

首都机场雾过程的气候特征分析

陈露^{1,2} 顾雷³

1 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

2 中国民航北京气象中心, 北京 100621

3 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 利用首都机场1998~2005年每小时观测数据和NCEP/NCAR每日4次的再分析资料,分析了首都机场雾发生的日变化、季节变化和年际变化特点;合成分析了首都机场大雾形成、持续和消散阶段天气形势的气候特征。结果表明:首都机场1998~2005年雾的季节变化特征显著。夏季、秋季出现轻雾天气过程多;秋冬季节是首都机场大雾的高发期。首都机场轻雾与大雾的日变化特征有明显差异。轻雾过程的日变化特征明显,在13时(北京时间,下同)达极大值,从20时至次日9时能见度较差。能见度的变化与温度的变化有很好的正相关,而与相对湿度的变化有很好的负相关。大雾过程中各要素日变化不明显。对1998~2005年大雾天气过程合成分析的结果表明,大雾形成、持续和消散阶段的850 hPa形势场均是“一槽一脊”型。大雾形成和持续阶段的地面形势场是鞍形场或均压场,大雾消散阶段的地面形势场是完整的高压前部。在形成阶段,北京受弱暖脊控制,无明显冷暖平流,大气层结稳定,有利于辐射降温作用和水汽在近地面层的积聚;在持续阶段,北京区域地面辐合,冷空气在上游堆积,随着850 hPa槽脊位置的东移南压,南方暖湿空气输送受阻,高层逐渐转干;在消散阶段,850 hPa高空槽过境,完整的高压控制北京区域,强冷空气随北风南下,大雾过程逐渐结束。

关键词 雾 低能见度 气候特征

文章编号 1006-9585 (2008) 06-0783-08 **中图分类号** P426.4 **文献标识码** A

Climatological Characteristics of Fog at the Beijing Capital Airport

CHEN Lu^{1,2} and GU Lei³

1 *Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871*

2 *Meteorological Center of Civil Aviation Administration of China, Beijing 100621*

3 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

Abstract Based on hourly observational data at the Beijing Capital Airport and four times per day NCEP/NCAR reanalysis data from 1998 to 2005, the seasonal variation and interannual change of the characteristics of fog at the Beijing Capital Airport are analyzed. The authors also compared the difference of diurnal variation between the light fog (visibility from 1 km to 3 km) and the dense fog (visibility less than 1 km), and studied the climatological characteristics of synoptic situation at the initiation, duration and dissipation stages of the dense fog process. The results show that there are obvious seasonal variations of fog activities at the Beijing Capital Airport. The number of light fog days in summer is more than that in autumn, winter and spring. The frequency of dense fogs is the largest in autumn, less in winter and the least in summer and spring. The dense fog processes in autumn and winter account to about 70.2% of the processes in the whole year. There are noticeable diurnal variation differences between light fogs

收稿日期 2007-09-26 收到, 2008-09-22 收到修定稿

资助项目 中国气象局成都高原所 BR0P200709

作者简介 陈露, 女, 1968年出生, 学士, 高级工程师, 从事航空气象预报。E-mail: chenlu0793@hotmail.com

and dense fogs. During a light fog process, diurnal variation of one peak two vales can be observed, which is characterized with maximum visibility value at 1300 LST and low visibility from 0800 LST to 0900 LST. The variation of visibility and temperature is in phase during a day, while the variation between visibility and humidity is out of phase. During a dense fog process, the diurnal variation is small. Based on the cases of fogs from 1998 to 2005, a composite analysis is carried out, which shows that the synoptic situation at 850 hPa during the period of initiation, duration and dissipation stages is one trough one ridge. The synoptic situation in both the initiation and duration stages is saddle-shaped pressure field or mean pressure field at surface. In dissipation stage, however, the surface system is usually in front of a high pressure. At the initiation stage, Beijing is located near the warm ridge, featured with stable stratification and weak advection, which is benefit to radiation cooling and water vapor convergence near the ground. At the duration stage, the convergence is maintained and cold air begins to accumulate in the upstream region. As the trough at 850 hPa moves southeastward, the warm and moist air from south is prevented and the upper humidity is reduced. During the dissipation stage, the trough at 850 hPa passes though Beijing, and the low level is dominated by high pressure system. Therefore, the air becomes drier and water vapor can not converge and condense under the high pressure and the dense fog process comes to the end.

