

城市初期雨水径流治理现状及对策

蒋海涛¹, 丁丹丹², 韩润平²

(1. 长江流域水资源保护局上海局, 上海 200120; 2. 郑州大学化学系, 河南 郑州 450052)

摘要 针对目前国内的城市初期雨水处理状况, 结合国内外先进的雨水处理技术, 分别提出了城市生产生活区域如工业区、居民小区、机动车道等不同初期雨水的处理和利用对策, 更大限度地利用雨水资源。

关键词 初期雨水 径流 水污染 雨水利用 城市

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2009)03-0033-04

Countermeasures and present conditions for managing urban initial rainwater runoff

JIANG Hai-tao¹, DING Dan-dan², HAN Run-ping²

(1. Shanghai Branch, Yangtze River Basin Water Resource Protection Bureau, Shanghai 200120, China; 2. Department of Chemistry, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract Storm water runoff pollution caused by initial rainwater has become an important factor in water pollution in cities. In terms of the present incomplete treatment status, combined with advanced processing technology at home and abroad, different processing and utilization schemes of initial rainwater in the city's residential quarter (for example, industrial districts, residential areas and roads for motor vehicles) are proposed to make full use of rainwater resources.

Key words initial rainwater; runoff; water pollution; rainwater utilization; city

随着城市化进程的不断深入, 我国城市中的道路、桥梁、建筑物等不可渗透表面也随之高速增长, 导致原本可以渗透到土壤中的雨水现在只能在不可渗透的表面进行冲刷。降雨经过淋洗大气, 冲刷路面、城市建筑物、城市废弃物进入地表水和地下水, 加重城市水源的污染, 从而影响水资源的可持续利用, 加剧水资源短缺的危机。

雨水径流属于非点源污染, 具有较大的随机性、偶然性和广泛性。污染负荷时空变化幅度大, 研究、控制和处理的难度也大。由雨水径流所引起的非点源污染已成为城市水环境污染的重要因素之一。1990 年美国关于水体污染的调查表明, 约 30% 地表水体的污染物超标是由非点源污染造成的, 在已实现污水二级处理的城市, 水体 BOD₅ 年负荷中的 40% ~ 80% 来自雨水径流。我国雨水径流引起的污染问题也很严重。滇池流域的大青河暴雨期悬浮物浓度比平时均值高 22 倍, 宝象河暴雨期最大悬浮物

浓度是非暴雨期的 106 倍^[1]。雨水径流携带大量污染物排入城市水系也造成严重污染。据初步保守估算, 城区雨水径流污染占水体污染负荷的比例, 目前在北京和上海约占 10% 左右。到 2010 年后, 城市雨水径流污染负荷比例北京将上升到 12% 以上, 上海将上升至 20% 左右。南水北调东线工程南四湖流域的非点源污染, 其 COD 和 BOD₅ 负荷占总负荷的 15%, 而其氮、磷负荷则占总负荷的 49%^[2]。

1 城市初期雨水径流污染特性及其收集处理的必要性

随着城市地面污染的加剧, 雨水径流污染愈加严重。沥青油毡屋面、沥青混凝土道路、融雪剂、农药、杀虫剂的使用均能使径流的雨水中含有大量的有机物、病原体、重金属、油等污染物, 雨水的污染程度不容小觑。尤其是污染最为严重的初期雨水径流, 降雨径流中所携带污染物几乎都集中在初期几毫米雨水

中,其污染负荷远高于中后期雨水,若这部分径流直接排放,则会给地表水造成巨大污染。

表 1 和表 2 分别为北京城区 1998 ~ 2003 年不同月份屋面和路面雨水径流的部分污染物监测结果^[3]。

监测项目	雨水初期			雨水中期		
	平均值/(mg·L ⁻¹)		变化系数	平均值/(mg·L ⁻¹)		变化系数
	沥青油毡屋面	瓦屋面		沥青油毡屋面	瓦屋面	
COD	700	200	0.5 ~ 4	328	123	0.5 ~ 2.0
SS	800	800	0.5 ~ 3	136	136	0.5 ~ 2.0
阴离子表面活性剂	3.93		0.5 ~ 2			
Pb	0.69	0.23	0.5 ~ 2	0.09	0.08	0.5 ~ 1.0
Zn	1.36	1.70	0.5 ~ 2	0.93	1.11	0.5 ~ 1.0
酚	0.05		0.5 ~ 2			
石油类	8.03		0.4 ~ 2			
TP	4.10		0.8 ~ 1	0.94		0.8 ~ 1.0
TN	9.80		0.8 ~ 4	9.80		0.8 ~ 1.5

