

光伏新能源系统的设计与优化

杨晓旭

宁夏朔源电力设计咨询有限公司 银川 宁夏 755100

摘要: 本文探讨了光伏新能源系统的设计与优化策略,介绍了光伏效应与发电原理,分析了系统设计应遵循的经济性、可靠性、高效性和适应性原则。详细阐述了系统总体设计方案、核心子系统与辅助系统的设计要点。从发电效率、经济性、稳定性与可靠性以及智能化四个方面,提出了系统的优化方向与具体策略,旨在为光伏新能源系统的设计与优化提供参考。

关键词: 光伏新能源系统;设计;优化

引言: 在全球能源结构向清洁低碳转型的关键阶段,光伏新能源因资源可再生、碳排放低等优势,成为能源替代的核心方向。然而,光伏系统的实际效能高度依赖设计的科学性与运行的优化度,当前部分项目存在发电效率不足、成本控制不佳等问题。基于此,本文从光伏发电核心原理与技术规范出发,明确系统设计的核心原则,细化各环节设计要点,并针对性提出多维度优化策略,为提升光伏系统综合性能、推动其规模化高质量应用提供技术支撑。

1 光伏新能源系统设计的理论基础

1.1 光伏效应与发电原理

光伏效应是光伏发电的核心,本质是半导体材料受光照产生电荷分离与电流的物理过程。太阳光照射光伏电池,光子能量被半导体吸收,价带电子跃迁至导带,形成电子-空穴对。在电池内部PN结自建电场作用下,电子与空穴分离并向不同方向移动,经电极引出形成光生电流。光伏组件是实现光伏效应的基本单元,其电性能参数直接反映发电能力,包括开路电压、短路电流、最大功率及填充因子等。这些参数受多种因素影响:光照强度增大,光子数量增多,光生载流子数量增加,短路电流和最大功率上升;温度升高,半导体禁带宽度变窄,载流子复合概率增加,开路电压下降,影响发电效率。

1.2 系统设计相关技术标准与规范

国内为光伏新能源系统设计制定了一系列标准规范,提供刚性约束。电气安全方面,《光伏发电站设计规范》(GB50797)明确光伏电站电气设备选型、布置及接地要求,保障人员与设备安全;并网环节需遵循《分布式光伏发电并网技术要求》(GB/T33593),对并网接口、功率控制、电压调节等详细规定,确保光伏系统与电网稳定互联。国际上,IEC61215系列标准规范地面用晶硅光伏组件性能与设计要,涵盖机械强度、耐候性及电

性能测试等;IEC61730聚焦光伏组件安全认证,明确电气、机械安全及防火要求。实际设计中,要结合项目需求与地域特点,确保系统设计合规科学^[1]。

2 光伏系统设计的基本原则

2.1 经济性原则

经济性原则要求设计光伏新能源系统时,权衡全生命周期成本与收益。初始投资中,组件要考量性价比,转换效率相近选成本低的多晶硅;逆变器对比价格、性能和适用场景选型;支架形式和组件夹角综合评估成本与发电效率。合理设计系统结构可降低运行成本,如科学规划组件布局方便清洁和检修。同时,结合光照资源预测发电量、核算成本,保证系统预期寿命内收益最大,避免设计失误致成本过高、回收期过长。

2.2 可靠性原则

可靠性原则是保障光伏新能源系统长期稳定运行的关键。设计时要重视设备质量性能,选经认证、口碑好的产品,如逆变器转换效率高、抗干扰强,组件能耐受极端环境。电气连接设计要符合安全规范,防止线路老化等问题引发故障;完善防护措施,包括防雷接地、过流过压保护等,降低自然灾害和电气故障对系统的破坏风险。

2.3 高效性原则

高效性原则旨在提高光伏新能源系统能量转化与利用效率。组件选型关注转换效率,条件允许优先选高效组件,如单晶硅比多晶硅转换效率高2-3个百分点。阵列布局要科学,优化倾角与方位角,北半球方位角多设为正南,倾角参考当地纬度;合理计算组件间距,保证日照强时段无阴影遮挡^[2]。此外,逆变器与组件参数要匹配,让组件工作在最大功率点附近,减少功率损耗。

2.4 适应性原则

适应性原则要求光伏新能源系统设计需与应用场景

及环境条件相适配。针对不同的安装场景，如屋顶光伏、地面光伏电站、光伏建筑一体化等，需采用差异化的设计方案，屋顶光伏需考虑屋顶承重与防水要求，地面电站则可结合地形进行阵列布置；要适应当地的气候特征，在高温地区需优化系统散热设计，如选择散热性能良好的逆变器或增加散热装置；在多阴雨地区可适当增加组件容量以弥补光照不足的影响。对于离网光伏系统，需根据负载特性合理设计储能容量，确保在光照不稳定时仍能满足用电需求。

