

输电线路山火雷达实时监测技术及应用研究

李江¹, 曹永兴², 朱军², 罗东辉²

(1. 四川省资阳市公安局, 四川 资阳 641300;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041)

摘要:输电线路山火灾害的监测是线路运维中的重难点问题,提出及时、有效的输电线路山火监测技术可以帮助提高运维效率。雷达遥测技术具有监测范围广、精度高、方便维护等优势。为了挖掘雷达在重要输电通道遥测领域的重大潜力,研发了基于Ka波段雷达的输电线路山火实时监测装置,并进行工程实测及应用。实测结果表明,研发建造的输电线路山火雷达实时监测装置可以快速、准确地对火灾目标进行监测,满足工程精度需求,具备工程应用可行性。

关键词:雷达; 山火; 监测; 工程应用

中图分类号:TM93 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2021)01-0053-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20210112

Research on Real-time Radar Monitoring Technology and Its Application to Forest Fire Around Transmission Line

Li Jiang¹, Cao Yongxing², Zhu Jun², Luo Donghui²

(1. Ziyang Public Security Bureau of Sichuan, Ziyang 641300, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: The monitoring of forest fire around transmission line is always one of the difficult problems in line operation and maintenance. The new technology of timely and effective forest fire monitoring is proposed to improve the efficiency of line operation and maintenance. Radar telemetry technology has the advantages of wide monitoring range, high precision and convenient maintenance. In order to analyze the great potential of radar in the telemetry field of important transmission lines, a real-time monitoring device of forest fire for transmission line based on Ka band radar is developed, and the project measurement and application are carried out. The measured results show that the real-time radar monitoring device of forest fire for transmission line can quickly and accurately monitor the fire target, meet the engineering accuracy requirements, and have engineering application feasibility.

Key words: radar; forest fire; monitoring; engineering application

0 引言

输电线路因其运行的长期性和跨越区域的广泛性,而容易遭到外力破坏,山火就是其中的重要因素之一^[1-3]。输电线路山火灾害的特点主要包括其发生随机性、突然性以及可以快速造成极大的损失。及时监测到山火并进行实时预警,是输电线路预防山火灾害的迫切需求。

针对输电线路山火灾害监测,近年来出现了无人机巡航、卫星遥感、火灾探测器探测以及图像类在

线监测等新型山火监测技术的研究和应用^[4-6],然而受限于技术形式和沿线环境的影响,传统监测方法在山火趋势预判、火灾判定准确度以及小范围、初期火情的预警问题上仍存在一定的问題。

相较而言,基于热能多谱监测雷达的输电线路山火监测技术,无需人工实时监测,减少了人力成本^[7-10];和红外技术相比,探测范围更广,并且降低了误报率,而且探测精度和探测实时性更强,更利于对火灾初起的发现以及火势发展趋势的预判。

因此,根据山火特征情况,结合国家电网GIS信息平台查询获取输电走廊周边地形地貌数据,设计

研发基于 Ka 波段小型雷达的输电线路山火监测系统,探究其工程应用技术,并在实际工程中进行试点安装与实测。

1 山火雷达回波识别

雷达对物体的探测主要依托物体反射的雷达回波变化情况。火焰的组成含有极多电子、离子以及中性粒子,与周围常规物体的雷达回波存在显著差异。而且火灾烟尘的物理特性也与周围物质不同,会对雷达回波造成一定影响。因此,基于雷达探测可以实现对山火情况的探测。

基于山火回波以及输电线路周边物体特性,选择毫米波雷达用于山火探测系统研发,为了验证毫米波雷达对山火烟尘监测的有效性,开展了山火雷达回波识别试验。

首先,架设 16G 和 24G 毫米波雷达采集地物杂波;接着,分两次点燃柴草堆并采集数据;最后,灭火后继续采集数据。图 1 所示为点火前试验场地及采集到的背景雷达回波;图 2 所示为点火后采集的雷达回波数据波动情况。

