

【论著】

大气颗粒物污染特征研究

徐东群，张文丽，王焱，张玮，覃今胜

【摘要】 目的 探讨并比较不同来源颗粒物的污染特征。方法 选择北京和太原的两个采样点，采用 TSP - PM10 - PM2.5 - 2 型颗粒物分级采样器并配以玻璃纤维滤膜采集大气颗粒物，测定不同季节不同条件下日常及沙尘暴爆发时气溶胶的质量浓度、粒径分布；采用高效液相色谱仪分离并测定沙尘暴及日常气溶胶尤其是细颗粒物中的苯并〔a〕芘，采用原子吸收分光光度法测定细颗粒物上铅的浓度。结果 太原和北京的 PM10 分别为 0.401 mg/m^3 和 0.226 mg/m^3 ，TSP 分别为 0.551 mg/m^3 和 0.381 mg/m^3 ，均超过我国空气质量二级标准 0.15 mg/m^3 和 0.30 mg/m^3 。太原和北京的 PM2.5 分别为 0.275 mg/m^3 和 0.169 mg/m^3 ，均超过美国 EPA 细颗粒物空气质量标准 0.065 mg/m^3 。沙尘暴期间和非沙尘暴期间北京的 PM2.5 分别为 0.373 mg/m^3 和 0.165 mg/m^3 ；苯并〔a〕芘浓度分别为 1.38 ng/m^3 和 7.7 ng/m^3 。结论 我国北京和太原两城市颗粒物污染严重，沙尘暴爆发时更为严重。

【关键词】 总悬浮颗粒物，可吸入颗粒物，细颗粒物；苯并芘；铅

The Characteristics of Atmospheric Particulate Matter XU Dong-qun, ZHANG Wen-li, WANG Yan, et al. Institute for Environmental Health and Related Product Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100021, China

【Abstract】 Objective To compare the characteristics of atmospheric particulate matter from different source. Methods The samples of particulate matter were collected using a medium - volume sampler. After sampling, the average mass concentration and size distribution of particulate matter were analyzed during dust storm and non - dust storm. The concentration of B (a) P was analyzed by high performance liquid chromatography. The concentration of Pb was analyzed by atomic absorption spectrometry. Results The average mass concentration of PM10 for Taiyuan and Beijing city were 0.401 mg/m^3 and 0.226 mg/m^3 , respectively. The average mass concentration of TSP for Taiyuan and Beijing city were 0.551 mg/m^3 and 0.381 mg/m^3 , respectively. Those values were more than 0.15 mg/m^3 and 0.30 mg/m^3 , respectively, which China EPA enacted in air quality standards of PM10 and TSP. The average mass concentration of PM2.5 for Taiyuan and Beijing city were 0.275 mg/m^3 and 0.169 mg/m^3 , respectively. Those values were more than 0.065 mg/m^3 , which US EPA enacted in air quality standards of fine particles. The average mass concentration of PM2.5 for Beijing both dust storm and non - dust storm were 0.373 mg/m^3 and 0.165 mg/m^3 , respectively. The average concentration of B (a) P were 1.38 ng/m^3 and 7.7 ng/m^3 , respectively. Conclusions The air pollution of particulate matter in Taiyuan and Beijing city is very heavy, especially during dust storms.

【Key words】 TSP; PM10; PM2.5; Benzo (a) pyrene; Lead

分散在大气中的固态或液态颗粒物形成的气溶胶，不仅造成臭氧层的破坏、酸雨的形成等全球性环境问题，而且对人体健康和生态环境有重大影响，一直是全世界关注的热点问题，研究的重点也从总悬浮颗粒物（TSP）到可吸入颗粒物（PM10），转向了细颗粒物（PM2.5）^[1,2]。颗粒物是一种化学成分非常复杂的混合物，颗粒物粒径越小，在大气中的稳定程度越高，沉降速度越慢，被吸入呼吸道的概率就越大。一般情况下，空气动力学直径为 $5 \sim 30 \mu\text{m}$ 的颗粒物有可能在鼻咽区通过碰撞而沉积。鼻孔中的鼻毛可阻留大部分直径 $10 \mu\text{m}$ 以上的颗粒物进入，或沉积于鼻

