

新时期分布式光伏发电系统电气设计研究

范家将

(中国能源建设集团山西省电力勘测设计院有限公司, 山西 太原 030001)

摘要 分布式光伏发电系统具有投资小、收益大、使用灵活、建设周期短等特点, 被广泛应用于商业建筑和居民住宅中, 在我国新时期的电力改革背景下, 分布式光伏发电系统在电网建设中的地位越来越重要。新时期的分布式光伏发电系统需要进行合理设计, 以此提高电网系统的运行效率。本文从分布式光伏发电系统的优点入手, 针对新时期分布式光伏发电系统电气设计要点进行了详细分析, 希望对促进我国新时期电力改革背景下的电力建设起到一定的参考作用。

关键词 分布式光伏发电系统; 电气设计; 光伏方阵; 并网逆变器; 并网方式

中图分类号: TM7

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0001-03

分布式光伏发电系统作为可再生能源的重要组成部分, 正日益受到广泛关注。它以其独特的优势, 如灵活布局、高效能源转换和环境友好性, 正在成为新时期能源革新的重要力量。然而, 随着技术的不断发展和市场需求的日益增长, 如何在保证系统稳定高效的同时, 优化其电气设计, 成为行业内的重要课题。这不仅涉及光伏组件的布局、逆变器的选择, 还包括智能化管理和能量效率的提升等多方面的技术挑战。

1 分布式光伏发电系统的优点

1.1 稳定高效

分布式光伏系统采用了先进的智能监控技术和高精度的数据处理能力, 能够实时监测环境变化和系统运行状态, 通过智能调节组件角度和工作模式, 最大限度地提升光伏组件的光电转换效率, 确保系统在不同天气条件和不同时间段内都能稳定运行。智能监控技术不仅可以对系统的电压、电流、功率等参数进行精确监测, 还能够根据实时数据分析对系统进行优化调整, 进一步提升系统的工作效率。系统的冗余设计和故障自愈能力也大大增强了其在面对极端天气或设备故障时的稳定性, 保证了电力供应的连续性和可靠性。例如, 在遇到雷雨、暴风雪等极端天气时, 系统能够自动检测并切换到备用模块, 避免因单一组件故障导致系统整体停机。分布式光伏发电系统的组件也具有高度的模块化设计, 使得每个组件在出现故障时都能被快速替换或维修, 降低了系统的维护成本和停机时间。分布式光伏发电系统在电力转换和传输过程中表现出了非常高的能量利用率。系统采用的高效光伏组件能够在各种光照条件下实现更高的能量捕获率和转换效率, 配合优化的系统设计和精确的最大功率

点跟踪技术 (MPPT), 最大化了每一束光能的利用。不仅如此, 由于分布式光伏发电通常就近接入负载或电网, 大大减少了电能在远距离传输过程中的损耗, 提升了整个供电系统的经济效益和能效比。相比传统集中式电站, 分布式光伏系统的就地消纳特性使其能够更有效地减少输电线路上的损耗, 特别是在负荷中心附近直接供电, 从而提高了能源的利用效率, 降低了输电成本, 进一步增强了供电系统的经济性和环境友好性。

1.2 绿色环保

分布式光伏发电系统将太阳能这一清洁、无尽的能源转换为电能, 其过程中不产生有害气体排放, 不涉及化石燃料的开采、运输和燃烧, 有效减少了二氧化碳、硫化物和氮氧化物等温室气体和污染物的排放, 对于缓解全球气候变化和改善地区环境质量具有重要作用。相比传统的化石燃料发电方式, 光伏发电不仅减少了温室气体的排放, 还避免了燃煤、燃油过程中产生的烟尘和废渣, 从源头上改善了空气质量, 减少了酸雨等环境问题的发生。分布式光伏发电系统的模块化和可扩展性特点使其能够灵活部署于城市屋顶和工业园区等多种环境中, 与建筑和自然环境高度融合, 充分利用空间资源, 而不占用大片土地资源, 避免了传统能源项目对生态环境的侵占和破坏。例如, 在城市建筑的屋顶上安装光伏系统, 不仅不占用地面空间, 还能为建筑提供一定的遮阳效果, 减少夏季空调的能耗, 达到节能的目的。在工业园区内部署光伏系统, 可以为园区提供清洁电力, 降低工业活动对环境的影响, 助力企业实现绿色生产。在技术层面, 分布式光伏发电系统采用的光伏组件和辅助材料日益向绿色、

环保、可回收方向发展。从光伏组件的生产过程到废弃组件的回收处理，行业正逐步建立起完善的环境管理体系和回收利用机制，降低了整个生命周期中的环境影响。例如，光伏组件的生产过程中，通过提高原材料的利用率、采用清洁生产技术和节能减排措施，不断降低对自然资源的依赖和生态环境的负担^[1]。

