

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.06.027

路面清扫对地表径流污染控制研究

王盼¹,肖震²,柯杭¹

[1.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.上海市排水管理事务中心,上海市 200085]

摘要:路面清扫是路面径流污染控制的有效措施。以苏州市某建成区为研究区域,选取不同类型道路广场,开展机械清扫作业、机械清洗作业、人工清扫作业对路面污染物的去除效果,同时与LID等工程措施进行运维成本的经济性对比分析。结果表明,机械化清扫作业和清洗作业后,路面SS污染物浓度可降低40%~50%。路面清扫作业运维成本低于源头LID设施,应选择适宜的LID设施与路面清扫等联动实施,提高污染物去除效果的同时降低运维成本。

关键词:路面清扫;非工程措施;LID设施;污染控制;运维成本

中图分类号:TV213

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2022)06-0100-04

0 引言

地表雨水径流已成为影响河道水环境质量的主要因素之一^[1]。国内外研究实践表明,绿色源头LID控制设施是雨水径流污染控制的重要工程措施^[2-3],我国近年来也持续开展海绵城市建设,大量LID工程建设推广^[4-6]。但传统雨水花园、植草沟等设施需要一定的场地条件实施且服务面积有限,在高密度既有城区推广应用困难。针对高密度建成区、污染控制工程措施实施难度大的特点,考虑到大部分径流污染物直接来自于地面积聚的污物(如大气污染沉降物、垃圾、轮胎磨损、路面材料的破碎与释放物等)^[7,8],路面清扫是一种有效控制路面径流污染的非工程措施^[9,10],其对污染物的去除效果与清扫形式、清扫设备及频率等密切相关。

本文选取苏州市某建成区为研究区域范围,筛选代表性主干路、次干路、广场,研究人工作业、机械作业等不同清洗方式对道路路面污染物的去除效果,同时与LID等工程措施进行经济性对比分析,为当地道路养护部门工作提供指导建议。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区域位于苏州市平江新城区域,城市建设用地中约75%为已建成用地,以居住用地为主,其

次为道路交通用地、绿地与广场、商业用地、工业用地、公服用地等。研究所选道路为区域内的主干路、次干路,主干路为双向八车道,道路宽度约36m,次干路为双向四车道,道路宽度约20m,广场路面约10000m²。

1.2 采样方法

依据《城市道路尘土量检测方法限值》(SZDB/Z 162-2015)^[11]中采样方法要求,在选取的代表性主干路、次干路和广场上,选取不同点位采样,机动车道选取最外侧车道,采样区域内选取3个采样点,即框定3个面积1m×1m的道路路面,每个采样点位于距道路路牙不小于0.5m的位置。采样点相距在2~2.5m之间,采样区域内无油渍、痰迹、明显垃圾等。具体采样点分布及参数示意图图1。

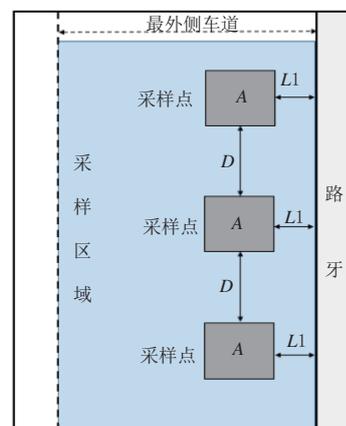


图1 采样点示意图

在采样点范围内,用水滤式干湿真空吸尘器(额定功率1.8kW)采集路面污染物。在路面干燥的情况下,针对单个采样点吸尘至少三次,再将路面喷湿,且不形成径流,再吸尘至少三次,连续完成3个采样点

收稿日期:2021-09-14

基金项目:十三五国家水专项(2017ZX07205-003)

作者简介:王盼(1987—),女,博士,高级工程师,从事雨水综合控制、海绵城市建设研究工作。

的吸尘,以上步骤为一次采样。

完成一次采样后,将所有采样点的混合悬浊液从吸尘器中转移到容器内,并冲洗吸尘器各个部件至少三次。样品用蒸馏水定容至1L,测试SS、COD、TN、TP、Pb等指标。

1.3 分析方法

SS、COD、TN、Pb测试采样国家标准方法。悬浮物SS测试采用重量法,化学需氧量COD测试采用快速消解分光光度法,TN测试采用过硫酸钾氧化分光光度法,Pb测试采用原子吸收法。

