

北京地区大气能见度变化规律及影响因子统计分析

王淑英 张小玲 徐晓峰

(北京市气象局气象科学研究所, 北京 100089)

摘要 1990~2000 年北京地区大气能见度的统计分析表明,大气能见度有明显的年际变化、季节变化和日变化特征。冬、春、秋三季及全年日平均年际变化表现为 20 世纪 90 年代中期能见度较好,前期和末期能见度较差,2000 年能见度迅速好转;夏季能见度年际变化在 1997 年以前与其他季节相反,1995 年能见度最差。大气能见度与同期地面气象条件和主要污染物浓度的相关性比较表明,春、夏、秋三季以空气湿度、 PM_{10} 和风速为主要影响因子,冬季以 PM_{10} 、 SO_2 、空气湿度和风速为主要影响因子。能见度与相对湿度和空气污染物浓度呈反相关,与风速的相关性较为复杂(有时呈正相关,有时呈反相关);高湿度(相对湿度 $f \geq 80\%$)、小风速(地面风速 $u \leq 2 m \cdot s^{-1}$)和雾是造成低能见度的主要气象条件;污染物浓度对能见度的影响以冬季最为明显,秋季次之,夏季最差。

关键词 大气能见度 气象条件 空气污染 影响因子

引言

能见度的好坏直接影响人们的工作、生活以及陆、海、空交通活动的正常进行。低能见度的出现更会给人们带来诸多不便和各种危害,常常是造成交通和飞机起降重大事故的重要原因。探讨和掌握大气能见度的变化特征及主要影响因素,是大气能见度预测预报的基础,是保证交通安全、提高人们生活质量和城市减灾的需要。

20 世纪 70 年代以来,国内外学者就已着手大气能见度的研究。西欧和北美对燃煤产生的 SO_2 污染问题做了大量研究工作,发现硫酸盐对大气能见度的影响和对人体健康的危害是大气污染的后果之一。苏维瀚等^[1]曾对北京地区大气能见度与大气污染的关系进行了研究,指出北京地区平均大气能见度在 1970~1979 年 10 年降低了 6~10 km,平均每年降低 0.6~1 km;对两次大气污染状况和大气能见度现场测量资料的分析结果表明,北京地区大气能见度的变化受大气中硫酸根浓度、颗粒物浓度、相对湿度和小于 $10 \mu m$ 颗粒物浓度的影响较大。研究表明造成北京地区低能见度的主要天气现象是

雾^[2,3]。雾之所以影响能见度,是因为形成雾的主要条件是空气相对湿度足够大,风速小,这两个条件也是不利于空气污染物扩散,容易造成或加重空气污染的主要条件^[4]。有关研究也表明,“水汽、雾滴本身会增强光的吸收和散射,因而会对大气能见度降低有贡献”^[1]。总之,大气能见度与气象条件和大气污染程度密切相关。

近些年来,随着国民经济的迅速发展和汽车数量的增加,北京的气候、大气环境(空气质量)和大气能见度也在不断的发生变化。本文利用 1990~2000 年北京观象台常规地面气象要素和最近两年常规大气污染物浓度等资料,分析北京地区最近 11 年中能见度的气候变化特征,以及气象条件和大气污染对大气能见度的影响,为城市能见度预测预报奠定基础,为城市污染治理和改善大气能见度提供依据。

