首都机场大雾的分类特征和统计分析

梁爱民 李秀连 陈克军 王科 申红喜

（民航北京气象中心，北京 100621）

提 要

本文普查了1999－2006年首都机场逐时的风、温、压、湿和能见度资料以及首都机场自动观测系统（AWOS）的连续自动记录资料。对出现的大雾过程进行分类，并分别统计分析了各类大雾出现的时序特征、背景场特征以及出现前和消失时的气压、风场等物理量特征。分析发现首都机场的大雾过程以辐射雾为主，出现前湿度递增，风向以东南风和东北偏东风较多；平流雾出现前湿度突增，以东南和偏东方向平流为主，平流雾的危害最大，11次平流雾过程中9次达到重雾标准，占81.8%。首都机场锋面雾多为本站处于冷锋前部，伴随平流或辐射过程的持续性大雾，出现时间早于辐射雾，多集中在傍晚到夜间，持续时间长，锋面过境后大雾才能消散。

关键词：雾　统计　辐射雾 平流雾 锋面雾

引　言

大雾是贴地层空气中悬浮着大量水滴或冰晶微粒而使水平能见距离降到1KM以内的天气现象[1]。雾是航空事故的最大诱因，大雾中飞行员看不清跑道，易使飞机偏离跑道或过早过晚接地，从航空史资料看，空难事故多数伴有大雾天气，浓雾会使航空港瘫痪。首都机场是国内最繁忙的国际机场之一，雾锁机场是非常困扰的问题，在目前还没有很好的手段消除大雾的前提下，能否提前预报大雾的生消，使航空工作人员作好应对的准备成了问题的关键。

近年来，一些学者对雾的不同领域展开了深入细致的分析和探讨，大雾的分析和预报主要集中在雾的气候统计特征和雾的预报方法的研究，如贺哲等[2]所作的2004年11月28日～12月4日华北等地大雾天气的中尺度分析，分析得出：地面中尺度辐合线(区)与辐射降温有利于形成辐射雾，此次大雾在持续过程中性质发生了改变，由辐射雾转变为平流雾；吴洪等[3]根据首都机场近40 年的大雾观测资料，统计了北京地区年、月及一天中各时段雾的分布特点，为雾的预报提供了较详细的气候背景。本文普查了1999－2006年首都机场逐时的风、温、压、湿和能见度资料以及首都机场自动观测系统（AWOS）的连续自动记录资料。对出现的大雾过程进行分类，并分别统计分析了各类大雾出现的时序特征、背景场特征以及出现前和消失时的气压、风场等物理量特征。希望能为今后的预报工作积累一定的参照资料。

1　首都机场大雾的分布特点

1.1　资料来源

本文所用的主要资料为：1999－2006年首都机场逐时的风、温、压、湿和能见度资料以及首都机场自动观测系统（Automated Weather Observing System，简称AWOS）的连续自动

记录资料。

1.2　统计方法

本文规定：当日任一个观测时次出现能见度小于1000 m 的雾称为一个雾日。但当前一天为雾日且持续到当日，也计算为一个雾日。考虑到首都机场实施二类盲降系统时，决定航班起降的能见度标准在400 m左右，因此将能见度小于400 m的雾日定义为重雾日，分别进行统计。

1.3　大雾的分类

事实上使能见度降低的因素纷繁复杂，雾的分类是一个很复杂的问题，雾的形成是各种因子同时起作用，因此很难确定某种雾究竟是由于哪一种原因所形成，在同一雾日中也可能有多种影响，例如大多数平流雾是在辐射雾的背景下生成。在此情况下，我们取其主要过程。根据华北地区大雾出现天气特点、形势特征和日常分类方法，将首都机场大雾分为辐射雾、平流雾、锋面雾和因降水引起的能见度小于 1000 m 的雾（简称为降水雾）。

1999－2006 年首都机场出现的能见度小于 1000 m 雾日数为 156 次。其中辐射雾 85 日，平流雾 11 日，锋面雾 14 日，降水雾 46 日；能见度小于 400 m 的重雾日数为 53 次，其中辐射雾 27 日，平流雾 9 日，锋面雾 5 日，降水雾 12 日（见表 1）。由表 1 可以看出，辐射雾出现最多。一旦出现平流雾，达到重雾的可能性最大，占 81.8％。统计还发现：在 27 次因辐射雾形成的重雾中，有 15 次发生在降雨后或降雪后，占重雾辐射雾总数的 58％。另外由于降水中能见度降低的机理与其它雾成因差别较大，本文不再涉及。以后叙述中的大雾只包括辐射雾、平流雾和锋面雾等三种类型大雾。

