

范新强,孙照渤. 1953—2008 年厦门地区的灰霾天气特征 [J]. 大气科学学报, 2009, 32 (5): 604-609.

1953—2008 年厦门地区的灰霾天气特征

范新强^{1,2}, 孙照渤¹

(1. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044; 2. 厦门市气象局, 福建 厦门 361012)

摘要: 利用厦门气象局气象观测站 1953—2008 年地面气象观测资料和厦门市环保局 2001—2005 年 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_x 环境监测资料, 分析了厦门地区霾天气的气候特征、气象要素特征, 及其影响因素, 探讨了大气污染物与霾天气的关系。结果表明, 在过去的 50 多 a 中, 年日照时数及能见度有明显下降的趋势; 厦门市灰霾日数总体呈上升趋势, 尤其近十年来更加明显; 厦门夏秋季节霾日少于冬春季节; 2000 年以来, 随着霾日的增加, 霾的持续日数也迅速增加; 风速增大不利于霾的形成, 高相对湿度有利于霾的形成; 近年来大气污染日益严重, 污染物 (SO_2 、 NO_x 、 PM_{10}) 浓度增大导致霾日数增加, 能见度下降。

关键词: 厦门; 霾; 大气污染

中图分类号: P402 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097 (2009) 05-0604-06

Analysis on Features of Haze Weather in Xiamen City during 1953—2008

FAN Xin-qiang^{1,2}, SUN Zhao-bo¹

(1. School of Atmospheric Sciences, NU IST, Nanjing 210044, China; 2. Xiamen Meteorological Bureau, Xiamen 361012, China)

Abstract: Climate features, meteorological element characteristics of haze in Xiamen and the influencing factors are explored by using the surface meteorological observations during 1953—2008, and the influences of air pollutants on haze are discussed based on the PM_{10} , SO_2 , NO_x monitoring data obtained from Xiamen Environmental Protection Bureau during 2001—2005. Results indicate that annual sunshine hours and visibility reduced remarkably in Xiamen in the past 50 years; haze days overallly increased, especially in recent 10 years; haze-days in summer and autumn was less than that in winter and spring; since 2000, along with increase in haze days, the persistent haze increased rapidly; the increase in wind speed is disadvantageous to, but high relative humidity is advantageous to the formation of haze; the increasing concentration of air pollutants (SO_2 , NO_x , PM_{10}) in recent years has resulted in increase in haze days and decline in visibility.

Key words: Xiamen; haze; air pollution

0 引言

我国在过去 30 a 对大气的观测中, 霾和低能见度的变化现象越来越引起广泛的关注。近年来, 随着我国社会经济的快速发展, 工业化、城市化、交通运输现代化迅速发展, 化石燃料 (煤、石油、天然气)

的消耗量随之迅猛增加, 汽车尾气、燃油、燃煤、废弃物燃烧直接排放的气溶胶粒子和气态污染物通过光化学反应产生的二次气溶胶污染物日增, 使得霾现象日趋严重, 已经成为一种新的灾害性天气, 尤其在我国的广州^[1-5]、北京^[6]、南京^[7]等工业较为发达的大城市更为严重。

收稿日期: 2009-07-10; 改回日期: 2009-09-09

基金项目: “厦门市灰霾天气特征及与城市大气环境质量关系的研究” 资助项目 (3502Z20092020)

作者简介: 范新强 (1957—), 男, 福建松溪人, 高级工程师, 研究方向为短期气候预测、大气气溶胶, xmfanxinjiang@163.com.

厦门作为一个旅游城市,历年来环境监测的大气污染物各项指标均高于国家大气质量一级标准,但近年来随着经济的发展,灰霾现象也日趋严重^[8-9],已经成为当地新的灾害性天气,不仅严重影响市民群众的身体健康、增加交通安全隐患,而且还加大了光化学烟雾污染的可能性,进而影响到全市社会经济的可持续发展。

因此,作为全国文明城市、国家环境保护模范城市,如何及时准确预测灰霾天气,降低灰霾天气的发生频率,减少和降低灰霾天气带来的不利影响,对厦门来讲是非常紧迫的一项工作。尤其在“海西”建设发展中,这不仅是贯彻落实科学发展观的迫切需要,也是构建和谐社会的重要内容,更是可持续发展的客观需求。

