ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第5期

Vol.36 No.5

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第36卷　第5期
2015年5月15日

目　次

环境空气 $PM_{2.5}$ 连续监测系统手工采样比对测试

王强,钟琪,迟颖,张杨,杨凯*
(中国环境监测总站,北京 100012)

摘要:借鉴美国 EPA 关于 $PM_{2.5}$ 连续监测仪器手工采样比对测试的性能指标和检测方法,结合我国现行的相关技术规范,选取两种不同原理 4 种型号典型的进口和国产环境空气 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统,分别在春、夏、秋、冬这 4 个季节开展了 $PM_{2.5}$ 连续自动监测与手工采样测量(重量法)之间的比对测试. 研究确定了符合我国环境质量现状和环境监测管理需求的 $PM_{2.5}$ 连续监测系统与手工采样比对测试(调试)的质控措施要求(手工采样测量结果平行性≤ 5 $\mu g \cdot m^{-3}$ 或 5%)和技术指标要求(线性回归方程斜率 1 ±0.15;截距 0 ±10;相关系数≥0.95)以及相应的操作方法,为我国环境空气 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统的现场有效使用和数据质量保证提供了必要的技术手段和质控方法.

关键词:$PM_{2.5}$;连续监测;手工采样;比对测试;质量控制
中图分类号:X851 **文献标识码**:A **文章编号**:0250-3301(2015)05-1538-06 **DOI**:10.13227/j.hjkx.2015.05.004

Comparison Test Between $PM_{2.5}$ Continuous Monitoring System and Manual Sampling Analysis for $PM_{2.5}$ in Ambient Air

WANG Qiang, ZHONG Qi, CHI Ying, ZHANG Yang, YANG Kai*
(China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China)

Abstract: According to the U. S. EPA performance index and detection methods for comparison test of $PM_{2.5}$ continuous monitoring system, in combination of the current related technical specifications in China, 4 types of typical imported and domestic $PM_{2.5}$ continuous monitoring system with two different principles were tested and compared to the manual sampling measurement (gravimetric method) in spring, summer, autumn and winter. This research determined the quality control requirements (parallelism of manual sampling measurement results ≤5 $\mu g \cdot m^{-3}$ or 5%), the technical index (slope of linearity regression equation 1 ±0.15; intercept 0 ±10; correlation coefficient ≥0.95), and corresponding detection methods of reference method comparison test to $PM_{2.5}$ continuous monitoring system, which meets the requirement of current environmental quality status and environmental monitoring and management in China. It also provided technical means and method of quality control for effective use and data quality of $PM_{2.5}$ continuous monitoring system in China.

Key words: $PM_{2.5}$; continuous monitoring; manual sampling; comparison test; quality control

近年来,我国灰霾天气出现的频次明显增多并呈区域性特征[1~3]. 2013 年 1 月以来,我国京津冀、长三角、珠三角等地区多次发生持续的大范围雾霾,细颗粒物 $PM_{2.5}$ 是导致复合型大气污染问题的核心污染物[4,5]. $PM_{2.5}$ 除了造成人体感官上的影响,更重要的是其对大气有害污染物有明显的富集作用,尤其是其吸附的有机碳、水溶性离子、重金属元素等化学成分以及各种病毒细菌等对人体健康及生态环境形成了极大的威胁[6~10]. 因此,降低大气 $PM_{2.5}$ 的浓度,改善环境空气质量已经成为各级环境保护部门的主要任务,而实现对 $PM_{2.5}$ 的准确监测和及时预警预报则是当前各级环境监测部门必须完成的首要工作. 环境空气 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统是连续自动监测环境空气中 $PM_{2.5}$ 细颗粒物的实时在线监测仪器,是对 $PM_{2.5}$ 进行准确测量、数据发布、质量评价以及了解掌握 $PM_{2.5}$ 变化趋势和预警预报的重要工具. 因此,$PM_{2.5}$ 连续自动监测系统的性能质量、功能特点和长期使用的稳定性决定了其能否满足目前环境监测和管理工作的需求,同时也决定了其测量发布的 $PM_{2.5}$ 监测数据能否真实反映环境质量现状,监测结果能否与公众的实际感受相一致. 由于 $PM_{2.5}$ 不像 SO_2 等气态污染物容易获取标准物质进行相关溯源校准[11],因此,环境空气 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统安装使用后一般都需要定期与 $PM_{2.5}$ 手工采样测量结果进行比对测试或调试,找到连续自动监测与手工采样测量之间的相关关系;通过比对测试或调试对连续自动监测结果进行有效评价或校准修正,这样才能在一定时间段内确保 $PM_{2.5}$ 连续

