

# 跟踪式光伏系统传动装置故障诊断模型构建

王棚

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南郑州, 450001;

**摘要:** 跟踪式光伏系统传动装置故障影响发电效率与稳定性。构建故障诊断模型可及时发现故障隐患。通过分析传动装置运行特征, 结合先进算法建立模型, 对故障信号进行有效识别与诊断, 为系统稳定运行提供保障, 提高光伏系统可靠性与发电效益。

**关键词:** 跟踪式光伏系统; 传动装置; 故障诊断模型

**DOI:** 10.64216/3080-1508.25.09.017

## 引言

随着光伏产业发展, 跟踪式光伏系统应用增多。其传动装置故障会导致系统性能下降甚至停机。当前缺乏高效精准诊断方法, 因此构建科学合理的故障诊断模型十分必要, 可提升系统可靠性, 降低运维成本, 对光伏产业发展有重要意义。

## 1 跟踪式光伏系统传动装置构成和原理

### 1.1 传动装置结构

跟踪式光伏系统传动装置是实现光伏组件追踪太阳轨迹的核心机械结构, 主要由驱动单元、传动单元与支撑单元三部分组成。驱动单元包含电机与减速器, 电机为传动提供动力, 减速器通过降低转速、增大扭矩, 确保动力输出符合跟踪精度要求。传动单元多采用齿轮传动、链条传动或丝杠传动结构, 齿轮传动通过啮合的齿轮组传递动力, 适用于中大型跟踪系统; 链条传动依靠链条与链轮的啮合实现动力传递, 适应较长距离的传动需求; 丝杠传动则通过丝杠与螺母的相对运动, 将旋转运动转化为直线运动, 常用于高精度单轴跟踪系统。支撑单元包括轴承、导轨与支架, 轴承减少传动部件间的摩擦损耗, 导轨引导光伏组件沿设定轨迹平稳移动, 支架则为整个传动装置提供固定支撑, 确保结构稳定。各部件协同工作, 共同实现光伏组件的方位角与高度角调整, 保障光伏系统高效发电。

### 1.2 工作原理

跟踪式光伏系统传动装置通过接收控制信号, 驱动光伏组件实时调整姿态以追踪太阳位置。系统首先通过太阳位置传感器或天文算法计算实时太阳方位角与高度角, 生成跟踪控制指令并传递给驱动单元。驱动单元中的电机接收到指令后启动, 输出的动力经减速器处理后, 转化为符合传动需求的扭矩与转速传递至传动单元。

若采用齿轮传动, 动力通过主动齿轮传递至从动齿轮, 带动光伏组件支撑结构旋转; 若为丝杠传动, 旋转动力转化为丝杠的直线运动, 推动光伏组件沿导轨移动; 链条传动则通过链轮带动链条运动, 牵引光伏组件完成角度调整。在运动过程中, 装置配备的位置反馈传感器实时采集光伏组件的实际位置信息, 与目标位置进行对比, 若存在偏差则生成修正指令, 调整驱动单元运行参数, 直至光伏组件精准对准太阳。整个工作过程循环进行, 确保光伏组件始终处于最佳受光角度, 提升发电效率。

## 2 故障诊断模型构建理论基础

### 2.1 相关算法介绍

跟踪式光伏系统传动装置故障诊断模型构建需依托多种智能算法, 实现故障的精准识别与定位。常用的算法包括支持向量机、神经网络与决策树算法。支持向量机通过寻找最优分类超平面, 对传动装置的正常与故障数据进行分类, 适用于小样本数据场景, 能有效处理传动装置早期微弱故障信号的识别问题。神经网络算法模拟人类大脑神经元结构, 通过多层网络对故障特征进行深度学习, 可自动提取数据中的非线性特征, 适用于传动装置复杂故障如齿轮磨损、轴承异响等的诊断, 具有较强的泛化能力与容错性。决策树算法通过构建树状分类模型, 根据传动装置运行参数的不同阈值进行分支判断, 逐步缩小故障范围, 最终确定故障类型, 该算法结构清晰、解释性强, 便于工作人员理解故障诊断逻辑。此外, 还可结合小波分析算法对原始数据进行预处理, 分解信号中的有用成分与噪声, 提升故障特征的提取精度, 为后续模型诊断提供高质量数据支撑。