本文对厦门地区霾天气状况的时空分布、天气状况及其成因进行了分析,这有助于建立厦门市灰霾天气的监测、预警机制,为进一步预测、控制和治理厦门地区的污染提供科学的理论依据。

1 资料来源及其资料处理

厦门地区地面气象观测站 1953—2008 年的气象资料,包括霾天气日期、能见度、日均相对湿度、日均风速、日均气温、气压、以及逐月日照时数等。厦门市环境监测中心提供的 2001—2005 年厦门市环境自动监测点 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_x 日平均浓度。

对于霾日的界定,各地气象观测员标准各异,许多学者对霾的研究的标准也有差别,如吴兑^[10]提出的日均值法统计霾日,定义日均能见度小于 10 km,日均相对湿度(RH)小于 90%,并排除降水、吹雪、雪暴、扬沙、沙尘暴、浮尘和烟幕等其他能导致低能见度事件的情况为一个霾日;罗晓玲等^[11]则以能见度(VIS)和相对湿度两项作为观测的判断依据,其中 RH 小于 80%且 VIS 小于 10 km 的,均应记为霾;RH 为 81%~95%且 VIS 小于 10 km 时,为灰霾与轻雾。

本文结合两者的观点,定义日均能见度小于 10 km,日均相对湿度小于 95%,并排除降水、浮尘和烟幕等其他能导致低能见度事件的情况为一个霾日。

2 霾的气候特征及规律分析

由厦门地区年平均日照时数和年平均能见度(图 1)可以看出,在过去的 50 多 a 中,年日照时数有明显下降的趋势,尤其 2000 年,与 20 世纪 50 年代比,厦门地区的年日照时数不到 1 800 h,日照下

降了 600 h 以上,2000 年后有所增加,但 2005 年以来仍然很低。

对于过去 30 a 内年平均能见度,出现了与日照时数相同的变化,年平均能见度急剧下降。以上说明了厦门地区在近几十年来,雾霾天气加重,空气质量的不断恶化。

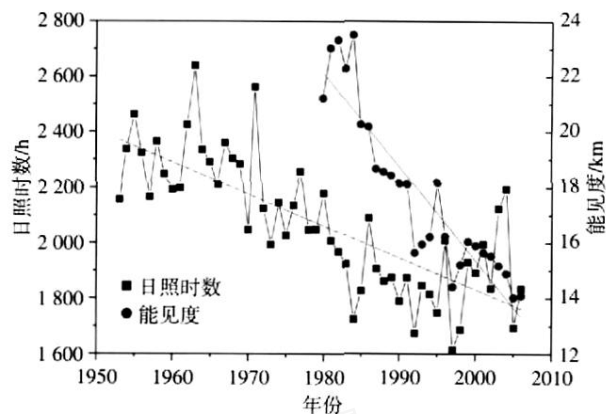


图 1 1953—2006 年年日照时数和 1980—2006 年年平均能见度的变化

Fig 1 Yearly sunshine hours in 1953—2006 and annual average visibility in 1980—2006 in Xiamen

2.1 霾的年代际变化及成因

图 2 是厦门市逐年灰霾日数的分布情况。从图 2 可以看到,厦门市灰霾日数的年代际变化非常明显,总体呈上升趋势。灰霾日数年平均值为 13 d,最低值为 0 d,出现在 1953 年,其次是 1954 和 1955 年,仅有 1 d,最高值为 74 d,出现在 2008 年,其次是 1996 年,为 62 d。厦门地区霾日的年际变化大致可以分为 5 个阶段,这可能与人类活动有关。

