

# 光伏电站光伏区电气系统设计研究

赵建忠 王月华 贺 瑞

内蒙古华电锡林浩特新能源有限公司 内蒙古 锡林浩特 026000

**摘要:** 随着新能源产业快速发展,光伏电站作为清洁能源利用的重要形式,其光伏区电气系统设计质量直接影响发电效益与安全运行。本文围绕光伏电站光伏区电气系统设计展开研究,在设计概述部分,明确光伏发电原理、电气系统组成及安全、可靠、经济、高效的设计原则;关键环节设计中,从光伏组件选型布局、逆变器选型配置、汇流箱与电缆设计、防雷接地系统、监控自动化五方面,提出具体设计要点与适配策略;最后探讨设备技术迭代、系统跨领域融合、智能化管理的发展方向。研究为光伏电站光伏区电气系统设计提供理论支撑与实践参考,助力提升系统发电效率与运行稳定性,降低全生命周期成本。

**关键词:** 光伏电站;光伏区电气系统;关键环节设计

**引言:** 当前光伏电站设计面临设备适配、效率优化、风险防控等多重挑战,亟需系统的设计理论与方法指导。本文以光伏电站光伏区电气系统为研究对象,首先阐述光伏发电原理、系统组成及设计原则,奠定研究基础;随后聚焦五大关键设计环节,细化技术要点;最后分析发展趋势,构建完整的设计研究框架。通过本研究,旨在解决光伏区电气系统设计中的核心问题,为行业实践提供科学依据,推动光伏电站高质量发展。

## 1 光伏电站光伏区电气系统设计概述

### 1.1 光伏发电原理

光伏发电的核心原理是光生伏特效应,该效应是半导体材料在光照作用下实现光能向电能转化的关键物理过程。当光子照射到半导体PN结时,能量足够的光子会激发PN结内的电子,使其摆脱共价键的束缚,形成自由电子和空穴对。在PN结内建电场的作用下,自由电子会向N区移动,空穴则向P区移动,这种电荷的定向迁移会在PN结两端形成电势差。当外部电路形成闭合回路时,电子会沿着外电路从N区流向P区,从而产生持续的电流,完成光能到电能的转化。

### 1.2 电气系统组成

光伏区电气系统是实现电能产生、汇集、转换与传输的核心载体,主要由光伏组件、逆变器、汇流箱、电缆等关键设备构成,各设备在系统中承担不同功能,共同保障能量高效流转。(1)光伏组件是电能产生的源头,其核心功能是接收太阳光能,并通过光生伏特效应将其转化为直流电;(2)汇流箱作为中间汇集环节,负责将多个光伏组件产生的直流电进行集中收集,同时具备过流、过压保护功能,可避免单个组件故障对整体系统造成影响;(3)逆变器是实现能量形式转换的关键设备,能将

汇流箱输出的直流电转化为符合电网频率和电压要求的交流电,为电能并入电网或直接供负载使用提供条件;(4)电缆则承担电能传输的任务,需根据不同环节的电流、电压特性,实现光伏组件与汇流箱、汇流箱与逆变器之间的电能连接,确保能量在传输过程中损耗最小化。

### 1.3 设计原则

光伏区电气系统设计要遵循安以下原则,以保障系统长期稳定运行并实现效益最大化。(1)安全性原则是设计的首要前提,需通过合理的电路绝缘设计、接地保护及防雷措施,避免电气设备漏电、短路或雷击引发的安全事故,同时保障运维人员的人身安全;(2)可靠性原则要求系统在预期使用寿命内,能适应环境温度、湿度、光照等变化,减少设备故障停机时间,通过优化设备选型、冗余设计及防护措施,确保系统持续稳定输出电能;(3)经济性原则要在满足功能需求的前提下,平衡前期建设成本与后期运维成本,通过合理的设备配置、线路布局及能耗控制,降低系统全生命周期成本;(4)高效性原则则聚焦能量转化与传输效率,通过优化光伏组件布局、逆变器匹配方案及电缆选型,减少光能转化损失与电能传输损耗,最大化提升系统的发电效率,确保光伏电站的能源利用效益<sup>[1]</sup>。

## 2 光伏电站光伏区电气系统关键环节设计

### 2.1 光伏组件选型与布局设计

光伏组件其选型与布局设计直接决定系统发电效率与长期稳定性,要从以下方面开展关键设计工作。(1)组件选型设计要聚焦核心性能参数匹配,优先考量转换效率,结合电站所在区域的年平均光照强度,选择转换效率符合项目发电目标的组件,同时关注功率衰减特性,优先选用首年衰减率低、长期衰减曲线平缓的组件,以保障