3 光伏新能源系统的设计

3.1 系统总体设计方案

系统类型选择需结合应用场景与用户需求。小型分布式光伏系统适用于用电规模小且分散的场景，如居民屋顶、小型商业场所，多采用并网形式，成本低，能满足自用和余电上网需求。大型地面光伏电站规模大、集中布局，适合光照资源丰富、土地开阔地区，一般并网发电直送电网，投资回收周期长但发电规模效益好。离网型系统适用于无电网覆盖或电网不稳定的偏远区域，如偏远乡村，需配置储能设备保障供电，但成本高。混合式系统结合离网与并网特点，常配备多种能源输入或与柴油发电机联用，适用于供电可靠性要求极高的场景，如通信基站。系统容量规划上，小型分布式光伏依据用户历史用电数据和所在地太阳辐照度，计算光伏阵列理论发电量，结合发电量与负荷需求匹配关系确定组件总功率，考虑组件效率衰减等因素，冗余系数取1.1-1.2。大型地面光伏电站依据大规模用电需求预测和当地光照条件，规划组件数量与排列布局。整体架构设计方面，小型分布式光伏系统由光伏阵列、逆变器、配电系统等组成，部分有小规模储能；大型地面光伏电站架构更复杂，含大规模光伏阵列、多台逆变器、升压站及配电系统等，各子系统协作保障高效稳定运行^[1]。

3.2 核心子系统的设计

核心子系统包含光伏阵列与逆变子系统。在光伏阵列设计时，组件串联数（N）的确定需严格依规：一是依据逆变器最大直流输入电压（ U_{max} ），综合考虑组件开路电压（ U_{oc} ）、温度系数（ α ）及极限低温（ T_{min} ）等，计算公式可简化为需满足 $N \times U_{oc} \times (1 + \alpha \times (T_{min} - T_{ref})) \leq U_{max}$ （ T_{ref} 为参考温度），确保安全稳定运行；二是按逆变器最大功率点跟踪（MPPT）电压范围校验，保证组件高效工作。组件多采用行列式布置，利于通风散热，延长寿命。逆变子系统选型上，组串式逆变器在大型地面光伏项目应用广泛，如青海200MW电站，能降低组件失配影响，有PID修复功能；集中式适用于组件一致好的大型场景；微

型逆变器灵活，可精细管理单个组件。选型要关注转换效率（ η ），一般 $\eta \geq 98\%$ ，MPPT精度（Pacc）达99%及以上，以减少功率损失。

3.3 辅助系统设计

根据系统的电流与电压等级，选择合适截面的电缆，确保线路安全载流且损耗较小；配置断路器、熔断器等保护装置，实现过流、短路保护；设计控制逻辑，实现光伏阵列、逆变器、储能系统的协调运行，如根据光照强度自动启动或停止光伏阵列运行，根据电池SOC自动控制充放电；监控与通信系统设计需实现数据采集与远程监控，在光伏组件、逆变器、等关键设备上安装传感器，采集发电量、电压、电流、温度、SOC等数据；通过通信模块（如RS485、LoRa、4G等）将数据传输至监控中心；监控中心软件对数据进行分析与展示，实现系统运行状态的实时监控、故障报警与历史数据查询；同时支持远程控制功能，如远程启停设备、调整运行参数等；防雷接地系统设计需采取有效的雷电防护措施，在光伏阵列上方安装避雷针或避雷带，防止直接雷击；在逆变器、汇流箱等设备前端安装浪涌保护器（SPD），抑制感应雷产生的过电压；系统接地包括工作接地、保护接地与防雷接地，需将设备的金属外壳、支架等可靠接地，接地电阻应满足相关防雷接地规范要求（不同场景下要求不同，一般一类防雷建筑物接地电阻不大于 10Ω ，二类不大于 4Ω ，三类不大于 30Ω ，光伏系统通常需依据具体标准达到相应严格程度），确保雷电电流能够安全泄放。

4 光伏新能源系统的优化方向与策略

4.1 发电效率优化策略

发电效率优化可从组件级与系统级入手。组件级优化可采用功率优化器或微型逆变器，解决因阴影、组件老化等导致的失配问题，使每个组件均能工作在最佳状态，可提升组串发电效率5%-10%；定期对组件进行清洁，去除表面灰尘与污渍，尤其是在多风沙或多雾霾地区，清洁后组件发电效率可提升10%左右。系统级优化需优化MPPT算法，传统的扰动观察法在光照突变时易出现震荡，可采用自适应MPPT算法，如粒子群优化算法，提升最大功率点跟踪的速度与精度；对于大型地面电站，可采用双轴跟踪支架，实时调整组件角度以跟踪太阳位置，相比固定倾角阵列，发电量可提升15%-25%。此外，合理设计散热系统，避免逆变器、组件因高温导致效率下降，如在逆变器周围设置通风口或采用强制风冷。

