

# 重庆主城区春季典型天气的大气颗粒物浓度变化分析

李礼<sup>1,2</sup> 余家燕<sup>2</sup> 鲍雷<sup>2</sup> 翟崇治<sup>2</sup>

(1. 重庆大学资源及环境科学学院, 重庆 400030; 2. 重庆市环境监测中心, 重庆 401147)

**摘要** 选取重庆大气超级站 2010 年春季典型天气时段的颗粒物实时监测数据, 将  $\beta$  射线法和震荡天平法 (TEOM 法) 的  $PM_{10}$  监测值进行了对比, 分析了  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  和  $PM_1$  质量浓度百分比例关系及  $10\ \mu\text{m}$  以下颗粒物数浓度随粒径大小的分布规律。结果表明,  $\beta$  射线法与 TEOM 法的  $PM_{10}$  监测结果基本一致,  $\beta$  射线法比 TEOM 法监测值平均偏低 5.4%;  $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$  和  $PM_{0.5}$  的数浓度均占  $PM_{10}$  数浓度的 98% 以上;  $PM_{0.25}$  数浓度占  $PM_{10}$  数浓度的平均比例为 34.9%, 占  $PM_1$  数浓度的平均比例为 35.1%; TEOM 法监测的  $PM_{2.5}$  占  $PM_{10}$  日均质量浓度平均比例为 51.2%;  $\beta$  射线法监测的  $PM_{2.5}$  占  $PM_{10}$  日均质量浓度平均比例为 56.9%,  $PM_1$  占  $PM_{10}$  平均比例为 30.9%。

**关键词** 颗粒物 质量浓度 数浓度  $\beta$  射线法 震荡天平法

中图分类号 X513 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2012)06-2012-05

## Concentration analysis of atmospheric particulate matter under typical spring weather condition in Chongqing

Li Li<sup>1,2</sup> Yu Jiayan<sup>2</sup> Bao Lei<sup>2</sup> Zhai Chongzhi<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China;  
2. Environmental Monitoring Center of Chongqing, Chongqing 401147, China)

**Abstract** Using the real-time monitoring data of atmospheric particulate matter under typical weather at the atmosphere observation super station of Chongqing in spring 2010, a comparison of  $PM_{10}$  monitoring data from two methods:  $\beta$ -ray absorption and micro-libration (TEOM) was made. Then concentration correlation of  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  and  $PM_1$  was analyzed, and the number concentration as a function of distribution of particles smaller than  $10\ \mu\text{m}$  was investigated. The results showed that  $PM_{10}$  monitoring data from two methods— $\beta$ -ray absorption and TEOM were in well agreement, and the former was 5.4% lower than TEOM. Number concentration of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$  and  $PM_{0.5}$  accounted for more than 98% of  $PM_{10}$ . Average number concentration of  $PM_{0.25}$  accounted for 34.9% of  $PM_{10}$  and accounted for 35.1% of  $PM_1$ . 24 hours' average mass concentration of  $PM_{2.5}$  accounted for 51.2% of  $PM_{10}$  monitored by TEOM. By  $\beta$ -ray absorption method, 24 hours' average mass concentration of  $PM_{2.5}$  and  $PM_1$  accounted for 56.9% and 30.9% of  $PM_{10}$ , respectively.

**Key words** particulate matter; mass concentration; number concentration;  $\beta$ -ray method; oscillation balance method

各种固体或液体微粒均匀分散在空气中形成一个庞大的分散体系——气溶胶体系, 气溶胶体系中分散的各种粒子称为大气颗粒物, 粒径多在  $0.001\sim 100\ \mu\text{m}$  之间<sup>[1]</sup>。由于颗粒物对人体健康、大气辐射平衡、气候变化及能见度有重要的影响, 对大气颗粒物的研究已受到越来越多的关注<sup>[2-10]</sup>。目前, 我国城市大气受传统的煤烟型污染仍非常严重, 同时, 在机动车保有量和电厂等污染源共同排放作用下, 以细颗粒物 ( $PM_{2.5}$ ) 为主的二次污染态势更加严峻, 导致了污染类型的转变, 即形成了区域性的大气复