在 20 世纪 50 年代末有一个非常显著的霾日峰

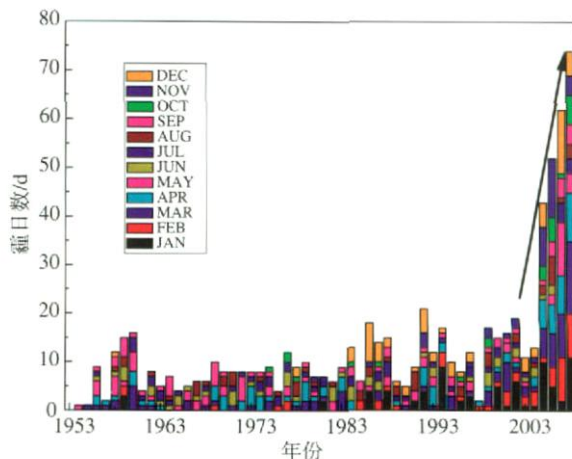


图 2 厦门逐年霾日数的堆栈图

Fig 2 Histogram for yearly haze days in Xiamen in 1953—2008

值,这一时段,正值我国社会主义改造完成后的大跃进阶段,提出的“大炼钢铁”口号造成许多地区山林遭到严重破坏,环境污染加剧。

第 2 个阶段是霾日变化较为平静时期,正处于我国十年动乱期间,总的社会生产力下降,工业基本停滞,污染水平不高。

80 年代中后期是霾日增加的第 2 个阶段,改革开放后的发展对厦门的工业、能源、交通的需求增长,给环境带来了严重的危害,霾日也进入了增长阶段。

1993 年前后,霾日出现第 3 次增长,其增幅都要超过前面两个阶段;1998 年灰霾日数只出现了 2 d,这可能与我国当时的国有企业深化改革,关闭大量污染严重的厂矿企业,外源输送减少有关。

自 1998 年以来,厦门地区的霾日迅速增加,尤其是 2003 年以后到 2008 年,霾日从 11 d/a 增加到 74 d/a,5 a 内增大了 6 倍以上,呈直线上升,1999—2008 年霾日共计 322 d,几乎占了统计霾日天数的一半,霾日的增加与空气污染程度密切相关。由图 3 厦门市空气污染指数的年变化和优质空气质量天数的年变化可以发现,随着空气污染的加重,霾日迅速增加,伴随的是优质空气质量的天数剧减。

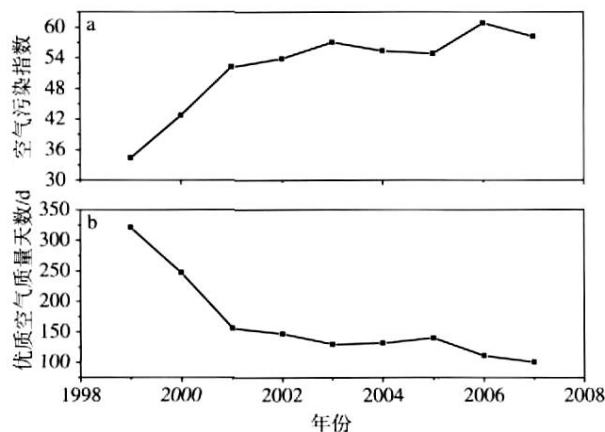


图 3 厦门平均空气污染指数 (a) 及优质空气质量天数 (b) 的逐年变化

Fig 3 Yearly evolution of (a) average air pollution index and (b) fine air quality days in Xiamen in 1999—2007

2.2 霾的月、季节变化及成因

2.2.1 不同时期霾的月、季节变化

自有观测资料以来,厦门地区霾日的月分布是不断变化的。本文分成 5 个阶段来分析这些变化(图 4)。I 阶段(1953—1965 年),每月总体霾日数

较低,贡献最大的年份为大炼钢铁的几年,春夏季高于秋冬季,其中 10、11 月没有出现霾日;II 阶段(1966—1977 年),春夏季的霾日数高于前一个阶段,11 月—次年 1 月无霾日记录;III 阶段(1978—1988 年),霾日月分布呈现冬春较多的情况,但对此贡献的仅为少数几年;IV 阶段(1989—1998 年),较 II 阶段,厦门冬春季的霾日数剧增,且每一年冬春季节都出现了,与 II 阶段一样,10、11 月仍是霾日最少的季节;V 阶段(1999—2008 年),厦门地区霾日在近 10 a 内迅速增加,从图 4e 可以看出,厦门市的灰霾天气多出现于冬春季节,即 11—12 月和 1—4 月,占全年出现灰霾总天数的 70%。灰霾日数最多是 3 月,10 a 内共计 52 d,占全年灰霾总日数的 16%,其次是 1 月,42 d,占全年总日数的 12%;5—10 月是出现灰霾天数的低值区,最少是 7 月,平均只有 0.36 d。

