

基于卫星和雷达的融合雷达反射率方法研究及其在台风“烟花”观测中的应用

李超, 庄潇然, 马晨, 郭晞

(江苏省气象台, 江苏 南京 210008)

摘要: 发展了一种融合葵花8号气象卫星和S波段双偏振天气雷达数据的雷达反射率融合方法,并将其应用在2021年7月超强台风“烟花”的观测分析中。研究表明:基于模糊逻辑分类器的质量控制方法能够有效剔除江苏省S波段双偏振天气雷达中存在的非气象杂波。卫星反演得到的雷达反射率可以很好地反映台风“烟花”登陆前后的云系特征和风眼位置,反射率高值区分别位于风眼周围及其北侧的外围螺旋雨带处,与风场高值区存在很好的对应关系。卫星和雷达的融合反射率结果在陆地上与雷达结果更相近,较纯卫星反演结果能更准确地描述陆地的降水云系,且在海陆交界处没有明显的不连续边界出现。卫星和雷达的融合反射率结果还能够较好地描述27日台风“烟花”登陆减弱(云顶降低)时以及28日台风引发飑线的降水云系的特征。

关键词: 台风“烟花”;气象卫星;双偏振天气雷达;反射率;融合

中图分类号: P714^{+.2} **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)05-0084-10

1 引言

受季风气候背景和城市化进程下沿海下垫面复杂环境的影响,江苏省沿海及离岸海区致灾强对流天气频发。例如,以2021年4月30日南通大风和登陆台风“烟花”造成的短时强降水为代表的灾害性强对流天气给社会经济和人民群众生命财产安全带来严重威胁。受限于匮乏的海上观测条件,目前气象业务中始终缺乏针对海上强对流天气的有效监测和预报预警手段^[1-2]。

近年来,随着我国气象现代化的持续推进,双偏振天气雷达和静止气象卫星等新型遥感探测资料在业务上逐渐得到了应用。天气雷达是监测强对流天气的主要工具^[3-4],能够通过发射和接收电磁波对空中的云雨进行描述,即利用雷达反射率因子判断对流云团的位置、形态和强度等特征。截至

2021年底,江苏省气象部门已完成7部S波段双偏振天气雷达的改造升级。与传统的单偏振雷达相比,双偏振天气雷达的空间探测精度更高,而且可以提供对降水粒子特征的描述^[5-7]。但是,当前双偏振天气雷达数据质量偏低,以雷达反射率因子为例,其中存在的大量非气象回波影响了双偏振天气雷达在业务和科研中的应用^[4,8]。近几年,许多基于双偏振天气雷达数据的气象回波和非气象回波分类算法被开发出来。各类算法的原理大同小异,通常是采用某种聚合方法将双偏振特征进行综合并得出最终的分类结果。这当中较为前沿的是TANG等^[9-10]提出的基于决策树的分类器和KRAUSE^[11]提出的考虑偏振量纹理的MetSignal方法。分类器是以雷达偏振参量数据和气象数据作为输入,将偏振参量中的相关系数滤波器作为主要判据,其他一系列特殊气象回波(例如冰雹、非均匀填充以及融化层等)和非气象

收稿日期: 2021-11-29; 修回日期: 2021-12-27。

基金项目: 国家自然科学基金项目(42105008);江苏省气象局重点项目(KZ201901);江苏省气象局科研项目(KQ202211);南京气象科技创新研究院北极阁开放研究基金(BJC202103)。

作者简介: 李超(1984-),男,正研级高级工程师,硕士,主要从事海洋气象预报技术研究。E-mail: qwerlc@163.com

通讯作者: 庄潇然(1991-),男,工程师,博士,主要从事海上强对流监测与预报技术研究。E-mail: zxrz3212009@163.com

回波(例如具有较高相关系数的地物回波)相组合作为次要判据,进而实现气象回波和非气象回波的分类输出。MetSignal方法则是基于模糊逻辑原理,通过综合考虑雷达反射率、径向速度、差分相关系数以及各自的纹理特征来构建模糊逻辑矩阵,并对非气象回波进行剔除。但上述两种方法在江苏省双偏振天气雷达中是否适用仍有待验证。

天气雷达对海区的覆盖范围有限,而气象卫星则能够很大程度地弥补海区常规观测匮乏以及雷达探测范围有限的不足,为实现海区强对流的有效监测和预警提供更多可能。有别于天气雷达,卫星通过搭载成像仪自上而下对云进行观测从而实现了对对流云特征的描述,在对流初生和定量降水估测等领域已得到广泛应用^[12-14]。但从预报业务角度来说,无论是可见光图像、红外窗区通道亮温还是其他多光谱通道信息产品均多用主观观测进行识别,难以形成与雷达反射率等价或类似的量化概念(如反射率大于 15 dBZ 通常被认为会产生降水,大于 35 dBZ 则被认为会产生对流性天气)。考虑到卫星红外亮温与雷达反射率具有相近的特征^[15-16],DUAN 等^[17]发展了一种基于人工智能的将葵花 8 号(Himawari-8)气象卫星多通道数据等价转换为雷达反射率的方法,通过与地面雷达探测结果进行对比,证明卫星反演的反射率能够有效重构 35 dBZ 以上的回波。该方法的提出为海上强对流天气的监测以及海洋预报预警业务提供了技术基础。

针对天气雷达和卫星在海上强对流监测应用中存在的不足和未来的发展方向,江苏省气象台通过双偏振天气雷达数据质量控制、卫星等价反演雷达反射率以及雷达-卫星融合等途径构建了空间分辨率为 2 km、时间分辨率为 10 min 的海陆一体融合雷达组合反射率产品。本文对该产品的技术路线进行介绍,并通过 2021 年台风“烟花”展示该技术的

