

# 内蒙古强沙尘暴天气的卫星云图特征分析

张桂莲,韩经纬

(内蒙古自治区气象台,内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘要:**利用 GMS 卫星云图资料,对影响内蒙古自治区的 6 例强沙尘暴天气进行了卫星云图分析。总结了强沙尘暴天气相伴随的云型、云系特征,揭示了沙尘暴天气过程中与之相伴随的中尺度云团的发生、发展过程,对于分析和预报强沙尘暴天气具有广泛的应用价值。

**关键词:**强沙尘暴;卫星云图分析;中尺度云团

中图分类号:P445 文献标识码:A

强沙尘暴是内蒙古最严重的自然灾害之一,常发生于春冬季节,与强冷空气的爆发密切相关。由于强沙尘暴天气的预报难度大,常造成较大的灾害。GMS 卫星云图,由于其具有视野广,时间分辨率高的特点,可以真实快速地从云系的发生、发展状况,揭示天气运动状况和天气系统的发展演变。通过云系分析,可以及时反映大气的动力及热力发展状况。对于沙尘暴天气形成,卫星云图上均有直接的反映。正是由于卫星云图的这些特点,使其成为预报和监测强沙尘暴天气的有力工具之一。

## 1 强沙尘暴天气系统的特征分析

我们对选取的影响内蒙古的 6 例强沙尘暴天气过程进行了天气分析,从天气形势,特别是卫星云图特征上,将这 6 例过程分为 3 种类型,这 3 种类型为发展冷锋云系型、冷锋云系爆发型和东风回流型。表 1 列出了 3 种类型天气的卫星云图特征及天气形势。

### 1.1 发展冷锋云系型

该类型以 1993 年 4 月 25 日为例,其主要特点是:小槽在冷平流的作用下,短时间内迅速发展,诱发地面气旋强烈发展,形成强的沙尘暴天气。在 4 月 25 日 08 时 500hPa 图上(图略),蒙古高原为高压脊控制,贝湖以东有冷平流,蒙古中东部有大片的增温区;在 700hPa 图上(图略),增温更加明显,在脊区平均增温 10℃以上。其后,贝湖冷槽在冷平流的作

用下强烈发展到 20 时,在呼伦贝尔市西部到锡林郭勒盟北部形成强烈低涡,锋区明显加强,锋后降温在 8℃以上。在 14 时蒙古地面便有强气旋生成发展,大片区域产生大风,风速在  $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,地面锋后  $\Delta P_3+5.2$ ,锋前  $\Delta P_3-6.1$ ,3 小时气压最大变差为 11.3hPa。此次过程冷空气南下迅速,锋前增温十分明显,3 小时变差竟达 11.3hPa,是较为少见的,这些因素加剧了低压的发展,由于锋前后的气压变差大,气压梯度必然加大,产生了较强的大风天气。沙尘暴产生于内蒙古锡林郭勒盟和呼伦贝尔市西部、乌兰察布盟北部地区。

### 1.2 冷锋云系爆发型

该类型以 1993 年 5 月 5 日为例,此次过程锋区和云系十分明显,在 500hPa 图上(图略),基本为二槽一脊型,在乌拉尔山以西地区有一高压脊发展,脊前在蒙古西部到新疆为较强的锋区配合,降温在 6~8℃,在强冷空气槽前的锋区前,增温明显,在槽底及槽后,形成一支较强的急流轴,沿 29 区往乌鲁木齐至酒泉附近,槽底负变温区很强,在低层蒙古中部有闭合气旋生成,地面图上(图略),冷锋前部增温明显,35°N 以南地区有弱的西南气流存在至兰州。强沙尘暴主要出现在 5 日 11 时至 20 时之间,出现在内蒙古阿拉善盟、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市等地,此次过程也给甘肃、宁夏等地造成较大影响。

