

中国霾天气的气候特征分析

胡亚旦^{1,2} 周自江³

(1. 兰州大学大气科学系, 730000; 2. 浙江省宁波市气象信息中心;
3. 国家气象信息中心)

提 要: 利用 1961—2007 年全国 721 个气象站的霾天气观测资料, 分析了中国大陆地区霾天气的时空分布特征。结果表明: 中国的霾天气主要分布在 100°E 以东、42°N 以南地区, 且“浊岛”现象非常明显; 霾天气的季节分布基本为冬多夏少; 近 47 年中国霾天气的总体趋势为波动增多, 线性倾向率为 3.19d/10a, 1960 年代至 1970 年代中期处于少霾的负位相, 1976—2000 年在很弱的正位相内振荡, 但近 5 年霾天气显著增多; 47 年间中国霾天气序列有 2 次明显的突变, 分别位于 1970 年代中期和 2000 年之后; 在年际尺度上, 霾天气与风力条件具有很好的反相关对应关系, $f \geq 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 日数和 $f \geq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 日数与霾日数的相关系数分别为 -0.809 和 -0.734, 表明风力条件(大气污染物稀释扩散能力)的变化对霾天气增减趋势的影响非常显著。

关键词: 霾 时空分布特征 Mann-Kendall 法 滑动 t -检验法

Climatic Characteristics of Haze in China

Hu Yadan^{1,2} Zhou Zijiang³

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000;
2. Ningbo Meteorological Information Center of Zhejiang Province; 3. National Meteorological Information Center)

Abstract: Based on available observation data from 721 meteorological stations for the period from 1961 to 2007, the temporal and spatial distribution characteristics of hazes in China were analyzed. Preliminary results show that hazes occurred mainly in eastern China (east of 100°E) and southern China (south of 42°N), with some obvious high-incidence centers called generally as “muddy island”. Hazes occurred frequently in winter, and not inclined to happen in summer. In the past 47 years, hazes in China on the whole increased with a linear tendency of 3.19 days per decade and two abrupt change points, respectively in the mid 1970s and after the year of 2000. During 1961—1975, hazes in China were less than the average, keeping negative phase, then fluctuated in weak positive phase from 1976 to 2000. In

国家自然科学基金项目(批准号:40305008)与国家科技支撑计划课题(批准号:2007BAC29B01)共同资助

收稿日期:2008年6月20日; 修定稿日期:2009年3月13日

recent 5 years, hazes were increasing quickly. The correlation coefficients, inter-annual scale, between hazes and two wind force indices (i. e. the number of days with wind force $f \geq 5$ m/s and $f \geq 10$ m/s) are -0.809 and -0.734 respectively. These significant negative correlations explain that the change of wind dilute ability for air pollution does exert obvious influence on tendency of hazes.

Key Words: haze temporal and spatial distribution Mann-Kendall method running- t test

引 言

霾是一种大量极细微的干尘粒等均匀地浮游在空中,使水平能见度小于 10.0km 的空气普遍混浊的天气现象^[1]。研究表明,霾中的物质成分除了细尘以外,还包括硫酸与硫酸盐、硝酸与硝酸盐、碳氢化合物、黑碳等粒子,因此其发生的频数与人类活动所造成的气溶胶污染密切相关^[2-3]。正是由于大量极细微的污染性气溶胶的存在,霾天气对人类的身体健康具有极大的危害性^[4]。

近几十年来,随着全球经济的发展,化石燃料的采掘和消耗量迅猛增加,使得大气中因油、煤、废弃物燃烧而产生的气溶胶粒子的总数量发生明显变化,与之相关联的霾灾害问题也日益受到了人们的关注。国外学者曾对霾的物化组分、物质来源、时空特征、气候致冷机制等进行了统计分析和模拟研究^[5-7]。国内针对霾的研究主要集中在以北京、广州为中心的两个城市群内,并就霾的物化组分、形成条件及危害等取得了一些有意义的成果^[8-12]。但是,对于中国霾天气的总体气候特征及演变趋势等问题,目前还很难从已有的研究中找到满意的答案。为此,本文基于全国高密气象观测站网(全国 721 个站)过去 47 年积累的霾观测资料,对中国的霾天气的时空分布特征及其演变趋势等进行归纳总结,以期得出更多认识。

