附件3

《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范》(征求意见稿)

编制说明

《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范》编制组

二○一四年四月

项目名称:秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范

项目统一编号: 2011-29

项目承担单位:环境保护部卫星环境应用中心

编制组主要成员:厉青、王中挺、王子峰、张丽娟、毛慧琴、周春艳、

陈辉

标准所技术管理负责人:李晓倩、朱静

标准处项目负责人:应蓉蓉

1 项目	目背景	4
1.1	任务来源	4
1.2	工作过程	4
2 标准	崔制订的必要性分析	4
2.1	环境形势的变化对标准提出新的要求	4
2.2	相关环保标准和环保工作的需要	5
3 标准	崔编制的依据与原则	5
3.1 标准	纟编制的依据	5
3.2 标准	纟 编制的原则	5
4 标准	崔主要技术内容	5
4.1	标准适用范围	5
4.2	标准结构框架	6
4.3	术语和定义	6
4.4	监测原理	7
4.5	监测手段的选择	7
4.6	监测方法的确定	7
4.7	监测结果的验证手段的选择	
4.8	监测产品的制作手段	
4.9	质量控制	
5 对实	实施本标准的建议	21
参考文献	犬	

目 录

《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范》

编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

秸秆焚烧会对大气环境质量、生态环境、交通安全和火灾防护带来极大的影响。为有效 的对秸秆焚烧进行管理和监测,根据国家环境保护部《关于开展 2011 年度国家环境保护标准 制修订项目工作的通知》(环办函〔2011〕312 号),将《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规 范》列入国家标准制修订项目计划,项目统一编号为 2011-29,项目承担单位为环境保护部 卫星环境应用中心。

1.2 工作过程

2011年,任务下达后,环境保护部卫星环境应用中心迅速成立了标准编制组,制定了相关工作计划,明确了项目成员的分工。

根据工作计划进度安排,标准编制组认真的进行了资料收集和前期调研工作。内容包括: 收集整理有关秸秆焚烧卫星遥感相关技术规范的国内外文献;调研秸秆焚烧卫星遥感的现有 数据源、监测方法、验证方法;此外,编制组还积极开展了秸秆焚烧卫星遥感监测方法的深 入研究及实验工作。在前期大量工作的基础上,编制组确定了本标准编制的原则、技术路线 和要求,完成了《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范》的开题报告和标准文本初稿。

2012年4月13日,环境保护部环境标准研究所在北京组织召开了本标准的开题论证会。 论证委员会由北京师范大学、中国资源卫星应用中心、中国科学院对地观测与数字地球科学 中心、北京航空航天大学、中国科学院遥感应用研究所、北京市环境监测中心的有关专家组 成。论证委员会听取了标准主编单位关于标准开题论证报告的主要技术内容、编制技术路线 和标准初稿内容介绍,经质询和讨论,认为该标准的编制对于规范和指导秸秆焚烧卫星遥感 监测工作,防治大气环境污染,改善环境空气质量具有重要意义;前期调研充分,开题报告 和标准初稿材料齐全,结构合理,内容较为详实、完整;标准开题报告提出的编制原则科学、 合理,技术路线可行。论证委员会一致通过本标准的开题,并提出如下修改意见和建议:加 强相关标准规范的调研,注重与其他标准的衔接;注重标准用语,加强公式、专业术语的规 范化。

根据论证委员会提出的修改意见,编制单位进行了相关资料的收集,形成了标准文本征 求意见稿和征求意见稿编制说明初稿。之后,编制组将标准文本、编制说明初稿发给环境保 护部标准研究所进行审查,根据反馈意见又对标准文本和编制说明进行了进一步的修改,最 终形成了标准文本征求意见稿和征求意见稿编制说明。

2 标准制订的必要性分析

2.1 环境形势的变化对标准提出新的要求

由于观念、技术和体制等方面的综合原因,我国每年有大量秸秆被当作废弃物焚烧。秸 秆燃烧时,会产生大量的 CO₂、CO、氮氧化合物、苯以及环芳烃等有害气体,不仅危害人体 健康,而且给大气环境、生态环境、交通安全和火灾防护造成了极大的影响。

早在 1999 年原国家环境保护总局就发布了《秸秆焚烧和综合利用管理办法》,一些省市的环保局也出台了相应的焚烧管理办法。1999 年-2005 年,原国家环境保护总局采取了一系列措施,使秸秆焚烧和综合利用工作取得了较好成效,全国大部分地区秸秆焚烧现象得到了有效控制。但近几年来,有些地方的秸秆焚烧现象出现了严重反弹,由于秸秆焚烧火点分布在县、乡,不易查证,难以统计,再加上人力、物力的限制,禁烧的管理、监测难度增大,因此对秸秆焚烧的治理往往无的放失,难以奏效。

《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》明确要求要强化污染物减排治理,加强

环境监管能力。提出了要建立健全区域大气污染联防联控机制,控制区域复合型大气污染以 及要健全环境保护法律法规和标准体系,加强环境监测、预警和应急能力建设的要求。

新的环境形势要求环境监管要更加科学化、高效化。当前,开展秸秆禁烧工作已经成为 环境监管的重要内容之一,它要求秸秆焚烧监管要利用新的技术手段,增加执法的准确性和 效率。卫星遥感技术恰恰能很好的解决这一问题。卫星遥感技术具有时效性强、分辨率高、 资料获取快捷和费用低廉的特点,利用卫星遥感技术一方面可以动态、大范围地监测秸秆焚 烧状况,获取秸秆焚烧火点位置、数目等信息,大大提高秸秆焚烧监管的工作效率并确保监 测结果的客观性和准确性,另一方面还可为国家掌握秸秆焚烧信息,制定大气污染防控措施 提供有力的技术支持。目前我国还无专门针对秸秆焚烧卫星遥感监测应用相关的技术规范, 因此急需制定《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范》。

2.2 相关环保标准和环保工作的需要

随着秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术的不断提高,会不断产生新的监测方法及产品。为 了有效、正确地利用卫星遥感技术进行秸秆禁烧监测,对全国各级环境保护管理人员、科研 人员、监测人员提供相应的技术指导,迫切需要制定《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范》。 该规范通过对秸秆焚烧遥感监测方法、产品制作及产品验证技术进行统一规定,确保监测产 品更具科学性与权威性,从而为保质保量地完成秸秆星监测工作提供技术支持,为各类业务 部门进行监测提供技术参考。因此,为满足秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术建设与管理的需 要,编制符合我国国情、科学实用的《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范》十分必要。

3 标准编制的依据与原则

3.1 标准编制的依据

《大气污染防治法》(2000年) 《秸秆禁烧和综合利用管理办法》(1999年) GB 15968-2008 遥感影像平面图制作规范 GB/T 14950-94 摄影测量与遥感术语 GB/T 17798-2007 地球空间数据交换格式 GJB 421A-97 卫星术语 GJB 2700-96 卫星遥感器术语 DZ/T 0143-1994 卫星遥感图像产品质量控制规范

3.2 标准编制的原则

(1) 适用性、可操作性原则

本标准的内容应具有普遍适用性,方法应具有可操作性,能够为环境监测及管理等相关 业务部门进行秸秆监测提供技术参考。

(2) 科学性、先进性原则

本标准在编制过程中应积极借鉴和利用国内外相关研究成果,运用可靠的原理、成熟先 进的技术和科学的方法,保证制定的标准具有科学性和先进性。

(3) 经济技术可行性原则

标准中采用的技术方法应经济可行,确保按照该标准开展秸秆焚烧卫星遥感监测时,涉 及到的卫星遥感数据源比较容易获取、方法比较容易实现,监测成本较低,经济可行。

4 标准主要技术内容

4.1 标准适用范围

本标准规定了秸秆焚烧卫星遥感监测的手段、原理、监测处理流程、监测方法、结果验证、产品制作、质量控制等内容。

秸秆焚烧监测、监管是环保部门的业务之一,综合考虑到监测的时间分辨和空间分辨率、 精度要求及遥感监测技术的可行性,标准的适用范围中确定了极轨卫星相应的传感器作为秸 秆焚烧卫星监测数据源。具体适用范围为:

适用于环境保护部门利用极轨卫星的星载光学及红外传感器来开展秸秆焚烧卫星监测工作。卫星传感器要求具有 0.65µm 附近的可见光红波段、0.8µm 附近的近红外波段、4µm 附近

