

基于无人机多光谱图像的配网线路树障隐患智能识别与预警

陈 焰 汪 政

国网安徽省电力有限公司太湖县供电公司 安徽 安庆 246400

【摘 要】：配网线路穿越区域复杂，树障隐患长期依赖人工巡检，识别效率与精度受限，难以及时发现潜在风险。多光谱遥感数据能够反映植被生长状态与空间分布，但数据利用不足限制了隐患判定能力。构建基于无人机多光谱图像的树障识别模型，融合植被指数提取与图像分割算法，实现对线路通道内植被高度、密度及生长趋势的自动识别，并建立风险等级判定与预警机制。应用结果表明，识别准确率与巡检效率显著提升，隐患发现时效性增强，配网运行安全水平得到有效保障。

【关键词】：无人机巡检；多光谱图像；树障识别；配网线路；智能预警

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.002

引言

配网线路多分布于林区、农田及城乡交界地带，植被生长具有明显的季节性与区域差异，传统人工巡检方式难以兼顾覆盖范围与识别精度。树障隐患往往在短时间内快速形成，一旦未能及时处理，极易引发线路跳闸甚至设备损伤。多光谱遥感技术能够通过不同波段反映植被健康状况与生长特征，为精细化识别提供数据基础。无人机平台具备灵活机动与高分辨率采集优势，使线路通道信息获取更加高效。如何将多光谱数据与智能识别方法结合，构建稳定的隐患判定与预警机制，成为配网精细化运维中的关键环节。

1 配网线路树障识别技术应用基础分析

1.1 配网通道植被分布特征与影响因素

配网线路通道内植被分布呈现明显的空间异质性与生长差异性，受地形起伏、土壤水分条件及气候周期变化等因素共同作用，形成高低错落、密度不均的植被结构。山区与丘陵区域植被垂直分层明显，乔木与灌木交错分布，易形成对导线安全距离的持续侵入；平原区域则以快速生长的经济林与农作物为主，生长周期集中且更新频繁。植被高度增长速率与线路通道宽度之间存在动态关系，当生长速率超过巡检周期时，隐患积累速度明显加快。风荷载、降水量变化还会引发枝干倾斜或倒伏，进一步增加接触风险。不同植被类型在光谱响应特征上存在差异，为多光谱识别提供了可区分的物理基础。

1.2 无人机多光谱数据获取方式构建

无人机多光谱数据获取体系需围绕飞行平台稳定性、传感器精度与作业流程标准化进行构建。飞行高度、航线重叠率与拍摄角度直接影响影像分辨率与拼接质量，需根据配网通道宽度与地形复杂程度进行参数优化配置。多光谱传感器通过获取不同波段反射信息，实现对植被叶绿素含量、水分状态及生长活性的精准刻画，原始数据需经过辐射校正与几何校正处理，以保证不同时间段数据具备可比性。影像拼接与正射校正形成连续覆盖的线路通道影像，为后续分析提供基础数据支撑^[1]。作业流程中引入自动航线规划与实时数据回传机制，可提升数

据采集的连续性与完整性，减少人为干预带来的误差累积。

1.3 多源遥感信息在电力巡检中的融合路径

多源遥感信息融合强调不同类型数据之间的协同利用，通过空间配准与特征对齐实现信息互补。多光谱数据在植被识别方面具有优势，而可见光影像在结构边界与细节表达上更为清晰，二者融合能够同时兼顾目标识别精度与空间定位准确性。引入激光点云或高程数据，可进一步获取植被与导线之间的垂直距离关系，为隐患判定提供关键参数。数据融合过程中需构建统一坐标体系与标准化数据接口，实现不同来源数据的同步处理与动态更新。结合智能算法对融合数据进行特征提取与分类判别，可形成稳定的树障识别结果输出路径，并为后续预警模型提供多维度数据支撑。

2 树障隐患识别过程中的关键限制因素解析

2.1 图像数据受环境干扰导致识别偏差

多光谱图像采集过程易受光照条件变化、云影遮挡及大气散射等因素影响，不同时间段获取的数据在亮度与反射率上存在明显波动，导致同一植被目标呈现不一致的光谱特征。复杂地形区域中，坡向差异与遮阴效应进一步放大数据不均衡问题，使影像局部区域出现信息缺失或对比度降低现象。风速变化引起植被摆动，增加影像模糊程度，影响边界识别精度。传感器噪声与平台姿态微小偏差也会造成像元偏移与几何畸变，叠加后形成系统性误差，降低后续识别模型的稳定性与可靠性。