2.2.2 近 10 a 来霾的月、季节变化

近 10 a 来是厦门地区灰霾问题最为突出的时期,统计表明厦门夏秋季节霾日少于冬春季节,究其原因,除了大气污染物的浓度影响霾的发展和维持外,降水的湿清除及风速的变化也很重要。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。冬季厦门地区受冷高压控制,空气干燥,层结稳定,干燥少雨和逆温的时常出现,地面附近的污染物、扬尘等难以扩散或稀释,从而导致灰霾天气的出现。

陈训来等^[12]分析离岸型背景风和海陆风对珠江三角洲地区灰霾天气的影响时认为,由于离岸型背景风与陆风风向一致,在陆风维持的情况下,内陆源区的 PM_{10} 被输送到沿海地区,导致沿海城市和海面上 PM_{10} 浓度比较高;而在海风维持的情况下,海风与离岸型背景风方向相反,造成海风较小,致使整个珠江三角洲地区灰霾天气都比较严重。根据厦门地区的海陆风情况,在海风维持的情况下,海风与离岸型背景风方向相反,离岸型背景风减小,致使灰霾天气较前者轻。

2.3 霾日持续时间的变化

根据市气象局对厦门市 1953—2008 年逐日灰霾天气的地面观测资料进行统计(图 5),厦门市灰霾天气的发展变化趋势为:从 1953—2000 年灰霾天气日持续时间变化呈缓慢上升趋势,一般情况下霾持续 1~2 d,很少超过 6 d。而 2000 年以后,随着霾

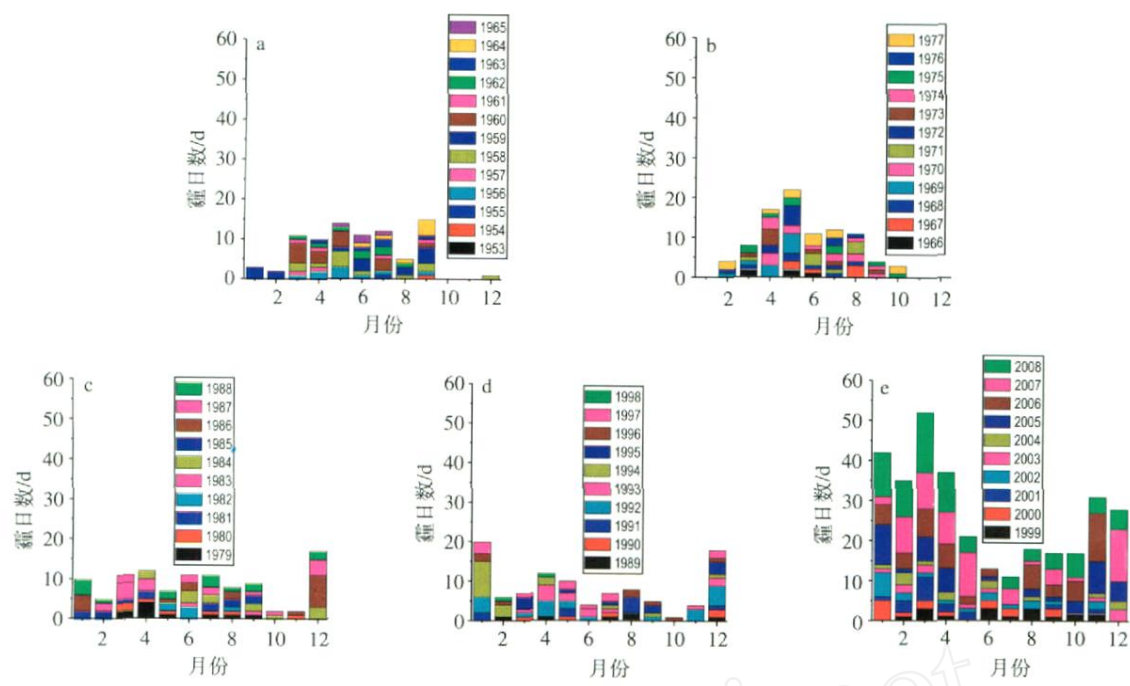


图 4 厦门市各月平均霾日数及贡献年份 (堆栈柱状图) a 1953—1965 年; b 1966—1977 年; c 1978—1988 年; d 1989—1998 年; e 1999—2008 年

Fig 4 Monthly average haze days over different periods in Xiamen a 1953—1965; b 1966—1977; c 1978—1988; d 1989—1998; e 1999—2008