背景数据采集

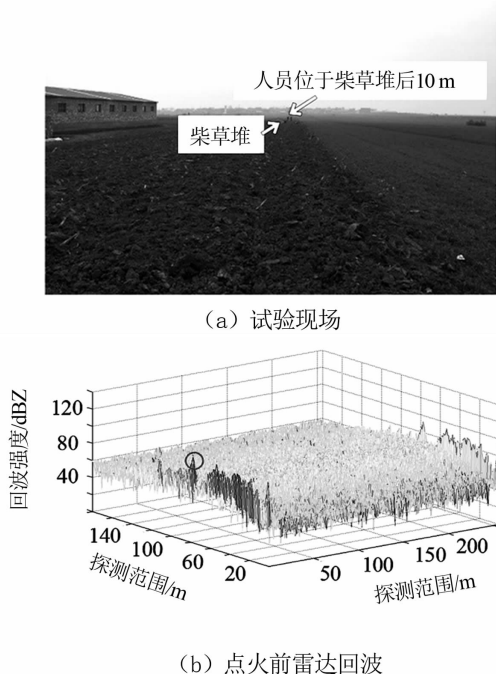
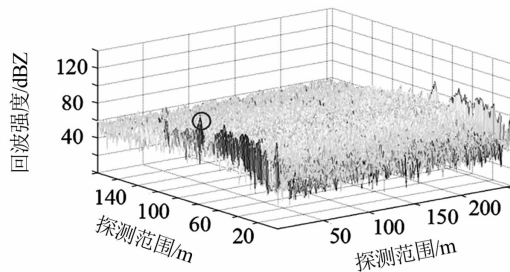


图 1 试验现场照片及点火前雷达回波

分析雷达回波数据发现,雷达回波相对于地物杂波扰动范围有 20% ~ 30% 的增幅。同时,在柴草堆邻近距离单元的雷达回波和地物杂波相比,也有



(a) 火焰烟尘



(b) 点火后雷达回波

图 2 火焰烟尘照片及点火后雷达回波

一定的扰动范围增幅现象,说明火焰燃烧过程中产生的烟尘随风有小范围移动,可以作为山火识别的一个判别依据。

1.1 预测评估的核心思路

针对现有技术对山火趋势预测评估能力不足以及误报率较高等问题,提出一种结合国网 GIS 信息平台、小型雷达与线路传感器的山火发展趋势预测方法。该方法在复杂的环境中,利用由广域到近区的火情数据较准确地进行山火发展趋势预测,保证电网的安全运行,包括以下几个步骤:

- 1) 结合输电线路走廊情况,进行小型雷达及微气象传感器的布置及安装;
- 2) 从国网 GIS 信息平台查询山火周边输电走廊地形地貌数据;
- 3) 设置一个时间间隔 Δt ,以时间间隔为单位实时提取气象数据,传回后缓存入数据库;
- 4) 分析小型雷达扫描数据,利用小型雷达进行实时火情监测;
- 5) 结合山火发展趋势模拟算法进行走廊周边山火趋势预测;
- 6) 将小型雷达广域气象监测数据对山火下阶段的发展趋势进行辅助决策。