初步应用成效,相关结论会为未来海上强对流监测技术和预报业务发展提供参考。

2 数据和方法

2.1 雷达组网拼图

本文选用江苏省现有的 7 部 S 波段双偏振天气雷达,各雷达分布情况见图 1。由于雷达采用倾斜向上体扫的方式进行探测,不同雷达的实际探测范围存在交叉点也存在差异,为了形成全省陆地一体的组合反射率,需要对多部雷达的多仰角体扫数据进行组网拼图。在拼图处理前,首先需要对各部雷达分别进行基本反射率因子的质量控制处理。本文采用 ZHANG 等^[8]提出的基于模糊逻辑分类器的方法,对多部雷达中的非气象回波进行识别和剔除(见图

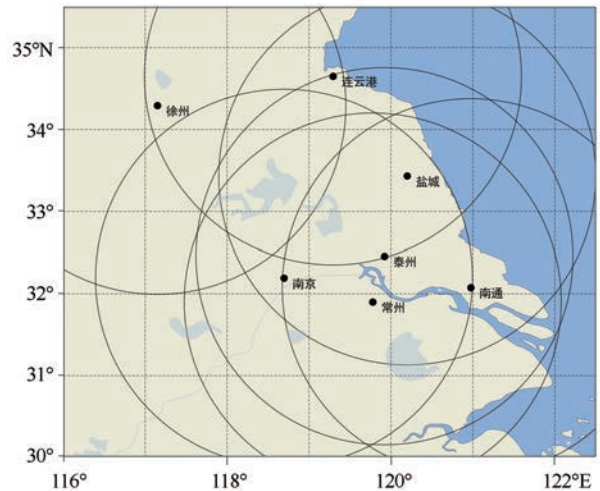


图1 江苏现有的7部S波段双偏振天气雷达分布及覆盖范围示意图

Fig.1 Distribution and coverage of the seven S-band polarization weather radars in Jiangsu

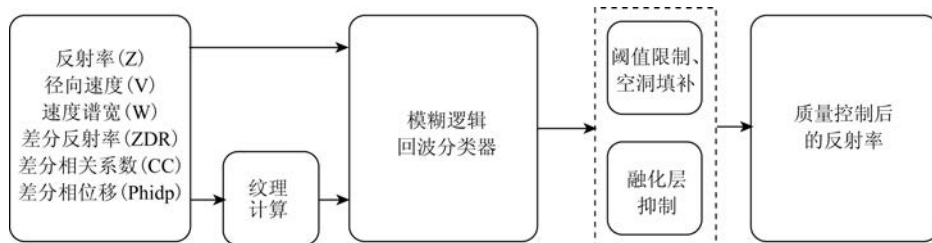


图2 雷达数据质量控制技术路线

Fig.2 Flowchart of radar data quality control

2)。通过输入单雷达的反射率因子、径向速度、速度谱宽、差分反射率、差分相关系数和差分相位移等偏振参量,结合偏振参量的纹理特征构建适用于江苏省雷达的模糊逻辑回波分类器,进一步结合融化层抑制方法最终实现非气象回波的识别和剔除。

在对7部雷达分别进行质量控制处理后,将其分别插值到笛卡尔坐标系上。考虑到相邻雷达间的三维体扫存在空间上的重合,我们采用Cressman插值方法对重叠区域进行处理,这样既能最大程度地缓解拼图后重合区域数据不连续的问题,又能保证数据本身的高分辨率特征。将Cressman权重选取为S波段双偏振天气雷达自身分辨率的两倍(0.5 km),最终得到三维等高面雷达拼图。

2.2 卫星等价反演雷达反射率

为了将高时空分辨率静止卫星不同通道和波长的数据应用于强对流天气的监测预警中,研究发展了一种基于人工智能的将葵花8号卫星多通道数据等价反演为雷达组合反射率因子的模型。由于葵花8号卫星的3个可见光通道在夜晚无数数据,因此主要选用3个水汽通道和2个长波红外通道数据用于构建训练数据集。参照HILBURN等^[16]的方法,我们选用卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNN)作为反演模型(见图3)。CNN的主要特点是具有很强的学习能力和拟合高度非线性函数的能力。模型构建可分为以下步骤:

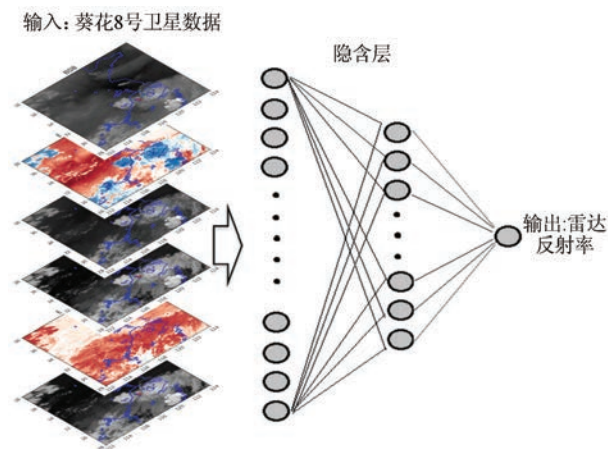


图3 基于卷积神经网络的卫星反演雷达反射率模型结构
Fig.3 Schematic diagram of CNN-based satellite retrieved radar reflectivity

(1)为了使反演结果能够适用于梅汛期与台风期,本文选用连续2 a(2019年和2020年)的4—9月作为模型训练时段,获取相应时段内的江苏省雷达三维组网拼图数据和葵花8号卫星通道数据。

(2)通过求取垂直方向的最大值将三维雷达拼图数据转换为二维的组合反射率。由于雷达拼图空间分辨率为1 km,时间分辨率为6 min,而卫星红外通道数据空间分辨率为2 km,时间分辨率为10 min,因此需要将两类数据通过最邻近插值处理到等经纬的2 km分辨率网格点上,获取时空分辨率一致的雷达拼图和卫星数据。

(3)将雷达和卫星数据分别归一化处理到0~1之间,选取数据样本的前80%作为训练集,后20%作为测试集。

(4)选用平均绝对误差(Mean Absolute Error, MAE)作为损失函数进行训练。由于雷达反射率强度分布不均匀,弱回波占比较大,因此在训练时采用分段随机抽取的方式,即在每个数据区间随机抽取相同样本数据进行训练,训练过程中当误差达到预设经度或学习次数大于设定的最大次数后,则算法结束。

