

风云气象卫星在防灾减灾中的应用

郑伟, 王新, 张晔萍, 韩秀珍, 唐世浩

国家卫星气象中心, 北京 10081

摘要 风云气象卫星具有全球、全天候、三维立体观测的能力, 在空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率等方面都达到了国际上先进气象卫星的水平, 在防灾减灾工作中可发挥重要作用。介绍了风云气象卫星在台风、暴雨、干旱、高温、沙尘、雪灾、洪涝和森林草原火灾监测中的应用, 展望风云气象卫星在防灾减灾中的应用工作进行了展望。随着风云气象卫星遥感仪器性能的不不断提升、数据处理和应用技术的不断发展, 将更好的为我国和全球提供卫星遥感灾害监测评估预警信息, 为防灾减灾工作提供更加科学有力的支撑。

关键词 风云气象卫星; 防灾减灾; 监测; 遥感应用

自然灾害对人类的生产生活和生命财产安全造成严重的威胁, 利用卫星遥感技术对自然灾害进行监测评估可以为防灾减灾工作提供重要的信息支持。自1988年我国发射第一颗国产气象卫星风云一号以来, 经过30多年发展, 目前已经形成气象、海洋、资源、环境减灾、高分等多个系列民用卫星^[1], 为防灾减灾工作提供了丰富的卫星遥感数据资源。气象卫星具有成像范围广, 观测频次高等特点, 已成为自然灾害监测不可替代的重要手段。经过几十年的努力, 我国自主研发的风云气象卫星已成功发射了19颗, 其中静止气象卫星10颗, 极轨气象卫星9颗, 已形成了系列化、业务化发展态势。风云三号(FY-3)极轨气象卫星, 作为我国第二代极轨气象卫星, 可以实现全球、全天候、三维立体定

量遥感^[2]。目前, 发射的4颗FY-3卫星包括FY-3A, FY-3B, FY-3C和FY-3D, 其中3A和3C属于上午星, 3B和3D属于下午星, 实现了对地球上午和下午组网观测, 每天可以获得多次全球的观测资料。风云四号(FY-4)气象卫星作为我国新一代静止轨道定量遥感气象卫星, 卫星的辐射成像通道为14个, 覆盖了可见光、短波红外、中波红外和长波红外等波段。FY-4卫星还配置有干涉式大气垂直探测仪, 可在垂直方向上对大气结构实现高精度定量探测。风云气象卫星的这些特点大幅度提高了对自然灾害的监测能力, 在台风、暴雨、干旱、高温、沙尘、雪灾、洪涝和森林草原火灾等监测评估工作中可以提供灾害发生的位置、强度、动态演变等信息^[3-4], 在防灾减灾工作发挥了重要的作用。

收稿日期: 2020-10-15; 修订日期: 2021-01-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1506500); 国家自然科学基金项目(41571425, 40901231)

作者简介: 郑伟, 正高级工程师, 研究方向为卫星遥感生态环境与灾害监测评估, 电子邮箱: zhengw@cma.gov.cn

引用格式: 郑伟, 王新, 张晔萍, 等. 风云气象卫星在防灾减灾中的应用[J]. 科技导报, 2021, 39(15): 31-38; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.

2021.15.003

风云气象卫星作为全球综合地球观测系统的重要成员,被世界气象组织纳入全球业务应用气象卫星序列,也是空间与重大灾害国际宪章机制(CHARTER)的值班卫星,持续为全球的防灾减灾作出贡献。2018年4月,风云气象卫星国际用户防灾减灾应急保障机制(FY_ESM)发布。通过FY_ESM,一旦某国家遭受到台风、暴雨、强对流、森林草原火灾、沙尘暴等灾害,可第一时间获得风云卫星高频次云图及相关定量监测产品,为其防灾减灾救灾提供有力支撑。我国已为很多国家开通风云气象卫星数据绿色服务通道,通过FY_ESM、空间与重大灾害国际宪章机制、国家综合对地观测数据共享平台应急机制等为国际防灾减灾工作提供服务。

