

# 基于深度学习的输电线路异物巡检技术研究

李恒 李杰

商洛学院

**摘要:** 输电线路安全运行是电网稳定供电的重要保障, 线路异物易引发电力故障, 传统巡检方式难以满足智能电网运维需求。本文提出基于 YOLOv9 的输电线路异物智能检测方法, 利用 GELAN 结构与 PGI 机制提升复杂场景下小目标异物检测性能。在自建数据集上的实验表明, 该方法精确率达 90.6%, mAP@0.5 达 85.7%, 可快速、精准、稳定识别输电线路异物, 为电力线路智能化、无人化运维提供高效可行的技术方案。

**关键词:** 输电线路; 异物检测; 智能巡检; YOLOv9

**DOI:** 10.65976/3106-1540.2026.01.016

## Research on Foreign Object Inspection Technology for Transmission Lines Based on Deep Learning

Li Heng Li Jie

(Shangluo University)

**Abstract:** The safe operation of transmission lines serves as a fundamental guarantee for the reliable power supply of power systems. Foreign objects on transmission lines frequently lead to electrical faults such as short circuits and tripping, whereas conventional manual inspection is inefficient and can no longer satisfy the operation and maintenance demands of smart grids. This paper proposes an intelligent foreign object detection method for transmission lines based on YOLOv9. By employing the GELAN architecture and Programmable Gradient Information (PGI) mechanism, the method effectively improves the detection performance of small-target foreign objects in complex scenarios. Experimental results on a self-constructed dataset indicate that the proposed method achieves a precision of 90.6% and mAP@0.5 of 85.7%. It enables rapid, accurate and robust identification of foreign objects on transmission lines, and provides an efficient and practical technical scheme for the intelligent and unmanned operation and maintenance of power transmission systems.

**Key Words:** Transmission Lines; Foreign Object Detection; Intelligent Inspection; YOLOv9

我国电网规模持续扩大, 高压输电线路呈现长距离、广覆盖、跨复杂地形的布局特点。线路易受鸟巢、风筝、气球、垃圾等异物侵扰, 引发短路、闪络、跳闸等故障, 严重威胁电网安全稳定运行。

传统人工巡检存在效率低、风险高、漏检误检率大等问题, 难以适配现代电网运维需求。无人机航拍与深度学习视觉检测结合, 成为输电线路智能巡检的主流方向。丁栩麟等<sup>[1]</sup>将 YOLOv5<sup>[2]</sup>模型应用于输电线路缺陷识别, 对 YOLOv5 模型进行优化改进, 验证了该模型在无人机输电线路巡检缺陷识别中的优越性。赵福生<sup>[3]</sup>等提出一种基于 YOLOv8<sup>[4]</sup>的输电线路巡检算法, 可以很好地检测出电力部件各种缺陷以及输电线路上的异物。曹成发等<sup>[5]</sup>提出一种改进的

YOLOv8 无人机输电线路巡检图像识别与检测网络将多头自注意力机制引入到主干网络中, 从而提高复杂背景下输电线路目标的检测能力。

深度学习技术在输电线路异物检测方面取得了显著进展, 但仍面临小目标检测难、复杂背景干扰等问题。YOLOv9<sup>[6]</sup>凭借 GELAN 高效特征聚合结构与 PGI 可编程梯度信息机制, 有效提升小目标、复杂背景下的检测性能。本文基于 YOLOv9 深度学习模型构建输电线路异物智能检测方案, 搭建专用数据集并开展对比实验, 验证该方法在异物检测中的优越性, 为电力线路智能化巡检提供技术支撑。

### 一、YOLOv9 目标检测模型原理

YOLOv9 专注于实时检测、高精度、轻量化三大

**基金项目:** 大学生创新创业训练计划项目 (编号: S202411396116) 资助。

**作者简介:** 李恒, 男, 本科, 研究方向为图像处理。

李杰, 男, 讲师, 研究方向为模式识别与图像处理。

目标,在网络结构、梯度传播、特征融合、检测头设计等方面实现全面优化,核心改进使其更适配输电线路异物巡检任务。

YOLOv9 以实时检测、高精度、轻量化为设计目标,在网络结构、梯度传播、特征融合、检测头设计等方面实现全面优化,更适配输电线路异物巡检任务。

#### (一) 通用高效层聚合网络 GELAN

GELAN (Generalized Efficient Layer Aggregation Network) 是 YOLOv9 的主干特征提取核心,融合 CSPNet 跨阶段连接与 ELAN 高效层聚合优势,通过控制梯度最短路径实现多尺度特征高效复用。与 YOLOv8 的 C2f 模块相比, GELAN 在相同计算量下可提取更丰富的语义与细节特征,增强对小目标、弱纹理异物的感知能力,同时稳定梯度传播,使模型更易收敛,结构可灵活扩展适配不同部署环境。

