

江苏省大雾的变化特征及气溶胶对其影响

田心如¹,韩永翔^{2*},陈广昌³,武艳⁴,王伟丽¹(1.江苏省气象台,江苏 南京 210008; 2.南京信息工程大学大气物理学院,江苏 南京 210044; 3.江苏天安防雷工程有限责任公司,江苏 南京 210009; 4.徐州市气象局,江苏 徐州 221002)

摘要:通过分析近 50 年江苏长序列大雾日数、持续时间、时空分布规律以及其成因,探讨气溶胶对大雾形成的可能机制.研究表明:大雾可能出现在任何时候,但在清晨和秋季出现的频率最多.它们的变化可从该区的季节环流背景特征和雾的形成机理得以解释.年代际大雾日变化大体呈现出抛物线(先升后降)分布特征,而大雾持续时间一直呈波动增长趋势,气象因素不能全部解释其变化特征.气溶胶对大雾形成和持续时间可能有重要影响,气象因素和气溶胶共同作用可解释江苏省年际大雾日变化和持续时间的变化特征.

关键词: 大雾; 持续时间; 气象要素; 气溶胶; 相互作用

中图分类号: X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2014)10-2485-05

Heavy fog's climate characteristics and possible effect of aerosol in Jiangsu Province. TIAN Xin-ru¹, HAN Yong-xiang^{2*}, CHEN Guang-chang³, WU Yan⁴, WANG Wei-li¹(1.Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008, China; 2.School of Atmospheric Physics, Nanjing University Information and Technology, Nanjing 210044, China; 3.Jiangsu Tianan Lightning Proof Engineering Corporation Limited, Nanjing 210009, China; 4.Xuzhou Meteorological Bureau, Xuzhou 221002, China). *China Environmental Science*, 2014,34(10): 2485-2489

Abstract: Heavy fog days, duration hours, temporal and spatial distribution and the causes of Jiangsu heavy fog in recent 50 years were analyzed to explore aerosol effect mechanism on heavy fog formation. The result show that heavy fog might occur at any time, but the most frequent time was early morning and autumn. The changing rule could be explained by seasonal circulation background characteristics of the area and the fog formation mechanism. The days of heavy fog changes annually showed parabolic distribution (up then down) in recent 50 years, and the duration hours of heavy fog shows a volatility rising tendency. Meteorological factors could not explain all the variation characteristics. Aerosol might have important effects on the formation and duration of heavy fog. The combined effects of meteorology factors and aerosol could explain the changing characteristics of heavy fog days and duration hours.

Key words: heavy fog; duration hours; meteorology factor; aerosol; interaction

雾是由大量悬浮在近地面空气中的微小水滴或冰晶组成的气溶胶系统,是近地面层空气中水汽凝结(或凝华)的产物,是一种自然现象,它对能见度产生很大的影响,特别是能见度在 1km 以下的大雾,对环境、交通、供电、军事活动等造成严重影响.随着人类活动的加剧,特别是人为气溶胶的大量排放,使得原有的自然雾过程受到干扰,它不但使雾的宏微物理结构发生变化,而且使原本无毒的自然雾因各种有毒气溶胶的加入而对人体健康产生重大的危害.大雾所造成的经济损失与发生区域的经济水平高低有密切的联系.自古以来一直都是我国经济水平发展最高地区之一的江苏省,境内大部为海拔较低的丘陵和

辽阔的平原,长江、淮河两大水系横贯全省,水网密布,水资源丰富,是我国大雾发生频繁的地区之一.经济发达、人口稠密、城市化水平高、高度集约化导致其承灾能力弱,大雾所造成的经济损失也随着 GDP 的增加而增加.同时,江苏省也是我国气溶胶排放最严重的区域之一,气溶胶的巨量排放会对雾的宏微物理结构产生重大影响,而这些影响会在雾的气候特征表现出来,是研究气溶胶与雾相互作用的最佳区域之一.