合型污染<sup>[11-13]</sup>。城市大气颗粒物的观测研究, 对开展区域灰霾成因、污染源解析、人体健康保护及大气污染联防联控等方面的研究与管理工具有十分重要的意义。

本文通过选取重庆大气超级站 2010 年春季

基金项目: 环保部公益性行业科研专项项目 (200909010, 201009001)  
收稿日期: 2011-06-28; 修订日期: 2012-01-10  
作者简介: 李礼 (1983~), 男, 博士研究生, 工程师, 主要从事大气环境监测与科研工作。E-mail: lili\_jash@163.com

(3—5月)及典型天气时段(3月12—25日)的大气颗粒物监测数据,对比分析 $\beta$ 射线法和震荡天平法(TEOM法)的 $PM_{10}$ 监测值的相关性、 $PM_{10}$ 质量浓度和数量浓度的相关性及颗粒物数量浓度随粒径大小的分布规律等,以期对环境管理和技术部门开展相关的大气污染防治工作提供科学参考。

## 1 监测实验方法

### 1.1 监测站点

利用重庆大气超级站的颗粒物自动监测仪器获取24 h连续监测数据,站点位于重庆北部新区青枫北路18号凤凰C座楼顶,东经 $106^{\circ}29.857'$ ,北纬 $29^{\circ}36.950'$ ,海拔高度326 m,采样高度35 m。

### 1.2 监测仪器与原理

采用的3种颗粒物自动监测仪分别为法国ESA公司MP101M颗粒物分析仪、美国Thermo公司1405-DF双通道颗粒物监测仪和德国Grimm公司180型颗粒物监测仪。

MP101M颗粒物监测仪为 $\beta$ 射线法原理,采用C14放射源对采样后滤带上的颗粒物斑点进行照射,通过盖革计数器对采样前后透过滤带的 $\beta$ 射线强度进行测量,从而计算出滤带收集的颗粒物表面密度,进而计算出环境空气中的颗粒物质量浓度。1405-DF双通道颗粒物监测仪则是通过两个微量震荡天平,运用重量法原理同时测量空气中 $PM_{2.5}$ 和PM粗颗粒( $PM_{10-2.5}$ )的质量浓度,包含对挥发性和非挥发性颗粒物部分进行测量补偿。Grimm180颗粒物监测仪采用激光散射原理,将粒子散射光转换为电信号并放大,根据电脉冲的幅度对粒子进行分档计数,测量粒子直径在 $0\sim 32\ \mu\text{m}$ 之间31个通道的颗粒物数量。

### 1.3 监测数据时段

选取大气超级站2010年春季(3—5月)及典型天气时段(3月12—25日)的大气颗粒物24 h连续自动监测数据,利用小时均值进行统计分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 污染过程分析

图1描述的是2010年3月12—25日 $\beta$ 射线法、TEOM法及激光法监测得到的 $PM_{10}$ 质量浓度和数量浓度的日均值变化曲线。

由图1可以看出,3种监测方法测量结果变化具有明显的一致性。3月12—14日为春季典型的

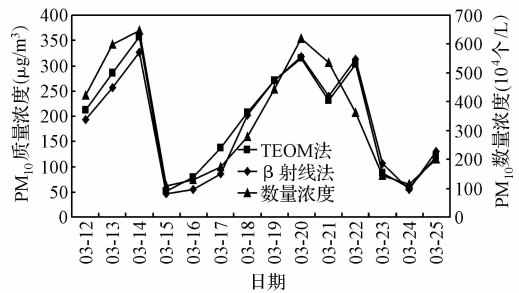


图1  $PM_{10}$ 质量浓度和数浓度日均值变化曲线

Fig. 1 Average daily mass concentration and number concentration changes of  $PM_{10}$

