

输电线路通道树障智能监测与差异化清理策略研究

丁卓群, 石珊

国网武汉供电公司输电运检分公司, 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/EPTSM.2025120004

摘 要 : 输电线路通道树障属于造成线路跳闸、停电事故的重要原因, 对于电网安全稳定运行造成严重威胁。传统的树障检测依靠人工巡检, 存在效率低、成本高、隐患发现滞后的缺点。本文以输电线路通道树障治理为对象, 研究智能监测技术和差异化清除方法相结合的应用途径。通过分析无人机巡检、激光雷达、在线监测系统等智能技术的应用特点, 建立树障风险等级评估体系, 给出基于风险等级的差异化清理时机、方式、范围选择方案。经过研究得知, 智能检测可以准确发现树障隐患并且对其进行动态跟踪, 差异化的清理能有效地保障电网的安全性, 在运维成本和生态破坏等各方面也具有明显优势。

关 键 词 : 输电线路通; 道树障智能监测; 差异化清理策略

Research on Intelligent Monitoring and Differentiated Removal Strategy of Transmission Line Channel Tree Obstacles

Ding Zhuoqun, Shi Shan

Transmission Operation and Inspection Branch of State Grid Wuhan Power Supply Company, Wuhan, Hubei 430000

Abstract : Tree obstacles in line channels are one of the important reasons for line tripping and power outage accidents, posing a serious threat to the safe and stable operation of the power grid. Traditional tree obstacle detection on manual patrol inspection, which has the disadvantages of low efficiency, high cost, and delayed discovery of hidden dangers. This paper takes the treatment of tree obstacles in transmission line channels as object, and studies the application of intelligent monitoring technology and differentiated removal methods. By analyzing the application characteristics of intelligent technologies such as UAV patrol inspection, laser radar, and online monitoring, a tree obstacle risk level assessment system is established, and a differentiated removal timing, method, and scope selection scheme based on the risk level is given. Through the research it is known that intelligent detection can accurately detect tree obstacle hidden dangers and dynamically track them, and differentiated removal can effectively guarantee the safety of the power grid, and it also has advantages in operation and maintenance costs and ecological damage.

Keywords : transmission line channel; tree obstacle intelligent monitoring; differentiated removal strategy

引言

输电线路是电网能源输送的主要通道, 输电线路的安全稳定运行关系到社会经济发展和民生。输电线路通道内树木生长超出安全距离, 在大风、暴雨、冰雪等恶劣天气时容易引起线路对地放电、相间短路等故障, 引发大面积停电事故。据统计每年因为树障造成的输电线路跳闸事故占总跳闸数的30%以上, 并且有逐年上升的趋势。传统的树障治理采取“一刀切”的全范围清理方式, 运维成本高, 容易与林权所有者产生矛盾, 造成不必要的生态破坏。随着智能电网的建设, 需要引入智能监测技术, 建立科学高效的差异化清理方法, 实现树障隐患早发现、早评估、早治理, 由被动抢修到主动预防, 提高输电线路通道树障治理的精确性以及经济性。

一、输电线路通道树障概述

(一) 树障定义与分类

输电线路通道树障指的是在输电线路的保护区范围内, 由于

树木和竹子等植物生长超过国家及行业的安全规定距离, 对线路安全运行构成威胁的现象。按照植物种类分乔木类树障(杨树、柳树、松树等), 灌木类树障(酸枣丛、荆条等), 竹类树障(毛竹、慈竹等); 按照风险状况分紧急风险树障(已突破安全距离,

作者简介:

丁卓群(1994.05-), 男, 汉族, 湖北省武汉市人, 硕士, 工程师, 研究方向: 输电运检;

石珊(1997.10-), 女, 汉族, 湖北省武汉市人, 硕士, 研究方向: 变电运维。

随时发生故障），高风险树障（距离安全阈值不足1米，短时间内会突破），中风险树障（距离安全阈值1-3米，中期有风险），低风险树障（距离安全阈值3米以上，长期监控即可）^[1]。

（二）传统树障监测方式及局限性

传统的树障监测大都是依靠人工巡查、地面望远镜观测。人工巡检需要运维人员沿线路步行或者乘坐车辆巡查，对通道内树木生长情况进行目测并做记录。该方式存在的明显缺点有：一是效率低，在山区、林区等复杂地形条件下，每人每天巡检里程为5-8公里，很难实现全面高频次的检测；二是精度低，人眼测量无法准确测量出树木到电线杆之间的距离以及树木生长速度，容易造成隐患漏判、误判；三是时效性差，人工巡查周期长，一般为一到三个月，不能及时发现突然长出来的树状隐患；四是安全性低，在山区、高空作业时存在坠落、被野生动物攻击的安全风险^[2]。