2.2 植被特征提取精度不足影响判定结果

植被特征提取依赖多光谱波段信息与算法模型的匹配程度，当波段组合与目标植被类型适配性不足时，指数计算结果难以准确反映实际生长状态。不同植被种类在光谱响应上存在交叠区域，导致分类边界模糊，增加误判概率。复杂背景环境中，裸土、阴影及人工设施与植被在部分波段上呈现相似特征，干扰特征提取过程^[2]。算法模型在训练阶段若缺乏多样化样本支撑，容易出现过拟合或泛化能力不足问题，使识别结果在不同区域间稳定性下降，直接影响隐患判定的准确性。

2.3 隐患等级划分标准缺乏统一支撑

树障隐患等级判定涉及植被高度、与导线距离及生长趋势等多维指标,不同地区在阈值设定与评价尺度上存在差异,缺乏统一规范导致识别结果难以形成一致判断依据。部分评价体系侧重静态距离关系,忽视植被动态生长特征,使潜在风险难以及时纳入高等级预警范围。数据来源与处理方法不统一,也会造成同一隐患在不同系统中呈现不同等级结果。标准体系缺乏与智能识别模型的有效衔接,限制自动判定功能的发挥,影响预警信息在运维决策中的应用深度与执行效率。

3 基于多光谱图像的树障智能识别方法构建

3.1 植被指数计算与目标区域提取方法

多光谱图像中不同波段对植被生理状态具有差异化响应特征,通过构建合理的植被指数体系,可有效增强植被区域与非植被区域之间的光谱对比度。归一化处理后的指数能够削弱光照变化带来的干扰,使植被信息在复杂背景中保持稳定表达。基于指数阈值分割与自适应阈值更新机制,可实现对线路通道内植被区域的初步提取。结合多尺度窗口分析方法,对不同空间分辨率下的植被分布进行层级识别,提升目标区域提取的完整性与连续性。针对阴影区域与光谱混合区域,通过引入指数融合策略与权重调整机制,提高弱特征区域的识别能力。数据处理过程中引入时序一致性约束,使不同时间节点提取结果保持空间连续,为后续动态分析提供稳定基础。

3.2 图像分割与特征识别模型优化策略

图像分割过程需在空间结构信息与光谱特征之间建立有效关联,通过引入深度学习模型与传统分割算法的融合框架,实现对复杂场景下植被目标的精细化识别。卷积神经网络在特征提取阶段能够自动学习多层语义信息,结合边缘约束机制可增强目标轮廓的清晰度。针对配网线路环境中存在的多类别干扰目标,模型训练需构建多样化样本集,并通过数据增强提升对不同光照与背景条件的适应能力。特征融合层引入通道注意力机制,对关键波段信息进行强化表达,提升模型对细微差异的识别能力^[3]。推理阶段通过轻量化结构设计降低计算复杂度,使识别过程具备实时响应能力,同时保持较高精度与稳定性。

3.3 线路空间关系约束下隐患判定机制

隐患判定过程需在植被识别结果基础上引入空间几何关系约束,通过构建线路三维空间模型,实现对植被与导线之间距离关系的精确计算。结合地形高程数据与影像坐标转换参数,对识别区域进行空间定位,形成统一坐标系下的目标表达。通过设定动态安全距离阈值,结合植被生长趋势数据,对潜在接触风险进行前瞻性评估。判定机制中引入多维指标综合评价方法,将植被高度、覆盖范围及生长速度纳入统一分析框架,提高隐患识别的完整性。系统内部通过规则引擎与模型输出结果的协同作用,实现自动化风险分级,为预警模块提供可

靠输入依据,并保证判定结果具备一致性与可追溯性。

4 树障风险预警模型与运行机制设计

4.1 多维数据驱动的风险等级划分方法

风险等级划分依托多源数据的综合表达能力,将多光谱影像特征、空间几何关系及时间序列变化信息纳入统一分析框架。植被高度信息通过影像反演与高程数据融合获得,结合线路导线空间位置,实现距离关系的精准计算。光谱指数反映植被生长活跃程度,可用于判断潜在增长趋势,作为动态风险评估的重要依据。通过构建多指标加权模型,将距离、密度、生长速率等参数进行标准化处理,形成统一量纲下的风险评价指标体系。不同指标之间采用层级结构进行权重分配,确保关键因素在判定过程中的主导作用。风险等级划分结果以连续区间形式表达,避免简单阈值分割带来的突变现象,使预警结果更加平滑且具有可解释性,为后续决策提供稳定支撑。

