

沙暴天气的云图特征分析

郑新江 刘 诚 崔小平 耿树民

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

赵亚民

(河北省气象局)

提 要

在研究我国沙暴分布特征的基础上, 通过两次沙暴天气的对比分析, 给出了沙暴天气的云图特征。

关键词: 沙暴 黑风暴 卫星云图

前 言

沙尘现象(扬沙、沙尘暴、浮尘等)对人民生命和农业、牧业、工业、交通运输均有不良影响。1993年5月5日发生在甘肃河西地区的强沙尘暴(黑风暴)天气, 造成死亡70余人, 直接经济损失达2.96亿元, 引起了广泛的关注, 也推动了沙尘暴天气的深入研究。

气象卫星对于监测沙尘暴发生、发展和移动, 以及有关天气系统的结构, 均有十分重要的作用, 为开展沙尘暴的监测与预报提供了强有力的工具。

1 我国沙尘暴天气的时空分布

1.1 沙尘暴的空间分布

我国西北地区处于欧亚大陆的腹地, 有着世界著名的大沙漠, 据统计, 该地区分布有大沙漠及风蚀地 603800km^2 , 不同发展程度的沙漠化土地 60376km^2 。整个地区年降水量多在 150mm 以下, 植被稀少, 沙物质多, 风蚀强烈, 且春季多大风, 因此这里成为亚洲沙尘暴的多发区之一。特别是新疆南部的塔克拉玛干大沙漠, 年沙尘暴日数可达38.8天, 并波及到青藏高原的北部及其以东地区。甘肃和内蒙古西部的地形、地表更加复杂, 巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库尔齐沙漠和毛乌素沙地等, 都是沙尘暴的源地。甘肃民勤年沙尘暴的日数达到45.6

天, 为全国之冠。值得注意的是, 在我国东北平原、华北平原某些河滩沙化地带, 如西漳沱河的沙地、黄河下游的开封地段及入海处, 都是沙尘暴的易发区, 年沙尘暴的日数多达10—15天。在许多沙质草原特别是农垦区和农牧交错区, 以及干松的农田都可以发生沙尘暴。图1是我国沙尘暴的年日数分布图, 其主要根据中国气候图集(60年), 我国1951—1980年气象要素极端值(气象科技1987.4)以及全国沙尘暴学术研讨会(1993.9, 兰州)等资料绘制而成。从图上可分析出, 沙尘暴日数大于10的界线, 大致在 35°N 以北、 100°E

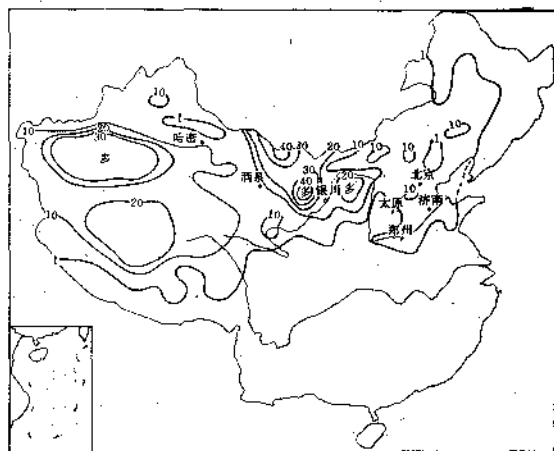


图1 中国沙尘暴年日数分布图

以西的地区,其中有3个相对大的中心:河套地区(20次);金昌、武威等地(40次)以及塔里木盆地(35次)。但沙尘暴所扬起的浮尘则可以随着高空气流越过长江、珠江,漂移至南海,或向东越过东海、黄海上空影响朝鲜、日本。

1.2 沙尘暴的时间分布

由各地区代表站逐月沙尘暴日数变化(图略)分析得知,我国北部地区各月都可能发生沙尘暴,其中以春季为最多。但也有例外,如青藏高原地区,在高原南部的泽当等地,由于高空南支西风急流的作用,冬季大风日数多,地表植被覆盖度小,沙尘暴日数呈冬多夏少型。西北、华北、东北各地绝大多数台站以4、5月份最多。这是因为这些地区气温回升快,大气干燥且地表墒情差,当有强冷空气入侵时,形成大的气压梯度,出现极大的风速,卷起沙尘形成沙暴。而最严重的沙暴如西北地区的“黑风暴”又大多数集中在4月下旬至5月上旬(如1977.4.22和1993.5.5)。

