

徐八林, 解莉燕, 陆鹏, 等. 云南 C 波段天气雷达的森林火灾预警系统实现[J]. 灾害学, 2020, 35(3): 125–130. [XU Balin, XIE Liyan, LU Peng, et al. Warning system of C – band Weather Radar to Detect Forest Fires in Yunnan[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(3): 125–130. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.03.024.]

## 云南 C 波段天气雷达的森林火灾预警系统实现<sup>\*</sup>

徐八林<sup>1</sup>, 解莉燕<sup>1</sup>, 陆 鹏<sup>2</sup>, 徐舒扬<sup>3</sup>, 陈 卓<sup>4</sup>, 王 欣<sup>1</sup>

(1. 云南省大气探测技术保障中心, 云南 昆明 650034; 2. 昆明市气象局, 云南 昆明 650503;  
3. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225; 4. 普洱市气象台, 云南 普洱 665000)

**摘 要:** 利用云南多次森林火灾历史个例, 结合相对应的 C 波段新一代天气雷达资料进行对比分析研究, 参考 S 波段新一代天气雷达的一些阈值, 基于雷达探测回波的形成原理, 提出森林火灾在 C 波段高山雷达回波上的一些特有指标, 形成 C 波段高山雷达特有的算法, 主要有: 由于高原高山地区风速较大, 引入雷达速度场结合地面自动站风向风速判别指标; 高山雷达由于海拔高差较大, 探测的目标物高度也不同, 在设置识别阈值时应有一定的差别; 高原小尺度对流性降水回波过滤方法等一些新指标和方法。基于此设计了系统, 并开展雷达森林火灾探测预警的业务试验, 不断改进总结完善后, 取得了一定效果, 实现了 C 波段新一代天气雷达的森林火灾探测软件系统。试验表明: 从时效性看雷达监测有时较卫星和人工视频监控有一定优势, 可与目前的卫星监测和人工视频监控等手段形成互补; 根据空中火灾烟尘回波面积和烟尘回波顶高的变化, 有时可以较好的分析出地面火势的变化情况, 判断出火势的增强、减弱和复燃。

**关键词:** C 波段天气雷达; 森林火灾; 识别监测; 回波; 高原高山; 云南

**中图分类号:** X43; X915.5; P458 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2020)03–0125–06  
doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.03.024

森林火灾的监测预警一直受到广泛关注, 广大学者做了大量研究<sup>[1–4]</sup>。气象部门建设的新一代天气雷达网除了探测降水回波以外, 还能探测到许多“杂波”, 经过大量回波数据研究后, 发现这些“杂波”中存在许多有用的回波信息, 也会包含森林火灾扩散到空中的烟尘形成的回波。过去对森林火灾的传统监测方法都是基于卫星的热源点探测, 武晋雯等<sup>[5]</sup>使用 Himawari8 和 GF1 卫星开展林火密集监测、火烧迹地和森林燃烧受害程度监测。由于森林火灾回波尺度小, 卫星可以发现热源点信息, 但是卫星监测每天通常只有 17 次, 而且火灾发生初期及较小面积的火情受森林遮挡常监测不到。雷达则可以实现全天候 24 h, 每 6 min 一次体扫的全时段连续监测, 如果卫星雷达结合可做到判断更准确、实时跟踪火情变化。近年来许多专家学者在(波长 10 cm)雷达上提取有用回波信息, 分离出森林火灾的回波, 实现了 S 波段雷达的森林火灾探测。黄克慧等<sup>[6]</sup>对浙江省南部的 10 次不同规模的森林火灾进行分析, 发现温州新一代天气雷达 CINRAD/SA 能对森林火灾进行监测。