本文重点介绍风云气象卫星在台风、暴雨、干旱、高温、沙尘、雪灾、洪涝和森林草原火灾监测中的应用,并对风云气象卫星在防灾减灾中的应用工作进行展望。

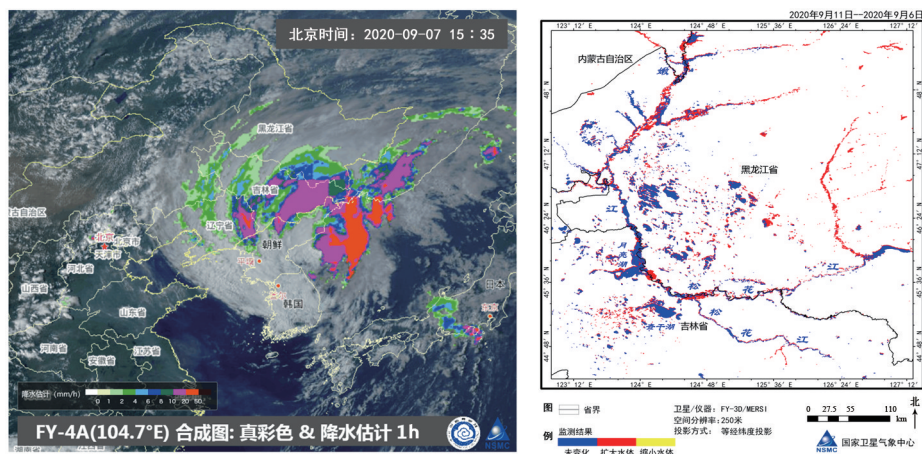
1 灾害监测

1.1 台风监测

台风在卫星云图上表现为有组织的涡旋状云系,是一种比较容易识别的灾害性天气系统。基于风云静止气象卫星,能够确定台风的初生和中心位置,估算其移向移速和强度^[9],判断其登陆时间、地点以及风雨影响范围等。准确获知台风的位置强

度,对于风雨影响范围和强度的预警预判具有重要意义,是防灾减灾的重要一环。融合应用风云静止卫星的连续快速观测和极轨卫星高空间分辨率观测,可以提高台风定位定强、三维结构、风场和降水产品的时空分辨率和精度的。其中,利用风云极轨气象卫星的被动微波资料可以获取台风温度、湿度三维结构,计算大风的影响半径和强降水区面积等。而新一代静止气象卫星风云四号A星(FY-4A)携带的干涉式大气垂直探测仪和闪电成像仪,为探测台风雷电活动以及外围环境场变化提供了新的手段。

在对台风位置强度和风雨影响准确监测基础上,利用风云卫星形成对台风影响的灾害评估,主要包括大风和暴雨2个方面,台风登陆带来的陆面风雨影响常常造成农作物倒伏、城市内涝、建筑物损毁等灾情。利用风云气象卫星形成灾前灾后的对比分析,通过遥感影像上反映出来的地表植被覆盖情况、水体面积变化等信息,对台风登陆后的受灾范围和强度进行评估。2020年第10号台风“海神”FY-4A气象卫星降水估计图像(图1(a))可以看出,在前期已经有2个台风影响的情况下,“海神”台风登陆前后对东北三省的灾害影响显著。利用FY-3D开展的“海神”洪涝灾害影响评估(图1(b)),通过对比分析灾前灾后的水体变化,发现嫩江和松花江主河道水体明显增宽,水体明显增大,扩大水体面积共约4412 km²。



(a) FY-4A 卫星降水估计监测

(b) FY-3D 卫星嫩江流域水体变化

图1 风云气象卫星台风及灾害影响监测图像

1.2 暴雨监测

暴雨的发生和发展涉及到不同尺度天气系统的复杂相互作用。在卫星云图上暴雨不仅具有大范围的云系特征,而且也具有较小尺度精细结构和对流云特征。造成暴雨的主要影响系统——中尺度对流云团具有发展迅速和尺度小的特点,常规观测不足以捕捉其生命史中的变化细节及其结构,所以在暴雨监测、临近/短时预报等业务中,卫星遥感

