

基于多源数据融合的输电线路地质灾害风险评估与预警模型研究

恭王祥

南方电网超高压输电公司昆明局 云南 昆明 650000

摘要: 本文聚焦基于多源数据融合的输电线路地质灾害风险评估与预警模型。先构建多源数据体系, 涵盖基础地理、实时监测等数据并阐述融合方法; 接着设计风险评估指标体系, 采用AHP和模糊综合评价法、机器学习算法建立评估模型并实现结果可视化; 然后确定预警指标与阈值, 构建预警模型, 明确预警机制与响应流程, 为输电线路地质灾害防治提供理论与技术支持。

关键词: 多源数据融合; 输电线路; 地质灾害; 风险评估; 预警模型

1 输电线路地质灾害多源数据体系构建

1.1 地质灾害类型与影响因素分析

输电线路所处环境复杂, 面临多种地质灾害, 主要有滑坡、泥石流、崩塌、地面塌陷。滑坡是斜坡岩土体沿软弱面整体下滑, 地形坡度陡易使岩土体失稳; 断层、节理等地质构造发育地区, 岩土体破碎, 为滑坡提供物质基础和滑动面; 大量雨水渗入增加岩土体重量、降低抗剪强度, 是诱发滑坡的关键诱因。泥石流是山区沟谷中含大量泥沙、石块的特殊洪流。陡峭沟谷地形利于物质汇集流动; 风化碎屑、滑坡堆积物等松散固体物质是其物质基础; 暴雨、融雪等充足水源是激发条件。崩塌是较陡斜坡岩土体突然脱离母体堆积在坡脚。地形坡度陡使重力分力增大; 岩石坚硬程度、节理裂隙发育情况影响完整性, 破碎岩石更易崩塌; 断层、褶皱等地质构造活动使岩石破碎, 降低稳定性^[1]。地面塌陷是地表岩、土体向下陷落形成塌陷坑(洞)。地下采空区破坏岩土体平衡, 采矿形成的大量空洞常致地面塌陷; 地下水过量开采使地下水位下降, 土体有效应力增加、压缩变形, 引发地面沉降和塌陷。

1.2 多源数据来源与分类

1.2.1 基础地理与地质数据

基础地理数据是输电线路地质灾害研究的基础, 包括地形地貌数据、行政区划数据、交通道路数据等。地形地貌数据可通过数字高程模型(DEM)获取, 它能精确反映地面的起伏变化, 为分析地质灾害与地形的关系提供重要依据。行政区划数据有助于明确输电线路所处区域, 便于进行区域管理和灾害统计。交通道路数据则与灾害发生后的救援和抢修工作密切相关。地质数据涵盖地层岩性、地质构造、水文地质等方面。地层岩性数

据能了解不同岩层的物理力学性质, 判断其对地质灾害的敏感性; 地质构造数据包括断层、褶皱等信息, 有助于分析地质灾害的分布规律; 水文地质数据则涉及地下水的分布、水位变化等, 对泥石流、地面塌陷等灾害的形成有重要影响。

1.2.2 实时监测数据

实时监测数据对于及时发现地质灾害隐患和动态变化至关重要。在输电线路沿线布置多种监测设备, 可获取不同类型的实时数据。应力应变监测设备可安装在杆塔基础、岩土体内部等位置, 实时监测应力应变状态。当应力应变发生异常变化时, 可能预示着地质灾害即将发生。降雨量监测设备能实时记录降雨情况, 降雨是诱发滑坡、泥石流等灾害的重要因素, 及时掌握降雨数据有助于提前做好防范措施。

1.2.3 历史灾害与人文数据

历史灾害数据记录了过去输电线路沿线发生的地质灾害情况, 包括灾害类型、发生时间、地点、规模以及造成的损失等信息。通过对历史灾害数据的分析, 可以总结灾害发生的规律和趋势, 为当前的地质灾害防治提供经验借鉴。人文数据主要包括输电线路周边的居民分布、建筑物分布、土地利用情况等。居民和建筑物的分布情况与灾害发生时的人员伤亡和财产损失密切相关, 土地利用情况则反映了人类活动对地质环境的影响。

2 输电线路地质灾害多源数据融合方法研究

2.1 数据融合层次与框架设计

数据融合分数据层、特征层、决策层。数据层直接融合原始数据, 保留全部信息, 但数据量大、处理复杂, 对传感器要求高。特征层先提取各传感器数据特征再融合, 能减少数据量、降低复杂度, 保留重要特征,

提高准确性与可靠性。决策层在各传感器独立决策后融合结果, 依赖性小、容错性强, 但可能丢失原始信息。基于输电线路地质灾害多源数据特点与需求, 设计混合融合框架。数据层对基础地理与地质、实时监测等数据初步清洗预处理, 保证质量与一致性。特征层分别提取不同数据特征, 如地形地貌的坡度、坡向, 监测数据的位移等, 再用特征选择和降维技术融合特征, 提高效率。

