

Key Points of Flexible Photovoltaic Bracket Structure Design

Junhu Wang Jingang Yi Moran Chen

Power China Guizhou Electric Power Design and Research Institute Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550008, China

Abstract

As an important part of photovoltaic power generation system, flexible photovoltaic bracket has been paid wide attention in recent years because of its adaptability and high efficiency in complex environment. When designing flexible photovoltaic supports, the requirements of structural stability, weather resistance, lightweight and strength must be comprehensively considered to ensure the long-term reliability of the supports in different climate conditions. In the selection of materials, aluminum alloy, steel and other materials with high strength and corrosion resistance are commonly used to ensure the service life of the bracket in extreme environments. In terms of structural design, force analysis and optimization should be carried out according to the installation environment of the photovoltaic system to ensure the stability and high efficiency of the bracket. The adjustable design of the bracket can also improve the overall power generation efficiency of the system and adapt to the installation needs of different geographical conditions. The development direction of flexible photovoltaic bracket includes material innovation, structural optimization and intelligent design, which will play an important role in promoting the technological progress of the photovoltaic industry.

Keywords

flexible photovoltaic support; structural design; material selection; stability; optimization design

柔性光伏支架结构设计要点

汪俊虎 易金刚 陈默然

中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司, 中国·贵州 贵阳 550008

摘要

柔性光伏支架作为光伏发电系统中的重要组成部分, 因其在复杂环境下的适应性和高效性, 近年来得到了广泛关注。设计柔性光伏支架时须综合考虑结构稳定性、耐候性、轻量化与强度要求, 保障支架在不同气候条件下的长期可靠性。在材料选择上常用铝合金、钢材等具有高强度与耐腐蚀性能的材料, 以保证支架在极端环境下的使用寿命。结构设计方面需根据光伏系统的安装环境, 进行受力分析与优化以保证支架的稳定性与高效能。支架的可调节性设计也可以提升系统整体发电效率, 适应不同地理条件下的安装需求, 柔性光伏支架的发展方向包括材料创新、结构优化和智能化设计, 将在推动光伏行业技术进步中发挥重要作用。

关键词

柔性光伏支架; 结构设计; 材料选择; 稳定性; 优化设计

1 引言

随着全球能源结构的转型光伏发电作为清洁能源的重要组成部分, 正逐步成为替代传统能源的主要选择。光伏支架作为支撑光伏组件的重要设施, 其设计对系统的稳定性和效率起着至关重要的作用, 传统光伏支架多运用刚性结构, 但随着技术进步和对更高适应性需求的增加, 柔性光伏支架凭借其轻量化、可调节性和良好的耐候性逐渐成为研究的热点。柔性光伏支架的设计要满足承载力和稳定性要求, 在极端天气或偏远地区的应用还需适应复杂多变的环境条件, 柔

性光伏支架的设计中材料选择、结构优化和成本控制等问题亟待解决。论文探讨柔性光伏支架的设计原则、关键技术要点以及未来发展趋势, 以为相关领域的技术进步提供理论支持和实践指导。

2 柔性光伏支架的设计原则与要求

2.1 结构稳定性与耐候性要求

柔性光伏支架的设计须保证结构在不同气候条件下的稳定性, 支架结构需要承受风力、雪载、地震等外部力的作用来防止因环境因素导致的变形或失效。在风沙、暴雪等极端气候环境中支架的设计须保障可以承受相应的外力, 避免损坏或位移以保证光伏组件的长期稳定运行^[1]。支架须具备优异的耐候性, 可以承受紫外线辐射、高温、潮湿及腐蚀性

【作者简介】汪俊虎(1989-), 男, 中国湖北孝感人, 硕士, 高级工程师, 从事建筑结构理论及应用研究。

气候等环境条件以提高其使用寿命和可靠性,选用抗腐蚀材料如铝合金、镀锌钢等可以有效延长支架的耐久性,以及提高整体结构的适应性。

2.2 轻量化与高强度的设计需求

设计柔性光伏支架时须考虑如何在保证高强度的前提下以实现结构的轻量化,运用高强度材料(如铝合金、碳纤维复合材料等)是实现这一目标的关键。借助优化支架的结构布局来合理减轻支架自身重量,可以有效降低运输和安装成本。在复杂地形和极端环境条件下的应用轻量化设计不应影响支架的承载能力和稳定性,借助精确的有限元分析(FEA),设计师可以优化支架的受力分布,最大限度地减少材料浪费并保证支架的高强度和抗冲击能力。

