

洪盛茂,焦荔,何曦,等. 杭州市区空气污染物变化特征及其与气象条件的关系[J]. 气象, 2010, 36(2): 93-101.

杭州市区空气污染物变化特征 及其与气象条件的关系^{*}

洪盛茂 焦荔 何曦 孙鸿良 徐 鸿
杨 乐 何纪平 叶贤满 张 天 姚 晗

浙江省杭州市环境监测中心站, 杭州 310007

提 要: 利用2002—2007年杭州市区空气污染物监测资料,根据杭州周边城市的每日环境空气质量,结合不同污染类型和气象资料,分析市区空气污染物变化特征及与气象条件的关系。结果表明,市区环境空气质量中污染天数出现频率逐年减少,空气质量正在好转,主要是首要污染物 PM_{10} 的浓度呈现逐年降低的趋势。在三种污染类型中大范围连续污染类型中的较重污染出现天数比其他两种污染类型多一半,大范围连续污染类型时 PM_{10} 浓度是最高的,个别污染类型时最低, PM_{10} 浓度分别为 $0.256\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $0.177\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。不同类型与不同天气形势的关系比较密切。杭州市区污染出现频率存在明显的季节变化,冬季最高,夏季最低,污染频率分别为25.6%和3.6%。不同污染类型中个别污染类型出现最多,局地连续污染类型出现最少,出现频率分别为40.7%和29.9%。不同季节不同污染类型的出现频率相差较大,局地连续污染冬季出现频率较高,个别污染在春季出现较多,大范围连续污染在秋季出现较多。夏季的空气质量最好,只有少数的个别污染出现。在不同级别污染中,Ⅲ1级(轻微污染)主要是个别污染类型,Ⅲ2级(轻度污染)和Ⅳ1级(中度污染)污染主要是大范围连续污染类型,而Ⅳ2级(中度重污染)和Ⅴ级(重度污染)污染出现时主要是受到沙尘暴影响或春节烟花爆竹燃放影响的个别污染类型。

关键词: 污染类型, 天气条件, 沙尘暴, 烟花爆竹

Variation of Air Pollutants and Their Relation with Meteorological Conditions in Hangzhou

HONG Shengmao JIAO Li HE Xi SUN Hongliang XU Hong
YANG Le HE Jiping YE Xianman ZANG Tian YAO Han

Hangzhou Environmental Monitoring Center Station, Hangzhou 310007

Abstract: Based on the monitoring data of air pollutants from 2002 to 2007 over Hangzhou, according to ambient air quality every day in surrounding cities of Hangzhou, combined with different types of pollution and meteorological data, the characteristics of air pollutants and its relationship with weather conditions are analyzed. The results show that the frequency of pollution days in air quality is decreased year by year, and the air quality has been improved step by step, because the concentrations of PM_{10} that is the primary pollutant are decreased by degrees. The day of heavier level pollution in large-scale continual pollution is half more than that of other two types of pollution, and the highest concentration of PM_{10} appears in large-scale continual pollution, and lowest in the individual pollution, there are $0.253\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ and $0.177\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. The different types of pollution are affected by various weather situations, their pollution level is also changed. The rates of different pollution types have an obvious seasonal variation, which is highest in winter, lowest in summer, there are 25.6% and 3.6%, respectively. Among the different

^{*} 杭州市科技局重大科技创新项目(20092113A05)资助
2009年2月24日收稿; 2009年8月8日收修定稿
第一作者:洪盛茂,研究领域为大气污染和污染监测. Email: honglaomao@hotmail.com

types of pollution, the rates of individual pollution and local continual pollution are 40.7% and 29.9%, respectively. The rates of different pollution types in four seasons are very obvious, showing a higher rate of local pollution type in winter, that of individual pollution in spring, and that of the large-scale continuous pollution in autumn. The air quality in summer, that appears to be few of local pollution days, is the best in four seasons. The levels of different pollution are different, presenting the grades of III1 (level of slight pollution) is mainly the type of local pollution, the grades of III2 (lightly pollution) and IV1 (moderat pollution) are mainly the large-scale continual pollution type, the grades of IV2 (moderat heavier pollution level) and V (heavy pollution level) are mostly the individual pollution type that affected by the duststorm or firework in the Spring Festival.

Key words: pollution type, weather, duststorm, firework

引 言

目前,国内的空气质量评价以 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 这三项污染物为指标,并不包括 O_3 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 等诸多污染物。每日的空气质量参照国家环境空气质量标准 GB3095—1996,选取三项指标中最大污染指数作为当天的空气质量指数,相应指标为首要污染物。空气质量分为优、良、轻微污染、轻度污染、中度污染、中度重污染、重度污染等级别^[1-2],每年根据优、良出现天数计算出优良率或污染频率。近几年的城市空气质量诸多考核中优良率大多以 80% 作为考核线,随着国家环境投入的加大,“创模”等活动的环境空气质量考核标准增高至 85%,以此来判别一个城市空气质量的好坏。近几年来杭州市的空气质量都不尽如意,杭州市区空气质量优良率在 80%~85% 之间变化^[3-4],始终没有突破 85% 这一瓶颈,首要污染物以可吸入颗粒物(PM_{10})为主,占 80% 以上,其他许多城市的研究也有相同的特点^[5-9]。对大气颗粒物,尤其是细颗粒物的研究从上世纪 90 年代开始被重视起来,主要研究颗粒物的质量浓度以及它的排放清单和源解析^[10-15],近几年对能见度尤其是霾天气加深了研究^[16-23],对颗粒物与人体健康影响关系的研究也进行得比较深入^[24-28]。