甲与鼻中隔表面。空气动力学直径为 $0.2 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 的颗粒物可通过重力作用在支气管表面沉降。吸人气流中的极小颗粒物由于受到气体分子的碰撞，可出现布朗运动，一般空气动力学直径为 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 左右的极小颗粒物多通过扩散而在细小呼吸道分支和肺泡沉积。流行病学调查证实，对人体健康的影响以空气中细颗粒物污染最为严重^[3]。

颗粒物对人体健康的影响取决于其来源、形态、粒径以及吸附在表面上的各种有害化学物质和微生物。近年来一些学者对北京的气溶胶来源、分布和污染特征进行了研究^[4,5]。为了进一步比较不同来源颗粒物的污染特征，本研究选择北京和太原的两个采样点，测定不同季节不同条件下日常气溶胶及沙尘暴的质量浓度、粒径分布；细颗粒物上的苯并〔a〕芘浓

基金项目：国家自然科学基金资助项目（项目号：20077033）

作者单位：中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所，北京 100021

度和铅的浓度。

1 材料和方法

1.1 仪器与材料：①采样器用中流量 TSP - PM10 - PM2.5 - 2 型颗粒物采样器（北京地质仪器厂迪克公司）。②玻璃纤维滤纸 $\Phi 90$ mm（北京地质仪器厂迪克公司），或 $\Phi 80$ mm（上海虹光造纸厂）。③AT261 电子天平感量 0.000 01 g（瑞士 METTLER 公司）。④马福炉（天津市科学仪器设备厂），额定电压 220 V，额定功率 4 kW。⑤高效液相色谱仪（HPLC）（Agilent 1100）。⑥PE zeeman 3030 原子吸收分光光度计（美国 PE 公司），配自动进样器 AS60。⑦超声波发生器 KQ - 50（浙江省昆山市超声仪器有限公司）100W。⑧离心机，80 - 2（上海手术仪器厂）4000 r/min。⑨电热板。⑩干燥器、铝托、镊子、硫酸纸袋。⑪医用注射器、微量注射器（1、10、50 μl ）、尼龙膜注射器滤头。⑫剪刀、镊子、乳胶手套。⑬容量瓶、离心管、高腰烧杯、比色管、移液管、具塞小玻璃瓶。

1.2 试剂：①甲醇为色谱纯，如有干扰峰存在，需要全玻璃蒸馏器重蒸。②16 种多环芳烃标准储备液 EPA 610 Polynuclear Aromatic Hydrocarbons Mix 4 - 8743 [苯并（a）芘含量：100 $\mu\text{g}/\text{ml}$]。③蒸馏水加高锰酸钾，在碱性条件下用全玻璃蒸馏器重蒸馏。在蒸馏过程中应始终保持紫红色，否则应补加高锰酸钾。所得纯水经 HPLC 法做空白实验，应无干扰峰。④去离子水按照二级水的要求，在 25°C 时的电导率小于 0.1 ms/m 。⑤MOS 级纯硝酸 65% ~ 68%（质量比），铅的含量不高于 0.000 005%。⑥过氧化氢为分析纯，

30%，铅的含量不高于 0.000 02%。⑦铅标准溶液 1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ （国家标准物质中心）。

1.3 实验方法

1.3.1 滤纸的处理：先将滤纸放入马福炉中，在温度为 500°C 的条件下烘烤 3 h，然后放入干燥器中平衡 24 h 备用。

1.3.2 样品的采集及质量浓度分析：空气中颗粒物（TSP、PM10、PM2.5），抽进中流量采样器时，被收集在已称量的滤料上，连续采样 24 h。采样后，将滤料按使用前的控制条件下再称量。两次称量之差，除以采样体积，得空气中颗粒物的质量浓度。