而后黄克慧等<sup>[7]</sup>在 2010 年利用温州新一代多普勒天气雷达(CINRAD-SA)曾多次探测到森林火灾回波, 采取的方法是根据森林火灾回波和降水回波、地物杂波等回波的不同特征, 对雷达基数据进行分析、处理和计算, 最终实现对森林火灾的识别, 并实现了定位和自动报警。陈永林等<sup>[8]</sup>对 2006 年 5 月 4 日上海市闵行区一次重大城市火灾烟雾的雷达回波特征研究, 利用上海 WSR-88D 多普勒天气雷达(S 波段)于 VCP21 降水模式下监测到大火发生、升腾、扩展和扑灭的全过程, 表明降水模式能探测到火灾烟尘, 提出及时、准确的气象雷达监测也可为预警和灭火提供一些技术支撑。张深寿等<sup>[9]</sup>对 2015 年 1 月 23 日一次典型的林火和 2015 年 4 月 6 日漳州古雷 PX 项目油库爆炸, 详细分析其火情回波特征, 发现 CINRAD-SA 雷达也能够对城市火灾、爆炸等引起的火情回波进行识别, 并分析得出其回波特征。黄克慧等<sup>[10]</sup>采用雷达噪声过滤方法, 进一步提出一种在 S 波段雷达上既能有效去除雷达杂波, 又能保留火灾回波的杂波过滤方法。以上研

\* 收稿日期: 2020–02–16 修回日期: 2020–05–20

基金项目: 云南省气象局科研项目(BZ201701); 国家自然科学基金项目(41665005, 41765003); 云南省科技惠民专项“云南强对流灾害性天气短时临近预警系统研究”(2016RA09603)

第一作者简介: 徐八林(1968–), 男, 汉族, 江苏南京人, 正研级高级工程师, 主要从事天气雷达应用研究。

E-mail: ynxbl@sina.com

通信作者: 徐舒扬(1995–), 女, 汉族, 云南昆明人, 硕士, 主要从事双偏振雷达应用研究. E-mail: 304348579@qq.com

究都是基于 10 cm 波长的 S 波段雷达的, 10 cm 波长的 S 波段雷达穿透力好, 衰减小, 更适合用于探测台风、暴雨及冰雹。5 cm 波长 C 波段新一代天气雷达同 10 cm 波长 S 波段新一代天气雷达相比, 由于波长更短, 灵敏度也就更高, 应该对森林火灾的烟尘回波更敏感。然而作为我国占一半左右数量的 5 cm 波长的 C 波段新一代天气雷达, 却基本没有见到探测森林火灾的相关研究。文献<sup>[1]</sup>也提到仅在多普勒雷达 CINRAD/SA 上研制出了火情自动识别系统。

对于森林火灾产生的回波强度和大气湍流回波的提取方法, 俞小鼎等<sup>[11]</sup>介绍了天气雷达的基本原理, 在雷达资料质量控制中提到一些杂波的可能产生原因。景号然等<sup>[12]</sup>利用 SRTM 高程数据作为基础数据, 结合天气雷达工作方式和探测方法, 分析了地球曲率和电磁波折射影响, 获得站点遮蔽角情况, 对雷达探测森林火灾的遮挡范围有较好预知和依据。朱丹等<sup>[13]</sup>对我国已建成的 208 个新一代天气雷达站点进行地形遮挡分析, 研究了雷达地形遮挡情况和雷达有效观测区域的覆盖情况, 对提升雷达探测资料在探测森林火灾使用的有效性和可靠性有较好帮助。于明慧等<sup>[14]</sup>对相控阵及双偏振雷达的一次天气过程资料研究, 结果证明相控阵雷达和双偏振雷达能对认识空中目标物的发展演变有较大改进。张林<sup>[15]</sup>利用双偏振雷达提取非降水回波信息, 从非降水回波的结构特征, 研究了晴空回波和生物回波的识别, 对森林火灾回波的识别有较好参考价值。李晓敏等<sup>[16]</sup>用 X 波段双线偏振天气雷达对北京一个典型雷暴单体内水成物粒子分布随时间演变特征进行了系统的分析。梅垚等<sup>[17]</sup>用移动 C 波段双偏振雷达(C-POL)对西藏那曲地区两次高原冰雹云发生发展的动力、微物理、热力结构特征进行了分析, 使用的分析方法对森林火灾回波提取有较好参考。以上这些文献中提供的一些措施, 在本文程序设计中加以了应用。

