



文章栏目：环境监测技术

DOI 10.12030/j.cjee.201910017

中图分类号 X513

文献标识码 A

宋博, 刘李阳, 黄玉虎, 等. 秋季施工扬尘  $PM_{10}$  自动监测仪参比方法比对测试[J]. 环境工程学报, 2021, 15(1): 326-333.  
SONG Bo, LIU Liyang, HUANG Yuhu, et al. Comparison test of the reference method among  $PM_{10}$  automated monitors for construction fugitive dust in autumn[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(1): 326-333.

## 秋季施工扬尘 $PM_{10}$ 自动监测仪参比方法比对测试

宋博<sup>1,2</sup>, 刘李阳<sup>1,2</sup>, 黄玉虎<sup>2,\*</sup>, 王林凯<sup>3</sup>, 秦建平<sup>2</sup>

1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048

2. 北京市环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037

3. 北京工业大学材料科学与工程学院, 北京 100124

第一作者: 宋博(1995—), 男, 硕士研究生。研究方向: 扬尘污染防治。E-mail: [songbo950415@sina.com](mailto:songbo950415@sina.com)

\*通信作者: 黄玉虎(1978—), 男, 硕士, 研究员。研究方向: 大气污染防治。E-mail: [huangyuhu@sina.com](mailto:huangyuhu@sina.com)

**摘要** 施工扬尘是一类重要的污染源。适用性检测是施工扬尘  $PM_{10}$  自动监测仪使用的前提。参照《环境空气颗粒物 ( $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$ ) 连续自动监测技术要求及检测方法》(HJ 653-2013) 和美国加州《法规 403 扬尘》, 采用国内外 9 种光散射法和 4 种  $\beta$  射线法施工扬尘  $PM_{10}$  监测仪, 在秋季施工工地开展了参比方法比对测试。结果表明: 有 3 种监测仪不符合 HJ 653-2013 的平行性要求 ( $P \leq 10\%$ ), 将  $P$  调整为  $\leq 15\%$  之后, 除了 1 种光散射法监测仪不符合要求外, 92% 的监测仪均符合新要求; 去掉 1 种平行性不达标的仪器,  $\beta$  射线法监测仪与参比方法线性回归方程的斜率  $k$ 、截距  $b$  和可决系数  $R^2$  整体优于光散射法, 但均不符合 HJ 653-2013 的要求 ( $0.85 \leq k \leq 1.15$ ,  $-10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq b \leq 10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $R^2 \geq 0.90$ ); 对 HJ 653-2013 的要求略做放松 ( $P \leq 15\%$ ,  $0.80 \leq k \leq 1.20$ ,  $-20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq b \leq 20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $R^2 \geq 0.72$ ) 之后, 有 1 种光散射法和 3 种  $\beta$  射线法监测仪符合新要求, 采用光散射法监测仪支撑施工扬尘排放标准具有可行性。综合上述结果, 建议在其他季节开展施工扬尘  $PM_{10}$  监测仪参比方法比对测试。上述研究结果可为施工扬尘污染监测与防治提供参考。

**关键词** 施工扬尘;  $PM_{10}$  自动监测仪; 光散射;  $\beta$  射线; 参比方法; 比对测试

近年来, 可吸入颗粒物 ( $PM_{10}$ ) 和细颗粒物 ( $PM_{2.5}$ ) 是我国大气环境的主要污染物,  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  会影响人体健康、降低大气能见度<sup>[1-2]</sup>。北京市 2018 年  $PM_{2.5}$  源解析结果表明, 扬尘源对本地源的贡献率高达 16%<sup>[3]</sup>, 施工扬尘和道路扬尘并重, 施工工地是造成道路扬尘的来源之一, 因此, 施工扬尘污染防治显得尤为重要。近年来, 国内施工扬尘排放特征<sup>[4-5]</sup>、排放因子<sup>[6-7]</sup>、排放清单<sup>[8]</sup>、防治技术<sup>[9-12]</sup> 和排放标准 (含征求意见稿)<sup>[13-18]</sup> 的研究越来越多。我国一些地方施工扬尘排放标准 (含征求意见稿)<sup>[17-18]</sup> 以  $PM_{10}$  作为控制指标, 因为施工扬尘以粗颗粒物为主, 其粒径分布为总悬浮颗粒物 (TSP):  $PM_{10}$ :  $PM_{2.5}$  为 1.00:0.49:0.10<sup>[19]</sup>, 加之《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 对  $PM_{10}$  的关注程度高于 TSP, 因此, 以  $PM_{10}$  监测仪作为施工扬尘监测工具较为合适。