将悬浮物按照粒径分级,将样品按粒径分为5个区间^[12,13]:小于20 μm,20~75 μm,75~150 μm,150~300 μm,大于300 μm,将样品依次按所划分粒径段进行筛分。

2 结果与讨论

2.1 不同道路路面清扫方式研究

常用的路面清扫包括机械作业和人工作业,机械作业指使用机动车辆、设备进行的道路清扫保洁作业,包括机械扫路、机械洗扫、机械清洗冲刷、机械洒水和喷雾、机械吸尘等作业方式,常用作机动车道清扫作业;人工作业指使用人力进行的道路清扫保洁作业,包括人工清扫、人工捡拾、果皮箱清掏、果皮箱清洁等作业方式,常用作人行道、广场、小区等清扫作业。

通过调研,苏州市常用机械作业包括机械清扫作业、机械清洗作业等,机械清扫作业指利用机械控制的扫刷,对城市道路进行恢复原状的环卫清洁作

业。机械清洗作业指利用带有喷嘴和扫刷等装置的机械化洗扫一体设备,采用一定水压的水流冲击路面污染物,并使清洗路面后的污物和污水等一并扫刷吸附进随车容器内的环卫清洁作业,作业通常在机械化清扫作业后。研究考察旱天情况下不同机械清扫、机械清洗和人工清扫方式及机械清扫时速对污染物的去除效果。

试验考察了不同等级道路广场机械清扫(福龙马 FLM5180TSLDF6 扫路车、德国哈高 HakoCity-master 600 扫路车)、机械清洗(中联 ZLJ5160TXSE4 洗扫车)、人工清扫等方式对路面污染物的去除效果。研究过程中采用不同清扫方式对不同路面开展清扫,具体效果见图2。可以看到,不同方式的清扫对路面的SS、COD、TN、Pb等污染物均有较好的去除效果。对于SS污染物指标,经过道路机械化清扫作业后,次干路机动车道、非机动车道的SS浓度可降低约20%,再经过机械化清洗作业后,SS浓度进一步降低约20%~30%,广场人工清扫对SS也有较好去除效果。对于COD污染物指标,经过机械化清扫作业后,次干路机动车道、非机动车道的COD浓度降低较少,但经过机械化清洗作业后,COD浓度降低明显,比例约40%。主要原因为路面有机物污染多为溶解性,清洗作业时,利用水流冲刷路面,污染物溶解后经真空吸入至清洗车内。此外,机械化清洗作业后,路面TN污染物浓度降低约13%、Pb污染物浓度降低40%。主要原因为路面Pb类污染物主要以颗粒态形式存在^[14],通过机械化清扫可伴随着SS一同去除。

