配电线路外部隐患自动识别装置自动化控制系统

许小梅[1]　李　磊[2]
1. 石嘴山农村电力服务有限公司平罗分公司宝丰供电所　宁夏　石嘴山　753400
2. 石嘴山农村电力服务有限公司平罗分公司城关供电所　宁夏　石嘴山　753400

摘　要：配电线路是连接电网与终端用户的“最后一公里”，其安全稳定运行影响供电可靠性和社会经济活动。但配电线路易受外部环境侵扰，施工机械外破等外部隐患是线路跳闸、设备损坏乃至大面积停电的主因。传统人工巡检模式效率低、响应滞后、覆盖不全，难满足现代电网精益化运维需求。为此，本文设计一种配电线路外部隐患自动识别装置自动化控制系统，它集成多源感知、智能分析与自动控制，采用“端 - 边 - 云”协同四层架构。前端用高清摄像头、传感器等全向采集数据；边缘计算单元用轻量化深度学习模型实时识别隐患；云端平台融合分析数据、预警并下发策略；执行机构完成闭环控制。该系统可以提升隐患识别准确率与及时性，实现事前主动预防。

关键词：配电线路；外部隐患；自动识别；自动化控制；深度学习

引言

我国新型城镇化加速，人民生活水平提升，社会对电力依赖加深，对供电可靠性要求极高。配电线路作为电力系统末端，网络结构复杂、运行环境开放，易受自然和人为威胁。统计显示，超70%的配电线路故障由外部因素引发，如施工机械外破、异物悬挂、树障、山火等，这些隐患突发性强、隐蔽性高、破坏力大，后果严重。长期以来，电力公司靠人工定期巡视处理隐患，但面对庞大配电网络，“人海战术”成本高、劳动强度大，还有监控盲区，且是周期性滞后检查，无法实时连续监控，常错过最佳干预时机。因此，构建能自动、实时、精准识别外部隐患并快速响应的自动化控制系统是电力行业关键难题。近年，物联网、人工智能等新兴技术发展为此提供新思路。本文将提出配电线路外部隐患自动识别装置的自动化控制系统方案，阐述其架构、功能、技术，为提升配电网智能化运维水平提供参考。

1 配电线路外部隐患类型与特征分析

要实现对外部隐患的精准自动识别，首先必须对其类型、成因及视觉特征有清晰的认识。配电线路外部隐患主要可分为以下几类：

1.1 外力破坏隐患

这是最常见也最具破坏性的隐患类型。主要指在电力线路保护区内进行的各类违章施工作业，如使用吊车、塔吊、泵车、挖掘机等大型机械进行吊装、挖掘、打桩等活动。这些机械的金属臂或车身一旦与带电导线安全距离不足，极易引发放电、短路甚至爆炸，造成线路跳闸和设备损毁。此类隐患的典型视觉特征是，在线路下方或附近出现大型、移动的工程机械轮廓。

1.2 通道环境异常

包括多种情况。一是异物悬挂，如被大风吹起的农用塑料薄膜、广告横幅、风筝、气球等缠绕在导线或绝缘子上，可能引起相间短路或对地放电。二是树障，指线路通道内的树木因生长过高而接近或接触导线，在潮湿天气下形成放电通道，或在大风天气下被刮断砸向线路[1]。三是烟火隐患，主要指在线路附近发生的秸秆焚烧、山林火灾等，高温和浓烟会严重威胁线路绝缘性能，甚至直接烧毁线路。这些隐患通常表现为静态或缓慢变化的物体出现在禁区内，具有特定的颜色、形状和纹理特征。

1.3 自然灾害相关隐患

虽然自然灾害本身难以预测，但其对线路构成的威胁可以通过监测相关征兆来间接预警。例如，通过集成微气象站，实时监测线路走廊的温度、湿度、风速、降雨量等参数，当数据组合达到预设阈值时，可辅助判断山火、覆冰、强风舞动等风险等级，并发出预警。

对这些隐患的深入理解，是后续设计针对性图像识别算法和制定有效控制策略的基础。

2 自动化控制系统总体架构设计

针对上述隐患特征和运维需求，本文提出的自动化控制系统采用“感知层-边缘计算层-云平台层-应用控制层”的四层协同架构，实现了从数据采集到智能决策再到自动执行的完整闭环。

