

城市雨水处理研究现状与进展

陈思光, 王劲松*, 周志武, 彭瑞婷

(南华大学 城市建设学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 我国的快速城市化造成了城市水资源的一系列问题, 地下水的过度开采已引起民众的高度关注. 由雨水的特性, 引入雨水处理和利用的概念及其重要性. 综述国内外雨水利用现状以及雨水处理的理论和实用技术研究现状. 通过数据展示中国雨水处理的发展现状, 并对今后中国的雨水处理工作提出合理化建议.

关键词: 城市雨水资源; 城市水环境; 雨水水质; 城市雨水处理

中图分类号: TV 213 9 **文献标识码:** A

The Present Situation and Progress of Urban Rainwater Treatment

CHEN Si-guang WANG Jin-song*, ZHOU Zhi-wu, PENG Rui-ting

(School of Urban Construction, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract Rapid urbanization of our city caused a series of water questions. Over-exploitation of the groundwater has aroused public's high concern. By the characteristics of rainfall, we introduced the concept of rainwater treatment and discussed its importance. The status quo of the rainwater exploitation and the theory and practical technology research on the rainwater treatment at home and abroad were reviewed. Through the data, we revealed the development of China's current rainwater treatment situation, and make some reasonable suggestions to China's future rainwater treatment.

Key words urban rainwater resources; urban water environmental system; rainwater quality; urban rainwater treatment

中国的快速城市化产生了一系列水问题. 一方面, 由于人口和经济活动的集中, 城市的建筑面积不断扩大, 不透水地面面积增加, 从而使雨水下渗成为土壤水、地下水的机会大大减少, 绝大部分雨水都直接汇集成为地表径流, 在地势低洼处滞

留或经人工兴建的排水管道进入河流、湖泊^[1]. 由于降水淋洗大气污染物及其对地表污染物的冲刷, 雨水径流会携带大量的 COD、BOD 及 N、P 等非点源污染物, 成为城市水体的潜在威胁. 另外城市的暴雨径流产生的洪涝灾害也不容忽视. 另一

收稿日期: 2010- 07- 06

基金项目: 湖南省科技厅计划基金资助项目 (2008FJ3087); 湖南省安全生产监督局基金资助项目 (HN08- 03)

作者简介: 陈思光 (1984-), 男, 安徽宿州人, 南华大学城市建设学院硕士研究生. 主要研究方向: 水处理理论与技术. * 通讯作者.

方面,城市淡水资源匮乏,迫切需要寻找新的供水水源.水资源紧缺已成为限制我国经济社会又好又快发展的重大问题.据水利部 1997 年的统计,在全国的 600 多个城市中,有 333 个城市供水不足,严重缺水的城市有 110 多个,专家预测,到 2030 年和 2050 年,我国城市需水量将分别达到 $1.73 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $2.07 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{a}$ 因此,寻找新的供水水源就成了迫在眉睫的问题.作为大自然赐予我们的一种天然资源,我国的雨水资源丰富,年降水量达 $6.19 \times 10^{11} \text{ m}^3$. 雨水中污染物含量较少,溶解氧接近饱和,钙含量低,总硬度小,经过简单处理就可用于生活杂用水、工业用水^[2]. 城市雨水处理利用具有减小城市雨水径流量、削减洪峰量、增加城市生态水源补给量、美化城市环境、改善小气候、回补地下水、减缓地面沉降等作用,其价值在近几十年来得到越来越多的国家的认可.世界发达国家雨水处理与资源化利用已有几十年的历史,它们采取了很多有效措施、因地制宜的进行雨水综合利用.而一些集水新技术和新材料也不断被采用^[3].中国在近年来对这一问题也加大了应对力度.我们应加倍珍惜雨水资源,借鉴发达国家的经验,合理、充分地雨水资源加以处理利用,减少雨水危害,建立和健全完善的雨水资源利用的实用技术、行业标准和管理条例.