1.3.3 样品的保存：在对滤纸称量、记录后对折（正面朝里）装入编好号的硫酸纸袋内，放入冰箱内低温（-11°C）保存，待分析测定。

1.3.4 样品中多环芳烃和重金属的分析：样品中的多环芳烃采用甲醇超声波提取 20 min，高效液相色谱法测定。样品中的重金属采用硝酸和过氧化氢消化，石墨炉原子吸收分光光度法测定。

2 结果和讨论

2.1 细颗粒物的质量浓度：本课题在 2000 年 11 月至 12 月（冬季采暖期）2001 年 3 月至 5 月（春季非采暖期）对太原和北京某采样点的细颗粒物、可吸入颗粒物、TSP 进行了测定，PM10 北京（0.226 mg/m^3 ）和太原（0.401 mg/m^3 ）均超过我国空气质量二级标准 0.15 mg/m^3 。TSP 北京（0.381 mg/m^3 ）和太原（0.551 mg/m^3 ）均超过我国空气质量二级标准 0.30 mg/m^3 。PM2.5 的质量浓度见表 1。

表 1 北京、太原 PM2.5 质量浓度 (mg/m^3)

地区	季节	颗粒物	采样天数	超标天数	超标率 (%)	浓度范围	日均值	超标倍数*
太原	冬季	PM2.5	38	38	100.0	0.132 ~ 0.681	0.275	4.23 (2.04 ~ 10.47)
北京	冬季	PM2.5	64	58	90.6	0.028 ~ 0.436	0.169	2.62 (1.08 ~ 6.72)
北京	春季	PM2.5	39	38	97.4	0.064 ~ 0.339	0.165	2.53 (1.17 ~ 5.22)

注：* PM2.5 与美国 EPA 细颗粒物空气质量标准 0.065 mg/m^3 相比较。

太原颗粒物的污染主要来源于风沙、煤飞灰等自然源以及民用和工业燃煤等人为源，北京颗粒物的污染则来源于风沙等自然源以及民用和工业燃煤、汽车尾气等人为源，同一季节（冬季）PM2.5 的污染太原高于北京，表明燃煤型污染对颗粒物的贡献率大于燃煤和汽车尾气混合型污染。对于北京市不同季节（冬季和春季）PM2.5 的污染，总的态势冬季略高于春季，提示冬季除了汽车尾气的贡献外，冬季由于取暖燃煤量增加是细颗粒物污染的另一主要来源。

表 2 是 2002 年北京春季非采暖期细颗粒物的污

染水平。

表 2 北京春季有无沙尘暴 PM2.5 污染水平 (mg/m^3)

北京春季	采样天数	超标天数	超标率 (%)	浓度范围	日均值	超标倍数*
无沙尘暴	39	38	97.4	0.064 ~ 0.339	0.165	2.53 (1.17 ~ 5.22)
有沙尘暴	5	5	100.0	0.251 ~ 0.606	0.373	5.74 (3.86 ~ 9.32)

注：PM2.5 与美国 EPA 细颗粒物空气质量标准 0.065 mg/m^3 相比较；表中（）内数值为范围值。

染水平。由于春季是沙尘暴多发期，沙尘暴爆发期间 PM2.5 质量浓度的日均值和浓度范围均高于无沙尘期

间，提示细颗粒物的污染除了来自于当地源外，还有很大一部分来自于远距离的传输。

2.2 颗粒物上苯并 [a] 芘和 Pb 的含量：从表 3 可以看出不同粒径颗粒物吸附苯并 [a] 芘和 Pb 的量不同，粒径越小吸附苯并 [a] 芘的量越多，其中以细颗粒物最多，PM10 次之，TSP 最少。同时 TSP、PM10 和 PM2.5 上苯并 [a] 芘和 Pb 的质量浓度太原采样点均分别高于北京采样点。

表 3 北京、太原不同粒径颗粒物中 B (a) P 和 Pb 含量

颗粒物来源	B(a)P 质量浓度 ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	Pb 质量浓度 ($\mu\text{g}/\text{mg}$)
太原 PM2.5	0.156	1.137
太原 PM10	0.092	1.054
太原 TSP	0.077	1.037
北京 PM2.5	0.104	1.094
北京 PM10	0.072	0.948
北京 TSP	0.046	0.606

