

海洋一号 C 卫星 在自然灾害监测中的应用

文 | 刘建强 曾韬 梁超 邹亚荣 叶小敏 丁静 邹斌 石立坚 郭茂华
自然资源部国家卫星海洋应用中心

一、我国海洋卫星需求背景、规划与现状

1. 海洋卫星需求背景

海洋占地球表面的 71%，海洋是生命的摇篮，是资源的宝库，是交通的要道，是全球气候变化的调节器，海洋是四维动态变化的流动水体，海洋要素包括海面风场、海浪、海流、海面温度、盐度、海水深度及海洋水色等。空间尺度从厘米到数千公里；时间尺度从秒到年。自然资源包括山、水、林、田、湖、草要素，其分布特征千姿百态，其动态变

化过程各不相同。只有对地球自然与人类活动环境连续有效调查与监测才能得到其分布特征与动态变化规律，在此基础上才能做出合理的空间规划，才能发现管辖区域的异常、快速做出预警、定量做出评估、及时采取措施，做到风险可规避，资源可持续有效利用，人与自然能和谐共生。

灾害形成的过程有长有短，有缓有急。当致灾因素的变化超过一定强度与承载力时，就会在几天、几小时甚至几分钟内表现为突发性自然灾害行为，如台风、风暴潮、巨浪、海啸、海冰、冰川断裂、溢油、赤潮、绿潮、蓝藻爆发、森林

火灾、沙尘暴、龙卷风、泥石流、洪涝、干旱、山体滑坡等,还有一些灾害是在致灾因素长期发展的情况下,逐渐显现成灾的,如海平面上升、海岸与生态环境恶化等。

对海洋灾害的监测是“测、报、防、抗、救、援”防灾减灾体系链中的先导性与长期性措施,通过全面连续有效监测可提供更快、更准、更丰富信息,测量变异参数,确定成灾预兆,从而进行示警和预报,并对灾情进行监视和评估,是抗灾、减灾工作首要环节^[1]。世界上经济发达的海洋国家以及有关国际组织,都重视海洋灾害的预警与防御,建立包括卫星、飞机、无人机、船舶、浮标、岸站、地下/水下在内的海洋立体监测系统或海洋监测(观测)网,对海洋环境要素(灾害)分布与变化进行测量、发现、跟踪、评估。

海洋卫星具备全天时、全天候、全球性观测特点,可高频次、周期性、长期、近实时、快速获得全球多尺度多要素海洋要素信息,不受地理位置和人为条件限制,可覆盖环境条件恶劣的海区及政治敏感海区,与现场海洋监测手段相结合,取得了过去单纯用现场监测手段无法替代的重大成果,是认识、研究、开发、利用海洋不可替代并已成为现代海洋观测的主导手段。

2. 海洋卫星规划与现状

根据不同要素的探测技术能力与特点、时间与空间分辨率、覆盖范围与监测频次要求,我国海洋卫星按海洋水色、海洋动力与海洋监测监视三个系列规划,同时构建由北京、牡丹江、海南、杭州、船载系统、南极地面接收站、定标场网、数据处理中心组成的地面系统,开展包括海洋与陆地自然灾害监测、资源调查与开发利用、环境监测与保护应用与地球系统科学研究^[2]。

在《陆海观测卫星业务发展规划》中,“十二五”和“十三五”期间发射8颗海洋业务卫星。在《国家民用空间基础设施中长期发展规划》中,2015-2025年规划了15+2颗海洋系列观测卫星。

海洋一号系列卫星用于水色水温探测,配置光学载荷,陆海兼顾,多种空间分辨率、高信噪比、高动态范围与宽刈幅,于2002年5月、2007年4月、2018年9月、2020年6月分别发射了海洋一号A、B、C、D卫星(HY-1A/1B/1C/1D),新一代水色卫星正在研制。

海洋二号系列卫星用于全天候观测海面风场、高度场、温度场监测,载荷为雷达高度计、微波散射计、微波辐射计、GPS等,于2011年8月、2018年10月分别发射了海洋二号A、B卫星(HY-2A/2B),后续卫星已经研制,计划2021年发射^[3]。