环境空气  $PM_{10}$  连续自动监测系统是我国环境空气监测领域应用较早和国产化技术较成熟的连续自动监测仪, 按监测原理可分为微量振荡天平法和  $\beta$  射线法<sup>[20-21]</sup>。我国地方施工扬尘排放标准将

收稿日期: 2019-10-08; 录用日期: 2020-03-01

基金项目: 北京市科技计划课题 (Z181100005418018); 北京市科学技术协会 2017—2019 年度青年人才托举工程项目; 北京市环境保护科学研究院基金资助项目 (2017-B-04)

环境空气 PM<sub>10</sub> 连续自动监测仪应用于施工扬尘 PM<sub>10</sub> 监测，并且将“光散射法”作为第 3 种监测原理的仪器<sup>[13]</sup>。我国《环境空气颗粒物 (PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub>) 连续自动监测技术要求及检测方法》(HJ 653-2013) 提出了自动监测仪参比方法比对测试技术要求<sup>[22]</sup>，并规定采用重量法作为参比方法<sup>[23]</sup>。虽然已有研究对 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的手工和自动监测仪进行了比对<sup>[24-26]</sup>，但在施工扬尘 PM<sub>10</sub> 领域的监测应用还属于较新的课题，国内外尚缺乏施工扬尘 PM<sub>10</sub> 监测仪的准确性和适用性评价数据。鉴于国内在这方面的迫切需求，2019 年 6 月中国环境监测总站发布了《扬尘颗粒物监测仪 (光散射法)》适用性检测作业指导书。

为了解不同原理多种型号监测仪对施工扬尘 PM<sub>10</sub> 的适用性，本研究选取国内外 9 种光散射法和 4 种 β 射线法监测仪，开展施工扬尘 PM<sub>10</sub> 自动监测仪参比方法比对测试，分析自动监测仪与手工采样器监测结果的相关关系，确定符合我国环境质量现状和监测需求的施工扬尘 PM<sub>10</sub> 监测仪“参比方法比对测试”技术要求和检测方法，为我国仪器认证和施工扬尘污染防治提供依据，亦为国家或地方制定施工扬尘排放标准提供参考。

## 1 仪器和方法

### 1.1 自动监测仪

本次比对测试选取了 9 种光散射法和 4 种 β 射线法共 13 种型号的施工扬尘 PM<sub>10</sub> 监测仪，每种型号监测仪器提供 3 台。对 13 种型号仪器进行编号，施工扬尘 PM<sub>10</sub> 自动监测仪信息见表 1。

### 1.2 手工参比采样测量仪器

选取 3 台德国康姆德润达 PNS 16T-3.1 型自动换膜颗粒物采样器作为比对测试使用的手工参比采样 (以下简称：参比采样) 测量仪器，采样流量为 16.7 L·min<sup>-3</sup>。采用美国 TSI 4146 型流量校准仪对参比采样器进行流量校准。采用瑞典梅特勒电子天平称量滤膜，电子天平精度为 1/100 000 g，保证滤膜称量所需的恒温恒湿要求。

### 1.3 比对测试方法

2018 年 9 月中旬，在北京市通州区北京环球影城施工工地内开展施工扬尘 PM<sub>10</sub> 监测仪参比方法比对测试，测试场地如图 1 所示。测试场地相对施工工地的位置见图 2。图 2 中红色多边形区域为施工工地，蓝色圆形区域为测试场地。测试场地位于工地西侧办公区，施工工地面积为 4 km<sup>2</sup>，测试场地面积约为 100 m<sup>2</sup>，测试场地与施工工地面积相比非常小，测试场地内扬尘 PM<sub>10</sub> 浓度相对均匀，每种监测仪在场地中的分布位置不影响仪器评价效果。比对测试方法参照 HJ 653-2013 执行，同型号 PM<sub>10</sub> 监测仪 3 台，参比采样器 3 台，共计 42 台仪器。同种型号的仪器安放位置相距 1 m，仪器采样头高度统一为 3 m。实验开始前，由各仪

表 1 施工扬尘 PM<sub>10</sub> 自动监测仪信息

Table 1 Information of PM<sub>10</sub> automate monitor for construction fugitive dust

序号	仪器编号	分析原理	序号	仪器编号	分析原理
1	A	光散射	8	H	光散射
2	B	光散射	9	I	光散射
3	C	光散射	10	J	β射线
4	D	光散射	11	K	β射线
5	E	光散射	12	L	β射线
6	F	光散射	13	M	β射线
7	G	光散射			



