

文章编号:1000-2022(2004)01-0020-09

## 银川市大气颗粒物物理化学特征研究

## I: 大气颗粒物浓度特征

樊曙先<sup>1</sup>, 郑有飞<sup>1</sup>, 金国兴<sup>2</sup>, 陈世功<sup>2</sup>

(1. 南京气象学院 环境科学系, 江苏 南京 210044; 2. 宁夏环境保护局, 宁夏 银川 750001)

**摘 要:**根据大量的大气环境监测资料,系统分析了银川市市区、郊区以及市中各功能区(居民区、商业区、文教区、工业区、交通区、娱乐区)大气颗粒物的 TSP(Total Suspended Particles)、PM<sub>10</sub>(粒径小于等于 10 μm 的粒子)和 PM<sub>2.5</sub>(粒径小于等于 2.5 μm 的粒子)质量浓度的季节分布、日变化以及随高度的分布特征。结果表明:银川市背景大气 TSP 平均值为 0.126~0.248 mg·m<sup>-3</sup>,低于国家三级污染标准;银川市市区 TSP 日平均浓度的年平均值为 0.47~0.78 mg·m<sup>-3</sup>,超过国家二级标准 0.57~1.6 倍,超标率高达 61.3%~92.5%,日均最大值超标 7.9 倍;春夏秋冬 4 季中,以冬春两季日平均浓度最高,其原因是燃煤取暖和沙尘暴多发。各功能区中商业区、交通区、居民区的 TSP 较高,这显然与人为活动、机动车辆排放密切相关,TSP 日变化均呈现出与人为活动相一致的规律性;TSP 的空间分布表明城市高于郊区,规模大、人口密度高、商业网点密集的城区 TSP 较高。各粒径粒子的质量浓度随高度递减,PM<sub>10</sub>占 TSP 的比例却随高度增加,说明 PM<sub>10</sub>随高度增加。地面呼吸带高度上 PM<sub>10</sub>和 PM<sub>2.5</sub>均较高,可能与低空排放源有关。春季风沙期是大气污染最为严重的季节。

**关键词:**大气颗粒物;TSP;PM<sub>10</sub>;PM<sub>2.5</sub>

**中图分类号:**X513      **文献标识码:**A

大气颗粒物是最主要的大气污染物之一,对人体的危害不仅与其浓度、粒径大小有关,更重要的是与所吸附的化学成分有关。研究表明,细颗粒中所含有的重金属和多环芳烃等有毒有害物质比粗粒多,而随着粒子粒径的降低,粒子在大气中的滞留时间和在人体呼吸系统的吸收率随之增加,对人体健康的影响也越大<sup>[1-3]</sup>。可吸入颗粒物 PM<sub>10</sub>和 PM<sub>2.5</sub>能进入人体呼吸道,尤其是 PM<sub>2.5</sub>能够进入人的肺泡和血液系统,可导致癌症、高血压、动脉硬化、心脏病和肺纤维硬化等疾病,对人体健康危害更大<sup>[4]</sup>。大气颗粒物还可能对生态环境、历史文物造成严重的负面影响。

近年来,美国和欧洲许多国家在对 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>深入研究的基础上,制定了 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>标准。例如,美国国家标准规定 PM<sub>10</sub>的日均值和年均值不能超过 0.15 mg·m<sup>-3</sup>和 0.05

收稿日期:2002-12-16;改回日期:2003-03-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40365003);南京气象学院科研基金资助项目(DQ08)

作者简介:樊曙先(1963-),女,四川南充人,副教授,博士生,研究方向:大气化学与大气环境。

$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $\text{PM}_{2.5}$  的日均值和年均值不能超过  $0.065 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $0.015 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。美国是目前世界上唯一制定  $\text{PM}_{2.5}$  标准的国家。

随着人们对环境和自身健康的日益重视,  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  有机物及室内空气污染物的理化特征及源解析成为大气环境研究的前沿问题。国内对  $\text{PM}_{2.5}$  的研究刚起步, 还主要限于对  $\text{PM}_{2.5}$  的理化特性研究<sup>[5-7]</sup>。

