

文章编号:1673-8411 (2018) 01-0091-05

基于 FY-3A/VIRR 卫星资料的江西省大雾遥感监测

陈兴鹃, 黄淑娥, 樊建勇, 辜晓青, 聂志强

(江西省气象科学研究所, 江西 南昌 330096)

摘要:根据雾在可见光、中红外、长波红外通道的反射及辐射特性与云和地物存在差异,从纹理特征、光谱分布特征等方面对云雾的差异进行分析研究,并利用多波段阈值法对风云三号气象卫星遥感影像进行日间大雾信息提取。结果表明,FY-3A/VIRR 遥感资料对江西省大雾的监测效果较好,可在大雾卫星遥感监测业务中推广应用。

关键词:FY-3A/VIRR;雾;遥感

中图分类号:P426.4;P414.4 **文献标识码:**A

Remote sensing monitoring of fog in Jiangxi based on FY-3A/VIRR satellite data

Chen Xingjuan Huang Shue Fan Jianyong Gu Xiaoqing Nie Zhiqiang

(Meteorological Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang Jiangxi 330096)

Abstract: Fog area can be monitored by satellite remote sensing technology. According to the reflection and radiation characteristics of fog in visible, mid infrared and long wave infrared channels, as well as the differences between cloud and ground objects, the differences between cloud and fog were analyzed from the aspects of texture characteristics and spectral distribution characteristics. In addition, the daytime fog experiment had been made by multi-channel threshold method with the data of FY-3A satellite. The result showed that the FY-3A/VIRR remote sensing data have good monitoring effect on fog in Jiangxi Province and was suitable to be applied in the fog remote sensing monitoring business.

Keywords: FY3A/VIRR; fog; remote sensing

引言

雾是一种常见的灾害性天气现象,可严重危害到航空、航海和陆路交通安全,对国民经济、社会生活和军事活动造成的影响日益增大。此外,人类活动的增加使雾中混有各种复杂的化学成分,对空气质量、作物生长等都有着严重的影响,而且大雾中化学成分的积累可导致“雾闪”。因此,准确监测大雾的分布区域,跟踪其生消动态变化有非常重要的意义。传统的地面人工观测方法常常受到观测站点分布及观测时间的限制,对大范围的雾无法实现动态监测,而气象卫星遥感具有覆盖范围广、时间分辨率高、信息

量丰富等优势,可对雾进行宏观、动态、连续监测,弥补常规监测方法站点设置密度和观测密度不够的缺点^[1-4]。

国外自上世纪70年代就开始了这方面的研究。Gurka^[5]进行了云雾识别及其消散研究,取得了较好的效果。Eyre等^[6]首次提出使用高分辨率辐射计(AVHRR)3、4红外通道亮温差来区分夜间雾和低层云。随后,很多学者也用类似的方法进行了研究,如,Ellrod^[7]首先对GOES卫星的双通道红外图像在夜晚云雾检测中不同功能进行分析。国内在大雾遥感监测方面也进行了大量研究。居为民等^[8]利用NOAA和GMS卫星资料进行了沪宁高速公路大雾

收稿日期:2017-10-10

基金项目:国家卫星气象中心“风云三号02批应用示范系统项目”(FY-3(02)-UDS-1.7.2);江西省科技厅项目“气溶胶遥感监测研究”(2015ZBBG70041);江西省科技厅项目“江西省霾遥感监测技术集成研究”(20161BBG70093)。

作者简介:陈兴鹃(1986-),女硕士,工程师,主要从事卫星遥感技术与应用气象研究,E-mail:c2006xj@163.com。

通讯作者:黄淑娥,正高级高级工程师,主要从事卫星遥感与应用气象研究。

的监测,获得初步成果。刘健等^[9]利用 NOAA-AVHRR 资料分析了云雾顶部粒子的分布状况和尺度特征,并分析了粒子分布与 3 通道反照率的定性关系。张树誉^[10]利用 MODIS 通道 1、3、7 资料进行了白天雾的监测,并使用通道 21、31 资料监测夜间大雾。近年来,部分学者已开始用我国的卫星资料进行大雾遥感监测研究,如梁益同等^[11]以 FY-1D 卫星资料为数据源,分析了大雾在 FY-1D 各波段图像上的光谱特征,指出可见光 1 波段和红外 4 波段是 FY-1D 卫星监测雾的代表波段。蒋璐璐和魏鸣^[12]利用 FY-3A 卫星的 VIRR 数据,采用多波段阈值法对我国东部沿海日间雾进行了遥感监测,并估算了雾的垂直厚度、光学厚度以及能见度等特征参数。