### 2.2 数据采集与处理

数据采集与处理是故障诊断模型构建的基础, 需确保获取的数据准确、完整且具有代表性。数据采集阶段

需针对传动装置的关键运行参数设置监测点,选择合适的传感器采集数据,如通过扭矩传感器采集传动单元的扭矩变化,振动传感器采集轴承、齿轮的振动信号,温度传感器监测电机、减速器的工作温度,电流传感器记录驱动电机的电流波动。采集频率需根据传动装置的运行特性设定,确保能捕捉到故障发生时的瞬时信号变化。数据处理阶段首先进行数据清洗,去除采集过程中因传感器误差、外界干扰产生的异常值与缺失值,可采用均值填充或插值法补充缺失数据,通过滤波算法剔除噪声信号。随后进行数据标准化处理,将不同量纲的参数如温度、扭矩、振动幅度等转化为统一尺度,避免因数值范围差异影响模型训练效果。最后对处理后的数据进行划分,分为训练集、验证集与测试集,为故障诊断模型的构建与性能验证提供数据保障。

### 3 故障诊断模型构建过程

#### 3.1 模型框架设计

跟踪式光伏系统传动装置故障诊断模型框架设计需遵循“数据输入-特征处理-故障诊断-结果输出”的逻辑流程,确保各模块协同工作。模型框架首先设置数据输入模块,接收经过预处理的传动装置运行数据,包括振动、温度、扭矩、电流等参数,支持多传感器数据的同步输入。特征处理模块作为核心环节,负责对输入数据进行特征提取与选择,将原始数据转化为能反映故障状态的特征向量,该模块需兼容不同的特征提取算法,可根据数据类型灵活调用。故障诊断模块集成多种智能算法,如支持向量机、神经网络等,根据传动装置的故障类型与数据特点选择适配算法,对特征向量进行分析,判断传动装置是否存在故障及故障类型。结果输出模块将诊断结果以直观形式呈现,包括故障类型、故障发生部位、故障严重程度及建议处理措施,同时存储诊断数据与结果,为后续模型优化与故障分析提供依据。此外,框架还需设置模型更新模块,支持根据新的故障数据对模型进行迭代优化,提升诊断精度与适应性。

#### 3.2 特征提取方法

特征提取是故障诊断模型构建的关键环节,需从采集的原始数据中提取能有效区分正常与故障状态的特征。针对传动装置的振动信号,可采用时域分析方法提取特征,计算振动信号的均值、方差、峰值、峰值因子等统计量,这些指标能反映振动信号的整体强度与波动情况,齿轮磨损、轴承故障时这些统计量会出现明显变化。频域分析方法通过傅里叶变换将时域振动信号转化

为频域信号,提取特征频率成分,如齿轮啮合频率、轴承外圈故障特征频率等,不同故障类型对应特定的频率峰值,可通过识别这些峰值确定故障类型。对于温度、电流等参数,可采用趋势分析方法提取特征,计算参数随时间的变化率、累积偏差值,当传动装置出现电机过载、减速器润滑不足等故障时,温度、电流参数的变化趋势会偏离正常范围。此外,还可结合小波包变换方法对复杂信号进行多尺度分解,提取不同频段的能量特征,增强对早期微弱故障信号的捕捉能力,为故障诊断模型提供更具区分度的特征向量。

#### 3.3 模型训练与优化

模型训练与优化需通过多轮迭代,提升故障诊断模型的准确性与稳定性。模型训练阶段首先将处理后的特征数据输入预设模型,如神经网络模型,设置合适的训练参数,包括学习率、迭代次数、隐藏层节点数等,以训练集数据为基础,通过前向传播计算模型预测输出,对比实际故障标签计算误差,再通过反向传播调整模型权重与偏置,最小化误差函数。训练过程中需利用验证集数据定期评估模型性能,若出现过拟合现象,可采用 dropout 技术随机丢弃部分网络节点,或增加训练样本数量,提升模型泛化能力。模型优化阶段需针对训练过程中发现的问题进行调整,如当模型对某类故障诊断准确率较低时,可增加该类故障的样本数据,或优化特征提取方法,增强对应故障特征的区分度;若模型训练效率较低,可简化模型结构,减少冗余参数,或采用更高效的优化算法如自适应动量估计算法,加快模型收敛速度。训练与优化完成后,使用测试集数据对模型最终性能进行评估,若满足预设精度要求则模型构建完成,否则需继续迭代优化,直至达到诊断需求。

### 4 模型验证与评估

#### 4.1 验证方法

跟踪式光伏系统传动装置故障诊断模型的验证需采用多种方法,确保模型在不同场景下的可靠性与适用性。常用的验证方法包括离线验证与在线验证。离线验证以历史故障数据为基础,将已标注的故障数据集输入模型,对比模型诊断结果与实际故障情况,判断模型对已知故障的识别准确率。在离线验证过程中,需涵盖传动装置常见故障类型,如齿轮磨损、轴承损坏、电机过载等,同时设置不同故障严重程度的样本,验证模型对故障程度的区分能力。在线验证则将模型部署到实际跟踪式光伏系统中,实时采集传动装置运行数据并输入模