表 4 为北京沙尘暴和非沙尘暴期间细颗粒物上苯并 [a] 芘的测定结果，与非沙尘暴期间相比，沙尘暴期间的苯并 (a) 芘浓度是非沙尘暴期间的约 2 倍。这一结果也再次提示沙尘暴爆发期间除了当地源的贡献外，还有很大一部分来自远距离的传输。

以上结果表明，我国北京和太原两城市颗粒物污染严重，细颗粒物、可吸入颗粒物、TSP 几乎均超标。细颗粒物质量浓度两城市均很高，尤以太原为

重，表现在质量浓度及吸附 B (a) P、Pb 等组分均高于北京。日常及沙尘暴爆发时颗粒物的分析结果表明，沙尘暴爆发时颗粒物污染严重，提示远距离传输的自然沙尘仍是北京细颗粒物的不可忽视的污染来源之一。

表 4 北京市 2002 年 3 月 7 日至 9 日 3 天大气中苯并 (a) 芘浓度测定 (ng/m^3)

非沙尘暴期间	样品浓度	平均浓度	沙尘暴期间	样品浓度	平均浓度
3 月 7 日	8.1		3 月 14 日	0.98	
3 月 8 日	7.6	7.7	3 月 15 日	1.62	1.38
3 月 9 日	7.4		3 月 16 日	1.54	

参 考 文 献

- [1] 汪安璞. 大气气溶胶研究新动向. 环境化学, 1999, 18(1):10-15.
- [2] Zhuang G, Huang R, Wang M, et al. Great progress in study on aerosol and its impact on the global environment, Progress in Natural Science, 2002, 12(60):407-413.
- [3] Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA, 2002, 287(9):1132-1141.
- [4] Wang S, Dong J, Cheng B. Characteristics of air particulate matter and their sources in urban and rural area of Beijing, Chin J Environ Sci, 2000, 12(4):402-409.
- [5] Zhang R, Wang M, Xia X. Chemical composition of aerosols in winter/spring in Beijing. J Environ Sci, 2002, 14(1):7-11.

(收稿日期:2003-09-27)

【读者·作者·编者】

关于参考文献格式的要求

本刊对文后参考文献格式的要求，现重申如下：

〔期刊〕序号 作者 (1~3 位作者全部列出，3 位以上者只列前 3 位，后加“，等”或“，et al”) . 文题 . 刊名, 年份, 卷(期): 起页-止页 .

举例:

- [1] 黄冰, 黄文华, 钟女奇, 等. 小鼠胚胎干细胞在六种培养体系的培养观察. 中国实验动物学报, 2000, 8(1):1-6.
- [2] Bootz F, Kirchneks S, Nicklas W, et al. Detection of pasteurellaceae in rodents by polymerase chain reaction analysis. Lab Anim Sci, 1998, 48: 542-546.

〔书籍〕序号 作者 . 题名 . 见: 主编者 . 书名 . 版次 (第 1 版可略) . 出版地: 出版社, 年份 . 起页-止页 . 或: 序号 主编 . 书名 . 版次 . 出版地: 出版社, 年份 . 起页-止页 .

举例:

- [1] 李梦东, 主编 . 实用传染病学 . 第 2 版 . 北京: 人民卫生出版社, 1994. 92-96.
- [2] Cummings JL, Benson DF. Dementia: a clinical approach. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1992. 47-75.
- [3] 汪敏刚 . 支气管哮喘 . 见: 戴自英, 主编 . 实用内科学 . 第 8 版 . 北京: 人民卫生出版社, 1991. 833-840.
- [4] Weinstein L, Swartz MN. Pathologic properties of invading microorganisms. In: Sodeman WA Jr, Sodeman WA, et al. Pathologic physiology: mechanisms of disease. 8th ed. Philadelphia: Saunders, 1974. 457-472.

本刊编辑部