收稿日期:2014-10-31;**修订日期**:2014-12-31
基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项(2012YQ060147)
作者简介:王强(1977 ~),男,硕士,正高级工程师,主要研究方向为环境空气和废气连续监测仪器性能检测和相关技术标准,E-mail:wangqiang@cnemc.cn
* 通讯联系人,E-mail:yangkai@cnemc.cn

自动监测系统的监测数据质量,保证自动监测数据科学可靠,才能进一步使用自动监测数据进行环境空气质量的评价和相关来源解析等工作[12~16].

1 美国现行 $PM_{2.5}$连续自动监测系统手工采样比对测试要求

美国、欧盟、日本以及国际标准化组织等均发布过有关环境空气颗粒物(包括 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$)自动监测仪器和方法的相关标准和规范[17~19]. 在文献[17]中规定了环境空气 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统与手工采样参比测试比对的技术要求,见表 1. 标准中不仅规定了比对测试的技术要求,而且提出相应的检测方法和质控措施要求.

表 1 EPA PART 53 标准中环境空气 $PM_{2.5}$连续监测系统与手工采样测量比对测试的技术要求

Table 1 Technical indicators for comparing the EPA standard PART 53 recommended $PM_{2.5}$ continuous monitoring system with manual sampling measurement

项目		性能指标要求
比对测试的浓度范围		3 ~ 200 $\mu g \cdot m^{-3}$
最小检测场地数		4
每个检测场地连续自动监测仪器最小数量		3
每个检测场地手工参比采样器最小数量		3
每个检测场地每个季节最小比对测试样品数量(天数)		23
手工参比采样器每组(天)测试结果的平行性		2 $\mu g \cdot m^{-3}$(SD)或 5%(RSD)
连续自动监测仪器每批次测试结果的平行性		15%(本批次测试全部样品结果的均方根)
比对测试手工参比和自动监测结果线性相关拟合回归曲线	相关曲线斜率	1 ±0.10
	相关曲线截距	0 ±2(最宽要求)
	相关曲线相关系数	≥0.93(最宽要求)

2 材料与方法

2.1 环境空气 $PM_{2.5}$连续自动监测系统基本情况

本次比对测试选取了两种不同原理的 4 种型号进口和国产环境空气 $PM_{2.5}$连续自动监测系统,每种型号自动监测仪器设备各 3 套,仪器设备基本情况见表 2.

2.2 手工采样测量仪器设备

本次比对测试使用的手工采样测量仪器设备情况见表 3.

表 2 测试环境空气 $PM_{2.5}$连续自动监测系统基本情况

Table 2 Basic information of instrument used in $PM_{2.5}$ continuous monitoring system in ambient air

序号	仪器编号	分析原理	进气流量/$L \cdot min^{-1}$	切割器类型	类型
1	A	β 射线吸收法	16.67	旋风式	国产
2	B	β 射线吸收法	16.67	旋风式	国产
3	C	β 射线吸收法	16.67	旋风式	进口
4	D	振荡天平法	16.67	旋风式	进口

表 3 测试使用的手工采样测量仪器设备基本情况

Table 3 Basic information of instrument used in $PM_{2.5}$ manual sampling in ambient air

