

# 人工湿地在雨水处理与湖泊水质改善中的应用研究

## Application Study on Constructed Wetland in Rainwater Treatment and Lake Water Quality Improvement

赵薇<sup>1</sup> 张艳桥<sup>2</sup>

(1.沈阳环境科学研究院 沈阳 110016);(2.沈阳市环境保护局 沈阳 110011)

**摘要** 湖泊是城市生态系统重要组成部分,对城市的生态化建设具有特殊的意义。但近年来我国城市湖泊污染严重,水质堪忧。面对城市人工湖泊的水质恶化,水资源短缺等问题,我们对雨水、微污染湖泊进行了研究,结果表明雨水是一种可以利用的资源。文中介绍了雨水利用的重要性、城市雨水污染现状及城市雨水的处理与利用方法和人工湿地净化雨水补充湖水、改善湖水水质的系统设计及湿地植物选择与景观配置。

**关键词** 雨水利用 潜流式人工湿地 城市湖泊水质改善

**Abstract** The lakes are an important component of urban ecosystems. They also have a special significance to ecological construction of cities. But in recent years, China's urban lakes have been seriously polluted which made the water quality be anxious. To face the problems of urban man-made lake's water quality deterioration, water shortages and etc, some research of rain and micro-polluted lakes are done. The results show that rain is a resource that can be used. This paper introduces the importance of rainwater utilization, the situation of polluted urban rainwater and its processing and utilizing methods. The additional information contains constructed wetlands which can purify rainwater, the system design to improve lakes water quality, and the selection and landscape configuration of wetland plant.

**Key words** Rainwater Utilization Subsurface-Flow Constructed Wetland Improvement of Water Quality in Urban Lakes

湖泊是城市生态系统重要组成部分,对城市的生态化建设具有特殊的意义。但是,近年来我国城市湖泊污染严重,水质堪忧。中心城区湖泊富营养化问题日益严重,主要表现为湖泊萎缩、水量锐减、水质恶化、景观效果严重削弱等。面对城市人工湖泊的水质恶化,水资源短缺等问题,我们对雨水、微污染湖泊进行了研究,结果表明雨水是一种可以利用的资源。

目前城市排水管网一般都采取雨污分流制,将雨水管网截留的雨水引入有湖泊的城市公园内,再引进建在公园内的人工湿地,利用人工湿地技术处理雨水补充湖水及处理湖水使湖水循环达到改善湖水水质的目的。

### 1 雨水是可利用的资源

#### 1.1 雨水利用的重要性

我国属严重缺水国家,人均水资源占有量排

在世界109位,仅为世界平均水平的四分之一,被联合国列为世界13个贫水国家之一。以沈阳为例,年水资源总量34.27亿 $m^3$ ,人均水资源只有670 $m^3$ ,不足联合国确认人均水资源警戒线的50%。而沈阳市的降水量却非常丰富,多年平均降水量为615mm,折合水量77.59亿 $m^3$ 。大量雨水白白流失,据调查雨水利用率不足10%。

雨水收集处理系统是成本低廉的节水系统,其推广与普及对解决水资源短缺和改善水环境具有重要意义。绿化、景观、人工湖补水用自来水成本过高,如果用雨水可降低成本,并有效的利用雨水资源。所以城市雨水作为补充水源加以开发利用势在必行,雨水利用不仅是开源节流的一条途径,也有利于生态环境的改善和水污染的控制。雨水作为一种宝贵的资源,在城市水循环系统和流域水环境系统中将起着十分重要的作用。

收稿日期:2009-08-07

作者简介:赵薇(1960-),女,高级工程师。研究方向:水环境污染治理。

## 1.2 城市雨水的污染现状

1.2.1 城市径流污染的来源 随着城市化进程的加快,大气污染及地面污染越加严重,因此导致雨水径流污染程度加剧。

降雨对径流污染物的主要贡献是降水淋洗空气及冲刷地面的污染物,特别是工业区尤为突出。研究表明,在屋顶产生的径流里,10%~25%的

氮,不到的5%的磷来自降雨,而在街道商场的停车场,商业区和交通繁忙街道产生的径流中,几乎所有的氮和磷均来自降雨。

1.2.2 城市雨水中的主要污染物 我们研究雨水中的污染物主要有:化学需氧量、悬浮物、氨氮、总磷。在2009年雨季对沈阳市城区(东部)雨水进行了监测,监测数据见表1。

