

文章编号: 1000-2022(2001) 03-0343-07

用 GMS-5 气象卫星资料遥感监测白天雾的研究

李亚春¹, 孙 涵², 李湘阁¹, 唐 勇², 徐 萌²

(1. 南京气象学院环境科学系, 南京 210044; 2. 江苏省农业气象与卫星遥感中心, 南京 210008)

摘 要: 用日本 GMS-5 静止气象卫星的可见光通道和长波红外通道的资料, 采用多通道合成和图像增强技术生成云雾彩色图像, 分析了云雾的纹理特征、运动规律和消散规律, 探讨了白天雾和低层云的遥感监测和识别方法, 对沪宁高速公路沿线大雾进行了实时监测。

关键词: GMS-5, 气象卫星, 雾, 遥感监测

中图分类号: P407.8 **文献标识码:** A

用遥感技术识别和预报雾的研究, 国外从 70 年代就已开始。白天雾和低层云具有较好的反射特性, 在图像上表现为顶部光滑、纹理均匀、边界整齐清晰。与其他云类, 特别是中高云有较明显的区别, 因而普遍认为从可见光图像上就能较方便地判别低层云雾。Gurka^[1]用 SMS-1 可见光通道从连续的卫星图像上观测到辐射雾的消散是由外缘而向内的。Gurka 等^[2]发现有高云覆盖区的雾存在的时间较长。Gustafson 等^[3]用 SMS-1 可见光图像对加尼福尼亚地区雾的消散进行了观测和预报。随后 Gurka^[4]发现空气的内向混合作用是引起雾内向消散的重要原因。Rao 等^[5]提出了气象卫星的可见光图像通常可用于识别和监测雾和层云的消散。巴德等^[6]结合局地地形及云雾移动特征归纳出几种判断混合云雾中哪种占主导地位的线索。上述研究多侧重于雾的生消动态的监测或预报, 而对如何区分云雾则所述寥寥。事实上, 仅用可见光图像资料来区分雾和低层云仍是一件困难的事。

国内有关这一方面的研究报道还不多见。居为民等^[7]用两种卫星资料遥感监测沪宁高速公路的大雾, 取得了一定的效果。刘健等^[8]用 NOAA 卫星 AVHRR 的 3、4 通道资料, 分析了云和雾顶部粒子的尺度特征和分布状况, 得到 3 通道反射率的大小与云雾覆盖区有良好的对应性。这一定性分析结果表明 3 通道资料在云雾识别方面具有一定的潜力。本文用 GMS-5 静止气象卫星的可见光与红外通道资料, 尝试对白天低层云雾进行遥感识别和监测。

1 资料的获取

GMS-5 卫星是日本于 1995 年发射并投入使用的静止气象卫星, 空间分辨率(星下点)可见光约为 1.25 km, 红外约为 5 km, 卫星装载的扫描辐射计 VISSR 每小时播发 1 次展宽数字

收稿日期: 2000-06-28; 改回日期: 2001-04-20

基金项目: 解放军总装备部“低云大雾卫星实时监测预报保障系统”项目

第一作者简介: 李亚春, 男, 1966 年 12 月生, 硕士, 工程师。

资料,每次需时 30 min 左右。目前 GMS-5 气象卫星资料在我国气象部门已广泛地运用于业务之中,资料的接收和应用十分方便,且花费不大。本文所用资料即通过卫星接收系统接收的 GMS-5 的 4 个通道中可见光和红外通道的图像资料,并预先进行过投影变换、地理位置校正等一系列数据处理。

