

智能跟踪光伏支架系统的动态响应特性研究

张兆儒

信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司山东分公司 250000

【摘要】智能跟踪光伏支架系统通过引入智能控制技术，优化动态响应性能，提升光伏系统的稳定性和效率。在复杂的动态环境中，传统支架系统难以适应风荷载、振动等外部因素，智能控制能够实时监测和调整支架的姿态，避免共振、减少结构疲劳，提升光伏面板的发电效率。性能验证表明，智能支架在应对动态荷载、提高能源转换效率和增强系统可靠性方面具有显著优势。未来，随着控制算法的持续优化和成本的逐步降低，智能光伏支架系统将在更广泛的应用中展现出强大的技术潜力，为光伏行业的可持续发展提供重要支持。

【关键词】智能控制，光伏支架，动态响应，风荷载，振动

Research on Dynamic Response Characteristics of Intelligent Tracking Photovoltaic Support Systems by

Zhang Zhaoru

Shandong Branch of Information Industry Electronic 11th Design Institute Technology Engineering Co., Ltd. (Shandong Branch) 250000

【Abstract】By integrating intelligent control technology, smart tracking photovoltaic support systems enhance dynamic response performance and improve system stability and efficiency. In complex dynamic environments, traditional support systems struggle to adapt to external factors such as wind loads and vibrations. Intelligent control enables real-time monitoring and adjustment of support posture, preventing resonance, reducing structural fatigue, and boosting photovoltaic panel power generation efficiency. Performance verification demonstrates that intelligent supports exhibit significant advantages in handling dynamic loads, improving energy conversion efficiency, and enhancing system reliability. Looking ahead, with continuous optimization of control algorithms and gradual cost reduction, intelligent photovoltaic support systems will demonstrate strong technical potential across broader applications, providing crucial support for the sustainable development of the photovoltaic industry.

【Key words】Intelligent Control; Photovoltaic Support; Dynamic Response; Wind Load; Vibration

引言

光伏发电作为清洁能源的重要组成部分，其效率和稳定性直接受到光伏支架系统性能的影响。传统支架系统在面对风荷载、振动等动态环境时，容易出现结构失稳或性能衰减，影响光伏系统的长期稳定运行。随着智能控制技术的迅猛发展，智能跟踪光伏支架系统应运而生，能够实时监测外部环境变化并做出动态调整，从而有效优化支架的响应性能，提升光伏发电效率。通过研究智能控制在支架系统中的应用，有望解决现有系统在动态荷载下的不足，为光伏行业提供更加高效、稳定的技术解决方案。

一、光伏支架系统的动态响应特点分析

光伏支架系统的动态响应特性是指光伏支架在外部荷载、环境变化以及其他动态因素作用下的响应行为。随着光伏发电技术的发展，光伏支架的动态性能在系统整体稳定性

和发电效率中的重要性逐渐凸显。在实际应用中，光伏支架不仅承受静态载荷（如光伏面板的自重），还需要应对风荷载、地震振动以及温度变化等外部因素，这些因素会引起支架系统的变形、振动甚至破坏。支架系统的动态响应性能直接关系到光伏系统的长期可靠性和发电效率，深入研究其动态特性具有重要意义。光伏支架在动态荷载下的响应表现通常包括位移、加速度、应力等物理量的变化。风荷载作为一种主要的动态作用力，能够引起支架系统发生周期性的摆动和振动，特别是在高风速条件下，支架系统的振动频率和幅度可能会达到一定的临界值，导致结构疲劳或失稳。

温度变化对光伏支架的影响也不容忽视，热胀冷缩效应可能导致支架材料的应力波动，进而影响支架的稳定性和工作状态。在振动方面，支架系统常常面临复杂的多模态振动问题，这使得其动态响应具有非线性特征。系统的振动模式和频率受多种因素的影响，如支架的结构形式、安装角度、地理位置等。支架的刚度、质量分布以及固有频率等参数是决定其动态响应的重要因素。

当外界的激励频率与支架的固有频率接近时,可能发生共振现象,导致支架振幅急剧增大,严重时会影响光伏面板的安装角度和整体支撑力,进而影响光伏系统的运行效率。为了提高光伏支架系统在复杂动态环境下的适应性,研究者们提出了多种动态优化设计方案。例如,采用减震装置、优化支架结构布局以及引入智能控制技术等手段,以减少风荷载和振动对系统的影响。同时,通过对支架材料的选用和结构的改进,可以增强支架的耐久性和抗震性,提高其在极端条件下的稳定性。