便成为十分重要的技术手段。FY-4静止气象卫星具有分钟级的观测能力,可以近实时的监测暴雨的发生发展过程。利用FY-4卫星资料监测2020年7月18日江淮、黄淮南部等地出现的强降雨过程(图2),强对流云团主要出现在安徽中部、江苏中部等地,图中颜色为红色的区域表示大尺度雨带中镶嵌的小尺度深厚对流云,这些区域常常是持续降水中更剧烈的短时强降水的发生区域。

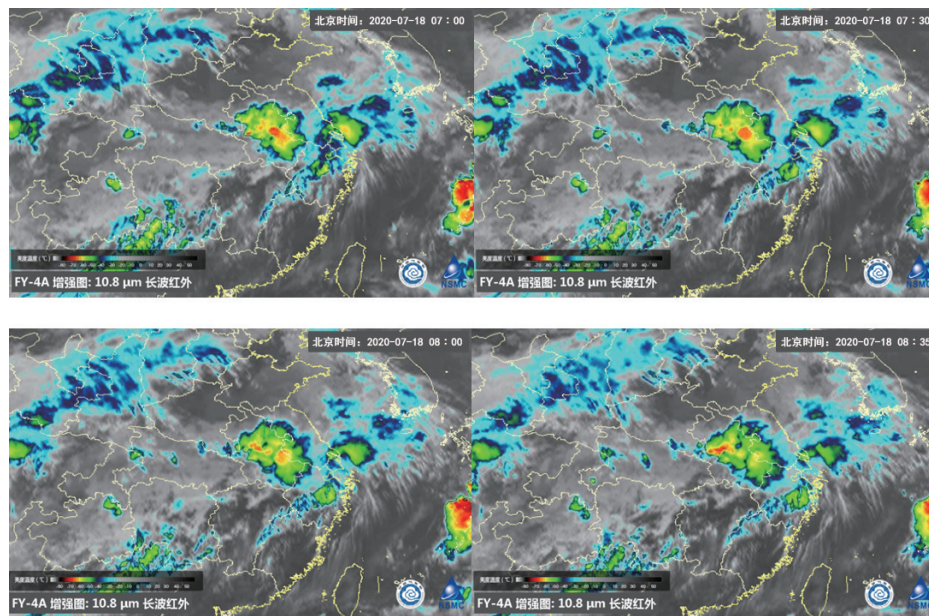


图2 FY-4A静止气象红外增强云图

1.3 干旱监测

风云气象卫星可以对大范围的干旱进行有效的监测评估^[6]。国家卫星气象中心主要基于FY-3极轨气象卫星数据,利用热惯量法和供水植被指数法等方法对全国范围进行干旱监测,以垂直干旱指数方法对区域干旱事件进行监测,也利用FY-2和FY-4静止气象卫星资料的相对蒸散法进行干旱监测。同时,基于FY-3的微波成像仪资料反演的土壤水分信息可以大范围的反映土壤湿度和干旱情况,这种方法受云层的干扰少,具有近全天候的特点。2019年9月,我国江南、江淮、江汉、黄淮等地降水偏少、气温偏高,出现不同程度旱情。风云气象卫星监测结果显示,上述地区地表相对蒸散和土壤水分含量较常年均有不同程度偏低,基本反映了

旱情的分布。FY-4A卫星连续10天(2019年9月16—25日)的地表相对蒸散距平百分率监测结果(图3)显示,江南大部、江淮西部、江汉东部、黄淮南部地表相对蒸散值较常年偏低,存在不同程度旱情。统计结果表明,上述地区大部分省份有超过7成面积地表相对蒸散呈负距平。其中,湖南、江西、福建、浙江、安徽、湖北有1~2成地表面积相对蒸散距平百分率在-20%以下,旱情较为明显。利用FY-3D微波成像仪2019年9月15—24日数据制作的土壤水分距平(图4)显示,与2012年以来同期相比,江淮西部、江汉东部、江南大部等地土壤水分偏低。其中,安徽、湖北、湖南、江西、福建和浙江的部分地区土壤水分显著偏低,旱情较为明显。