1 资料来源

本文所用资料为:1990~2000 年北京市观象台水平能见度及地面常规气象要素(每日 02、08、14、20 时 4 次定时观测的温、压、湿、风、天气现象)资

料;1999~2000年7月北京市环境监测中心提供的北京市城区自动监测站 SO_2 日平均浓度和1999年4月至2000年7月 PM_{10} 日平均浓度。

2 北京地区大气能见度特征概况

大气能见度和气象条件与大气污染有密切关系^[1,5],随气候的变化及空气质量程度的改变而改变。

2.1 年际变化

图1给出北京地区1990~2000年各季及全年能见度日平均的年际变化趋势。由图1看出,春季(3~5月):1991~1995年能见度日平均呈逐年上升趋势,1995~1998年呈逐年下降趋势,1998~2000年又呈上升趋势。夏季(6~8月):1991~1995年能见度呈逐年下降趋势,1995~1997年逐年转好,1997~1999年又变差,2000年快速好转,即20世纪90年代夏季日平均能见度出现两次明显低谷和三次明显峰值。秋季(9~11月):90年代前期(1990~1994年)呈逐年缓慢上升趋势,中期(1994~1998年)基本呈下降趋势,后期(1998~2000年)逐年好转。冬季(12月和12月):能见度的年际变化趋势基本与春季和夏季一致,但变化幅度明显,1995年冬季日平均能见度最高(15.7km),1990年最低(10.4km)。

上述各季日平均能见度年际变化表明,1990~2000年北京地区日平均能见度有明显的起伏变化,其中90年代前期(1990~1995年)除夏季能见度逐年转坏外,其他各季均为逐年上升趋势,90年代后期(1996~1998年)呈逐年下降趋势(夏季除外),90年代末(1999~2000年)各季均明显转好。全年日平均能见度(不分季节)年际变化与春、秋、冬三季变化趋势基本一致,2000年最高(12.9km),1998年最低(10.7km)。上述结果与国民经济的发展、气候及空气质量的相应变化有关。夏季能见度变化趋势在90年代中期出现低谷,与其他季节明显不同,这与1993年夏季日平均相对湿度逐年升高,至1995年出现峰值,1997年降至低谷这种变化趋势的影响有关。孟燕军等^[3]指出,在近10年中1998年大雾日数高于多年平均状况,秋季表现最为突出,是造成1998年大气污染状况比往年严重的一个重要原因。王跃思等^[6]对1995~1999年北京大气中可形成气溶胶的有机污染物观测结果分析表明,这5年中北

京大气中有机污染物增加迅速,其中含量最高增长也最快的BTXE(苯、甲苯、二甲苯、乙苯)在1995~1998年期间每年增长20%,1998~1999年增长率突增为128%,且BTXE冬季峰值比夏季谷值高3~5倍。这与1998年和1999年春、秋、冬三季日平均能见度最差是相吻合的。

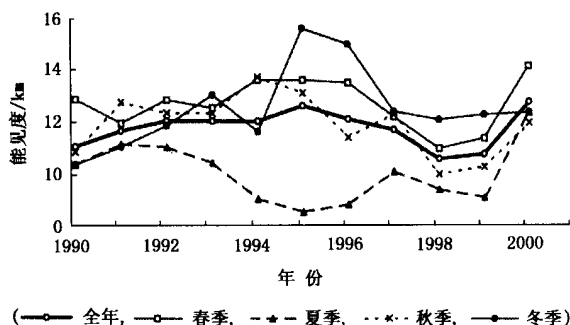


图1 各季和全年能见度日平均值年际变化

2.2 月、季变化

表1是1990~2000年各季日平均能见度统计结果。由表1可看出,北京地区近10年期间,日平均能见度春季最高,冬季次高,夏季最低。逐月变化特征表现为7、8月日平均能见度最低(9.5km),6、11月和12月比较低(10~12km),其他月份相对较高。

表1 1990~2000年各季日平均能见度

	春季	夏季	秋季	冬季
能见度/km	12.8	10.1	12.0	12.6

2.3 日变化

1990~2000年北京市气象台每日4次定时能见度观测资料日变化统计结果表明,北京地区早晨08时能见度最低,平均为10.1km,夜间02时次低,午后14时能见度最好,为13.1km。这主要是由于夜间大气层结较为稳定,边界层内常有逆温存在,抑制了空气中气溶胶粒子的向上输送,早晨因炊事、交通等人类活动较为集中,造成大气污染源排放量增大,加剧了空气污染程度,而且夜间至早晨空气中相对湿度较大,风速较小,容易产生雾,导致夜间和早晨能见度下降。日出之后,随着太阳辐射加强,空气相对湿度减小,逆温逐渐被抬升而消失,大气垂直交换加强,而且午后地面风速是一日之中最大的时段,空气中污染物容易扩散,因此午后大气能见度一般是一日之中最好的时段。