图 1 施工扬尘 PM<sub>10</sub> 监测仪参比方法比对测试场地

Fig. 1 Comparison test site of the reference method of PM<sub>10</sub> monitor for construction fugitive dust

器厂家对自动监测仪的进气管道和  $PM_{10}$  切割器进行清洗。实验周期为 5 d, 自动监测仪和参比采样器同步进行监测或采样, 实验期间不得对仪器进行维护。首先, 应符合 HJ 653-2013 规定的同型号 3 台(套)仪器平行性  $P \leq 10\%$  的要求; 其次, 参照美国加州《法规 403 扬尘》<sup>[27]</sup>, 每个样品采样时间为  $(5 \pm 0.2)$  h, 这是因为施工现场  $PM_{10}$  相比一般大气环境浓度高, 共测试 15 组样品。采样时间和样品数量有别于 HJ 653-2013 的  $(24 \pm 1)$  h 和 10 个样品, 减少了采样时间, 同时增加了样品数量。在比对测试期间, 主导风向为西南风和东北风, 风频分别为 36% 和 26%, 平均风速分别为  $1.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $1.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 比对测试场地既不在施工工地主导风向的上风向也不在下风向, 比对测试场地扬尘  $PM_{10}$  浓度代表了该施工工地平均水平。

取相同时间段内的自动监测数据  $C_{ij}$  和参比采样数据  $R_j$  作为一个数据对,  $i$  是仪器的序号 ( $i=1\sim 13$ ),  $j$  是有效样品的个数 ( $j=1\sim 15$ )。分析过程包括 4 个步骤: 1) 计算 3 台手工采样器测试每组样品  $PM_{10}$  浓度的平均值, 平均值应尽量选择 在  $15\sim 300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 分别计算每组采样器测试结果的标准偏差 ( $\leq 15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 或相对标准偏差 ( $\leq 7\%$ ), 则该组参比测试数据有效, 平均值  $\leq 100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和平均值  $> 100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  的有效数据对数均应  $\geq 3$ ; 2) 计算每种型号自动监测仪测试结果的平行性; 3) 计算相同时间段内同型号自动监测仪和参比采样器测试的样品  $PM_{10}$  浓度的平均值; 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个有效数据对, 进行线性回归分析, 以参比测试数据为横轴, 以自动监测仪数据为纵轴, 计算线性回归方程的斜率 ( $k$ )、截距 ( $b$ ) 和可决系数 ( $R^2$ ), 判断是否满足 HJ 653-2013 的要求 ( $0.85 \leq k \leq 1.15$ ,  $-10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq b \leq 10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $R^2 \geq 0.90$ )。

## 2 结果与讨论

1) 施工扬尘  $PM_{10}$  监测仪的平行性。3 台参比采样器监测结果的平行性是开展  $PM_{10}$  参比采样比对测试的基础。图 3 显示了参比采样器和自动监测仪的监测结果。另外, 经计算可得出 A-M 型号的 13 种自动监测仪的平行性(见图 4)。由图 3 和图 4 可看出, 参比采样器测试结果的平行性很好, 3 条线几乎重合。光散射法和  $\beta$  射线法 2 种类型的监测仪自身的平行性均有好有坏, 其中 2 种光散射法(H 型、I 型)和 1 种  $\beta$  射线法(M 型)自动监测仪监测结果平行性相对较差, 分别为 13%、18% 和 12%, 不符合 HJ 653-2013 中规定的  $PM_{10}$  连续监测系统平行性  $P \leq 10\%$  的要求, 如果将要求降低为平行性  $P \leq 15\%$ , 那么只有 1 种光散射法监测仪(I 型)不符合新要求。

2) 自动监测仪和参比采样器的相关性。由于有 1 种光散射法(I 型)监测仪的平行性不符合新要求 ( $P \leq 15\%$ ), 故对其他 12 种型号监测仪和参比采样器的相关性做评价。将自动监测仪与参比采样器在同时间段内得到的 15 组比对测试有效数据进行线性回归方程(见图 5), 各个回归曲线的斜率 ( $k$ )、截距 ( $b$ ) 和可决系数 ( $R^2$ ) 的结果见表 2。

将 12 种型号监测仪与参比采样器得到线性回归方程的  $k$ 、 $b$  和  $R^2$  数值进行对比分析。由图 6 可以看出, A~H 型 8 种光散射法监测仪各自线性回归方程的同一类参数值差别较大, 其中  $k$  为  $0.36\sim 1.09$ , B 型和 C 型监测仪符合 HJ 653-2013 中的要求;  $b$  为  $-9\sim 74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , C 型、D 型和 G 型监测仪符合要求;  $R^2$  为  $0.13\sim 0.88$ , G 型监测仪接近符合要求。J~M 型 4 种  $\beta$  射线法监测仪的检测结果整体优于光散射法监测仪, 4 个线性回归方程的同一类参数数值差别较小, 其中  $k$  为  $0.84\sim 0.95$ ,



