

2007 年初一次雪后大雾天气过程分析

曹治强 方 翔 吴晓京 李小龙

(国家卫星气象中心,北京 100081)

提 要: 大雾天气是主要的灾害性天气之一。利用多种观测资料和 NCEP 再分析资料,分析了 2007 年 1 月 1~5 日华北和黄淮地区的雪后大雾天气产生的天气背景及其形成的温湿条件和层结特征。结果表明:在这次大雾天气发生时,亚欧大陆中高纬度的环流形势为两槽一脊型,中纬度无明显冷空气活动,南支气流较为平直,天气形势比较稳定。华北和黄淮地区位于入海高压的后部,近地面层有弱的东北风或偏东风,即有利于海洋上暖湿气流的平流输送,又不至于破坏大雾形成的温湿条件。同时,大气层结是绝对稳定的,低层有深厚的逆温层,当暖湿空气平流到温度较低的下垫面上时冷却而形成雾,因而这次大雾天气属于典型的平流雾。这种形势的稳定维持,造成了这次持续时间较长的大范围的大雾天气。另外,华北和黄淮较低的海拔高度,有利于暖湿空气的平流进入,也是大雾形成的重要因子。

关键词: 大雾 卫星云图 平流

A Study on a Heavy Fog Process after Snowfall in the Beginning of 2007

Cao Zhiqiang Fang Xiang Wu Xiaojing Li Xiaolong

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: Heavy fog is one of the main disaster weather. From January 1 to 5, 2007, a heavy fog formed over north China plain. Multiple-data was used to analyses the weather background, including temperature and humidity condition and the stratification of atmosphere. The results showed that during the days of heavy fog, the synoptic situation was stable. There was no cold air outburst. The circulation situation of the middle and high levels in Asia and Europe was one ridge two troughs circulation pattern, and the south branch air flow was straight. North China plain was situated at the rear of high pressure moving to the sea and there was weak wind blowing from north-east or east. The weak wind was not only favorable to the advection transfer of the moist and warm air, but also didn't destroy the formation conditions of heavy fog. At the same time, the stratification of atmosphere was absolutely stable and there was a deep inversion layer. When

the moist and warm air advected onto this cold ground, they was cooling down and forming heavy fog. So this fog belonged to advection cooling fog. The heavy fog lasted 5 days because of the maintenance of the stable synoptic situation and the air advection. In addition, the low sea level elevation of North China plain was another important reason of the formation of heavy fog because it was favorable to the advection.

Key Words: heavy fog satellite cloud picture weather process advection

引 言

在各种天气现象中,大雾对交通的影响最为严重。如2004年12月11—15日河南出现的大雾天气,其间发生多起交通事故,直接造成8人死亡和多人受伤^[1]。同时,大雾天气的出现也严重影响着空气质量,给人们的身心健康带来不利影响。因此,了解大雾天气产生的背景和原因并对它进行预报是十分重要的。目前,国内外对此已经有过一些研究,如:黄培强等^[2]总结了芜湖地区出现大雾天气的环流形势和季节特征。康志明等^[3]指出夜间辐射热力强迫作用和950hPa以下的微风是大雾形成的动力因子。何立富等^[4]的研究表明:地表净辐射引起的近地层冷却是大雾过程的触发和加强机制,低层暖平流的输入和边界层的浅层抬升是大雾长时间持续的原因。毛冬艳等^[5]统计了华北平原12月雾发生前或发生时大气低层部分气象要素的特征,表明当近地面水平风很弱,相对湿度为80%~90%、温度露点差在2~4℃,饱和湿空气层处于稳定或者弱不稳定状态以及近地面气温在3~9℃时雾的发生频率较高。

2006年12月30日晨,华北和黄淮地区出现了降雪。大雪过后,上述地区又出现大雾天气。这次大雾过程持续时间较长,影响范围较广。对于这一次重要的大雾天气过程,文中试图从遥感监测、天气背景、物理量场和地形等多个方面结合起来进行分析,总结大雾天气发生的规律,为今后的预报提供