表1 1999－2006年大雾日及其分类

类型/雾日	辐射雾	平流雾	锋面雾	降水雾	总计
能见度小于1000 m 的雾日	86	11	14	46	157
能见度小于400 m 的重雾日	27	9	5	12	53
重雾占该类型雾总数的百分比	31％	81.8％	36％	26％	34％

1.4　大雾出现的时序特征

分析1999-2006年辐射、平流和锋面雾出现的年变化特征（图1a）可见，1999年大雾出现日数最多，达到25日；2001年出现日数最少，为7日，与2001年整个年份的干旱少雨相关，之后，首都机场的年雾日分布变化不大，而2006年大雾的出现日数则略有增加。图1b是大雾日数的月变化特征，由图可见，每年的秋冬季（10月至1月）是大雾出现峰值时期，这与北京地区该季节逆温出现最多有关，其中10月份出现的逆温层结最多，11月份出现的逆温层结最强[3]，所以11月份的大雾天气相对较多。大雾次高峰出现在盛夏7、8月份。7月下旬到8月，

副热带高压北上，北京处于其影响下，空气湿度大，风力较弱，容易产生辐射雾天气。图1c是大雾出现的时序变化。由图可见，北京地区大雾分布存在明显的日变化分布规律，其中大雾在中午到下午出现最少，晚上12时之后逐渐增加，22－24时是雾最易发阶段，01时后呈下降趋势。这与北京地区辐射的变化规律呈正相关。