2 云雾的辐射特性

雾由大量靠近地面、飘浮在空气中的大小不等的极细小的水滴或冰晶粒子组成。雾滴一般比云中水滴小得多,其中有大量的半径小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的微滴,其密度可以达到每立方厘米几千个。这些微滴的存在显著地影响了雾的光学特性以及大气能见度,由此引起雾与云的辐射特性的差异。根据散射理论^[9],由于低层云雾中存在大量的微滴,其大小与可见光和近红外波长($<3\text{ }\mu\text{m}$)相当,因而米氏(Mie)散射作用相当明显,几乎因之(当然还包含一定程度的吸收)而完全阻挡了对地表面的探测。当太阳光通过大气层时,如果忽略大气成分的作用,则太阳辐射能量的一部分被云雾吸收,一部分被其散射,一部分则透过云雾层。其中穿过云雾层后又被地面散射向上的能量,在进入大气后又有一部分被云雾散射返回地面,一部分被云雾多次散射后向空间射出。这样,在大气层顶处观测到的总辐射包括了云雾向上散射辐射和与地表多次相互作用后的向上辐射,其量值主要取决于入射太阳辐射强度和云雾的反射率。一般层云和雾的反射率要大于水体和地面,但小于中、高云。这些差异在可见光图像上会得到相应的体现。

在红外波段,云雾粒子的辐射特性也随波长不同而不同。在长波红外波段($11\text{ }\mu\text{m}$ 左右),不透明水云如低层云和雾等的辐射性状类似黑体,几乎完全发射长波红外辐射,其比辐射率接近于 1。卫星在这一窗口通道接收到的就是云面或地面发射的长波红外辐射,太阳辐射可以完全忽略。如果将测量到的低层云雾在热红外波段的辐射转化为等效黑体温度(或称亮温),则几乎与云雾层顶的物理温度相等。不同温度的物体,在红外云图上就会表现出不同的亮度和纹理特征。

3 白天云雾的遥感监测

3.1 处理方法

在天空中没有中、高层云的情况下,通过预报人员的主观判断有可能从可见光图像上识别出雾和低层云,但实际上仅用可见光图像试图区别雾与低层云并不容易。这是因为在可见光图像上,雾虽与其他云类,特别是中高层云类具有明显不同的特征,但与低层云却极为相似。图 1 为 1999-11-22T09:32 的 GMS-5 可见光与红外通道图像。图 1a 为可见光图像,图中“A”处为覆盖江苏省大部分地区的雾区。根据此图分析,与图中其他类型云区(如“B”处)相比,雾区较暗且亮度变化不明显,雾顶光滑,纹理较均匀,边缘也较清晰光滑;而与其相邻的云区“B”处(可能是层积云)及其他云区则由于云顶高低起伏较大而显得亮度变化很大,云中较高处显得十分明亮,较低处则灰暗,其纹理也显得散乱。该图较清楚地表明了雾与云在可见光通道上存在的明显差异。但是,仅凭这一张可见光图像,是无法得到“A”处为雾的结论的。因为,在该图中“C”处云块的图像特征与“A”处也非常相似,但“C”处并不一定是雾。从相邻时间的几幅图上我们发现这一云块在移动,而雾一般不移动,据此判断“C”处云块可能是低层云或低层云与雾的混合云。

在长波红外云图上,虽然由于雾与低层云的热对比不很明显,但毕竟还是存在一些可以察觉的差异。由于雾比低层云更接近于地面,雾顶高度也不及低层云顶高,因此雾顶温度也比云

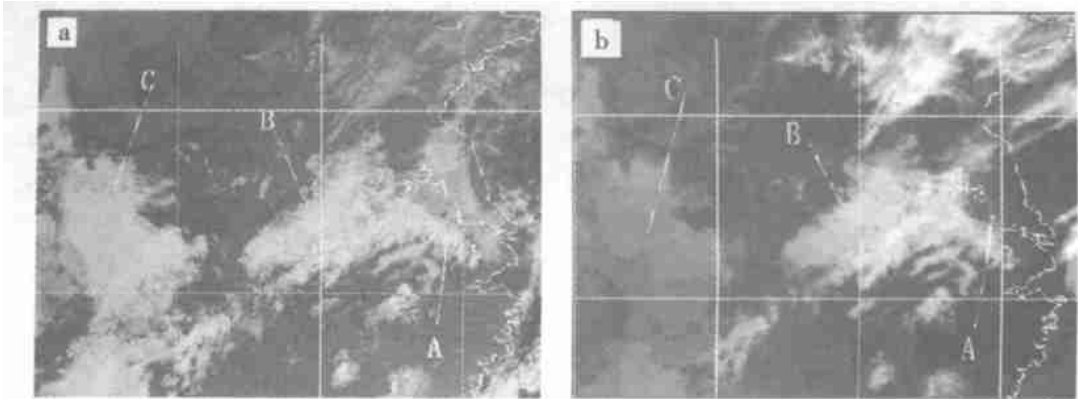


图1 1999-11-22T09: 32 的GMS-5 可见光(a) 与红外图像(b)

