

赵瑞芹. 基于激光雷达的输电线路山火灾害损伤评估[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 52-56. [ZHAO Ruiqin. Damage Assessment of Transmission Line Fire Disaster Based on Lidar[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(2): 52-56. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.011.]

# 基于激光雷达的输电线路山火灾害损伤评估\*

赵瑞芹

(郑州理工职业学院, 河南 郑州 454000)

**摘要:**传统基于BP神经网络的输电线路灾害损伤评估方法,由于未考虑空气粒子散射的影响,存在评估结果不准确的问题,因此提出一种基于激光雷达的输电线路灾害损伤评估方法。利用激光器发出激光束脉冲,经过烟雾粒子散射,信号被光学系统获取后得到后向散射信号功率的激光雷达方程,采用Fernald算法区分空气粒子散射与烟雾粒子散射,利用激光雷达方程得到散射系数和消光系数,经反演计算得到烟雾信息,判断是否发生山火灾害。根据激光雷达获取的灾害数据,建立输电线路灾害损伤评估体系,该体系通过支路过载程度、线路负荷损失比、用户停电损失比等评估输电线路灾害损伤程度。实验结果表明,激光雷达能够准确监测到270~570 m范围内的烟雾脉冲波形,匹配结果为0.39,与历史数据吻合,说明该方法实用性较高。

**关键词:**激光雷达;输电线路;灾害损伤;评估;Fernald算法;线路负荷

**中图分类号:** TN958; X43; X5; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)02-0052-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.02.011

当前,电网事故发生几率越来越高,电网事故与其他事故不同,其会加大电网供电负荷并严重损坏电网设施,对居民生活和社会生产造成了严重的影响<sup>[1]</sup>。因此,电网灾害的解决技术成为目前国内外研究的重点课题。

在输电线路灾害中,由山火引起的跳闸事故较为突出,其严重程度得到学者们的密切关注。对于山火引发的输电线路跳闸事故,其监测方法有图像识别法、终端监测法等<sup>[2]</sup>,这些方法虽然能够起到一定的监测作用,但是仍受多方面因素的限制。刘春翔等<sup>[3]</sup>提出基于BP神经网络的输电线路灾害损伤评估方法,该方法未考虑空气粒子的影响,评估结果不准确。晏鸣宇<sup>[4]</sup>提出基于短期覆冰预测的电网灾害损伤评估方法,该方法缺少支路过载程度计算,评估过程不完善。激光雷达技术在监测距离、图像清晰度以及测量精度上具有较大的优势<sup>[5-6]</sup>,利用激光雷达监测山火是有效进行输电线路灾害损伤评估的一个前提条件。因此,本文提出基于激光雷达的输电线路灾害损伤评估方法,利用激光雷达监测山火,通过线路负荷损失比等指标构建输电线路灾害评估体系,为今后的电网灾情评估提供科学依据。

行有效的监测,为弥补目前输电线路监测方法的不足,利用激光雷达技术进行输电线路山火监测。

激光雷达监测输电线路地区山火的原理是,激光束和烟雾粒子以及大气分子间的相互作用,令激光雷达信号向前传送和返回的能量发生改变<sup>[7-8]</sup>。当监测地区发生山火时会有大量烟雾产生,激光雷达发射的激光束信号遇到烟雾发生散射,散射后的返回信号传送到监测设备的光学系统中,系统将光信号转换为电信号,电信号通过高速光子计数器获取后载入计算机,利用反演运算能够得出烟雾的距离、浓度等信息,实现输电线路山火监测的目的<sup>[9]</sup>。图1为激光雷达监测输电线路山火原理示意图。

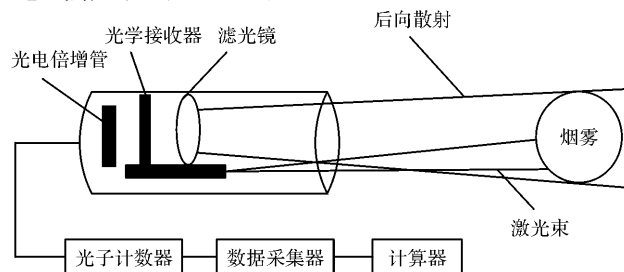


图1 激光雷达监测输电线路山火原理示意图

由图1可知,激光器发出一条激光束脉冲,通过滤光镜发射到空中,当激光束脉冲经过烟雾粒子时受到散射而衰减,它的后向散射信号被光学系统获取,后向散射信号功率的激光雷达方程可表达为:

## 1 基于激光雷达的输电线路灾害损伤评估

### 1.1 输电线路山火灾情监测

输电线路灾害损伤评估的前提条件是对灾情进

\* 收稿日期: 2018-09-06 修回日期: 2018-11-12

基金项目: 河南省自然科学基金(142300410095)

作者简介: 赵瑞芹(1982-),女,河南安阳人,硕士,讲师,主要从事复杂控制系统理论与应用方向的研究。

E-mail: zhrq163@163.com

$$Q(x) = Q_0 \frac{d^2}{2} \delta(x) \frac{B(x)}{x^2} \exp[-3 \int_0^x \varepsilon(x) dx]。 \quad (1)$$

式中:  $Q(x)$  是光学系统获取到的功率;  $x$  是激光监测地与山火发生地的距离;  $Q_0$  是激光发射功率;  $d$  是光速;  $\nu$  是激光束脉冲宽度;  $\delta(x)$  是后向散射系数;  $B(x)$  是接收系统面积;  $\varepsilon(x)$  是消光系数; 其中,  $\delta(x)$  与  $\varepsilon(x)$  的数值是未知的。依据 Fernald 算法, 将激光雷达方程中的空气粒子散射与烟雾粒子散射区分开来<sup>[10]</sup>, 令  $\varepsilon$  代表烟雾粒子,  $n$  代表空气粒子:

$$\varepsilon(x) = \varepsilon_a(x) + \varepsilon_n(x); \quad (2)$$

$$\delta(x) = \delta_a(x) + \delta_n(x)。 \quad (3)$$

激光雷达方程反映了返回信号和被测物光学性质间的函数关系, 所以可利用激光雷达获取的返回信号, 求解激光雷达方程, 从而得到烟雾信息<sup>[11-12]</sup>。由式(2)或(3)可以看出, 该方程中包含以下未知量: 空气粒子和烟雾粒子后向散射系数  $\delta_n(x)$ 、 $\delta_a(x)$  和消光系数  $\varepsilon_n(x)$ 、 $\varepsilon_a(x)$ 。因为空气粒子散射一致, 其散射系数与消光系数可通过常规大气数据得到。激光雷达方程中, 烟雾粒子的相关系数  $\delta_a(x)$ 、 $\varepsilon_a(x)$  需依靠以下算法得到:

$$T_1 = \frac{\varepsilon_a(x)}{\delta_a(x)}; \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{\varepsilon_n(x)}{\delta_n(x)} = \frac{8\pi}{3}。 \quad (5)$$

由式(4)或(5)可知,  $T_2$  已知,  $T_1$  未知。根据实际情况, 波长范围在 530 ~ 1 060 nm 时,  $T_1$  的取值为 40 ~ 50, 以此可以求解烟雾粒子的散射系数  $\delta_a(x)$  和消光系数  $\varepsilon_a(x)$ :

$$\delta_a(\lambda, x) = \{2.47 \times 10^{-6} \exp(\frac{-x}{2000}) + 5.13 \times 10^{-9} \exp[-(\frac{x-2000}{6000})^2]\} \times (\frac{530}{\lambda})^{1.3}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_a(x) = \{2.47 \times 10^{-6} \exp(\frac{-x}{2000}) + 5.13 \times 10^{-9} \exp[-(\frac{x-2000}{6000})^2]\}。 \quad (7)$$

假设烟雾后向散射系数与消光系数比为 50, 即  $T_1 = 50$ , 那么:

$$\varepsilon_a(x) = 50 \delta_a(x)。 \quad (8)$$

利用激光雷达方程组得到散射系数  $\delta_a(x)$  和消光系数  $\varepsilon_a(x)$ , 经过反演计算得到烟雾相关信息, 进而可以判断输电线路区域是否发生山火灾害<sup>[13]</sup>。