CINRAD/CC 型天气雷达是中国气象局用于国内气象业务组网探测的 C 波段全相参多普勒新一代天气雷达, 主要布设在我国西部高山。在雷达波长和架设海拔高度同东部平原地区的 10 cm S 波段新一代天气雷达都有较大差异<sup>[18]</sup>, 在前人利用 S 波段雷达在东部平原地区探测森林火灾的研究基础上, 利用收集的历史火灾个例, 整理出相对应时间段的 C 波段雷达基数据资料, 通过分析 3 次典型森林火灾个例, 结合其它个例, 提取云南高山新一代多普勒天气雷达探测森林火灾的特有回波指标, 提出雷达回波阈值, 形成 C 波段雷达特有的算法, 进而研制完成针对 C 波段的云南新一代天气雷达的火情自动识别预警软件系统。

## 1 森林火灾的雷达回波产生原理

森林火灾回波的产生, 一是燃烧的枝叶或燃烧时有导电介质的物质粒子对雷达电磁波的反射; 二是持续燃烧产生的大气湍流对雷达电磁波的散射。通常认为两种机制在雷达探测森林回波时一般都同时存在。

### 1.1 林火颗粒物对雷达电磁波的反射

林火发生时, 在合适(如晴空、干燥等)的天气条件下, 一般迅速发展, 在地面产生局部高温然后形成热对流柱, 把燃烧和未完全燃烧的树叶及小枝等抬升到较高的空中, 到达雷达所能探测到的最低高度后形成回波。林火产生的漂浮物一般是较大尺寸, 且形状极不规则, 是条形(小枝)、面型(小叶)等, 而不是雷达方程里假设的典型的球形物体, 其后向散射截面的计算就极其复杂, 需要很多实验才能研究得到其反射特性, 通常认为此种情况的回波形成强度较强, 是森林火灾回波的主要贡献。

### 1.2 大气湍流对电磁波的散射

林火发生后, 导致局地大气湍流的变化, 大气湍流介质对电磁波的散射已有较多的学者进行过研究<sup>[19]</sup>, 大气湍流回波信号主要是大气中折射指数的起伏对电磁波的散射所致。在局地均匀各向同性湍流的惯性子区内, 其单位体积的散射截面为:

$$Z = 0.38 C_n^2 \lambda^{-\frac{1}{3}} \quad (1)$$

式中:  $\lambda$  为入射电磁波的波长(m),  $C_n^2$  值为大气折射率结构常数( $\text{m}^{-\frac{2}{3}}$ ),  $Z$  的单位为  $\text{m}^{-1}$ 。  $C_n^2$  值的大小直接反映了大气对电磁波散射能力的强弱。

雷达能接收到由于林火抬升未被完全燃烧能被电磁极化的散射物的后向散射也会形成回波。探测识别火点的主要原理: 空中能产生雷达回波的主要有降水雨滴、晴空回波、地物回波、飞机和鸟的点杂波、雷达波反射的二次回波等, 根据以上 5 类回波各自反映在雷达回波上的不同特性, 采用文中介绍的不同方法逐一滤除, 之后剩下回波确定为疑似森林火灾回波。再根据文中介绍的高原高山地区森林火灾回波具有一定的上升特性(如文中个例 2 丽江市玉龙县的速度图有所反映)、不同海拔高度设置相应的识别指标、不同于平原地区的降水回波用 2 个体扫二次过滤(高原地区局地对流性降水较多), 就可滤出初步认定的森林火灾回波, 再加以判断。