雾的形成是由多种天气条件、环境因素决定

收稿日期: 2013-12-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41375158)

* 责任作者, 研究员, han-yx66@126.com

的,其形成受到环流背景、局地气温、相对湿度、风速、大气稳定度、大气成分(各种颗粒物)等诸多条件的影响.多年来,国内外众多学者从大雾的物理结构、局地大雾的宏微观结构及物理成因、大雾的数值模拟、气候及变化特征等方面进行了许多研究,对不同地区大雾进行了大量的观测试验.在成雾的宏观背景方面,一方面对雾过程的数值模拟揭示了雾与气候条件可能存在密切关系,雾自身物理量的长时间序列的特征及变化越来越受到重视,雾日数统计分析表明了我国大部分地区年雾日数呈减少的趋势^[1-9],大雾的减少趋势和气温升高、相对湿度的减少有一定的关系^[10-12];另一方面,对雾的研究初步揭示了雾与生态环境之间的密切关系^[13],而大城市或经济发展较快地区霾日却呈现增加的趋势^[14-18],这可能与气溶胶的增加密切相关.然而,目前关于气溶胶与雾相互作用的研究仅限于数值模拟和零碎的观测研究,对它们相互作用在气候上的显现很少做过系统的研究.本文试图在江苏省这一研究气溶胶与雾相互作用的最佳区域,通过分析近50年长序列大雾日数、持续时间、时空分布规律以及其成因,探讨气溶胶对雾形成的可能的机制.

1 资料来源与研究方法

使水平能见距离降低到 1km 以下的雾称为“大雾”.水平能见距离在 1km 以上 10km 以下时称为“轻雾”,超过 10km 的称为“霪”.“霾”是指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 10km.雾和霾是两种性质不同的视程障碍现象,雾由大气水成物组成,而霾则由尘埃微粒组成.

本文研究的是能见度小于 1km 的大雾天气,一日内任意时刻观测到能见度小于 1km 的大雾,无论持续时间长短,即作为一个大雾日.以大雾生成到消散记为一次大雾过程,期间所经历的时间称为过程持续时间.大雾日数、霾日、气温、湿度、风速、能见度等各类气象资料取自江苏省气象档案馆整理的地面观测资料,共计 59 个台站,资料年代统一取为 1961~2010 年.由于全省仅有南京、淮安、徐州、赣榆、射阳、东台、吕泗、

溧阳 8 站 1961 年以来持续进行夜间观测,有完整的雾生、持续、雾消的时间记录,且这 8 站在江苏全省分布较为均匀,所以本文选该 8 站代表全省展开研究.按分钟统计大雾持续时间的长短.将大雾持续时间 t 分为 4 个等级:0~3h(1 级)、3~6h(2 级)、6~12h(3 级)以及 >12h(4 级),年内持续时间的总和除以过程次数,即为年平均持续时间.

PM₁₀ 浓度资料来自南京市环保局.选取 2001 年 6 月~2006 年 12 月间大雾当日,南京市迈皋桥、玄武湖、山西路、草场门、瑞金路、中华门 6 个测点 PM₁₀ 浓度的平均值.

2 结果分析

2.1 大雾日数的时空分布特征

由于雾的生成具有很强的局地性,大气中水汽含量丰富、近地层空气层结比较稳定、暖气流流经冷表面地区或辐射降温剧烈等条件决定雾的生成,因此雾的分布较复杂且具明显季节性.

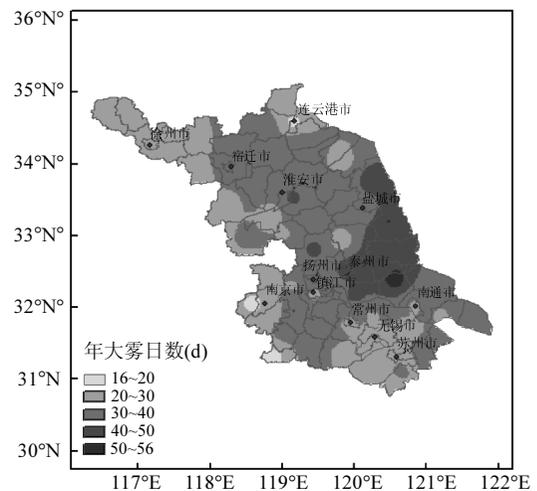


图 1 1961~2010 年平均江苏省年大雾日数空间分布
Fig.1 Spatial distribution of annual fog days from 1961 to 2010

1961~2010 年江苏省年平均大雾日数为 16.1 (高淳)~56.4(如皋)天,地域分布有明显差异(图 1),大雾日数大致呈东多西少分布,中部沿海最多,在 40d 以上,盐城及南通部分县市多达 50d 以上,该省西部和、东北、东南部大部分地区在 30d 以下,其中东北部和西南部个别地区不足 20d.