电站全生命周期发电量；组件的温度系数要根据电站所在地的极端高温、低温环境数据，选择温度系数更优的组件，减少温度变化对发电效率的影响。(2) 组件布局设计要首先确定组件的方位角，通常以项目所在地的正南方向为基准，结合地形走向与周边遮挡情况微调，减少非正南方向布局导致的光照损失；其次精准计算倾斜角，要基于当地纬度、年太阳辐射总量数据，通过专业软件模拟不同倾斜角下的发电量，选择发电量最优的倾斜角，同时需兼顾冬季积雪滑落需求，避免积雪堆积覆盖组件影响发电；布局要合理控制组件间距，根据冬至日正午太阳高度角，计算相邻组件间的最小间距，防止前排组件对后排组件造成阴影遮挡，尤其需避免在上午9点至下午3点的高光照时段出现遮挡。(3) 组件串并联设计要根据逆变器的最大直流输入电压、最大功率点跟踪(MPPT)范围，确定单串组件的数量，确保组件串的开路电压、工作电压在逆变器的适配范围内；同时要控制同一逆变器下各组件串的电流差异，避免因组件性能不一致、安装角度偏差导致的电流不均衡，减少逆变器MPPT跟踪误差，提升整体转换效率。

## 2.2 逆变器选型与配置设计

逆变器要选型与配置直接影响电能转换效率、系统稳定性及运维成本，需围绕以下方面开展设计。(1) 逆变器选型要优先匹配系统规模与发电需求，根据光伏电站的总装机容量，确定逆变器的单机容量与台数，对于大型电站，可选择集中式逆变器以降低设备数量与运维复杂度；对于分布式或地形复杂的电站，组串式逆变器更适合灵活布局；同时需关注逆变器的转换效率，优先选用中国效率(CEC效率)或欧洲效率较高的产品，尤其需重视低光照条件下的效率表现，以提升阴天、清晨及傍晚时段的发电量。(2) 逆变器电气参数适配设计要覆盖输入与输出特性，输入侧要确保逆变器的最大直流输入电流、最大直流输入电压与组件串的输出参数匹配，避免因输入电流、电压超限导致逆变器保护停机；输出侧需根据电网接入要求，确定逆变器的额定输出电压、频率调节范围、功率因数调节能力，确保输出电能符合电网谐波标准、电压波动标准。(3) 逆变器配置优化要兼顾效率与可靠性，首先合理划分逆变器的接入区域，确保每个逆变器覆盖的组件串距离相近，减少直流线缆长度与损耗；其次需考虑逆变器的安装环境，选择具备合适防护等级(IP等级)的产品，在高温、高湿、多尘区域，需选用高温适应性强、散热性能优的逆变器，避免因环境温度过高导致逆变器降额运行<sup>[2]</sup>。

## 2.3 汇流箱与电缆设计

汇流箱承担光伏组件电流汇集功能，电缆负责电能传输，二者设计要注意以下方面：(1) 汇流箱设计要聚焦电流汇集与保护功能，首先确定汇流箱的输入路数，根据组件串数量与逆变器MPPT通道配置，选择单箱输入路数适配的产品，通常每路输入需对应1-2个组件串；汇流箱内部需配置直流断路器或熔断器，实现每路组件串的过流保护，同时需具备防雷模块，防止雷击产生的浪涌电流损坏组件与逆变器。(2) 直流电缆选型设计要基于电流与损耗控制，根据组件串的最大输出电流，选择载流量满足要求的电缆，通常需预留1.2-1.5倍的安全载流量，避免电缆过载发热；电缆的耐压等级需高于组件串的开路电压，确保在极端温度下电缆绝缘性能可靠，防止击穿漏电；同时需选择低电阻率的电缆材质，减少直流线路的电阻损耗，电缆的绝缘层需具备耐老化、耐紫外线性能，以适应户外长期暴晒环境。(3) 交流电缆设计要兼顾功率传输与电网适配，根据逆变器的额定输出功率与输出电压，计算交流电缆的额定载流量，选择载流量匹配的电缆，同时需考虑电缆的电压降，确保从逆变器到升压变压器的电压降控制在允许范围内，避免因电压降过大导致电能损耗增加；交流电缆需具备抗电磁干扰能力，减少对周边设备的信号干扰，敷设时需与直流电缆保持一定间距，避免交叉干扰。

## 2.4 防雷与接地系统设计

光伏电站地处户外开阔区域，易受雷击威胁，防雷与接地系统是保障设备安全、人员安全及系统稳定运行的关键，需从以下角度设计。(1) 防雷设计要构建多层防护体系，外部防雷需根据电站规模与地形，合理布置避雷针或避雷带，避雷针需覆盖光伏组件阵列、逆变器室等关键区域，确保保护角符合规范要求；组件阵列的防雷需在汇流箱、逆变器直流侧与交流侧配置浪涌保护器(SPD)，SPD的额定电压、通流容量需与系统电压、可能的浪涌电流匹配，实现对雷击浪涌的分级泄放。(2) 接地系统设计须满足导通与电阻要求，工作接地须将逆变器、汇流箱等设备的工作接地端子与接地网可靠连接，确保设备正常工作时的电位稳定；保护接地需将所有电气设备的金属外壳、金属支架与接地网连接，当设备绝缘损坏时，故障电流可通过接地网导入大地，避免人员触电；接地网的设计需采用水平接地体与垂直接地体结合的方式，水平接地体可选用镀锌扁钢，垂直接地体选用镀锌角钢，埋深需符合规范要求(通常不小于0.8m)，确保接地电阻满足要求，一般情况下，光伏电站接地电阻需不大于4Ω，在高土壤电阻率区域，需采取换土、添加降阻剂等措施降低接地电阻。(3) 接地系统的安全保障

