

文章编号:1673-1212(2006)07-0043-05

上海市中心城区空气中可吸入颗粒物污染水平和变化状况

王晓燕¹, 张爱东², 修光利³

(1.2 上海市闸北区环境监测站, 上海 200072; 3. 华东理工大学环境咨询研究中心, 上海 200237)

摘 要:2005 年对上海市闸北区空气中可吸入颗粒物(PM₁₀——空气动力学当量直径小于 10 μ m 的颗粒物的总称)的污染状况进行了一年的连续监测。结果表明:全年各月 PM₁₀ 污染均以 2 级为主, 占总样本数的 67.6%; 其次是 1 级占 20.0%, 3 级占 11.0%, 4 级占 1.4%。全年空气质量状况最好的为 9 月份, 最差为 11 月份。PM₁₀ 浓度与 CO 和 NO₂ 浓度呈现出显著的相关性, 说明机动车尾气是该区域 PM₁₀ 的主要来源; PM₁₀ 污染程度还明显地受到降水、气温、气压、风向、风速、相对湿度等气象条件以及北方沙尘暴的影响。

关键词:可吸入颗粒物(PM₁₀); 污染水平; 变化状况; 气象条件; 中心城区

中图分类号:X513

文献标识码:A

目前我国空气污染指数(API)用二氧化硫、二氧化氮和可吸入颗粒物(PM₁₀)三个污染因子进行评价。随着城市建设、经济的不断发展, PM₁₀ 已经成为上海乃至我国许多大中城市的首要空气污染物, 上海市 2005 年首要污染物 PM₁₀ 占全年天数的 90.1%, 出现轻度污染以上的天数中, 这一比例为 93.3%。控制和减少 PM₁₀ 对环境和人体健康的危害已经成为当前我国大气污染防治工作的重中之重。

大气中细颗粒物对人体健康、环境、气候和大气能见度等的危害一直得到国内外学者的关注和研究^[1-4]。城市大气中 PM₁₀ 主要来源包括燃料不完全燃烧所形成的烟雾、汽车排放的废气和城市建筑、市政等大量工程施工、物料堆放、地面裸露产生的扬尘等一次颗粒物, 还有大气中光化学产生的二次颗粒物^[5]。

本文对上海市闸北区空气中 PM₁₀ 污染水平 2005 年 1~12 月的连续监测结果进行了统计分析, 研究年度质量浓度特征、时间变化规律、与汽车尾气排放物 CO 和 NO₂ 以及与气象参数的相关性, 为有效地控制区域内 PM₁₀ 污染提供科学依据。

1 监测点位和方法

闸北区是上海九个中心城区之一, 地处上海的中心位置。监测点设在某中学教学楼顶(31°16.609'N, 121°27.060'E), 采样口距地面约 25 米。监测时间为 2005 年 1 月 1 日至 2005 年 12 月 31 日, 24 小时连续监测。监测点四周是居民区、文教区, 西侧约 200 米是纵贯闸北区的交通主干道共和新路, 道路分地面和高架二层, 车流量大。

监测仪器分别是: R&P Teom 1400a 振荡天平法可吸入颗粒物分析仪、API 200E 型化学发光法 NO-NO₂-NO_x 分析仪、API 300E 型非分散红外法 CO 分析仪及 METONE 6 参数气象测定仪。

在监测过程中, 按照上海市环境监测中心关于《上海市空气质量连续自动监测站建设和运行若干技术规定》对各分析仪进行定期巡检、维护、单点校准和多点校准, 确保各分析仪线性状况、精度和运行状况正常。

2 监测结果

2.1 PM₁₀ 污染水平

2.1.1 质量浓度统计

2005 年 PM₁₀ 年均值为 0.094mg/m³, 属于 II 级污染。月均浓度范围为 0.056mg/m³~0.139mg/m³。日均浓度范围为 0.022mg/m³~0.369mg/m³。

2.1.2 污染级别统计

由表 1 可见, 各级 PM₁₀ 污染以 II 级为主导, I 级次之, 分别占全年的 67.6% 和 20.0%。III 级和 IV 级只占全年的 11.0% 和 1.4%。7~9 月份 PM₁₀ 污染情况较轻, 只有 I~II 级, 其中 9 月份空气状况在全年中最好, I 级天数占当月的 44.8%; 4、11 月份空气污染最严重, 都出现了 IV 级, 尤其是 11 月份, 大于 II 级的天数占当月的 43.3%。

