

一次由秸秆焚烧引起的霾天气分析

张 红¹ 邱明燕² 黄 勇²

(1. 安徽省环境科学研究院, 合肥 230061; 2. 安徽省气象科学研究所)

提 要: 秸秆焚烧对空气质量有着负面的影响, 并且会增加霾天气的发生几率。霾是一种由于大量尘粒子、烟粒子或盐粒子的存在使空气变混浊, 进一步导致水平能见度下降的天气现象。结合 2007 年 6 月 10 日郑州市出现的一次严重霾天气, 利用 EOS/MODIS 卫星遥感资料、高空探测资料、NCEP 再分析资料以及地形高度资料, 从焚烧点遥感监测、污染物轨迹、地形和气象条件四个方面出发进行机理分析。分析结果表明, 秸秆焚烧产生的大量烟粒子、东南气流对粒子的输送以及大气层结中连续几天出现的逆温和“郑州湾”特殊的地形是造成这次霾天气发生的主要原因。

关键词: 秸秆焚烧 霾 卫星遥感 轨迹分析

Analysis on the Case of Smoke Haze

Zhang Hong¹ Qiu Mingyan² Huang Yong²

(1. Anhui Institute of Environmental Science, Hefei 230061; 2. Anhui Institute of Meteorology)

Abstract: The burning of straw had a bad effect on the air quality, and increased the probability of smoke haze. The smoke haze is a meteorological phenomenon that the air is turbid and the visibility range decreases. By using remote sensing data and trajectory of pollutant, and taking the terrain and meteorological condition into consideration, the meteorological cause of a case of smoke haze on 10 June 2007 was analyzed. The results show that the decisive factors are the burning of straw, stable atmosphere and typical terrain of so-called “Zhengzhou gulf”.

Key Words: burning of straw smoke haze remote sensing trajectory analysis

引 言

霾是一种由于空气中大量微小的尘粒

子、烟粒子或盐粒子的存在, 使得空气变混浊, 致使水平能见度下降的天气现象。霾已成为一种新的气象与环境灾害性现象^[1]。霾的出现与空气中微小粒子数量以及天气系

统息息相关,空气中微小粒子数量一方面决定于排放源的强度,另一方面也决定于当地的输送和扩散条件。轨迹分析是研究区域性空气污染问题最常用的方法^[2],徐祥德等^[3]应用轨迹分析分析了北京城区异常污染过程周边的污染源, Kim 等^[4]应用轨迹和聚类分析的方法研究了大尺度输送条件对 2001 年 ACE-Asia 实验中韩国 Gosan 测站观测的污染物浓度的影响。这些研究表明轨迹分析是分析污染物输送的有效手段。

近年来,随着农村生活水平的普遍提高,秸秆已不再作为农村的生活燃料,作物秸秆逐渐成为粮食收获以后的多余副产品,在夏、秋粮食收获期间,秸秆焚烧频发,大量的有害物质如二氧化碳、一氧化氮、粉尘颗粒等进入大气,对大气造成了一定的污染。段凤魁等^[5]通过观测实验,证实了秸秆焚烧对空气污染的影响。另外,秸秆焚烧会导致空气中微小粒子数量的增加,从而增大霾天气的发生几率。

2007 年 6 月 10 日,河南省郑州市发生了一次由于秸秆焚烧造成的严重的霾天气,最低能见度仅为 1500m,空气污染严重。针对这一次霾天气过程,从秸秆焚烧点卫星遥感监测出发,配合后向轨迹分析以及郑州市地形条件和气象条件影响分析,对这一过程成因进行研究。

1 秸秆焚烧点遥感监测

卫星遥感具有探测范围广、观测项目多、迅速反映动态变化、成图迅速、成本低等优点。自 1980 年代以来,我国就已经开始利用极轨气象卫星资料开展植被、洪水、干旱、林火、积雪、沙尘暴等方面的监测工作,取得了一些成果,并在秸秆焚烧监测方面得到应用^[6-8]。由于秸秆焚烧范围大,相对于传统人工监测而言,卫星遥感监测费用低,覆盖面广。

1.1 监测原理

地表秸秆焚烧,不仅改变了植被的物理状况,同时还向大气中释放出许多温室气体(如 CO₂)以及燃烧释放大量的热量。通过对地表热异常的监测同时配合植被的变化以及区域性的气溶胶增加,实现对火情的有效监测。4 μ m 通道对地表热异常较为敏感,利用这一通道能够实现地表热异常的有效监测。但该通道白天被耀斑区反照率强烈增强,导致陆地上火灾的误判。此外,由于燃烧时释放出大量的能量,致使该区域红外通道测量值显著增加。