3 气象条件对大气能见度的影响

3.1 地面气象要素对大气能见度的影响

大气能见度日变化统计分析结果表明,一日之中(4 次定时观测)早晨 08 时能见度最低,对人类活动影响最大,因此本文选用 08 时能见度及 08 时地面气象要素重点分析气象条件对大气能见度的影响。

3.1.1 能见度与主要气象要素年际变化趋势

图 2 为北京市观象台 1990~2000 年 08 时平均能见度、平均风速和平均相对湿度的年际变化曲线。由图 2 可看出,能见度与相对湿度的变化趋势呈明显反位相,表明能见度与相对湿度具有反相关关系。能见度与风速的年际变化趋势不完全一致,即大多数情况下两者变化趋势是一致的,而在 1993~1994 年出现反位相,这可能是由于 1993~1994 年这段时间内北方大风沙尘天气较多的缘故。总之能见度与风速之间的关系较为复杂,比如在稳定的非沙尘天气情况下,风速增大会使能见度变得更好(正相关),相反,在沙尘天气时,风速增大会使能见度更为恶劣(反相关)。

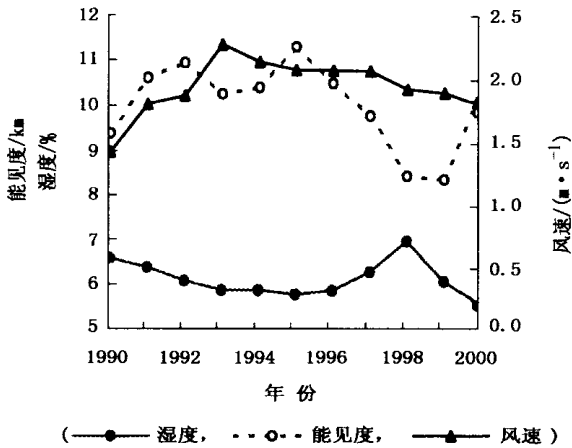


图 2 08 时能见度、风速、相对湿度年际变化

3.1.2 低能见度、高湿、小风日出现频率年际变化比较

低能见度指小于等于 1 km 的能见度,高湿指相对湿度大于等于 80%、小风为小于等于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速。图 3 为北京市观象台 08 时低能见度及高湿、小风日出现频率的年际变化曲线。图 3 表明,低能见度日与高湿日和小风日出现频率的年际变化趋势基本一致,即 1990、1994 和 1998 年低能见度日、高湿日和小风日出现频率都处于相对峰值期,1993 和

1995 年都处于低值期,只有 1999 年和 2000 年低能见度日出现频率与小风日出现频率变化趋势是相反的。进一步说明相对湿度和风速对能见度的优劣变化具有显著作用,其中相对湿度对能见度的影响要大于风速的影响。

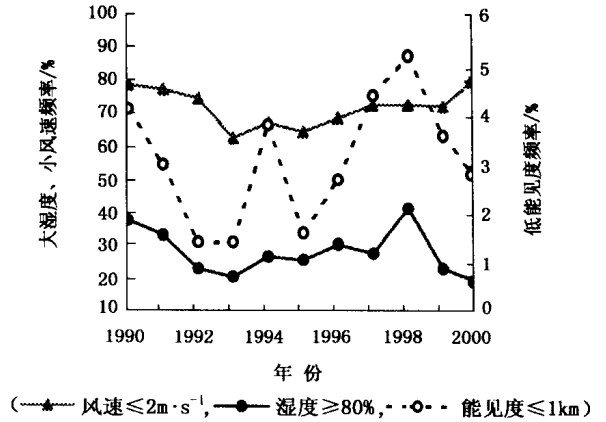


图 3 08 时低能见度、高湿及小风日出现频率年际变化

3.2 雾对大气能见度的影响

气象学中规定,贴地层空气中悬浮的大量水滴或冰晶微粒的集合体,使水平能见度降低到 1 km 以下时称为“雾”(在本文中记为大雾),能见距离在 1~10 km 时称为“轻雾”。雾形成的物理条件主要是有足够的水汽、风速小、天气系统较弱或气团稳定。水汽、雾滴本身会增强光的吸收和散射,从而影响大气透明度,因此雾对能见度的影响是至关重要的。天津机场低能见度气候的统计特征^[7]表明,造成低能见度障碍的各种天气现象(降水、雾、烟、浮尘、扬沙等)中以雾为主。本文统计了北京市观象台 1990~2000 年 08 时雾日的逐年变化(图 4)。由图 4 看出,08 时能见度与轻雾日数的年际变化呈明显反相

