

# 高海拔地区 10KV 多回路绝缘化智能感知与早期诊断技术研究

牛静辉

栾川龙宇铝业有限责任公司

**摘要：**高海拔地区 10KV 多回路绝缘化线路受低温、低气压、强紫外线、冰雪覆冰等恶劣环境影响，绝缘劣化速度加快，早期缺陷隐蔽性强、排查难度大，易引发线路故障，威胁配网供电可靠性。本文聚焦高海拔环境对线路绝缘的特殊影响，结合智能感知与故障诊断技术，设计适配高海拔工况的智能感知体系，构建绝缘缺陷早期诊断模型为高海拔地区 10KV 多回路绝缘化线路安全稳定运行提供技术支撑与实践指导。

**关键词：**高海拔地区；10KV 多回路；绝缘化线路；智能感知；早期诊断；绝缘劣化

## 1 引言

10KV 多回路绝缘化线路是高海拔地区配网供电的核心载体，其绝缘性能直接决定配网供电可靠性与安全性。高海拔地区独特的恶劣环境，导致线路绝缘面临多重考验，低气压降低绝缘击穿强度，强紫外线加速绝缘材料老化，低温冰雪引发覆冰闪络，昼夜温差大造成绝缘层热胀冷缩开裂，这些因素共同导致线路绝缘缺陷早期孕育速度快、隐蔽性强，传统人工巡检与离线检测方式难以实现缺陷早期识别，易导致小缺陷发展为线路故障，造成供电中断。当前相关研究多聚焦于平原地区线路智能监测，缺乏针对高海拔环境的适配性设计，且存在技术针对性不足、诊断精度偏低等问题。基于此，本文开展高海拔地区 10KV 多回路绝缘化智能感知与早期诊断技术研究，解决高海拔环境下线路绝缘监测难、诊断准的痛点，提升配网运维智能化水平。

## 2 高海拔地区 10KV 多回路绝缘化线路运行特性与故障机理

高海拔环境的特殊性的决定了 10KV 多回路绝缘化线路的运行特性与故障机理有别于平原地区，明确其核心特性与故障成因，是构建智能感知与早期诊断技术的前提。

## 2.1 高海拔环境对线路绝缘的影响

高海拔地区海拔高程普遍超过 2000 米，随着海拔升高，气压逐渐降低，空气绝缘强度呈线性下降，导致线路绝缘击穿电压降低，易引发沿面闪络故障。强紫外线辐射会破坏绝缘材料分子结构，导致交联聚乙烯等绝缘材料老化、脆化，表面出现龟裂，绝缘性能逐步衰减。低温环境下，线路绝缘层易发生脆裂，冰雪覆冰会增加线路负荷，同时冰面导电介质易引发绝缘闪络。此外，高海拔地区昼夜温差大，绝缘层反复热胀冷缩，会加剧绝缘层疲劳损伤，加速绝缘劣化进程，为早期缺陷的孕育提供条件。

## 2.2 线路绝缘早期缺陷类型与故障机理

高海拔地区 10KV 多回路绝缘化线路的早期缺陷主要分为绝缘老化、绝缘损伤、绝缘受潮三类。绝缘老化主要由强紫外线、高低温交替作用引发，表现为绝缘层介损增大、绝缘电阻下降，长期发展会导致绝缘击穿。绝缘损伤多由外力碰撞、冰雪压迫、施工遗留隐患引发，表现为绝缘层破损、开裂，局部电场强度集中，易引发局部放电，逐步扩大为绝缘故障。绝缘受潮主要由高海拔地区雨雪、凝露引发，水分侵入绝缘层后，会降低绝缘性能，引发泄漏电流增大，严重时导致绝缘击穿。多回路线路的并行敷设，会加剧电场干扰，进一步加速绝缘缺陷发展，增加故障排查难度。

## 2.3 现有监测与诊断技术的局限性

当前高海拔地区 10KV 多回路绝缘化线路主要采用人工巡检与离线检测相结合的方式，存在明显局限性。人工巡检受高海拔恶劣环境影响，作业难度大、效率低，难以发现隐蔽性早期缺陷。离线检测需停电操作，影响供电可靠性，且检测周期长，无法实现缺陷实时监测与早期预警。现有智能感知设备多适配平原地区工况，在高海拔低温、低气压环境下运行稳定性差，易出现数据采集失真、设备故障等问题。早期诊断模型缺乏对高海拔环境因素的考量，诊断精度偏低，难以区分环境干扰与真实缺陷信号。

