

大型光伏电站支架结构的优化设计研究探析

王 剑

中国联合工程有限公司 浙江省 杭州市 310052

摘要：因为中国西部区域的日照条件充足，而且光伏发电生产成本相对较高。西部区域，特别是西北部的地区年均有效日照小时数可以达到东部区域的2倍之多，或者达到2000千小时。而中国西部区域所覆盖的大面积荒漠化土壤，对所需占地面积较大的光伏电站建设与光伏电站运行公司来说，有着很大的市场竞争力和吸引力。因此通常在建设一个大规模的太阳能发电场工程中，土地建安投入约为整个光伏工程总投入的百分之二十一左右，如采用的支架不理想，会提高加工成本、架设成本和后期维护成本。所以，对光伏电站支撑结构进行优化研究有着较重大的意义。

关键词：光伏；支架；结构；优化；设计

1 光伏支架概述

目前，光伏支架的使用方式分为定倾角方式和跟踪模式。因为跟踪方式投入很大，且占地面积约为传统固定倾角方式的二倍多，因此考虑到设备的安全可靠、经济效益和维护性，光伏电站一般选择固定倾角方式。但经过对甘肃当地多家光伏电站的调查得知，固定倾角方式光伏支架大多面临着如下困难：（1）光伏支架结构复杂、连接配件较多；（2）材料消耗高；（3）现场安装的压力较大；（4）支架组装较难；（5）对场压要求较高；（6）安装高度难以控制。光伏支架的选型标准光伏支架的选型准则为系统稳定、质量最小。查阅数据，镇江的光伏支架系统的最大倾斜率为30°，混凝土水管支墩横向宽度（支架的跨度）小于或等于2m。如果这样的支撑系统恒承载力过大，将明显降低建筑物的载荷安全余量，因此必须进行重新设计，以增加房屋的安全系数。而降低支撑系砑支墩质量的最佳方法就是减小支撑的倾角，这样一来，组件背面风力的倾覆力矩就可以减小^[1]。

2 光伏支架结构的发展现状

作为光电组件支撑体的重要结构，由于光电支撑结构的设计中采用特殊材料制造，会导致成本的急剧上升和生产材料的大量损耗。这样，对光电支撑构件的优化设计就显得尤为重要。而目前比较常用的光伏支撑构件，通常都是有二根柱子起支撑的作用，在柱子之间通过各种拉筋进行稳定支撑结构的作用，同时，通常在支撑结构上方也都安置了多晶硅太阳能光伏发电系统板。支撑系统的柱子通过其下方的固定底座进行与地面之间的固定，在支柱上面通过设置各种气窗纵梁从而提高了整体上光伏支撑的稳定性。而对于这些传统的光伏支撑结构存在的最大问题就是光伏发电的效益相对较低，主要因素就在于光伏支撑内部结构的稳定性，不能进行温

度调节。此外，整个支架的生产成本也相当高昂，而且由于节气窗纵柱和另外二根支柱的成本价格都过高，对整个光伏电站的建造也提供了巨大的挑战^[2]。

3 新型支架方案

在对光伏框架技术做了充分研究的基础上。其中，包括了斜置框、前支腿、后支腿、斜水平拉杆、前框架础和后框架础等。后支腿主要包括上部后支腿和底部后支腿，在上部后支腿的下方设有几个固定口，在底部后支腿上方设有几个连接口，通过连接炮机通过固定口、通过炮列的固定口、通过连接孔等，与上部后支腿和底部后支腿相连接；底部后支腿底部埋在后支架上，前支腿底部埋在中支架基础，上部后支腿上部和前支腿上部之间采用螺栓和斜置骨架连接，光伏组件通过螺栓的连接方式安装在斜置骨架上面，斜支架一端与斜置骨架相连，相对端经连接将枪机安装于后支腿上^[3]。前部支撑基础和后支撑基础为底部大、上部小的圆台形式，构成倒圆锥体基础，提高了基层的抗拔能力，可满足西北地区风大的恶劣环境要求。为方便架设和实现各联接部分角度和位置的改变，在上部后支撑腿衔接部位的斜置框架上设置条形孔。

本结构的主要功能说明为：（1）前支腿结构：对光伏组件起着支撑功能，通过调节光伏组件的最小离地间隙确定高度，在工程施工后可预埋于前端支承框架中。

（2）后支腿结构：对光伏组件起到了支撑和调节倾斜度的作用，采用连接的炮列与不同的焊接口、安装接口等相连接，从而达到了前后支腿位置的不同；将后部的支腿预埋设置于后支撑构件中，减少了法兰盘、炮列等连接构件的使用，从而减少了工程投资和架设压力。（3）斜支撑：对太阳能光伏发电系统组件具有辅助支撑功能，增强了太阳能光伏发电设备框架的稳定性、强度与效率。

