

侯灵,安俊琳,朱彬.2014.南京大气能见度变化规律及影响因子分析[J].大气科学学报,37(1):91-98.

Hou Ling, An Jun-lin, Zhu Bin.2014.Characterization of visibility variation trend and its influence factors in Nanjing[J].Trans Atmos Sci,37(1):91-98. (in Chinese)

南京大气能见度变化规律及影响因子分析

侯灵¹,安俊琳²,朱彬²

(1. 广东省气象信息中心,广东 广州 510080;2. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心,江苏 南京 210044)

摘要:利用累积百分率法、Ridit 中值分析法、“非常好”能见度出现频率法以及平均能见度年际和季节变化法,对 1980—2005 年南京大气能见度年际变化趋势进行分析,发现 1980—1984 年能见度呈上升趋势,1985 年以后则在波动中呈明显下降趋势。26 a 中,日均大气能见度最小值为 0.55 km,最大值为 29.25 km,平均值为 8.59 km。大气能见度具有明显的日变化和季节变化特征,一日之中,14 时最好,08 时最差;一年之中,冬季能见度最低,夏季最高。能见度与相对湿度呈负相关,与风速呈正相关,与温度和气压的相关性相对较小。PM₁₀是影响南京地区大气能见度的首要污染物,通过对能见度与 PM₁₀平均质量浓度进行曲线拟合发现,二者呈负相关,复相关系数在秋季最高,夏季最低。由统计预报方程可知,空气污染和气象条件协同作用对能见度的影响在春季、秋季、冬季较为明显,夏季则相对较差。

关键词:能见度趋势;气象要素;大气污染物;相关系数

中图分类号:P412.17 文献标志码:A 文章编号:1674-7097(2014)01-0091-08

Characterization of visibility variation trend and its influence factors in Nanjing

HOU Ling¹, AN Jun-lin², ZHU Bin²

(1. Guangdong Meteorology Information Center, Guangzhou 510080, China;

2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract: Visibility variation trends from 1980 to 2005 have been constructed using four different statistical methods: Ridit analysis, cumulative percentiles, frequency of “very good” visibility, and annual and seasonal means. Improvements in visibility were experienced from 1980 to 1984. A decline trend can be observed after 1985 with some fluctuations in the process. In these 26 years, the mean daily visibility was 8.59 km with the maximum at 29.25 km and the minimum at 0.55 km, respectively. There were obvious seasonal and daily variation features in visibility. It was worst in winter and best in summer in one year while it was worst at 08:00 BST and best at 14:00 BST in one day. Visibility showed a positive correlation with wind speed and a negative correlation with relative humidity. However, temperature and atmospheric pressure showed comparatively little correlation with it. PM₁₀ was the major pollutant in Nanjing. Curve estimation of daily mean PM₁₀ mass concentration and the visibility presented a negative correlation and the coefficient was the largest in autumn and the smallest in summer. A regression model based on relative humidity, PM₁₀, wind speed and temperature has been developed. There were seasonal differences in the coactions of air pollution and meteorological condition on visibility, which was worse in summer than that in the other three seasons.

Key words: visibility trends; meteorological elements; air pollutant; correlation coefficient

收稿日期:2011-06-10;改回日期:2011-12-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41305135;41275143);中国科学院战略先导科技专项(B类)子课题(XDB05020206)

通信作者:安俊琳,副教授,研究方向为大气环境、大气化学, junlinan@nuist.edu.cn.

0 引言

通常的能见度是指水平能见度,即指视力正常的人在当时天气条件下,能够从天空背景中看到和辨认出黑色、大小适度目标物的最大水平距离;夜间则是能看到和确定出的一定强度灯光的最大水平距离(Chan et al., 1999)。美国、英国等国家从 20 世纪 60 年代起就开始了大气能见度变化趋势的研究,并对能见度变化趋势进行定量化分析,以此作为衡量空气污染的指标,分析空气污染的变化规律(Craig and Faulkenberry, 1979; Sloane, 1982, 1984; Doyle and Dorling, 2002)。1990 年以来,美国分析了其大陆能见度降低的趋势与空气中颗粒物浓度变化的关系。20 世纪 80 年代以来我国针对能见度变化也开展了一系列的研究。总体来说,目前我国的研究较多采用趋势统计分析(赵习方等, 2001; 王淑英等, 2003; 范引琪等, 2005),而对能见度的影响因素系统探究较少。

城市大气能见度与湿度、风速等气象条件及雾、降水、浮尘等天气现象有密切关系。近年来,引起大气能见度下降的主要原因是大气污染,其中大气颗粒物特别是细颗粒物是造成能见度下降的主要原因(宋宇等, 2003; 王淑英等, 2003),而且大气能见度与颗粒物的成分也有密切关系(Tsai and Cheng, 1999; Cheng and Tsai, 2000),硫酸盐类和硝酸盐类是导致其下降的最主要的成分(Lee and Sequeira, 2002)。在没有污染的大气中,能见度可达到 250 km(Leavey and Sweeney, 1990)。大气受到污染后,颗粒状污染物对光线的散射和吸收有降低能见度的效应(周淑贞和张超, 1985)。大气污染物综合排放标准详解中指出,通常颗粒物质量浓度达 $0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,能见度开始下降,质量浓度达 $0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,大气能见度下降 52.7%,太阳辐射损失 12%以上,质量浓度达 $0.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,大气能见度下降 80.8%(国家环境保护局科技标准司, 1997)。因此,大气能见度的变化反映了环境空气质量的优劣,是空气中颗粒物污染的重要标志之一。