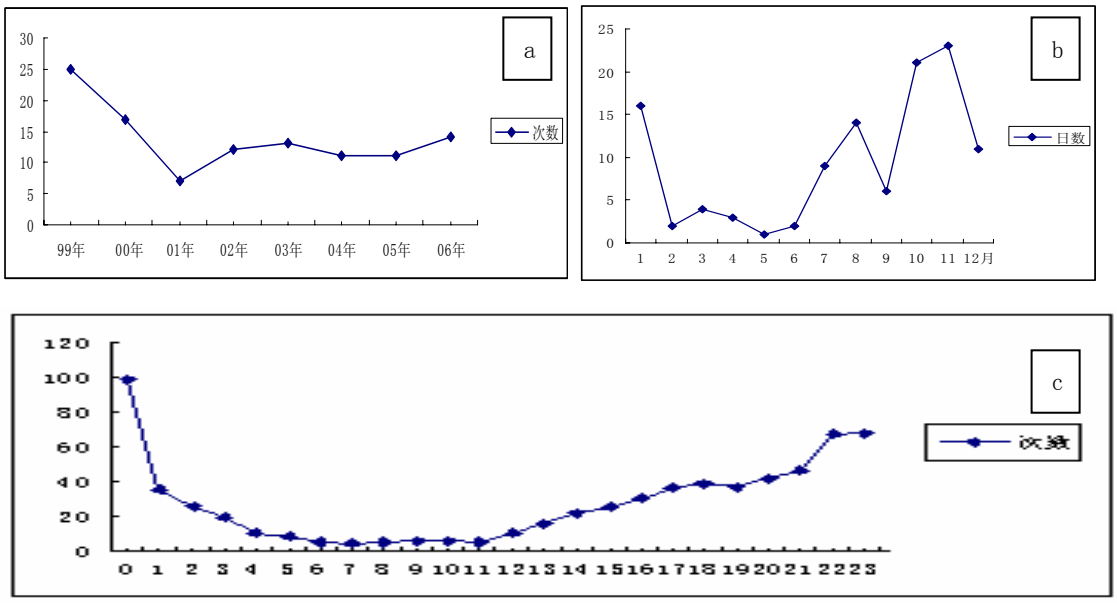


图1　1999－2006年首都机场大雾年、月和时的分布特点。其中横坐标为时间（分别为年、月和时），纵坐标为次数

2　雾的分类特征以及与气象要素的关系

雾的种类不同，雾出现和消散时各物理量的作用和分布特征也不同，以下是针对首都机场出现的辐射、平流和锋面雾时物理量的统计分析。

2.1 辐射雾

夜间地面辐射冷却，使空气中的水汽达到饱和，因此雾多发生在夜长、气温低和易形成逆温层结的秋冬季节。主要发生在晴朗、微风、近地面、水汽比较充沛的夜间或早晨。这时，天空无云阻挡，地面热量迅速向外辐射出去，近地面层的空气温度迅速下降。如果空气中水汽较多，就会很快达到过饱和而凝结成雾。另外，风速对辐射雾的形成也有一定影响。如果没有风，就不会使上下层空气发生交换，辐射冷却效应只发生在贴近地面的气层中，只能生成一层薄薄的浅雾。如风太大，上下层空气交换很快，流动也大，气温不易降低很多，则难以达到过饱和状态。只有在1-3米/秒的微风时，有适当强度的交流，既能使冷却作用伸展到一定高度，又不影响下层空气的充分冷却，因而最利于辐射雾的形成。

图2是首都机场1999－2006年辐射雾春、夏、秋、冬季节、各次大雾的持续时间分析，由图可见：辐射雾出现的频率以秋季为最多（图2d），春季最少，尤其是2004-2006年春季

辐射雾为零（图2b），这与近几年来春季干旱多风有关。夏季辐射雾呈增多趋势（图2c），统计得出：夏季的辐射雾多在副热带高压的控制下，高温高湿而形成。如2006年夏季出现了7次辐射雾，均是在副热带高压控制的环流背景下形成。

辐射雾的生成和消散以及持续时间与季节有关，由图2可见春、夏季辐射雾一般在凌晨4、5时后出现，00时点后消散。秋季辐射雾出现较早，在16-20时出现，01-02时消散。冬季辐射雾消散时间最晚，多数发生在02-04时。

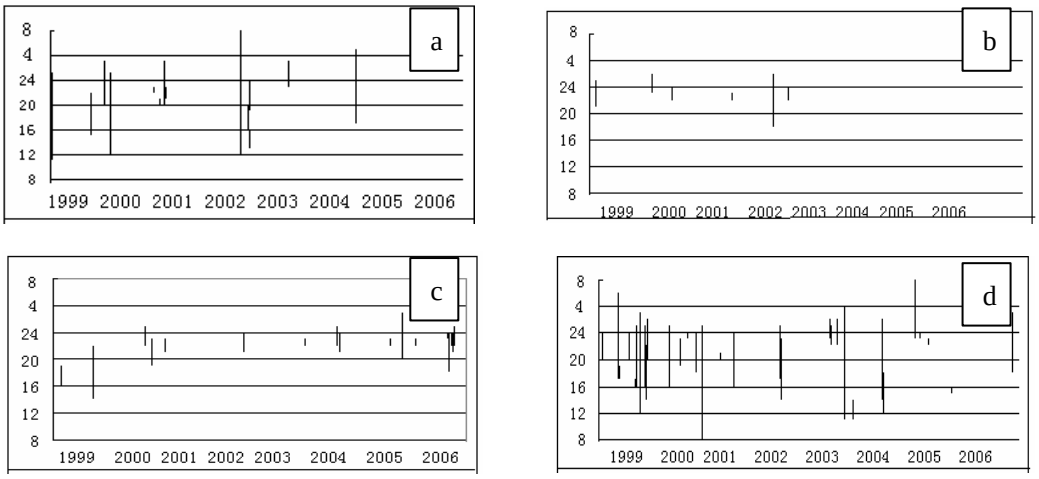


图 2　1999－2006 年首都机场辐射雾各个季节各次大雾持续时间。
其中横坐标为时间（年），纵坐标为时间（UTC）。
a、冬季（12-2 月）。b、春季（3-5 月）。c、夏季（6-8 月）。d、秋季（9-11 月）。