2.3 雷达卫星融合

卫星观测主要反映云顶特征,雷达则主要反映对流云团的中低层特征,对于一般云顶高度 ≤ 6 km的对流云团而言^[13],卫星反演结果基本与雷达探测的组合反射率等价。但是对于台风这一类发展深厚的系统,其云顶高度通常高达15~20 km^[17],此时雷达探测与卫星反演结果会存在较大差异。考虑到该因素,我们在雷达拼图和卫星反演的基础上对二者进行融合,以确保在最终的产品中,雷达覆盖区域采用雷达组合反射率,雷达探测不到的区域采用卫星反演结果。融合采用了考虑经验权重的方法,首先需要确定雷达拼图数据的有效半径 r ,根据陆地雷达拼图的有效范围,将 r 选取为280 km,即以雷达数据为中心、半径 r 范围内的数据的融合权重为1;在该范围之外的雷达和卫星反演数据重合区域中,将雷达数据权重设置为0.65,卫星反演数据权重设置为0.35;仅有卫星覆盖的区域中卫星反演数据权重为1。经过多次业务测试,这样的权重设置能够较好地对两种来源的数据进行融合,保障二者

的边界区域不会出现不连续的现象。

3 结果及讨论

3.1 台风“烟花”过程回顾

台风“烟花”于2021年7月18日02时(北京时,下同)在西北太平洋生成,21日11时在台湾岛以东洋面加强为强台风,25日12时30分在浙江省舟山市普陀区沿海登陆,登陆时最大风力为13级(38 m/s),26日09时50分在浙江省嘉兴平湖沿海二次登陆。图4为台风“烟花”的路径和强度演变的时间序列。台风“烟花”于26日17时以热带风暴级(23 m/s)进入江苏省,在大陆高压和副热带高压之间鞍形场的影响下,先后经历缓慢的西行和北上后,于7月28日01时移出江苏省,在江苏省累计停留32 h,是有纪录以来在江苏省停留时间最长的台风。台风“烟花”具有尺度大、强度减弱慢和移动速度缓慢等特征,给江苏省造成了长时间的风雨影响。

受台风“烟花”影响,7月24日20时—29日20时,江苏省自南向北出现大范围降水,雨量达暴雨到大暴雨,局部特大暴雨。台风“烟花”产生的强降水对江苏省的影响可分为两个阶段:第一阶段为24—27日白天,在台风“烟花”西行过程中,受其螺旋雨带的持续影响,暴雨主要发生在江苏省淮河以南地区。第二阶段为27日夜间—28日晚上,由于台风“烟花”处于弱垂直风切环境中,其强度维持在热带风暴级别。伴随着充足的水汽输送,台风“烟花”在

北上过程中,其主体逐渐与北侧西风槽结合,槽后干冷空气侵入并在台风中心南侧与其本体的暖湿空气交汇,触发了南北向的飑线强对流天气,全省大部分地区普降暴雨到大暴雨、局部特大暴雨。28日夜间起,全省大范围的降水趋于结束,主要暴雨区集中在江淮之间的中部地区。在台风“烟花”的影响下,江苏省共有1 456个乡镇(街道)的降水量超100 mm,其中321个乡镇(街道)超250 mm。最大雨量出现在扬州江都真武镇,为569.2 mm,这使得台风“烟花”成为有记录以来影响江苏省的过程雨量最大的台风。

3.2 雷达数据质量控制效果分析

选取7月28日15时的雷达数据,对数据的质量控制效果进行验证。台风“烟花”在北上过程中与北侧西风槽结合,受槽后干冷空气侵入并影响江苏省地区,7月28日15时出现南北线状对流。对比质量控制前后的雷达组合反射率拼图可见(见图5),在质量控制前,苏南和东部沿海地区存在明显的受电磁干扰产生的非气象回波,同时南京、扬州和镇江等地区也不同程度地存在地物杂波,以上非气象回波会对数据质量产品产生负面影响。经过质量控制处理后,上述非气象杂波均得到了有效剔除。

3.3 卫星反演及雷达-卫星融合效果分析

为了呈现卫星反演雷达以及卫星-雷达的融合效果,我们给出了台风“烟花”登陆前(7月24日12时)的卫星原始数据及反演效果图,并与欧洲中期

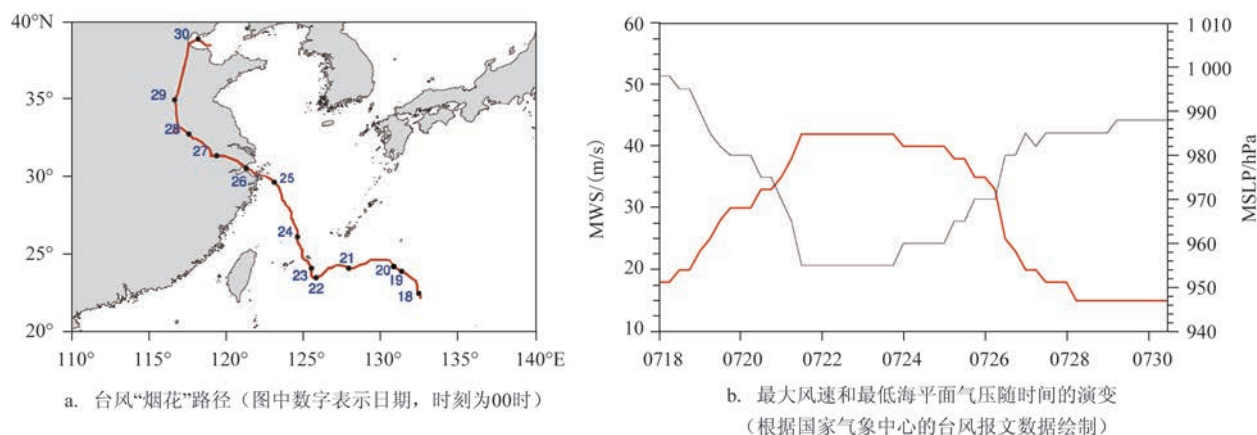


图4 台风“烟花”的路径和强度演变的时间序列

Fig.4 The path and intensity evolution with time of typhoon "In-Fa"