2.2 PM₁₀ 时间变化情况

PM₁₀ 浓度具有明显的日变化与月变化特征。PM₁₀ 浓度的日变化主要与人类活动和气象条件的日变化有关, 而月变化主要与气候有关。

收稿日期: 2006-05-25

作者简介: 王晓燕(1973-), 女, 江苏吴县人, 学士, 高级工程师, 从事环境空气质量监测工作。

表 1 2005 年 PM₁₀ 污染级别统计

月份	有效 天数	I < 0.05mg/m ³		II 0.05 ~ 0.15mg/m ³		III 0.15 ~ 0.25mg/m ³		大于 III > 0.25mg/m ³	
		天数	%	天数	%	天数	%	天数	%
1	31	2	6.5	24	77.4	5	16.1	/	/
2	28	11	39.3	16	57.1	1	3.6	/	/
3	31	2	6.4	26	83.9	3	9.7	/	/
4	30	1	3.3	23	76.7	5	16.7	1	3.3
5	31	8	25.8	21	67.7	2	6.5	/	/
6	30	4	13.3	24	80.0	2	6.7	/	/
7	31	8	25.8	23	74.2	/	/	/	/
8	31	10	32.3	21	67.7	/	/	/	/
9	29	13	44.8	16	55.2	/	/	/	/
10	31	5	16.1	20	64.5	6	19.4	/	/
11	30	7	23.3	10	33.3	9	30.0	4	13.3
12	31	2	6.4	22	71.0	7	22.6	/	/
合计	364	73	20.0	246	67.6	40	11.0	5	1.4

2.2.1 PM₁₀ 日变化

PM₁₀ 浓度的日变化规律与人类活动和大气结构特征有关。PM₁₀ 的典型日变化如图 1 所示,呈现明显的双峰型,峰值分别出现在 9 时和 17 时前后,日出前和午后浓度最低。9 时前后出现的峰值与上班高峰造成车流量较大以及清晨逆温现象尚未完全消失导致的不利扩散有关。中午近地面层温度高,大气稳定度减弱,湍流活动逐渐增强,同时近地面平均风速较大,对流强烈,有利于污染物扩散,在 13~15 时出现第一谷值。16~18 时出现的第二峰值与下班高峰造成的车流量较大有关,傍晚的大气对流开始减弱,大气层逐渐趋于稳定,不利于 PM₁₀ 向外扩散,但由于日间活动所产生的颗粒物仍累积在大气中,PM₁₀ 浓度又有一定上升,在夜间 22 时左右出现一个小高峰。下半夜大气的垂直输送基本停止,但由于夜间人类活动很少,车流量最小,1~5 时出现第二谷值。