的中红外波段、11µm、12µm 附近的热红外波段,且数据性能可靠。

4.2 标准结构框架

表1 《秸秆焚烧卫星遥感监测技术规范》标准架构

标准内容	详细内容
1 适用范围	概述了本标准的编制内容和适用范围。
2 规范性引用文件	介绍了本标准中引用的相关标准文件。
	规定了10个术语,包括像元、热异常火点、秸秆焚烧
3 术语和定义	火点、专题图、亮度温度、潜在火点、背景窗口、背
	景像元、背景火点像元、有效背景像元等。
4 总则	规定了监测手段、原理、内容及处理流程。
	规定了遥感数据预处理、云检测及水体像元识别及
5 监测方法	剔除、热异常火点提取、秸秆焚烧火点提取、秸秆
	焚烧火点信度估算方法。
6 收测姓里验证	规定了地面实地观测验证及其他卫星数据验证两种
0 皿砌珀木迹և	手段。
7 监测产品制作	规定了监测结果产品的制作内容及制作原则。
8 质量控制	规定了卫星数据质量、几何定位精度、监测结果精
	度控制内容。
附录A(资料性附录)	介绍了卫星秸秆日监测产品模版示例。
附录B(资料性附录)	介绍了常用的卫星及其传器用于热异常点监测的谱段
	范围及用途。

4.3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

4.3.1 像元 pixel

遥感图像组成的基本单元,也就是采样单位。 该定义引自《地理学名词(第二版,定义版)》,科学出版社,1989。

4.3.2 热异常火点 anomaly fire point

如果某像元的温度与周围像元的温度有明显的差异,则该像元称为热异常火点。 该定义由编制组给出。

4.3.3 **秸秆焚烧火点** anomaly fire point by straw burning 指由于农作物秸秆焚烧导致的某像元的温度与周围像元的温度有明显差异的热异常火

点。

- 该定义由编制组给出。
- 4.3.4 遥感专题图 thematic map 指遥感图像通过判读形成的不同专业的地图。 该定义引自《地理学名词(第二版,定义版)》,科学出版社, 1989

4.3.5 亮度温度 brightness temperature

简称亮温。指一般地物与绝对黑体具有相等的辐射亮度时,以绝对黑体的温度表示的该地物的温度。

该定义引自《大气科学名词(第三版,定义版)》,科学出版社, 1996

4.3.6 潜在火点 potential fire point 指可能为火点的像元。 该定义由编制组给出。

4.3.7 **背景窗口** background window 指以潜在火点为中心确定的N*N像元大小的窗口。N取值范围为3-21。 该定义由编制组给出。

4.3.8 **背景像元** background pixel 指背景窗口中除潜在火点之外的其他像元。 该定义由编制组给出。

- 4.3.9 **背景火点像元** background fire point pixel 指背景窗口中潜在火点之外的温度较高的像元。 该定义由编制组给出。
- 4.3.10 **有效背景像元** effective background pixel 指背景窗口内背景火点之外的无云陆地背景像元。 该定义由编制组给出。

4.4 监测原理

秸秆热异常火点遥感监测的原理基于维恩位移定律。常温地物热辐射能量的峰值位于长 波红外波段,随着温度升高,热辐射的峰值向波长较短的波段移动。因此,热异常火点的一 个显著特征就是中红外波段的辐射能量高于常温地物。通过遥感观测的辐射能量可以计算物 体的亮度温度,基于上述特征可设置适当的亮度温度阈值实现火点判别。维恩位移定律是描 述黑体电磁辐射能流密度的峰值波长与自身温度之间反比关系的定律,其可以表示为:

$$I_{MAX} = \frac{b}{T}$$

式中: *I*_{MAX} 为辐射的峰值波长(m); *T*为黑体的绝对温度(K); *b*=2.8977685×10⁻m·K,称为维恩位移常数。维恩位移定律说明了一个物体温度越高,其辐射谱的波长越短。根据维恩位移定律,物体辐射峰值波长随温度升高向短波方向移动。一般秸秆燃烧温度为500-1000 K,按照维恩位移定律,其辐射能量应主要集中在2.8–5.7µm,实际观测的燃烧火焰辐射峰值约分布在4µm附近的中红外区域,远远高于常温物体(300K)在这一光谱区域的辐射,但二者在11–12µm的热红外区域相差不大。秸秆火点遥感探测正是利用内部含有火焰的高温像元与背景常温像元在中红外和热红外波段辐射能量的差异来识别地面火点。算法的核心内容是将目标像元的温度特性与周围背景像元(background pixels)的平均温度特性准确地统计出来,并进行多阈值判别,根据判别结果提取火点像元。

4.5 监测手段的选择

根据火点的监测原理,考虑到目前环境管理对火点监测分辨率、时效性的需求以及当前 卫星遥感发展的现状,本标准选择极轨卫星的星载光学及红外传感器来开展秸秆焚烧卫星监 测工作。卫星传感器要求具有 0.65μm 附近的可见光红波段、0.8μm 附近的近红外波段、4μ m附近的中红外波段、11μm、12μm 附近的热红外波段,且数据性能可靠。

4.6 监测方法的确定

本标准的监测方法是在文献调研、方法实验与应用实践的基础上确定的。开展国内外研 究与应用状况调研,主要是为了保证秸秆焚烧卫星遥感监测标准中采用方法的科学性、有效 性。开展方法实验与应用实践,主要是为了保证标准方法结果的可靠性。

4.6.1 国外常用的卫星火点监测算法

国际上最早被用于火点监测的卫星包括美国航空航天管理局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)的地球同步业务环境卫星(Geostationary Operational Environmental Satellite, GOES),以及美国海洋与大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的极轨卫星。两个卫星系列设计的主要目的是提供环境和气象的业务化监测,其搭载的中红外通道(3.7~4µm)和热红外通道(10~11µm)可被用于监测火点。从上世纪 80 年代初至今,已积累了近 30 年连续的区域及全球火点分布数据,被广泛用于森林火灾的监测与预警、生物质燃烧排放估算以及生态及气候影响评估。为了更好地监测全球火点,NASA 充分借鉴 NOAA 卫星的监测经验,设计的中分辨率成像光谱仪

(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)设有专门用于火点探测的中红外通 道,具有更高的辐射分辨率且不易饱和,同时在可见-近红外谱段具有更多通道以提高火点识 别的精度。MODIS 分别于 1999 年和 2002 年搭载于 Terra 和 Aqua 两颗极轨卫星发射升空, 每日可对全球大部分地区进行多次观测,目前已成为全球火点监测最主要的卫星数据源之一。

以下是分别基于 GOES VAS、NOAA AVHRR 和 Terra/Aqua MODIS 等典型的卫星数据源

的主要算法。

(1) 基于 GOES VAS 的火点监测算法

搭载于 GOES 卫星上的多光谱成像仪 VAS (VISSR Atmospheric Sounder) 具有 5 个通道, 其中的可见光通道(0.52~0.72µm)、中红外通道(3.78~4.03µm)以及热红外通道(10.2~11.2µm) 可被用于探测火点。目前用于 GOES 火点监测的 ABBA 算法 (Automated Biomass Burning Algorithm) 是一种基于背景对比 (contextual) 的多光谱阈值算法[Prins and Menzel, 1996],利 用统计方法从多波段的 GOES 图像中动态的获取局地阈值,从而自动提取火点像元。在识别 出火点像元之后,算法借助辅助数据修正水汽吸收削弱、地表反射率、太阳反射信号等因素 的影响。最后依据 VAS 中红外、热红外的观测数据及辅助数据,通过数值方法求取像元内部 的火点面积及其平均温度。ABBA 算法的火点产品主要包括:火点像元的位置、像元内火点 的面积与平均温度,火点及常温背景像元在中红外及热红外通道的亮度温度等。

1994 年升空的 GOES-8 及之后的 GOES 系列卫星具有较高的空间分辨率(可见光达到 1km,中红外及热红外通道达到 4km)以及甚高的时间分辨率(北美地区 15 分钟、其他地区 半小时覆盖一次),对于获取火点特征的日内变化以及火灾的早期预警十分有益。

(2) 基于 NOAA AVHRR 的火点监测算法

搭载于 NOAA 系列极轨气象卫星的 AVHRR 传感器(Advanced Very High Resolution Radiometer)从 1978 年开始进行连续观测,具有从可见光到热红外谱段的 6 个通道,如表 2 所示。AVHRR 的中红外 3B 通道的设计本来是用于反演海面温度,其饱和亮度温度较低,对高温火点的探测能力有一定限制。目前基于 NOAA/AVHRR 数据的火点监测算法主要可以分为单通道阈值算法、多通道阈值算法以及背景对比算法[Li et al., 2000a]。