总体来讲,国内利用气象卫星进行大雾遥感监测的研究起步较晚,且利用国外卫星资料者居多。我国自主研发的风云三号气象卫星搭载的可见光红外扫描辐射计(VIRR)性能已达国际同类卫星的先进水平,部分指标处于领先。江西省是大雾多发区,年平均区域性大雾日数(全省单日 15 站以上出现大雾)达 20 天以上,而利用风云三号卫星对内陆地区大雾遥感监测的研究尚少见报道。本文从遥感影像纹理特征、光谱分布特征等方面入手,旨在探索 FY-3A 在江西省大雾遥感监测中的应用,使其能在雾的监测业务中发挥作用,同时可为江西省有关部门提供大雾的精细化监测和预警信息,从而为实施大雾灾害科学调控和管理提供可靠依据。

1 风云三号卫星监测雾的基本原理

1.1 FY-3A 气象卫星简介

风云三号(FY-3)气象卫星是在风云一号卫星基础上发展起来的我国第二代极轨气象卫星,能够获取全球、全天候、三维、定量、多光谱的大气、地表和海表特性参数。星上搭载了多台遥感仪器,包括:可见光红外扫描辐射计(VIRR)、红外分光计(IRAS)、微波温度计(MWTS)、微波湿度计(MWHS)、微波成像仪(MWRI)、中分辨率光谱成像仪(MERSI)等^[13]。

FY-3A 气象卫星是风云三号系列卫星的首颗星,于 2008 年 5 月 27 日在太原发射升空,轨道高度为 831km,轨道倾角 98.81°,绕地球一周大约需要 102min^[14]。FY-3A 气象卫星携带了 11 台遥感探测仪器,其中,可见光红外扫描辐射计(VIRR)拥有 10 个光谱通道(各通道光谱性能参数见表 1),光谱范

围为 0.43~12.5 μm ,星下点分辨率为 1.1km,可用于监测全球云量,判识云的高度、类型和相态等。FY-3A 卫星每天过境两次,一是在每天早晨,大约在当地时间 7~9 时,此时段非常有利于监测晨间大雾;另一时次为晚上 19~22 时。

表 1 可见光红外扫描辐射计(VIRR)通道性能参数表

通道	波段范围 μm	噪声等效反射率 ρ /%、温差/300K	动态范围(最大反射 率 ρ 、最大温度 K)
1	0.58 ~ 0.68	0.1%	0 ~ 100%
2	0.84 ~ 0.89	0.1%	0 ~ 100%
3	3.55 ~ 3.93	0.3K	180 ~ 350K
4	10.3 ~ 11.3	0.2K	180 ~ 330K
5	11.5 ~ 12.5	0.2K	180 ~ 330K
6	1.55 ~ 1.64	0.15%	0 ~ 90%
7	0.43 ~ 0.48	0.05%	0 ~ 50%
8	0.48 ~ 0.53	0.05%	0 ~ 50%
9	0.53 ~ 0.58	0.05%	0 ~ 50%
10	1.325 ~ 1.395	0.19%	0 ~ 90%

1.2 雾的纹理特征分析

图 1 中(a),(b)为 2017 年 3 月 1 日 07 时 FY-3A 气象卫星可见光(CH1)和近红外(CH2)单波段遥感图像,可见与下垫面背景相比,云雾都表现出较高的反射率,云区比雾区反射率要高,在遥感影像上显现出的亮度也更高。在白天大雾监测中,可将 CH1、CH2 通道用来做多通道合成。