# 3 高海拔地区 10KV 多回路绝缘化智能感知体系设计

## 3.1 感知节点选型与部署

感知节点选型聚焦高海拔环境适配性，选用低温-resistant、抗紫外线、耐低气压的智能传感器。核心感知参数包括绝缘电阻、泄漏电流、局部放电、环境温湿度、覆冰厚度及线路运行电压电流。采用导线电流 CT 线圈取电模式，解决高海拔地区太阳能供电不稳定难题，确保感知节点 24 小时稳定运行。感知节点部署采用多回路分区部署模式，在每回线路的绝缘子、电缆接头、分支箱等关键部位部署节点，实现多参数

同步采集，同时搭载北斗高精度定位模块，精准锁定监测点位，为故障定位提供支撑。

## 3.2 数据传输与处理模块设计

数据传输采用无线通信与光纤通信相结合的方式，高海拔偏远区域采用抗干扰能力强的无线通信模块，实现数据远距离传输；靠近城镇区域采用光纤通信，提升数据传输速率与稳定性。数据处理模块采用边缘计算技术，在感知节点端完成数据预处理，过滤环境干扰信号，提取有效特征参数，减少数据传输量，降低云端处理压力。预处理后的数据传输至云端监测平台，实现数据存储、实时展示与异常预警。

## 3.3 云端监测平台构建

云端监测平台整合数据采集、实时监测、异常预警、数据查询等功能，采用可视化界面展示线路运行状态与绝缘参数变化趋势。平台内置环境自适应调整算法，可根据高海拔环境参数变化，动态优化感知节点采集频率与数据处理阈值，提升感知精度。同时，平台支持多回路线路状态对比分析，便于运维人员全面掌握线路绝缘状态，及时发现异常情况。

# 4 绝缘缺陷早期诊断模型构建

## 4.1 诊断特征参数提取

从感知数据中提取绝缘缺陷核心特征参数，包括绝缘电阻变化率、泄漏电流谐波分量、局部放电信号特征、绝缘层温度差值等。重点提取 3、4、5 次谐波分量，此类谐波与绝缘劣化状态密切相关，可作为绝缘受潮、老化的核心判断依据。通过数据归一化处理，消除环境因素干扰，突出缺陷特征，为诊断模型提供可靠输入参数。

## 4.2 诊断模型构建

结合高海拔地区绝缘缺陷故障机理，采用聚类分析与特征匹配相结合的方法，构建绝缘缺陷早期诊断模型。模型内置不同类型绝缘缺陷的特征数据库，通过将实时提取的特征参数与数据库进行匹配，实现绝缘老化、绝缘损伤、绝缘受潮三类早期缺陷的精准识别。同时，引入环境校正系数，结合高海拔气压、温湿度等环境参数，对诊断结果进行校正，提升模型在高海拔环境下的诊断精度，避免环境干扰导致的误判。

## 4.3 故障预警阈值设定

根据高海拔地区线路绝缘运行标准，结合现场试验数据，设定不同类型绝缘缺陷的预警阈值。针对绝缘老化，设定绝缘电阻变化率预警阈值；针对绝缘损伤，设定局

部放电信号强度预警阈值；针对绝缘受潮，设定泄漏电流谐波分量预警阈值。当感知数据超过预警阈值时，模型自动发出预警信号，明确缺陷位置、类型及严重程度，为运维人员提供精准的处置依据。

## 5 结论

本文针对高海拔地区 10KV 多回路绝缘化线路绝缘监测与早期诊断的痛点，设计了适配高海拔工况的智能感知体系，构建了绝缘缺陷早期诊断模型。研究表明，该技术能够实现线路绝缘状态的实时感知、早期预警与精准诊断，有效提升高海拔地区 10KV 多回路绝缘化线路的运维智能化水平，降低线路故障发生率。

## 参考文献

[1]刘馥端,庞丹,庞杰.高海拔地区 10kV 绝缘化线路的运维方案[J].电力设备管理,2025(13):4-6