大气颗粒物的来源复杂, 影响因素很多, 既来自固定排放源又来自无组织排放源, 受到人群活动和自然过程(如沙尘暴)等诸多因素的影响<sup>[8-10]</sup>。部分沙尘气溶胶还可作为冰核, 对云和降水产生重要影响<sup>[11]</sup>。孙继明等<sup>[12]</sup>对沙漠地区沙尘天气近地层湍流输送特征进行了研究。杨丽萍等<sup>[13]</sup>运用因子分析法, 研究了大气降尘的污染来源及各源所占的比例, 结果表明 4 种污染源是大气降尘的主要来源, 按贡献率大小依次为: 燃煤 41.04 %、风沙扬尘 22.97 %、汽车尾气 18.67 %、建材 12.84 %, 其他约 4.48 %。为了控制和削减大气中总悬浮颗粒物的含量, 提高空气质量, 对  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  进行防治, 就必须了解大气中颗粒物的来源, 还要定量计算出各个源对环境污染的贡献值。本文利用 1983—1987 年常规环境监测资料和 1988 年 4 月—1989 年 10 月经科学设计的环境监测资料, 试图系统分析银川市大气颗粒物浓度特征、物理特征、化学特征以及室内污染特征, 以便与当前环境监测结果进行比较, 客观评价环境保护成果。

## 1 布点与采样

银川市自东向西分别是城区、新城区和新市区, 东西长约 20 km, 三片相对独立, 中间有农田相隔。城区以商业、市属小型工业企业和居民居住为主, 新城区无明显功能分区; 新市区是自治区党委机关、大专院校和本市大型工业企业所在地。城市分片布局和各片主体功能的差异导致了空气污染物排放源的类型、大小、分布、污染物排放规律和性质的差异。因此, 采样点分布应体现城市分片相对独立这一特征。采样点依市区(城区、新城区、新市区)、郊区(近郊区、远郊区)布设, 在市区中又依文教、商业、工业、居民、交通、娱乐等功能布设, 共建采样点 21 个, 其中背景点 3 个, 郊区 3 个, 市区 15 个。布点的空间密度平均约为 1 个/(2 km<sup>2</sup>), 同一时段内同步采样的点数不少于 3 个。

总悬浮颗粒 TSP 采用 KB-120 采样, 流量 120 L/min, 采样时间分为 2 h 一次(每天 12 次)和 12 h 一次(白天、夜间)两种, 分别获得瞬时浓度和日平均浓度值。 $\text{PM}_{10}$  采用 QL-6A 型采样器, 流量 20 L/min, 采样时间分为连续 24 h 和 36 h。分级质量浓度采用 Cohen MW-2 型级联撞击器采样, 流量为 100 L/min, 采样时间与总悬浮颗粒同步, 每 12 h 采样一次(白天、夜间各一次)。布点采样、仪器性能、化学分析方法和质量控制措施等详细情况见文献 1)。

## 2 背景大气 TSP 特征

为了研究银川市背景大气 TSP 本底值, 1989 年 5—6 月在贺兰山自然保护区、宁夏农学院农场和宁夏农林科学院园艺所设置监测点进行采样。结果表明: 3 个监测点 TSP 的取值范围依次为 0.003~0.462、0.089~0.063 和 0.079~0.394  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , TSP 平均值依次为 0.126、0.214 和 0.248  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。贺兰山自然保护区背景大气的 TSP 最低, 为 0.126  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 宁夏农学院农场背景 TSP 最大, 为 0.626  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。三个采样点的背景 TSP 均高于欧洲地区的背景 TSP(苏联别列津保护区 0.031  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、列皮切克 0.066  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、比利

万方数据

1) 金国兴, 陈世功. 银川市大气颗粒物污染特征、来源及控制对策研究[M]. 1993: 12-13; 30-44; 119.

时  $0.050\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、玻利维亚  $0.010\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )<sup>1)</sup>,但与国家三级污染标准(1996)  $0.500\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 相比,仅宁夏农学院农场 TSP 超标。

### 3 污染大气的 TSP 特征

#### 3.1 TSP 平均状况

表 1 给出了银川市 1983—1987 年各年度 TSP 监测结果,表中列出了 TSP 日平均值和日最大浓度值及按 1996 年国家二级标准( $0.30\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,下同)TSP 的超标率和日最大浓度的超标倍数。从表中可以看出,日平均浓度的年平均值为  $0.47\sim0.78\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,超过国家二级标准  $0.57\sim1.6$  倍,超标率高达  $61.3\%\sim92.5\%$ ,日均最大值超标 7.9 倍。1 年 4 季中春、冬两季日平均浓度最高,这可能是冬季采暖和春季风送沙尘二者的贡献所致。银川市  $\text{SO}_2$  日平均浓度的年平均值一直稳定在  $0.04\sim0.05\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间<sup>1)</sup>,低于国家二级标准,年超标率仅在  $1.7\%\sim9.2\%$ 之间, $\text{NO}_x$  的日平均浓度的年平均值为  $0.02\sim0.04\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,接近国家一级标准,年超标率为  $0\sim8.3\%$ 。由此可知,银川市最严重的大气污染物质是大气颗粒物。