## 2 资料和处理方法

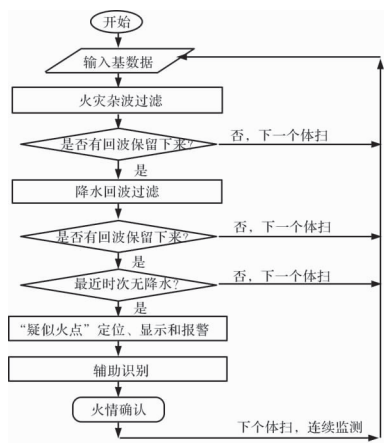
雷达基数据资料由我国气象部门业务布点在云南建设的 7 部 C 波段新一代天气雷达提供(图 1), 型号均是 CINRAD/CC(3830), 为 C 波段全相参脉冲多普勒雷达。该雷达具有天线增益高、波束窄、发射功率高、脉冲宽、灵敏度高、动态范围大

等特点。7 部雷达均是已投入全国气象业务组网运行的, 雷达资料格式、探测模式等参数均采用中国气象局规定标准的 VCP 降水观测模式和极坐标系存储, 取样时间间隔为 6 min 左右一次的连续体扫, 每体扫 14 层, 每层扫描有 512 条径向线, 每一个径向存储 Z、V、W 各 500 个数据。观测原始数据文件的数据记录从 1~14 层, 以极坐标方式, 按强度、径向速度和谱宽 3 个要素顺序排列, 从底层到高层存储, 每层每要素有 512 个径向数据, 每径向有 500 个库, 每库长 300 m。文中使用的是雷达体扫的原始基数据资料, 根据各库资料高度, 选取临近该高度平面的上下两个仰角的相临库上的数据, 采用九点平滑后插值得到 ZCAPPI(强度等高平面位置显示), 形成格点场资料, 各格点值为雷达反射率因子等数据。昆明雷达站区站号 Z9871 (102.57°E、25.05°N), 天线海拔高度 2 484.5 m; 普洱雷达站区站号 Z9879 (102.55°E、22.4°N), 天线海拔高度 1926.4 m; 德宏雷达站区站号 Z9692 (98.33°E、24.53°N), 天线海拔高度 2 073 m。森林火灾个例资料从各当地护林防火办收集。



图 1 7 部雷达位置分布及等射束图

雷达资料处理方法: 把极坐标系下的雷达反



射率体扫资料经九点平滑等质量控制后插值到统一的笛卡尔坐标系下的网格点上, 采用常规方法过滤晴空回波、过滤杂波超折射回波、过滤二次回波、过滤地物回波等方法, 再采用过滤降水回波、识别速度场回波等特殊方法, 得到滤出的疑似火灾烟尘回波。常规过滤回波方法前文献已有大量论述, 在此不再叙述。特殊方法主要是从森林火灾回波顶高度、厚度, 采用 2 个连续观测体扫数据进行降水回波过滤; 结合常规国家地面自动气象站风向风速和雷达观测的速度场判断回波移动方向等特征要素进行判别, 进而确定是否是火灾回波。

### 3 程序和算法

通常火灾雷达回波的空间尺度仅为降水回波的几分之一甚至小几个量级, 且混合在各种回波中, 难以被及早发现。通过读取经过上述质量控制处理后的雷达资料, 利用过滤降水回波; 过滤晴空弱回波; 过滤杂波; 过滤地物回波; 过滤二次回波等方法。然后剩下的回波初步判定为可疑火灾回波, 再根据不同回波特征采用不同距离库分别设置可调的阈值加以分类, 经分析总结, 初步选取设置晴空回波采用小于 10 dbz 并大于 27 000 距离库; 杂波判别采用 9 个库中 6 个无回波则判断为杂波; 降水回波控制在高于雷达天线一定高度; 地物回波采用径向速度绝对值小于 0.7 m/s 为阈值; 二次回波则采用相邻库径向速度绝对值差 2 m/s 加以过滤, 最后得到疑似火灾雷达回波。在此基础上自主编制了基于 C 波段新一代天气雷达的火情自动识别系统, 程序流程如图 2 所示。

程序通过: 过滤地物回波; 过滤晴空回波; 过滤二次回波; 过滤杂波; 过滤降水回波, 实现对森林火情进行自动识别、定位和报警, 系统提供每体扫一次的连续跟踪监测报警功能。