2.3 适应不同环境条件的设计要求

光伏支架的设计需要根据不同地区的气候、地质和环境条件进行定制化,对于沙漠地区支架设计应注重抗风沙侵蚀,运用抗沙尘腐蚀的材料并优化表面处理工艺以提高耐用性,在沿海地区支架必须具备抗盐雾腐蚀的能力,运用耐腐蚀性强的合金材料,山区和高寒地区需要考虑支架在低温环境中的抗冻性能,并保证在积雪较厚的条件下支架可以承受较大的雪载^[2]。不同环境条件对支架的材料选择、表面处理及结构设计提出了不同要求,设计时需全面考虑当地的气候和地理特点来进行针对性优化。

2.4 成本控制与制造工艺的考虑

设计柔性光伏支架时须兼顾成本控制和制造工艺的可行性,支架设计需要在材料选用、加工工艺和运输安装等环节实现成本的最优化。运用标准化设计方案和模块化生产工艺可以降低生产成本以提高生产效率。材料选择上既要考虑支架的性能要求,又要控制材料成本以避免过度依赖高端材料。表1列出了不同材料的成本与性能对比,能为设计提供具体的参考依据。

表1 不同材料的成本与性能对比表

材料类型	单位成本 (元/kg)	拉伸强度 (MPa)	密度 (g/cm ³)	耐腐蚀性	适用环境
铝合金	25	300	2.7	优	多种环境
不锈钢	35	500	7.8	优	海滨/潮湿环境
镀锌钢	15	400	7.85	中	干燥环境
碳纤维复合材料	150	1200	1.6	极优	极端气候

不同材料的成本与性能对比数据可以看出,各种材料在成本、力学性能、密度、耐腐蚀性和适用环境上有明显差异。铝合金以较低的单位成本(25元/kg)和适中的拉伸强度(300MPa)在多种环境中具有良好的适用性,适合用于常见的光伏支架设计。铝合金的密度较低(2.7g/cm³),但相比于不锈钢和镀锌钢,强度稍逊色。相比之下不锈钢具有更高的拉伸强度(500MPa)和优异的耐腐蚀性,适合在

海滨或潮湿环境下使用,但其单位成本较高(35元/kg)和较大的密度(7.8g/cm³)增加了重量。镀锌钢虽然成本最低(15元/kg),适用于干燥环境,但其耐腐蚀性较低且拉伸强度和密度也较大(400MPa,7.85g/cm³)。碳纤维复合材料的拉伸强度最强(1200MPa),密度最低(1.6g/cm³),耐腐蚀性极优,适用于极端气候环境,但其高昂的成本(150元/kg)限制了其广泛应用,材料的选择需根据具体的环境要求和成本预算进行综合考量。

3 柔性光伏支架的结构设计与材料选择

3.1 材料选择与性能要求

柔性光伏支架的常用材料包括铝合金、钢材和复合材料等,每种材料在力学性能、耐腐蚀性和适应性方面具有独特优势。铝合金以其轻量化、高强度和优异的耐腐蚀性能,成为应用最广泛的材料之一,拉伸强度一般在200~300MPa之间且密度仅为2.7g/cm³,有效降低了支架的总重量,可以满足大多数气候条件下的使用需求^[1]。不锈钢和镀锌钢作为钢材的典型代表具备更高的强度性能,不锈钢的拉伸强度可达500MPa,适用于高承载需求的应用场景以及在潮湿或腐蚀性环境中表现出色,但其较高的密度(7.8g/cm³)使得整体重量有所增加。复合材料如碳纤维增强塑料凭借高达1200MPa的拉伸强度和仅1.6g/cm³的极低密度,在强度和轻量化性能上具有明显优势,以及其极优的耐腐蚀性使其适合极端环境的应用。在材料选择过程中需要根据实际的环境条件、承载需求和经济性要求,综合考虑材料的强度、重量、耐用性和成本以实现结构设计的最优化和长期可靠性。

3.2 结构设计的主要方案与特点

柔性光伏支架的结构设计方案主要包括固定式、可调式和跟踪式三种常见形式,固定式支架作为最简便且成本较低的设计,适用于气候条件稳定、没有显著天气变化的区域,优点在于结构简单且施工和维护成本较低,但缺点是缺乏灵活性以及无法根据太阳的变化调整角度,导致发电效率无法得到优化^[4]。可调式支架允许用户根据季节变化或日照角度的不同手动或自动调整光伏板的倾斜角度,适合气候变化较为明显的地区,在春秋季节可以在一定程度上提高发电效率。相比之下跟踪式支架具有较高的技术要求和成本,可以实时跟踪太阳轨迹以最大化光伏板的光照接收,适合日照充足的地区来提高了发电效率。但这种设计的缺点是其成本较高且设备复杂且维护费用较大,一般需要更多的空间和精密的控制系统。各类支架方案的选择应综合考虑项目的地理环境、预算、长期运行和维护成本等因素,以保障系统的长期经济效益和稳定性。