Key words fog, low visibility, climatological characteristic

1 引言

雾是一种对正常的工农业生产和人民生活影响很大的天气现象。雾中所含的污染物使空气中的含氧量降低,人们在呼吸时,会感到胸闷,使心血管、呼吸道疾病的发病率大大增加。连续数天的大雾对农业生产不利,表现在农作物缺乏光照,影响生长,病虫害容易发生等。当大雾天气出现时,空气湿度大,极易破坏高压输电线路的瓷瓶绝缘,造成“雾闪”频发,电网大面积停电等。大雾天气对交通运输的负面影响尤为突出,大雾发生时,路面上行驶的汽车和水面上航行的船舶事故量明显增多。

大雾直接对飞行安全构成威胁,表现在:影响飞机的正常起飞和着陆;影响目视飞行;雾抬升形成低、碎云后,增加了飞机在云中积冰、颠簸等情况。据国际民航资料统计,从1978~1990年,因烟雾导致能见度恶劣而造成的飞行事故,占气象原因造成事故的16.9%^[1]。首都机场是国内最繁忙的空港之一,日航班量千余架次,日吞吐旅客数万人次。大雾天气过程会使机场关闭,航班取消,造成大量旅客滞留,严重影响安全飞行和正常的运营秩序。例如2004年12月1~4日,首都机场出现连续4d的大雾天气,全天大部分时间的能见度在1 km以下,极值能见度50 m,仅中国国际航空公司就有834架次航班受到

不同程度影响,造成了巨大的经济损失。

雾是低层大气中的水汽达到饱和时,水汽凝结物悬浮在空中形成的低视程的天气现象。当水平能见度在1~10 km时称为轻雾,低于1 km时称为大雾。根据雾的生成原因可分类为辐射雾、平流雾和锋面雾等^[2]。雾通常出现在400 m以下的低空,加之天气形势场弱,局地性明显等,对雾的监测和准确预报一直是气象服务工作中的难点。由于雾与人民生活息息相关,许多气象学者对雾做了大量的研究工作。何立富等^[3]利用台站加密观测资料和NECP/NCAR再分析资料,对华北一次持续性大雾天气过程进行研究,揭示了对流层中低层暖性高压脊及地面变性冷高压的稳定维持为持续性大雾过程提供了良好的背景条件;地表净辐射引起的近地层冷却是大雾的触发和加强机制;伴随负温度平流南下的偏北大风的爆发是大雾消散的动力因子。冯彦华等^[4]利用白云机场10年的逐时能见度资料,统计了白云机场低能见度的季节变化和日变化特征,指出弱高压脊是冬半年造成恶劣能见度的主要系统。王继志等^[5]研究表明,近20年北京能见度的变化存在显著季节性差异,冬季和夏季距平呈反位相变化。吴宏等^[6]通过对大量雾个例的客观定量分析,给出了北京大雾生成须满足的物理量数值条件。王淑英等^[7]利用地面常规资料和主要空气污染物资料,分析北京地区低能见度的变化特征为秋冬季出现最多,影响能见度的主要因素有空气湿度、地面

风速、24 h 变压和空气污染物。周自江等^[8,9]分析了四川盆地区域性浓雾和长江三角洲地区浓雾事件的气候特征，指出两地区浓雾的年际变化和年代际变化特征，并认为浓雾的年际变化和年代际变化与大气混浊度有密切联系，也和大气干湿度的气候变化有关。董剑希等^[10]还利用 MM5 模式诊断模拟了一次北京大雾过程，对雾的形成和维持机理进行了分析。

以往多是对雾发生过程的逐例分析或统计，得出雾天气过程中各种物理量的变化特征。而对天气现象——雾，特别是大雾在形成、发展和结束过程气候特征的研究分析尚不多。本文从 1998~2005 年首都机场 8 年的逐时实况观测资料中，选取能见度在 2 km 以下，过程持续时间在 20 h 以上，系统性而非局地性的 41 次大雾过程，对雾在生成、维持和消散 3 个阶段分别进行合成分析，希望能进一步了解大雾天气过程各个阶段的气候特征，从而对日后的大雾预报有所帮助。

2 数据

本文采用 1998~2005 年首都机场每小时 1 次的风向、风速、温度、气压、湿度和能见度实况观测资料以及 NCEP/NCAR 一天 4 次的地面和高空再分析资料（水平分辨率 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ）。

3 雾的变化特征

3.1 雾的季节变化特点

在 1998~2005 年首都机场每日 24 个时次正点实况观测资料中，若当日至少有一个时次能见度低于 1 km，则选取该日作为一次大雾天气过程的统计样本；若当日至少有一个时次能见度低于 3 km，则选取该日作为一次轻雾天气过程的统计样本，并将两组统计样本按季节分组。其中，3~5 月代表春季，6~8 月代表夏季，9~11 月代表秋季，12 月和次年的 1、2 月代表冬季。