## 1.2 输电线路灾害损伤评估体系的构建

通过激光雷达监测到灾害后, 根据获取到的灾害数据, 对输电线路灾害损伤进行评估<sup>[14]</sup>, 建立与之对应的评估指标体系。从支路过载程度、线路负荷损失比、用户停电损失比等方面构建输电线路灾害损伤评估指标体系。

(1) 支路过载程度:

$$\gamma_L = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N \frac{\sigma_k L_k}{L_{Lmax}} + \sum_{L=n+1}^N \frac{\sigma_L L_L}{L_{Lmax}}。 \quad (9)$$

式中:  $\gamma_L$  是输电线路支路过载程度;  $n$  与  $N$  分别是未过载/过载支路总数;  $\sigma_k$ 、 $\sigma_L$  是对应支路的权重

因子, 代表支路的重要程度;  $L_k$ 、 $L_L$  是对应的各支路电流;  $L_{kmax}$ 、 $L_{Lmax}$  是支路电流最大值;  $\gamma_L$  为非负数, 值越大代表过载程度越大。

(2) 母线电压越限程度:

$$\gamma_v = \frac{1}{c} \sum_{k=c}^C \sigma_k |V_k - 1.0| + \sum_{l=c+1}^C \sigma_l |V_l - V_{min}|。 \quad (10)$$

式中:  $\gamma_v$  是母线电压越限程度;  $c$  与  $C$  分别是未越限电压母线数和母线总数;  $\sigma_k$ 、 $\sigma_l$  是对应母线的权重因子;  $V_k$ 、 $V_l$  是对应母线的电压幅值;  $V_{min}$  是电压限值。  $\gamma_v$  为非负数, 值越大代表电压越限程度越大。

(3) 线路负荷损失比:

$$\gamma_s = S_{loss}/S_{max}。 \quad (11)$$

式中:  $\gamma_s$  是输电线路负荷损失比, 是用于判断电路灾害最准确的指标<sup>[15]</sup>;  $S_{loss}$  是灾害产生的损失负荷;  $S_{max}$  是预估电网最大负荷。

(4) 关键负荷损失比:

$$F_p = [(\sum_{g=1}^m \sigma_g R_g / \sum_{l=1}^n \sigma_l R_l)] \times 100%。 \quad (12)$$

式中:  $F_p$  是关键负荷损失比;  $m$  是损失的关键负荷数;  $n$  是关键负荷总数;  $R_g$ 、 $R_l$  是第  $g$ 、 $l$  个关键负荷功率;  $\sigma_g$ 、 $\sigma_l$  是第  $g$ 、 $l$  个关键负荷权重。不同程度负荷停止供电, 对社会产生的损失是不同的, 所以在输电线路灾害损伤评估时分开处理<sup>[16]</sup>。

(5) 停电人数比:

$$\gamma_T = T_{loss}/T。 \quad (13)$$

式中:  $\gamma_T$  是停电人数比, 它能够反映输电线路灾害的波及范围;  $T_{loss}$  是遭到停电的总人数;  $T$  是该地区总人数。

(6) 用户停电损失比:

$$\gamma_U = \frac{1}{U_{pre}} \sum_{pre=1}^m g_{CCDF}(y) \times O_j \times y_j。 \quad (14)$$

式中:  $\gamma_U$  是用户停电损失比,  $U_{pre}$  是预估供电量;  $g_{CCDF}(y)$  是停电损失函数, 代表停电时间与用户损失的关系;  $O_j$  是停电损失负荷;  $y_j$  是由灾害导致的停电次数。

(7) 负荷转移能力:

$$\gamma_N = (1.3 \cos \phi A_{re} + F_{lr}) / F_{loss}。 \quad (15)$$

式中:  $\gamma_N$  是负荷转移能力;  $\cos \phi$  是功率因子;  $A_{re}$  是变压器容量;  $F_{lr}$  是输电线路负荷传送量;  $F_{loss}$  是灾害损失负荷。

## 2 实验结果分析

### 2.1 激光雷达监测实验

为验证激光雷达能否有效监测输电线路区域山火灾害, 通过点燃木材的烟雾模拟输电线路区域山火的烟雾, 对距离激光雷达设备 270 m、370 m、470 m、570 m 位置的烟雾进行监测, 不同检测点的烟雾效果存在较大的差异, 为了验证基