表 1 银川市 1983—1987 年 TSP 监测结果  
Table 1 Observed TSP during 1983—1987 in Yinchuan

| 年份   | 春                              |        | 夏                              |        | 秋                              |        | 冬                              |        | 全年                             |       |
|------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|-------|
|      | 日均值                            | 超标率    | 日均值                            | 超标率    | 日均值                            | 超标率    | 日均值                            | 超标率    | 日均值                            | 超标率   |
|      | $/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | $/\%$  | $/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | $/\%$  | $/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | $/\%$  | $/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | $/\%$  | $/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | $/\%$ |
| 1983 | 0.64                           | 65.5   | 0.39                           | 56.7   | 0.48                           | 60.0   | 0.37                           | 63.3   | 0.47                           | 61.3  |
|      | (1.66)                         | (4.53) | (0.94)                         | (2.13) | (1.53)                         | (4.10) | (0.64)                         | (1.13) |                                |       |
| 1984 | 1.05                           | 96.7   | 0.68                           | 60.0   | 0.93                           | 90.0   | 0.44                           | 70.0   | 0.78                           | 75.8  |
|      | (2.67)                         | (7.90) | (1.84)                         | (5.13) | (2.05)                         | (5.83) | (0.84)                         | (1.80) |                                |       |
| 1985 | 0.50                           | 60.0   | 0.46                           | 60.0   | 0.48                           | 63.3   | 0.54                           | 83.3   | 0.49                           | 66.7  |
|      | (1.28)                         | (3.27) | (1.02)                         | (2.40) | (1.29)                         | (3.30) | (1.01)                         | (2.37) |                                |       |
| 1986 | 0.82                           | 90.0   | 0.54                           | 100    | 0.58                           | 83.0   | 0.80                           | 97.0   | 0.68                           | 92.5  |
|      | (2.11)                         | (6.03) | (0.88)                         | (1.93) | (1.29)                         | (3.30) | (1.55)                         | (4.17) |                                |       |
| 1987 | 0.89                           | 96.7   | 0.47                           | 73.3   | 0.49                           | 56.7   | 0.76                           | 96.7   | 0.65                           | 80.8  |
|      | (2.37)                         | (6.90) | (0.94)                         | (2.13) | (1.18)                         | (2.93) | (1.58)                         | (4.27) |                                |       |

注:列在日平均值下的括号中内容表示日最大浓度值;列在超标率下面括号中内容表示日最大浓度的超标倍数。

#### 3.2 各功能区平均 TSP

表 2 为银川市各功能区 TSP 监测结果,表中所列春季为 4 月 10 日—5 月 31 日、冬季为 12 月 10 日—次年 1 月 31 日、夏季为 7 月 10 日—8 月 20 日、秋季为 9 月 10 日—10 月 20 日。

银川市各功能区中除工业区和文教区外,TSP 均大于郊区;功能区中以商业区 TSP 为最高,与该区人流量大且较为集中、风味食品就地加工、摊位密集有关;交通区 TSP 居第二位,为各类车辆行驶时使地面尘土浮扬所致;居民区 TSP 居第三位。说明银川市总悬浮微粒污染的一个鲜明特征是:主要污染区域为人口密度大、人为扰动地面尘多或是低空排放源密集的区域,而不是工业区。

——万方数据——

1)金国兴,陈世功. 银川市大气颗粒物污染特征、来源及控制对策研究[M]. 1993:12-13;30-44;119.

表 2 银川市各功能区 TSP 日平均浓度的年平均值

Table 2 Annually averaged TSP in different areas in Yinchuan City  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$

|    | 居民区    | 商业区    | 文教区    | 工业区    | 交通区    | 郊区     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 春  | 1. 100 | 0. 920 | 0. 482 | 0. 530 | 0. 984 | 0. 660 |
| 夏  | 0. 506 | 0. 780 | 0. 456 | 0. 254 | 0. 766 | 0. 484 |
| 秋  | 0. 828 | 0. 732 | 0. 246 | 0. 350 | 0. 886 | 0. 516 |
| 冬  | 0. 682 | 0. 796 | 0. 364 | 0. 506 | 0. 690 | 0. 444 |
| 全年 | 0. 780 | 0. 808 | 0. 338 | 0. 412 | 0. 830 | 0. 506 |

