

Comparison of Wind Load between Flexible and Rigid Supports for Photovoltaic Panels

Lei Ren¹ Yaguang Yan¹ Shaobo Cheng¹ Mingmin Jiang²

1. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei, 056000, China

2. China Construction Road & Bridge Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050001, China

Abstract

In the context of the growing global demand for renewable energy, the photovoltaic industry is developing rapidly. However, with the expansion of the installation scale, the impact of wind load on photovoltaic systems, especially bracket systems, has become increasingly prominent. Flexible bracket and rigid bracket are the two main structural forms of the current photovoltaic bracket, and they show obviously different characteristics when bearing the wind load. Studying the mechanical properties under different wind load conditions is important to improve the safety and stability of photovoltaic systems. By analyzing the structural characteristics and wind load reaction of the two supports, this paper puts forward feasible design optimization and protection measures to guide the selection and installation of photovoltaic system.

Keywords

flexible support; rigid support; photovoltaic panel; wind load

柔性支架与刚性支架光伏板风荷载对比研究

任磊¹ 闫亚光¹ 程少博¹ 蒋明敏²

1. 河北工程大学土木工程学院, 中国·河北 邯郸 056000

2. 中建路桥集团有限公司, 中国·河北 石家庄 050001

摘要

在全球可再生能源需求不断增长的背景下, 光伏产业发展迅速, 然而随着安装规模的扩大, 风荷载对光伏系统尤其是支架系统的影响日益凸显。柔性支架与刚性支架是当前光伏支架的两种主要结构形式, 它们在承载风荷载时表现出明显不同的特性。研究两者在不同风载条件下的力学性能对于提高光伏系统的安全性与稳定性具有重要意义。论文通过分析两种支架的结构特点与风荷载反应, 提出切实可行的设计优化及防护措施建议, 以指导光伏系统的选型与安装。

关键词

柔性支架; 刚性支架; 光伏板; 风荷载

1 引言

光伏发电作为一种清洁能源技术, 已被广泛应用以应对全球气候变化挑战和能源危机问题。然而, 光伏系统的安全性和效率与其抗风表现密切相关。柔性支架和刚性支架各自在适应风荷载方面有着不同的结构特性与响应机制, 前者以轻量化和变形能力见长, 后者则凭借坚固与稳定确保系统安全。研究柔性与刚性支架在风荷载下的力学行为对比, 不仅为支架设计与选型提供理论依据, 还对提高光伏系统在复杂环境下的运行可靠性具有显著意义。通过系统的理论分析, 本研究关注不同支架在承载风荷载时的效能表现, 强调合理选型和防护措施对增强光伏系统耐久性的重要性。

【作者简介】任磊 (1998-), 男, 中国四川南充人, 硕士, 从事结构风致振动与控制研究。

2 柔性支架与刚性支架的结构特点

2.1 柔性支架的结构特点

柔性支架作为光伏支架的一种创新设计, 以其独特的结构特点在风荷载的适应性上展现了显著优势, 其轻量化结构设计使得柔性支架在面对变幻莫测的风流中能够实现自如的顺应与调整, 有效降低了风载冲击带来的结构应力集中。这种灵活性来自支架材料的高强度与高延展性结合, 使得柔性支架在风荷载作用下通过适度变形实现能量的分散与吸收, 从而保护光伏组件免受结构性损害。同时, 柔性支架的模块化设计为运输和安装提供了便捷, 大幅简化了施工过程, 并降低了人力与时间成本。值得注意的是, 尽管柔性支架在动态环境中具有良好的适应性, 其稳定性需要通过科学的工程设计来确保, 尤其是在极端气候条件下的持久表现。为了充分发挥柔性支架的优势, 工程师在设计时需综合考虑当地风况以及光伏系统的实际需求, 以实现结构系统的