参考。使用的资料包括空间分辨率较高的极轨卫星资料、时间分辨率较高的静止卫星资料、NCEP再分析资料、地面常规观测资料和探空资料。

1 大雾过程描述及卫星遥感监测

卫星作为一种重要的探测工具,它的观测范围大,从卫星影像图上可以直观地看出大雾的覆盖范围和影响区域。由于雾顶光滑、纹理均匀,与其它云类,特别是与中、高云顶的特征差别十分显著,所以可见光通道可以对雾和高云有较好的区分。而近红外和中红外通道对雾顶温度与低云顶温度和雪的温度较为敏感,对此也有较好的区分。所以选择可见光和近红外或中红外通道来进行合成,对大雾天气的监测效果较好。用到的卫星有EOS-TERRA卫星、EOS-AQUA卫星和NOAA-17气象卫星。其中EOS-TERRA卫星、EOS-AQUA卫星使用的是MODIS(中分辨率成像光谱仪)的6通道(1.628~1.652 μm)、2通道(0.841~0.876 μm)和1通道(0.62~0.67 μm)R、G、B合成。NOAA-17气象卫星使用的是3通道(1.58~1.64 μm 或3.55~3.93 μm)、2通道(0.725~1.00 μm)和1通道(0.58~0.68 μm)R、G、B合成。这两种合成方案能使云、雾和雪都有较好的区分。

2007年1月1—5日,华北地区和黄淮地区持续出现大雾天气。表1列出了卫星过境时间及卫星过境时所监测到的大雾面积。

由于大雾天气一般在清晨发生,然后逐渐消散,而卫星过境时间一般为上午 10:00—11:00左右,所以当卫星过境时,所监测的面积多数小于大雾天气最强烈时的面积。即便如此,从表 1 中也可以看出这次大雾天气过程的影响范围之大。图 1 给出了 1 月 2 日和 3 日的卫星监测图像。从图上可以直观的看到天津南部、山东北部 and 河南北部有大范围的大雾覆盖。

表 1 卫星过境时间及其过境时所监测到的大雾面积

	1月1日	1月2日	1月3日	1月4日	1月5日
卫星过境时间	11:24	10:27	10:57	10:34	10:11
卫星监测大雾面积/ 10^4 km^2	1.3	17	10.9	14.8	6.1

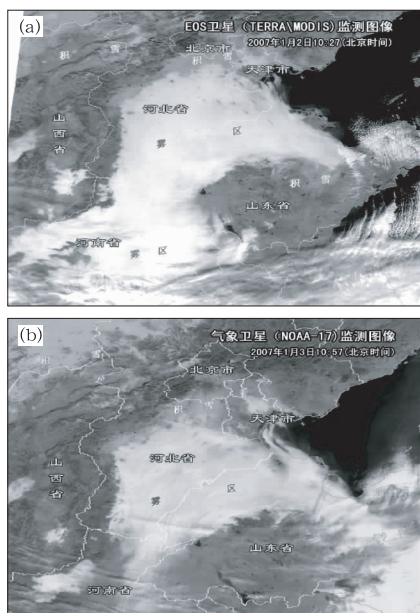


图 1 卫星大雾遥感影像图
a. 2007 年 1 月 2 日 EOS-TERRA 卫星监测图像
b. 2007 年 1 月 3 日 NOAA-17 卫星监测图像

2 天气过程分析

2.1 大雾发生前

图 2a 是 2006 年 12 月 30 日 01:30(北京时)MTSAT 静止气象卫星红外一通道云图

和 30 日 02:00(北京时)NCEP 再分析资料的 500hPa 位势高度场的叠加图像。由图可以看到,在我国中东部地区有一个锋面气旋云系,其锋面从华北南部一直延伸到西南地区东部。500hPa 位势高度场显示:东移的高原槽和南支槽同位相叠加,我国中东部为一宽广的槽区。02 时 1000hPa 流场表明(图 2b),在入海冷高压的后部,近地面层自黄海有暖湿空气向华北和黄淮地区输送。此时,华北和黄淮地区已经开始下雪。至 31 日早晨,随着系统东移,华北地区的降雪基本结束,只有山东半岛的部分地区仍在降雪。这次整个降雪过程华北大部普遍降雪 3~5mm,个别地方出现 5mm 以上的降雪。