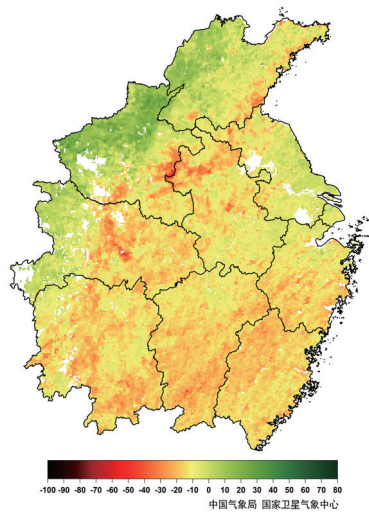


图3 FY-4A卫星地表相对蒸散距平百分率监测图
(2019年9月16—25日)

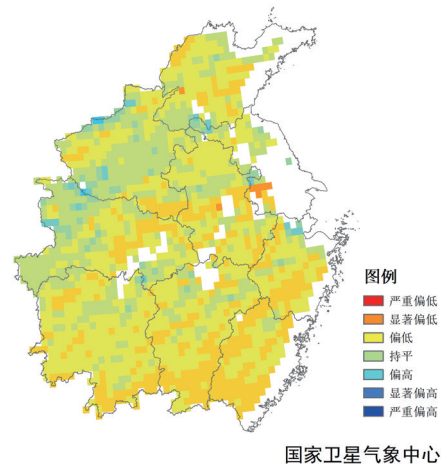


图4 FY-3D/MWRI土壤水分距平百分率监测图
(2019年9月15—24日)

1.4 高温监测

利用卫星资料对陆表温度的反演可以直接监测高温灾害。陆表温度的反演算法很多,包括单通道法、多通道法、单通道多角度法和多通道多角度法等。国家卫星气象中心高温监测业务中比较常用的是单通道法和多通道法中的温度-比辐射率分离算法以及分裂窗算法^[7]。利用FY-3D/MERSI 2018年7月31日数据制作的地表高温监测结果(图5)显示,我国中东部地区维持大范围地表高温。据统计,北京、安徽、河南、河北、湖南、江苏、江

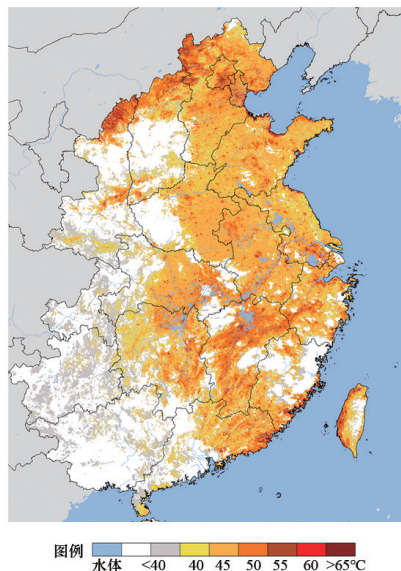


图5 FY-3D/MERSI 2018年7月31日数据制作的地表高温监测图

西、山东、上海、台湾、天津、香港、浙江等地的地表温度超过40℃的面积百分比达60%以上。其中,北京、安徽、河北、山东、天津等地的地表温度超过40℃面积百分比超过90%,天津市地表温度超过50℃的面积百分比达55%。

1.5 雪灾监测

风云气象卫星可以用于积雪信息判识、积雪深度估算以及积雪监测产品制作^[8]。积雪判识主要根据积雪在可见光、近红外、短波红外以及远红外通道的光谱特性,采用多通道阈值法提取出积雪信息,进而获取积雪覆盖范围及面积等。基于积雪反射率、积雪覆盖率与积雪深度之间的相关关系可以估算积雪深度。可见光对较薄的雪层具有一定的穿透性,积雪反射率受到积雪粒径和观测角度的影响。另外,积雪像元多数情况下为混合像元,积雪深度越厚、积雪覆盖率越大,积雪像元反射率也越大。积雪覆盖率和积雪像元反射率受到地形、植被覆盖率、土地覆盖类型等影响,在相同的积雪深度和不同的下垫面条件下,积雪覆盖率和积雪像元反射率差异较大。在一定积雪深度范围内,积雪深度与积雪反射率或积雪覆盖率之间存在较好的相关关系,可以利用这三者间的关系,考虑积雪下垫面、积雪性质以及积雪观测角度等的影响,估算出积雪深度。利用FY-3C/VIRR对2019年1月24日数据制作的积雪监测多通道合成图(图6)可以看出,西

