

光伏电站光伏区电气系统设计研究

赵可可 袁 月

江苏广恒新能源有限公司 江苏 南京 210008

摘 要：本文围绕光伏电站光伏区电气系统设计展开研究，阐述系统核心构成、设计原则及相关标准，重点分析组件、逆变器、汇流配电设备及电缆的选型要点，探究接线布局、保护措施与智能化设计策略。通过仿真验证与方案优化，实现系统安全性、经济性与高效性的平衡，解决设计中存在的设备适配、损耗控制等问题，为光伏区电气系统规范化设计、高效稳定运行提供理论支撑与实践参考，助力光伏产业高质量发展。

关键词：光伏电站；光伏区；电气系统设计

引言：随着光伏产业技术革新与规模化发展，光伏电站光伏区电气系统作为电能产生、传输与控制的核心环节，其设计合理性直接影响电站发电效率、运行安全与投资效益。当前行业面临设备选型适配不足、线损控制不佳等问题，且新型电力系统对并网稳定性的要求持续提升。基于此，本文聚焦光伏区电气系统设计，结合现行标准与工程实践，系统研究各环节设计要点，为优化设计方案、提升系统运行性能提供解决方案。

1 光伏电站光伏区电气系统相关基础理论

1.1 光伏区电气系统核心构成

光伏组件：其核心电气特性涵盖开路电压、短路电流。依据技术类型划分，可分为单晶硅、多晶硅等类别；按照封装方式区分，可分为常规、双玻等组件。光伏组件是电能产生的核心单元。逆变器：其核心功能为将光伏直流电转换为交流电，通过PWM调制对输出波形进行优化，同时具备并网适配以及过流、过压保护的作用。汇流箱与配电柜：汇流箱用于汇聚组串电流，以降低传输损耗；配电柜用于分配电能、保护设备。其电气连接逻辑为组件→汇流箱→逆变器→配电柜，从而构成完整的输电链路。

1.2 光伏区电气系统设计核心原则

安全性原则：应满足防雷、接地以及过电压保护的要求，设置多级防雷装置，将接地电阻控制在规定范围之内，配备过电压保护设备，以防因雷击和电压突变而损坏设备。**经济性原则：**需优化设备选型和线路敷设的成本，优先选择高性价比、低损耗的设备，通过优化线路路径来减少电缆的使用量，实现初始投资与长期运维成本之间的平衡。**高效性原则：**要提升发电效率和系统的稳定性，优化组件布局以减少遮挡，选用高效逆变器，确保各设备能够协同运行，从而降低电能损耗。

1.3 光伏区电气系统设计相关标准与规范

国内现行设计标准核心要求：GB50797-2024《光伏发电站设计标准》明确了光伏区电气系统设计的安全底线、设备配置及安装要求，保障系统合规运行^[1]。行业设计规范与并网技术要求：需遵循光伏并网相关规范，满足有功功率控制、低电压穿越等要求，确保与配电网稳定衔接。标准对设备选型、布线的具体约束：设备选型需符合标准规定的参数要求，布线需规范敷设，区分交直流电缆，保障传输安全与效率。

2 光伏电站光伏区电气系统核心设备选型设计

2.1 光伏组件选型设计

组件类型的比较与抉择：单晶硅组件具备转换效率高、衰减速度慢的优势，但成本相对较高，适用于光照条件良好且追求高效发电的场景；多晶硅组件具有较高的性价比和较强的稳定性，适合应用于大规模电站；薄膜组件在弱光环境下性能表现优异，然而效率较低，多用于特殊地形。组件选型需综合考虑电站规模、光照资源以及投资预算等因素。组件参数与系统的适配：组件功率应与逆变器的额定输入功率相匹配，以避免功率浪费或设备过载；电压参数需符合逆变器的输入范围，确保组件串联后的电压处于安全阈值之内，同时要兼顾组串数量和接线的合理性，以保障系统的稳定运行。**经济性与可靠性的平衡：**应优先选用质保期长、衰减率低的优质组件，以降低长期运维成本；结合单位功率成本，避免盲目追求高功率而导致投资增加，从而实现短期成本与长期收益的平衡。

2.2 逆变器选型设计

逆变器类型适配场景：集中式逆变器适用于大型电站，具有效率高、运维便捷的特点；组串式逆变器灵活性强，可适配组件遮挡场景，适合分布式及中小型电站；集散式逆变器结合两者优势，适用于中大型电站的复杂地形。逆变器功率等级、转换效率与MPPT功能要求：功率

等级需与组件组串功率相匹配,转换效率优先选用一级能效产品;MPPT(最大功率点跟踪)功能需具备高跟踪精度和响应速度,以提升光伏组件的发电利用率。逆变器电网适配能力选型要点:需满足电网并网要求,具备低电压穿越、无功功率调节等功能,能够适应电网电压波动,避免因电网异常导致逆变器脱网,保障电站并网稳定性^[2]。