在可见光(CH1)图像上,雾区表现为雾顶光滑,纹理较均匀,边缘清晰光滑。雾一般比其他云类暗,且亮度变化不明显。而中高云则更加明亮,亮度变化幅度大,纹理散乱,边界不规则。

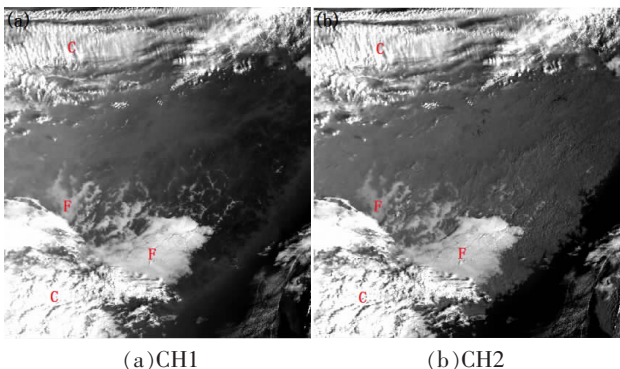


图 1 2017 年 3 月 1 日 07 时 FY-3A 单通道图像
(F 处为雾区,C 处为云区)

利用多通道合成原理,把 FY-3A 卫星的长波红外(CH4)、近红外(CH2)和可见光(CH1)通道数据分别以红、绿、蓝生成 RGB 彩色图(图 2(a)、(b),见彩页)来监测白天大雾。由于中高云区的可见光反射率最高,近红外通道反射也较大,而在长波红外辐射最小,因此呈现亮蓝绿色。下垫面在可见光和近红外上的反射很小,但是它的长波辐射很大,因此呈现红或绿色。雾区在可见光反射率小于中高云,近红外波段反射也较大,在长波红外也有一定的辐射,因此雾区以淡蓝绿色为主,颜色相比中高云区平滑。

在 FY-3A 图像上,中高云高度变化明显,其波谱廓线的波动较大,云顶凹凸不平,纹理散乱,亮度差异大,且边界也不像雾区那么整齐,见图 2a(见彩页)。低层云雾则因反射率较低而颜色较暗,且外形上纹理特征不明显,雾顶纹理光滑均匀,边界整齐清楚。雾低,受到地形的影响,随山谷分布特征明显,见图 2b(见彩页)。

1.3 雾的光谱特征分析

雾是近地面层气温低于露点温度时,过饱和的水汽凝结(或凝华)成水滴(或冰晶)生成的产物^[15-16]。雾粒子小而均匀,半径一般在几个 μm 到几十个 μm 之间,比云粒子小得多。雾粒子的微物理特性显著影响了雾的光学特性和大气能见度,引起云雾辐

射特性差异。利用这些差异可在卫星影像上区分雾与其他地物信息,为卫星遥感大雾监测提供有效依据^[17]。

雾在可见光通道的反射率一般为 0.45~0.6 (见图 3),明显高于植被、水体、土壤等地物,但小于中高云,在可见光图像上表征出不同的波谱特征。在可见光波段,卫星得到的辐射值主要是目标物反射太阳辐射部分。云有着高反射率,雾区次之,地物的反射率最小。利用可见光通道可将地物剔除。

在长波红外波段,中高云与雾、地物相比具有较高的高度,因此云顶温度也较雾顶和地物低,其亮温值也较低。而雾接近地面,它的温度也相对接近地面,与中高云比明显较低,见图 4。利用长波红外通道可将中高云剔除。

同时,在中红外波段,传感器得到的辐射值既有目标物反射太阳辐射部分又有其自身的发射,而且反射太阳辐射占大比例。雾在中红外波段对太阳的反射要大于云,去除目标物自身得到的太阳反射部分后,雾区有着最大的发射辐射值,这与其微物理参数有关。由于温度上的差异,云区的发射辐射值比雾区要小。那么,雾区的反射太阳辐射较大,且其自身的温度也高,因此雾区反演得到的亮温值要比云区大,见图 5。

