

· 研究报告 ·

# “3S”技术在关中地区秸秆焚烧遥感监测中的应用

张树誉, 李登科, 景毅刚

(陕西省农业遥感信息中心, 陕西 西安 710014)

**摘要:** 综合应用“3S”技术是遥感监测向“业务化、量化、系列化”发展的必然趋势。利用“3S”技术中的RS可进行实时火情动态监测、GPS可用于火点的快速查找和检验遥感监测的定位精度、GIS可用于制作精细化火情地理信息产品。通过对MODIS遥感资料的通道特性和光谱特征分析,指出“3S”技术可以作为秸秆焚烧动态监测资料的处理流程和量化判识指标。实例证明了2004年在关中地区进行的麦秸秆焚烧监测应用效果是良好的。

**关键词:** MODIS; 秸秆焚烧; 遥感监测; 判识指标

中图分类号: X830 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2005)02-0017-04

## Application of “3S” Technology in Remote Sensing Monitoring for Stalk Burning in Guanzhong Region

ZHANG Shu-yu, LI Deng-ke, JING Yi-gang

(Agriculture Remote Sensing and Information Center of Shanxi, Xi'an, Shanxi 710014, China)

**Abstract:** “3S” technology included RS technology, GPS technology and GIS technology. “3S” technology can be used to monitor stalk burning. The monitoring in 2004 to Guanzhong Region was good.

**Key words:** MODIS; Stalk burning; RS monitoring; Distinguishment fact

近年来,各地为严禁秸秆焚烧相继出台了很多措施,但想要清楚了解秸秆焚烧的实情却并不容易,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等特点,能较好地解决这一问题。现综合运用“3S”技术,对陕西省所有县、区秸秆焚烧情况实行监控,政府有关部门可通过遥感监测信息,得到秸秆焚烧的地点、时间和分布范围等详细资料,及时了解宏观情况,并采取相应措施。

### 1 概要

EOS即地球观测系统,是美国国家航空航天局(NASA)针对全球大气变化研究建立的具有长期数据采集系统,以满足实际需求而规划实施的计划。MODIS是Terra卫星的主要探测仪器,是唯一可以直接广播的对地观测仪器。MODIS提供了对云、气溶胶和辐射收支平衡探测能力,对通过能量、二氧化碳和水循环反映的地-气相互作用也提供了探测能力。MODIS在可见光、近红外到热红外(0.4 μm ~ 14 μm)的光谱区间共设置了36个通

道,空间分辨率最高可达250 m。从火灾监测角度看,MODIS监测能力大大超越了AVHRR等其他遥感仪器性能。因此,良好的空间、时间及光谱分辨率为生态环境和自然灾害的监测提供了广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。

### 2 MODIS火情监测的原理

根据斯蒂芬-波尔兹曼定律:  $E = T^4$

其中:  $E$ ——绝对黑体表面的总放射能力,  $W/m^2$ ;

$T$ ——绝对黑体的表面温度,  $K$ (绝对温度);

——斯蒂芬-波尔兹曼常数 ( $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ )。

由公式可知,黑体温度的微小变化,就能引起辐射的很大变化。林火、地表火等高温热源目标会引起辐射的急剧变化,这种变化将十分有利于高温

收稿日期: 2004-07-05; 修订日期: 2004-12-23

基金项目: 陕西省气象局开放科研项目(2003-04)

作者简介: 张树誉(1970—),男,陕西西安人,工程师,大学,从事卫星遥感应用研究。

热源的判识。

根据维恩位移定律:  $T \times \lambda_{\max} = 2897.8$

式中:  $T$ ——黑体温度, K;

$\lambda_{\max}$ ——辐射峰值波长,  $\mu\text{m}$ 。

黑体温度  $T$  和辐射峰值波长  $\lambda_{\max}$  成反比, 即温度愈高, 辐射峰值波长愈小, 常温 (约 300 K) 时, 地表辐射峰值波长在 10  $\mu\text{m}$  左右, 而火焰温度一般在 500 K ~ 700 K 以上, 其热辐射峰值波长在 3  $\mu\text{m}$  ~ 5  $\mu\text{m}$ 。根据普朗克辐射公式, 可计算出不同温度的黑体光谱辐射率与波长, 物体的温度越高, 辐射能力就越强, 反映在卫星图像上是温度越高颜色越深。秸秆焚烧属地表火 (火焰温度 400 K ~ 600 K), 其辐射峰值在 3  $\mu\text{m}$  ~ 6  $\mu\text{m}$  之间, 在通道 CH 20 ~ CH 25 中有明显的反映<sup>[2]</sup>。