2.3 汇流与配电设备选型设计

汇流箱的规格、保护功能与组串适配设计:规格需匹配组串数量和电流等级,具备防雷、过流、过压保护功能;每组汇流箱适配的组串数量需合理规划,以减少电流损耗,同时便于检修维护。配电柜的型号、接线方式与保护装置配置:型号需符合电站电压等级和电流需求,接线方式采用规范的交直流分离设计;配置断路器、漏电保护器等装置,实现对配电系统的过载、短路保护。直流断路器、熔断器等辅助设备选型:需与系统电压、电流参数相匹配,直流断路器优先选用具有灭弧功能的产品,熔断器需具备快速熔断特性,确保在故障发生时及时切断电路,保护主设备安全。

2.4 电缆选型设计

直流电缆与交流电缆的型号、截面选择依据:直流电缆选用耐高压、低损耗型号,交流电缆选用适配电网电压等级的型号;截面选择需结合传输电流、距离等因素,确保满足载流量要求,降低线损。电缆耐候、抗干扰性能与敷设环境适配:光伏区为露天敷设场景,电缆需具备耐高低温、抗紫外线、防老化性能;直流电缆需做好屏蔽措施,减少电磁干扰,交流电缆需远离直流电缆敷设,避免相互影响^[3]。电缆压降控制与经济性优化:合理控制电缆敷设长度,优化截面尺寸,将压降控制在规定范围内;在满足性能要求的前提下,选用性价比高的电缆型号,平衡线损控制与投资成本。

3 光伏电站光伏区电气系统接线与布局设计

3.1 光伏组件串并联接线设计

组件串并联数量的计算与确定:结合组件额定电压、电流及逆变器输入参数,计算串联数量以匹配逆变器输入电压范围,避免过压或欠压情况;并联数量依据逆变器额定输入功率确定,确保组串总功率与之适配,同时预留冗余,以应对组件衰减导致的功率下降。组串接线方式对比与选择:串联可提升组串电压、减少电缆损耗,适用于长距离传输场景;并联能增加总电流、提升输出功率,适合组件数量较多的场景。实际选型需结合电站规模、传输距离及逆变器参数,优先采用“串联为主、并联为辅”的方式,兼顾发电效率与系统稳定性。串并

联接线的可靠性与失配损失控制:选用参数一致性高的组件,降低失配损失;在组串中设置旁路二极管,避免单块组件故障影响整体组串运行;定期检查接线端子,防止松动导致接触不良,保障接线可靠性。

3.2 光伏区电气主接线设计

主接线拓扑结构设计:放射式结构接线简单、故障范围易控制,适合中小型光伏电站;树干式结构电缆用量少、投资成本低,适合大型电站的集中布局场景;结合电站规模与设备分布情况,优先选用结构简洁、可靠性高的拓扑结构,降低故障风险。主接线的灵活性与故障处理便利性设计:主接线需预留扩展接口,便于后续电站扩容;设置分段开关,实现故障区域隔离,减少故障对整体系统的影响;接线布局清晰,标识规范,方便运维人员快速定位故障并开展检修^[4]。主接线与逆变器、汇流箱的协同匹配:确保主接线的电压、电流等级与逆变器、汇流箱参数一致,避免设备失配;优化接线路径,缩短汇流箱到逆变器、逆变器到配电柜的电缆长度,降低传输损耗,实现各设备协同高效运行。

3.3 光伏区电气设备布局设计

逆变器、汇流箱的布置原则及间距要求:应遵循“就近布置”原则,逆变器、汇流箱宜尽量靠近光伏组件阵列,以缩短电缆长度;设备间距需满足散热与检修要求,逆变器间距不应小于1.5米,汇流箱间距不应小于0.8米,同时应避开积水与暴晒区域。配电柜与电缆沟的布局优化:配电柜应集中布置在便于运维的区域,且靠近逆变器群,以减少电缆敷设量;电缆沟设计需与设备布局相适配,避开地下管线,做好防水与防腐蚀处理,并优化沟道宽度与深度,以便于电缆敷设与检修。布局设计对施工与运维的影响:布局需兼顾施工便利性,预留施工通道,避免设备布置过于密集;应考虑运维安全性,在设备周围预留检修空间并设置清晰标识,同时通过优化布局缩短运维人员往返路程,提高运维效率。