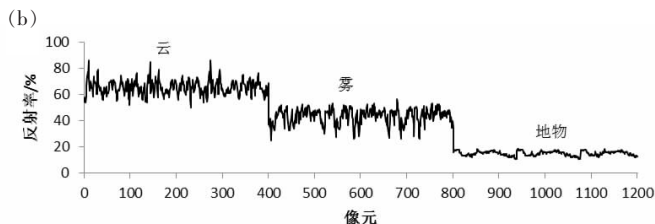
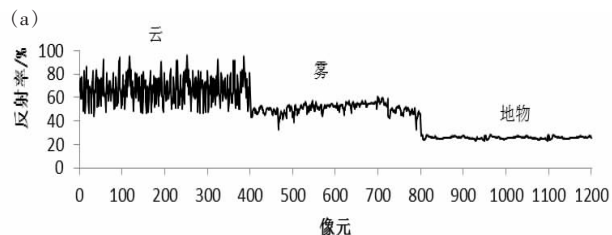


图 3 2017 年 3 月 1 日(a)、27 日(b)FY-3A 云、雾及地物 CH1(可见光)通道光谱剖面图

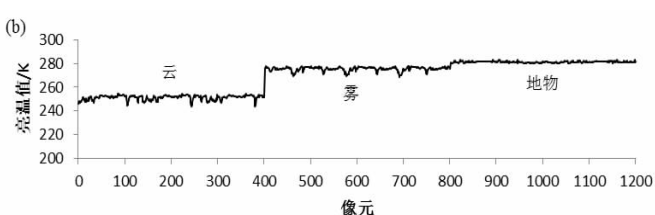
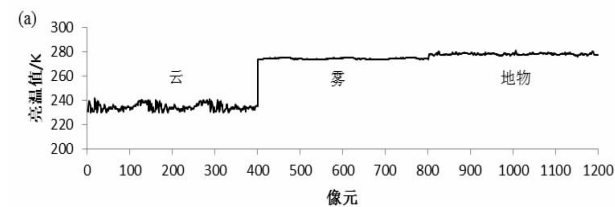


图 4 2017 年 3 月 1 日(a)、27 日(b)FY-3A 云、雾及地物 CH4(长波红外)通道光谱剖面图

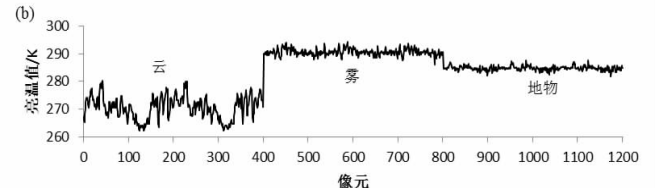
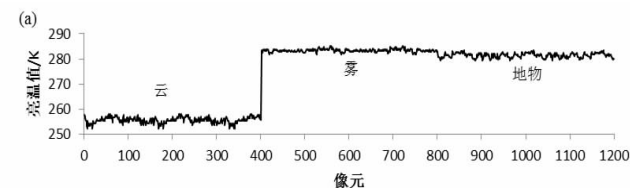


图 5 2017 年 3 月 1 日(a)、27 日(b)FY-3A 云、雾及地物 CH3(中红外)通道光谱剖面图

2 监测实例分析

2.1 数据预处理

利用国家卫星气象中心的卫星监测分析与遥感应用系统(SMART)对 0 级数据进行等角投影、辐射定标等处理,将可见光波段灰度值转化为反射率值,红外波段灰度值转化为亮温值,同时利用 ENVI 地理位置查找表(GLT)方法对数据进行几何校正,完成数据预处理。

2.2 光谱特征分析

通过雾在不同通道光谱特征分析,可选择可见光(CH1)通道($0.58\sim0.68\mu\text{m}$)、中红外(CH3)通道($3.55\sim3.93\mu\text{m}$)和热红外(CH4)通道($10.3\sim11.3\mu\text{m}$)信息,利用阈值法对大雾进行提取。图 3~5 即为在数据预处理后的遥感影像上提取云、雾、地物作为感兴趣区所得到的光谱剖面图,通过分析不同目标物在可见光、中红外和热红外波段的辐射特性差异,确定合适阈值,提取大雾信息。

