

# FY-3D/MERSI-II全球火点监测产品及其应用

郑伟, 陈洁, 闫华, 刘诚, 唐世浩

国家卫星气象中心, 北京 100081

**摘要:** FY-3D/MERSI-II全球火点监测产品主要包括全球范围内的火点位置、亚像元火点面积和火点强度等信息, 可用于实时监测全球范围的森林草原火灾、秸秆焚烧等生物质燃烧状况。火点判识算法主要根据中红外通道对高温热源的敏感特性, 即含有火点的中红外通道像元辐亮度和亮温较远红外通道的辐亮度和亮温偏高, 同时较周边非火点的中红外像元偏高, 建立合适的阈值可探测含有火点的像元。亚像元火点面积估算主要使用中红外单通道估算, 根据亚像元火点面积估算结果对火点强度进行分级, 不同的级别表示不同程度的火点辐射强度。基于全球火点自动判识结果, 每日生成0.01°分辨率的卫星遥感日全球火点产品, 每月生产0.25°×0.25°格点的全球月火点密度图。在利用FY-3D/MERSI-II火点产品开展的全球火点监测应用中, 对多起全球重大野火事件进行了监测, 为防灾减灾、全球气候变化研究、生态环境保护等方面提供卫星遥感信息支持。

**关键词:** 遥感, 风云三号, 火点监测, 中红外, 全球范围, 日和月产品

**引用格式:** 郑伟, 陈洁, 闫华, 刘诚, 唐世浩. 2020. FY-3D/MERSI-II全球火点监测产品及其应用. 遥感学报, 24(5): 521-530

Zheng W, Chen J, Yan H, Liu C and Tang S H. 2020. Global fire monitoring products of FY-3D/MERSI-II and their applications. Journal of Remote Sensing(Chinese), 24(5): 521-530[DOI: 10.11834/jrs.20209177]

## 1 引言

森林、草原火灾, 秸秆焚烧等生物质燃烧事件对社会经济发展、生态环境、气候变化等方面都有着重要的影响。利用卫星遥感技术开展森林草原火灾监测的研究起步很早, 在20世纪七、八十年代就已经开展了气象卫星遥感火点监测方法研究和应用(Matson和Schneider, 1984)。美国在20世纪70年代末期发现NOAA极轨气象卫星AVHRR的中红外波段对地面野火十分敏感, 开展了利用NOAA极轨气象卫星探测森林草原火灾的研究, 并在20世纪80年代初期开展亚像元火点估算研究(Dozier, 1982)。20世纪末, 美国发射的EOS卫星搭载的MODIS仪器具有中红外波段, 研究人员研发了利用EOS/MODIS监测火点的算法和产品(Kaufman等, 1998; 刘玉洁和杨忠东, 2001; Giglio等, 2003; 谭明艳等, 2007; 何全军和刘诚, 2008), 并发布了MODIS全球热点监测信息。中国从20世纪80年代开展利用气象卫星监测森林草原火灾的研究和应用, 由于监测信息用于森林

草原防火部门, 精度和灵敏度要求很高, 早期使用的是人机交互火点监测方式(刘诚等, 2003), 利用由中红外、近红外、可见光通道组成的多通道合成图判识火点。2008年中国风云三号A星(FY-3A)发射升空, 后续又发射了风云三号B星、C星和D星。风云三号系列气象卫星均搭载有对火点敏感的波长范围在3.5—4.0 μm左右的中红外波段探测仪器, 并具有对全球范围的观测能力, 为利用风云卫星开展全球火点监测提供了数据源(杨军, 2012)。国家卫星气象中心对风云三号每颗星都研发了全球火点监测产品, 并通过网站对外发布。特别是2017年发射的风云三号D星(FY-3D), 搭载的中分辨率成像光谱仪(MERSI-II)性能提升明显, 为开展全球火点监测提供了更高质量的数据源。近些年来, 利用风云三号全球火点监测产品多次监测到全球范围的重大森林火灾事件, 为及时了解全球重大森林草原火灾、气候变化对全球野火时空变化影响等研究提供了大量信息。本文以FY-3D为例, 介绍风云三号全球火点产品的算法, 并介绍利用风云三号卫星开展的

收稿日期: 2019-06-03; 预印本: 2019-09-29

基金项目: 国家重点研发计划专项(编号: 2018YFC1506500)

第一作者简介: 郑伟, 1981年生, 男, 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应用。E-mail: zhengw@cma.gov.cn

全球野火监测应用情况。

## 2 风云三号全球火点监测原理

### 2.1 FY-3D/MERSI-II 仪器特性

FY-3D/MERSI-II 仪器共有 25 个通道 (表 1), MERSI-II 资料为 12 比特, 量化等级为 0—4095, 辐射分辨率较高。FY-3D 每日可对全球观测两次, 白天过境时间为地方时 13:00 左右。

表 1 FY-3D/MERSI-II 通道参数表

通道	波长/ $\mu\text{m}$	波段	分辨率/km
1	0.470	可见光	0.25
2	0.550	可见光	0.25
3	0.650	可见光	0.25
4	0.865	近红外	0.25
5	1.24/1.03	近红外	1.00
6	1.640	近红外	1.00
7	2.130	近红外	1.00
8	0.412	可见光	1.00
9	0.443	可见光	1.00
10	0.490	可见光	1.00
11	0.555	可见光	1.00
12	0.670	可见光	1.00
13	0.709	可见光	1.00
14	0.746	可见光	1.00
15	0.865	近红外	1.00
16	0.905	近红外	1.00
17	0.936	近红外	1.00
18	0.940	近红外	1.00
19	1.380	近红外	1.00
20	3.800	中波红外	1.00
21	4.050	中波红外	1.00
22	7.200	远红外	1.00
23	8.550	远红外	1.00
24	10.800	远红外	0.25
25	12.000	远红外	0.25

