

# 南京地区霾天气特征分析

童尧青, 银燕\*, 钱凌, 安俊琳 (南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 利用南京气象站和江浦、六合、溧水、江宁、高淳等5个南京郊区气象观测站1961~2005年地面气象观测资料,对南京地区霾天气的气候特征、气象要素特征及其成因进行了分析.结果表明,南京地区6站霾天气均呈现出冬季>春季>秋季>夏季的季节特征;南京站45年来年霾日数呈明显上升趋势.能见度与相对湿度呈负相关;霾天气受气象要素的影响,静小风、较高相对湿度有利于霾天气出现.霾天气的增加可能是由总悬浮颗粒物(TSP),尤其是细颗粒物的增加导致的.

**关键词:** 南京; 霾; 气候特征; 大气污染

中图分类号: X131.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2007)05-0584-05

**Analysis of the characteristics of hazy phenomena in Nanjing area.** TONG Yao-qing, YIN Yan\*, QIAN Ling, AN Jun-lin (Institute of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China). *China Environmental Science*, 2007,27(5): 584~588

**Abstract:** The climatic characteristics and causes of hazy phenomena in Nanjing were analyzed based on surface observations obtained from Nanjing Meteorological Station and five suburban stations (Jiangpu, Liuhe, Lishui, Jiangning and Gaochun) from 1961 to 2005. The frequency of occurrence of hazy phenomena had the following trend: winter > spring > autumn > summer. The annual occurrence of hazy days had been increasing during the last forty-five years, and that a negative correlation exists between visibility and relative humidity during hazy periods. Meteorological factors have a significant effect on the occurrence of hazy phenomena. For example, hazy phenomena often occur when the wind speed is small and the relative humidity was high. The increasing trend of hazy days might be resulted from the increasing number concentration of total suspended particles (TSP) in the atmosphere, especially the fine-mode particles.

**Key words:** Nanjing; haze; climatic characteristic; atmospheric pollution

霾是大量极细微的干性尘埃、烟粒、盐粒等均匀地悬浮在空气中,使水平能见度<10km、空气普遍出现浑浊的天气现象<sup>[1]</sup>.霾会造成大气能见度降低,增加交通事故的发生机率,还能诱发与心肺功能障碍有关的疾病<sup>[2]</sup>.霾天气范围的扩大和长时间持续还会影响气候,降低农作物产品的产量<sup>[3-4]</sup>.

目前,我国四大霾严重地区为黄淮海地区、四川盆地、珠江三角洲以及长江三角洲.刘爱君等<sup>[5]</sup>利用多年观测资料分析了广州霾天气的气候特征,发现广州市霾日数整体呈上升趋势.南京作为长江三角洲城市群三大中心城市之一,也受到了霾天气的严重影响.因此,作者研究了南京地区霾的时空分布特征并对霾天气状况作统计学分析,这对于南京地区霾的预测、防治及其影响

评估都有重要的意义.

## 1 资料来源

南京地区包括南京市区和江浦、六合、溧水、江宁、高淳等5县.研究所用气象资料有南京地面气象观测站1961~2005年的气象资料,包括霾天气日期、轻雾和雾日期、能见度(2:00、8:00、14:00、20:00)、日均相对湿度、日均风速等.江浦、六合、溧水、江宁、高淳等地面气象观测站1961~2005年霾天气日期、日均相对湿度和日均风速等资料.霾的天气现象均以观测员的记录为准.

收稿日期: 2007-01-12

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK2006226);南京市环境保护局环保科技项目(200609)

\* 责任作者, 教授, yinyan@nuist.edu.cn

## 2 霾的气候特征及统计规律

### 2.1 霾的月、季变化及成因

由图 1 可见,南京、江浦、六合、溧水、江宁、高淳 6 站呈现出一致的月分布特征,最多为 12 月份,其次为 1 月份,最少为 7 月份.南京站各月的霾日均远多于周边 5 站.对于南京站,12 月份霾日平均达 9.3d,1 月份平均为 8.0d,而 7 月份仅 1.7d.12 月份有 71% 以上的年份、1 月份有 73% 以上的年份都出现了霾天气.而 7 月份有近 56% 的年份未出现霾;历史上月霾日数最多为 25d(1987 年 12 月),次多 23d(1997 年 10 月).