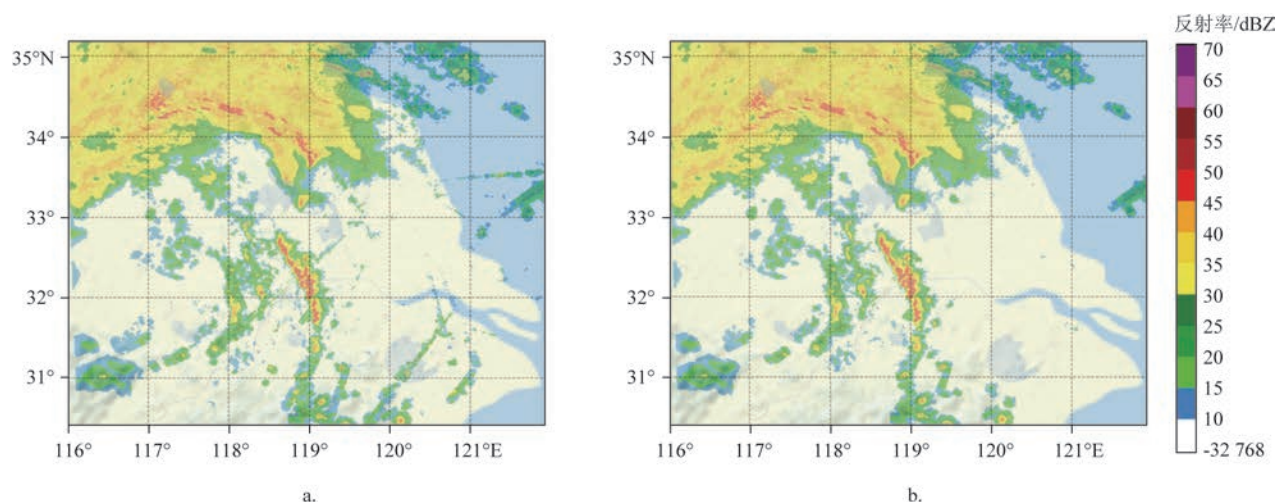


图5 2021年7月28日15时质量控制前(a)和质量控制后(b)的雷达组合反射率拼图

Fig.5 Radar composite reflectivity (a) before and (b) after quality control at 15:00 on July 28, 2021

天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的第五代全球大气再分析数据集(ERA5)提供的风场进行叠加,以便更好地开展过程分析。该时刻台风处于发展旺盛阶段且尚未登陆,通过云图和水汽通道图像可看出其云系呈现出典型螺旋形态和不对称性,最大半径可达350 km,中心台风眼清晰可辨(见图6a和6b)。卫星反演得到的雷达反射率可以很好地反映上述台风云系特征(见图6c),风眼处存在反射率的空值区,反射率高值区分别位于风眼周围及其北侧的外围螺旋雨带处,与风场高值区存在很好的对应关系,以上结果说明反演结果是可信的。通过反演得到的反射率结果可清晰地看出该时刻台风外围的

强对流已经影响到江苏省东南部和浙江的近海地区(见图6c),这些地区恰是天气雷达探测的盲区,从一定程度上证明了卫星反演技术在海上强对流应用中的有效性。对比卫星反演结果(见图6c)和雷达组合反射率拼图(见图6d)可以发现,二者在陆地上存在一定差异,说明此时台风“烟花”外围云系的发展非常深厚,导致反演结果不能准确地呈现低层弱降水云系的特征,卫星-雷达的融合反射率结果在陆地上与雷达的结果更为相近(见图6e),较纯卫星反演结果能够更准确地对陆地的降水云系进行描述,而且在海陆交界处没有明显的不连续边界出现,这说明卫星-雷达的融合结果是可信的。

我们进一步对夜间的卫星反演结果进行讨论。

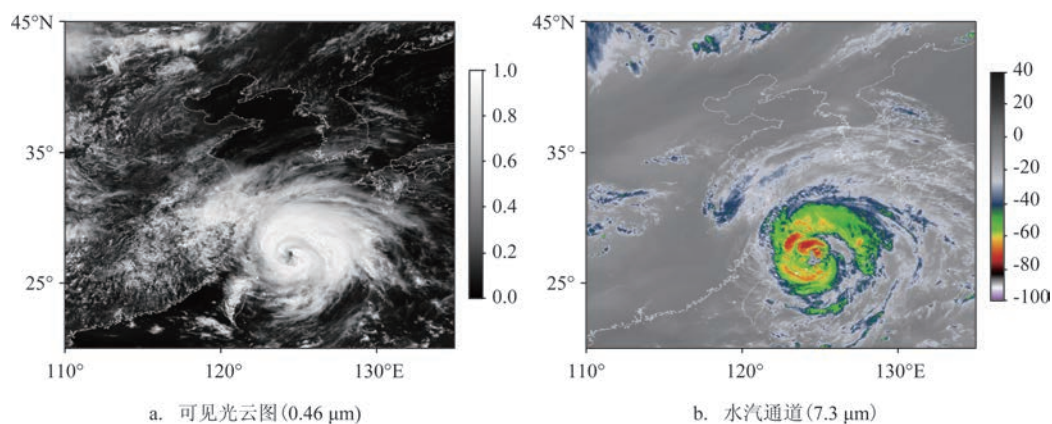


图6 7月24日12时葵花8号卫星和雷达反射率产品展示图(图c和d叠加ERA5海平面风场,蓝点为台风中心位置)

Fig.6 Products of Himawari-8 satellite and radar reflectivity at 12:00 on July 24(The wind vectors in c and d are obtained by ERA5 data, the blue dot indicates typhoon center)