海洋三号系列卫星用于对溢油、海冰、船舶、海浪、内波、海面风场全天候监测,陆海兼顾,载荷为合成孔径雷达(SAR),首颗卫星高分三号(GF-3)于2016年8月发射,后续卫星正在研制。

中法海洋卫星(CFOSAT)为国际合作科研试验卫星,用于提供全球海面风场与波浪谱,中方提供散射计,法方提供波谱仪,双方各自建立地面系统,数据共享,体现了共商共建共享以及创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念,卫星于2018年10月发射。

二、海洋一号卫星技术性能与应急监测能力

海洋一号卫星包括海洋一号A、B、C、D卫星,海洋一号A卫星为试验星,海洋一号B卫星为试验业务星,海洋一号C、D卫星为业务卫星星座,海洋一号A、B卫星载荷为海洋水色水温扫描仪(COCTS)、海岸带成像仪(CZI),海洋一号C、D卫星在原有海洋水色水温扫描仪、海岸带成像仪配置基础上提升性能,同时增配了紫外成像仪(UVI)、定标光谱仪(SCS)、船舶自动识别系统(AIS)。海洋一号C、D卫星上下午组网,增加监测频率,同时弥补下午无数据的瓶颈。

其中海洋水色水温扫描仪包含可见光、近红外、

热红外共 10 个通道，量化等级 12bit，信噪比优于 400，空间分辨率 1.1km，可制作 1:400 万的遥感专题图，幅宽大于 2900km，每天覆盖全球两次，可获取全球海洋水色、海面温度及两极海冰信息，可用于大范围、大尺度的海洋生态灾害、森林火灾、海温异常、两极冰川断裂事件监测。

海岸带成像仪含红、绿、蓝、近红外 4 个通道，量化等级 12bit，信噪比优于 250，空间分辨率优于 50m，可制作 1:5 ~ 20 万的遥感专题图，幅宽大于 950km，对中国沿海以及大部分省市不用侧摆就可实现每三天一次覆盖，覆盖频次高，可实现对大尺度自然资源与灾害变化的快速监测。

海洋一号 C 卫星每天的探测计划通常提前三天做出，载荷按计划自动观测，海洋水色水温扫描仪与紫外成像仪每天 24 小时工作，海岸带成像仪数据量大，境内工作 2 ~ 3 轨，境外工作时间不超过 34 分钟，从地面站接收卫星数据、数据传输、处理、

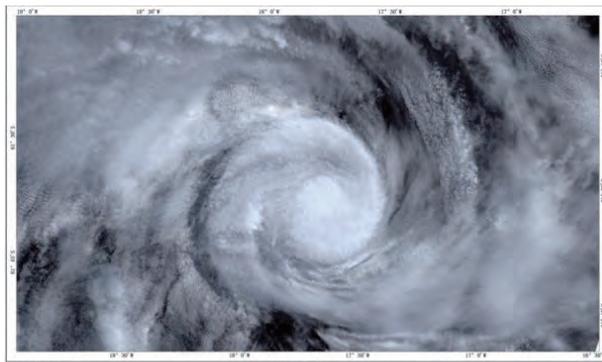
存档制作一般在一小时内完成，根据应急要求，处理与制作专题图也在一小时内完成，从接收数据到最终传送到用户通常在两小时内完成。

三、典型灾害监测应用

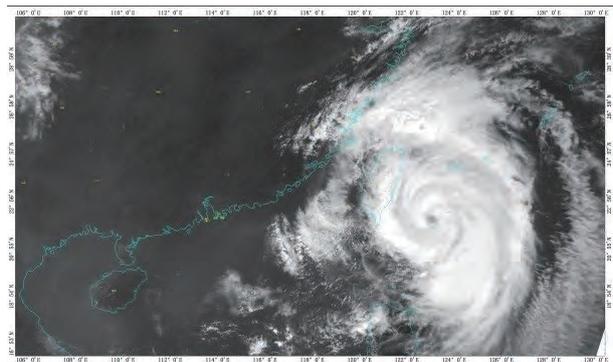
1. 台风监测

西北太平洋海域台风监测目前主要利用海洋二号 A、B 卫星、中法海洋卫星以及欧洲航天局 Metop-A/B 卫星上的微波散射计全球海面风场产品监测台风，通过海洋卫星遥感实况小程序，在手机上可查看当天与近五天的全球任何海域的海面风场，判别台风中心位置、台风强度与移动路径。