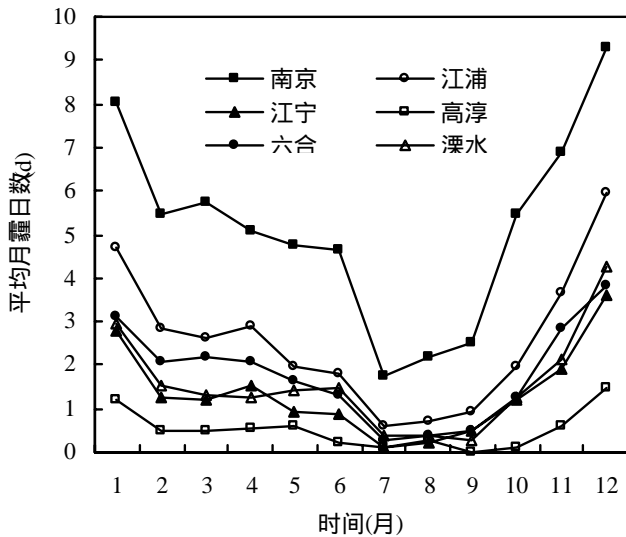


图 1 南京地区 6 站各月平均霾日数

Fig.1 Monthly-mean number of hazy days at six stations in Nanjing area

由表 1 可见,各站霾日以冬季最多,春季次之,夏季最少.据 1905~1994 年南京平均降雨量资料显示,夏季占年总量的 45.0%,春季占 25.1%,秋季占 18.9%,冬季占 11.0%<sup>[6]</sup>.降雨量与霾季节分布恰好相反.这是因为大气中的粗颗粒主要靠湿沉降去除<sup>[7]</sup>,夏季充沛的雨水对空气中悬浮的灰尘和粉尘等粗粒子起冲刷作用,不利于霾的形成.另外,夏季大气对流活动旺盛,使近地层污染物(尤其是细颗粒污染物)扩散稀释,霾较少发生.冬季,南京常位于东亚大槽的后部,地面为更迭的冷高压控制,下沉气流使低层大气生成稳定层结<sup>[6]</sup>,随气流上传的颗粒物累积在稳定层下层形成霾层,

并可持续数日.因此南京地区霾表现出夏季少、冬季多的分布特征.

表 1 南京地区 6 站各季节平均霾日数占全年的百分比

Table 1 Ratio of seasonal-mean number of hazy days to the annual-mean values at six stations in Nanjing area

观测站	占全年的百分比(%)				与降水季节分布的相关系数
	春季 (3~5 月)	夏季 (6~8 月)	秋季 (9~11 月)	冬季 (12~次年 2 月)	
南京	25.2	13.9	24.1	36.8	-0.94
江浦	24.5	10.0	21.4	44.0	-0.88
六合	27.6	9.0	21.4	42.0	-0.90
溧水	21.5	11.9	19.5	47.1	-0.81
江宁	22.5	7.8	22.4	47.3	-0.90
高淳	26.6	10.2	11.3	51.8	-0.70

### 2.2 霾的年际变化及成因

由图 2(a)可见,南京站 1961~2005 年霾日数总体呈上升趋势.南京站霾日的逐年变化大致可分为 4 个阶段,20 世纪 60 年代至 70 年代初,工业、交通运输业尚未得到全面发展,人类活动对环境的影响较小,霾很少,每年仅有几次.此阶段霾日数最低值为 0,分别出现在 1961,1965,1967,1968,1969,1972 和 1974 年.20 世纪 70 年代中期至 90 年代中期为第 2 阶段,此时工业、能源、交通的需求迅速增长,给环境带来了日趋严重的危害,霾日也进入了急剧增长阶段,呈直线上升趋势.其中 1978 年首次超过 30 次,1991 年首次超过 100 次,1994 出现历史上最大值 158 次.1995~2000 年为第 3 阶段,霾出现频率略有下降,这说明 20 世纪 90 年代中后期南京的环境保护措施得力,有效控制了污染物浓度,环境质量改善.2001 年起进入第 4 阶段,该阶段的霾天气又明显增多.