最优性能。柔性光伏支架的生产工艺的制作方法如图1所示。

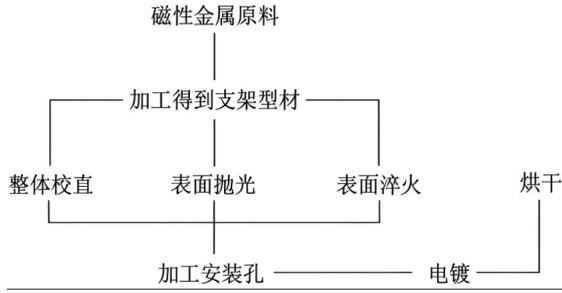


图1 柔性光伏支架的生产工艺的制作方法

2.2 刚性支架的结构特点

刚性支架在光伏系统中扮演着基础而关键的角色，其结构特点以稳固和耐久为核心，这类支架通常采用高强度金属材料，如钢或铝合金，以确保在极端气候条件下能提供足够的支撑与抵抗力。刚性支架的设计重点在于通过稳固的结构框架和坚实的连接确保光伏板在风荷载作用下不发生位移或倾斜。如此设计能够极大地减少由于强风引起的振动和疲劳效应，从而延长系统的使用寿命。从工程视角看，刚性支架的核心优势在于其卓越的抗变形能力，这使得它们在高风速环境中依旧能维持形状和功能的完整。与此同时，这种支架的高承载力和低维护需求进一步突出其在长时间应用中的经济性和可靠性。然而，任何设计均需权衡，刚性支架往往较重且安装相对复杂，可能带来较高的初始成本。考虑其整体优越性，刚性支架尤为适合于需要长期稳定性能的高价值光伏项目^[1,2]。

3 柔性支架与刚性支架的风荷载对比

3.1 风荷载作用机制分析

在分析风荷载对柔性支架和刚性支架的作用机制时，必须深刻理解风力与结构之间的复杂互动。对于光伏系统，风荷载是关键的外部力，特别在高风速区域，其作用可能导致结构失效。柔性支架之所以能够在风荷载下发挥优势，主要在于其结构设计允许适度变形和转动，从而有效地分散和吸收风力冲击，这一性质使柔性支架在遇到不稳定的风流时能够迅速进行自适应调整，减少了因风-induced 振动而导致的应力集中现象。相较之下，刚性支架依赖于其坚固的框架来抵抗风荷载，其设计旨在最大限度地减少变形，这种设计策略在面对持续和强烈的风力时能够有效保持光伏板的物理位置和角度，从而确保发电效率。然而，这种坚硬的结构也意味着一旦风力超过某一阈值，有可能会引发突然的应力失衡，导致结构部件的损坏。探讨风荷载对两类支架的影响不仅涉及力学性能，还与空气动力学密切相关。风荷载生成过程中，流体动态行为显著影响着支架的反应。对于每种支架，该反应取决于其固有的结构特征和材料属性。柔性支架适合于风向多变的地形，因为其自适应性可以减少动态压力，而刚性支架则更适合于风向主要一致的区域，通过优化

气动外形以减少阻力和涡流形成，从而降低负面影响。最终，如何选择支架需要从功能、成本和环境特性多角度综合评估，以达到性能的优化和平衡，确保光伏系统的长效可靠，这种复杂动力学机制的剖析有助于指导更科学的支架设计和应用^[3]。

3.2 优缺点分析

在对比柔性支架和刚性支架承受风荷载的优缺点时，可以更深入地剖析它们在不同环境和应用场景中的表现，柔性支架的主要优点在于其卓越的适应性和动态响应能力。面对风荷载的突然变化，柔性支架能够通过自身的结构变形来消散和分配风压，减少了整体结构的应力集中。这种自适应性使其特别适合于存在频繁且不可预测风况的区域，大幅降低了风荷载对光伏板及其连接部分的损害风险。柔性支架的缺点在于其对材料的性能要求较高，以确保其在长时间的动态应力下仍能表现出色的耐久性。在极端风条件下，这种支架可能会面临结构稳定性挑战，尤其在缺乏有效设计和使用次优材料的情况下。刚性支架则以其优越的结构稳定性而受到青睐。其坚固的设计和承载能力能够在较高风荷载作用下保持光伏面板的位置和角度，从而保障长期的发电效率。这种特性使其在稳定一致的风环境下非常可靠。此外，刚性支架通常可容纳更复杂的光伏系统布局，以实现更高的发电效率。缺点则是刚性支架在强风中易产生大的应力集中区域，这可能导致结构的疲劳损坏和安全风险。同时，其较高的重量意味着施工安装过程通常更为复杂，需投入更多的时间和人力成本。

4 优化设计与防护措施

4.1 支架选型建议

在光伏系统设计中，支架选型不仅影响发电效率，还关系到系统整体寿命和安全性。针对柔性支架与刚性支架的选型，需从环境特性、项目规模、成本控制及长远稳定性等多维度进行综合判断。地理环境因素是选型中的首要考虑。对于多风且风向变化频繁的区域，柔性支架凭借其灵活的结构特点，能够有效应对风压变化，分散和吸收瞬间的冲击力，减少结构疲劳和位移。这样的特性使其在风荷载较大但不稳定的地区表现优异。然而，需要指出的是，在极端风环境下，柔性支架的耐久性和稳定性会受到限制，因此在设计和制造过程中，必须选择高质量的材料，确保其弹性和强度的长期有效性。在风向较为固定且强烈的区域，刚性支架更显优势。其坚实设计使其能够在高风荷载下维持光伏板的高度和角度稳定，防止损坏风险，保障持续的高效率发电。其固有的刚性结构提供了额外的安全保障，使其成为长期项目的理想选择。然而，该类型支架在施工期间需要更多的策划和资源，尤其在地形复杂的场地上，可能面临较高的基础设施成本。从经济视角考虑，选择支架类型还应基于全生命周期的经济性评估。短期来看，柔性支架的初始安装成本可能较低，但