#### (二) 可编程梯度信息 PGI

PGI (Programmable Gradient Information) 是 YOLOv9 的核心创新,用于解决深度神经网络信息衰减与梯度消失问题。通过构建主推理分支与可逆辅助分支,在训练阶段提供额外监督信号,强化深层特征传播;推理阶段丢弃辅助分支,不增加计算开销。该机制使模型训练更稳定、定位更精准、鲁棒性更强,可有效降低航拍抖动、光照变化、远距离拍摄导致的漏检与误检。

#### (三) 多尺度解耦检测头与优化损失函数

YOLOv9 采用解耦检测头结构,将分类与回归任务分离为独立分支,避免任务干扰,提升类别判别与边界框定位精度。针对不规则异物,模型使用 DPlou 损失函数优化边界框回归,兼顾定位精度、边界平滑度与旋转不变性。同时保留多尺度检测机制,输出大、中、小三个尺度特征图,全面覆盖输电线路异物尺寸分布。

## 二、基于 YOLOv9 的输电线路异物巡检流程

本文设计的输电线路异物智能巡检系统,以 YOLOv9 算法为核心,遵循数据集制作→模型训练→可视化界面集成的完整技术路线,实现从原始巡检图像到异物精准识别、定位与结果输出的全流程自动化。

#### (一) 数据集制作

数据集的规模、多样性与标注质量直接决定深度学习模型的泛化能力与检测精度。由于电力行业公开的输电线路异物数据集较少,样本获取难度较大,本文采用电力现场采集+网络收集相结合的方式构建专用数据集,并完成数据清洗、标注、增强与划分。

##### 1. 数据采集

实验所用图像数据主要来源于两个渠道:一是电力部门在日常输电线路巡检过程中采集的航拍图

像;二是通过网络公开资源收集并严格筛选后的异物图像。数据覆盖山区、城郊、高架、林地、逆光、阴天、强光等多种典型巡检环境,能够真实反映输电线路复杂运行场景。

数据集中异物类型严格按照实际故障隐患分类,共分为鸟巢、风筝、气球、垃圾四类,上述异物均为引发线路短路、跳闸的主要诱因。原始采集图像共计 2400 张,包含不同角度、不同距离、不同尺度下的异物目标,为后续模型训练提供真实可靠的原始样本。

#### 2. 数据标注

在深度学习模型训练中,数据标注用于提供目标位置与类别监督信息。本文采用 LabelImg 标注工具,按照 VOC2007 标准格式对所有图像进行人工精标。标注过程统一设置类别名称:鸟巢、风筝、气球、垃圾,标注内容包括目标坐标位置与类别信息,最终生成 .xml 格式标签文件。

#### 3. 数据增强

由于原始样本数量有限,直接训练易导致模型过拟合、泛化能力下降,为提升数据集丰富度,本文采用空间变换、色彩变换增强策略,对样本进行扩充与优化。空间变换增强通过翻转、旋转、缩放、平移等坐标变换,模拟无人机不同拍摄姿态与视角,提升模型对目标姿态变化的适应性。色彩变换增强通过调整图像亮度、对比度、饱和度,模拟阴天、逆光、强光、黄昏等光照变化。经增强处理后,样本由 2400 张扩充至 9100 张,有效提升模型泛化性能。

#### 4. 数据集划分

为保证训练、验证、测试的独立性与科学性,本文按 8 : 1 : 1 的比例对数据集进行分层划分。训练集用于模型特征学习与参数更新;验证集用于训练过程中实时监控性能、调整超参数、防止过拟合;测试集独立于训练过程,用于最终评估模型泛化能力,该划分方式可保证各类别在不同子集中分布均衡,使实验结果更具可信度。