由图 2(b)可见,从 20 世纪 80 年代起南京站的霾日基本上高于周边 5 站,说明南京的城市化进程加重了市区环境恶化.自 20 世纪 90 年代末期起,除高淳站外,江宁、六合、江浦、溧水 4 站的灰霾发生次数虽不及南京站,但也呈上升趋势,尤以江宁站近几年来最为突出,2005 年霾日已达

106 次,是同期六合、江浦和溧水站的 2 倍左右。南京是季风盛行区,霾最频繁的冬季多偏北风<sup>[6]</sup>,紧靠南京市南面的江宁正好处于下风向,霾日数增加得最快。其他 3 站,北面紧靠南京的六合、西面紧靠南京的江浦、以及位于冬季下风向但距离市区较远的溧水,霾都呈增长趋势,但次数远不及江宁。高淳站位于南京地区的最南端,与南京市区隔着江宁县、溧水县,远离南京市区,因而基本上不受南京市区霾天的影响,近 10 年来霾天气很少发生。图 2(b)中江浦站 20 世纪 60 年代初至 80 年代初,霾次数一直高于其他站(包括南京站),到 70 年代末期达到将近 150 次。但是 80 年代后期至今,江浦霾日数又远低于南京,与其他郊区 4 站保持在同等水平上。这可能与当时江浦的工业结构、空气污染状况有关,需要进一步深入研究。

### 2.3 霾持续日数

南京站统计结果表明,一般情况下霾持续 1~4d,很少超过 10d。从 1990 年起,每年均有若干次霾连续出现 6d 以上。持续 10d 的霾出现过 5 次,发生在 1996(2 次),1997,2001,2003 年。连续霾日最长是 15d,出现在 2002 年 9 月 22 日~10 月 6 日。还有一次连续 13d,出现在 2003 年 10 月 21 日~11 月 2 日。霾持续日期的增长、持续数日现象的频繁发生,是霾日逐年增多的必然结果,也是霾天气形势严峻化的体现。

### 2.4 霾与雾、轻雾的相互转换

在自然界,霾和雾是可以互相转化的<sup>[8]</sup>。空气的饱和水汽压是随温度降低的,降温可导致空气的相对湿度增加。当相对湿度超过临界过饱和度时,霾滴转化成雾滴。反之,雾滴也可以脱水转化成霾滴。通常凌晨由于辐射降温产生了雾,到早晨八九点时,随着太阳高度角增大,气温也逐步升高,相对湿度降低至 90% 以下甚至更低,雾滴脱水变成霾;晚上由于辐射降温过程,霾滴吸湿增长又成为雾滴。

统计表明,在 1961~2005 年的 45 年中,南京站共有霾天数 2778d,这些霾日中有 2366d 同时出现了轻雾现象,占总灰霾次数的 85.2%;在 2778 个霾日中,霾、轻雾与雾现象均出现的天数为 284d,也就是说霾、轻雾、雾同一天出现的情形占有霾

