

DOI:10.7524/j.issn.0254-6108.2013.06.014

## 小城镇街尘污染特征及控制对策\*

王书敏<sup>1,2</sup> 蒋山泉<sup>1,2</sup> 孔花<sup>3</sup> 管莉<sup>4</sup> 孙向卫<sup>1,2\*\*</sup>

(1. 重庆文理学院水环境修复重点实验室, 重庆, 402160; 2. 重庆文理学院化学与化工学院, 重庆, 402160;  
3. 四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院重庆分院, 重庆, 400039; 4. 重庆市财信环保投资股份有限公司, 重庆, 400020)

**摘要** 以重庆市永川区小城镇为例进行调查,结果表明,工业园区道路街尘和城乡结合部道路街尘以200  $\mu\text{m}$  以上粒径段为主(65%—72%),而商业区和双竹镇街道以200  $\mu\text{m}$  以下粒径段为主(60%—72%);有机质和总磷、总氮、锌、铅、镉的最高浓度出现在商业区街尘(分别为103.04  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和785.48、1672.04、439.72、133.30、8.44  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),工业园区道路街尘含有最高的铜、镍浓度(分别为241.52和92.30  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。小城镇街道街尘污染评价结果表明,商业区街尘和工业园区道路街尘污染风险较高,其中商业区街尘中的镍处于重度污染等级,工业园区道路街尘中的镉达到极度污染最高等级,同时,小城镇街尘控制对策分析指出,在“源”-“传输过程”-“汇”三个环节分别采取措施控制小城镇街尘污染是可行的。

**关键词** 小城镇, 街尘, 污染, 特征, 控制。

地表街尘作为物质在地壳层水-气-固三相介质中循环流动的重要环节,其物理化学性质对环境质量有重要影响。一方面,由于地表街尘再悬浮引起的大气质量下降已成为影响公众健康的环境问题之一<sup>[1]</sup>;另一方面,暴雨径流对地表街尘的冲刷使得吸附大量污染物的街尘成为水体面源污染源<sup>[2-3]</sup>。地表街尘可以作为大气沉降、人类活动颗粒态污染物排放的“汇”,也可以成为大气和水体污染的“源”,从而充当了污染物质流动过程中“源”、“汇”的双重角色,因此,对地表街尘展开深入研究很有必要。

目前,国内外已开展了类似研究,研究内容大都围绕大城市街尘中重金属含量及其赋存形态<sup>[4-7]</sup>、芳香烃类物质含量水平<sup>[8]</sup>、营养性污染物含量及其赋存形态<sup>[9]</sup>等几个方面,对小城镇街尘的研究则相对薄弱。相对于大城市,小城镇空间覆盖面积广,环境管理设施相对落后,环卫力量投入相对薄弱,其地表街尘可能有更广泛的潜在环境影响。因此,针对小城镇区域的地表街尘展开研究更有必要。

重庆永川位于三峡库区环境影响区,本文以永川商业区、小城镇工业园区、城乡结合部道路、小城镇街道四种典型用地类型的地表街尘为研究对象,分析了4种小城镇用地类型街尘的粒径分布及污染特征,识别了小城镇街尘的主要污染区域及污染元素,探讨了小城镇街尘的控制方式,研究结果不仅对于小城镇街尘污染的管理控制有重要参考价值,而且对于三峡库区的环境质量维护也有重要意义。

## 1 实验方法

### 1.1 研究区域

在小城镇地区,道路、广场等是主要的不透水下垫面类型,且以交通道路为主,为使取样结果能够反映小城镇地区街尘的主要性质,选取了3种道路和1个广场作为研究对象。所选取道路分别位于大安镇工业园区、双竹镇街道、城乡结合部,分别代表小城镇工业园区、居住生活区、城镇郊区3种环境类型。大安镇工业园区道路主要车辆为运输工业生产原材料和工业产品的大型货车;双竹镇街道主要行驶车辆为交通车、小轿车、摩托车等轻型车辆;城乡结合部道路的交通车辆较为复杂,交通负荷相对较高(白天平均200辆 $\cdot\text{h}^{-1}$ 左右)。所选取商业区位于永川开发区的华创步行街,相对于大城市来说,华创步行街人流密度较小,但对于小城镇地区来说,属于商业密度相对集中区域,能够反映小城镇开发区商业区街

2012年10月10日收稿。

\* 重庆市自然科学基金(CSTC,2010BB1351);重庆文理学院校级课题(Y2011HH58)资助。

\*\* 通讯联系人, Tel:13811974987;E-mail:sunxiangwei@126.com

尘的实际情况. 取样地点的空间分布情况见图 1 所示.