#### (二) 模型训练

本研究的实验环境基于 Windows 11 64 位操作系统搭建,硬件平台采用 Intel(R)Xeon(R)CPU E5-2696 v3 处理器与 NVIDIA GeForce GTX 4060 显卡,实验使用 Python 3.8 作为开发语言,依托 PyCharm 2024.1.2 开发环境完成代码实现,并通过 CUDA 10.0 配置 GPU 加速,提升模型训练与推理效率。模型训练的关键超参数如表 1 所示,其中初始学习率设为 0.01,动量因子为 0.912,批次大小 Batch 为 8,整体训练轮次 epoch 为 300。

表 1 训练参数

参数	参数含义	值
Size	输入尺寸	640 × 640
Epoch	训练轮数	300
Batch	每次训练所取样本数	8
Lr	学习率	0.01
Momentum	动量	0.912
Cuda	是否使用 GPU	True

在模型训时首先构建 .yaml 配置文件, 指定数据集路径、类别名称、模型结构与训练参数, 随后加载 YOLOv9 在 COCO 数据集上的预训练权重, 启动迁移训练。训练过程自动计算框损失、置信度损失与分类损失, 通过反向传播更新网络参数, 并实时监控精确率、召回率与 mAP 变化, 当训练结束后系统自动保

存最优权重文件 best.pt, 用于后续推理与界面部署。

### (三) 系统界面设计

为满足巡检操作人员便捷使用需求, 基于 Qt Designer+PyQt5 开发可视化检测系统, 实现图像输入、模型推理、结果显示、记录保存一体化交互功能。设计完成的 .ui 文件通过 pyuic5 指令转换为 .py 代码文件, 与模型推理逻辑对接, 实现界面与算法解耦, 便于后期维护、升级与工程部署。

## 三、实验结果与分析

### (一) 检测效果分析

为验证模型的识别效果, 如图 1 所示, 使用训练后的模型在测试集上随机选取样本进行可视化检测。结果表明: 模型可准确识别鸟巢、风筝、气球等异物; 检测框定位精准、置信度可靠, 满足现场巡检要求。



(a) 气球检测结果

(b) 鸟巢检测结果

(c) 风筝检测结果

图 1 缺陷检测结果

### (二) 定量对比实验

为进一步验证模型的识别性能, 选取精确率、召回率、mAP 等指标将其与 YOLOv7、YOLOv8 进行对比, 对比结果如表 2 所示。

表 2 定量对比实验

模型	精确率 /%	召回率 /%	mAP50/%
YOLOv7	83.5	74.2	79.6
YOLOv8	87.3	77.4	82.5
YOLOv9	90.6	81.3	85.7

实验结果显示: YOLOv9 精确率 90.6%、召回率 81.3%、mAP50 为 85.7%, 三项指标均高于 YOLOv7 和 YOLOv8, 检测性能最优, 适用于现场高可靠检测需求。

## 四、结语

本文将 YOLOv9 深度学习目标检测算法应用于输电线路异物智能巡检, 模型精度均优于对比算法, 满足工程实用要求。该技术能够显著提升输电线路运维效率与智能化水平, 未来可进一步优化模型轻量化结构, 拓展异物检测类别, 结合边缘计算实现无人机端侧实时推理, 推动输电线路智能巡检技术向更高效、

更便携、更泛化的方向发展。

### 参考文献:

- [1] 丁栩麟. 基于 YOLO-V5 改进模型的无人机输电线路巡检缺陷识别 [J]. 电工技术, 2025(08):105-108.
- [2] 邱天衡, 王玲, 王鹏, 等. 基于改进 YOLOv5 的目标检测算法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2022,58(13): 63-73.
- [3] 赵福生, 尼鹿帕尔·艾克木, 伊力哈木·亚尔买买提, 等. 基于 YOLOv8 的输电线路巡检算法研究 [J]. 电子测量技术, 2025,48(10):117-126.
- [4] 张利丰, 田莹. 改进 YOLOv8 的多尺度轻量级车辆目标检测算法 [J]. 计算机工程与应用, 2024,60(03): 129-137.
- [5] 曹成发, 安东, 马伟荣, 等. 一种改进的 YOLOv8 无人机输电线路巡检图像识别检测网络 [J]. 电气时代, 2025(03):56-59.
- [6] 廖炎华, 鄢元霞, 潘文林. 基于 YOLOv9 的交通路口图像的多目标检测算法 [J]. 计算机应用, 2025,45(08): 2555-2565.