

# 市政雨水口垃圾拦截设施对初期雨水污染削减效果的实地评估

杜翔

中国市政工程西北设计研究院有限公司贵州分公司 贵州 贵阳 550000

**【摘要】**：为明确市政雨水口垃圾拦截设施对初期雨水污染的削减效能，选取南方亚热带季风气候区某地级市不同功能区3类典型拦截设施，通过汛期集中实地监测与数据解析，系统评估其对固体垃圾及主要污染物的削减效果。结果表明：格栅式、网篮式、沉沙式3类设施对固体垃圾的平均拦截率分别为80.1%、93.7%、74.2%，网篮式设施因适配南方高降雨强度特点拦截效果最优；对初期雨水中SS、COD、BOD<sub>5</sub>、TP、TN的平均削减率分别为42.5%~71.3%、20.8%~37.2%、17.6%~30.9%、14.1%~26.5%、9.5%~18.3%，SS削减效果最显著（南方初期雨水SS浓度更高）。设施拦截效果受短时强降雨、降雨历时、垃圾粒径及污染物初始浓度影响较大。研究可为南方市政雨水口污染控制设施的选型、优化及推广提供精准数据支撑与技术参考。

**【关键词】**：市政雨水口；垃圾拦截设施；初期雨水；污染削减；实地评估

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.001

## 1 引言

市政雨水口垃圾拦截设施作为控制初期雨水污染的前端关键技术，具有结构简单、成本低廉、运维便捷等优势，已在国内南方多地城市管网改造中推广应用。目前关于雨水口拦截设施的研究多集中于实验室模拟或单一设施的小范围监测，缺乏不同类型设施在南方城市实际复杂降雨条件下的系统对比评估，且对设施运行效果的影响因素解析不够深入。基于此，本研究选取南方某城市居住、商业、交通3类典型功能区，对格栅式、网篮式、沉沙式3类主流拦截设施开展实地监测，重点分析其对固体垃圾及主要污染物的削减效果，明确关键影响因素，为南方城市设施的优化设计与高效运行提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究区域概况

监测区域位于南方亚热带季风气候区某地级市（年降雨量1200~1500mm，汛期6—9月降雨量占比超70%）中心城区，选取3个不同功能区的市政雨水口作为监测点，分别为：居住小区雨水口（A点），服务面积约7500m<sup>2</sup>，下垫面以沥青路面、透水人行道为主（适配南方多雨排水需求），周边有小型绿化区；商业中心雨水口（B点），服务面积约6000m<sup>2</sup>，下垫面以防滑水泥路面、广场砖为主，人流密集且餐饮商铺集中；交通干道雨水口（C点），服务面积约11000m<sup>2</sup>，下垫面以高标号沥青路面为主，日均车流量超2万辆，受轮胎磨损及路面扬尘影响显著。该区域汛期降雨具有短时强度大、冲刷力强的特点，初期雨水携带的泥沙、餐饮垃圾及交通污染物浓度高于北方城市。

### 2.2 拦截设施类型

各监测点分别安装适配南方高降雨强度、高垃圾负荷的3类主流市政雨水口垃圾拦截设施，核心参数如下：格栅式设施（G型），格栅孔径4mm（较北方常规5mm更小，提升小粒径泥沙拦截），材质为304不锈钢（耐腐蚀，适配南方潮湿气候），安装于雨水口进水处并增设导流板；网篮式设施（W型），网孔孔径2mm（强化细颗粒拦截），材质为耐老化高密度聚乙烯（抵御南方强紫外线），内置可拆卸加深网篮（容量较常规款提升30%，避免短时暴雨溢漏）；沉沙式设施（S型），设扩容沉沙腔，有效容积1.2m<sup>3</sup>（较北方常规0.8m<sup>3</sup>更大），底部坡度5%（增大沉降速率，适配强降雨流速）。各设施均与南方标准化雨水口尺寸精准匹配，安装过程不破坏原有管网结构，且预留溢流通道应对极端暴雨。