污染天气,受气象因素的影响,大气扩散条件差,污染物浓度逐步上升,3月14日 $PM_{10}$ 日均浓度达到最高( $\beta$ 射线法 $326.7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、TEOM法 $356.9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $646.1 \times 10^4$ 个/L);随着3月15日凌晨开始的一次大范围持续16 h的小雨过程,空气受到降水的洗脱作用,颗粒物浓度迅速下降,空气质量明显好转,灰霾随大气能见度增高而消散, $PM_{10}$ 日均浓度降至较低水平( $\beta$ 射线法 $46.5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、TEOM法 $51.7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $108.6 \times 10^4$ 个/L);3月16—21日,天气转为持续晴好,由于重庆地区特殊的地形气候特征,大气对流作用微弱十分不利于污染物的扩散,空气污染指数逐日上升,灰霾现象则逐渐伴之而来;3月22—25日,降温降水过程再次发生,雨水的冲刷再次净化了空气, $PM_{10}$ 浓度明显减低。

### 2.2 $\beta$ 射线法与TEOM法监测结果比较

TEOM微量震荡天平法是在质量传感器内使用一个振荡空心锥形管,在空心锥形管振荡端上安放可更换的滤膜,振荡频率取决于锥形管特性和它的质量。当采样气流通过滤膜,其中的颗粒物沉积在滤膜上,滤膜质量增加导致振荡频率变化,通过测量振荡频率的变化计算出沉积在滤膜上颗粒物的质量,再根据采样流量、采样现场环境温度和大气压计算出该时段的颗粒物质量浓度。 $\beta$ 射线法则是采用C14放射源对采样后滤带上的颗粒物斑点进行照射,通过盖革计数器对采样前后透过滤带的 $\beta$ 射线强度进行测量,从而计算出滤带收集的颗粒物表面密度,进而计算出环境空气中的颗粒物质量浓度。

图2描述的是3月12—25日 $\beta$ 射线法与TEOM法监测的 $PM_{10}$ 质量浓度比值及 $PM_{2.5}$ 占 $PM_{10}$ 百分比的变化曲线。

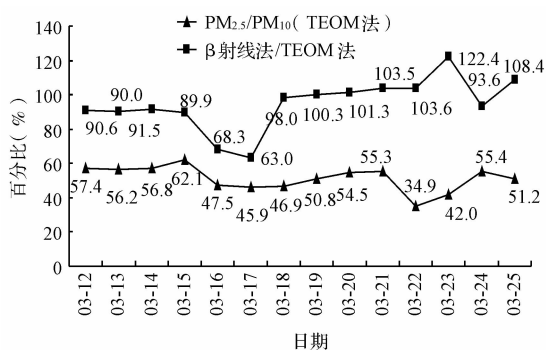


图2 2种方法的PM<sub>10</sub>浓度比值及PM<sub>2.5</sub>占PM<sub>10</sub>百分比变化曲线

Fig. 2 PM<sub>10</sub> concentration ratio of two methods and PM<sub>2.5</sub> percentage within PM<sub>10</sub>

由图1和图2可以看出,β射线法与TEOM法监测的PM<sub>10</sub>质量浓度值基本一致,除了3月16日、17日和23日两者偏差较大外,其余日均值偏差均在10%左右。综合3月12—25日数据计算得出,β射线法与TEOM法的PM<sub>10</sub>监测结果比值平均为94.6%,即β射线法监测值比TEOM法监测值平均低5.4%。

β射线法与TEOM法均为《环境空气质量自动监测技术规范》(HJ/T193-2005)中对监测仪器推荐选择的分析方法,且监测实验使用的法国ESA公司MP101M颗粒物分析仪和美国Thermo公司1405-DF双通道颗粒物监测仪分别为获得法国AFNOR和美国EPA认证的成熟产品,因此通过两种方法监测的