根据图 3,在可见光 CH1 通道处,云有高反射率,雾区次之,反射率均在 0.3 以上,地物的反射率最小,在 0.3 以下,利用这个特点可以把反射率较小的地物剔除。

在长波红外波段,太阳辐射的能量很小,云、雾和地物自身的发射辐射是主要的辐射来源。根据图 4,在长波红外 CH4 通道处,云区的亮温值最低,在 260K 以下,雾和地物的亮温值则在 270K 以上,利用这个特点可以把中高云剔除。

低层云与雾的亮温值差异很小,利用单波段阈值很难进行区分。而由于在 CH1 可见光波段,云的反射率高于雾区,而在 CH3 中红外波段,雾区反演出的亮度温度高于云区(见图 5),将 CH3 波段图像比上 CH1 波段,雾区的比值要大于云区,因此可采用比值指数 $\text{RFI}(\text{CH3}/\text{CH1})$,将中红外反射太阳辐射和可见光反射率的比值用于进一步区分云雾。通过实验分析表明,当 $6 < (\text{CH3}/\text{CH1}) < 8$ 时,低云和雾的分离效果较好。

2.3 云雾检测

决策树是遥感图像分类中的一种分层处理结构,可以逐级分层次地把所研究的目标一一区分、识别出来,具有灵活、直观、运算效率高的特点。根据前面光谱特征分析得到的阈值建立分类规则,得到 FY-3A/VIRR 白天云雾分离算法流程(图 6),可分离出地物、中高云和低层云,得到大雾信息,见图 7

(见彩页),图中黄色行政边界代表江西省县界,其中(b)图黑色为下垫面和云区,灰色为雾区。与图 2b(见彩页)纹理分析结果对比可知,通过阈值法提取出了绝大部分的大雾,但同时也有少量云被提取出来,这主要是由于在一些区域,雾和中高云、低层云同时存在,利用阈值法很难从中准确提取大雾信息。

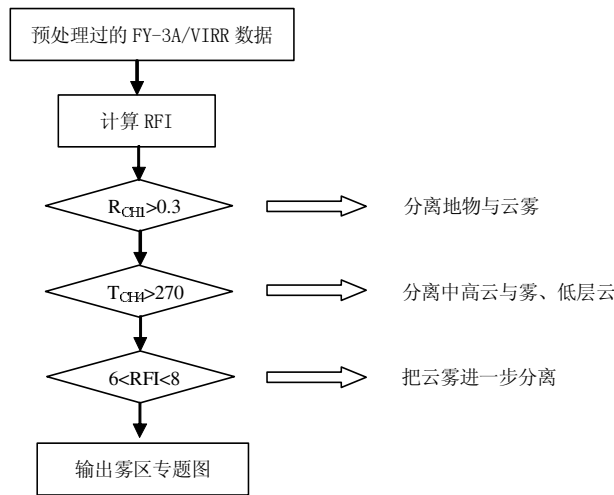


图 6 FY-3A/VIRR 云雾分离算法流程

2.4 监测结果验证

表 3 为 2017 年 3 月 27 日 6 时~7 时左右大雾危险报。江西省共 91 个国家站,自动报送大雾危险报,当能见度小于 750m、相对湿度达 80%以上时发一次报,小于 500 米时续发一次,小于 50m 时再续发一次。根据表 3 的统计结果,2017 年 3 月 27 日 6 时~7 时前后江西省兴国、定南、广昌、铜鼓、资溪、永丰等 6 个国家站监测到大雾,在 GIS 系统叠加分析表明,此 6 个站均包含在利用 FY-3A 数据提取的大

表 2 2017 年 3 月 27 日 6~7 时左右大雾危险报

时间	地点	能见度(米)	大雾危险发报	遥感监测
5 时 58 分	兴国	450	√	√
6 时 17 分	定南	660	√	√
6 时 19 分	定南	460	√	√
6 时 30 分	广昌	730	√	√
6 时 39 分	铜鼓	710	√	√
6 时 43 分	铜鼓	490	√	√
6 时 43 分	资溪	720	√	√
7 时 08 分	永丰	690	√	√
7 时 11 分	永丰	450	√	√
7 时 24 分	广昌	480	√	√

