

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2017.03.2016062802

李树立, 姬亚芹, 朱振宇, 等. 天津市秋季道路降尘粒度乘数的分布特征[J]. 环境化学, 2017, 36(3): 480-485.

LI Shuli, JI Yaqin, ZHU Zhenyu, et al. Distribution of the particle size multiplier of road dust fall during autumn in Tianjin[J]. Environmental Chemistry, 2017, 36(3): 480-485.

天津市秋季道路降尘粒度乘数的分布特征*

李树立^{1,2} 姬亚芹^{1,2**} 朱振宇^{1,2} 张诗建^{1,2} 张伟^{1,2} 赵静波^{1,2}

(1. 南开大学环境科学与工程学院, 天津, 300350; 2. 国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室, 天津, 300350)

摘 要 2014 年秋季在天津市南开区 11 条道路布设 88 个道路降尘采样点, 每个采样点设置 2 个采样高度; 将采集回来的样品合并后通过再悬浮装置和便携式气溶胶粒径谱仪 Grimm 1.109 得到道路降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$, 开展了天津市秋季道路降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 分布特征的研究以便得到天津市本土化的粒度乘数. 结果表明: (1) 1.5 m 处降尘粒度乘数和 2.5 m 处降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 相差不大; (2) 1.5 m 处不同道路类型降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 的大小关系为: 次干道 > 支路 > 快速路 > 外环线 > 主干道; 2.5 m 处不同道路类型降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 的大小关系为: 支路 > 次干道 > 快速路 > 主干道 > 外环线. (3) 东西走向道路的南北两侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 差异显著, 这可能与采样期间的主导风向有关.

关键词 道路降尘, 粒度乘数, 分布特征, 天津市.

Distribution of the particle size multiplier of road dust fall during autumn in Tianjin

LI Shuli^{1,2} JI Yaqin^{1,2**} ZHU Zhenyu^{1,2} ZHANG Shijian^{1,2}
ZHANG Wei^{1,2} ZHAO Jingbo^{1,2}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin, 300350, China; 2. State Environmental Protection Key laboratory of Urban Ambient Air Particulate Matter Pollution Prevention and Control, Tianjin, 300350, China)

Abstract: Eighty eight sampling sites of dust fall were chosen on 11 roads in the Nankai district of Tianjin during the autumn of 2014 with two different heights for each site. The dust particle size multiplier $k_{2.5}$ was calculated for the collected samples after merging via resuspension experiment and the portable Grimm 1.109 aerosol particle spectrometer. The distribution characteristics during autumn in Tianjin was studied. Results were as follow: (1) There was only slight difference for dust particle size multiplier $k_{2.5}$ between the height of 1.5 m and 2.5 m; (2) in the case of the 1.5 m height, the decreasing order of dust particle size multiplier $k_{2.5}$ in different road types was minor arterial > collector road > express way > the outer ring > major arterial; whereas in the case of the 2.5 m height, the decreasing order of dust particle size multiplier $k_{2.5}$ in different road sizes was collector road > minor arterial > express way > major arterial > the outer ring; (3) there was significant difference for dust particle size multiplier $k_{2.5}$ between the two sides of East-west roads, which may be related to wind direction during sampling.

Keywords: road dust fall, particle size multiplier, distribution characteristics, Tianjin.

2016 年 6 月 28 日收稿 (Received: June 28, 2016).

* 环保公益项目 (201409004) 资助.

Supported by the Environmental Public Welfare Project (201409004).

** 通讯联系人, E-mail: jiyaqin@nankai.edu.cn

Corresponding author, E-mail: jiyaqin@nankai.edu.cn

近年来,伴随着工业发展、城市化进程的加剧、网络等媒体的发展、人们对健康的重视,天津市环境空气污染问题受到了广泛的关注,其中细颗粒物($PM_{2.5}$)污染尤受重视^[1-5].城市扬尘是城市环境空气 $PM_{2.5}$ 的重要来源之一.天津市颗粒物来源解析结果表明,扬尘源是 $PM_{2.5}$ 首要污染源^[6];道路扬尘是主要的扬尘源之一,通过干湿沉降的方式降落在道路附近,或者悬浮在空气中,进而影响人体健康.排放清单研究是环境空气质量管理工作的重要基础,编制道路扬尘排放清单时,国内外研究多采用美国 AP-42^[7]的方法.但是,鉴于 AP-42 采样方法的危险性和繁琐性,已有研究根据道路降尘采样方法的简单、方便和安全性,通过采集道路降尘来开展道路扬尘排放清单的研究,进而通过道路降尘来编制道路扬尘的排放清单^[8-15].