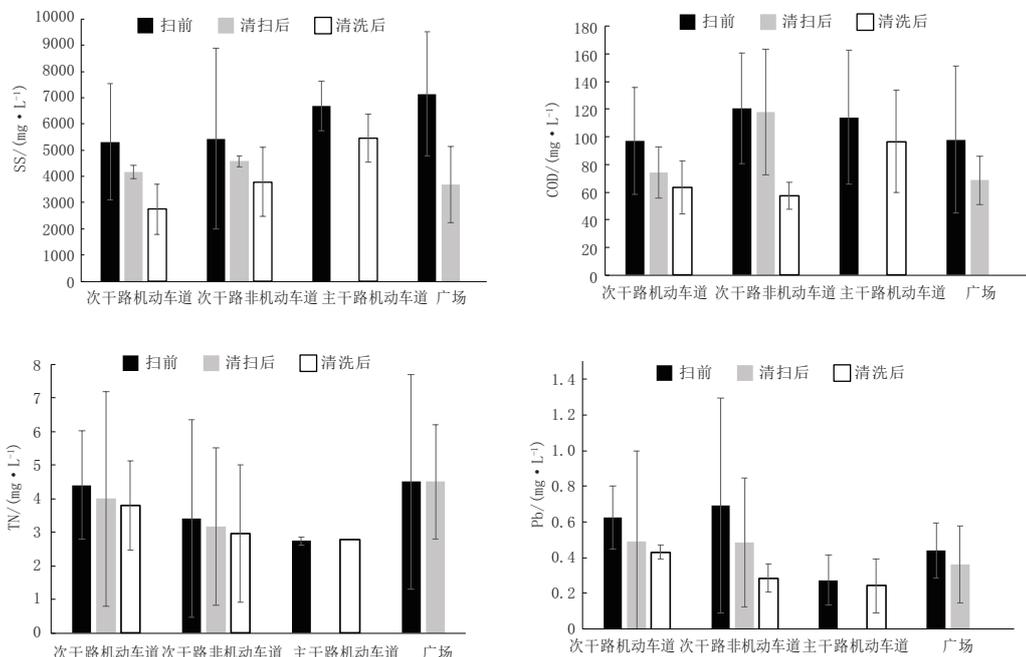


图2 不同清扫方式的污染物去除效果(单位:mg/L)

污染物形态与颗粒物有着密切的关系,为了进一步明确不同清扫方式后,不同粒径区间颗粒分布,分析了不同类型道路清扫后各颗粒粒径段中的SS浓度,具体见表1。可以看到,路面清扫前后SS污染物颗粒粒径多集中在20~75 μm之间,占整个污染物比例约90%以上,这一结论也与相关研究中一致^[14,15],当降雨发生后,雨水径流挟带的污染物中以小于75 μm的特细颗粒为主。值得注意的是,路面清扫对粒径大于150 μm的大颗粒污染物去除效果较好,对微小粒径污染物去除相对较弱。该部分颗粒将是雨水径流的主要污染物,应通过其他措施去除。

表1 不同清扫方式后不同粒径区间悬浮物浓度比例

| 粒径区间/μm | 大于300 | 150~300 | 75~150 | 20~75 | 小于20 |
|-------------|-------|---------|--------|--------|-------|
| 次干路机动车道清扫前 | 0.05° | 1.45° | 1.73° | 89.46° | 7.31° |
| 次干路机动车道清扫后 | 0.10° | 0.91° | 1.99° | 92.95° | 3.05° |
| 次干路机动车道清洗后 | 0.05° | 0.47° | 1.27° | 95.24° | 2.97° |
| 次干路非机动车道清扫前 | 0.26° | 2.49° | 3.34° | 91.38° | 2.54° |
| 次干路非机动车道清扫后 | 0.17° | 1.68° | 6.70° | 86.67° | 3.78° |
| 次干路非机动车道清洗后 | 0.17° | 1.06° | 12.93° | 78.33° | 6.51° |

2.2 清扫作业速度的影响研究

为保障清扫效果,道路清扫机械作业设备车速一般不应太高,根据江苏省地方标准《城市道路环卫机械化作业质量标准》(DGJ32/TJ 172—2014)^[16]的相关规定,机械化清扫作业行驶速度宜不超过10 km/h,机械化保洁作业行驶速度宜不超过15 km/h。为考察机械设备清扫作业速度的影响,研究车速在10 km/h、15 km/h下的清扫效果。设备车辆为德国哈高HakoCitymaster 600扫路车,路段选取上述次干路。清扫效果见表2。可以看到,清扫作业速度为10 km/h时,对路面污染物去除效果可提升近10%。因此,建

议实际机械化清扫作业时清扫时速控制在10 km/h,不应超过15 km/h。

表2 不同清扫作业速度对污染物去除效果

| 清扫时速 | 10 km/h | | 15 km/h | | |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | 路面SS污染物浓度 / (mg·L ⁻¹) | 路面SS污染物浓度 / (mg·L ⁻¹) | 去除率 | 路面SS污染物浓度 / (mg·L ⁻¹) | 去除率 |
| 次干路非机动车道 | 7 724.5 ± 2 411.9 | 5 607.5 ± 1 796.7 | 27.5 ± 1.0 | 6 292.5 ± 2 223.8 | 19.0 ± 3.5 |