所设计的输电线路山火发展趋势预测流程如图 3 所示。

1.2 主要参数指标

基于山火回波尺度较小、回波较弱、回波整

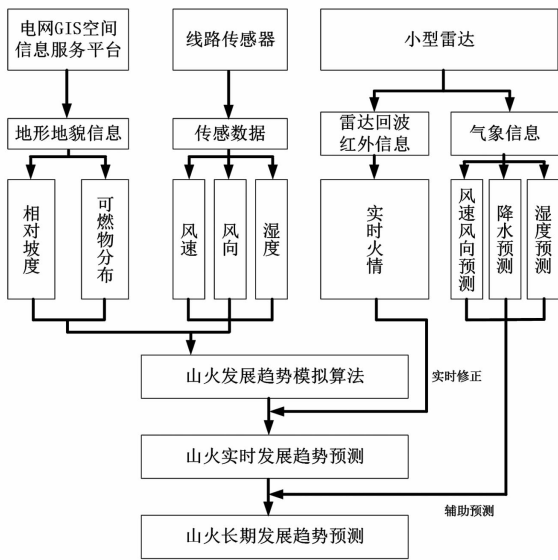


图 3 输电线路山火发展趋势预测流程

体一般不会移动(以扩散形式发展)、接地、垂直高度一般小于 4.5 km 等特性,选定了如表 1 所示的系统参数指标。

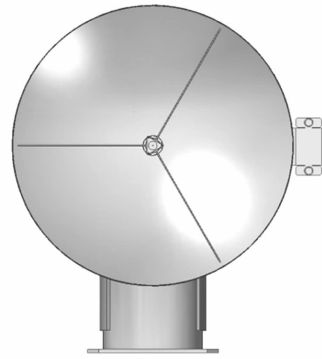
表 1 主要参数指标

类别	名称	参数
主要功能	控制方式	固定式遥控
	技术体制	全固态脉冲多普勒
	工作频率	35 GHz
探测范围	探测距离	570 m ~ 15 km
	方位扫描	0 ~ 360°
	仰角扫描	0 ~ 180°
	扫描速度	0 ~ 24°/s
	分辨率	距离
	方位、俯仰	≤ 0.1°
无线系统	直径	1500 mm
	增益	≥ 52 dB
	波束宽度	≤ 0.42°
馈线系统	波导驻波比	≤ 1.5
	馈线损耗	≤ 2.5 dB
收发系统	输出射频频脉冲功率	≥ 100 W
	脉冲重复频率	300 ~ 10 000 Hz
	瞬时线性动态范围	≥ 80 dB
双光谱相机系统	探测器分辨率	336 × 256
	灵敏度	≤ 25 mk
	总像素	200 万

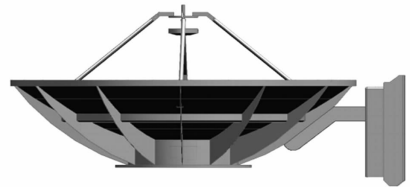
1.3 监测系统组成

整机固定式雷达由天线装置和终端工控机等组

成。其中天线装置主要由反射体、摄像机、俯仰箱以及支臂和基座等。图 4 为天线装置结构示意图。图 5 为雷达监测系统采用的摄像装置示意图。



(a) 主视



(b) 侧视

图 4 雷达监测系统采用的天线装置

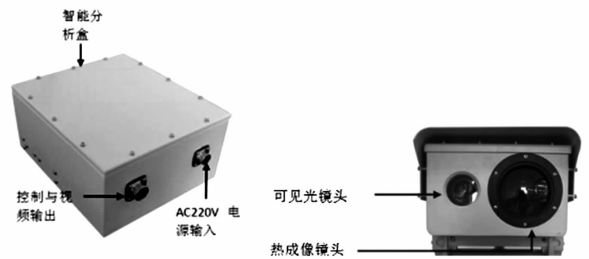


图 5 雷达监测系统采用的摄像装置

2 山火雷达监测系统的工程应用

2.1 工程选址及准备

山火雷达监测系统选址可优先考虑以下 3 个方面:1)重要输电通道热能多谱山火监测预警雷达(Ka 波段)应考虑山火频发区域,雷达所选站点与重点关注线路的直线距离不超过 10 km。2)选址应避免洪水、泥石流、山体滑坡以及地质断裂结构等不利因素较多的地区。3)选择遮蔽角以及净空条件适宜地区,避免遮挡监测视角。在工程安装地址初步确定后,需对该地进行实地测量并绘制环境平面图。