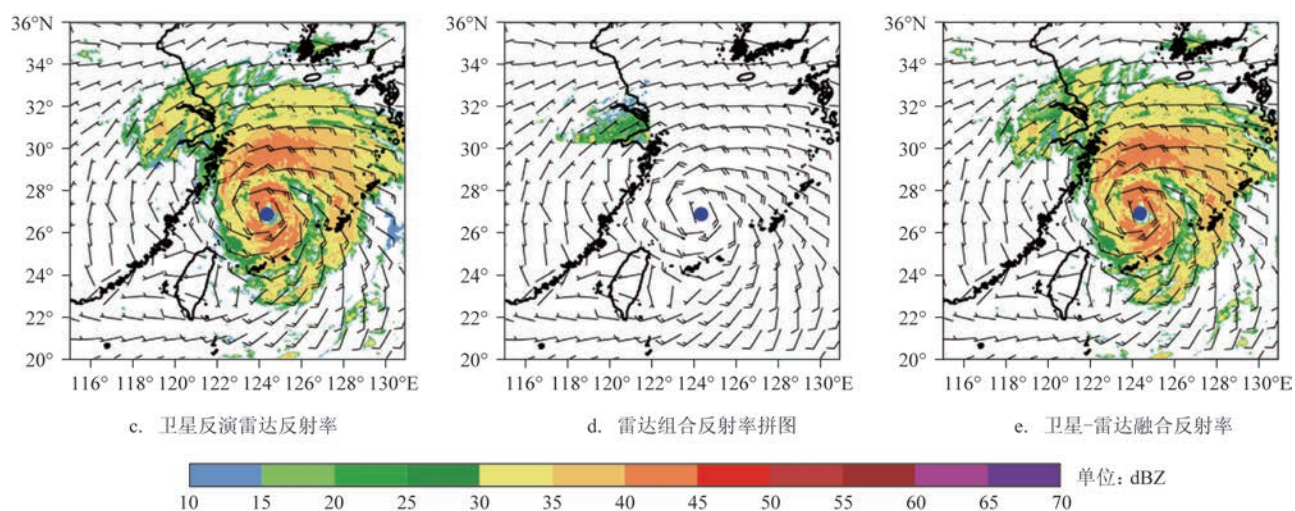


图6 (续)

Fig.6 (Continued)

7月25日04时葵花8号的可见光通道不能观测到有效数据(见图7a),通过水汽通道可以看出随着台风

“烟花”临近登陆,其强度较24日明显减弱(见图7b),但整体结构依然非常完整。卫星反演得到的

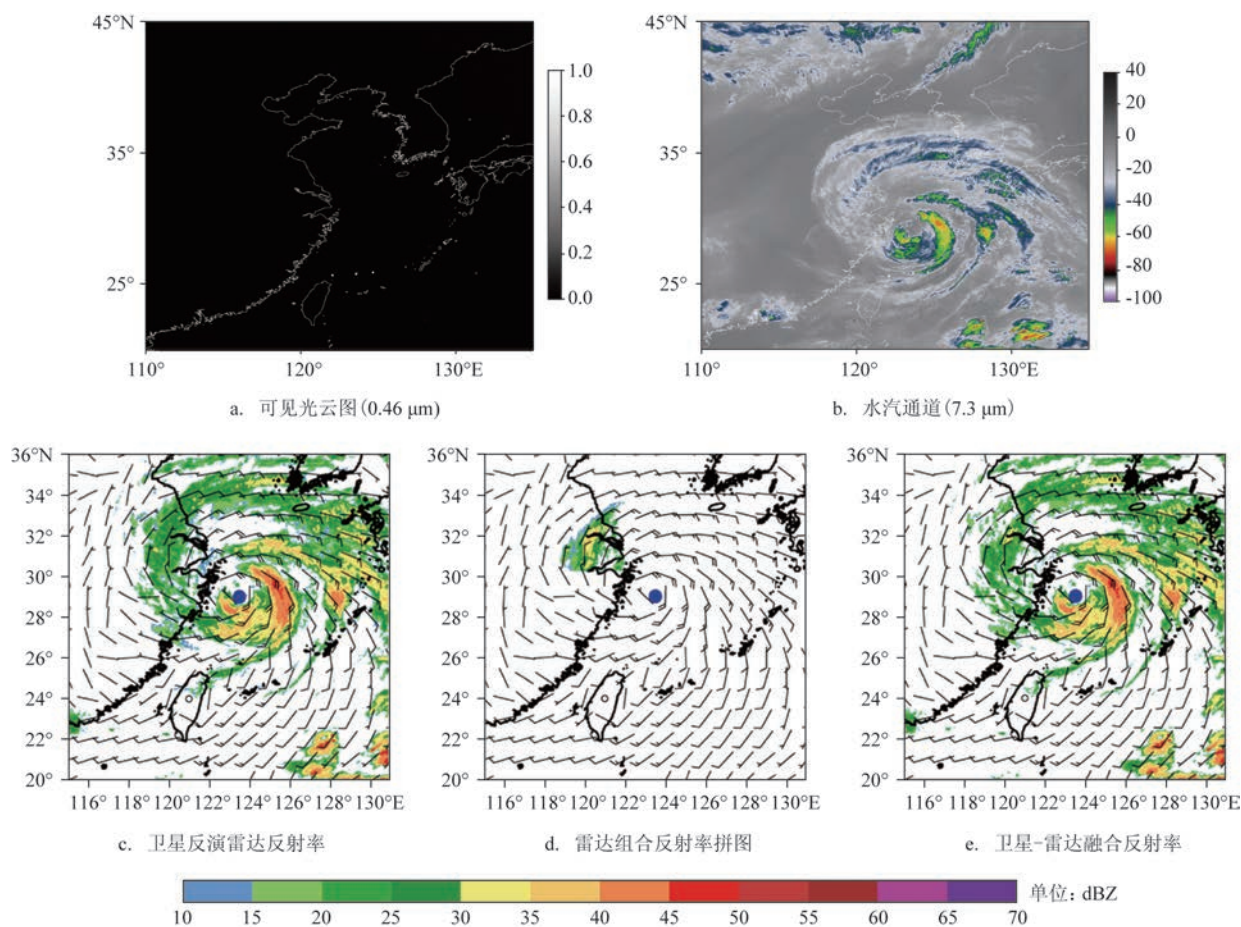


图7 同图6,但为7月25日04时

Fig.7 Same as fig.6, but for 04:00 on July 25

雷达反射率能够有效地描述此时台风的云系结构和中心位置,由图 7c 可以看出,台风东半侧和西南侧积雨云处的反射率强度可达 50 dBZ,并与主要风速大值区呈现出对应关系。需要注意的是,台风眼北侧风力虽然较大,却没有强回波与之对应,原因在于此时是台风“烟花”强度减弱且眼墙扩张的时期,此时的眼墙半径可达 40~50 km,强风力半径也较大。

