

福州市污染物浓度时空分布及影响因子分析

冯宏芳^{1,2}

隋 平²

(1 南京气象学院, 南京 210044; 2 福建省气象科学研究所, 福州 350001)

邱丽霞

(福建省邵武市气象局, 邵武 354000)

摘要 利用 2001 年 8 月 1 日至 2002 年 7 月 31 日的气象资料和逐时污染物浓度数据, 分析福州市污染物的时空分布特征, 气象条件和非气象条件对污染物浓度的影响。结果表明: 福州市的空气质量较好, 夏半年空气质量优于冬半年。各污染物的日变化有明显的变化规律。污染物的浓度变化与空气污染气象条件的优劣密切相关, 各气象要素对大气污染物有一定的制约关系, 但并非简单的线性关系。人类活动对污染物浓度的变化影响较大。

关键词 污染物浓度 时空分布 影响因子

引言

开展城市空气质量预报, 可以让民众更清楚、更全面地了解各种气象条件下污染物的变化, 为民众提供安排各种活动的参考依据, 同时也为管理部门实施空气污染控制决策提供科学的依据。本文利用 2001 年 8 月 1 日至 2002 年 7 月 31 日的环境监测数据资料和气象资料分析各污染物的时空分布特征及气象和非气象条件对污染物浓度的影响。

1 资料来源与处理方法

1.1 气象资料

2001 年 8 月 1 日至 2002 年 7 月 31 日福州站 08:00 和 20:00 (北京时, 下同) 探空资料, 每天 8 个时次地面观测资料, T213 和欧洲中心数值预报产品。由探空资料计算出逆温强度、逆温厚度、逆温底高等数据。

1.2 环境监测资料

由福州市环境监测站提供的 2001 年 8 月 1 日至 2002 年 7 月 31 日福州市五四北路(代表城区)、紫阳(代表工业区)、福建师范大学(简称师大, 代表近郊区) 3 个国家标准站每天 SO_2 、 NO_2 和可吸入颗粒物 3 种污染物的逐时监测数据。

2 污染物浓度时空变化特征

2.1 月分布特征

表 1 为福州市空气质量月变化的统计特征, 表中 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 值为各污染物的分指数, API 为主要污染物的污染指数。按规定, 在实际业务中, 污染指数的计算结果只保留整数, 小数点后的数值全部进位。本文从研究角度出发, 污染指数的计算结果保留一位小数。根据空气质量的时间变化特征, 定义 5~10 月为夏半年, 11 月至翌年 4 月为冬半年。表 2 为各污染物出现不同级别的天数。从表 1 和表 2 中可看出:

(1) SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 浓度有明显的月变化规律, 除 SO_2 的 4 月浓度小于年平均值外, 均表现为夏半年月份平均浓度小于年平均浓度, 冬半年月份平均浓度大于年平均浓度。造成这种分布的主要原因是夏半年太阳辐射强, 近地面层热力对流旺盛, 空气的扩散条件好, 逆温出现的几率小, 此外降水也较多。各月中以 1 月和 3 月的污染物浓度为最大, 且各污染物的浓度最大值均出现在 1 月份。由于 2002 年春节为 2 月 12 日, 春节长假期间污染物的排放量减少, 故 2 月份的污染物浓度较 1 月和 3 月低。

表 1 福州市空气质量(污染物指数)月变化统计表

污染物	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
SO ₂	27.7	22.9	22.1	18.5	17.1	13.9	12.5	19.2	17.9
NO ₂	42.2	31.8	37.3	31.3	27.0	22.4	15.5	21.6	22.1
PM ₁₀	77.6	64.7	72.2	61.6	57.7	54.5	53.4	55.2	50.2
API	78.0	64.7	72.5	61.9	57.7	54.5	53.4	55.2	50.7
污染物	10 月	11 月	12 月	夏半年	冬半年	最大值	最小值	年平均	
SO ₂	19.7	23.2	22.3	16.7	22.8	49	7	19.7	
NO ₂	25.8	33.3	31.8	22.4	34.7	92	12	29.0	
PM ₁₀	61.1	69.5	56.1	55.4	67.0	148	17	61.2	
API	61.1	69.5	56.3	55.5	67.2	148	18	61.3	