通道序号	光谱范围/μm	空间分辨率	典型用途		
1	0.55~0.68	1.1km	白天的云及地表观测成图		
2	0.725 ~ 1.00	1.1km	水陆边界识别		
3A	1.58~1.64	1.1km	冰雪识别		
3B	3.55 ~ 3.93	1.1km	夜间云图、海面温度		
4	10.30 ~ 11.30	1.1km	夜间云图、海面温度		
5	11.50 ~ 12.50	1.1km	海面温度		

表 2 NOAA/AVHRR 通道的谱段范围及其典型用途

Ø 单通道阈值算法

单通道阈值算法仅基于 AVHRR 的 3B 通道的亮度温度阈值来识别火点,算法简单直观, 对于相对低温环境或低太阳反射区域的火点具有较好的敏感性。但 AVHRR 的 3B 通道在设计 时并非由于火点观测,其饱和亮度温度为 320~331K,因此火点识别的阈值无法设置很高。单 通道阈值方法容易受到高亮地表及云反射的太阳辐射影响,同时变化的太阳高度角以及不同 的地表类型导致监测结果的不确定性。因此,为提升单通道阈值算法精度,一方面应根据不 同的区域及植被类型(更准确地说,是不同的地表反照率)选择适当的 3B 通道阈值,同时 要考虑不同太阳高度角的影响;二是应在识别火点前将高亮地表和云等高反射地物去除,避 免火点误判。

Ø 多通道阈值算法

为减少单通道阈值算法的不确定性,多通道阈值算法引入了 AVHRR 可见光、近红外及 热红外通道,用于去除虚假火点的干扰,提取真实火点。大多数多通道阈值算法包括以下三 个步骤:1)利用 3B 通道提取所有潜在火点(potential fire);2)利用第4等通道去除云的影 响;3)利用 3B 通道与第4通道亮度温度的差异将火点从较热的背景中分离出来。每一步对 应的阈值都要针对不同的环境与火点条件进行调整。除这三个基本步骤外,还需要进一步对 地表反射信号和不同类型的云进行处理,如利用第1、2通道数据进一步去除云及高亮地表的 反射影响,以及利用第4、5通道的亮度温度之差去除薄卷云的影响。多通道阈值算法被广泛 用于区域甚至洲际尺度的火点监测,其阈值设置必须根据不同的植被类型和环境条件而调整, 因此该类算法在全球的适用性有限。

在所有的判别条件中,3B通道与第4通道的亮度温度差异(T₃-T₄)是去除虚假火点最 主要的依据,普遍认为火点像元的T₃-T₄要显著高于普通常温像元,但实际上影响这一差异 的因素相当复杂。从理论上看,有四种因素可以影响T₃-T₄的数值:1)两通道的大气效应不 同; 2)两通道的地表发射率差异; 3) 3B 通道内的太阳反射贡献; 4) 非均一的亚像元火点 形态。学者们对各类因素的影响进行了细致的研究和比较,发现 T_3 - T_4 在表征火点性质时有 很大的不确定性,利用固定的 T_3 - T_4 阈值难以准确地提取真实火点。表 3 给出加拿大遥感中 心(Canadian Center of Remote Sensing, CCRS)[Li et al., 2000b]和欧洲空间局(European Space Agency, ESA)[Arino and Mellinotte, 1998]使用的多通道阈值算法,作为参考。表 3 中,所 有阈值均针对白天情况,亮度温度的单位为 K, R_1 、 R_2 分别为第 1、2 通道的表观反射率, T_3 、 T_4 分别为第 3、4 通道亮度温度, T_{34} 、 T_{45} 分别为第 3、4 通道和第 4、5 通道的亮度温度 之差。

表 3 CCRS 及 EPA 使用的 NOAA AVHRR 多通道阈值算法的关键阈值设置

阈 值说明	CCRS	ESA
适用区域	区域/加拿大	全球/区域
火点提取	T ₃ >315	T ₃ >320
滤除高温地表	T ₃₄ >=14	T ₃₄ >15
滤除云像元	$T_4 >= 260$	T ₄ >245
滤除高反射地表	$R_2 < 0.22$	R ₁ <0.25
滤除太阳耀斑	-	$ R_1 - R_2 > 0.1$
其他判别条件	T ₃₄ >19 或 T ₄₅ <4.1	-
后处理	去除非森林火点或孤立的火点	人工目视检查,NDVI年最大值>0

Ø 背景对比算法

为进一步发挥多通道阈值算法的优势,基于 AVHRR 多通道数据的背景对比算法 (contextual algorithm)也迅速发展起来。与多通道阈值算法相比,背景对比算法在整个演技 区域内不再使用一套固定阈值,而是使用可变的、针对每个待判火点都动态调整的阈值。该 算法包括三个主要步骤:

- i) 通过多通道阈值判别提取潜在火点一这一步与多通道阈值方法相似,但所用阈值 更为宽松,目的是避免漏判真实火点;
- ii) 针对逐个潜在火点,计算其邻域内常温背景像元 3B 通道亮度温度及 3B 与第 4 通道亮度温度之差的均值与标准差;该邻域可设为以潜在火点为中心的 N×N 窗
 □ (N=3, 4…21)。
- iii) 基于潜在火点像元周围常温背景的亮度温度均值与标准差,生成对当前潜在火点 具有针对性的判别阈值,完成火点识别。

表 4 列举了三种在加拿大北方森林测试过的背景对比算法的关键阈值,分别是世界地圈 生物圈(International Geosphere-Biosphere Programme)使用的算法[Malingreau and Justice, 1997]、Giglio 等学者提出的算法[Giglio et al., 1999],以及为 MODIS 设计的算法[Kaufman et al., 1998],可为本项目技术规范提供参考。

		ngilos MODIS/AVIIKK	守—————————————————————————————————————	八姓网旦以旦
	算法描述	IGBP	Giglio	MODIS/AVHRR
	适用区域	全球	全球	全球
	潜在火点提取	T ₃ >311 且 T ₃₄ >8	T₃>310 且 T₃₄>6	T ₃ >315 且 T ₃₄ >5
	背景窗口范围	3×3到15×15	5×5到21×21	3×3到21×21
	有效邻近像元数	不少于 max(0.25N ² , 3)	不少于 max(0.25N ² , 6)	不少于 max(0.25N ² , 3)
	有效邻近像元条件	T ₃ <311 且 T ₃₄ <8	T ₃ <318 且 T ₃₄ <12	T ₃ <320 且 T ₃₄ <20
				定义:
		定义:	定义:	$\xi_3 = Min\{320, av(T_3)+4*$
火点判别条件		$\xi_3 = av(T_3) + 2*sd(T_3) + 3$	$\xi_3 = av(T_3) + ad(T_3) - 3$	$Max[sd(T_3), 2]$
	山 占 如 団 夕 伊	$\xi_{34} = Max[8,$	$\xi_{34}=av(T_{34})+$	ξ_{34} =Min{20, md(T_{34})
	久息判别亲任	$av(T_{34})+2*sd(T_{34})]$	$Max[2.5*ad(T_{34}), 4]$	$+4*Max[sd(T_{34}), 2]$
		判为火点条件:	判为火点条件:	判为火点条件:
		T ₃ >ξ ₃ 且 T ₃₄ >ξ ₃	T ₃ >ξ ₃ 且 T ₃₄ >ξ ₃	T ₃ >360 或
		· -	· · ·	$(T_3 > \xi_3 \coprod T_{34} > \xi_3)$

表 4 IGBP、Giglio、MODIS/AVHRR 等三种背景对比算法的关键阈值设置

	R ₁ +R ₂ <1.2 或 T ₄ >265 或]	R ₁ +R ₂ <1.2 或 T ₄ >265	发 R ₁ +R ₂ <1.2 或 T ₄ >265 或
滤除云像元	(R ₁ +R ₂ <0.8 且	(R ₁ +R ₂ <0.8 且	(R ₁ +R ₂ <0.8 且
	T ₄ >285)	T ₄ >285)	T ₄ >285)
滤除高反射地表	$R_2 < 0.2$	$R_2 <= 0.25$	
滤除太阳耀斑	-		R ₁ <0.3 或 R ₂ <0.3 或 反射大阳鱼大于 40°

表4中,所有阈值均针对白天情况,亮度温度的单位为K,R₁、R₂分别为第1、2通道的表观反射率,T₃、T₄分别为第3、4通道亮度温度,T₃₄分别为第3、4通道的亮度温度之差,av()为均值, ad()为平均绝对偏差,md()为中数,sd()为标准偏差。