### 2.2 FY-3D/MERSI-II 火点判识原理

根据维恩位移定律, 黑体温度  $T$  和辐射峰值波长  $\lambda_{\text{max}}$  成反比, 即温度愈高, 辐射峰值波长愈小。常温 (约 300 K) 地表辐射峰值波长在 FY-3D/MERSI-II 通道 24、25 (以下使用通道 24 进行分析) 波长范围左右, 林火燃烧温度一般在

500—1200 K (刘诚等, 2004), 其热辐射峰值波长靠近通道 20、21 (以下使用通道 20 进行分析) 波长范围。当观测像元内出现火点时, 火点所在像元中小子区 (分辨率 1 km 的大范围内不会同时全部为明火区) 的高温使得通道 20 引起的辐射率增量将大大高于通道 24, 使得各通道在该像元的辐射率加权平均值增量及亮温增量也有所不同, 从这一差异可以分析提取火点信息。通过模拟计算 (戎志国等, 2007) 可知, 当火点温度升高时, 中红外通道混合像元亮温增量将迅速增大, 即便假设火点面积仅占像元面积 0.1%, 但其亮温增量在火点 500 K 时已达 10 K 左右, 在 900 K 时, 亮温增量达 44 K 左右, 远红外通道亮温增量虽然也随火点温度升高而增大, 但明显低于中红外通道的幅度。另外, 当火点面积增大时, 中红外通道混合像元亮温增量也将迅速增大, 即便假设火点面积仅占像元面积 0.01%, 亮温增量在火点 900 K 时已达 12 K 左右, 远红外通道亮温增量虽然也随火点面积增大而增大, 但明显低于中红外通道增量的幅度。

## 3 FY-3D/MERSI-II 全球火点监测方法

### 3.1 FY-3D/MERSI-II 全球火点自动判识算法

为实时监测全球范围的火点, 快速生成每日的全球火点产品, 需要研发自动火点判识算法, 达到对全球范围野火的快速监测和产品发布。

由于火点在 FY-3D/MERSI-II 通道 20 和通道 24 引起的辐射率和亮温增量具有明显的差异, 因而可以作为计算机火点自动判识的重要因子。随着多年来人机交互火点判识方法的应用经验积累, 对十分微弱的火点, 也可识别出, 而这正也是防火部门所需要的。根据实际监测效果和理论计算 (刘诚等, 2004; 戎志国等, 2007), 当火点在混合像元通道 20 和通道 24 引起的亮温差异达到 6—8 K 时, 便有可能被肉眼识别, 通常这样微弱的火点其面积仅占不到像元面积千分之一。

然而, 白天太阳辐射的反射也会引起通道 20 和通道 24 亮温差异增大, 这主要发生在植被裸露地带和云表面。尤其太阳辐射在云表面和水体的镜面反射所引起的通道 20、通道 24 亮温差异可达几十 K。在裸露地表太阳辐射在通道 20 的反射虽

然相对较弱,但由于对火点判识敏感度要求很高,即便只有几度的差异,也会使原来不是火点的像元达到火点判识的增温阈值。根据以上分析,计算机火点自动判识需要考虑的因素包括:常温地表和火点像元在通道20的亮温差异;火点像元在通道20与通道24之间的亮温差异;太阳辐射反射在植被覆盖不均地区引起中红外通道亮温的差异;太阳辐射在云表面和水体的镜面反射干扰。由此可建立火点自动判识的主要条件

$$\begin{aligned} T_{20m} - T_{20b} &\geq a\delta T_{20b} \\ T_{20m} - T_{20b} - T_{20,24b} &\geq a\delta T_{20,24b} \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $T_{20m}$ ,  $T_{24m}$ 分别为通道20、通道24亮温,  $T_{20b}$ 为通道20背景温度,  $T_{20,24b}$ 为通道20与通道24背景差异,  $\delta T_{20b}$ 为通道20背景温度的标准偏差,  $a$ 为系数,对于白天轨道,  $a$ 设为4,对于夜间轨道,  $a$ 设为3。  $\delta T_{20,24b}$ 为通道20和通道24之间背景温度差的标准偏差,当以上标准偏差小于2 K,用2 K代替,如果大于3 K,用3 K代替。

背景温度为探测像元未发生明火之前的温度,当探测像元覆盖范围内有明火发生后,卫星观测该像元的辐射率已含有明火信息,无法反映背景温度,因此背景温度由探测像元周边像元的平均值替代。计算背景温度选取的像元应尽量与探测像元的下垫面类型和植被覆盖度相同。对背景温度计算影响的主要因素是云区、太阳耀斑、火点像元、裸地、水体、不同植被覆盖度混杂区域等情况。在背景温度计算中,需要将这些因素去除,以获得最接近监测像元下垫面情况的邻域像元计算背景温度。对云区判断主要利用FY-3D的云检测产品,云检测产品对每个像元标记是否为云区或晴空。对太阳耀斑影响判断是根据耀斑角值是否小于 $10^\circ$ 。裸地、水体可利用土地覆盖类型数据集。对于去除不同植被覆盖度混杂区的影响则利用背景温度的标准偏差。

太阳辐射在云区反射是造成火点误判的重要原因。火点自动判识算法在火点初步确认后,对云区影响进行了判断,包括云污染判断和云区边缘判断。

(1) 云污染判断:即检测像元内是否有小云区干扰(即像元内有未达到云检测产品阈值小云块,但其对太阳辐射的反射会使中红外通道亮温升高,并有可能达到火点判识阈值,从而造成误

判)。检测条件满足如下条件之一

$$\begin{aligned} 1) R_3 &\geq R_{3b} + 10\%, \text{ 且} \\ T_{20} &\leq T_{20C} \end{aligned} \quad (2)$$

式中,  $T_{20C}$ 为通道20云污染判识阈值。

$$2) T_{24} \leq T_{24b} - \Delta T_{24C} \quad (3)$$

式中,  $\Delta T_{24C}$ 为通道24云污染判识阈值。

$$\begin{aligned} 3) R_3 &\geq R_{3b}, \text{ 且 } T_{24} \leq T_{24b}, \\ T_{20} &\leq T_{20b} + 6\delta T_{20b}, \\ T_{20,24} &\leq T_{20,24b} + 6\delta T_{20,24b} \end{aligned} \quad (4)$$