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。南京是长江三角洲地区的中心城市之一,随着工业化、城市化不断发展,近年来灰霾现象越来越严重,能见度恶化事件也越来越多。因此,分析南京大气能见度的变化规律,探讨能见度与大气污染物、气象要素之间的关系,对指导大气能见度改善与污染物治理有重要意义。

1 资料

本文选用的 1980—2005 年每日 02、08、14、20 时(北京时间,下同)的地面常规气象要素(水平能见度、温度、压强、相对湿度、风速)资料是从中国气象局提供的地面气候资料定时值数据集中获取的;大气污染物资料为中华人民共和国环境保护部提供的大气污染指数(API, air pollution index)(数据来源 http://datacenter.mep.gov.cn/report/air_daily/air_dairy.jsp),选取了 2000 年 6 月—2005 年 12 月的 API 资料,利用浓度转化表(数据来源 http://www.gdepb.gov.cn/xcyjy/hjzs/daqj/200510/t20051020_18510.html),首先将各台站的 API 数据转化为对应的污染物质量浓度,由于 PM_{10} 是南京地区主要的污染物,本文主要对 PM_{10} 日均质量浓度资料进行分析。

2 方法

2.1 大气能见度趋势

本文将大气能见度分为 5 个档: $[0, 1.9]$ km、 $(1.9, 9]$ km、 $(9, 19]$ km、 $(19, 39]$ km、 >39 km,分别用累积百分率法、Ridit 中值分析法、“非常好”能见度出现频率法以及平均能见度年际和季节变化法,对能见度变化趋势进行分析。

2.1.1 累积百分率法

能见度资料为非均匀分类频率分布的资料,很适合用累积百分率处理。第 i 段能见度累积百分率定义为所有观测到的能见度等于或超过第 i 段区间能见度的百分率(Sloane, 1984),能见度的累计频率分布函数可表示为

$$\frac{n_i}{n} = \int_{v_i}^{\infty} f(v) dv.$$

其中: $f(v)$ 表示能见度频率密度函数; v_i 表示第 i 段的能见度; n 表示能见度总的观测次数; n_i 表示在 n 次观测中有 n_i 次能见度等于或超过 v_i 值。因此, $\frac{n_i}{n} \times 100\%$ 表示第 i 段能见度的累积百分率。

能见度趋势就是与某一特定的累积百分率相对应的能见度随时间的变化。通常这个代表趋势的、特定的累积百分率取 50%,如果能见度资料连续且其频率分布范围大,则 50% 就是累积百分率的中值。但在实际应用中,对于某些年代,50% 的累积百分率只能由外推得到。由于实际的累积百分率曲线并不是线性的,外推困难,即便推出结果,其误差也

会很大(Sloane, 1984)。因此,应根据能见度频率分布的实际情况选择作趋势分析的特定的累积百分率。本文分别选累积百分率为 10%、60% 和 90% 所对应的能见度进行“能见度高值、中值和低值”的趋势分析。应用累积百分率法,可以比较直观地了解一段时间内较好能见度、一般能见度和较差能见度的年际变化序列。

2.1.2 Ridit 中值分析法

Ridit 中值分析法(Doyle and Dorling, 2002)主要用来分析边缘变量,人工观测的大气能见度就属于边缘变量,观测值的准确性取决于观测员的技术水平。

Ridit 中值定义为某一给定时段的能见度好于总能见度的概率。令 $f_A(v)$ 为某一给定时段的能见度频率密度函数(简称 A 分布), $f_R(v')$ 为总能见度频率密度函数(简称参考分布或 R 分布), F_R 表示参考分布的累积百分率分布函数。则 A 分布中某一能见度观测值(v_A)大于 R 分布中某一能见度观测值(v'_R)的频率由下式给出

$$P(v_A > v'_R) = \int_0^{\max} \int_0^v f_A(v) f_R(v') dv' dv = \int_0^{\max} f_A(v) F_R dv。$$

上式中积分上限应取最大的能见度(本文取 40 km)。如果用 f_{Ai} 和 f_{Ri} 分别代表各自分布中第 i 段能见度出现的频率,则 Ridit 中值的计算公式为

$$I_R = \sum_{i=1}^K f_{Ai} \left(\sum_{j=1}^{i-1} f_{Rj} + \frac{1}{2} f_{Ri} \right)。$$

对于 A 分布, $f_{Ai} = \frac{n_{Ai}}{n_A}$, n_{Ai} 是能见度出现在第 i 段区间的观测次数, n_A 是 A 分布中总的观测次数;