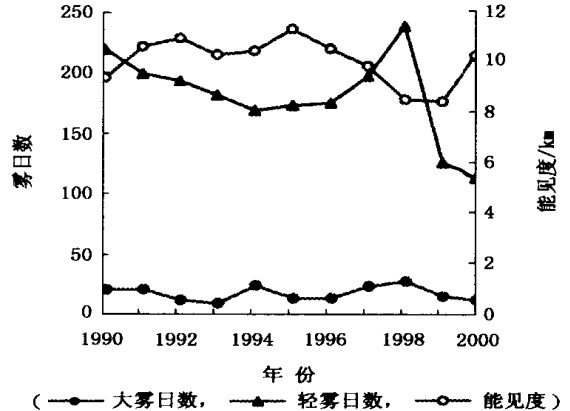


图 4 08 时能见度与雾日数年际变化

关,与大雾日数的年际变化也有相反的对应关系。与图2相比轻雾日数年际变化与相对湿度的年际变化有很好的一致性,表现为20世纪90年代前期和后期逐年减少,中期呈逐年增多趋势,轻雾出现最多和最少的年份分别是1998年和2000年。大雾日数的年际变化幅度不很明显,其变化趋势与轻雾基本类似。以1999年为个例分析雾对能见度的影响,全年08时小于等于1km的低能见度共出现13天,其中大雾出现10天,轻雾出现2天,还有一天是间歇性小雨,表明雾是造成低能见度的主要原因之一。

3.3 大气能见度与地面常规气象要素的相关性

利用北京市观象台水平能见度及地面常规气象要素(每日4次定时观测的温、压、湿、风)资料,计算08时能见度与对应地面气象要素的相关系数。计算结果表明,能见度与相对湿度、08时24h变湿、变压和风速的相关性较好(图5)。由图5看出,各季

4 空气污染对大气能见度的影响

研究表明,空气中飘浮的细小颗粒物对光具有吸收和散射作用,颗粒物的增加会导致大气透明度降低,使大气能见度恶化。而空气中飘浮的细小颗粒物大部分是来自大气污染物的排放和转化,因此,能见度的变化与空气污染程度的变化密切相关^[1,2]。