3.4 布线设计与电磁干扰控制

交直流电缆分离敷设设计:严格落实交直流电缆分开敷设,严禁同沟、同管敷设,二者间距不得小于0.5米;直流电缆采用屏蔽电缆,交流电缆选用铠装电缆,以降低相互干扰,保障电能传输质量。布线路径优化与电磁干扰抑制措施:对布线路径进行优化,避开变频器、变压器等干扰源,减少电缆弯曲以降低信号干扰;在电缆两端设置接地屏蔽装置,抑制电磁辐射,同时做好电缆固定,避免因振动致使接线松动而引发干扰。布线施工的规范性要求:电缆敷设应平整牢固,避免出现破损与挤压情况;接线端子压接应符合规范,做好绝缘处理,

防止短路与漏电；电缆标识应清晰明确，标注电缆用途、规格及走向，以便于后续检修维护，确保布线施工符合设计标准。

4 光伏电站光伏区电气系统保护与智能化设计

4.1 光伏区电气系统保护设计

过流与短路保护的配置及定值整定：配置直流断路器、熔断器等保护装置，依据组件和逆变器的参数对保护定值进行整定，以确保在发生故障时能够迅速切断电路，避免设备因过流或短路而烧毁；区分交流回路与交流回路保护的差异，直流侧着重进行防弧设计，交流侧则需兼顾与电网的协同保护。防雷与接地系统设计：针对直击雷防护，采用避雷针、避雷带，使其覆盖组件阵列及设备区；对于感应雷防护，在汇流箱、逆变器端口加装防雷器，以抑制雷电感应过电压；采用联合接地系统，将接地电阻控制在 4Ω 以内，保障雷电能够快速泄放。过电压与漏电保护装置的布置及选型：过电压保护装置布置于设备进线端，选用与系统电压相适配的金属氧化物避雷器；漏电保护装置重点配置在直流回路，选用直流型漏电保护器，以便及时检测出漏电隐患，防止触电事故及设备损坏。

4.2 光伏区电气系统智能化监测设计

监测参数的选取：着重对组件组串的电压与电流、逆变器的输出功率、汇流箱的运行参数进行监测，同时兼顾环境温度和光照强度，以此全面反映系统的运行状态，为故障排查和能效优化提供数据支持。监测系统的组成及数据传输方式：该系统由传感器、数据采集器和监控终端构成，采用无线（LoRa、5G）与有线相结合的数据传输方式，以确保数据传输的稳定性；采集器实时采集数据并传输至监控终端，从而实现集中监控。监测数据的分析与故障预警功能设计：借助数据分析识别组件衰减、接线松动等异常状况，设置阈值预警机制，针对过流、过压、漏电等故障及时发出预警，提醒运维人员迅速进行处置，以降低故障造成的损失。

4.3 系统能效优化设计

容配比科学设计与发电量提升措施：合理设计组件与逆变器容配比（通常为1.2-1.3），充分利用逆变器容量

以提升发电量；优化组件布局，减少遮挡，定期清洁组件，降低功率损耗。无功补偿装置配置与电能质量治理：配置SVG静止无功补偿装置，补偿系统无功功率，改善功率因数，满足并网要求；抑制谐波污染，确保电能质量符合国家标准，避免电网处罚。智能运维技术在系统优化中的应用：采用无人机巡检、智能诊断系统，实现设备状态实时监测与故障定位；通过大数据分析优化运维策略，减少人工成本，提升系统运维效率。

4.4 设计方案验证与优化

设计方案的仿真分析：运用PSIM、PVsyst等软件，对系统发电量以及电压电流稳定性进行仿真，以此验证设计方案的合理性，并排查潜在隐患。设计方案的经济性与安全性验证：核算设备投资与运维成本，以验证方案的经济性；模拟故障场景，检验保护系统的有效性，确保设计符合安全标准。基于验证结果的设计优化措施：针对仿真与验证过程中发现的问题，优化保护定值、调整设备布局、完善监测方案，从而提升系统的安全性、经济性与高效性。

结束语

本论文针对光伏电站光伏区电气系统设计开展了全面研究，明确了核心设备选型、接线布局、保护与智能化设计等方面的关键点，通过多维度优化达成了安全、经济、高效的设计目标。尽管本研究已涵盖设计全流程，但依然存在一定的提升空间。后续可结合数字化设计技术与新型组件特性，进一步优化能效控制与智能运维方案，不断完善设计体系，从而为光伏电站的长期稳定运行提供更为坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]杨敏.光伏电站光伏区电气系统设计研究[J].节能环保,2022,(6):52-54.
- [2]王珏.分布式光伏发电系统电气设计分析[J].现代工业经济和信总化,2023,13(10):109-111.
- [3]吴明.内蒙古自治区村级光伏扶贫电站系统设计及优化[J].华电技术,2023,41(7):137-139.
- [4]王诗芹.含双面光伏组件光伏发电系统的设计研究[J].太阳能,2023,(5):30-33.