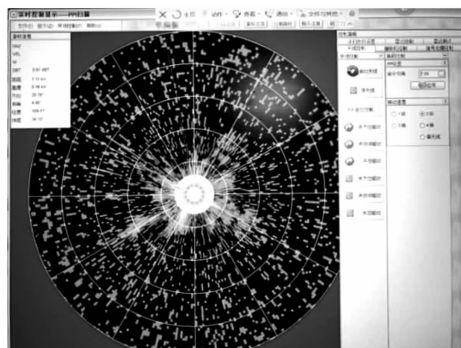
2.2 试点工程试验案例

基于上述研究及结果,设计建造了热能多谱毫

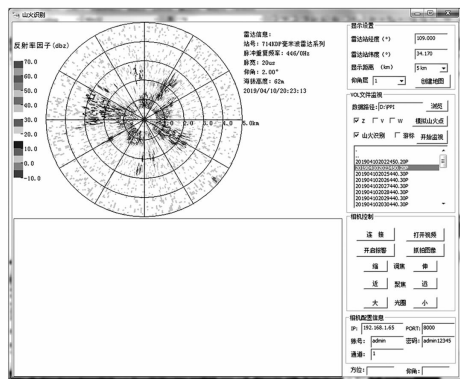
米波雷达装置并进行了试点工程实测试验,图 6 为雷达监测装置。



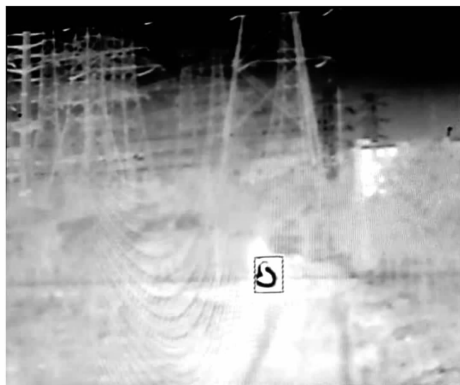
图 6 雷达监测装置现场安装运行



(a) 山火雷达实时显示软件

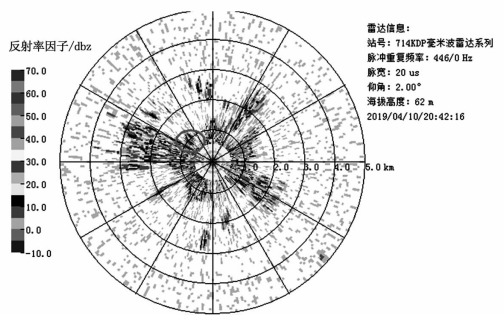


(b) 山火雷达输出结果界面

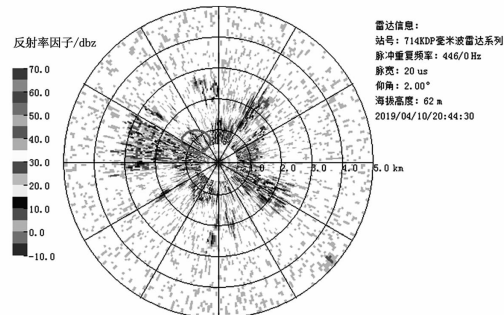


(c) 光学摄像输出结果界面

图 7 雷达监测系统监测界面



(a) 20:42:16



(b) 20:44:30

图 8 2°仰角火点监测结果

设备建设安装完成后,于晚间 20:37—21:30 进行了人工放火毫米波雷达监测试验。试验前期,对山火雷达整机进行组装,20:20 山火雷达开机后,实时显示软件正常运行,并能捕捉周边地物情况,说明山火雷达整机系统工作正常,满足预期效果,图 7 为系统实时监测界面。

火点试验预设地点距离山火雷达 1 ~ 1.5 km,方位为 315°左右(雷达正北方向为 0°),点火前雷达监测结果如图 7(b) 所示。其中,20:23 为雷达刚开启阶段,还没有进行点火。因此,图 7(b) 中方位 315°、1 km 左右的回波强度较小,此为雷达噪声,其余回波均为地物回波,探测无预警发出。

1) 2°仰角火点监测试验

图 8(a)和(b)所示分别为 20:42:16 和 20:44:30 雷达监测人工点火试验阶段结果,雷达天线仰角为 2°。因此,图 8 中方位 315°、1 km 左右出现了回波,面积为 2.0 m²左右(共有 6 个有效监测点)且强度值大于 20 dBZ 回波区域,其他回波面积和大小保持不变。因此,新增的回波疑似为火点回波。

2) 5°仰角火点监测试验

图 9(a)和(b)所示分别为 20:45:18 和 20:51:28 雷达监测人工点火试验阶段结果,雷达天线仰角为 5°。因此,图 9 中方位 315°、1 km 左右出现了较强的回波区域,回波面积约为 2.7 m²(共有 9 个有效

监测点),其他回波面积和大小保持不变,为疑似火点。回波较强主要是由于天线仰角变高,探测到的烟尘颗粒造成。

3) 8°仰角火点监测试验

图10所示为20:53:40雷达监测人工点火试验阶段结果,雷达天线仰角为8°。因此,图10中方位315°、1 km左右,由于仰角增大、探测高度增加、由火势扩散等因素造成的影响减小,高强度回波区域消失。