在使用道路降尘法研究道路扬尘 $PM_{2.5}$ 排放清单时,涉及的参数较多.其中,针对粒度乘数($k_{2.5}$),很多研究对此均采用 AP-42 法给出的经验参数(0.15 g/VKT)^[16-21](其中, g/VKT 是指每辆车行驶一公里排放颗粒物的量).然而,AP-42 法中给出的粒度乘数 k_{10} 是根据实验测量得来,粒度乘数 $k_{2.5}$ 是根据美国本土大量实验研究 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的比例得来的^[7,22],其中 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的比例很有地域的特殊性;如果直接使用 AP-42 法提供的 $k_{2.5}$ 来估算我国 $PM_{2.5}$ 排放清单,会增加清单的不确定性;同时,有些研究虽然不是直接引用 AP-42 法给出粒度乘数的经验值,但也未给出详细的计算方法^[23-24].因此,为了得到更准确的本地 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的比例,进而得到本地的粒度乘数 $k_{2.5}$,从而得到道路降尘排放清单,需要对道路降尘粒度乘数进行校正.

本研究选取干法采集秋季道路降尘,用再悬浮装置和便携式气溶胶粒径谱仪 Grimm 1.109 对采集的道路降尘样品进行粒径分析,从而通过公式计算得到天津市秋季道路降尘粒度乘数 $k_{2.5}$,并对其进行分布特征的研究,为编制天津市道路降尘采样规范和 $PM_{2.5}$ 排放清单提供技术支撑.

1 材料与方 法 (Materials and methods)

1.1 采样仪器和工具

定制的 PVC 材质的降尘缸(内径 15 cm,外径 16 cm,高 30 cm)、喉箍、套筒、卷尺、GPS 定位仪、样品袋、20 目和 200 目泰勒标准筛、感重 0.1 mg 的分析天平、便携式气溶胶粒径谱仪 Grimm1.109、再悬浮装置.

1.2 采样地点

根据《城市道路工程设计规范(CJJ37—2012)》,将天津市道路划分为主干道、次干道、支路、快速路和外环线共 5 种道路类型^[25-26],每种道路类型选取 2—3 条道路,共选取 11 条道路.为研究风速、风向对采样结果的影响,在每条道路两侧的路灯杆上分别放置降尘缸;同时,为了研究不同高度处道路降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 的差异性,分别在路灯杆 1.5 m 和 2.5 m (指降尘缸上边缘距地面的高度)布设降尘缸,每条道路共放置 16 个降尘缸.采样点位置见图 1.

1.3 采样时间

考虑到 10 月为天津市秋季的典型月份,同时 11 月 15 日天津市开始供暖,本研究于 9 月底开始采样,11 月初结束采样.

1.4 样品处理

(1)将清洗干净并干燥的降尘缸,绑在路灯杆上;在保证至少 1 个月的采样时间条件下,选取无降水且没有大风等强对流天气的时间收回降尘样品;将降尘样品在干燥器中平衡 3 d,将其分别通过 20 目