表 1

6 次强沙尘暴天气卫星云图特征分类

日期	类型	卫星云图特征	天气形势简述	影响地区
1993. 4. 25	发展冷锋云系型	在 11 时贝湖及蒙古东部都有扰动性云系存在, 3 小时后, 蒙古东部有强对流云团强烈发展; 6 小时后形成螺旋云系, 对流云团发展成冷锋云系。沙尘暴发生于该冷锋云系的前后。	在 500hPa 图上, 蒙古高原为高压脊控制。贝湖以东有小槽配有冷平流, 6 小时后小槽强烈发展, 诱发蒙古气旋强烈发展, 沙尘暴天气出现于地面冷锋前后, 内蒙古中东部及蒙古大部出现大片强风区。	乌兰察布盟、锡林郭勒盟、赤峰市、通辽市、呼伦贝尔市等地。
1995. 5. 16	发展冷锋云系型	在沙尘暴发生区域下游, 强冷锋云系从呼伦贝尔市到阿拉善盟东南下, 在该冷锋云系尾部的阿拉善盟西部, 10 时有弱的对流云团发展, 3 小时后该云团发展为东北—西南向的冷锋云系影响阿拉善盟地区, 造成沙尘暴天气。	高空锋区位于 40~45°N, 内蒙古中东部地区低槽东南下, 地面图上呼伦贝尔市以西为蒙古气旋, 冷锋从呼伦贝尔市西部一直延伸于阿拉善盟, 在冷锋尾部, 由于西部冷锋迅速东移, 在辐合区域中产生了沙尘暴天气, 影响范围小。	阿拉善盟东部、巴彦淖尔盟北部、乌兰察布盟北部。
1993. 5. 5	冷锋云系爆发型	高空锋区十分明显, 为强冷空气爆发型, 乌山及以东地区的高压脊, 脊前为典型的寒潮云系, 云系前为钜定状, 后界齐整, 锋前为强对流云团发展, 云系中云顶温度为 -60~-70℃, 而锋前上午地面存在大于 40℃ 的高温区。	大尺度寒潮天气过程, 乌山为高压脊, 脊前到蒙古为低槽, 由于高压脊发展, 冷空气南下堆积迅速, 蒙西及新疆锋区明显东南下, 造成冷空气爆发。	阿拉善盟、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市、乌兰察布盟。
1994. 4. 6	东风回流型	在河西走廊到内蒙古阿拉善盟, 维持一巨大的具有螺旋结构的云系。它是由前日该地区的 MCC 云系演变而来, 该云系范围较广、少动, 云中有明显的扰动存在, 巨大的冷云缓慢由西南向东北移动, 云系底部有冷锋云系东移, 伴有强对流云团影响内蒙古西部。	巴湖以西为冷涡, 冷空气分裂东移, 贝湖以东冷涡东移日本海后发展强烈, 强锋区在 45°N 维持, 由蒙古中部南下在内蒙古西部地区出现连续 3 日的偏东大风天气, 回流配合由巴湖分裂冷空气及云系造成内蒙古西部沙尘暴天气。	阿拉善盟、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市、锡林郭勒盟西部。
1994. 4. 7	东风回流型	卫星云图特征相似, 冷云罩底部与分裂东移空气相伴的又一云系东北上影响所致, 该云系东北上后合并于冷云罩中, 影响阿拉善盟、巴彦淖尔盟等地区。	天气形势基本稳定, 同 6 日, 为偏东大风影响。	阿拉善盟、巴彦淖尔盟等。
1994. 4. 8	东风回流型	巨大的涡旋云系少动, 底部又有冷锋东移, 正涡度云系东移影响, 伴有对流云团发展, 影响阿拉善盟等地区。	天气形势同 6 日, 稳定少动, 偏东大风影响所致。	阿拉善盟、巴彦淖尔盟等。

### 1.3 东风回流型

1994 年 4 月 6~8 日, 均属于此类型, 其特点为冷空气一般爆发于沙尘暴天气发生区的下游地区, 沙尘暴天气一般由冷空气爆发产生的偏东大风回流所致。其形势特点: 在 500hPa 图上(图略)巴尔喀什湖以西为一低涡, 伴有冷空气, 贝湖以东低槽东南下并发展。大形势是二槽一脊型, 由于贝湖以东冷涡在日本海发展极强, 相对稳定, 锋区南压并维持于 45°N, 巴湖以东冷空气分裂东移, 在两大槽区的高压脊下的暖区中, 河西走廊到阿拉善盟、巴彦淖尔盟一带, 就有气旋强烈发展, 在低层锋区上形成一气旋

