



基于贝叶斯线性回归的鸟害故障分析

摘要

近年来,害鸟引起广东电网输电线路故障所占比例逐渐增高,成为电网安全的主要隐患之一.如何降低鸟害故障,已经成为输电线路运行维护所面临的一个新的课题.输电线路分布区域广,盲目的人工驱赶鸟类难以有效防止鸟害,因此通过对鸟害故障进行分析是防止鸟害的有力支持.通过收集广东电网 2015—2019 年 5 年来的鸟害运维数据,根据鸟害故障的地理环境特征、杆塔结构特征与季节特征,建立鸟害故障分析模型.首先,分别分析地理特征、杆塔结构特征以及不同季节对鸟害故障的影响,然后训练 Mask R-CNN 神经网络提取杆塔周围的地理环境特征,最后建立基于贝叶斯线性回归的鸟害故障分析模型,并使用相关系数 R^2 评估模型的精度.实验结果表明,本文所构建的鸟害故障分析模型具有较高的准确性和可靠性.

关键词

鸟害;贝叶斯线性回归;Mask R-CNN

中图分类号 TP181

文献标志码 A

收稿日期 2020-09-10

资助项目 南方电网公司科技项目(030700KK52190003)

作者简介

朱朋辉,男,工程师,主要研究方向为高压送电线路运行与维护技术.465936452@qq.com

¹ 广东电网有限责任公司江门供电局,江门,529000

0 引言

输电线路的安全运行是用户稳定用电的前提,也是广东电网高质量发展保障^[1].随着广东经济的高速发展,从日常生活到工业生产对电力质量提出了越来越高的要求,这给输电线路的运维保障带来了挑战.广东江门电网 2015—2019 年的运维数据显示,鸟害故障是影响输电线路安全稳定的主要原因^[2].因此,建立鸟害故障分析模型,对采取有效的防鸟措施具有重要的指导意义^[3-5].

国内专家对输电线路鸟害故障特征进行了相关研究并取得了一定的成果^[6-7].国家电网公司对 2004—2006 年发生过鸟害故障的 220 kV 线路统计分析,发现害鸟引起输电线路故障的数量逐年上升.害鸟引起输电线路发生的故障主要集中在电压等级为 110 kV 线路上,同时杆塔的绝缘子类型也对鸟害故障发生概率有一定的影响^[8].鸟粪是引起输电线路跳闸的主要因素,中相发生鸟粪跳闸的概率远大于两边相^[9].云南电网对 2008—2013 年发生过鸟害故障的输电线路进行了相关研究,总结了鸟害故障概率与输电线路的地理环境分布、季节分布、杆塔特征之间的关系^[10].

对鸟害故障研究表明,影响鸟害的因素是多方面的,每年发生鸟害故障的范围也会因生态环境和人类活动区域的变化而变化,因此加大了预防鸟害的难度^[11].如何提高鸟害故障防治效率成为输电线路亟需解决的关键问题,对电网安全稳定运行具有重要意义.

针对上述问题,有必要对防止鸟害故障工作提出相关的理论指导,在架线工程施工以及安装防鸟装置时,依据已构建的鸟害故障分析模型对线路遭受鸟害的可能性进行分析,可以有效减少鸟害故障^[12].因此本文提出了一种基于贝叶斯线性回归的鸟害故障分析方法,针对搜集到的某地区部分鸟害历史数据进行分析,其中历史数据主要包括杆塔结构特征、杆塔所处位置的地理环境特征以及发生鸟害的季节,构建数据集训练鸟害故障分析模型.通过所提出的模型分析发生鸟害的高风险地区,从而对输电线路设备的安装和鸟害装置的设置提供理论指导.

1 鸟害故障的影响因素

鸟类非常喜欢在架设于高空的杆塔上停留或者活动,因而极易导致鸟害事故,发生跳闸故障.输电线路运维人员把这些巡检过程进

行记录,尤其是跳闸记录、清除鸟害记录等.因此可以根据广东电网提供的鸟害运维数据分析鸟害的影响因素.

1.1 鸟害故障的地理环境特征

地理环境越适合鸟类生存,则该区域发生鸟害故障的概率就越大^[13],因此地理环境特征是影响鸟害故障的一个重要因素.参考广东沿海地理环境情况,本文主要参考水田、鱼塘、菜地、林地、空旷 5 大地理环境因素作为鸟害故障分析的影响因素.从广东电网提供的运维数据随机抽取 20 处杆塔,统计情况如表 1 所示.