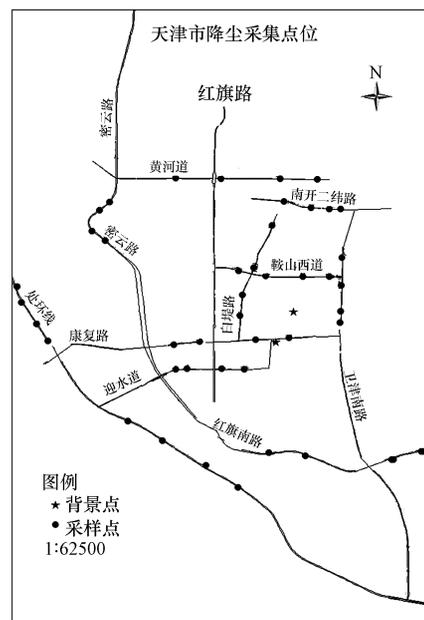


图 1 采样点位置图

Fig.1 Locations of sampling sites

和 200 目泰勒标准筛。

(2) 将过筛后的道路降尘样品按照道路两侧和不同高度分别进行合并, 每条道路合并后共 4 个样品; 将合并后的降尘样品通过再悬浮装置采集到滤膜上, 同时使用便携式气溶胶粒径谱仪 Grimm1.109 对降尘样品进行粒度分析, 从而得到各个混合样的粒度乘数 $k_{2.5}$ 。

2 结果与讨论 (Results and discussion)

2.1 道路不同高度处降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 的比较

道路降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 由公式 (1) [22] 计算:

$$k_{2.5} = \frac{l_{2.5}}{l_{10}} \times k_{10} \quad (1)$$

式中, $k_{2.5}$ 为修正后的粒度乘数, g/VKT; $l_{2.5}$ 为由粒径测试仪测出的粒径小于 2.5 μm 的颗粒物质量百分比; k_{10} 和 l_{10} 分别为 AP-42 推荐的粒径小于 10 μm 的 k 值 (0.62 g/VKT) 和颗粒物质量百分比。

对不同高度道路降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 进行比较, 结果见图 2。从图 2 中可以看出, 1.5 m、2.5 m 处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 最大值分别是 0.152 g/VKT、0.132 g/VKT, 最小值分别是 0.086 g/VKT、0.072 g/VKT, 平均值分别是 0.108 g/VKT、0.106 g/VKT; 可见, 1.5 m 处和 2.5 m 处的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 的平均值相差不大。但是, 1.5 m 和 2.5 m 处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 大都小于 AP-42 推荐的值 0.15 g/VKT。由此可知, 道路降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 存在地域性差异。因此, 在编制道路降尘排放清单时, 最好不要直接使用 AP-42 的粒度乘数推荐值, 应根据当地实际情况对其粒度乘数值进行实验评估, 从而降低排放清单的不确定性。

不同高度处降尘的粒度乘数单样本 K-S 检验结果表明, $P > 0.05$, 即不同高度处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 数据符合正态分布。再运用 SPSS 软件进行配对样本的 T 检验可知, $P > 0.05$, 说明各道路不同高度处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 值的差异没有统计学意义; 这可能与采样点高度相差较小, 收集到道路降尘的粒径分布相差不大有关。

对于各个道路类型的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 而言, 不同高度处的粒度乘数平均值 $k_{2.5}$ 相差不大 (图 3); 然而, 除了支路外的各道路类型均表现出 1.5 m 处的粒度乘数 $k_{2.5}$ 稍高于 2.5 m 处的粒度乘数 $k_{2.5}$, 这可能与 1.5 m 处较 2.5 m 处离地面更近, 更容易接到道路扬起的较细颗粒物有关; 支路 2.5 m 处的粒度乘数 $k_{2.5}$ 稍高于 1.5 m 处的粒度乘数 $k_{2.5}$, 这可能与采样期间部分支路附近有施工活动有关。

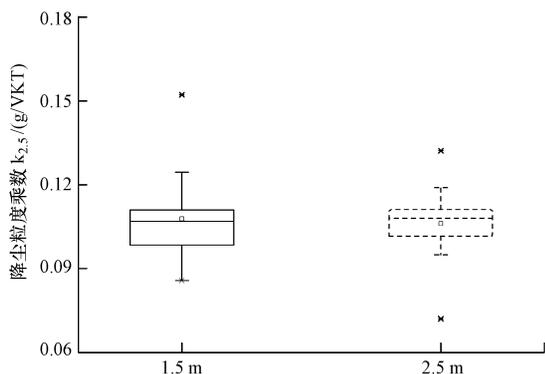


图 2 不同高度降尘粒度乘数的比较

Fig.2 Comparison of dust particle size multiplier $k_{2.5}$ at two different heights

