

引用格式: Zhang Xiaoyun, Wei Ming, Pan Jiawen. Application of Fy-4 Lightning Data in Monitoring and Warning a Heavy Precipitation in Xiamen on May 7, 2018[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2019, 34(5): 1082-1090. [张晓芸, 魏鸣, 潘佳文. FY-4闪电资料在厦门强降水监测预警中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(5): 1082-1090.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2019.5.1082

FY-4闪电资料在厦门强降水监测预警中的应用

张晓芸¹, 魏 鸣¹, 潘佳文²

(1. 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044;

2. 厦门市气象服务中心, 福建 厦门 361012)

摘要: FY-4上的闪电成像仪(Lightning Mapping Imager, LMI)从静止轨道平台对视场覆盖范围内的闪电进行连续不间断的观测, 闪电资料为监测预警强对流天气提供了重要信息。为研究FY-4闪电资料监测预警强对流的能力, 以2018年5月7日厦门暴雨为研究个例, 利用FY-4闪电资料、FY-4亮温资料、厦门市自动气象站降水资料以及地面闪电定位网监测数据, 研究闪电数据在强降水监测预警中的应用。结果表明: FY-4闪电资料与地基闪电进行数据融合, 有效减少了地基与地基闪电产品各自数据的不完整性、不确定性和误差; 闪电的移动轨迹与对流云团的移动轨迹相符, 且在云团移动轨迹的前方; 温度梯度较大的区域和深对流内, 闪电强度较强; 闪电强度与雨强成正比, 且闪电频数峰值多出现在降水峰值前45 min左右。

关键词: FY-4静止卫星; 闪电成像仪; 闪电强度; 强降水; 数据融合

中图分类号: P457; TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2019)05-1082-09

1 引言

闪电即雷电作为强对流天气(雷暴)的产物之一, 是由带电荷的积雨云内部、云层与云层之间或云层与大地之间产生的一种长距离瞬间放电现象, 具有瞬态大电流、高电压、强电磁辐射等特征, 能产生强烈的发光和发声现象。研究表明, 强对流过程的不同发展阶段, 闪电活动总体上超前强对流中心^[1]。强烈的闪电活动与强降水有很好的对应关系, 而与一般性降雨对应关系较差^[2]。闪电监测预警已成为气象服务中的一种必要手段, 加强闪电资料在灾害性天气监测预警中的应用, 具有重要意义。

目前有许多研究关注闪电活动和强对流与强降水的相关性及特征。Holle等^[3]对4个中尺度对流系统(Mesoscale Convective System, MCS)地闪分布的研究发现, 风暴生成后几个小时出现地闪频

数的峰值, 在成熟阶段正地闪比例增加, 在消散阶段负地闪频数急剧下降。顾媛等^[4]通过对南京一次雷雨的分析, 发现负地闪密集区位于雷达强回波核前方强度为40~45 dBZ区域处, 对于回波的未来移向有指示作用。孙哲等^[5]通过对春季与夏季两次雷暴的研究发现, 地闪主要分布在强回波区(大于40 dBZ)及其外围区域。Scott等^[6]研究美国中南部地区夏季云地闪与降水的关系, 发现地闪与地面降水的相关性较高。刘显通等^[7]研究表明, 引入云顶红外亮温信息后, 降水云的识别能力相较仅采用光学厚度和有效半径信息有了明显的提高。刘延安等^[8]基于FY-2高分辨率卫星云图对云团位置进行预报时, 发现采用云团质心较最低亮温中心更为优越。肖笑等^[9]根据像元在红外-水汽散点图中的分布特性识别强对流云, 发现相对于亮温阈值法, 此方法

收稿日期: 2018-09-07; 修订日期: 2019-07-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41675029), 国家重点基础研究发展计划973项目(2013CB430102)。

作者简介: 张晓芸(1995—), 女, 江苏苏州人, 硕士研究生, 主要从事大气遥感研究。E-mail: 470302152@qq.com。

通讯作者: 魏 鸣(1957—), 女, 天津人, 教授, 主要从事大气遥感研究。E-mail: mingwei@nuist.edu.cn。

能够较好地地区别卷云和强对流云,也能更有效地识别未达到旺盛阶段的对流云。

目前国内建立了密集的雷电监测站网,而地面站点虽能较准确地对附近发生的闪电进行定位和计数,但站点分布受限于地面环境,很难给出全面的闪电分布图像,卫星观测则弥补了这方面的不足。美国发射了光学瞬闪探测仪(Optical Transient Detector, OTD)和闪电成像仪(Lightning Imaging Sensor, LIS)^[10],其数据是现在应用最广泛的闪电数据。但受限于低轨卫星周期,闪电探测能力不足。我国的静止轨道卫星风云4号(FY-4)于2016年12月11日发射,首次在静止轨道卫星上搭载了闪电成像仪(Lightning Mapping Imager, LMI),它克服了探测周期的限制,可以从静止轨道平台对视场覆盖范围内的闪电进行连续不间断的观测。

将FY-4的闪电监测产品与地基闪电数据融合,以2018年5月7日福建厦门市暴雨为例,结合FY-4亮温资料、厦门市自动气象站降水资料,研究闪电资料在强降水监测预警中的应用。