于激光雷达的烟雾灾害损伤评估方法的全面性,实验检测所提方法对不同位置处烟雾情况的检测结果。为减少建筑物对激光束的影响,实验选在较为笔直的公路进行。首先在距激光雷达设备 570 m 的位置点燃木材,设置激光的水平和垂直扫描范围并开始扫描,将获取到的信息传送至计算机进行数据处理,将监测到的烟雾信息实时反馈在软件窗口中。由于激光的发射速度非常快,令计算机无法获取到距离监测点 30 m 内的烟雾信息,因此将 30 m 设为监测盲区。得到的烟雾监测信息如图 2~图 5 所示。由图 2 可知,在距监测点 570 m 的位置监测到一个振幅较大的脉冲波形,说明该位置存在大量烟雾,令发射出去的激光束被大量散射回来,在实际应用中能够根据监测到的明显脉冲波形,判断输电线路区域发生山火灾情。如图 3 所示,以步长为 100 m 向燃烧位置移动,利用激光雷达进行水平和垂直方向的扫描,监测到距监测点 470 m 位置存在一个明显幅值的脉冲波形,说明在此处激光束被大量散射回来,反映出此处具有大量烟雾。如图 4、图 5 所示,以相同步长向燃烧位置移动,分别在距监测点 370 m、270 m 位置发现较大振幅的脉冲波形,由此可知,在 370 m、270 m 位置存在大量烟雾。

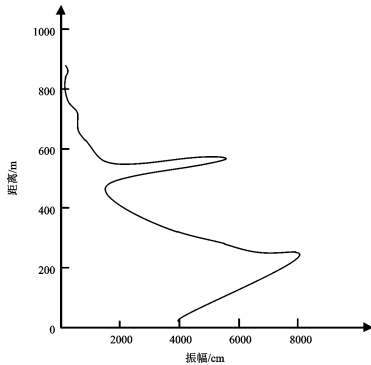


图 2 距监测点 570 m 处烟雾信息

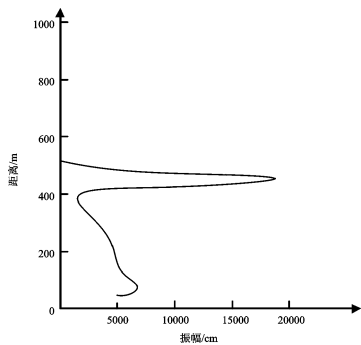


图 3 距监测点 470 m 处烟雾信息

以上四组实验验证了利用基于激光雷达的输电线路灾害损伤评估方法监测输电线路区域山火具有可行性和全面性,为输电线路灾害损伤评估提供了必要的前提条件。通过上述实验发现,所提方法能够在较大范围内准确监测输电线路周边发生的山火,为输电线路的安全运行提供了有效

的保障。

## 2.2 案例分析

2007 年我国北方遭遇了几十年不遇的特大山火灾害,灾害对电网造成了巨大损失,总计 200 多座变电所停电,几十条高压输电线路共跳闸 100 余次,损失电量 150 GWh。实验利用激光雷达技术监测输电线路区域山火灾害,以历史数据中具有代表性的数据作为样本集,验证本文的灾害评估方法的应用性能。选择温度、降雪量、输电线直径等作为条件属性,输电线路负荷损失比等作为决策属性(表 1)。