1.3 电能损耗小

分布式光伏发电系统通常在电力消费的近端进行安装，例如建筑物的屋顶或者靠近用电点的开阔地区，这种就地发电和就地消费的模式大幅度降低了长距离传输电能时不可避免的线路损耗，尤其是在高负载需求时期，这种优势更为显著。传统的远距离输电会造成大量电能输电过程中以热能的形式散失，而分布式光伏系统有效地缩短了输电距离，减少了电能在输电过程中的损耗，提高了电能利用效率。从电能转换损耗的角度看，分布式光伏发电系统采用的是直接将太阳能转换为电能的方式，避免了传统发电方式中的热能转电能过程，减少了能量转换中的多次损耗。在分布式光伏系统中，通过优化组件材料和提高光电转换效率，进一步降低了系统内部的能量损耗。现代分布式光伏系统中智能化的能量管理和储能技术的应用，能够根据电网负荷和电力消费需求，动态调节发电和储能策略，减少了因发电与消费不匹配造成的额外能量损耗。分布式光伏发电系统在电气设计中还注重对逆变器和其他电气组件的优化，通过提高这些组件的工作效率和稳定性，减少了系统运行过程中的电能损耗。

2 新时期分布式光伏发电系统电气设计要点

2.1 光伏方阵的设计

光伏方阵的设计要充分考虑地理位置、气候条件以及日照特性，这些因素直接决定了光伏组件的日照接收量和发电效率。通过对安装地点的年平均日照时数进行精确测量，如我国北方地区年均日照时数可达1200小时以上，这对确定光伏组件的最佳朝向和倾斜角度具有指导意义。例如，考虑到我国北京地区的纬度约为 40° ，夏季倾斜角度可设计为 20° 至 30° ，而冬季则可调整至 40° 至 50° ，以适应季节变化对光照角度的影响。光伏方阵的设计还需要考虑光伏组件的串联和并联配置，这直接影响到系统的电压和电流特性，进而影响整个系统的发电性能和稳定性。在设计时，需要根据光伏组件的最大功率点电压和电流，合理配置串并联数量，确保在不同的温度和光照条件下，系统都能在接近最大功率点工作，从而提高整体的能量转换效率。还需考虑光伏组件之间的阴影效应和潜

在热点效应，合理布局光伏组件，避免由于部分组件受阴影遮挡或局部过热而造成的功率损失。例如，一个标准的光伏组件在标准测试条件下（STC：光照强度 1000 W/m^2 ，电池温度 $25\text{ }^\circ\text{C}$ ）的最大功率点电压（ V_{mpp} ）可能为 55.55 V ，最大功率点电流（ I_{mpp} ）为 14.25 A 。如果系统设计的直流母线电压为 1000 V ，则可能需要将18片这样的光伏组件串联以形成一个方阵。为了减少阴影效应对发电效率的影响，可通过计算机模拟的方式，预测不同时间段光伏组件的受光情况，从而优化组件的布局。在实际电气设计中，还要特别关注系统的温度控制和散热问题。因为光伏组件的发电效率与其工作温度密切相关，通常温度每上升 $1\text{ }^\circ\text{C}$ ，光伏组件的电压会下降 0.2% 至 0.5% 。因此，设计时会采用带有散热通道的安装支架，保证空气流动可以带走组件背面的热量，或者在组件背面安装散热板以提高散热效率^[2]。

2.2 并网逆变器的设计

一个优秀的并网逆变器不仅要有效转换为符合电网要求的交流电，还要具备优良的电网适应性和智能控制功能。逆变器的核心是其转换效率和稳定性，现代高效逆变器的转换效率可达 98% 以上，这意味着转换过程中只有极少部分能量损失。例如，一台功率为 30 kW 的逆变器，在满载工作时，其损耗功率可能低于 100 W 。这种高效率的设计减少了能量的浪费，提高了系统的整体发电效率。在技术实现上，高效的并网逆变器通常采用先进的功率电子技术，如采用宽带隙半导体材料（如碳化硅 SiC 、氮化镓 GaN ）制作的功率器件，这些材料具有更高的热导率、电子迁移率和电场强度耐受能力，能在更高频率、更高温度和更高电压下工作，从而提高逆变器的效率和功率密度。现代并网逆变器的输出电压波形、频率和相位必须与电网完全同步，这需要逆变器具备精确的电网监测和快速的控制算法，以实时调整输出电流的幅值和相位，保证与电网的无缝连接。例如，逆变器可能采用先进的相位锁定环（PLL）技术，实时锁定电网频率，确保输出电流与电网电压同步。为应对电网故障和波动，高品质的并网逆变器还应具备良好的低电压穿越（LVVRT）和高电压穿越（HVVRT）能力，即在电网电压暂时低于或高于正常范围时，逆变器能维持运行一段时间，保障系统稳定。现代逆变器还应具备一定的电网支持功能，如无功功率控制、电压调节等，帮助稳定电网，提升系统的综合价值^[3]。在安全性和可靠性设计上，逆变器应具备完善的保护机制，如过温、过载、短路保护等，确保在异常情况下能迅速脱网，避免对系统和电网造成损害。逆变器的设计还应考虑长期的

