

# 光伏发电项目电气系统设计与施工管理研究

黄学成

上海外高桥第二发电有限责任公司, 上海 201208

**[摘要]**光伏发电是可再生能源利用的一种重要方式, 电气系统的设计及施工对整个光伏电站的发电量、安全性以及经济效益有着非常大的影响, 在文章中从光伏发电项目的电气系统的组成原理、设计方案、施工技术和质量管理以及安全管理等方面进行了详细介绍。在电气系统的设计中, 主要对电气主接线方式选择、光伏阵列及汇流的设计、逆变器的选择及容量配置、升压站及变配电系统的设计、接地及防雷保护设计进行了详细论述; 在电气系统的施工主要对光伏组件及支架电气安装、汇流箱及逆变器的安装工艺、接地及防雷系统的施工要点、并网接入系统施工与调试等关键技术进行了介绍。对于质量管理及安全管理环节制定核心工艺的质量检验标准以及常见的质量问题预防方法, 形成施工安全风险辨识及安全保障机制。文章可以为以后光伏发电项目中的电气工程的设计以及施工过程中的管理有借鉴作用。

**[关键词]**光伏发电; 电气系统设计; 施工管理

DOI: 10.33142/hst.v9i4.19596

中图分类号: TM615

文献标识码: A

## Research on Electrical System Design and Construction Management of Photovoltaic Power Generation Projects

HUANG Xuecheng

Shanghai Waigaoqiao No.2 Power Generation Co., Ltd., Shanghai, 201208, China

**Abstract:** Photovoltaic power generation is an important way of utilizing renewable energy. The design and construction of the electrical system have a significant impact on the power generation, safety, and economic benefits of the entire photovoltaic power station. This article provides a detailed introduction to the composition principles, design schemes, construction techniques, quality management, and safety management of the electrical system of photovoltaic power generation projects. In the design of electrical systems, detailed discussions are mainly conducted on the selection of main electrical wiring methods, the design of photovoltaic arrays and busbars, the selection and capacity configuration of inverters, the design of booster stations and power distribution systems, grounding and lightning protection design; The construction of the electrical system mainly introduces key technologies such as the electrical installation of photovoltaic modules and brackets, the installation process of combiner boxes and inverters, the construction points of grounding and lightning protection systems, and the construction and commissioning of grid connected access systems. Develop quality inspection standards for core processes and common quality problem prevention methods for quality and safety management, and establish a mechanism for identifying construction safety risks and ensuring safety. The article can provide reference for the design of electrical engineering and management during the construction process in future photovoltaic power generation projects.

**Keywords:** photovoltaic power generation; electrical system design; construction management

### 引言

在当今世界能源结构调整和实现“双碳”目标的背景下, 光伏发电行业发展迅速。光伏发电项目建设质量和运行效果很大程度上依赖于电气系统的合理设计及施工管理的有效落实。电气系统是光伏电站的重要组成部分之一, 设计的好坏影响着光伏发电的效率、系统的安全性能

以及项目的投资回收时间长短等重要指标, 同时施工管理状况决定着设计方案是否能够顺利实施, 工程的质量能否达到预期的目的。深入探讨光伏发电工程项目电气系统设计及施工管理中存在的主要难点有非常重要的理论意义和实践指导作用。

## 1 光伏发电项目电气系统构成与技术原理

光伏发电电气系统主要包括光伏模块、直流汇流单元、逆变器、升压变压器、并网开关柜以及监控保护装置等几个部分。光伏模块采用的是半导体材料的光电效应把太阳辐射的能量转变成直流电流的能量,若干光伏模块进行串联或者并联形成光伏阵列,从而达到一定的电压大小以及功率的需求。直流电通过汇流箱进行汇集之后送入逆变器,逆变器把直流电转变为所需频率和电压的交流电,再通过升压变压器进行电压等级的变化,然后并网到公共电网当中去。逆变器就是整个系统的主机,它的工作方式就类似于电力电子器件的通断,通过调制的方法把直流的波形转换成了所需的交流波形。按技术路线分为集中式逆变器,组串式逆变器以及微逆变器三种类型。集中式逆变器功率大、体积小,适合大型地面电站;组串式逆变器带有多个MPPT跟踪模块,能很好地解决阵列局部遮罩以及组件之间的差异等问题;微逆变器是以单个组件为载体实现逆变,适用于较为复杂的屋顶环境。