表1 沈阳城区(东部)雨水污染物监测值

mg·L<sup>-1</sup>

样品编号	监测结果			
	COD <sub>Cr</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TP
1	89.00	99.00	5.60	0.40
2	66.00	72.00	4.06	0.37
3	102.00	88.00	5.23	0.45
4	85.00	101.00	5.45	0.50
平均值	85.5	90.00	5.20	0.43
污水厂排放标准(一级A)	50	10	5	0.5

由表1可见雨水中COD<sub>Cr</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N都已超出城市污水处理厂排放标准,只有总磷没超标。因此雨水虽然是可利用的资源,但由于城市雨水已被污染,应处理后再利用。

## 1.3 城市雨水的处理与利用方法<sup>[1]</sup>

根据现代资源概念,城市雨水是一种宝贵的自然资源,因此,城市雨水系统的功能已由单一的快速疏排为主向排渍与利用并重,乃至以利用为主转化。

城市雨水的处理、利用是一种新型的多目标综合性技术。包括以下方面。

(1)收集雨水于集储池再利用,是一种开源节流的有效途径;

(2)由于城市雨水成份复杂应处理后再利用,常用处理法有物理化学法(沉淀、过滤、消毒等技术)与生物法(生物塘、人工湿地等技术);

(3)将雨水下渗回灌地下,补充涵养地下水资源,改善生态环境,减少水涝等;

(4)利用城市河湖和各种人工与自然水体、沼泽、湿地调蓄、净化改善水循环系统和城市生态环境。

## 2 处理雨水人工湿地系统工艺设计

由于城市人工湖泊流动性差,富营养化严重,用净水置换成本过高,可建造人工湿地系统,在雨季收集雨水处理补给湖泊,在非雨季处理湖水再回灌,使湖水循环起来,改善湖水水质。

## 2.1 处理雨水人工湿地系统设计原则

以湖泊水质恢复为目标,雨水处理后补充湖水的生态工程设计,应当遵循以下原则<sup>[2]</sup>。

2.1.1 主题性原则 新建人工湿地以净化雨水、湖水为主,兼具一定的景观功能。湿地建成后要提升区域水质和滨水景观水平,方便游人观水、亲水、戏水。

2.1.2 生态原则 雨水湿地工程总体设计以保护湖泊生态系统为原则。尽可能保留和营造较大面积的湿地,保持湖滨带的完整性及多样性,以较低的能量输入维持系统最佳平衡态。

2.1.3 长期性原则 湿地运行与控制具有一定的灵活性,要满足系统不同时期发展的需要,体现湿地系统自然性的特点。

## 2.2 工艺流程及说明

汛期时来自城区的径流雨水通过雨水排干方涵进入湖区,在预处理区经粗格栅后泵入进水缓冲池,进行消能及缓冲沉降,然后在进入人工湿地处理区去除污染物,排入湖泊补充湖水。当非汛期时,由湖边泵站提湖水进入湿地,对湖水水质实施净化再回流入湖,使湖水循环起来,达到改善湖水的目的。

在北方由于冬季寒冷、排干无水、湖面结冰,所以在冬季可不运行。

## 2.3 设计水质、水量

2.3.1 处理雨水人工湿地设计水质 汇流的径流雨水污染非常严重。由于雨水冲刷屋面建筑、

建筑工地、路面垃圾等,携带了大量污染物<sup>[3]</sup>。

湿地系统进水污染物指标见表1中平均值,系统出水补充城市湖泊,出水指标应采用辽宁省地方标准中直排标准。具体指标见表2。

项目	COD	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TP	SS
进水平均值	85.5	90.00	5.20	0.43
排放标准	50	8	0.5	20

注:表中排放标准为《辽宁省污水综合排放标准》DB21/1627-2008 直接排放标准。

2.3.2 处理雨水人工湿地设计水量<sup>[4]</sup> 人工湿地进水水量根据景观水体的置换周期设计每天需要处理的水量,计算公式如下:

$$Q_x = V/T$$

式中  $Q_x$ ——循环处理水量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  
 $V$ ——景观水体中的水量,  $\text{m}^3$ ;  
 $T$ ——置换周期, d;