波动, 内蒙古阿拉善盟、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市等地处于地面高压后部, 气旋的东北部, 沙尘暴区发生于该暖区中, 由于大尺度形势少动, 出现了连续 3 日偏东大风下的沙尘暴天气。

### 2 沙尘暴天气的卫星云图分析

我们对上述 6 例强沙尘暴天气的 GMS 卫星云图(红外、可见光)做了投影、定位、放大增强后, 对各类型强沙尘暴天气做了卫星云图分析。

#### 2.1 发展冷锋云系的卫星云图特征

该类型的个例包括 1993 年 4 月 25 日和 1995 年 5 月 16 日两个过程。其共同特点为卫星云图上无

冷锋云系存在,3~6 小时后由于对流云团的强烈发展、合并,发展为冷锋云系。冷锋云系生成、发展和移动都十分迅速,产生大风及沙尘暴。以 1993 年 4 月 25 日过程为例,简述云图特征。

### 2.1.1 生成阶段

在 1993 年 4 月 25 日 03 时 GMS 的红外卫星云图上(图略),在贝湖以东地区有扰动性的片状云系存在。从云系的结构看,云系为不规则的松散螺旋状。蒙古东部有零散的低云存在,表明在片状云区中大气的稳定性和正涡度平流存在,但无明显的冷锋云系和对流云团。两小时之后,在 05 时的卫星云图上(图略),片状云系进一步发展,螺旋结构明显加强。云顶温度进一步降低,云系扰动性依然较强,片状螺旋云系伸展区方向不一,而在蒙古东部的低云迅速发展为对流云团,云顶温度降低明显达  $-40^{\circ}\text{C}$  以下,表明此时,片状云系内正涡度平流进一步加大,地面气旋已经生成,而蒙古东部云团的发展,表明高空短波槽在发展。该云图具有明显对流云团的特点。在该云团附近不到两个经距的水平尺度内,在相距很近的 3 个对流云团,云顶温度约在  $-40^{\circ}\text{C}$  以下,预示着冷锋的生成及大风天气产生。该对流云团距片状螺旋云系中心约 5 个经距左右。

### 2.1.2 发展阶段

1 小时之后,在 06 时 GMS 卫星云图上(图略),片状螺旋云系的螺旋性明显加强,均向云系中心旋转,表明此时气旋开始发展,原蒙古中部的对流云团进一步发展、合并,主体面积进一步增大,在对流云团与气旋云系之间,又有尺度更小的对流云团发展,从同一时间的可见光云图上分析,可以更清楚地看到,在沿螺旋云系到新发展的对流云团到蒙古东部原强对流云团的延长线上,一直延伸于蒙古中部  $105^{\circ}\text{E}$  附近,具有明显云线存在,即干冷锋存在,但由于大气干燥,红外云图上,只能看到从螺旋云系到蒙古强对流云团一段的冷锋云系。

在 07 时 GMS 云图上(图略),可以看到强对流云团前后边缘有沙尘羽状的沙尘暴存在。此时,冷锋云系才明显,从气旋云系中心到强对流云团以西形成冷锋云系,原蒙古强对流云团合并为更加强大的对流体,中心温度达到  $-40\sim-60^{\circ}\text{C}$  之间,在其前缘分别有 3 个相隔很近的中尺度云团向东南传播,说明强对流云团跳跃传播的特点。此时,该云团位于中蒙边界,两个对流云团传播体在锡林郭勒盟发展起来,由上分析,强对流云团的发展,是这次沙尘暴天气的最直接的引发系统。

### 2.1.3 成熟阶段

在 08~09 时 GMS 卫星云图上(图略),气旋云

系的斜压性进一步加强,整个云系呈正涡度逗点云系,原对流云团合并发展为整个云系中最强盛的部分,均在  $-40^{\circ}\text{C}$  以下,中心为  $-60^{\circ}\text{C}$ 。在冷锋尾部及后部的干区中,具有大片的沙尘羽区域,影响内蒙古中部大部地区。巨大涡旋逗点云系一直维持到夜间,它是沙尘暴天气维持与发展的主要系统。对此类型的卫星云图分析可以看出,强对流云团从生成到发展为强盛冷锋的主体仅用了不到 3 小时的时间,其云顶温度的降低、冷云面积的变化速度,均表明对流发展非常旺盛。由于大气干燥(这从干冷锋云线可以分析出),可将大量沙源传输卷挟于空中,由于  $\Delta P_3$  达  $11.3\text{hPa}$ ,气压梯度极大,产生了极强的大风,有利于沙尘暴的传播。巨大的涡旋逗点云系维系了沙尘暴天气的发展。