3.3 TSP 时间分布

表 3 列出不同季节瞬时和日均 TSP 的平均值,从表中可看出,不论是瞬时 TSP 还是日均 TSP,均以春季风沙期和冬季采暖期 TSP 为最大,最大值也出现在这两个时期。银川周围分布着广袤的沙漠,即塔克拉玛干、巴丹吉林、腾格里沙漠和毛乌苏沙地,春季是沙尘天气(浮尘、扬沙和沙尘暴)的高发期,在三条主要沙尘路径(西、西北和北)上活动的沙尘天气基本上都能影响到银川地区<sup>[14]</sup>。因此,沙尘天气是造成春季风沙期 TSP 较高的主要原因,可见春季风沙已成为影响银川市大气质量的主要因子之一。而冬季采暖期 TSP 较高则主要是采暖燃煤造成的。夏季非采暖期 TSP 较低主要是夏季降水对大气颗粒物的湿清除所致,这一时期是银川的主降水期。

表 3 不同季节瞬时和日均 TSP 的平均值

Table 3 Seasonal variation of hourly and daily averaged TSP in different periods in Yinchuan

$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$

| 时期     | 瞬时质量浓度 |        |        |        | 日均质量浓度 |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | 样本数/个  | 最小值    | 最大值    | 平均值    | 样本数/个  | 最小值    | 最大值    | 平均值    |
| 春季风沙期  | 825    | 0. 174 | 1. 929 | 0. 655 | 280    | 0. 165 | 1. 384 | 0. 518 |
| 夏季非采暖期 | 1 065  | 0. 036 | 1. 863 | 0. 386 | 343    | 0. 142 | 1. 228 | 0. 479 |
| 冬季采暖期  | 1 710  | 0. 108 | 2. 879 | 0. 627 | 465    | 0. 228 | 1. 228 | 0. 590 |
| 全 年    | 3 600  | 0. 036 | 2. 879 | 0. 563 | 1 088  | 0. 142 | 1. 384 | 0. 539 |

表 4 为银川市白天(07—19 时)和夜间(19—07 时)的 TSP,由表知道,春季和冬季白天平均 TSP 略大于夜间,夏秋季反之。这一污染特征主要与人为活动、排放规律和气象条件有关。

表 4 银川市白天(07—19 时)与夜间(19—07 时)的 TSP

Table 4 Averaged TSP over the daytime(T07—19) and nighttime(T19—07) in Yinchuan

$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$

|     | 春季     |        | 夏秋季    |        | 冬季     |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | 白天     | 夜间     | 白天     | 夜间     | 白天     | 夜间     |
| 最小值 | 0. 174 | 0. 190 | 0. 059 | 0. 036 | 0. 137 | 0. 108 |
| 最大值 | 1. 903 | 1. 929 | 1. 613 | 1. 863 | 2. 879 | 2. 278 |
| 平均值 | 0. 736 | 0. 574 | 0. 365 | 0. 408 | 0. 661 | 0. 580 |

3.4 TSP 日变化

银川市 TSP 在 06 时左右开始增加,08—10 时、18—20 时达到峰值,15—18 时出现低谷,02—04 时 TSP 最低,其日变化规律与人口活动规律基本一致。图 1~3 分别给出了功能区不同时期的 TSP 日变化。从图 1 可知,功能区风沙期 TSP 日变化以居民区、商业区和交通区最为显著,基本表现为三峰三谷型,其中 14 时的峰值是上述三个区共有的,可能与风速较大有关。交通区峰值出现在交通繁忙、交通量最大的 07 时左右和 18—20 时;居民区 TSP 自 04 时增加,06 时、14 时和 18 时达峰值;商业区 TSP 峰值分别出现在 10 时、14 时和 24 时,20 时 TSP 处在低谷,以后逐渐增加,02 时 TSP 降至最低。这三个峰值分别与人流量和夜间清扫大街有关。居民区、商业区和交通区 TSP 日变化规律,说明风沙期自然尘、工业烟尘、车量流和人流扰动地面尘土形成的扬尘是市内大气颗粒物的重要来源。

工业区 TSP 三个峰值分别出现在 02—04 时、22 时和 10 时,说明了工业燃烧源的排放规律。文教区和娱乐区 TSP 起伏频繁,特别是文教区 TSP 起伏较大,表现出十分明显的受自然尘控制的无规律性。