试验过程中红外相机通过与雷达天气的绑定,并随天线一起转动。相机能准确地进行火点预警。

大致发生的方位,但无法获取火点的面积和距离。毫米波雷达在确定方位的情况下,结合识别算法,能有效地监测疑似火点发生的具体方位和距离(根据雷达位置能得出具体的地理位置)以及火点发生的面积。

因此,联合红外相机和毫米波山火雷达,能有效准确识别、监测及预警火点,同时通过毫米波雷达显示的回波可得到火点较为准确的面积、距离和地理位置,可以对火点发生全过程进行有效的监测。

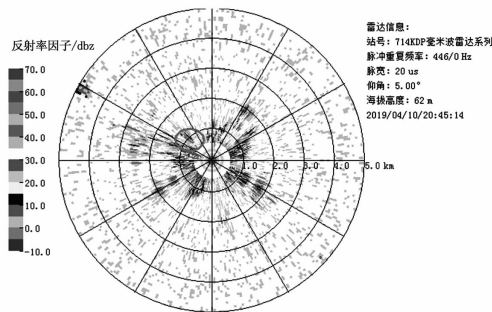
参考文献

- [1] 陆佳政,周特军,吴传平,等. 某省级电网220 kV及以上输电线路故障统计与分析[J]. 高电压技术,2016,42(1):200-207.
- [2] 蔡展强. 输电线路“六防”在线路初步设计中的应用研究[J]. 通讯世界,2017(23):248-249.
- [3] 舒胜文,张深寿,许军,等. 基于新一代天气雷达组网监测的输电线路山火自动识别算法研究[J]. 中国电机工程学报,2020,40(13):4200-4210.
- [4] 周游,隋三义,陈洁,等. 基于Himawari-8静止气象卫星的输电线路山火监测与告警技术[J]. 高电压技术,2020,46(7):2561-2569.
- [5] 周特军,李波,谭艳军,等. 输电线路山火无人机监测与灭火技术研究[J]. 消防科学与技术,2020,39(2):239-242.
- [6] 刘宏,王天正,张海,等. 基于毫米波雷达山火监测技术研究[J]. 武汉大学学报(工学版),2020,53(1):72-80.
- [7] 吴永利,林洪文. 新一代气象雷达回波探测在输电线路防山火中的应用[J]. 电气工程学报,2019,14(1):30-34.
- [8] 王天正,亢银柱,刘宏,等. 基于毫米波雷达的输电走廊山火监测研究[J]. 科技通报,2018,34(11):178-182.
- [9] 赖世祺,吴凡,吴永利,等. 基于气象雷达识别的输电线路山火预警系统[J]. 电气应用,2017,36(16):63-67.
- [10] 全浩,黄学能,罗朝宇,等. 输电线路山火光谱雷达监测系统的实现与应用[J]. 广西电力,2015,38(4):67-71.

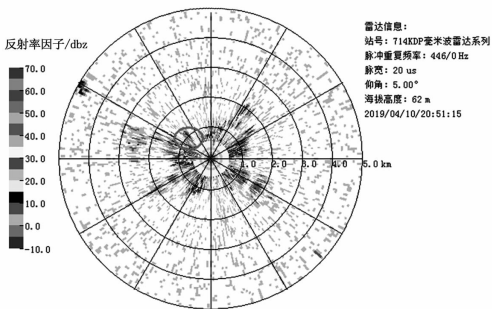
作者简介:

李江(1963),男,学士,主要研究方向为极端条件下(包括战时)雷达设备的通信保障技术以及面向民用设施防外力破坏的雷达监测与预警技术。

(收稿日期:2020-10-10)



(a) 20:45:18



(b) 20:51:28

图9 5°仰角火点监测结果

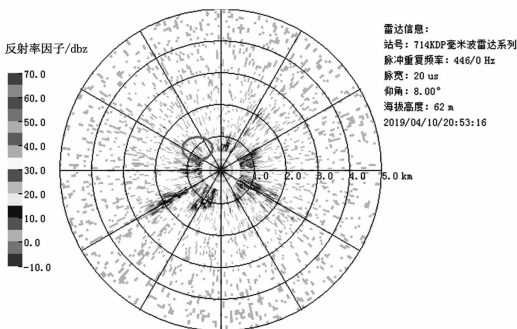


图10 8°仰角20:53:40时火点监测结果

3 结语

通过相机的红外功能可以准确地判别火点及其