1 城市雨水利用现状

1.1 国外城市雨水利用现状

20 世纪 70 年代美国就通过国会批准的专项资金开始了对城市雨水径流污染控制的研究,以寻求城市污染物的控制方案.80 年代开发出科学管理城市雨水资源和控制雨水径流污染的技术与非技术体系及雨水处理技术和措施.美国雨水处理的特点就是以提高入渗能力为目的,建立城市屋顶蓄水和入渗池、井等地表回灌系统.借助栽种多种植物,在营造自然优美的街道景观的同时,形成一个生态处理系统.融雨水收集、滞留、渗透、净化等功能于一体.20 世纪 80、90 年代德国已基本实现了对城市雨水的污染控制.德国雨污控制的重点是源头污染控制和终端污染控制.通过修建大量的雨水池及在城市街道雨水口设置的截污挂篮来截留处理携带有污染物的雨水,并采取源头生态措施净化雨水.沿着小区的排水道设置渗透浅沟,从而使雨水得到更好的下渗.其余的雨水径流则进入雨水池或人工湿地,以供处理利用或形成水景.他们并没有采用完全的分流制系统,而是

在不同地区因地制宜的采用不同的排水方案,城市保留了约 70% 左右的合流制排水系统.在德国南部由于地形坡度较大就更多的采用了合流制排水系统.而北部多采用分流制排水系统则是由于当地地势比较平坦^[4].

丹麦 98% 以上的供水是地下水.由于一些地区的含水层已经被过度开采.为此丹麦开始寻找可替代的水源,以减少地下水的消耗.在城市地区从屋顶收集雨水,经过收集管底部的预过滤设备,进入贮水池进行存储.使用时用泵经进水口的浮筒式过滤器过滤后,用于冲洗厕所和洗衣服.从丹麦屋顶收集的最大年降雨量为 $2.29 \times 10^7 \text{ m}^3$,相当于其饮用水生产总量的 24%. 每年从屋顶收集 $6.45 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的雨水用于冲厕所和洗衣服,将占居民冲厕所和洗衣服实际用水量的 68%,相当于居民总用水量的 22%,占市政总饮用水产量的 7%.

作为在城市中开展雨水资源利用规模最大的国家,日本在 1980 年就开始推行雨水贮留渗透计划,1992 年开始城市总体规划涵盖了雨水渗沟、渗塘及透水地面的设计.同时,“微型水库”作为集景观、绿地、停车、运动、娱乐休闲为一体的多功能雨水调蓄利用设施也得到了大量的运用.目前,日本已建有 100 多座利用雨水设施的建筑物,其屋顶集水面积也达到了 $2 \times 10^5 \text{ km}^2$.

新加坡的六个集雨区包括十余个水库和蓄水池,从而可以尽可能多的收集雨水.集雨和蓄水系统非常完善,目前在商业旺区已建成了每天可均收集雨水 6×10^5 的“豪雨收集蓄水池”,2009 年新加坡的蓄水池增至 17 个,集雨水区面积也有很大的提高(约至总面积的 2/3).

1.2 国内城市雨水利用现状

雨水利用在我国虽历史久远,但主要存在于缺水的农村地区.但进入 90 年代以来,随着我国经济发展和城市化的速度加快,带来的水资源紧缺和环境与生态问题日益严重,北京、上海、大连、哈尔滨、西安等许多城市相继开展了雨水处理利用的研究与应示范.总的来讲,国内雨水处理利用主要有绿化截流雨水和修建雨水调蓄系统两种途径.绿化截流雨水就是利用城市绿地、草坪消纳雨水,从而减少洪峰流量.这不仅能降低汛期城市内涝的可能,还可大大减少了雨水的流失量,对地下水形成了很好的补充.而修建雨水调蓄系统则是利用城市建筑屋顶、庭院、道路等不透水面收集雨水,要根据当地降雨情况,综合技术、经济等各方面因素合理确定蓄水构筑物的容积来修建雨水蓄水设施.汇集

贮存城市雨水, 经过简单处理作为城市非饮用水的直接水源^[5]. 目前我国许多建筑物已建有完善的雨水收集系统, 但是没有处理和回用系统. 如上海浦东国际机场航站楼在暴雨季节收集雨量为 500 m³/h. 如果这些雨量能被有效地处理和加以利用, 比处理轻污染的生活污水更经济、简便易行. 而类似的如国际会展中心, 国际机场等, 在国内基本上都拥有完善的雨水收集系统.