1 资料

本文对霾的研究主要以气象台站实际观

测的霾天气出现日数作为定量表征指标。使用的 721 个站资料均取自国家气象信息中心归档的原始气象记录月报表及其信息化产品,资料经过反复检查,质量和完整性很高。资料年代为 1961—2007 年,其中时间序列长度达 47 年的站有 570 个,占 79.1%,时间序列长度达 40 年的站有 639 个,占 88.6%。此外,通过对资料的考察发现,47 年间记有霾天气的站共 642 个,占 89.0%;1961—2007 年 47 年平均霾天气日数 ≥ 1 d 的有 299 站,占 41.5%。

2 霾天气的地理分布

对于霾天气的气候区划,目前尚没有统一的标准。为较准确地描述霾天气的全国分布,本文以 1961—2007 年 47 年平均的霾天气年总日数(记作 d_{47})为基准,暂定: $1d \leq d_{47} < 10d$ 、 $10d \leq d_{47} < 20d$ 和 $d_{47} \geq 20d$ 的地区分别为霾天气的偶发区、多发区和高频区,三者基本构成了中国霾天气的主体区域。

图 1 绘制了 1961—2007 年 47 年平均霾天气年总日数的全国大致分布。可以看出,中国的霾天气主要分布在 100°E 以东、 42°N 以南地区,其中华北的中部和西部,西北的东南部,华中大部,华东大部,华南西部和南部地区 $d_{47} \geq 10d$,是灰霾天气的多发区。 $d_{47} \geq 20d$ 的高频区主要集中在人口比较密集的大城市和煤矿基地,如环北京地区、山西中南部地区、陕西和河南局部地区、长江三角洲、珠江三角洲等地,在空间上形成多个离散的“浊岛”,其中陕西西安高达 99.2d,为全国

最高值,其次是山西临汾 81.6d、河南新乡 81.5d、河北石家庄 71.7d、江苏南京 65.7d、广西梧州 63.6d、上海 58.0d、山西太原 57.8d、湖北老河口 55.2d。此外,像北京、广州、郑州、合肥、南昌等大城市的霾天气也比较频繁,分别为 24.5d、40.2d、39.5d、38.9d 和 38.3d。总之,中国中东部和南部霾天气较多,西部和东北部地区相对较少。在同一区域内,大中城市的霾天气较乡村明显偏多,“浊岛”现象非常明显。

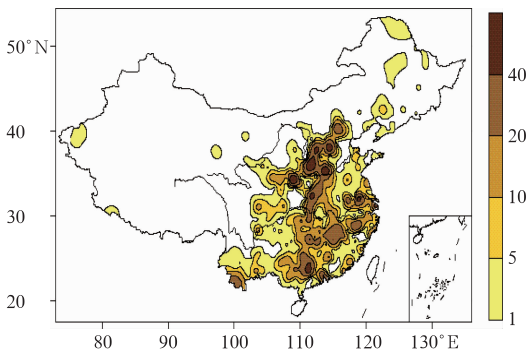


图 1 1961—2007 年 47 年平均霾天气年总日数的全国分布(单位:d)

3 霾天气的季节分布

由北京等 8 个代表站 1961—2007 年 47 年平均的霾日数的季节变化曲线(图 2)来看,霾天气的季节分布基本上是冬多夏少,这是因为我国大部分地区冬季受大陆高压控制,大气层结相对稳定,雨日雨量较少,易于低层大气中气溶胶粒子富集,并形成霾天气。而夏季的天气气候背景则正好相反,霾天气也相对较少。比较而言,各地区霾的季节分布又略有差异。例如梧州和南昌主要集中在 10 月至次年 1 月,期间霾日数分别占全年总出现日数的 65.2%、60.9%;西安以 11 月至次年 3 月为高发期,霾日数占全年的 57.4%;郑州和广州 11 月至次年 1 月霾天气较多,分别占全年的 44.2%和 41.9%,上海也大致类

