光伏组件安装结构的风荷载响应分析

孟 磊

中国华电科工集团有限公司 北京 100160

摘要: 文章围绕光伏组件安装结构的风荷载响应展开分析。介绍了光伏组件类型与安装结构特点,剖析风荷载特性,阐述结构响应分析方法,并以实例分析光伏组件安装结构在风荷载下的响应。探讨不同安装方式响应对比、关键参数敏感性及极端工况响应等风荷载响应规律。最后提出结构优化设计、风荷载控制技术及施工与运维建议等抗风优化策略,为光伏组件安装结构抗风设计与安全运行提供参考。

关键词: 光伏组件; 安装结构; 风荷载; 响应分析

1 光伏组件安装结构概述

1.1 光伏组件的类型

光伏组件作为将太阳能转化为电能的核心部件,具有多种类型。常见的有单晶硅光伏组件,其转化效率相对较高,一般在18%-22%左右,具有较好的弱光响应性能,外观上晶体结构较为规则,颜色均匀。多晶硅光伏组件的转化效率略低于单晶硅,通常在16%-19%之间,但成本相对较低,生产工艺相对简单,在市场上应用广泛^[1]。薄膜光伏组件则具有柔性好、可弯曲的特点,能够适应一些特殊的安装场景,如曲面屋顶等,不过其转化效率相对较低,一般在10%-15%左右,还有一些新型的光伏组件,如双面发电光伏组件,它不仅吸收正面照射的阳光,还能利用背面反射的光线进行发电,提高了发电效率。

1.2 安装结构的特点

光伏组件安装结构需要具备多种特点以满足实际使用需求。第一,它必须具有足够的强度和刚度,以承受光伏组件自身的重量以及外部荷载,如风荷载、雪荷载等。安装结构通常采用钢材、铝合金等材料,这些材料具有较高的强度和良好的耐腐蚀性。第二,安装结构应具有良好的稳定性,能够在各种环境条件下保持光伏组件的位置和角度不变,确保光伏组件能够正常接收阳光照射。第三,安装结构的设计要考虑光伏组件的安装和维护便利性,方便工作人员进行安装、检修和更换光伏组件。第四,安装结构还需要具备一定的可调节性,以便根据不同的地理位置和季节变化调整光伏组件的倾斜角度,提高发电效率。

2 风荷载作用下的光伏组件安装结构响应分析

2.1 风荷载特性分析

风荷载是光伏组件安装结构所面临的重要外部荷载之一,其特性复杂多变。风荷载的大小和方向受到多种

因素的影响,包括地理位置、地形地貌、建筑物周围环境等。在沿海地区或开阔地带,风速通常较大,风荷载也相对较大;而在山区或城市建筑密集区,由于地形的阻挡和建筑物的干扰,风速和风向会发生复杂的变化,导致风荷载分布不均匀。风荷载具有随机性和脉动性。风速是随时间不断变化的,其变化规律可以用统计方法进行描述。风荷载的脉动成分会对光伏组件安装结构产生动态作用,引起结构的振动。风荷载还具有空间相关性,即不同位置的风荷载之间存在一定的关联性。在分析风荷载特性时,需要考虑这些因素,通过风洞试验、数值模拟等方法获取准确的风荷载数据。

2.2 结构响应分析方法

为了分析光伏组件安装结构在风荷载作用下的响应,需要采用合适的分析方法。常用的方法包括有限元法、模态分析法和时程分析法等。有限元法是一种将连续结构离散化为有限个单元,通过求解单元节点位移和内力的方法。它可以准确地模拟光伏组件安装结构的几何形状、材料特性和边界条件,计算结构在风荷载作用下的应力、应变和位移等响应。有限元法适用于各种复杂结构的分析,但计算量较大,需要借助专业的有限元分析软件进行。模态分析法是通过求解结构的固有频率和振型,分析结构在风荷载作用下的动力响应。结构的固有频率和振型是结构本身的固有属性,与风荷载无关。通过模态分析,可以了解结构在不同频率下的振动特性,为结构的动力设计和减振措施提供依据^[2]。时程分析法是将风荷载时程曲线输入到结构分析模型中,通过逐步积分的方法求解结构在每个时刻的响应。时程分析法可以考虑风荷载的脉动成分和结构的非线性特性,能够更准确地模拟结构在实际风荷载作用下的动态响应。但时程分析法需要大量的计算资源和较长的计算时间,适用于对结构动力响应要求较高的分析。