## 2 光伏发电项目电气系统设计要点

### 2.1 电气主接线方案设计与比选

电气主接线是光伏发电站电气系统的基础,它对电力供应的安全稳定、运行调度的机动灵活以及建设投入的合理性具有决定性的影响力。常用的主接线方式有单母线接线、单母线分段接线、桥式接线等等。当光伏电站规模较大时,变电站高压侧一般选用单母线接线或者单母线分段接线的方式方便日后改造及维护;主接线的选择要从光伏电站容量大小、输电回路条数、负荷优先级及未来进一步扩建等方面来权衡,以取得较好的经济效益的同时又具有较高的安全性。

### 2.2 光伏阵列及汇流系统设计

光伏方阵的设计要明确组件串的数量以及并行回路数量还有间距。串联回路数量受限于逆变器最高允许直流输入电压和MPPT电压范围,而并行回路数量则须符合汇流箱及逆变器所能够接收的最大并行回路数量的规定。对阵列间距的设计要确保其在冬季早上九点到下午三点之间后排没有遮挡物的影响,从而减少由于遮挡产生的电量损耗。汇集装置包含有汇流箱和直流电缆,其中汇流箱要配备防反二极管、保险丝以及避雷模块来预防故障范围进一步扩大。

### 2.3 逆变器选型与容量配置

逆变器的选择是整个光伏发电电气工程中的重要部分,选择是否正确决定着整个光伏发电系统的发电量以及经济效益高低。选择逆变器要符合三个标准:一为功率准确匹配;二为环境适用性和稳定性;三为性价比最优。在功率选择上一般单个光伏组件与逆变器功率配比为1.1~1.3左右,并配备一定的功率冗余度用于补偿组件本身存在的自然损耗和灰尘遮挡以及辐照强度变化所带来的发电量损耗。

结论是,合理的逆变器配置要考虑的是能量获取以及设备投入的权衡,适当加大容配比可以使逆变器大部分时间工作在其额定功率附近,增加了设备利用率及系统的发电收益。最佳容配比的选择应该考虑到项目的地理位置所处的太阳辐照强度大小、组件安装角度、系统损失、电价水平等等因素,在太阳辐射强度为I级地区的项目采取较大的容配比是有利的。

### 2.4 升压站及变配电系统设计

升压站设计包含主要变压器选择、开关柜布置以及二

表1 常见逆变器技术参数对比表

参数项	集中式逆变器	组串式逆变器	微型逆变器
单机功率	500kW~6.8MW	3kW~350kW	0.2kW~1.5kW
最大效率	98.5%~99%	98.0%~98.8%	96%~97%
MPPT路数	1~2路	2~12路	1路/组件
防护等级	IP54(集装箱)	IP65	IP67
适用场景	大型地面电站	工商业/分布式	户用/复杂屋顶
相对成本	低	中	高

表2 续逆变器选型容量配置方案

方案	组件功率(kWp)	逆变器功率(kW)	容配比	初始投资(万元)	年发电量(万kWh)
方案一	1100	1000	1.10	85	132
方案二	1200	1000	1.20	88	139
方案三	1300	1000	1.30	91	143

次回路设计。主要变压器容量由光伏电站装机容量及接入电网要求决定,一般采用油浸式自冷变压器;出线侧宜选用户内 GIS 或是户外 AIS,根据电压等级以及实际现场环境选择,变配电系统还要增设无功补偿装置例如 SVG、调相机,以符合并网功率因数达到电网标准的要求。

### 2.5 接地系统与防雷保护设计

光伏电站地网主要包括工作接地、保护接地以及防雷接地,组件支架构件、逆变器壳体、汇流箱等金属部分需要可靠连接到地网上,接地电阻要符合《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065 的规定,防雷措施根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB/T 50064,用折线法计算出避雷针保护区范围。在直流端及交流端设置好过电压保护装置。

## 3 光伏发电项目电气系统施工关键技术

### 3.1 光伏组件及支架电气安装技术

组件安装之前应当进行外观检查及开路电压检测,查看是否存在裂缝以及功率是否正常等;支架安装要保证底座平面度及牢固性,组件固定螺栓扭紧力矩也要满足设计标准。组件串接的时候要注意正负极方向正确,连接头要插入到位并且锁紧。