似,但在 3 月份有个明显的次高点;太原霾天气的四季变化不太明显,最多月份(12 月)约为最少月份(6 月)的 2.4 倍,相对较小;北京四季变化更不明显,且夏季略多于冬季(文献[13]也有同样的认识),这在中国霾的季节分布中是极其特殊的。进一步考查北京地区近 5 年的空气质量报告、PM₁₀资料及其他气象资料,发现尽管北京冬季的空气质量略差于夏季,即气溶胶污染重于夏季,但是在局地的气候背景下,这种差异最终造成的是雾天气在冬季显著增多,而霾的观测记录并没有增加。天津地区也与此类似。

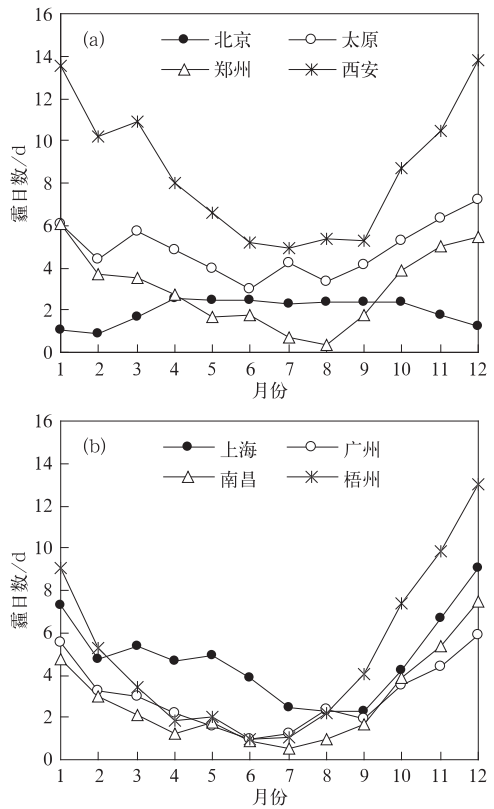


图 2 北京等 8 个代表站霾日数的季节变化

4 近 47 年霾天气的变化

4.1 年代际和年际变化

表 1 是北京等 8 个代表站 1961—2007

年各年代平均的年总霾日数。统计结果表明,除西安 2001—2007 年的霾日数少于 1960 年代外,其他几个代表站 2001—2007 年的霾日数均多于 1960 年代,并且前后差异还相当明显,例如南昌、广州、上海和梧州 2001—2007 年的霾日数分别是 1960 年代的 66.1 倍、42.4 倍、18.3 倍和 22.1 倍。可见,我国东部和南部大中城市霾天气是在增多

的,这可能与区域经济发展所引起的大气污染物排放显著增多有关。另外,考察发现西安霾日数的年代际变化与沙尘天气日数的变化有很好的一致性,1960 年代到 1980 年代中期,西安的沙尘天气频发,霾日数也明显偏多,此后,沙尘天气减少,霾日数也显著减少。表明沙尘气溶胶粒子可能是西安霾天气的最主要物质源。

表 1 北京等 8 个代表站各年代的平均年总霾日数

代表站	多年平均的年总霾日数/d					
	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2007	1961—2007
北京	6.5	46.6	18.4	16.6	38.7	24.5
太原	12.4	50.0	142.8	41.3	36.1	57.8
郑州	6.6	27.4	47.2	47.7	81.1	39.5
西安	128.8	228.0	65.6	34.9	13.0	99.2
上海	7.7	17.7	91.4	57.2	141.0	58.0
广州	2.0	9.3	46.4	71.8	84.7	40.2
南昌	1.6	4.7	28.6	71.3	105.7	38.3
梧州	5.5	30.6	73.0	104.5	121.6	63.6