2.2 关键融合算法选择与优化

2.2.1 传统融合算法应用

卡尔曼滤波算法常用于动态系统状态估计, 在输电线路地质灾害监测中, 可融合位移、应力应变等实时监测数据。它通过建立状态和观测方程递推估计系统状态, 能降低噪声干扰, 提高数据准确性与可靠性。但该算法要求系统模型准确且噪声服从高斯分布, 而实际中灾害系统复杂不确定, 模型难精确建立, 噪声分布也可能不符^[2]。所以需改进, 如采用自适应卡尔曼滤波算法, 依实时数据自动调整参数, 增强适应性与鲁棒性。D-S证据理论能有效处理不确定性信息, 适用于决策层数据融合。在灾害风险评估中, 不同数据源证据有不确定性和冲突, 该理论通过定义相关函数融合证据, 得出合理决策。但合理确定基本概率分配函数是关键, 需结合实际情况和专家经验科学设置。

2.2.2 智能融合算法创新

神经网络算法有强大非线性映射和自学习能力, 能自动提取融合数据特征。在输电线路地质灾害多源数据融合中, 可用深度神经网络, 如CNN擅长处理图像数据, 分析地形地貌等图像提取特征; RNN适合处理序列数据, 捕捉实时监测数据时间依赖关系。构建CNN和RNN结合的混合神经网络模型, 先用CNN提取图像特征, 再用RNN提取序列特征, 最后融合特征输入全连接层分析。通过训练历史数据优化参数, 提高融合效果和预测准确性。粒子群优化算法(PSO)可用于优化数据融合算法, 它收敛快、全局搜索强, 将融合算法参数作为粒子群位置, 迭代更新寻找最优参数组合, 如优化卡尔曼滤波算法参数。

3 基于融合数据的输电线路地质灾害风险评估模型构建

3.1 风险评估指标体系设计

构建科学合理的风险评估指标体系, 对准确评估输电线路地质灾害风险至关重要。该体系需综合考量多方面影响因素, 涵盖地形地貌、地质构造、岩土体性质、气象条件及人类活动等。地形地貌方面, 可选取坡度、坡高、坡型等指标。坡度大, 斜坡岩土体更易失稳, 灾

害风险高; 坡高影响势能, 高坡体失稳危害大; 不同坡型岩土体受力有别, 凸形坡比凹形坡更易发生灾害。地质构造指标包含断层密度、褶皱强度。断层是岩土体破碎带, 断层密度大, 地质构造复杂, 岩土体不稳定, 灾害可能性增加; 褶皱强度反映岩层变形程度, 强褶皱地区岩层破碎, 为灾害创造条件。岩土体性质指标有类型、密度、抗剪强度等。不同类型岩土体物理力学性质不同, 软土抗剪强度低, 易变形滑动; 密度影响重力, 进而影响斜坡稳定性; 抗剪强度低, 岩土体易剪切破坏引发灾害。气象条件主要考虑降雨量和强度, 其是诱发滑坡、泥石流等灾害的主要因素, 降雨越大, 灾害风险越高。人类活动指标有开垦强度、采矿活动、工程建设等。

3.2 风险评估模型建立

基于融合数据与设计的风险评估指标体系, 可建立输电线路地质灾害风险评估模型, 采用层次分析法(AHP)和模糊综合评价法结合的方式。层次分析法将复杂问题分解为多个层次, 通过两两比较确定元素相对重要性。先构建层次结构模型, 分为目标层(输电线路地质灾害风险评估)、准则层(地形地貌等)和指标层(具体指标)。再通过专家打分对各层次元素两两比较, 构建判断矩阵, 计算特征向量和值确定指标权重。模糊综合评价法处理模糊性问题, 能综合考虑多因素影响。依据指标权重和模糊评价矩阵进行模糊合成运算, 得出最终评估结果。

另外, 还可采用机器学习算法建模, 如支持向量机(SVM)和随机森林(RF)。SVM是基于统计学习理论的分类算法, 能在有限样本下找到最优分类超平面, 泛化能力强^[3]。RF是集成学习算法, 构建多个决策树进行分类或回归预测, 可处理高维和非线性问题, 准确性和稳定性高。将融合数据作输入, 灾害发生与否作输出, 训练模型并调整参数, 提高评估准确性。

3.3 风险评估结果可视化

为了更直观地展示输电线路地质灾害风险评估结果, 便于相关人员进行分析和决策, 需要进行结果可视化。可采用地理信息系统(GIS)技术, 将风险评估结果与地理地图相结合, 以不同颜色或符号表示不同风险等级的区域。例如, 将风险等级划分为低、中、高三个级别, 低风险区域用绿色表示, 中风险区域用黄色表示, 高风险区域用红色表示。在地图上清晰地标注出输电线路的走向和杆塔位置, 以及各区域的风险等级, 使管理人员能够快速了解输电线路沿线的地质灾害风险分布情况。同时, 还可以通过GIS技术实现风险评估结果的动态查询和分析, 如查询某个杆塔周围一定范围内的风险等