2 研究区域和数据

2.1 研究区域

厦门位于 $24^{\circ}23'\sim 24^{\circ}54'N$ 、 $117^{\circ}53'\sim 118^{\circ}26'E$,在福建省东南端,属于亚热带海洋性季风气候,年平均降雨量在1 200 mm左右,每年5~8月份雨量最多,风力一般3~4级,常向主导风力为东北风。受太平洋温差气流的影响,平均每年受4~5次台风的影响,且多集中在7~9月份。

2.2 风云4号卫星数据

FY-4在2016年12月11日0时11分于西昌卫星发射中心升空,其在轨状态如图1所示,它采用三

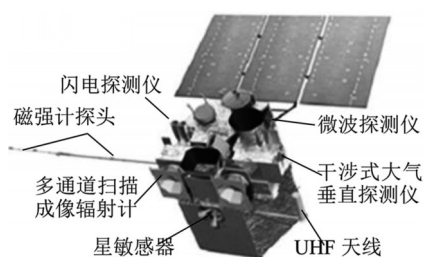


图1 FY-4号卫星在轨状态

Fig.1 FY-4 satellite on-orbit

轴稳定控制方案,将接替自旋稳定的风云二号(FY-2)卫星,其上搭载了多通道扫描成像辐射计(Advanced Geo Radiation Imager, AGRI)、闪电成像仪(Lightning Mapping Imager, LMI)及干涉式垂直探

测仪(Geo Interferometric Infrared Sounder, GI-IRS)。FY-4的成功发射不仅意味着中国未来的天气监测与预报预警将更为准确,而且也代表着中国在气象卫星这一高端领域已经达到世界先进水平。

AGRI的成像通道共有14个,其各波段波长、空间分辨率及主要用途如表1所示。这14个波段覆盖了可见光、短波红外、中波红外和长波红外等波段,星上辐射定标精度0.5 K,灵敏度0.2 K,可见光空间分辨率0.5 km,红外空间分辨率2 km。GI-IRS有912个通道,光谱分辨率0.8 cm,可高精度定量探测垂直方向上大气结构。LMI在地球静止轨道高度对中国大陆及其周边领域的闪电进行观测,由我国首创。它通过探测777.4 nm中性氧原子近红外吸收谱线的闪电光辐射实现闪电定位^[11],其性能指标如表2所示。

闪电监测产品考虑了中国地区闪电分布特征,参考同步观测的卫星云检测和云相态产品中的云类型识别等信息,提高了闪电产品定位精度。相较于TRMM卫星上搭载的闪电成像仪(Lightning Imaging Sensor, LIS),其不受轨道周期的限制,具有全天候连续不断观测的优点,提供了覆盖范围广、时间分辨率高的总闪分布数据。

使用2018年5月7日上午10点到下午2点LMI L2级1分钟定量产品,与成像仪AGRI 4 km分辨率L1级数据(来源:<http://satellite.nsmc.org.cn>),全圆盘成像仪数据时间分辨率为15 min,中国区域时间分辨率为5 min,由于部分时间段有缺测,用全圆盘与中国区域数据互为补充。

2.3 自动站降水数据

选用福建厦门市2018年5月7日10:00~15:00地面自动站降水数据,为与AGRI成像仪数据时间分辨率匹配,将15 min累计降水量,通过空间插值获取降水分布数据。

3 研究方法

3.1 地基闪电数据与LMI数据融合

将天基和地基闪电数据融合,融合后的数据相较于单一信息源,信息更为丰富;且能提高时间和空间分辨率,提高图像整体质量和综合分析精度。

融合的实质在统一地理坐标系中将对同一目标检测的多源数据采用一定的算法,生成新的、更能有效表示该闪电目标的图像信息。融合流程如图3所示。

表 1 AGRI各波段波长、空间分辨率及主要用途^[12]
Table 1 Wavelength, spatial resolution and main uses of each band of AGRI^[12]

波段	波长/ μm	空间分辨率/km	通道主要用途
1	0.47	1~2	小粒子气溶胶,真彩色合成
2	0.65	0.5~2	植被,图像导航配准恒星观测
3	0.83	1~2	植被,水面上空气溶胶
4	1.37	2	卷云
5	1.61	2	低云/雪识别,水云/冰云判识
6	2.22	2~4	卷云、气溶胶,粒子大小
7	3.72(高)	2	云等高反照率目标,火点
8	3.72(低)	4	低反照率目标,地表
9	6.25	4	高层水汽
10	7.10	4	中层水汽
11	8.50	4	总水汽、云
12	10.8	4	云、地表温度等
13	12.0	4	云、总水汽量,地表温度
14	13.5	4	云、水汽

表 2 FY-4上搭载的LMI的性能指标^[12]
Table 2 LMI performance indicators on FY-4^[12]

空间分辨率	7.8 km(星下点)
探测器规模	400×300×2
中心波长	777.4 nm
带宽	1 nm±0.1 nm
探测率	>90%
虚警率	<10%
动态范围	>100
信噪比	>6
帧频	2 ms
量化等级	12 比特
测量误差	10%

具体的融合方法为:

(1)空间格点预处理,在FY-4的观测区域,按直角坐标划分格点,将天基和地基闪电定位仪数据,通过最小距离法插值到每个格点上。

(2)时间步长预处理,将观测区域内每个格点的两种数据,均按15 min的时间步长处理。

(3)将来自FY-4的L2级闪电产品,与来自地基闪电定位仪数据,按格点叠加,作为融合的数据。即无论来自地基和天基,只要发生闪电,都记为有效数据。采用逻辑的“或运算 \vee ”: $0 \parallel 0 = 0$; $1 \parallel 0 = 1$; $0 \parallel 1 = 1$; $1 \parallel 1 = 1$ 。

3.2 闪电与对流的相关性

3.2.1 闪电时空变化与对流的相关性

将研究区域内的传感器AGRI波段12亮温数据通过线性插值,得到 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 的亮温数据。叠

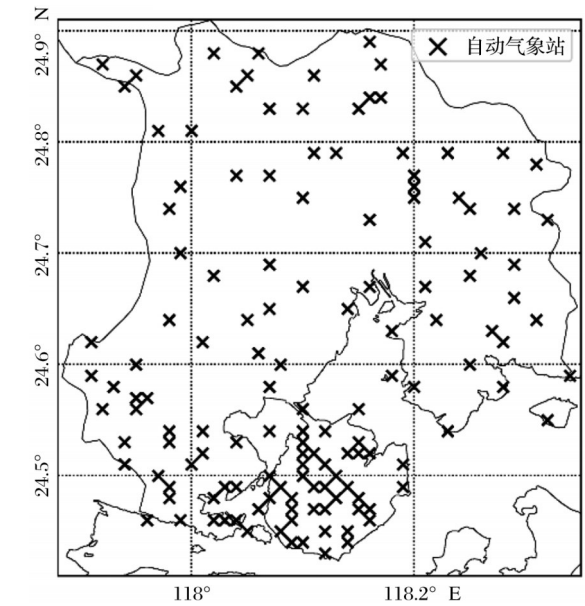


图 2 厦门市 169 个气象站点分布
Fig.2 The distribution of 169 auto-weather stations in Xiamen

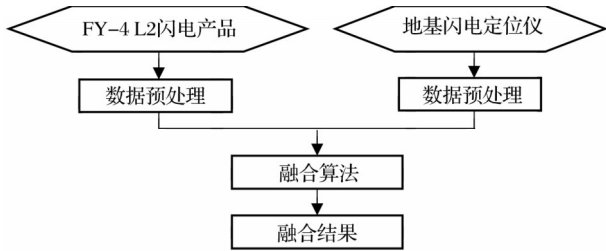


图 3 地基天基闪电数据融合流程图
Fig.3 Flowchart of fusion for ground-based and satellite-based lightning data

加融合后的闪电数据。

大量文献^[13-20],将红外亮温(TBB) $\leq -52^\circ\text{C}$ (221 K)作为深对流的发生的时间,以此为阈值,获取二值图像,即 $\text{TBB} \leq 221\text{ K}$ 为有深对流,取值1, $\text{TBB} > 221\text{ K}$ 的像元取值0。对二值图使用Canny算子进行边缘检测,梯度阈值选用0.5,计算公式如下:

$$\nabla^2 f(x,y) = f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4f(x,y)$$

其中: $\nabla^2 f(x,y)$ 为处理后像素 (x,y) 处的灰度值, $f(x,y)$ 为具有整数像素坐标的输入图像。提取云团轮廓及云团中心,以15 min为时间步长,可得云团移动轨迹。

将闪电数据叠加到云图上,分析闪电移动轨迹与云团移动轨迹的相关性。

3.2.2 闪电强度与对流强度的相关性

取10:00~14:00为研究时段,此时段内时间步长为15 min的闪电频次或空间分布的密集度越高,表示闪电强度大。利用红外TBB的不同温度阈值判断对流的的不同阶段, $TBB \leq 265$ K,作为对流的初始阶段^[13-20];当 $TBB \leq 221$ K时,作为深对流云团;分析闪电强度和对流强度变化的关系。

3.3 闪电与强降水的相关性

将厦门市自动气象站15 min累计降水量进行空间插值处理,得到 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 的降水分布,叠加相应时段闪电数据,分析其时空变化的相关性。统计不同时段闪电频数,与站点峰值降水,分析闪电强度和雨强的相关性。

4 应用实例

4.1 天气过程

2018年5月7日厦门市发布了自莫兰蒂后首个红色预警,受西南暖湿低空急流及冷空气共同影响,厦门岛南部、翔安区南部出现特大暴雨天气。7日08:00至8日08:00全天累计降水分布如图4所示,降水时段主要集中在10:00~15:00,站点平均雨量为62.8 mm,最强1小时降雨量为107.5 mm,打破小时雨强历史记录,为历史罕见。此次降水呈现分布不均,时段集中,雨强大,累积雨量大的特点。降水主要集中在厦门市南部思明区,最强降水量为319.5 mm,出现在思明区滨海街道科技中学站。强降水带呈西南-东北向,降水量总体分布越往西北方向越少,最少站点降水量为19.7 mm,出现在同安区莲花镇后埔村站。