型,观察模型对实时故障的诊断响应速度与准确性。在线验证需模拟实际运行中的复杂环境,如温度波动、电磁干扰等,测试模型在干扰条件下的抗干扰能力。

## 4.2 评估指标

模型评估需建立多维度指标体系,从诊断准确性、稳定性与实用性等方面综合衡量模型性能。诊断准确性指标包括故障识别准确率、故障定位准确率与故障严重程度判断准确率。故障识别准确率反映模型正确判断故障是否存在的能力,故障定位准确率衡量模型准确确定故障发生部件的水平,故障严重程度判断准确率则评估模型对故障发展阶段的识别效果,这些指标需达到较高水平才能满足实际诊断需求。稳定性指标主要包括诊断响应时间与抗干扰能力。诊断响应时间指模型从接收数据到输出诊断结果的时间,需控制在合理范围内,确保能及时发现问题并避免故障扩大;抗干扰能力通过在数据中加入噪声后模型诊断结果的变化程度来评估,抗干扰能力强的模型在干扰环境下仍能保持较高诊断准确率。实用性指标包括模型的可解释性与易用性,可解释性指模型能清晰呈现故障诊断逻辑,便于工作人员理解诊断过程;易用性则要求模型操作简单,能与现有光伏系统监控平台兼容,降低实际应用门槛,通过多指标综合评估,全面判断模型是否满足工程应用要求。

## 5 应用前景与展望

### 5.1 实际应用优势

跟踪式光伏系统传动装置故障诊断模型在实际应用中具备多方面优势,能为光伏系统运维提供有力支撑。首先,模型可实现故障的早期预警与精准诊断,在传动装置故障处于萌芽阶段时即可识别,避免故障发展为严重故障导致系统停机,减少因停机造成的发电损失。例如模型可提前发现齿轮的轻微磨损,工作人员及时更换齿轮,避免齿轮彻底损坏引发传动卡死。其次,模型能降低运维成本,传统运维多依赖人工定期巡检,不仅耗时耗力且易遗漏早期故障,模型通过自动化诊断减少人工巡检频率,同时精准定位故障部位与类型,缩短故障排查与维修时间,降低人工与维修成本。此外,模型可与光伏系统智慧运维平台结合,实现多台跟踪式光伏系统传动装置的集中监控与诊断,提升运维管理效率,尤其适用于大型光伏电站。通过这些优势,模型能提升跟踪式光伏系统的运行可靠性与发电效率,为光伏产业的

规模化发展提供保障。

### 5.2 未来发展方向

跟踪式光伏系统传动装置故障诊断模型未来可向多技术融合、智能化与场景适配方向发展。在技术融合方面,可结合数字孪生技术构建传动装置数字模型,将故障诊断模型与数字孪生模型联动,通过数字模型模拟故障发展过程,辅助工作人员制定更精准的维修方案,同时利用数字孪生模型生成大量虚拟故障数据,补充实际故障数据的不足,进一步优化模型性能。在智能化方面,可引入强化学习算法,使模型能在实际运行中自主学习新的故障模式,不断提升诊断准确率与适应能力,实现模型的自进化;同时结合边缘计算技术,将模型部署到边缘设备,减少数据传输延迟,提升实时诊断速度,满足偏远地区光伏电站的诊断需求。在场景适配方面,需针对不同气候条件、不同规格的跟踪式光伏系统,开发适配性更强的诊断模型版本,如针对高温高湿地区优化模型对湿热环境下故障信号的识别算法,针对小型分布式光伏系统简化模型结构以降低部署成本,推动模型在更多场景下的广泛应用。

## 6 结束语

构建的跟踪式光伏系统传动装置故障诊断模型具有良好的故障诊断能力。该模型为光伏系统稳定运行提供有力支持,未来可进一步优化完善,拓展应用范围,推动光伏产业在故障诊断领域取得更大进展,保障光伏系统高效可靠运行。

### 参考文献

- [1]陆小辉,董慧洁,吴超凡.光伏发电系统逆变器频率自适应跟踪控制方法[J].光源与照明,2025,(06):119-121.
- [2]负启,赵子健,韩倩文.跟踪式光伏支架驱动立柱承载能力试验研究[J].建筑结构,2025,55(11):112-116.
- [3]中国电力企业联合会.光伏电站太阳跟踪系统技术要求:GB/T29320-2024[S].中国标准出版社,2024.
- [4]叶升鹏,张体涛,杨勇,等.光伏跟踪系统坡地反阴影遮挡创新与应用[J].国企管理,2024,(S1):809-813.
- [5]段建雄.光伏系统最大功率跟踪的自抗扰控制方法研究[D].天津理工大学,2024.