长期维护需要精细的监控以防范结构松动和疲劳。刚性支架的前期投资较大,但其低维护需求和稳定的表现可能在较长时间内带来更大的经济回报。在选型过程中,最终决策需根据具体项目的需求权衡多方面因素,结合专业的工程评估与风险分析,以实现经济效益和运行可靠性的平衡。

4.2 风荷载减缓措施

为了减缓风荷载对光伏支架系统的影响,设计师们必须采用一系列创新的工程技术和策略,风洞实验和计算流体力学分析为设计提供了重要的理论支撑,这些工具使设计师能够模拟各种风力条件下的气流模式,从而优化光伏板和支架的形状,减少风阻和涡流形成。通过调整光伏板的倾斜角度和相对布局,能有效地降低风荷载对整个结构的冲击,合适的角度能够将风力分散,从而减少面板和支架上承受的直接压力。支架材料上,既要考虑重量轻便以减少施工成本,又需保证足够的强度和韧性以承受持续的风力冲击。创新材料如高强度合金和复合材料,提供了很好的选择。这些材料不仅能够承受极端条件下的大风荷载,还具备优异的抗腐蚀性能,适应不同的环境因素。采用加固的连接方式和可调节的节点设计也使得整个支架系统在风力作用下能稍微变形,以吸收和缓解压力,而不至于伤害其整体结构,这种动态应变设计有助于延长系统的使用寿命,并提高抗风性能。在风较大的地区,可通过调整安装的高度或在结构周围设置风屏障,如树木和人工屏风,这些自然和人造屏障能有效削弱风速,使其影响到达光伏系统时显著降低,从而减少风荷载对其工作性能的负面冲击。

4.3 安装与维护策略

在光伏系统中,支架的安装和维护策略对于确保其在风荷载下的稳定性和长期性能至关重要,针对不同的支架类型,这些策略需要因地制宜以适应特定的环境和风力条件。安装过程中,明确地面基础的处理尤为重要。对于刚性支架而言,坚实稳定的基础能够提供必要的支撑力,以抵御强风直接施加的荷载。通常,预制混凝土块或螺旋桩基础常被采用,以增加结构的稳固性和重量。此外,合理的地桩设计及

布置有助于提升整体系统的抗风能力,这对于经常风力强劲的地区尤其关键。相较之下,柔性支架的安装需要更多的灵活性和适应性,由于其结构本身具有一定的弹性,应注重安装角度和方位的调整,以最佳方式缓解风力的影响。确保连接件的牢固性,避免因频繁动态加载导致的松动,是柔性支架安装中的重要环节。抗拉型锚固技术常被应用,以确保结构在遭遇强风时能够保持稳定。在日常维护策略上,定期检查和优化调整是保持光伏系统持久性能的关键。对于刚性支架系统,需定期检查焊接点和螺栓连接处,以确保没有因持续风荷载引发的松动或疲劳现象。还应及时清除支架表面的污垢和腐蚀物,以防止结构材质的劣化。而柔性支架的维护则偏重于对系统动态特性的监控。由于其结构的可动性,需确保所有的移动连接件和滑动部位能够自由运作且无异常磨损,适时润滑和更换磨损部件,可以极大地提升其使用寿命和可靠性,无论支架的具体类型如何,实施智能化的监测系统可以自动检测和报警潜在问题,能在维护策略中提供巨大的优势。

5 结语

在光伏系统设计中,合理选择支架类型及优化风荷载防护措施具有重要意义。柔性支架的灵活性和适应性使其在特定条件下能够有效缓解风荷载冲击,而刚性支架因其结构稳定性在高风速情况下显得尤为重要。研究显示,不同的支架结构在抵御风荷载时各具优缺点,应结合实际环境进行综合评估,并通过科学的设计和定期维护确保系统长期安全稳定运行。

参考文献

- [1] 蔡凌飞,朱卫兵,汪秒.浅谈柔性光伏支架的应用[J].工程建设与设计,2024(11):108-110.
- [2] 潘启科,李根森,陈春华,等.光伏支架刚性桩基础设计方法分析[J].武汉大学学报(工学版),2021,54(S2):207-210.
- [3] 郭艳.模板支架承载特性及其节点半刚性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2016.