4.2 闪电数据融合结果分析

取 $24.41^\circ \sim 24.91^\circ$ N, $117.88^\circ \sim 118.35^\circ$ E为厦门

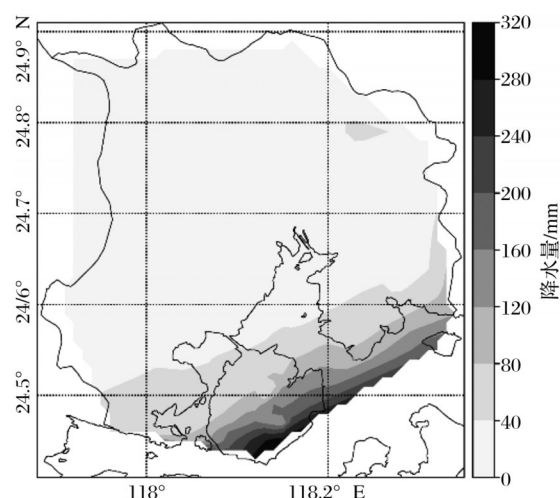


图4 福建省厦门市5月7日强降水分布

Fig.4 Distribution of heavy precipitation in Xiamen, Fujian Province on May 7th

市经纬度范围,绘制均匀经纬网格,将2018年5月7日10:00~15:00时间段内地基闪电计数器传感器LMI获取的闪电产品插值到网格上,进行计数统计,结果分别如图5(a)和5(b)所示。图5(c)为融合后的闪电分布,其丰富了信息,明显减少了天基与地基闪电产品各自天基与地基闪电产品各自数据的不完整性,增强了闪电的动态监测能力,提高了图像整体质量和综合分析精度。

4.3 闪电与对流相关性分析

4.3.1 提取深对流移动路径

选取厦门市2018年5月7日10:00~14:00时段AGRI成像仪波段12(波长 $10.8 \mu\text{m}$)的数据,它反映了目标物的亮度温度。取亮温(TBB)221 K为阈值, $TBB \leq 221$ K为有云,取值1, $TBB > 221$ K的像元取值0,获得二值图。

利用Canny边缘算子提取深对流云团的轮廓与

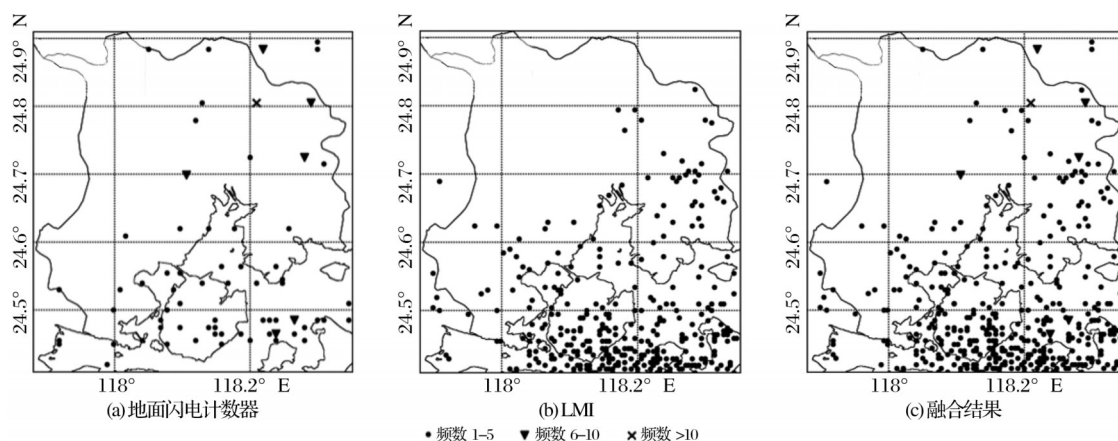


图5 天基与地基闪电数据融合结果

Fig.5 The result of fusion for ground-based and satellite-based lightning data

云团中心,以15 min为时间步长,绘制出云团的移动路径,如图6所示,云团整体向东移动,在厦门市西南方向存在着一些较小的对流泡,后期与深对流合并。

4.3.2 闪电与深对流相关性

在卫星影像上叠加闪电数据,如图7所示。外圈轮廓为对流云轮廓,取阈值 $TBB \leq 265$ K,内圈轮廓为深对流云团轮廓,取阈值 $TBB \leq 221$ K。闪电