然而,PM₁₀ 浓度的日变化特征并不是在任何天气形势下都能呈现的。在对流变化比较强烈的天气中,PM₁₀ 浓度的日变化特征不明显。

2.2.2 PM₁₀ 月变化

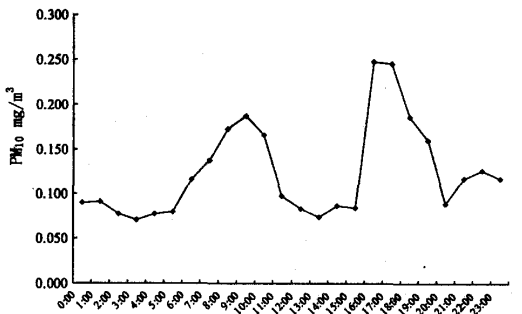


图 1 2005 年 PM₁₀ 的典型日变化图

表 2 2005 年 1~12 月 PM₁₀ 质量浓度统计

月份	日均值最小值	日均值最大值	月均值	气温℃	气压 kPa	相对湿度%	降雨量 mm	风速 m/s	静风频率%
1	0.029	0.242	0.118	3.6	102.4	63.4	83.5	2.3	8.33
2	0.032	0.186	0.068	4.5	102.3	67.7	179	2.8	4.91
3	0.046	0.214	0.106	9.6	102.0	53.9	56.5	2.6	7.12
4	0.050	0.369	0.124	18.7	101.3	55.6	55.5	2.4	4.86
5	0.028	0.206	0.077	21.3	100.8	60.8	123	2.7	2.42
6	0.038	0.206	0.085	27.4	100.2	59.6	84	2.4	3.92
7	0.025	0.143	0.08	30.5	100.3	64.3	203.5	2.6	4.17
8	0.023	0.130	0.067	29.1	100.4	66.1	441.5	2.9	3.76
9	0.023	0.112	0.056	26.9	101.0	64.6	190	3	2.82
10	0.029	0.241	0.093	19.7	101.8	61	59	2.5	12.5
11	0.022	0.337	0.139	16.1	101.8	58.2	56.5	2.1	23.4
12	0.024	0.257	0.107	5.5	102.6	51.1	36	2.7	9.69

受气象条件等多种因素的影响,不同月份之间 PM_{10} 浓度存在着明显的差异见表 2,夏季低,冬春季偏高。 PM_{10} 浓度的月均最小值 $0.056mg/m^3$ 和最大值 $0.139mg/m^3$ 相差 2.48 倍,分别出现在 9 月和 11 月。2 月和 5~10 月 PM_{10} 浓度的月均值较低,皆小于 $0.100mg/m^3$ 。

3~4 月正好是北方沙尘暴频发期,受此沙尘天气的影响, PM_{10} 月均值偏高。

5~10 月太阳辐射强、气温较高、大气对流活动旺盛、逆温少,大气扩散条件好。降雨日多量大,对污染物清除作用明显。主导风向是来自于东海海面的东南风,海面

上吹来的清洁空气将本地的污染物稀释,使环境空气中 PM_{10} 污染水平整体显著较低。

11~1 月气温较低、逆温频率高强度大、静风频率高、大气对流不活跃,降水减少,不利于污染物扩散,且主导风向是来自于内陆地区的东北到西北风,北方地区排放的大气污染物经过长距离传输影响上海,导致环境空气中 PM_{10} 污染水平整体偏高,超标较严重。

2 月风速较大,降雨量偏多,所以比 11~1 月的 PM_{10} 浓度低。

2.3 PM_{10} 与 CO 、 NO_2 的相关性

表 3 PM_{10} 、 CO 和 NO_2 小时均值浓度之间的相关性
(不包括 4 月 11~13 日、15 日、21 日及 5 月 13 日沙尘天气的小时均值数据)

月份	有效数据	PM_{10} 与 CO 的相关系数 r	有效数据	PM_{10} 与 NO_2 的相关系数 r	有效数据	CO 与 NO_2 的相关系数 r
1	727	0.7946	727	0.7219	738	0.7358
2	663	0.7476	656	0.7978	656	0.7178
3	737	0.7405	737	0.7171	737	0.7428
4	710	0.6004	689	0.5342	689	0.7354
5	731	0.6304	731	0.5577	731	0.7107
6	703	0.6713	703	0.6275	703	0.8278
7	736	0.5954	726	0.5107	726	0.8515
8	734	0.6896	672	0.6675	672	0.7241
9	667	0.7597	667	0.7671	667	0.7793
10	736	0.846	736	0.6863	736	0.7707
11	706	0.8012	673	0.7864	673	0.8281
12	726	0.8304	708	0.617	708	0.6306

汽车尾气不但带来 NO_x 、 HC 、 CO 污染,也带来细颗粒物污染,特别是一些柴油汽车和破旧车辆,由于燃烧不完全而带来细颗粒物污染。从表 3 中 PM_{10} 、 CO 和 NO_2 小时浓度均值之间的相关性可以看出,它们三者相关性显著。由此可以说明,空气中 PM_{10} 主要来源于汽车尾气的污染。颗粒物中的成分特征有待于进一步研究分析,以研究机动车尾气排放的细颗粒物对人体健康的危害。

3 讨论

污染物的扩散、稀释、沉降与诸多气象因子,如天气形势、温湿度、大风、降水等变化有关。上海市属于亚热带海洋性季风气候,四季分明,季风明显。2005 年年均气温 $17.8^\circ C$,月均气温 $3.6\sim 30.5^\circ C$,年降水量 1538mm。风向呈明显的季节性变化,3 月份风向多变,4 月~9 月盛行东南风,10 月~2 月盛行东北到西北风。平均风速 $2.6m/s$,静风频率 7.33%(风速 $\leq 1.0m/s$),午后 12:00~15:00 风速最大,平均为 $3.0m/s$,夜间 3:00~5:00 风速较小,平均值为 $2.2m/s$ 。深秋和冬季大气层结构稳定,逆温层出现频率较高。