同理,对于 R 分布, $f_{Ri} = \frac{n_{Ri}}{n_R}$; K 表示能见度分为 K 段进行频率统计。当某年份的 Ridit 中值大于 0.5 时,表示该年份的能见度好于参考分布年份的平均能见度;反之,则表示该年份的能见度差于参考分布年份的平均能见度(范引琪等, 2005)。Ridit 中值曲线能反映出能见度上升或下降的趋势。

相对于累积百分率法, Ridit 中值分析法具有以下优点:以整个能见度时间序列作为参考分布,非常简捷地反映了整个能见度观测值的分布;在计算过程中不涉及任何外推;对雨、雾及高相对湿度等气象条件的影响不敏感(Sloane, 1982)。

2.1.3 “非常好”能见度出现频率法

这是一种比较简单的分析方法,先计算出各段

能见度出现频率,再确定出“非常好”能见度所占的百分比。本文将大于 19 km 的能见度定义为“非常好”的能见度,因为 19 km 是判断大气污染物影响夏季能见度水平的一个非常好的标志(Gomez and Smith, 1987)。

2.1.4 平均能见度年际和季节变化法

这种方法非常简单,通过计算得到每年的年平均能见度和各季平均能见度,用于分析 26 a 来能见度的总体变化趋势。这种方法的优势在于能够利用较简单的方法直观地了解各季能见度的年际变化趋势。

2.2 能见度与各气象要素的偏相关

能见度受多个因子影响,在分析某一个因子的影响时,必须先固定其他自变量的影响。偏相关分析也称净相关分析,它是在控制其他变量的线性影响下分析两变量间的线性相关。偏相关分析可以有效地揭示变量间的真实关系,识别干扰变量并寻找隐含的相关性。根据 m 个预报因子与 y 的相关矩阵,则偏相关系数(黄嘉佑, 2004)表示为

$$r_{yi \cdot 12 \dots (i-1)(i+1) \dots m} = - \frac{R_{yi}^m}{\sqrt{R_{yy}^* R_{ii}^*}}, i = 1, 2, \dots, m。$$

其中: R_{ii}^* 是相关矩阵中去掉第 i 行、第 i 列后的代数余子式; R_{yy}^* 是相关矩阵中去掉第 $m+1$ 行、第 $m+1$ 列后的代数余子式; R_{yi}^m 是相关矩阵中第 $m+1$ 行与第 i 列的协方差。

偏相关是衡量两个变量之间关系密切程度的量,这个量的大小是否显著也需要作统计检验。偏相关分析的原假设为两总体的偏相关系数与 0 无显著差异,采用 t 统计量作为检验统计量,其数学定义为

$$t = r \sqrt{\frac{n - q - 2}{1 - r^2}}。$$

其中: r 为偏相关系数; n 为样本数; q 为阶数。如果检验统计量的概率 p 值小于给定的显著水平 α , 则应拒绝原假设,认为偏相关显著;反之,则接受原假设,认为两总体的偏相关系数与 0 无显著差异。

3 结果与讨论

3.1 南京地区能见度统计特征

为了解大气能见度的基本分布规律,本文对 1980—2005 年的日平均能见度进行统计分析发现, 26 a 来,日均能见度最小值为 0.55 km,最大值为 29.25 km,平均值为 8.59 km,出现次数最多的能见

度为 7.25 km,分布偏度为 0.85,峰度为 0.67。

对 1980—2005 年每日四个时次的能见度进行统计分析,结果表明,大气能见度日变化特征明显,早晨 08 时能见度最差,平均为 5.92 km,夜间 02 时次低,平均为 7.60 km,午后 14 时最好,平均为 11.69 km,这与广州大气能见度日变化特征相同(沈家芬等,2007)。08 时能见度最低有三方面的原因,一是清晨大气层结较为稳定,近地气层内常有逆温出现,抑制了低层空气中污染物向上输送;二是清晨尾气排放、炊烟等人类活动较为集中,造成大气污染源排放量增加;三是夜间至早晨相对湿度较大,风速较小,易产生辐射雾。而日出之后,随着太阳辐射加强,空气湿度减少,逆温逐渐抬升而消失,大气垂直交换加强,空气污染物容易扩散,因此午后通常是一日之中大气能见度最好的时段。

3.2 能见度变化趋势

由于 08 时能见度观测值易受局地两方面的影响:一是早晨出现的辐射雾,二是由于夜间形成的近地逆温未被破坏,导致此时近地面颗粒物浓度升高。而 02 时和 20 时分别属夜间和傍晚,这两个观测时刻所选的目标物与白天目标物不同,易造成观测资料的不一致(范引琪等,2005)。因此本文选取 14 时的能见度资料进行能见度趋势分析,因为该时刻的观测值比其他时刻更能代表所在区域的能见度水平。此外,为了排除雾的影响,本文仅选取 14 时中相对湿度小于 90% 的能见度资料进行本节的能见度趋势分析。