（三）树障智能监测技术发展现状

近几年来，智能监测技术在输电线路树障监测中得到快速的应用。无人机巡检技术依靠它自身灵活、敏捷的特点，能在复杂多样的地形上穿行，携带高清摄像头、红外热像仪等设备进行树障图像采集，经过图像识别算法来判定树障的风险等级；激光雷达（LiDAR）技术发射出激光脉冲以获取树木的三维坐标，进而精确测出树与线路间的距离及其生长趋势；在线监测系统会在杆塔上安放传感器，可以对树木的生长数据和气象情况实行实时的采集，所以可以实现树障隐患的24小时动态监控^[3]。目前，智能监测技术已经由单一的监测发展为“空天地”一体化的监测，为树障的精益化治理打下了技术基础。

二、输电线路通道树障智能监测与差异化清理的意义

（一）保障电网安全稳定运行的核心需求

电网安全是能源安全的一个组成部分，由树障引起事故导致的线路跳闸将会对电网运行的连续性造成影响。智能监测技术可以做到树障隐患的早发现、准定位，使运维人员随时了解隐患情况；差异化清理策略依据树障风险等级来制定清理方案，先清除高风险隐患，防止发生事故。借助“智能监测+差异清理”，把树障隐患消灭在萌芽之中，削减线路跳闸几率，保证电网在复杂环境下的安全稳定运行，优化供电可靠性。

（二）降低运维成本的现实选择

传统的“一刀切”树障清理方式造成了严重的浪费，对于低风险、无风险树木的过度清理造成了大量的人力、物力和资金的浪费。智能监测可以减少人工巡检工作量、提高巡检效率，降低巡检成本；差异化清理通过精准划分治理范围，避免无效清理，减少树木砍伐数量和清理费用。据算，采用智能监测和差异化清理模式以后，输电线路树障运维成本能够下降40%以上，明显改善运维资金的利用效率，达成电网运维降本增效的目的^[4]。

（三）践行生态环保理念的重要举措

树木对于涵养水源、保持水土、净化空气、维护生态平衡有重要的作用，传统的树障清理方式容易造成生态破坏。智能监测可以准确识别出对线路安全构成威胁的树木，避免出现宁可错砍

一千，也不能放过一棵的粗放式治理；差异化清理根据树木的种类、生态价值制定出不同的清理方案，对于生态价值较高的树木采用移栽、修剪等方式代替砍伐，最大程度上保护通道内的植被。电网安全和生态保护在模式之下可以一同发展，践行绿水青山就是金山银山的理念。

三、输电线路通道树障智能监测与差异化清理策略

（一）树障智能监测数据采集与处理

树障智能监测数据采集要创建“空天地”一体化监测网络。空中层面采用多旋翼和固定翼无人机相结合的方式，多旋翼无人机电载5000万像素高清摄像头、红外热像仪，对山区、跨河等复杂地段进行近距离细致巡视，固定翼无人机电载激光雷达模块，实现百公里线路通道快速全覆盖扫描，采集频率根据风险等级调整，高风险区段每月1次，中低风险区段每季度1次。地面层面针对重点杆塔设置激光测距传感器以及气象站，对树木和导线距离、风速、温度、降水等信息进行每五分钟的数据采集^[5]。数据传输使用的是5G加边缘计算的方式，现场完成图像预处理、筛选工作，只把异常数据和重要图像上传到云端平台。数据处理阶段用YOLO目标检测算法识别树木种类，用点云数据拟合树木生长曲线，结合历史数据预测生长速度，最后生成包含树障位置、类型、风险等级、生长趋势的可视化监测报告，为后续评价提供准确的数据支持^[6]。

（二）树障风险等级评估体系构建

树障风险等级评定体系以科学量化、全面覆盖为原则，选取五个主要评价指标。一是距离指标，用激光雷达测量的树木顶端最外侧枝干与导线的最小直线距离，按照距离安全阈值的比重来量化计分；二是生长速度指标，通过连续6个月的监测数据计算月平均生长量，速生树种（杨树、毛竹）的权重高于慢生树种（松树、柏树）；三是树木类型指标，乔木权重最高（0.3），竹类次之（0.25），灌木最低（0.1）；四是线路重要性指标，特高压线路权重为0.3，500kV线路权重为0.25，220kV线路权重为0.2，110kV及以下线路权重为0.15；五是环境风险指标，根据历年气象数据的统计结果，将台风、暴雨、覆冰等恶劣天气多发的地区权重提高0.1到0.2。利用层次分析法确定各个指标的权重，用模糊综合评价法构建隶属度矩阵，将评价结果分成四个风险等级，紧急风险（≥0.8分）、高风险（0.6-0.79分）、中风险（0.4-0.59分）、低风险（<0.4分），形成标准化的评价流程，保证评价结果的客观公正^[7]。

（三）差异化清理时机选择

清理时点依据风险等级及环境变迁而定。紧急风险树障采取即时响应的的方式，收到监测预警之后，运维队伍2小时内到达现场，6小时内完成清理作业，优先采用机械作业缩短处置时间，防止故障发生。高风险的树障实行限时处理，清理窗口期控制在15日内，根据树木生长的特点进行选择，落叶树避开落叶期，常绿树避开高温干旱期，避开暴雨、大风等恶劣天气，作业前提前查看气象预报，保证施工的安全。中风险树障“季节化清理”，春