(2) 云边缘判断:即判断已判识的火点像元是否位于云区边缘以及是否受到影响。首先利用云检测产品判断该像元是否位于云区边缘(即是否和云区标记像元相邻,且不完全被云区像元包围),若符合云边缘条件,判断红外通道亮温增量是否达到较高阈值,即高于一般火点判识阈值,以避免因太阳辐射反射引起的误判。云边缘火点判识条件为

$$\begin{aligned} T_{20} &\geq T_{20b} + \Delta T_y \delta T_{20b} \\ T_{20,24} &\leq T_{20,24b} + \Delta T_y \delta T_{20,24b} \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $\Delta T_y$ 为可调阈值,初值为8。

如满足以上条件,表明该像元与背景亮温差异较大,未受太阳辐射干扰,应仍为火点。为尽可能在多种条件下获取火点信息,火点自动判识算法还考虑了薄云条件下的火点判识条件。对薄云火点的判识首先判断云区是否为太阳辐射反射影响较小的均匀云区,即反射率是否较小(因高反射率的云区表明云区较厚,火点无法穿透),同时云区反射率标准差较低。在符合上述条件下,判断红外通道亮温增量是否达到较高阈值,薄云火点判识应同时满足以下条件:

1) 包括火点像元在内的周边至少 $7 \times 7$ 个像元均为云区像元;

2) 云区像元的可见光通道(通道3)平均反射率小于30%,且标准偏差小于4%;(当太阳天顶角大于 $87^\circ$ 时,此项不考虑)同时通道24背景温度标准偏差小于2 K;

3) 该像元的红外通道满足亮温差异条件,即式(1)中系数 $a$ 为6的条件。

### 3.2 火点强度估算

火点强度即火点像元中明火区的热辐射通量,由亚像元火点面积和温度估算值确定。



### 3.2.1 亚像元火点估算

卫星观测到的该像元辐亮度是像元范围内所有各类地物辐亮度累加的加权平均值, 即

$$N_i = \sum_{i=1}^n (\Delta S_i N_{Ti}) / S \quad (6)$$

式中,  $N_i$ 为卫星观测到的该像元辐亮度,  $t$ 为辐射率 $N_i$ 对应的亮温,  $\Delta S_i$ 为像元中第 $i$ 个子区面积,  $N_{Ti}$ 为该子区的辐亮度,  $T_i$ 为该子区温度,  $S$ 为像元总面积。

当地面出现火点时, 假定明火区和含有火点像元及其周边像元在中红外和远红外的辐射特性为黑体, 则含有火点的像元(即混合像元)辐亮度可由如下表述

$$N_{\text{mix}} = P \cdot N_{\text{hi}} + (1 - P) \cdot N_{\text{ibg}} = P \frac{C_1 V_i^3}{e^{C_2 V_i / T_{\text{hi}}} - 1} + (1 - P) \frac{C_1 V_i^3}{e^{C_2 V_i / T_{\text{bg}}} - 1} \quad (7)$$

式中,  $P$ 为火点面积占像元面积百分比,  $T_{\text{hi}}$ 为火点温度,  $i$ 为通道数( $i=20, 24$ ),  $N_{\text{mix}}$ 、 $N_{\text{hi}}$ 、 $N_{\text{ibg}}$ 分别为通道 $i$ 混合像元、亚像元火点(明火区)、周围背景的辐亮度,  $T_{\text{hi}}$ 、 $T_{\text{bg}}$ 分别为火点温度和背景温度,  $V_i$ 为 $i$ 通道的波数,  $C_1$ 、 $C_2$ 为普朗克常数。

在式(7)中, 有 $P$ 、 $T_{\text{hi}}$ 两个未知数, 可利用通道20和通道24混合像元辐亮度表达式建立联立方程组, 并使用牛顿迭代法求解式(7)中的 $P$ 和 $T_{\text{hi}}$ (刘诚等, 2004)。

在实际应用中, 利用双通道的牛顿迭代法估算亚像元火点有时会遇到一些问题, 如对于小火点, 远红外通道背景温度估算难以达到需要的精度, 以及有时迭代不收敛等问题, 此时可利用单通道估算亚像元火点面积(刘诚等, 2004)。根据人工火场卫星同步实验(戎志国等, 2007)分析, 可将 $T_{\text{hi}}$ 设为750 K, 即可计算亚像元火点面积比例 $P$ 。当中红外通道饱和时, 可使用远红外通道估算亚像元火点面积比例。

亚像元火点面积计算公式为

$$S_f = P \cdot S_{\lambda, \phi} \quad (8)$$

式中,  $S_f$ 为亚像元火点面积,  $P$ 为亚像元火点面积比例,  $S_{\lambda, \phi}$ 为位于经度 $\lambda$ , 纬度 $\phi$ 的像元面积。

### 3.2.2 火点强度计算

根据斯蒂芬—波尔兹曼定律, 温度为 $T$ 的单位面积黑体的全波段热辐射放射能力 $E$ 为

$$E = \sigma T^4 \quad (9)$$

式中,  $\sigma=5.6704 \times 10^{-8}$  ( $\text{w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )。

将亚像元火点考虑为黑体, 则由亚像元火点估算得到的火点面积 $S_f$ 和温度 $T$ , 可计算亚像元火点的辐射强度 $FRP$ (Fire Radiation Power)为

$$FRP = S_f \sigma T^4 \quad (10)$$

式中,  $FRP$ 单位为W。

### 3.3 火点强度等级分级

为便于直观了解火点像元的火势程度, FY-3全球火点产品设立了火点强度等级, 火点强度等级可以定量反映火点像元内的火势大小, 主要是明火区面积的大小。本产品将火点像元强度分为10级, 表2为火点强度产品等级的划分定义。