表 2 各污染物出现不同级别的天数

污染物	I	II	III
SO ₂	365	0	0
NO ₂	351	14	0
PM ₁₀	105	242	18
API	105	242	18

(2) 大气中 SO₂ 主要来源于含硫燃料(特别是煤)的燃烧,其余则来源于冶金、硫酸制造等工业过程。随着福州市区加大污染治理力度,城区燃气使用率的提高,城区用煤量很少,故 SO₂ 的浓度较低,单项空气质量均为 I 级。

(3) NO 和 NO₂ 是大气中主要的含氮污染物,其人为源主要是燃料的燃烧。燃烧源可分为流动燃烧源和固定燃烧源,城市大气中的 NO_x(NO、NO₂) 一般 2/3 来自汽车等流动源的排放,1/3 来自固定源的排放。无论是流动源还是固定源,燃烧产生的 NO_x 主要是 NO,只有少部分被氧化为 NO₂。与国内其它大中城市相比,福州市的 NO₂ 浓度处于较低水平,一年中只有 14 天达到 II 级,这主要与福州市的车流量不是太大及汽车尾气治理措施有关。

(4) PM₁₀ 是福州市的主要大气污染物,它能被人直接吸入呼吸道内造成危害。其主要的人为源为工农业生产和人类的活动。从开展空气质量预报至今,福州市的首要污染物均为 PM₁₀,一年中 PM₁₀ 有 105 天为 I 级,几率为 $105/365 = 28.8\%$;243 天为 II 级,几率为 $242/365 = 66.3\%$;18 天为 III 级,几率为 $18/365 = 4.9\%$ 。

2.2 日变化特征

受气象条件和人类活动的影响,大气污染物在

一天中各时次的浓度变化较大,若没有明显天气过程(如:降水、冷空气、台风等)影响,各污染物浓度的日变化有一定的规律,本文先取无明显天气过程影响的 2 天来分析污染物的日变化特征。图 1 为福州市 2001 年 9 月 4 日 12:00 至 5 日 12:00 SO₂、NO₂、PM₁₀ 污染分指数距平图;图 2 为福州市 2001 年 12 月 30 日 12:00 至 31 日 12:00 SO₂、NO₂、PM₁₀ 污染分指数距平图。从图 1 和图 2 可看出:

(1) 各污染物的日变化有明显的变化规律,无论是夏半年还是冬半年,大约在 18:00~21:00 和 07:00~10:00 两个时段出现正距平,污染物浓度较高,峰值出现在 20:00 和 09:00 左右;大约在 12:00~15:00 和 01:00~05:00 两个时段出现负距平,污染物浓度较低,谷值出现在 13:00 和 04:00 左右。在 18:00~21:00,无太阳辐射,近地层对流减弱,大气层结稳定,扩散能力差,而人类活动仍较频繁,污染物堆积造成高浓度;07:00~10:00 是人类活动的高峰期,污染物的排放量大,源强增大造成高浓度;12:00~15:00 正是热力对流最旺盛时期,湍流活跃,空气的扩散能力强,故污染物的浓度低;01:00~05:00 人类活动少,污染物排放少,虽然空气扩散条件差,污染物的浓度也较低。

(2) 冬半年的距平值明显大于夏半年的距平值。

(3) 冬半年的夜间到早上常有逆温存在,如 12 月 31 日 08:00 逆温强度为 0.6℃/hm,逆温厚度为 363 m,逆温底高为 86 m(福州探空站海拔高度)。逆温层的存在常导致冬半年的整个上午为正距平,而在夏半年一般在 10:00 左右就出现负距平。