海洋一号 C 卫星的海洋水色水温扫描仪及紫外成像仪、海岸带成像仪主要提供台风云图，可分析台风中心位置及云系分布特征（图 1）。与海面风场结合可更直观了解台风变化规律与状态，通过灾前、灾后卫星遥感实况比较可评估灾害损失。



(a) 海洋一号 c 卫星南极气旋遥感影像图
(2018 年 12 月 29 日海岸带成像仪拍摄)



(b) 海洋一号 c 卫星台风“米娜”遥感影像图
(2019 年 9 月 30 日紫外成像仪拍摄)

图 1 海洋一号 c 卫星监测台风

2. 渤海海冰监测

每年冬季渤海有不同程度的结冰，严重的海冰影响海上交通运输与海上工程作业，危及海上石油平台安全。2019 年利用海洋一号 C 卫星对渤海及黄海北部的冬季海冰冰情开展了业务化监测，制作了遥感专题图与

海冰冰情要素分布图，冰期每天一期，向国家、海区、省市三级部门和单位提供服务，为海冰冰情监测与灾害评估、应急响应提供了不可或缺的信息支撑。图 2 展示了从 2019 年 12 月到 2020 年 2 月期间海岸带成像仪监测到的辽东湾海冰外缘线不断增大过程的遥感实况。

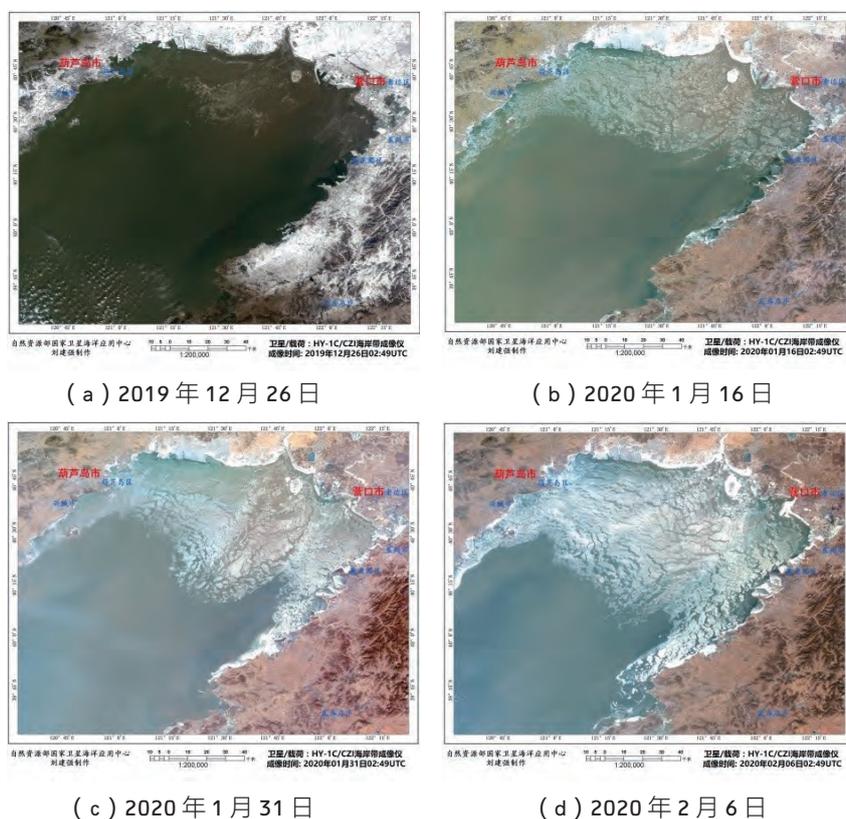


图2 海洋一号c卫星辽东湾海水冰遥感影像图

3. 溢油监测

溢油污染对海洋环境、海洋生态及人类经济生活产生极大危害,海洋溢油能被微波雷达、光学遥感、热红外、紫外等不同遥感器探测到^[4]。

2019年4月针对海南三亚附近海域船舶溢油

事件,采用海洋一号C卫星海岸带成像仪、紫外成像仪等传感器数据开展海上溢油监测,为海上溢油事件快速响应、应急处理和海洋生态环境保护与修复提供辅助决策支持。图3为2019年4月8日海洋一号C卫星对三亚近海溢油应急遥感监测实况。