Fig. 1 GMS-5 VIS(a) and IR1(b) images at 09: 32, Nov. 22, 1999

顶温度略高, 反映在红外云图上两者的亮温有一定差异, 相对而言, 雾顶温度更趋近于周围环境。图 1b 为红外云图。从该图可以看到, “A”处与其邻近的下垫面没有明显的热差异, 两者无法分辨。“C”处与其邻近环境则存在较明显的热对比。在可见光图像上云顶亮度变化较大的“B”处, 在红外云图上则显得较为平滑。在反演的物理量特征上, 雾区亮温较为均匀, 大致在 278 K 左右, 其邻近的地表亮温 > 282 K。“B”处的亮温值变化较大, 约为 248 ~ 266 K, 其中颜色较暗处亮温值较大, 颜色较亮处亮温值较小。在“C”处亮温值变化范围较小, 中间较暗部分亮温值约为 270 K, 北部区域仅为 266 K 左右。所以, 从红外云图上反演的亮温值来看, “A”处与“C”处也较为接近。

在上述分析的基础上, 运用多通道合成技术, 用GMS-5 气象卫星的可见光通道和一个长波红外通道组合起来, 将可见光通道分别用红色和绿色显示, 将长波红外通道用蓝色显示, 并进行伪彩色处理, 以识别白天的低层云雾, 并试图进一步区分雾与低层云。图 2 为与图 1 同一时间的多通道合成灰度图像。从图像显示的效果来看要明显好于单一的可见光图或红外图像。图中下垫面显示成黑色, 雾区(“A”处) 呈灰色, 色调在“A”、“B”、“C”三处最暗, “B”处云块则显

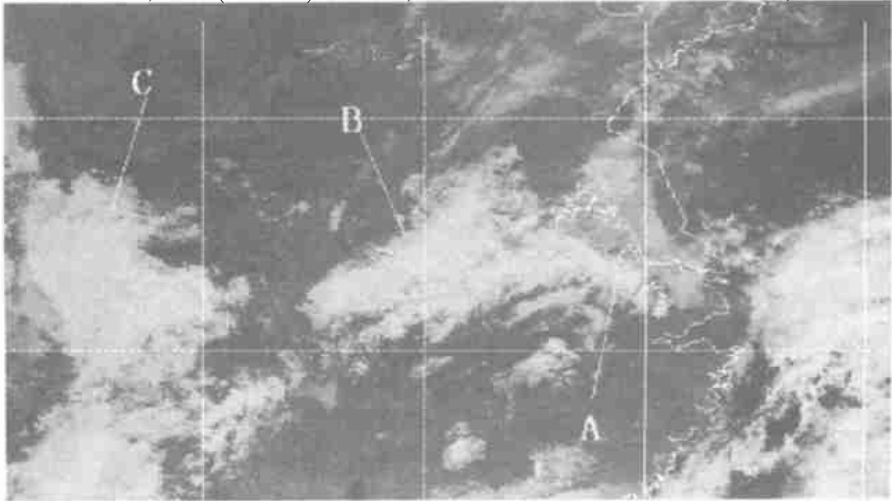


图2 1999-11-22T09: 32 的GMS-5 多通道合成图像

Fig. 2 A combination image of GMS-5 VIS and IR1 data at 09: 32, Nov. 22, 1999

得白亮,且有絮状纹理,而“C”处则是灰色与灰白色混合而成。由此也可以推断此处可能为低层云与雾的混合体。在彩图上以不同的色彩和亮度变化来表现各种类型的云块,高、中、低云及雾均能较好地判读出来。