2.1.1 辐射雾与相对湿度的关系

相对湿度是反映空气潮湿程度的一个物理量，相对湿度越大，空气越潮湿，在有利条件下形成雾的可能性就越大；反之，空气越干燥，形成雾的可能性就越小。

由辐射雾而产生的重雾天气占辐射雾大雾天气的26%，其中58%的辐射雾重雾天气是由于降水或降雪后天气转为晴或少云，辐射增强，水汽充足而形成。所以充足的水汽是形成大雾的必要条件。首都机场辐射雾多数出现在后半夜到凌晨，统计辐射雾日前一天下午08时相对湿度发现：86日辐射雾中，0800UTC有22日相对湿度在60％以下，47日在75％以下，65日在90%以下，是总数的83.3%。1000UTC相对湿度有明显增长，只有6日在60%以下，61日辐射雾相对湿度达到75％以上。1200UTC仅有1日相对湿度在45％以下，1日相对湿度在60-65％之间，其余均在70％以上。1400UTC有1日相对湿度在65-70％之间，其余均达到75％以上，69.2%的辐射雾日相对湿度达到90％以上。1500UTC 80.8%的辐射雾日相对湿度达到了90％以上，

其余均在75％以上。大雾出现时97.4%的辐射雾日相对湿度在90%以上，84.6%的辐射雾日相对湿度在95%以上。

2.1.2 辐射雾与风向和风速的关系

对于不同类型的雾,风的作用也不同。对于辐射雾,在近地面层湿度条件较好的情况下,适当的风速(风力)是雾生成的一个因素。风速过大使得大气中的乱流加强，乱流混合层厚，导致近地层降温缓慢，水汽大量上传，使低层逆温破坏或远离地面形成在某一高度上，不利于雾的生成；风速过小则不能把大气低层的水汽输送到空中，形成一定厚度的雾，而适当的风速，则既有利于向空中输送水汽，又不至于使垂直交换强烈，从而利于雾的产生[4] 。

统计1999-2000年辐射雾发生前2小时风向的分布情况（图3a）发现，风向集中在东北偏东风和东南偏东风，也有北风和西北风的辐射雾日，但出现次数较少。辐射雾发生前1小时（图3b)，风向进一步集中与东南风，西北风和北风出现次数比上1时次更少。辐射雾发生时（图3c）风向也以东南风局多，西北风次之。辐射雾结束时（图3d）风向则以西北风为主，只有少数的辐射雾日为东南风

从辐射雾发生前后风速分布统计结果（图3e-3h）看出:风速全部在0-3m/s之间,辐射雾发生前2小时静风的辐射雾日最多,结束时静风的辐射雾日最少。这于辐射雾消散时地面温度升高空气扰动增加有关。

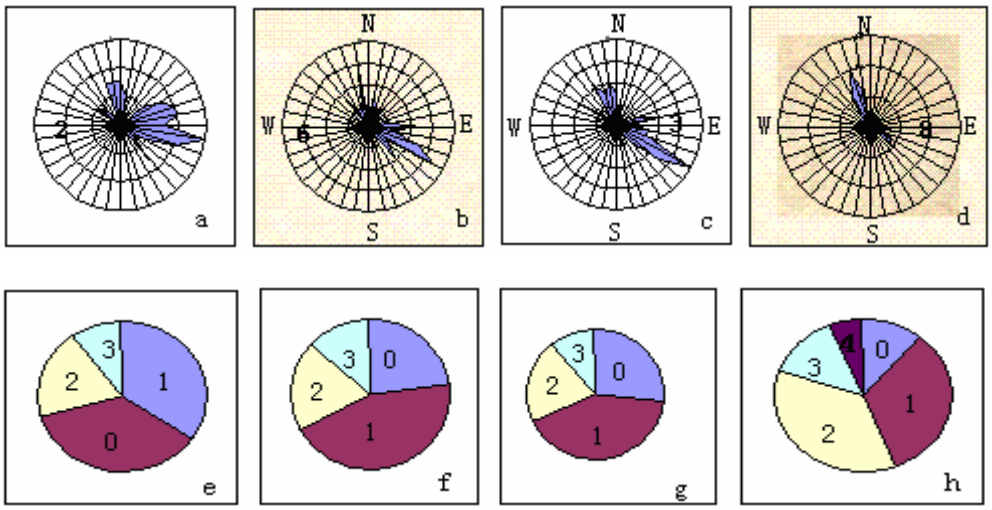


图 3 1999－2006 年首都机场辐射雾出现前 2 小时、以及出现时和结束时的风向和风速分布。其中风向图分别是 a、辐射雾出现前 2 小时，b、出现前 1 小时， c、出现时，d、结束时。风速图分别是 e、辐射雾出现前 2 小时，f、出现前 1 小时， g、出现时，h、结束时。