在 MODIS 适于火情监测的通道中, CH 6、CH 7 为近红外通道, 对于 300 K 左右的常温基本没有反应, 只有达到 600 K ~ 800 K 的高温目标时才有明显反应, 但容易与云的反射相混, 将该通道用于火情监测能大大增强对火点的识别能力和准确度。由于 CH 7 较 CH 6 的波长更靠近地面火点辐射峰值, 故一般选用 CH 7 通道资料。CH 20 ~ CH 25 等 6 个中红外通道的地面分辨率为 1 000 m, 对 400 K 以上的地表火有极强的反应, 但对 300 K 以下的背景温度不敏感, 可作为反映火点的前景温度。其中 CH 21 通道的温度上限达 500 K 以上, 相比 CH 20 容易饱和, 所以应选用 CH 21 通道, 同时利用 CH 7 通道和 CH 21 通道的比较, 可以区分热异常的类型、火烧强度和进行亚像元分析。通道 CH 31 ~ CH 32 可以较好地反映地面的背景温度, 对 300 K 左右的背景温度和 500 K 以上的高温反应差别很小。

根据中红外和远红外对高温热源的不同反应, 利用亚像元面积与温度估算方法, 可确定在中、远红外 1 km 分辨率像元内, 是否有达到一定高温的火点, 即在估算的具有相当面积和高温的火点内, 也即在 1.6  $\mu\text{m}$  和 2.1  $\mu\text{m}$  的 500 m 分辨率像元内, 是否存在地表辐射率明显升高, 以致引起该像元辐射率的整体升高。如果估算结果达到阈值, 则在中、远红外通道像元覆盖的 4 个近红外 500 m 分辨率像元中, 有可能存在反映这一火点的像元。检索这 4 个 CH 7 通道像元的辐射值, 除去反射率外, 自身辐射率是否达到高温点的辐射率。利用周围 1 km 分辨率像元的 CH 1、CH 2、CH 7 通道, 确定与

背景反射率的比例关系, 然后, 逐个检查 4 个 500 m 分辨率像元的 CH 7 与 CH 1、CH 2 比例是否超过背景比例, 如果有, 可确定该像元为高温点<sup>[3]</sup>。综合应用 MODIS 各通道数据, 将可见光和热红外等多种分辨率的数据融合后用于秸秆焚烧监测, 可以提供诸如火头分布、云烟走向、火烧强度和火区的发展趋势等信息。

### 3 MODIS 秸秆焚烧监测资料的处理流程与判识指标

#### 3.1 MODIS 秸秆焚烧监测数据与图像处理

MODIS 秸秆焚烧监测资料的处理流程分为数据接收、数据预处理、图像处理、火点判识和火点信息发布等 5 大步骤。数据预处理包括 MODIS 各通道数据的定标、几何精校正、投影变换和数据融合等。几何精校正利用的是 ENV I 软件提供的 Map/Georeference MODIS 1B 校正方法, 因为 MODIS 数据的 HDF 文件中含有经度和纬度信息。该方法先从 HDF-EOS 头文件中提取经纬度坐标, 然后转化输出为 ENV I 的地面控制点 (GCP) 文件, 而不需人工选取 GCP (软件默认的 GCP 为 51 个, 一般可满足实用校正精度的要求), 其原理是使图像中的每一个像元对应一个坐标, 再根据坐标值将此像元放在相应的位置, 使几何校正的速度和自动化程度大大提高, 以达到几何精校正的目的。MODIS 秸秆焚烧监测资料中的投影方式选择等面积投影, 数据融合选用双线性插值算法, 即选取 250 m 作为中心点分辨率, 同时选取 3 种分辨率的 HDF 数据进行投影变换, 生成的局地数据集只需一个文件就可以包括 MODIS 资料从 CH 1 ~ CH 36 通道的全部信息。

在图像处理中, 结合气候特征和地理环境等因素, 进行大量的比对分析, 但没有采用林火监测中常用的 CH 7、CH 2、CH 1 通道合成方式, 而是选用 CH 7、CH 4、CH 3 进行 RGB 假彩色合成, 制作秸秆火情监测图。因为关中小麦秸秆焚烧期一般在每年的 6 月上、中旬, 此时地面背景温度已经较高, 采用 CH 7、CH 2、CH 1 通道合成的图像中的沙地、裸地、高温热气流等热异常区域与火点较难区分, 此外 CH 7、CH 2、CH 1 的合成方法只能表达出地面热异常点的信息, 不能得到由于秸秆或树木燃烧而产生的烟迹分布状况, 从而难以获取秸秆燃烧对环境造成的污染范围及程度。另外, 通过 MO-

