

杭州市灰霾天气基本特征及成因分析

金 均¹ 吴 建¹ 蔡菊珍² 周洋毅¹ 张胜军^{1#} 邝 颖¹

(1. 浙江省环境保护科学设计研究院, 浙江 杭州 310007; 2. 浙江省气候中心, 浙江 杭州 310017)

摘要 根据浙江省近 50 年的灰霾天气统计数据,总结了浙江省灰霾天气特征。以杭州市为例,从杭州市地形地貌、气候因素和污染物排放因素 3 方面分析了杭州市灰霾天气成因,介绍了杭州市大气颗粒物污染特征及源解析。结果表明,杭州市灰霾天气频率显著升高,污染物排放是导致灰霾天气发生频率升高的直接原因,杭州市大气颗粒物中以细微颗粒物为主,大气污染类型已从煤烟型污染转变成复合型污染。结合杭州市大气污染现状,初步提出了灰霾天气防控对策。

关键词 灰霾 大气颗粒物 源解析 防治对策

Analyses of the characteristics and formation of haze pollution in Hangzhou Jin Jun¹, Wu Jian¹, Cai Juzhen², Zhou Yangyi¹, Zhang Shengjun¹, Li Ying¹. (1. Environmental Science Research Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang 310007; 2. The Climate Centre of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang 310017)

Abstract: Based on the meteorological statistical data of haze in recent 50 years, the characteristics of haze pollution in Zhejiang were summarized. Take Hangzhou as example, the paper analyzed the cause of haze pollution in Hangzhou from 3 aspects of climate, landform and pollutant emission. The characteristics of atmospheric particulates pollution and the genesis of haze pollution in Hangzhou were introduced. The results indicated that the frequency of haze occurrence was significantly increased in recent years, and it was closely related with the socioeconomic development; the proportion of the fine particulate was quite high in atmospheric particulates. Depend on the results, the primary measurements for haze pollution controls were proposed.

Keywords: haze; atmospheric particulates; source apportionment; measurements

灰霾天气是指大量极细微的干尘粒等均匀地悬浮在空中,使水平能见度小于 10 km 的现象。灰霾天气期间,空气普遍混浊,远处光亮物微带黄、红色,黑暗物微带蓝色。近年来,我国灰霾天气发生频率剧增,严重影响了人们的正常生活,灰霾粒子通过对太阳光的吸收、散射和折射,使大气混浊、视野模糊并导致地面能见度急剧降低,影响公路、水路和机场运输安全。此外,灰霾天气发生时,空气中集聚的大量细颗粒物可深入人体肺泡并形成沉积,进而进入血液循环,导致心肺功能疾病,诱发鼻炎、支气管炎等呼吸道疾病。

笔者根据浙江省近 50 年的霾天气统计数据,总结了浙江省灰霾天气特征。并以杭州市为例,从杭州市地形地貌、气候因素和污染物排放因素 3 方面分析了杭州市灰霾天气成因,结合分析结果,提出杭州市灰霾天气的防控对策。

1 浙江省灰霾天气基本特征

改革开放以来,随着城市化、工业化迅猛发展,

机动车拥有量、工业耗煤量和工业废气排放量不断增加,导致浙江省各地灰霾天气发生频率明显上升。1960—2008 年浙江省历年灰霾天数统计见图 1。

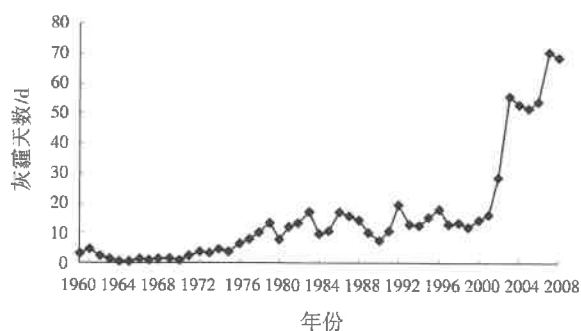


图 1 浙江省历年灰霾天数统计

Fig. 1 The meteorological statistical data of haze in Zhejiang

由图 1 可见,1960—2000 年浙江省灰霾天数年均值为 7 d,2000—2008 年,灰霾天气发生频率迅速增长,灰霾天数年均值增加到 40 d。为具体分析浙江省灰霾天气的地域特征和季节特征,对浙江省 11 个地级市灰霾天数与灰霾天数月变化分别进行统计,结果见图 2、图 3。