表2 火点强度等级划分表

Table 2 Fire intensity grades

强度	范围
1级	$FRP < 5 \text{ MW}$
2级	$5 \text{ MW} \leq FRP < 15 \text{ MW}$
3级	$15 \text{ MW} \leq FRP < 50 \text{ MW}$
4级	$50 \text{ MW} \leq FRP < 100 \text{ MW}$
5级	$100 \text{ MW} \leq FRP < 150 \text{ MW}$
6级	$150 \text{ MW} \leq FRP < 250 \text{ MW}$
7级	$250 \text{ MW} \leq FRP < 350 \text{ MW}$
8级	$350 \text{ MW} \leq FRP < 700 \text{ MW}$
9级	$700 \text{ MW} \leq FRP < 1200 \text{ MW}$
10级	$FRP \geq 1200 \text{ MW}$

假设亚像元火点温度为750 K, 火点强度等级与亚像元火点面积 $S_f$ 具有如表3的相近对应关系。

表3 火点强度等级与亚像元火点面积对应关系

Table 3 The relation between fire intensity grade and sub-pixel fire area

火点强度等级	亚像元火点面积/ $\text{m}^2$
1级	$S_f < 300$
2级	$300 \leq S_f < 1000$
3级	$1000 \leq S_f < 2500$
4级	$2500 \leq S_f < 5000$
5级	$5000 \leq S_f < 8000$
6级	$8000 \leq S_f < 13000$
7级	$13000 \leq S_f < 20000$
8级	$20000 \leq S_f < 40000$
9级	$40000 \leq S_f < 70000$
10级	$S_f \geq 70000$

### 3.4 FY-3D/MERSI-II 全球火点产品制作

#### 3.4.1 日全球火点产品制作

利用上述方法, 每天基于FY-3D资料提取火点信息, 并生成日全球火点产品, 日全球火点产品可有效反映当天全球各地火点的空间分布情况, 制作过程包括以下步骤

(1) 读入FY-3D/MERSI-II 5分钟段L1级数据, 即经过定标、定位、质量检查等预处理后生成的数据;

(2) 运行火点自动判识程序, 提取5分钟段数据中的火点信息;

(3) 生成5分钟段火点信息列表产品, 内容包括: 火点像元观测时间, 经纬度, 亚像元火点面积和温度, 火点强度等级等;

(4) 将当日所有5分钟段火点信息合并成日全球火点信息列表产品。由于某些火点像元的观测时次不止一次, 尤其高纬度地区每天的观测时间有多次, 因此对同一像元的多次火点信息中, 取亚像元火点面积最大时次信息, 作为该像元的当日的火点信息;

(5) 生成日全球火点分布图。

图1为2018-05-29 FY-3D全球火点监测专题图, 可有效反映当天全球各地火点的空间分布情况。

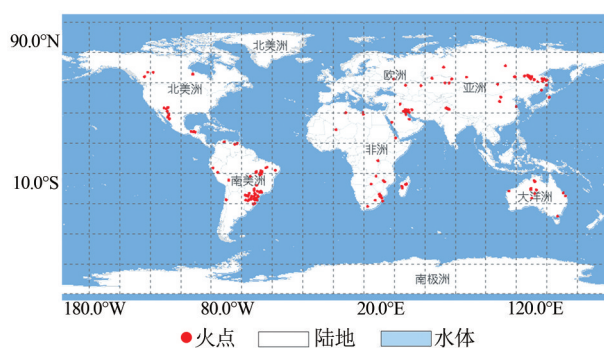


图1 2018-05-29 FY-3D全球火点监测专题图

Fig. 1 Thematic map of FY-3D global fire monitoring on May 29, 2018

#### 3.4.2 月全球火点产品制作

月全球火点产品包括当月全球火点像元信息列表和月全球火点分布密度图, 反映当月全球火点分布的密度和频次特点。月全球火点信息列表包括当月所有全球火点像元信息, 对于同一像元

多时次监测信息, 取亚像元火点面积最大值作为该像元当月火点信息。月产品图制作利用当月所有日火点产品信息, 生成 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 格点的火点像元密度专题图。图中格点值为当月格点范围内所有火点像元个数累加值。

图2为FY-3D/MERSI-II 2018年6月全球火点密度图, 图中不同颜色表示在 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 格点中火点像元个数范围。通过这张图可以清楚地分析出当月不同区域火点发生的密度和频次高低。图2中可见, 2018年6月, 全球火点主要分布在非洲南部、南美洲中部、北美洲南部、亚洲中北部、以及澳大利亚北部等地。

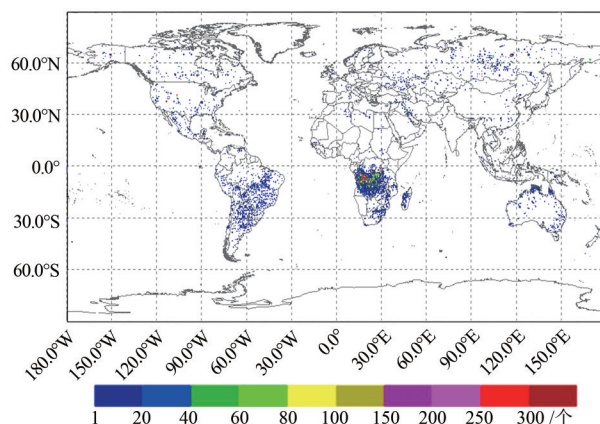


图2 FY-3D 2018年6月全球火点像元密度图

Fig. 2 FY-3D pixel density map of global fire in June, 2018

## 4 产品精度验证

关于对气象卫星火点判识精度的验证, 国家卫星气象中心开展了一系列的星地同步观测和实地考察工作, 如2005年10月和广西壮族自治区气象局在南宁市武鸣县开展了星地同步观测人工火场验证实验(戎志国等, 2007), 2006年和黑龙江省防火办在嫩江嘎拉山火迹地开展现场调查(郑伟等, 2011, 2013), 2014年在河南省驻马店地区进行秸秆焚烧火迹地调查(陈洁等, 2015), 2018年在黑龙江秸秆焚烧星地同步野外调查验证工作等, 以上验证实验考察工作都验证了风云卫星火点监测算法的有效性。由于野火具有时空发展快的特点, 难以用不同观测时间的卫星遥感火点信息对FY-3D/MERSI-II全球火点产品精度做定量验证。对于大区域、特别是国外区域的