2 卫星资料说明

2.1 文中使用的GMS云图为可见光通道(0.58—0.68 μm ,星下点分辨率为1.25km)和红外通道(10.5—12.5 μm ,星下点分辨率为5.0km)两种,每小时一张。

NOAA云图为可见光通道(0.58—0.68 μm)、近红外通道(0.725—1.10 μm)、远红外通道(10.3—11.3 μm)3种,星下点分辨率均为1.1km。

可见光通道可接收下垫面反射的太阳辐射,用来推算反照率,红外通道可接收来自下垫面的热辐射,由此得到下垫面的亮度温度。由于沙暴区与其它云系和地表在反照率和温度场上均有差异,故可用其监测沙暴。

2.2 NOAA数据定标

从卫星上传下的资料代表传感器所测得的电压记为 $CH_1, CH_2, CH_3, CH_4, CH_5$ 。对于可见光通道(CH_1, CH_2)根据卫星发射前的定标数据将它们转换成反照率,转换公式为

$$A_1 = I_1 + 4 \times S_1 \times CH_1$$

$$A_2 = I_2 + 4 \times S_2 \times CH_2$$

式中, A_1, A_2 分别为通道1和通道2的反照率; I_1, I_2 为定标公式截距; S_1, S_2 为定标公式

斜率; CH_1 和 CH_2 是对10bit量化数据截去低两位bit之后的8bit数据,代表传感器所测得的电压乘上系数4是为了使8bit数据还原成10bit,以便代入原定标公式,获得原10bit数据反照率值。

对于热红外通道(CH_4)要根据定标公式将观测数据转变成红外辐射能量,再转换成辐射表面的绝对温度,进而转换成摄氏温度表示。

将观测数据转换成红外辐射能量(E)的公式为:

$$E = M \times N + S$$

式中 N 为观测数据(代表传感器电压,10bit量比); M 为定标公式斜率; S 为定标公式截距。 E 的单位为 $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{cm}$ 。

将红外辐射量(E)转换成表面绝对亮度温度 T_A 的公式为:

$$T_A = \frac{A \times V}{\ln[1 + \frac{(B \times V^3)}{E}]}$$

式中 $A = 1.438833 \text{cm} \cdot \text{K}$; $B = 1.1910659 \times 10^{-5} \text{mW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{cm}^4$; V 为通道中心波数, T_A 的单位为K。

2.3 太阳高度角订正

卫星图象上物象的反照率受太阳高度角影响很大,为此须对 CH_1 与 CH_2 进行太阳高度角订正,以便于比较,订正方法如下:

$$D' = D \times (1.0/\cos E)$$

D' 为订正后的象元数字值; D 为订正前的象元数字值; E 为太阳天顶角。

2.4 地图投影

本文使用正方投影(经纬度投影)。经度(λ)、纬度(φ)转变成 x, y 方向格距用公式:

$$x = \frac{IN}{360} \times (\lambda - \lambda_0), y = \frac{IN}{360} \times (\varphi)$$

式中 IN 为格点总数,如果 x 方向 IN 取360, y 方向 IN 取360,那么经纬度的整值就是格距。

3 锋前沙暴——金昌“5·5”黑风过程分析

3.1 过程简述

1993年5月5日15时42分,金昌出现了黑风暴天气,最大风速达 $34 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,风力12级,最小能见度为0m。其间15时44分—16时、16时30分—16时45分相继两次白

昼变成黑夜,伸手不见五指(“大风警报”,中国气象报 93.7.29)。16时40分黑风暴到达武威,17时左右到达古浪,17时50分到达景泰,并一直影响到宁夏境内。“黑风暴到达的同时,伴有大幅度降温和雷电现象,大有吞灭人类之势”(兰州沙漠所报告,93.5.20)。

3.2 黑风暴天气的中尺度特征

图2是NOAA卫星16时(北京时)飞过金昌上空拍摄的可见光云图(CH_1),金昌市位于云图上中尺度云团后部,而与地面冷锋相配合的宽广云带位于云图的西北侧。在云团与锋面云带之间的灰白色调区域,是卫星观测到的部分沙暴区。此时锋面尚未到达金昌,但黑风暴风头已过去20分钟了;因此可推测,黑风暴的形成是由云团造成的,在风暴最厉害的时段(15时44分—16时)应是云团移过金昌的时间。在云团尚未影响的武威等地,地表温度高(黑色),天气晴朗。