(3) 基于 Terra/Aqua MODIS 的火点监测算法

尽管 NOAA AVHRR 数据在全球覆盖能力和长时间尺度观测方面具有很高的应用价值, 但其载荷的火点探测能力仍有欠缺:中红外通道易于饱和、传感器辐射响应问题、大气水汽 对信号的削弱等。作为新一代"图谱合一"的中分辨率成像光谱仪,MODIS 充分借鉴了 AVHRR 的火点观测经验,设置专门用于火点探测和描述火点热辐射特征的两个中红外通道(波段范 围相同,饱和亮度温度分别为 331K 和近 500K),不仅保证了观测数据的辐射精度,也避免 了高温火点导致通道饱和的问题。同时,MODIS 还使用一个 2.1μm 的短波红外通道加强对太 阳耀斑和水体边缘虚假火点的去除。目前,用于 MODIS 的火点监测算法主要是背景对比算 法,所需通道数据如表 5 所示,可大致分为以下几个环节。

通道序号	光谱范围/μm	算法标识	主要用途
1	$0.62 \sim 0.67$	ρ _{0.65}	太阳耀斑、水体边缘影响去除,云检测
2	$0.84 \sim 0.88$	ρ _{0.86}	高反射地表、太阳耀斑、水体边缘影响去除,
		-	云检测
7	2.10 ~ 2.16	$\rho_{2.1}$	太阳耀斑、水体边缘影响去除
21	3.93 ~ 3.99	T_4	(高响应范围)火点探测与火点特性反演
22	3.93 ~ 3.99	T_4	(低响应范围)火点探测与火点特性反演
31	10.75 ~ 11.25	T_{11}	火点探测,云检测
32	11.75 ~ 12.25	T ₁₂	云检测

表 5 MODIS 火点监测算法所需通道的谱段范围及主要用途

Ø 云及水体标记

利用 p0.65、p0.86 及 T12,通过设置合适的阈值对白天和夜间的有云像元进行识别。然后基于与 MODIS 数据匹配的水陆掩码辅助数据(在 MODIS 发射前就已设定)将河流、湖泊等水体像元标记出来。通过这两步处理,从 MODIS 图像中筛选出适宜进行火点监测的无云陆地像元。

Ø 潜在火点识别

与 NOAA AVHRR 中的对应环节相似,通过设置中红外通道亮度温度 T₄ 及中红外与热红 外通道亮度温度差异(T₄-T₁₁)的阈值,提取潜在火点,作为背景对比算法的判别目标。与 AVHRR 算法不同的是,MODIS 算法要针对白天和夜间的情况分别给出适宜的阈值。

Ø 绝对阈值判别

分别针对白天和夜间的情况在中红外波段设置足够高的绝对阈值 T_{4_Abs},潜在火点若满足 T₄>T_{4_Abs},则被判为真实火点,无需再经过后续的背景对比判别。然而,太阳耀斑有时也 会引起 T₄的异常高值,因此在绝对阈值判定的火点中去除太阳耀斑影响也十分必要。

Ø 背景温度描述

在以潜在火点为中心的 N×N 窗口内选取有效邻近像元,用于统计火点周围常温背景在中红外和热红外波段的热辐射特性。有效邻近像元被定义为观测数据有效的无云陆地像元, 且为不具备显著的火点特征常温像元;同时,窗口中除待判潜在火点外的其他高温火点被标 记为背景火点。窗口内有效邻近像元数量应超过窗口内像元总数的 1/4,且不少于 8 个,以使 常温背景的热辐射特性具有统计意义;否则窗口将逐步扩大直至获得足够的有效邻近像元。 在选出足够的有效邻近像元后,有效邻近像元和背景火点像元的 T₄、T₁₁ 以及(T₄-T₁₁)均值 及平均绝对偏差分别被统计出来,作为生成后续背景对比判别阈值的基础。

Ø 背景对比判别

基于上述常温背景及背景火点的热辐射统计指标,形成一系列动态判别阈值,以考察待 判潜在火点的 T₄、T₁₁ 以及(T₄-T₁₁)。对于夜间情形,若潜在火点满足相应的判别条件,则 被判为真实火点;对于白天情形,潜在火点在满足相应的判别条件后还要进行进一步的虚假 火点去除。而那些在背景温度描述环节中没有找到足够有效邻近像元的潜在火点,则被判为 未知类型,即当前算法无法确定其是否为真实火点。

Ø 虚假火点去除

太阳耀斑能够导致非火点像元的 T₄及(T₄-T₁₁)显著升高,造成虚假火点;另外,处在 沙漠边缘或水体边缘等不同温度地物的交界处,背景热辐射特性的统计易受温度剧烈变化的 影响而"失真",导致火点的误判或漏判。这三类不确定因素均是在白天情况下发生,因此对 通过白天情形下背景对比判别的火点,还需要进一步经过太阳耀斑、沙漠边缘、水体边缘影 响的判别,以去除可能虚假火点。最终,未被虚假火点判别条件滤除的白天火点被判为真实 火点。

Ø 火点信度计算

识别出真实火点之后,背景对比算法还对每个火点的信度(confidence)进行了计算。此处使用了一套经验性的评判准则,即:火点的T₄及(T₄-T₁₁)越大,火点信度越高;火点与周围常温背景在T₄及(T₄-T₁₁)上的差别越大,火点信度越高;火点邻近的云或水体像元越少,火点信度越高。根据上述准则设计了一系列信度计算函数,最终各函数值的几何平均数为火点的最终信度值。

4.6.2 国内常用的卫星火点监测算法

尽管在国内也没有专门针对秸秆焚烧卫星遥感监测应用的相关标准和技术规范,但国内 有些研究应用也在利用 NASA 的 Terra、Aqua 的 MODIS 传感器, NOAA 的 AVHRR 等传感 器以及国内的 HJ-1 红外传感器及 FY-1D 传感器进行火点监测。

国内学者利用卫星遥感进行火点监测始于上世纪八十年代,经过近 30 年的发展已在森林 火灾、秸秆焚烧等生物质燃烧的遥感监测方面积累了丰富的技术方法与应用经验,但目前尚 无利用卫星遥感进行火点监测的产品标准或技术规范。国内火点监测应用广泛使用 NOAA AVHRR 及 Terra/Aqua MODIS 等卫星数据,相关算法与国际上的主流方法基本一致;同时, 我国的风云(FY)系列极轨、地球同步卫星,以及环境一号 B 星(HJ-1B)的观测数据也已 成为国内火点监测的常用数据源,所用算法能够为本技术规范的制定提供借鉴。

1. FY 系列卫星的火点监测算法

(1) FY 极轨卫星的火点监测

FY-1C/1D及FY-3A/3B卫星为我国业务化极轨气象卫星,均搭载了多通道可见光红外扫描辐射计,FY-3A/3B的可见光红外扫描辐射计(VIRR)共有10个通道,其中前5个通道设置与FY-1C/1D的可见光红外扫描辐射计(MVISR)与NOAA/AVHRR相近,如表6所示,可用于火点监测。多通道可见光红外扫描辐射计提取火点时采用背景对比算法和人工目视判读相结合的方法[Zhang et al., 2011]。首先基于第3、4通道的亮度温度阈值提取潜在火点,并统计常温背景的温度特性,实现火点的自动判别。然后利用第1、2通道的表观反射率及第4、5通道亮度温度对云、高反射地表的影响进行去除,减少虚假火点。在进行上述自动判别的同时,通过第1、2、3通道图像的组合与拉伸,通过人机交互实现火点识别。其火点监测算法流程如图1所示。

表 6 FY-1C/1D MVISR 与 FY-3A/3B VIRR 火点监测通道的性能指标及用途

通道序号	光谱范围/μm	空间分辨率	动态范围	典型用途
1	0.58 ~ 0.68	1.1km	0~90%	去除高反射的云和地表
2	$0.84 \sim 0.89$	1.1km	0~90%	去除高反射的云和地表
3	3.55 ~ 3.95	1.1km	190~340K	火点探测
4	10.3 ~ 11.3	1.1km	190~330K	火点探测
5	11.5 ~ 12.5	1.1km	190~330K	去除薄云



图1 FY 极轨卫星的火点监测算法流程图

(2) FY 地球同步卫星的火点监测

FY-2C/2D卫星是我国第二批业务运行的地球同步气象卫星,搭载有可见光红外旋转扫描幅设计(VISSR),具有可见光、中红外及热红外等 5 个通道(如表 7)。由于 VISSR 的通道设置与 GOES VAS 载荷较为接近,可以采用与 GOES 近似的算法进行火点监测。与极轨卫星相比,尽管 FY-2C/2D卫星的空间分辨率较低,但其在 20°×20°的空间范围内每半小时即可提供一次火情监测结果,能更加准确的反映森林火灾等生物质燃烧的日变化特征,也能为火灾早期识别、实时监控提供及时的数据支持。