图3为1999-11-22T08的地面观测实况资料图。图中标“=”处为中雾,标“≡”处为大雾。从图可以看到,沿江苏南地区均出现大雾,苏北扬州等地也有大雾,而沿海地区,包括上海、南通、东台、盐城等部分地区的雾相对较轻。与遥感图中“B”、“C”处相对应的地区,也有一些站点观测到轻雾,但同时另外有一些站点观测到有降水,如安徽的合肥、芜湖、黄山、安庆、霍山等地区,表明这些地区上空存在其他云类。由于上午地面观测时次仅有08时一次,虽然这张实况图从时间上看要比遥感图早一个半小时,但图上反映的情况与遥感图像还是基本符合的。

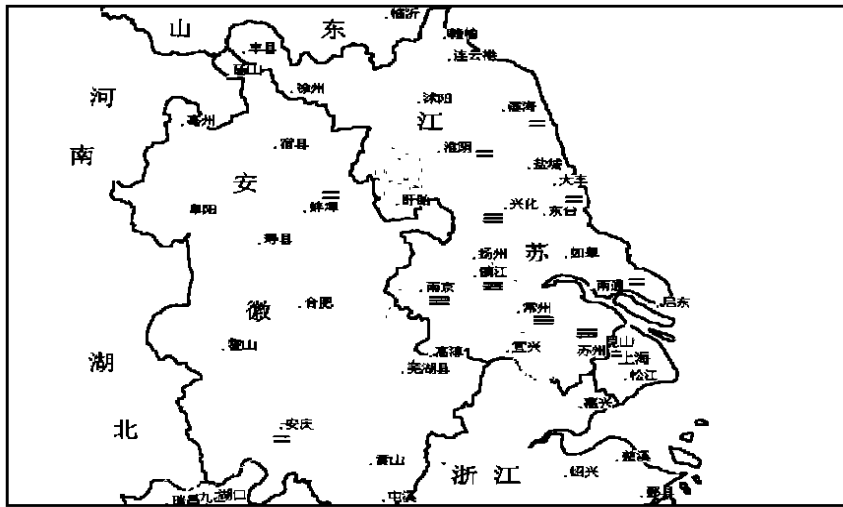


图3 1999-11-22T08 雾的地面实况

Fig. 3 The surface observation of fog at 08:00, Nov. 22, 1999

3.2 白天雾的遥感影像识别方法

根据上述分析结果,并结合有关文献^[6],将白天雾的遥感影像识别方法归纳如下:1)在图像的光谱特征方面,低层云雾和其他各类云在可见光云图上均能较清晰地表现出来。中高云类因反射率高而颜色白亮,且具有明显的结构特征,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,雾顶光滑、均匀,边缘清晰;2)在长波红外云图上,由于雾顶离地面更近而使其温度与地面温度更为相近,因此雾区影像亮度与地面相近,有时甚至难以分清雾区与地面。而其他云类,特别是中高云由于其温度明显低于地面,在红外云图上通常显得比地表白亮。在用可见光与长波红外通道合成的彩色图像上,雾区常常会表现出有别于其他云类的色彩;3)在运动规律方面,雾区在通常情况下不会移动,或者其移动速度十分缓慢。辐射雾在生成和发展阶段通常沿水平方向向四周伸展,在消散阶段则由外向内收缩;平流雾及其他云类的移动方向因受天气系统的影响而具有明确的方向;4)在消散趋势上,因地面加热的不平衡,导致雾区周围气流产生内向混合作用。因此,雾区的消散一般由外缘而向内,轻雾区的消散要快于重雾区,而其他云类的消散则与相应的天气系统密切相关。

3.3 白天大雾遥感监测实例

图4为1999-11-23T10:32的GMS-5可见光通道与红外通道合成后的灰度图。从图上可以看到,雾区外缘“A”处絮状特征明显,边缘粗糙,表明雾区外缘即将开始或已经开始消散;

“B”处虽处于雾区的相对几何中心, 但已经消散, 这主要是因为此处雾最稀薄而使得地面受热程度强于其他地区, 地面升温要比其他地区快; “C”处也即太湖以东地区图像光滑, 边缘整齐清晰, 表明这一地区的雾尚未开始消散。从此后的几张遥感图像并结合地面实况观测资料分析, 证实上述推断基本正确, “C”处在其他雾区几乎已消散完毕以后仍然存在。