## 2.2 冷锋云系爆发型的卫星云图特征

### 2.2.1 生成阶段

该类型以 1993 年 5 月 5 日强沙尘暴天气为例,在冷空气爆发前,从蒙古西部到我国新疆分布着东北—西南向的发展旺盛的大尺度冷锋云系。其后界极为齐整,结构均匀,表明冷空气强度极强,冷锋云系前缘参差不齐,极不均匀,有向南端突出的云团,表明锋前大气的不稳定性,在冷锋云系前,存在有大片的晴空区,温度在  $20^{\circ}\text{C}$  以上,从 5 日 06 时 GMS 云图上(图略)可以看出,从云系演变看,在 04 时云图上(图略),有从青藏高原东侧向东北延伸的狭长云系(线)断断续续向东北输送,顶端到达上述高温区。由于冷锋云系前后存在巨大的温度差,形成晴空区附近很大的温度梯度。又由于不稳定区内风的垂直切变及主冷锋强大的动力作用,从 5 月 5 日 04 时上已经能够分析出内蒙古阿拉善盟及蒙古戈壁上出现的沙尘天气,这为 3 小时后在金昌、武威、民勤等地的特强沙尘暴提供了充分的沙源。这一区域恰好是高温区域。

### 2.2.2 发展阶段

从 5 月 5 日 04 时 GMS 图(图略)可以看出,强沙尘暴天气开始进入到急速的发展期,原延伸于金昌附近的中尺度云团,开始发展为强对流单体,云顶温度为  $-40^{\circ}\text{C}$  以下,随后进一步发展合并。在 07 时以后形成更加强大的对流云团,位置正好在原高温附近,云顶温度  $-50\sim-60^{\circ}\text{C}$ 。首先合并的中尺度强对流云团呈波动传播向东移动。在巨大的冷锋云系前缘的云系中,位于内蒙古阿拉善盟上游区域中,从 04 时开始不断有对流单体云团发展合并,在冷锋云系前缘,形成飚线云系,造成内蒙古阿拉善盟地区的强沙尘暴天气。这一现象从 08 时可见光图(图略)可以更加清楚地分析出来。从该图还可以看出,在主体

冷锋云系上,有垂直于主冷锋云系的丝缕存在,说明冷空气推进的速度很快,风很大。到 09 时卫星云图(图略)上,原由高原东侧北上的云系与冷锋前缘十分接近。后在银川、内蒙古阿拉善盟东部及以东地区合并,发展成了影响内蒙古阿拉善盟及以东地区的强沙尘暴的主要对流系统。由于沿冷锋前缘内蒙古阿拉善盟区域内,多个中尺度对流系统的存在,为沙尘的垂直输送起到了重要的作用,又由于最强沙尘暴发生于原高温区域附近的金昌一带,沙尘被卷挟于空中向东北扩展的对流云团中,为沙尘的进一步扩散起到了积极的作用。冷锋推进的强大的动力作用造成寒潮大风,使强沙尘暴天气扩展于内蒙古巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市及乌兰察布盟地区。

### 2.2.3 成熟阶段

自 12 时以后,冷锋东移,冷空气大规模爆发,锋前对流减弱,内蒙古西部处于强劲的西北大风之下,沙尘暴天气持续影响内蒙古阿拉善盟、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市及乌兰察布盟地区。

### 2.3 东风回流型的卫星云图特征分析

该类型的个例为 1994 年 4 月 6、7、8 日在内蒙古阿拉善盟、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市等地造成偏东大风下的沙尘暴天气。现以 1994 年 4 月 6 日的过程简述该类型的卫星云图特征。