3.2.1 累积百分率法结果

图 1 为 1980—2005 年南京地区不同累计百分率对应的大气能见度高值、中值和低值的变化趋势。可知,1980—2005 年年平均能见度高值、中值及低值变化趋势基本一致,1980—1984 年均呈上升的趋势,1985—2005 年能见度在波动中呈下降趋势。能见度高值在 1991 年之前变化不大,约为 30 km,1991 年之后,下降比较明显,到 2003 年,仅为 15 km 左右;能见度低值变化不大,但整体上也呈现出明显的下降趋势;能见度中值的年际变化一般能较好地代表大气能见度的整体变化趋势,1980—1984 年,能见度中值从 15 km 增加到 20 km,1985—1995 年,能见度中值呈明显下降趋势,1998 年以后下降趋于平缓,2004 年下降趋势中断,能见度略微回升,这说明 2004 年能见度恶化的情况有了一定的改善,这可能与南京为准备 2005 年第 10 届全国运动会进行的污染治理及绿化行动有关。

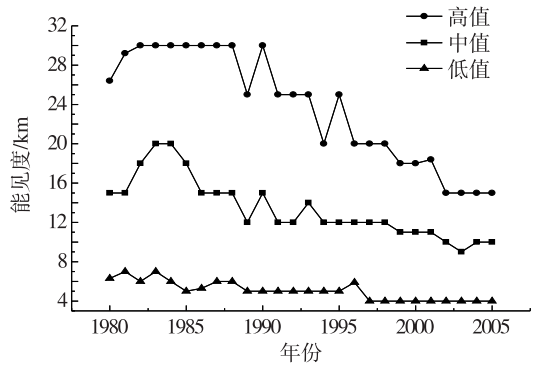


图 1 能见度高值、中值和低值的变化趋势

Fig.1 Variation trends of the high visibility, the median visibility and the low visibility

3.2.2 Ridit 中值分析法结果

本文用 1980—2005 年的观测资料代表其总体能见度,它的频率分布称为参考分布。分别用 Ridit 中值分析方法对能见度进行年、夏季、冬季趋势分析。计算年 Ridit 中值时,参考分布用 1—12 月的资料;计算夏季、冬季的 Ridit 中值时,参考分布分别用 6—8 月和 12 月—次年 2 月的资料。

由图 2 可知,年、夏季 Ridit 中值曲线变化趋势基本一致,1980—1984 年均呈上升趋势,1985—2005 年在波动中呈下降趋势,这与累积百分率法分析结果一致。冬季 Ridit 中值较小且变化趋势不明显。夏季 Ridit 中值最大,略高于年 Ridit 中值而远大于冬季 Ridit 中值。1993 年以前,年 Ridit 中值都大于 0.5,说明这个时期各年的能见度均好于 26 a 平均的能见度。1993—1995 年,年 Ridit 中值在 0.5 上下波动,这个时期属于能见度降低的过渡期。1996 年,年 Ridit 中值降为 0.49,在随后的年份中,年 Ridit 中值一直小于 0.5,说明此后各年份的能见度均差于 26 a 能见度的平均水平。2003 年,年 Ridit 中值达到最低,此后有了一个较小的增长,但

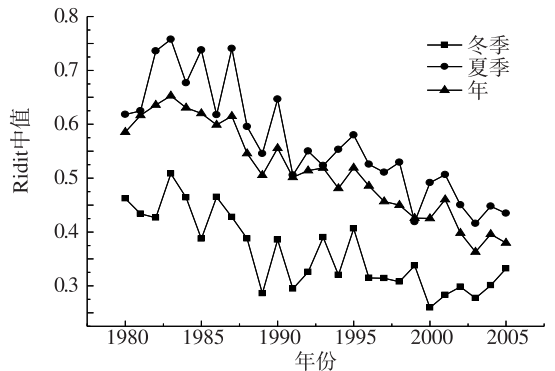


图 2 Ridit 中值的变化趋势

Fig.2 Variation trends of mean Ridit

2004 年以后年 Ridit 中值降低趋势又延续了下去。

3.2.3 “非常好”能见度出现频率法结果

图 3 描述了 1980—2005 年“非常好”能见度出现频率变化趋势。结果表明:26 a 中,“非常好”能见度出现频率在 1980—1984 年呈上升趋势,1985—2005 年在波动中呈下降趋势,这与年 Ridit 中值变化趋势一致,但是它主要强调的是各年份中比较好的能见度出现频率的年际变化。

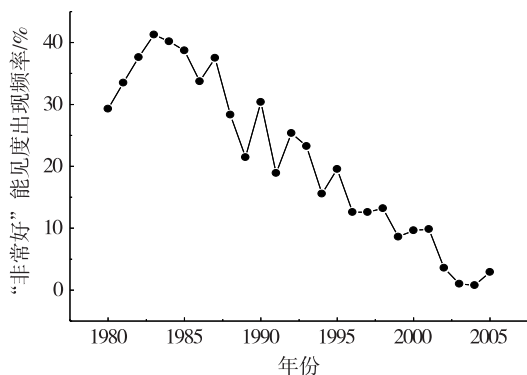


图 3 “非常好”能见度年出现频率变化趋势

Fig.3 Variation trend of “very good” visibility frequency

由图 3 可知,1980—1984 年,“非常好”能见度年出现频率从 29.3% 上升到 41.3%,能见度高值出现的次数增加,说明这段时间大气能见度得到了改善。1985 年以后,“非常好”能见度年出现频率在波动中呈现出明显的下降趋势,1996—2001 年下降速率减缓,但从 2002 年开始,下降速率又加快,“非常好”能见度年出现的频率接近于 0,说明这段时间能见度严重恶化。2004 年以后,“非常好”能见度年出现频率略有增加。