用于监测的遥感资料——EOS/MODIS 资料,来源于国家卫星气象中心遥感资料。定标处理采用线性定标,具体定标公式为: $A = SC + I$,其中 A 表示定标后的通道物理量值, C 为卫星资料接收设备接收的原始数据, S 为定标倍数, I 表示偏移量。在完成定标、定位处理的基础上,采用简单的平移法对图像的地理信息进行再次校正。

地面秸秆焚烧监测主要通过卫星遥感资料进行地面火情监测的基础上,通过分析火点所在区域地表覆被类型来实现。算法主要是在参考已有的火情监测算法^[9]的基础上,通过业务应用,建立经验火情判别经验阈值。监测算法中主要涉及到 4 个卫星观测通道:可见光通道(0.62 μ m)、近红外通道(0.85 μ m)、中红外通道(4 μ m)、远红外通道(11 μ m)。

1.2 具体算法

首先用阈值法滤除太阳耀斑,太阳耀斑的阈值为可见光通道和近红外通道的反射率均大于 30%。

其次确定分析区的大小,从分析区中滤出火点,条件为中红外通道(4 μ m)量温与远红外通道(11 μ m)亮温差值 $\Delta T_{41} = T_4 - T_{11} \geq 20K$

(夜间为 10K) 和 $T_4 > 320\text{K}$ (夜间为 315K)。继而得到分析区排除这些火点后 $11\mu\text{m}$ 通道的背景温度 T_{11b} 和它的标准偏差 ΔT_{11b} 。以及 $4\mu\text{m}$ 通道的背景温度 T_{4b} 和标准偏差 ΔT_{4b} 。此外还计算各通道背景温度偏差的中值 ΔT_{41b} 和标准偏差 $\delta\Delta T_{41b}$ 。

最后根据计算得到的各类结果,利用阈值法进行火点的识别,阈值标准如下:

(1) $T_4 < 315\text{K}$ (夜间 305K) 或 $\Delta T_{41} < 5\text{K}$ (夜间 3K) 都不是火点;

(2) 如果同时满足以下 2 个条件,则为火点: $\{T_4 > T_{4b} + 4\delta T_{4b}\}$ 或 $\{T_4 > 320\text{K}$ (夜间 315K) $\}$; $\{\Delta T_{41} > \Delta T_{41b} + 4\delta\Delta T_{41b}\}$ 或 $\{\Delta T_{41} > 20\text{K}$ (夜间 10K) $\}$ 或 $\{T_4 > 360\text{K}$ (夜间 330K) $\}$ 。

利用 2007 年 6 月 7 日和 9 日的卫星遥感资料 (EOS/MODIS), 对黄淮地区秸秆焚烧情况进行监测:

(1) 6 月 7 日上午 10 时遥感监测结果 (图 1, 见彩页) 显示, 安徽淮北中部、河南周口一带以及江苏西北部存在秸秆焚烧。其中河南省周口一带的焚烧点最多, 并且能够在监测图像上看到该区域部分焚烧点所释放出的烟气。

(2) 6 月 7 日下午 14 时遥感监测结果 (图 2, 见彩页) 与上午 10 时监测结果相比: 安徽淮北中部的焚烧点所有减少; 河南周口一带的焚烧点无明显变化, 河南省中北部新增 7 处焚烧点。

(3) 6 月 9 日 14 时由于受云系的影响, 利用卫星遥感资料只能对无云区内焚烧点的监测。结果 (图 3, 见彩页) 显示, 河南省内焚烧点大致分布在三个区域内: 周口到商丘一带、焦作市附近以及长垣县附近; 安徽淮北中北部存在焚烧点。

2 气象条件和地形分析

气象条件是影响大气污染物分布的主要因素之一, 不同的输送和扩散条件会造成空

气中污染物浓度的差异。大气输送包括两个部分: 输入和输出, 当输入浓度大于输出浓度时, 空气中污染物浓度增加; 反之, 浓度降低。扩散条件可以通过大气稳定度这个量来表现: 稳定的大气层结不利于大气中湍流的发生, 即不利于污染物的扩散——扩散能力弱, 因此会致使污染物聚集, 浓度升高; 不稳定的大气中扩散作用强, 污染物浓度会降低。

通过分析 6 月 7—10 日郑州站探空资料 (表 1), 发现在垂直方向上大气温度连续 4 天逆温。垂直方向逆温的存在不利于大气垂直方向上运动的发生和发展, 大气处于稳定的状态, 不利于污染物扩散。另外, 6 月 7—10 日地面风速较小, 也不利于污染物的扩散。因此, 大气条件总体上来说不利于污染物的扩散。

表 1 2007 年 6 月 7—10 日郑州大气状况

项目		6月7日	6月8日	6月9日	6月10日
逆温 状况	是否逆温	是	是	是	是
	逆温温差/°C	2	4	2	1
	逆温厚度/m	70	72	77	76
地面风	风向	南	北	北	东
	风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	1	0	0	2