火点验证, 主要采用了计算机自动识别火点结果与人机交互火点判识结果对比分析验证方式。以人机交互火点作为参考标准, 验证自动火点判识算法的精度。

本文分别选择FY-3D 2018年5月—6月的中国东北、俄罗斯远东、南美、非洲中南部等典型地区火点监测结果进行统计分析。本文假设自动火点监测算法与人机交互火点结果之间火点位置小于 $0.02^\circ$ 时, 认为自动判识与人工判识位置相符。图3给出了全球4个典型地区的部分区域, 不同时间的人机交互判识与全球自动化火点监测结果对

比结果, 图3中红色表示自动火点监测算法与人机交互火点信息位置相符, 黄色表示人机交互火点位置, 蓝色表示自动火点监测火点位置。图3中可见, 绝大部分自动火点监测算法与人机交互火点位置相符或相近。表4给了4个典型地区的统计分析结果, 自动火点监测算法精度达到了95%以上, 说明了本文方法的有效性。表4中的相符率为自动判识火点与人机交互判识火点相符个数占自动判识火点总个数百分比, 作为自动火点监测算法精度的评价指标。

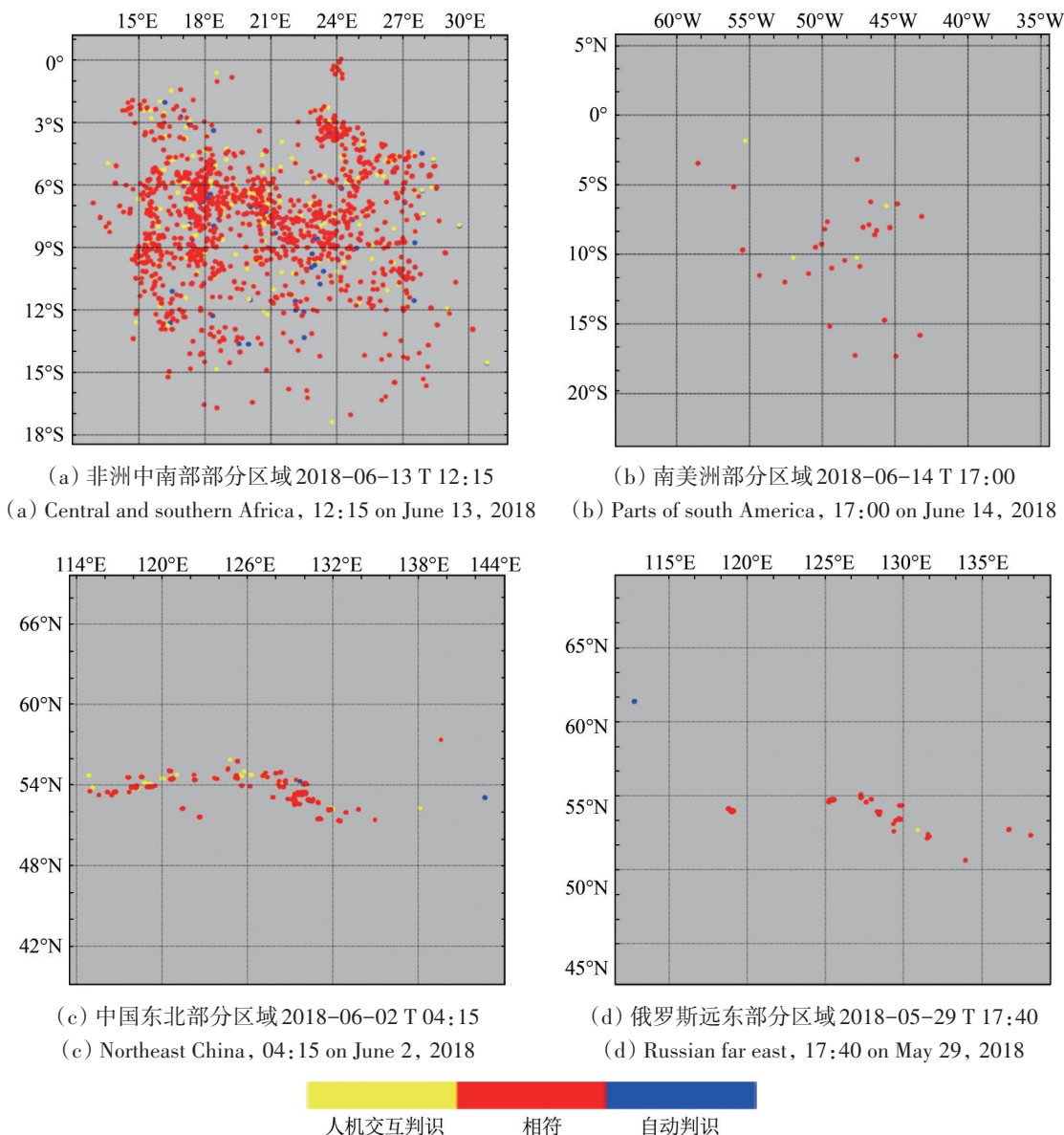


图3 FY-3D人机交互火点判识与全球自动化火点监测结果对比分析示意图

Fig. 3 A sketch of comparison and analysis between FY-3D man-machine interactive fire identification and global automatic fire monitoring results



表4 不同地区自动监测与人机交互火点判识验证  
Table 4 Verification of automatic monitoring and man-machine interactive fire identification in different areas

区域	时间	自动监测	人机交互	相符率/%
非洲中南部	2018-06-13	3139	3035	97
南美地区	2018-06-14	67	68	100
中国东北	2018-06-02	806	789	98
俄罗斯远东	2018-05-29	280	268	96