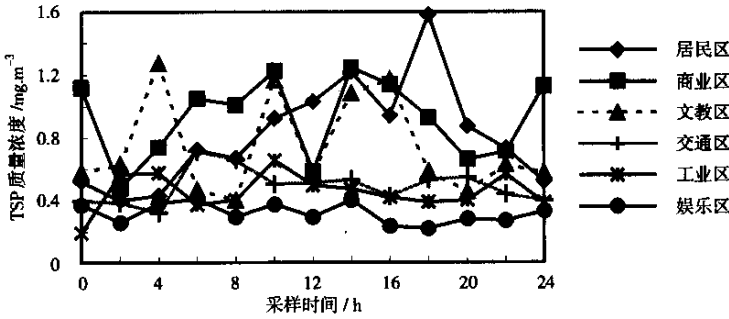


图 1 功能区风沙期 TSP 日变化

Fig. 1 Diurnal variation of TSP in different areas in spring

图 2 揭示了银川市非采暖期各功能区 TSP 日变化规律。从图可知,非采暖期工业区 TSP 峰值出现在 00 时,工业源排放量最大的时刻出现在深夜。对污染源进行监测时,必须考虑这一点。商业区 TSP 04 时出现第一个峰值且是最大值,09 时正是商业性燃烧排放量较大和清扫大街的时刻,这两种机制叠加使 TSP 增大。08 时商业区人流量剧增,出现第二个峰值,至 16 时降至最低点后再次升高,与商业区夜间繁荣期相对应,延续至 22 时达到峰值,TSP 再次下降。显然商业区的商业行为规律和人流规律是控制商业区 TSP 高低的主要因素。交通区的两个峰值与非采暖期车流量的两个峰值相对应,分别出现在 06 时和 18 时,显然车流形成的扬尘和排放物是非采暖期交通区 TSP 的主要来源。文教区 TSP 峰值分别出现在 02 时、06 时、14 时,分别由工业源集中排放、高车流量和高人流量等因素造成;其 TSP 变化的主要特点是:14—16 时文教区 TSP 达峰值,而其他功能区 TSP 均为谷值;18 时文教区出现 TSP 谷值,而其他功能区 TSP 却均为峰值。

图 3 给出了冬季采暖期 TSP 日变化特征。从图可知,各功能区 TSP 日变化曲线基本呈三峰三谷型。冬季采暖期 TSP 日变化规律与冬季采暖规律相一致;与春季风沙期相比较,采暖期 TSP 日变化主要受城市自身污染源的排放规律控制;与夏秋季非采暖期相比较,采暖期不存在一个各功能区均存在的谷值(14—16 时),说明车量流和人流扰动地面尘土形成的扬尘已经不是采暖期 TSP 变化的主要因素。