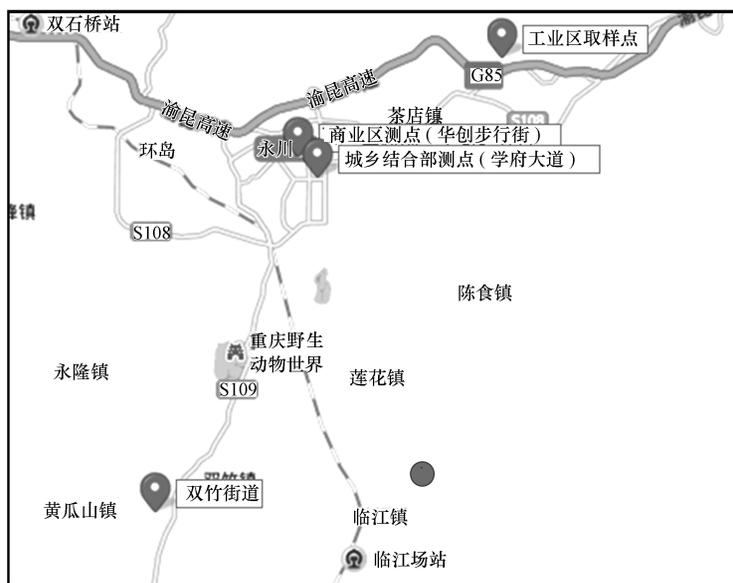


图 1 采样点空间分布示意图

Fig. 1 Spatial distribution of sampling sites

## 1.2 取样方法

为充分采集地表街尘,尤其是保证小粒径段颗粒的采集效率,用工业吸尘器(GS1030)进行干法取样<sup>[10]</sup>. 剔除树枝、砖块等杂质后将样品转移至密封袋带回实验室,阴凉干燥处保存. 为使取样具有代表性,每个测点选取 3 块面积相仿的地面进行取样,所取样品总量在 100 g 以上,具体信息取样点的如表 1 所示. 在各采样点附近采集路边土壤(地表以下 0.2 m),作为对照.

表 1 小城镇不同下垫面街尘取样量

Table 1 Dust quantity from different underlying surfaces in small towns

采样点	坐标	街尘干重/g	取样面积/m <sup>2</sup>	街尘载荷/(g·m <sup>-2</sup> )
工业园区道路	N29°21'16.5",E105°55'31.5"	129.4	51	2.54
城乡结合部道路	N29°23'6.8",E105°59'52"	426.7	51.8	8.24
商业区	N29°14'50.9"E,105°52'36.8"	119.5	126	0.95
双竹镇街道	N29°20'54.3"E,105°55'58.7"	366.9	85	4.32

## 1.3 分析方法

街尘粒径分布特征采用筛分法进行,即将自然干燥后的样品分别过 100、200、300 μm 筛,并称量各组分量. 过筛过程在无风密闭空间中进行,以防止小颗粒样品的逸散损失. 过筛前的混合样品用扫描电镜(FEI Quanta250)进行街尘形貌分析,同时进行街尘理化性质分析. 街尘 pH 用水浸法测试(蒸馏水浸提后用 pH 计测试浸提液 pH,水土比为 1:2.5)<sup>[11]</sup>;街尘中有机质采用重铬酸钾氧化法测定<sup>[12]</sup>;总磷按照欧洲标准测试委员会提出的 SMT(Standard Measurement and Test)测试方法进行<sup>[13]</sup>;总氮采用改进的沉积物中总氮的测试方法进行<sup>[14-15]</sup>;重金属总量采用修正的 BCR 顺序提取法进行<sup>[16-17]</sup>.