藏地区出现大面积积雪覆盖。积雪监测专题图(图7)显示,阿里地区大部、那曲地区东部和北部、日喀则地区西部和南部、林芝地区北部、昌都地区西部

和北部等地有积雪覆盖。据统计,西藏自治区积雪覆盖面积共计约57万 km²。

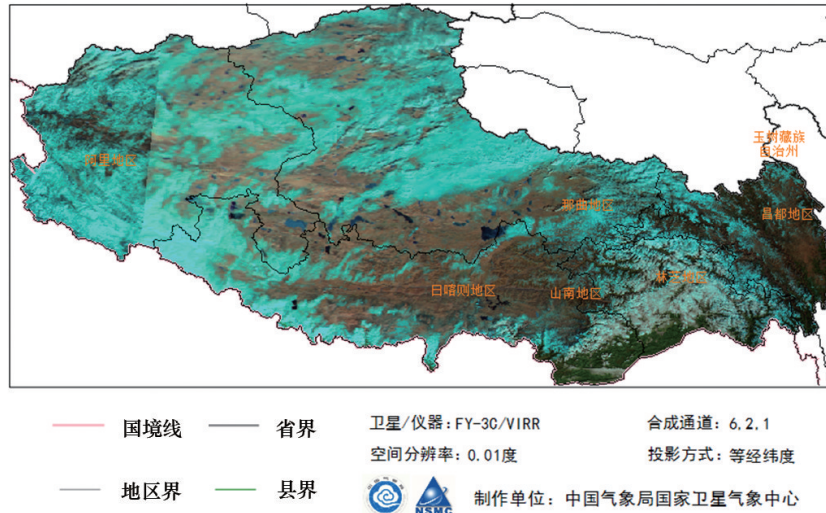


图6 FY-3C/VIRR 西藏积雪监测多通道合成图(2019年1月24日)

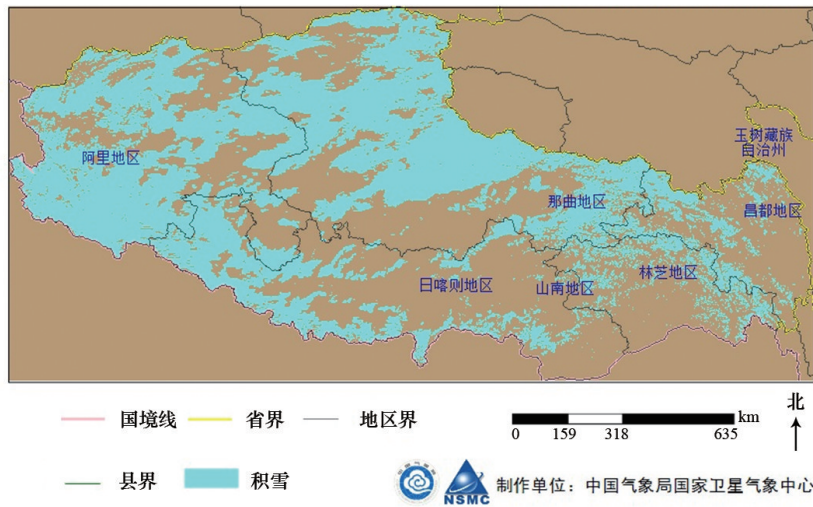


图7 FY-3C/VIRR 西藏积雪监测专题图(2019年1月24日)

在有云层覆盖的情况下,可以利用FY-3卫星微波成像仪MWRI获取积雪覆盖信息,而且还可以计算雪深和雪水当量等参数。虽然微波成像仪资料的空间分辨率相对较低,但弥补了光学卫星遥感数据无法获得云层覆盖下地表信息的不足。