随着台风“烟花”登陆后持续西进并向内陆方向纵深移动,从 7 月 27 日开始台风中心移至南京后逐渐北进(见图 4a),此时进入第二个降水影响时段。图 8 显示在 7 月 27 日 14 时,受登陆后下垫面的影响,台风强度明显减弱,结果同图 4b。从云图和水汽通道数据来看(见图 8a—b),此时台风云系主要由积雨云和多层云构成,螺旋雨带结构遭到明显破坏,对流强度及其组织性较登陆前大幅度减弱,

该特征在卫星反演的雷达反射率强度结果中也得到很好的表征(见图 8c)。区别于前两个时段(见图 6—7),由于此时台风云顶高度大幅度降低^[18],卫星反演和雷达组合反射率结果呈现出较高的一致性,高值中心均集中在南通沿海以及江苏省南部地区(见图 8c—d),卫星-雷达融合后的反射率产品有机综合了卫星和雷达二者的特征,其结果进一步验证了本算法在台风登陆后应用中的有效性。

在台风“烟花”的第二个降水影响时段,台风北上与西风槽结合触发了南北走向的飑线,该飑线给全省大部分地区带来了短时强降水以及雷暴大风等强对流天气。由于是傍晚,可见光云图并不清晰(见图 9a),但从红外通道图上可以明显看到与该飑线相匹配的深厚对流云团(见图 9b)。由于该对流云系发展较为深厚,雷达探测与卫星反演结果同样呈现出一定差异,即卫星反演得到的 35 dBZ 以上量