然而, 云南省地处低纬高原, 对流降水较多, 在分析云南森林火灾回波、降水回波和地物杂波等不同回波特征的基础上, 通过不断改进参数指标设置和软件编程完善森林火灾预警, 提出了针对云南高原地区天气特点、地形特征和高山雷达探测特殊性的云南 C 波段新一代天气雷达自动识别火情系统。



图 2 程序流程及森林火灾预警系统界面



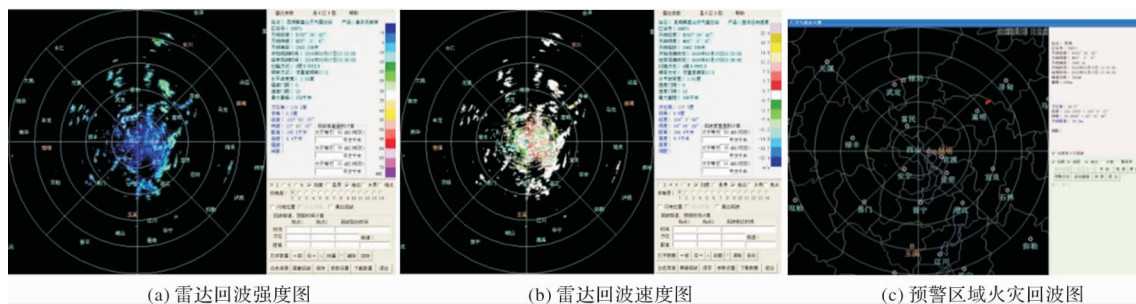


图3 2016年3月17日12:00昆明嵩阳凤凰山火灾报警图

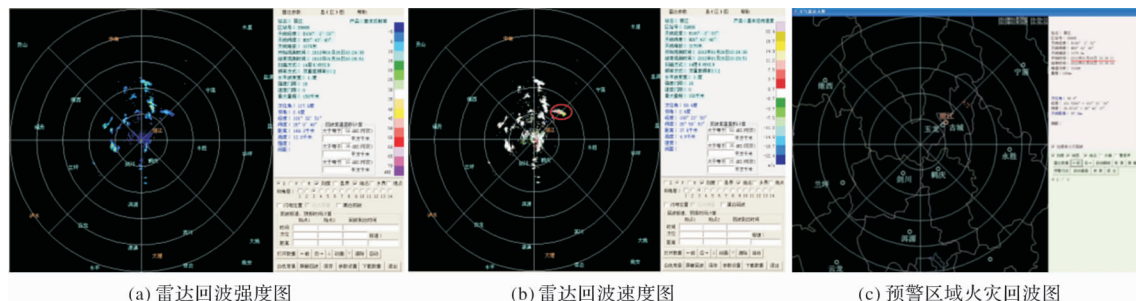


图4 2012年1月26日丽江玉龙县森林火灾雷达回波图

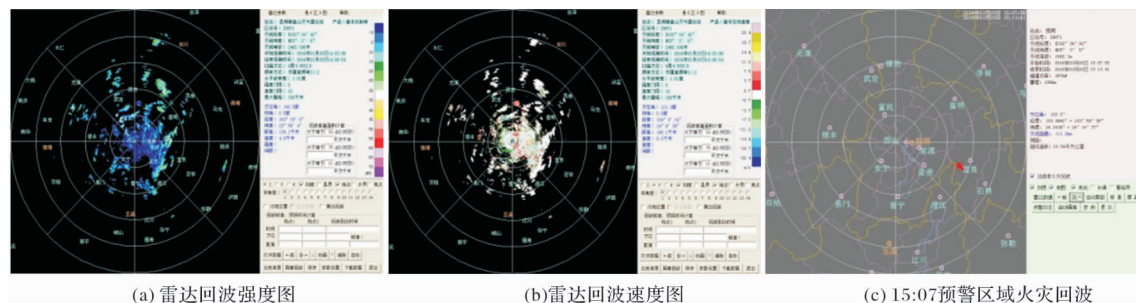


图5 2016年3月20日玉溪市澄江县梁王山森林火灾雷达回波图

## 4 个例检验分析

利用我们开发的软件系统对近年云南七部C波段新一代天气雷达监测的森林火灾个例的演变过程做分析。

### 4.1 昆明雷达个例1

灾情实况：2016年3月17日12时许，昆明市嵩阳镇凤凰山公墓因上坟起火，引起旁边的杂草起火。上坟人用水、树枝、木棍等物品，将火扑灭后返回墓地继续烧纸，约20 min后，在第一次着火地点再次起火，由于天干物燥风大，失火地点杂草丛生，导致火势迅速向路边箐沟林地蔓延，继而火势向寺脚村鸡嘴山延伸，烧至石灰冲国有林场，过火面积为5.06 km<sup>2</sup>，有林地面积4.32 km<sup>2</sup>，火势于3月18日凌晨4时许被扑灭。分析昆明雷达回波资料，在2016年3月17日13时左右的雷达回波图可以看到一点火灾回波，但混杂在其它回波中，很难分辨(图3a，图3b)。应

用森林火灾监测程序通过以上方法过滤掉这些杂波就能发现点状的火灾回波(图3c)，面积较集中，软件启动了，在火灾发生后的1 h左右，系统报警。经对比发现报警区域位于着火点东北方向20 km左右，在当时火灾的季节，自动站观测正是西南风，火灾的烟尘持续上升随着风向移动，达到雷达可监测高度，被发现。

此次过程说明，C波段新一代天气雷达具有一定的森林火灾探测能力；且灵敏度较高；引入速度场和地面自动站风向风速指标对提高森林火灾探测有一定效果。