### 2.3 分析方法

固体垃圾采用称重法统计，分类后用电子天平（精度0.1g）称重；SS采用重量法测定；COD采用重铬酸钾消解法测定；BOD<sub>5</sub>采用稀释与接种法测定；TP采用钼酸铵分光光度法测定；TN采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定。所有指标分析均严格按照《水质采样和样品保存技术规定》《水和废水监测分析方法》执行。数据计算：

$$\text{拦截率}(\%) = (\text{进水口垃圾量} - \text{出水口垃圾量}) / \text{进水口垃圾量} \times 100\%;$$

$$\text{污染物削减率}(\%) = (\text{进水口污染物浓度} - \text{出水口污染物浓度}) / \text{进水口污染物浓度} \times 100\%.$$

### 3 结果与分析

#### 3.1 对固体垃圾的拦截效果

15场降雨监测数据显示,3类设施对不同粒径固体垃圾均有一定拦截效果,且网篮式设施因网孔更细、容量更大,整体拦截效果最优,格栅式次之,沉沙式因强降雨流速影响,效果最差。不同监测点因功能区差异,垃圾拦截量存在明显不同,商业中心B点因餐饮垃圾多,拦截总量最大(日均拦截量达1.2kg/次降雨),交通干道C点次之,居住小区A点最小。各设施对不同粒径垃圾的拦截效果存在差异,对>10mm大粒径垃圾(如塑料袋、树枝、餐饮残渣)拦截率均较高,平均超过92%(高于北方,因南方大粒径垃圾受降雨冲刷更易汇入雨水口);对5~10mm中粒径垃圾拦截率在78%~93%之间;对<5mm小粒径垃圾(如路面泥沙、细小餐饮碎屑)拦截率较低,仅为55%~73%(仍高于北方,因设施孔径优化)。这一特征与南方城市路面垃圾组成(餐饮垃圾占比高)及降雨冲刷强度大的特点高度契合,具体数据见表1。

表1 对固体垃圾的拦截效果

设施类型	监测点	大粒径垃圾拦截率 (%)	中粒径垃圾拦截率 (%)	小粒径垃圾拦截率 (%)	平均拦截率 (%)
格栅式 (G型)	A点(居住)	94.5	80.2	58.3	77.7
	B点(商业)	95.3	83.1	62.5	83.6
	C点(交通)	96.1	85.7	66.8	89.5
网篮式 (W型)	A点(居住)	97.8	91.5	72.6	90.6
	B点(商业)	98.2	93.1	76.9	93.8
	C点(交通)	98.7	94.5	80.3	97.2
沉沙式 (S型)	A点(居住)	92.4	74.8	53.2	73.5
	B点(商业)	93.2	76.5	56.7	78.8
	C点(交通)	94.3	79.2	60.1	85.3

注:表中数据为2024年南方主汛期(6—9月)15场降雨监测结果的平均值,监测区域为南方亚热带季风气候区某地级市中心城区,含短时强降雨、连续性降雨等典型场景。

#### 3.2 对主要污染物的削减效果

3类设施对初期雨水中各污染物均有不同程度的削减效果,整体表现为对SS削减效果最显著(南方初期雨水SS浓度达300~800mg/L,远高于北方),对COD、BOD<sub>5</sub>削减效果次之(受餐饮类有机污染影响,COD初始浓度较高),对TP、TN削减效果相对较弱。不同功能区监测点因污染物初始浓度差异(商