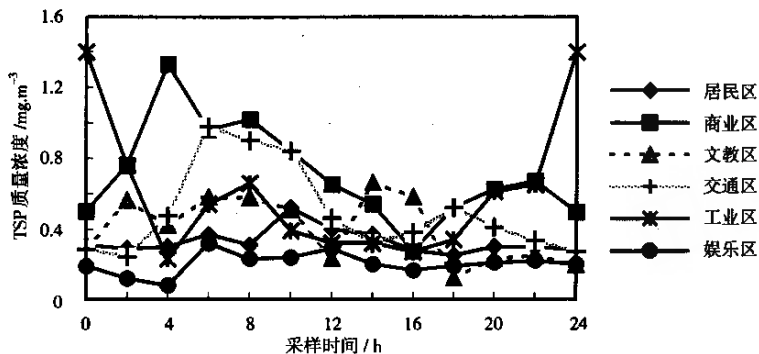


图 2 功能区非采暖期 TSP 日变化

Fig. 2 Diurnal variation of TSP in different areas in summer and autumn

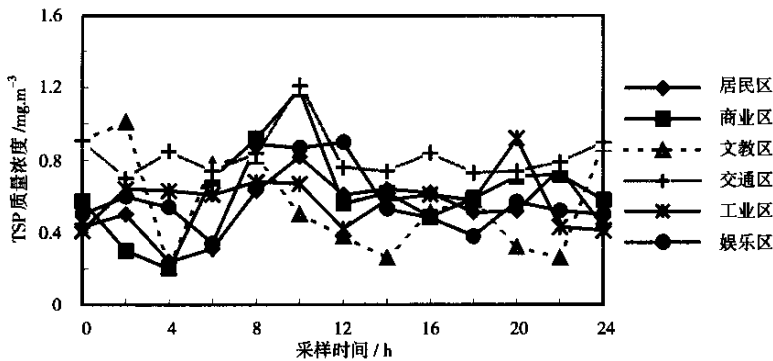


图 3 功能区采暖期 TSP 日变化

Fig. 3 Diurnal variation of TSP in different areas in winter

冬季采暖期工业区夜间 TSP 最低,峰值出现在 02、08 和 20 时,谷值出现在 12 时。这一规律与观测到的冬季工业燃煤锅炉的排放规律十分接近。居民区 TSP 日变化规律与居民冬季作息时间相一致,06 时 TSP 开始急剧上升,10 时达峰值,依次在 14 时、20 时达峰值。从 TSP 的三个峰值出现的时间可以看出它和居民区生活面源的集中活动时间十分吻合,同时各个峰值出现的时间全部滞后于生活面源开始集中排放的时间。商业区与交通区在 10 时均出现最大峰值,是由于车流量、人流量、商业性燃烧低空排放源、生活面源和工业源等多种因素叠加而形成的,而 20 时以后出现的峰值除与工业、生活源有关外,与清扫街道形成扬尘有很大关系。娱乐区与工业区 TSP 日变化相近,其差异仅是娱乐区 TSP 波动更剧烈。显然,采暖期娱乐区 TSP 日变化受工业生产和采暖锅炉排放规律的控制,是市区受工业源影响最明显的一个区域。

3.5 TSP 空间分布

由表 5 可以看出,城市的日均 TSP 均高于郊区。另据统计,城市的瞬时 TSP 也高于郊区(表略)。这是因为城区规模较大、人口密度较高、商业网点密集等人为排放源较强所致。

3.6 TSP 垂直分布

观测研究 TSP 垂直分布,可以直观地了解大气颗粒物在近地层大气的分布状况及对高层建筑室外空间的污染状况。在整个城市布置 10 个采样点,分为地面、中层建筑物和高层建筑物三类,采样高度分别为 1.5~1.8 m、9.3~15.1 m、18.5~27.6 m、28.0~40.0 m。采样时间



分为非采暖期(5—6 月)和采暖期(12 月—次年 1 月)。各点同步监测 TSP 和可吸入尘 IPM (IPM 为 0.58~15  $\mu\text{m}$  的粒子),采用分级采样器采样,共分 12 级。大气颗粒物质量浓度垂直分布见表 6。

表 5 日均 TSP 的年平均值空间分布

| Table 5 Spatial distribution of yearly averaged TSP |       |       |         |       |       |       |       | $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ |
|---|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|
|   | 春季风沙期 |       | 夏秋季非采暖期 |       | 冬季采暖期 |       | 全年    |                                 |
|   | 城市    | 郊区    | 城市      | 郊区    | 城市    | 郊区    | 城市    | 郊区                              |
| 样本数/个   | 260   | 21    | 305     | 38    | 430   | 35    | 995   | 93                              |
| 最小值   | 0.165 | 0.183 | 0.142   | 0.142 | 0.228 | 0.215 | 0.142 | 0.142                           |
| 最大值   | 1.384 | 0.496 | 1.228   | 0.268 | 1.281 | 0.712 | 1.384 | 0.712                           |
| 平均值   | 0.531 | 0.343 | 0.493   | 0.177 | 0.596 | 0.494 | 0.543 | 0.338                           |

表 6 大气颗粒物质量浓度垂直分布

Table 6 TSP、PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> variations with height and their proportions in TSP

|   | 非采暖期采样高度/m |          |           |           | 采暖期采样高度/m |          |           |           |
|---|------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
|   | 1.5~1.8    | 9.3~16.5 | 18.5~27.6 | 28.8~40.0 | 1.5~1.8   | 9.3~16.5 | 18.5~27.6 | 28.8~40.0 |
| TSP/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$                | 0.551      | 0.391    | 0.372     | 0.374     | 0.522     | 0.447    | 0.351     | 0.305     |
| IPM/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$                | 0.263      | 0.225    | 0.223     | 0.266     | 0.256     | 0.241    | 0.217     | 0.212     |
| (IPM/TSP)/%   | 47.7       | 57.5     | 59.9      | 71.1      | 49.0      | 53.9     | 61.8      | 69.5      |
| PM <sub>10</sub> / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  | 0.200      | 0.192    | 0.201     | 0.251     | 0.222     | 0.202    | 0.215     | 0.203     |
| (PM <sub>10</sub> /TSP)/%                           | 36.3       | 49.1     | 54.0      | 67.1      | 42.5      | 45.2     | 61.2      | 66.6      |
| PM <sub>2.5</sub> / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ | 0.102      | 0.0959   | 0.0931    | 0.0781    | 0.145     | 0.0842   | 0.0824    | 0.0711    |
| (PM <sub>2.5</sub> /TSP)/%                          | 18.5       | 24.5     | 25.0      | 20.9      | 27.8      | 18.8     | 23.5      | 23.3      |