3.1 气温、气压对 PM_{10} 浓度的影响

由表 2 可见,夏季气温高气压低,冬季则相反。气温

T 和气压 P 呈线性负相关, $T = -1.0797P + 1112.6$,相关系数 $r = 0.9421$,大于显著性水平 0.05 下临界相关系数值 0.5760。除 2 月份受其他因素的影响大外,气温与 PM_{10} 浓度有很好的一致性,二者呈负相关关系, $CPM_{10} = -0.0019T + 0.1307$,相关系数 $r = 0.6843$,大于显著性水平 0.05 下临界相关系数值 0.6021,说明 PM_{10} 浓度的变化与气温的变化具有明显的关联性。

气温、气压对 PM_{10} 浓度的影响是多方面综合效应的结果,一方面可能由于气温高时,空气的垂直湍流运动旺盛,有利于污染物输送、扩散;另一方面可能与气压变化联动的逆温层变化有关,当然气温变化与风向不同导致的污染贡献源不同也有关。但值得注意的是 7 月、8 月和 9 月三个月份,温度越高, PM_{10} 月均值越高,这可能与二次颗粒物的贡献有关,温度高有利于光化学反应,促进二次颗粒物的生成,二次粒子的粒径更小,对人体的危害更大。其他月份颗粒物与气温的负相关说明这些月份的其他因素的影响超过了二次粒子的贡献。

3.2 风速对 PM_{10} 浓度的影响

表 4 的统计结果表明, PM_{10} 浓度值 \geq III 级污染有 86.9% 集中在风速小于 $3.0m/s$ 的范围内。风速大于 $3.0m/s$

s 以后,PM₁₀浓度值≥Ⅲ级污染出现的频率随风速的增加而逐渐减少。而在各档风速中 PM₁₀浓度值≥Ⅲ级污染出现的频率先逐步降低再逐步增高,在相对适宜的风速范围内,例如,3~7m/s,污染物能很好地扩散,当风速大于7.0m/s后,地面起尘反而会使 PM₁₀浓度增高。

表 4 2005 年 1~12 月份 PM₁₀浓度值≥Ⅲ级
污染在各档风速中的出现频率统计

风速 m/s	PM ₁₀ 浓度值≥Ⅲ级 污染频率%	占有所有 PM ₁₀ ≥Ⅲ级 污染的频率%
0.4~1.0	43.7	19.0
1.1~2.0	25.8	41.1
2.1~3.0	12.9	26.8
3.1~4.0	8.0	9.6
4.1~5.0	4.5	2.0
5.1~6.0	5.8	0.7
6.1~7.0	9.6	0.3
7.1~8.0	20.0	0.2
8.1~9.0	75.0	0.2

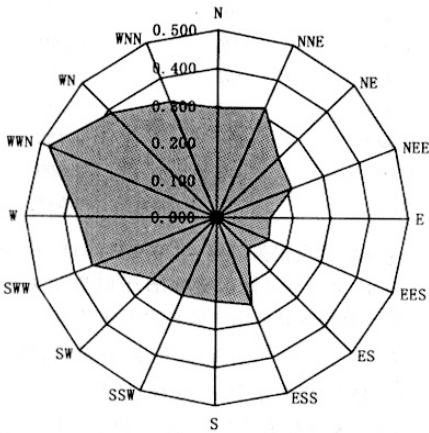


图 2 2005 年 1 月 PM₁₀浓度与风向

3.3 风向对 PM₁₀浓度的影响

污染源分布情况与采样点 PM₁₀浓度关系密切,位于采样点上风向的污染源将对 PM₁₀浓度产生较大的影响。采样点四周没有固定污染源,西侧约 200 米是交通主干道共和新路。在西北风向占主导的 1 月份,采样点西侧的道路交通污染和内陆风长距离输送来的西北方地区污染,使西北风向 PM₁₀浓度要明显高于其他风向(图 2)。而在东南风向占主导的 9 月份,东海海面吹来的清洁空气使当月 PM₁₀浓度月均值处于全年最低水平,是 1 月份 PM₁₀月均值的 47.4%。