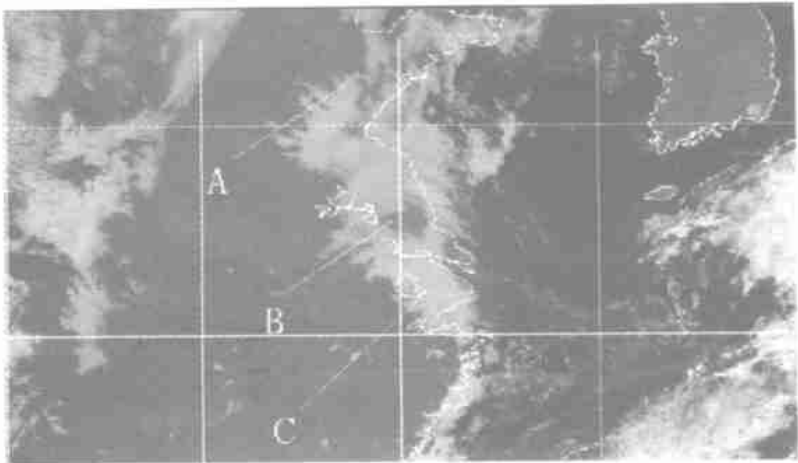


图 4 1999-11-23T 10: 32 的 GMS-5 多通道合成图

Fig. 4 A combination image of GMS-5 VIS and IR1 data at 10: 32, Nov. 23, 1999

2000 年 1 月 1 日 ~ 3 日, 上海、浙江、江苏、安徽等省(市)连续出现了大范围的大雾天气, 持续时间长, 能见度低, 严重地影响了高速公路的交通安全, 沪宁高速公路被迫数次关闭。图 5 为 2000-01-02T 09: 32 的 GMS-5 气象卫星多通道合成图。从该图可以看到, 大雾覆盖了上海、江苏的大部分地区, 以及安徽省的部分地区, 其中以上海和江苏沿江苏南地区以及安徽的南部地区颜色最为白亮, 表明这一地区的雾最浓最厚, 沿西北方向逐渐趋淡。沪宁高速公路段完全被沿线浓雾淹没, 能见度极低。图 6 为 1 月 2 日上午 8 时江苏及华东部分地区地面观测资料实况图。观测结果表明, 安徽省的部分地区及江苏大部分地区都为中到大雾天气, 遥感结果与实测资料基本吻合。

