

光伏发电系统中机电跟踪装置的精度优化与可靠性研究

张 磐

华东勘测设计研究院 浙江 杭州 311100

摘 要：随着全球对可再生能源需求的日益增长，光伏发电系统的效率提升成为研究重点。本研究聚焦于光伏发电系统中的机电跟踪装置，旨在通过精度优化与可靠性提升，进一步提高光能利用率。通过改进跟踪算法、优化传感器布局及步进电机控制策略，实现了跟踪精度的显著提升。同时，综合考虑户外环境因素与材料选型，增强了装置的可靠性。本研究为光伏发电系统的性能提升与广泛应用提供了有力支持。

关键词：光伏发电系统；机电跟踪装置；精度优化；可靠性

引言：在可再生能源领域，光伏发电正逐渐成为主导力量，对于缓解能源危机、减少碳排放具有重要意义。然而，如何提高光伏系统的发电效率成为了亟待解决的问题。机电跟踪装置作为光伏系统中的关键环节，其跟踪精度和可靠性直接影响到光能的捕获效率和系统的稳定运行。因此，本研究针对机电跟踪装置展开精度优化与可靠性提升的研究，旨在探索更高效、更可靠的跟踪技术，为推动光伏发电技术的发展和應用提供理论和技术支持。

1 光伏发电系统及其跟踪装置概述

1.1 光伏发电系统原理

(1) 光伏电池的工作原理。光伏电池的工作原理基于光伏效应，即光照下半导体材料内部产生电动势的现象。当太阳光照射光伏电池表面，光子被半导体吸收后激发电子-空穴对，在内建电场驱动下，电子与空穴分别向两极迁移，于电池两侧形成光生电压。外电路接通时，电流流动，实现光能到电能的转化。(2) 光伏发电系统的构成与分类。系统主要由光伏电池组件、逆变器、储能装置、控制器及相关电气设备组成。其中，隆基股份的Hi-MO系列光伏组件，转换效率超23%，应用广泛；华为SUN2000系列逆变器，功率范围50-253kW，具备MPPT（最大功率点跟踪）技术，能有效提升发电效率；宁德时代的磷酸铁锂蓄电池，以高安全性和长循环寿命成为储能装置的常用选择；古瑞瓦特的控制器则通过实时监测与智能调节，保障系统稳定运行。按是否与电网连接，系统分为离网型和并网型。离网型适用于偏远地区，并网型可将电能直接并入电网，实现电力共享与调度。

1.2 机电跟踪装置简介

(1) 单轴跟踪系统与双轴跟踪系统。为提升光伏电池对太阳光的利用率，机电跟踪装置应运而生。单轴

跟踪系统一般沿东西方向跟踪太阳，结构简单、成本较低；双轴跟踪系统可在方位角和高度角两个方向上精准追踪太阳轨迹，能显著提高发电效率，适用于光照资源丰富地区。(2) 跟踪系统的组成部件。机电跟踪装置由传感器、步进电机、控制器等核心部件构成。传感器实时检测太阳位置和角度，步进电机依据传感器信号驱动光伏组件旋转，控制器则保障步进电机稳定运行，确保跟踪精准可靠。(3) 跟踪方式与常用形式。跟踪系统分为连续跟踪和间歇跟踪，前者实时追踪太阳，发电效率高但能耗大；后者在特定时段跟踪，节能降本但效率略低。目前，常用的跟踪装置形式包括平单轴跟踪器，它以水平旋转轴带动组件跟踪，适合纬度较低地区；斜单轴跟踪器将旋转轴倾斜安装，兼顾发电效率与成本；双轴跟踪器则采用赤道式和地平式两种结构，赤道式与地球自转轴平行，地平式按方位角和高度角调整，二者均能实现高精度跟踪，常用于大型光伏电站。

2 机电跟踪装置精度优化研究

2.1 精度影响因素分析

(1) 太阳角度计算的准确性。太阳角度的计算是跟踪装置实现精确跟踪的基础。太阳的角度包括方位角和高度角，它们随着时间和地理位置的变化而变化。如果太阳角度的计算不准确，将导致跟踪装置无法准确对准太阳，从而影响发电效率。因此，确保太阳角度计算的准确性是提高跟踪装置精度的关键。(2) 传感器精度与布局。传感器是跟踪装置中用于检测太阳位置和角度的关键部件。传感器的精度直接影响到跟踪装置的跟踪精度。如果传感器的精度不够高，将导致检测到的太阳位置和角度与实际存在偏差，从而影响跟踪效果。此外，传感器的布局也十分重要。合理的布局可以确保传感器能够全面、准确地检测到太阳的位置和角度，从而提高跟踪装置的精度^[1]。(3) 步进电机的步距角与控制策

