城市初期雨水的处理技术路线初探

文 / 邓志光，吴宗义（中国市政工程中南设计研究院 430010）

摘要：分流制排水系统的初期雨水携带有相当的浓度污染物质，其排入水体产生污染的问题正在引起排水界的关注。综合我院在武汉东湖外源污染防治国家科技攻关项目的成果和国内外处理初期雨水的经验，提出初期雨水处理的解决途径：①源头减量，就地处理；②收集调蓄处理；③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。

一、背景

初期雨水系指在降雨形成地面径流开始，前二分之一英寸（12.5mm）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，其周边水体的污染情况改善不是十分明显，而且对于那些封闭型水体的污染情况就更为严重。

1991-1995年，我院完成了国家“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的地面径流的特点和处理方法进行了深入研究。研究结果表明，初期雨水中含有BOD、SS、TN、TP、重金属等污染物（见表1）。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）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。这些污染物主要来源有大气沉降、地面垃圾堆积、车辆排放以及地面冲刷侵蚀（见表2，表3）。

美国国家环保局（EPA）根据全美600座城市的雨水监测分析结果，得出的单位面积污染物产生量见表4。

二、初期雨水的处理

1、国内外主要处理方法简介

目前国外对初期雨水的污染问题十分重视，在美国和欧洲，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。我院在武汉东湖面源污染控制研究中试验采用植草凹地或坡地等方法截留处理初期雨水取得明显效果，其中径流量减少50-70%，TN和TP的去除率在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：

① 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；

② 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。

③ 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。

1）源头减量和就地处理

A、多孔材料铺砌（植被入渗系统）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1 武汉市雨水污染物检测结果

检测项目	COD	BOD	SS	TN	TP
数值(mg/l)	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（kg/ha•a）	52.5	25.3	117.8	31.1	2.66

表2 美国雨水水质统计资料资料

检测项目(mg/l)	BOD	SS	大肠菌
雨水径流	0.41-370	0.5-4800	1-5,230,000
合流制污水	4-699	4-4420	1100-1,645,000
原污水	88-451	118-487	106-109

表3 地面径流污染物浓度与城市污水厂进水水质比较(mg/l)

污染物	地面径流		城市生活污水	
	分流制下水道系统		未处理	
	范围	典型值	范围	典型值
COD	200-275	75	250-1000	500
TSS	20-2890	150	100-350	200
TP	0.2-4.3	0.36	4-15	8
TN	0.4-20	2	20-85	40
铅	0.01-1.2	0.18	0.02-0.94	0.1
铜	0.01-0.4	0.05	0.03-0.19	0.22
锌	0.01-2.9	0.02	0.02-7.68	0.28
大肠菌	400-50000		106-108	

表4 单位面积径流产生污染物量（kg/ha. a）

地面分类	TSS	TP	TN	BOD	COD	Pb
商业	1121.0	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

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，采用多孔材料替换对完全硬化的地面（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0.2-1mm/s。几种简单实用的铺砌材料见插图。实际检测结果表明，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%。

图1表示了几种多孔材料的铺砌构造。

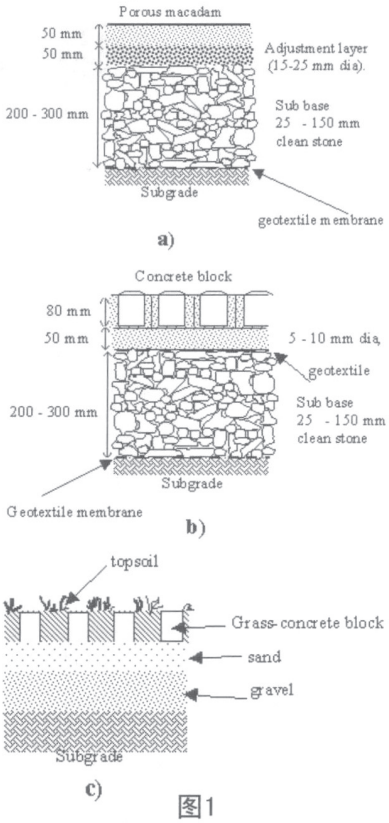

图1

B、植草排水沟

此技术多用于道路路边，目的在于增加入渗量，减少径流。

C、屋顶植草

调节峰值流量，降低夏季楼顶温度。

D、地下控制

干井入渗系统，用砖砌、混凝土浇筑或用砾石填充（空隙率≥30%），将雨水导入井内逐步下渗。要求井周边土壤渗透系数≥12.5mm/hr。一般用于收集建筑物屋顶落水管的雨水，见图2。

• 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。

2）收集调蓄处理

调蓄可以在线或离线，并通过调节装置均匀出水。暂时储存

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

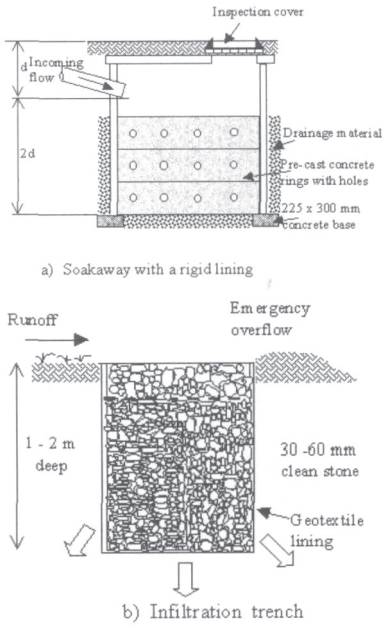

图2

设施，之后逐步排入水体、雨水管道，未降雨期间完全或部分排放。主要用于峰值流量调节，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。

3）上述系统的维护管理

应定期对汇水区域进行清理。

街道和停车场（特别是雨水口）清扫；街道和停车场是地面径流及其污染物的主要来源，晴天加强这些区域得清扫，可以减少径流污染物量。

地面径流处理设施的维护，通常每2-3年应进行一次处理设施的维护，清除沉积物。

植被维护，人工湿地、草皮过滤带，植草凹地等设施的植被应进行经常维护，以确保系统正常。

2、多湖泊城市初期雨水处理方法选择

1）河道末端集中储存处置方法

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，由于流经的时间不同，各段初期雨水混合稀释后水中污染物浓度明显降低，并且从整个降雨历时过程检测，浓度变化不大，说明初期雨水进入河道后从水质而言就不是初期雨水了。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，常规方法难以处理。

2）集中人工湿地方法

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。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，工程处理规模2000m^3/d，占地250亩，投资300万元，处理效果稳定。

3）分散与集中相结合的方法

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物量。

通过规划和工程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，使得主城区平均径流系数由0.7减少到0.60，可以减少区域的地面径流15%。

3、处理效果分析

某市主城区（扣除中心区）的面积为596.7km^2，规划建城区区域面积220km^2，地面径流流量为1.16亿m^3/a，雨水携带各种污染物总量为：BOD=293t/a，COD=1742 t/a，TSS=4076t/a，TN=139t/a，TP=21t/a。按照分散与集中相结合的处理方法，估算每年可减少排入湖泊的污染物量如表6所示。

表5　初期雨水处理效果一览表

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

表6　初期雨水截留、处理去除效果

	BOD	COD	TSS	TN	TP
地面径流携带量（t/a）	293	1742	4076.3	139.4	20.9
截留、处理去除量（t/a）	99.4	603.1	1432.4	45.4	5.8
去除率（%）	33.9	34.6	35.1	32.6	27.9

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net