季(3-4月)清理萌芽生长的树木,夏季(6-7月)清理速生树种,秋季(9-10月)完成全年收尾清理,避开冬季低温、夏季高温。低风险树障实行周期性观测,半年检测一次,根据树种生长速度来调整测量时间间隔,快速种类缩短到3个月测一次。在迎峰度夏、春节保电等特殊时段前,对所有的中高风险树障开展专项排查工作,提前完成清理工作,保证供电安全^[8]。

(四) 差异化清理方式制定

根据不同的风险等级、场景来制订个性化的清理方式。紧急风险树障采取“彻底清除法”,对超出安全距离的树木全部砍掉,枝干及时运走,防止倒伏碰到导线,砍伐后在树桩上喷洒防萌芽剂,阻止二次生长。高风险树障采用精准修剪法,对不能砍伐的位置关键的树木,用高空作业车修剪靠近导线的枝干,修剪后枝干与导线距离不小于安全阈值的1.2倍;成片树木采用定向砍伐方式,控制树木倒向远离线路侧。中风险树障用生态友好型方式处理古树名木、公益林树木,由林业部门组织移栽,选择春秋季节带土球移栽,成活率不低于90%;普通树木疏枝修剪,保留主体枝干,控制生长高度。低风险树障采用“生长调控法”,喷施环保型生长抑制剂,抑制顶端生长,有效期1-2年,减少清理次数;对偏远山区低风险树障采用“自然隔离”方式,清理树下藤蔓、低矮灌木,扩大安全缓冲带。同时建立林权沟通机制,提前与林权所有者沟通协商,签订清理协议,保障清理工作开展^[9]。

(五) 清理效果评估与动态调整

清理效果评价实行“三维一体”全流程监管。安全效果评定采取无人机巡检+现场实测,清理完毕后3日内展开无人机复查,测定树木同导线的距离,保证符合安全标准,没有遗漏的危险,按月统计线路跳闸率,对比清理前后线路跳闸率的数据,评价安

全改善情况。经济效果评价,计算里程清理费用、人工费、设备损耗等,用传统清理方法对比,分析成本降低率,核算投资回报率。生态效果评估调查清理区域植被覆盖率、野生动物活动情况,评估树木砍伐对生态环境的影响,对生态破坏较大的方式及时优化。评估周期安全评估每月1次,经济和生态评估每季1次。在动态调整方面,建立评价结果反馈机制,对安全效果不好地区增加监测频率,改善清修办法;对成本高方案改换作业方式,机械化代替人工降低费用;根据树种生长周期和天气变化每年修改评价指标及整治时间,把典型案例归入治理数据库中形成监测-评估-清理-反馈-优化的闭环管理体系,使治理水平得到不断提高^[10]。

四、结束语

综上所述,输电线路通道树障智能监测与差异化清理是电网精益化运维的重要内容,对保障电网安全稳定运行、降低运维成本、保护生态环境具有重要意义。本文依托“空天地”一体化智能监测网络,搭建树障风险等级评价体系,给出依循风险等级而定的差异化清理时刻、手段和结果评判策略,塑造起“监测-评判-清理-回馈”的全过程治理形式。经过实践证明,此模式可解决传统树障治理效率低、成本高、生态破坏大的问题。人工智能、大数据、5G等技术发展之后,智能监测技术在树障治理中需要更深层次、更广泛地开发和利用,改进风险评价模型及差异化清除策略,使树障治理朝着精准的智能化管理方向前进,为安全、高效、绿色智能电网的创建保驾护航。

参考文献

- [1] 曾令宇,张海林,曾滢,等.城市道路无障碍环境提升策略研究——以广州市主城区为例[J].交通工程,2024,24(10):25-31
- [2] 隗海民,张栋,韩萍.基于影响权重的城市道路无障碍出行设施改善对策[J].城市道桥与防洪,2024,(10):28-31+12.
- [3] 李刚,杜亚波,杨庆贺,等.基于多尺度特征融合和注意力机制的矿区道路障碍检测[J].中国安全科学学报,2024,34(09):87-98.
- [4] 陈琪玲,韩亚楠,周梓艾,等.城市道路无障碍环境轮椅使用者出行偏好与适应性道路改善策略研究[J].景观设计学(中英文),2024,12(04):26-45.
- [5] 陈鹏.市政道路天桥及地道无障碍设计研究[J].工程建设与设计,2024,(14):71-73.
- [6] 李海涛.城市道路工程设计中无障碍设计的实施分析[J].产品可靠性报告,2024,(04):86-87.
- [7] 李翔宇,张雯宝.市政道路设计中的无障碍技术研究[J].交通世界,2024,(12):83-85.
- [8] 陈森,余新梁.市政道路无障碍设施的应用原则及设计要点[J].运输经理世界,2024,(03):40-42.
- [9] 徐志红.城市道路无障碍设施优化提升策略研究[J].城市道桥与防洪,2024,(01):78-80+13-14.
- [10] 于永亮.无障碍设计理念在市政道路设计中的应用[J].运输经理世界,2024,(02):41-43.