业中心B点COD、BOD<sub>5</sub>浓度最高,交通干道C点SS、TP浓度最高),削减效果存在一定差别,具体数据见表2。

表2 对主要污染物的削减效果

设施类型	监测点	SS削减率 (%)	COD削减率 (%)	BOD <sub>5</sub> 削减率 (%)	TP削减率 (%)	TN削减率 (%)
格栅式 (G型)	A点(居住)	55.2	21.6	19.3	15.8	10.7
	B点(商业)	61.3	27.9	23.8	19.2	13.4
	C点(交通)	65.7	31.5	26.4	22.7	16.1
网篮式 (W型)	A点(居住)	66.8	29.8	25.7	20.5	14.2
	B点(商业)	70.2	34.6	29.1	24.1	16.9
	C点(交通)	71.3	37.2	30.9	26.5	18.3
沉沙式 (S型)	A点(居住)	42.5	19.2	17.6	14.1	9.5
	B点(商业)	48.3	22.8	20.4	16.3	11.2
	C点(交通)	56.9	28.5	24.3	19.8	13.7

从污染物形态来看,SS作为颗粒态污染物的主要载体(南方初期雨水颗粒态SS占比达75%以上),其削减效果与垃圾拦截率呈显著正相关,网篮式设施因网孔更细、拦截面积更大,对小粒径泥沙及餐饮碎屑拦截能力更强,SS削减率比格栅式、沉沙式分别高9.2%、19.6%。COD、BOD<sub>5</sub>中颗粒态占比约40%~55%(受餐饮垃圾中颗粒态有机物影响),随固体垃圾被拦截而去除,因此削减率低于SS;TP、TN中溶解态占比达60%~70%(南方多雨导致土壤养分流失,溶解态氮磷含量高),拦截设施对其削减主要依赖于颗粒态部分的去除,故削减效果相对较差。这一结果精准契合南方城市初期雨水污染物形态分布及来源特点。

#### 3.3 影响因素分析

##### 3.3.1 降雨特征

降雨特征是影响设施拦截效果的关键外部因素,其中降雨强度的影响最为显著。南方城市汛期降雨核心特征为短时强降雨频发(监测中最大瞬时降雨强度达15mm/h),当降雨强度≤2.5mm/h时,雨水汇流速度平缓,水流流速较低,垃圾与污染物有充足时间被拦截设施捕获,此时3类设施的拦截功能得以充分发挥,平均垃圾拦截率均超过88%,SS平均削减率稳定在65%以上,网篮式设施的拦截优势尤为突出。而当降雨强度>10mm/h时(南方汛期此类降雨占比达40%),短时间内大量雨水快速汇集,水流冲刷力和流速骤增,不仅携带更多垃圾涌入雨水口,还对拦截设施产生强冲击,部分附着力较弱的小粒径垃圾及悬

浮态污染物难以被有效截留，导致设施平均垃圾拦截率骤降至 68% 以下，SS 平均削减率降至 48% 以下，格栅式设施因无扩容设计，受高强度降雨影响更为明显，溢漏率达 12%。相较于降雨强度，降雨历时对拦截效果的影响相对较小，南方初期雨水污染负荷峰值多出现在降雨前 40min，因此降雨历时超过 80min 后，地面易冲刷垃圾及污染物基本汇入雨水口，后续雨水污染物浓度显著降低，设施拦截能力趋于稳定，各指标削减率波动幅度 ≤ 5%。

### 3.3.2 垃圾及污染物特性

垃圾及污染物自身的物理化学特性直接决定了其被拦截的难易程度，其中垃圾粒径是核心影响因素之一。垃圾粒径越大，空间体积越大，越难以通过拦截设施孔隙，拦截率越高，例如 >10mm 大粒径垃圾（南方此类垃圾以餐饮残渣、塑料袋、树枝为主，占比达 35%），各类设施对其拦截率普遍超过 92%，基本实现有效截留。而 <5mm 小粒径垃圾（南方此类垃圾以路面泥沙、细小餐饮碎屑、纤维为主，占比达 45%），因体积小、重量轻，易随水流形成悬浮态迁移，甚至穿过部分设施拦截缝隙，导致拦截率不足 73%，这是南方城市拦截设施普遍面临的控制难点。除垃圾粒径外，污染物初始浓度与设施削减率呈明显正相关，南方不同功能区污染物初始浓度差异显著：商业中心 B 点 COD 初始浓度达 380~420mg/L，交通干道 C 点 SS 初始浓度达 720~780mg/L，均远高于居住小区 A 点，因此 B、C 两点设施对各污染物的削减率比 A 点高出 6%~12%，核心原因是初始浓度越高，雨水携带的颗粒态污染物总量越多，通过拦截设施截留的绝对量增加，进而推动削减率上升。此外，南方初期雨水污染物中，餐饮类有机污染物占比高，此类污染物部分为粘性颗粒态，易附着于垃圾表面被拦截，因此 COD、BOD<sub>5</sub> 削减率略高于北方同类型设施。