### 3.2 汇流箱与逆变器安装工艺

汇流箱安装场所便于维护和检修,箱底离地距离不宜低于 1.2~1.5m,不能受到强烈的阳光照射以及雨水冲刷。进线口密封良好,使用防火泥或者密封圈密封,防护级别需达到 IP65 以上,外壳固定稳定可靠,倾斜角度不超过设计角度 $\pm 1^\circ$ 。在连接直流汇流箱的正负极之前须核对好极性,在每一路的输入端用万用表测量其开路电压的极性,检查好正负标识之后再连接。熔断器容量要符合组件串电流大小的要求,一般选择 1.25~1.5 倍额定的工作电流,安装前检查熔断器规格型号是否正确,分断能力是否满足需要。汇流箱出口要有禁止操作的标志牌。逆变器安装需留足通风散热的空间,在其上方以及两侧的净距都不低于 500mm,进风口以及出风口不得有障碍物;进出线缆捆扎紧实,采用专门的电缆固定卡子,防止因重力作用而拉扯接线柱;通信线联接准确无误,RS485 线缆区别于 A、B 线,屏蔽层采用一点接地方式,通讯设置成功后才可封盖。

### 3.3 接地与防雷系统施工要点

接地装置埋设深度及间距要符合设计规定要求,垂直接地装置顶端距地面不得低于 0.8m,间隔不得少于接地装置长度的两倍。接地水平装置埋设深度不小于 0.8m,覆土需夯实,铺降阻剂。接地干线接续采用热熔焊接或螺

栓连接。热熔焊接需使用专用模具,焊接处饱满无缝隙,螺栓连接处除锈并抹导电膏,拧紧力度符合要求。组件架体之间、组件架构与接地网间需实现良好的电气连接以构成等电位连接,每个架体单位需有至少两个等电位跨接线进行可靠连接,焊接部位需要防松处理。接地电阻测量应用三极法,下雨后不宜测量,测量数值需达到设计指标的要求,一般不应大于 4 欧姆。对土壤电阻率高的地方,可以进行换填土壤或者使用降阻剂以及安装深埋接地装置等方法来减小接地电阻,每处接地连接点都要有明显的标志,隐蔽工程要留影像资料。

### 3.4 并网接入系统施工与调试

并网接入系统施工为光伏电站电气工程的重点,主要由并网柜安装、计量设备安装以及并网端口连接到电网三个部分构成。并网柜安装之前需要核实并网柜的额定参数以及接入系统批复文件的相关信息是否一致,柜体安装要做到垂直稳固,进出线孔处需密封良好。计量设备由电网方进行检定并在上面施加封条,电流互感器极性和变比必须要与电费表保持一致,不得擅自解除封条。并网端口连接至电网部分主要涉及并网点的接线处理、保护定值校对以及通讯通道设置并网点隔离开关应有明显的断开标识以保障检修人员的安全。试验工作按先分段后综合、先空试后实试、先就地后远方顺序来进行。步骤如下:首先做直流绝缘试验及正反转核对,利用 500V 兆欧表测量正负极对地绝缘电阻,要求大于等于  $1M\Omega/kV$ ;其次对每个支路进行组件串正反转复核工作以防错接导致损毁。第二步进行逆变器空载启动与调试,在直流母线上接入额定电压之后开始启动逆变器,在人机交互界面上根据电网公司下达的定值单进行电压保护、频率保护以及防孤岛装置等参数设定操作,最后检查通讯是否正常。第三步是并网试验,在电力系统调度同意的情况下逐一接通逆变器,从小功率逐步提升到最大功率,在此期间不断监控电压偏差和波动、频率偏差、谐波畸变率、功率因数、电压闪变等电能质量参数,并保证符合 GB/T19964 的要求。如果在并网试验时发生保护装置启动或者存在参数异常等问题,则需立刻关掉并网开关,待查找清楚问题所在并处理之后才能重新试验,并网试验完后要整理好相应的试验报告,在监理方、施工单位、调试单位以及电网公司四方签字认可之后用以作为该项目并网验收的资料之一。

## 4 光伏发电项目施工质量控制

### 4.1 关键工序质量验收标准

电气施工重点工序有组件安装、电缆铺设、接地施工

以及并网测试等等,组件安装检验要求是:无组件边框破损、压块紧固扭矩合格、组件间距一致,接头检验要求是:电缆标签标识清楚、接线端子压接稳定、正负极线路无误,接地检测要求是:接地电阻数值满足设计指标、等电位连接稳固。