为概括出中国霾天气的总体变化特征,本文将图 1 所示的偶发区、多发区和高频区(即 $d_{47} \geq 1d$ 的霾天气主体区域)内共 299 个站逐年的霾日数进行算术平均,得到 1961—2007 年中国霾天气主体区域平均的霾日数时间序列(图 3)。曲线显示出 1960 年代至 1970 年代中期,中国霾天气总体较少,霾日数明显低于 47 年的平均值,对应的九点二次滑动平均值^[14]处于负位相。其后的二十多年(1976—2000 年)霾天气变化趋势不明显,仅在很弱的正位相内振荡,但是最近 5 年霾天气却显著增多。中国霾天气 47 年的总体趋势为波动增多,线性倾向率为 3.19d/10a。47 年间,1964 年平均每站仅出现 2.6d 霾,是历史最低值,而 2007 年却达到 29.3d,是历史峰值,后者是前者的 11.3 倍。进一步利用 Mann-Kendall 法^[12](取显著性水平 $\alpha = 0.05$)和滑动 t -检验法^[12](取显著性水平 $\alpha = 0.01$ 、子序列 $n_1 = n_2 = 5$)检测出中国霾天气序列有 2 次明显的突变,其一位于 1970 年中

期,以 1975 年为突变点;其二位于 2000 年之后,但因 2000 年以后的序列过短,其突变点暂不能确定,需进一步观察研究。

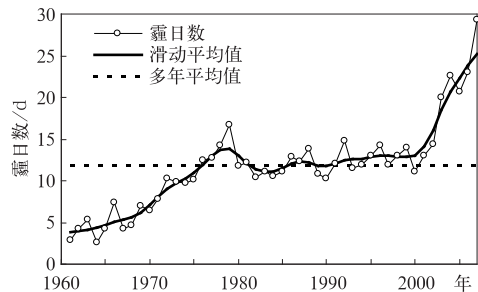


图 3 中国霾天气主体区域内 299 站平均霾日数的年际变化

中国霾天气显著增多(即线性拟合趋势 b 通过 $\alpha = 0.05$ 的 F 检验)的区域大致对应着霾天气的多发区和和高频区,主要位于华北中南部、长江中下游和华南等经济发达或经济快速发展地区。这些地区霾天气的线性增多趋势普遍超过了 3d/10a(图 3),决定着中国霾天气的总体变化趋势,因此从防灾减

灾的角度,这些地区需要给予重点关注。

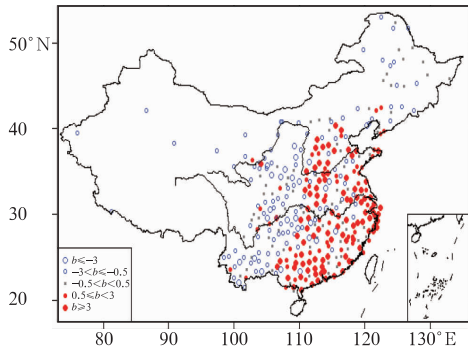


图4 1961—2007年霾日数变化趋势 b 的空间分布(d/10a)

4.2 风力条件的变化对霾天气增减趋势的影响

研究成果^[15]表明,霾天气的发生频数首先取决于其物质成分(大气污染物)的聚集强度,亦即在相同的天气气候背景下,大气污染的排放越少,霾天气发生的可能性就越小;反之,大气污染的排放越强,霾天气的发生频次就越高。这就是上述霾天气空间分布不均匀的主要原因。

同样,在大气污染的排放强度大致稳定的情况下,由于不同的天气气候形势,污染物的富集强度(或污染物浓度)可能相差几十倍以上,且污染物的滞留时间也相差悬殊,并最终表现出霾天气的强度和频次的差异。究其原因,主要是大气对污染物的稀释扩散能力随着气象条件的不同而存在差异。地面风力条件被认为是大气污染物稀释扩散的最直接因素之一。为考察年际尺度地面风力条件对霾天气增减趋势的影响,本文统计了上述霾天气主体区域内299个站平均的最大风速 $f \geq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $f \geq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的日数,发现两者均呈波动减少趋势(图5)。将其与图3的霾日数变化曲线对比,发现霾日数与风力条件具有很好的反相关对应关系。 $f \geq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 日数和 $f \geq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 日数与霾日数的相