3.2.4 平均能见度年际和季节变化法结果

利用 1980—2005 年每日 14 时能见度资料,可得能见度年际和季节变化趋势,如图 4 所示。

由图 4 可见,大气能见度年变化与各季节变化趋势基本一致,1980—1984 年呈上升趋势,1985—2005 年在波动中呈下降趋势。由各季节能见度趋势变化曲线可知,一年之中,夏季平均能见度最高,春季和秋季次之,冬季最低。这主要是由温度决定的,温度越高,大气对流运动越强,混合层高度越高,越有利于污染物扩散。由能见度年际变化曲线可知,1980—1984 年能见度呈逐年上升的趋势,1985—1994 年下降趋势比较明显,1994、1995 年有了一个较小的回升之后,1995—1999 年能见度又变差,1999—2001 年能见度逐年转好,2002 年之后又不断降低,2003 年能见度达到所有观测年份的最

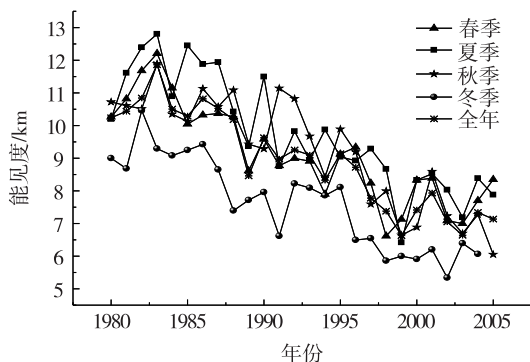


图 4 能见度年际和季节变化趋势

Fig.4 Variation trends of the annual and seasonal average visibility

低,2004 年有了一个较小回升之后能见度继续降低,这与以上 3 种方法所得的分析结果是一致的。

3.3 能见度影响因子

3.3.1 能见度与气象要素的相关性

能见度的基本特征是由区域气候条件决定的,混合层高度、相对湿度、平均风速、温度、24 h 变压、变湿、气压等气象要素与能见度有明显的相关关系。相对湿度和平均风速对大气能见度的影响较大,而地面 24 h 变压、气压和气温的影响则相对较小(王淑英等,2003;沈家芬等,2007)。

利用 1980—2005 年的常规观测资料,统计分析可得日均能见度与对应地面气象要素偏相关系数,能见度与相对湿度呈显著反相关,相关系数为 -0.46 ,统计 T 检验结果显示 p 值小于 10^{-3} ,通过了显著性水平为 0.01 的统计检验。当空气中水汽较丰富时,一方面,发生凝结而生成大量的小液滴,小滴通过反射、散射作用,损耗太阳辐射,另一方面,小液滴吸附细粒子,从而降低能见度。能见度与平均风速呈显著正相关关系,相关系数为 0.29, p 值为 0.01。风可以使大气中的沙尘和污染物快速扩散,从而使沙尘或烟雾淡化,能见度就会增大。能见度与温度、气压的相关系数分别为 0.22 和 0.12,统计检验结果显示 p 值均小于 10^{-3} ,通过了 0.99 置信度的显著性检验,但较之相对湿度和风速,温度和气压对能见度的影响较小。

各季节平均能见度与相应地面气象要素的相关系数分布如图 5 所示。可见,各季节平均能见度与相对湿度呈显著负相关关系,与风速呈较好正相关关系,而温度、气压与能见度的相关性不稳定,在冬季和夏季均呈负相关。

由图 5 可知,温度、气压与能见度相关系数相对

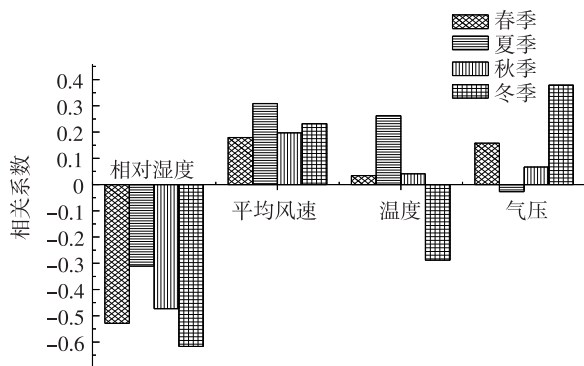


图 5 各季节日平均能见度与各气象要素的关系

Fig.5 Correlation between the meteorological factors and the daily average visibility in different seasons