表 7 FY-2C/2D VISSR 火点监测通道的性能指标及用途

	· · · •·			
通道序号	光谱范围/μm	空间分辨率	动态范围	典型用途
1	0.5~0.9	1.25km	0~98%	火烧迹地识别、去云
2	3.5 ~ 4.0	5km	180~330K	火点探测
3	6.3 ~ 7.6	5km	180~280K	水汽探测
4	10.3 ~ 11.3	5km	180~330K	火点探测、去云
5	11.5 ~ 12.5	5km	180~330K	火烧迹地识别、去云

2. 环境一号 B 星 (HJ-1B) 火点监测算法

环境一号卫星星座于 2008 年 10 月发射升空,包括 A、B 两颗光学卫星,其中的 B 星 (HJ-1B) 搭载一台红外相机 (IRS),设有 4 个观测通道。第 1、2 通道位于近红外谱段,第 3 通道位于中红外谱段,第 4 通道位于热红外谱段,如表 8 所示。相比于 AVHRR、MODIS

等载荷,红外相机的优势在于其较高的空间分辨率:除第4通道数据的空间分辨率为300m 外,其余3个通道数据的空间分辨率都是150m。同时,红外相机扫描幅宽为720km,可实现对同一地区4天一次的观测(白天)。

大 0 H3-HD 红 / 14/1004世多 妖				
通道序号	光谱范围/μm	空间分辨率	动态范围	火点监测中的用途
1	0.75 ~ 1.10	150m	$9.32 \text{mW/(cm}^2 \cdot \text{Sr})$	云及高反射地物去除
2	1.55 ~ 1.75	150m	$0.89 \text{mW/(cm}^2 \cdot \text{Sr})$	冰雪/云区分
3	3.50 ~ 3.90	150m	300~500k	火点识别
4	10.5 ~ 12.5	300m	200~340k	火点识别、云去除

表 8 H.I-1B 红外相机通道参数

与 MODIS 和 AVHRR 数据探测火点的原理类似,利用高温火点在 HJ-1B 卫星红外相机 中红外和热红外通道辐射能量的巨大差异,通过在这两个通道设定适当的阈值,能够将森 林、草原火灾和秸秆焚烧等热异常点从常温背景像元中识别出来。同时,利用 HJ-1B 卫星红 外相机的近红外通道和热红外通道观测数据,辅助进行云检测和太阳耀斑影响去除,以减少 虚假火点的误判几率。基于 HJ-1B 红外相机的火点监测算法可分为如下几个主要环节[王桥 等,2011]。

(1) 云检测

云覆盖较厚的时候无法进行地面火点识别,而且有云像元容易被误判为火点,因此需要 首先进行云检测。检测出的有云像元将不参与火点判别或背景像元的温度特性统计。

(2) 火点识别

火点识别主要依靠 HJ-1B 红外相机第 3、4 通道的表观亮度温度,分别记为 T_3 和 T_4 。参考以往的经验阈值,将火点判别的阈值方案设为:

T₃>360K 且 T₄>320K 且 (T₃-T₄)>20K (白天)

或者 T₃>330K 且 T₄>315K 且 (T₃-T₄)T₃>10K (夜间)

若一无云陆地像元满足上述阈值判别条件,则被判定为火点像元。为避免固定阈值可能 引起的探测误差,上述阈值需要在参考常用经验阈值的基础上,充分考虑目标地物的辐射特 性和其他因素,进行适当的调整。

(3) 去除耀斑干扰

在高反射体或特殊的观测几何条件下,太阳辐射的反射信号会大大增加第三通道的辐射 亮度,造成该像元第三和第四通道的亮度温度差异显著增大,容易误判为火点。这种情况主 要发生在反射率较高的裸露地表、云表面以及水体(镜面反射),这些像元称为耀斑点。基 于可见、近红外通道的反射率与观测几何条件能较好的识别耀斑点,从而减少火点的误判。

通过综合研究以上国内外主要卫星遥感火点监测方法,得知:基于上下文火点监测方法 考虑比较全面,适用范围较广,已逐步成为应用最为广泛的区域及全球火点监测算法,是目 前国际上应用广泛的遥感数据源 MODIS 产品所采用的算法,基于极轨卫星,在具有 0.65µm 附近的可见光红波段、0.8µm 附近的近红外波段、4µm附近的中红外波段、11µm、12µm附 近的热红外波段,且数据性能可靠的传感器情况下,能够获得较高的火点监测结果。通过上 下文火点探测方法探测火点时,背景窗口受未探测到的云、水、火和其他源的影响很小。它 与单通道、多通道固定阈值方法相比的最大优势是能根据每个待判潜在火点的辐射能量和背 景情况,动态的调整判别阈值,大大减少了火点误判的可能性,提高了算法的通用性,可操 作性,具有较强的适用性。所以本标准选取了上下文火点监测方法作为秸地焚烧卫星监测方 法,方法中提供的参考阈值参考了 MODIS 传感器算法。 此外,在上下文火点监测方法基础上,开发了软件系统开展了三年多的全国火点监测的 实验工作,确定了以准确度高的基于上下文对比的热异常火点提取方法为核心的卫星遥感秸 秆焚烧火点监测方法体系,具体包括:遥感数据预处理、云检测及水体像元识别及剔除、热 异常火点提取、秸秆焚烧火点提取、秸秆焚烧火点信度估算几个环节。

4.6.3 遥感数据预处理

遥感数据预处理包括以下三个步骤:

a) 读取卫星遥感数据,从头文件中提取各通道的辐射定标系数、像元经纬度等辅助数据; 对各通道的原始数据进行辐射校正及几何校正;

b) 提取火点识别所需的可见光、近红外波段的表观反射率及中红外、热红外波段的表观 辐射亮度;

c) 将中红外、热红外波段的表观辐射亮度转换为表观亮度温度。

在常用的火点监测算法中,常将火点的辐射亮度转化为亮度温度,然后根据亮度温度阈 值进行火点判定。亮度温度是描述一般地物辐射能力的等效温度参数,即在一定波段范围内, 一般地物与绝对黑体具有相等的辐射亮度时,以绝对黑体的温度等效该地物的温度,此温度 称为地物的亮度温度,利用普朗克公式可把物体的辐射亮度转换为亮度温度。实际处理中首 先读取卫星遥感数据,从头文件中提取各通道的辐射定标系数、像元经纬度等辅助数据,然 后对各通道的原始数据进行辐射校正及几何校正。在此基础上,提取火点识别所需的可见光、 近红外波段的表观反射率及中红外、热红外波段的表观辐射亮度,并基于普朗克定律将中红 外、热红外波段的表观辐射亮度转换为表观亮度温度。计算公式如下:

$$T = \frac{hc}{kl} \frac{1}{\ln\left(\frac{2hc^2}{l^5L} + 1\right)} \tag{1}$$

式中:

T - 表观亮度温度(K);

c — 光速(m/s);

 $l = 中心波长 (\mu m);$

 $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J·s,称为普朗克常数;

k =1.38×10⁻²³J/K,称为玻尔兹曼常数;

4.6.4 云检测及水体像元识别及剔除

火点识别针对的是无云的陆地像元,因此需要严格准确剔除有云像元和水体像元。云的 探测方法参考了AVHRR-derived Global Fire Product (Louis Giglio,2003)。这种方法完全可以用 来识别大片的、温度低的云,但对于会忽略小片云及云的边缘,好处是不可能把非云像元当 作云。当遥感数据具有红波段、热红外波段时,如果像元满足下述条件则被标识为云。

白天云的判别条件为:

$$(r_{\rm r} + r_{\rm n}) > Th_1 \lor (T_{12} < Th_3) \lor ((r_{\rm r} + r_{\rm n})) > Th_2 \land T_{12} < Th_4)$$
 (2)

夜晚云的判别条件为:

$$T_{12} < Th_3 \tag{3}$$

根据水体像元在红波段的表观反射率较低和归一化植被指数小于0的特征,通过红波段的 表观反射率和归一化植被指数来标识水体像元:

$$(r_{\mathbf{r}} < Th_5) \land (NDVI < 0) \tag{4}$$

上式中:

$$NDVI = (r_n - r_r) / (r_n + r_r)$$
(5)

 r_r - 像元在红波段的表观反射率;

r_n - 像元在近红外波段的表观反射率;

T₁₂ - 像元在热红外波段(12μm附近)的亮度温度;

Th₁ - 判别阈值,参考值可取0.9;