对不同天气条件对污染的影响以单次污染过程的研究为主^[29-32],对连续污染、局地污染等类型划分及其受到的影响等方面的研究未见报道。本文利用 2002—2007 年杭州市区环境空气质量自动监测系统监测到的污染物浓度资料,并依据中国环境监测总站的指数计算规定^[1]计算环境空气质量指数,对不同污染类型条件下环境空气质量指数和污染物浓度进行统计分析,研究杭州市区空气污染物的变化

特征。在进行污染类型划分时,根据杭州市区空气质量污染变化特点,把污染类型分为大范围连续污染、局地连续污染和个别污染三种类型。其中大范围连续污染和局地连续污染属于连续污染,连续 3 天或 3 天以上出现污染的现象。但二者的判断依据相差较大。大范围连续污染是指杭州周边主要城市有 7 成以上同时处于污染水平(周边城市主要是指泛长三角地区主要城市),且持续 3 天或 3 天以上的情况,实际上在这种污染类型中杭州或周边某些城市的污染已经持续了更长的时间;当只有杭州或者还有周边少数城市出现持续 3 天或 3 天以上污染时,由于污染范围较小,具有明显的局地性,故称为局地连续污染类型,只有 1~2 天的污染则属于个别污染类型。周边其他城市的环境空气质量数据来自国家环境保护部和总站网站上每天发布的日报。

杭州市区近几年来 SO_2 年均浓度一直 0.04~0.06 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 变化, NO_2 浓度的年均浓度一直在 0.055~0.06 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 变化,这两种污染物均未超出国家环境空气二级标准;而 PM_{10} 则有所不同,从 2002 年到 2007 年虽然每年都有一定的减小,与 2002 年相比,2007 年下降了 13%,但它仍超出可吸入颗粒物二级标准浓度(0.100 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)10% 左右。

1 空气质量污染频率变化

杭州市区 2002—2007 年空气质量中污染天数相差较多,污染频率相差较大,从 2002 年的 28.0% 减少到 2007 年的 15.6%,逐年减少的趋势非常明显的(见图 1),其中轻微污染出现频率也从 2002 年的 23.6% 减少到 2007 年的 13.4%,在当年污染总天数中均占 85% 左右。

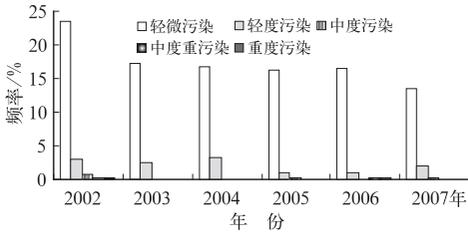


图 1 2002—2007 年不同污染级别出现频率
Fig. 1 The frequency of different pollution level from 2002 to 2007

从各年最大日空气污染指数 (API) 值来看, 2002 年和 2006 年均出现 1 次重度污染和 1 次中度重污染, 都出现在除夕至大年初一, 是在燃放烟花爆竹后发生的。杭州每年 10 月份举办的烟花大会, 虽然燃放的烟花爆竹很多, 但由于选择的燃放地点是空旷的西湖和钱塘江畔, 扩散条件好, 烟花爆竹对环境空气质量的影响比较小。

2 不同污染类型出现状况

不同污染级别污染类型出现状况见表 1。从 6 年污染总天数中, 大范围连续污染出现 30.3%, 其中 1/4 左右属于轻度污染及以上程度的污染; 而局地连续污染占 29%, 其中 1/10 左右属于轻度污染及以上程度的污染; 个别污染占 40.7%, 其中 1/16 左右属于轻度污染及以上程度的污染。在三种污染类型中, 大范围连续污染类型中比较重的污染(轻度污染及以上污染程度)出现天数是其他两种污染类型中出现总天数的 1.5 倍。

表 1 2002—2007 年杭州市区不同级别时各污染类型比较 (单位: %)

Table 1 Comparison of pollution types (%) for different levels in Hangzhou from 2002 to 2007

污染类型	总天数	Ⅲ 1	Ⅲ 2	Ⅳ 1	Ⅳ 2	V
大范围连续污染	30.3	26.2	54.2	80	100	50
局地连续污染	29	29.9	27.1			
个别污染	40.7	43.9	18.8	2050		

不同污染级别上三种污染类型中所占的比例变化非常明显。在轻度污染级别上依次为个别污染 > 局地连续污染 > 大范围连续污染; 在轻度污染级别上依次为大范围连续污染 > 局地连续污染 > 个别污染; 在中度污染和重度污染级别上基本都为大范围连续污染类型。在个别污染类型中中度污染和重度污染各出现 1 次, 都是极端污染事件中的烟花爆竹

燃放影响。

非污染及不同污染类型时污染物的 6 年平均浓度见图 2。在三种污染类型中大范围连续污染时污染物浓度最高, PM₁₀ 浓度为 0.256 mg · m⁻³, SO₂、NO₂ 分别为 0.117 mg · m⁻³、0.105 mg · m⁻³; 个别污染是三种污染类型中污染最轻的, SO₂、NO₂、PM₁₀ 的浓度分别为 0.077 mg · m⁻³、0.076 mg · m⁻³ 和 0.177 mg · m⁻³, 三种污染物浓度均比局地连续污染低 0.02 mg · m⁻³ 左右。