置换周期指景观水体的水被人工湿地处理一遍所需要的时间。当水温  $> 25^\circ\text{C}$  时,景观水体的置换周期不宜超过  $5 \sim 10\text{d}$ ,当水温  $< 25^\circ\text{C}$  时置换周期可以适当延长,温度越低则置换周期越长。

2.3.3 人工湿地工艺设计 由图1可见在景观水体边(例:湖泊)建人工湿地,进水缓冲区及湿地处理区为主要处理单元。

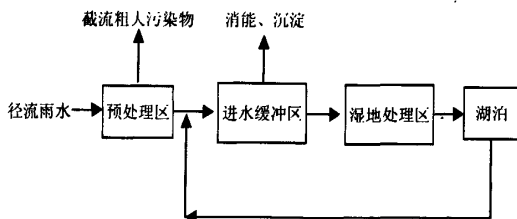


图1 人工湿地处理雨水、微污染湖水工艺流程

进水缓冲区通常为表面水平流人工湿地,是一种最为接近天然湿地的人工湿地,一般以自然泥土为基质,具有自由水面,人工适当辅以布水、基底修复等工程措施,属于好氧湿地,起沉降及一定的污染物去除作用。

设计表流湿地水深为  $0.5\text{m}$ ;停留时间  $4\text{h}$ 。

湿地处理区为潜流人工湿地,湿地由湿地防渗膜、自下而上按一定级配设置砾石、粗沙和种植土,湿地植物、集配水系统及导膜管构成。

大部分污染物在此区得到降解。

处理雨水潜流人工湿地设计水力负荷:  $0.6\text{m}/\text{d}$ ;设计水深  $0.6\text{m}$ 。

2.3.4 雨水人工湿地运行费用及效益 处理雨水人工湿地的运行费用主要为提升泵的电费及少量人工费,约为  $0.06$  元/ $\text{t}$  水,远远低于其它处理方法的运行费用。

本项目利用人工湿地技术去除雨水中的污染物,再回用于湖泊等景观水体,与传统注入清洁水置换湖水相比,能够节省大量宝贵的水资源。而净化后的雨水排入景观水体,减少了景观水体的环境污染程度,因减少污染而产生的经济效益也是很大的。雨水湿地运行费用低廉,直接、间接经济效益显著。

通过净化雨水补给城市湖泊与人工湿地改善湖水,也使城市湖泊生态环境得到改善,为人们提供了环境良好的休闲娱乐场所,其社会效益显著。

## 2.4 湿地植物与景观配置<sup>[5]</sup>

2.4.1 人工湿地植物选择 利用沈阳“世园会”污水生态处理工程对适和处理雨水的人工湿地植物进行了筛选。

将污水生态工程的湿地分3个独立单元分别种植茭白、香蒲、芦苇,从5月份开始培养、栽种,通入来自于园区的生活污水,经过6、7月份的生长,到8月份已长势良好。试验期间为8月份,属旅游淡季及雨季,进入污水站的污水主要为径流雨水及少量生活污水,水质比较接近微污染的人工湖水,将此水不经预处理直接接入人工湿地,监测不同植物的处理效果。

污水进入人工湿地布水渠后分别进入种植茭白、芦苇、香蒲的潜流人工湿地,试验证明不同植物处理效果是不同的,水质指标及去除率见表3,从表3可见,经种植不同植物的人工湿地处理后,

表3 不同湿地植物对污染物去除效果比较

监测点位	$\text{COD}_{\text{cr}}$	$\text{COD}_{\text{cr}}$ 去除率/%	$\text{NH}_3 - \text{N}$	$\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率/%	TP	TP 去除率/%
进水	97		4.6		0.78	
茭白(出水)	15.1	84.4	0.72	84.3	0.26	67
芦苇(出水)	24.3	75.0	0.91	80.2	0.37	53
香蒲(出水)	15.1	84.4	0.39	91.5	0.48	38
直排标准	50		8		0.5	

注:排放标准为《辽宁省污水综合排放标准》DB21/1627-2008 直接排放标准。

出水水质已经有了显著的改善,各项指标均达到了辽宁省污水综合排放标准中的直排标准。种植茭白的湿地处理效果最好,种植芦苇的湿地对 $\text{COD}_{\text{cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果较好,但对 $\text{T-P}$ 去除稍差些,种植香蒲的湿地对 $\text{COD}_{\text{cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果较好,但对 $\text{T-P}$ 去除效果不太好,综上人工湿地植物种植茭白综合效果最好。