2.2 平流雾

当暖空气流到冷地面上时降温而凝结成雾，这种雾称为平流雾。只要有适当的风向、风速和雾源，在有利的层结条件下，易形成平流雾。受北京地区特殊的地理环境影响，西面和北面是山区，东南面为平原，而且是北京地区的水汽源地，所以北京地区的平流雾一般为东南方向的大雾平流而来。对1999-2006年8年的平流大雾统计得出：仅有1例为北京西北方雾源，随西北风平流到本场，其余均为雾源在东或东南方向平流到本场。北京东部和南部水汽充足，在合适的环流背景下，平流到首都机场地区形成大雾，具有突发性强、强度大和持续时间长的特点。

图4是1999-2006年8年首都机场平流雾出现次数的月变化，由图可见11、12和1月平流雾出现呈递增趋势，为多发季节，2-8月没有平流雾生成。图5是1999－2006年平流雾持续时间统计分析，由图可见平流雾的生成没有较统一的时间，早晨、下午和晚上均有可能出现，持续的时间较长，其中最长的一次平流雾持续时间达30个小时（2004年11月30日2300UTC-2004年12月2日0500UTC）,27.3%的平流雾日持续时间在10小时以上，50%的平流雾日持续时间在6小时以上。单纯的平流雾消散时间与相同季节辐射雾消散时间基本相同或稍偏后，但当伴有锋面或北京处于气压“北高南低”的迴流天气形势时，消散过程会变的十分复杂。

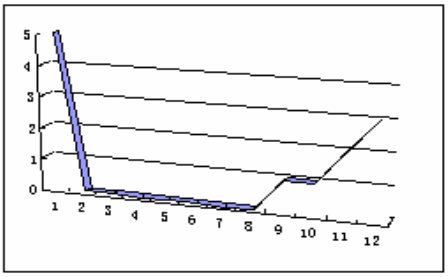


图 4　1999－2006 年首都机场平流雾月变化。

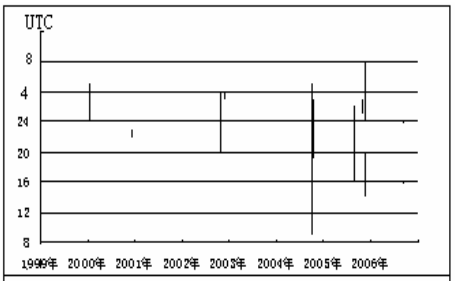


图 5　1999－2006 年首都机场平流雾持续时间

2.2.1 平流雾与相对湿度的关系

图6是平流雾出现前3小时以及出现时的相对湿度。由图可见，在平流雾出现前3小时到前2小时，湿度变化不大，有5个平流雾日相对湿度在80％或以下，占总数的45.5%。在平流雾出现的前1小时，相对湿度均达到了80％以上，其中63.6%的平流雾日相对湿度达到90％以上。平流雾来临时除一个平流雾日相对湿度为89％外，其余平流雾日相对湿度均达到了90％或以上。

以上分析不难发现，辐射雾产生前期相对湿度是一个累积的过程，平流雾的湿度变化则呈一个跃进式增加。

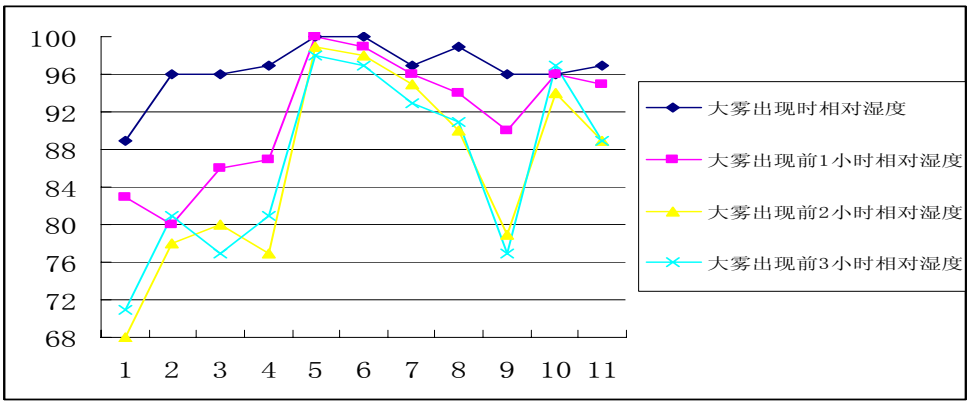
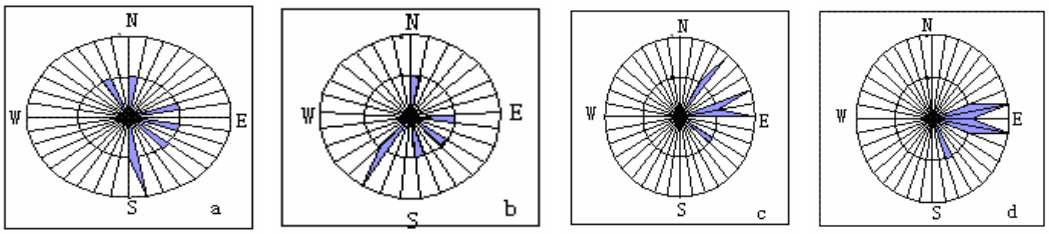