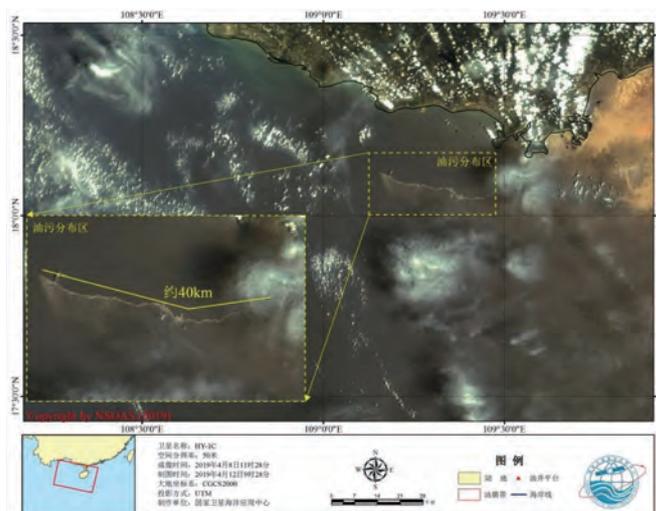
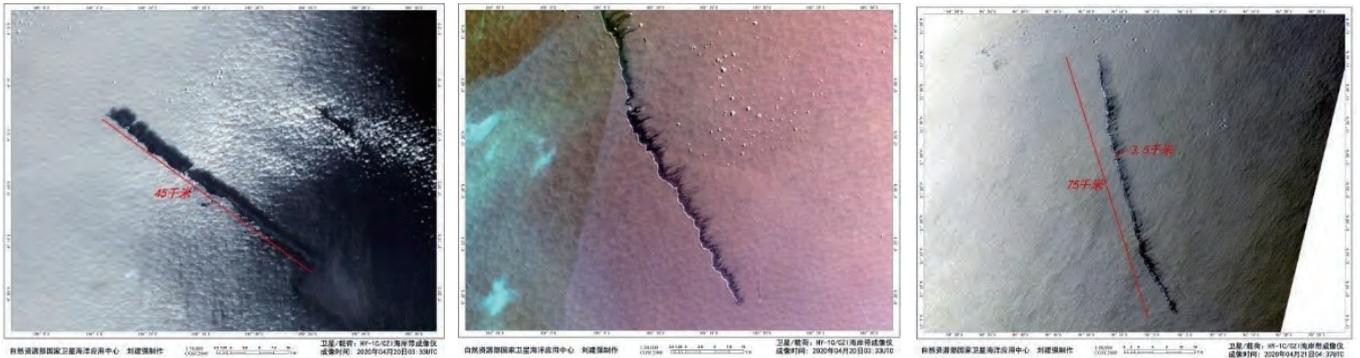


图3 海洋一号c卫星三亚溢油遥感监测专题图

2020年4月国际原油价格暴跌后，海上运输船队利润下降，海上非法排污日益增多，溢油条带几千米到几十千米，有时长达260km，

对生态环境造成严重影响，自2020年4月开始利用海洋一号C卫星海岸带成像仪先后监测到东南亚海域多起溢油事件（图4）。



(a) 2020年4月20日

(b) 2020年4月20日

(c) 2020年4月21日

图4 海洋一号c卫星监测东南亚海域溢油

4. 蓝藻监测

近年来，经济社会发展速度过快导致工业、农业污染以及城市生活废水、污水增多，这些废水未达到排放标准，最后通过多种形式进入江河湖泊，造成水体富营养化，在适宜的温度条件下，蓝藻大量繁殖，严重影响饮用水源与生活用水，蓝藻的恶