序号	仪器设备名称	产地	规格、型号
1	小流量 $PM_{2.5}$自动换膜采样器(18 台)	美国	2025i(采样流量 16.67 $L \cdot min^{-1}$)
2	流量校准仪	美国	Bios 510
3	温湿度表(校准)	芬兰	HM34
4	空盒气压表	中国	DYM4-1
5	恒温恒湿滤膜自动识别称重系统	德国	AWS-1 电子天平(检定分度值 0.001 mg) 温度控制(20 ±1)℃ 湿度控制(50 ±5)% RH

2.3 比对测试实验方法和质控要求

同型号 $PM_{2.5}$连续自动监测系统 3 台(套),4 个型号共 12 台(套),同型号手工参比方法[20, 21] $PM_{2.5}$ 采样器 18 台,自动监测与参比方法测试同步进行,采样器与自动监测仪安放位置相距 1 m 左右,采样入口位于同一高度. 取相同采样时间段内的 3 台同

型号自动监测数据的均值($\overline{C_{i,j}}$, μg·m^{-3})和18台采样器手工参比方法采样测试数据的均值($\overline{R_j}$, μg·m^{-3})作为一个数据对,i 是仪器的型号序号(i 为1~4),j 是有效样品的个数(j 为1~n,n≥23),每个样品的采样时间为23 h,共测试至少23个样品. 按照以下5个步骤进行数据比较.

(1)每天各台手工采样器同时采样测试的数据结果为一组,计算每组18台采样器 $PM_{2.5}$ 手工采样测试样品浓度的平均值$\overline{R_j}$.

(2)分别计算每组各台 $PM_{2.5}$ 手工采样器参比方法测试结果的平行性(标准偏差或相对标准偏差).

(3)每天同型号各台自动监测仪与手工参比试相同时间段内的数据结果也为一组,计算每组 $PM_{2.5}$ 自动监测仪测试对应时间段内 $PM_{2.5}$ 浓度的平均值$\overline{C_{i,j}}$.

(4)将每组对应的参比测试数据均值分别与各型号自动监测数据均值组成一组数据对. 每批次比对实验每个型号自动监测仪器至少取得23组有效数据对.

(5)将手工参比测试数据与各型号仪器相应的自动监测数据进行线性拟合回归分析,以连续自动监测仪数据为横轴,参比测试数据为纵轴,分别计算4种自动监测仪器本批次比对实验各型号仪器取得回归曲线的斜率(k)、截距(b)和相关系数(r).

3 结果与讨论

3.1 环境空气 $PM_{2.5}$ 手工采样测量结果的平行性分析

4个季节 $PM_{2.5}$ 比对测试18台 $PM_{2.5}$ 手工参比采样仪器手工采样测量共取得数据119组. 各季节手工采样测试样品数量、浓度范围、日均值≤80 μg·m^{-3}和>80 μg·m^{-3}样品的平行性以及当季温湿度情况见表4.

表4 4个季节环境空气 $PM_{2.5}$ 手工采样测量结果的平行性分析

Table 4 Parallelism analysis of $PM_{2.5}$ data by manual sampling measurement in four seasons

季节	样品组数	浓度范围 /μg·m^{-3}	18台采样器采样测量结果平均值(日均值)≤80 μg·m^{-3}的数据				18台采样器采样测量结果平均值(日均值)>80 μg·m^{-3}的数据				平均温度范围/℃	平均相对湿度/%
			组数	各结果的标准偏差/μg·m^{-3}			组数	各结果的相对标准偏差/%				
				最大值	最小值	平均值		最大值	最小值	平均值		
春	28	13.0~205.8	14	4.9	1.8	3.5	14	4.3	1.9	3.1	6.2~17.1	52.5
夏	32	20.1~217.1	22	4.3	1.4	2.5	10	3.5	1.8	2.8	23.0~31.4	80
秋	28	17.3~303.2	17	3.7	1.3	2.4	11	4.1	1.1	2.5	8.1~18.7	60.5
冬	31	22.0~478.2	6	4.7	1.0	2.6	25	3.6	1.0	2.1	-0.2~-8.1	40

$PM_{2.5}$ 手工参比采样测量结果是 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统比对测试和调试的基准,因此其多台采样器采样测量结果的平行性是 $PM_{2.5}$ 手工比对测试和调试中最重要的质控指标要求. 结合表1标准中的相关质控要求,分析手工参比采样测量数据的平行性结果如下.