### 5 全球火点监测应用

风云三号气象卫星发射后, 国家卫星气象中心即开展了风云三号气象卫星监测全球野火的应用, 多次利用风云三号全球火点监测产品监测到全球范围的重大森林火灾事件, 为及时了解全球重大森林草原火灾、气候变化对全球野火时空变化影响等研究提供了大量信息。本文介绍以风云三号D星为主对2018年美国加利福尼亚森林大火和夏季北极地区火灾监测的应用个例。

#### 5.1 2018年美国加州大火监测

2018年11月美国加州发生数次大规模山火, 利用FY-3D卫星对加州大火进行了全过程的动态监测, 制作了多幅由判识火点在真彩色图像上叠加的火情监测产品, 其中真彩色合成图由FY-3D/MERSI-II的通道3(红光), 2(绿光), 1(蓝光)RGB合成, 如图4所示, 红色区域代表火点。其中位于加州北部的“坎普”山火, 火场上空一直弥漫大范围烟雾, 并向西和南方向扩散; 位于加州

南部的“伍尔西”山火, 燃烧后迅速蔓延至海边, 产生了大量的烟雾。同时利用长序列风云卫星全球火点监测产品, 统计分析了2014年—2018年的美国加州火点分布时空变化特征, 如图5所示。通过频次分布图可以看出加州火点分布范围较广, 特别是北部、中部和西南部地区。2014年—2018年, 每年风云卫星监测到的火点数达到4000个以上, 其中2016年监测到的火点数最多, 达到7000个以上。

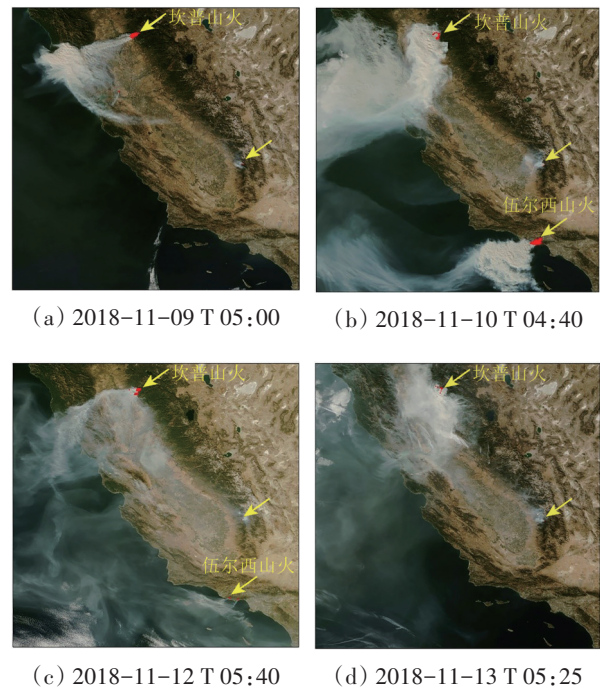
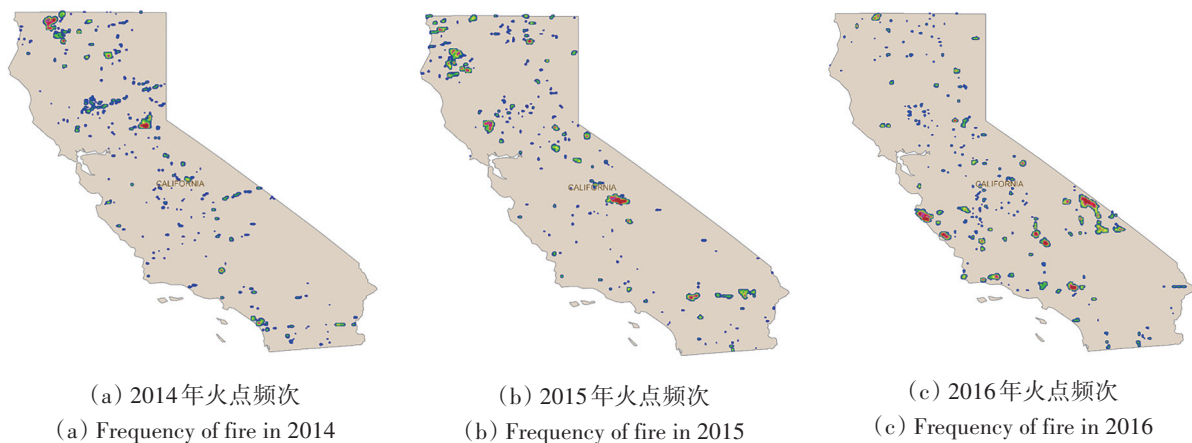


图4 FY-3D美国加州火情动态监测图  
Fig. 4 FY-3D fire dynamic monitoring map of California, USA



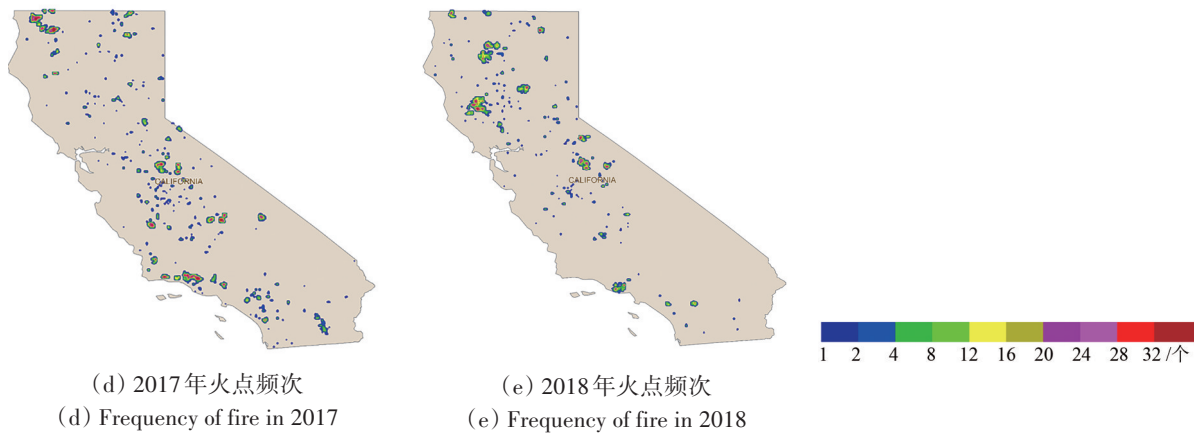


图5 风云三号气象卫星获取的美国加州地区多年火点频次分布图  
Fig. 5 Frequency distribution of fire over California by FY-3 meteorological satellites