### 4.2 丽江雷达个例

灾情实况：2012年1月26日10时左右，丽江市玉龙纳西族自治县白沙乡境内的玉龙雪山景区收费站附近干草坝一带，火场详细位置26°59'16.76"N、100°12'20.70"E，距丽江中心城区约15 km，离玉龙雪山主体山峰约有5 km距离。地点位于玉龙雪山进山口东北面，现场由于风势较大，火势难以控制。由于非汛期雷达观测时间从10点

开始, 10:30 左右雷达回波图上就有火灾报警, 雷达图上看到了明显的火灾烟尘回波(图 4c)。在雷达回波强度图 4a 上火灾回波特征并不明显, 难以同其它回波区分开; 雷达回波速度图 4b 上火灾回波特征就有一些特征(图 4b 中红圈区域), 可明显看出速度的不均匀性, 这是上述由于大气湍流和环境风场叠加的特征, 再加上火灾烟尘颗粒随机分布, 形成了速度回波的点分布和不均匀。经对比图 4c 烟尘回波面积与地面过火面积比较, 发现比较接近。

此次个例说明, 雷达高密度的观测数据较好的反映了火势的变化过程和过火面积情况, 这可为扑救指挥决策提供更及时全面的依据参考信息, 也能为森林火灾的灾后调查提供一定的科学数据支持。雷达监测较卫星、人工视频监控在这次个例中有一定优势, 且在近地面风较小时, 能够根据空中火灾烟尘回波面积粗略判断出地面火势的增强与减弱等变化情况。

#### 4.3 昆明雷达个例 2

灾情实况: 玉溪市澄江县梁王山林场鹿子箐, 2016 年 3 月 20 日 16:10, 云南省玉溪市澄江县梁王山林场突发森林山火, 火势借大风迅速扩散, 并于 17:10 蔓延到昆明市呈贡区新城林场交界, 直接威胁到昆明主城区安全, 形势十分危急。利用昆明雷达的回波资料对该过程进行回报检验, 发现在 2016 年 3 月 20 日 14:08 的雷达回波图就已发现点状火灾回波, 软件启动了报警, 在随后的 15:07 的雷达观测发现了面积较大的火灾回波(如图 5c)。这比报道发现森林火灾提前了约 2 h, 报道的时间是相关部门根据人工瞭望台报告时间确定的, 雷达探测森林火灾较人工瞭望台有时有一定提前。同时, 从 14:08(图 5c)一直到 16:10 的每一次体扫, 雷达均观测到了这次火灾的回波。人工视频在 16 时才发现火灾, 滞后约 2 h, 这可能是由于林火发生在人迹少至的高山林中, 加之高原山地遮挡较严重, 人工视频存在较多盲区, 难以及时发现, 这次个例反映雷达探测森林火灾有时较人工瞭望台有一定优势。