图3为大气超级站3月12—25日监测得到的10 μm粒径以下颗粒物的数量浓度均值分布图,由图可以明显看出,粒径在1~10 μm各通道范围内的颗粒物虽然成千上万个/L,但与1 μm粒径以下百万数量级的颗粒物个数相比,显得微乎其微;而1 μm粒径以下颗粒物数浓度又基本集中在0.5 μm以下的粒径范围。经统计计算,PM<sub>1</sub>和PM<sub>2.5</sub>的数浓度均占PM<sub>10</sub>数浓度的99%以上,PM<sub>0.5</sub>的数浓度也超过PM<sub>10</sub>数浓度的98%;PM<sub>0.25</sub>的数浓度占PM<sub>10</sub>数浓度的比例范围在15.6%~48.0%,平均比例为34.9%;PM<sub>0.25</sub>的数浓度占PM<sub>1</sub>数浓度的比例范围在16.8%~48.1%,平均比例为35.1%。

由颗粒物数浓度的粒径分布数据可见,随着大气污染类型由传统的煤烟型污染向以细粒子和臭氧为主的复合型污染转变,尤其以城市机动车尾气排放为主要原因,使环境空气中颗粒物粒度越来越小,

数据均准确可靠。

1405-DF双通道颗粒物监测仪是由两个FDMS的双通道和两个TEOM质量传感器组成,系统设计提供环境颗粒物包括挥发性物质有代表性的短期和长期的浓度读数,解决了传统的颗粒物监测方法不能在取样的同时计算出滤膜上收集物的迅速丢失问题。这个系统与其它颗粒物测量方法不同,它是直接测量采集到的颗粒物质量,不受其他替代技术比如β衰减、光散射和压力下降出现的测量不确定因素的影响。另外,重庆的环境空气湿度较大也可能是造成TEOM法测量值比β射线法测量值偏大的原因。

### 2.3 颗粒物数浓度的粒径分布

Grimm180颗粒物监测仪采用激光散射原理,将粒子散射光转换为电信号并放大,根据电脉冲的幅度对粒子进行分档计数,测量粒子直径在0、0.25、0.28、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50、0.58、0.65、0.7、0.8、1.0、1.3、1.6、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、5.0、6.5、7.5、8.5、10、12.5、15、17.5、20、25、30、32 μm之间31个通道的颗粒物数量浓度。粒径范围是指光学粒径,采样流量为1.2 L/min。数据分析发现,颗粒物基本上处在10 μm以下的粒径范围内,所以数据统计分析只选取10 μm以下的粒子浓度(即前面24个通道的观测值)。

细微粒子成数量级增多,因其比表面积较大,对有毒有害物质的吸附性较强,由此带来的人体健康威胁也日趋明显。

### 2.4 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub>质量浓度占PM<sub>10</sub>之比例

通过分析3月12—25日1405-DF双通道颗粒物监测仪测得PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>日均质量浓度关系(见图2)可知,由TEOM法监测得到的PM<sub>2.5</sub>占PM<sub>10</sub>日均质量浓度百分比范围在34.9%~62.1%,平均比例为51.2%。

图4描述的是大气超级站MP101M颗粒物监测仪(β射线法)测得的2010年春季(3—5月)PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>及PM<sub>1</sub>质量浓度有效监测值逐时变化曲线(有效数据共390 h)。统计分析结果表明,PM<sub>2.5</sub>的质量浓度占PM<sub>10</sub>质量浓度的比值范围在25.0%~79.8%,平均比例为56.9%;PM<sub>1</sub>的质量浓度占PM<sub>10</sub>质量浓度的比值范围在10.5%~68.6%,平均比例为30.9%。