注:红色为施工工地;蓝色为测试场地。

图 2 测试场地相对施工工地的位置

Fig. 2 Location of the test site relative to the construction site

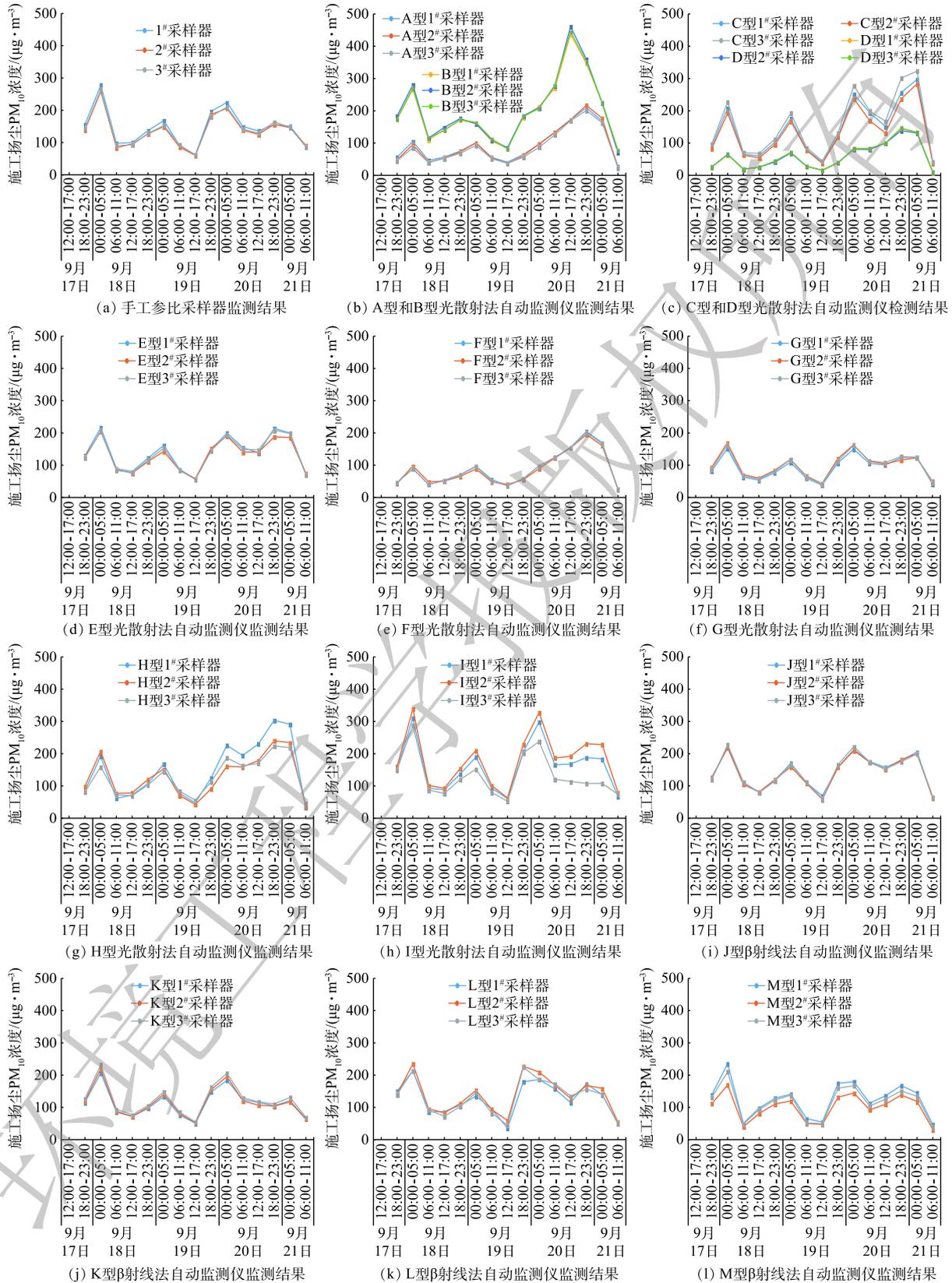


图 3 参比采样器和自动监测仪的监测结果

Fig. 3 Monitoring results of manual reference sampler and automated monitor

J型、L型和M型监测仪符合HJ 653-2013的要求； $b$ 为 $-7\sim 23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ，K型、L型和M型监测仪符合要求； $R^2$ 为 $0.77\sim 0.95$ ，K型监测仪符合要求。