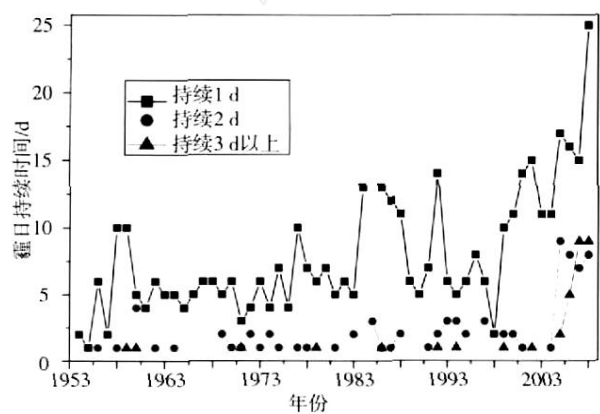


图 5 厦门地区霾日持续时间的变化

Fig 5 Yearly variation of haze duration (days) in Xiamen in 1953—2008

日的增加,霾的持续日数也迅速增加,每年均有若干次霾连续出现 3 d 以上,持续 4 d 以上的霾出现过 12 次,2006 年有 3 次,出现在 8 月 17—21 日、11 月 4—7 日和 11 月 10—15 日,2007、2008 年各 4 次,分别出现在 2007 年 2 月 4—8 日、4 月 12—16 日、5 月 7—10 日、9 月 14—17 日,2008 年 1 月 7—10 日、2 月 21—24 日、3 月 9—13 日和 25—28 日。连续霾日最长是 7 d,出现在 2005 年 1 月 18 日—1 月 24 日。长时间霾的频繁发生以及霾日的逐年增多体现了空

气污染的加剧。

2.4 形成霾的因素及其长期变化趋势

2.4.1 风速对霾形成的影响

霾几乎都是在静小风的条件下形成的,根据厦门站 55 a 的气象观测资料显示,75%有霾记录时的风速都在 0~4 m/s 间,最大为 7 m/s。风速增大有利于污染物的水平扩散,同时也会使湍流较大,有利于污染物质在垂直方向的扩散和输送,所以风速大时很少出现霾天气。

2.4.2 相对湿度对霾的形成至关重要

徐梅等^[13]、童尧青等^[7]研究认为,相对湿度高有利于霾的形成。分析厦门的观测资料发现,50%的霾天气现象出现在相对湿度 80%以上,且出现的 75%霾天气相对湿度都在 72%以上,空气湿度大,有利于水汽在气溶胶粒子上凝结,从而影响大气能见度。

2.5 大气污染与灰霾天气的相关关系

大气污染的加剧与社会经济的发展密切相关,根据厦门市统计局资料,自 2000 年以来,厦门地区的人口不断增加,经济迅速发展,化石燃料消耗量剧增,机动车数量也是逐年增加,以上这些造成了厦门地区近 10 a 来霾日迅猛增加 (不排除远程污染输送的贡献)。而人类活动所造成的大气污染的主要物

质为 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} , 这些污染颗粒物与污染气体对光的散射和吸收决定了能见度的下降, 其中颗粒物的散射能造成 60% ~ 95% 的能见度减弱^[14]。

分析 2001—2005 年厦门地区 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 每天的数据发现, 污染气体和污染颗粒物的浓度具有季节变化特征, 在秋冬春季节污染物浓度高, 而在夏季污染物浓度较低 (图 6b-d)。

对比 PM_{10} 浓度月平均分布 (图 6a) 与同时期霾

日变化 (图 4e) 可以发现, 近年来厦门地区霾日的变化与污染物的浓度变化呈现一致性, 10 月到次年的 4 月污染物浓度最高, 霾日也是全年最多, 而 6—9 月是污染物浓度最低的时候, 霾日数也是全年最少。由此发现, 大气污染加剧很可能是厦门地区能见度恶化、霾频发的一个重要原因。童尧青等^[7]在分析南京地区霾天气气候特征时, 也发现了这一重要特征。