图 6　1999－2006 年平流雾出现前 3 小时以及出现时的相对湿度。其中横坐标是个例，纵坐标是相对湿度，单位%。

2.2.2 平流雾与风向和风速的关系

统计和天气预报经验都说明，北京地区的平流雾来自北京的西北方向的很少，8 年来仅出现了 1 次，为能更清楚的分析北京地区平流雾出现前风向的普遍变化过程，以下风向的统计分析不包括此次平流过程。平流雾出现时和出现前风向的变化如图 7 所示。由图可见平流雾出现前 3 小时和 2 小时风向较凌乱，平流雾出现前 1 小时风向多集中东北、东和东南方向。平流雾出现时的风向集中在偏东和东南风。这说明在雾源及环流背景条件合适时，风向转东或东南后一个小时内就可能形成大雾天气。从图 7d 还可以清楚地看出：北京的雾平流源多在偏东和东南方向。

平流雾需要一定的风力将雾源地的暖湿空气平流到本地。如果风速过小，达不到平流的作用，但风速过大又会将暖湿空气吹散。统计 1999-2006 年 11 次平流过程，在平流雾出现前 3 小时的风速均在 1-3 m/s 之间，平流雾出现前 2 小时有 7 日风速为 1 m/s，2 日为 2 m/s，1 日为 3 m/s，1 日为静风（图 7e）；平流雾出现前 1 小时有 3 日为 1 m/s，4 日为 2 m/s，2 日为 3 m/s，2 日静风（图 7f）；平流雾出现时风速明显减小，风速全在 0-2 m/s 之间（图 7g）；结束时风力又回到了 0-2 m/s 之间（图 7h）。



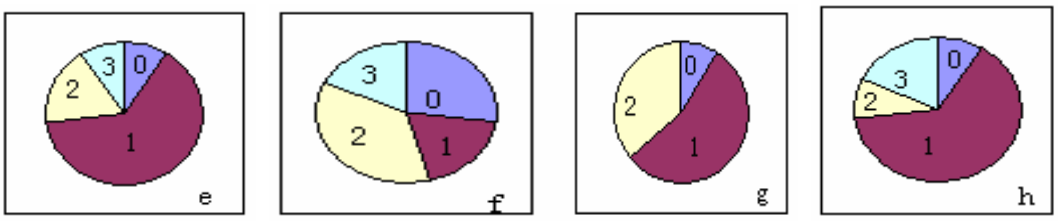
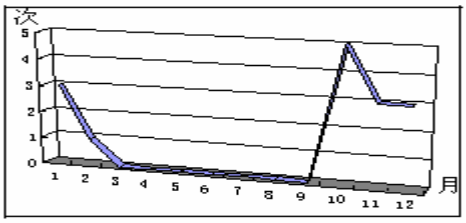


图 7　1999－2006 年首都机场平流雾出现前 2 小时以及出现和结束时的风向图和风速分布。其中风向图分别是 a、平流雾出现前 2 小时，b、出现前 1 小时， c、出现时，d、结束时。风速图分别是 e、平流雾出现前 2 小时，f、出现前 1 小时， g、出现时，h、结束时。

2.3 锋面雾

锋面雾产生在冷暖空气交界附近，北京地区一般以冷锋前的暖气团一侧产生的大雾居多，锋前雾是由于锋面上面暖空气内云层中的较暖雨滴落入地面冷空气内，发生蒸发，使冷空气达到过饱和凝结而成的。出现锋面雾时，空中的乱流减弱，空气中污染物增多，也是形成大雾的一个重要因素。锋前雾一般都叠加辐射过程，后半夜和凌晨大雾加重。