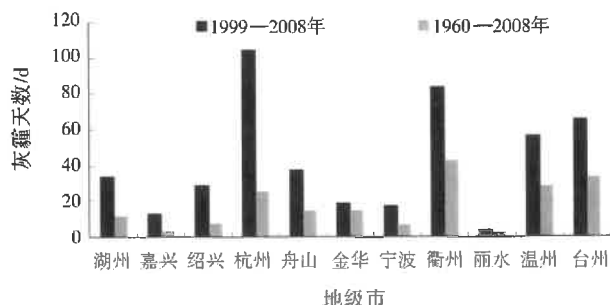


图 2 浙江省 11 个地级市灰霾天数统计

Fig. 2 The meteorological statistical data of haze in 11 districts

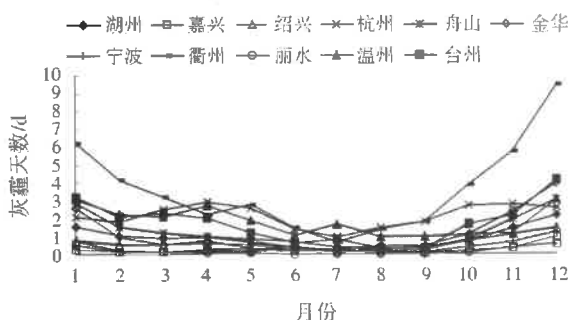


图 3 灰霾天数的月份变化

Fig. 3 The monthly change of haze in 11 districts

由图 2 可见,浙江省 11 个地级市 1960—2008 年灰霾天数年均值均低于 1999—2008 年灰霾天数年均值。其中,衢州市 1960—2008 年、1999—2008 年灰霾天数年均值均位于 11 个地级市前列,这可能与衢州市多年来发展重工业相关。杭州市 1999—2008 年灰霾天数年均值最高,远高于其 1960—2008 年灰霾天气年均值,这可能与杭州市近年来能源消耗量、汽车保有量大幅增加有关。总体上来讲,浙江省灰霾天气的地域特征基本表现为大城市高于中小城市,中小城市高于周边县市,内陆城市高于沿海城市。由图 3 可见,浙江省 11 个地级市的灰霾天数均呈现出冬、春季节高于夏、秋季节的特点。这一结果与我国广州、武汉、兰州、重庆等城市灰霾天气的季节性变化特征相类似^[1]。

2 杭州市灰霾天气成因分析

从浙江省近几年灰霾天气统计数据来看,杭州市是灰霾天气高发区域,同时,杭州市作为浙江省省会城市,对浙江省灰霾天气研究具有一定的代表性。1960—2008 年杭州市历年灰霾天数统计见图 4。以下从杭州市地形地貌、气候因素和污染物排放因素 3 方面简要分析杭州市灰霾天气的成因。

2.1 地形地貌

杭州自西向东地貌依次为山地、丘陵、平原,西部地区植被完好,东部平原地区地势平坦,河网交

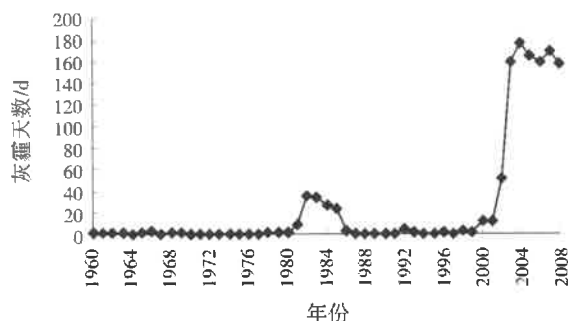


图 4 杭州市历年灰霾天数统计

Fig. 4 The meteorological statistical data of haze in Hangzhou

叉,植被覆盖指数较低,人为活动相对频繁和集中,在湿度、风力条件适宜的情况下,东部地区是扬尘的主要发生地带。

从地形上看,杭州市区西面三面环山,地势自西南向东北倾斜,夏季盛行西南风,冬季盛行西北风,这种地形与盛行风向不利于大气污染物向外扩散。特别在西南风条件下,杭州市区处于背风坡,类似盆地(见图 5)。



图 5 杭州市区地形图

Fig. 5 The topographic map of Hangzhou

2.2 气候因素

静风和近地面逆温是造成大气污染物累积的主要气象条件,杭州市区静风和早晚逆温频率相对较高。近年来,随着城市化进程的加速,近地面气流流经城区的频率明显减弱,城区静风频率超过 20%,秋、冬季节最高可达 24%,其中地形条件起了一定的作用。另据统计,杭州城区 7 时和 19 时逆温频率平均达到 60.5% 和 39.5%^[2],逆温作用如同“锅盖”覆盖在城市上空,导致大气污染物滞留。

2.3 污染物排放因素

从人类活动因素考虑,污染物的排放是导致杭州市区大气灰霾天气发生频率升高的直接原因^[3]。城市快速发展导致人口集聚、城市化程度提高与不

表 1 杭州市机动车保有量、能源消耗量与灰霾天数变化
Table 1 The variation of energy consumption, vehicle fleet and haze in Hangzhou