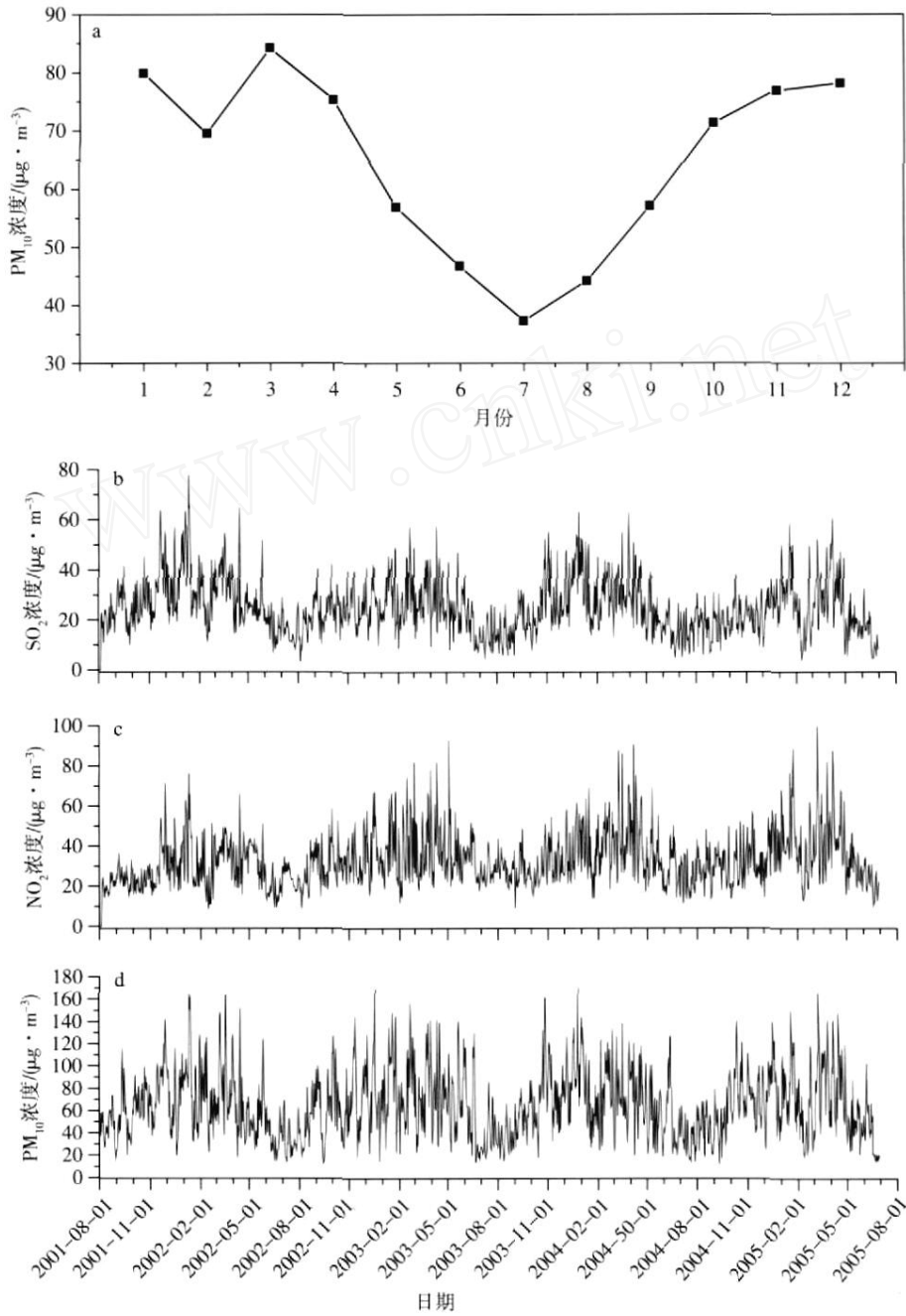


图 6 厦门地区 2001—2005 年 PM_{10} 的月平均 (a) 以及 SO_2 (b)、 NO_x (c)、 PM_{10} (d) 浓度的逐日变化

Fig 6 (a) Monthly PM_{10} mass concentration, and (b) daily SO_2 , (c) NO_x , and (d) PM_{10} mass concentration in Xiamen in 2001—2005

3 结论

应用厦门气象局气象观测站 1953—2008 年地面气象观测资料和厦门市环保局 2001—2005 年 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_x 环境监测资料,分析了厦门地区霾天气的气候特征、气象要素特征及其影响因素,探讨了大气污染物与霾天气的关系。结果表明:

(1)在过去的 50 多 a 中,厦门地区年日照时数及能见度有明显下降的趋势。

(2)厦门市灰霾日数总体呈上升趋势。1998 年之前灰霾日数较少呈缓慢上升阶段,1998 年之后随着厦门地区经济发展带来的排放和人类活动的增加,空气污染日趋严重,灰霾出现日数明显上升,尤其是 2003 年以后到 2008 年,灰霾日数呈跳跃式增多,5 a 内霾日增大了 6 倍以上。

(3)灰霾天气几乎在静风或小风条件下形成的,75% 出现霾天气时的风速都在 $0\sim 4\text{ m/s}$ 间。风速增大,大气污染物的扩散和输送能力强,污染物浓度降低,不利于霾的形成。较大相对湿度,有利于水汽在气溶胶粒子上凝结,容易形成霾天气,75% 的霾天气相对湿度都在 72% 以上。厦门市灰霾日数的季节变化表现为冬春季多,夏秋季少的分布特征。冬春季节出现灰霾日数占全年灰霾的 70%,出现灰霾日数最多的是 3 月,其次是 1 月。夏秋季节出现灰霾日数较少,最少的是 7 月。过去的 50 a 厦门地区灰霾天气日持续时间呈上升趋势。从 1953—2000 年灰霾天气日持续时间变化呈缓慢上升趋势,一般情况下霾持续 $1\sim 2\text{ d}$,很少超过 6 d 。2000 年以后,随着霾日的增加,霾的持续日数也迅速增加,每年均有若干次霾连续出现 3 d 以上,连续霾日最长为 7 d 。

(4)近年来大气污染日益严重,污染气体和污染颗粒物的浓度具有季节变化特征,在秋冬春季节污染物浓度高,而在夏季污染物浓度较低。厦门地区霾日的变化与污染物的浓度变化呈现一致性,大气污染物 (SO_2 、 NO_x 、 PM_{10}) 浓度增大可能是导致霾日数增加、能见度下降的主要原因。

本文得出的结论,即在过去的 50 多 a 中,厦门市年日照时数及能见度有明显下降的趋势;而灰霾

日数总体呈上升趋势,尤其近十年来更加明显;2000 年以来,随着霾日的增加,霾的持续日数也迅速增加;风速增大不利于霾的形成,较高相对湿度有利于霾的形成;近年来大气污染日益严重,污染物 (SO_2 、 NO_x 、 PM_{10}) 浓度增大是导致霾日数增加、能见度下降的主要原因。这些结论对进一步研究厦门市大气污染治理和预警将有较好的参考意义。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 黄健,吴兑,黄敏辉,等. 1954—2004 年珠江三角洲大气能见度变化趋势 [J]. 应用气象学报, 2008, 19 (1): 61-70.
- [3] 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.
- [4] 吴兑,毕雪岩,邓雪娇,等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究 [J]. 气象学报, 2006, 64 (4): 510-516.
- [5] 吴兑,毕雪岩,邓雪娇,等. 珠江三角洲气溶胶云造成的严重灰霾天气 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15 (6): 77-83.
- [6] 范焯,郭学良,付丹红,等. 北京及周边地区 2004 年 8、9 月间大气气溶胶分布特征观测分析 [J]. 气候与环境研究, 2007, 12 (1): 49-62.
- [7] 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.
- [8] 张立多,叶文健,陈德花,等. 灰霾天气对厦门市城市能见度影响问题初探 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (S2): 149-150.
- [9] 关琰珠. 建立厦门市灰霾天气监测、预警机制 [J]. 厦门科技, 2007 (5): 8-10.
- [10] 吴兑. 霾与雾的识别和资料分析处理 [J]. 环境化学, 2008, 27 (3): 327-330.
- [11] 罗晓玲,宋丽莉,潘蔚娟. 新旧观测标准统计的灰霾时空分布特征对比 [J]. 广东气象, 2008, 30 (1): 17-19.
- [12] 陈训来,冯业荣,范绍佳,等. 离岸型背景风和海陆风对珠江三角洲地区灰霾天气的影响 [J]. 大气科学, 2008, 32 (3): 530-542.
- [13] 徐梅,朱玉强,余文韬. 天津地区灰霾特征初步研究 [C] / 中国颗粒学会 2006 年年会暨海峡两岸颗粒技术研讨会论文集. 2006: 502-506.
- [14] 朱岗崑. 大气污染物理学基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.

(责任编辑:倪东鸿)