综上所述，在施工扬尘 $\text{PM}_{10}$ 环境条件下，参与本研究的光散射法和 $\beta$ 射线法监测仪都不符合HJ 653-2013的要求，主要原因是施工现场扬尘 $\text{PM}_{10}$ 浓度空间均匀性远不如一般大气环境，次要原因是参与本研究的光散射法监测仪不属于法规仪器， $\beta$ 射线法监测仪是小

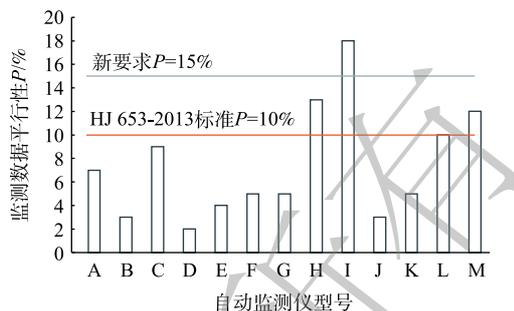
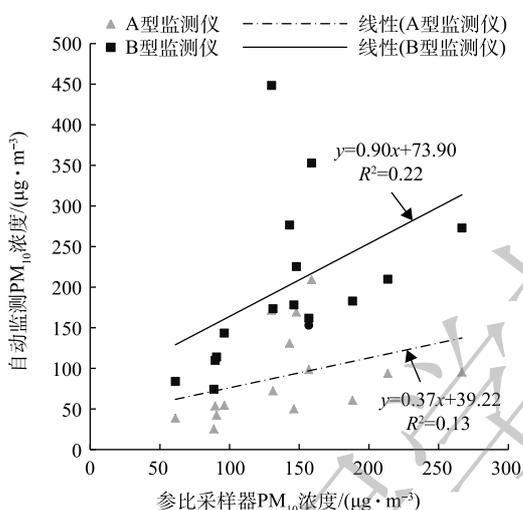
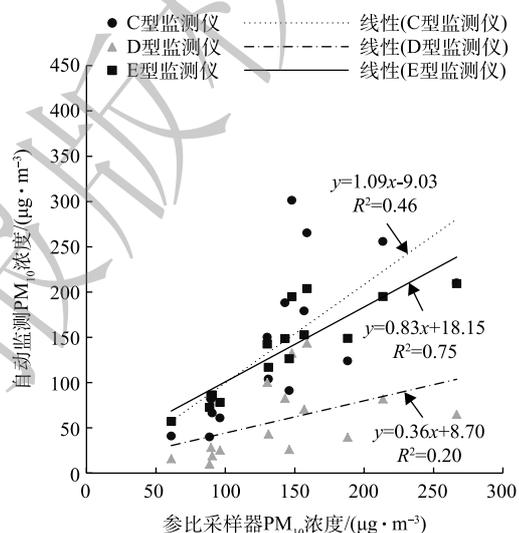


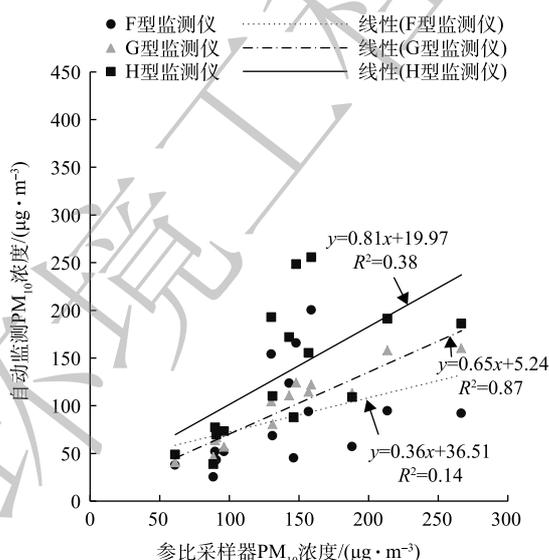
图4 施工扬尘 $\text{PM}_{10}$ 监测仪的平行性  
Fig. 4 Monitoring data parallelism of  $\text{PM}_{10}$  automated monitors