3.3 受力分析与优化设计

柔性光伏支架的结构优化关键在于受力分析以保证支架在各种环境条件下的稳定性和承载能力,支架需承受风荷载、雪载、震动以及光伏板自重等多重力的作用。运用有限

元分析 (FEA) 技术可以模拟不同载荷条件下支架的受力状态, 优化材料分布与结构形状以减少不必要的应力集中^[5]。在进行优化设计时除了保证结构稳定外, 还需考虑到支架的疲劳寿命来保障支架在长时间使用过程中不会发生断裂或变形。结构设计应尽量减轻重量, 但不能影响支架的强度与安全性。优化设计应基于实际的工程需求和环境条件, 保证支架在使用过程中可以达到最佳性能。

3.4 可调节性与灵活性设计

柔性光伏支架的可调节性设计可以在变化多端的环境中大幅提升发电效率, 可调节支架使光伏板可以根据季节变化、昼夜变化和地理位置的不同调整其倾斜角度, 以最大化太阳能吸收量。在夏季光伏板可以调整为较小的角度, 以减少直射阳光的影响, 在冬季角度调整为较大的倾斜角度以增加接收到的阳光。灵活的支架设计还可以在大风天气中自动调节至低角度, 从而减少风力对支架的压力。表 2 展示了不同角度调整对光伏发电效率的影响, 提供了数据支持来优化光伏支架的设计。

表 2 光伏板调整角度与发电效率的关系表

调整角度 (°)	发电效率提升 (%)	适用季节
15	10	夏季
30	15	春秋季
45	20	冬季
60	5	极端冬季

光伏板调整角度与发电效率之间的关系表明调整角度对不同季节的光伏发电效率有明显影响。在夏季较小的调整角度 (15°) 可以减少阳光的直射, 提高发电效率, 提升幅度为 10%。而在春秋季适中的 30° 角度能较好地平衡光照角度和太阳高度, 带来 15% 的发电效率提升。进入冬季较大的倾斜角度 (45°) 有助于最大限度地接收低角度的太阳光, 发电效率提升达到 20%。在极端冬季太阳光照强度较低,

光伏板角度调整到 60° 时可以增加阳光的接收面积, 但发电效率提升仅为 5%, 表明极端冬季环境下光照条件的限制较大。在春秋和冬季合理调整光伏板角度可以根据季节变化优化光照接收, 并能有效提升发电效率。

4 结论

柔性光伏支架设计在光伏发电系统中其结构稳定性、耐候性、轻量化及适应性是关键设计要求。材料选择上铝合金、钢材和复合材料各具优势, 设计时需根据不同环境和成本要求做出平衡。结构设计方面固定式、可调式和跟踪式支架各有特点, 选择时需要综合考虑气候、地理条件及经济因素。受力分析与优化设计对支架的承载能力和稳定性至关重要, 合理的结构优化可以提高安全性并降低材料成本。可调节性设计提升了光伏板的发电效率, 使其可以适应不同季节和天气条件, 在复杂地理环境下能提升整体系统的发电量。柔性光伏支架的设计应注重材料性能、结构稳定性和环境适应性, 并结合先进的计算方法进行优化以保证光伏发电系统在各种条件下的高效运行和长久稳定性。未来柔性光伏支架将在材料创新、结构优化和智能化调节方面进一步发展, 为光伏行业的可持续发展做出贡献。

参考文献

- [1] 杜壮壮, 麦提艾力·艾克拜尔, 马鑫民, 等. 柔性光伏支架结构选型研究与静力性能分析[J]. 建筑技术, 2024, 55(14): 1777-1782.
- [2] 李振兴, 翟建强, 吴彩霞, 等. 单层索系柔性光伏支架结构设计参数分析[J/OL]. 太原理工大学学报, 1-11[2024-12-10].
- [3] 杨光, 左得奇, 侯克让, 等. 中小跨度预应力柔性光伏支架风振响应分析及风振系数取值研究[J]. 电力勘测设计, 2023(5): 28-33+43.
- [4] 杨政. 单层悬索光伏支架力学性能研究及局部优化分析[D]. 长沙: 湖南大学, 2022.
- [5] 刘志超. 带弹性抗风索的柔性光伏支架的受力性能[D]. 上海: 东南大学, 2021.