图 8 是 1999-2006 年 8 年首都机场锋面雾出现频率的月变化，由图可见 10 月是锋面雾出现的高峰，这于秋季冷空气活动频繁和边界层逆温强有关。11、12 和 1 月锋面雾也出现的较多。而 3-9 月则没有强锋面雾出现。图 9 是 1999-2006 年锋面雾的持续时间分析，由图可见锋面雾从傍晚到夜间都有可能产生，消散时间各异，决定于锋面的过境时间。最长的锋面雾持续时间为 38 个小时（2002 年 12 月 2 日 1200UTC-4 日 0200UTC）。统计表明：锋面雾大多是前一天由辐射或平流过程形成大雾，当天白天随着地面温度增加能见度有所好转，由于处于锋前，空气中的尘埃和水汽不能扩散，能见度在 1－3KM 之间，傍晚后再次形成大雾天气。1999-2006 年的锋面雾此种情况占 64.3%。



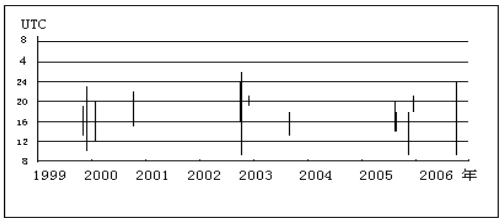


图 8　1999－2006 年首都机场锋面雾月变化。

图 9 1999－2006 年首都机场锋面雾持续时间变化

2.3.1 锋面雾与相对湿度的关系

图 10 是锋面雾出现前 3 小时以及出现时的相对湿度变化情况。由图可以看出锋面雾发生前和发生时相对湿度的变化有两个特点：第一是湿度呈渐变趋势，缓慢积累，与平流雾过程发生前湿度变化形成明显差异，这说明锋面雾的形成过程需要较长的时间；第二是与辐

射雾和平流雾相比较，锋面雾形成时对湿度的要求最低。由图 10 可见，在锋面雾发生时相对湿度有 3 日相对湿度低于 85%，甚至有 1 日相对湿度低于 75%，这与锋面雾形成前期持续的空气中污染物的积累有关。

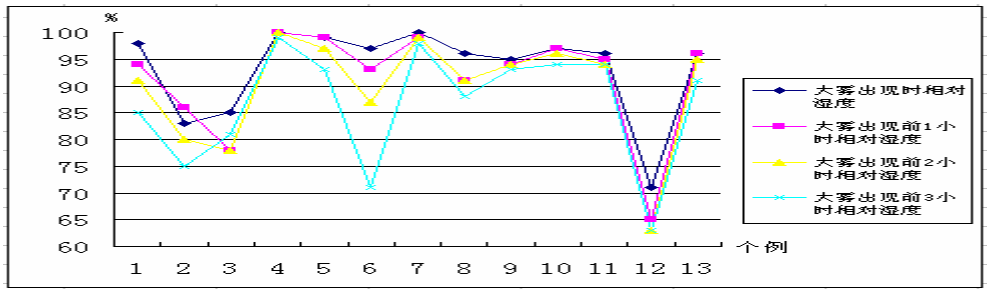


图 10　1999－2006 年首都机场平流雾出现前 3 小时以及出现时的相对湿度。

2.3.2 锋面雾与风向和风速的关系

图11为锋面雾出现前2小时以及出现和结束时的风向和风速分布图。由图11可以看出：锋面雾出现前2小时、1小时和出现时，风向以东南、东风以及西北风为主（图11a-图11c），风速在0-2 m/s之间（图11e-图11g）。相对于辐射和平流雾的风速，锋面雾在产生前和出现时都较小，这也是锋前空气中污染物积聚的原因之一。锋面雾消散时以西北风为主，个别锋面雾日冷锋从东北方向向南移动，出现东北风（图11d）,风速迅速增大（图11h）。

