

城市初期雨水的处理技术路线初探

邓志光， 吴宗义， 蒋卫列  
(中国市政工程中南设计研究院，湖北 武汉 430010)

摘 要： 初期雨水挟带有相当高浓度的污染物质，其排入水体产生污染的问题已经引起关注。初期雨水污染物治理应从以下三方面着手： 源头减量，就地处理； 收集调蓄处理； 加强维护管理。对于多湖泊城市，建议将分散就地减量处理和末端人工湿地处理方法相结合；通过改变地面径流条件，增加降雨向地下的渗透，减少地面径流量；通过分散式初期雨水处理设施，使得雨水在进入湖泊、河道之前得到适当处理。这些措施可以减少进入湖泊初期雨水污染负荷，对水环境的改善具有积极意义。

关键词： 初期雨水； 源头减量； 就地处理  
中图分类号： TU99 文献标识码： B 文章编号： 1000 - 4602 (2009) 10 - 0011 - 04

Preliminary Study on Treatment of First-flush Stormwater  
DENG Zhi-guang, WU Zong-yi, JIANG Wei-lie  
(Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Because the first-flush stormwater carries high concentration pollutants, the pollution problem caused by its discharge into waters has attracted much attention. The control of pollutants carried by the first-flush stormwater should be considered from following three aspects: source reduction and on-site treatment; collection and storage and enhanced maintenance. For the cities with many lakes, the on-site treatment and end constructed wetland should be integrated. The surface runoff conditions are changed to increase the infiltration and reduce the runoff. The on-site treatment facilities are used to appropriately treat stormwater before it flows into lakes and rivers. These measures can reduce pollution load of stormwater and improve water environment.

Key words: first-flush stormwater; source reduction; on-site treatment

1 背景概况

初期雨水指从降雨形成地面径流开始，前 12.5 mm (1/2 英寸)降雨形成的径流量，国外称之为 first-flush。  
近年来，初期雨水的污染问题在国内外开始受到关注。在一些实施了分流制排水系统的城市，经过一段时间的运行，其对周边水体的污染情况改善不是十分明显，对封闭型水体的污染情况则更为严重。  
1991 年—1995 年，中国市政工程中南设计研究院完成了国家“八五”科技攻关项目《武汉东湖外源

污染控制和防治技术》研究，其中对武汉市东湖流域地面径流的特点和处理方法进行了深入探讨。结果表明，初期雨水中含有 BOD<sub>5</sub>、SS、TN、TP、重金属等污染物（见表 1）。

表 1 武汉市雨水污染物检测结果

Tab 1 Pollutants in stormwater in Wuhan

| 检测项目                                                      | COD           | BOD <sub>5</sub> | SS       | TN          | TP            |
|-----------------------------------------------------------|---------------|------------------|----------|-------------|---------------|
| 浓度 /<br>(mg · L <sup>-1</sup> )                           | 12.87 ~ 61.78 | 2.88 ~ 8.86      | 44 ~ 138 | 1.46 ~ 3.23 | 0.051 ~ 0.198 |
| 单位面积径流负荷值 /<br>(kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> ) | 52.5          | 25.3             | 117.8    | 3.11        | 2.66          |

国内外调查资料表明,降雨形成的初期径流含有大量污染物,有些污染物(如 BOD<sub>5</sub>)的浓度与城市污水厂的进水水质相近,某些重金属含量超过城市污水厂的进水。这些污染物主要来源于大气沉降、地面垃圾堆积、车辆排放以及地面冲刷侵蚀(分别见表 2、3)。

表 2 美国的雨水水质统计数据

Tab 2 Rain runoff pollution in USA

| 检测项目  | BOD <sub>5</sub> /<br>(mg · L <sup>-1</sup> ) | SS /<br>(mg · L <sup>-1</sup> ) | 大肠菌 /<br>(个 · L <sup>-1</sup> )   |
|-------|-----------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 雨水径流  | 0.41 ~ 370                                    | 0.5 ~ 4 800                     | 1 ~ 5 230 000                     |
| 合流制污水 | 4 ~ 699                                       | 4 ~ 4 420                       | 1 100 ~ 1 645 000                 |
| 原污水   | 88 ~ 451                                      | 118 ~ 487                       | 10 <sup>6</sup> ~ 10 <sup>9</sup> |