这次个例说明: 雷达监测同人工视频现场监测相比, 存在更少的遮挡盲区, 在时间和空间上有时会有优势; 且监测距离也较远, 人工视频监控通常在 30 km 以内, 雷达监测可达 100 km。这些都是有可能提前发现森林火灾的因素。这两点在其它几次个例也存在类似情况。

## 5 结语

由于 C 波段新一代天气雷达同 S 波段新一代天气雷达在雷达波长和架设海拔高度的不同, 在探测高度、灵敏度、探测距离、扫描模式、探测数据格式等方面产生了较大差异, 在前人利用 S 波段雷达在东部平原地区探测森林火灾的研究基础上, 利用收集的历史火灾个例, 整理相应的 C 波段雷达资料, 主要通过分析 3 次典型森林火灾个例, 结合其它个例, 提取云南高山新一代多普勒天气雷达探测森林火灾的特有回波指标, 提出雷达回波阈值, 形成 C 波段雷达特有的算法, 进而编程完成云南新一代天气雷达的火情自动识别预警软件系统。通过分析可以发现 C 波段新一代天气雷达同样对森林火灾有一定的探测能力。编程完成的 C 波段新一代天气雷达的森林火灾探测软件系统可与目前的卫星监测和人工视频监控等手段形成互补, 为指挥扑救森林火灾提供一定的技术支撑。总结出云南 C 波段新一代天气雷达森林火灾探测的一些指标主要有以下特点:

(1) 从时效性看雷达监测有时较卫星和人工视频监控有一定优势, 有时在近地面风较小时, 能够提前预警。在高原山地区域, 高山雷达通常在上午风速较小时, 雷达预警效果较好, 同时在下午风较大时误警率也较高。

(2) 由于 C 波段雷达的灵敏度较高, 探测到的速度场变化特征应是由于火灾烟尘回波存在上升运动造成大气湍流, 较周围环境场的颗粒物的移动方向有一些不同, 而反映出的速度场的差异变化, 这一指标对探测森林火灾准确性有明显改进。

(3) 根据空中火灾烟尘回波面积和烟尘回波顶高的变化, 有时可以较好的分析出地面火势的变化情况, 判断出火势的增强与减弱。

(4) 对于高原地区多发小尺度对流性降水特点, 降水回波过滤宜采用不同于平原地区的过滤方法, 即 2 个体扫二次过滤方法。

(5) 各高山雷达由于海拔高差较大, 探测的目标物高度也不同, 在设置识别指标参数时有一定的差别。应利用前期森林火灾资料进行回报检验, 根据不同雷达分别设置相应的指标参数。