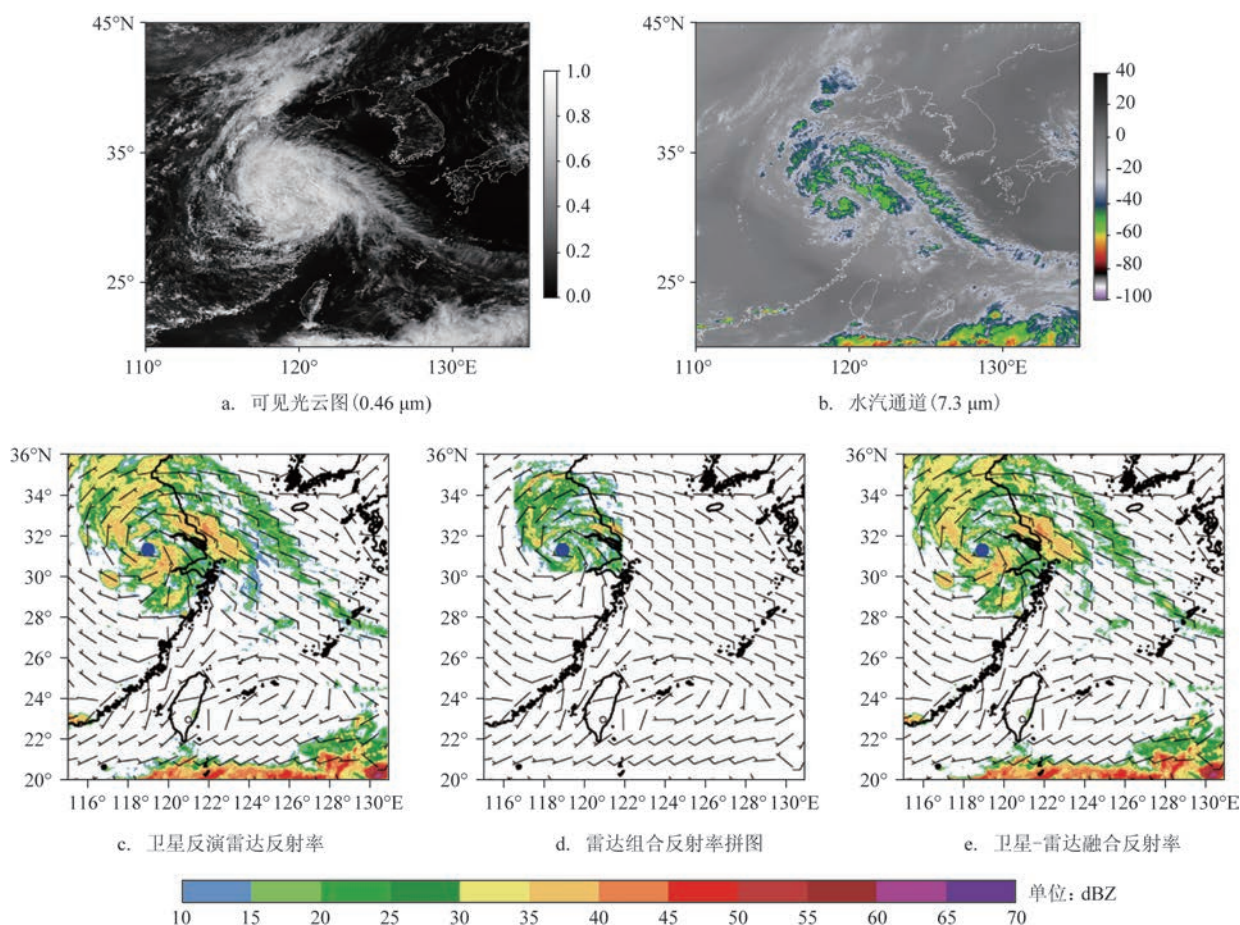


图 8 同图 6, 但为 7 月 27 日 14 时

Fig.8 Same as fig.6, but for 14:00 on July 27

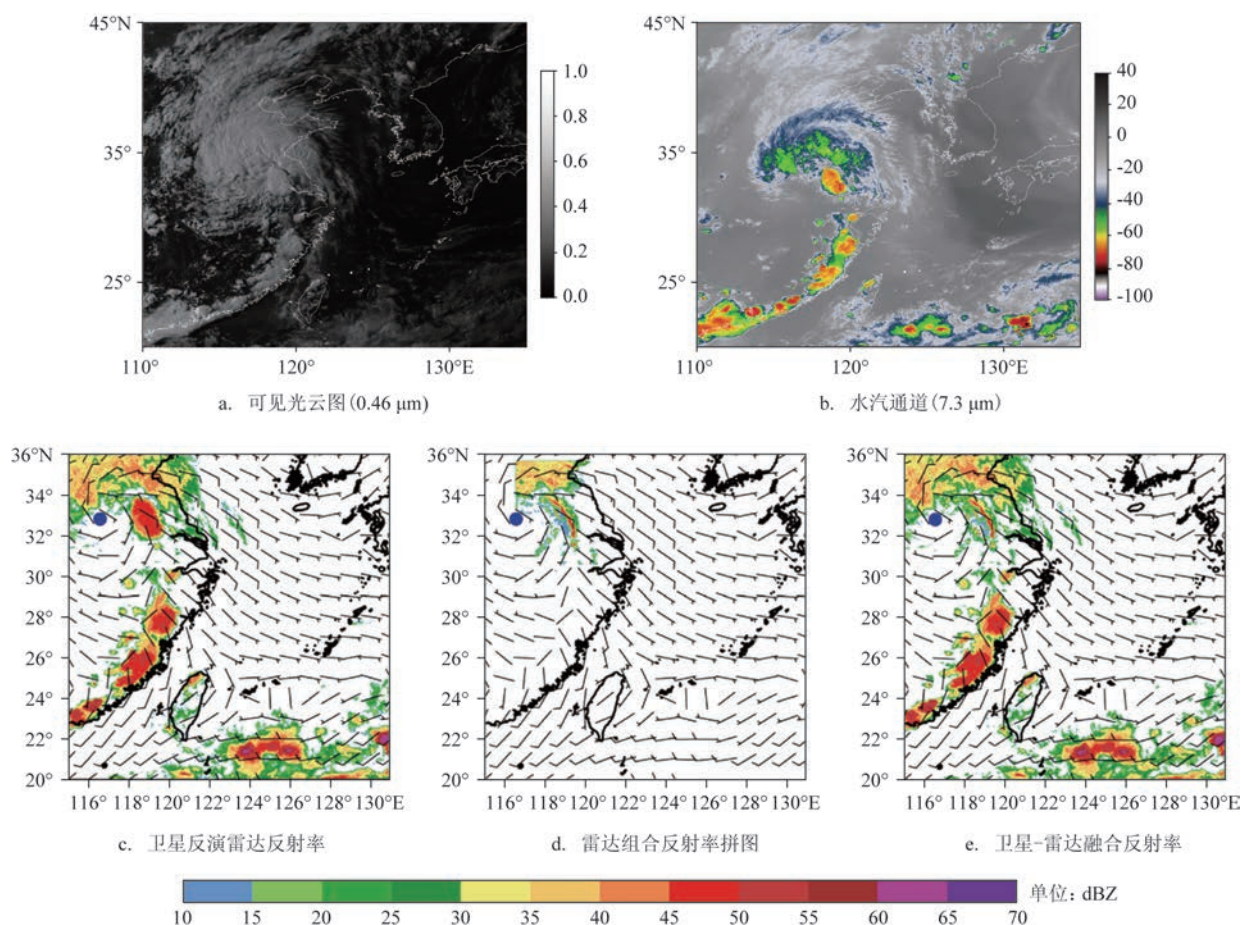


图9 同图6,但为7月28日17时

Fig.9 Same as fig.6, but for 17:00 on July 28

级大值范围明显更宽,但二者对于飑线主要位置的描述匹配较好(对比图9c和9d),卫星-雷达融合后的反射率结果可以更好地对该飑线进行描述(见图9e)。此外,由于此时台风强度大幅减弱,主要云系发展高度较低,因此卫星和雷达对台风中心东北侧雨带的描述呈现出很高的一致性。

4 结论

本文发展了一种融合葵花8号卫星和S波段双偏振天气雷达数据的雷达反射率融合方法,并将其应用在台风“烟花”的观测分析中。结论如下:

(1)基于模糊逻辑分类器的质量控制方法能够有效剔除江苏省S波段双偏振天气雷达中的非气象杂波。

(2)卫星反演得到的雷达反射率可以很好地反

映台风“烟花”登陆前的云系特征和风眼位置。反射率高值区分别位于风眼周围及其北侧的外围螺旋雨带处,其与风场高值区也存在很好的对应关系,说明反演结果是可信的。

(3)卫星-雷达的融合反射率结果在陆地上与雷达结果更为相近,较纯卫星反演结果能够更准确地对陆地上的降水云系进行描述,而且该产品在海陆交界处没有明显的不连续边界出现,说明卫星-雷达的融合结果是可信的。

(4)卫星-雷达的融合反射率结果能够较好地描述27日台风“烟花”登陆减弱(云顶降低)时以及28日台风引发飑线的降水云系的特征。

总的来说,本文所介绍的卫星反演雷达反射率以及卫星-雷达融合产品能够有效地描述台风“烟花”登陆前后各个阶段的降水云系特征,是对天气雷达无法覆盖区域的一种有力的弥补。未来,江苏