除了气象条件以外, 地形也是影响大气污染分布的主要因子。受地形影响, 大气污染分布浓度会随地形发生变化。由于郑州市的地势是西北高、东南低, 西部是太行山余脉的西山, 北部是燕山山脉的军都山, 两山在南口关沟相交, 形成一个向东南展开的半圆形大山弯, 人们称之为“郑州弯” (图 4, 见彩页)。如果污染物恰好从东南方进入“郑州弯”, 则污染物会在弯内迂回, 不断聚集。因此, 由于地形的作用, 会致使从东南方来的污染物在“郑州弯”内不断累积, 污染物浓度加大。

3 轨迹分析

采用美国 NOAA 研制的轨迹模式 HY-

SPLIT4 (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated), 分析大气输送情况。轨迹模式 HYSPLIT4 是一种欧拉和拉格朗日型混合型的计算模式, 具有多种物理过程和不同类型排放源, 可以进行较完整的输送、扩散和沉降过程, 并能够处理多种气象输入场, 被广泛应用于大气污染物输送研究^[10]。

$$\text{模式采用地形 } \sigma \text{ 坐标, } \sigma = \frac{Z_{\text{top}} - Z_{\text{msl}}}{Z_{\text{top}} - Z_{\text{gl}}}, Z_{\text{gl}}$$

为距离地面高度, Z_{msl} 为平均海拔高度, Z_{top} 为模式顶高。水平网格与输入的气象场相同, 垂直方向根据气象要素场线性内插到各 σ 层上。计算轨迹时, 气团位置由下式计算:

$$P'(t + \Delta t) = P(t) + V(P, t)\Delta t$$

$$P(t + \Delta t) = P(t) + 0.5[V(P, t) + V(P', t + \Delta t)]\Delta t$$

其中 Δt 为可变时间步长, 根据一个时间步长内气团移动不超过半个气象格距大小决定。关于模式的详细介绍参见文献^[11]。

利用美国 NOAA 研制的轨迹模式 HYSPLIT4, 采用 NCEP 气象再分析资料, 计算郑州霾天气后向轨迹, 对造成郑州市霾天气的污染源地进行分析。图 5 中轨迹 a 为郑州市 6 月 9 日 08 时空气中污染物从 6 月 7 日开始的主要路径轨迹。轨迹以安徽淮北西部为起点, 经过河南中东部地区, 而后在 8 日夜里

到达郑州附近。并在 8 日夜里到 9 日清晨期间, 北迁到郑州以北后又返回郑州。这样 6 月 7 日前后在周口、亳州一带焚烧秸秆产生的污染物, 会随气流进入“郑州弯”, 并在“郑州弯”内顺时针迂回。从而造成污染物在“郑州弯”内较长时间的停留。同时由于这一时期内郑州上空的大气处于稳定层结, 不利于污染物的扩散, 容易使得污染物在“郑州弯”内的累积, 造成空气质量下降, 出现霾天气。

图 5 中轨迹 b 为影响郑州市 6 月 10 日 08 时空气质量的大气污染物的前 48 小时的后向轨迹(9 月 8 日开始)。从图上可以看出, 受偏东方向气流的影响, 6 月 10 日影响郑州市的气流主要来源于郑州以东, 位于 $34 \sim 35^\circ\text{N}$ 之间的区域, 并且未出现“郑州弯”内的迂回路径。同时, 由于在 6 月 8 日前后在 $34 \sim 35^\circ\text{N}$ 之间的区域内, 利用卫星遥感未能监测到明显的秸秆焚烧。这样这一轨迹上的气流中污染物的含量相对较小, 并且在“郑州弯”累积的能力也小于图 5 中描述的污染源轨迹。因此, 从上述分析可以看出影响郑州市空气质量并造成 2007 年 6 月 10 日郑州市严重的霾天气的污染源轨迹主要为 6 月 9 日 08 时影响郑州的后向轨迹。

4 结 论

针对 2007 年 6 月 10 日河南省郑州市严重的霾天气, 首先利用卫星遥感技术, 对郑州市周边(黄淮区域)地面秸秆焚烧的情况进行监测。监测结果显示, 在 6 月 7—9 日黄淮地区(主要为安徽北部和河南南部地区)内存在着秸秆焚烧, 同时能够监测到因焚烧而释放出来的烟粒子——烟气。因此, 在 6 月 10 日郑州市霾天气前期, 周边区域内存在着秸秆焚烧, 即存在着地面的污染源。