(4) 斜置架构: 太阳能光伏发电系统组件的架构基础。

(5) 焊接装置: 前后支腿、斜支架、斜置骨架等均选用了U型钢材, 各部件间的联接处全部通过螺钉进行定位, 并取消了传统的法兰盘、降低了枪机重量, 从而降低了投入时间和安装重量。而斜置骨架与后支腿上部分、斜支架与后支腿下部分的衔接处, 均使用了条形孔^[4]。调节后支腿标高后, 需将其连接部分的螺栓松动, 即可使后支腿、中支腿与斜置框架的连接标高变化; 斜撑和斜置架间的位移增加, 通过条形孔达到平衡。(6) 支架基础: 采取钻孔灌注方法, 实际浇筑中, 钎杆越长有抖动现象, 实际上是非钢体, 所以灌注形成倒圆锥体基础, 增加了基础的抗拔能力, 可较好满足西北地区风大的恶劣环境条件。

4 光伏支架基础型式对比分析

目前已广泛应用的太阳能光伏发电装置的基础形式, 一般分为钢制剥肋地锚基础、微孔灌注桩基础、机械破土式成孔钢板地锚基础、外部预应力管桩基础、内部钢筋大直径混凝土等独立基础。从基本形式及尺寸、结构受力特点、材料类型及生产过程、所使用的地质环境、施工工艺、建设环境及设备、工作环境、建设效益、生产环境等各个方面, 对目前应用较为广泛的各类光伏支架产品进行了充分的对比研究, 从而在项目实施中针对不同的项目性质, 可选用恰当的支架类型, 以确保光伏电站稳定性和效益最优化。

4.1 钢制螺旋地锚基础

(1) 基本型式与尺寸: 在钢地锚钢管上根据一定螺距、水平倾角焊接一定数量和孔径的叶片, 形成螺旋式桩体^[1]。

(2) 承载力优势: 打桩机通过对钢桩施以力矩产生竖向应力下旋成桩, 桩体强度显著提高且桩尖处有扩大头, 从而有效增加了单桩承载力。压桩的桩体有高负荷力、坚固度、耐沉降力和耐拉拔力等技术优点。

(3) 材料及生产过程: 对桩体采用热镀锌的防腐处理工艺, 以延长螺旋桩使用寿命; 加工过程较为复杂, 需要经过切割、加热、缩管、螺旋片焊、冲磨工艺、涂锌等, 桩体性能一般良好。但螺旋桩孔径大小与桩长所受生产工艺作用有关, 当基础荷载大于螺旋桩的承载范围时, 一般不能采用螺旋桩承台法施工。

4.2 微孔灌注桩基础

(1) 基本形式与规格: 桩体一般为圆柱体, 桩芯长度多在200~400mm左右, 并依据上部支架压力、岩石位置、桩侧岩(土)层摩阻力特征值、冻土层厚等因素决定桩体直径。

(2) 受力特性: 混凝土桩芯抗压强度, 辅以沿周向

布置的纵钢筋加强其抗拉拔特性和沿高度向布置的螺旋箍筋提高其抗剪切特性^[2]。

(3) 材质和方法: 纵筋与螺旋箍筋组合的钢筋材料笼一般采用在现场工棚批量生产, 对钢筋桩芯则采取现场施工, 并做好了相应的安全措施。

(4) 适宜的地质要求: 适宜的黏性土、蛋白质混合物、季节性冻土、膨胀粘土、密实砂土、松散~中密碎石粘土等。

4.3 机械成孔钢管地锚基础

(1) 基本类型与规格: 桩体造型与微孔灌注桩相似, 但受成孔技术影响, 桩芯长度较短, 一般在90~150mm左右。桩身成孔深一般不大于2m。

(2) 承载力特性: 孔内充填的素混凝土承受上部支架传递下的负荷。镀锌型钢采用沿其主受力方向焊接下引及桩体下部带肋钢直径的方法, 扩大与砼的接触面积, 有效改善基础的抗拔特性。

(3) 材料及制作工艺: 桩身完全用素混凝土浇筑, 桩体完整性内含涂镀锌钢材, 钢管埋设基础一定深度, 与桩身完全有效锚固。涂镀锌钢为生产批量预制件, 桩体混凝土为现场浇筑^[3]

5 光伏电站发电效率提升策略

5.1 设计标准化处理

在对光伏电站的发电效能提高中, 首先做好的便是对其电站的设计规范化管理, 只有保证了电站设计的规范化管理, 这才能全面提高其电站的发电运营效益。在电厂的标准化设计中, 需要对整个的电厂运营加以优化, 尽量提高电厂的运营效益, 例如对阳光照射的能力根据月份做出规划分析, 对电厂的技术建设与其运营进行匹配的调整。另外在其供电系统的建设上, 需要做好标准化系统的分析, 采用合理的方案设计, 有效的把发电站的运营效益提升至涉及到发电厂的整体运营中。