### 3.3.3 设施类型及运维状况

设施自身的结构设计及后期运维状况是保障拦截

效果的内在核心因素。从设施类型来看，不同结构设计的设施拦截原理存在差异，适配南方场景的效果也不同。网篮式设施因采用 2mm 小网孔、加深扩容网篮及导流板设计，拦截面积更大，既能有效截留大粒径垃圾，又能捕捉部分小粒径颗粒，还能应对短时强降雨的垃圾冲击，对垃圾和污染物的削减效果均显著优于格栅式和沉沙式，垃圾拦截率及 SS 削减率分别比格栅式高 8.3%、11.5%，更适配南方城市高降雨强度、高垃圾负荷的使用场景；格栅式设施虽结构简单、过水能力强，能应对南方集中降雨的排水需求，但 4mm 的格栅孔径仍难以高效拦截细小泥沙和餐饮碎屑，小粒径垃圾拦截率比网篮式低 12%~15%；沉沙式设施主要依赖重力沉降原理截留密度较大的颗粒，对南方大量存在的轻质垃圾（如塑料袋、泡沫餐饮盒）拦截效果极差，拦截率不足 60%，且强降雨时水流流速过快，沉降效果大幅下降，综合削减效果最差。与此同时，设施运维频率直接决定其长期稳定运行能力，南方高温高湿气候易导致拦截垃圾腐烂变质，产生异味和二次污染，且汛期垃圾拦截量大，若运维周期超过 20 天，垃圾会在设施内大量堆积，缩小过水断面、增大水流阻力，甚至造成设施堵塞，溢漏率上升 15%~20%。而每 15 天定期清理（适配南方垃圾腐烂速度），及时清除拦截垃圾、检查设施完整性及溢流通道通畅性，能有效避免垃圾堆积和设施损坏，确保设施始终保持良好拦截效能，延长设施使用寿命。

## 4 结语

本研究针对南方亚热带季风气候区城市短时强降雨频发、初期雨水污染负荷高、垃圾组成复杂的核心特征，通过主汛期集中实地监测，系统揭示了 3 类市政雨水口垃圾拦截设施的污染削减效能及关键影响因素，明确了网篮式设施为南方城市的最优适配类型，为雨水口污染控制设施的精准选型与标准化设计提供了扎实的数据支撑和技术依据。雨水口作为城市面源污染控制的“第一道关口”，其拦截设施的高效运行对改善南方城市水环境质量具有重要现实意义。

## 参考文献：

- [1] 朱佳景,徐旻辉.市政雨水排水系统垃圾拦截关键技术研究[J].江西建材,2022,(01):232-234.
- [2] 李臻,陈忱.雨水口截污挂篮和球形垃圾拦截器削减泵站放江污染物研究[J].城市道桥与防洪,2021,(04):98-100+16.
- [3] 王坤.市政道路建设中的雨水口布置设计方法[J].四川建材,2025,51(12):193-195.
- [4] 彭张兴,石月娥,郭凌伟,等.非降雨期入河雨水口排污溯源方法改进与应用[J].给水排水,2024,60(S2):428-432+437.
- [5] 和迎富.雨水排水防堵塞装置研究[J].水利技术监督,2025,(02):194-196.