

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.03.009

电网山火灾害特征及风险预警技术

周恩泽^{1,2}, 胡思雨², 张录军², 魏瑞增¹, 王华翌², 杨凡¹(1. 广东电网有限责任公司电力科学研究院, 广东 广州 510080;
2. 南京大学大气科学学院, 江苏 南京 210023)

摘要:为了有效预报山火发生导致的大面积电网线路跳闸停电事故,文中利用2008—2017年广东电网山火点数、过火面积和主网跳闸频次数据,研究了该省电网山火灾害年际变化趋势并提出了一种基于偏最小二乘(PLS)法的电网山火风险预警模型。研究发现粤东和粤北地区为山火敏感易发地带,且其架空线路覆盖区内山火发生有明显增加趋势。另外,文中基于历史气象数据、植被数据和地形数据,采用PLS挑选主要的山火预报影响因子,结合应用统计学原理建立了一种优化的电网山火风险预警模型。通过广东电网实际运行山火跳闸案例测试,验证了文中所提方法预测电网山火发生时间和地点的准确性。

关键词:广东电网;山火热点;线路跳闸;山火预警;偏最小二乘法(PLS)

中图分类号:TM71

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2020)03-0058-07

0 引言

随着我国电网规模逐渐扩大,越来越多的输电线路穿越高山峻岭地带,易爆发的大面积山火严重威胁着输电网的运行安全和可靠性^[1-3]。山林地区的高压输电线往往采用同塔双回或多回架设,故山火形成的浓烈烟火可能导致多回线路同时或相继跳闸^[4-8]。为了尽可能避免山火灾害以及最大程度减少山火给电力系统带来的损失,加强应对电网山火灾害特征及预测预警能力尤为重要。

目前,相关学者在输电线路气象灾害方面开展了许多研究工作^[9-12]。薛禹胜院士等人指出电网在极端外部灾害的情况下,电网防御时间段向两端扩展,应该引入气象和地质等非电气信息,建立模型分析其风险并及时预警^[13]。文献[4]研究了山火灾害对电网故障率的时空影响。文献[14]研究了电网故障自组织临界性,指出极端气象灾害是全球暖化对电力系统影响的主要途径。文献[15]提出了电源接入、电力系统规划、输电线路技改、构建灵活备用供电网和加大科研力度等抵御自然灾害的措施。文献[16]构建了多角度的关键线路综合评估指标体系,该方法能够实时、有效地辨识出大范围灾害下电网中的关键线路。

运用卫星遥感技术监测山火是比较成熟有效的手段^[17-19]。我国湖南电网和广东电网等单位开发了输电线路走廊山火卫星监测系统,通过关联电网地理信息系统(geographic information system, GIS)

数据进行分析,快速、准确地实现输电线路走廊及周围的火情监测^[20-22]。

与此同时,美国、加拿大、南非等国家电力公司都已研发并实现电网山火监测与预警系统业务化。如南非火险信息系统(South African advanced fire information system, AFIS),该系统能够帮助电力输电线路管理部门实时监测输电线路附近的山火情况,通过停运可能受影响的输电线路或者在山火影响线路之前扑灭山火来减少输电线路跳闸事故,但该系统对山火自动识别的准确率仅为60%^[23]。而我国电网山火预警技术发展相对较晚,当前湖南电力公司对本省电网山火预报方法进行尝试,其山火预警模型可预测3~7d的输电线路山火发生密度^[24]。目前的火险预报模型中仅利用气象条件等因素计算火险指数,没有考虑不同地区气象要素对山火灾害影响的差异性,缺少精细化地理信息、植被物候变化、地形和火源等因素影响下火险等级的定量化预报指标,导致预报产品单一且预警能力较差。

文中先通过分析广东省山火灾害的年际变化及未来山火灾害趋势发现广东地区山火灾害有明显的增加趋势,然后建立了一套基于偏最小二乘(partial least square, PLS)法挑选主要山火预报影响因子的电网山火风险预警模型。通过广东电网实际运行山火跳闸案例测试,表明该方法能准确预测电网山火发生的时间和地点。

1 广东省电网山火的年际变化及未来趋势

1.1 数据来源

文中使用数据来源:

收稿日期:2019-11-25;修回日期:2019-12-28

基金项目:中国南方电网有限责任公司科技项目(GDKJXM-20173024)

(1) 广东省电力科学研究院提供的 2008—2017 年期间电网山火监测数据,包括了广东省电网覆盖区域每年山火火点的经纬度坐标、过火面积以及山火发生日当地气象站点记录的逐小时气象要素;