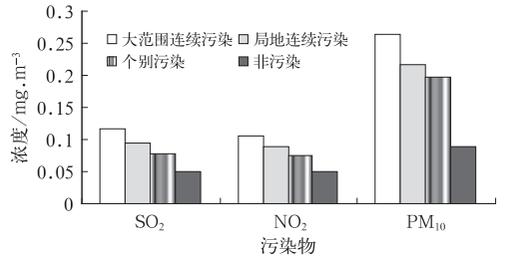


图 2 非污染及不同污染类型时污染物平均浓度
Fig. 2 Mean concentration of pollutants between non-pollution and different pollution types

从历年的污染天数变化来看, 大范围连续污染天数逐渐减少, 局地连续污染和个别污染天数有逐年增加的趋势。这是因为虽然各地都在积极采取各种措施治理大气污染, 节能减排, 但由于控制力度、措施效益等差异较大, 最终排入大气的污染物数量也有较大程度的不同。当大范围连续稳定天气形势出现时, 杭州及周边城市的空气质量受污染的程度就会出现较大的差别, 同时污染的情况相对较少, 表现出不同程度的空气质量状况。

不同污染类型时 PM₁₀ 浓度和污染出现频率的季节变化见表 2。从 PM₁₀ 浓度来看, 不同季节中均以大范围连续污染类型下浓度最高, 个别污染与局

表 2 不同季节污染、非污染时 PM₁₀ 浓度和污染频率的变化
Table 2 Variation of the frequency of pollution and PM₁₀ concentraton between pollution and non-pollution situations in seasons

类型	大范围连续污染	个别污染	局地连续污染	非污染
PM ₁₀ 浓度 /mg · m ⁻³	春季	0.263	0.188	0.199
	夏季		0.174	
	秋季	0.243	0.187	0.185
	冬季	0.237	0.213	0.204
出现频率 /%	春季	1.4	9.4	3.6
	夏季		3.6	
	秋季	7.7	9.9	7.3
	冬季	4.1	8.9	12.6

地连续污染相比,春季是前者较低,冬季是后者较低。夏季只出现个别污染类型,没有局地连续污染出现,且 PM_{10} 浓度也较低。个别污染类型和局地连续污染类型以冬季最高。

从出现频率的季节变化来看,冬季污染频率最高,为 25.6%,三种污染类型依次为局地连续污染 > 个别污染 > 大范围连续污染。秋季(污染百分比 24.9%)略低于冬季,三种类型污染频率非常接近,夏季只出现过个别污染类型,且污染频率很低,只有 3.6%。

杭州的大气环流形势四季变化非常明显,夏季处于副热带高压控制,上升气流较强,对流比较旺盛^[33-34],扩散条件比较好,加上大气光化学反应活跃,大气中二次污染物的前体物通过光化学反应被大量消耗,这些前体物的污染次数很少;冬季基本处于冷空气控制,下沉气流较强,大气比较稳定,对流作用较弱,加上杭州特殊的地理环境,非常容易形成局地连续污染;秋季由于频繁的冷空气南下,经常出现辐散型天气条件,大范围的下沉气流,十分不利于污染物的扩散,容易出现大范围连续污染,大范围出现雾霾现象,特别是霾的出现,就是因为空气中有丰

富的细小颗粒物而引起的。随着冷空气南压,北面的颗粒物也被输送到南部城市,使得大气中颗粒物的浓度大大提高。春季由于对流开始增强,水汽通量增大^[35-37],降水比较丰富,对污染物的冲刷作用较强,污染现象与秋冬季相比要少一些,在污染天数中 2/3 属于个别污染类型。

3 污染类型与气象条件的关系

3.1 不同天气条件下各污染类型的出现频率及其 PM_{10} 浓度变化

当整个长三角地区都处于高压稳定天气系统控制下且持续较长时间时,由于大气扩散作用极差,就会出现大范围连续污染,杭州及周边城市就有比较严重的污染现象^[38-39]。从不同天气系统条件下各类型污染出现状况来看(见图 3),高压控制时三种类型的污染频率都是最高的,其中大范围连续污染和局地连续污染的出现频率较高,高压后部时局地连续污染频率较高。许多学者的研究^[40-43]也表明,高压类型天气条件下容易引发污染尤其是较重污染的产生。