表 1 地理环境特性与杆塔结构统计

Table 1 Geographic characteristics and pole tower structures

编号	地理环境特征	电压/kV	导线排列方式	杆塔类型
1	水田	110	水平	直线
2	水田	110	三角	耐张
3	鱼塘	220	水平	直线
4	水田	110	垂直	直线
5	林地	220	水平	直线
6	水田	110	三角	耐张
7	水田	110	水平	直线
8	林地	110	水平	直线
9	林地	110	三角	耐张
10	水田	220	水平	直线
11	鱼塘	110	水平	直线
12	水田	110	水平	直线
13	水田	110	水平	耐张
14	林地	220	三角	直线
15	水田	110	水平	耐张
16	菜地	110	三角	直线
17	水田	110	垂直	直线
18	空旷	110	水平	直线
19	水田	110	水平	直线
20	水田	110	水平	直线

表 1 中发生鸟害故障的杆塔中水田占 12 次、林地 4 次、鱼塘 2 次、菜地 1 次、空旷 1 次,鸟害故障主要集中在水田和林地,是因为水田和林地是鸟类适合扑食的地方.

1.2 鸟害故障的杆塔结构特征

除了地理环境特征的影响,杆塔结构特征是影响鸟害故障的一个重要影响因素.依据中国电力科学研究院、南方电网科学研究院以及有关高等院校的研究结果发现:在杆塔结构方面,鸟害故障同线路电压等级、导线排列方式、杆塔类型有关^[14].

表 1 的统计结果显示:20 处杆塔电压等级为 110 kV 发生鸟害的有 16 次、220 kV 有 4 次;杆塔类型一般而言主要分为直线型塔和耐张型塔,直线型塔发生鸟害有 15 次、耐张型塔有 5 次;导线排列方式主要分为水平、三角和垂直 3 种排布方式,水平排列方式发生鸟害有 13 次、三角形有 5 次、垂直有 2 次.就上述统计结果来看,在电压等级方面,鸟害故障主要集中在 110 kV 线路上,主要原因是杆塔高度适合鸟类停留;在杆塔类型方面,鸟害故障发生在直线型杆塔上的概率较高,主要原因是直线型杆塔方便鸟类停留;在导线排列方式方面,当导线水平排列时,害鸟筑巢比较容易,因而直线型杆塔适合鸟类活动,最容易遭受鸟害.

1.3 鸟害故障的季节特征

季节的不同会导致鸟害故障发生概率也不一样.害鸟活动受到季节的波动较大,在鸟类活动频繁的季节,鸟害发生的概率也就越高.表 2 的结果显示鸟类在冬季导致输电线路发生故障的概率最高,主要是因为冬季害鸟需要准备较多的过冬物资,使得害鸟在扑食地点和巢穴之间往返频繁,大大加重了害鸟的活动力度.同时,冬天小雨偏多,在小雨的作用下,鸟粪等污秽物不易被洗刷掉反而扩大了污秽面积,导致更高的故障和污闪率^[12].

表 2 鸟害故障的季节分布

Table 2 Seasonal proportion of bird caused transmission line faults

季节	比例/%
冬季	37
秋季	20
夏季	19
春节	24

2 基于 Mask R-CNN 的地理环境特征识别

地理环境特征作为鸟害故障分析模型的重要影响因素,人工测量耗费大量的资金成本,因此需要训练神经网络实现对整个广东地区地理环境特征的自动提取.

Mask R-CNN^[15]不仅可以对瓦片图像中的目标进行检测,还可以对每一个地理环境给出一个高质量的分割结果,达到对目标的精确提取.

Mask R-CNN 是目标检测领域的一种新方法,它通过在模型末尾添加一个分支 FCN 来扩展 Faster R-CNN^[16]的目标检测框架,分割、识别和定位任务平

行进行.如图 1 所示,Mask R-CNN 框架由 3 个阶段组成.首先,主干网络从输入图像提取特征映射;其次,从主干网络输出的特征图被发送到区域建议网络 RPN 中生成感兴趣区域 RoI;最后,对 RPN 输出的 RoI 进行映射,提出共享特征映射中对应的目标特征,分别输出到 FC 和 FCN 进行目标分类和实例分割.该过程生成分类分数、边界框和分段掩码.