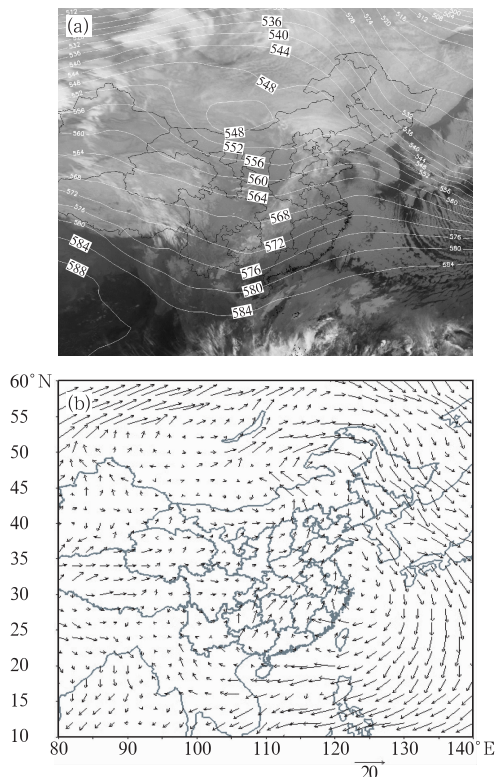


图 2 2006 年 12 月 30 日 01:30(北京时)MTSAT 红外云图和 02 时 500hPa 位势高度场叠加图(a)和 02 时 850hPa 风场(b)

2.2 大雾发生时

随着降水系统的东移,我国中高纬度大

部分地区转为大陆高压所控制。图3a是2007年1月1日08:00(北京时)NCEP再分析资料500hPa位势高度场,在亚欧大陆中高纬度的环流形势为两槽一脊型,脊线位于105°E附近;南支气流较为平直,阻止了中高纬度高压脊前的西北气流南下,天气形势比较稳定。在地面天气图上(图3b),华北和黄淮地区位于前一个入海高压的后部,后一个大陆高压的南部,有利于来自东海和黄海的暖湿空气向陆地输送,而雪后的下垫面温度较低,暖湿空气在

温度较低的下垫面上冷却,从而形成了这次持续时间较长的大范围的大雾天气。1月2—3日和1月1日的环流形势类似,在中高纬度仍然维持两槽一脊的环流形势,发生大雾天气的华北和黄淮地区被高压脊所控制,地面仍位于大陆高压的南部,气压梯度比较小,1000hPa风场分析结果表明上述地区有弱的东北风(图3c)。另外,从卫星云图(图略)上可以看出:3天来,华北和黄淮地区天空无云覆盖,有利于辐射冷却。