#### 4.2 常见质量缺陷与防治措施

光伏发电电气工程中常见的质量通病主要有以下几种:组件接线端子虚接发热烧坏、直流电缆正负极倒置引起逆变器或者汇流箱损坏、接地缺失或者接地连接不可靠造成雷击损坏设备、电缆弯曲半径过小或者受到挤压损坏了绝缘层、汇流箱内熔丝容量不一致引起误跳或拒动、逆变器内部进风量不足造成温度过高限功率运行等<sup>[1]</sup>。对于接线端子虚接的问题,处理办法有如下几点:遵守安装工艺规范,连接器插入之前需清洁表面杂物并确认密封胶圈是否完好无损,用专用扳手进行拧紧,在拧紧过程中能听到咔嚓锁定的声音,插入之后再拉动保证稳固牢靠。直流电缆极性接反防治手段是,在组件串接、汇流箱接线以及逆变器接入这三个地方都做极性的检查并使用红色和黑色标志绝缘管来区分开正负极,在接线前先使用万用表测量开路电压极性,落实双人复查签名确认制度。接地点遗漏防治方法有:编制接地点位表,施工现场进行监督检查,每一个接地连接点完成立即打上标记,隐蔽工程验收时留影像资料归档至项目档案。电缆铺设时要保证弯曲半径满足 DL/T5891《电气装置安装工程 电缆线路施工及验收规范》中表 6.1.7 中的要求,穿管时加适量润滑剂降低摩擦力。汇流箱熔断器选择依据图纸要求的规格型号,安装前对照额定电流及分断能力。所有质量问题整改都必须有闭环存档记录,通过监理方的质量验收之后才能进行下一步工序。

### 5 光伏发电项目施工安全管理

#### 5.1 施工安全风险识别与评估

光伏发电电气施工的主要安全隐患有:高处坠落危险(支架、汇流箱及组件安装)、触电危险(直流侧带电作业、交流侧送电)、火灾危险(电缆敷设、接线施工)以及物体打击危险等,对每一个危险源都要采取相应的防范措施并进行分级管理。

#### 5.2 电气施工安全技术措施

直流侧安装的安全隐患是光伏发电电气安装的主要危险源之一,在安装过程中要严格执行先断开汇流箱输出空开,再逐个断开光伏组件串联的原则,不允许带电装卸

MC4 快速接头,直流电弧没有自然过零点,一旦发生很难扑灭,容易引发电弧灼伤或者着火,工作时需要戴上绝缘手套,并且戴上防弧面罩,使用绝缘工具操作;当更换坏掉的组件或是检修汇流箱之前一定要把遮光布全部盖上去,而且要用手持式钳形电流表确认整个电路无电流后再开始检修工作<sup>[2]</sup>。交流侧并网送电前要进行绝缘检测以及相位核对接线,采用 2500V 兆欧表测量电缆与电器设备的绝缘电阻,相位核对确保同电网侧相位相同。严格按两票三制进行,两票指的是工作票、操作票;三制指交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮换制。送电操作需要两人进行,一人为操作员、一人为监护员,操作前模拟预演,操作过程中唱票复诵。高空作业需系安全带,必须为五点式安全带,做到高挂低用,安全带要系挂在脚手架以外的牢固物件上。上下传递物品要用工具袋或者绳索,不得抛掷。脚手架搭设完工后需经过验收挂牌后方可投入使用,作业面满铺脚手板并设置防护栏杆<sup>[3]</sup>。在施工现场设置警示标志牌,禁止无关人员进入,动火作业现场放置足够的灭火器以及清理周围易燃品。施工现场需要配置应急药箱,经常开展触电急救、消防疏散等应急演练,提高一线工作人员的现场自救互救意识及能力。

### 6 结语

本文全面分析了太阳能发电工程电气系统的设计及施工管理的主要难点。电气系统设计应该注意主要接线方式选择,逆变器容量的选择以及防雷接地等问题,在设计中要注重提高系统的效率和稳定性;施工管理应注意安装施工技术标准,重要节点的质量把控,以及施工安全管理等一系列问题,以保证设计方案能够落实到位。伴随着光伏技术的不断发展,电气系统设计会朝着智能化、标准化的方向进行,而施工管理也会更加依赖信息化、数字化的应用,这将会成为今后的研究热点。

#### [参考文献]

- [1]林淑君.光伏逆变器的选型原则及在小型分布式光伏系统中的应用[J].电气应用,2026,45(2):141-146.
  - [2]陈威.光伏建筑一体化的屋顶电站设计与施工分析[J].电子技术,2023,52(8):392-393.
  - [3]周正桂.基于太阳能光伏发电技术的建筑电气系统建设研究[J].低碳世界,2025,15(7):58-60.
- 作者简介:黄学成(1998—),男,汉族,上海人上海外高桥第二发电有限责任公司,研究方向为电气工程、光伏、220kv 升压站。