略。步进电机是跟踪装置中实现跟踪动作的核心部件。步进电机的步距角是指电机每接收一个脉冲信号所转动的角度。步距角的大小直接影响到跟踪装置的跟踪精度。如果步距角过大,将导致跟踪装置在跟踪过程中产生较大的偏差。此外,步进电机的控制策略也对跟踪精度产生重要影响。合理的控制策略可以确保步进电机在跟踪过程中运行平稳、准确,从而提高跟踪装置的精度。

2.2 精度优化方法

(1) 采用高精度传感器。为提升跟踪装置精度,需选用高精度传感器,其角度检测误差通常控制在 $\pm 0.1^\circ$ ~ $\pm 0.5^\circ$ 范围内。例如,光电传感器响应速度快,适用于快速变化的光照环境;双轴倾角传感器精度可达 $\pm 0.05^\circ$,常用于对跟踪精度要求极高的双轴跟踪系统。选型时需综合考量精度、稳定性及响应速度,确保满足不同场景的跟踪需求。(2) 优化传感器布局与信号处理算法。除了采用高精度传感器外,还需要优化传感器的布局和信号处理算法。合理的传感器布局可以确保传感器能够全面、准确地检测到太阳的位置和角度。同时,通过采用先进的信号处理算法,可以对传感器检测到的数据进行处理和校正,从而进一步提高跟踪装置的精度。(3) 改进步进电机控制算法与驱动系统。为了减小步进电机的跟踪偏差,需要改进其控制算法和驱动系统。首先,可以采用更精细的控制算法,如微步控制算法,将步进电机的步距角分成更小的步骤,从而实现更精确的跟踪。其次,可以优化驱动系统的参数设置,如电流、电压等,以提高步进电机的运行稳定性和准确性。(4) 应用编码器进行位置反馈与校正。编码器是一种用于检测机械部件位置的传感器。在跟踪装置中,可以应用编码器对步进电机的位置进行实时检测和反馈。通过编码器检测到的位置信息,可以对步进电机的运行进行精确控制和校正,从而进一步提高跟踪装置的精度^[2]。

2.3 精度测试与验证

(1) 设计实验方案。为了验证优化后的跟踪装置的精度,需要设计合理的实验方案。实验方案应包括测试环境、测试设备、测试步骤等内容。在选择测试环境时,需要考虑到光照条件、气候条件等因素对测试结果的影响。测试设备应包括高精度传感器、编码器、步进电机等关键部件。测试步骤应包括安装和调试跟踪装置、设置测试参数、采集测试数据等。(2) 测试不同条件下的跟踪精度。在实验过程中,需要测试跟踪装置在不同条件下的跟踪精度。这些条件包括不同时间段(如早晨、中午、傍晚等)、不同季节(如春、夏、秋、冬等)、不同地理位置(如高纬度地区、低纬度地区等)

等。通过测试不同条件下的跟踪精度,可以全面评估跟踪装置的适应性和稳定性。(3) 数据分析与结果验证。在采集到测试数据后,需要对数据进行分析和处理。首先,需要对原始数据进行清洗和筛选,去除异常值和噪声干扰。然后,可以采用统计分析、图形展示等方法对处理后的数据进行深入分析和比较。通过数据分析,可以评估优化后的跟踪装置在不同条件下的跟踪精度是否有所提升,并找出可能存在的问题和改进方向。在数据分析的基础上,需要进行结果验证。结果验证的方法可以采用对比实验或仿真模拟等。对比实验可以是将优化后的跟踪装置与未优化的装置在同一条件下进行测试,比较两者的跟踪精度和发电效率。仿真模拟则是通过建立数学模型和仿真环境,模拟跟踪装置在不同条件下的运行情况,并预测其跟踪精度和发电效率。通过结果验证,可以进一步确认优化方法的有效性和可靠性。

3 机电跟踪装置可靠性研究

3.1 可靠性影响因素分析

(1) 户外环境的影响。户外环境对机电跟踪装置的可靠性构成直接影响。这些环境因素主要包括温度、湿度、风速、太阳辐射以及雨雪等气候条件。例如,极端高温会导致材料热膨胀、电气元件性能下降,甚至引起热故障;而低温则可能引发材料脆化、润滑油凝固等问题。湿度过高可能导致电气元件受潮、绝缘性能降低,进而引发短路故障。风速过大不仅会增加跟踪装置的结构负载,还可能造成机械部件的磨损和松动。太阳辐射和雨雪则会对设备表面造成腐蚀和侵蚀。因此,在设计机电跟踪装置时,必须充分考虑户外环境因素的影响,并采取相应的防护措施^[3]。(2) 材料选型与结构设计。材料选型和结构设计是影响机电跟踪装置可靠性的关键因素。材料的选择应基于其物理性能、化学稳定性、耐候性以及成本效益进行综合考虑。例如,选择高强度、耐腐蚀的材料可以提高设备的结构强度和耐久性;而选用耐高温、耐低温的电气元件则能确保设备在恶劣环境下的正常运行。此外,合理的结构设计对于提高设备可靠性也至关重要。例如,通过优化结构布局、减小应力集中、提高连接部位的可靠性等措施,可以显著提升设备的整体性能。(3) 控制系统与电气元件的可靠性。控制系统与电气元件的可靠性是机电跟踪装置稳定运行的基础。控制系统负责接收指令、处理数据并控制执行机构的动作,其可靠性直接影响到设备的跟踪精度和响应速度。电气元件则包括传感器、执行器、控制器等部件,它们的性能稳定性直接决定了整个控制系统的可靠性。因此,在选型时,应选择品质可靠、性能稳定的控