监测项目	雨水初期		雨水中期	
	平均值/(mg·L ⁻¹)	变化系数	平均值/(mg·L ⁻¹)	变化系数
COD	1220	0.5 ~ 3	582	0.5 ~ 2.0
SS	1934	0.5 ~ 3	734	0.5 ~ 2.0
阴离子表面活性剂	3.50	0.5 ~ 2		
NH ₄ -N	7.90	0.8 ~ 1.5	2.40	0.5 ~ 1.5
Pb	0.30	0.2 ~ 2	0.10	0.5 ~ 2.0
Zn	1.76	0.5 ~ 2	1.23	0.5 ~ 2.0
酚	0.06	0.5 ~ 2		
石油类	65.30	0.1 ~ 2		
TP	5.60	0.5 ~ 2	1.74	0.5 ~ 2.0
TN	13.00	0.5 ~ 5	11.20	0.5 ~ 2.0

城区屋面、道路雨水径流污染与城市其他区域的面源污染特点一样,径流量随着降雨强度的变化而呈现快速正比变化,在降雨初期,随着地表径流的产生及不断增大,径流中的污染物浓度快速增高。至地表径流开始急剧增大时,污染物浓度达到最大值,径流接近或达到最大值时,污染物浓度开始或者已经显著下降。这一特性说明对城市初期地表径流进行处理是十分必要的。

2 城市初期雨水径流污染治理现状

城市雨水径流环境污染问题的研究始于 20 世纪 70 年代初期的美国,并于 80 年代初成立了国际雨水集流利用系统协会(IWRA)。法国、德国、澳大利亚和日本等发达国家也根据本国雨水径流的实际情况开展了相关研究。例如,美国在芝加哥市兴建了地下隧道蓄水系统,以解决城市防洪和雨水利用问题,英国伦敦泰晤士河水公司设计了世纪圆顶示

范工程,在该建筑物内每天回收 500 m³ 水,用以冲洗该建筑物内的厕所,其中的 100 m³ 为从屋顶收集的雨水,日本将滞洪和储蓄雨水的蓄洪池建在地下,充分利用地下空间,对于地上的调洪池也可在雨季蓄洪,平时用作运动场。我国在 20 世纪 80 年代初期在北京开展了对城市雨水径流非点源污染的研究,此后在其他大城市也相继开展,其中比较典型的是山东长岛县、大连獐子岛和浙江舟山市葫芦岛等雨水集流资源化工程。对北京市、西安市路面雨水径流的研究表明,城区雨水径流污染严重,主要为有机物污染和悬浮固体污染,降雨初期路面径流 COD 质量浓度在 143 ~ 835 mg/L 之间,SS 质量浓度在 242 ~ 1306 mg/L 之间,受污染程度均超过城市生活污水^[4]。目前,北京城市中心区河、湖点源污染已基本得到控制,但中心区的河、湖水水质仍未达到水域功能标准要求,水体富营养化严重,并且丰水初期水质明显比枯水期水质差,主要原因是现在污水截留管线大多没有考虑初期雨水,使初期雨水仍直接排入河道。

3 城市雨水初期地表径流污染治理对策

我国对雨水初期地表径流的收集处理还处于初级阶段,由于国内目前并没有完善的初期雨水收集设施,导致初期雨水往往直接排入地表水体,给水环境造成了一定程度的污染。据调查,不同区域其初期地表径流中含有的污染物不同,有固体废物碎屑(城市垃圾、动物粪便、城市建筑施工场地堆积物)、化学药品(草坪施用的化肥农药)、空气沉降物和车辆排放物等。