日的 10.2%。这说明自然条件下,霾与轻雾相互转化的情况比较常见。

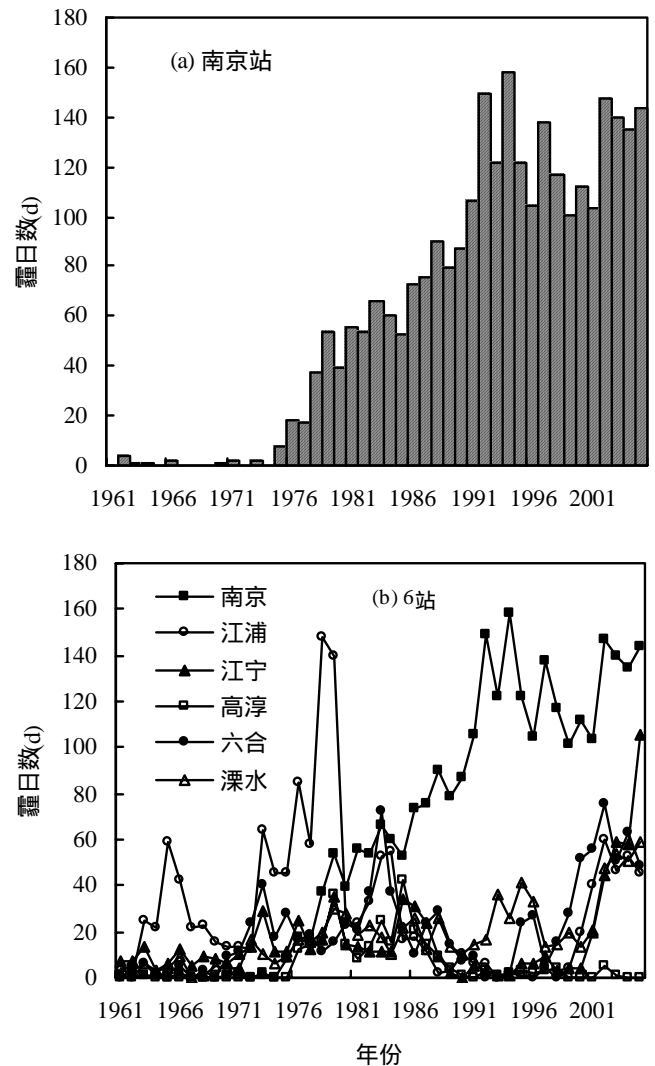


图 2 1961~2005 年南京站逐年霾日数和 6 站逐年霾日数

Fig.2 Annual hazy days at Nanjing station, and comparison with other five stations for the period from 1961 to 2005

## 3 气象因子对霾的影响

### 3.1 日均风速的影响

南京站 45 年霾资料显示,霾天气下,日均风速最大值为 6.8m/s。风速较大时,利于大气污染物水平输送;风速大,湍流也较强,利于垂直方向的输送和扩散。所以大风使得大气污染物和气溶胶不易堆积。当日均风速 > 5.5m/s 时,不大可能出现霾天气。反之,静小风则不利于污染物的扩散稀释,

易成霾,96.7%的霾日均风速均在 0~4m/s 间.

### 3.2 相对湿度对霾的影响

3.2.1 相对湿度对霾日能见度的影响 分析 45 年来南京站霾日最小(指 2:00、8:00、14:00、20:00 中最小)能见度与当日平均相对湿度相关性,得出其相关系数为-0.48.霾日能见度年平均值与相对湿度年平均值也呈负相关关系(图 3).相对湿度对能见度的影响通过气溶胶粒子的吸湿增大而产生.当气溶胶粒子中含有水溶性成分时,相对湿度大使得可溶性气溶胶更容易吸收水汽而长大,使消光作用(主要是散射作用)增加,能见度减小.

3.2.2 相对湿度对月霾日数的影响 考虑相对湿度对灰霾影响较大,把 45 年来 6 站各月的霾日按照相对湿度<90%和<70%分别统计.仿照徐梅等<sup>[9]</sup>采用的方法,用(相对湿度<90%的月霾日数-相对湿度<70%的月霾日数)相对于相对湿度<90%的月霾日数得出的百分率来分析湿度对月霾日数的影响.

的 7~9 月受影响最大,而春季 3~5 月受影响较小,与徐梅等<sup>[9]</sup>统计结论相一致.

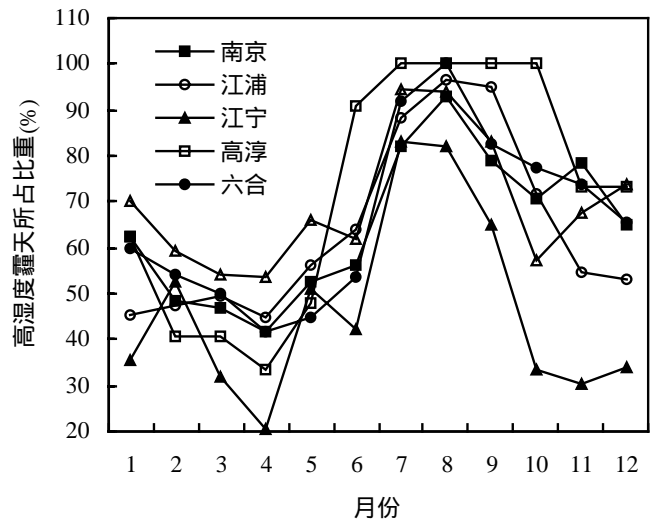


图 4 6 站高湿度霾天所占比例

Fig.4 Hazy days with high relative humidity as a percentage of the total number at six stations in Nanjing area