臭也严重影响人们自由呼吸。

利用海洋一号C卫星海岸带成像仪监测到太湖、巢湖、洱海多个湖泊蓝藻爆发（图5），多城市生态环境状态令人担忧，卫星数据已及时提供给有关部门，为地方政府的蓝藻综合治理提供了依据。



(a) 2020年5月3日太湖

(b) 2020年2月18日巢湖

(c) 2019年11月15日洱海

图5 海洋一号c卫星监测湖泊蓝藻遥感影像图

5. 赤潮监测

赤潮是我国近海频发的一种海洋生态系统异常现象，海洋中的浮游生物爆发性急剧繁殖造成海水

呈现黄、绿、褐、红等不同颜色，利用海洋一号C卫星海岸带成像仪监测到辽东湾、天津滨海新区、深圳海域的多次赤潮（图6）。



(a) 2019年8月25日辽东湾

(b) 2019年11月4日天津滨海新区

(c) 2020年5月3日深圳海域

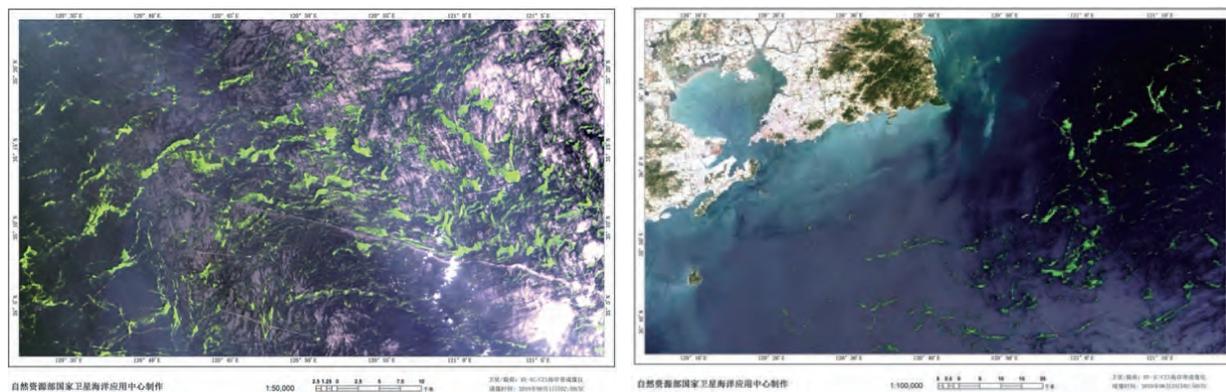
图6 海洋一号c卫星监测赤潮

6. 浒苔监测

2008年青岛奥帆赛前,青岛出现大面积浒苔,影响比赛,当时动用包括海洋一号B卫星在内的17颗卫星进行了长达三个月的监测^[5],为浒苔打捞与防控提供了有序、有力的技术支持。

2019年利用海洋一号C卫星,结合美国地球观测系统/中分辨率成像光谱仪(EOS/MODIS)、高分

一号、高分二号、高分三号、高分四号等卫星资料对我国近海的绿潮开展业务化监测及黄海跨区域浒苔绿潮联防联控保障工作,制作和发布《绿潮卫星遥感监测报告》129期,实现了绿潮灾害早期发现和全过程跟踪监测,为绿潮漂移路径预测和防灾减灾提供了准确及时的信息服务。图7为2019年6月11日和6月23日青岛近海海上浒苔绿潮分布遥感实况。



(a) 2019年6月11日

(b) 2019年6月23日

图7 海洋一号c卫星青岛近海绿潮遥感影像图

7. 极地冰川监测

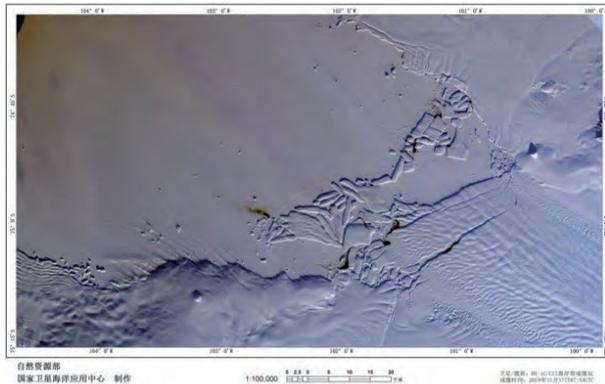
两极冰川的变化已成为全球海平面升降的最重要因素之一,其中松岛冰川是南极最大、移动速度最快的冰川,是西南极冰层内部所发生的任何大变动的一个指示器,受到多国科学家关注,并采用现

