

光伏发电系统并网稳定性评估与优化控制

郭 磊

国能宝日希勒能源有限公司 内蒙古呼伦贝尔 021000

【摘要】随着全球能源结构的转型和可持续发展战略的深入实施，光伏发电系统作为清洁、可再生的能源形式，正逐步成为能源供应体系中的重要组成部分。光伏发电系统通过并网运行，不仅能够有效缓解传统能源的压力，还能促进能源结构的多元化和低碳化。然而，光伏发电系统并网运行面临着诸多挑战，如输出功率的波动性、电网电压和频率的稳定性问题，以及并网过程中的安全控制等。因此，对光伏发电系统并网稳定性进行评估与优化控制，成为当前研究的热点和难点。本文就光伏发电系统并网稳定性评估与优化控制展开探讨。

【关键词】光伏发电系统；并网；稳定性；评估

引言：

光伏发电系统并网稳定性评估与优化控制，旨在通过科学的方法和先进的技术手段，确保光伏发电系统在并网过程中能够稳定运行，并最大限度地发挥其发电效益。这不仅关系到光伏发电系统的自身安全性和经济性，更直接影响到电网的稳定运行和供电质量。因此，深入研究光伏发电系统并网稳定性评估与优化控制策略，对于推动光伏发电技术的广泛应用和可持续发展具有重要意义。

1 光伏发电技术原理

光伏发电系统作为绿色能源领域的一颗璀璨明珠，其核心运作原理精妙而复杂，却又蕴含着自然界的无尽智慧。光伏发电的精髓，在于巧妙利用半导体材料的PN结特性，这一结构由P型半导体（空穴富集区）与N型半导体（自由电子富集区）精妙结合而成。当这两种半导体紧密相依，它们之间便自然形成了一道无形的壁垒——内电场，它如同一位无形的指挥官，引导着电子与空穴的定向迁移。在阳光的温柔抚摸下，PN结仿佛被赋予了生命，光子穿透半导体表层，深入其内部，激发起一场场微观世界的电子跃迁盛宴。这些跃迁产生的空穴与电子，在内电场的牵引下，被迫分离，各自奔向光伏电池的两极，犹如银河中的星辰，虽相隔万里，却通过电流这条无形的纽带紧密相连。

光伏发电的效能并非恒定不变，它与环境因素息息相关，尤其是光照强度与环境温度，更是其效率的晴雨表。随着阳光愈发灿烂，光伏电池仿佛被注入了无限活力，发电效率也随之水涨船高；然而，当环境温度悄然攀升，这

份活力却似乎被悄然削弱，发电效率也随之下滑。这一自然现象，不仅揭示了光伏发电技术的局限，也为工作人员指明了未来技术突破的方向。为了克服单个光伏电池输出功率有限的瓶颈，工程师们采用了串并联封装的方式，将多个光伏电池精心组合成光伏组件。这些组件，如同士兵列阵，整齐划一，共同抵御着自然界的挑战。而光伏阵列的出现，更是将这份力量汇聚成海，满足了用户对电流与电压的多样化需求。在材料选择上，光伏组件同样展现出了高度的智慧与前瞻性。硅材料，作为半导体领域的佼佼者，以其独特的物理化学性质，成为了光伏组件制造的首选。无论是单晶硅的纯净无瑕，还是多晶硅的包容并蓄，亦或是非晶硅的创新尝试，都在为光伏发电技术的不断进步贡献着自己的力量。

2 光伏发电并网技术

2.1 并网技术分类

从电网交互的维度出发，并网技术可划分为单向并网与双向并网两大类，二者在能量流动模式上展现出显著差异^[1]。单向并网模式作为光伏发电并网的主流形式，其核心在于将直流电经逆变器高效转换为交流电，并通过升压装置无缝接入电网，仅承担向电网单向输送电能的职责。这一模式以其简洁高效的特点，广泛应用于各类光伏发电场景中。双向并网技术则展现出更高的灵活性与自给自足能力。它不仅保留了向电网输出电能的能力，还创新性地实现了从电网反向获取电能的功能，构建了一个双向互动的能量流动体系。这一技术革新，不仅增强了光伏发电系统对电网的适应性，更在能源管理层面赋予了系统前所未有的