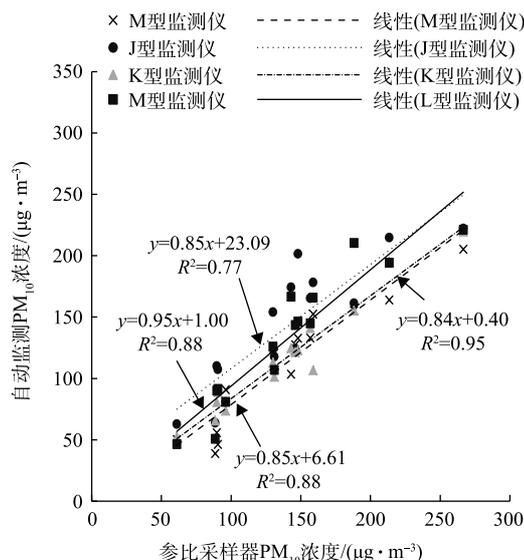
(a) A、B型自动监测仪与参比采样器的相关性分析



(b) C、D、E型自动监测仪与参比采样器的相关性分析



(c) F、G、H型自动监测仪与参比采样器的相关性分析



(d) M、J、K、L型自动监测仪与参比采样器的相关性分析

图5 自动监测仪与参比采样器的线性回归方程

Fig. 5 Linear regression equation of the automated monitor and reference sampler

型仪器。但是，β射线法监测仪相比光散射法更接近标准要求，这是因为光散射法的监测结果受颗粒物粒径分布、颜色、密度及环境温湿度等因素影响，而β射线法不受影响。

3) 施工扬尘自动监测仪技术要求。鉴于参与秋季施工扬尘 PM<sub>10</sub> 参比方法比对测试的 13 种自动监测仪都不符合 HJ 653-2013 的要求，而目前国内已经颁布的地方施工扬尘排放标准和《大气 PM<sub>2.5</sub> 网格化监测技术要求和检测方法技术指南(试行)》<sup>[28]</sup> 对颗粒物自动监测仪的技术要求相比 HJ 653-2013 都略有放松，结合本研究所得到的比对结果以及施工扬尘 PM<sub>10</sub> 监测的特殊性，现提出一种适用于施工扬尘自动监测仪的技术要求。技术要求如下，自动监测仪  $P \leq 15\%$ ，线性回归方程的  $k$  为  $(1 \pm 0.20)$ ， $b$  为  $(0 \pm 20) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ， $R^2 \geq 0.72$ 。以新要求重新对本研究的比对测试结果进行评价，发现有 1 种光散射法和 3 种 β 射线法监测仪符合新要求，另外有一种 β 射线法监测仪接近符合新要求。表明采用光散射法监测仪开展施工扬尘 PM<sub>10</sub> 监测并支撑施工扬尘排放标准具有可行性，当然 β 射线法监测仪性能更优越，但价格是限制 β 射线法广泛应用的制约因素。

表 2 自动监测仪与参比采样器的线性分析结果  
Table 2 Linear analysis results between automated monitor and reference sampler

分析方法	仪器编号	斜率 $k$	截距 $b$	可决系数 $R^2$
光散射法	A	0.37	39	0.13
光散射法	B	0.90	74	0.22
光散射法	C	1.09	-9	0.46
光散射法	D	0.36	9	0.20
光散射法	E	0.83	18	0.75
光散射法	F	0.36	37	0.14
光散射法	G	0.65	5	0.87
光散射法	H	0.81	20	0.38
β射线法	J	0.85	23	0.77
β射线法	K	0.84	-0.4	0.95
β射线法	L	0.95	-1	0.88
β射线法	M	0.85	-7	0.88

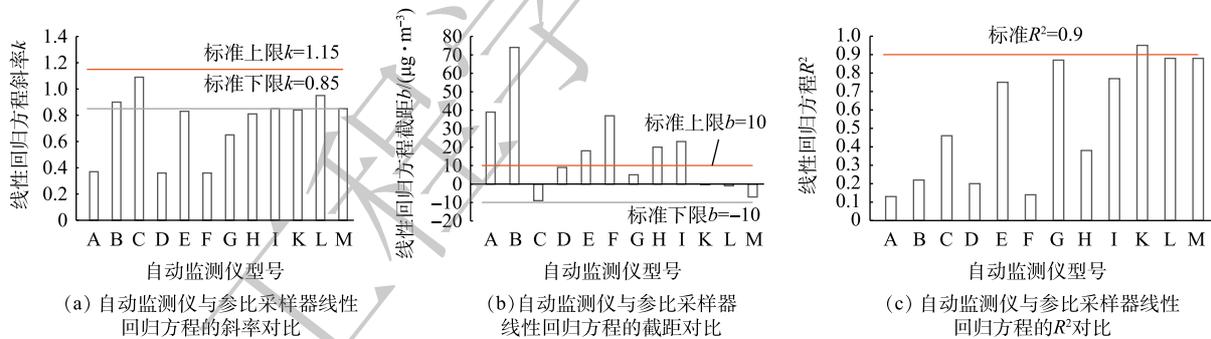


图 6 自动监测仪与参比采样器的线性回归方程的斜率、截距和  $R^2$  对比

Fig. 6 Comparison of the slope, intercept and  $R^2$  of the linear regression equation of the automated monitor and reference sampler