4.2 经济性优化策略

经济性优化需从设备选型与运维成本控制两方面采取措施。设备选型时建立全生命周期成本评估模型，综

合考虑设备初始成本、寿命、维护费用,如单晶硅组件初始成本较高但寿命可达25年,多晶硅组件寿命约20年但成本较低,需根据项目周期进行对比选择;运维成本控制可采用无人机巡检替代人工巡检,搭载红外相机检测组件热斑,大幅减少人力成本;制定差异化维护计划,组件每半年清洁一次,逆变器每年进行一次全面检修,避免过度维护;对老化组件进行性能测试,当转换效率衰减超过20%时及时更换,确保系统整体发电效率^[4]。

4.3 稳定性与可靠性优化策略

电网接入稳定性优化需采取措施抑制并网冲击与电压波动。针对光储系统特性,在逆变器中加入滤波电路,减少谐波含量,降低对电网的污染;由于大型集中式光储系统对电网无功支撑有特定要求,需安装具备动态调节能力的无功补偿装置,精准调节系统的无功功率,维持电网电压稳定;采用软启动技术,避免逆变器并网时产生过大的冲击电流。当电网出现电压波动、频率异常等情况时,逆变器需快速响应,及时调整输出功率或脱离电网,保障电网与系统的安全稳定运行;储能系统优化聚焦于独立储能环节,以提高储能电池的循环寿命与充放电效率为目标,采用先进的电池管理系统(BMS),对电池的电压、电流、温度等参数进行实时监测与均衡控制,避免电池单体之间的不一致性,延长循环寿命;优化充放电制度,采用慢充慢放的方式,减少电池的极化现象,提高充放电效率;定期对电池进行维护,如均衡充电、容量校准等,保持电池的性能;系统冗余设计需配置关键设备的冗余与故障切换机制,在大型集中式光储系统重要的负荷回路中配置备用电源,如柴油发电机,当系统出现故障时,能够自动切换至备用电源供电;对逆变器、汇流箱等关键设备采用冗余配置,如设置备用逆变器,当主逆变器故障时,备用逆变器自动投入运行;设计可靠的故障切换逻辑,确保切换过程快速、平稳,避免供电中断。

4.4 智能化优化策略

实现智能化优化,有多种先进技术途径。一是构建数字孪生系统。综合物联网、大数据与建模技术,在虚

拟空间为光伏组件、逆变器等设备构建精准映射的数字模型。通过安装传感器实时采集设备运行数据并传输至平台,利用模型模拟不同工况下系统性能,提前发现潜在问题,为优化设计与运维决策提供依据;二是采用边缘计算技术。在逆变器或监控终端部署智能算法模型,使终端设备能本地实时处理采集的数据,减少数据传输延迟。若设备出现异常数据,边缘计算节点可迅速分析判断故障类型并触发报警,提升故障响应速度;三是实现系统智能调度。并网系统借助智能电表与能源管理系统,实时监测电网负荷与电价变化,按预设策略自动调整光伏阵列发电功率,实现效益最大化;离网系统依据储能电池电量与负载需求,通过智能控制器动态调整光伏阵列出力与储能充放电策略,保障供电稳定;四是开发移动端运维APP。集成数据查询、报警推送、故障诊断与远程指导等功能,运维人员通过手机可实时查看系统数据、接收异常报警信息,快速定位故障原因并获取解决方案,还能与专家远程沟通获取指导,提高运维效率。

结束语

本文通过对光伏新能源系统设计与优化的全面分析,展现了在技术进步和政策支持的推动下,光伏新能源系统所展现出的巨大潜力和广阔前景。随着研究的不断深入和技术的持续创新,光伏新能源系统的设计与优化将更加精细化、智能化,为能源结构的转型和碳中和目标的实现作出更大贡献。未来,期待看到更多高效、稳定、经济的光伏新能源系统在全球范围内得到广泛应用。

参考文献

- [1]赵鹰仲,雅娟.光伏发电系统优化设计分析[J].节能,2022,41(04):16-18.
- [2]张静.碳中和背景下的多种形式新能源发电系统构建与研究[J].应用能源技术,2022,(05):51-53.
- [3]章佳,龙建平.一种考虑弃光率的大型光伏电站储能配置模型研究[J].广西电力,2022,45(01):33-41.
- [4]沈鸿达.储能技术在新能源电力系统中应用研究[J].科技资讯,2024,22(21):85-87.