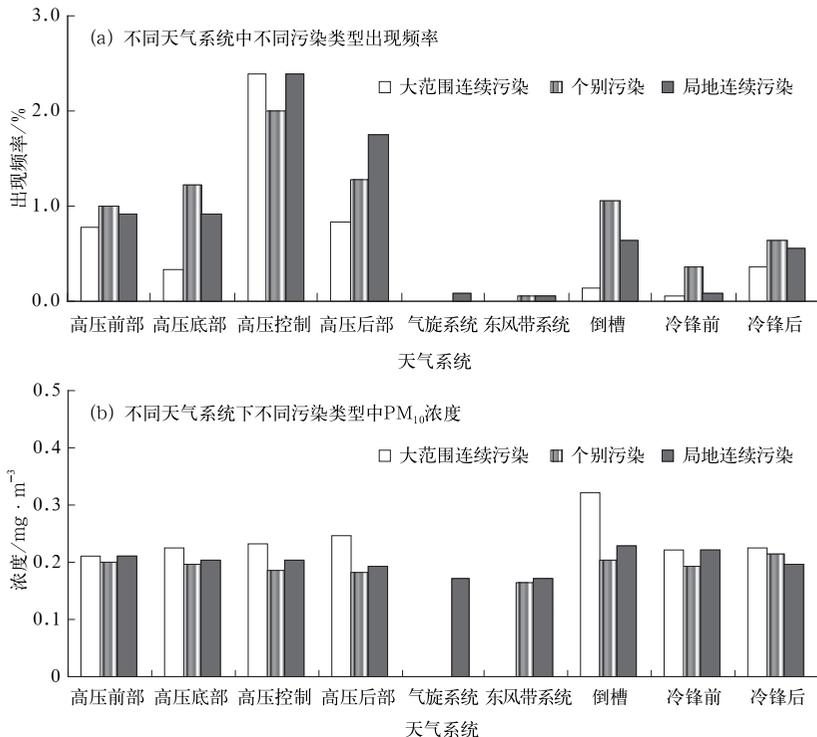


图 3 不同天气系统下各类型污染频率及 PM_{10} 浓度变化

Fig. 3 The frequency of pollution and PM_{10} concentration in various types among different weather systems

3.2 各污染类型下不同风向的频率和 PM₁₀ 浓度

从各污染类型的风频玫瑰图(见图 4a~c)可以看出,大范围连续污染和局地连续污染时的主、次风向都是 SSW、S,前者分别为 16.8%和 14.1%,后者都 12.7%;其他风向中均以 NNW 等偏北风的频率较高,共 33.5%。个别污染时则以 NW、SSW 为主、次风向,频率分别为 13.7%和 11.0%。

从各污染类型的 PM₁₀ 浓度玫瑰图(见图 4d~f)可以看出,三种污染类型中大范围连续污染类型的

PM₁₀ 在 E、N 二方位上的浓度较高,在 0.3 mg · m⁻³ 以上,这种高浓度出现时一般是在北方沙尘暴影响后产生了浮尘现象,大气中细小颗粒物较多引起的,沙尘暴影响杭州主要有两个风向,一个是北风,另一个是从内蒙古中部到大连沿着海岸线吹到上海、宁波,再影响到杭州市区,这种类型出现时风速仍然较大,是比较典型的远距离输送。另两个污染类型的 PM₁₀ 浓度各方位上相差较小,基本上在 0.2 mg · m⁻³ 左右变化。这两类污染类型时大气比较稳定,局地污染影响较大,污染物聚积产生较高浓度。

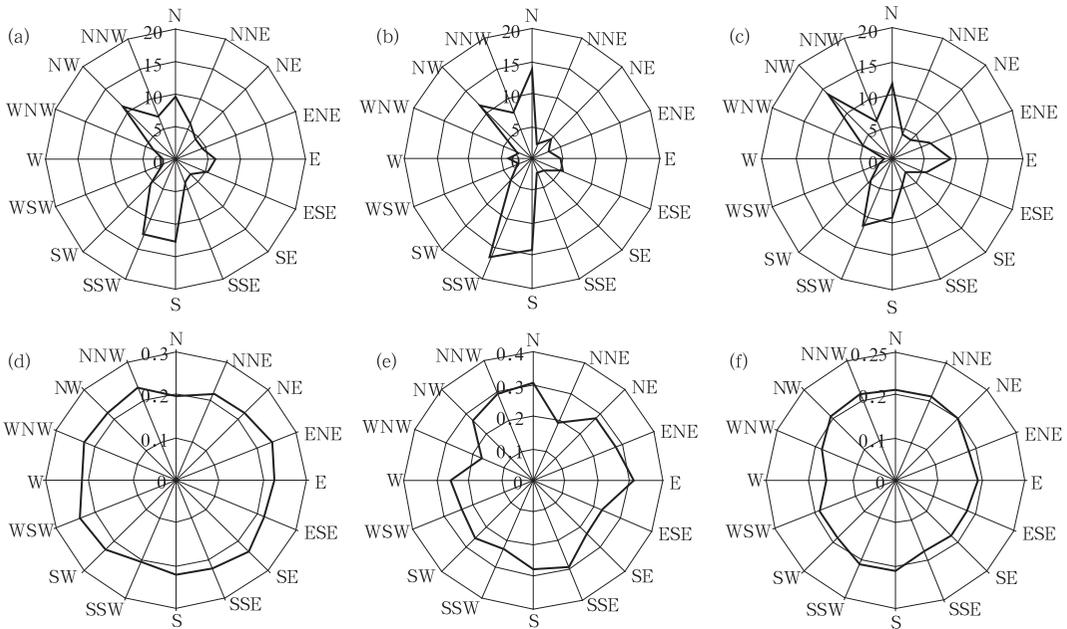


图 4 三种污染类型的风向频率和 PM₁₀ 浓度玫瑰图

- (a) 局地连续污染时风频(%); (b) 大范围连续污染时风频(%); (c) 个别污染时风频(%);
- (d) 局地连续污染时 PM₁₀ 浓度(mg · m⁻³); (e) 大范围连续污染时 PM₁₀ 浓度(mg · m⁻³);
- (f) 个别污染时风频 PM₁₀ 浓度(mg · m⁻³)

Fig. 4 The rose map of wind direction frequency and PM₁₀ concentration for three pollution types