收集 1 000 张谷歌地图瓦片作为数据集,900 张作为训练集,剩下的独立构成测试集.针对水田、鱼塘、菜地、林地、空旷 5 大地理环境因素作为鸟害故障分析的影响因素,利用 LabelMe^[17] 软件手动标记对象.根据实际实验,设学习率为 0.002,每次迭代的批处理量为 50,该模型一共迭代了 20 000 次.如图 2 所示,Mask R-CNN 可以精确提取地图瓦片的地理环境特征.

3 贝叶斯线性回归模型

鸟害故障分析的主要影响因素有 3 个,分别为地理环境特征、杆塔结构特征以及季节特征^[18].以鸟害的影响因素为自变量,鸟害故障概率为因变量,利用贝叶斯线性回归构建模型,分析鸟害故障.

3.1 贝叶斯线性回归方程

贝叶斯线性回归是利用贝叶斯概率推断方法求解的线性回归模型,具有贝叶斯统计模型的基本性质.提供一组数据样本 $\mathbf{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_N\} \in \mathbf{R}^N$, $\mathbf{y} = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$, \mathbf{X} 为输入变量, \mathbf{y} 为对应的目标值, N 为数据样本数量,则贝叶斯线性回归模型 $f(\mathbf{X})$:

$$f(\mathbf{X}) = \mathbf{X}^T \mathbf{w}, \quad \mathbf{y} = f(\mathbf{X}) + \boldsymbol{\varepsilon}, \quad (1)$$

其中 \mathbf{w} 为权重系数, $\boldsymbol{\varepsilon}$ 为残差.

贝叶斯线性回归的求解方法有 3 种,分别为共轭先验求解、极大后验估计以及数值方法,前两者需要满足似然或先验特定条件,数值方法不需要特定要求,因此本文采用数值方法求解贝叶斯线性回归.

3.2 数值方法

利用数值方法求解贝叶斯线性回归,最为常见的是马尔可夫链蒙特卡罗 (MCMC), 本文采用的数值方法为 MCMC 中的吉布斯采样算法.给定均值为 u , 方差为 σ_n^2 的正态先验 $p(\mathbf{w}) = N(\mathbf{w} | u, \sigma_n^2)$ 以及权重系数 $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, 则吉布斯采样求解贝叶斯线性回归的步骤如图 3 所示.