关系数分别为-0.809和-0.734,远远高于99.9%的显著性水平。如此高的相关关系表明风力条件的变化对霾天气增减趋势的影响非常显著,也进一步证明了风力条件是大气污染物稀释扩散的最主要动力源。其作用表现在两个方面^[13]:其一是风的水平搬运作用,排入到大气中的污染物在风的推动下,被输送到其他地区;其二是风对大气污染物的稀释作用,污染物随风移动并得到风的搅动,不断与周围相对干净的空气混合而最终稀释。

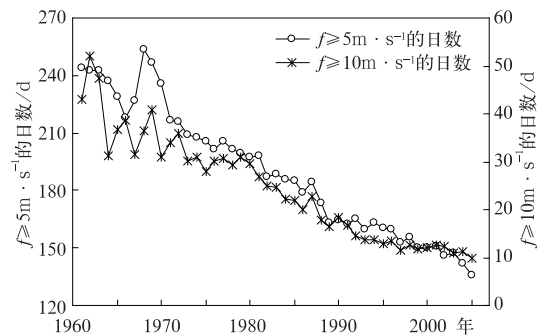


图5 中国霾天气主体区域内299站平均风力条件的年际变化

进一步考察发现,在上述的华北中南部、长江中下游和华南等经济发达或经济快速发展的地区,近5年风力 $f \geq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 日数显著减少,同时大气悬浮物浓度 PM_{10} 也有较明显的上升趋势,两者相叠加,共同导致了近几年霾日数的激增。

5 结论

通过以上分析,可以对中国霾天气的气候特征得出以下几点认识。

(1) 中国的霾天气主要分布在 100°E 以东、 42°N 以南地区,即中东部和南部较多,西部和东北部地区相对较少。在同一区域内,大中城市的霾天气较乡村明显偏多,“浊岛”现象明显。

(2) 霾天气的季节分布基本上是冬多夏

少,这是因为我国大部分地区冬季受大陆高压控制,大气层结相对稳定,雨日雨量较少,易于低层大气中气溶胶粒子富集,并形成霾天气。

(3) 近 47 年中国霾天气的总体趋势为波动增多,线性倾向率为 3.19d/10a,1960 年代至 1970 年代中期处于少霾的负位相,1976—2000 年在很弱的正位相内振荡,但近 5 年霾天气显著增多。47 年间中国霾天气序列有 2 次明显的突变,其一位于 1970 年中期,以 1975 年为突变点;其二位于 2000 年之后。

(4) 在年际尺度上,霾天气与风力条件具有很好的反相关对应关系, $f \geq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 日数和 $f \geq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 日数与霾日数的相关系数分别为 -0.809 和 -0.734,表明风力条件的变化对霾天气增减趋势的影响非常显著,证明了风力条件是大气污染物稀释扩散的最主要动力源。

致谢: 国家气象信息中心张强为本文绘制了图 1 和图 4,特此致谢。

参考文献

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 21-27.
- [2] 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.
- [3] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. 气象, 2006, 32(4): 9-14.
- [4] 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.
- [5] Waller R E, Brooks A G F, Carwright J. An electron microscope study of particles in town air[J]. Int J Air Water Pollut. 1963(7): 779-786.
- [6] Malm W C. Characteristics and origins of haze in the continental united states[J]. Earth-Science Reviews, 1992, 33(1): 1-36.
- [7] Kerr R A. Climate study unveils climate cooling caused by pollutant haze[J]. Science, 1995, 268(5212): 802-802.
- [8] 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[J]. 气象, 2000, 26(3): 40-42.
- [9] 兰措, 张永新. 冬季西宁市市区上空阴霾的监测分析[J]. 气象, 2002, 24(6): 26-28.
- [10] 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, 2005, 30(12): 68-71.
- [11] 钱峻屏, 黄菲, 杜鹃, 等. 广东省雾霾天气能见度的时空特征分析 I: 季节变化[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1324-1330.
- [12] 吴兑, 邓雪娇, 毕雪岩, 等. 细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降[J]. 热带气象学报, 2007, 23(1): 1-6.
- [13] 中国气象局. 中国灾害性天气气候图集(1961—2006 年)[M]. 北京: 气象出版社, 2007, 97-103.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第 2 版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 36-70.
- [15] 吴兑, 廖国莲, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲霾天气的近地层输送条件研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(1): 1-9.