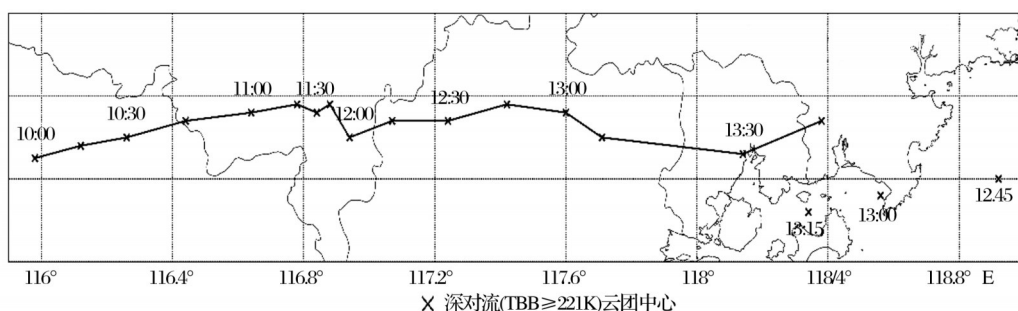


图6 云团中心移动路径

Fig.6 The moving path of the cloud center

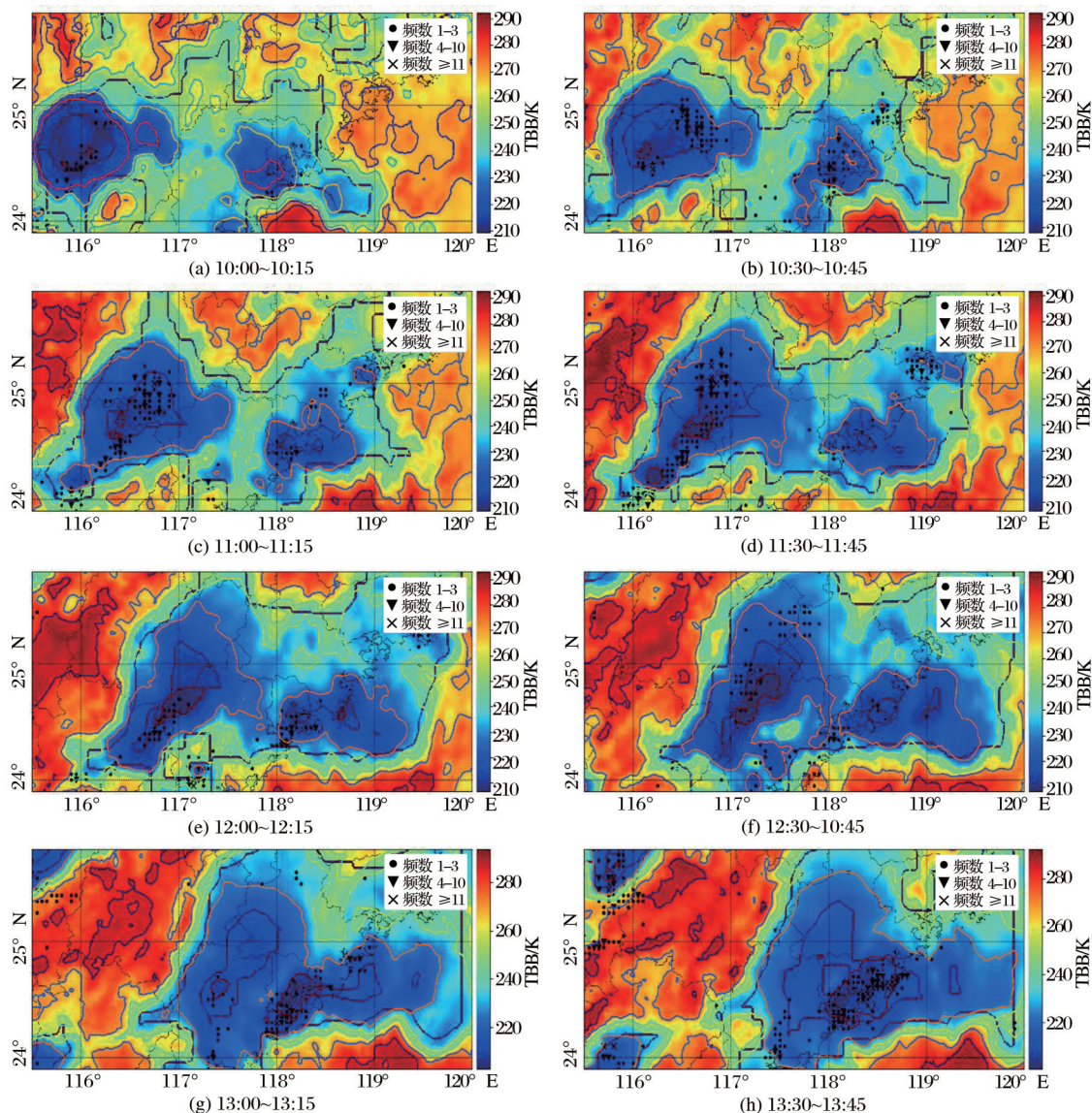


图7 对流云团与闪电移动过程

Fig.7 The moving route of convection and lightning

的分布与流云位置($TBB \leq 265 \text{ K}$)有较好的一致性,其移动路径与对流云团移动路径一致,且闪电强中心多超前强对流中心约 15 min。闪电高密度区域多出现在深对流和温度梯度较大的区域内。闪电强度与对流强度呈正相关性。

4.4 闪电与暴雨监测预警

2018年5月7日的闪电监测数据表明,此次暴雨天气过程中,从7日10:00~15:00,厦门市总共发生闪电次数为530次,15 min降水量空间分布与闪电分布情况如图8所示。站点降水峰值与闪电频数在时间段上的分布情况如图9所示。

在上午 10:00 闪电频数只有 2 次/15 min, 而此时降水量不足 10 mm, 在 10:15 以后, 闪电频数迅速增加, 在 10:45 到达峰值 62 次/15 min, 45 min 后, 站