## 2 结果与讨论

### 2.1 小城镇不同下垫面街尘粒径分布及形貌分析

#### 2.1.1 小城镇街尘粒径分布特征分析

将采集的样品过不同孔径的尼龙筛,收集筛后组分称量,得到小城镇不同下垫面街尘的粒径分布规律,如图 2 所示. 由图 2 可知,工业园区道路、城乡结合部道路、商业区、双竹镇街道 4 个测点比重最大的粒径段分别为 > 300 μm、> 300 μm、< 100 μm、< 100 μm,分别占收集街尘总质量的 42%、50%、48%、

34%;比重最小的粒径段分别为  $<100\ \mu\text{m}$ 、 $100\text{--}200\ \mu\text{m}$ 、 $>300\ \mu\text{m}$ 、 $>300\ \mu\text{m}$ ,分别占收集街尘总质量的 16%、13%、8%、13%。工业园区道路和城乡结合部道路  $200\ \mu\text{m}$  以上的颗粒质量可占总质量的 65% 和 72%,而商业区和双竹镇街道  $200\ \mu\text{m}$  以上的颗粒质量仅占总质量的 28% 和 40%。粒径分布的显著区别可能与各个测点的街尘来源有关,在工业园区道路和城乡结合部道路两个测点,来往大型车辆相对较多,车载物品的散落、路面的磨损等都可能引起大颗粒组分的增加;而商业区的积尘主要来自大气沉降、行人遗落物等,导致小颗粒组分相对较多。

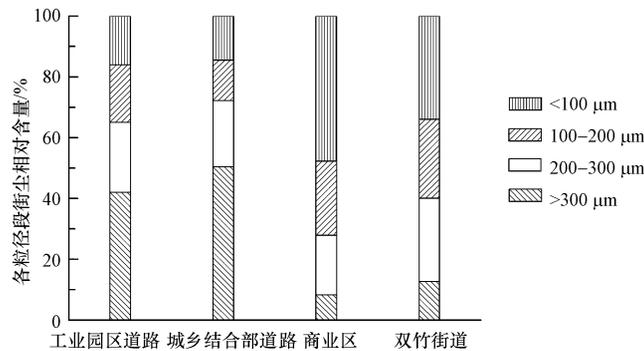


图2 小城镇街尘粒径分布

Fig.2 Particle size distribution of street dust in small towns

### 2.1.2 小城镇街尘形貌分析

利用扫描电镜分析了小城镇不同下垫面街尘的外观形貌,如图3所示。由图3可知,对于小城镇不同下垫面的地表积尘,城乡结合部道路、工业园区道路中大粒径组分比例较高,而商业区小颗粒组分比重较高,这和过筛称量的测试结果一致(图2)。从形貌上看,4个测点的街尘均以带棱角的球形为主,不同的是商业区街尘略含有条形物质。Joshi 等对新加坡地区街尘的电镜扫描发现,居民区街尘大部分呈狭条形,而商业区街尘呈球形,研究结果的差异可能与具体的环境条件有关<sup>[18]</sup>。