**致谢:** 感谢顾万龙老师对研究做的悉心指导; 感谢云南省气象信息中心提供的雷达资料; 感谢云南各雷达站开展业务试验采集资料; 感谢护林防火部门提供的大力帮助。

## 参考文献:

- [1] 闫德民, 李庆阁. 我国森林火灾监测体系现状及展望[J]. 森林防火, 2017(3): 27-30, 54.
- [2] 黄宝华, 孙治军, 张华, 等. 潜在森林火险评估方法研究——以山东省为例[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 116-121.
- [3] 孙龙, 王千雪, 魏书精, 等. 气候变化背景下我国森林火灾灾害的响应特征及展望[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 12-17.
- [4] 杨光, 舒立福, 孙思琦, 等. 我国森林火灾中人员伤亡时空分布特征研究[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 21-25.
- [5] 武晋雯, 冯锐, 孙龙, 等. Himawari8 和 GF1 卫星的林火遥感监测[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 53-59.
- [6] 黄克慧, 谷风鸣, 赵放, 等. 森林火灾的 CINRAD-SA 雷达监测[C]//第 24 届中国气象学会 2007 年年会气象综合探测技术分会论文集. 青岛: 中国气象学会, 2007: 234-238.
- [7] 黄克慧, 周功铤, 谢海华, 等. 森林火灾的 CINRAD/SA 雷达监测[J]. 气象科学, 2007, 27(S1): 99-106.
- [8] 陈永林, 曹晓岗, 邵玲玲, 等. 上海一次重大火灾烟雾的雷达回波特征研究[J]. 气象科学, 2010, 30(1): 121-125.
- [9] 张深寿, 魏鸣, 赖巧珍. 两次火情的新一代天气雷达回波特征分析[J]. 气象科学, 2017, 37(3): 359-367.
- [10] 黄克慧, 朱景, 黄以平, 等. 基于多普勒天气雷达的火情自动识别系统[J]. 气象, 2013, 39(2): 241-249.
- [11] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 220-229.
- [12] 景号然, 谢晓琳, 郑伟, 等. 基于 SRTM 数据的天气雷达探测环境分析研究[J]. 气象, 2019, 45(6): 871-876.
- [13] 朱丹, 谷军霞, 师春香, 等. 新一代天气雷达布网设计的有效覆盖和地形遮挡分析[J]. 气象, 2018, 44(11): 1434-1444.
- [14] 于明慧, 刘黎平, 吴翀, 等. 利用相控阵及双偏振雷达对 2016 年 6 月 3 日华南一次强对流过程的分析[J]. 气象, 2019, 45(3): 330-344.
- [15] 张林, 杨洪平. S 波段 WSR-88D 双偏振雷达观测非降水回波识别方法研究[J]. 气象, 2018, 44(5): 665-675.
- [16] 李晓敏, 周筠珩, 肖辉, 等. 基于 X 波段双偏振雷达对雷暴单体中水成物粒子演变特征的研究[J]. 大气科学, 2017, 41(6): 1246-1263.
- [17] 梅焱, 胡志群, 黄兴友, 等. 青藏高原对流云的偏振雷达观测研究[J]. 气象学报, 2018, 76(6): 1014-1028.
- [18] 徐八林, 刘黎平, 徐文君, 等. 利用低仰角扫描改进高山雷达低层回波探测能力浅析[J]. 气象, 2008, 34(9): 28-33.
- [19] Gossard E E, Strauch R G. Radar Observation of Clear Air and Clouds[M]. Amsterdam; Elsevier, 1983.

## Warning System of C-band Weather Radar to Detect Forest Fires in Yunnan

XU Balin<sup>1</sup>, XIE Liyan<sup>1</sup>, LU Peng<sup>2</sup>, XU Shuyang<sup>3</sup>, CHEN Zhuo<sup>4</sup> and WANG Xin<sup>1</sup>

(1. Yunnan Meteorological Bureau, Kunming 650034, China; 2. Kunming Meteorological Bureau, Kunming 650503, China; 3. Chengdu University of Information Engineering, Chengdu 610225, China; 4. Puer Meteorological Station, Puer 665000, China)

**Abstract:** The collected forest fire cases in Yunnan province are analyzed and studied in combination with the corresponding data of 7 c-band weather radars of the new generation in yunnan province, and some specific indexes of c-band alpine radar of forest fire echo are obtained by referring to some thresholds of s-band weather radars of the new generation. The threshold according to the radar altitude are set. Due to the high wind speed in the plateau and alpine areas, the radar speed field is introduced and the wind speed discrimination index of the ground automatic station is combined. Some new indexes and methods, such as improved precipitation echo filtering method. Based on this, a program is designed to detect forest fire by radar, and a business application is developed. After continuous improvement and improvement, certain results are achieved, and the software system of forest fire detection for c-band new generation weather radar is realized. It is proved that c-band radar also has certain ability of detecting forest fire echo, and a new generation of c-band weather radar detecting forest fire is put forward.

**Key words:** Doppler weather radar; forest fire; fire identification monitoring; echo; terrain; Yunnan