由表 6 可知,各粒径粒子的质量浓度随高度递减,而 IPM、PM<sub>10</sub> 占 TSP 的比例却随高度增加,说明可吸入粒子随高度增加。PM<sub>2.5</sub> 占 TSP 的比例在各个高度上变化不大,PM<sub>2.5</sub> 在 40 m 高度以下分布较均匀。说明随高度增加,大气颗粒物趋于以较细的粒子为主,它们的来源比较稳定,很少受自然因素的影响,主要受人为源的影响。地面呼吸带高度 PM<sub>10</sub>和 PM<sub>2.5</sub>都较高,可能与低空生活排放面源有关。

采暖期和非采暖区大气颗粒物垂直分布规律十分相近,采暖期 1.5 m 高度 PM<sub>10</sub>和 PM<sub>2.5</sub>均高于非采暖期,9.3~16.5 m 高度上 TSP、IPM 和 PM<sub>10</sub>也高于非采暖期,说明采暖燃烧对地面呼吸带 PM<sub>10</sub>和 PM<sub>2.5</sub>的形成贡献较大;采暖期 1.5 m 高度 TSP(0.522  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )小于非采暖期的 TSP(0.551  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),说明细粒子的来源主要是自然源和生活源。

4 小 结

综合分析银川市大气颗粒特征可得出如下结论:背景大气的 TSP 较高,为 0.126~0.248  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;大气颗粒物是银川地区最主要的大气污染物,日平均浓度的年平均值为 0.47~0.78  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,超过国家二级标准 0.57~1.6 倍,超标率高达 61.3 %~92.5 %,且春、冬两季日平均浓度高,污染最严重,夏秋季节是银川的主降水季节,大气颗粒物受降水的冲

刷等因素制约,TSP 较低;春季沙尘天气和冬季取暖燃煤是冬春两季大气颗粒物的主要来源之一;春、冬季节白天的 TSP 略大于夜间,夏秋季节则相反,这与人为活动和排放规律有关。各功能区中以商业区 TSP 为最高,年均值为  $0.808\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,文教区( $0.338\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )和工业区( $0.412\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )最低,说明银川市污染最重的是商业区而不是工业区。银川市 TSP 的日变化特征明显,08—10 时、18—20 时达峰值,15—18 时、02—04 时处于低谷,其中 02—04 时 TSP 值最低,说明 TSP 值变化规律与人类活动规律基本一致;各功能区 TSP 变化以居民区、商业区和交通区最显著,日变化与各种排放源的排放规律基本一致。TSP 的空间分布表现为市区( $0.543\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )大于郊区( $0.338\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ );TSP、IPM、 $\text{PM}_{10}$ 和  $\text{PM}_{2.5}$ 随高度增加基本呈递减趋势,IPM、 $\text{PM}_{10}$ 占 TSP 的比例随高度增加而增加,说明可吸入粒子质量浓度随高度增加; $\text{PM}_{2.5}$ 占 TSP 的比例随高度的变化不大,基本是均匀分布,说明随高度增加,大气颗粒物趋于以细粒子为主,它们的来源比较稳定;地面呼吸带高度上  $\text{PM}_{10}$ 和  $\text{PM}_{2.5}$ 值都较高,可能与低空生活排放源有关;冬季采暖期和夏秋季非采暖期大气颗粒物垂直分布基本一致。

本文研究了银川市大气颗粒物的浓度特征,可以对大气环境保护的成果进行客观评估。但诸如小于  $2\text{ }\mu\text{m}$  粒子的定量连续追踪、夜间细粒子增长较快的机制、各类粒子的源解析等问题,尚需进一步研究。

## 参考文献:

[1] 吴国平,胡 伟,滕恩江,等.我国四城市空气中  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  的污染水平[J]. 中国环境科学,1999,19(2):133-137.