5.2 光伏电站支架及基础设计

光伏电站施工要求复杂, 在施工现场有冲沟、石块, 如果处理不当将会造成坍塌。基于此, 在光伏电站支架及基础设计过程中, 除根据实际状况制订行之有效建设计划外, 还必须综合考虑材料、设计构造等多种原因, 依靠多方面数据分析精确测算出光伏电站支架在有或无地震效应时的风荷载、雪负荷下支撑梁的扭转程度与弯曲率, 安装螺栓的抗拉强度等, 唯有如此方可全面应对地质变迁。再者, 光伏电站基础工程设计, 同时又要兼顾多种原因, 工程设计强度必须满足工程需要, 特别要选用对地表干扰相对较小的基础形式, 即经济又实惠。以中国目前实际状况而言, 目前, 光伏电站桩设计

技术主要包括:微型钢桩基础设计、锚杆式桩、预应力砼微孔灌注桩设计等。

5.3 安全性保障

就山地的光伏电站而言,一旦防雷方案不能落到实处,光伏电站遭受雷击的风险就将直线地增加。基于此,整个光伏电站都必须充分好支架和做好相关的金属连接网工程,在条件许可情况下把整个光伏电站的地网全部联系到了一起,这样就可以进行阻力的最小化工作。但与此同时也就必须进行接地极工作,在各方面都有所保证状况下,可以延长整个光伏电站的生命周期,以减少运行损失和保护成本,从而有效促进了光伏电站建设。再者,在光伏电站支架和结构设计工程中由于各组的串工条件不同,这也要求在光伏工程设计中要考虑的各方面原因,并对各主要的技术参数进行了控制,在这个基础上根据光伏电站的支架特性,通过安装了可发现组串、汇流时间箱等重要信息的计算机软件,当光伏发电的装置发生问题后,可以在较短时间内得到处理,以损失最小处理。

6 跟踪支架在光伏项目中的应用

跟踪支架虽然可以增加大型光伏电站的发电量,但在综合跟踪支架的成本增加、安全可靠性以及占地面积等因素后,其应用价值已大打折扣。平单轴跟踪支架成本增加也略低,对中低纬度地区光伏电站发电量增益设定效果也比较明显,且用地面积增幅不大,但是综合其安全稳定性等因素,对电站的投资回报率也基本没有影响增益,所以提高其安全稳定性也是对其开发和推广的主要基础;小水平大倾角斜单轴跟踪支架费用的提高也略高,但是发电量仍较高,且用地面积增幅也不大,且需要考虑到稳定安全,实际应用前景很小。

6.1 占地面积

采用了不同种类的跟踪支架,占地范围也不同。固定支架的占地区域最少,其次分别是水平单轴支架和倾斜单轴支架,其倾斜距离越大,所对应的占地区域也就越大。用地规模最大的项目是双列轴承运动跟踪支架。通常,单轴运动跟踪电站面积是固定支撑电站的一点五倍,而双列轴承运动跟踪电站面积则是固定支撑电站的

二倍之多。而在针对租地的高度要求的分布式计算以及网络架构光伏项目中,则必须充分考虑不同的跟踪支架所要求的用地规模要求,并选择固定支撑、水平单轴支撑方式以及水平倾角较低的倾斜单轴支撑方式和用地规模较小的支持方式,而尽量不要选用水平双轴的支撑方式或大倾角的倾斜单轴支撑方式^[2]。

6.2 光伏发电量

采用不同的光伏跟踪支架,光伏发电量就会相应的有所不同。以西北某省的分布式光伏电站实际数据为例,使用固定式光伏支架在夏季时候的总发电量较大,而在其他时间总发电量则较小;采用上述三种跟踪支架的春、秋、冬季三个阶段的总发电量,都比采用固定太阳能光伏发电系统支架的时候大,所以动态跟踪作用也更为明显;而尽管在采用双列轴承动态跟踪支架的时候总发电量大于单轴支撑,但是因为双列轴承的动态跟踪支架跟随着太阳光入射角率的变化,所以这些技术对于总发电量的提高作用也十分突出。

结语

光伏支架在整个光伏电站的投资建设项目中占据着较大比例,所以对它的最优设计也是很有必要的。但人们还必须知道,目前国内的大电站支架构件较小,设计余地很大,要在进行工程设计前切实确保它在二十五年间可靠应用。在工程设计中,要充分考虑《光伏电站设计规范》所给出的各种负荷并对其进行最不利荷载设计,如此方可确保设计的安全性。

参考文献

- [1]李海涛,林炬,陈荣,等.“渔光互补”型光伏电站对生态环境影响的探究[J].城市地理,2019(10):2-3.
- [2]董鑫,刘贵军,董玉宽,等.铜铟镓硒光伏发电对生态环境的影响探讨[J].建设科技,2019(22):25-28.
- [3]王之宇,郭家林,刘永亮.太阳能光伏支架受力特征有限元分析[J].商洛学院学报,2016(6):39-42.
- [4]张蓉,张治军,李华,等.云南省并网光伏电站建设使用林地现状及影响分析[J].林业建设,2020(6):57-60.