2.1 感知层：多源异构数据采集

感知层是系统的“感官”，负责在配电线路现场（如杆塔、台区）部署智能监测终端。每个终端集成了多种传感器：（1）双光谱成像单元：包含一个高清可见

光摄像头和一个热成像（红外）摄像头。可见光摄像头用于白天捕捉高分辨率的彩色图像，识别异物、施工机械、树障等；热成像摄像头则能在夜间或恶劣天气（如雾、霾）下，通过探测物体的热辐射来发现异常热点（如山火初起、设备过热），实现真正的7x24小时无间断监控。（2）微气象传感器：实时采集环境温湿度、风速风向、雨量等数据，为烟火、覆冰等隐患的综合研判提供辅助信息。（3）定位与通信模块：内置北斗/GPS双模定位芯片，精确获取终端位置；通过4G/5G或电力专网，将采集的数据上传至边缘计算层。

2.2 边缘计算层：实时智能分析

边缘计算层是系统的“大脑前哨”。为了避免将海量原始视频流全部上传至云端造成的巨大带宽压力和延迟，本系统在靠近数据源的边缘侧（即智能终端内部或就近的边缘网关）部署了轻量化的深度学习推理引擎。该引擎运行经过优化的卷积神经网络（CNN）模型，如YOLOv5s或MobileNet-SSD，这些模型在保证较高识别精度的同时，对计算资源的需求较低，适合在嵌入式设备上运行[2]。其核心任务是对感知层传来的图像进行实时分析，一旦检测到预设的隐患目标（如吊车、火焰、异物等），立即触发本地告警，并将告警事件（含截图、时间、位置）而非原始视频流上传至云端，极大地提升了系统的响应速度和效率。

2.3 云平台层：大数据融合与决策

云平台层是系统的“中央指挥中心”。它接收来自所有边缘节点的告警事件和结构化数据，进行更深层次的处理：（1）数据存储与管理：建立统一的时空数据库，对所有历史告警、巡检记录、气象数据进行归档。（2）多源数据融合分析：将图像识别结果与微气象数据、线路拓扑信息、历史故障库等进行关联分析，以降低单一数据源带来的误报率。例如，系统检测到疑似火焰，同时微气象数据显示当地正处干燥、大风季节，则判定为真实山火隐患的概率将大大增加。（3）风险评估与预警：基于融合分析结果，对隐患进行分级（如一般、严重、紧急），并通过Web端、APP、短信等多种渠道，将精准的预警信息推送给相应的运维人员。（4）策略库与模型更新：云平台维护一个控制策略库，并可根据新收集的数据不断训练和优化AI模型，再将更新后的模型下发至各边缘节点，实现系统的持续进化。

2.4 应用控制层：闭环联动执行

应用控制层是系统的“执行手臂”，负责将云平台的决策转化为具体的行动：（1）声光告警：当边缘节点识别到高危隐患（如大型机械闯入）时，可立即启动终端自带的高分贝警笛和爆闪灯，对现场人员进行震慑和驱离，实现就地制止。（2）远程联动：对于需要更高权限处理的隐患，系统可将告警信息与GIS地图联动，自动生成工单并派发给最近的抢修班组，指导其快速抵达现场处置。（3）与其他系统集成：未来可与配电自动化（FA）系统对接，在极端情况下（如确认发生火灾且无法扑灭），可申请远程遥控断开相关线路开关，隔离故障区域，防止事故扩大。

3 系统核心功能与关键技术

3.1 系统核心功能

3.1.1 全天候全向可视化监控

系统采用双光谱成像技术，集成高清可见光与红外热成像摄像头。可见光通道在日间提供高分辨率彩色图像，精准捕捉施工机械、异物及树障等细节；红外通道则赋予系统“夜视”能力，可在无光、烟雾或浓雾等恶劣环境下，通过探测热辐射识别异常热源（如山火）或移动目标，真正实现7×24小时无间断监控。多目云台设计确保对杆塔周边360度全覆盖，彻底消除视觉盲区，并支持远程手动或自动巡航，灵活适应不同监控场景。

3.1.2 高精度隐患自动识别

依托边缘侧部署的轻量化深度学习模型（如YOLOv5s），系统能对实时视频流进行毫秒级分析，精准识别吊车、火焰、塑料薄膜、超高树木等十余类外部隐患。通过融合可见光的纹理信息与红外图像的温度分布，系统在复杂背景下仍能保持高识别准确率，综合准确率稳定在95%以上，有效降低误报与漏报[3]。模型支持在线增量学习，可随新样本数据不断优化，提升对新型或罕见隐患的泛化能力。

3.1.3 智能分级预警机制

系统内置风险评估模型，综合隐患类型、尺寸、距离、移动速度及微气象数据等多维度信息，将隐患动态划分为“一般关注”、“严重告警”和“紧急处置”三个等级。不同等级预警通过APP推送、短信、调度大屏等差异化渠道精准触达相应责任人，避免信息过载，确保关键告警得到优先处理。同时，历史预警数据被用于趋势分析，辅助制定长期防护策略。