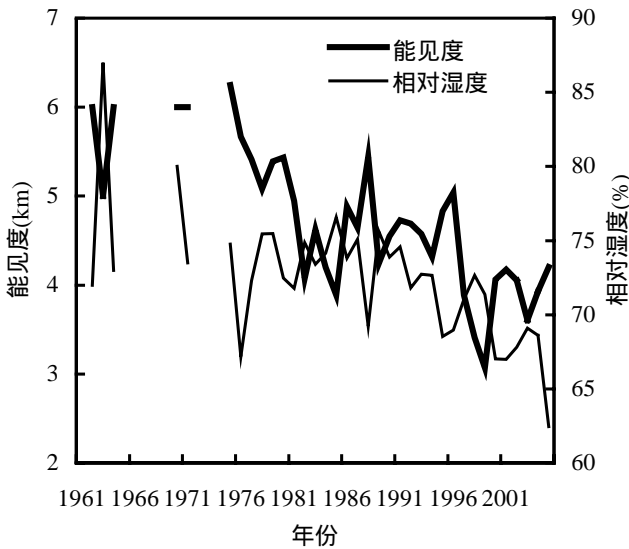


图 3 南京站霾天气下年均能见度和年均相对湿度的逐年变化

Fig.3 Annual mean visibility and relative humidity during hazy days observed at Nanjing station

由图 4 可见,相对湿度对 6 站霾日的逐月变化的影响很大,较高相对湿度(70%~90%)的霾日占总霾日的比重通常在 40%以上.可见适当的相对湿度是产生霾的有利条件.其中降水相对集中

## 4 南京地区霾的细颗粒物污染本质

霾是一种由气溶胶和气体污染造成的城市和区域性污染现象,使大气混浊,视野模糊并导致气象能见度恶化<sup>[10]</sup>.南京地区霾天气形势严峻,不仅霾日数的逐年增加,霾日下气象能见度也呈下降趋势(图 3).能见度是由大气颗粒物和气体分子对光的散射和吸收所决定,其中颗粒物的散射能造成 60%~95%的能见度减弱<sup>[11]</sup>.宋宇等<sup>[12]</sup>对北京市能见度下降与颗粒物污染的关系进行分析,发现能见度的改善或恶化与细粒子质量浓度密切相关.董雪玲等<sup>[13]</sup>也认为散射效应主要同细粒子有关,PM<sub>2.5</sub> 与大气能见度线性相关系数高达 0.96.因而大气颗粒物(尤其是 PM<sub>2.5</sub>)污染水平与霾的形成直接相关.黄鹂鸣等<sup>[14]</sup>在 2001 年春、秋、冬 3 季对南京市的 5 个典型功能区的研究,PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 的平均浓度分别为 0.280, 0.196mg/m<sup>3</sup>.以我国 1996 年颁布的 PM<sub>10</sub> 二级标准<sup>[15]</sup>(日均值<0.15mg/m<sup>3</sup>)和美国大气质量 PM<sub>2.5</sub> 标准(日均值<0.065mg/m<sup>3</sup>)为参考,超标率分别为 72%和 92%,最大超标倍数达到 6.3 和 9.0 倍.王荟等<sup>[16]</sup>于 2002 年春季对南京市城区 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>

进行测定,PM<sub>2.5</sub>/TSP 约为 56.7%~75.4%,PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 为 66.7%~81.3%。以上结果表明,近年来南京市大气中 TSP 污染严重且 PM<sub>2.5</sub> 所占比重较大。张新玲等<sup>[17]</sup>进一步对比了 1993 年和 2002 年观测期间的环境质量,发现总悬浮颗粒物的质量浓度无明显差异,而数浓度增加。这是 TSP 中细粒子所占数量比增加所致。细粒子的增加,为能见度恶化及霾天气形成提供有利条件。