较小且不稳定。春季、夏季和秋季,温度与各季平均能见度均呈正相关,而在冬季呈负相关,相关系数为 -0.29 ,统计检验显示 p 值小于 10^{-3} 。冬季温度的降低主要受北方冷空气的影响,冷空气到来伴随的高空冷槽等天气系统使地面气压升高,有利于大气污染物扩散,即气温下降、气压升高使得大气能见度好转。而夏季南京多处于副热带高压控制之下,温度高,地面气压低,大气不稳定出现的机会增多。地面温度越高,垂直交换层越高,越有利于污染物的扩散,能见度越好。因此,冬季气压与能见度呈现出较好的正相关性,相关系数为 0.35 ;而夏季气压与能见度呈负相关关系,且相关性较差,相关系数为 -0.03 , p 值为 0.23 ,未通过显著性水平为 0.05 的统计 T 检验。而由于春季、秋季温度气压变化不明显,它们与能见度的相关性都较小。

对比温度与各季节能见度的相关系数可知,不同季节温度对能见度的影响效果不同,而国内一些研究表明不同地点其作用也不同,如徐鹏炜等(2005)发现杭州能见度与温度呈正相关关系,而陶俊等(2007)则发现广州能见度与温度呈负相关关系。

3.3.2 低能见度、高湿、小风日出现概率的年际变化

低能见度指小于等于 1 km 的能见度,高湿度指大于等于 80% 的相对湿度,小风指小于等于 2 m/s 的风速(Craig and Faulkenberry, 1979)。利用 1980—2005 年常规气象要素资料,统计分析各风速及各湿度所对应的低能见度次数占能见度总观测次数的百分比,发现当风速小于等于 2 m/s 时,低能见度次数占对应能见度总观测次数的 85% ;而风速大于 2 m/s 时,低能见度次数只有 15% ,说明小风天气

更有利于低能见度的出现。当相对湿度大于等于 80% 时,低能见度次数占 74% ,说明高湿更有利于产生低能见度天气。为了进一步了解高湿对低能见度的影响,分别统计 1980—2005 年高湿和低能见度出现概率,得到其年际变化趋势(图 6)。可见,高湿度与低能见度呈现出很好的正相关关系,相关系数为 0.52 , p 值为 0.01 ,通过了置信度为 0.99 的显著性检验。而对小风与低能见度做相关性分析也发现二者呈较好的正相关关系,相关系数为 0.45 , p 值为 0.02 ,通过了显著性水平为 0.05 的显著性检验。

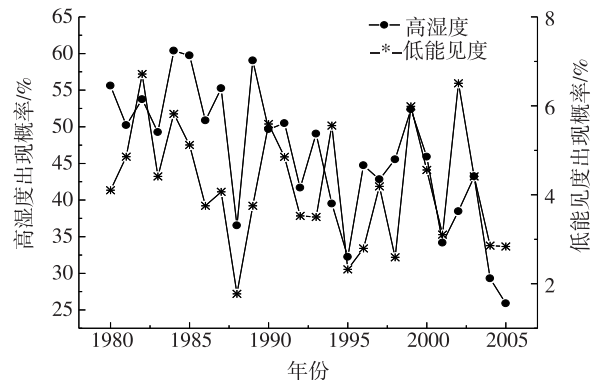


图 6 高湿度出现概率及 08 时低能见度出现概率的年际变化

Fig.6 Interannual variations of high relative humidity and low visibility frequencies at 08:00 BST

3.4 大气污染物对能见度的影响

统计分析南京逐日污染指数资料发现,在所研究的时间段内,当空气质量为污染(空气污染指数大于 100)和良(空气污染指数为 $51\sim 100$)时,对应的每天的首要污染物均为 PM_{10} ,所以下文重点分析 PM_{10} 与大气能见度的关系。

由于早晨人类活动集中,再加上地面逆温层的影响,08 时近地面污染物较多,对能见度影响最大。对 08 时能见度进行相对湿度订正后(Rosenfeld et al., 2007),利用 2005 年各季节每日 08 时能见度资料和日均 PM_{10} 质量浓度值,进行曲线拟合。由拟合结果可知,08 时能见度与日均 PM_{10} 质量浓度的对数有很好的线性关系,各季 08 时能见度均随 PM_{10} 质量浓度增高而减小。秋季 08 时能见度与 PM_{10} 质量浓度相关性最好(图 7),复相关系数为 0.60 ,春季、冬季次之,夏季二者相关性较差,复相关系数为 0.19 。利用主成分因子分析法可知,2005 年夏季 PM_{10} 对 08 时能见度的贡献率小于 7% 。夏季 PM_{10} 对能见度影响较小主要有两方面的原因:1)5—7 月南京正值梅雨季节,降水持续,对颗粒物有明显的去