2 城市雨水处理技术

根据发达国家的经验: 传统的排水体系主要存在四问题:

- 1) 雨水资源大量流失导致地下水位下降和城市生态环境恶化.
- 2) 将合流制排水系统都改为分流制并不能控制分流雨水的污染且耗资巨大.
- 3) 雨污分流的作用被雨污水管的混接抵消. 所以仅仅依赖“雨污分流”的排水系统将雨水直接排放是不能满足城市发展和生态保护的要求的, 还必须对雨水径流进行处理. 城市雨水处理技

术主要是通过合理的规划和设计, 采取工程措施将经过初雨弃流的雨水吸收和利用降雨后产生的雨水径流, 减少雨水流失量, 使径流雨水蓄积起来并作为一种可用水源. 主要包括收集、储存和净化后的直接利用; 利用各种人工或自然水体、池塘、湿地或低洼地对雨水径流实施调蓄、净化和利用^[6-7].

我国大部分由于我国城市雨水利用起步晚, 技术还较落后, 缺乏系统性, 更缺少法律法规保障体系. 因此政府的当务之急是根据我国雨水资源情况, 并借鉴国外雨水处理的经验, 尽快制定雨水处理利用的有关法规和政策, 协调城市规划设计部门, 尽快改变现有规划理念. 不再一味的讲究雨水的尽快排放, 而应将雨水当做一种重要的资源加以利用. 开展各种宣传教育工作, 提高全民的雨水利用意识, 增强对水资源的危机感和责任感, 使雨水利用深入人心. 雨水处理技术因处理目的不同可分为两类: 收集处理后利用和收集处理后减污排放.

表 1 地面径流污染物浓度与城市污水厂进水水质比较 (mg/L)

Table 1 The concentration of pollutants in surface runoff and urban wastewater treatment plant influent (mg/L)

污染物来源	COD	TSS	TN	TP	铜	铅	锌	大肠菌
径流	200~ 275	20~ 2890	0.4~ 20	0.2~ 4.3	0.01~ 0.4	0.01~ 1.2	0.01~ 2.9	400~ 50000
污水	250~ 1000	100~ 350	20~ 85	4~ 15	0.03~ 0.19	0.02~ 0.94	0.02~ 7.68	106~ 108

由于城市初期雨水洗刷地面形成严重污染, 初雨中有些污染物 (如 BOD) 的浓度与城市污水厂的进水水质相近, 而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等^[8] (见表 1). 城市初期雨水径流的水质, 特别是合流制排水系统的溢流污染相当严重, 从城市水环境保护和社会可持续发展角度看, 雨水应经过适当处理后, 再排入水体.

目前, 对于分流制系统的雨水一般不加处理. 而对于合流制管道初期雨水的控制一般采用的是初期雨水弃流装置. 常用的初雨弃流装置有优先流法弃流池、旋流分离式初雨弃流设备、切换式或小管弃流井、自动翻板式初雨分离器等, 所谓优先流法弃流池就是把定量集雨面的初期径流优先排入相应的蓄水空间, 然后流入收集系统的下游. 截留的初雨在降雨结束后排入污水管网或直接入渗, 该法简单有效, 但是当集雨面较大时需要较大的蓄水池. 旋流分离式初雨弃流设备是利用筛网

表面的张力随着浸水时间的增加而发生改变的特点, 控制初雨的弃除量及进入蓄水池的雨水量. 切换式或小管弃流井的特点是可以自动弃流, 根据流量或水质来设计切换方式, 人工或自动调节弃流量. 但在降雨强度小且降雨量大时会使弃流量加大, 使收集水量减少甚至收集不到雨水^[9-10]. 而自动翻板式初雨分离器的工作原理是利用自动翻转的翻板进行弃流, 主要安装在雨落管上, 而不需要建设弃流池. 通过使用该装置可以有效地控制每场降雨径流中的大部分污染物, 能显著地改善蓄水池中的雨水水质, 保证整个系统安全高效地运行. 研究发现通过对合流制管道雨水的处理, 可以使水体功能得到改善. 研究表明: 对于合流制排水系统, 降雨弃流装置对污染物的弃流率如表 2 所示.