表 3 地面径流污染物浓度与城市污水厂进水水质比较

Tab 3 Comparison between surface runoff and domestic

wastewater

| 污染物                           | 地面径流         |      | 城市污水厂                             |      |
|-------------------------------|--------------|------|-----------------------------------|------|
|                               | 分流制雨水系统      |      | 生活进水                              |      |
|                               | 范围           | 典型值  | 范围                                | 典型值  |
| COD / (mg · L <sup>-1</sup> ) | 200 ~ 275    | 75   | 250 ~ 1 000                       | 500  |
| TSS / (mg · L <sup>-1</sup> ) | 20 ~ 2 890   | 150  | 100 ~ 350                         | 200  |
| TP / (mg · L <sup>-1</sup> )  | 0.2 ~ 4.3    | 0.36 | 4 ~ 15                            | 8    |
| TN / (mg · L <sup>-1</sup> )  | 0.4 ~ 20     | 2    | 20 ~ 85                           | 40   |
| 铅 / (mg · L <sup>-1</sup> )   | 0.01 ~ 1.2   | 0.18 | 0.02 ~ 0.94                       | 0.1  |
| 铜 / (mg · L <sup>-1</sup> )   | 0.01 ~ 0.4   | 0.05 | 0.03 ~ 0.19                       | 0.22 |
| 锌 / (mg · L <sup>-1</sup> )   | 0.01 ~ 2.9   | 0.02 | 0.02 ~ 7.68                       | 0.28 |
| 大肠菌 / (个 · L <sup>-1</sup> )  | 400 ~ 50 000 |      | 10 <sup>6</sup> ~ 10 <sup>8</sup> |      |

美国国家环保局(EPA)根据全国 600 座城市的雨水监测分析数据,得出的单位面积径流的污染物产生量见表 4。

表 4 单位面积径流的污染物产生量

Tab 4 Unit surface runoff pollution

kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>

| 地面分类   | TSS     | TP  | TN  | BOD <sub>5</sub> | COD   | Pb  |
|--------|---------|-----|-----|------------------|-------|-----|
| 商业     | 1 121.0 | 1.7 | 7.5 | 69.5             | 470.8 | 3.0 |
| 停车场    | 448.4   | 0.8 | 5.7 | 52.7             | 302.7 | 0.9 |
| 高密度居住区 | 470.8   | 1.1 | 4.7 | 30.3             | 190.6 | 0.9 |
| 中密度居住区 | 213.0   | 0.6 | 2.8 | 14.6             | 80.7  | 0.2 |
| 低密度居住区 | 11.2    | 0.0 | 0.0 |                  |       | 0.2 |
| 公路     | 986.5   | 1.0 | 8.9 |                  |       | 0.0 |
| 工业区    | 964.1   | 1.5 | 4.3 |                  |       | 2.7 |
| 公园     | 3.4     | 0.0 | 1.7 |                  | 2.2   | 0.0 |
| 平均值    | 468.7   | 0.7 | 4.0 | 41.8             | 209.4 | 0.9 |

2 初期雨水的处理

目前国外对初期雨水的污染问题十分重视,经

过多年的摸索,美国和欧洲已经制定了一套雨水收集、处理和管理的完整方法。国内关于初期雨水的处理尚在摸索和尝试阶段。武汉东湖面源污染控制研究中试采用植草凹地或坡地等方法截流处理初期雨水取得明显效果,其中径流量减少 50% ~ 70%,对 TN 和 TP 的去除率均为 47.1% ~ 85.4%。国内其他单位也曾经尝试过初期雨水收集调蓄,经过沉淀后排放的方法。