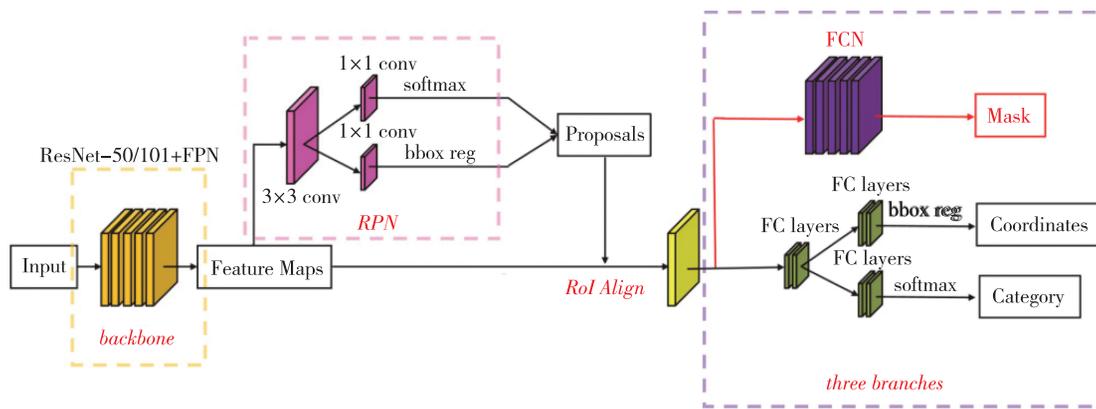


图 1 Mask R-CNN 的结构框架

Fig. 1 Structural frame of Mask R-CNN

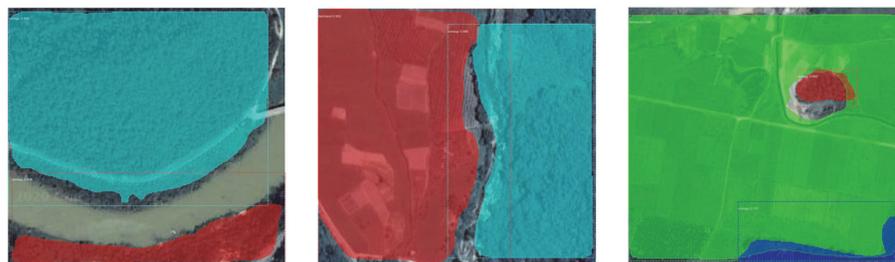


图 2 基于 Mask R-CNN 的地理环境特征识别

Fig. 2 Geographical features identification based on Mask R-CNN

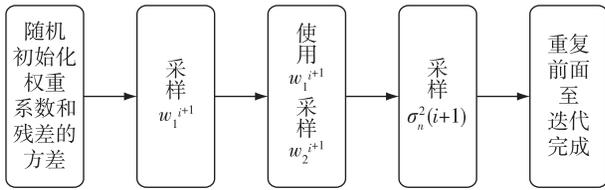


图3 吉布斯采样
Fig.3 Gibbs sampling

3.3 贝叶斯线性回归模型的评估

为评估贝叶斯线性回归模型的回归效果,一般选择以下检验参数:回归平方和(SSR)、残差平方和(SSE)、相关系数 R^2 、 F 检验统计量及 T 统计量.

$$R^2 = \frac{SSR}{SSR + SSE}, \quad (2)$$

本文采用相关系数 R^2 评估贝叶斯线性回归模型,由式(2)可以看出, $0 \leq R^2 \leq 1$, R^2 越接近 1, 回归模型的拟合程度越高.

4 实验结果分析

本文通过对广东地区 2015—2019 年的历史鸟害数据进行收集分析,以地理环境特征、杆塔结构特征、季节特征作为模型的输入,鸟害故障概率作为模型的输出,训练得到鸟害故障分析模型.首先通过相关系数 r 分别独自分析地理环境特征、杆塔结构特征、季节与鸟害故障概率的相关性:

$$r = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x * \sigma_y}, \quad (3)$$

由式(3)可知, x 为地理环境特征、杆塔结构特征、季节, y 为鸟害故障概率, $0 \leq r \leq 1$, r 越接近 1, 两者的相关性越强.一般定义相关系数 0~0.3 为弱相关, 0.3~0.6 为中等程度相关, 0.6~1 为强相关.由表 3 可知,杆塔类型、导线排列方式、季节与鸟害故障概率是弱相关,电压等级与鸟害故障概率是中等强度关系,地理环境与鸟害故障概率具有比较强的线性关系.

表 3 杆塔特征、地理特征、季节与鸟害故障概率的相关性
Table 3 Correlation of pole tower structure, geographical characteristics, season against bird damage probability

相关性	地理环境	导线排列方式	电压等级	杆塔类型	季节
鸟害故障	0.79	0.21	0.45	0.14	0.13

根据以上分析,本文设计两个案例分析杆地理环境特征、杆塔结构特征与季节对鸟害故障概率的影响.

案例 1.考虑电压等级、杆塔类型、导线排列方式、季节、地理环境的影响,根据建立的贝叶斯线性回归模型,输入测试集后,分析结果如图 4 所示.

案例 2.考虑电压等级、杆塔类型、地理环境的影响,根据构建的贝叶斯线性回归模型,输入测试集,分析结果如图 5 所示.

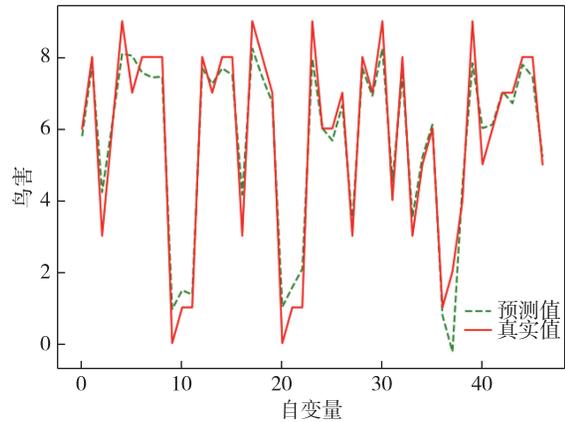


图 4 考虑电压等级、杆塔类型、导线排列方式、季节、地理环境,基于贝叶斯线性回归的鸟害故障分析
Fig.4 Bird caused transmission line fault analysis based on Bayesian linear regression, considering voltage level, tower type, wire arrangement, season, and geographical characteristics