DIS通道划分得知, CH 1、CH 4、CH 3的 RGB 合成方法虽然为真彩色,同样也不能得到地面高温点信息。而采用 CH 7、CH 4、CH 3进行 RGB 合成的图像既很接近真彩色,也可以清晰区分秸秆焚烧区、麦收区、云和烟雾区等下垫面信息,图像具有良好的视觉效果。接着再对合成图像进行线性或直方图增强,以增大火点与背景的差异,达到突出火区信息的目的。

### 3.2 MOD IS 秸秆焚烧监测判识指标

在进行火点判识前首先要进行云检测,MOD IS 资料中关于判定一个视场内是否有云,可以利用以下判识条件:一是可见光或近红外波段的反射率在云顶比在陆表高得多,一般在 40%~60%之间,而荒漠或沙漠在可见光通道的反射率平均值为 20.5%,植被的反射率则更低;二是对于局部小区域,可采用近红外通道 CH 2 与可见光通道 CH 1 的比值进行是否有云的判断,即  $RI = CH 2 / CH 1$ ,当  $0.8 < RI < 1.1$  时,则认为像素点为云;三是利用普朗克公式计算红外通道的亮点温度,并设置亮点温度阈值,凡低于该亮点温度阈值的判识为云。通过 MOD IS 的 CH 1、CH 3、CH 7 通道得到的气溶胶观测数据,可应用于对烟迹和云的区分,在可见光图像上表现为烟雾顶区域光滑、纹理均匀和边界整齐,而对于中、高云则显得较亮,并随着云顶高低起伏变化显示亮度变化也很大,云中较高处显得十分明亮,较低处则灰暗,其纹理散乱、边界不规则。

秸秆焚烧属于地表火,火点温度较林火等树冠火低,故在设置火点的前景、背景温度差时要考虑季节因素。通过对 2000 年—2003 年夏、秋季秸秆焚烧期间的 NOAA 和 MOD IS 遥感资料进行的不同地物通道光谱特性的统计分析,建立了明火区、过火区和烟迹的判识阈值,此判识阈值的应用是采用人机对话方式。

明火区判识指标:  $CH 1 < CH 2$  AND.  $28\% < CH 7 < 60\%$ ;  $CH 21 > 320 K$  AND.  $CH 21 \sim CH 31 > 15 K$

过火区判识指标:  $CH 1 > 10\%$  AND.  $CH 7 < 20\%$ ;  $310 K < CH 21 < 320 K$  AND.  $CH 21 \sim CH 31 > 15 K$

烟迹判识指标:  $15\% < CH 1, CH 2 < 25\%$ ;  $15\% < CH 7 < 20\%$

MOD IS 红外通道接收到的能量既包含地球反射的太阳辐射,又有地球自身向外发射的红外辐

射,通常称之为辐射亮点温度。这与人们通常认为的高温点不同,它既可能是真正的高温点,也可能是反射率很高的云顶、噪声干扰点,以及太阳耀斑和裸露的岩石。噪声干扰点等接收到的能量主要为反射的太阳辐射,但由于量化为绝对温度,故是虚假的高温点。对于这种情况可以利用它们在可见光通道的高反射特性来排除太阳辐射反射的干扰。

### 3.3 MOD IS 秸秆焚烧监测火区面积的估算

求秸秆焚烧面积,即计算等面积投影图像中监测区域内被判识为明火点和过火点的所有单个像素面积的总和。先求出单个像元面积  $S$ :

$$S = N_p \times N_l$$

式中:  $N_p$ ——纬度方向距离;

$N_l$ ——经度方向距离。

则过火点面积即为所有像素面积的总和:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i$$

式中:  $i$ ——像素序号;

$n$ ——火点的总像素。

## 4 实例

### 4.1 遥感动态监测

利用 2004 年 6 月 8 日 11:35 接收的 TERRA - MOD IS 资料,首先进行数据预处理,生成 3 种分辨率的 HDF 数据,接着选取等面积投影方式,并同时选定 250 m、500 m 和 1 000 m 3 种分辨率的 HDF 数据进行数据融合,生成局地数据集文件,该数据集范围是以  $34.25^{\circ} N, 108.90^{\circ} E$  为中心点经纬度,大小为  $1\ 200 \times 800$  像元的矩形区域,包括渭南、西安、咸阳和宝鸡等地市。该区域内各区县冬小麦产量之和占全省总产量的 80%~85%,是秸秆焚烧监控的重点区域。

图像处理首先选择 CH 7、CH 4、CH 3 进行 RGB 假彩色合成,并利用直方图增强法进行图像增强,增强后的图像突出了焚烧区、麦收区、云和烟雾区之间的差异。完成图像处理,就可以利用上述判识指标,并采用波谱角分类法对监测区进行监督分类,以提取火区信息,得到的秸秆焚烧遥感监测图像见图 1。