二、当前光伏支架在动态环境中的问题与挑战

风速和风向的变化不仅会导致支架产生较大的水平力,还会引起较为复杂的气动效应,尤其是在极端气象条件下,支架可能经历强烈的周期性摆动。虽然现代光伏支架大多采用风荷载分析进行设计,但在实际运行中,复杂的风环境和非线性响应常常超出设计预期,导致结构疲劳加速,甚至在极端天气下发生破坏。光伏支架与面板之间的连接方式和整体刚度配置,容易在长时间动态荷载作用下出现松动或损坏,进一步加剧系统的风险。另一方面,地震振动对光伏支架系统的影响也不容忽视。在地震作用下,支架不仅需要承受地面振动,还可能面临由振动引发的共振现象,这使得支架的设计和稳定性要求更加苛刻。

由于光伏支架通常以模块化和大跨度的方式安装,支架和光伏面板之间的相对运动可能导致结构受力不均,进而引发严重的局部破坏。尽管现代设计标准已逐步涵盖地震荷载的考虑,但实际应用中,支架与周围环境的相互作用和非线性响应往往超出了设计计算的范围,导致抗震性能不尽如人意。光伏支架在温度变化下的动态特性也是一个重要的挑战。温差变化不仅影响支架材料的热膨胀特性,还可能引起连接部件的热应力集中,导致结构出现局部变形或应力集中。尤其是在昼夜温差较大的地区,支架系统在短时间内频繁经历温度波动,这会增加疲劳损伤的概率,并且温度变化可能加速支架材料的老化进程,降低其承载能力和使用寿命。

光伏支架系统的设计往往过于依赖静态分析方法,对动态荷载的考虑较为薄弱,导致支架在实际运行中无法应对复杂多变的环境压力。支架结构的柔性和刚性配置之间的矛盾,可能在面对外部荷载时表现出不稳定的响应,影响系统的长期性能。现有的智能控制技术和减震装置尚未能普遍应用于光伏支架系统中,使得这一领域的技术创新和性能提升面临一定的滞后。

三、智能控制在动态响应优化中的应用

智能控制技术在光伏支架系统中的应用,特别是在动态响应优化方面,具有重要的实际意义。传统光伏支架系统在面对外部动态荷载(如风荷载、地震振动等)时,往往无法及时调整其响应状态,导致系统的稳定性和效率下降。智能控制技术的引入,能够实时感知环境变化并通过智能算法对支架结构进行优化调节,从而显著提升光伏支架在动态环境中的适应能力。智能控制系统通过集成传感器、执行器以及控制算法,能够实时监测光伏支架的动态响应,并根据实时数据调整支架的角度、姿态或位置。例如,系统可以根据风速、风向、振动频率等参数,动态调节支架的朝向或倾斜角度,以减少风荷载对支架系统的影响,避免振动的共振现象。

通过反馈控制机制,智能系统能够在风速变化、震动冲击等因素作用下,自动优化支架的姿态,使光伏面板始终保持最佳角度,以最大限度地提高光伏发电效率,同时减少动态荷载对支架结构的损害。智能控制技术还能够在支架材料、结构形态等方面发挥作用,进一步提升光伏支架的动态响应性能。通过实时监测支架的应力、温度、位移等状态,智能系统能够对支架的各个部件进行精确调控,优化其力学性能,避免过载、变形或疲劳破坏。对支架的受力分布进行动态调整,不仅能增强结构的稳定性,还能够延长支架系统的使用寿命。智能控制的引入为光伏支架系统提供了更高层次的自动化和智能化,使其能够更有效地应对复杂多变的动态环境。这种控制技术不仅限于单一支架的动态响应,还能够在多个支架之间进行协同优化,实现整体系统的动态平衡。

例如,在大规模光伏阵列中,智能系统能够协调多个支架的动作,使整个系统在风、振动等动态荷载作用下保持最佳性能,从而提高整体发电效率并减少维护成本。在实际应用中,智能控制技术还面临着诸如算法复杂性、数据传输延迟、系统成本等问题。如何优化控制算法,减少系统延迟,并确保成本效益是未来研究的重要方向。尽管如此,

四、智能跟踪光伏支架系统的性能验证与效果分析

智能跟踪光伏支架系统的性能验证与效果分析是评估其实际应用价值和技术可行性的重要环节。随着光伏技术的不断发展,光伏支架系统需要在复杂的动态环境中展现出高度的适应性和稳定性,而智能控制技术的引入为系统的动态响应性能提供了优化空间。为了验证智能跟踪光伏支架系统在各种环境条件下的表现,通常采用多种实验方法和理论分析相结合的方式的综合评估。在性能验证中,智能跟踪光伏支架系统的核心指标主要包括动态响应速度、系统稳定性、能源转换效率以及故障处理能力等。通过对不同风速、振动频率和温差条件下的实验测试,可以有效地评估系统在