点峰值降水量出现在思明区滨海街道科技中学, 15 min 累计降水量达 77.5 mm, 而此时的闪电频数只有 3 次/15min。而后闪电频数开始回落, 直到 11:45 出现一个小峰值, 频次为 42 次/15 min, 45 min 后, 在思明区滨海街道科技中学站降水量出现第二个峰值, 为 74 mm, 此时闪电频数仅为 8 次/15 min。此后闪电频数开始回升在 13:45 出现第三个峰值, 频次为 62 次/min, 站点峰值降水量出现在 15min 前, 为 66.8 mm, 站点为思明区莲前街道城市学院站。14:00 以后闪电频数随降水量缓慢增加, 在 14:45~15:00 时段内, 降水量达谷值, 仅为 0.7 mm, 此时闪电频数为 12。整体上, 闪电发生地点与降水峰值地点基本一致, 而闪电的频数峰值出现在站点降水峰值的约 45 min 前, 闪电强度与降水

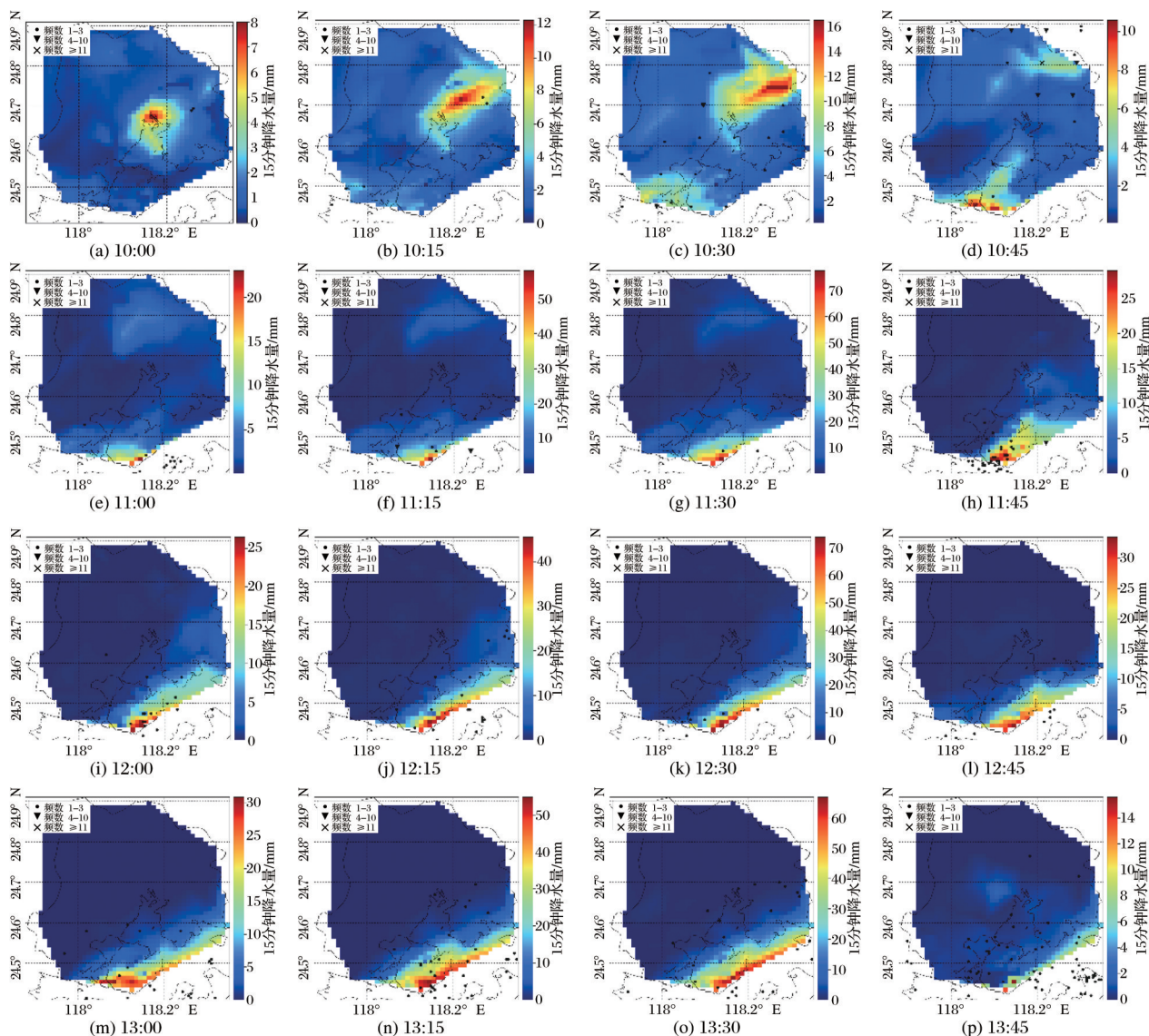


图8 厦门市降水量空间分布与闪电分布

Fig.8 Distribution of precipitation and lightning in Xiamen

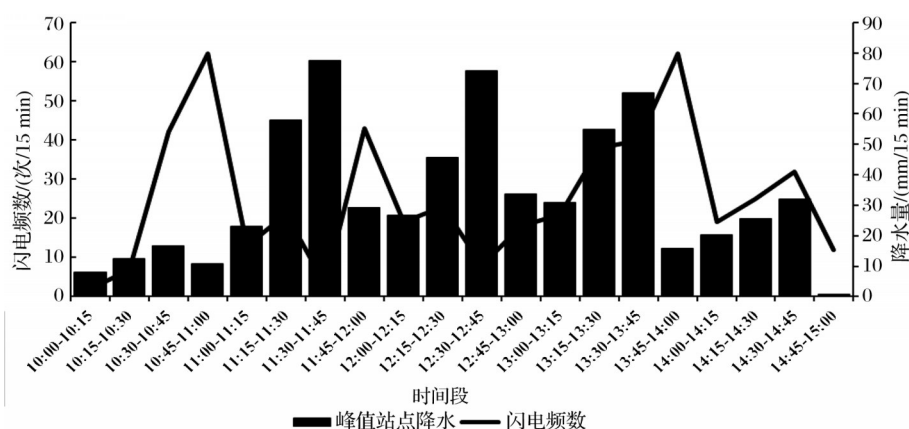


图9 各时段闪电频数与站点峰值降水量

Fig.9 Lightning frequency and peak station precipitation in each period

强度基本呈正相关。

5 结 语

以2018年5月7日厦门暴雨为研究个例,利用FY-4闪电资料、FY-4亮温资料、厦门市自动气象站降水资料、地面闪电定位网监测数据,研究闪电数据在强降水监测预警中的应用。结果表明:

(1) FY-4闪电资料与地基闪电进行数据融合,融合后的数据相较于单一信息源,信息丰富,有效减少了地基与地基闪电产品各自数据的不完整性、不确定性和误差,且提高了闪电数据的时间和空间分辨率,增强了闪电的动态监测能力,提高了图像整体质量和综合分析精度。

(2) 闪电的分布与流云位置($TBB \leq 265 K$)有较好的一致性。其移动路径与对流云团移动路径一致,且闪电强中心多超前强对流中心约15分钟。闪电高密度区域多出现在深对流和温度梯度较大的区域内。闪电强度与对流强度呈正相关性。

(3) 整体上,闪电发生地点与降水峰值地点基本一致,而闪电的频数峰值出现在站点降水峰值的约45 min前,闪电强度与降水强度基本呈正相关。

参考文献(References):

- [1] Huang Yangang, Gu Songshan, Yang Caiwen, *et al.* Analysis on the Lightning Characteristics of a Severe Convection Event[J]. Guangdong Meteorology, 2007(3):7-10.[黄延刚,顾松山,杨才文,等.一次强对流过程中的闪电特征分析[J].广东气象,2007(3):7-10.]
- [2] Zhang Yijun, Hua Guiyi, Yan Muhong, *et al.* The Correlation Analysis of Electric Activity, Convection and Precipitation in Convective Cloud and Stratus[J]. Plateau Meteorology, 1995,14(4):13-22.[张义军,华贵义,言穆弘,等.对流和层状云系电活动、对流及降水特性的相关分析[J].高原气象,

1995,14(4):13-22.]