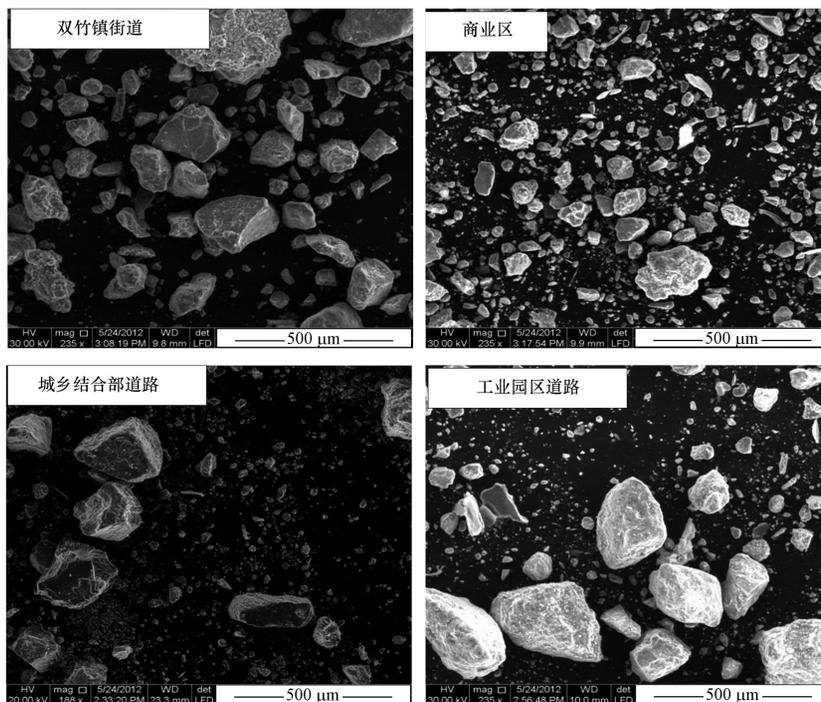


图3 小城镇街尘 SEM 形貌分析

Fig.3 SEM morphology analysis of street dust in small towns

### 2.2 小城镇不同下垫面街尘污染物浓度分析

统计了小城镇不同下垫面街尘中污染物的含量,如表2所示。由表2可知,小城镇街尘 pH 值在

6.9—7.7 之间;4 种下垫面街尘有机质含量由高到低依次为商业区( $103.04 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > 城乡结合部道路( $35.68 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > 双竹镇街道( $30.52 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > 工业园区道路( $28.87 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ );总磷浓度由高到低依次为商业区( $785.48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 双竹镇街道( $400.31 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 城乡结合部道路( $342.42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 工业园区道路( $310.57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ );总氮浓度由高到低依次为商业区( $1672.04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 双竹镇街道( $681.88 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 工业园区道路( $547.36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) > 城乡结合部道路( $191.73 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). 总体上看, TN、TP 和有机质的最高浓度均出现在商业区,而工业园区道路街尘则处于相对较低水平,这可能与各种下垫面街尘的累积来源有关. Cu、Ni 两种元素的最高浓度出现在工业园区道路,分别为  $241.52 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $92.30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,而 Zn、Pb、Cd 的最高浓度则出现在商业区,最高浓度分别为  $439.72$ 、 $133.30$ 、 $8.44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,这可能与商业区街尘的粒径分布特征有关.

表 2 小城镇街尘污染物浓度( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )(除有机质( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )外)

	pH	有机质	TP	TN	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
工业园区道路	7.4	$28.87 \pm 0.20$	$310.57 \pm 18.42$	$547.36 \pm 77.25$	$241.52 \pm 9.84$	$198.91 \pm 12.30$	$50.94 \pm 3.91$	$6.24 \pm 1.32$	$92.30 \pm 6.53$
城乡结合部道路	7.7	$35.68 \pm 1.41$	$342.42 \pm 24.87$	$191.73 \pm 31.77$	$12.57 \pm 1.79$	$47.89 \pm 3.17$	$39.81 \pm 4.80$	$5.09 \pm 0.69$	$28.85 \pm 3.53$
商业区	6.9	$103.04 \pm 11.34$	$785.48 \pm 76.45$	$1672.04 \pm 92.80$	$89.55 \pm 7.62$	$439.72 \pm 20.07$	$133.30 \pm 9.37$	$8.44 \pm 1.26$	$64.11 \pm 2.81$
双竹镇街道	7.3	$30.52 \pm 0.76$	$400.31 \pm 13.48$	$681.88 \pm 19.23$	$17.35 \pm 1.54$	$86.92 \pm 6.30$	$42.55 \pm 3.97$	$2.97 \pm 0.37$	$22.87 \pm 1.41$
路边土壤	—	$32.80 \pm 0.48$	$401.74 \pm 88.74$	$586.23 \pm 124.39$	$14.86 \pm 3.95$	$73.88 \pm 5.28$	$45.85 \pm 5.29$	$3.79 \pm 1.03$	$35.90 \pm 2.26$

其它城市街尘的污染物浓度,如表 3、表 4 所示. 相对于其它城市的同类用地类型,小城镇街尘的氮磷浓度总体上处于相对较低水平,可能是由于小城镇地区类活动强度相对较弱的缘故. 小城镇工业园区道路街尘中的重金属浓度低于重庆主城工业区街尘,可能与各地的工业生产强度和工业化规模程度有关,但与城市街尘重金属平均浓度相比,仍处于相对较高的水平. 值得注意的是,小城镇街尘中 Cd 的浓度与城市街尘平均浓度相比处于相对较高水平.