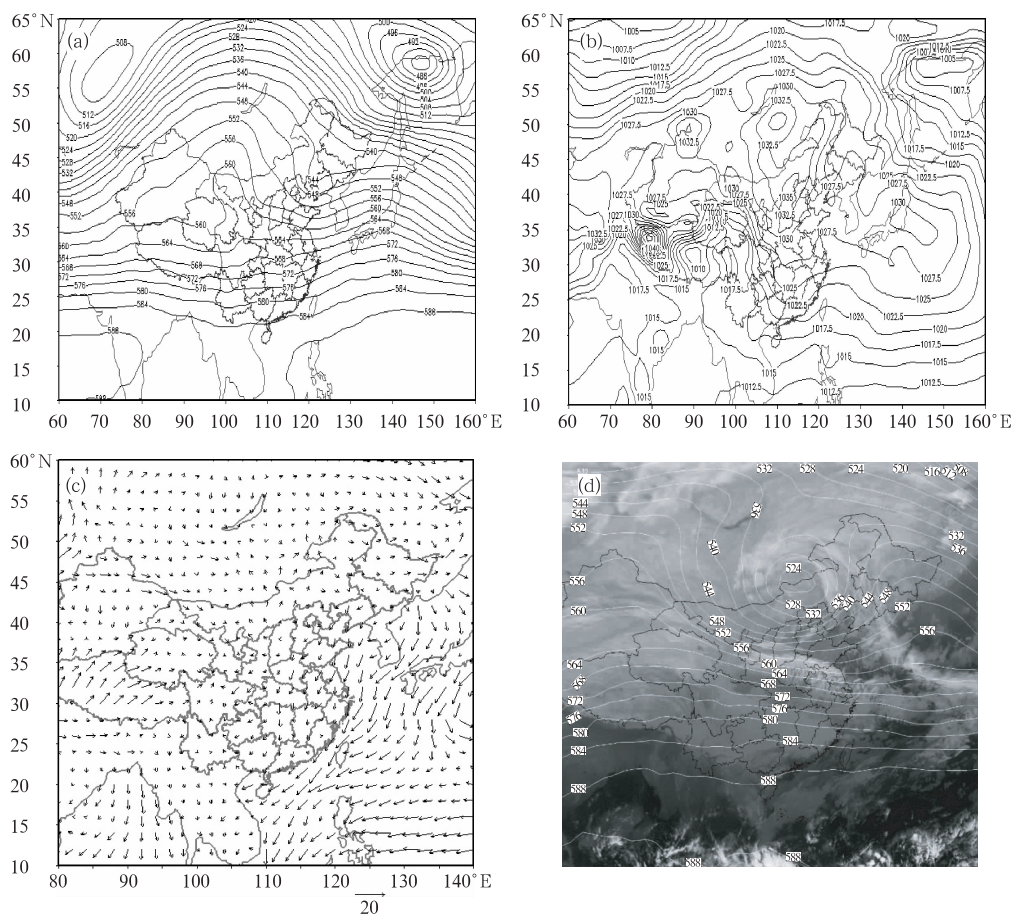


图3 2007年1月1日08时(北京时)500hPa位势高度场(a)、海平面气压场(b)、1月3日08时1000hPa风场(c)及1月5日08:30MTSAT红外云图和08时500hPa位势高度场叠加图(d)

4日早晨08时,原位于巴尔喀什湖西部的低压槽逐渐发展东移至新疆北部和内蒙古西部。地面观测显示,内蒙古西部、宁夏和陕

西北部的部分地区已经开始下雪。但华北和黄淮地区仍位于减弱变性的大陆高压里,天空无云覆盖,近地面的风向和风速仍有利于

海洋上的暖湿空气向陆地输送,平流雾发生的条件并没有改变,大雾天气继续维持。

2.3 大雾消散时

原位于巴尔克什湖西部的低压槽一路东移发展,至 5 日早晨 08 时,已经在内蒙古中部发展成为一个高空冷涡,对应的卫星云图(图 3d)上已经出现明显的螺旋云带,冷涡分裂出一条锋面云系,末端位于北京及其以南地区,其后部的地面冷高压中心气压达 1050hPa。而大雾区正出现在这条冷锋云系的前部,即冷空气还没有到达的河北南部和山东北部等地。在近地面层,冷空气的前锋已经移至内蒙古中部至山西东部,即将侵入出现大雾天气的地区。至下午 14 时,冷空气已经侵入华北和黄淮地区,近地面层被西北气流所控制,1000hPa 风速达 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,此时上述地区的大雾已经完全消散,持续 5 天的的大雾天气宣告结束。

3 大雾形成的温湿条件和层结特征分析

3.1 温度和湿度条件

大雾天气是在一定的温度和湿度条件下形成的,受大雾天气影响的许多观测站点都具有较低的温度和较高的相对湿度。图 4a、b 是 2006 年 12 月 31 日 08 时至 2007 年 1 月 6 日 08 时的河北邢台和保定的温度、露点温度和风速变化曲线图。12 月 31 日,邢台和保定的温度露点差大约在 $1\sim 3^{\circ}\text{C}$,此时大雪刚过,下垫面温度较低,空气比较湿润,所以温度露点差较小,但是由于是在白天,没有辐射冷却作用,故没有大雾天气出现。2007 年 1 月 1 日早晨,经过夜间的辐射冷却后,保定开始出现大雾天气,邢台由于辐射冷却不够,近地面气温较高,出现了轻雾,能见度约为 2km(表 2)。在接下来的 4 天里,可以明显地看到上述两站点的温度、露点温度和温度露

点差的日变化。入夜,温度和露点温度开始下降,温度露点差开始变小,大约在第二天早晨 8 点以前温度和露点温度下降到最低,温度露点差也几乎为零。然后温度和露点温度开始逐渐升高,至下午 14 时以后达到峰值,此时虽然达到日最高气温,但由于雾对太阳辐射的反射和散射作用,地面升温一般小于 6°C ,幅度不大;温度露点差也逐渐加大,但差值较小,这说明底层的湿度一直比较大,水汽条件长时间维持。另外,风速白天一般会增大到 $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,其他时候多为 $1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度。这种风速既可以产生一定的湍流作用,使雾扩展到一定的厚度,又不至于把水汽输送到别处。