(2) 欧洲中心(European Centre for Medium-range Weather Forecasts, ECMWF)提供的每 6 h 的气象再分析资料;

(3) 广东省逐 8 d 地表植被叶面积指数和过火面积数据由美国国家航空航天局地球观测系统的数据及信息系统(National Aeronautics and Space Administration Earth Observing System Data and Information System, NASA EOSDIS)土地过程分布式活动档案中心(Land Processes Distributed Active Archive Center, LP DAAC)提供;

(4) 广东省的地形,土地利用类型等数据由中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)提供;

(5) 广东省气象中心提供 10 km 分辨率的预报数据,该数据通过加利福尼亚气象模式(California meteorological model, CALMET)动力降尺度技术^[25]精细化为 30 m 分辨率的气象数据分布场。

1.2 广东电网山火年际变化及未来趋势

图 1 为 2008—2017 年广东电网监测山火火点频数及相应电网跳闸次数年际变化规律。

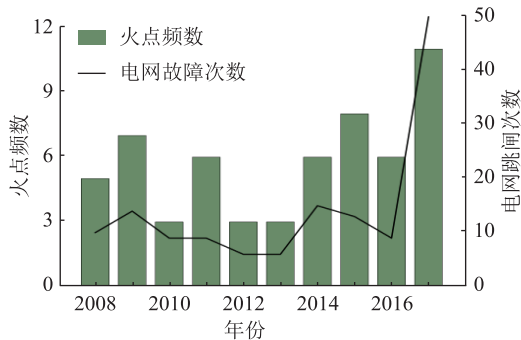


图 1 2008—2017 年广东电网火点频数及电网跳闸次数年际变化

Fig.1 Interannual variation of fire point frequency and power grid trip number in Guangdong power grid from 2008 to 2017

图 1 中,2008—2017 年广东电网山火发生的年际变化趋势呈现波动增加的趋势,线路跳闸次数也相应出现年际增加趋势,说明山火灾害及其导致的跳闸事故近年来愈发频繁。

为了进一步分析广东电网容易发生山火重点区及其年际变化趋势,文中利用历史火源位置大数据统计样本定义了山火易发敏感度 D_i :

$$D_i = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{j=1}^N (X_{i,j} - \bar{X}_i)^2} \quad (1)$$

式中: $X_{i,j}$ 为站点 i 第 j 年发生山火的频数; \bar{X}_i 为站点 i 多年平均发生山火的频数; N 为年限,此处为 10 a(2008—2017 年)。

山火易发敏感度 D_i 反映广东电网区域内山火频次年际波动状况及其敏感性,其值越大则表明越容易发生火情。通过对已有火点资料进行空间插值处理,得到广东地区多年山火频数空间格点数据,进而计算山火易发敏感度。广东电网山火易发敏感区域和火点年际变化趋势的空间分布如图 2 所示。

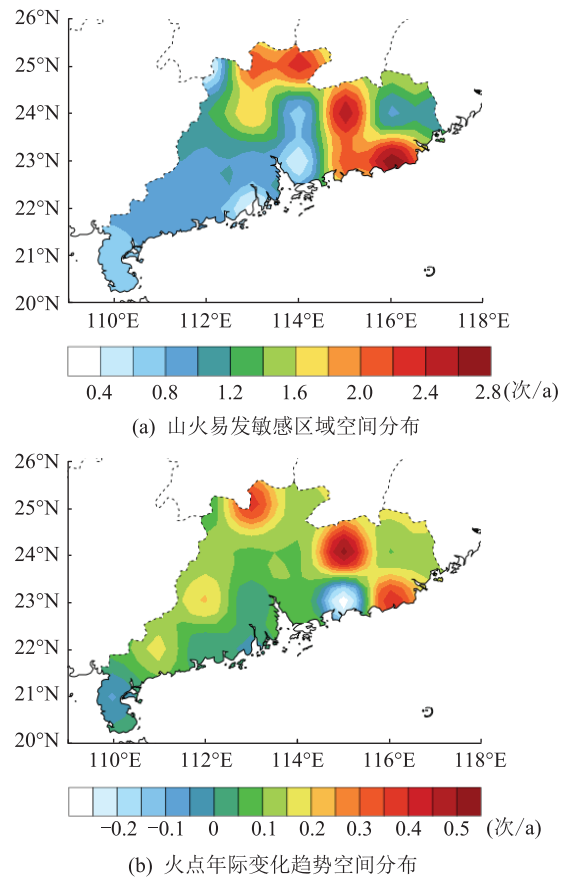


图 2 广东电网山火易发敏感区域和火点年际变化趋势空间分布

Fig.2 Spatial distribution of fire prone sensitive area and fire point interannual variation trend in Guangdong power grid