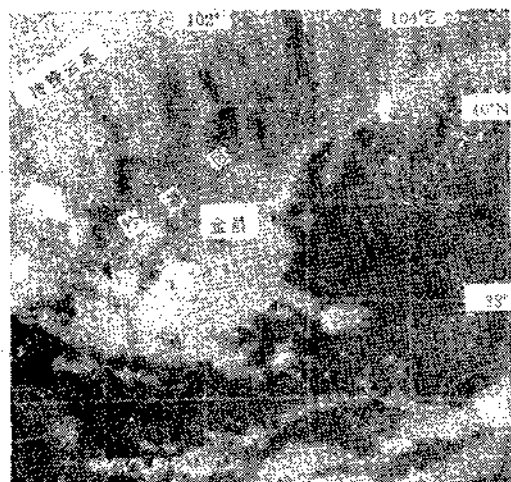


图2 1993年5月5日16时(北京时)N-11可见光云图($0.58-0.68\mu m$)

图3是金昌气象局自记资料^[1],表明黑风暴的发生伴随着气象要素的剧烈变化,而且要素的变化具有飚线的特征。因此可以断定,中尺度云团与其东北侧的对流云线属于锋前的飚线系统,而地面飚线一般位于云团前边界^[2],同时这里也是等温线密集,强上升运动区。综合上述,金昌附近的黑风暴形成,与冷锋前暖区飚线有关。

3.3 飚线云系的生成与演变

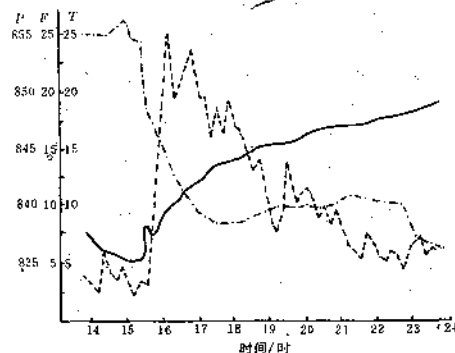


图3 1993年5月5日金昌市气压 P (实线, hPa)、气温 T (点划线, $^{\circ}C$)、风速 F (虚线, $m \cdot s^{-1}$)变化曲线

图4是1993年5月5日日本GMS的可见光云图,由图可清楚地反映出飚线云系的生成与演变过程。位于云图西北侧的云区为锋面云带的一部分。

12时26分(图略)在冷锋云系前的青海湖西北侧的祁连山区有积云生成。13时33分,积云发展成稠密的积云区,并向偏东方向移动。14时34分,积云区移出祁连山区进入张掖地区,并发展成一个不规则的中尺度云团。15时33分,云团向东移动约2个经度,并继续发展,在云团东北部出现向北伸展至 $40^{\circ}N$ (巴丹吉林沙漠中部)长约500km的东北—西南向的对流单体云线。但对流云线云顶温度较高,在红外增强云图上没有出现低于 $-40^{\circ}C$ 的增强区。中尺度云团与其东北侧的对流云线组成了飚线云系。16时33分—17时33分,云团达到成熟期,其移速减慢,与冷锋之间距离缩小。

3.4 沙暴区参数特征分析

3.4.1 反照率特征分析

在可见光云图上,沙尘暴区顶部结构均匀,顺着风向有纹理,色调呈浅灰色,有高云的暗影存在。另外,沙尘暴区顶反照率与云团和地表的反照率有明显差别。

图5a是可见光图象(CH_2),图中分别从地表(A处)、沙尘暴顶(B处)和云团云顶(C处)取出部分象元点利用直方图方法,计算各自反照率,图上横坐标为反照率(%),可以发现:地表反照率最低,达15%左右,沙尘暴顶比地表高,达24%,而云团的反照率最高,达