- [3] Holle R L, Watson A I, López R E, *et al.* The Life Cycle of Lightning and Severe Weather in a 3-4 June 1985 PRE-STORM Mesoscale Convective System[J]. Monthly Weather Review, 1994, 122(8):1798.
- [4] Gu Yuan, Wei Ming. The Case Study of Thunderstorm with Lightning Characteristic and Multi-scale Data[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2013, 33(2):146-152.[顾媛,魏鸣.南京一次雷雨的闪电特征与多尺度资料分析[J].气象科学,2013,33(2):146-152.]
- [5] Sun Zhe, Wei Ming. Influence Factors Comparing of Thunderstorm between Spring and Summer in Nanjing[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2016, 39(2):260-269.[孙哲,魏鸣.春季与夏季两次雷暴大气结构及地闪特征对比[J].大气科学学报,2016,39(2):260-269.]
- [6] Scott C S, John F G, and Richard E O. Warm Season Cloud to Ground Precipitation Relationships in the South-central United States[J]. Weather and Forecasting, 1997: 12(3):449-458.
- [7] Liu Xiantong, Liu Qi. Study on the Abilities of Discrimination Precipitation from Infrared Brightness Temperature and Cloud Parameters Information[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(1):1-11.[刘显通,刘奇.红外亮温和云参数信息对降水识别能力的研究[J].遥感技术与应用,2013,28(1):1-11.]
- [8] Liu Yan'an, Wei Ming, Gao Wei, *et al.* Short-term Automatic Forecast Algorithm of Severe Convective Cloud Identification Using FY-2 IR Image[J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16(1):79-92.[刘延安,魏鸣,高伟,等.FY-2红外云图中强对流云团的短时自动预报算法[J].遥感学报,2012,16(1):79-92.]
- [9] Xiao Xiao, Wei Ming. Study on the Detection and Evolution of Intense Convective Cloud with Data from the FY-2E VISSR Infrared and Water Vapor Bands[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2018, 41(1):135-144.[肖笑,魏鸣.利用FY-2E红外和水汽波段对强对流云团的识别和演变研究[J].大气科学学报,2018,41(1):135-144.]