根据图中分布情况,可大致判断出广东省的山火敏感易发区。从图 2(a)可以看出,粤东河源、汕尾、揭阳地区以及粤北韶关地区为山火易发敏感度大值区,需要重点防范山火发生,避免电网跳闸事故。此外,由 2008—2017 年广东电网山火历史频数统计分析得到图 2(b)的山火年际变化趋势空间示意图,正值代表该地的山火频数在未来有上升趋势。

势,负值代表该地的山火在未来有下降趋势。分析发现:广东大部分地区山火年际变化趋势为正值,其中河源、揭阳、清远北部、韶关西北地区增幅较大,河源地区增长速度最快,达到0.6次/a。广东省山火和电网跳闸的年际变化趋势和未来走向表明山火灾害发展有明显的增加趋势,因此建立合理高效的电网山火预警模型能有效地帮助电力相关部门对重点预警地段提前开展防山火运维工作,清理山火隐患点,避免电网损失。

2 山火预报因子筛选及山火风险预警技术

火险预报是山火预报的基础,主要是根据气象要素和植被对环境条件的反应来确定山火发生的可能性。气象因子包含气压、云量、空气温度、相对湿度、风、降水等要素;植被因子包含植物生长状况、植物含水率等;地形因子包括地形高度、土地利用类型等。研究表明植被叶面积指数(leaf area index, LAI)能够很好地体现植物生长状况,也能在一定程度上代表植被生长周期和植株体内含水量变化情况。文中选取 LAI 作为植被因子,来反映不同区域的下垫面特征。针对上述气象因子、植被因子和地形因子,用 PLS 法客观筛选出火险预报因子,规避各个因子之间的多重相关性,构建山火火险预警公式。选取尽可能多的气象因素、植被因素和地形因素作为自变量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 因变量 Y 为火点频数,具体步骤如下。

(1) 对数据进行标准化处理,使得新坐标系的原点与样本点的重心重合并消除变量间的量纲差异。 X, Y 标准化后的矩阵为 E_0, F_0 。 $E_0 = [E_{01}, E_{02}, \dots, E_{0n}]$, 对 X, Y 中的元素进行标准化:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (2)$$

式中: x_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个指标的原始数据; \bar{x}_j, s_j 分别为第 j 个指标原始数据的平均值和标准差,计算如下:

$$\begin{cases} \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \\ s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \end{cases} \quad (3)$$

(2) 从 F_0 中提取第一个成分 $u_1, u_1 = F_0 c_1, c_1$ 为 F_0 的第一个轴, $\|c_1\| = 1$; 从 E_0 中抽取一个成分 $t_1, t_1 = E_0 w_1, w_1$ 为 E_0 的第一个轴, $\|w_1\| = 1$ 。为了使 u_1, t_1 能最大程度携带 F_0, E_0 中的信息,且 u_1, t_1 的相关程度最大,采用拉格朗日求最值法求得:

$$F_0^T E_0 E_0^T F_0 = \theta_1^2 \quad (4)$$

由式(4),得到 $\theta_1^2 = \|E_0^T F_0\|^2$ 。 w_1 为对应 $E_0^T F_0 F_0^T E_0$ 最大特征值 θ_1^2 的单位特征向量:

$$w_1 = \frac{1}{\theta_1} E_0^T F_0 = \frac{E_0^T F_0}{\|E_0^T F_0\|} \quad (5)$$

将 $E_0^T F_0 = [E_{01}^T, \dots, E_{0n}^T], F_0 = [r(x_1, y), \dots, r(x_n, y)]$ 代入式(5)得:

$$w_1 = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n r^2(x_j, y)}} \begin{bmatrix} r(x_1, y) \\ \vdots \\ r(x_n, y) \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: $r(x_j, y)$ 为 x_j 与 y 的相关系数。将式(6)代入 $t_1 = E_0 w_1$ 中,得:

$$t_1 = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n r^2(x_j, y)}} \sum_{j=1}^n E_{0j} r(x_j, y) \quad (7)$$

可以看出,成分 t_1 是关于 E_0 的线性函数,系数为 $r(x_j, y) / \sqrt{\sum_{j=1}^n r^2(x_j, y)}$, x_j 与 y 的相关度越高,系数越大。