3.4 相对湿度对 PM₁₀浓度的影响

表 5 所示,干燥及高湿天气均不易形成强污染。随着

湿度的增加,PM₁₀≥Ⅲ级污染出现的频率经历了先升高后下降的过程,有 63.6%的污染集中在湿度为 41~70%的范围内。干燥的空气条件比较有利于污染物的输送扩散,而高湿的空气比较有利于污染物凝聚沉降,所以相对湿度对 PM₁₀的影响存在一个最大影响区间。

表 5 2005 年 1~12 月份 PM₁₀浓度值≥Ⅲ级
污染在各档相对湿度中的出现频率统计

湿度 %	PM ₁₀ 浓度值≥Ⅲ级 污染频率%	占有所有 PM ₁₀ ≥Ⅲ级 污染的频率%
5~10	0.0	0.0
11~20	24.5	1.9
21~30	25.3	6.3
31~41	26.1	12.1
41~50	23.9	20.6
51~60	19.4	21.7
61~70	17.2	21.3
71~80	9.9	13.8
81~90	4.0	2.2

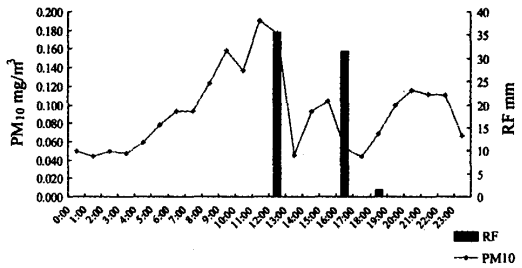


图 3 2005 年 6 月 28 日 PM₁₀浓度变与降雨的关系

3.5 降水对 PM₁₀浓度的影响

2005 年全年降雨量为 1538mm,2、7、8、9 月间的降雨量明显比其他月份偏多,分别为 179mm、204mm、414mm 和 190mm,占全年总量的 11.6%、13.2%、26.8%和 12.4%。

降水对悬浮于空中的细颗粒物有明显的“冲刷”作用,可以自然净化大气质量。PM₁₀浓度月均值和月降雨量 RF 的关系可以表示为 $CPM_{10} = 0.3734 \times RF^{-0.3092}$,相关系数 $r = 0.7980$ 。而且,降水时段越长污染物浓度降低幅度越大。图 3 是 2005 年 6 月 28 日的三场降雨过程引起的 PM₁₀小时浓度变化情况。前二场是大暴雨,雨量分别为 35.5mm 和 31.5mm。第一场强降雨过后,PM₁₀浓度迅速降低,从原来的 0.190mg/m³大幅度下降至 0.045mg/m³,由降雨前的Ⅲ级下降到Ⅰ级,空气质量明显好转,达到优级水平。随着第一场降雨停止,PM₁₀浓度又有所上升,直到第二场雨过后 PM₁₀浓度又下降到 0.044mg/m³。随后的少量降雨对 PM₁₀浓度的降低作用则很小。

3.6 北方沙尘暴的影响

中国沙尘暴主要发生在青藏高原和北方干旱半干旱

地区,4月份暴发范围最大,随后范围和强度逐渐缩小和减弱^[5]。北方的沙尘暴天气不仅使当地的 PM_{10} 浓度猛增,而且通过大气环流的输送会对南方的 PM_{10} 浓度产生明显的影响。

2005年4月11日、12日、14日、15日、20日和5月12日监测点 PM_{10} 污染严重,空气污染指数分别为227、135、113、130、108和128,空气质量级别为IV到III级,而这期间正好是北方发生沙尘暴的时间。

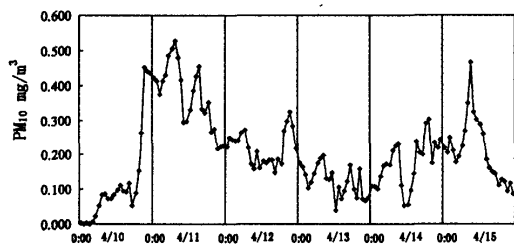


图4 2005年4月10日至4月15日沙尘天气

图4给出了2005年4月11日至4月15日沙尘天气影响上海时 PM_{10} 浓度的逐日变化。可以看出在此时间段内 PM_{10} 浓度出现多次峰值。沙尘暴的影响自4月10日19点开始至4月15日16点结束。