1998~2005 年共出现大雾天气过程 198 d，出现轻雾天气 542 d，分别占总天数的 6.8% 和 18.6%。其中，2001 年出现大雾天气日数最少，共 9 d，1999 年出现大雾天气日数最多，共 38 d。1999 年和 2005 年出现轻雾天气日数最少，各 57

d，2004 年出现轻雾日数最多，共 88 d。大雾天气日数在 1998~2001 年的 4 年中，呈现递减趋势，而 2002~2005 年，大雾日数稳定在 20 余次左右；轻雾出现日数波动较大，无明显趋势。因而，轻雾与大雾出现日数在 8 年中的变化趋势不同。

由表 1 统计数据可以粗略地分析出首都机场雾的季节变化特点：夏季出现轻雾的天气过程最多，共 166 d，其次是秋季和冬季，分别是 154 d 和 134 d；春季出现轻雾天气过程的次数明显少于其他季节，仅 88 d。秋季出现大雾的天气过程最多，共 84 d，其次是冬季的 55 d；夏季和春季较少，分别是 33 d 和 26 d。

上述大雾和轻雾的季节变化特点，与不同季节空气中水汽含量不同、大气层结不同有关。夏季潮湿多雨，空气的相对湿度大，产生轻雾天气过程的次数明显增多。春季干燥多风，空气的相对湿度小，大雾、轻雾天气过程出现的日数最少。秋、冬季节的水汽条件会稍差一些，但大气层结比较稳定，若遇上晴朗少云的夜间，地面辐射降温明显，在近地面的气层中易出现逆温层，使近地面水汽存积下来，不易扩散到高空，近地面层的水汽逐渐冷却达到饱和，产生凝结。另一方面，由于层结稳定，不利于污染物的扩散，进一步加剧了能见度变差的趋势。因此，秋季和冬季是大雾天气过程的高发期，8 年的秋冬季中共出现了 139 d 大雾天气过程，占全年大雾天气过程的 70.2%。

由首都机场 1998~2005 年间各季节雾发生日

表 1 1998~2005 年首都机场各季节轻雾/大雾出现日数
Table 1 Number of light/dense fog days at the Beijing Capital Airport during 1998—2005

年份	春季	夏季	秋季	冬季	年总计
1998	6/21	6/20	15/19	9/8	36/68
1999	5/19	6/16	19/11	8/11	38/57
2000	3/10	2/13	13/22	9/26	27/71
2001	1/6	2/20	6/21	0/12	9/59
2002	5/9	2/24	5/11	14/17	26/61
2003	5/14	5/18	12/27	1/20	23/79
2004	1/5	4/30	5/28	9/27	19/90
2005	0/4	6/25	9/15	5/13	20/57
季节总计	26/88	33/166	84/154	55/134	198/542

数的统计分析可知：首都机场平均每年的轻雾日是 68 d，大雾日是 25 d。夏季最容易产生轻雾；秋冬季大雾出现最多，轻雾也不少；而春季无论是轻雾还是大雾都较少发生，这是北京季节气候特征所决定的。总体上看，秋冬季是雾出现最频繁，对航空影响最严重的季节。

3.2 雾的日变化特征

本节选取 1998~2005 年秋冬季发生在首都机场的雾天气过程，分析雾天气过程中能见度的日变化特征。为了保证样本选取是稳定的系统性过程，而不是短暂的局地性过程，所选取样本都需满足雾过程持续 20 h 以上这一条件。同时，为了分析日变化对能见度的影响，选取的样本均是在雾的维持阶段，即过程中没有明显冷空气入侵的影响。第一组样本中共有 13 次过程，能见度大部分时间维持在 1~3 km，用其代表轻雾天气过程中能见度的日变化特征（图 1a）；第二组样本中有 15 次过程，能见度大部分时间维持在 1 km 以下，用其代表大雾天气过程中能见度的日变化特征（图 1b）。

轻雾过程（图 1a）：每小时的能见度、温度和相对湿度都有非常显著的日变化。其中，能见度和温度变化曲线均呈现“一峰二谷”型，日变化特征明显。能见度的变化范围在 1~3 km 左右，温度的变化范围在 4~13 °C。能见度的日变化曲线与温度的日变化曲线有很好的正相关，能见度峰值的出现提前于温度峰值的出现，在 13 时（北京时间，下同）达极大值，是一天中能见度最好的时候；而在 20 时至次日 9 时是能见度较差的时

段。能见度的变化与相对湿度的变化有很好的负相关，白天，随着温度的升高，空气相对湿度逐渐减小，能见度随之转好；夜间，辐射降温导致相反的变化过程，空气相对湿度逐渐增大，水汽因饱和而凝结，使能见度下降。