1.6 沙尘监测

沙尘暴多发源于人迹罕至的荒漠地区,地面观测很难获得沙尘的输出源头,而气象卫星则可以观测到荒漠地区从地面起沙到空中传输的全过程。

大气中的沙尘由沙粒、尘土等矿物质组成,它们会吸收和散射太阳的短波辐射及地面和云层发射的长波辐射,这就使它有了自己独特的光谱特征。通过对比沙尘暴光谱特征与其它光谱特征的差异,就可以对沙尘暴进行监测。在气象卫星不同探测通道数值组合的彩色卫星图像中,可以通过颜色、纹理和边界形状等特征识别出沙尘暴区域。同时,还可以利用卫星数据定量计算出沙尘的光学厚度、沙尘粒子有效半径、大气中的载沙量、沙尘顶高度等

信息。通过多个时次的卫星图像对比分析,还可以监测沙尘暴的发源地、移动路径、覆盖范围、影响面积,进而跟踪沙尘暴的发生和发展变化。2020年4月12日的一次卫星沙尘监测个例(图8)可以看出,沙尘区主要出现在新疆的巴音郭楞蒙古自治州北部、吐鲁番地区南部、阿克苏地区、和田地区北部、喀什地区等地。经估算,卫星可视的沙尘区影响面积约为37万 km²。受沙尘天气影响,上述地区空气质量、能见度下降,对交通造成影响。

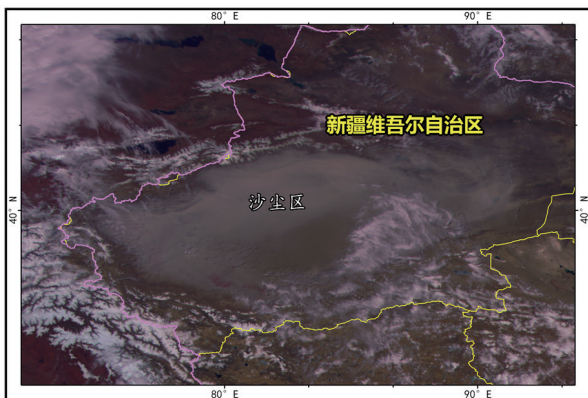


图8 FY-4A气象卫星沙尘监测图像
(2020年4月12日 14:00)

1.7 洪涝监测

利用风云气象卫星可获得洪涝灾害发生前后的江、河、湖泊等水体的面积、空间分布变化等信息^[9]。FY-3气象卫星的中分辨率光谱成像仪MER-SI,可获得无云影响的地表水体信息。在有云层覆

盖的情况下, FY-3号卫星微波成像仪MWRI可以用于获取洪涝信息。不同地物的物理温度和发射率不同,因而在不同通道的亮温也不同。另外,同一通道的水平和垂直极化信号对地物的感应是有差异的,而且不同的地物,这种差异也不同,相对于其它地物,水体的这种差异非常明显。因此,利用特定的微波指数可以较好地反映水体信息。近些年来,在对2013年松花江流域洪涝灾害、2016年长江流域中下游洪涝灾害、2020年长江中下游洪涝和淮河流域洪涝的监测工作中,利用FY-3气象卫星等资料制作了大量监测图像图形产品和分析报告。同时也对一带一路国家和地区,乃至全球的重大洪涝灾害事件积极开展监测,2020年乌兹别克斯坦锡尔河州萨尔多巴水库发生溃坝洪涝灾害,基于风云等多源卫星资料获得的洪涝信息及时传送给乌兹别克斯坦水文气象部门,得到了对方认可和感谢。

2020年7月受强降水影响,淮河干支流水位不断上涨,洪涝灾害严重。为缓解淮河汛情,淮河干流相继启用了蒙洼、南润段、邱家湖、姜塘湖、董峰湖、上六坊、下六坊和荆山湖8个蓄洪区。风云3号气象卫星D星对淮河水体监测结果显示,2020年8月3日淮河及周边水体面积约为2495 km²,与2017年7月24日风云气象卫星B星监测结果对比,水体面积增大大约71%(图9)。