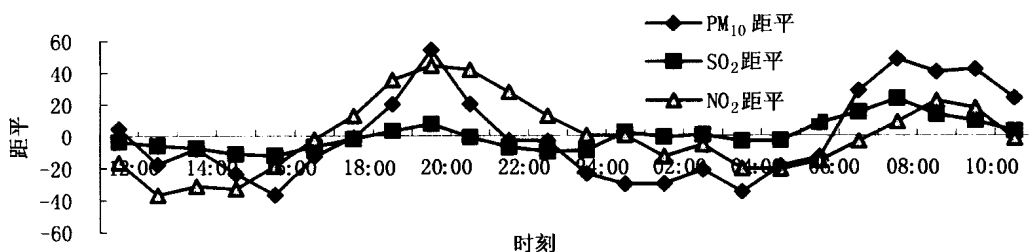


图1 2001年9月4日12:00至5日12:00各污染物污染指数距平

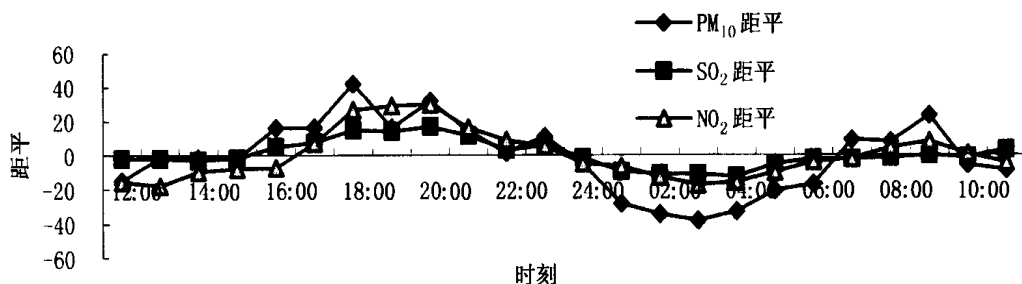


图2 2001年12月30日12:00至31日12:00各污染物污染指数距平

2.3 污染物的空间分布特征

通过对五四北路、紫阳、师大3个站的单站资料进行对比分析,发现这3个站虽然代表不同的功能区,除紫阳站由于临近福马路,重型货车流量大且附近工厂较多,其 NO_2 明显比其它两个站大外(年分指数均值:紫阳为42,五四北路为23,师大为21),其它污染物的分布无规律可循。

3 污染物浓度与气象条件关系

若排除人类活动因素和突发事件的影响,可以认为福州市大气污染物的源强是定常的,此时污染物浓度变化与空气污染气象条件密切相关。

3.1 天气形势分析

由于大气污染物的扩散和稀释主要受低层大气条件的影响,因此本文主要考虑地面天气形势,采用夏丽花^[1]划分的地面天气型。

(1) 高压型:夏半年福州主要受副热带高压控制,在副高控制下,虽然有下沉气流,但由于日照充足,太阳辐射强,气温高,热力对流强,故污染物浓度一般保持平均水平。福州处于副高边缘时空气质量可达Ⅰ级。而在冬半年受冷高压控制时,由于存在下沉气流且热力对流弱,并常伴有强的辐射逆温,大气扩散条件差,污染物浓度高。本文分析的时段内出现的18次Ⅲ级中有6次为此型。

(2) 入海高压后部型:即高压中心在 35°N 以南

入海,福州受入海高压后部影响,低层为西南气流,温度回升,风速小,湿度大。此型最不利于大气污染物的扩散,本文分析的时段内出现的18次Ⅲ级有12次为此型,且最大值(2002年1月11日,API为148)亦出现在此型。

(3) 锋面型:锋面过境时的大风和降水有利于污染物的稀释和清除,在这种天气条件下常出现Ⅰ级情况,但在锋前天气下浓度会增大。

(4) 台风型:当福州受登陆台风、台风低压或台风外围影响时,台风带来的大风和长时间的强降水十分有利于污染物的稀释和清除,在这种天气条件下污染物浓度极低,且在影响过后,空气质量为Ⅰ级的情况还常能保持几天。

(5) 辐合带型:即副热带辐合带在 20°N 以北,福州受其影响,低层以辐合为主,有利于污染物的扩散,在这种天气条件下出现Ⅰ级的几率极大。

在其它天气类型影响下,污染物的浓度变化无明显规律。

3.2 气象要素分析

表3是福州市大气污染物浓度与各种气象要素的相关系数。从表3可看出,气压、风、逆温等气象要素对大气污染物有一定的制约关系,但并非简单的线性关系。表3中地面气压、地面温度、相对湿度、云量、降水量和地面风速由福州站每天8个时次的地面常规观测资料获得;300 m 风速、600 m 风速、