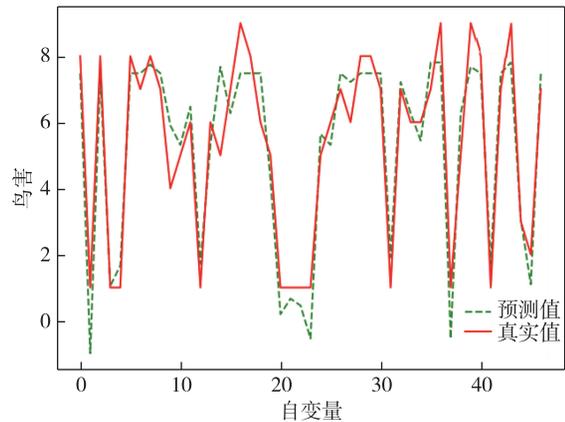


图 5 考虑电压等级、杆塔类型、地理环境,基于贝叶斯线性回归的鸟害故障分析
Fig.5 Bird caused transmission line fault analysis based on Bayesian linear regression, considering voltage level, tower type, and geographical characteristics

本文选用相关系数 R^2 作为鸟害故障分析模型的评估效果,两个案例的相关系数 R^2 分别为 0.887, 0.922,并结合图 4、图 5 获得的结果分析,案例 2 所提出的方法比较案例 1 具有更好的效果,本

文所提出的方法能够精确地分析输电线路的故障情况。

5 结论

本文提出一种基于贝叶斯线性回归的鸟害故障分析模型,用电压等级、杆塔类型、地理特征影响因素分析鸟害故障,并比较其他方法.通过相关系数 R^2 评估模型效果,表明该方法的收敛速度和准确性对分析鸟害故障具有良好的效果。