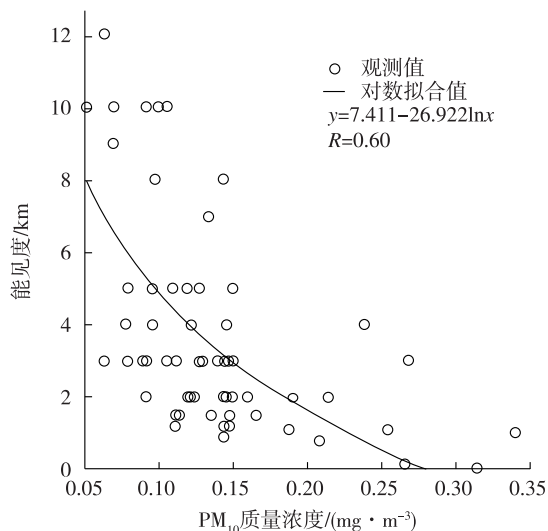


图 7 秋季 08 时能见度与 PM_{10} 质量浓度的相关关系

Fig.7 Relativity between the average mass concentration of PM_{10} and the visibility at 08:00 BST in autumn

除作用(胡敏等,2006);2)是夏季高温使空气垂直扩散层增高,污染物容易扩散,使得 PM_{10} 对能见度的影响减弱。此外,能见度日变化特征显示 14 时能见度最好,本文对每日 14 时能见度与日均 PM_{10} 质量浓度值也进行了曲线拟合,拟合方程的形式为: $y=B_0+B_1X$ 。对比 14 时与 08 时拟合结果(表 1)可以发现,14 时能见度与日均 PM_{10} 质量浓度的对数线性关系较差,除秋季显著相关之外,其他季节的拟合

表 2 日均能见度与其影响因子的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of daily average visibility and its influence factors

	温度		气压		相对湿度		风速		PM_{10} 质量浓度	
	相关系数	p	相关系数	p	相关系数	p	相关系数	p	相关系数	p
春季	-0.05	0.198	0.25 ¹⁾	0	-0.71 ¹⁾	0	0.26 ¹⁾	0	-0.04	0.251
夏季	0.39 ¹⁾	0	0.03	0.282	-0.42 ¹⁾	0	0.24 ¹⁾	0	-0.17 ¹⁾	0
秋季	0.13 ¹⁾	0.004	0.02	0.333	-0.57 ¹⁾	0	0.36 ¹⁾	0	-0.42 ¹⁾	0
冬季	-0.29 ¹⁾	0	0.36 ¹⁾	0	-0.67 ¹⁾	0	0.19 ¹⁾	0	-0.22 ¹⁾	0

注:1)表示该相关系数通过了显著性水平为 0.01 的统计检验。

利用 2000 年 6 月—2005 年 12 月期间能见度、气象要素和污染物浓度同步资料,对各季日均能见度和主要影响因子进行多元线性回归。通过主成分分析法分析可知,气压对日均能见度的贡献小于 5%,相比其他因子,气压的影响可忽略。所以本文所选因子为: X_1 (相对湿度), X_2 (风速), X_3 (PM_{10} 质量浓度), X_4 (温度)。多元线性回归方程的形式为

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4。$$

其中: b_0 为常数; b_1, b_2, b_3, b_4 称为各因子的回归系数。统计结果见表 3, R 为复相关系数。

结果均未通过显著性水平为 0.05 的统计 T 检验。

表 1 08 时和 14 时大气能见度与日均 PM_{10} 质量浓度对数线性拟合特征

Table 1 The logarithm linear fitting characteristics of daily mean PM_{10} mass concentration and the visibility at 08:00 BST and 14:00 BST

	春季		夏季		秋季		冬季	
	08 时	14 时	08 时	14 时	08 时	14 时	08 时	14 时
B_0	0.71	0.18	2.52	0.15	7.41	0.22	1.02	0.13
B_1	-2.81	-0.02	-1.34	-0.02	-26.92	-0.04	-1.99	-0.01
R	0.30	0.20	0.19	0.15	0.60	0.46	0.28	0.08
p	0.02	0.12	0.16	0.26	0	0	0.04	0.56

3.5 能见度统计预报方程

大气能见度是各影响因子共同作用的结果,统计分析可得 2000 年 6 月至 2005 年 12 月期间能见度日均值与各影响因子的相关系数分布。由表 2 可知,各季能见度均与相对湿度的相关系数最大;春季与风速的相关系数次之,与 PM_{10} 质量浓度和温度的相关系数较小;夏季与温度的相关系数次之;秋季与 PM_{10} 质量浓度的相关系数次之;冬季则与气压的相关性次之,与温度和 PM_{10} 质量浓度也呈显著负相关关系。

表 3 日平均能见度与其影响因子的多元回归分析结果

Table 3 Results of multivariate regression analysis of daily mean visibility and its influence factors

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	R	p
春季	20.63	-0.18	0.41	-9.80	0.01	0.76	0
夏季	13.58	-0.15	0.52	-25.83	0.30	0.67	0
秋季	24.78	-0.22	0.46	-24.15	0.09	0.77	0
冬季	19.67	-0.17	0.26	-12.60	-0.02	0.76	0

统计结果表明,空气污染和气象条件共同作用对能见度的影响以春、秋、冬季最为明显,相关系数

在 0.75 以上,夏季相对较差,相关系数为 0.67,但是根据各季节数据建立的线性回归方程均通过了显著性水平为 0.01 的统计 F 检验。而从回归系数来看,各季节均以 PM_{10} 质量浓度的贡献最大,以日平均风速次大。