5.2 2018年夏季北极野火监测

2018年夏季，持续极端高温天气袭击整个北半球，亚洲、欧洲、北美洲均受影响，多起由高温导致的森林大火烧入北极圈。利用风云三号气象卫星对北极圈一带火情进行了监测分析。图6为利用FY-3D/MERSI-II 2018年7月和2017年同期风云三号气象卫星全球火点信息制作的北极圈一带火点分布图。图6中可见，2018年7月欧亚大陆北极圈一带火点（红点）较2017年同期（绿点）显著增多，增多约50%以上，反映了当年夏季北半球高温天气引发北极圈一带野火异常增多，对北极地区的生态环境造成影响。

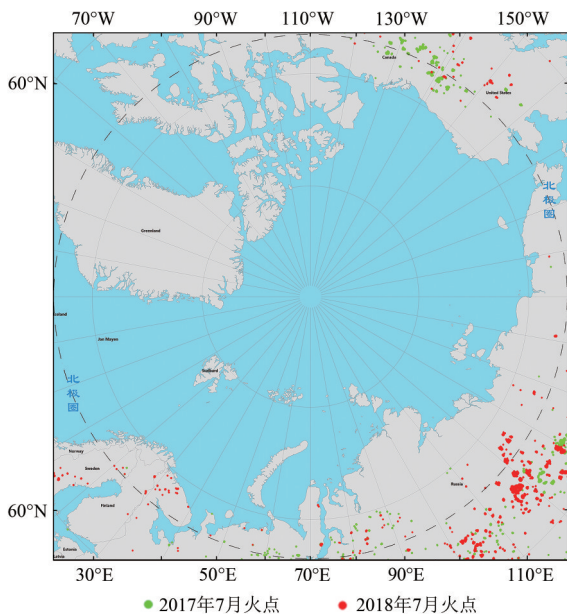


图6 风云三号气象卫星监测北极圈一带火点分布图 (2018年7月和2017年7月)

Fig. 6 Fire distribution map of the Arctic circle monitored by FY-3 meteorological satellites (July 2018 and July 2017)

6 结论

FY-3D/MERSI-II 全球火点自动判识算法考虑了多种天气条件（晴空、薄云、云边缘及云反射等）和下垫面条件（不同植被覆盖度、水体耀斑等）情况，可以较好的适应对全球范围不同地区的火点监测。通过利用人机交互方式对全球4个典型地区的自动火点判识结果检验，结果表明，FY-3D/MERSI-II 全球火点自动判识算法具有较好的精度。与MODIS全球火点产品信息相比，风云三号全球火点产品增加了亚像元火点面积和火点强度信息，以便于用户了解火势程度。由于野火发展的时空动态性非常强，时常在几分钟内会有很大变化，不同卫星观测角度、观测时间以及大气状况等不同，即使是相近成像时间的风云三号D星与MODIS卫星的火点监测结果会存在一定的差异，但对于较大的持续时间较长的火点，两颗卫星都能进行有效的监测，同时对于区域火点的时空分布趋势也是一致的。

随着新一代风云气象卫星的发射和运行，气象卫星火情监测信息的精度和时效得到进一步提高，风云三号气象卫星丰富的探测信息和全球观测能力已达到国际上先进的卫星遥感森林草原火情监测水平。今后在火点监测的基础上，进一步发展基于风云气象卫星的过火区评估、生物量碳排放估算，烟雾影响预测，森林草原火险预警等方法研究。例如，可燃物含水量与温度、光照、云量等密切相关，是森林草原火险预报的重要因子。风云气象卫星地表温度、植被指数、地表蒸散、太阳辐照度、云量等产品可反映可燃物含水量变化，建立基于风云卫星遥感信息的可燃物状



态估测模型, 可为森林草原火险等级预报提供依据。利用风云气象卫星火点、烟雾等监测信息, 结合气象观测风场资料, 可预测森林草原火灾、秸秆焚烧引起的烟雾对周边甚至是远距离地区大气环境的影响, 在生态环境保护方面提供信息支持。未来, 风云气象卫星将在全球野火监测、预警和预测服务等方面发挥更大的作用。

