，电站通常装备有综合监控系统，该系统包括实时性能监测、自动故障诊断与系统优化功能。具体来说，实时性能监测依赖于部署在光伏阵列各个节点的传感器，收集电流、电压、温度和光照强度等数据。这些数据通过通信网络传输至中央控制系统，利用预设的算法对系统性能进行评估，实时调整输出功率，以适应电网负载变化。自动故障诊断系统则通过分析从传感器和监控设备收集的数据，识别潜在的设备异常或性能下降。例如，如果某个光伏板的输出突然下降，系统会自动检测并分析可能的原因，包括污染、遮挡或设备故障，并通知维护团队进行检查。此外，系统还能进行预测性维护，通过分析历史数据和运行趋势，预测设备的维护需求和可能的故障点，从而在问题发生前进行干预。

3. 安全性与效率提升的技术措施

在安全性方面，技术措施主要集中在确保人员和设备的安全以及保护电网不受影响。所有并网光伏系统均装备有多层次的电气保护系统，包括快速断路器、过电压保护和接地故障保护等。快速断路器能在毫秒级响应时间内切断电源，以应对短路等紧急情况。过电压保护装置用于控制系统在电压超过安全范围时自动断开连接，防止设备损坏和电网事故。在效率提升方面，现代光伏系统采用先进的最大功率点跟踪（MPPT）技术，确保在不同光照条件下光伏板始终运行在最优功率输出点。此外，利用高效率的逆变器提高了直流到交流的转换效率，降低了系统的能量损耗。同时，通过集成先进

的能量管理系统（EMS），光伏电站能够根据电网的实时需求和天气条件自动调整发电策略，优化系统的整体运行效率和输出稳定性。

4. 应对电网波动与故障的策略

在并网的分布式光伏系统中，应对电网波动和故障是保证系统稳定运行和电网安全的重要策略。首先，系统设计包含高度灵敏的电网监测装置，能够实时检测电网电压和频率的变化。一旦检测到电网参数超出规定范围，如电压或频率波动超标，光伏系统会自动调节输出或暂时脱离电网，防止对电网造成进一步的负面影响。此外，为增强系统的韧性，光伏系统还配置独立的能量存储单元，如电池储能系统能在电网断电或功能失常时提供临时的能源支持，确保关键负载继续运行，从而减少电网故障对终端用户的影响。同时，这些储能单元也可以在电网需求高峰时释放能量，帮助稳定电网负载，缓解电网压力。系统还整合先进的数据分析和故障诊断工具，利用机器学习算法对历史故障数据进行分析，预测潜在的电网问题，并在问题发生前采取预防措施。

5. 长期运营与维护的管理

在管理策略上，采取系统化的维护流程和定期检查是常用的方法。具体来说，光伏发电系统的运营单位设有专门的运维团队，负责日常的监控、定期的设备检查与清洁，以及故障响应和修复。每项设备如逆变器、光伏板和电缆等都有详细的维护日程和性能记录，依据制造商的推荐和过往的运维经验进行定制。技术上，引入远程监控技术和智能诊断工具可以显著提高维护效率和预防性维护的准确性。例如，运用热像仪和无人机对光伏板进行定期检查，可以在早期发现潜在的缺陷如热点或接线问题，避免这些小问题发展成更严重的故障。此外，通过数据分析平台，可以对收集到的运行数据进行深入分析，发现性能下降的趋势，及时调整维护

策略。此外，教育培训也是提升运维团队能力的重要环节。定期对技术人员进行新技术、新规范的培训，确保他们掌握最新的光伏技术和维护方法，从而更有效地管理和维护光伏系统，保证系统的长期稳定运行。

结束语

本研究通过深入探讨分布式光伏发电系统的并网技术和管理策略，揭示了其在提升能源效率和确保电网稳定性方面的重要性。分析表明，通过采用先进的监控与控制系统、实施有效的安全措施以及优化长期运维管理，可以显著提升分布式光伏系统的运行效能和可靠性。同时，研究还强调了在电网波动和系统故障面前，采取预防性维护和快速响应措施的必要性。展望未来，随着技术的进步和政策的支持，分布式光伏发电的应用将进一步扩大，为实现全球能源可持续发展贡献力量。EA

（收稿日期：2024-10-12）

参考文献

- [1] 时珉, 尹瑞, 姜卫同, 等. 分布式光伏灵活并网集群调控技术综述[J]. 电测与仪表, 2023, 58(12): 1-9.
- [2] 刘帅, 罗曦, 喻传权, 等. 计及需求响应的分布式光伏发电并网消纳控制方法[J]. 电工技术, 2024 (9): 48-50.
- [3] 刘祥. 分布式光伏发电并网的成本及效益研究[J]. 工程研究与实用, 2023, 4(4): 7-9.
- [4] 牛一然. 大规模分布式光伏并网后的技术创新与实践[J]. 电力与能源前沿, 2024, 2(2): 7-9.
- [5] 毕会静, 马燕峰, 秦科源, 等. 不同配置模式下分布式光伏发电并网接纳仿真[J]. 电力电容器与无功补偿, 2023(4): 236-241.