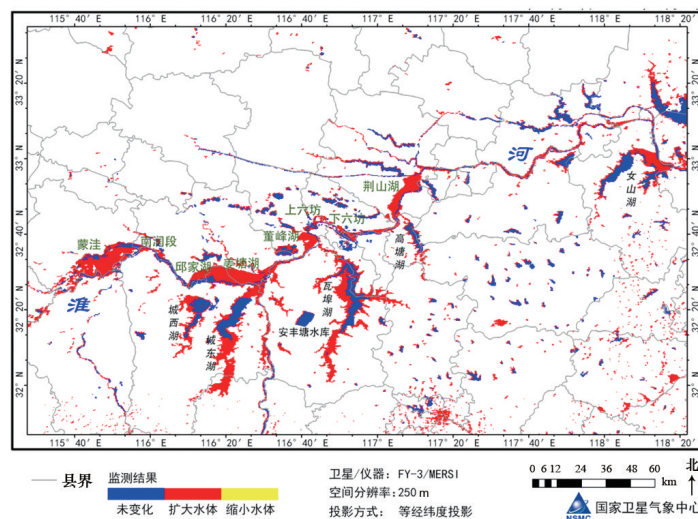


图9 风云气象卫星淮河水体变化监测图(2020年8月3日 vs 2017年7月24日)

1.8 森林草原火灾监测

风云气象卫星具有视野宽广、观测频次较密、对地面高温热源敏感的特点,在森林、草原火情监测及评估中发挥了重要作用。由于火点引起中红外波段计数值急剧变化,造成与周围像元的明显反差,因此使用人机交互方式或者计算机自动判别算法都可以较准确地识别火点信息。试验研究发现,当明火区的面积达到 100 m²时, FY-3 气象卫星就可以监测到。随着 FY-4 气象卫星的发射,我国森林草原火灾监测的时效性大大提高,最高可以达到分钟级获得区域的森林草原火情监测信息。风云气象卫星也可以对森林草原火灾的过火面积进行估算,在火灾损失评估中发挥重要作用。国家卫星气象中心在利用风云气象卫星开展国内森林草原火灾业务化监测的同时,也关注一带一路和全球的森林草原火灾信息^[10]。FY-3 气象卫星 2020 年 8 月 25 日火情监测(图 10)结果可以看出,美国加利福尼亚州及周边出现 35 处火点,主要分布在加利福尼亚州及亚利桑那州。明火总面积约为 2.01 km²,火点上空有向西北飘散的烟雾,烟雾主要影响到加利福尼亚州。

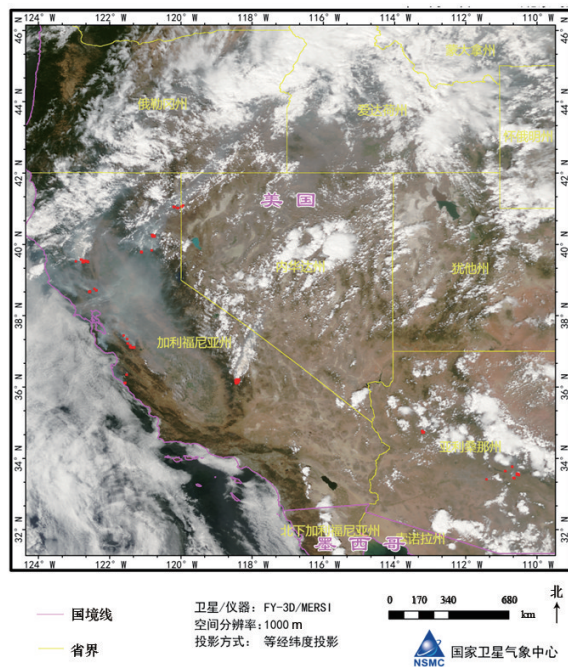


图 10 FY-3 象卫星森林火情监测图
(2020 年 8 月 25 日 5:00)

2 结论

风云气象卫星除了在本文介绍的台风、暴雨、干旱、高温、沙尘、雪灾、森林草原火灾、洪涝等灾害监测,在火山爆发、水体藻类、冰冻和雾霾等灾害监测中都有广泛的应用,随着我国气象卫星在灾害监测中的应用,改变了以国外卫星资料为主进行灾害监测的被动局面^[3]。增强风云气象卫星综合探测能力,提高定量应用水平,可以更好地满足防灾减灾工作对卫星遥感的应用需求。