表 3 其它城市街尘氮磷浓度( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

地点	TN	TP	
重庆主城 <sup>[19]</sup>	旅游区	2560	1490
	居民区	1520	790
	交通区	910	660
	工业区	330	460
合肥 <sup>[20]</sup>	居住区	1230	900
	商业区	1400	1140
	工业区	400	780
	文教区	1900	810
杭州 <sup>[21]</sup>	交通区	900	930
	文教居民区	—	1130
	商业区	—	2860
乌鲁木齐 <sup>[22]</sup>	工业区	—	940
	—	460	1240

### 2.3 小城镇街尘污染评价

为进一步说明小城镇街尘的污染状况,采用地理累积指数法对 4 种小城镇街尘进行了评价,如式(1)所示<sup>[23-24]</sup>.

$$I_{\text{geo}} = \log_2(C_n/1.5B_n) \quad (1)$$

式中, $C_n$ 为样品中元素  $n$  的浓度;1.5 为修正指数; $B_n$ 为背景浓度地理累积指数考虑自然地质过程对环境背景值影响的同时,融入了人类活动对污染物累积的影响,可以反映人类活动对环境的影响强度, Muller 将污染状况分为无污染( $I_{\text{geo}} \leq 0$ )、无污染—中度污染( $0 < I_{\text{geo}} \leq 1$ )、中度污染( $1 < I_{\text{geo}} \leq 2$ )、中度污染—重度污染( $2 < I_{\text{geo}} \leq 3$ )、重度污染( $3 < I_{\text{geo}} \leq 4$ )、重度污染—极度污染( $4 < I_{\text{geo}} \leq 5$ )、极度污染( $5 < I_{\text{geo}}$ )

7 个等级<sup>[23-24]</sup>. 地理累积指数常用来评价沉积物或土壤中的重金属污染程度, 本文将其评价范围进一步拓展到氮磷等元素, 并把测点附近土壤的测试结果作为背景值, 旨在反映人类活动对街尘中氮磷累积的影响, 评价结果见表 5. 由表 5 可知, 小城镇地区城乡结合部道路和双竹镇街道街尘所测指标的  $I_{geo}$  值均小于 0, 说明这两种用地类型街尘不存在污染风险; 而商业区街尘所测指标的  $I_{geo}$  值均大于 0, 各个指标存在不同程度的污染状况, 其中 Ni 处于重度污染等级, 可能商业区人类活动较为集中地缘故. 工业园区道路街尘中 Cu、Zn、Cd、Ni 等重金属存在污染风险, 其中 Cd 达到极度污染最高等级, 应给予重点关注.

表 4 其它城市街尘重金属浓度( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Table 4 Concentrations of heavy metals in urban street dust from other cities( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

地点	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	
重庆主城 <sup>[25]</sup>	旅游区	57.90	142.03	76.03	4.43	25.97
	居民区	123.44	208.63	139.78	7.83	46.27
	交通区	274.79	393.82	245.11	12.71	79.07
	工业区	589.47	440.71	557.65	25.83	94.19
西安 <sup>[26]</sup>	94.98	421.46	230.52	—	—	
杭州 <sup>[26]</sup>	116.04	321.40	202.16	1.59	25.88	
上海 <sup>[26]</sup>	182.00—196.80	673.00—733.80	264.00—294.90	2.41	83.98—86.00	
广州 <sup>[26]</sup>	176	586	240	2.41	23	
宝鸡 <sup>[26]</sup>	123.17	715.10	408.41	—	48.83	
乌鲁木齐 <sup>[26]</sup>	94.54	294.47	53.53	1.17	43.28	
香港 <sup>[26]</sup>	173.00	1450.00	181.00	3.77	—	

表 5 小城镇街尘污染物地理累积指数

Table 5 Geo-accumulation index of pollutants in street dust in small towns

	TP	TN	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
工业园区道路	-1.05	-1.46	0.29	1.18	-2.31	7.44	1.29
城乡结合部道路	-1.23	-0.46	-1.21	-0.83	-1.27	-6.27	-1.11
商业区	2.62	1.08	0.50	0.50	1.05	1.75	3.97
双竹镇街道	-1.69	-2.72	-2.77	-2.85	-1.44	-1.07	-0.81

## 2.4 小城镇街尘污染控制对策

街尘污染具有明显的粒径效应, 粒径越小污染负荷贡献率越高<sup>[27-29]</sup>, 且粒径越小, 越容易迁移而成为污染源<sup>[30]</sup>, 对于小城镇街尘的管理控制可从“源”—“传输过程”—“汇”3 个环节予以控制.