4.1 能见度与主要空气污染物日平均浓度的关系

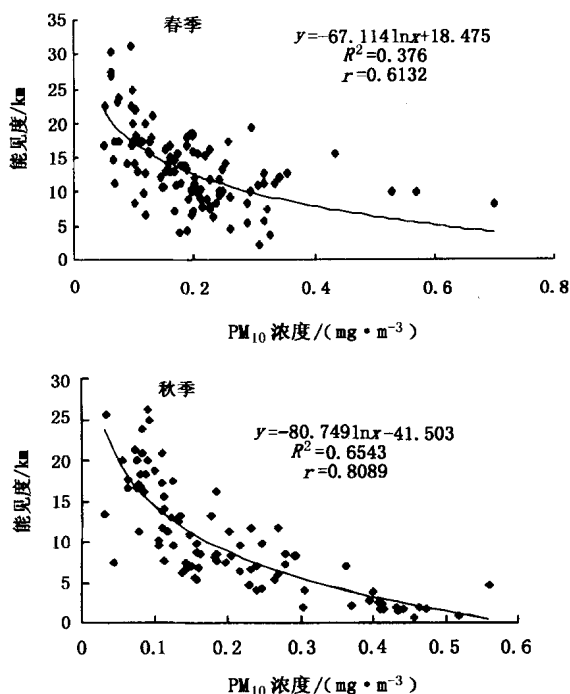


图6 各季日平均能见度与 PM_{10} 浓度相关关系

能见度与相对湿度及其24h变化呈明显负相关,与风速和24h变压呈明显正相关。能见度与相对湿度相关性最好,其次依次是风速、08时24h变湿和08时24h变压。

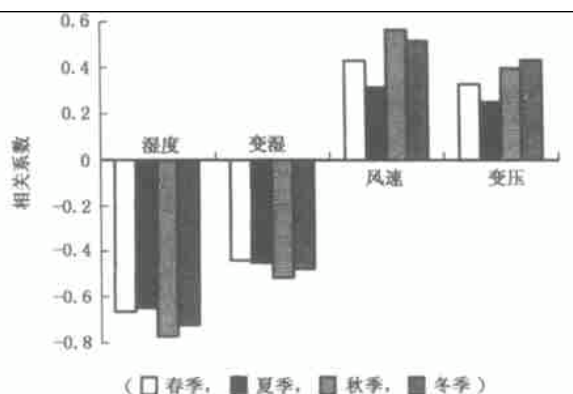
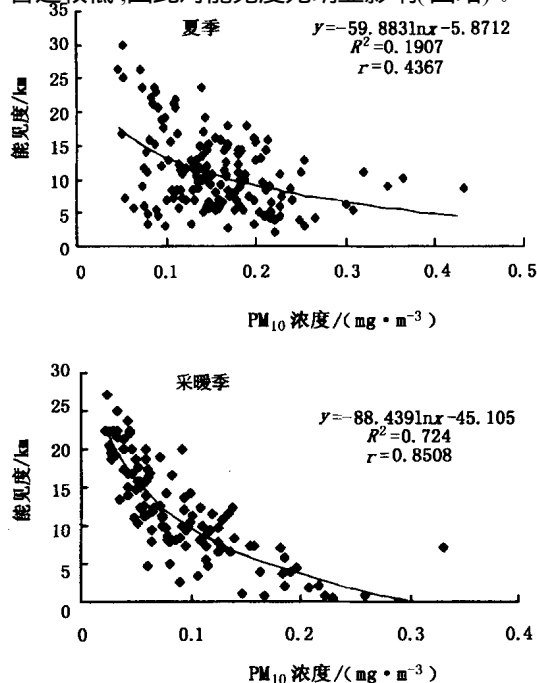


图5 08时能见度与气象要素相关系数

根据1999年1月至2000年7月31日期间日平均能见度和污染物(PM_{10} 、 SO_2)浓度资料,做各季日平均能见度与各污染物日平均浓度散点图,并进行相关性趋势分析。结果表明,各季能见度与 PM_{10} 浓度的变化均相关较好,日平均能见度随 PM_{10} 浓度的增高而减弱,其中采暖季相关性最为显著,其次是秋季,春季和夏季相对较差(图6);图7是采暖季能见度与 SO_2 浓度的散点图,表明采暖季日平均能见度随 SO_2 浓度增高而降低,其他季节主要由于 SO_2 污染源变弱致使 SO_2 浓度普遍较低,因此对能见度无明显影响(图略)。