Th, - 判别阈值,参考值可取0.7;

Th, 一 判别阈值, 参考值可取265K;

 Th_4 — 判别阈值, 参考值可取285K;

Th₅ - 判别阈值, 参考值可取0.15;

4.6.5 热异常火点提取

热异常火点像元的识别方法主要基于上下文对比算法(或环境对比算法)。首先要对像元 进行初步分类,以区分背景像元(明显不是火点的像元)与潜在火点像元(可能为火点的像 元)。方法及相应阈值的设定参照了 Stroppiana, Pinnock, & Gregoire, 2000、Giglio et al., 1999), Kaufman et al., 1998、Louis Giglio et al., 2003。

(1) 潜在火点判别

潜在火点判别的目的是为了去除明显不是火点的像元。首先要对遥感像元进行初步分类,以区分潜在火点像元与非火点像元,通过像元在热红外波段的亮温、中红外波段(4µm附近)与热红外波段(11µm附近)的亮度温度的差、红波段的表观反射率的阈值来确定(Giglio et al., 2003)。

对于无云陆地像元,像元在白天情况下如果满足条件(6),则被判定为潜在火点。

$$(T_4 > Th_{DT4}) \land (T_{\Delta T} > Th_{\Delta T}) \land (r_{\mathbf{r}} < Th_r)$$
(6)

对于无云陆地像元,像元在夜晚情况下如果满足下述条件:

$$(T_4 > Th_{NT4}) \land (T_{\Delta T} > Th_{\Delta T})$$

$$\tag{7}$$

则像元被判为潜在火点;其他像元则被判为非火点。

上式中:

r_r-像元在红波段的表观反射率;

 T_4 一像元在中红外波段(4 μ m附近)的亮度温度;

ΔT 一像元在中红外波段(4μm附近)与热红外波段(11μm附近)的亮度温度的差;

Th_r一判别阈值,参考值可取0.3;

Th_{DT4}一判别阈值,参考值可取310 K;

Th_{NT4}一判别阈值,参考值可取305K;

潜在火点像元如果满足下述绝对阈值测试,可以判定为暂定火点(白天)和真实火点(夜晚)。

(2) 潜在火点绝对阈值测试

绝对阈值的设值足够高,目的是确定那些可能性极大的火点像元,若潜在火点在白天情况下,满足:

$$T_4 > Th_{DAT4} \tag{8}$$

即可判定为暂定火点。因为在白即使第4段段亮温值设的很高,也有可能是由于太阳耀斑 影响的假火点,所以设定为暂定火点,经过下面虚假火点去除后,才能确定为真实火点。

在夜晚情况下,满足:

$$T_4 > Th_{NAT4} \tag{9}$$

即可标识为真实火点。

其他不满足条件的潜在火点需进入背景阈值测试过程,进一步加以判别。 上式中:

 T_4 一像元在中红外波段(4 μ m附近)的亮度温度;

Th_{DAT4}-判别阈值,参考值可取360K;

Th_{NAT4}一判别阈值,参考值可取320K;

(3) 潜在火点背景阈值测试

潜在火点背景阈值测试是在经过绝对测试后,进一步判断剩余潜在火点是否能成为暂定 火点(白天)和真实火点(夜晚)。具体做法是以潜在火点为中心,建立大小为N×N的背 景窗口,对窗口中的背景像元进行分类并统计其温度特性。背景像元包括背景火点像元和有 效背景像元两种类型,来进一步确定暂定火点像元(白天)和真实火点像元(夜晚)。

其中,背景火点像元在白天和夜晚分别满足以下条件:

白天:
$$(T_4 > Th_{db4}) \land (\Delta T > Th_{db\Delta T})$$
 (10)

夜晚:
$$(T_4 > Th_{nb4}) \land (\Delta T > Th_{nb\Delta T})$$
 (11)

上式中:

 T_4 一像元在中红外波段(4 μ m附近)的亮度温度;

 ΔT —像元在中红外波段(4 μ m附近)与热红外波段(11 μ m附近)的亮度温度的差;

Th_{db4}一判别阈值,参考值可取325K;

Th_{dbΔT}-判别阈值,参考值可取20K;

Th_{nb4}-判别阈值,参考值可取310K;

Th_{nbΔT} -判别阈值,参考值可取10K;

背景窗口内背景火点之外的无云有效观测的其他陆地背景像元为有效背景像元。如果有效背景像元数量满足窗口内总像元数的 25%,且多于 8 个,则统计窗口的背景像元温度特性:窗口起始大小为 3×3,若有效背景像元不够,则增大窗口(变为 5×5、7×7.....21×21)并继续进行上述分类和统计,直到窗口中有足够的有效背景像元。如果当N=21时仍未选出足够有效背景像元,则该潜在火点被标识为不确定类型。

如果上述背景火点像元和有效背景像元温度特性被成功提取,则通过潜在火点的温度特性(*T*₄、*T*₁₁及Δ*T*)与背景窗口中无火的背景有效像元的差异,进行多个阈值条件的判别, 来进一步判定白天潜在火点像元中的暂定火点像元和夜晚火点像元中的确定火点像元。判别 条件如下所示:

$$\Delta T > \overline{\Delta T} + Th_{t1} \times \overline{d_{\Delta T}}$$
⁽¹²⁾

$$\Delta T > \overline{\Delta T} + Th_{t^2} \tag{13}$$

$$T_4 > T_4 + Th_{r_3} \times d_4 \tag{14}$$

$$T_{11} > \overline{T_{11}} + \overline{d_{11}} - Th_{i_4} \tag{15}$$

$$d_4' > Th_{t5} \tag{16}$$

上式中:

 T_4 - 像元在中红外波段(4 μ m附近)的亮度温度;

 T_{II} - 像元在热红外波段(11 μ m附近)的亮度温度;

 ΔT 一像元在中红外波段(4 μ m附近)与热红外波段(11 μ m附近)的亮度温度的差;

 \overline{T}_4 — 4 μ m波段有效背景像元亮温的均值;

 $\overline{d_4}$ -4 μ m波段有效背景像元亮温的平均绝对偏差(mean absolute deviation);

 \overline{T}_{μ} –11 μ m波段有效背景像元亮温的均值;

 $\overline{d_{11}}$ -11µm波段有效背景像元亮温的平均绝对偏差(mean absolute deviation);

 $\Delta T - 4\mu m$ 和 11 μm 两波段亮温差值的有效背景像元的均值;

 $\overline{d_{\Delta T}}$ -4µm 和 11µm 两波段亮温差值的有效背景像元的平均绝对偏差 (mean absolute deviation);

 $d_4'_{-4\mu m}$ 波段背景火点像元亮温的平均绝对偏差(mean absolute deviation);

Th₁₁-判别阈值,参考值取3.5;

Th₁₂一判别阈值,参考值取6K;

Th₁₃-判别阈值,参考值取3;

Th₁₄ 一判别阈值,参考值取4K;

Th₁₅-判别阈值,参考值取5K;

阈值可以根据自然背景的变化来调整。条件(12)中 Th_{l_1} (3.5)比条件(14)中 Th_{l_2} (3) 大,加大了判别中 4µm、11µm 波段的偏差的份量,有利于真实火点的识别。条件(15)主 要用于去除对流层云(在 4µm 比较暖,在 11µm 比较冷),还要用于去除水岸边的假火点, 因为有时冷的火像元会包含在背景窗口中。条件(15)中含有的 11µm 偏差的判断,会增加去除 大火点的可能性,因为大火点会大幅增加背景在 11µm 波段的变化程度($\overline{d_{l_1}}$),一般情况下, 典型的陆地表面, $\overline{d_{l_1}}$ 约为 1K,而包含大火点的陆地表面, $\overline{d_{l_1}}$ 会超过 20K,此时,可用条件 (16),通过提高背景火点像元 d_4 '值来判断是否为大火点像元。

如果上述条件在白天满足(12-14)为真且(15)为真或(16)为真的条件,则潜在火点 被标识为暂定火点,在夜晚满足(12-14)为真的条件,则潜在火点被标识为火点,否则被标 识为非火点。

(4) 虚假火点去除

尽管在上述火点判别的阈值条件中已经考虑水体和云等造成的虚假火点进行去除,但在 筛选出的暂定火点中仍可能包含由太阳耀斑、沙漠边缘和水岸地带等引起的噪声,需要通过 进一步的阈值条件判别来消除。