①数据日均值≤80 μg·m^{-3}的样品共59组,各季节每天手工采样测量结果标准偏差的平均值比较见图1; 从中看出,在各季节较低浓度(≤80 μg·m^{-3})时,手工采样测量结果的平行性(标准偏差)的平均值全部超过表1中的要求(≤2 μg·m^{-3}),但全部结果均小于5 μg·m^{-3}.

②数据日均值>80 μg·m^{-3}的样品共60组,各季节每天手工采样测量结果相对标准偏差的平均值比较见图2; 从中看出,在各季节较高浓度(>80 μg·m^{-3})时,手工采样测量结果的平行性(相对标准偏差)的平均值全部符合表1中标准的要求(≤5%),且呈现出随着平均浓度逐步升高而手工采样平行性更好的趋势.

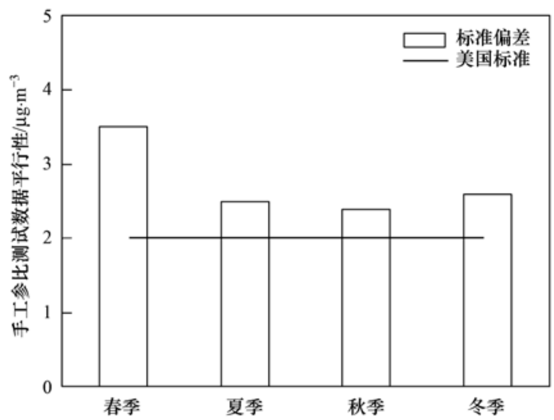

图1 4个季节 $PM_{2.5}$ 手工参比采样器采样测量较低浓度(≤80 μg·m^{-3})数据的平行性

Fig. 1 Parallelism of $PM_{2.5}$ data of lower concentration (≤80 μg·m^{-3}) by manual sampling measurement in four seasons

3.2 环境空气 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统手工采样比对测试结果分析

将同时间段手工采样分析测量数据和对应的4种型号连续自动监测系统测量数据进行线性回归,

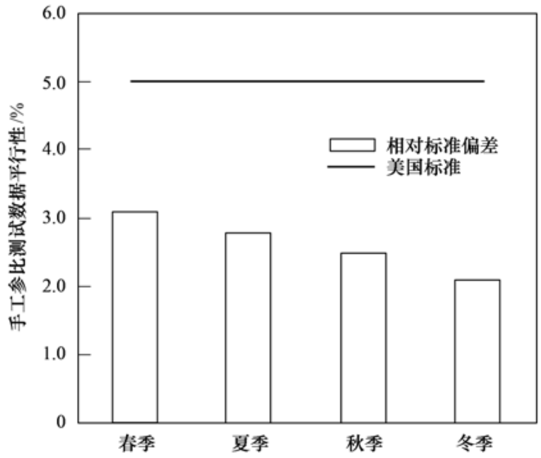

图 2　4 个季节 $PM_{2.5}$ 手工参比采样器采样测量较高浓度（ $>80\ \mu g\cdot m^{-3}$ ）数据的平行性

Fig. 2　Parallelism of $PM_{2.5}$ data of higher concentration（ $>80\ \mu g\cdot m^{-3}$ ）by manual sampling measurement in four seasons

得到每个季节 $PM_{2.5}$ 比对测试的 4 条线性回归曲线；4 个季节的全部各条回归曲线的斜率 k、截距 b 和相关系数 r 的数值见表 5.

将 4 个季节 4 种型号 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统的自动监测数据分别与手工参比采样测量数据进行线性回归，所取得回归方程斜率 k 值、截距 b 值以及相关系数 r 的最小值进行比较，结果如图 3～5 所示. 通过比较分析，可以得到环境空气 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统"手工采样比对测试"或"比对调试"的技术指标要求.