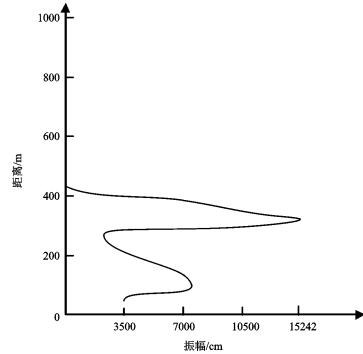


图 4 距监测点 370 m 处烟雾信息

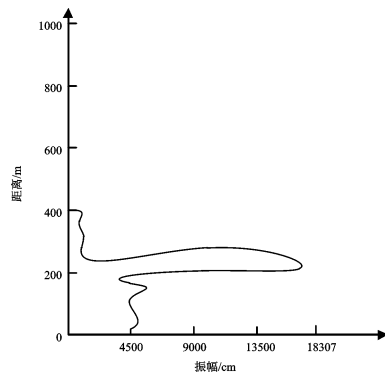


图 5 距监测点 270 m 处烟雾信息

表 1 山火灾害历史数据

灾害记录	温度 $P_1/^{\circ}\text{C}$	降水量 $P_3/\text{mm}$	风速 $P_4/(\text{m/s})$	相对湿度 $P_5/\text{rh}$	输电线直径 $P_7/\text{mm}$	线路负荷损失比 $Q_1/\%$	综合影响比 $Q_2/\%$
1	40.2	47	5.5	75	15.2	50.5	22.8
2	30	28	13.8	56	46.1	0	0
3	27.4	30	16.2	23	30.1	0.63	0.15
4	32.4	31	13.5	45	13.6	5.14	2.31
5	15.1	33	12.3	47	27.2	0.71	0.26
6	26.3	35	11.7	42	21.8	5.31	2.05
7	15.7	34	12.1	55	44.2	2.17	0.83
8	38.5	35	13.6	62	11.4	9.2	4.52

将各属性模糊化,每条属性有两个语言变量:低( $L$ )、高( $H$ )。根据所提方法得到每个属性的隶属度和非隶属度如表 2 所示,这里的指数  $\pi_i(x)$  符合  $\pi_i(x) = -0.8\mu_i(x)(\mu_i(x) - 1)$  的抛物线分布条件。

表 2 隶属度与非隶属度

灾害记录		1	2	3	4	5	6	
条件属性	$P_1$	$H$	(0.79, 0.06)	(0.77, 0.07)	(0.63, 0.17)	(0.66, 0.14)	(0.69, 0.12)	(0.83, 0.04)
		$L$	(0.09, 0.82)	(0.08, 0.83)	(0.15, 0.72)	(0.14, 0.74)	(0.13, 0.75)	(0.06, 0.87)
	$P_2$	$H$	(0.89, 0.02)	(0.84, 0.04)	(0.84, 0.04)	(0.90, 0.01)	(0.92, 0.01)	(0.88, 0.02)
		$L$	(0.04, 0.90)	(0.05, 0.88)	(0.05, 0.88)	(0.02, 0.94)	(0.02, 0.94)	(0.04, 0.90)
	$P_3$	$H$	(0.90, 0.01)	(0.70, 0.12)	(0.74, 0.10)	(0.79, 0.06)	(0.84, 0.04)	(0.82, 0.05)
		$L$	(0.02, 0.94)	(0.14, 0.74)	(0.10, 0.80)	(0.07, 0.85)	(0.05, 0.88)	(0.06, 0.87)
	$P_4$	$H$	(0.54, 0.24)	(0.86, 0.03)	(0.92, 0.01)	(0.79, 0.06)	(0.73, 0.09)	(0.78, 0.07)
		$L$	(0.40, 0.39)	(0.04, 0.90)	(0.02, 0.94)	(0.09, 0.82)	(0.11, 0.79)	(0.79, 0.06)
	$P_5$	$H$	(0.91, 0.01)	(0.64, 0.14)	(0.66, 0.14)	(0.71, 0.11)	(0.86, 0.03)	(0.85, 0.03)
		$L$	(0.03, 0.92)	(0.14, 0.74)	(0.15, 0.72)	(0.04, 0.90)	(0.05, 0.88)	(0.05, 0.79)
	$P_6$	$H$	(0.62, 0.17)	(0.89, 0.02)	(0.70, 0.12)	(0.70, 0.12)	(0.70, 0.12)	(0.89, 0.02)
		$L$	(0.19, 0.66)	(0.04, 0.90)	(0.14, 0.74)	(0.14, 0.74)	(0.14, 0.74)	(0.04, 0.90)
	$P_7$	$H$	(0.53, 0.25)	(0.88, 0.02)	(0.75, 0.08)	(0.71, 0.11)	(0.64, 0.16)	(0.86, 0.03)
		$L$	(0.44, 0.34)	(0.04, 0.90)	(0.11, 0.79)	(0.13, 0.75)	(0.19, 0.66)	(0.04, 0.90)
决策属性	$Q_1$	$H$	(0.93, 0.01)	(0.01, 0.97)	(0.61, 0.18)	(0.63, 0.17)	(0.86, 0.03)	(0.76, 0.08)
		$L$	(0.02, 0.94)	(0.96, 0.01)	(0.20, 0.65)	(0.19, 0.66)	(0.04, 0.90)	(0.09, 0.82)
	$Q_2$	$H$	(0.91, 0.01)	(0.01, 0.97)	(0.55, 0.23)	(0.51, 0.27)	(0.72, 0.10)	(0.63, 0.17)
		$L$	(0.03, 0.92)	(0.96, 0.01)	(0.26, 0.56)	(0.30, 0.51)	(0.11, 0.79)	(0.19, 0.66)