1)太阳耀斑去除

太阳耀斑可能在小型水体、湿地、卷云以及裸土上发生,首先计算火点像元的耀斑角:

$$\cos q_g = \cos q_v q_s - \sin q_v \sin q_s \cos f \tag{17}$$

上式中, q_g 为火点像元的耀斑角; q_v 、 q_s 和f分别表示观测天顶角、太阳 天顶角和相对方位角。

判别太阳耀斑的阈值条件如下:

$$q_g < Th_{a1} \tag{18}$$

$$(q_g < Th_{a2}) \land (r_r > Th_{ar}) \land (r_n > Th_{an})$$
(19)

$$(q_g < Th_{a3}) \land (N_w) > 0 \tag{20}$$

上式中:

Tha1-判别阈值,参考值取2°;

 Th_{a2} 一判别阈值,参考值取8°;

 Th_{a3} 一判别阈值,参考值取12°;

 Th_{ar} 一判别阈值,参考值取0.1;

 Th_{an} 一判别阈值,参考值取0.2;

N_w-统计窗口中水体像元的个数;

条件(18)去除了受太阳耀斑影响的最强区域的像元,该条件下太阳反射光会使 4μm 的 亮温高达 400K,这时识别出的暂定火点,可靠性很低。条件(19)不太严格,通过稍高的太 阳高度角和红、近红外波段的阈值来去除那些受太阳耀斑影响的像元。条件(20)条件也不 太严格,通过较高的太阳高度角水体像元数来去除那些在水边的可能受太阳耀斑影响的像元。

如果目标火点像元满足上述(18)~(20)中条件之一,则被视为太阳耀斑引起的虚假火点。

2) 沙漠边缘虚假火点去除

上下文算法中,在具有辐射突变(或边界)地面,会影起火点像元的少判或多判。少判 是由于沿边界火点可能由于边界增强了背景的变化程度而没被识别出。多判是由于非火点沿 着沙漠的热边界被不正确地当作是背景火点,降低背景变化程度所引起,通常多判的比例较 高。

针对沙漠边缘的辐射特点设置识别虚假火点的阈值条件,如下所示:

$$N_f > Th_{s1}N_v \tag{21}$$

$$N_f \ge Th_{s2} \tag{22}$$

$$r_{\rm r} > Th_{s3} \tag{23}$$

$$\overline{T}_{4}' < Th_{s4} \tag{24}$$

$$d_4' < Th_{s5} \tag{25}$$

$$T_4 < \overline{T_4}' + Th_{s6} \overline{d_4}'$$
(26)

上式中:

r,一像元在红波段的表观反射率;

- T_4 一像元在中红外波段(4 μ m附近)的亮度温度;
- N, 一统计窗口中背景火点的个数;
- N, 一统计窗口中有效背景像元个数;
- $\bar{T}_{4}'-4\mu m$ 波段背景火点像元的均值;
- $\overline{d_4}$ ' 一4µm 波段背景火点像元亮温的平均绝对偏差(mean absolute deviation);
- Th_{s1}-判别阈值,参考值取0.1;
- Th s2 一判别阈值,参考值取4;
- Th_{s3}-判别阈值,参考值取0.15;
- Th_{s4}-判别阈值,参考值取345K;
- Th_{s5}-判别阈值,参考值取3K;
- Th_{s6}-判别阈值,参考值取6;

条件(21-22)是表明由沙漠边界引起的背景像元中包含了太多的背景火点情况,会引起 多判现象;条件(23)表达了沙漠边界在近红外波段的高反射率特征;白天当沙漠边界被当 作背景火点时, \overline{T}_4 '约为335K, \overline{d}_4 '约为0.5K,而背景中包含强能量的火点时, \overline{d}_4 '通常会 远大于 40K, 并且 \overline{T}_4 '值也较大, 会在 350-380K 之间。条件(24-25)是沙漠边界的 \overline{T}_4 '、 \overline{d}_4 '、特征。条件(26)是假定火点与背景火点有差别不是很大,可能是沙漠边界引起的。

如果目标像元同时满足(21~26)全部条件,则被判定为沙漠边缘的虚假火点。

4.6.6 秸秆焚烧火点提取方法的确定

在上述获取的确定热异常火点像元基础上,结合土地分类数据,通过地理信息系统软件 的叠加分析功能,把位于农田范围内的火点提取出来作为秸秆焚烧火点,并将提取出的秸秆 焚烧火点存储为矢量数据文件,作为一个单独的图层进行后续的判断和处理。在此基础上考 虑到卫星遥感数据的几何定位误差,对几何定位误差范围内的簇状点群进行适当处理,即将 一定半径(如几何定位精度为1km,则取1km)内的所有相邻火点进行合并,以其中心点作 为最终的火点位置。

4.6.7 秸秆焚烧火点信度估算方法的确定

对最终确定为秸秆焚烧火点的像元可以通过对其温度特性的统计分析,估算其火点信度(confidence)。估算信度的方法及阈值的确定参照了(Louis Giglio et al.,2003),信度估算方法如下:

第一步:利用类似于统计学上的 Z 分数模型,计算火点与背景有效像元温度特性的差异 统计参数 $Z_{4} \rightarrow Z_{\Delta T}$,如下所示:

$$Z_4 = \frac{T_4 - \overline{T}_4}{\overline{d}_4} \tag{27}$$

$$Z_{\Delta T} = \frac{\Delta T - \overline{\Delta T}}{\overline{d_{\Delta T}}}$$
(28)

第二步:将 Z_4 、 $Z_{\Delta T}$ 、 N_{av} 、 N_{ac} 以及判别阈值 a_i 和 b_i (i=1,2...5),代入信度判别斜 坡函数 (29),得到热异常点的一系列信度指数 C_1 (或 C_1 ,), $C_2...C_5$:

$$S(x,a,b) = \begin{cases} 0; x \le a \\ (x-a)/(b-a); a < x < b \\ 1; x \ge b \end{cases}$$
(29)

$$C_{11} = S(T_4, Th_{c1}, Th_{c2}) \quad (\text{``attach}, Th_{c2}) \quad (\text{``attach}, Th_{c3}, Th_{c4}) \quad (\text{``attach}, Th_{c4}) \quad$$

$$C_2 = S(Z_4, Th_{c5}, Th_{c7}) \tag{31}$$

$$C_{3} = S(Z_{\Delta T}, Th_{c6}, Th_{c7})$$
(32)

$$C_4 = 1 - S(N_{ac}, 0, Th_{c7}) \tag{33}$$

$$C_5 = 1 - S(N_{aw}, 0, Th_{c7}) \tag{34}$$

第三步: 取各信度指数的几何平均数作为该热异常像元的等级, 如下所示:

$$C = \sqrt[5]{C_{11}C_2...C_5} \quad (白天) \quad \vec{u} \quad C = \sqrt[3]{C_{12}C_2C_3} \quad (夜晚) \quad (35)$$

上述步骤中:

 T_4 -像元在中红外波段(4 μ m附近)的亮度温度;

 \bar{T}_4 -4 μ m波段有效背景像元亮温的均值;

 $\overline{d_4}$ -4µm波段有效背景像元亮温的平均绝对偏差(mean absolute deviation);

 ΔT -像元在中红外波段(4 μ m附近)与热红外波段(11 μ m附近)的亮度温度的差;

 $\overline{\Delta T}$ — 4µm 和 11µm 两波段亮温差值的有效背景像元的均值;

 $\overline{d}_{\Delta T}$ — 4µm 和 11µm 两波段亮温差值的有效背景像元的平均绝对偏差 (mean absolute deviation);

Th_{c1}一判别阈值,参考值取310K;

Th_{c2} 一判别阈值,参考值取340K;

Th_{c3}一判别阈值,参考值取305K;

*Th*_{c4} 一判别阈值,参考值取320K;

Th_{c5}一判别阈值,参考值取3;

Th_{c6}一判别阈值,参考值取2.5;

Th_{c7}一判别阈值,参考值取6;

N_{aw}-目标火点像元最临近的8个像元中水体像元的个数;

N_{ac}-目标火点像元最临近的8个像元中云像元的个数;

对于 C_{11} , 基于经验, Th_{c1} (310K)代表白天火点像元的最小的亮温值(火点不是很明显), Th_{c2} (340K)代表确定的白天火点像元的亮温值;对于 C_{12} , Th_{c1} (305K)代表夜晚火点像元的最小的亮温值(火点不是很明显), Th_{c2} (320K)代表确定的夜晚火点像元的亮温值;对于 C_2 , Th_{c5} 、 Th_{c7} 是需要探测到火点算式 Z_4 所需要的最小值(3)和确定火点的典型值(6)。同理应用于 C_3 。 C_4 、 C_5 分别表示随着云、水像元数的增加,信度会降低。