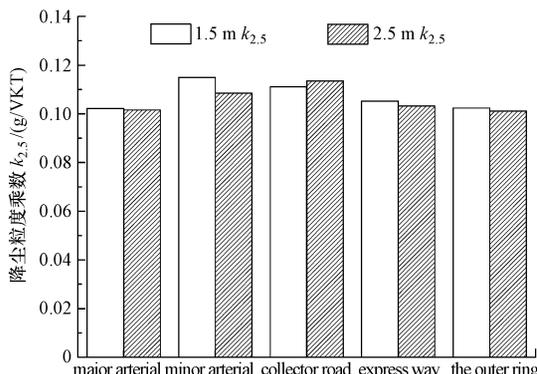


图 3 不同道路类型不同高度降尘粒度乘数的比较

Fig.3 Comparison of dust particle size multiplier in different road types at different heights

2.2 不同道路类型降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 的比较

不同道路类型之间同一高度处的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 值相差不大, 结果见图 4。1.5 m 处降尘粒度乘数 $k_{2.5}$, 不同道路类型之间的大小关系表现为: 次干道 > 支路 > 快速路 > 外环线 > 主干道; 2.5 m 处降尘粒度乘数 $k_{2.5}$, 不同道路类型之间的大小关系表现为: 支路 > 次干道 > 快速路 > 主干道 > 外环线。两个高度次干道和支路的粒度乘数 $k_{2.5}$ 值均稍大, 而外环线、主干道和快速路的粒度乘数值均稍小。这可能与次干道和支

路车速低,较大颗粒不易扬尘,而使得降尘细粒子的含量比例稍高于其他 3 个道路类型.主干道和快速路的车速明显较高且车流量较大,而使得地面积尘扬起来的较多,且粗颗粒物占的比重稍大;外环线周围有大量的裸露土壤,而且外环线上的重型车辆较多,使得地面扬起来的尘中粗颗粒占得比重稍大.

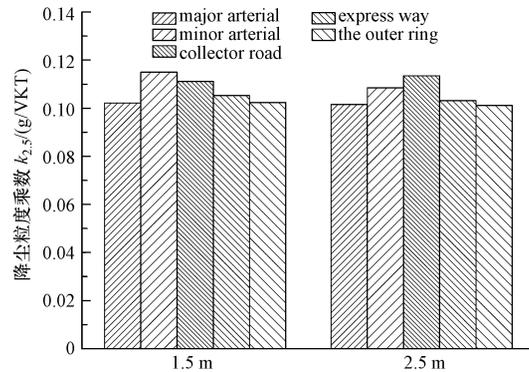


图 4 不同道路类型降尘粒度乘数的比较

Fig.4 Comparison of dust particle size multiplier in different road types

2.3 道路两边降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 的比较

将 5 种道路类型 11 条道路按照东西和南北走向分为两类,对不同走向道路两侧相同高度的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 分别进行比较,结果见图 5.从图 5 中看出,南北走向道路的 1.5 m 高度处,道路东侧降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 中位值 0.112 g/VKT 高于西侧降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 中位值 0.103 g/VKT;南北走向道路的 2.5 m 高度处,道路西侧降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 中位值 0.109 g/VKT 高于东侧降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 中位值 0.099 g/VKT;东西走向道路的 1.5 m 和 2.5 m 高度处,道路北侧降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 中位值 0.107 g/VKT 和 0.110 g/VKT 均高于南侧降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 中位值 0.098 g/VKT 和 0.103 g/VKT.