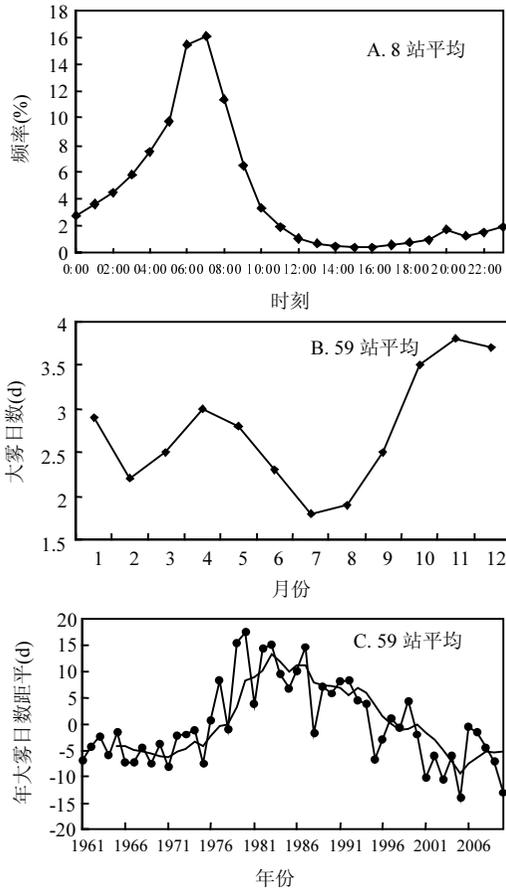


图2 1961~2010年平均日内各时段大雾频率、大雾日数月际及年际变化

Fig.2 Daily fog frequency, changes of monthly fog days and Annual fog days in Jiangsu during 1961 to 2010

由图 2A 可见,大雾 24h 内各时段均可存在,但在清晨 06:00~07:00 时,大雾频次最高(30%), 7:00 以后急剧下降.10:00 之后到次日 2:00 之前大雾频次最少.各月也均发生大雾(图 2B),并具有双频峰特征,主要频峰在 11 月份,平均每年出现 3.8d,12 月略少于 11 月,次峰在 4 月,平均每年出现 3d.盛发期有两段:10 月至次年 1 月和 4~5 月份.则四季中以秋季大雾最多,占全年的 29.8%,冬春季次之,分别占全年的 26.7%、25.2%,夏季最少,占 18.2%.年代际大雾日变化大体呈现出抛物线(先升后降)的分布特征(图 2C),1960s 至 1970s 中后期偏少,然后迅速增加,在 1980 年前后达到最高峰,从 1990s 初期开始到目前呈现出逐年下降的态势.

2.2 大雾过程平均持续时间的变化

对 1961~2010 年各等级大雾过程次数作平均(图 3),可见一年中以持续 0~3h 的大雾为最多,占各级大雾的 63%,平均每年出现 24.3 次,随着持续时间的延长,大雾次数相应减少,>12h 的大雾,平均每年仅出现 0.8 次.春、夏、秋、冬四季和年具有相同的规律,即以持续 0~3h 的大雾为最多,其中出现在夏季的大雾中,有 76.7%持续时间在 3h 以内,随着持续时间的延长,大雾次数响应减少.四季之间,持续 0~3h 的大雾次数各季相差不大.