由此可见,大气颗粒物(尤其是细颗粒物)污染加剧很可能是南京地区能见度恶化、霾频发的一个重要原因。

## 5 结论

5.1 南京地区霾日数最多为 12 月份,其次为 1 月份,最少是在 7 月份。6 站均呈现出冬季>春季>秋季>夏季的季节特征。

5.2 南京站 45 年来年霾日数总体呈上升趋势。从 20 世纪 70 年代中期至 90 年代中期,霾天数呈直线上升趋势。1994 年后略有下降,但最近 5 年来霾天气又明显增多。20 世纪 80 年代起南京站的霾日基本上多于周边 5 站,郊区各站的灰霾变化趋势与其相对南京市区的地理位置有关。

5.3 随着霾发生频率的增加,霾持续多日的几率也增大。霾天经常伴有轻雾的出现,有时还会出现雾。

5.4 霾天气受气象要素的影响,静小风、较高相对湿度有利于霾的出现。能见度和相对湿度呈负相关。相对湿度对南京地区降水集中的 7~9 月影响较大。

5.5 霾天气不仅出现的频率增加,霾天气下气象能见度也下降。这可能是由总悬浮颗粒物(尤其是细颗粒物)增加导致的。

### 参考文献:

- [1] 中央气象局.地面气象观测规范 [M]. 北京:气象出版社, 1979. 22-27.
- [2] 白志鹏,蔡斌彬,董海燕,等.灰霾的健康效应 [J]. 环境污染与防治, 2006,28(3):198-201.
- [3] Ramanathan V, Crutzen P J, Lelieveld J, *et al.* The Indian Ocean experiment: An integrated analysis of the climate forcing and effects of the great Indo-Asian haze [J]. *J. Geophys. Res.*, 2001,

106(22):371-398.

- [4] Ramanathan V, Ramana M V. Atmospheric brown clouds: Long-range transport and climate impacts [J]. *EM*, 2003,12:28-33.
- [5] 刘爱君,杜尧东,王惠英.广州灰霾天气的气候特征分析 [J]. 气象与城市环境, 2004,30(12):68-71.
- [6] 周曾奎,朱定真,吴震,等.南京城市气候及其灾害性天气 [M]. 北京:气象出版社, 1999.6-43.
- [7] 王明星.大气化学 [M]. 北京:气象出版社, 1999. 160-177.
- [8] 吴兑.再论相对湿度对区别都市霾与雾(轻雾)的意义 [J]. 广东气象, 2006,(1):9-13.
- [9] 徐梅,朱玉强,余文韬.天津地区灰霾特征初步分析 [J]. 过程工程学报, 2006,6(z2):127-132.
- [10] 吴兑.关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论 [J]. 气象, 2005,31(4):3-7.
- [11] 朱岗崑.大气污染物理学基础 [M]. 北京:高等教育出版社, 1990.180-181.
- [12] 宋宇,唐孝炎,方晨,等.北京市能见度下降与颗粒物污染的关系 [J]. 环境科学学报, 2003,23(4):468-471.
- [13] 董雪玲.大气可吸入颗粒物对环境和人体健康的危害 [J]. 资源产业, 2004,6(5):50-53.
- [14] 黄鹂鸣,王格慧,王荟,等.南京市空气中颗粒物 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 污染水平 [J]. 中国环境科学, 2002,22(4):334-337.
- [15] GB3095-1996,环境空气质量标准 [S].
- [16] 王荟,王格慧,高士祥,等.南京市大气颗粒物春季污染的特征 [J]. 中国环境科学, 2003,23(1):55-59.
- [17] 张新玲,张利民,李子华.南京市可吸入颗粒物数浓度变化及尺度分布 [J]. 江苏环境科技, 2003,16(4):33-34.

作者简介:童尧青(1983-),女,湖南耒阳人,南京信息工程大学大气物理学与大气环境专业硕士研究生,主要研究方向为大气成分变化与区域气候效应.发表论文 3 篇。