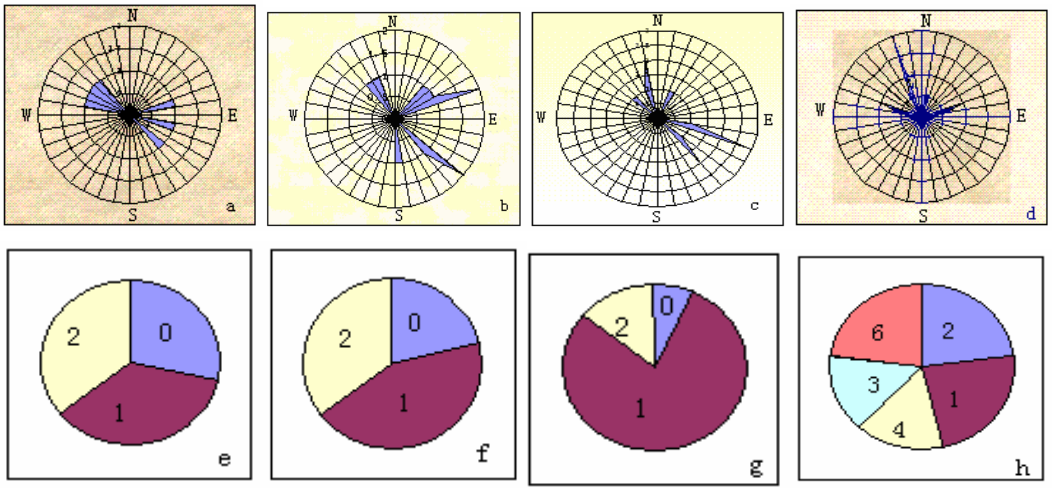


图 11 1999－2006 年首都机场锋面雾出现前 2 小时以及出现和结束时的风向和风速分布。其中风向图分别是 a、锋面雾出现前 2 小时，b、出现前 1 小时， c、出现时，d、结束时。风速图分别是 e、锋面雾出现前 2 小时，f、出现前 1 小时， g、出现时，h、结束时。

2.4 辐射雾、平流雾和锋面雾的区别与联系

辐射雾的特点在于它的时效性，特定的季节，形成和消散有相对固定时间；平流雾对基础能见度的条件没有要求，短时间内能见度迅速降低；锋面雾则需要较长时间的积累，统计表明锋面雾发生前 3 小时，能见度均在 2KM 或以下。

辐射雾、平流雾和锋面雾形成时主要物理过程不同，所以对物理环境要求各异，但实际过程中各种过程往往相伴发生。辐射过程是雾形成的最基本的过程，平流雾和锋面雾在后半夜和凌晨加重，就与辐射有关；锋面前部如果叠加雾的平流过程，湿度加大，大雾加重而且不易消散。如2004年11月30日2300UTC由于平流过程，本场能见度从一个小时前的1200 m，迅速下降到50 m，虽然12月1日中午随着太阳辐射、地面增温，能见度略有好转，但当时整个地面形势场是处于锋面前部，所以大雾维持到2日午后，直到冷空气扩散至本场，维持30个小时之久的大雾天气才告结束。

3 结论

（1）、首都机场的大雾天气秋冬季节最多，11月为大雾出现的峰值月。

（2）、首都机场的大雾过程以辐射雾为主，辐射雾出现前期湿度递增，风向以东南风和东北偏东风较多。

（3）、平流雾以东南和偏东方向平流为主。出现前湿度突增，能见度急速降低，对已进入近进区域将要下降和起飞的飞机影响甚大。而且所有平流雾过程中达到重雾的次数比例为 81.8%，比例最高。

（4）、锋面雾多为伴有平流或辐射过程引起的持续性大雾，出现时间集中在傍晚到夜间，早于辐射雾。锋面雾出现前期空气污染重，湿度条件要求较低，锋面过境后大雾消散。

（5）、辐射、平流和锋面过程中的任两种过程叠加出现都会使大雾加强，如果三种过程同时出现，最低能见度一般能达到重雾的标准、持续时间长，锋面过境后大雾才能消散。

参考文献

1 毛冬艳　杨贵名 华北平原雾发生的气象条件　气象Vol132　No11

2 贺哲,王蕊, 梁钰 2004 - 11 - 28～12 - 04华北等地大雾天气的中尺度分析 河南气象　2006年第2期P21・

3 吴洪, 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 (1) : 123～127.

3 朱瑞兆等 北京城市气候 气象出版社 1992

4 张春玉 桃仙机场一次大雾天气过程浅析，辽宁气象，2002，4：9-10。