由图 1 可见,从 6 月 8 日秸秆焚烧卫星遥感监测图像中可以明显看出焚烧区(红色区域)的分布情况,以及由焚烧带来的烟雾(淡蓝色区域),通过烟迹的分布和走向,不但可以了解烟雾污染所影响

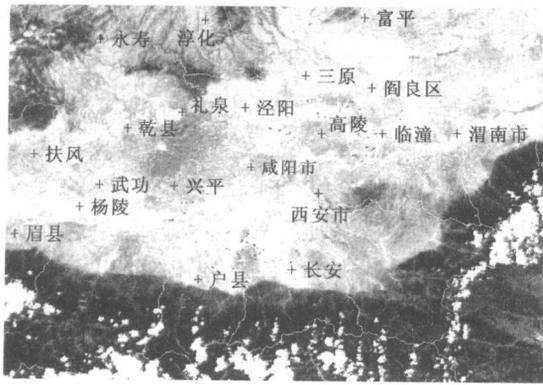


图 1 关中地区秸秆焚烧卫星遥感监测图像

的地域范围,还可以得到焚烧区的风向和火势发展趋势等信息。同样,利用 6 月 9 日、10 日 MODIS 资料进行了连续监测,通过制作的系列监测图像(略),及时掌握了焚烧区的发展和变化等动态信息。

4.2 精细化火情地理信息产品制作

精细化遥感火情监测产品的制作是在 ArcView 软件下实现的。ArcView 是一种功能全面的

桌面 GIS 软件,它通过工程文件组织管理用户的工作,工程文件包括用来完成各类任务的所有文档。ArcView 支持多种信息表达方式,可以显示和查询地理信息系统数据,并与空间数据相关联,还可以根据属性数据对空间要素进行分类表达和根据属性查询空间要素<sup>[4]</sup>。通过卫星遥感监测得到的监测信息,结合 1:1 000 000 比例尺全国行政边界数据和 1:4 000 000 比例尺全国土地利用数据,可以得到火点所在地、县名称和土地利用类型。接着在 ArcView GIS 软件下建立秸秆焚烧信息查询的地理信息工程文件,在判识出的秸秆焚烧点上叠加该省主要公路、铁路、水系、城镇村庄和行政边界等矢量层,要注意运用不同矢量层的点、面信息编排显示顺序,使所需信息都能在结果图上得到表达,并形成各区县遥感秸秆焚烧监测精细地理信息示意图。

4.3 检验

利用卫星遥感监测结果,2004 年 6 月 8 日下午 17:00 对长安区十余处焚烧区域进行了检验,长安区卫星遥感监测秸秆焚烧信息见表 1。

表 1 长安区卫星遥感监测秸秆焚烧信息

火点位置	纬度 / (°)	经度 / (°)	火点像元数	面积 A / hm <sup>2</sup>	验证结果	是否有烟
石匣口	34.201	108.770	5	31.0	明火	有烟
中丰店	34.181	108.745	2	12.4	明火	有烟
西甘河	34.128	108.798	2	12.4	明火	有烟
谷禹庄	34.201	108.770	1	6.2	过火	有烟
东甘河	34.139	108.817	3	18.7	明火	有烟
义井	34.174	108.764	6	38.7	明火	有烟
府君镇	34.165	108.798	3	18.7	明火	有烟
杜公祠	34.149	108.961	2	12.4	明火	有烟
东兆余	34.167	108.994	2	12.4	明火	有烟
北堡寨	34.079	108.984	1	6.2	过火	有烟
小江村	34.134	108.729	1	6.2	明火	有烟

用 GPS 进行实地测量的结果显示,定位精度良好,误差不超过一个像元,所监测到的 11 处火点全部正确,准确率为 100%。

5 结语

利用卫星遥感手段对夏、秋季秸秆焚烧过程进行动态监测与监控,可以科学、准确、迅速地解全省秸秆焚烧情况,提高预警能力和监督检查的效率,对秸秆焚烧严重的区县及时采取相应措施。此外结合地理信息还能能为交通和航运部门提供由于烟雾对高速公路和机场等造成影响的程度与范围,

减少可能由此引发的安全隐患。

[参考文献]

[1] 刘 闯,葛成辉. EOS 的卫星、传感器及其数据产品 [J]. 中国图像图形学报(应用版),2001,(5):5-12  
 [2] 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法 [M]. 北京:科学出版社,2001. 245-267.  
 [3] 蒋岳新. 应用 EOS- MODIS 数据进行林火监测的初步探讨 [J]. 森林防火,2002,(4):25-29.  
 [4] 樊 红,翟建军. ARCVIEW GIS 应用与开发技术 [M]. 武汉:武汉大学出版社,2003. 108-116.

本栏目责任编辑 张启萍