表 3 决策规则表

灾害记录		1	2	3	4	5	6
$P_2$	$H$				(0.87, 0.03)	(0.90, 0.01)	
	$L$	*	*	*	(0.03, 0.92)	(0.02, 0.94)	*
$P_3$	$H$	(0.90, 0.01)	(0.70, 0.12)				
	$L$	(0.02, 0.94)	(0.14, 0.74)	*	*	*	*
$P_4$	$H$		(0.86, 0.03)	(0.92, 0.01)	(0.83, 0.04)	(0.79, 0.06)	(0.73, 0.09)
	$L$	*	(0.04, 0.90)	(0.02, 0.94)	(0.06, 0.87)	(0.09, 0.82)	(0.11, 0.79)
$P_5$	$H$	(0.91, 0.01)	(0.64, 0.14)			(0.71, 0.11)	
	$L$	(0.03, 0.92)	(0.14, 0.74)	*	*	(0.04, 0.90)	*
$P_6$	$H$	(0.62, 0.17)	(0.89, 0.02)	(0.70, 0.12)	(0.62, 0.17)	(0.70, 0.12)	
	$L$	(0.19, 0.66)	(0.04, 0.90)	(0.14, 0.74)	(0.19, 0.66)	(0.14, 0.74)	*
$Q_1$	$H$	(0.93, 0.01)	(0.01, 0.97)	(0.61, 0.18)	(0.83, 0.04)	(0.76, 0.08)	(0.89, 0.02)
	$L$	(0.02, 0.94)	(0.96, 0.01)	(0.20, 0.65)	(0.87, 0.19)	(0.09, 0.82)	(0.04, 0.90)
$Q_2$	$H$	(0.91, 0.01)	(0.01, 0.97)	(0.55, 0.23)	(0.74, 0.09)	(0.63, 0.17)	(0.80, 0.06)
	$L$	(0.03, 0.92)	(0.96, 0.01)	(0.26, 0.56)	(0.10, 0.80)	(0.19, 0.66)	(0.07, 0.85)

根据表 2 数据利用所提方法得到决策属性  $Q$  对条件属性  $P$  的依赖度, 设定属性约简的截止条件为, 这里取  $\varepsilon = 0.3$ 。经属性约减和值约简得到决策规则表 3。

由表 3 可知, 属性约简结果为  $L = \{P_2, P_3, P_4, P_5, P_6\}$ , 冗余属性为  $P_1, P_7$ 。以第一、二条记录为例, 其含义为: 第一条规则中只有  $P_3, P_5, P_6$  影响决策属性, 该条规则代表当降水量和相对湿度较大且输电线直径较小时, 灾害对输电线路

的损伤程度较大。第二条规则中除了  $P_2$  均影响决策属性, 它代表当风速较大, 输电线直径较大时, 灾害对输电线路的损伤程度较小。最后, 将实验所得数据与历史库中的数据进行匹配, 匹配结果得到输电线路山火灾害评估指标数值为 0.39, 则输电线路灾害等级为一般, 该等级与历史灾后评估结果吻合。由此可见, 所提输电线路灾害损伤评估方法是可行的。

### 3 结 论

输电线路灾害损伤评估的前提是灾害监测, 本文提出基于激光雷达的输电线路灾害损伤评估方法, 利用激光雷达技术监测输电线路区域山火烟雾, 给出了激光雷达监测烟雾的原理及算法。实验采用所提方法监测到了距监测点 270 ~ 570 m 间的烟雾波形, 所得数据表明运用所提方法监测输电线路区域山火具有可行性。此外, 本文的方法构建了输电线路灾害损伤评估体系, 该体系可用于评估山火、雪灾等任何灾害对输电线路的损伤。以山火灾害为例, 实验评估中通过属性约简降低灾害属性的冗余度, 通过匹配历史数据得到评估指标为 0.39, 确定灾害等级, 实验结果表明, 本文的方法能够准确评估输电线路灾害损伤。