其次, 对郑州站 6 月 7—10 日探空资料进行分析, 发现在垂直方向连续几天存在逆

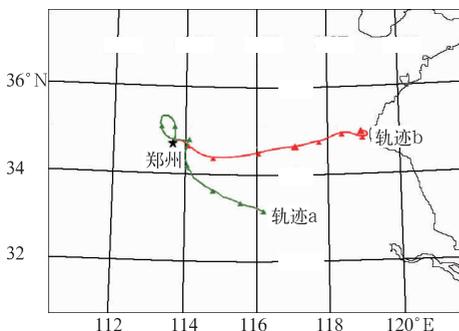


图 5 郑州市后向轨迹

(轨迹 a 为 2007 年 6 月 9 日 08 时,
轨迹 b 为 6 月 10 日 08 时)

温。逆温的存在不利于大气垂直运动的发生和发展,也就不利于污染物的扩散。另外,通过对郑州地形的分析,发现“郑州弯”地形会致使从东南方来的污染物在“郑州弯”内不断累积,污染物浓度加大。

最后采用轨迹模式 HYSPLIT4,分别绘制 6 月 9 日和 10 日的后向轨迹,结合地面秸秆焚烧监测结果,确定造成该次霾天气的污染物轨迹为 6 月 9 日的后向轨迹。

从结果来看,秸秆焚烧、连续几天的垂直逆温层以及东南气流输送和“郑州弯”地形是造成这次霾天气发生的主要原因。

参考文献

- [1] 吴兑. 关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论[J]. 气象, 2006, 31(4): 3-7.
- [2] Brankov E., Trivikrama S. et al. A Trajectory-Clustering-Correlation Methodology for Examining the Long-Range Transport of Air Pollutants[J]. Atmospheric Environment, 1998, 32: 1525-1534.
- [3] 徐祥德, 周丽, 周秀骥, 等. 城市环境大气重污染过程周边源影响域[J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34(10): 958-966.
- [4] Kim J., Yoon S, et al. Air mass characterization and source region analysis for the Gosan super-site, Korea, during the ACE-Asia 2001 field campaign [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39: 6513-6523.
- [5] 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.
- [6] 张仁健, 徐永福, 韩志伟. 北京春季沙尘暴的近地面特征[J]. 气象, 2006, 31(2): 8-11.
- [7] 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.
- [8] 张树誉, 李登科, 李星敏, 等. 卫星遥感在秸秆焚烧监测中的应用[J]. 气象, 2005, 30(9): 83-86.
- [9] 刘玉洁, 杨忠东, 等. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 102-128.
- [10] I. J. Beverland, J. M. Crowther, M. S. N. Srinivas et al. The Influence of Meteorology and Atmospheric Transport Patterns on the Chemical Composition of Rainfall in south-east England[J]. Atmospheric Environment, 1998, 32(6): 1039-1048.
- [11] Draxler R R. Description of the HYSPLIT-4 modeling system [R]. NOAA Technical Memo, ERL ARL-224, 1997.

张红等：一次由秸秆焚烧引起的霾天气分析

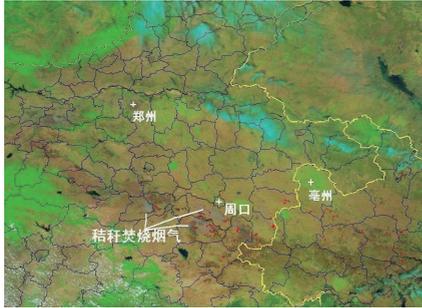


图1 2007年6月7日上午10时遥感监测结果

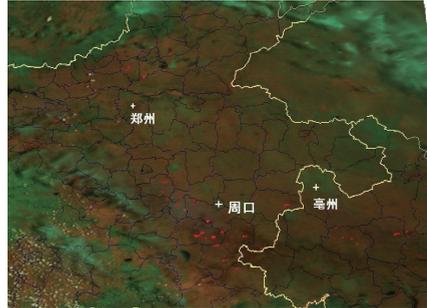


图2 2007年6月7日下午14时遥感监测结果

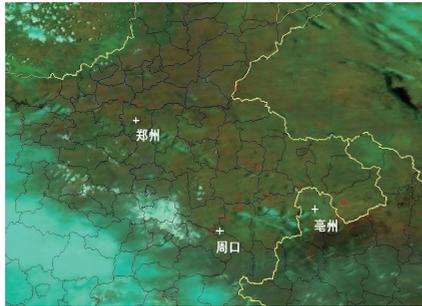


图3 2007年6月9日下午14时遥感监测结果

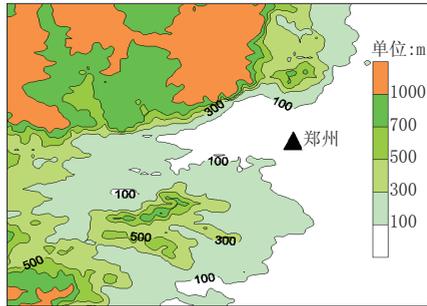


图4 郑州湾地形图