场、航空、卫星等多手段进行了多年观测与测量。采用海洋一号C卫星上的海洋水色水温扫描仪与海岸带成像仪对南极进行观测,通过调试设置合理的工作模式,安排探测计划,获得数据后,经一系列的处理分析,发现松岛冰川靠海洋的一端有一条冰

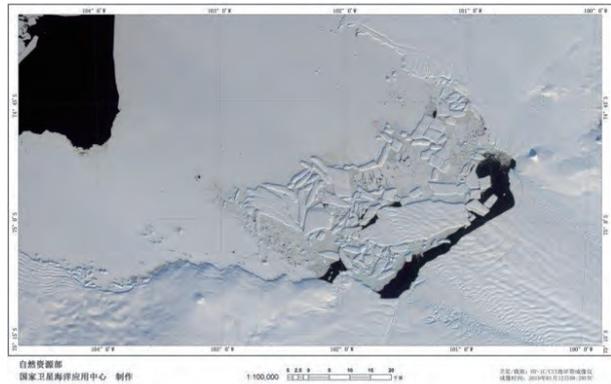
缝隙逐渐加大，并已分离出巨大的冰山，验证了所设计冰雪探测模式有效可用，应用潜力很大。

从2018年11月至2019年3月期间的12次海岸带成像仪影像图显示了其崩裂的变化情况——从前端开裂，然后崩解成数个冰山，直到最后的主体

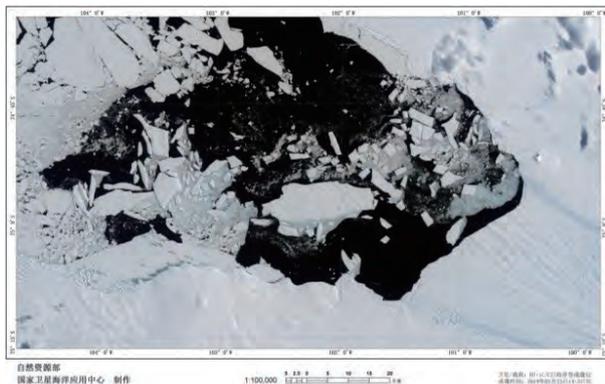
冰山随洋流脱离冰架后不再崩解，分离的冰上面积达到180km²（图8）。2019年9月用海洋水色水温扫描仪数据产品还监测到南极中山站附近埃默里冰架断裂全过程，从海岸带成像仪遥感图像可以量算出冰架裂缝断裂造成分离的冰山达到1700km²。



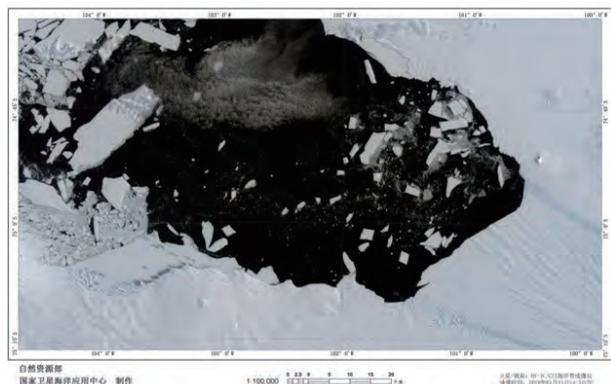
(a) 2018年11月17日



(b) 2019年1月12日



(c) 2019年1月22日



(d) 2019年1月31日

图8 海洋一号c卫星监测南极松岛冰川崩解、分离、漂移过程

8. 白格堰塞湖监测

2018年10月10日晚22时6分，西藏自治区昌都市江达县和四川省甘孜藏族自治州白玉县境内发生山体滑坡，堵塞金沙江干流河道，形成堰塞湖，11月3日17时40分许，波罗乡白格村原山体滑坡点发生二次滑坡，金沙江断流并形成堰塞体。因堰塞湖水位上涨，导致金沙江支流藏曲河河水倒灌，波罗乡、岩比乡部分房屋、道路、桥梁、耕地被淹没，其中波罗乡白格自然村、宁巴自然村全部被淹，