省省气象台还将进一步尝试卫星反演雷达数据的动态权重融合方法,并基于该融合产品开展海上强对流天气的综合识别与追踪以及短临预报功能的研发。

参考文献

- [1] 李延江, 陈小雷, 景华, 等. 渤海强对流天气监测及概念模型初建[J]. 海洋预报, 2013, 30(4): 45-56.
- LI Y J, CHEN X L, JING H, et al. The monitoring for the severe convective weather and the preliminary building of its conceptual model in the Bohai Sea[J]. Marine Forecasts, 2013, 30(4): 45-56.
- [2] 孙虎林, 黄焕卿, 于庆龙, 等. 2012—2017年珠江口海区短时强对流天气灾害的统计分析[J]. 海洋预报, 2019, 36(4): 35-43.
- SUN H L, HUANG H Q, YU Q L, et al. Statistical analysis on the short-term convective weather disasters in the Pearl River Estuary from 2012 to 2017[J]. Marine Forecasts, 2019, 36(4): 35-43.
- [3] 李湘, 张腾飞, 胡娟, 等. 云南冰雹灾害的多普勒雷达特征统计及预警指标[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 88-93, 98.
- LI X, ZHANG T F, HU J, et al. Doppler radar statistical characteristics and early warning index of Yunnan hail disaster[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(3): 88-93, 98.
- [4] 周聪, 闵锦忠, 戚友存, 等. 基于线性规划方法处理C波段双线偏振多普勒天气雷达差分相位 ϕ_c 数据[J]. 气象科学, 2019, 39(5): 617-625.
- ZHOU C, MIN J Z, QI Y C, et al. Processing differential phase data from C-band dual-polarimetric Doppler weather radar on the basis of the linear programming[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2019, 39(5): 617-625.
- [5] BRINGI V N, CHANDRASEKAR V. Polarimetric Doppler weather radar: principles and applications[M]. New York: Cambridge University Press, 2001.
- [6] KUMJIAN M R. Principles and applications of dual-polarization weather radar. Part I: description of the polarimetric radar variables[J]. Journal of Operational Meteorology, 2013, 1(19): 226-242.
- [7] PARK H S, RYZHKOV A V, ZRNIĆ D S, et al. The hydrometeor classification algorithm for the polarimetric WSR-88D: description and application to an MCS[J]. Weather and Forecasting, 2009, 24(3): 730-748.
- [8] ZHANG S, HUANG X Y, MIN J Z, et al. Improved fuzzy logic method to distinguish between meteorological and non-meteorological echoes using C-band polarimetric radar data[J]. Atmospheric Measurement Techniques, 2020, 13(2): 537-551.
- [9] TANG L, ZHANG J, LANGSTON C, et al. A physically based precipitation-nonprecipitation radar echo classifier using polarimetric and environmental data in a real-time national system[J]. Weather and Forecasting, 2014, 29(5): 1106-1119.
- [10] TANG L, ZHANG J, SIMPSON M, et al. Updates on the radar data quality control in the MRMS quantitative precipitation estimation system[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2020, 37(9): 1521-1537.
- [11] KRAUSE J M. A simple algorithm to discriminate between meteorological and nonmeteorological radar echoes[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2016, 33(9): 1875-1885.
- [12] YANG J, ZHANG Z Q, WEI C Y, et al. Introducing the new generation of Chinese geostationary weather satellites, Fengyun-4[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2017, 98(8): 1637-1658.
- [13] ZHUGE X Y, ZOU X L. Summertime convective initiation nowcasting over southeastern China based on Advanced Himawari Imager observations[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2018, 96(4): 337-353.
- [14] 黄亦鹏, 李万彪, 赵玉春, 等. 基于雷达与卫星的对流触发观测研究和临近预报技术进展[J]. 地球科学进展, 2019, 34(12): 1273-1287.
- HUANG Y P, LI W B, ZHAO Y C, et al. A review of radar- and satellite-based observational studies and nowcasting techniques on convection initiation[J]. Advances in Earth Science, 2019, 34(12): 1273-1287.
- [15] RUTLEDGE S A, HILBURN K A, CLAYTON A, et al. Evaluating geostationary lightning mapper flash rates within intense convective storms[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2020, 125(14): e2020JD032827.
- [16] HILBURN K A, EBERT-UPHOFF I, MILLER S D. Development and interpretation of a neural-network-based synthetic radar reflectivity estimator using GOES-R satellite observations[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2021, 60(1): 3-21.
- [17] DUAN M S, XIA J J, YAN Z W, et al. Reconstruction of the radar reflectivity of convective storms based on deep learning and himawari-8 observations[J]. Remote Sensing, 2021, 13(16): 3330.
- [18] WILLOUGHBY H E. The dynamics of the tropical cyclone core[J]. Australian Meteorological Magazine, 1988, 36: 183-191.

Development of a blended radar reflectivity method based on satellite and radar and its application to the observation of typhoon "In-fa"

LI Chao, ZHUANG Xiaoran, MA Chen, GUO Xi

(Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008, China)

Abstract: This study develops a blended method for radar reflectivity based on Himawari-8 meteorological satellite and S-band dual-polarization weather radar data, and further applies it to the observation and analysis of super typhoon "In-fa" in 2021. The results show that the quality control method based on fuzzy logic based classifier could effectively eliminate the non-meteorological echo of S-band dual-polarization radar in Jiangsu. The radar reflectivity retrieved from satellite inversion could well reflect the characteristics of cloud structure and the position of wind eye before and after the landfall of typhoon "In-fa". The high values areas of reflectivity are located around the wind eye as well as the spiral rain belt to the north of it, which corresponds well with the high value areas of wind fields. The blended reflectivity results of satellite and radar are more similar to the radar results on land and could more accurately describe the precipitation cloud system on land based on the satellite inversion results. Meanwhile, the blended reflectivity shows no obvious discontinuity boundary at the junction of land and sea. Furthermore, the blended reflectivity results of satellite and radar could also better characterize the precipitation cloud system when the landfall of typhoon "In-fa" weakens (cloud top lowering down) on the 27th and typhoon "In-fa" induces squall line on the 28th.

Key words: typhoon "In-Fa"; weather satellite; dual-polarization weather radar; reflectivity; blending