2.3 光伏组件安装结构响应分析

以某大型光伏电站的光伏组件安装结构为例,采用有限元法进行风荷载作用下的响应分析。首先,建立光伏组件安装结构的三维有限元模型,包括光伏组件、支架、基础等部分。根据实际工程情况,设置材料的弹性模量、泊松比、密度等参数,以及结构的边界条件。然后,将通过风洞试验或数值模拟得到的风荷载数据施加到有限元模型上。计算结果表明,在风荷载作用下,光伏组件安装结构会产生一定的位移和应力。位移主要集中在光伏组件的边缘和支架的连接部位,最大位移值随着风速的增加而增大。应力分布方面,支架的连接部位和基础附近容易出现应力集中现象,最大应力值超过了材料的许用应力,需要进行结构优化。进一步分析结构的动力响应,通过模态分析得到结构的固有频率和振型。发现结构的前几阶固有频率较低,容易与风荷载的脉动频率产生共振。采用时程分析法对结构在极端风荷载作用下的响应进行分析,结果表明结构在共振情况下会产生较大的振动,可能导致光伏组件的损坏和支架的失稳。因此在光伏组件安装结构的设计中,需要充分考虑风荷载的作用,采取有效的措施提高结构的抗风性能。

3 光伏组件安装结构的风荷载响应规律

3.1 不同安装方式的响应对比

光伏组件的安装方式主要有固定式和跟踪式两种。固定式安装是将光伏组件以固定的角度安装在支架上,其结构简单,成本较低,但发电效率相对较低。跟踪式安装则可以根据太阳的位置自动调整光伏组件的角度,提高发电效率,但结构复杂,成本较高。对比两种安装方式在风荷载作用下的响应,固定式安装结构在风荷载作用下相对稳定,位移和应力变化较小。由于其结构固定,风荷载的作用方向相对单一,结构能够较好地承受风荷载。而跟踪式安装结构由于具有可活动的部件,在风荷载作用下会产生较大的位移和应力。特别是在调整角度的过程中,结构的受力情况更加复杂,容易出现应力集中和振动现象。然而,跟踪式安装结构可以通过优化设计来提高其抗风性能。在实际工程中,需要根据当地的地理环境、风荷载情况和发电需求等因素,综合考虑选择合适的安装方式。

3.2 关键参数敏感性分析

光伏组件安装结构的风荷载响应受到多种关键参数的影响,如光伏组件的尺寸、重量、安装角度,支架的高度、间距,基础的类型和尺寸等。通过敏感性分析,可以确定这些参数对结构响应的影响程度。以光伏组件的安装角度为例,分析其对结构位移和应力的影响。在

一定范围内,随着安装角度的增加,结构在风荷载作用下的位移和应力会发生变化。当安装角度较小时,结构受到的风荷载作用面积较大,位移和应力相对较大;当安装角度增大到一定程度后,风荷载的作用面积减小,位移和应力也会相应减小。但安装角度过大可能会导致光伏组件的发电效率降低,因此需要找到一个最佳的安装角度,既能保证结构的抗风性能,又能提高发电效率。支架的高度和间距也是影响结构响应的重要因素^[3]。支架高度增加,结构受到的风荷载作用高度增加,位移和应力也会相应增大。支架间距过小会导致结构刚度过大,增加成本;支架间距过大则会降低结构的稳定性,增加位移和应力。通过敏感性分析,可以确定这些关键参数的合理取值范围,为光伏组件安装结构的设计提供依据。

3.3 极端工况响应

极端工况是指风速达到设计极限值或出现其他恶劣天气条件的情况。在极端工况下,光伏组件安装结构会受到更大的风荷载作用,可能面临严重的破坏风险。以台风工况为例,分析光伏组件安装结构的响应。台风具有风速高、持续时间长、风向变化大等特点。在台风作用下,光伏组件安装结构会产生极大的位移和应力。光伏组件可能会被强风吹落,支架可能会发生弯曲或断裂,基础可能会出现沉降或倾斜等现象。为了应对极端工况,需要采取一系列的措施,在结构设计阶段,应充分考虑极端工况下的风荷载作用,提高结构的安全系数。采用高强度的材料和合理的结构形式,增强结构的抗风能力。在施工和运维过程中,要加强对光伏组件安装结构的检查和维护,及时发现和处理潜在的安全隐患。在台风来临前,可以采取临时加固措施,如增加支撑杆、固定光伏组件等,确保结构的安全。

4 光伏组件安装结构的抗风优化策略

4.1 结构优化设计

结构优化设计对于提升光伏组件安装结构的抗风性能起着至关重要的作用,可从多个关键方面着手。在支架形状和尺寸优化上,传统支架可能存在抗弯和抗扭能力不足的问题。采用工字钢、槽钢等更合理的截面形状,能显著增强支架的力学性能。工字钢具有良好的抗弯能力,其上下翼缘可有效抵抗弯曲变形;槽钢则能在一定程度上兼顾抗弯和抗扭,使支架在风荷载作用下更加稳固。通过精确计算和模拟分析,确定合适的截面尺寸,既能满足抗风要求,又能避免材料浪费。合理布置支架的间距和高度同样重要,不同地区的风荷载分布存在差异,需根据实际情况进行详细分析。在风荷载较大