大雾过程（图 1b）：每小时的能见度、温度和相对湿度的日变化过程中，能见度的日变化范围在 0.6~1.2 km，最大增幅不超过 600 m。其中，温度的变化曲线仍是“一峰二谷”型，但变化幅度很小，维持在 2~4 °C 之间，说明昼夜温差并不大。相对湿度的变化曲线近似平直，一整天都维持在 90% 以上。能见度的变化曲线呈缓慢上升趋势，日变化特征不明显。

对比两组雾的样本可以看到，在轻雾过程中，能见度与温度、相对湿度的变化具有明显的日变化特征；而在大雾过程中，各要素无明显日变化特征。造成大雾天气过程日变化特征不明显的原因，一方面可能是因为雾层浓厚，阻挡太阳辐射到达地面，地面升温小，扰动弱，地面水汽在水平和垂直方向的扰动交换弱，低层湿度始终是近似饱和的状态，空气相对湿度变化不大，使能见度的变化也不大。另一方面，由于造成大雾的天气形势比较稳定，没有显著变化。

4 大雾形成、维持和消散环流形势的气候特征

从每日常规天气预报的经验来看，首都机场的大雾天气过程多为辐射雾，或是辐射雾和平流

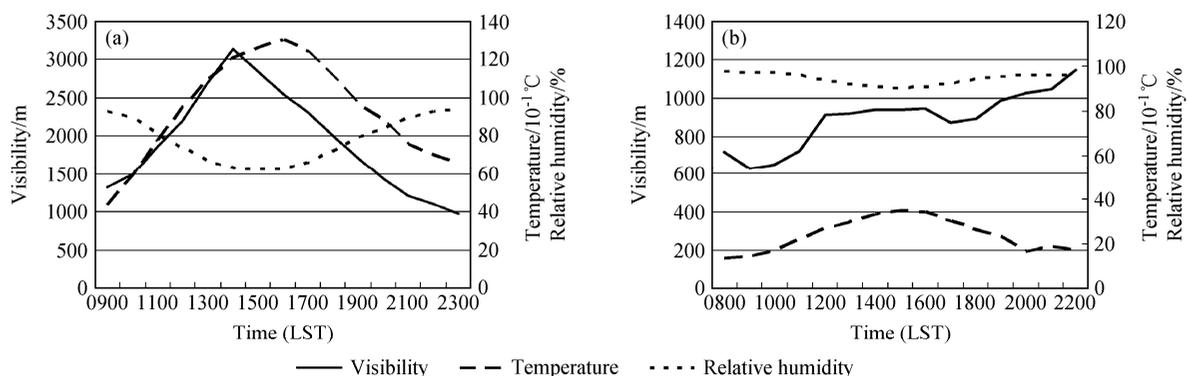


图 1 (a) 轻雾和 (b) 大雾过程的能见度、地面温度和相对湿度日变化

Fig. 1 The diurnal variation of visibility, temperature and relative humidity in a (a) light and (b) dense fog

雾二者作用的叠加^[10]，每年发生单纯性的平流雾天气过程仅有少数几次。因此，本文将分析大雾发生最多的秋冬季节中能见度小于1 km的辐射大雾天气过程，研究其在开始、维持及消散3个阶段的天气形势的气候特征。鉴于雾是近地面的天气现象，受近地面天气形势的影响大，以下将重点分析地面和850 hPa要素场。

选取在1998~2005年秋冬季节发生在北京首都国际机场的几十次雾天气过程，在大雾开始、持续及消散的3个阶段把NCEP/NCAR再分析资料(一天4次)的850 hPa和地面要素场资料进行合成。本节选取雾的个例一定要同时满足：能见度小于2 km的时间大于20 h和能见度小于1 km的时间大于10 h。选取能见度小于2 km，并继续减小后的第一个国际标准观测时刻的气象要素场代表雾开始阶段的气象场；雾持续阶段是指开始阶段后12 h的时刻。开始阶段和持续阶段的样本共有41次过程。消散阶段是指由于明显冷空气入侵，使得能见度转好到2 km并且继续转好的时刻，再向回追溯到的第一个国际标准观测时刻，消散阶段的样本共有27次过程。下面将分别对雾开始阶段、持续阶段和消散阶段NCEP/NCAR再分析资料850 hPa和地面要素场资料的合成结果进行分析。