雾监测结果中(图 5)。其余地区由于未达到能见度小于 750m、相对湿度 80%以上,或不在 91 个国家站监测范围内,故未报送危险报。造成误差的另一个原因是一些零星雾区分布在县市的局部区域,未能被地面气象站观测到和记录。

3 结语

从纹理特征、光谱分布特征等方面对云雾的差异进行分析研究,并利用多波段阈值法对风云三号气象卫星遥感影像进行日间大雾信息提取。结果表明,FY-3A/VIRR 遥感资料对雾的监测效果较好,可在大雾卫星遥感监测业务中推广应用。

需要注意的是:(1)有时雾和中高云、低层云在一些区域同时存在,因此利用阈值法很难从中准确提取大雾信息,这也是该方法的一个弊端。(2)根据业务经验,利用多通道阈值法监测大雾时,阈值需要根据遥感资料的时相差异及影像特点进行适当调整,在使用中要注意阈值选取的动态性,因此尚需进行大量实验研究来不断验证阈值准确性。(3)本文只对单日的白天大雾进行了监测与验证,后续还将利用风云三号系列卫星进行夜间雾监测方法的研究,并总结其季节变化特征,以期在业务中推广使用。

参考文献:

- [1] 樊建勇,黄玲,祝必琴,等.NOAA/AVHRR 遥感数据在夜间雾监测中的应用[J].江西农业大学学报,2011,33(1): 189-193.
- [2] 唐忠莲,黄滢.珠海机场平流雾特征分析及预报[J].气象研究与应用,2014,35(2):47-51.
- [3] 徐圣璇,黄卓,陆甲,等.广西轻雾特征分析[J].气象研究与应用,2015,36(2):70-73.
- [4] 杨守懋,王娟怀,史成,等.四会雾的气候特征及天气成因

- 分析[J].气象研究与应用,2016,37(2):47-51.
- [5] Gurka J J.Using satellite data for forecasting fog and stratus dissipation [R].5th Conference on Weather Forecasting and Analysis,1974:54-57.
- [6] Eyre J R,Brownscombe J L,Allam R J.Detection of fog at night using advanced very high resolution radiometer imagery[J].Meteorology Magazine,1984,113(1346):266-271.
- [7] Ellrod G P.Advances in the detection and analysis of fog at night using GOES multi-spectral infrared imagery[J].Weather Forecasting,1995,10(3):606-619.
- [8] 居为民,孙涵,张忠义,等.卫星遥感资料在沪宁高速公路大雾监测中的初步应用[J].遥感信息,1997,(3):25-27.
- [9] 刘健,许健民,方宗义.利用 NOAA 卫星的 AVHRR 资料试分析云和雾顶部粒子的尺度特征[J].应用气象学报,1999,10(1):28-33.
- [10] 张树誉.EOS-MODIS 资料在陕西大雾监测中的应用[J].灾害学,2003,17(2):65-68.
- [11] 梁益同,张家国,刘可群,等.应用 FY-1D 气象卫星监测雾[J].气象,2007,33(10):68-72.
- [12] 蒋璐璐,魏鸣.FY-3A 卫星资料在雾监测中的应用研究[J].遥感技术与应用,2011,26(4):489-495.
- [13] 黄永璘,农民强,孙涵.基于 FY-3A/MERSI 的洪涝灾害遥感监测初探[J].气象研究与应用,2009,30(2):59-61.
- [14] 杨军,董超华,卢乃锰,等.中国新一代极轨气象卫星-风云三号[J].气象学报,2009,67(4):501-509.
- [15] 邓英姿,黎颖智,史彩霞.南宁平流雾并伴有毛毛雨天气的边界层特征[J].气象研究与应用,2014,35(2):19-22.
- [16] 黄子航,黄干淇.基于广西西江流域大雾的气候特征及大雾类型分类[J].气象研究与应用,2017,38(2):22-26.
- [17] 王中挺,厉青,王桥,等.利用环境一号卫星数据监测雾分布[J].遥感技术与应用,2010,25(3):318-322.