归纳国内外的经验,治理初期雨水应从以下三个方面着手:

源头减量,就地处理。通过改变地面径流条件,增加降雨向地下的渗透,减少地面径流量;通过分散式初期雨水处理设施,使得雨水在进入管道系统之前得到处理。

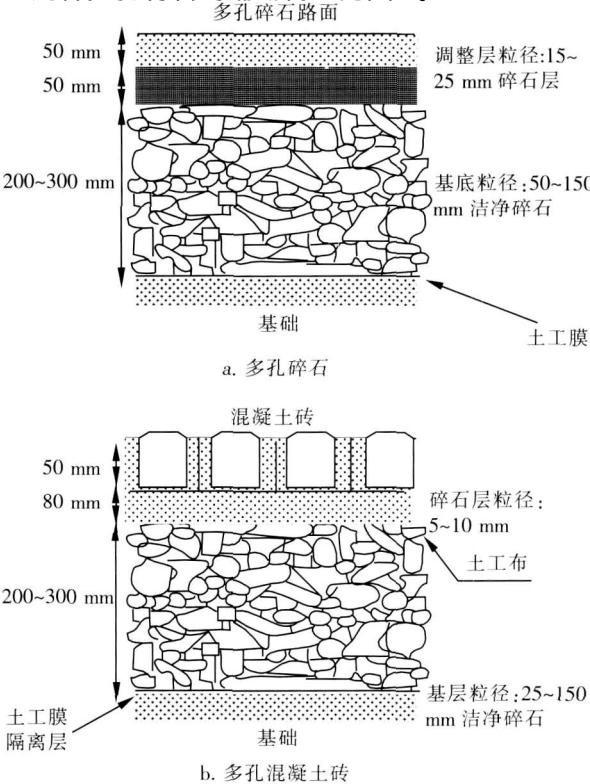
收集调蓄处理。通过建设雨水调蓄设施和利用管道系统自身的调蓄容量,将雨水进行收集,待雨季过后进入污水处理厂处理。

加强维护管理。初期雨水处理设施的维护具有特殊性,加强对初期雨水处理设施的维护管理,是上述设施发挥效果的重要保证。

2.1 源头减量和就地处理

多孔材料铺砌(植被入渗系统)

几种多孔材料的铺砌构造见图 1。



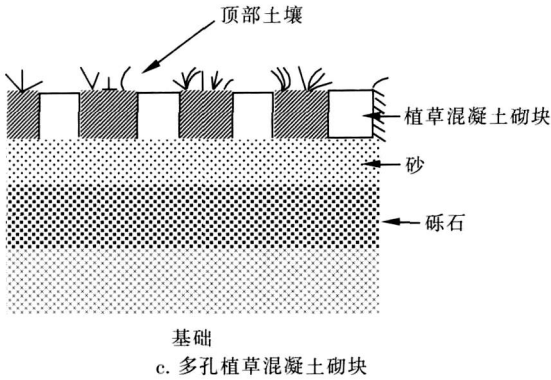


图 1 几种多孔材料的铺砌构造

Fig 1 Structure of some porous materials

采用工程措施,结合城区建设,将部分区域的地面覆盖进行改变,采用多孔材料替换完全硬化的地面(如停车场、球场地面及周边区域),增加入渗量,减少径流量。降雨通过多孔铺砌材料入渗到表层土壤或进入储水池并逐步下渗。这些材料包括植草混凝土、多孔混凝土砌块等,入渗系数为 0.2~1 mm/s。现场检测结果表明,通过入渗可去除 80% 的 SS、60% 的 TP 和 80% 的 TN 以及重金属,径流量可减少 80%。