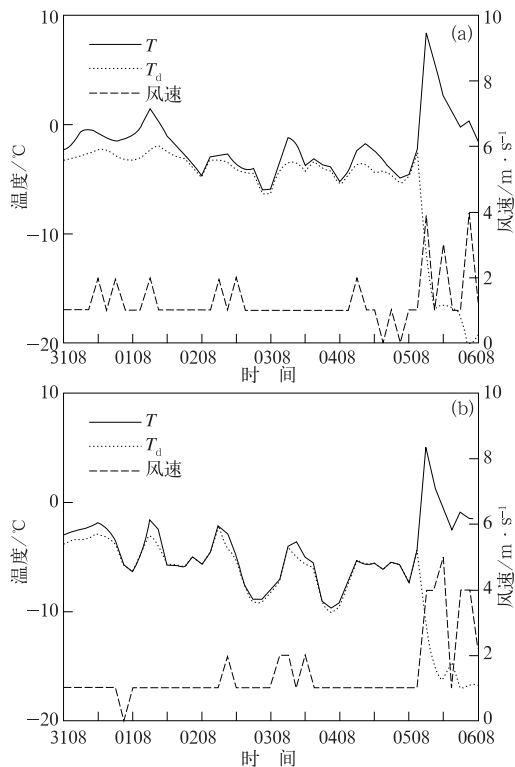


图 4 2006 年 12 月 31 日 08 时至 2007 年 1 月 6 日 08 时邢台(a)、保定(b)温度、露点温度和风速变化

至 5 日 11 时,由于冷空气的侵袭,天空突然打开,太阳辐射不再受到雾层的阻挡,此

时地面反而有了明显的升温,冷空气的来临,也使得风力加大,底层的湿度条件不能维持,故露点温度陡然下降。6日早晨08时,温度露点差达 15°C 以上,大雾天气不再出现。

3.2 大气层结和稳定度条件

在冬季,我国北方大部分地区几乎都没对流产生,大气层结都非常稳定。由于探空站点比较稀少,在这里只对邢台市的探空资料进行了分析。邢台市位于太行山脉的东侧的华北平原上,海拔78m。图5是邢台市的温度和露点温度的探空曲线图,限于篇幅,这里仅给出了3日08时和5日20时2个时次温度和露点温度的分布廓线,分别代表大雾天气发生时和大雾天气消散后的层结。从温度廓线上可以看到,在大雾出现的早晨,邢台上空有很深厚的逆温层,逆温层顶高度在900hPa以上,逆温层像一个巨大的棉被一样,隔绝了近地层及其以上大气的物质和能

量的交换,因而近地层的温湿条件也得以长时间维持。在950hPa以下,邢台市的温度和露点温度差很小,两条曲线几乎重合。在950hPa以上的高度,温度露点差突然增大,这表明湿度突然减小,这也间接的说明大雾的厚度大约从地面一直伸展到950hPa高层,是非常深厚的。至05日20时,大气层结已经出现了明显的变化,逆温层顶降到950hPa以下,温度露点差也增大 10°C ,出现大雾天气的温湿条件已经被破坏。

表2反映了邢台市1日08时至6日08时的大气稳定性参数、天气现象和能见度之间的关系。从大雾出现前到大雾天气结束,整个过程中, K 指数和 $\Delta\theta_{se850-500}$ 全为负值,沙氏指数全为正值或超出了可算范围,表明大气层结处于绝对稳定的状态。大雾过程期间,能见度变得很低,甚至为零。大雾消散后的第一天,能见度达到20km,表明冷空气过后,空气变得十分清洁。

表2 2007年1月1日08时至6日08时邢台市大气稳定性参数、天气现象和能见度

日期	K指数	$\theta_{se850-500}$	沙氏指数	天气现象	能见度/km
1日08时	-14	-17.3	—	—	2
1日20时	-15	-17.8	17.5	—	3
2日08时	-10	-15.7	15.8	≡	0.2
2日20时	-15	-18.3	18.4	≡	0.8
3日08时	-17	-18.0	17.8	≡	0.4
3日20时	-7	-14.5	14.9	≡	0.8
4日08时	-4	-14.8	13.2	≡	0.2
4日20时	-5	-16.9	16	—	3.0
5日08时	-18	-17.5	19.7	≡	0
5日20时	-29	-22.5	—	o	12
6日08时	-21	-22.2	—	o	20