以上对2种方法的监测数据分析得出,PM<sub>2.5</sub>占PM<sub>10</sub>质量浓度比例在50%~60%之间,PM<sub>2.5</sub>占PM<sub>10</sub>相当大的比重,PM<sub>1</sub>占PM<sub>10</sub>质量浓度比例也将

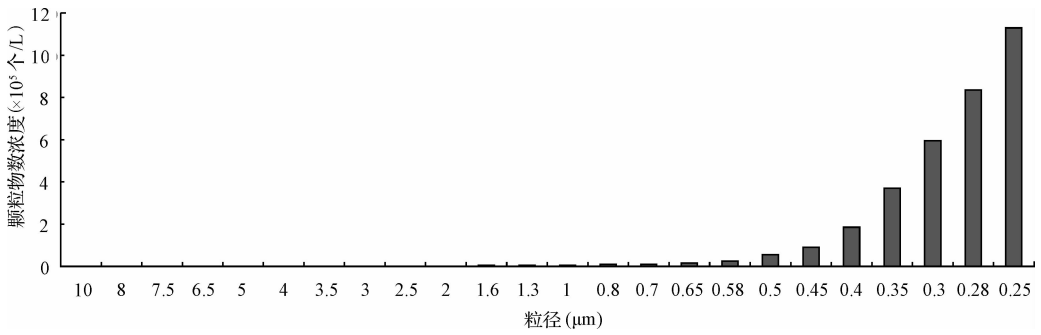


图 3 10 μm 粒径以下颗粒物数浓度均值分布

Fig. 3 Number concentration distribution of particulate smaller than 10 μm

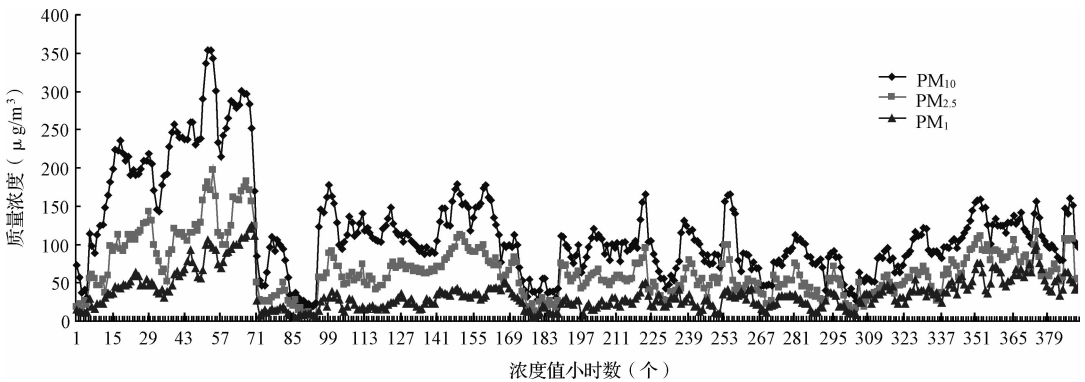


图 4 2010 年春季 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>1</sub> 质量浓度变化

Fig. 4 Mass concentration changes of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> in spring 2010

近 1/3。2.5 μm 及 1 μm 以下颗粒物粒径小,数量多,其组成成分比 2.5 μm 以上的粗颗粒更为复杂,因此 PM<sub>2.5</sub> 及 PM<sub>1</sub> 将成为当前复合型大气污染防治工作的重要控制因子。

### 3 结 论

通过选取重庆大气超级站 2010 年春季(3 月 12 日至 3 月 25 日)典型天气时段的大气颗粒物监测数据,分析得出主要结论如下:

(1)β 射线法与 TEOM 法的 PM<sub>10</sub> 监测结果基本一致,其平均比值为 94.6%,即 β 射线法比 TEOM 法的 PM<sub>10</sub> 监测值平均低 5.4%;