制系统和电气元件,并采取有效的防护措施,如防尘、防潮、防雷击等,以提高其可靠性。

3.2 可靠性提升策略

(1) 优化材料选型与结构设计。针对户外环境对机电跟踪装置的影响,应优化材料选型与结构设计。选择具有优异物理性能、化学稳定性和耐候性的材料,如不锈钢、铝合金等,以提高设备的结构强度和耐久性。同时,通过优化结构设计,如增加加强筋、优化连接部位的结构等,可以进一步提高设备的整体性能。(2) 加强控制系统冗余设计。为了提高控制系统的可靠性,可以采用冗余设计方法。冗余设计意味着在系统中增加额外的控制器、传感器等部件,以便在主部件失效时能够自动切换到备用部件,确保系统的连续运行。此外,还可以采用先进的控制算法和故障诊断技术,实时监测控制系统的运行状态,及时发现并处理潜在故障^[4]。(3) 采用保护措施。针对户外环境对机电跟踪装置可能造成的损害,应采取有效的保护措施。例如,在设备周围设置防风装置,以减小风速对设备的影响;安装防雷系统,以保护电气元件免受雷击损害;采用防尘措施,以减少灰尘对传感器和控制系统的污染。此外,还可以根据设备所处环境的特点,采取其他相应的防护措施,如防水、防潮等。(4) 定期维护与检修计划。为了确保机电跟踪装置的长期稳定运行,应制定定期维护与检修计划。定期对设备进行全面检查,包括清洁设备表面、检查电气连接、润滑运动部件等。同时,根据设备运行情况和维护记录,制定检修计划,及时更换磨损严重的部件,修复潜在故障点。通过定期维护与检修,可以确保设备的各项性能指标保持在良好状态,延长设备使用寿命。

3.3 可靠性测试与评估

(1) 制定可靠性测试标准。为了对机电跟踪装置的可靠性进行准确测试和评估,需要制定一套可靠的测试标准。这些标准应包括测试环境、测试方法、测试设备等内容。测试环境应尽可能模拟实际使用场景,包括户外气候条件、负载情况等。测试方法应能够全面评估装置的可靠性指标,如平均无故障时间(MTBF)、可靠

度等。测试设备应具备高精度、高稳定性等特点,以确保测试结果的准确性。(2) 进行模拟实验与实际运行测试。在制定好可靠性测试标准后,需要进行模拟实验与实际运行测试。模拟实验可以在实验室条件下进行,通过模拟户外环境、负载变化等因素来评估装置的可靠性。实际运行测试则需要将装置安装在光伏发电系统中进行长期运行观察,以获取更真实的可靠性数据。通过这些测试,可以全面评估装置的可靠性水平,并发现潜在问题。(3) 可靠性评估方法与指标。在收集到测试数据后,需要采用合适的可靠性评估方法和指标来评估机电跟踪装置的可靠性。常用的可靠性评估方法包括概率统计方法、故障树分析法等。这些方法能够通过对测试数据的分析和处理,得出装置的可靠性指标,如平均无故障时间(MTBF)、可靠度、失效率等。这些指标能够直观地反映装置的可靠性水平,并为后续的改进和优化提供有益的参考。

结束语

光伏发电系统中机电跟踪装置的精度优化与可靠性研究是提升光能转换效率与保障系统稳定运行的关键。本研究通过多方面分析与实验验证,实现了跟踪精度的显著提升和装置可靠性的全面增强。优化后的跟踪装置在不同环境条件下均表现出色,大幅提高了光伏发电系统的整体性能。本研究成果不仅为光伏行业的技术进步提供了有力支撑,也为实际应用中的设备选型与维护提供了科学指导。未来,我们将持续探索新技术、新方法,为光伏发电系统的发展贡献力量。

参考文献

- [1]王川,王平.光伏双面跟踪发电系统的发电特性研究[J].电力系统及自动化,2022,(04):46-47.
- [2]黄曦帆.自动跟踪式独立太阳能光伏发电系统[J].文化科学,2021,(11):109-110.
- [3]陈小玲.光伏发电跟踪系统的研究[J].建筑技术科学,2023,(09):88-89.
- [4]张灿灿,李钦杰.光伏发电系统发电效率研究[J].文化科学,2020,(10):101-102.