无污染和三种污染类型出现时相关气象因子如降水、风速等相差较大(见图 5)。这 4 种情况中降水情况相差很大,有 97.2%的降水出现在空气质量为优良级别时,在大范围连续污染出现时基本无降

水,在局地连续污染和个别污染这两种污染类型中降水量分别占总降水量的 1.2%和 1.6%;从不同污染类型来看,大范围连续污染时平均风速最小,为 1.4 m · s⁻¹,个别污染与局地连续污染时平均风速相同,在优良状况下平均风速最大,为 2.1 m · s⁻¹。许多研究也表明风向、风速、降水量等气象因子对污染物存在类似的影响^[44-47]。

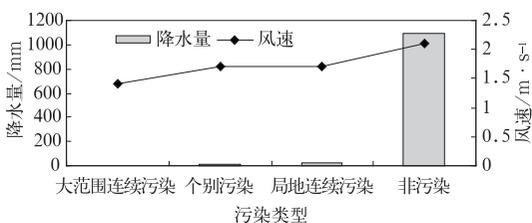


图 5 污染与非污染时降水量和风速对比
Fig. 5 Comparison of rainfall and wind speed between pollution and non-pollution situations

4 特殊污染事件影响

4.1 春节烟花爆竹燃放的影响

在某些年份,由于特殊污染事件(主要是春节烟

花爆竹燃放和沙尘暴影响产生的浮尘现象),个别污染中也会有较高浓度出现。如 2006 年春节除夕(2006 年 1 月 29 日),市区 PM_{10} 平均浓度为 $0.454 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, API 指数为 343, 空气质量出现重度污染(级别 V 级)。各点位中,位于居民区的 3 个点位空气质量都达到重度污染(API 为 500, V 级),两个受到居民区影响较大的点位空气质量也达到中度重污染(API 分别为 292 和 255, 级别均为 IV 2 级),空气质量相对最好的是作为清洁对照点的云栖点位,也是轻微污染(API 为 137, III 1 级)。

其他年份春节除夕 PM_{10} 浓度的小时变化见图 6。从图 6 可以看到,在历年大年初一零时由于烟花爆竹的集中燃放 PM_{10} 浓度均比较高^[48-50],尤其是 2006 年、2002 年和 2005 年较高,小时平均浓度分别是 $1.465 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $1.218 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $0.690 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。其他 3 年则相对较低,零时小时浓度在 $0.2 \sim 0.4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间,这 3 年零时的 PM_{10} 浓度不高是因为当时有较强的降水,烟花爆竹燃放大幅度减少,产生的污染物也少,再加上当时的风速和

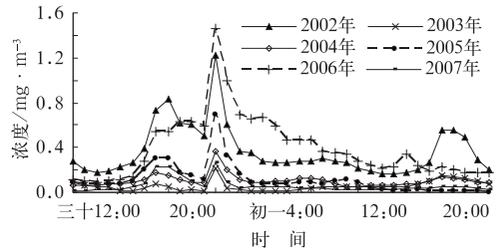


图 6 2002 年至 2007 年除夕 PM_{10} 浓度变化
Fig. 6 Concentration of PM_{10} in the New Year's Eve from 2002 to 2007

降水量都较大,天气条件也有利于污染物的扩散,这两个因素就使得空气中污染物的浓度大大降低。

4.2 沙尘暴影响后产生浮尘现象

以 2007 年 1 月 19 日和 4 月 2 日为例说明杭州市区在受到大范围稳定天气和沙尘暴影响时 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 浓度的不同特征(见表 3)。从表 3 可以看到,2007 年 1 月 19 日是一次比较典型的大范围稳定天气下的污染事件,由于天气稳定,污染物积聚后浓度逐步增高,导致 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 超出国家环

表 3 大范围污染(1 月 19 日)和沙尘暴影响(4 月 2 日)污染物浓度对比(单位: $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Table 3 Comparison of pollutants ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) between large-scale pollution and period affected by duststorm

日期	项目	SO_2	NO_2	PM_{10}
大范围污染 (1 月 19 日)	市区平均	0.194	0.123	0.353
	小时最大值	0.225	0.151	0.43
	小时最小值	0.116	0.088	0.136
	子站最大值范围	0.18~0.46	0.13~0.193	0.381~0.607
沙尘暴影响 (4 月 2 日)	市区平均	0.06	0.058	0.317
	小时最大值	0.09	0.066	0.482
	小时最小值	0.032	0.046	0.167
	子站最大值范围	0.064~0.157	0.052~0.088	0.395~0.675

境空气质量二级标准,超标倍数分别是 0.29、0.03、1.35。从 6 年所有的污染事件中可以看出, PM_{10} 超标比较常见,而 SO_2 、 NO_2 的超标现象较少,这二种污染物超标时均出现在稳定天气条件下。

表 4 显示前后 4 天周边主要城市的 API 变化

表 4 大范围污染时(2007 年 1 月 17—20 日)

杭州及周边城市空气 API 指数变化

Table 4 The API of large-scale pollution in Hangzhou and other cities

城市	1 月 17 日	1 月 18 日	1 月 19 日	1 月 20 日
上海	88	167	412	63
南京	78	147	166	111
苏州	92	145	354	63
南通	100	165	209	88
宁波	71	121	282	105
杭州	52	100	205	87