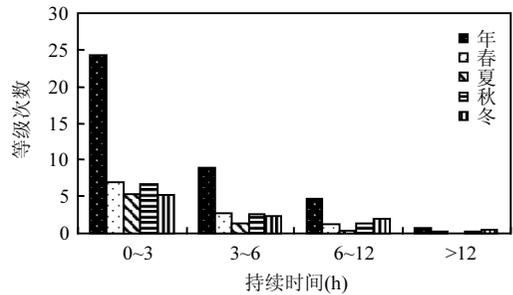


图3 8站平均年及四季各等级大雾持续时间
Fig.3 Annual and seasonal fog duration hours of eight monitoring stations

1 级:持续 0~3h、2 级:3~6h、3 级:6~12h、4 级:>12h

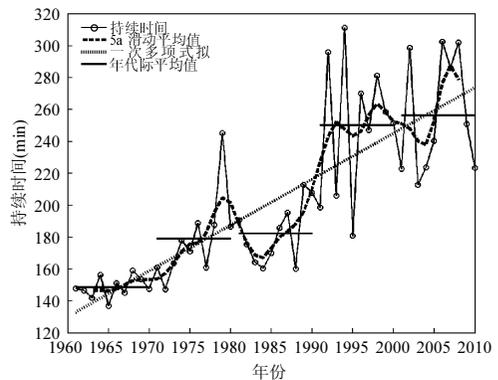


图4 8站平均大雾过程年持续时间变化(1961~2010)
Fig.4 Annual variation of average fog duration hours of eight monitoring stations from 1961 to 2010

对 8 站各次大雾的持续时间按年份进行累计求和,然后除以该年大雾发生的次数,得出历年大雾年平均持续时间.从其年代际变化(图 4)可看出,从 1960s 初期到目前持续时间呈明显波动增长趋势,其中 1970s 和 1990s 增长迅速.1960s 年均持续时间为 120~180min,为各年代中最少,1970s 较

1960s 增长迅速,8 站平均增长了 30min,1980s 增长缓慢,1990s 较 1980s 增长较迅速,8 站平均增长了 70min,2000s 较 1990s 仅增长 6min.

2.3 大雾日数变化的气象成因分析

表 1 全省平均大雾日数与全省平均气温、平均相对湿度的相关系数

Table 1 The related coefficient of average fog days, temperature and relative humidity

项目	全省平均气温	平均相对湿度
相关系数	-0.3336	0.4382
显著检验 α 值	0.02	0.01

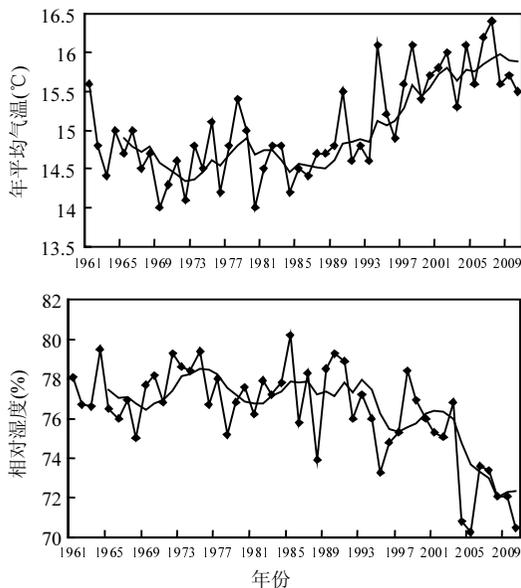


图 5 江苏省 1961~2010 年逐年年平均气温、年平均相对湿度及 5 年滑动平均趋势

Fig.5 Variation of annual temperature, relative humidity and five years smoothing trend in Jiangsu from 1961 to 2010

江苏省河网较多,低层空气中富含水汽,大雾主要为辐射雾和平流雾,其基本的成雾气象条件是:风速小、空气层结稳定(常有逆温)、相对湿度大.因此,关于日内各时次大雾频率的变化以及季节性变化可以从该区的季节环流背景特征和雾的形成机理得以解释.大雾在清晨出现频次最高,日出后急剧下降,是因为当相对湿度大于 90%以上时,夜间辐射冷却在清晨日出前最为强烈,空气层结稳定,且清晨多微风,气象条件对形成大雾非常有利.而日出后,随着太阳辐射的加强,湍流也相应加强,空