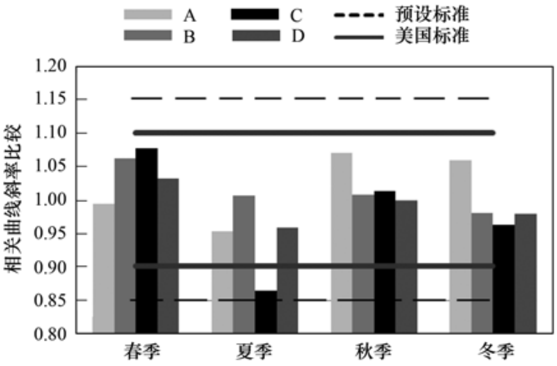

图 3　4 个季节 $PM_{2.5}$ 比对测试手工参比与自动监测数据线性回归方程斜率比较

Fig. 3　Slope of linearity regression equation of the comparison test between $PM_{2.5}$ manual sampling measurement and $PM_{2.5}$ continuous monitoring system in four seasons

表 5　4 种型号 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统 4 个季节手工采样比对测试结果分析

Table 5　Analysis of the comparative test results of $PM_{2.5}$ manual sampling measurement and 4 types of $PM_{2.5}$ continuous monitoring systems in four seasons

回归曲线	春季			夏季			秋季			冬季		
	k	b	r	k	b	r	k	b	r	k	b	r
A	0.994	4.171	0.991	0.953	−6.597	0.990	1.070	−8.145	0.996	1.059	2.402	0.996
B	1.062	−3.995	0.988	1.007	−7.627	0.982	1.008	−7.038	0.996	0.980	2.523	0.998
C	1.076	0.480	0.990	0.863	−0.627	0.987	1.014	−6.693	0.988	0.962	1.946	0.987
D	1.031	−2.018	0.990	0.959	−4.229	0.993	0.998	−5.450	0.997	0.979	3.688	0.998

结合表 4 中的环境温湿度条件，从图 3～5 中可以看出：①针对斜率 k，大部分值符合表 1 中（1 ± 0.1）的技术指标要求；其中夏季不同型号仪器间波动较大. 最小值小于 0.9，分析原因可能是夏季与春、秋和冬季相比，$PM_{2.5}$ 整体浓度相对较低，且夏季比对时环境温度相对较高，湿度相对较大；在高温高湿环境下，存在颗粒的损失（如高温挥发）或吸湿（如盐类潮解）等导致手工采样和自动测量的颗粒浓度变化的情况. 使得仪器比对测量或调试时系统误差比较明显；②针对截距 b，只有 3 个数据符合表 1 中（0 ± 2）的技术指标要求，其余各季节全部超出；其中夏季和秋季的最大偏差值接近 8. 分析原因可能还是由于我国目前 $PM_{2.5}$ 整体基础浓度较高，浓度波动较大，组成成分复杂，造成比对测量本底随机误差较大. ③针对相关系数 r，全部数据均符合表 1 中（ >0.93 ）的技术指标要求，且全部大于 0.95. 尤其是秋季和冬季，基本能够达到 0.99，分析原因可能是因为在秋、冬季，由于燃煤取暖我国环境空气 $PM_{2.5}$ 浓度普遍较高、跨度较大，且环境相对湿度较低，有利于仪器线性相关拟合，消除或减小误差影响，提高比对测量的相关性.

4　结论

（1）环境空气 $PM_{2.5}$ 连续监测系统比对测试（调试）中，"手工参比采样测量结果的平行性"指标是其中首要的质控指标要求，是 $PM_{2.5}$ 比对测试数据有效的前提. 4 个季节的比对测试结果发现由于我国目前环境空气 $PM_{2.5}$ 的基础浓度较国外高，浓度波动较大，且各季节温湿度变化较大，$PM_{2.5}$ 成分也有差异；因此当浓度较低时（ $\le 80\ \mu g\cdot m^{-3}$ ）可适当放宽