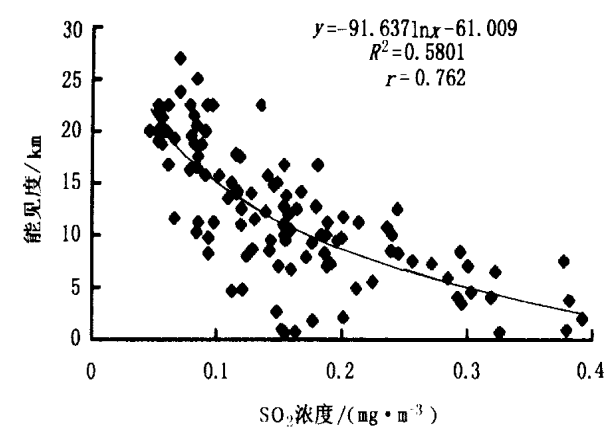


图 7 采暖季日平均能见度与 SO_2 浓度相关关系

4.2 低能见度与空气污染等级的关系

以 1999 年为个例分析低能见度与空气污染等级的关系。1999 年 4 月 16 日至 12 月 31 日期间,北京市南郊观象台 08 时小于等于 1km 的低能见度共出现 10 次,其中 PM_{10} 日平均浓度污染等级达 5 级的有 5 次,4 级的有 3 次,3 级的有 2 次。反过来看,这期间 PM_{10} 日平均浓度在 4 级以上的有 17 天,这 17 天中 08 时能见度最大为 3km,其中小于等于 1km 的低能见度有 8 天,1.1~2.0km 的有 5 天,2.1~3.0km 的有 4 天。上述统计结果表明,低能见度时 PM_{10} 污染等级均在 3 级(轻度污染)以上,其中 5 级出现最多,3 级出现最少;在 PM_{10} 浓度达 4 级以上时,08 时大气能见度均在 3km 以下,其中 1km 以下的低能见度出现最多。由此可充分说明,大气污染(尤其是细粒子污染)是影响大气能见度的主要因素之一,而高污染浓度也是造成低能见度的重要原因之一。

5 能见度影响因子的综合统计分析

大气能见度是各影响因子共同作用的结果(它们之间可能还存在其他较为复杂的关系),因此,有必要利用各影响因子的同期同步资料分析其对大气能见度的影响能力及综合作用。

5.1 能见度与其同期同步影响因子相关性比较

计算了 1999 年 4 月 16 日至 2000 年 7 月 31 日期间,各季主要空气污染物、主要地面常规气象要素日平均值与同期同步大气能见度日平均值相关系数,其相关系数计算结果见表 2。由表 2 看出,春、夏季能见度与相对湿度相关系数最大,与 PM_{10} 的相关系数次之,与气压和风速的相关系数较小。秋、冬

季与 PM_{10} 相关系数为最大,在 0.8 以上,秋季与相对湿度相关系数次大,与气压的相关系数最小;冬季能见度与主要污染物(PM_{10} 、 SO_2)、相对湿度、风速的相关系数都比较大,尤其是与 PM_{10} 和 SO_2 的相关最为明显。

表 2 能见度与同期同步主要空气污染物浓度、地面常规气象要素的相关系数

	相对湿度	风速	气压	PM_{10}	SO_2
春季	-0.606	0.46	-0.163	-0.462	-0.146
夏季	-0.786	-0.198	0.146	-0.499	0.023
秋季	-0.764	0.616	0.383	-0.813	-0.39
冬季	-0.809	0.694	-0.022	-0.85	-0.831

5.2 能见度与气象条件和空气污染共同作用下的相关分析

综合上述能见度与空气污染物浓度和有关地面气象要素的相关分析,选取与能见度相关性较好的有关因子,对 1999 年 4 月至 2000 年 7 月期间能见度、气象要素和污染物浓度同步资料,分别进行各季日平均能见度与其对应相关气象因子及污染物日平均浓度进行多元回归相关统计。所选因子为: x_1 : $\ln N_{\text{SO}_2}$, x_2 : $\ln N_{\text{PM}_{10}}$, x_3 : 日平均风速, x_4 : 日平均相对湿度, x_5 : 08 时 24h 变湿, x_6 : 08 时 24h 变压。

统计结果见表 3,表中 $b_0 \sim b_6$ 为所选各因子回归系数, r 为复相关系数。

表 3 日平均能见度与气象要素和空气污染物浓度多元回归计算结果

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	r
春季	96.333	—	-59.50	4.744	-1.676	—	0.267	0.8621
夏季	116.20	—	-67.50	8.605	-2.643	—	—	0.8860
秋季	68.755	—	-57.38	1.170	-1.250	-0.303	1.560	0.945
采暖季	34.241	-15.08	-51.37	6.237	-1.143	-0.200	0.348	0.9388

上述计算分析表明,空气污染和气象条件共同作用对能见度的影响以秋、冬季最为明显,相关系数在 0.9 以上,春季相对较差,相关系数为 0.86,春季相关性差可能与北京地区春季风沙天气较多有关。从回归系数来看,各季均以 PM_{10} 浓度的贡献最大,采暖季以 SO_2 次大,春、夏季以日平均风速为次大,而秋季则以 08 时 24h 变湿贡献为次大。