情况。19 日周边城市都出现污染,以上海(API 412)、苏州(API 354)污染最重,为重度污染。同在浙江的宁波,日常扩散条件要比杭州好得多,这天也出现 API 282 的高值,比杭州要高 77。由此可见,这几天受到的大范围稳定天气形势的影响是比较大的,影响的中心位置是从上海移动到宁波,杭州的部份点位受到较大影响。

2007 年 3 月 30—31 日为第 8 次强沙尘暴过程(200708 号强沙尘暴过程),4 月初对长三角地区产生很大的影响,个别城市因此出现 API 500 的最高值。为了分析沙尘暴期间主要城市的 API 变化,笔者将下载的沙尘暴期间国家环保部公布的城市空气质量日报 API 绘制成 API 的等值线图(见图 7)。

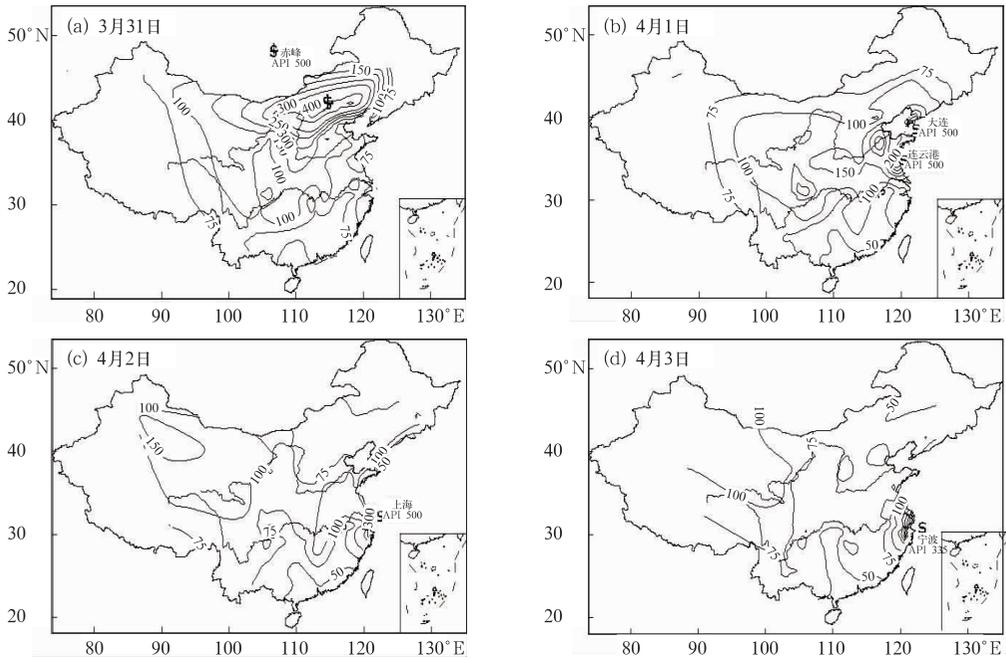


图 7 2007 年 3 月 31 日至 4 月 3 日 API 等值线图
 Fig. 7 Isolines map of API from 31 March to 3 April 2007

从图中可以看出,由于沙尘暴的出现及移动,内蒙古赤峰、大连和连云港、上海等城市的 API 相继出现 500 的高值,周边城市也相继出现 300 以上的重污染和 200 以上的中度污染或中度重污染,在影响过后 API 值迅速下降至正常范围。到 4 月 3 日上海 API 值由 2 日的 500 降低到 212,而宁波的 API 值依旧保持 335 的高值,嘉兴、杭州、绍兴、苏州、南通的 API 值较前几天也有较大程度的增加,沙尘暴的出现可以促使许多城市出现浮尘天气^[51-54]。

在 4 月 2 日上海的三项关键性空气质量监测数据中,SO₂ 和 NO₂ 的指数仅为 41 和 30,都属于“优”,PM₁₀的指数为 500,表明该日空气污染并非完全由本地的工业排放和扬尘污染所引发^[55]。而杭州一个监测点位也有类似现象出现(见图 8)。在 4 月 2 日 12 时前,SO₂ 浓度处于较高浓度(有多个小时在 0.1 mg · m⁻³ 以上),12 时后浓度逐渐下降(基本上在 0.05 mg · m⁻³ 左右),NO₂ 的浓度变化不大(0.047 ± 0.012 mg · m⁻³);而 PM₁₀ 在 17 时监测到 1.107 mg · m⁻³ 的 PM₁₀ 超高浓度,在随后的 4 个小时浓度 PM₁₀ 保持在 0.9 mg · m⁻³ 左右,同步 SO₂、NO₂ 浓度反而减小,这也表明 PM₁₀ 高浓度并非本地污染产生。

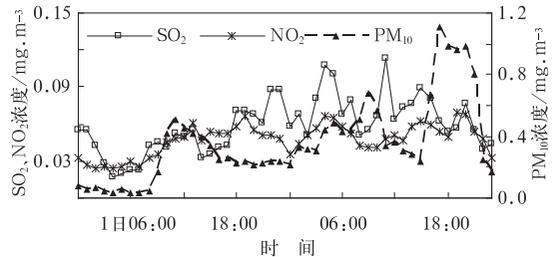


图 8 沙尘暴影响时杭州 4 月 1 日 00 时至 2 日 23 时污染物浓度
 Fig. 8 Concentration of pollutants affected by duststorm from 1 to 2 April 2007 in Hangzhou