(3) 实施 E_0 在 t_1 上的回归以及 F_0 在 t_1 上的回归:

$$\begin{cases} E_0 = t_1 p_1^T + E_1 \\ F_0 = t_1 r_1^T + F_1 \end{cases} \quad (8)$$

式中: $p_1 = E_0^T t_1 / \|t_1\|^2; r_1 = F_0^T t_1 / \|t_1\|^2$ 。记残差矩阵为:

$$\begin{cases} E_1 = E_0 - t_1 p_1^T = [E_{11}, E_{12}, \dots, E_{1n}] \\ F_1 = F_0 - t_1 r_1^T \end{cases} \quad (9)$$

(4) 以 E_1 代替 E_0, F_1 代替 F_0 , 重复第(2)步得:

$$\begin{cases} w_2 = \frac{E_1^T F_1}{\|E_1^T F_1\|} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \text{Cov}^2(E_{1j}, F_{1j})}} \begin{bmatrix} \text{Cov}(E_{11}, F_{11}) \\ \vdots \\ \text{Cov}(E_{1n}, F_{1n}) \end{bmatrix} \\ t_2 = E_1 w_2 \end{cases} \quad (10)$$

实施 E_1 在 t_2 上的回归以及 F_1 在 t_2 上的回归,如式(11)所示。

$$\begin{cases} E_1 = t_2 p_2^T + E_2 \\ F_1 = t_2 r_2^T + F_2 \end{cases} \quad (11)$$

式中: $p_2 = E_1^T t_2 / \|t_2\|^2; r_2 = F_1^T t_2 / \|t_2\|^2$ 。

(5) 以此类推,最后从标准化自变量矩阵中取出 m 个主成分 t_1, t_2, \dots, t_m , 其中 $m < n$, 得到 F_0 关于 t 的回归模型为:

$$F_0 = r_1 t_1 + r_2 t_2 \dots + r_m t_m + F_m \quad (12)$$

由于 t 均为 E_0 的线性组合,将 E_0 代回式 (12) 中,之后按照标准化的逆过程处理,即可得到站点当日火险预警指数 F :

$$F = f_0 + f_1 H_1 + \dots + f_i H_i + \dots + f_n H_n \quad (13)$$

式中: H_i 为挑选出来的气象要素、植被要素及地形要素, $i = 1, 2, \dots, n$; f_i 为回归系数。最后,依据 F 数值大小与空间分布,利用概率拟合与区域聚类方法划分出广东电网山火灾险预警 5 等级,如表 1 所示。

表 1 山火灾险预警等级判定标准

Table 1 Criteria for wildfire danger warning level

等级	火险指数	火险预警等级	说明
一级	$F < 10$	较低	不易发生火灾
二级	$10 \leq F < 16$	低	可能发生火灾
三级	$16 \leq F < 26$	中	较易发生火灾
四级	$26 \leq F < 39$	较高	容易发生火灾
五级	$F \geq 39$	极高	极易发生火灾