堰塞湖上游受威胁范围达20多千米。

针对金沙江“11.03”山体滑坡堰塞湖应急事件，国家卫星海洋应用中心当时利用刚发射的海洋一号C卫星的海岸带成像仪数据开展连续应急监测。海岸带成像仪幅宽达1000km，星下点分辨率优于50m，重访周期为3天，覆盖频次高，时效快。采用3、2、1波段RGB组合，对堰塞湖区上游及下游整体实现每2~3天一次监测，提供宏观监测信息，把握整体态势。从11月1-23日，

共获取堰塞湖区域海洋一号 C 卫星海岸带成像仪数据 20 余景（其位置正好相邻轨道都覆盖），制作遥感监测影像图 10 期。数据通过 FTP 及时提

供给应急管理部国家减灾中心，为金沙江“11.03”山体滑坡堰塞湖前线联合指挥提供了客观准确的决策辅助信息（图 9）。

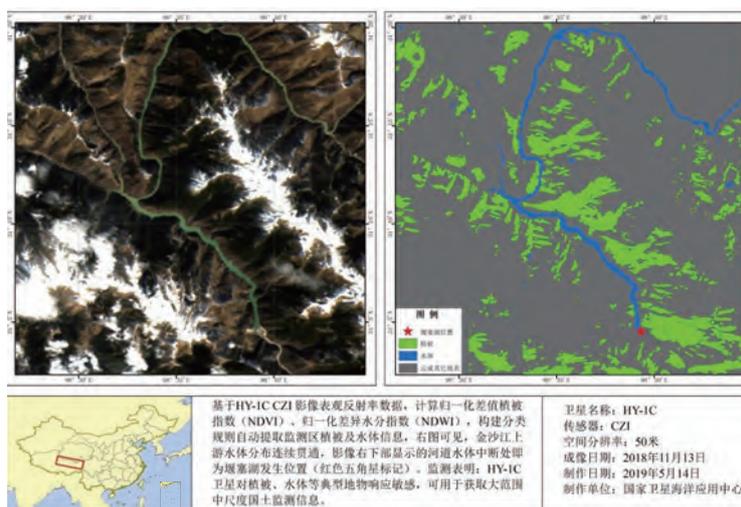
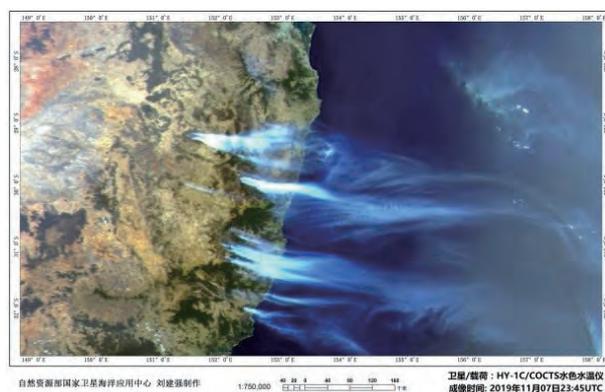


图 9 海洋一号 c 卫星白格堰塞湖遥感影像与水体要素遥感分布图

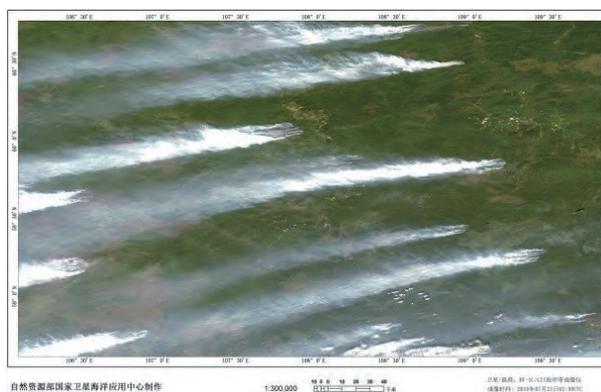
9. 森林火灾监测

海洋一号 C 卫星在轨交付以来，发现地球上多个国家以及中国多个城市每月几乎都有各种森林火灾出现。发生火灾时常伴随长距离淡蓝色或淡黄色的浓烟，无论是海洋水色水温扫描仪图像还是海岸带成像仪的图像都能看到其特征明显，烟雾与云层也能利用形状及阴影特征区分开，一般有火灾出现时，在遥感图像上基本能一眼看出，由于火灾发生后，其辐射值与周边有明显的差异，特别是海洋水色水