### 参考文献:

- [1] 刘明军, 邵周策, 上官帖, 等. 输电线路山火故障风险评估模型及评估方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 82-89.
- [2] 沈小军, 杜勇, 王仁德, 等. 基于地面激光雷达的输电线路铁塔倾斜度测量[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(4): 516-521.
- [3] 刘春翔, 范鹏, 王海涛, 等. 基于 BP 神经网络的输电线路山火风险评估模型[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 100-105.
- [4] 晏鸣宇, 周志宇, 文劲宇, 等. 基于短期覆冰预测的电网覆冰灾害风险评估方法[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(21): 168-175.
- [5] 浦石, 吴新桥, 燕正亮, 等. 无人机激光雷达智能识别输电线路缺陷[J]. 遥感信息, 2017, 32(4): 52-57.
- [6] 林祥国, 张继贤. 架空输电线路机载激光雷达点云电力线三维重建[J]. 测绘学报, 2016, 45(3): 347-353.
- [7] 陆佳政, 刘毓, 徐勋建, 等. 架空输电线路山火预测预警技术[J]. 高电压技术, 2017, 43(1): 314-320.
- [8] 甘平, 董燕生, 孙林, 等. 基于无人机载 LiDAR 数据的玉米涝灾灾情评估[J]. 中国农业科学, 2017, 50(15): 2983-2992.
- [9] 肖杰, 黄新波. 输电线路雷达防外力破坏的在线监测[J]. 西安工程大学学报, 2016, 30(1): 79-85.
- [10] 唐鑫, 杨建军, 严聪. 高功率微波电子器件易损性评估仿真研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(9): 354-357.
- [11] 尹晖, 张晓鸣, 李小祥, 等. 基于视频监控的输电线路舞动信息提取与频谱分析[J]. 高电压技术, 2017, 43(9): 2889-2895.
- [12] 林铭瀚, 胡永洪, 薛毓强, 等. 基于 mesh 网络的输电线路山火预警监视系统研制[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 134-138.
- [13] 吴义满. 生命探测信号在强震作用下的波动特性分离[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 19-21, 44.
- [14] 王璐, 王五星, 王颖蛟. 洪水冲击下桥梁抗毁性受力分析实验研究[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 27-30.
- [15] Guan H, Yu Y, Li J, et al. Extraction of power-transmission lines from vehicle-borne lidar data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2016, 37(1): 229-247.
- [16] Qin X, Wu G, Lei J, et al. A novel method of autonomous inspection for transmission line based on cable inspection robot LiDAR data[J]. Sensors, 2018, 18(2): 596.

## Damage Assessment of Transmission Line Fire Disaster Based on Lidar

ZHAO Ruiqin

(Zhengzhou Vocational College of Technology, Zhengzhou 454000, China)

**Abstract:** The traditional BP neural network-based disaster damage assessment method for transmission lines has the problem of inaccurate evaluation results because the influence of air particle scattering is not considered. Therefore, a laser radar-based disaster damage assessment method for transmission lines is proposed. The laser radar pulse is emitted by the laser, and the signal is acquired by the optical system to obtain the backscattered signal power of the lidar equation. The Fernald algorithm is used to distinguish the air particle scattering from the smoke particle scattering, and the laser radar equation is used to obtain the scattering coefficient and extinction. The coefficient is calculated by inversion to obtain smoke information to determine whether a mountain fire damage has occurred. According to the disaster data acquired by the laser radar, a disaster damage assessment system for the transmission line is established. The system evaluates the damage degree of the transmission line through the degree of branch overload, the line load loss ratio, and the user power loss ratio. The experimental results show that the laser radar can accurately detect the smoke pulse waveform in the range of 270m ~ 570m. The matching result obtained by the evaluation method is 0.39, which is consistent with the historical data, indicating that the proposed method is more practical.

**Key words:** lidar; transmission line; disaster damage; assessment; fernald algorithm; line load