运行可靠性,选择耐高温、抗腐蚀的材料,采用防尘、防潮的结构,以适应各种恶劣环境。

2.3 并网方式的设计

在分布式光伏发电系统中,分布式光伏发电系统的并网设计不仅要符合理论和规范,还要结合具体的实际情况和技术数据进行优化。在直接并网模式下,电压匹配是一个核心的技术问题。光伏发电产生的直流电需要通过逆变器转换为交流电,而逆变器的输出电压必须与电网的电压完全匹配。例如,对于标准的 220 V/380 V 民用电网,逆变器的输出电压波形必须是精确的正弦波,频率为 50 Hz 或 60 Hz,电压有效值为 220 V 或 380 V。逆变器的总谐波失真(THD)要控制在国家标准规定的范围内,通常要求 THD 小于 5%,以确保电能质量。在实际的电网环境中,电压波动和频率波动是常见的问题,这就要求并网逆变器具备良好的电网适应性和调节能力。例如,一些高性能的并网逆变器能在电网电压波动 $\pm 10\%$ 的范围内稳定工作,且可以在毫秒级别内响应电网频率的变化,动态调整输出频率和相位,确保与电网同步。对于通过储能系统间接并网的设计,技术数据的精确计算和智能控制策略的应用是提高系统性能的关键。例如,在设计储能系统的容量时,需要综合考虑光伏发电的波动性、电网的需求特性和储能系统自身的充放电特性^[4]。通常会采用容量配置系数(如 1.2 ~ 1.5 倍)来决定储能系统的容量,以保证在光伏发电不足或电网需求高峰时,储能系统能提供足够的电能支持。储能系统的充放电策略也需要智能优化,例如,可以在电网需求低谷时充电,在需求高峰时放电,以实现经济效益最大化。在实际应用中,还需要考虑并网系统的可靠性和维护成本。并网设备,尤其是逆变器和储能设备,是系统中的关键组成部分,其性能和寿命直接影响系统的总体性能和运营成本。在设计中,除了选择高性能、高可靠性的设备外,还需要设计合理的维护策略,定期对系统进行检查和维护,以保证长期稳定运行。

2.4 电站电气组件的设计

电站电气组件的设计不仅需要理论上的精确和规范,而且需要根据现场的具体条件和长期运行的数据进行实际的优化。举例来说,在电气保护设计中,选择的断路器需要根据系统的峰值电流进行精确计算。如果一个光伏系统的最大输出电流是 100 A,那么断路器的选择可能是 125 A 的额定电流,确保在最糟糕的情况下也能有效断开电路。为了应对可能的电压冲击或短路,设计人员还需要在系统中加入避雷器和浪涌保护器,其保护等级和响应时间的选择需要根据现场

的实际测量数据和统计数据来确定。在能量监测方面,实践中通常会安装多个测量点,包括光伏板的直流侧、逆变器的交流侧以及并网点。每个测量点都需要安装高精度的电表,这些电表不仅能提供瞬时的电流、电压、功率等数据,还能记录能量的累计产出和消耗。例如,一些高级的电表能够记录每 15 分钟或每小时的能量数据,并通过 RS485 或以太网接口将数据传输到中央监控系统。这样的详细数据记录对于了解系统的运行状态、分析效率趋势以及预测维护需求至关重要。在系统控制方面,在实际设计中,不仅需要实时监测和控制,还需要具备远程控制和故障诊断的能力。例如,高级的控制系统能够通过互联网远程监控光伏系统的运行状态,自动调整工作模式以适应天气变化或电网需求,并在检测到异常时立即发出警报。这些控制系统还能够进行数据分析,预测系统的维护需求,甚至在某些情况下能够远程进行故障排除。在可维护性和可靠性设计上,实践中通常会选择冗余设计,尤其是对于关键组件如逆变器和控制系统^[5]。又如,一个设计良好的光伏系统可能会安装两台逆变器,每台逆变器只承担一半的负载,这样在一台逆变器出现故障时,系统仍然能继续运行。

3 结束语

对分布式光伏发电系统电气设计研究的深入和发展,不仅是响应能源转型和绿色发展的时代呼声,也是推进可再生能源技术创新的关键所在。电力人员应致力于进一步优化电气设计方案,不断提高系统效率和稳定性,同时积极探索更加高效的能量管理和智能化控制技术,以应对不断变化的环境和需求。在确保经济效益的同时,更要注重环保效益,实现可持续发展。这将为分布式光伏发电在新能源领域中的广泛应用奠定坚实的基础,也为未来能源结构的优化和环境保护贡献重要力量。

参考文献:

- [1] 王珏.分布式光伏发电系统电气设计分析[J].现代工业经济和信息化,2023,13(10):109-111.
- [2] 项旭东,顾锦,刘宇.分布式光伏电站设计中电气设计方法[J].中国高新科技,2023(21):79-80,86.
- [3] 丁鹏飞,董恩丞,姜军,等.分布式光伏电站电气设备的选型和设计[J].光源与照明,2023(03):106-108.
- [4] 夏鼎.分布式光伏发电系统电气设计[J].中国科技信息,2021(16):54-55.
- [5] 胡继宗.分布式光伏发电系统电气设计分析[J].电力设备管理,2023(15):84-86.