4.1 大雾开始阶段特征

在大雾开始阶段，850 hPa的高度场呈“一槽一脊”型(图2a)，槽线位于中蒙边界(114°E)，脊线北伸至贝加尔湖一带(110°E)。北京以北是低压系统，以南为高压系统，北部低压槽底的平直偏西气流和南部弱高环流外围的西南气流的切变，构成了北京附近风场的辐散场。850 hPa的温度场上(图2b)，北京附近是弱暖脊，且风场与等温线基本平行，无明显冷暖平流。地面图上(图2c)，北京的东面和西面是高压，南面和东北面是低压，北京处于鞍形场之中，且地面风速很小。

因此在大雾开始阶段，北京区域上空受暖区控制，从地面到高层850 hPa的层结稳定；850 hPa的弱辐散风场，有利于空中云量的减少，使辐射冷却作用扩展到适当厚度(几十米至几百米)。地面风速小，湍流弱，不利于水汽向外扩散。

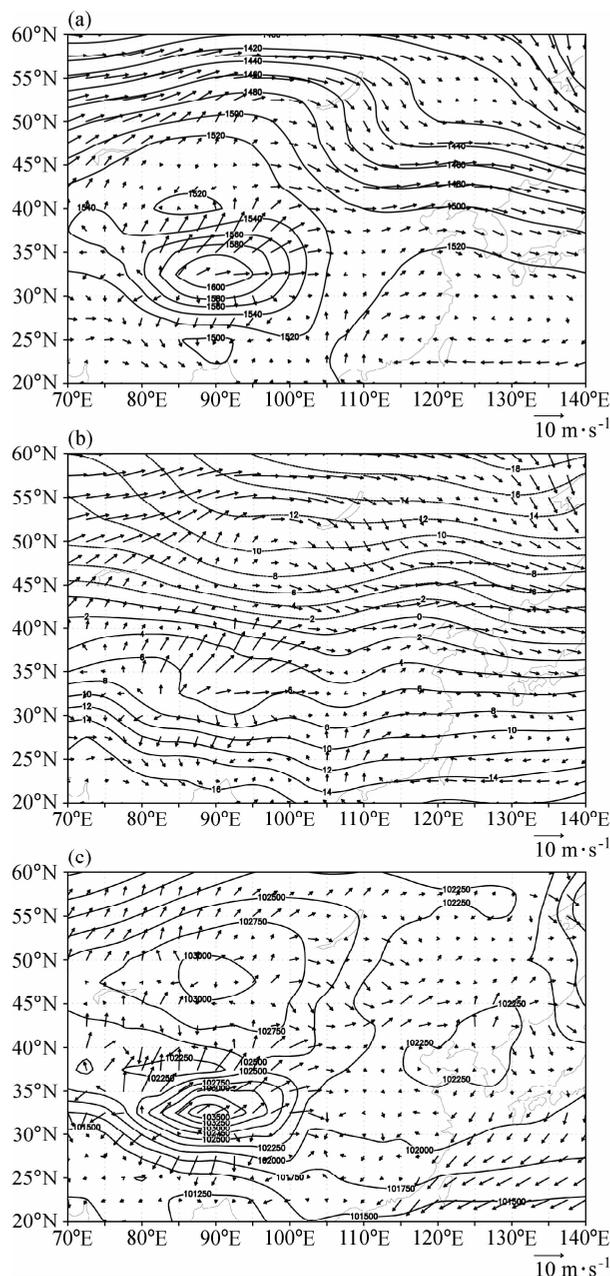


图2 大雾开始阶段的天气形势：(a) 850 hPa高度场(实线，单位：dagpm)和风场(箭头)；(b) 850 hPa温度场(实线，单位：°C)和风场(箭头)；(c) 海平面气压(实线，单位：hPa)和风场(箭头)

Fig. 2 Synoptic situation at initiation : (a) geopotential height field at 850 hPa (solid line, units: dagpm) and wind (arrow); (b) temperature field (solid line, units: °C) and wind (arrow); (c) sea level pressure (solid line, units: hPa) and wind (arrow)