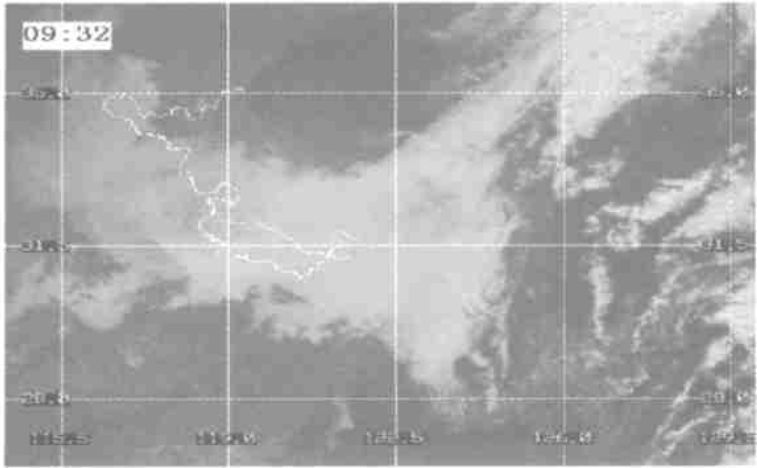


图 5 2000-01-02T 09: 32 的 GMS-5 多通道合成图

Fig. 5 A combination image of GMS-5 VIS and IR1 data at 09: 32, Jan. 2, 2000

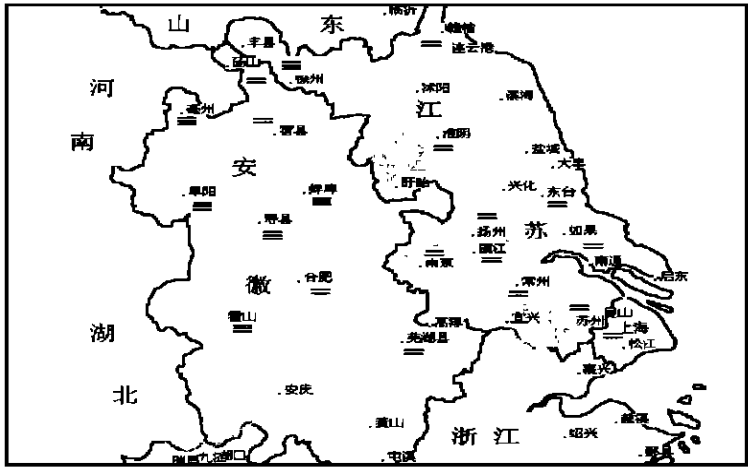


图 6 2000-01-02T08: 00 雾的地面观测实况

Fig. 6 The surface observation of fog at 08: 00, Jan. 2, 2000

4 结 论

遥感监测雾和低层云至目前为止仍是一件困难的事。尽管用可见光资料对白天低层云雾进行遥感识别相对容易一些, 但仅用单一的可见光资料仍不足以区分低层云与雾。本文采用 GMS-5 气象卫星的可见光通道与长波红外通道相结合, 运用假彩色合成技术, 生成多通道合成图像, 并借助于对云雾的纹理特征、运动规律及消散趋势的分析, 来识别白天的低层云雾并进一步区分雾与低层云, 并选用冬季华东地区的两个个例进行验证, 取得了较好的效果。但由于雾和低层云本身差别很小, 且随季节和地理位置而变化。因此, 本文所讨论的方法能否适用于其他季节和地区尚待进一步的验证。

用气象卫星遥感监测雾具有宏观、快速、直观等优点, 而 GMS-5 气象卫星每隔 1 h 就能接收一次资料的能力, 使得其在遥感监测白天大雾、特别是雾的生消趋势方面更具有明显的优势, 但对于局地性雾的监测效果尚不能令人满意。因此, 若能在卫星遥感监测的同时, 结合地面自动的或人工观测资料, 效果会更好。

参考文献:

[1] Gurka J J. Using satellite data for forecasting fog and stratus dissipation[R]. Preprints, 5th Conference on Weather Forecasting and Analysis, 1974.

[2] Gurka J J, Oliver V J. Fog persistence under a cirrus band[J]. Mon Wea Rev, 1974, 102(12): 869 ~ 870.

[3] Gustafson A V, Wasserman S E. Use of satellite information in observing and forecasting fog dissipation and cloud formation[J]. Mon Wea Rev, 1976, 104(3): 323 ~ 324.

[4] Gurka J J. The role of inward mixing in the dissipation of fog and stratus[J]. Mon Wea Rev, 1978, 106(11): 1633 ~ 1635.

[5] Rao P K, Holmes S J, Anderson R K, 等. 气象卫星——系统资料及其在环境中的运用[M]. 许健民, 等译. 北京: 气象出版社, 1994.

[6] 巴德 M J, 福布斯 G S, 格兰特 J R, 等. 卫星与雷达图像在天气预报中的应用[M]. 卢乃锰, 等译. 北京: 科学出版社, 1998.

[7] 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.

- [8] 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.
- [9] Liou Kuo Nan. 大气辐射导论[M]. 周诗健, 等译. 北京: 气象出版社, 1985.

STUDY ON DETECTION OF DAYTIME FOG USING GMS-5 WEATHER SATELLITE DATA

LI Ya-chun¹, SUN Han², LI Xiang-ge¹, TANG Yong², XU Meng²

(1. Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044;

2. Meteorological Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210008)

Abstract: A technique for detecting fog during daytime by the use of a combination of VIS and IR1 images from GMS-5 weather satellite is presented in this paper. This technique, combined with the analysis of texture characters, movement laws and dissipation laws of fog and low stratus, can be used to distinguish fog from low stratu clouds. A case study is given to demonstrate the effect and potential of this method.

Key words: GMS-5; weather satellite; fog; remote sensing