图 3 为该山火预警模型的详细计算流程。

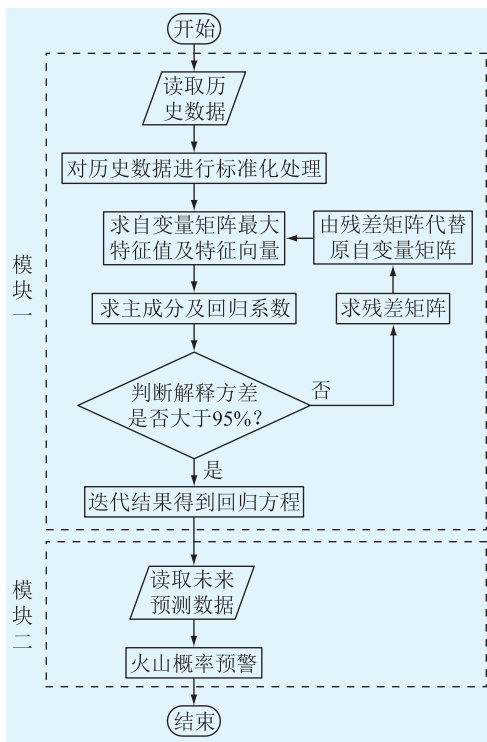


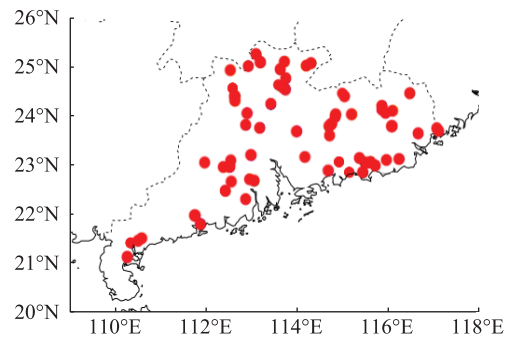
图 3 山火灾险预警模型

Fig.3 Early warning model for mountain fire

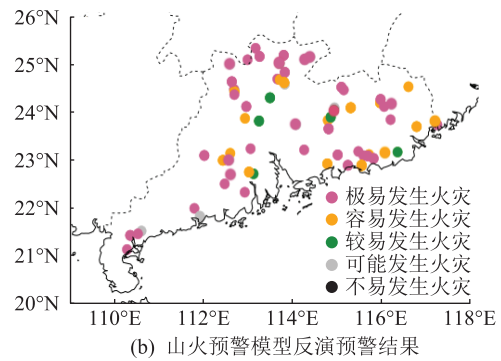
预警模型分为 2 个模块,其中模块一的主要功能是根据历史数据挑选对该地区山火灾害影响较大的气象因子、植被因子及地形因子,从而建立预警模型;模块二则用未来预测的气象因子、植被因子和该地地形因子预测未来火险预警指数 F 。该模型具有普遍适用性,对我国各地山火预警都具有较好的指导意义。

3 特征案例分析与检验

为了检验该模型的预警效果,文中选取广东省 2008—2017 年发生过的山火事故进行验证,其位置分布如图 4(a) 所示。根据上述方法,将山火事故发生地当时的预报产品输入模型,计算出的火险预警指数如图 4(b) 所示。



(a) 山火事故火点分布



(b) 山火预警模型反演预警结果

图 4 2008—2017 年广东省山火事故火点分布及山火预警模型反演预警结果

Fig.4 Fire spot distribution map of wildfire accidents in Guangdong province and warning result inverted by early warning model from 2008 to 2017

由图 4 可以看出,该程序可以准确预警 10 年间广东省内的大部分山火事故,其中,95.31% 的山火事故火险预警等级在三级以上,仅有 3 起山火事故被预测为“可能发生火灾”,且没有山火事故被误判为“不易发生火灾”。

同时,该模型对山火发生时段也有较好的预判。为进一步验证,文中选取 2014-10-18 15:52:00 发生在广东省清远地区山火引起的 220 kV 的 YQ 乙线 40 号塔 (112°37'10.03"E, 24°20'35.1"N) 以及 41 号塔 (112°37'10.5"E, 24°20'24.3"N) 山火跳闸案例。选取距离案例地点最近气象观测台站阳山站 (112.38°E, 24.29°N) 提供 1980—2017 年逐日历史气象要素值。

根据清远阳山站近 38 a 多个气象要素数据、植被数据和地形数据资料,采用文中第 2 节介绍的方法,筛选出影响当地山火发生的 5 个重要因子:气温

T , $^{\circ}\text{C}$;相对湿度 R , 100%;风速 V , m/s ;气压 P , hPa ;叶面积指数 E , 100%。得到如式(13)的该地 2014-10-18 火险预警公式,再将天气预报产品代入,计算得全天逐小时火险预警指数。图 5 为当天火点附近阳山站火险预警指数 F 日变化曲线,线路跳闸时刻为 15:52:00,如图中虚线所示。

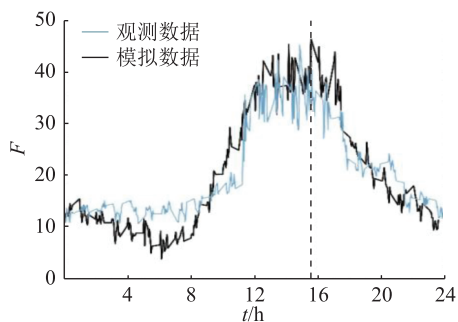


图 5 2014-10-18 火点附近阳山站 F 日变化曲线
Fig.5 Daily variation of F for Yangshan station near fire point on October 18, 2014

分析发现: F 具有非常显著的日变化规律,呈现单峰结构。05:00:00—06:00:00 最低,之后 F 快速增加,14:00:00—16:00:00 期间达到最大值 43 左右(五级火险等级,极易发生山火),随后该指数快速减小。与当天的气象观测数据所得 F 日变化曲线对比可知,两条曲线的变化十分相似。结合该地植被(草本为主)含水率低(LAI 为 11),背山缓坡午后容易形成焚风,并且此时 F 达到当日峰值,可以认为,这些环境因素是导致该地此次山火爆发的必要条件,且较大的风速使火势蔓延迅速,导致了多个 220 kV 线路跳闸事件发生。