据卫星云图显示,此次浮尘天气主要受西北偏北气流引导,先自西向东、后自北向南影响中国北部、东部大部分地区。4 月初的这次空气质量的异常很明显是一次受沙尘暴影响而出现的空气质量重度污染的事件,沙尘暴影响路线非常明显。当然,从某些城市的 API 值变化来看,这几天这些城市的空气质量本身并不是很好,但 API 的短时异常高值出现且 SO₂、NO₂ 的浓度变化不大说明这种污染有外源的较大贡献。

6 结论

(1) 杭州市区的空气质量有所好转,优良天数

增多,作为首要污染物的 PM_{10} 污染程度有所减轻。

(2) 污染出现具有明显的季节变化,冬季最多,夏季最少。污染程度比较严重的情况大多出现在大范围连续污染类型中,这类污染出现频率是其他两种污染总和的 1.5 倍。 PM_{10} 浓度在大范围连续污染类型时最高,个别污染类型时最低,浓度分别为 $0.256 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $0.177 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

(3) 杭州市区污染出现频率存在明显的季节变化,冬季最高,夏季最低,污染频率分别为 25.6% 和 3.6%。不同季节不同污染类型的出现频率相差较大,局地连续污染冬季出现频率较高,个别污染在春、秋二季出现较多,大范围连续污染在秋季出现较多。

(4) 不同污染类型中个别污染类型出现最多,局地连续污染类型出现最少,出现频率分别为 40.7% 和 29.9%。

(5) 污染类型在很大程度上受到天气形势的影响,其中大范围连续污染主要受到高压控制和高压后部这两种天气类型的影响。

(6) 烟花爆竹燃放和受沙尘暴影响出现的浮尘导致杭州市区出现极端污染事件,空气中颗粒物浓度很高,是平时的十几倍,使得杭州市区空气污染达到重度污染程度。

参考文献

- [1] 中国环境监测总站. 城市空气质量预报技术指标[EB/OL]. <http://www.cnemc.cn>.
- [2] 任阵海,苏福庆,高庆先,等. 边界层风大气排放物形成重污染背景解析[J]. 大气科学,2005,29(1):57-63.
- [3] 洪盛茂,何曦,祁国伟,等. 杭州市西湖风景区微粒污染的变化特点[J]. 中国环境监测,2003,2:18-22.
- [4] 洪盛茂,焦荔,包贞. 杭州市区可吸入颗粒物的污染特征分析[J]. 中国科学院研究生院学报,2008,24(5):571-577.
- [5] 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.
- [6] 王伟,汤大钢,刘红杰,等. 中国 $PM_{2.5}$ 污染状况和污染特征的研究[J]. 环境科学研究,2000,13(1):1-5.
- [7] 叶翠杏,王新红,印红玲,等. 厦门市不同功能区冬季 PM_{10} 中多环芳烃的污染特征[J]. 环境科学学报,2006,26(9):1532-1538.
- [8] 谭吉华,毕新慧,段青春,等. 广州市大气可吸入颗粒物(PM_{10})中多环芳烃的季节变化[J]. 环境科学学报,2005,25(7):855-862.
- [9] 王淑兰,柴发合,张远航,等. 成都市大气颗粒物污染特征及其来源分析[J]. 地理科学,2004,24(4):488-492.
- [10] 郭虎,付宗钰,熊亚军,等. 北京一次连续重污染过程的气象条件分析[J]. 气象,2007,33(6):32-36.
- [11] 于建华,虞统,杨晓光,等. 北京冬季 $PM_{2.5}$ 中元素碳、有机碳的污染特征[J]. 环境科学研究,2004,17(1):48-50.
- [12] Dana M, Zhuang G, Li X X, et al. The characteristics of carbonaceous species and their sources in $PM_{2.5}$ in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2004, 38: 3443-3452.
- [13] He K, Yang F, Ma Y L, et al. The characteristics of $PM_{2.5}$ in Beijing, China[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 4959-4970.
- [14] Ye B M, Ji X L, Yang H Z, et al. Concentration and chemical composition of $PM_{2.5}$ in Shanghai for a 12 year period [J]. Atmospheric Environment, 2003,37: 499-510.
- [15] Parkhurst W J, Tanner R L, Weatherford F P, et al. Historic $PM_{2.5}/PM_{10}$ concentrations in the southeastern United States Matter Standard [J]. Journal of Air and Waste Management Association, 1999,49: 1060-1067.
- [16] 孙孜孜,穆怀斌,吴丹朱,等. 天津城区秋季 $PM_{2.5}$ 质量浓度垂直分布特征研究[J]. 气象,2008,34(10):60-66.
- [17] 范引琪,李二杰,范增禄. 河北省 1960—2002 年城市大气能见度的变化趋势[J]. 大气科学,2005,29(4):526-535.
- [18] 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.
- [19] 洪盛茂,焦荔,何曦,等. 杭州市区大气能见度变化及其与主要因子的分析[J]. 中国粉体技术,2009,15(2):56-61.
- [20] 饶晓琴,李峰,周宁芳,等. 我国中东部一次大范围霾天气的分析[J]. 气象,2008,34(6):89-96.
- [21] 周宁芳,李峰,饶晓琴,等. 2006 年冬半年我国霾天气特征的分析[J]. 气象,2008,34(6):81-88.
- [22] 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.
- [23] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. 气象,2006,32(4):9-15.
- [24] 韩明霞,过孝民. 我国城市的大气污染及其对居民的健康影响[J]. 城市规划,2006,30(6):84-87.
- [25] 阚海东,陈秉衡,汪宏. 上海市城区大气颗粒物污染对居民健康危害的经济学评价[J]. 中国卫生经济,2004,2(23):8-11.
- [26] 戴海夏,宋伟民,高翔,等. 上海市城区大气 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 污染与居民日死亡数的相关分析[J]. 卫生研究,2004,33(3):293-297.
- [27] 徐肇翊,刘云清,徐希平. 沈阳市大气污染对死亡率的影响[J]. 中国公共卫生学报,1996,15(1):61-64.
- [28] 常桂秋,潘小川,谢学琴,等. 北京市大气污染与城区居民死亡率关系的时间系列研究[J]. 卫生研究,2003,32(6):565-567.
- [29] 申红喜,李秀连,石步鸰. 北京地区两次沙尘(暴)天气过程对比分析[J]. 气象,2004,30(2):12-16.
- [30] 徐晓峰,李青春,张小玲. 北京一次局地重污染过程气象条件分析[J]. 气象科技,2005,33(6):543-547.
- [31] 张小玲,刘建忠,徐晓峰. 北京春季一次持续浮尘和污染天气过程分析[J]. 气象科技,2004,32(6):420-424.
- [32] 李成才,刘启汉,毛节奏,等. 利用 MODIS 卫星和激光雷达遥感资料研究香港地区的一次大气气溶胶污染[J]. 应用气象学