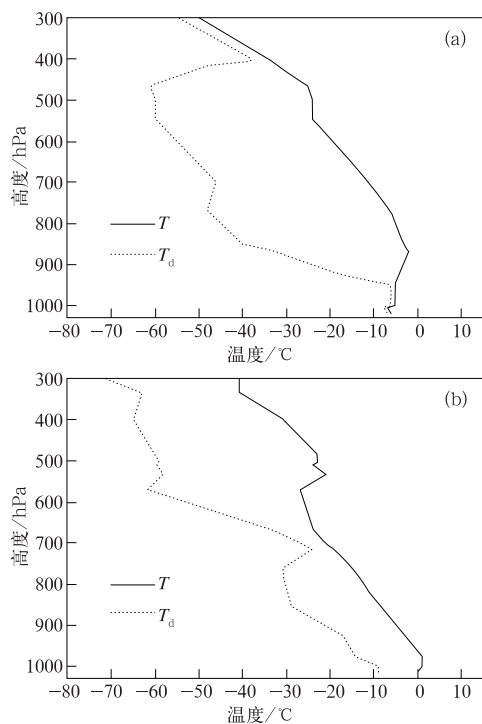


图5 2007年1月3日08时(a)和2007年1月5日20时(b)邢台温度和露点温度随高度分布

4 地形对大雾的影响

由于大雾发生在近地层,而且厚度一般不超过500m,所以地形对大雾的分布有较大的影响。从图1中可以看出,大雾主要出现在太行山脉以东的平原地区,图中可以清楚地看到太行山脉的走向,雾区的西边界恰好是太行山脉的脚下。另一个比较明显影响这次大雾出现范围的地形是鲁中山区,大雾出

现在河北南部、山东北部和西部,甚至包括山东半岛的部分地区,而山东的中部山区却没有出现大雾天气。出现这种现象的原因主要是上述山区海拔相对较高,由海洋上平流而来的暖湿空气不能逾越太行山脉和鲁中山区,故只能在海拔较低的平原或丘陵地区形成大雾天气,因而在卫星遥感影像图上出现了上述形状的大雾分布。

5 小 结

(1) 使用极轨卫星可见光和近红外或中红外通道进行 R、G、B 合成得到卫星影像图,能使云、雾和雪有较好的区分,可以直观地看出大雾的覆盖范围和影响区域。

(2) 这次雪后大雾天气过程属于典型的平流雾。整个过程中,天气形势比较稳定。华北和黄淮地区处于地面高压的南部或后部,无明显冷空气活动,低层弱的由海上回流的东北风或偏东风把海洋上的暖湿空气向陆地输送,提供了充足的水汽条件。另外,大气层结是绝对稳定的,逆温层顶一般可达 900hPa 以上。950hPa 以下的大气层非常湿

润。再加上大雪过后,下垫面较为寒冷,使平流到那里的水汽很容易达到饱和而出现大雾。由此可见,来自海上的暖湿空气的平流是这次大雾形成的关键因素。因而,当有来自渤海或黄海的暖湿回流空气和类似的稳定的天气背景时,华北和黄淮地区便具备了发生大雾天气的有利条件,据此可进行大雾天气的预报。

(3) 地形对大雾出现范围有明显的影响。由平流而形成的大范围的大雾天气一般出现在海拔较低的平原或丘陵地区。

参考文献

- [1] 董文杰,张强,郭进修,等. 中国气象灾害年鉴[M]. 北京:气象出版社,2004:84-85.
- [2] 黄培强,王伟民,魏阳春. 芜湖地区持续性大雾特征的研究[J]. 气象科学,2000,20(4):494-502.
- [3] 康志明,尤红,郭文华,等. 2004 年冬季华北平原持续大雾天气的诊断分析[J]. 气象,2005,31(12):51-56.
- [4] 何立富,陈涛,毛卫星. 华北平原一次持续性大雾过程的成因分析[J]. 热带气象学报,2006,22(4):340-350.
- [5] 毛冬艳,杨贵名. 华北平原雾发生的气象条件[J]. 气象,2006,32(1):78-83.