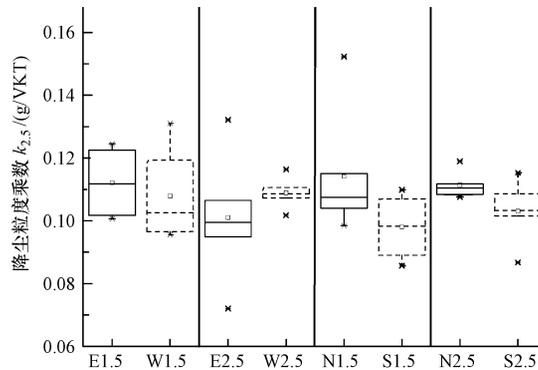


图 5 道路两侧降尘粒度乘数的比较

(注: E1.5、E2.5-道路东侧 1.5、2.5 高度处, W1.5、W2.5-道路西侧 1.5、2.5 高度处, N1.5、N2.5-道路北侧 1.5、2.5 高度处, S1.5、S2.5-道路南侧 1.5、2.5 高度处)

Fig.5 Comparison of dust particle size multiplier at two road sides

(Notes: E1.5, E2.5- referring respectively to the height of 1.5 m and 2.5 m on the eastern side; W1.5, W2.5- referring respectively to the height of 1.5 m and 2.5 m on the western side; N1.5, N2.5- referring respectively to the height of 1.5 m and 2.5 m on the northern side; S1.5, S2.5- referring respectively to the height of 1.5 m and 2.5 m on the southern side)

对于南北走向道路东西两侧不同高度处降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 表现的大小特征规律,从天津市秋季采样期间的风向玫瑰图(图 6)中看出,南风是天津市秋季采样期间的主导风向,进而风向对南北走向道路东西两侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 的影响不大;对东西两侧 1.5 m 处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 值运用 SPSS 软件进行单样本的 K-S 检验可知, $P > 0.05$, 即东西两侧 1.5 m 处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 数据符合正态分布;再运用 SPSS 软件进行配对样本的 T 检验可知, $P > 0.05$, 说明东西两侧 1.5 m 处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 值的差异没有统计学意义;对东西两侧 2.5 m 处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 值运用 SPSS 软件进行配对样本的 T 检验可知, $P > 0.05$, 说明东西两侧 2.5 m 处降尘的粒度乘数 $k_{2.5}$ 值的差异也没有统计学意义.

东西走向道路北侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 均大于南侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$, 这与天津市秋季采样期间的主导风向为南风有关; 在南风的作用下, 道路南侧的尘土一定程度的吹向北侧, 细颗粒物掺杂其中, 落到道路北侧绑在路灯杆上的降尘缸中, 同时道路两侧的车流量和车重相差不大, 因此造成道路北侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 值大于南侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 值。

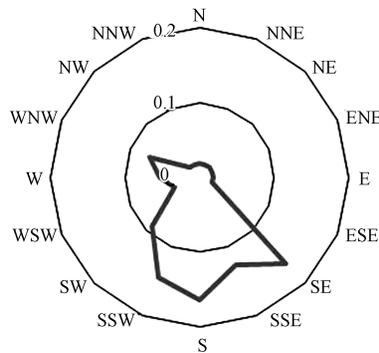


图 6 采样期间的风向玫瑰图

(注: 数据来自 ftp://ftp.cdc.noaa.gov)

Fig.6 Wind rose map during sampling

(Notes: data taken from the ftp://ftp.cdc.noaa.gov)

3 结论 (Conclusion)

(1) 道路不同高度降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 分析表明, 1.5 m 和 2.5 m 处降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 平均值相差不大, 且 T 检验表明两个高度粒度乘数差异无统计学意义, 但是大都小于 AP-42 推荐值; 因此, 在编制道路降尘排放清单时, 应根据当地实际情况对其粒度乘数值进行实验评估, 从而降低排放清单的不确定性。

(2) 各个道路类型同一高度降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 比较结果表明, 1.5 m 处的粒度乘数 $k_{2.5}$ 相对高于 2.5 m 处的粒度乘数 $k_{2.5}$ (支路除外); 不同道路类型降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 比较得出的结果是: 两个高度主干道、支路的粒度乘数 $k_{2.5}$ 值均稍大; 而外环线、快速路和主干道的粒度乘数 $k_{2.5}$ 值均稍小; 因此, 在编制道路降尘采样规范时, 应根据当地的道路类型情况进行划分后再进行实地采样, 从而提高实验结果数据的有效性和代表性。