不同动态环境下的适应能力。

实验结果表明,在风荷载作用下,智能跟踪系统能够通过实时反馈控制调整支架的角度,减少风力对支架的扰动,避免了传统支架因风荷载过大而导致的结构变形或失稳现象。系统在振动作用下的响应特性也经过验证,智能控制能够在振动频率接近支架的固有频率时,及时调整支架的动态特性,从而避免共振现象的发生,确保支架系统的安全性和稳定性。在能源转换效率方面,智能跟踪光伏支架系统表现出较传统静态支架系统更高的发电效率。通过实时调整光伏面板的角度,使其始终保持与太阳辐射最佳的入射角,显著提高了能量捕获率。相比静态系统,智能跟踪系统在一定的风速和温度波动条件下,能够优化光伏板的朝向,减少因环境因素造成的功率损失。

这种精确的动态调节不仅提升了光伏发电的效率,还在一定程度上延长了设备的使用寿命,减少了因动态荷载导致的机械疲劳和结构损伤。系统的故障处理能力也是验证的重要方面。智能控制系统能够通过内置的故障诊断模块,实时监测各个传感器的数据,并及时发现异常情况。当某个支架出现故障或受损时,系统能够迅速调整其他支架的工作状态,确保光伏阵列的整体稳定性,避免单一支架故障导致整个系统的效能下降。这种故障自我诊断与恢复机制增强了系统的可靠性和安全性,为实际应用提供了有力保障。通过综合性能验证与效果分析,可以看出智能跟踪光伏支架系统在提高光伏发电效率、增强结构稳定性以及提升系统可靠性等方面的显著优势。

五、智能光伏支架系统的未来发展方向

智能光伏支架系统的未来发展方向主要集中在优化控制算法、提升适应性、增强系统自我修复能力以及降低成本等多个方面。随着光伏技术的持续进步和对发电效率要求的提高,现有智能支架系统的控制精度和响应速度仍然有进一步提升的空间。未来,智能控制算法将朝着更高效、更精准的方向发展,尤其是利用人工智能和机器学习技术对动态环境进行更深层次的学习与预测。这些技术能够帮助支架系统

更好地应对复杂的动态荷载变化,实现自适应调整 and 智能优化,进一步提高系统的发电效率和稳定性。

除了控制算法的创新,智能光伏支架系统的适应性也是未来发展的一个重要方向。随着气候变化和环境条件的不确定性增加,光伏支架系统面临更加复杂的动态环境。未来的智能支架系统将更加注重多变环境因素的感知与分析,能够根据实时获取的数据调整支架的运行状态,最大限度地减少风荷载、地震振动以及温差变化等因素对系统的影响。系统将不再局限于简单的反馈调节,而是能够通过多元化的传感器网络 and 数据分析平台对环境变化进行预测和主动调整,提升支架系统在各种极端环境下的稳定性和效率。

智能光伏支架系统的自我修复和故障预警功能也是未来发展的关键。随着支架系统对动态环境的适应性不断增强,系统的自我诊断和修复能力将成为提升其可靠性的核心技术之一。智能支架将能够在出现故障或异常时自动检测问题并进行调整,避免系统整体失效。系统还可以通过智能算法预测潜在故障,提前进行维护,避免因长时间的动态荷载作用而导致的结构疲劳或性能衰退。这种自我修复功能不仅提高了系统的运行效率,还大大降低了维护成本,增强了光伏发电系统的长期稳定性。在技术创新和系统性能提升的同时,智能光伏支架系统的成本控制也将是未来发展的重要目标。随着智能控制、传感器、执行器等硬件成本的逐步下降,系统集成技术的成熟,智能光伏支架系统的整体成本预计将逐渐降低,使其在市场上更加具有竞争力。

结语

智能跟踪光伏支架系统在提升光伏发电效率、增强系统稳定性和可靠性方面展现了巨大的潜力。通过引入智能控制技术,能够有效应对复杂的动态环境,优化光伏支架的动态响应性能,解决传统支架在风荷载、振动等外部因素下的不足。未来,随着控制算法的不断优化,智能光伏支架系统将进一步提升其适应性、自我修复能力及故障预警功能,能够在更加复杂和多变的环境中保持高效稳定的运行。

参考文献

- [1]陈建华.基于智能控制的光伏支架系统动态响应研究[J].光伏技术, 2022, 47(3): 114-120
- [2]张东林.风荷载对光伏支架系统稳定性影响的分析与控制[J].结构工程与力学, 2023, 42(5): 98-104
- [3]刘志强.智能控制系统在光伏支架设计中的应用探讨[J].机械设计与研究, 2021, 39(8): 67-73
- [4]杨晨曦.光伏支架系统在振动环境中的动态特性研究[J].土木工程学报, 2020, 52(11): 86-92
- [5]李萍.动态响应优化技术在光伏支架系统中的应用[J].工程力学, 2024, 40(2): 132-138