的灵活调控空间，为智能电网的构建与能源互联网的发展奠定了坚实基础。

从系统运行模式的视角审视，光伏发电系统可划分为独立运行与并网运行两大阵营。独立运行模式，以其独特的自治性，在电网不可及或特定需求下展现出独特价值。它依赖于高效的储能系统，通过智能调度策略，精准匹配电力供需，确保系统在没有外部电网支持的情况下仍能稳定运行。这一模式尤其适用于偏远地区、海岛等电网覆盖困难或成本高昂的区域，为当地居民提供了可靠的电力供应解决方案。而并网运行模式，则是光伏发电系统与现代电网深度融合的典范。在此模式下，光伏发电系统产生的清洁电能直接注入电网，成为电网供电的重要组成部分，有效缓解了能源供应压力，并促进了能源结构的绿色转型^[2]。通过电网的广泛覆盖与高效调度，光伏发电系统得以最大化地发挥其产能优势，实现能源的高效利用与优化配置。同时，并网运行模式还促进了光伏发电技术与智能电网、微电网等新兴技术的深度融合，为构建更加安全、可靠、绿色、高效的能源体系提供了有力支撑。

2.2 并网策略对光伏系统的稳定性评估

光伏系统的逆变器作为关键设备，其内置的电压与频率调控机制是实现与电网无缝同步、输出高质量电能的关键。在并网策略的设计与实施中，工作人员必须充分考量电网的承载能力及功率管理的复杂性。鉴于光伏系统发电功率极易受到自然因素如天气状况和光照强度的波动影响，并网策略的制定需具备高度的灵活性与智能性。通过精确的功率预测与动态调整机制，工作人员可以有效管理光伏系统的输出功率，既充分利用可再生能源，又避免对电网造成不必要的负荷压力或电压波动，从而保障电网的稳定与安全。

此外，针对光伏系统并网运行中可能出现的反向电流问题，工作人员需采取一系列预防与应对措施。反向电流保护装置及具备反向电流防护功能的逆变器的应用，能够有效遏制反向电流对系统本身及电网的潜在危害，确保电力传输的顺畅与安全。在遵循并网策略的同时，工作人员还应严格遵守相关的安全标准与规范，构建全方位的安全防护体系^[3]。这包括但不限于系统的接地保护设计、过压过流保护机制的建立、以及防雷击等极端天气条件的应对措施。通过这些措施的实施，工作人员不仅能够降低光伏系

统并网运行的安全风险，还能有效延长设备的使用寿命，提升系统的整体经济性与社会效益。

3 光伏发电系统并网稳定性的优化控制

3.1 多电平逆变技术在并网策略中的应用

在光伏发电系统的并网策略中，多电平逆变技术核心在于通过细分电压层级，将传统的单一、高谐波含量的逆变器输出转化为更加平滑、接近理想正弦波的电压波形。此举不仅极大地降低了谐波对电网的干扰，有效缓解了电压波动等电力质量问题，还从根本上改善了并网功率的质量，为绿色能源的稳定输送奠定了坚实基础。

多电平逆变技术通过层级间的协同作用，实现了功率转换任务的分散化。与单级逆变器相比，每一级逆变器仅需承担部分功率转换任务，这种“分工合作”的方式显著减少了开关损耗与传导损耗，从而提升了系统的整体效率。这种效率的提升不仅意味着能源利用率的增加，也降低了系统的运行成本，为光伏发电系统的经济可行性注入了新的活力^[4]。

多电平逆变技术赋予了光伏发电系统更为精细的电压与电流调控能力。通过精准控制各级逆变器的输出电压与工作状态，系统能够迅速响应电网的波动与需求变化，实现电压稳定与有功功率的精准调节。这种高度灵活的调控策略，使得光伏发电系统能够更好地融入电网，与传统能源系统形成互补，共同维护电网的稳定与安全。此外，多电平逆变技术的可扩展性与容错能力也是其在光伏发电系统中备受青睐的原因之一。随着光伏装机容量的不断增加，系统扩容成为必然需求。而多电平逆变技术通过简单地增加逆变器级数，即可轻松实现系统容量的扩展与输出功率的提升，为光伏发电系统的长期发展提供了有力支持。同时，其强大的容错机制确保了系统在部分逆变器故障或维护期间仍能持续运行，有效降低了因设备故障导致的停电风险，保障了电网的连续供电与用户的用电体验。

3.2 并网控制策略的优化

工作人员不仅要聚焦于精确调控输出功率，更需构建一个动态响应机制，确保系统能够敏锐捕捉电网需求变化，迅速调整输出状态，实现与电网负荷波动的无缝对接。这一过程的核心，在于设计高效、智能的功率管理算法，结合精准的反馈循环，以毫秒级的速度匹配电网调度指令，维持电网整体运行的稳定性与可靠性^[5]。