(3) 对道路两侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 比较可知: 南北走向道路的东侧和西侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 差异没有统计学意义, 东西走向道路北侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 值高于南侧的降尘粒度乘数 $k_{2.5}$ 值。

参考文献 (References)

- [1] 朱先磊, 张远航, 曾立民, 等. 北京市大气细颗粒物 $PM_{2.5}$ 的来源研究 [J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 1-5.
ZHU X L, ZHANG Y H, ZENG L M, et al. Source identification of ambient $PM_{2.5}$ in Beijing [J]. Research of Environmental Sciences, 2005, 18(5): 1-5 (in Chinese).
- [2] 张振华. $PM_{2.5}$ 浓度时空变化特性、影响因素及来源解析研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
ZHANG Z H. Research on spatial and temporal variation characteristics, factors, and source apportionment of $PM_{2.5}$ [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014 (in Chinese).
- [3] 徐映如, 王丹侠, 张健文, 等. PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 危害、治理及标准体系的概况 [J]. 职业与健康, 2013, 29(1): 117-119.
XU Y R, WANG D X, ZHANG J W, et al. General situation for the hazards, control and evaluation standard system of PM_{10} and $PM_{2.5}$ [J]. Occup and Health, 2013, 29(1): 117-119 (in Chinese).
- [4] 任丽红, 周志恩, 赵雪艳, 等. 重庆主城区大气 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 来源解析 [J]. 环境科学研究, 2014, 27(12): 1387-1394.
REN L H, ZHOU Z E, ZHAO X Y, et al. Source apportionment of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in urban areas of Chongqing. [J]. Research of Environmental Sciences, 2014, 27(12): 1387-1394 (in Chinese).
- [5] SONG Y, TANG X Y, XIE S D, et al. Source apportionment of $PM_{2.5}$ in Beijing in 2004 [J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 146(1-2): 124-130.
- [6] 天津市环境保护局. 天津召开新闻发布会 发布颗粒物源解析结果 扬尘成为首要污染物 [EB/OL]. [2014-10-09]. http://www.tjhb.gov.cn/news/news_headtitle/201410/t20141009_570.html.