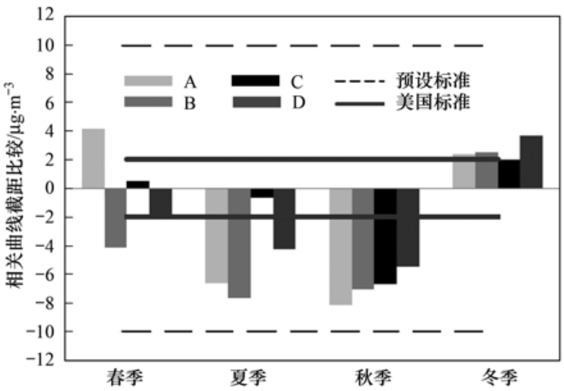

图4 4个季节 $PM_{2.5}$ 比对测试手工参比与自动监测数据线性回归方程截距比较

Fig. 4 Intercept of linearity regression equation of the comparison test between $PM_{2.5}$ manual sampling measurement and $PM_{2.5}$ continuous monitoring system in four seasons

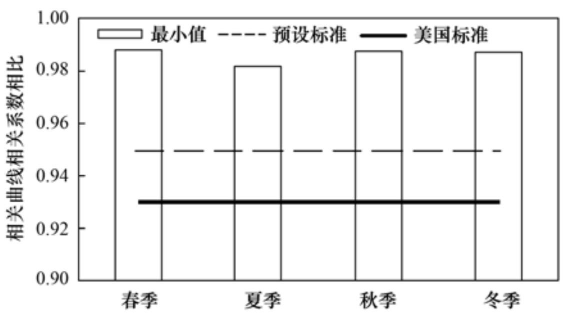

图5 4个季节 $PM_{2.5}$ 比对测试手工参比与自动监测数据线性回归方程相关系数比较

Fig. 5 Correlation coefficient of linearity regression equation of the comparison test between $PM_{2.5}$ manual sampling measurement and $PM_{2.5}$ continuous monitoring system in four seasons

手工采样测量的平行性要求. $PM_{2.5}$ 手工比对测试(调试)质控指标要求为“至少3台以上采样器每组参比采样测量结果的标准偏差≤5 μg·m^{-3}或相对标准偏差≤5%”.

(2)受不同地域分布和气候特点的影响,现场安装使用的环境空气 $PM_{2.5}$ 连续监测系统必须与手工采样测量进行有效的比对测试或调试,符合相关校准技术要求后,才能确保其 $PM_{2.5}$ 连续自动监测数据准确可靠,真实反映当地的 $PM_{2.5}$ 污染状况. 在现有 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统技术水平和当前我国 $PM_{2.5}$ 污染状况等实际条件下,不宜直接照搬国外标准,目前“$PM_{2.5}$ 手工比对测试(调试)”技术指标要求可初步设置为: $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统与手工采样测量比对,取得相关校准曲线: 斜率 k 为(1 ± 0.15),截距 b 为(0 ± 10),相关系数 r 为(≥0.95);随着 $PM_{2.5}$ 污染的逐步治理,相关要求可结合我国国情逐步加严.

(3)本次 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统手工采样比对测试的检测过程和方法借鉴了美国 EPA PART 53 标准,比对测试研究工作覆盖一年四季典型的不同天气,测试现场 $PM_{2.5}$ 浓度范围较宽(13.0 ~ 478.2 μg·m^{-3}),比对测试结果的代表性较强. 因此,本次比对测试获得的质控和技术指标完全可以同样应用于对环境空气 $PM_{2.5}$ 连续自动监测系统仪器的性能质量评价和日常运行管理,以满足环境监测和管理的技术需求.

参考文献:

[1] 王自发, 李杰, 王哲, 等. 2013年1月我国中东部强霾污染的数值模拟和防控对策[J]. 中国科学(地球科学), 2014, **44**(1): 3-14.

[2] 戴永立, 陶俊, 林泽健, 等. 2006 ~ 2009年我国超大城市霾天气特征及影响因子分析[J]. 环境科学, 2013, **34**(8): 2925-2932.