### 3 结论

1) 除 2 种光散射法和 1 种 β 射线法监测仪之外，77% 的监测仪各自的平行性都符合 HJ 653-2013 的要求 ( $P \leq 10\%$ )，调整  $P \leq 15\%$  之后，除了 1 种光散射法监测仪之外，92% 的监测仪符合新要求。

2) 去掉 1 种平行性不达标的光散射法监测仪，β 射线法监测仪与参比方法线性回归方程的斜率  $k$ 、截距  $b$  和可决系数  $R^2$  整体优于光散射法监测仪，但都不符合 HJ 653-2013 的要求 ( $0.85 \leq k \leq 1.15$ ， $-10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \leq b \leq 10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ， $R^2 \geq 0.90$ )。

3) 对 HJ 653-2013 的要求略做放松 ( $P \leq 15\%$ ， $0.80 \leq k \leq 1.20$ ， $-20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \leq b \leq 20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ， $R^2 \geq 0.72$ ) 之后，有 1 种光散射法和 3 种 β 射线法监测仪符合新要求，还有 1 种 β 射线法监测仪接近符合新要求，新要求符合率仅为 38%，监测仪的性能亟待提升。

4) 采用光散射法监测仪开展施工扬尘  $PM_{10}$  监测并支撑施工扬尘排放标准具有可行性, 建议继续在其他季节开展施工扬尘  $PM_{10}$  监测仪参比方法比对测试, 为施工扬尘污染监测与防治提供技术支持。

## 参考文献

- [1] 黄玉虎, 李媚, 曲松, 等. 北京城区  $PM_{2.5}$  不同组分构成特征及其对大气消光系数的贡献[J]. 环境科学研究, 2015, 28(8): 1193-1199.
- [2] 刘爱明, 杨柳, 吴亚玲, 等. 城市区域大气颗粒物的健康效应研究[J]. 中国环境监测, 2012, 28(5): 19-23.
- [3] 北京市环境保护局. 北京发布颗粒物( $PM_{2.5}$ )源解析结果[EB/OL]. [2019-10-07]. <http://www.bjepb.gov.cn/bjhrb/xxgk/jgz/jgsz/jjggszjzz/xcyj/xwfb/832588/index.html>.
- [4] 黄玉虎, 田刚, 秦建平, 等. 不同施工阶段扬尘污染特征研究[J]. 环境科学, 2007, 28(12): 2885-2888.
- [5] 田刚, 黄玉虎, 樊守彬, 等. 扬尘污染控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [6] 田刚, 黄玉虎, 李钢. 四维通量法施工扬尘排放模型的建立与应用[J]. 环境科学, 2009, 30(4): 1003-1007.
- [7] 宋博, 黄玉虎, 秦建平, 等. 国内外建筑施工扬尘排放因子测试方法概述[J]. 环境工程, 2019, 37(4): 126-130.
- [8] 薛亦峰, 周震, 黄玉虎, 等. 北京市建筑施工扬尘排放特征[J]. 环境科学, 2017, 38(6): 2231-2237.
- [9] 黄玉虎, 曲松, 王斌, 等. 转轮式洗轮机对车轮带泥的冲洗效果[J]. 环境工程学报, 2014, 8(2): 631-635.
- [10] 黄玉虎, 曲松, 白臣平, 等. 密闭式顶盖对渣土车遗撒和风蚀扬尘的控制效果[J]. 环境卫生学杂志, 2013, 3(6): 498-501.
- [11] 何鸿展, 宋翀芳, 潘武轩, 等. 基于CFD的防风抑尘网非均匀孔隙率的优化研究[J]. 中国环境科学, 2016, 36(6): 1697-1704.
- [12] 秦建平, 李贝贝, 杨涛, 等. 风蚀扬尘抑尘剂效率测试方法与应用[J]. 环境科学, 2019, 40(9): 3935-3941.
- [13] 上海市环境保护局. 建筑施工颗粒物控制标准: DB31/964-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [14] 辽宁省环境保护厅. 施工及堆料场地扬尘排放标准: DB21/2642-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [15] 陕西省质量技术监督局. 施工场界扬尘排放限值: DB61/1078-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [16] 河北省生态环境厅. 施工场地扬尘排放标准: DB13/2934-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [17] 北京市环境保护局. 建筑施工扬尘污染防治技术导则(征求意见稿)[S/OL]. [2019-10-06]. <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxgk43/fdzdgknr2/hbjfw/841501/index.html>.
- [18] 四川省生态环境厅. 四川省施工场地扬尘排放标准: DB51/2682-2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [19] TAYLOR C. Section 7.7 building construction dust[R]. California: CARB, 2002.
- [20] 沈清, 张晔霞, 於香湘, 等. 环境空气中细颗粒物自动监测手工比对的质量控制[J]. 环境监控与预警, 2017, 9(2): 64-67.
- [21] 窦筱艳, 王静, 赵雪艳, 等. 西宁冬季  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  手工与自动监测现状研究[J]. 中国环境监测, 2018, 34(5): 156-164.
- [22] 环境保护部. 环境空气颗粒物( $PM_{10}$ 和 $PM_{2.5}$ )连续自动检测技术要求及检测方法: HJ 653-2013[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [23] 环境保护部. 环境空气中  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  的测定重量法: HJ 618-2011[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [24] 曲松, 李媚, 黄玉虎, 等. 光散射颗粒物监测仪在环境空气监测中的适用性[J]. 环境工程学报, 2015, 9(12): 5934-5938.
- [25] 王强, 钟琪, 迟颖, 等. 环境空气  $PM_{2.5}$  连续监测系统手工采样比对测试[J]. 环境科学, 2015, 36(5): 1538-1543.
- [26] 王永敏, 高健, 徐仲均, 等. 光散射法与  $\beta$ 射线衰减-光散射联用法颗粒物在线测量方法对比[J]. 环境科学研究, 2017, 30(3):