- Tianjin Environmental Protection Bureau. At the press conferences in Tianjin, publishing the source of particulate matter analytic results, dust have been the primary pollutants [EB/OL].[2014-10-09]. http://www.tjhb.gov.cn/news/news_headtitle/201410/t20141009_570.html (in Chinese).
- [7] USEPA. Emission factor documentation for AP-42 (Section 13.2.1) [R]. Kansas City Midwest Research Institute, 2011.
- [8] 李树立, 姬亚芹, 朱振宇, 等. 天津市秋季道路降尘分布特征[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(11):52-55.
LI S L, JI Y Q, ZHU Z Y, et al. Distribution characteristics of road dust fall during autumn in Tianjin [J]. Environmental Pollution and Control, 2015, 37(11):52-55 (in Chinese).
- [9] 王帅杰, 朱坦, 洪刚. 石家庄市地面起尘量估算方法[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6):248-250.
WANG S J, ZHU T, HONG G. Evaluating particulate emission inventory from ground surfaces in Shijiazhuang city [J]. Urban Environment and Urban Ecology, 2003, 16(6):248-250.
- [10] 倪刘建, 张甘霖, 周立祥. 南京市不同功能区冬季大气降尘的沉降通量和粒度分布[J]. 城市环境与城市生态, 2006, 19(2):27-29.
NI L J, ZHANG G L, ZHOU L X. Flux and particle-size distribution of airborne dust during winter season in different functional zones of Nanjing [J]. Urban Environment and Urban Ecology, 2006, 19(2):27-29 (in Chinese).
- [11] MCTAINSH G H, NICKLING W G, LYNCH A W. Dust deposition and particle size in Mali, West Africa [J]. Catena, 1997, 29(3):307-322.
- [12] 王赞红. 大气降尘监测研究[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(1):54-59.
WANG Z H. Atmospheric dust monitoring research [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2003, 17(1):54-59 (in Chinese).
- [13] 钱广强, 董治宝. 大气降尘收集方法及相关问题研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6):779-782.
QIAN G Q, DONG Z B. Research on atmospheric dust collection methods and related issues [J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(6):779-782 (in Chinese).
- [14] KANTAMANENI R, ADAMS G, BAMESBERGER L, et al. The measurement of roadway PM₁₀ emission rates using atmospheric tracer ratio techniques [J]. Atmospheric Environment, 1996, 30(24):4209-4233.
- [15] ETYEMEZHIAN V, KUHNS H, GILLIES J, et al. Vehicle-based road dust emission measurement (Ⅲ): Effect of speed, traffic volume, location, and season on PM₁₀ road dust emissions in the Treasure Valley, ID [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(32):4583-4593.
- [16] 杨德容, 叶芝祥, 杨怀金, 等. 成都市铺装道路扬尘排放清单及空间分布特征研究[J]. 环境工程, 2015, (11):83-87.
YANG D R, YE Z X, YANG H J, et al. Emission inventory and spatial distribution of paved road fugitive dust in Chengdu in Sichuan province [J]. Air Pollution Control, 2015, (11):83-87 (in Chinese).
- [17] 许妍, 周启星. 天津城市交通道路扬尘排放特征及空间分布研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(12):2168-2173.
XU Y, ZHOU Q X. Emission characteristics and spatial distribution of road fugitive dust in Tianjin, China [J]. China Environmental Science, 2012, 32(12):2168-2173 (in Chinese).
- [18] 刘永红, 詹鹏铭, 刘建昌, 等. 广东佛山交通扬尘排放特征研究[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(8):80-86.
LIU Y H, ZHAN J M, LIU J C, et al. Characteristics of fugitive road dust emission in Foshan, Guangdong province [J]. Environmental Science and Technology, 2014, 37(8):80-86 (in Chinese).
- [19] 彭康, 杨杨, 郑君瑜, 等. 珠江三角洲地区铺装道路扬尘排放因子与排放清单研究[J]. 环境科学学报, 2013, 33(10):2657-2663.
PENG K, YANG Y, ZHENG J Y, et al. Emission factor and inventory of paved road fugitive dust sources in the Pearl River Delta region [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013, 33(10):2657-2663 (in Chinese).
- [20] 彭康. 珠江三角洲铺装道路扬尘源污染物排放及特征研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
PENG K. Emission characteristics of paved road fugitive dust in Pearl River Delta. [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013 (in Chinese).
- [21] 程健, 傅敏. 重庆市主城区道路扬尘排放特性研究[J]. 安全与环境工程, 2015, 22(4):40-44.
CHENG J, FU M. Emission characteristics of road dust in Chongqing urban area [J]. Safety and Environmental Engineering, 2015, 22(4):40-44 (in Chinese).
- [22] 黄嫣旻. 城市地面扬尘的估算与分布特征研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
HUANG Y M. Research on estimation and distribution character of urban fugitive dust [D]. Shanghai: East China Normal University, 2006 (in Chinese).
- [23] 刘泽常, 张猛, 郝长瑞, 等. 济南市道路扬尘排放因子估算及其影响因素研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(1):150-154.
LIU Z C, ZHANG M, HAO C R, et al. Road dust emission factors in Jinan City [J]. Environmental Science and Technology, 2012, 35(1):150-154 (in Chinese).
- [24] 樊守彬, 田刚, 秦建平, 等. 道路降尘与扬尘 PM₁₀ 排放的关系研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(1):159-163.
FAN S B, TIAN G, QIN J P, et al. Relationship of road dust fall and fugitive PM₁₀ emission [J]. Environmental Science and Technology, 2012, 35(1):159-163 (in Chinese).
- [25] CJJ37-2012, 城市道路工程设计规范[S].
CJJ37-2012, Code for design of urban road engineering [S] (in Chinese).
- [26] 张晶, 胡春玲, 任庆. 城市扬尘污染现状及防治对策[J]. 环境保护科学, 2008, 34(2):4-6.
ZHANG J, HU C L, REN Q. The situation and prevention measures of fugitive dust pollution [J]. Environmental Protection Science, 2008, 34(2):4-6 (in Chinese).