(2)PM<sub>1</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的数浓度均占 PM<sub>10</sub> 数浓度的 99% 以上,PM<sub>0.5</sub> 的数浓度也超过 PM<sub>10</sub> 数浓度的 98%;PM<sub>0.25</sub> 的数浓度占 PM<sub>10</sub> 数浓度的平均比例为 34.9%,占 PM<sub>1</sub> 数浓度的平均比例为 35.1%;

(3)TEOM 法监测的 PM<sub>2.5</sub> 占 PM<sub>10</sub> 日均质量浓度平均比例为 51.2%。β 射线法监测的 PM<sub>2.5</sub> 占 PM<sub>10</sub> 日均质量浓度平均比例为 56.9%;PM<sub>1</sub> 占 PM<sub>10</sub> 日均质量浓度平均比例为 30.9%。

### 参 考 文 献

[1] 朱恩云,马骏. 中国大气气溶胶研究现状. 环境科学与管理, **2008**, 33(12):57-59  
 Zhu Enyun, Ma Bo. The present situation of aerosol research in China. Environmental Science and Management, **2008**, 33(12):57-59 (in Chinese)

[2] Koelmeijer R. B. A., Homan C. D., Matthijsen J. Comparison of spatial and temporal variations of aerosol optical thickness and particulate matter over Europe. Atmospheric Environment, **2006**, 40(27):5304-5315

[3] Jonathan I. Levy, Steven R. Hanna. Spatial and temporal variability in urban fine particulate matter concentrations. Environmental Pollution, **2011**, 159(8-9):2009-2015

[4] Daniel Baldwin Hess, Paul David Ray, Anne E. Stinson, et al. Determinants of exposure to fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) for waiting passengers at bus stops. Atmospheric Environment, **2010**, 44(39):5174-5182

[5] Cinzia Perrino, Silvia Canepari, Maria Catrambone, et al. Influence of natural events on the concentration and composition of atmospheric particulate matter. Atmospheric Environment, **2009**, 43(31):4766-4779

- [6] Srimuruganandam B., Shiva Nagendra S. M. Characteristics of particulate matter and heterogeneous traffic in the urban area of India. *Atmospheric Environment*, **2011**, 45(18):3091-3102
- [7] Bi Xiaohui, Feng Yinchang, Wu Jianhui, et al. Source apportionment of  $PM_{10}$  in six cities of northern China. *Atmospheric Environment*, **2007**, 41(5):903-912
- [8] Shuxiao Wang, Yu Zhao, Gangcai Chen, et al. Assessment of population exposure to particulate matter pollution in Chongqing, China. *Environmental Pollution*, **2008**, 153(1):247-256
- [9] 张样盛,谭东,杨鹃. 重庆市永川区  $PM_{10}$  浓度与气象因子相关性研究. *三峡环境与生态*, **2010**, 32(5):29-32  
Zhang Yangsheng, Tan Dong, Yang Juan. Studies on the relationship between  $PM_{10}$  concentration and meteorological factor in Yongchuan Region in Chongqing. *Environment and Ecology in the Three Gorges*, **2010**, 32(5):29-32 (in Chinese)
- [10] 郭淘,马永亮,贺克斌. 区域大气环境中  $PM_{2.5}/PM_{10}$  空间分布研究. *环境工程学报*, **2009**, 3(1):147-150  
Guo Tao, Ma Yongliang, He Kebin. Study on spatial distributions of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  in regional atmospheric environment. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **2009**, 3(1):147-150 (in Chinese)
- [11] 张远航. 大气复合污染是灰霾内因. *环境*, **2008**, 31(7):32-33  
Zhang Yuanhang. Composite air pollution is the cause of haze. *Environment*, **2008**, 31(7):32-33 (in Chinese)
- [12] Chan Chak K., Yao Xiaohong. Air pollution in mega cities in China. *Atmospheric Environment*, **2008**, 42(1):1-42
- [13] 唐孝炎,张远航,邵敏. *大气环境化学(第2版)*. 北京:高等教育出版社, **2006**