### 2.4.1 小城镇街尘污染“源”控措施

(1) 对于以大颗粒粒径为主的区域, 可通过街道清扫的方式予以控制. 人工清扫、机械清扫可以有效去除 100—125  $\mu\text{m}$  以上的大颗粒街尘<sup>[31]</sup>, 此外, 加大清扫频率也可以有效减少街尘累积量<sup>[32]</sup>.

(2) 对于小颗粒街尘比重较大的区域可通过改善地表街尘清扫方式、添加街尘遏抑剂、水冲等方式清除. 首先, 改进清扫方式. Amato 建议机械清扫采用串联方式操作, 可有效提高小颗粒街尘的去除效率, 即先用机械扫帚式扫路机扫除 100—125  $\mu\text{m}$  以上的颗粒, 再用再生空气式扫路机扫除 100  $\mu\text{m}$  以下的颗粒<sup>[31]</sup>. 其次, 使用街尘遏抑剂. 街尘遏抑剂可降低水的表面张力, 从而使街尘中的微小颗粒更高效被有效水分湿润, 并凝聚成大颗粒. 常用的街尘遏抑剂有表面活性剂、盐(如氯化镁、氯化钙等)、高分子材料、树脂等, 公路表面使用街尘遏抑剂抑制街尘的再悬浮已取得满意效果<sup>[33]</sup>. 再次, 辅用水冲方式. 水冲路面在水量较大时可以把街尘冲入下水道去除, 然而, 这种方式只是实现了污染物的转移, 并没有将街尘收集起来集中处置. 据研究, 在水量较小时, 单独使用水冲方法对街尘的去除效率并不理想<sup>[31]</sup>, 一般情况下, 将水冲法和街道清扫法结合起来使用效果较好.

(3) 改善环境质量, 减少地表街尘的产生. 首先, 加强生产企业废气排放质量的控制, 改善大气环境质量, 减少大气干沉降量; 其次, 加强交通车辆卫生状况的管理, 减少车辆搭载物质的散落; 再次, 做好施工场地的扬尘管理工作, 采用遮盖、洒水等方式减少施工现场的扬尘产量. 此外, 增加小城镇绿化面积, 减少裸地比例也是减少地表街尘产生量的重要方式.

#### 2.4.2 小城镇街尘“传输过程”控制

由于暴雨径流冲刷引起的地表街尘迁移可以通过改良雨水排水构筑物结构提高小颗粒街尘的拦截效率<sup>[34]</sup>,也可以通过生态化设施的构建实现,如构建生物滞留系统、雨水花园、河岸缓冲带、人工湿地等<sup>[35]</sup>.据报道,生物滞留系统对暴雨径流中总悬浮颗粒物(TSS)的去除率可达90%以上<sup>[36]</sup>.由于空气扰动引起的地表街尘传输,可通过增加城镇绿化密度,尤其是加强城镇立体绿化密度加以控制.

#### 2.4.3 小城镇街尘污染“汇”控措施

采用合流制排水体制的城镇,大部分地表街尘可能被初期径流冲刷而汇集到城镇污水厂,沉淀池可实现较大颗粒物质的去除,尤其是200 μm以上的颗粒物.小颗粒物可在污水厂中后续处理构筑物中去除,如二沉池等.对于散逸到空气中的小颗粒街尘可在人居环境中添加空气过滤设施予以去除.

### 3 结论

(1)小城镇街尘粒径分析及电镜扫描结果表明,工业园区街尘和城乡结合部道路街尘以200 μm以上粒径段为主(65%—72%),而商业区和双竹镇街道以200 μm以下粒径段为主(60%—72%);所研究4种用地类型的街尘形貌以球形为主.

(2)小城镇街尘污染物浓度分析和地理累积指数评价结果表明,商业区街尘中有机质、总磷、总氮、锌、铅、镉的浓度最高,分别为103.04、785.48、1672.04、439.72、133.30、8.44 mg·kg<sup>-1</sup>,而铜、镍两种元素的最高浓度出现在工业园区道路,分别为241.52 mg·kg<sup>-1</sup>和92.30 mg·kg<sup>-1</sup>;商业区街尘和工业园区道路街尘污染风险较高,其中商业区街尘中的镍处于重度污染等级,工业园区道路街尘的镉达到极度污染最高等级.