城市雨水初期地表径流的治理应根据所含污染物的不同采取相应的措施。例如,屋面雨水初期径流水质较差,这主要是屋面材料分解和大气污染的原因,专家认为,屋顶的设计及材料选择是控制屋面雨水径流水质的有效手段。对来自屋面的雨水,初期采用适当弃流后,稍加处理或不经处理即可直接用于冲洗厕所、灌溉绿地或营造水景观等,石油化工等工业区雨水初期径流污染较为严重,甚至含有有毒有害物质,应考虑更有效的处理方式。路面雨水由于随机性较大且情况复杂,也需要寻找一种更为全面的治理方案^[5]。因此,对初期雨水的处理应该分具体情况而定,针对不同区域制定不同的初期雨水处理利用方式,更大限度地利用雨水资源。

3.1 工业区初期雨水地表径流污染特征及治理对策
在采油、炼油及石油化工企业中,装置区内生产设备不同程度地存在跑、冒、滴、漏现象,经雨水冲刷形成含有油、苯、芳烃、苯酚、有机氯化物、酸碱等不同污染物的地表污染径流,若这部分雨水不经任何处理直接排放到雨水系统中,将会造成地表水、地下

水的严重污染,若将装置区内的雨水全部排放到污水处理厂,则会大大增加污水处理厂的运营成本。因此,需对这部分污染较严重降雨期地表径流进行收集并送往污水处理厂进行单独处理。

目前降雨初期污染雨水、后期清洁雨水切换主要采用自动切换装置,即根据当地 10 min 最大降雨深度乘以装置区污染面积得出初期污染雨水量,以此作为调节池的有效容积^[6]。在调节池上方设计溢流管,通过溢流管将后期雨水排入雨水管线,实现初期雨水、后期雨水的自动切换。

该设计根据雨水径流的冲刷规律合理确定弃流量。优点是可以准确地按设计要求控制初期雨水量,减少了污水处理厂的处理水量。缺点是暴雨情况下或初期雨水池水满以后初期雨水易随后期雨水冲入清洁雨水管线中,且汇水面积较大时收集效率不高。

针对这两个缺点,可分别采用优先流法弃流池和截留式分流制排水系统。优先流法弃流池就是在溢流管下方设计一悬浮小球,当初雨池收集满以后小球即把溢流管堵住,不影响后期清洁雨水收集。

截流式分流制排水系统(图 1)即在雨水截流干管上每隔一定距离设截留井,截留井内同时埋设连接下游雨水井和下游污水井的管道,两管道呈 90°铺设,管道之间设置可水平移动的隔板。由于降雨过程和径流过程均表现出初期水质差、时间短且流量小的特点,故初期小流量雨水由于动能不足不能越过隔板而是首先通过下游污水管排走,中后期大流量雨水则跳越隔板随下游雨水管进入雨水收集系统或水体。隔板可根据季节调节位置。该法唯一的缺点是在降雨强度较小而降雨量很大的情况下可能会使弃流量增大,即雨水绝大部分由下游污水管道排走,加大污水处理厂的负担。该法不仅适用于初期地表径流污染较为严重的石油化工等工业区,对于码头、电厂等可计算出初期污染雨水量的工业区也

适用,针对不同行业性质及不同地区的降水情况可在此基础上设计相应的收集设备。

3.2 城市小区初期雨水污染特征及治理对策

城市雨水利用技术已经有很长的发展历史,然而对屋面雨水回用技术方面研究的较少,一般认为采用过滤和消毒处理后可以回用^[7]。但是对于屋面初期雨水,有资料表明,在长期没有下雨后的屋面,其初期雨水的 COD 质量浓度可达 3 000 mg/L。日本在屋顶修建了雨水浇灌的‘空中花园’^[8],利用屋顶花坛中土壤较强的净化水体能力对雨水进行预处理,在减少城市地表径流污染的同时,吸收了城市噪音,增加了城市的绿地面积,还能够降低城市的热岛效应。为了确保屋顶花园不漏水 and 屋顶下水道通畅,可以考虑在屋顶花园的种植区和水体中增加 1 道防水和排水措施。屋顶花园系统可使屋面径流系数减少到 0.3,有效地削减了雨水流失量,可同时改善小区的生态环境。