基于 C 值(0≤C≤1)可将火点分为高、中、低三种信度,如表 1 所示:

表1火点信度分级方法

C 值范围	信度等级
$0 \le C < 30\%$	低
$30\% \le C < 80\%$	中
$80\% \le C \le 100\%$	高

4.7 监测结果的验证手段的选择

根据目前常用的验证方法,选择地面实地验证和其他同类卫星相似的观测数据来检验。 地面实地观测验证采取野外地面抽样验证方法。携带卫星定位系统实地验证监测到的火 点位置,如果火点位于遥感像元的几何定位精度之内,则认为监测到的火点结果是正确的; 如果监测到的火点在遥感像元的几何定位精度之外,则判别监测到的火点属于误判火点。

其他卫星数据验方法是利用其他卫星同类或相似的观测数据来检验。可以通过利用本方 法生成的产品要和同期相似传感器的秸秆焚烧产品结果进行比较,验证算法的精度。

4.8 监测产品的制作手段

监测产品以文字、专题图及统计表格等形式表示秸秆焚烧监测结果。专题图可以利用地理信息系统软件(如 ArcGIS)完成、文字、表格可以通过 Word、Excel 软件生成,也可以通过软件集成开发,综合实现日、月、季、年监测产品的报告。

4.9 质量控制

为保证秸秆焚烧监测的质量,在进行秸秆焚烧火点信息的数据预处理前,要保证遥感原 始数据的质量,避免有条带的数据参与后续处理,导致结果的误识别。在利用不同卫星及传 感器的遥感数据前,要保证几何位置的配准,配准精度在一个像元之内。另外,为提高火点 监测结果的准确度,可结合火点的野外验证工作结果,根据下垫面的情况适当调整方法中的 判断域值进行火点信息的提取。

5 对实施本标准的建议

1. 为保证本标准的有效实施,建议环保部门加强遥感技术监测方法的培训、宣传力度, 保证各有关监测部门遵循标准的有关规定开展监测工作。

2. 建议加强秸秆遥感监测火点面积、污染物排放强度等科研工作。随着环境管理要求及 技术的不断发展,适时对标准进行修订,不断扩展监测内容,制定针对不同卫星遥感数据源 的技术规范,不断推动、深化标准工作。

参考文献

- [1]段凤魁,鲁毅强,狄一安等.秸秆焚烧对北京市空气质量的影响[J]. 中国环境监测, 2001,17(3):8-11.
- [2]方萌,张鹏,徐喆. "3 S"技术在农作物秸秆焚烧监测中的应用[J]. 国土资源遥 感,2006,69(3):1-5.
- [3]覃先林,易浩若.利用 MODIS 数据探测燃烧的方法研究[J]. 遥感技术与应用,2002,17 (2):66-69.
- [4]张树誉,李登科,景毅刚."3S"技术在关中地区秸秆焚烧遥感监测中的应用[J].环境监测管 理与技术.2005,17(2):17-20.
- [5]周小成,汪小钦.EOS—MODIS 数据林火识别算法的验证和改进[J]. 遥感技术与应用,2006,21(3):206-211.
- [6] 王福州,郭魁英,王国斌等.基于AVHRR的地市级火情监测分析与应用[J],气象,2006, 32 (10): 112-116.
- [7] 邹春辉,赵学斌,刘忠阳等. 卫星遥感技术在秸秆焚烧监测业务中的应用[J]. 河南气 象,2005,3:24-26.
- [8]L. Giglio, J. Descloitres, C. O. Justice, and Y. Kaufman, "An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS," *Remote Sensing of Environment*, 2003,87(3):273-282.
- [9] 李希达,马德媛,黄丽荣.中国小麦区划图[EB/OL]. (2006-10-19)[2006-12-05]. <u>http://www.chinawinner.net/quhua_wheat.htm</u>
- [10]曹国良,张小曳,王丹等.中国大陆生物质燃烧排放的污染物清单[J].中国环境科学,2005, 25(4): 389-393.
- [11]郑晓燕,刘成德,赵峰华,段凤魁,虞统 H. Cachier. 北京市大气颗粒物中生物质燃烧排放贡献的季节特征[J]. 中国科学(B辑), 2005, 35(3): 1-7.
- [12] 邹玲,孙军,武俊峰.农林废弃物生物质燃烧特性的研究.木材加工机械. 2006, 5:21-24
- [14] 王桥, 厉青, 陈良富, 张美根, 张兴赢等, 大气环境卫星遥感技术及其应用, 179-180. 北 京:科学出版社, 2011.
- [15][EB/OL]. (2006-12-19)[2007-01-05]. http://www.cnemc.cn/emc/.
- [16][EB/OL]. (2006-12-03)[2007-5-02].http://cdc.cma.gov.cn/shuju/.
- [17]Qing Li, Qiao Wang, Zhongting Wang, Jinglei Ding, Xiang Zhao, Lijuan Zhang, Chunyan Zhou, Xin Yang. RESEARCH OF AIR POLLUTION IMPACT OF STRAW BURNING BASED ON MODIS. Proceedings of the 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.2010.7.25. pp. 2777-2779.
- [18] Qing Li, Qiao Wang, Zhongting Wang, Xiang Zhao, Chunyan Zhou, Lijuan Zhang, Hui Chen.RESEARCH ON MONITORING OF THE FIRE POINTS OF STRAW BURNING BASED ON HJ-1/IRS AND ITS EFFECTS ON AIR QUALIT ANALYSIS. Proceedings of the 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.2011.7. 2177-2180.
- [19]Flasse S P, Ceceato P.A Contextual Algorithm for AVHRR Fire Detection. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(2): 419-424.
- [20]Giglio L. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS .. Remote Sensing of Environment, 2003, 87: 273-282.
- [21] Giglio L. A Multi-year Active Fire Data Set for the Tropics Derived from the TRMM

- VIRS.. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(Z2): 4505-4525.
- [22] Giglio L. MODIS Collection 4 Active Fire Product User's Guide (Version 2. 3). 2007.
- [23]Giglio, L., and Kendall, J. D., Application of the Dozier retrieval to wildfire characterization: a sensitivity analysis. Remote Sensing of Environment, 2001, 64, 34-49.
- [24]Giglio, L., Kendall, J. D., and Justice, C. O., Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20, 1947–1985.
- [25]Justice C. Algorithm Technical Background Document MODIS Fire Products[s], Version 2.3, 2006.
- [26]StroppianaD,PinnockS,GregoireJM,2000, The global fireproductt:Daily fireoccurrence from April 1992 to December 993 derived from NOAA AVHRR data. International Journal of Remote Sensing,21:127-128.
- [27]Prins, E.M., and Menzel W.P..Monitoring biomass burning and aerosol loading and transport from a geostationary satellite perspective. *Seventh Symposium on Global Change Studies*, Atlanta, GA, Jan.28 Feb.2, 1996, pp. 160-166.
- [28]Li, Z., Kaufman, Y., Ichoku, C., Fraser, R., Trishcenko, A., Giglio, L., Jin, J., Yu, X., A review of AVHRR-based active fire detection algorithms: principles, limitations, and recommendations. Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a Coordinated International Effort. SPB Academic Publishing by, The Hague, The Netherlands. 2000.
- [29]Li, Z., Nadon, S., Cihlar, L., Satellite, Stocks, B., Satellite-based mapping of Canadian boreal forest fires: evaluation and comparison of algorithms. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21, 3071-3082.
- [30] [Arino and Mellinotte, 1998] Arino, O., and Mellinotte, J., The 1993 African fire map, International Journal of Remote Sensing, 1998,19, 2019-2023.
- [31]Malingreau, J., and Justice, C., (editors). (1997), The IGBP-DIS Satellite Fire Detection Algorithm Workshop Technical Report, IGBP-DIS Working Paper 17, NASA/GSFC, Greenbelt, Maryland, USA, February.
- [32]Kaufman, Y., Justice, C., Flynn, L., Kendall, J., Prins, E., Ward, D., Menzel, P., and Setzer, A., Potential global fire monitoring from EOS-MODIS, Journal of Geographical Research, 1998,103: 32215-32238.
- [33]Giglio, L., Kendall, J., and Justice, C., (1999), Evaluation of global fire detection using simulated AVHRR infrared data, International Journal of Remote Sensing, 1999,20: 1947-1985.

Zhang, J., Yao, F., Liu, C., Yang, L., Boken, V., 2011, Detection, emission, estimation and risk prediction of forest fires in China using satellite sensors and simulated model in the past three decades – an overview. International Journal of Research Public Health, 2011,8, 3156-3178, doi:10.3390/ijerph8083156.