(3)小城镇街尘控制可在“源”-“传输过程”-“汇”三个环节中分别采取措施予以控制.“源”控措施主要有改良街道清扫方式、添加街尘遏抑剂、水冲辅助等方式;“传输过程”控制主要措施有布置暴雨径流生态控制措施、改良暴雨径流转输构筑物结构等;“汇”控措施措施主要有利用污水厂沉砂池、沉淀池等构筑物去除由于暴雨径流冲刷迁移的街尘,加设空气过滤设施去除散失到空气中的小颗粒街尘等.

#### 参 考 文 献

- [1] Karanasiou A, Moreno T, Amato F, et al. Road dust contribution to PM levels Evaluation of the effectiveness of street washing activities by means of Positive Matrix Factorization [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45: 2193-2201
- [2] Murakami M, Nakajima F, Furumai H. The sorption of heavy metal species by sediments in soakaways receiving urban road runoff [J]. Chemosphere, 2008, 70: 2099-2109
- [3] 徐玮, 吕宾, 储金字, 等. 镇江市老城区不同功能区地表灰尘重金属污染评价[J]. 环境化学, 2012, 31(2): 182-188
- [4] Lu X W, Wang L J, Lei K, et al. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 161: 1058-1062
- [5] Tanner P A, Ma H L, Yu P K N. Fingerprinting metals in urban street dust of Beijing, Shanghai, and Hong Kong [J]. Environmental Science and Technology, 2008, 42: 7111-7117
- [6] 韦炳干, 姜逢清, 李雪梅, 等. 城市不同功能区道路沙尘重金属污染地球化学特征与评价[J]. 环境化学, 2009, 28(5): 721-727
- [7] 高博, 王晓君, 周怀东, 等. 北京城市道路尘土中铅同位素特征及其源解析[J]. 环境化学, 2011, 30(5): 1045-1046
- [8] Essumang D K, Dodoo D K, Obiri S, et al. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in street soil dust in Kumasi metropolis of Ghana [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2006, 121: 401-408
- [9] 李如忠, 周爱佳, 童芳, 等. 合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性[J]. 环境科学, 2012, 33(4): 1159-1166
- [10] Deletic A, Orr D W. Pollution Buildup on Road Surfaces [J]. Journal of Environmental Engineering, 2005, 131: 49-59
- [11] Banerjee A D K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India [J]. Environmental Pollution, 2003, 123: 95-105
- [12] Ferreira-Baptista L, Miguel D E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A tropical urban environment [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39: 4501-4512
- [13] Ruban V, López-Sánchez J F, Pardo P, et al. Development of a harmonized phosphorus extraction procedure and certification of a sediment reference material [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2001, 3: 121-125
- [14] 张彬, 陈猷鹏, 方芳, 等. 三峡库区淹没消落区土壤氮素形态及分布特征[J]. 环境科学学报, 2012, 32(5): 1126-1133
- [15] 马红波, 宋金明, 吕晓霞, 等. 渤海沉积物中氮的形态及其在循环中的作用[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 48-54
- [16] Kartal S, Aydin Z, Tokaltoglu S. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data [J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 132: 80-89