对于新建小区雨水处理可采用 2 个系统相互连接来完成 ①雨水收集处理系统 ②雨水喷灌处理系统。雨水收集处理系统包括:屋面雨水收集处理系统,由初期径流弃流井、渗滤管、渗滤沟等组成;路面雨水收集处理系统,由初沉井、封闭式过滤沟等组成。雨水喷灌处理系统包括:沉淀/储水双井、小型水泵、绿地与喷灌系统等。

屋面雨水经过雨水管流到初期径流弃流井内,满足初期弃流要求后的雨水旁路进入渗滤管,再流到渗滤沟中,经过沉淀过滤后流入沉淀/储水双井中的沉淀池。路面雨水通过路边窖井连接的初沉井、封闭式过滤沟沉淀过滤后进入沉淀/储水双井。收集处理系统过滤后的雨水先进入沉淀/储水双井中的沉淀井,再次沉淀处理后通过井中部的透水墙进入储水井,此时开启储水井中的潜水泵,经过喷管系统把雨水喷在绿地上,利用绿地易渗滤构造层含水,同时利用土壤中微生物的分解作用和植物根系的吸收去除污染物,直到进入储水井的雨水全部被处理,洁净后的雨水通过渗滤补充包气带中土壤水。晴天时,利用储水井连接的喷管系统,抽取包气带中土壤水对绿地进行养护或其他方式回用。

对于已建成的老住宅小区,由于集雨工程需进行大量挖掘改造,经济上不合理,可从控制屋面和地面的污染状况来减少小区雨水的污染程度,如经常清扫街道、减少垃圾堆放、控制小区交通量、提高植被覆盖率、扩大透水面积等。

城市小区的雨水污染主要是由屋面污染和地面污染造成的,控制好屋面和地面的污染状况可大幅度减轻小区雨水的污染程度。在条件允许的情况

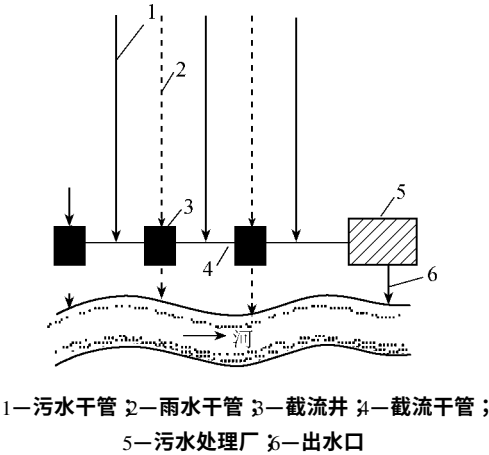


图 1 截流式分流制排水系统

下,小区内的人行道、非重型车道、停车场、室外休闲场所等都应采取碎石、草坪、透水性混凝土等透水性地面,也可在空地或花坛下设置地下蓄水池,下雨时收集雨水,天晴时用于水景喷泉、浇灌花草和洗车等,既控制了雨水、改善了环境,又节约了水资源。这种方法还适用于机关大院、各类开发区等。

3.3 机动车道初期雨水地表径流污染特征及防治对策

城市道路路面径流排水对地表水体的污染研究开始于 20 世纪 70 年代的美国,随后在西方国家普遍受到重视。研究降雨径流对污染物的冲刷、输送和聚集,国外已经建立了一些模型,如城市暴雨管理模型(SWMM)、通用土壤流失方程(USLE)、储存处理与溢流模型(STORM)、流域非点源污染模拟模型(ANSWERS)等,有统计模型和机理模型,以及由子模型构成的框架模型。而在中国,关于路面径流污染控制方面的研究开展的相对较少,因此,开展城市道路路面径流污染控制方面的研究尤为必要。