6 结语

(1) 北京地区 1990~2000 年大气能见度有较

为明显的年际变化、月和季节变化及日变化。冬、春、秋三季及全年日平均年际变化较为一致,基本上1990~1995年为逐年上升趋势,1995~1998年为逐年下降趋势,1998~2000年能见度迅速好转。夏季能见度年际变化在1997年以前与其他季节相反。一年之中,春季能见度最好,夏季最差。一日之中,早晨(08时)能见度最差,午后最好。

(2) 能见度与相对湿度呈明显反相关,与风速的关系有时呈正相关,有时呈反相关;高湿(相对湿度 $f \geq 80\%$)和小风速(地面风速 $u \leq 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)是造成低能见度的主要气象条件。

(3) 能见度与 PM_{10} 和 SO_2 浓度的对数值具有很好的线性关系,各季均以 PM_{10} 与能见度的相关系数为最大,污染物浓度对能见度的影响冬季最为明显,秋季次之,夏季较差。

(4) 能见度与同期污染物浓度和气象条件的相关性比较表明,春、夏、秋季以空气湿度、 PM_{10} 和风速为主要影响因子,冬季以 PM_{10} 、 SO_2 、空气湿度和风速为主要影响因子。

(5) 从大气污染治理角度讲,如果能有效控制 PM_{10} 或更细粒子和 SO_2 排放,对改善北京地区大气能见度,特别是秋、冬季的大气能见度,将有明显效果。

致谢:本工作得到吴正华研究员的悉心指导,特此感谢。

参考文献

- 1 苏维瀚,张秋彭,沈济,等.北京地区大气能见度与大气污染的关系初探.大气科学,1986,10(2):138-144
- 2 孟燕军,王淑英,赵习方.北京地区大雾日大气污染状况及气象条件分析.气象,2000,26(3):40-42
- 3 赵习方,徐晓峰,王淑英,等.北京地区低能见度区域分布初探.气象科技,2001,29(4):19-22
- 4 王淑英,张小玲.北京地区 PM_{10} 污染的气象特征.应用气象学报,2002,13(增刊):177-184
- 5 梁秀婷,王丽春,宋学峰,等.呼和浩特市能见度与大气污染的特性分析.内蒙古气象,1995(1):35-38
- 6 王跃思,周立,王明星,等.北京大气中可形成气溶胶的有机物——现状及变化规律的初步研究.气候与环境研究,2000,5(1):13-19
- 7 吕艳彬.天津机场低能见度气候的统计特征.河北气象,1999,18(4):8-10

ANALYSIS OF VARIATION FEATURES OF VISIBILITY AND ITS EFFECT FACTORS IN BEIJING

Wang Shuying Zhang Xiaoling Xu Xiaofeng

(Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089, China)

Abstract: Through analyzing the visibility data from 1990 to 2000 in Beijing, it showed that the horizontal visibility had the yearly, seasonal and daily variation features. In winter, spring and autumn, visibility was better in medium of 1990s than that in early and late 1990s. There was a rapid improvement of visibility from 1999 to 2000. In summer, the variation trend was opposite to other seasons before 1997 and the visibility became the lowest in 1995. On average, visibility in spring was the best and worst in summer among one year. There existed significant correlation between visibility and surface meteorological condition and the main air pollutants. The pertinence of visibility and air pollutants concentration and weather condition illustrated that relative humidity, PM_{10} concentration, surface wind were the main influencing factors to visibility in spring, summer and autumn. In winter, the main factors were PM_{10} , SO_2 , humidity and surface wind. The results indicated that there was positive correlation between visibility and surface wind and there was inverse correlation between visibility and humidity, air pollutants' concentration. It seemed that high humidity (relative humidity $\geq 80\%$), light wind (surface wind $\leq 2 \text{ m/s}$) and fog were the main meteorological conditions which influence low visibility. Air pollutants' concentration affected visibility much more in winter than other seasons.

Key words: visibility, meteorological condition, air pollution, influencing factors