- 报,2004,15(6):641-651.
- [33] 邹旭恺,陈峪,刘秋锋,等. 2007年中国气候概况[J]. 气象, 2008,34(4):118-123.
- [34] 李津,王华. 北京城区一次大到暴雨的预报难点分析[J]. 气象,2006,32(2):92-97.
- [35] 李红波,闫巨盛,马凤莲. 河北平原一次春季强对流天气分析[J]. 气象,2007,33(9):74-82.
- [36] 尹洁,叶成志,吴贤云,等. 2005年一次持续性梅雨锋暴雨的分析[J]. 气象,2006,32(3):86-92.
- [37] 徐双柱,沈玉伟,王仁乔. 长江中游一次大暴雨的中尺度分析[J]. 气象,2005,31(9):24-29.
- [38] 田宏伟,谈建国,杜子漩. 用 TSI 天气分型方法分析上海环境空气质量[J]. 气象与环境科学,2008,31(1):51-55.
- [39] 阴俊,谈建国. 上海地区地面风向对空气污染物浓度的影响[J]. 气象科技,2003,31(6):366-369.
- [40] 秦福生,周岩,王淑琴,等. 郑州市主要污染物污染特征及污染趋势分析[J]. 气象与环境科学,2007,30(4):63-65.
- [41] 高煜中,潘华盛,张桂华,等. 气象条件变化对哈尔滨市空气质量的影响[J]. 气象科技,2003,31(6):361-365.
- [42] 王喜全,齐彦斌,王自发,等. 造成北京 PM₁₀ 重污染的二类典型天气形势[J]. 气候与环境研究,2007,12(1):81-86.
- [43] 李琼,李福娇,叶燕翔,等. 珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度关系[J]. 热带气象学报,1999,15(4):363-369.
- [44] Kuang I Y. Spatial and seasonal variation of PM₁₀ mass concentrations in Taiwan[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36:3403-3411.
- [45] van der Wal JT, Janssen L H J M. Analysis of spatial and temporal variations of PM₁₀ concentrations in Netherlands using kalman filtering[J]. Atmospheric Environment, 2003, 34:3675-3687.
- [46] van der Wal J T, Janssen L H J M. How contribute emission of PM₁₀ and meteorology to concentrations of fine particles in the Netherlands[J]. Journal of Aerosol Science, 1996, 27: S681-S682.
- [47] Noordijk H. The variability of PM₁₀ concentrations in the Netherlands: Implications for a smog warning system[J]. Journal of Aerosol Science, 1996, 27: S683-S684.
- [48] 徐敬,丁国安,颜鹏,等. 燃放烟花爆竹对北京城区气溶胶细粒子的影响[J]. 安全与环境学报,2006,6(5):79-82.
- [49] 林肃浩,张弘,任飞. 燃放烟花爆竹对空气污染的调查和研究[J]. 化学教育,2007,7:52-53.
- [50] 洪盛茂,何曦,祁国伟,等. 杭州市春节期间空气质量变化特点[J]. 气象科技,2003,31(6):340-344.
- [51] 张晓玲,刘建忠,徐晓峰. 北京春季一次持续浮尘和污染天气过程分析[J]. 气象科技,2004,32(6):420-424.
- [52] 路爽,张管,孙凤华. 沈阳地区沙尘天气分析[J]. 气象科技, 2004, 24(1):112-119.
- [53] 郭发辉,郝京甫,宣捷. 北京风沙天气基本特征[J]. 气象, 2002,28(8):51-53.
- [54] 何晓红,次仁德吉,林志强. 拉萨一次浮尘天气过程分析[J]. 气象,2007,33(9):69-73.
- [55] 陈敏,许建明,施红,等. 上海“4.2”浮尘污染天气潜势分析[C]. 第四届长三角科技论坛论文集(下册), 2007:467-472.