433-443.

[27] South Coast Air Quality Management District. Rule 403 fugitive dust[S]. USA CA: SCAQMD, 2005.

[28] 环境保护部办公厅. 大气PM<sub>2.5</sub>网格化监测技术要求和检测方法技术指南(试行)[S/OL]. [2019-10-01]. [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201709/t20170905\\_420908.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201709/t20170905_420908.htm).

(本文编辑: 郑晓梅)

## Comparison test of the reference method among PM<sub>10</sub> automated monitors for construction fugitive dust in autumn

SONG Bo<sup>1,2</sup>, LIU Liyang<sup>1,2</sup>, HUANG Yuhu<sup>2,\*</sup>, WANG Linkai<sup>3</sup>, QIN Jianping<sup>2</sup>

1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

2. National Engineering Research Center of Urban Environmental Pollution Control, Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China

3. College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

\*Corresponding author, E-mail: huangyuhu@sina.com

**Abstract** Construction fugitive dust is a kind of important pollution source. The applicability detection is the premise of using PM<sub>10</sub> automated monitors for construction fugitive dust. In this study, Specifications and Test Procedures for Ambient Air Quality Continuous Automated Monitoring System for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> (HJ 653-2013) and Rule 403 Fugitive Dust of US California were taken for reference, 9 types of light-scattering PM<sub>10</sub> automated monitors and 4 types of  $\beta$ -ray PM<sub>10</sub> automated monitors for construction fugitive dust were selected to conduct the comparison test of the reference method in a construction site in autumn. The results showed that three monitors didn't meet the requirements for parallelism of HJ 653-2013 ( $P \leq 10\%$ ). After  $P$  value was adjusted to no higher than 15%, 92% of the monitors could meet the new requirement except one type of light-scattering monitor. The slope ( $k$ ), intercept ( $b$ ) and coefficient of determination ( $R^2$ ) of linear regression equations between the reference method and  $\beta$ -ray monitors except for a monitor without meeting the requirement were better than light-scattering monitors, but all of them didn't meet the requirements of HJ 653-2013 ( $0.85 \leq k \leq 1.15$ ,  $-10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq b \leq 10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $R^2 \geq 0.90$ ). After slightly relaxing the requirements of HJ 653-2013 as follows:  $P \leq 15\%$ ,  $0.80 \leq k \leq 1.20$ ,  $-20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq b \leq 20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $R^2 \geq 0.72$ , 1 types of light-scattering monitors and 3 types of  $\beta$ -ray monitors could meet the new requirements. It is feasible to use light-scattering monitors to support emission standard of construction fugitive dust. In summary, it is recommended to carry out comparison test of the reference method among PM<sub>10</sub> automated monitors for construction fugitive dust in other seasons, this can provide reference for construction fugitive dust pollution monitoring and prevention.

**Keywords** construction fugitive dust; PM<sub>10</sub> automated monitor; light-scattering;  $\beta$ -ray; reference method; comparison test