气层结开始变得不稳定.同时,随着温度的上升,相对湿度下降,这些气象条件均不利于大雾的形成或维持,所以日出后大雾快速消散.关于季节性变化,秋、冬季北方冷空气逐渐控制该区,夜间辐射降温加剧,且清晨多微风,水汽易于凝结,故大雾日数多;春季雨水较多,空气湿度较大,同时降雨过后降温明显,有利于大雾的形成.夏季是一年中温度最高的季节,夜间辐射冷却不强,导致降温平缓,空气湿度难以达到饱和,同时没有较强冷平流影响,所以大雾日数较少.大雾的变化和气温、相对湿度有密切的关系^[10-11].为此,选择平均气温、平均相对湿度、平均风速、雨日、雨量等气象因子,计算了 1961~2010 年全省平均大雾日数与其的相关系数,发现仅气温、相对湿度与大雾日数呈较好的相关关系(表 1),温度升高、相对湿度减小均不利于大雾的形成.然而,每个气象因子均仅能解释部分时段.如气温与大雾日数的变化趋势一致的时段主要在 1986 年以后;相对湿度较一致的时段主要在 1960s 至 1970s 初期以及 1990s 以后(图 5).显然,大雾日数的年代际变化的原因较为复杂,除了气象因素外,还可能与气溶胶粒子有关,需要进一步的研究.

3 讨论

研究表明,气溶胶粒子一方面可成为雾滴凝结核,使雾滴数密度增大,尺度减小,含水量降低,从而对雾的微结构产生影响^[19];另一方面由于其辐射效应,在夜晚增加大气向地面的长波逆辐射,减小地面辐射降温^[20-21],直接影响雾的形成.本文认为,当相对湿度较小,气溶胶的增加的辐射效应,将减小地面辐射降温,使雾不易形成;同时过多的气溶胶作为雾滴凝结核争食有限的水分,使雾(尤其是轻雾)不能形成,进而导致雾日的减少和霾日的增加.1985 年以后相对湿度开始逐年下降,而人类产生的气溶胶急剧增加,气象因素和气溶胶共同作用可解释江苏省年际大雾变化从 1960s 初期上升到 1985 年后开始下降的事实.大雾持续时间的年代际变化从 1960s 初期到目前一直呈显出波动增长趋势(图 4),而这种趋势显然是气象因子的变化特征所无法解释的.在研究大气气溶胶与雾的周末效应中发现^[22],南京大雾的

持续时间与 PM_{10} 的变化非常密切,而 PM_{10} 与霾的发生有密切的联系,因而可用长序列的霾日来反映大气气溶胶的年代际变化.图 6 是江苏省历年霾日数与大雾过程平均持续时间年变化图,可看出二者有极显著的同步线性上升趋势,相关系数达到 0.6125,通过了信度 99.9%的检验.这种相关有可能是气溶胶对大雾的影响在气候上的显现.当大雾形成后,气溶胶的增加导致雾滴凝结核的增加,使雾滴数密度增大,但因大气中水分充足,其尺度不变甚至增加,大雾增浓,从而进一步增加大气的稳定度使雾的持续时间增长,即使太阳出来后,大雾的遮挡,将使低层大气中上层增温,地表温度降低,低层大气稳定度增加,导致雾消时间推迟,从而使大雾持续时间增长.

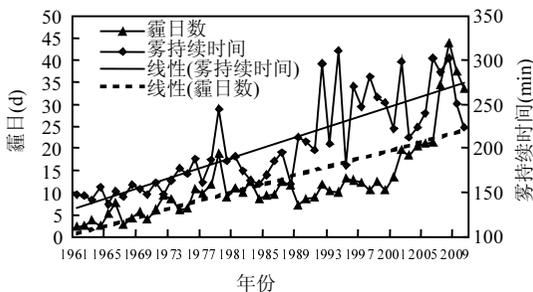


图 6 江苏省 1961~2010 年平均霾日数与大雾过程平均持续时间年变化

Fig.6 Variation of annual average haze days and fog duration hours from 1961 to 2010

4 结论

4.1 大雾可能出现在任何时候,但清晨、后秋前冬出现的频率最多.日内各时次大雾频率的变化以及季节性变化可以从该区的季节环流背景特征和雾的形成机理得以解释.

4.2 年代际雾日变化大体呈现出抛物线(先升后降)的分布特征,而大雾持续时间的年代际变化从 1960s 初期到目前一直呈显出波动增长趋势.它们的形成原因与气象因素密切相关,但不能全部解释其变化特征.