900 m 风速由福州探空站 08:00 和 20:00 探空资料获得;逆温强度、逆温厚度、逆温底高由福州探空站 08:00 和 20:00 探空资料经计算获得。计算方法如下:由探空 TTAA 报文中的规定层数据和 TTBB 报文中的特性层数据绘制出探空曲线,从探空曲线上

找出逆温开始点,由拉普拉斯压高公式^[2]求出该点高度,此高度即为逆温底高,再沿探空曲线往上,找出逆温结束点,同样用压高公式求出该点高度,用结束高度减去开始点高度即为逆温厚度,逆温强度 = $100 \times \text{两点温度差} / \text{逆温厚度}$,单位为 $^{\circ}\text{C} / \text{h m}$ 。

表 3 福州市大气污染物浓度与各种气象要素相关系数

相关系数	地面气压	地面温度	相对湿度	云量	降水量	地面风速	300 m 风速	600 m 风速	900 m 风速	逆温强度	逆温厚度	逆温底高
SO ₂	0.42	- 0.42	- 0.13	- 0.40	- 0.20	- 0.41	- 0.32	- 0.30	- 0.29	0.11	0.27	- 0.46
NO ₂	0.49	- 0.58	- 0.11	- 0.23	- 0.06	- 0.51	- 0.26	- 0.22	- 0.21	0.01	0.17	- 0.40
PM ₁₀	0.24	- 0.22	0.30 [*]	- 0.48	- 0.25	- 0.39	- 0.32	- 0.30	- 0.29	0.01	0.10	- 0.43

注:表示相对湿度样本中不含有降水时的数据

3.2.1 地面气压

地面气压与大气污染物浓度有较好的正相关,在低压系统控制下,低层辐合,风速较大,有利于污染物稀释和扩散;当高压系统控制时,情况相反。

3.2.2 地面温度

地面温度与各大气污染物浓度有较好的负相关,地面温度越高,近地层对流越强,越有利于污染物向上输送,污染物浓度越低;当地面温度低时,情况则相反。

3.2.3 相对湿度

相对湿度和气体污染物 SO₂ 和 NO₂ 相关差,但与 PM₁₀ 有一定的正相关。除有降水外,湿度大时,空气中水汽多(高湿度时可能出现雾),使 PM₁₀ 附着在水汽中,在空气中停留,且此时大气层结较稳定,导致 PM₁₀ 浓度增大。

3.2.4 云量

表 3 中云量和各污染物浓度虽存在负相关,但云量对污染物浓度的影响有正反两面,当天空云量多时,低层上升气流强,且常存在降水现象,故导致各污染物浓度降低。但云量少,太阳辐射强时,气温高,热力对流就强,空气的扩散条件好;且 NO₂ 存在光分解反应($\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}$),在强太阳辐射下,NO₂ 的浓度会降低。

3.2.5 降水量

一般认为,在降雨过程中,雨滴不断地将大气中的微粒挟带、溶解或冲刷下来,使大气中污染物浓度降低,通常,雨滴可兼并粒径大于 2 μm 的气溶胶粒子^[3]。但从近两年的预报实际来看,降雨与污染物浓度的关系较复杂,它不仅对各污染物的作用不同,

而且与降雨的强度、持续时间有关,故降水量与各污染物的相关不是很明显。

(1) 降雨对各污染物的影响不一,对 PM₁₀ 的影响最大,SO₂ 次之,NO₂ 最小,长时间的强降水才会对 NO₂ 浓度有影响。

(2) 降雨时间越长、强度越大,PM₁₀ 的浓度越低。但时常会出现小雨或短时间降雨不仅不会使 PM₁₀ 浓度降低,反而使 PM₁₀ 浓度升高的情况,其原因可能有两个:一是降雨使近地层热力对流减弱,二是使空气的湿度增大。

3.2.6 风

风速大小与污染物浓度有较明显的负相关,风速大,污染物稀释能力强,浓度就低;相反风速小时,水平输送能力差,扩散能力也差,容易造成污染物局地堆积。从表 3 可看出,地面风速对污染物浓度影响最大,300 m 风速、600 m 风速、900 m 风速对污染物浓度的影响依次减小。长春、北京等地的研究发现当风速超过某一临界值时,大风会把地表的尘土吹卷到空中,造成 PM₁₀ 浓度的增大。但根据经验,福州市植被覆盖率较高,不会出现这种情况。由于受福州市的地形特点、工业布局等影响,风向的变化对污染物浓度的影响不大。