通过引入先进的电压-频率协调控制策略,工作人员能够精准控制光伏系统输出的电压幅值与频率波动范围,使之严格遵循电网标准,有效避免因电压波动或频率偏移对电网安全稳定运行的潜在威胁。此外,减少光伏发电系统并网过程中的谐波污染与电磁干扰,亦是优化工作的重中之重。这要求工作人员在控制策略中融入谐波抑制技术与电磁兼容设计,确保系统输出的电能质量符合电网标准,保障与其他电气设备的和谐共存。在电流管理方面,优化的并网控制策略需充分考虑电网承载能力,实施精细化的电流限制策略,确保光伏系统向电网注入的电流既满足负荷需求,又不至于造成电网过载或不稳定。同时,设置反向电流保护机制,以防电网故障时电流反向涌入光伏系统,保障系统自身安全。故障检测与容错机制是提升并网光伏发电系统鲁棒性的关键。通过集成智能故障诊断算法与自恢复控制逻辑,系统能够在检测到异常或故障时迅速做出响应,实施隔离或重构措施,最大限度地减少故障对系统连续运行的影响。对于大规模光伏电站而言,多智能体协调控制技术的引入,为系统的分布式优化管理提供了可能。各智能体间通过高效的信息交换与协同工作,实现了对复杂光伏系统的集中监控与灵活调度,不仅提升了系统的整体运行效率,还增强了系统的灵活性与可扩展性^[6]。

3.3 并网技术的可靠性与稳定性分析

光伏发电系统的关键组件,诸如逆变器、电网接口装置及安全保护设备,其高可靠性是基石,这不仅要求设备本身质量过硬,还需经历严格的质量验证流程。设计上的精益求精与制造过程的严谨控制,加之专业细致的组装与安装,共同构筑了系统稳定运行的第一道防线。并网技术的核心在于实现光伏发电系统与电网间无缝、稳定的交互。这要求工作人员设计并实施精细化的控制策略,确保电压与频率的稳定调控,以及功率调节的精准性,使光伏系统能够灵活适应电网负荷的瞬息万变。尤为重要的是,光伏电能的注入需与电网需求精准匹配,以最小化对电网稳定性的影响,避免电压波动、频率偏移等电力质量问题的发生。这涉及复杂的电压频率管理、精确的功率平衡策略以及高效的调节机制。面对可能的设备故障或电网异常,工作人员需部署全面的保护系统,如逆变器与电网接口装置的过流、过压、过温防护,以及针对反向电流与电网突发

事件的快速检测与应对措施。这些机制的存在,为系统提供了强大的安全屏障,确保在异常情况下也能迅速恢复稳定状态。

此外,持续的系统监测与维护是保障并网技术可靠性与稳定性的关键。通过先进的监测技术,工作人员能够实时掌握光伏发电系统的运行状态、电能输出情况及与电网的互动状况,及时发现潜在问题并采取有效措施进行修复。这种预见性的维护策略,不仅提高了系统的运行效率,还显著降低了故障发生的风险^[7]。

结束语:

综上所述,光伏发电系统并网稳定性评估与优化控制是保障光伏发电系统安全、高效运行的关键环节。通过科学评估和优化控制策略的制定与实施,可以显著提升光伏发电系统的并网稳定性和发电效率,为电力系统的稳定运行和能源结构的优化调整提供有力支撑。随着技术的不断进步和研究的深入,光伏发电系统并网稳定性评估与优化控制将朝着更加智能化、精细化的方向发展,为可再生能源的广泛应用和可持续发展贡献更大力量。我们期待在这一领域取得更多突破和创新,共同推动全球能源结构的绿色转型和可持续发展。

参考文献:

- [1] 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, (09): 48-50.
- [2] 李根. 分布式光伏并网对配电网的影响及对策研究[J]. 光源与照明, 2024, (04): 122-124.
- [3] 胡国武,张世增,陈维铅. 光伏发电系统及其并网优化策略分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2024, (08): 113-116.
- [4] 王延齐,高长伟,李东宇,等. 光伏发电系统双闭环控制及并网稳定性研究[J]. 辽宁科技学院学报, 2024, 26(02): 43-46+82.
- [5] 张春腾. 屋顶分布式光伏发电并网技术的应用研究[J]. 光源与照明, 2023, (11): 123-125.
- [6] 龚梓威,王海风,陈珏,等. 直流电压时间尺度下光伏并网控制系统稳定性分析[J]. 电力工程技术, 2023, 42(06): 2-13.
- [7] 廖文华. 分布式光伏发电并网数字化建模研究[J]. 中国高新科技, 2023, (15): 94-96.