1) 在卫星仪器探测能力方面,研发全谱段、高分辨、全天候、全天时的遥感仪器,发展多源卫星协同观测模式,可使得观测时效趋于实时。综合利用微光、高光谱、红外、雷达等主被动遥感数据,能更加准确地获取全球大气、海洋和陆地定量信息,提高灾害监测评估精度。

2) 在海量数据快速处理服务方面,利用云计算和大数据技术,建立风云气象卫星遥感综合应用平台,设计并研发智能化卫星遥感灾害监测业务服务系统,实现远程可控、多维可视化、高效快速的监测服务,将大大提高自然灾害监测评估的自动化、智能化和快速响应能力。

3) 在灾害的预测预警方面,发展风云气象卫星灾害监测评估技术与数值天气预报技术、陆面模型同化技术的综合应用,将提高自然灾害的监测评估精度,为灾害的预测预警提供信息支撑,为防灾减灾工作提供更加科学准确的决策依据。

参考文献 (References)

- [1] 李素菊, 刘明, 海霞, 等. 卫星遥感应急管理应用框架[J]. 卫星应用, 2020, 6: 17-25.
- [2] 杨军, 董超华, 等. 新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [3] 张兴赢, 郑伟, 高玲. 风云气象卫星在自然灾害监测中的应用[J]. 城市防灾减灾, 2018, 6: 36-42.
- [4] 卢乃锰, 郑伟, 王新, 等. 气象卫星及其产品在天气气候分析和环境灾害监测中的应用概述[J]. 海洋气象学报, 2017(37): 20-30.
- [5] 王新, 郭强. 基于 FY-2E 卫星 CIBLE 定标结果的台风客观定强效果评估[J]. 红外与毫米波学报, 2014, 33(4):

- 442-449.
- [6] 朱琳, 刘健, 张晔萍, 等. FY-3A/MERSI数据在中国北方干旱监测中的应用[J]. 遥感学报, 2010, 14(5): 1010-1022.
- [7] 韩秀珍, 李三妹, 窦芳丽. 气象卫星遥感地表温度推算近地表气温方法研究[J]. 气象学报, 2012, 70(5): 1107-1118.
- [8] 武胜利, 刘畅, 陈洁. FY-3卫星积雪监测产品概述及在遥感服务中的应用[J]. 上海航天, 2018, 35(2): 60-65.
- [9] Zheng W, Shao J L, Wang M, et al. A thin cloud removal method from remote sensing image for water body identification[J]. Chinese Geographical Science, 2013, 23, 4: 460-469.
- [10] 郑伟, 陈洁, 闫华, 等. FY-3D/MERSI-II 全球火点监测产品及其应用[J]. 遥感学报, 2020, 24(5): 521-530.

Application of Fengyun meteorological satellites in disaster prevention and mitigation

ZHENG Wei, WANG Xin, ZHANG Yeping, HAN Xiuzhen, TANG Shihao

National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

Abstract Fengyun meteorological satellites have the ability of global, all-weather and three-dimensional observation, which has reached the level of international advanced meteorological satellite in terms of spatial resolution, temporal resolution and spectral resolution, and plays an increasingly important role in disaster prevention and mitigation. This paper introduces the application of Fengyun meteorological satellite in the monitoring of typhoon, rainstorm, drought, high temperature, dust, snow disaster, flood and forest and grassland fire, and prospects the application of Fengyun meteorological satellite in disaster prevention and mitigation. With the continuous improvement of the performance of Fengyun meteorological satellites remote sensing instruments and the continuous development of data processing and application technology, it will better provide China and the world with satellite remote sensing disaster monitoring, assessment and early warning information, and provide more scientific and powerful support for disaster prevention and mitigation.

Keywords Fengyun meteorological satellites; disaster prevention and mitigation; monitoring; remote sensing application ●



(责任编辑 祝叶华)