4.2 大雾持续阶段特征

对大雾持续12 h后的形势场做合成分析表明：850 hPa的高度场维持“一槽一脊”型(图3a)，脊线在赤塔附近(113°E)，槽线东移南压至

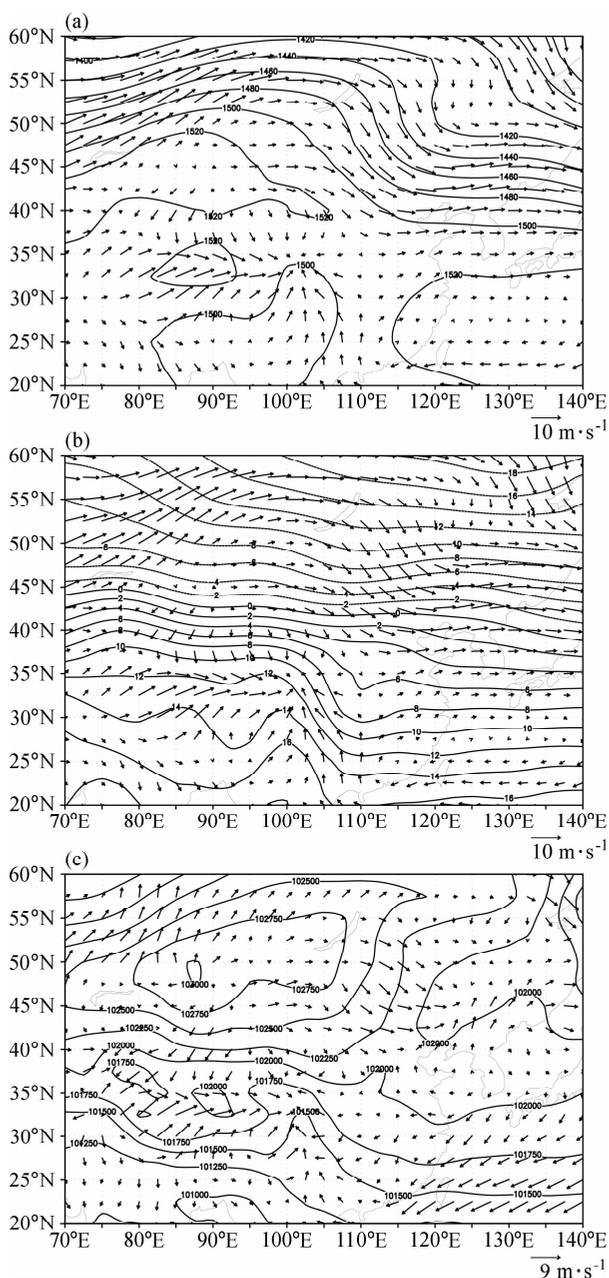


图3 大雾持续阶段的天气形势：(a) 850 hPa 高度场（实线，单位：dagpm）和风场（箭头）；(b) 850 hPa 温度场（实线，单位：°C）和风场（箭头）；(c) 海平面气压（实线，单位：hPa）和风场（箭头）

Fig. 3 Synoptic situation at duration : (a) geopotential height field at 850 hPa (solid line, units: dagpm) and wind (arrow); (b) temperature field (solid line, units: °C) and wind (arrow); (c) sea level pressure (solid line, units: hPa) and wind (arrow)

北京附近 (122°E)。850 hPa 的温度场上 (图 3b)，北京上游区域是弱的温度槽，风场与等温线形成 60°左右的夹角，说明冷平流的影响已到达北京上游区域。地面图上 (图 3c)，北京西部为高

压，北部和南部为低压，北京处于气压梯度很小的均压地区。偏西和偏南气流在北京区域形成一条东北、西南向的辐合带。

因此在大雾持续 12 h 后，高层 850 hPa “一槽一脊”的大形势场还没有变化，但槽脊线的位置明显东移南压，偏西气流的影响范围也已越过北京到达 37°N 附近，使得北京 850 hPa 转为弱西北风，使得南方暖湿气流向北输送受阻。北京上游地面的气压梯度和北风都有明显加大，说明有冷空气在北京上游区域堆积，地面也转为弱西风。所以在雾持续 12 h 后，北京区域 850 hPa 高空是湿度逐渐减小的过程，而地面的辐合带有利于水汽的进一步积聚，使大雾天气得以维持。

4.3 大雾消散特征

在大雾消散阶段的高层 850 hPa 仍是 “一槽一脊”型，槽线位置已东移过北京 (图 4a)，北京在槽后脊前，西北风加大至 10 m·s⁻¹左右，且风向与等温线的夹角明显 (图 4b)，说明强冷平流已推进至北京区域，取代了前两个阶段北京区域冷暖平流均不明显的状况。随着高层转干和冷平流的加强，大气层结稳定度降低，通过上下层垂直扰动交换，最终整层大气转干，近地面的逆温也被破坏。地面图上，北京东部为弱低压 (图 4c)，西北是完整的高压前部，强正变压梯度，西北风风速增大，使水汽不能在近地面积聚凝结形成大雾，大雾天气过程逐渐结束。