4 结论与讨论

1) 1980—2005 年南京地区大气能见度变化表现为 1980—1984 年逐年好转,1985 年以后大气能见度在波动中呈明显下降的趋势。大气能见度呈现出较明显的日变化和季节变化特征,一年之中,冬季能见度最低,夏季最高;一日之中,08 时能见度最差,14 时最好。

2) 大气能见度与相对湿度呈较好的负相关关系,与风速呈正相关关系,相关系数分别为 -0.45 和 0.23,与温度和气压的相关性相对较小且不稳定。高相对湿度、低风速是造成低能见度的主要气象条件。

3) PM_{10} 是影响南京地区能见度的主要污染物,通过曲线拟合分析发现,08 时能见度与 PM_{10} 平均质量浓度的对数具有很好的线性关系,颗粒物质量浓度对能见度的影响以秋季最为明显,其相关系数为 0.60,夏季最差,相关系数为 0.19。而 14 时能见度与 PM_{10} 日均质量浓度拟合效果较差。

4) 综合分析影响能见度的各因子可以发现,各季节能见度与相对湿度的相关性均最为显著,次显著因子因季节而异。由多元线性回归方程可知,各因子共同作用对能见度的影响以春、秋、冬季较为明显,夏季较差。

需要指出的是, PM_{10} 是影响南京地区能见度的最主要污染物,它对于低能见度的贡献很大,但目前国内 PM_{10} 观测点及观测时次均较少,本文采用的 PM_{10} 质量浓度值为南京各观测站点 PM_{10} 质量浓度的日均值,而采用的能见度资料为每日四次常规观测中的一次或是日均值,由于观测站点及观测时间不一致,观测值可比较性相对较差。此外,虽然国内已经出台了能见度等级划分标准,但目前各地的能见度资料受观测员观测水平的限制,观测结果有很强的主观性,不利于不同地区相互比较。期待国内尽早出台更为具体的等级划分标准,以利于各地区资料的更好交流。

参考文献:

- 范引琪,李二杰,范增禄.2005.河北省 1960—2002 年城市大气能见度的变化趋势[J].大气科学,29(4):526-535.
- 国家环境保护局科技标准司.1997.大气污染物综合排放标准详解[S].北京:中国环境科学出版社.
- 胡敏,刘尚,吴志军,等.2006.北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响[J].环境科学,27(11):2293-2298.
- 黄嘉佑.2004.气象统计分析方法与预报方法[M].北京:气象出版社.
- 沈家芬,冯建军,谢利,等.2007.广州市大气能见度的特征及其影响因子分析[J].生态环境,16(4):1199-1204.
- 宋宇,唐孝炎,方晨,等.2003.北京市能见度下降与颗粒物污染的关系[J].环境科学学报,23(4):468-471.
- 陶俊,谢文彰,许振成,等.2007.冬季广州大气能见度影响因子分析[J].城市环境与城市生态,20(1):17-20.
- 王淑英,张小玲,徐晓峰.2003.北京地区大气能见度变化规律及影响因子统计分析[J].气象科技,31(2):109-114.
- 徐鹏炜,谭湘萍,蔡菊珍,等.2005.杭州城市大气消光系数和能见度的影响因子研究[J].环境污染与防治,27(6):410-413.
- 赵习方,徐晓峰,王淑英,等.2001.北京地区低能见度区域分布初探[J].气象科技,29(4):19-22.
- 周淑贞,张超.1985.城市气候学导论[M].上海:华东师范大学出版社.
- Chan Y C, Simpson R W, Mc Tainsh G H, et al.1999. Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques[J]. Atmos Environ, 33(19):3237-3250.
- Cheng M T, Tsai Y I.2000.Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas[J]. The Science of the Total Environment, 263(1/2/3):101-114.
- Craig C D, Faulkenberry G D.1979.The application of ridit analysis to detect trends in visibility[J]. Atmos Environ, 13:1617-1622.
- Doyle M, Dorling S.2002. Visibility trends in the UK 1950—1997[J]. Atmos Environ, 36:3161-3172.
- Gomez B, Smith C G.1987. Visibility at Oxford 1926—1985[J]. Weather, 42:98-106.
- Leavey M, Sweeney J.1990.The influence of long range transport of air pollutants on summer visibility at Dublin[J]. Int J Climatol, 10:191-201.
- Lee Y L, Sequeira R.2002.Water-soluble aerosol and visibility degradation in Hong Kong during autumn and early winter, 1998[J]. Environmental Pollution, 116(2):225-233.
- Rosenfeld D, Dai J, Yu X, et al.2007. Inverse relations between amounts of air pollution and orographic precipitation[J]. Science, 315(5817):1396-1398.
- Sloane C S.1982.Visibility trends I: Methods of analysis[J]. Atmos Environ, 16:41-51.
- Sloane C S.1984. Meteorologically adjusted air quality trends visibility[J]. Atmos Environ, 18:1217-1229.
- Tsai Y I, Cheng M T.1999. Visibility and aerosol chemical compositions near the coastal area in Central Taiwan[J]. The Science of the Total Environment, 231(1):37-51.