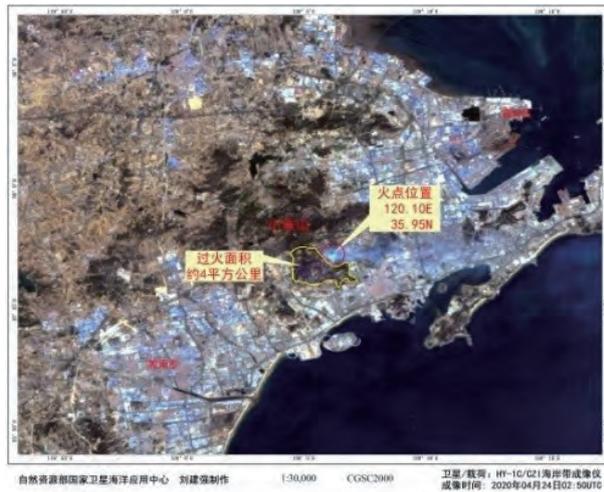
温扫描仪每天一次覆盖和海岸带成像仪三天一次覆盖，数据获取频次高，火灾前后图像做比对更容易判断，大面积与小面积的火灾没有云覆盖条件下一般都能发现，发现之后再找前三天或六天图像比对，可计算过火面积。2019 年至今在俄罗斯、澳大利亚、巴西、印尼、美国、缅甸、老挝等国以及我国青岛、山西、广东、四川、云南、江西、北京等多地发生火灾时，利用海洋一号 C 卫星进行了应急监测，其数据与产品及时提供给了需要的部门（图 10）。



(a) 2019 年 11 月 7 日海洋水色水温扫描仪
澳大利亚火灾



(b) 2019 年 7 月 21 日海岸带成像仪
俄罗斯森林火



(c) 2020年4月24日青岛小珠山火灾



(d) 2020年4月1日四川木里火灾

图 10 海洋一号 c 卫星监测国内外森林火灾遥感影像图

四、结语

防灾减灾救灾工作事关人民群众生命财产安全，事关社会和谐稳定，我国防灾减灾工作的指导方针是“以防为主、防抗救相结合”，“常态减灾和非常态救灾相统一”，并实现从注重灾后救助向注重灾前预防转变、从应对单一灾种向综合减灾转变、从减少灾害损失向减轻灾害风险转变。

海洋一号 C 卫星配置的载荷每天工作时长，其载荷扫描幅宽大，数据获取频次多，在 D 星发射后有下午卫星经过灾害发生区，将填补下午无数据可用的空白，同时用户负责星地一体化运行管理，从卫星探测计划到接收、处理、分发推送全链条完整，产品时效快，可快速发现地球表面的多尺度、多要素环境信息变化与异常，在自然灾害监测方面有很好的应用潜力。

参考文献

- [1] 刘建强. 建立完善的立体监测系统 [J]. 中国减灾, 2005 (1): 26.
- [2] 刘建强. 我国海洋卫星体系及卫星海洋应用体系建设进展与建议 [J]. 海洋科学进展, 2004 (2): 219-224.
- [3] 蒋兴伟, 林明森, 刘建强. 海洋二号环境动力卫星应用展望 [J]. 卫星应用, 2011, 9 (3): 4-8.
- [4] 陆应城, 刘建强, 丁静. 中国东海“桑吉”轮溢油污染类型的光学遥感识别 [J]. 科学通报, 2019, 64 (31): 3213-3222.
- [5] 蒋兴伟, 刘建强, 邹斌. 浒苔灾害卫星遥感应急监视监测系统及其应用 [J]. 海洋学报 (中文版), 2009 (1): 52-64.