Kobringer 等的研究指出,SS 是公路路面径流最主要的污染物,其主要来源是轮胎磨损颗粒、建筑材料磨损颗粒、运输物品的泄漏、刹车连接装置产生的颗粒及其他与车辆运行有关的颗粒物、大气降尘及除冰剂等^[9-10]。另外,由于车辆交通、路面材质等状况,其废弃物如重金属、石油酚等对机动车道雨水中生物有抑制作用,赵剑强等^[11]等对西安市南二环路雨天的路面径流排水水质进行连续采样分析后得出,初期径流污染浓度较高,随降雨历时浓度下降,但 SS 平均质量浓度值大于 GB 8978—1996《污水综合排放标准》3 级,COD 及 BOD₅ 平均质量浓度值大于该标准 2 级,在道路雨水中检测出的 BOD₅:COD 约为 1:10~1:6,而通常认为此比值小于 0.2 时污水将不可生化。

机动车道雨水水质取决于道路路面污染物的累积量,同时还直接受到降雨强度、降雨历时、累计降雨量、路面清扫、雨天交通等状况的影响和制约。目前,我国对机动车道的初期雨水处理尚无较好的方案,现有道路两旁的雨水口大多只具备收集和输送雨水的功能,未将初期污染径流和后期清洁雨水分开来,统一由道路两侧的排水口进入市政雨水管道系统集中排放,在未设置市政雨水管道系统的机动车道,路面降雨径流将漫流到路面两侧的下洼地面。

根据机动车道雨水水质的特点,本文建议对现有的雨水口进行改造,使用截留式雨水口,采用跳越堰形式,并在截留管末端多个雨水口共设 1 个蓄水

池。这样降雨初期路面径流被截留至初期雨水调蓄池,经隔油、沉淀后雨水被再次利用,浮渣、油及沉淀污泥定期清理外运。

4 结 语

在水资源日益匮乏的今天,控制雨水污染、更最大限度地实现雨水资源化,可缓解城乡供水不足的矛盾,并有助于缓解水体污染,具有显著的社会、环境和经济效益。德国在 ATV 规范框架下,已作出雨水携带的污染负荷对水体影响的评价,根据评价结果,可以分析应该如何布置雨水处理设施或提出改进雨水处理设施的建议。我国现阶段对雨水的收集处理还没有较系统的污染负荷评价方式,对雨水的收集也未根据水质而分类处理。因此,学习引进国外先进的经验技术,对我国雨水收集处理技术的发展是相当必要的。

参考文献:

- [1] 杨具瑞,方泽.湖泊暴雨径流水质模拟研究[J].环境科学学报,1999,19(1):37-41.
- [2] WANG Lin, LIU Yan-ping, WANG Bao-zhen. Water basin management for Nansihu, Shandong [J]. AQUA, 2004, 53 (1): 17-28.
- [3] 车伍,刘燕,李俊奇.国内外城市雨水水质及污染控制[J].给水排水,2003,29(10):38-42.
- [4] CHE Wu, LIU Yan, LI Jun-qi. Flush model of runoff on urban non-point source pollutants and analysis [C]. Water and Environmental Management Series, London: IWA Publishing, 2003.
- [5] 李俊奇,车伍.城市雨水问题与可持续发展对策[J].城市环境与城市生态,2005,18(4):5-8.
- [6] 崔海云.初期污染雨水、后期清净水自然切换设计[J].化工给排水设计,1998(2):18-20.
- [7] MIKKELSEN P S. Collected rainfall as a water source in Danish households-What is the potential and what are the costs [J]. Water Sci Technol, 1999, 39(5):49-56.
- [8] TAKAHASHI M. Guidelines for environmental enhancement in Japan [J]. Water Sci Technol, 1991, 24(9):133-142.
- [9] 全新峰,张克峰,李秀芝.国内外城市雨水利用现状及趋势[J].能源与环境,2006(1):19-21.
- [10] DRAPPER D, TOMLINSON R, WILLIAMS P. Pollutant concentrations in road runoff: southeast queensland case study [J]. J Environ Eng, 1999, 126(4):313-320.
- [11] 赵剑强,邱艳华.公路路面径流水污染与控制技术探讨[J].长安大学学报(建筑与环境科学版),2004,21(3):51-53.

(收稿日期 2008-02-10 编辑 高渭文)