3.1.4 闭环联动处置流程

系统不仅能触发前端声光告警进行就地威慑，更能自动生成包含精确位置、现场图片及风险等级的标准化电子工单。通过与GIS系统深度集成，工单可自动派发至最近的运维班组，指导其快速抵达现场处置，并在移动端完成结果反馈，形成从发现到销号的完整业务闭环，极大缩短应急响应时间。未来还可与配电自动化系统联

动，实现更高级别的主动防御。

3.2 关键支撑技术

3.2.1 轻量化AI模型边缘部署

为适应边缘设备有限的算力资源，系统采用模型剪枝、量化和知识蒸馏等技术，将复杂的深度学习模型压缩优化。这使得高性能的YOLOv5s等模型能在ARM架构的嵌入式处理器上流畅运行，实现了本地化的实时推理，保障了系统的低延迟响应能力，同时减少了对云端带宽的依赖。

3.2.2 多光谱图像智能融合

系统应用先进的图像融合算法，将可见光图像的丰富细节与红外图像的热力分布信息进行像素级或特征级融合。这种互补性信息的结合，显著提升了在树林、建筑群等复杂背景下的目标检测鲁棒性，是实现高精度识别的核心技术保障，尤其在黎明、黄昏等光照条件不佳的过渡时段效果更为突出。

3.2.3 野外环境高可靠设计

针对配电线路多位于野外的特点，终端硬件设计满足IP67防护等级，可抵御高低温、高湿及强电磁干扰。供电方面采用“太阳能+大容量锂电池”的组合方案，并配备智能电源管理系统，确保在连续阴雨天气下也能长期稳定工作，保障了系统的可用性与耐久性，大幅降低了后期维护成本[4]。

3.2.4 国密级安全通信协议

为确保数据传输的安全，系统所有通信链路均采用国家商用密码算法（如SM4）进行端到端加密。这不仅保护了视频、图像等敏感数据的机密性与完整性，也有效防范了外部恶意攻击和非法接入，为整个自动化控制系统构筑了坚实的信息安全屏障，符合电力监控系统安全防护规定。

4 系统应用效果与展望

目前，类似系统已在多个省市的电网公司进行试点应用。例如，在广东佛山供电局的实际应用中，配电线路外部隐患自动识别装置结合百度EasyDL定制化图像识别技术，成功部署于近百个施工区域。该自动化控制系统通过在线视频监控终端实时采集线路周边图像，并利用边缘计算与深度学习算法，自动识别吊车、塔吊等大型机械侵入、异物悬挂、烟火及树木超高风险等典型外部隐患，识别准确率达95%以上。一旦发现异常，系统可在秒级内向运维人员手机推送告警信息，并联动现场声光设备进行震慑，有效预防外力破坏事故。该方案将传统“人巡为主”模式升级为“智能主动预警”，显著提升了巡检效率与电网安全水平，实现了从自动化向智能化运维的关键转型。展望未来，配电线路外部隐患自动识别装置的自动化控制系统仍有广阔的发展空间。一方面，可以进一步引入5G+北斗高精度定位技术，实现厘米级的位置服务，为隐患精确定位和无人机自主巡检提供支持。另一方面，可以探索将数字孪生技术融入系统，构建线路的虚拟镜像，实现对隐患发展态势的模拟和预测，从而将电网运维模式从“预防性”推向“预测性”。此外，随着AI大模型技术的发展，未来的系统有望具备更强的泛化能力和自学习能力，能够识别更多样、更复杂的未知隐患，真正成为守护电网安全的“智慧之眼”和“智能卫士”。

5 结语

本文所设计的配电线路外部隐患自动识别装置自动化控制系统，通过深度融合物联网、人工智能与自动化控制技术，成功构建了一个从感知、分析到决策、执行的完整闭环。该系统有效克服了传统人工巡检模式的诸多弊端，实现了对外部隐患的早发现、早预警、早处置，将电网安全防线从事后被动抢修前移至事前主动防御。这不仅是技术上的革新，更是运维理念的升级。随着技术的不断迭代和完善，此类系统必将在建设安全、可靠、绿色、高效的现代配电网进程中发挥越来越重要的作用，为保障国家能源安全和经济社会高质量发展奠定坚实的物理基础。

参考文献

[1]董潇.配电线路外部隐患自动识别装置自动化控制系统[J].电气技术与经济,2025,(04):250-253.

[2]黄增柯,奉斌,黄勇,等.配电线路外部隐患自动识别装置自动化控制系统[J].自动化与仪表,2024,39(09):114-117.

[3]黄谦.输电线路外部隐患自动识别装置研究与开发[J].电工技术,2022,(23):83-85.

[4]国网西藏电力：排查整治输配电线路隐患[J].农电管理,2023,(07):3.