4.3 气溶胶对大雾形成和持续时间有重要影响.气溶胶的增加降低了地面辐射降温,同时作为雾滴凝结核争食有限的水分,二者共同使雾不易形

成.但当大雾形成后,将导致雾滴凝结核增加,雾滴数密度增大,但其尺度不变甚至增加,形成浓雾.浓雾增加大气的稳定度,进而导致雾消时间推迟,从而使雾持续时间增长.

参考文献:

- [1] 宫世贤,凌升海.西双版纳雾在减少 [J]. 气象, 1996,22(11):10-14.
- [2] 李子华,涂晓萍.考虑湿度影响的城市气溶胶夜晚温度效应 [J]. 大气科学, 1996,20(3):359-366.
- [3] 吴洪,柳崇健,邵洁,等.北京地区大雾形成的分析和预报 [J]. 应用气象学报, 2000,11(1):123-127.
- [4] 吴滨,施能,李玲.福建近 44 年雾日趋势变化特征及可能影响因素 [J]. 应用气象学报, 2007,18(4):497-504.
- [5] 马禹,任宜勇,陈春艳,等.40 年来新疆雾的演变特征及大雾天气过程分析 [J]. 干旱区地理, 2005,28(4):474-478.
- [6] 贺皓,吕红,徐虹.陕西省大雾的气候特征 [J]. 高原气象, 2004,23(3):407-411.
- [7] 周月华,王海军,吴义城.增暖背景下武汉地区雾的变化特征 [J]. 气象科技, 2005,33(6):509-512.
- [8] 周自江,朱燕君,姚志国,等.四川盆地区域性浓雾序列及其年际和年代际变化 [J]. 应用气象学报, 2006,17(5):567-573.
- [9] 刘小宁,张洪政,李庆祥,等.我国大雾的气候特征及变化初步解释 [J]. 应用气象学报, 2005,21(2):220-230.
- [10] 王丽萍,陈少勇,董安祥.中国雾区的分布及其季节变化 [J]. 地理学报, 2005,60(4):689-697.
- [11] 王丽萍,陈少勇,董安祥,等.气候变化对中国大雾的影响 [J]. 地理学报, 2006,61(5):527-536.
- [12] 孙景群.能见度与相对湿度的关系 [J]. 气象学报, 1985,43(2):230-234.
- [13] 黄玉仁,黄玉生,李子华,等.生态环境变化对雾的影响 [J]. 气象科学, 2000,20(2):129-135.
- [14] 王喜全,孙明生,杨婷,等.京津冀平原地区灰霾天气的年代际变化 [J]. 气候与环境研究, 2013,18(2):165-170.
- [15] 吴兑,吴晓京,李菲,等.1951-2005 年中国大陆霾的时空变化 [J]. 气象学报, 2010,68(5):680-688.
- [16] 童尧青,银燕,钱凌,等.南京地区霾天气特征分析 [J]. 中国环境科学, 2007,27(5):584-588.
- [17] 赵普生,徐晓峰,孟伟,等.京津冀区域霾天气特征 [J]. 中国环境科学, 2012,32(1):31-36.
- [18] 王明洁,朱小雅,陈申鹏.1981-2010 年深圳市不同等级霾天气特征分析 [J]. 中国环境科学, 2013,33(9):1563-1568.
- [19] 李子华.中国 40 年来雾的研究 [J]. 气象学报, 2001,59(5):616-624.
- [20] 王海啸,黄建国,陈长和.城市气溶胶对太阳辐射的影响及其在边界层温度变化中的反映 [J]. 气象学报, 1993,51(4):457-464.
- [21] 奚晓霞,权建农,陈长和,等.兰州市城关区冬季 TSP 的监测分析及其与辐射的关系 [J]. 高原气象, 2002,21(4):427-431.
- [22] 田心如,白莉娜,唐红昇,等.江苏省大雾持续时间及相关要素的周末效应 [J]. 环境科学与技术, 2012,35(12):117-122.

作者简介: 田心如(1970-),女,江苏沛县人,高级工程师,硕士,主要从事气象灾害和应用气象服务研究.发表论文 15 篇.