- [10] Zhang Yijun, Meng Qing, Ma Ming, *et al.* Development of Lightning Detection Technique with Application of Lightning Data[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2006(5): 611-620.[张义军, 孟青, 马明, 等. 闪电探测技术发展和资料应用[J]. 应用气象学报, 2006(5): 611-620.]
- [11] Cao Dongjie, Lu Feng, Zhang Xiaohu, *et al.* Application of FY-4 Lightning Detection Product in Severe Convection Weather Monitoring[J]. Satellite Application, 2018(11): 18-23.[曹冬杰, 陆风, 张晓虎, 等. 风云四号卫星闪电探测产品在强对流天气监测中的应用[J]. 卫星应用, 2018(11): 18-23.]
- [12] Zhang Peng, Guo Qiang, Chen Boyang, *et al.* The Chinese Next-Generation Geostationary Meteorological Satellite FY-4 Compared with the Japanese Himawari-8/9 Satellites[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2016, 6(1): 72-75.[张鹏, 郭强, 陈博洋, 等. 我国风云四号气象卫星与日本 Himawari-8/9 卫星比较分析[J]. 气象科技进展, 2016, 6(1): 72-75.]
- [13] Fei Zengping, Wang Hongqing, Zhang Yan, *et al.* MCS Identification and Tracking based on Geo-satellite IR Images[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2011, 22(1): 115-122.[费增坪, 王洪庆, 张炎, 等. 基于静止卫星红外云图的 MCS 自动识别与跟踪[J]. 应用气象学报, 2011, 22(1): 115-122.]
- [14] Duan Lian, Guo Gengchang. Research on Method for MCS Automatic Identification and Tracking based on FY Satellite Cloud Image[J]. Electronic Science and Technology, 2016, 4: 116-119+126.[段炼, 郭庚常. 风云卫星云图自动识别追踪 MCS 的方法[J]. 电子科技, 2016, 4: 116-119+126.]
- [15] Shu Yu, Pan Yinong. Self-identification of Mesoscale Convective System from Satellite Infrared Imagery[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences Edition), 2010(3): 337-348.[束宇, 潘益农. 红外云图上中尺度对流系统的自动识别[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2010(3): 337-348.]
- [16] Huang Yong, Liu Huijuan, Zhai Jing, *et al.* FY-2E Convective Cloud Detection Method based on Multi-thresholds[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014, 29(6): 915-922.[黄勇, 刘慧娟, 翟菁, 等. 基于多阈值的 FY-2E 对流云识别方法[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(6): 915-922.]
- [17] Qin Danyu, Fang Zongyi. Research Progress of Geostationary Satellite-based Convective Initiation[J]. Meteorological Monthly, 2014, (1): 7-17.[覃丹宇, 方宗义. 利用静止气象卫星监测初生对流的研究进展[J]. 气象, 2014(1): 7-17.]
- [18] Qin Wei. Analysis of Severe Convection Weather in Southeast Coast and Research of the Lightning Nowcasting[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2016.[秦微. 广东省强对流天气过程分析及闪电临近预警研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.]
- [19] Bu Junwei, Zhang Liang, Tian Kun. Analysis of Meteorological Satellite Data of a Lightning Processes in 2009 Summer in Sichuan[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2015, 35(3): 68-72.[卜俊伟, 张亮, 田琨. 2009 年四川夏季强雷电过程的气象卫星资料分析[J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(3): 68-72]
- [20] Zhang Qin, Zhang Xiao, Gou Aning, *et al.* Analysis of Lightning Characteristics of Mesoscale Convective System in Two Strong Convective Weather in Shandong Province[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(28): 6-14.[张琴, 张晓, 苟阿宁, 等. 山东两次强对流天气中尺度对流系统的闪电特征分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(28): 6-14.]

Application of FY-4 Lightning Data in Monitoring and Warning a Heavy Precipitation in Xiamen on May 7, 2018

Zhang Xiaoyun¹, Wei Ming¹, Pan Jiawen²

(1. Collaborative Innovation Center for Weather Disaster Prediction and Assessment, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;
2. Xiamen Meteorological Service Center, Xiamen 361012, China)

Abstract: Research shows that lightning activity is generally ahead of the strong convection center, and strong lightning activity has a good correspondence with heavy precipitation. It is of great significance to apply lightning data in severe weather monitoring on a large scale. A dense network of lightning monitoring stations has been established in China at present, it provides accurate location and frequency of lightning that occurs nearby. But it's difficult to give a comprehensive lightning distribution image, due to the limit of ground environment. In the field of view from the static orbit platform, the Lightning Mapping Imager (LMI) on FY4 makes up for the lack of ground monitoring and provides important information for severe convective weather monitoring while mak-

ing continuous and uninterrupted observation of lightning. Taking the rainstorm in Xiamen on May 7, 2018 as a case study, FY-4 bright temperature data, automatic weather station precipitation data and the fusion data of FY-4 lightning data and ground lightning location network data are used to analyze the application of lightning data in monitoring and warning heavy precipitation. The study shows that data fusion of FY-4 lightning data and ground lightning can effectively reduce the incompleteness, uncertainty and error of the respective data of the both. The moving track of lightning is consistent with that of convective cloud, and the former always lies ahead of the latter. The intensity of lightning is stronger in deep convection and areas with large temperature gradient, and it is positively proportional to the intensity of rain. The peak frequency of lightning mostly occurs about 45 minutes before the peak of precipitation.

Key words: FY-4 stationary satellite; Lightning mapping imager; Lightning intensity; Heavy precipitation; Data fusion