在118小时内, PM_{10} 浓度有73小时API值为100~200,有6小时API值为201~300,有12小时API值>300。在沙尘天气过境期间, PM_{10} 浓度从0.090mg/m³猛增到0.528mg/m³,浓度增加近4.9倍。而2005年 PM_{10} 平均浓度的API值为72,属于二级良好。可见沙尘暴对环境空气质量的影响大,沙尘暴爆发时颗粒物污染严重,说明远距离传输的自然沙尘是上海市细颗粒物的不可忽视的污染来源之一。

沙尘暴不只是输送沙尘,还输送有害物质,它不仅危害人体健康,也危害土壤和农作物,并对生态环境造成潜在的和长期的影响^[6],已引起人们的极大关注。

4 结论

(1)2005年 PM_{10} 年均值为0.094mg/m³,空气质量属于II级良好。 PM_{10} 月均值9月份0.056mg/m³最低,11月份0.139mg/m³最高,相差2.48倍。

(2) PM_{10} 浓度的日变化规律与人类活动和大气结构特征有关,9时和17时前后最高,日出前和午后最小。

(3)监测点 PM_{10} 、CO和NO₂ 小时浓度均值之间显著相关,说明三者来源相同,主要来源于当地汽车尾气的污染。

(4)研究表明, PM_{10} 浓度值是气象因素气温、气压、风速、相对湿度、风向、降水、沙尘暴等多因子综合影响的结果。

参考文献:

- [1] Querol. Xavier. Alastuey. Andres. et al. PM_{10} and $PM_{2.5}$ source apportionment in the Barcelona Metropolitan area. Catalonia. Spain. Atmospheric Environment[J], 2001. 35. 6407 - 6419.
- [2] 王荃. 王格慧. 黄鹏鸣. 高士祥. 王连生. 南京市大气中 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 日污染特征. 重庆环境科学[J], 2003. 35 (5). 54 - 56.
- [3] Chu. Shao - Hang. Paisie. Joseph W. Jang. Ben W. - L. PM data analysis - a comparison of two urban areas. Fresno and Atlanta. Atmospheric Environment[J], 2004. 38. 3155 - 3164.
- [4] Arvanitis. Athanasios. Moussiopoulos. Nicolas. Estimating long term urban exposure to particulate matter and ozone in Europe. Environmental Modelling & Software[J], 2006. 21. 447 - 453.
- [5] 韩永翔. 宋连春. 奚晓霞. 叶燕华. 中国沙尘暴月际时空特征及沙尘的远程传输. 中国环境科学[J], 2005. 25 (Suppl.). 13 - 16.
- [6] 张宁. 张武平. 张萌. 沙尘暴降尘对甘肃大气环境背景值的影响研究. 环境科学研究[J], 2005. No.5. Vol. 18. 6 - 10.

Pollution Level and Variation Characteristics of Inhalable Particle in Central Urban Ambient Air of Shanghai

WANG Xiao - yan¹, ZHANG Ai - dong², XIU Guang - li³

(1.2 Shanghai Zhabei Environmental Monitoring Station, Shanghai 200072, China;

3. Environmental Advisory Center, East China University of Science & Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: Ambient air pollution of Inhalable particle (PM_{10} , Particles with aerodynamic equivalent diameter lower than 10 μ m) were monitored continuously in Shanghai Zhabei Area in 2005. Results indicated that, during the whole year, the monthly pollution level of PM_{10} stayed mainly class 2 with 67.6%, the second was class 1 with 20.0%, the third was class 3 with 11.0%, the fourth was class 4 with 1.4%. The seasonal variation showed that the best air quality occurred in September while the worst occurred in November. PM_{10} concentration correlated significantly to CO and NO₂, which demonstrated that vehicle exhaust might be the predominate sources of PM_{10} . It was also found that PM_{10} pollution was obviously associated with such meteorological conditions as precipitation, atmospheric temperature, atmospheric pressure, wind direction, wind speed and relative humidity, and external transportation like dust storm in north China.

Key words: inhalable particles(PM_{10}); pollution level; variation characteristics; meteorologic condition; central urban area