综上所述，首都机场大雾开始、持续和消散阶段高层 850 hPa 形势场均是 “一槽一脊”型。大雾开始和持续阶段的地面形势场是鞍形场或均压场，大雾消散阶段的地面形势场是完整的高压前部。在开始阶段，弱暖脊控制下的北京区域无明显的冷暖平流，大气层结稳定，有利于辐射降温作用和水汽在近地面层的积聚。在持续阶段，冷空气在上游堆积，北京区域的辐合形势维持；随着 850 hPa 槽脊位置的东移南压，南方暖湿气流向北输送受阻，高层的湿度下降，逐渐转干。在消散阶段，850 hPa 高空槽过境，西北风加大，完整的高压控制北京区域，整层大气转干；地面也由弱风转为西北风，风速加强，水汽不能在近地面积聚、凝结形成大雾，大雾过程逐渐结束。

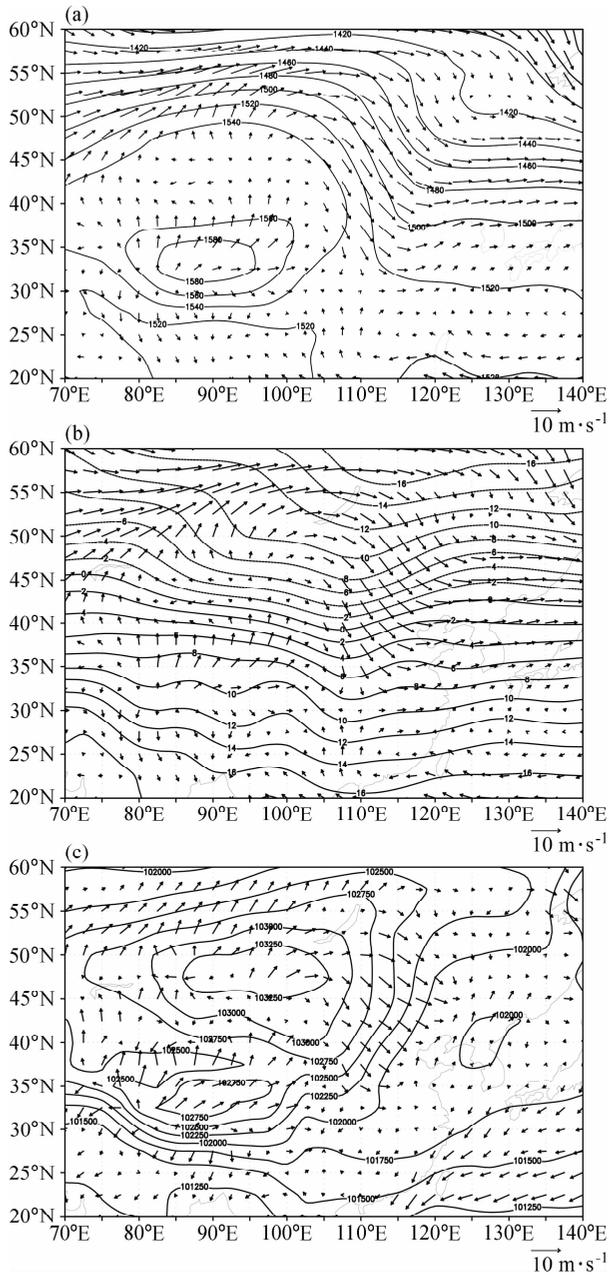


图4 大雾结束阶段的天气形势：(a) 850 hPa 高度场（实线，单位：dagpm）和风场（箭头）；(b) 850 hPa 温度场（实线，单位：°C）和风场（箭头）；(c) 海平面气压（实线，单位：hPa）和风场（箭头）

Fig. 4 Synoptic situation at dissipation : (a) geopotential height field at 850 hPa (solid line, units: dagpm) and wind (arrow); (b) temperature field (solid line, units: °C) and wind (arrow); (c) sea level pressure (solid line, units: hPa) and wind (arrow)

5 结论

利用 1998~2005 年发生在首都机场雾的每小

时观测数据，分析了首都机场雾发生的季节变化和年际变化，对比分析了雾的多发季节——秋冬季 1~3 km 的轻雾和 1 km 以下大雾的日变化特征；还合成分析统计了首都机场大雾开始、持续和消散阶段的天气形势特征，得到如下结果：

(1) 1998~2005 年北京首都国际机场出现雾的季节变化特征显著。其中，夏季出现轻雾的天气过程最多，其次是秋冬季，春季最少。秋季出现大雾的天气过程最多，其次为冬季，夏季和春季较少。秋冬季节是首都机场大雾的高发期，占到全年总过程数的 70.2%。在春季，轻雾和大雾天气过程都出现最少。