植草排水沟

此技术多用于路边,目的在于增加入渗量,减少径流,具体照片如图 2 所示。

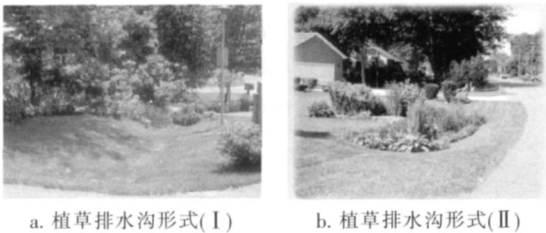


图 2 植草排水沟的实景照片

Fig 2 Photos of plant drainage ditch

屋顶植草

屋顶植草可调节峰值流量,降低夏季楼顶温度。

地下控制

a 干井入渗系统,用砖砌、混凝土浇筑或用砾石填充(空隙率  $\geq 30\%$ ),将雨水导入井内逐步下渗。要求井周边土壤渗透系数  $\geq 12.5\text{ mm/h}$ 。一般用于收集建筑物屋顶落水管的雨水。具有刚性衬里的渗水坑构造见图 3。

b 入渗沟系统,在普通沟渠内填充砾石,收集雨水进入快速下渗,可去除 90% 的 SS、60% 的 TN 和

TP、90% 的大肠菌。入渗沟系统的构造见图 4。

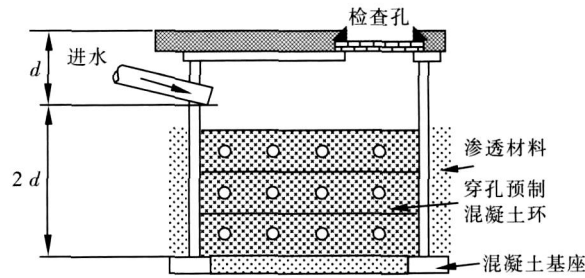


图 3 具有刚性衬里的渗水坑

Fig 3 Structure of soakaway with a rigid lining

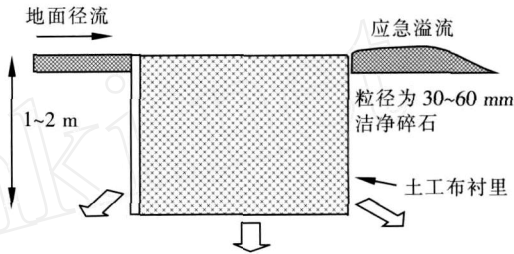


图 4 入渗沟系统的构造

Fig 4 Structure of infiltration trench

2.2 收集调蓄处理

雨水调蓄可以在线或离线进行,并通过调节装置均匀出水。降雨期间雨水暂时储存在调蓄设施内,之后逐步排入水体、雨水管道,未降雨期间完全或部分排放。主要用于调节峰值流量,减少下游洪水流量,保护输水渠安全,同时兼有部分水质处理功能。初期雨水处理效果见表 5。

表 5 初期雨水处理效果

Tab 5 Treatment effects of rain runoff %

| 处理方法        | 污染物去除率 |        |       |        |        |
|-------------|--------|--------|-------|--------|--------|
|             | SS     | N      | P     | 致病菌    | 重金属    |
| 储存调节池(旱季放空) | 30~60  | 15~45  | 15~45 | <30    | 15~45  |
| 截流处置池       | 50~80  | 30~65  | 30~65 | <30    | 50~80  |
| 人工湿地        | 50~80  | <30    | 15~45 | <30    | 50~80  |
| 渗透池         | 50~80  | 50~80  | 50~80 | 65~100 | 50~80  |
| 渗透井、渠       | 50~80  | 50~80  | 15~45 | 65~100 | 50~80  |
| 多孔路面铺装      | 65~100 | 65~100 | 30~65 | 65~100 | 65~100 |
| 植草凹地        | 30~65  | 15~45  | 15~45 | <30    | 15~45  |
| 植被过滤        | 50~80  | 50~80  | 50~80 | <30    | 30~60  |
| 砂滤          | 50~80  | <30    | 50~80 | <30    | 50~80  |
| 其他材料过滤      | 65~100 | 15~45  | <30   | <30    | 50~80  |