## 参考文献(References)

- Chen J, Zheng W, Gao H, Shao J L and Liu C. 2015. Estimation method of straw burned area based on multi-source satellite remote sensing. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(3): 207-214 (陈洁, 郑伟, 高浩, 邵佳丽, 刘诚. 2015. 多源卫星遥感农作物秸秆焚烧过火区面积估算方法. *农业工程学报*, 31(3): 207-214) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2015.03.027]
- Dozier J. 1981. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. *Remote Sensing of Environment*, 11: 221-229 [DOI: 10.1016/0034-4257(81)90021-3]
- Giglio L, Descloitres J, Justice C O and Kaufman Y J. 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87(2/3): 273-282 [DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00184-6]
- He Q J and Liu C. 2008. Improved algorithm of self-adaptive fire detection for MODIS data. *Journal of Remote Sensing*, 12(3): 448-453 (何全军, 刘诚. 2008. MODIS数据自适应火点检测的改进算法. *遥感学报*, 12(3): 448-453) [DOI: 10.11834/jrs.20080361]
- Kaufman Y J, Kleidman R G and King M D. 1998. SCAR-B fires in the tropics: properties and remote sensing from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D24): 31955-31968 [DOI: 10.1029/98jd02460]
- Liu C, Li Y J, Yan H, Zhang P, Zhao H M and Xu Z. 2003. The improvement of fire monitoring method for meteorological satellite. *Meteorological Monthly*, 29(S1): 35-40 (刘诚, 李亚军, 阎华, 张鹏, 赵洪森, 徐喆. 2003. 气象卫星火情监测判识方法的改进. *气象*, 29(S1): 35-40) [DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2003.s1.008]
- Liu C, Li Y J, Zhao C H, Yan H and Zhao H M. 2004. The method of evaluating sub-pixel size and temperature of fire spot in AVHRR data. *Journal of Applied Meteorological Science*, 15(3): 273-280 (刘诚, 李亚君, 赵长海, 阎华, 赵洪森. 2004. 气象卫星亚像元火点面积和亮温估算方法. *应用气象学报*, 15(3): 273-280) [DOI: 10.3969/j.issn.1001-7313.2004.03.003]
- Liu Y J and Yang Z D. 2001. *The Principle and arithmetic of MODIS*. Beijing: Science Press: 273 (刘玉洁, 杨忠东. 2001. MODIS遥感信息处理原理与算法. 北京: 科学出版社)
- Matson M and Schneider S R. 1984. *Fire Detection Using the NOAA-Series Satellite*. NOAA Technical Report NESDIS 7. Washington: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite Data and Information Service
- Rong Z G, Liu C, Sun H, Ma L J, Lu N M, Liu J J, Zhang Y X, Zhong S Q, Zhang Y, Zhang P, Zhang J S, Li Y J, Zhang X Q, Ma R S and Wang J H. 2007. Sensitivity experiment for fire detecting using satellites' data and new detection channel selection for fire remote sensing. *Advances in Earth Science*, 22(8): 866-871 (戎志国, 刘诚, 孙涵, 马轮基, 卢乃猛, 刘京晶, 张玉香, 钟仕全, 张艳, 张鹏, 张甲坤, 李亚君, 张行清, 马瑞升, 王君华. 2007. 卫星火情探测灵敏度试验与火情遥感新探测通道选择. *地球科学进展*, 22(8): 866-871) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.2007.08.013]
- Tan M Y, Chen Z X, Cao X, Chen J, Yang W and Gu Z H. 2007. Burn scar mapping in steppe using MODIS data. *Journal of Remote Sensing*, 11(3): 1993-2002 (谭明艳, 陈仲新, 曹鑫, 陈晋, 杨伟, 辜智慧. 2007. 利用MODIS识别草原火灾迹地方法的研究. *遥感学报*, 11(3): 1993-2002) [DOI: 10.11834/jrs.20070347]
- Yang J. 2012. *Meteorological satellites and their applications*. Beijing: China Meteorological Press (杨军. 2012. 气象卫星及其应用. 北京: 气象出版社)
- Zheng W, Li Y J, Liu C and Wang M. 2011. Extracting forest burned scar region area based on multi-source remote sensing data. *Scientia Silvae Sinicae*, 47(8): 192-195 (郑伟, 李亚军, 刘诚, 王萌. 2011. 基于多源卫星遥感数据的森林过火区面积估算方法. *林业科学*, 47(8): 192-195) [DOI: 10.11707/j.1001-7488.20110830]
- Zheng W, Shao J L, Wang M and Liu C. 2013. Dynamic monitoring and analysis of grassland fire based on multi-source satellite remote sensing data. *Journal of Natural Disasters*, 22(3): 54-61 (郑伟, 邵佳丽, 王萌, 刘诚. 2013. 多源卫星遥感草原火灾动态监测分析. *自然灾害学报*, 22(3): 54-61) [DOI: 10.13577/j.jnd.2013.0308]

## Global fire monitoring products of FY-3D/MERSI-II and their applications

ZHENG Wei, CHEN Jie, YAN Hua, LIU Cheng, TANG Shihao

*National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China*

**Abstract:** Fengyun/Medium Resolution Spectral Imager-II (FY-3D/MERSI-II) global fire products can be used in real-time monitoring of forest and grassland fires, straw burning, and other biomass burning worldwide. This paper discusses FY-3D/MERSI-II global fire products,

including the methods, product contents, and applications.

Fire spot discerning considers several conditions, such as cloud contamination, cloud edge, and thin cloud influences. Subpixel size evaluation uses a single channel with fire temperature set to 750 K. Fire intensity level is established on the basis of Fire Radiative Power (FRP) and is calculated using sub-pixel size and fire temperature. Daily global fire products with  $0.01^\circ$  spatial resolution are generated, and global monthly fire spot density maps with  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  grid points are produced monthly on the basis of the results of automatic global fire spot discerning.

We selected the results in several typical areas, including Northeast China, Russian Far East, South America, and South-central Africa, from May to June 2018, and compared them using interactive fire spot discerning as the truth to verify the accuracy of automatic fire spot discerning in Fengyun/Medium Resolution Spectral Imager-II (FY-3D/MERSI-II) global fire monitoring. The statistical analysis results show that the accuracy of the automatic fire monitoring algorithm reaches more than 95. The daily FY-3D/MERSI-II global fire products include fire location, subpixel size (in hectare, temperature, fire intensity level, and FRP. Two application examples are introduced, where the first example is for monitoring the huge wildfire that occurred in California, US in 2018, and the second example is for analyzing the temporal and spatial changing features of wildfire around the Arctic Pole circle in the summer of 2018.

The FY-3 global fire spot discerning algorithm considers various weather and underlying conditions, making it suitable for fire monitoring in different regions of the world. The results show that the proposed algorithm has good accuracy. The rich detection information and global observation ability of FY-3 meteorological satellite reach the international advanced level of forest and grassland fire monitoring. FY-3 global fire product can be used for disaster prevention and mitigation, climate change, and ecological environment protection worldwide. In future studies, we will develop methods, such as burned area assessment and estimation of biomass carbon emissions, smoke impact prediction, and forest and grassland fire risk warning. FY-3 meteorological satellite will play a huge role in global wildfire monitoring and early warning and prediction services.

**Key words:** remote sensing, FY-3, fire monitoring, middle infrared channel, global, daily and monthly products

**Supported by** National Key Research and Development Program of China (No. 2018YFC1506500)