2.3 不同道路径流污染控制方式分析

由于汽车尾气排放、汽车橡胶轮胎老化磨损、车体自身的磨损、路面材料的老化磨损、杀虫剂和肥料的使用、丢弃的废物、空气的干、湿沉降(工业粉尘、建筑扬尘)等原因,道路雨水径流通常存在污染负荷高、污染成分和影响因素复杂等特点。国内外常用的道路径流污染控制方式主要包括工程类措施和非工程类措施。工程类措施包括截污装置、过滤设施、透水铺装、生物滞留设施、植草沟、雨水塘、雨水湿地等源头LID设施。不同LID控制设施对污染物去除效果较好,如生物滞留设施对SS去除效果在75%~90%,透水铺装对SS去除效果在80%~90%左右^[8]。但是源头LID设施功能的充分发挥需要考虑服务面积、土壤基质、水文地质条件、周边环境和后期维护等多方面限制条件。表3总结了四类LID设施的应用条件及建设运维成本。可以看到,各项LID设施的使用寿命在10~20 a,建设运维成本也不尽相同,其中生物滞留设施的运维成本相对较高,主要是对设施的植物进行常年维护。

非工程类措施主要指通过加强管理来达到控制道路污染的目的,通过控制污染源来降低路面径流中污染物的含量。非工程措施主要包括加强道路运输管理和路面清扫。

管理措施主要是通过加强管理和公众教育来实现路面径流污染的削减,包括源头控制、维护及公众

表3 不同LID设施应用条件及建设运维成本

| 设施类型 | 服务面积比例 | 进水限值条件 | 运维内容及频次 | 使用寿命 | 建设成本元 / m ² | 运维成本 / (元 / m ² /a) |
|--------|-----------|------------------|--|-------|------------------------------------|--------------------------------|
| 生物滞留设施 | 10~20 : 1 | 进水SS不宜过高,应设预处理设施 | 检修2次 / a(雨季之前和期中),植物常年维护 | 10~20 | 600~800 | 30~50 |
| 植草沟 | 10~20 : 1 | 进水SS不宜过高,应设预处理设施 | 检修2次 / a(雨季之前和期中),植物常年维护 | 10~20 | 200~400 | 10~20 |
| 透水铺装 | 1 : 1 | — | 检修、疏通透水能力2次 / a | 10~20 | 透水混凝土路面400~800 透水性面砖铺装路面450~950 | 5~10 |
| 湿塘 | 30~50 : 1 | 进水SS不宜过高,应设预处理设施 | 检修、植物残体清理2次 / a(雨季),植物常年维护,前置塘清淤(雨季之前) | 10~20 | 400~600 | 3~5 |

教育与参与,这些措施在发达国家受到特别的重视。源头控制、维护包括以下几个方面^[8]:(1)强化路面交通管理,应适当控制车辆行驶,尽可能减少因加速、减速、刹车和启动等带来的污染;实施严格的车辆漏油、尾气排放超标控制等。(2)路面养护,及时进行雨水口清理、违法排污控制等。(3)加强对道路及周边绿化带的维护和管理。(4)选用安全的道路建筑材料、除草剂等。

常规的路面清扫最多只能去除 30% 的污染物。因为路面清扫对粒径较大的颗粒物(大于 200 μm)有较好的去除效果,而对粒径较小但污染潜力较大的细小颗粒则难于去除,所以其控制污染的能力受到了限制。根据前述实验结果,苏州市研究区域由于采用了较为先进高效的清扫机械设备和清扫频率,机械化清扫以不低于 2 次/d 的频率进行作业,机械化清洗以不低于 2 次/周的频率进行作业。因此,对路面污染物的去除率可达到 40%~50%,但随之带来养护成本的提高,考虑人工费、物资消耗费、机械使用费、企业管理费等因素,对于平江新城机械化清扫作业,每年养护成本约 0.45 元/m,对于区域内机械化清洗作业,每年养护成本约 0.6 元/km,对于人工清扫,每年养护成本约 9~15 元/ m^2 ,综合清扫养护成本约 10~16 元/ m^2/a 。但与上述源头 LID 设施运维成本相比,清扫养护的成本更低。但路面清扫后小于 75 μm 的特细颗粒仍大量存在,若不加以控制,会引起水体污染。