**2.4.2 人工湿地景观配置** 为了使湖区人工湿地地区更接近于自然,设计时采取潜流湿地、堤岸、陆上灌木丛林地、溪流等相结合的模式。潜流湿地应选择耐污去污能力超强的茭白、芦苇作为主要栽植品种,每个品种分区域间隔栽植,形成层次,将潜流湿地的外沿设计成不规则的弧形,外延以缓坡与周围相连,靠陆地缓坡上种植草坪、一些矮小灌木、草本花卉等,既可以很好的向周围环境过度又遮挡湿地床外沿墙体。潜流湿地周边种植有大规模乔木,包括杨树、榆树、柳树、火炬等,树林之中溪流穿林而过,在溪流两岸铺设草坪,形成绿树成荫,溪流环抱之景,体现出中国园林中特有的柳暗花明、别有洞天的意境。

### 3 结束语

雨水人工湿地系统投资低廉,是一种值得推广和应用的新型雨水处理技术,它具有运转维护及管理方便、工程基建和运转费用低、对于负荷变化适应能力强等特点。处理后雨水可以补充湖水,而且不会造成新的污染。雨水人工湿地建在带有湖泊的公园内,将其建成新型景观化人工湿地系统,设计时充分考虑景观需求,实现水质净化功能与景观美化功能的和谐统一,在注重水处理效果的同时,为城市受污染水体修复技术的推广提供了较好的示范。

### 参考文献

1. 袁建伟,张凌毅. 城市雨水处理与利用系统探讨[J]. 节水灌溉, 2007(5):49-53.
2. 徐栋,成水平,付贵萍,等. 受污染城市湖泊景观化人工湿地处理系统的设计[J]. 中国给水排水, 2006,22(12):41-43.
3. 卢观彬,邓荣森,肖海文,等. 暴雨径流人工湿地处理新技术市政技术[J]. 2007.25(4):275-278.
4. 申欢,胡洪营,潘水宝,等. 用于净化景观水体水质的人工湿地设计[J]. 中国给水排水,2007.23(2):39-42.
5. 彭永东. 实现人工湖污染处理与景观建设的结合[J]. 风景园林,2005(4):99-101.

(上接第20页)

由于生活污水中除了氨氮以外还有 $\text{COD}$ 、有机氯等物质会消耗预消毒后污水中的余氯,从而影响 $\text{Cl/N}$ 值,并且生活污水水质波动较大,在实际应用中较难控制,在条件许可时,也可用尿素或其他化学药品来代替生活污水,利于控制氮的投加量,取得更精确的氯去除效果。

硝化脱氯法的关键在于控制好 $\text{Cl/N}$ 值和 $\text{pH}$ 值,由于工程系统的复杂性和处理工艺的多样性,不能完全照搬给水和污水消毒的设计方法,必须根据实际情况,测得实际水质的各项指标,然后确定一个比较合适的氯投加量和混合氨氮量,实现既能有效预消毒,又不影响活性污泥生理活动的效果。一般预消毒接触时间为1h,消毒后的含余氯的污水和适量生活污水的混合时间不少于20min。

去除余氯还可以采用亚硫酸还原法,若亚硫酸难以得到,可采用工业废水中的亚硫酸,以废治废。

### 4 结论

医疗废物处置厂的废水预加氯消毒与后续活性污泥处理工序存在矛盾。解决此问题的关键是在活性污泥法之前通过控制手段,减弱余氯的影响。利用生活污水中的氨氮、有机氯、 $\text{COD}$ 等物质对余氯进行还原,可作为消减余氯对后续活性污泥处理的影响的一种有效方法。此法操作简单,运行成本低,处理后的出水水质可以达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)和《医疗机构污水排放要求》(GB18466-2001)的要求。

### 参考文献

1. 严煦世,范遵初. 给水工程(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000(6):360-367.
2. 黄翔峰. 城市污水厂二级生物处理出水氯消毒影响因素研究[J]. 环境保护科学,2005,31(131):1-4.
3. 宋卫峰. 折点氯化法处理高 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含铬废水试验与工程实践[J]. 环境工程,2006,24(5):12-13.