参考文献

References

- [1] 罗斯特,常青,张强,等.广东揭阳农田坡地鸟类及其对高压输电线路的影响[J].生态学杂志,2011,30(9):2039-2044
LUO Site, CHANG Qing, ZHANG Qiang, et al. Birds in farmland and slope land in Jieyang of Guangdong and their impacts on local electric transmission[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(9):2039-2044
- [2] 王少华,叶自强.架空输电线路鸟害故障及其防治技术措施[J].高压电器,2011,47(2):61-67
WANG Shaohua, YE Ziqiang. Analysis of bird damage accidents on overhead transmission lines and prevention techniques[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(2):61-67
- [3] 赵靓雯.架空电力线路鸟害分析与预防[J].电网与清洁能源,2008,24(12):57-60
ZHAO Jingwen. Analysis and precaution of bird damage overhead power circuit[J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering, 2008, 24(12):57-60
- [4] 付学文,魏智娟.内蒙古地区500 kV输电线路鸟害故障分析及防范措施[J].内蒙古电力技术,2011,29(1):11-14
FU Xuewen, WEI Zhijuan. Analysis and precautionary measure on bird damage to 500 kV power transmission lines in Inner Mongolia[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2011, 29(1):11-14
- [5] 任润虎.输电线路鸟害事故分析及防范措施[J].内蒙古电力技术,2009,27(2):46-47
REN Runhu. Analysis of bird damage to power transmission line and its precaution measure[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2009, 27(2):46-47
- [6] 王峰,黄福勇,曾昊,等.湖南省输电线路鸟害障碍分析及防治[J].高压电器,2011,47(10):97-101,105
WANG Feng, HUANG Fuyong, ZENG Hao, et al. Analysis and prevention of bird hazard barriers on transmission line in Hunan province[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(10):97-101,105
- [7] 列剑平,于江萍,鄂明菊,等.高压输电线路防鸟设施应用及效果研究[J].东北师大学报(自然科学版),2013,45(2):118-121
LIE Jianping, YU Jiangping, E Mingju, et al. Study on the status and effectiveness of anti-bird devices being used in Jilin province[J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 2013, 45(2):118-121
- [8] 李长看,卢明,庞锴,等.河南输电线路涉鸟故障分布特征及分级研究[J].高压电器,2015,51(12):48-54
LI Changkan, LU Ming, PANG Kai, et al. Distribution characteristics and classification of bird fault in Henan transmission line[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(12):48-54
- [9] 巢亚锋,徐志强,岳一石,等.湖南输电线路鸟害故障特征分析及防范措施[J].高电压技术,2016,42(12):3853-3860
CHAO Yafeng, XU Zhiqiang, YUE Yishi, et al. Characteristics analysis and prevention countermeasures of bird-caused damages for overhead transmission lines in Hunan power grid[J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(12):3853-3860
- [10] 丁薇,周仿荣,黄修乾,等.云南电网输电线路鸟害跳闸分析[J].云南电力技术,2015,43(5):29-31
DING Wei, ZHOU Fangrong, HUANG Xiuqian, et al. Analysis and operation suggestions on birds trouble trip for Yunnan power grid transmission line[J]. Yunnan Electric Power, 2015, 43(5):29-31
- [11] 胡毅.输电线路运行故障的分析与防治[J].高电压技术,2007,33(3):1-8
HU Yi. Analysis on operation faults of transmission line and countermeasures[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(3):1-8
- [12] 雷江转,刘望来.鸟的习性及其鸟害防护的研究[J].广东输电与变电技术,2007,9(3):46-48
LEI Jiangzhuang, LIU Wanglai. Study on the bird habits and bird disaster prevention[J]. Guangdong Power Transmission Technology, 2007, 9(3):46-48
- [13] 莫付江,陈允平,阮江军.架空输电线路雷击感应过电压耦合机理及计算方法分析[J].电网技术,2005,29(6):72-77
MO Fujiang, CHEN Yunping, RUAN Jiangjun. Analysis on coupling mechanism and calculation method of lightning induced surge on overhead transmission lines[J]. Power System Technology, 2005, 29(6):72-77
- [14] 陈淦.110 kV输电线路防雷及防鸟害设计[D].北京:华北电力大学,2016
CHEN Gan. Lightning protection of 110 kV transmission lines and anti-bird design[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016
- [15] He K M, Gkioxari G, Dollar P, et al. Mask R-CNN[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2018, 42(2):386-397
- [16] Ren S Q, He K M, Girshick R, et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(6):1137-1149
- [17] Russell B C, Torralla A, Murphy K P, et al. LabelMe: a database and web-based tool for image annotation[J]. International Journal of Computer Vision, 2008, 77(1/2/3):157-173
- [18] 易辉,熊幼京,周刚,等.架空输电线路鸟害故障分析及对策[J].电网技术,2008,32(20):95-100
YI Hui, XIONG Youjing, ZHOU Gang, et al. Analysis on bird-caused damages of overhead transmission lines and countermeasures[J]. Power System Technology, 2008, 32(20):95-100

Analysis of bird caused transmission line fault based on Bayesian linear regression

ZHU Penghui¹ ZHAO Quanzhong¹ LIAO Zhiwen¹ HUANG Zhiming¹

¹ Jiangmen Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Company Limited, Jiangmen 529000

Abstract In recent years, the transmission line faults caused by birds in Guangdong power grid have been increasing gradually, which have become one of the main hidden dangers for power grid security. How to reduce the bird damage has become a new topic of transmission line operation and maintenance. For the widely distributed transmission lines, it is difficult to effectively prevent bird damage by driving birds approach. Here, based on the operation and maintenance data related with bird damage on Guangdong power grid from 2015 to 2019, we analyzed the geographical characteristics, pole tower structures and seasons, then established a model to analyze the transmission line faults caused by bird damage. First, the influence of geographical characteristics, pole tower structure and season on bird caused fault is analyzed. Then, a Mask R-CNN neural network is trained to extract the geographical characteristics around the pole tower. Finally, a bird damage fault model based on Bayesian linear regression is established, and the accuracy of the model is evaluated by the correlation coefficient of R^2 . The experimental results show that the model has high accuracy and reliability.

Key words bird damage; Bayesian linear regression; Mask R-CNN