因此,应选用适宜的源头 LID 设施,对路面污染物进一步去除。同样地,由于高效率、高频次的路面清扫,进入 LID 设施的污染物会进一步降低,LID 设施的去除效果和运行使用周期进而增强延长,运维成本则会下降。

3 结论

(1)经过道路机械化清扫作业后,路面 SS 污染物浓度可降低约 20%,再经过机械化清洗作业后,SS 浓度进一步降低约 20%~30%,人工清扫对 SS 也有较好去除效果。机械化清扫作业对路面 COD 污染物浓度作用较少,但机械化清洗作业后,COD 浓度可降低 40%。此外,机械化清洗作业后,Pb 污染物浓度可

降低 40%。

(2)路面清扫对粒径大于 150 μm 的大颗粒污染物去除效果较好,对微小粒径污染物去除相对较弱。该部分颗粒将是雨水径流的主要污染物,应通过其他措施去除。

(3)路面清扫非工程措施综合清扫养护成本约 10~16 元/ m^2/a ,低于源头 LID 设施运维成本。针对不同区域,应选择适宜的 LID 设施与路面清扫等联动实施,提高污染物去除效果的同时降低运维成本。

参考文献:

- [1] 宫营,阮小红,胡晓东.我国城市地表水环境非点源污染的研究进展[J].中国给水排水,2003,9(3):21-23.
- [2] 刘昌明,张永勇,王中根,等.维护良性水循环的城镇化 LID 模式:海绵城市规划方法与技术初步探讨[J].自然资源学报,2016,31(5):719-729.
- [3] 刘文,陈卫平,彭驰.城市雨洪管理低影响开发技术研究与利用进展[J].应用生态学报,2015,26(6):1901-1912.
- [4] 张建云,王银堂,胡庆芳,等.海绵城市建设有关问题讨论[J].水科学进展,2016,27(6):793-799.
- [5] 袁再健,梁晨,李定强.中国海绵城市研究进展与展望[J].生态环境学报,2017,26(5):896-901.
- [6] 陈华.关于推进海绵城市建设若干问题的探析[J].净水技术,2016,35(1):102-106.
- [7] 张千千,李向全,王效科,等.城市路面降雨径流污染特征及源解析的研究进展[J].生态环境学报,2014,23(2):352-358.
- [8] 程丰,王庆国,刘朝榕,等.城市路面径流颗粒污染物研究现状分析[J].环境工程,2019,37(5):181-184.
- [9] Curtis MC. Street sweeping for pollutant removal [R]. Watershed Management Division, Rockville, Montgomery County, Md, 2002:7-9.
- [10] 卫宝立,王琳,冯美军.路面清扫控制径流重金属污染研究[J].中国海洋大学学报,2015,45(5):82-86.
- [11] SZDB/Z 162—2015,城市道路尘土量检测方法及其限值[S].
- [12] 左晓俊,傅大放,李贺.不同类型降雨公路径流中颗粒粒径及污染物的分布特性[J].东南大学学报:自然科学版,2011,41(2):411-415.
- [13] Tuccillo M E. Size fractionation of metals in runoff from residential and highway storm sewers[J]. Science of the Total Environment, 2006, 355(1/2/3):288-300.
- [14] 朱伟,边博,李磊.镇江城市径流颗粒粒径分布及其与污染物的关系[J].环境科学学报,2008,28(4):764-771.
- [15] 吉芳英,晏鹏.山地城市排水管网特细颗粒物特性及变化规律[J].环境科学研究,2012,25(3):322-327.
- [16] DGJ32/TJ 172—2014,城市道路环卫机械化作业质量标准[S].