的区域,适当减小支架间距,增加支架数量,可提高结构的整体稳定性;而在风荷载相对较小的区域,可适当增大间距以降低成本。支架高度的确定要综合考虑光伏组件的采光需求和抗风性能,过高会增加风荷载作用面积,过低则可能影响发电效率。加强结构连接部位也不容忽视,连接部位是结构受力的关键节点,采用高强度的螺栓和先进的焊接工艺,能确保连接部位的可靠性。在螺栓连接中,要严格控制螺栓的规格、数量和预紧力;在焊接过程中,要保证焊缝质量,避免出现裂纹、气孔等缺陷。基础设计优化也是关键一环,根据不同地质条件和风荷载大小,选择合适的基础类型和尺寸。

4.2 风荷载控制技术

风荷载控制技术是降低光伏组件安装结构所承受风荷载的有效手段,具有多种实施方式。采用导流板、挡风墙等装置是一种常见的风荷载控制方法。导流板能够改变风流的流动方向,使原本直接作用于结构的风力发生偏转,从而减少风荷载对结构的正面冲击。挡风墙则可以阻挡部分风流,降低风速,减小风荷载的大小。在实际应用中,需要根据光伏电站的具体布局和周围环境,合理设置导流板和挡风墙的位置和尺寸,以达到最佳的风荷载控制效果。在光伏组件表面设置微小的凸起或纹理也是一种创新的风荷载控制技术。这些微小的结构能够破坏风流的边界层,使风流变得紊乱,从而降低风荷载的脉动成分。脉动风荷载是引起结构振动的主要原因之一,通过这种方式可以有效减少结构的振动幅度,提高结构的稳定性。借助智能控制系统实现光伏组件角度的自动调整也是一项重要的技术。该系统能够实时监测风速和风向的变化,根据预设的算法自动调整光伏组件的角度,使其尽量减少与风力的接触面积。在风速较大时,将光伏组件调整到较小的角度,降低风荷载的作用;在风速较小时,则调整到最佳发电角度,提高发电效率。

4.3 施工与运维建议

在光伏组件安装结构的施工与运维过程中,严格遵循规范和加强管理是确保结构长期安全运行的关键。施工过程中,必须严格按照设计要求进行操作,每一个施工环节都关系到结构的质量和安装精度,任何细微的

偏差都可能在后续的使用中引发安全隐患。施工人员要具备专业的技能和丰富的经验,熟悉施工图纸和工艺流程。在安装支架时,要确保其垂直度和水平度符合标准;在固定光伏组件时,要保证连接牢固,避免出现松动现象。同时加强对施工过程的监督和检查,及时发现和纠正施工中的问题^[4]。加强对施工人员的培训也是必不可少的,通过培训,提高他们的安全意识和技术水平,使他们了解光伏组件安装结构的特点和施工要点,掌握正确的施工方法和操作技能。培训内容可以包括安全知识、施工技术、质量控制等方面。在运维过程中,要建立定期检查和维修制度,定期对光伏组件安装结构进行检查,及时发现结构的损坏和松动现象,如支架的锈蚀、螺栓的松动等。对于发现的问题,要及时进行处理,避免问题扩大化。建立完善的运维管理制度,记录结构的运行情况和维护历史,为后续的运维工作提供参考。要加强对气象信息的监测和预警,及时了解天气变化情况,在极端天气来临前,提前做好防范措施,如加固结构、清理周围杂物等,确保光伏组件安装结构的安全。

结束语

光伏组件安装结构的风荷载响应分析对于保障光伏电站的安全稳定运行至关重要。通过本文对光伏组件类型、安装结构特点、风荷载特性、响应分析方法及规律的研究,以及提出的抗风优化策略,为光伏组件安装结构的设计、施工与运维提供了全面的指导。未来,随着光伏技术的不断发展,还需进一步深入研究风荷载对光伏组件安装结构的影响,不断完善抗风措施,以适应更复杂的环境条件,推动光伏产业的可持续发展。

参考文献

- [1]惠鹏翔.光伏并网电站光伏组件安装倾斜角度异常识别技术[J].光源与照明,2024,(08):111-113.
- [2]吕露,丰超,刘正龙,等.光伏组件及支架荷载分析与优化安装技术研究[J].中国新技术新产品,2024,(14):101-103.
- [3]唐鑫.光伏组件安装施工质量控制研究[J].光源与照明,2023(6):148-150.
- [4]邹平国,张镇涛,李刚,等.约束条件下的光伏发电设备监理的研究与应用[J].太阳能,2021(1):11-17.