2.3 系统的维护管理

应定期对汇水区域进行清理。主要包括:街道和停车场是地面径流及其污染物的主要来源,晴天

加强这些区域的清扫,可以减少径流污染量;通常每 2~3 年应进行一次处理设施的维护,清除沉积物;人工湿地、草皮过滤带、植草凹地等设施的植被应经常进行维护,以确保系统正常。

### 3 多湖泊城市初期雨水处理方法

#### 河道末端集中储存处置

在武汉市东湖面源污染控制技术研究中发现,在河道末端收集雨水进行处理有以下问题:雨水经过各区域的雨水口收集输送,进入河道末端时,由于流经时间不同,各段初期雨水混合稀释后污染物浓度明显降低,并且从整个降雨历时过程检测数据来看,浓度变化不大,说明初期雨水进入河道后从水质而言已不是初期雨水了。要想将其截流储存,则是将整个降雨历时的河水流量进行储存,显然是不现实的。况且收集后的雨水平均污染物浓度低,采用常规方法难以处理。

#### 人工湿地

采用人工湿地方法处理低浓度污水具有较好的效果。与环湖生态建设系统相适应,建设一批人工湿地对进入湖泊的排水进行把关是适宜的。例如昆明市在某河道出口处建设了一座人工湿地处理河渠污水,工程规模为  $2\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,占地约为  $16.7\text{ hm}^2$ ,投资为 300 万元,处理效果稳定。

#### 就地处理与集中处理相结合

根据国内外的经验,在初期雨水产生阶段即进行径流减量、过滤处理的方法较为有效。结合城市改造和新区建设,适当减少硬化路面面积,加强绿

化,增加入渗量,减小径流系数,减少径流量从而减少排入水体的污染量。

通过规划和工程实施,增加区域内的可入渗绿地面积,配合停车场、球场、小区绿地建设,河道整治、岸边绿化及其配套雨水口,实施地面径流削减措施,若使区域平均径流系数由 0.8 减少到 0.5 或更低,则可以减少区域的地面径流近 40%,并延缓最大径流产生的时间。

### 4 结论

国内外对初期雨水的水质检测表明,初期雨水含有大量的各类污染物,直接排放对受纳水体具有潜在的污染威胁。

国外广为采用的改变地面径流条件、实现源头减量、就地生态处理的方法值得借鉴。

### 参考文献:

- [1] GB 50400—2006,建筑与小区雨水利用工程技术规范[S].
- [2] Butler D, Parkinson J. Towards sustainable urban drainage[J]. Water Sci Technol, 1997, 35 (9): 53 - 63.
- [3] Beck M B, Chen J, Saul A J, et al Urban drainage in the 21st century: assessment of new technology on the basis of global material flows[J]. Water Sci Technol, 1994, 30 (2): 1 - 12.

电话: (027) 82412763

E-mail: dzg0202@gmail.com

收稿日期: 2008 - 12 - 30

(上接第 10 页)

且对于我国整体水环境的持久改善有着极其重要的意义。

### 参考文献:

- [1] USEPA. Clean Water State Revolving Fund Programs 2006 Annual Report[M]. US: EPA, 2006.
- [2] USEPA. Decentralized Wastewater Treatment Systems: A Program Strategy[M]. US: EPA, 2005.
- [3] USEPA. Voluntary National Guidelines for Management of Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems[M]. US: EPA, 2003.
- [4] [社団法人]日本浄化槽システム協会. 平成 19 年度版浄化槽普及促進ハンドブック[M]. 日本: 日本浄

化槽システム協会, 2007.

- [5] 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会浄化槽専門委員会. 今後の浄化槽のあり方に関する浄化槽ビジョンについて[M]. 日本: 中央環境審議会, 2007.
- [6] 環境省廃棄物・リサイクル対策部浄化槽推進室. 第三回世界水フォーラム浄化槽分科会要旨集[M]. 日本: 日本環境省, 2003.

电话: (010) 62849180

E-mail: fanbin@rcees.ac.cn

收稿日期: 2008 - 12 - 11