3.2.7 逆温

逆温是决定大气稀释扩散能力的一个重要因子,当逆温存在时,大气十分稳定。在逆温层内大气的垂直运动很难发展,污染物被向下卷夹,造成近地层污染物的大量积累。在冬半年,辐射逆温几乎每天都存在。本文以逆温强度、逆温底高和逆温厚度 3 个因子来表示逆温的特征。分析表明:逆温底高

是最关键的因子,与污染物浓度有较好的负相关,当出现贴地逆温时,污染物堆积严重,底高越高,影响越小,当底高大于800 m时,逆温对污染物浓度的影响就不大了。此外,逆温强度和逆温厚度与污染物浓度存在正相关,但相关不明显。

4 非气象因素对污染物浓度的影响

在气象条件相当稳定的情况下,污染物浓度也会发生变化,主要有以下原因:

(1) 监测点附近有道路和建筑施工、重大活动或火灾等。在日常预报时,有时会发现某个站的某种污染物浓度出现异常变大,有的为一天,有的持续一段时间。如2002年2月11日为除夕,居民大放烟花爆竹,11日12:00至12日12:00 API为104,首要污染物为 PM_{10} ,而10日12:00至11日12:00 API仅为59,气象条件无明显变化。

(2) 人类的活动。在双休日或节假日,车流量少, NO_2 的浓度会有所降低。例如2002年春节期间,由于大部分施工停止、部分工厂停工,各污染物浓度明显降低,2月12~26日福州大部分时间受冷高压和入海高压后部控制,气象条件不利于污染物的扩散,但这段时间API的平均值仅为53。

(3) 污染物的累积效应。当一种不利于污染物扩散的天气条件持续几天时,污染物会不断累积,污染物浓度不断升高。

6 小结

(1) 福州市的空气质量较好,夏半年空气质量优于冬半年,一年中Ⅰ级和Ⅱ级的天数占95.1%,但在冬半年会出现轻微污染。空间分布特征不明显。

(2) 各污染物的日变化有明显的变化规律,无论是夏半年还是冬半年,大约在18:00~21:00和07:00~10:00两个时段出现正距平,污染物浓度较高,峰值出现在20:00和09:00左右;大约在12:00~15:00和01:00~05:00两个时段出现负距平,污染物浓度较低,谷值出现在13:00和04:00左右。冬半年的距平值明显大于夏半年的距平值。

(3) 污染物的浓度变化与空气污染气象条件密切相关,冬半年在冷高压型和入海高压后部型的控制下会出现轻微污染,各气象要素对大气污染物有一定的制约关系,但并非简单的线性关系。

(4) 人类活动对污染物浓度的变化影响较大。在日常预报中,不仅要关注气象条件的变化,还要掌握人类活动的规律,并要同环保部门密切联系,及时了解污染源强的变化。

参考文献

- 1 夏丽花,曾光平,陈敬平,等.福州市空气污染与气象条件分析.福建气象,1999,(4):26-29
- 2 王名才(主编).大气科学常用公式.北京:气象出版社,1994.502
- 3 唐孝炎(主编).大气环境化学.北京:高等教育出版社,1990.169

Temporal and Spatial Distributions and Influencing Factor Analysis of Air Pollutant Concentrations in Fuzhou

Feng Hongfang Sui Ping

(Fujian Provincial Meteorological Institute, Fuzhou 350001, China)

Qiu Lixia

(Shaowu Meteorological Bureau, Fujian Province, Shaowu 354000, China)

Abstract: Using meteorological data and horal pollutant concentrations data from 1 August 2001 to 31 July 2002, the temporal and spatial distribution characteristics of air pollutant concentrations and the influence of meteorological and non meteorological conditions on pollutant concentrations are analyzed. The results indicate that the air quality in Fuzhou is good, better in the summer half year than in the winter half year. The daily variations of air pollutants are obvious. The variations of air pollutant concentrations are correlated with meteorological conditions. Various meteorological factors affect air pollutant concentrations, but the linear correlation is not obvious. The human activity is one of main influencing mechanisms on the air pollutant concentrations.

Key words: air pollutant concentration, temporal and spatial distribution, influencing factor