对弃除初雨的径流一般采用物理化学方法进行处理, 即通过混凝设施、沉淀池、过滤设备及消毒设备等对集蓄的雨水进行处理以供利用. 采用格栅与筛网是为了去除雨水中较粗的悬浮物以减

轻后续处理负荷. 而加投混凝剂是为了使水体中胶体颗粒及微小悬浮物聚集沉淀, 这是解决雨水中泥沙和悬浮物的最适用方法. 投加混凝剂一般采用将固体溶解配成一定浓度的液体投加. 为了使混凝剂发挥效力, 沉淀池停留时间最小不应低于 2 min. 比较清洁的雨水在经过沉淀后能去除 70% 的悬浮物、40% 的有机污染物质, 可直接回用于绿地灌溉. 而污染程度较严重的雨水, 混凝沉淀

则仅能去除 70% 左右的污染物, 还需要进行过滤处理. 所以说过滤就是把前期处理后残留的悬浮物颗粒、胶体颗粒、有机物等去除, 雨水过滤池一般采用单层或双层滤池, 单层滤池滤料可采用粒径为 0.5~1.2 mm 的细砂, 滤层厚度可设为 80~120 mm. 双层滤池滤料粒径与厚度和单层滤池接近. 通过定期清理更换上层滤料的做法来达到防止滤池堵塞的目的^[11-12].

表 2 雨水截流装置截留的污染物
Table 2 Pollutants retained in rain interception device

污染物指标	SS	VSS	BOD ₅	COD
截留率 /%	58~97	48~98	52~88	10~56

除了物化方法, 生物方法也被用来处理雨水. 它是利用自然界的微生物和动植物对集蓄后的雨水进行处理, 利用自然净化处理后的雨水可排入水体或用于补充地下水. 近年来也出现了将物化法与生物法相结合的处理方法, 也就是建立雨水深度处理系统, 这样处理效果更好.

3 结语

随着城市化进程的日益加快, 城市用水及水污染问题日趋严峻. 城市雨水处理是解决水资源短缺、减少城市洪涝灾害的有效途径, 同时城市雨水径流污染控制也可以改善城市生态环境. 城市雨水处理应坚持因地制宜, 择优选用, 兼顾经济、环境和社会效益的原则, 从而解决城市化进程中的水问题, 使城市又好又快的可持续发展.

参考文献:

[1] 廖日红, 顾斌杰, 丁跃元, 等. 城市雨水处理工艺与技术 [J]. 北京水务, 2006(4): 46-48
[2] 王琳, 杨鲁豫, 王宝贞. 城市水资源短缺与雨水收集利用 [J]. 给水排水, 2001, 27(2): 1-3
[3] Teamusk A, Mander U. Rainwater runoff quantity and

quality performance from a greenroof The effects of shortterm events [J]. Ecological Engineering, 2007, 30 (3): 271-277
[4] 郑兴, 周孝德, 计冰昕. 德国的雨水管理及其技术措施 [J]. 中国给水排水, 2005 21(2): 104-106
[5] 赵西宁, 冯浩, 吴普特, 等. 现代雨水利用技术研究进展与研发重点 [J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(4): 1-5
[6] 刘琳琳, 何俊仕. 城市雨水资源化的实例分析 [J]. 水资源保护, 2007 23(6): 52-55
[7] 李怀正, 白月华, 邢邵文, 等. 雨水回灌地下的必要性和可行性 [J]. 中国给水排水, 2002 18(4): 29-30
[8] 吕玲, 吴普特, 赵西宁, 等. 城市雨水利用研究进展与发展趋势 [J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 118-123
[9] 冯玮隽, 李泽琴, Gregroy Goblick. 城市雨水径流环境污染控制研究进展 [J]. 南水北调与水利科技, 2006 (4): 41-43
[10] Koenig K W. Berlin's Water Harvest [J]. Water, 2000 21(6): 31-32
[11] 金龙, 王志标. 我国城市雨水利用适用技术 [J]. 市政技术, 2007, 25(1): 51-53, 56
[12] 北京市市政设计研究院. 简明排水设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.