#### 2.3.1 生成阶段

4 月 5 日,在巴尔喀什湖附近存在一大槽,槽前分布一强的冷锋云系,在 5 日 04 时卫星云图上(图略),冷锋云系的东南有来自低纬地区的云涌,新疆中南部为低压控制,有锋生云系在发展,在低压东南方不断有云团生成合并,形成具有螺旋条状结构的云系,云顶最低亮温在  $-60^{\circ}\text{C}$  以下,表明低压正涡度较强,辐合明显,此后,螺旋中不断增生新的对流云团并合并,到 11 时已达到 MCC 云团标准,巨大的冷云罩覆盖于新疆东部至河西走廊一带,随着 MCC 进入强西南风后不断向东北扩展,并产生弧形外流边界向东北连续传播。

另一方面,前 2 日从蒙古东部南下冷空气冷锋云系已南压至沿海地区,强大的地面高压控制我国东部大部,MCC 正好位于高压后部,由于回流影响,内蒙古阿拉善盟、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市等地产生了较强的偏东大风,迫使 MCC 进一步向北延伸,在 MCC 覆盖区产生了较强的锋生现象,在新疆及甘肃等地造成了沙尘暴天气。

#### 2.3.2 发展阶段

4 月 6 日,由于 MCC 进入锋区,便从圆形冷云罩逐步向斜压形式转变,形成巨大的逗点状云系,MCC 即告结束,从 01 时图中(图略)可以看出,从逗

点涡旋云系尾部延伸出冷锋云系,由于西南干舌的侵入,冷锋云系前地面东风极大,辐合强,在带状的辐合云上,形成一对流单体,呈弧形状下传,造成内蒙古阿拉善盟地区的强风及强沙尘暴。而在巴彦淖尔盟北部、乌兰察布盟北部、锡林郭勒盟西部受回流东风影响,亦产生了沙尘暴天气。

在 04 时图上(图略),01 时逗点涡旋云系东北上合并为爬线云系,这是造成 6 日内蒙古阿拉善盟地区强沙尘暴的主要云系,从 04 时图中还可以看出,逗点云系的斜压性进一步加强,正涡度云系西伸,对流体与高原北侧云线相连。到 08 时(图略)爬线云系已经成为影响内蒙古阿拉善盟、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市等的主要云系,云系呈气旋状分布。

由于高空形势较为稳定,系统东移较慢,受涡旋逗点云系头部东南侧正涡度平流影响,生成爬线云系,在 7 日继续向东北移动,影响内蒙古中西部地区,造成大风及沙尘暴天气。其后位于新疆的冷锋云系进一步在 8 日影响内蒙古中西部,形成大风及沙尘暴天气。在 6、7、8 三日,内蒙古中西部地面东风始终未减,极为稳定。

#### 2.3.3 消弱阶段

由于天气形势稳定,内蒙古中西部地面东风始终很大,由涡旋云系底部延伸处的三条爬线或冷锋云系不断东北抬,相继影响内蒙古中西部,最终发展为弧状的更加宏大的螺旋云系,并开始加速移动,沙尘暴天气宣告结束。

此次沙尘暴天气,发生于东西两大槽之间的暖区中,由 MCC 发展而来的涡旋云系由于地面东风盛行,西南干舌的侵入,演变为稳定少动,辐合极强的逗点云系,尾部冷锋云带的不断东移影响,造成了连续 3 日的沙尘暴天气。

### 3 沙尘暴天气卫星云图预报的着眼点

沙尘暴天气是冷暖空气强烈作用的结果,在沙尘暴出现前地面有明显的增温现象,冷锋前后温差很大。沙尘暴天气总是与强对流云团的发生、发展相联系,要密切注意冷锋前强对流云团的发展及爬线云系的生成和影响。对于发展冷锋型云系,要密切注意环境场条件,要注意冷锋的快速生成,锋尾的强对流云团的发展;对于冷锋云系爆发型,要注意冷锋前强对流云团的合并及由此产生的锋前爬线;东风回流型要注意由河西走廊及高原北侧冷锋及爬线云系的侵入,以及中尺度对流云团的合并发展。

#### 参考文献:

- [1] 刘景涛,杨耀芳,等. 中国西北地区 1993 年 5 月 5 日黑风暴的机理探讨[J]. 应用气象学报,1996,7(3).
- [2] 方宗义,朱福康. 中国沙尘暴研究[M]. 北京:气象出版社,1997.