案例附近地区当天风向主要以东南风为主,平均风力可达 2~3 级,最高气温为 31.3°C ,相对湿度为 36%~42%,降水量为 0(之前连续 10 d 无降水),下垫面植被类别多为落叶低矮灌丛和蒿草(含水率很低,LAI 为 11),地形为山后缓坡(午后易发生焚风现象)。图 6 为当天火点附近气温、相对湿度、风速日变化曲线,分析发现这 3 个气象要素显著的日变化特点,高温、低湿与微风环境在 14:00:00—16:00:00 之间达到了最易发生火险的高风险时刻。

从气候条件来看,当时正值北半球秋季,气候干燥,降水偏少,植被叶面积指数较低,说明当地植被正处于枯黄期,灌丛和草本干燥易于燃烧,为山火发生、发展提供了丰富的可燃物,加上合适的地形地势因素,极易导致山火发生。根据风云卫星监测的结果,与案例地点相距 16 km 左右监测到有火点,山火发生实况与 F 结果契合,且山火发生时间与电网跳闸时间相差在 2 h 内,验证了该方法对山

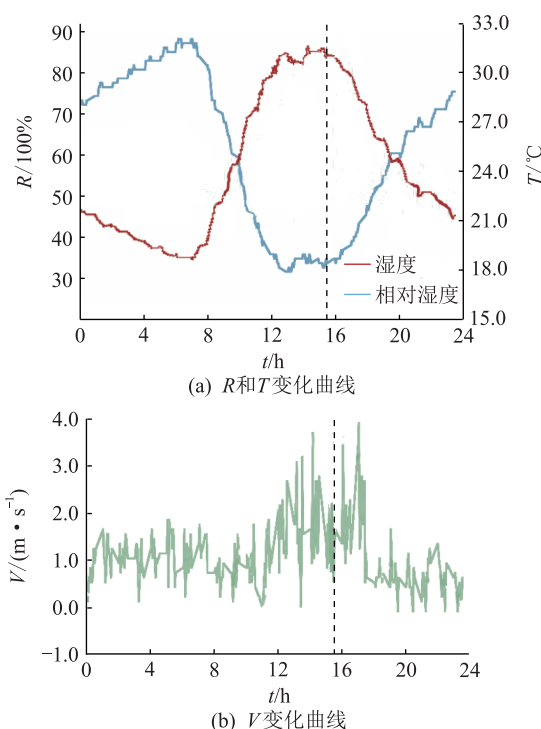


图 6 2014-10-18 火点附近逐小时气温、相对湿度、风速变化曲线

Fig.6 Hourly temperature, relative humidity and wind speed change near the fire point on October 18, 2014

火具有较好的预测预警效果。

4 结语

广东电网山火及其引起的线路跳闸等事故具有显著的日、季节与年际变化规律,对电网安全有重大影响。广东电网山火火点主要集中在粤北及粤东地区,这与当地的地形与植被类型分布关系密切。广东中北部地区多为山地和丘陵,山区背风坡易形成焚风效应,易于山火的形成和蔓延。粤东河源、汕尾、惠州地区以及粤北韶关地区为山火发生敏感区,未来几年内山火数量有增加趋势,且粤东地区的增加速度略快于粤北地区,相关部门需要对高危季节的高危地区进行重点监控,减少电网灾变损失。

为了有效预报山火发生导致的大面积电网线路跳闸停电事故,针对广东电网微气象环境因子和植被季节变化特点,结合气象预报产品,采用大数据统计技术和原理提出优化的电网山火风险预警方法。该方法对预报因子的筛选更加全面、更具针对性,且能够规避各个因子之间的多重相关性,在对诸多影响山火发生因子的筛选过程中是更加优化的选择,亦是保障电网架空线路安全运行的重要手段之一。

参考文献:

- [1] 周特军,陆佳政,吴传平,等. 湖南电网山火告警风险及故障时间间隔分布规律[J]. 电力系统自动化,2018,42(10):135-142.
ZHOU Tejun, LU Jiazheng, WU Chuanping, et al. Distribution characteristics of wildfire warning risk and fault interval for hunan power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018,42(10):135-142.
- [2] 周特军,吴传平,陈海翔,等. 湖南电网输电线路山火跳闸时空分布规律[J]. 消防科学与技术,2019,38(3):417-420.
ZHOU Tejun, WU Chuanping, CHEN Haixiang, et al. Temporal and spatial distribution laws of transmission line trips caused by wildfire for Hunan power grid[J]. Fire Science and Technology, 2019,38(3):417-420.
- [3] XUE Y S, CAI B, JAMES G, et al. Primary energy congestion of power systems[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2013,2(1):39-49.
- [4] 吴勇军,薛禹胜,陆佳政,等. 山火灾害对电网故障率的时空影响[J]. 电力系统自动化,2016,40(3):14-20.
WU Yongjun, XUE Yusheng, LU Jiazheng, et al. Space-time impact of forest fire on power grid fault probability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016,40(3):14-20.
- [5] 邢晓强,黄新波,纪超,等. 基于多特征融合的输电线路山火识别预警系统设计与实现[J]. 广东电力,2018,31(6):107-113.
XING Xiaoqiang, HUANG Xinbo, JI Chao, et al. Design and realization of mountain fire identification pre-warning system for transmission lines based on multi-feature fusion[J]. Guangdong Electric Power, 2018,31(6):107-113.
- [6] 杜乾,邓帅,乔向阳,等. 基于支持向量机的输电线路山火灾害信息展示平台设计与实现[J]. 电力信息与通信技术,2018,16(2):52-56.
DU Qian, DENG Shuai, QIAO Xiangyang, et al. Design and implementation of display platform for transmission line mountain fire disaster information base on support vector machine[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018,16(2):52-56.
- [7] 李黎,华奎,姜昀芃,等. 输电线路多源异构数据处理关键技术研究综述[J]. 广东电力,2018,31(8):124-133.
LI Li, HUA Kui, JIANG Yunpeng, et al. Research review on key technology for multi-source heterogeneous data processing for transmission lines [J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(8):124-133.
- [8] 王艳如,刘海峰,李琳,等. 基于边缘智能分析的图像识别技术在输电线路在线监测中的应用[J]. 电力信息与通信技术,2019,17(7):35-40.
WANG Yanru, LIU Haifeng, LI Lin, et al. Application of image recognition technology based on edge intelligence analysis in transmission line online monitoring[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2019,17(7):35-40.
- [9] 文韬,张乔根,赵军平,等. 特高压 GIS 设备现场标准雷电冲击耐高压试验技术的应用[J]. 电力工程技术,2017,36(1):30-33.
WEN Tao, ZHANG Qiaogen, ZHAO Junpin, et al. Application of on-site standard lightning impulse test technology for UHV GIS equipment [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(1):30-33.
- [10] GUO Y F, CHEN R X, SHI J G, et al. Determination of the power transmission line ageing failure probability due to the impact of forest fire [J]. The Institution of Engineering and Technology, 2018,12(16):3812-3819.
- [11] 徐伟,路永玲,唐梦颖,等. 江苏电网近年雷电活动及输电线路雷击跳闸分析[J]. 电力工程技术,2017,36(6):106-110.
XU Wei, LU Yonglin, TANG Mengying, et al. Analysis of lightning activities and transmission line lightning strike tripping in Jiangsu power grid in recent years[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(6):106-110.
- [12] LIU Y, YANG D D, LIU J J, et al. Forest fire tripping probability prediction system based on partial mutual information method [C]//Proceedings of Purple Mountain Forum 2019-International Forum on Smart Grid Protection and Control. 2019(1):653-662.
- [13] 薛禹胜,吴勇军,谢云云,等. 停电防御框架向自然灾害预警的拓展[J]. 电力系统自动化,2013,37(16):18-26.
XUE Yusheng, WU Yongjun, XIE Yunyun, et al. Extension of blackout defense scheme to natural disasters early-warning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013,37(16):18-26.
- [14] 刘文颖,但扬清,朱艳伟,等. 电网运行断面的自组织临界态辨识和量化分析[J]. 电网技术,2014,38(8):2076-2081.
LIU Wenyong, DAN Yangqing, ZHU Yanwei, et al. Identification and quantitative analysis of self-organized critical state in running-grid section [J]. Power System Technology, 2014,38(8):2076-2081.
- [15] 常康,徐泰山,郁琛,等. 自然灾害下电网运行风险控制策略探讨[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(10):73-81.
CHANG Kang, XU Taishan, YU Chen, et al. Discussion of power system operation risk control strategy in natural disasters [J]. Power System Protection and Control, 2019,47(10):73-81.
- [16] 艾欣,周志宇. 山火灾害下电网输电线路关键性评估方法[J]. 高电压技术,2018,44(8):2433-2441.
AI Xin, ZHOU Zhiyu. Key transmission-line evaluation method for power grid under wildfire disasters[J]. High Voltage Engineering, 2018,44(8):2433-2441.
- [17] 叶立平,陈锡阳,何子兰,等. 山火预警技术在输电线路的应用现状[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(6):145-153.
YE Liping, CHEN Xiyang, HE Zilan, et al. Present situation of forest fire early warning technology used for transmission line [J]. Power System Protection and Control, 2014,42(6):145-153.
- [18] 余尔汶. 基于领域环境火点综合辨识法的电网山火监测预警的研究及应用[J]. 电力与能源,2018,39(3):333-338.
YU Erwen. Research and application of power grid mountain