- [17] Long Y Y, Hu L F, Fang C R, et al. An evaluation of the modified BCR sequential extraction procedure to assess the potential mobility of copper and zinc in MSW[J]. *Microchemical Journal*, 2009, 91: 1-5
- [18] Joshi U M, Vijayaraghavan K, Balasubramanian R. Elemental composition of urban street dusts and their dissolution characteristics in various aqueous media[J]. *Chemosphere*, 2009, 77: 526-533
- [19] 朱旻航,王学良,陈玉成.重庆市主城区街道灰尘中氮、磷污染研究[J]. *环境化学*, 2009, 28(2): 306-307
- [20] 李如忠,周爱佳,童芳,等.合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性[J]. *环境科学*, 2012, 33(4): 1159-1166
- [21] 章明奎,符娟林,厉仁安.杭州市居民区土壤磷的积累和释放潜力[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2004, 30(3): 300-304
- [22] 刘玉燕,刘敏.乌鲁木齐城市土壤性质及污染研究[J]. *干旱区研究*, 2007, 24(1): 66-69
- [23] 钱鹏,郑祥民,周立旻,等.312国道沿线土壤、灰尘重金属污染现状及影响因素[J]. *环境化学*, 2010, 29(6): 1139-1146
- [24] Muller G. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River [J]. *Geojournal*, 1969, 2: 108-118
- [25] 王学良.重庆市主城区街道灰尘的污染分析研究[D].重庆:西南大学硕士论文,2008
- [26] Wei B G, Yang L S. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China[J]. *Microchemical Journal*, 2010, 94: 99-107
- [27] 王小梅,赵洪涛,李叙勇,等.北京地区城乡街尘中铅污染分异特征研究[J]. *土壤*, 2011, 43(2): 232-238
- [28] 赵洪涛,尹澄清,陈梅雪.长江三角洲河网地区典型城镇街尘中多环芳烃的污染特征[J]. *生态毒理学报*, 2009, 4(1): 123-130
- [29] 刘玉燕.城市道路灰尘 PGEs 累积特征及影响机制[D].上海:华东师范大学硕士论文,2009
- [30] 何小艳,赵洪涛,李叙勇,等.不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化[J]. *环境科学*, 2012, 33(3): 810-816
- [31] Amato F, Querol X, Johansson C, et al. A review on the effectiveness of street sweeping, washing and dust suppressants as urban PM control methods[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, 408: 3070-3084
- [32] Marais M, Armitage N. The measurement and reduction of urban litter entering stormwater drainage systems; Paper 2—strategies for reducing the litter in the stormwater drainage system[J]. *Water SA*, 2004, 30(4): 483-92
- [33] Watson J G, Chow J C, Pace T G. *Air pollution engineering manual*[M]. New York: JohnWiley & Sons, Inc., 2000: 117-35
- [34] 王书敏,何丰韬,王振涛,等.一种针对城市道路暴雨径流泥沙进行源头控制的装置:中国,201120502298 [P]. 2012-9-5
- [35] 王书敏,于慧,张彬.城市面源污染生态控制技术研究进展[J]. *上海环境科学*, 2011, 30(4): 168-173
- [36] Hatt B E, Fletcher T D, Deletic A. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale [J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 365: 310-321

## Pollution characteristic and control measures of street dust in small towns

WANG Shumin<sup>1,2</sup>    JIANG Shanquan<sup>1,2</sup>    KONG Hua<sup>3</sup>    GUAN Li<sup>4</sup>    SUN Xiangwei<sup>1,2\*</sup>

(1. Key Laboratory of Water Environmental Restoration, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing, 402160, China;  
2. College of Material and Chemical Engineering of Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing, 402160, China;  
3. Chongqing Branch of Sichuan Provincial Transport Department Highway Planning, Survey, Design and Research Institute, Chongqing, 400039, China; 4. Chongqing Kasin Environment Protection & Investment co. LTD, Chongqing, 400020, China)

### ABSTRACT

To examine the pollution status in street dust in small towns, the distribution of pollutants in small towns of Yongchuan District, Chongqing City, was investigated. The results showed that particulate matter above PM 200  $\mu\text{m}$  is the predominant fraction in street dust from Industrial Area and Xuefu Road (e. g., 65% and 72%, respectively), while below 200  $\mu\text{m}$  is the main proportion for Commercial Area and Shuangzhu Street (e. g., 72% and 60%, respectively). The highest concentrations of organic matter, total phosphorus, total nitrogen, Zn, Pb and Cd were found in street dust in Commercial Area (e. g., 103.04  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 785.48, 1672.04, 439.72, 133.30, 8.44  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively), and the highest contamination levels of Cu, Ni appeared in roads located in Industrial Area (e. g., 241.52  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  and 92.30  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively). The result of pollutants assessment with geoaccumulation index indicated that street dust in Commercial Area and road in Industrial Area had higher contamination risk, especially Ni in Commercial Area dust and Cd in road dust in Industrial Area, which are at the heavily contaminated level and extremely contaminated degree, respectively. Highlight was given to the control of street dust contamination in small towns, and three parts were proposed to be essential for more efficient management of street dust.

**Keywords:** small towns, street dust, pollution, characteristic, control.