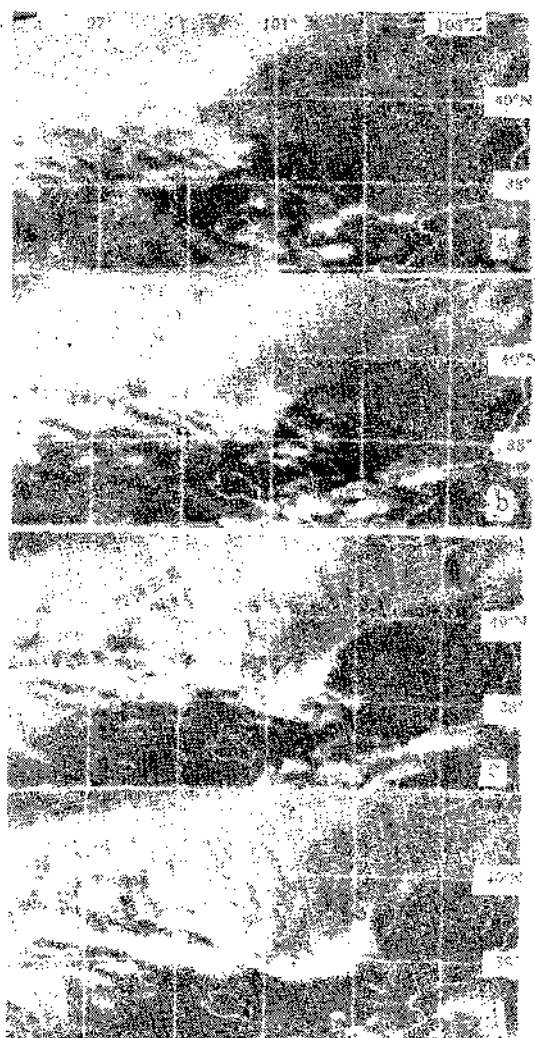


图4 1993年5月5日GMS可见光云图

a为13:33, b为14:34, c为15:33, d为16:33

到51%。

3.4.2 温度特征分析

在红外云图上(图5b),沙暴区、云团和地表的温度有明显差异,使用直方图方法,分别统计云团(A处)、沙暴(B处)、地表(C处)的辐射温度(T_{bb})发现,云团的温度最低(A处),集中在 -54°C 附近;沙暴温度次之(B处),集中在 -3°C 附近;地表温度最高(C处),可达 $+39^{\circ}\text{C}$ 。

以上结果,为我们利用气象卫星监测沙暴提供了依据。

3.4.3 等温线特征分析

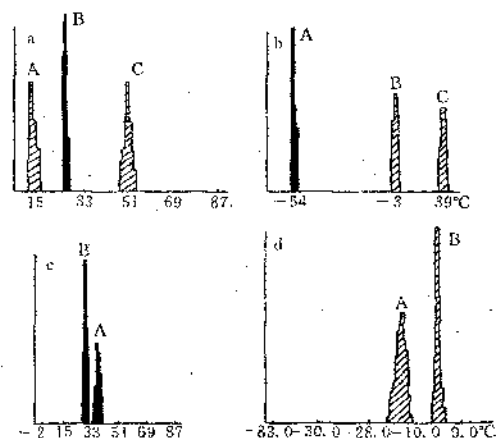


图5 两次沙暴过程NOAA卫星反照率与温度直方图比较

a: CH_2 反照率比较; b: N-11 CH_4 温度直方图; c: CH_2 反照率对比图(A为1993.5.5; B为1990.4.25); d: N-11 CH_4 直方图比较(A为1990.4.25; B为1993.5.5)

对沙尘暴顶绘制4条分别为 -4°C , -2°C , 0°C , $+1^{\circ}\text{C}$ 的等温线(图略),并配合探空资料,计算沙暴影响高度,结果表明,云图上观测到的沙暴高度在2100m左右。

由于云的遮挡,很难看到沙暴全貌,但以上分析仍然是有益的。

4 锋后沙暴——华北“4·25”过程分析

4.1 天气过程

1990年4月下旬,北方地区有气旋活动。25日下午,一股冷空气沿气旋后部快速南下,与其相配合的地面冷锋在25日14时移过北京地区,由于水汽条件差,锋面过境时未产生降水,锋后有7—8级西北大风,相伴有沙暴(或浮尘)天气,北京局部能见度降到0.2km。沙尘暴区与700hPa急流轴有较好的对应关系(图略)。