- fire monitoring early warning based on comprehensive identification of fire points in domain environment[J]. Power and Energy, 2018, 39(3):333-338.
- [19] 章国勇, 陆佳政, 李波, 等. 电网山火同步卫星监测影像快速投影定位方法[J]. 高电压技术, 2017, 43(11):1-8.
ZHANG Guoyong, LU Jiazheng, LI Bo, et al. Geostationary satellite projection location method for wild fire monitoring near transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2017, 43(11):1-8.
- [20] 李广凯, 王庆红, 高松川. 山火条件下架空输电线路闪络及监测技术的研究现状分析[J]. 电测与仪表, 2014, 51(20):122-128.
LI Guangkai, WANG Qinghong, GAO Songchuan. Research status analysis on flashover and the monitoring technology of overhead transmission lines under forest fires [J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2014, 51(20):122-128.
- [21] 雷国伟, 何伟明, 林健枝. 架空输电线路走廊防山火综合监测系统实现与应用[J]. 电气技术, 2013(12):112-115.
LEI Guowei, HE Weiming, LIN Jianzhi. Implementation and application of comprehensive monitoring system for mountain fire prevention in overhead transmission line corridor [J]. Electrical Engineering, 2013(12):112-115.
- [22] 朱时阳, 邓雨荣. 输电线路走廊山火监测技术研究与应用[J]. 广西电力, 2013, 36(3):25-27.
ZHU Shiyang, DENG Yurong. Research and application of wildfire monitoring technology for transmission line corridor [J]. Guangxi Electric Power, 2013, 36(3):25-27.
- [23] MCFERREN G, FROST P. The Southern African advanced fire information [J]. Applied Physics Letters, 2011, 68(20):2870-2872.
- [24] 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):320-326.
LU Jiazheng, LIU Yu, XU Xunjian, et al. Prediction and early warning technology of wildfire nearby overhead transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2017, 43(1):320-326.
- [25] 李俊徽, 耿焕同, 谢佩妍, 等. 基于 WRF-CALMET 的精细化方法在大风预报上的应用研究[J]. 气象, 2017, 43(8):107-117.
LI Junhui, GENG Huantong, XIE Peiyan, et al. Research on application of fineness method based on WRF-CALMET in gale forecasting [J]. Meteorological Monthly, 2017, 43(8):107-117.

作者简介:



周恩泽

周恩泽(1989),男,硕士,工程师,从事输电线路防灾减灾相关工作(E-mail:zhou_dqy@163.com);

胡思雨(1997),女,硕士在读,研究方向为电网防灾减灾技术;

张录军(1970),男,博士,副教授,研究方向为电网防灾减灾技术。

Characteristics and risk warning technology of wildfire disaster in power grid

ZHOU Enze^{1,2}, HU Siyu², ZHANG Lujun², WEI Ruizeng¹, WANG Huazhao², YANG Fan¹

(1. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510080, China;

2. School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to effectively forecast large area power grid line trip blackout caused by mountain fire, spatial-temporal characteristics of fire hazards in Guangdong power grid mountains are studied by using the data of fire spots number, the area of overfire and the tripping frequency of main network from 2008 to 2017. A model of optimized risk early warning system based on partial least square (PLS) is proposed. It is found that the east and north of Guangdong are sensitive to mountain fires, and the occurrence of mountain fires in the overhead line coverage area has an obvious increasing trend. In addition, based on historical meteorological data, vegetation data and topographic data, the PLS method is used to select the main influencing factors of mountain fire prediction, and an optimized risk early warning model of mountain fire in power grid is proposed based on the principle of applied statistics. The validity and practicability of proposed method are verified by the case test of mountain fire trip in Guangdong power grid.

Keywords: Guangdong power grid; hot spot of wildfire; line tripping; early warning of wild fire; partial least square (PLS)

(编辑 吴楠)