4.2 动态监测条件下预警触发规则构建

预警触发规则以连续监测数据为基础,通过引入时间维度实现对隐患演化过程的动态刻画。多时相影像数据经过配准处理后,可获取植被生长变化速率与空间扩展趋势,为风险预测提供前置判断依据。触发机制采用多条件组合判定方式,将距离变化趋势、指数变化幅度及历史状态记录进行联动分析,形成复合型判定规则^[4]。针对不同风险等级设置差异化触发阈值,使预警系统具备分级响应能力。规则体系中引入趋势预测模型,对短期内可能达到危险区间的目标提前发出预警信号,提升响应的前瞻性。系统内部建立状态更新机制,对每次识别结果进行动态修正,确保预警信息始终与实际情况保持一致,提高整体运行的连续性与可靠性。

4.3 巡检数据与运维系统协同联动方式

巡检数据需通过标准化接口与运维系统实现高效对接,形成从数据采集到风险处置的闭环管理结构。多光谱识别结果经数据处理后转化为结构化信息,包括空间位置、风险等级及变化趋势等关键参数,并通过统一编码体系与设备台账建立关联。系统内部构建数据流转机制,使识别结果能够实时进入运维管理平台,支持任务分配与处置流程自动生成。联动机制中引入反馈回传功能,将现场处置结果与识别数据进行对比分析,实现模型优化与规则调整的持续更新。数据共享体系支持多部门协同应用,使巡检、调度及检修环节在统一信息平台上实现同步运行,提高整体运维效率与响应速度,确保树障隐患治理过程具备可追溯性与持续优化能力。

5 智能识别与预警应用成效综合评估

5.1 识别准确率与处理效率变化情况

智能识别体系引入多光谱数据与深度学习模型后,植被与非植被区域区分能力显著增强,复杂背景下目标提取精度得到

有效提升。多波段信息的协同分析使植被健康状态与空间分布特征表达更加稳定，减少光照变化与地形遮挡带来的识别误差。模型在多样化样本训练基础上形成较强泛化能力，在不同区域条件下保持一致性输出。自动化处理流程替代传统人工判读，大幅缩短数据处理周期，影像拼接、特征提取与结果输出实现一体化运行。数据处理链条的连续性提升了整体作业效率，使巡检频率与覆盖范围得到同步扩展，形成高效稳定的识别运行模式。

5.2 隐患发现时效与处置响应能力提升

多时相数据持续采集与动态分析机制使隐患识别由被动发现转向主动预判，植被生长趋势能够在早期阶段被识别并纳入风险评估体系。风险变化信息通过系统自动更新，实现隐患状态的实时跟踪，缩短信息传递路径。预警结果直接对接运维流程，风险等级与空间位置同步推送至任务管理模块，使处置任务生成更加及时准确^[5]。调度与检修环节依托统一数据平台实现协同响应，减少信息传递中的滞后现象。处理流程标准化程度提高，使隐患处置从发现到执行形成连续衔接，响应速度与执行效率同步提升。

参考文献：

- [1] 刘晓琦.基于机载激光点云语义分割的配网线路走廊树障在线识别技术[J].电工技术,2025,(21):208-210+214.
- [2] 陈俊安,夏云峰,梁其帅.基于无人机多光谱图像的输电线路智能巡检方法[J].东北电力技术,2025,46(5):14-17+48.
- [3] 刘文明,吉宝贤,陆丽娟,等.多光谱图像融合技术在输电线路无人机巡检中的运用[J].光源与照明,2025,(4):133-135.
- [4] 陶晰,夏云峰,陈俊安.智能巡检无人机多光谱遥感图像增强方法研究[J].东北电力技术,2025,46(4):55-59.
- [5] 冯伦.多光谱图像融合技术在输电线路无人机巡检中的应用与效率分析[J].流体测量与控制,2024,5(6):8-11.

5.3 配网运行安全稳定水平改善情况

树障隐患识别与预警体系的持续运行，使线路通道内风险点得到系统性控制，潜在接触风险在形成前即被纳入管控范围。空间距离与生长趋势的综合分析增强了风险判定的前瞻性，减少突发性故障发生概率。数据驱动的运维模式提升了线路运行状态的可视化程度，使关键风险区域得到重点监测与动态管理。巡检与检修资源配置更加精准，避免重复作业与盲区遗漏，提高整体运维质量。系统长期运行形成稳定的数据积累，为运行策略优化提供支撑，使配网运行在复杂环境条件下保持更高水平的安全性与稳定性。

6 结语

多光谱数据与智能识别技术的深度融合，使配网线路树障隐患识别由经验依赖转向数据驱动，形成从信息采集到风险预警的闭环运行体系。多维指标协同分析提升隐患判定精度，动态监测机制强化风险前置控制能力，运维协同联动实现高效处置流程。整体体系运行推动配网巡检模式优化，为复杂环境下线路安全提供稳定支撑。