[3] 吴兑, 吴晓京, 李菲, 等. 1951 ~ 2005年中国大陆霾的时空变化[J]. 气象学报, 2010, **68**(5): 680-688.

[4] 陶俊, 柴发合, 高健, 等. 16届亚运会期间广州城区 $PM_{2.5}$ 化学组分特征及其对霾天气的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 409-415.

[5] 吴兑. 近十年中国灰霾天气研究综述[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(2): 257-269.

[6] 谢元博, 陈娟, 李巍. 雾霾重污染期间北京居民对高浓度 $PM_{2.5}$ 持续暴露的健康风险及其损害价值评估[J]. 环境科学, 2014, **35**(1): 1-8.

[7] 余学春, 贺克斌, 马永亮, 等. 北京市 $PM_{2.5}$ 水溶性有机物污染特征[J]. 中国环境科学, 2004, **24**(1): 53-57.

[8] 王媛, 黄薇, 汪彤, 等. 患心血管病老年人夏季 $PM_{2.5}$ 和 CO 的暴露特征及评价[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(9): 1005-1008.

[9] 孙颖, 潘月鹏, 李杏茹, 等. 京津冀典型城市大气颗粒物化学成分同步观测研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(9): 2732-2740.

[10] 程萌田, 潘月鹏, 王辉, 等. 大气 $PM_{2.5}$ 中水溶性离子在线观测技术的应用研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(8): 2943-2949.

[11] 张文阁, 高思田, 宋小平, 等. 细颗粒物 $PM_{2.5}$ 浓度测量及计量技术[J]. 中国粉体技术, 2013, **19**(6): 69-72.

[12] 王帅, 丁俊男, 王瑞斌, 等. 我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(2): 401-410.

[13] 师建中, 陈丹青. $PM_{2.5}$ 监测数据质量主要影响因素和控制方法探讨[J]. 绿色科技, 2012, (5): 179-181.

[14] 冯进. $PM_{2.5}$ 监测技术的发展及测量数据准确性的保障[J]. 计量与测试技术, 2014, **41**(2): 52-55.

[15] 王强, 钟琪, 迟颖, 等. 环境空气 PM_{10} 连续监测系统比对测试评价指标研究[J]. 环境污染与防治, 2013, **35**(12): 13-18.

[16] 龙红艳，邓双，黄妍，等．大气细颗粒物 $PM_{2.5}$的源解析技术［J］．能源与环境，2012，（6）：46-49.

[17] EPA 40 CFR PART 53，Ambient air monitoring reference and equivalent methods［S］.

[18] JIS B7954-2001，Automatic monitors for suspended particulate matter in ambient air［S］.

[19] ISO 10473：2000，Ambient air-Measurement of the mass of particulate matter on a filter medium-Beta-ray absorption method［S］.

[20] HJ 618-2011，环境空气 PM_{10}和 $PM_{2.5}$的测定重量法［S］.

[21] HJ 656-2013，环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）手工监测方法（重量法）技术规范［S］.

HUANJING KEXUE Vol. 36 No. 5
Environmental Science (monthly) May 15, 2015

CONTENTS

环境科学
(HUANJING KEXUE)
(月刊　1976年8月创刊)
2015年5月15日　第36卷　第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE
(Monthly　Started in 1976)
Vol. 36　No. 5　May 15, 2015

主　　管	中国科学院
主　　办	中国科学院生态环境研究中心
协　　办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院
主　　编	欧阳自远
编　　辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路18号,邮政编码:100085) 电话:010-62941102,010-62849343 传真:010-62849343 E-mail:hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn
出　　版	科学出版社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印刷装订	北京北林印刷厂
发　　行	科学出版社 电话:010-64017032 E-mail:journal@mail.sciencep.com
订 购 处	全国各地邮电局
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)

Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail:hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn
Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing　100717, China
Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail:journal@mail.sciencep.com
Domestic		All Local Post Offices in China
Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号：ISSN　0250-3301 / CN　11-1895/X　　**国内邮发代号**：2-821

国内定价：120.00元　　**国外发行代号**：M 205

国内外公开发行