设计要关注导通性与耐久性，接地网各连接点需采用放热焊接或螺栓紧固，确保连接可靠、导通良好，避免因连接松动导致接地电阻增大；需定期对grounding系统进行防腐处理，尤其是在潮湿、盐碱区域，可采用热镀锌、涂防腐漆等方式延长接地体使用寿命。

### 2.5 电气系统监控与自动化设计

监控与自动化系统是实现光伏电站精细化管理、故障快速排查及效率优化的核心，要围绕以下方面展开设计。(1)监控系统设计覆盖全系统数据采集，首先确定监控参数范围，包括光伏组件的运行电压、电流、温度，逆变器的输入输出功率、转换效率、MPPT跟踪状态，汇流箱的各路电流、电压，以及防雷接地系统的接地电阻、浪涌保护器状态等；数据采集需采用高精度传感器与采集模块，确保数据采集精度符合要求，采集频率需根据参数重要性设定，关键参数采集间隔不大于1分钟；监控系统的硬件架构需采用分层设计，现场采集层、数据传输层、中心监控层各司其职，确保数据传输稳定、可靠，避免数据丢失或延迟。(2)自动化控制设计需实现智能运行与保护，最大功率点跟踪(MPPT)控制需根据组件运行参数实时调整，通过扰动观察法或增量电导法，快速跟踪组件的最大功率点，确保系统始终运行在最高效率区间；电网接入控制需具备自动并网与离网功能，当电网电压、频率符合并网条件时，逆变器自动完成并网操作，当电网出现故障时，快速切断并网开关，实现离网保护。(3)远程运维与故障诊断设计要提升管理效率，监控系统需具备远程访问功能，运维人员可通过电脑、手机等终端实时查看电站运行数据，生成发电量报表、设备运行曲线等；故障诊断功能需基于采集的运行数据，建立故障分析模型，当设备出现异常时，自动发出报警信号，并定位故障位置、初步判断故障原因，为运维人员提供维修指导<sup>[3]</sup>。

## 3 光伏电站电气系统设计的发展趋势

### 3.1 关键设备技术迭代升级

核心设备向高效化、模块化方向发展，逆变器采用新型半导体材料与优化电路设计，进一步提升转换效率，同

时通过模块化结构增强扩展灵活性与维护便捷性。电缆技术聚焦低损耗与耐久性，借助高性能导体材料和优化结构降低电阻损耗，新型环保绝缘材料可提升抗老化与耐腐蚀性能。汇流箱等设备融入智能化监测模块，实现更精准的状态感知与保护控制。

### 3.2 系统集成与跨领域融合深化

设计理念从单一设备适配转向整体系统优化，通过多设备协同设计减少能量损耗。跨领域融合成为重要方向，电气系统与储能技术深度结合，实现电能存储与智能调度；与微电网技术融合提升能源利用效率，形成独立且灵活的能源系统，满足多元化用电需求。

### 3.3 智能化与数字化管理普及

依托物联网、大数据技术构建全流程数字化设计体系，实现设备选型、布局规划的精准模拟。运行阶段通过实时数据采集与分析，实现故障预测、智能调度与预测性维护，远程监控系统可实现设备状态全程可视化管理，大幅提升运维效率与系统可靠性<sup>[4]</sup>。

结束语：本文完成了光伏电站光伏区电气系统设计的全面研究，明确了设计概述中的核心理论与原则，提出了关键环节的具体设计策略，且预判了未来发展方向。研究成果可有效指导光伏电站光伏区电气系统的实际设计工作，帮助规避设备选型不当、布局不合理等问题，提升系统发电效率与运行可靠性，符合清洁能源高效利用的发展需求。

### 参考文献：

- [1]朱建峰.论述光伏电站光伏区电气系统设计研究[J].数码设计(电子版),2024(2):0549-0551.
- [2]杨敏.光伏电站光伏区电气系统设计研究[J].节能与环保,2022(6):52-54.
- [3]申毅.光伏发电电气系统设计优化研究[J].科技资讯,2025,23(5):72-74.
- [4]阿拉法特·木巴拉克.光伏发电电气系统设计与优化分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(7):064-067.