(2) 首都机场能见度每小时观测结果表明，能见度在 1~3 km 的轻雾过程与能见度小于 1 km 的大雾日变化特征有明显差异。能见度在 1~3 km 的轻雾过程中，日变化特征明显，呈现“一峰二谷”型。在 13 时达极大值，20 时至次日 9 时是能见度较差的时段。能见度的变化与温度的变化有很好的正相关，而与相对湿度的变化有很好的负相关。能见度在 1 km 以内的大雾过程，各个要素的日变化很不明显。其原因可能是雾层浓厚，阻挡太阳辐射到达地面，地面升温小、扰动弱，空气相对湿度变化不大，使能见度的变化也不大。

(3) 对 1998~2005 年大雾天气过程合成分析的结果表明，大雾开始、持续和消散阶段的 850 hPa 形势场均是“一槽一脊”型。大雾开始和持续阶段的地面形势场是鞍形场或均压场，大雾消散阶段的地面形势场是完整的高压前部。在开始阶段，北京受弱暖脊控制，无明显冷暖平流，大气层结稳定，有利于辐射降温作用和水汽在近地面层的积聚。在持续阶段，北京区域的辐合形势维持，冷空气在上游堆积；随着 850 hPa 槽脊位置的东移南压，南方暖湿气流向北输送受阻，高层的湿度下降，逐渐转干。在消散阶段，850 hPa 高空槽过境，西北风加大，完整的高压控制北京区域，整层大气转干；地面也由弱风转为西北风，风速加强，水汽不能在近地面积聚、凝结形成大雾，大雾过程逐渐结束。

参考文献 (References)

[1] 陆瀛洲. 高空高速飞行气象条件. 北京: 气象出版社,

1994. 153~154
Lu Yingzhou. *The Aviation Meteorological Condition in High Level and Speed* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1994. 153~154
- [2] 陈廷良. 现代运输机航空气象学. 北京: 气象出版社, 1992. 163~165
Chen Tingliang. *Modern Aviation Meteorology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1992. 163~165
- [3] 何立富, 李峰, 李泽椿. 华北平原一次持续性大雾过程的动力和热力特征. 应用气象学报, 2006, **17** (2): 160~168
He Lifu, Li Feng, Li Zechun. Dynamical and thermal characteristic of durative fog in Huabei plain area. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2006, **17** (2): 160~168
- [4] 冯彦华, 邓文珍. 白云机场低能见度气候的统计特征. 热带气象学报, 1998, **14** (4): 370~373
Feng Yanhua, Deng Wenzhen. The low visibility climate characteristic in Baiyun airport. *Tropical Meteorology* (in Chinese), 1998, **14** (4): 370~373
- [5] 王继志, 徐祥德, 杨元琴. 北京城市能见度及雾特征分析. 应用气象学报, 2002, **13** (特刊): 160~169
Wang Jizhi, Xu Xiangde, Zhu Yuanqin. Beijing visibility and fog characteristic analyses. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2002, **13** (Special issue): 160~169
- [6] 吴宏, 柳崇健, 邵洁, 等. 北京地区大雾形成的分析和预报. 应用气象学报, 2000, **11** (2): 123~127
Wu Hong, Liu Chongjian, Shao Jie, et al. Analysis and forecast on fog formation in Beijing area. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2000, **11** (2): 123~127
- [7] 王淑英, 徐晓峰. 北京地区低能见度的气候特征及影响因素. 气象科技, 2001, **4**: 23~26
Wang Shuying, Xu Xiaofeng. The climate characteristic of low visibility in Beijing Area and effect element. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2001, **4**: 23~26
- [8] 周自江, 朱燕君, 姚志国, 等. 四川盆地区域性浓雾序列及其年际和年代际变化. 应用气象学报, 2006, **17** (5): 567~573
Zhou Zijiang, Zhu Yanjun, Yao Zhiguo, et al. Regional dense fog time sequence with its annual and decadal variation in the Sichuan Basin. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2006, **17** (5): 567~573
- [9] 周自江, 朱燕君, 鞠晓慧. 长江三角洲地区的浓雾事件及其气候特征. 自然科学进展, 2007, **17** (1): 66~71
Zhou Zijiang, Zhu Yanjun, Ju Xiaohui. The dense fog in Changjiang Delta Area and its climate characteristic. *Advances in Nature Science* (in Chinese), 2007, **17** (1): 66~71
- [10] 董剑希, 雷恒池, 胡朝霞, 等. 北京及其周边地区一次大雾的数值模拟及诊断分析. 气候与环境研究, 2006, **11** (2): 175~184
Dong Jianxi, Lei Hengchi, HuZhaoxia, et al. Numerical simulation and diagnosis of a dense fog in Beijing and its penumbra. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (2): 175~184