年份	灰霾天数/d	机动车保有量/万辆	原煤消耗量/万 t	汽油消耗量/t	柴油消耗量/t
1995	0	5.8	626	— ¹⁾	—
2000	12	9.1	814	32 426	90 924
2001	12	35.9	900	35 524	92 135
2002	51	43.8	1 013	38 639	105 990
2003	159	56.2	1 105	42 814	136 836
2004	176	68.1	1 298	61 220	296 464
2005	165	75.9	1 458	61 272	237 887
2006	159	85.2	1 529	67 203	221 060
2007	169	95.8	1 594	70 310	212 459
2008	158	101.9	1 462	69 560	214 606

注: ¹⁾ “—”表示数据缺失。

合理的能源消费结构,造成汽车尾气、道路扬尘、建筑粉尘等大量颗粒物无组织排放,这都是灰霾天气的重要诱因。

城市的发展和经济水平与该城市的机动车保有量、能源的消耗量等直接相关。表 1 对杭州市区近几年来机动车保有量、原煤消耗量、汽油消耗量、柴油消耗量进行统计,并与杭州灰霾天数变化进行了比较。

由表 1 可知,杭州市 1995 年的机动车保有与原煤消耗量均位于低水平,当年没有灰霾天气发生,随着杭州经济社会的发展,杭州市机动车保有量、能源消耗量均大幅增加,2003 年后杭州市灰霾天数均达 150 d 以上,由此可知,杭州市区灰霾天气发生与社会发展密切相关。

3 杭州市大气颗粒物污染特征及源解析

杭州市灰霾天数的增加与颗粒物排放量的增加有着直接的关系。杭州市环境监测站^[4]于 2001 年 2 月至 2002 年 4 月在杭州市卧龙桥空气质量监控点对 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 进行了同步质量浓度监测,结果表明,杭州市区大气颗粒物浓度以细微颗粒 PM_{2.5} 为主,PM_{2.5} 日均质量浓度为 19~209 μg/m³,年均质量浓度为 68 μg/m³。以美国环境保护署 1997 年提出的 PM_{2.5} 空气质量标准(日均质量浓度为 65 μg/m³,年均质量浓度为 15 μg/m³)来衡量,杭州市 PM_{2.5} 日均值超标率为 53.4%,年均值是美国标准的 4.53 倍。杭州市 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 日均浓度比值在 0.31~0.95,PM_{2.5} 和 PM₁₀ 月均浓度比值最小出现在 4 月(0.51),最大出现在 6 月(0.80)。杭州市大气颗粒物中,5 种水溶性离子的浓度排序为 SO₄²⁻ > NO₃⁻ > NH₄⁺ > Cl⁻ > F⁻,其中, NH₄⁺ 主要是以 (NH₄)₂SO₄, NH₄HSO₄ 和 NH₄NO₃ 的形式存在。

研究人员在杭州市云栖、朝晖 2 个采样点采集 PM_{2.5} 样品,并对样品中的碳组分进行分析,结果表明 PM_{2.5} 中有机碳浓度高于元素碳浓度^[5]。以上现象说明,杭州市大气污染类型已逐渐从早期的煤烟型污染转变成复合型污染。

对城区 PM₁₀ 成分进行源解析,发现道路建筑尘贡献率为 22.5%,燃煤尘贡献率为 26.2%,汽车尾气尘贡献率为 20.8%,其他二次粒子贡献率为 22.3%^[6]。近年来,汽车尾气尘的比重迅速增加,而燃煤尘的比重明显降低。分析结果表明,随着杭州城市化的进展,大气中颗粒物的性质也在发生着变化,因此对大气污染防治对策也需作相应的调整。

4 结论及防控对策

(1) 浙江省灰霾天气出现频率显著升高,其地域特征表现为大城市高于中小城市,中小城市高于周边县市,内陆城市高于沿海城市。季节特征呈现出冬、春季节大于夏、秋季节的特点。

(2) 杭州市地形地貌、气候因素和污染物排放因素都会影响杭州市灰霾天气发生,其中污染物排放是导致灰霾天气发生频率升高的直接因素。

(3) 杭州市大气颗粒物中细微颗粒物占了主导地位,PM_{2.5} 超标严重,大气颗粒物中的水溶性离子主要为 SO₄²⁻、NO₃⁻ 和 NH₄⁺,且有机碳浓度一般高于元素碳浓度,表明杭州市大气污染类型已逐渐从煤烟型污染转变成复合型污染。源解析结果表明杭州城区大气颗粒物中汽车尾气尘的比重增加,而燃煤尘的比重降低明显。

针对杭州市大气污染现状,为改善空气环境质量,初步提出以下几方面防控措施:一是深入开展灰霾天气机制的研究,建立大气气溶胶-能见度-大

(下转第 67 页)