4.2 云图特征分析

4.2.1 沙尘区形状与源地

在NOAA图上(图6),沙尘暴区为盾状,呈西北—东南走向,与低空急流有较好的对应关系。在其移动过程中,面积不断扩大,主要位于 40°N — 42°N , 112.5°E — 117.0°E 之间地区。从图6上分析出,此次影响华北北部地区的沙尘暴过程,沙源来自阴山、二连浩特至锡林浩特之间的沙漠地带。此类沙暴形成,可能

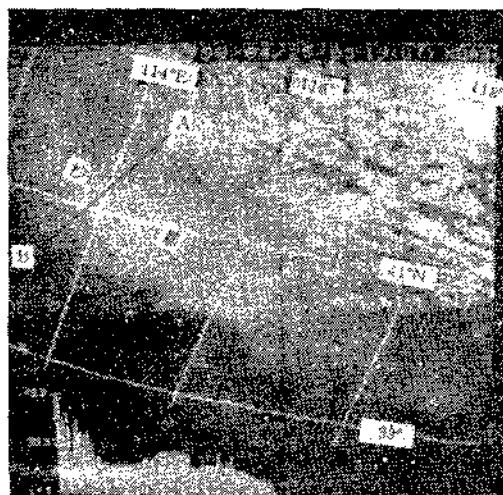


图6 1990年4月25日13时19分(北京时间)N-11可见光云图(058—068 μ m)

是偏西风在地面引起乱流^[2],于山脉阻挡下被卷扬到高空飘向下流,是北方一种常见形势。

4.2.2 反照率分析

沿沙暴区南北两点A、B做表面反照率连线(图6左下角),发现沙暴区边缘反照率为10%—15%,中间大于20%,并存在着一

个明显锋值区。因此可以推测,沙尘暴区中沙尘密度分布是不均匀的,在中间存在着一条呈带状分布的沙尘高浓度区,使反照率明显加大。

4.2.3 温度分析

分析红外云图(10.5—11.3 μ m,图略),沙暴区顶亮度温度有以下特征:边缘温度为-13℃,中间部分为-18℃,呈条状分布,说明沙暴区顶影响高度是不同的。从计算结果看,华北沙暴影响高度为4500m左右。

4.2.4 沙暴区面积计算

由于锋后沙暴在云图上可以观测到全貌,因此可以求算沙暴影响范围。地球本身是一个椭球体,这里计算的面积实际上是求算各个经纬度范围内代表沙尘暴的象元面积之和,即:

$$S = \sum \Delta s_i(\alpha)$$

式中 Δs_i 是沙暴区每个象元的面积,由于每条纬线周长都不相等,所以每个象元面积是纬度(α)的函数。计算结果,本次沙暴面积约为 $S=63,773\text{km}^2$ 。

4.2.5 两次沙暴过程云图特征比较(见附表)

附表 两次沙暴云图特征比较

内容	锋前沙暴	锋后沙暴
云图形状	有纹理,难看到全貌	有纹理,呈盾状等
反照率(图5c)	大于33%(浓度大)	小于33%(浓度相对小)
沙尘顶温度	温度集中在0—3℃	温度大致在-14—-17℃
影响高度	可达2100m(观测到的部分)	距地面4500m左右
物理成因 ^[3]	飚线引起大范围上升运动	锋后大风引起地面扰动与地形作用
监测手段	卫星	卫星及常规手段
源地	本地区	内蒙等地

气象卫星监测沙尘暴是一种非常有效的技术手段,利用气象卫星研究沙暴天气也是一个新课题,应进行深入工作。

致谢:本工作是在许健民研究员指导下完成,与方宗义研究员、游来光研究员进行了讨论。牛志敏、回桂萍同志提供常规资料,特此感谢。

Cloudness Features of Two Kinds of Dust Devil Weather in China

Zheng Xinjiang Liu Cheng Cui Xiaoping Geng Shumin

(National Satellite Meteorology Center, Beijing 100081)

Zhao Yamin

(Hebei Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021)

Abstract

Cloudness features of two kinds of sandstorms are presented based on the analysis of two sandstorm weather events.

Key Words: sandstorm black windstorm satellite cloud picture

参考文献

- 1 陈敏连等. 黑风暴天气的研究和探讨. 甘肃气象, 1993, 3.
- 2 郑新江等. 华北强对流云图统计特征. 应用气象学报, 1992, 增3.
- 3 林山信彦. 天气(日), 1987(3), 44—45.