[2] 原福胜,马亚萍,武忠诚.不同粒径大气颗粒物中重金属元素含量及其对双核淋巴细胞微核的影响[J]. 卫生研究,1999,28(1):21-22.

[3] 高连存,冯李萍,何桂华,等.不同粒径降尘中痕量金属元素 Cu、Pb、Zn、Cr 的形态分析[J]. 环境科学研究,2001,21(5):432-435.

[4] Dnany Houthuijs,Oscar Breugelmans,Gerad Hoek,et al.  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  concentrations in central and eastern Europe: results from the CESAR study[J]. Atmospheric Environment,2001,35(15):2 757-2 771.

[5] 黄鹂鸣,王格慧,王 芩,等.南京市空气中颗粒物  $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  污染水平[J]. 中国环境科学,2002,22(4):334-337.

[6] 沈 轶,陈立民,孙久宽,等.上海市大气  $\text{PM}_{2.5}$  中 Cu、Zn、Pb、As 等元素的浓度特征[J]. 复旦学报(自然科学版),2002,41(4):405-408.

[7] 谢 骅,王庚辰,任丽新,等.北京市大气气粒态气溶胶化学成分研究[J]. 中国环境科学,2001,21(5):432-435.

[8] 牛生杰,孙继明,陈 跃,等.贺兰山地区春季沙尘气溶胶质量浓度的观测分析[J]. 高原气象,2001,20(1):82-87.

[9] 牛生杰,章澄昌,孙继明.贺兰山地区沙尘暴若干问题的观测研究[J]. 气象学报,2001,59(2):196-205.

[10] 王 玮,岳 欣,刘红杰,等.北京市春季沙尘暴天气大气气溶胶污染特征研究[J]. 环境科学学报,2002,22(4):494-498.

[11] 牛生杰,安夏兰,陈 跃,等.贺兰山地区大气冰核浓度的测量及初步分析[J]. 南京气象学院学报,2000,23(2):294-298.

[12] 孙继明,肖稳安,牛生杰,等.沙漠地区沙尘天气近地层湍流输送特征分析[J]. 南京气象学院学报,2002,25(4):489-495.

[13] 杨丽萍,陈发虎.兰州市大气降尘污染物来源研究[J]. 环境科学学报,2002,22(4):499-502.

[14] 牛生杰,孙继明,桑建人.贺兰山地区沙尘暴发生次数的变化趋势[J]. 中国沙漠,2000,20(1):55-58.



Physical and Chemical Characters of  
Atmospheric Particles in Yinchuan City,  
Part I :Mass Concentration

FAN Shu-xian<sup>1</sup>, ZHENG You-fei<sup>1</sup>,  
JIN Guo-xin<sup>2</sup>, CHEN Shi-gong<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044, China;  
2. Ningxia Environmental Protection Bureau, Yinchuan 750001, China)

**Abstract:** The spatial and temporal distribution, diurnal variation and profile with height of atmospheric aerosol's total suspended particles (TSP), PM<sub>10</sub> (particulate matter with a diameter equal to or less than 10 micrometers) and PM<sub>2.5</sub> (particulate matter with a diameter equal to or less than 2.5 micrometers) have been documented based on a large amount of environmental monitoring data at urban, suburb and different city functional areas, such as residential, commercial, cultural & educational, industrial, traffic, and park areas in Yinchuan. Results show that the averaged background atmospheric TSP is 0.126~0.248 mg·m<sup>-3</sup>, less than that of National Pollutant Control Standard (NPCS) grade 3; the yearly averaged TSP is 0.47~0.78 mg·m<sup>-3</sup>, 1.57~2.6 times of NPCS grade 2; and the maximum daily average TSP is 7.9 times of NPCS grade 3. The probability of TSP greater than that of NPCS grade 3 is 61.3 %~92.5 %. The daily averaged TSP is greater in winter and spring than in summer and autumn, due to coal-burning for house heating in winter and sandstorms in spring. The TSP is greater in commercial, traffic and residential areas, it is closely related to the human activities and vehicle emissions. The diurnal variation of TSP accords with human activities. The TSP is much greater in urban area, especially in densely populated, heavily commercial activities and more urbanized areas. The segregated mass concentration decreases with height, whereas the ratio of PM<sub>10</sub> in TSP increases with height, indicating that PM<sub>10</sub> increases with height. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> are large at about 2 m above the ground surface, so it may be related to source emission near the ground.

**Key words:** atmospheric particle; TSP; PM<sub>10</sub>; PM<sub>2.5</sub>