

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.20.029

海绵城市雨水湿地公园水系统设计案例分析

肖海文¹, 孟令剑¹, 成水平², 翟俊¹, 刘馨瞳¹

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要: 结合重庆市南岸区大众水体公园建设的工程实例,探讨了海绵城市雨水湿地公园水系统的构建方法及其水质水量保障的具体措施与相关计算方法,分析了雨水湿地公园水系统的运行费用及其在海绵城市建设中的环境效益,以期海绵城市雨水湿地公园的设计及运行管理提供一定的借鉴。

关键词: 海绵城市; 雨水湿地公园; 环境效益

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)20-0160-07

Case Study on the Water System Design of Sponge City Stormwater Wetland Park

XIAO Hai-wen¹, MENG Ling-jian¹, CHENG Shui-ping², ZHAI Jun¹, LIU Xin-tong¹

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, <Ministry of Education>, Changqing University, Chongqing 400045, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on the project of a public water park in Nanan District of Chongqing, the water system construction method and the concrete water quality and quantity guaranteeing and relevant calculation methods of stormwater wetland park are discussed. The running cost of stormwater wetland park water system and its environmental benefits in the construction of sponge city are analyzed, so as to provide some references for the design and operation management of sponge city stormwater wetland park.

Key words: sponge city; stormwater wetland park; environmental benefit

针对我国日益严峻的城市雨洪管理与非点源污染形势,党的“十八大”明确提出要推进海绵城市建设以优化我国城市生态文明、消除城市雨洪危机和防止城市非点源污染^[1]。在此背景下,与城市雨洪管理相结合的雨水湿地公园建设日益增多,因为这类湿地公园不仅具有城市径流调蓄和污染控制的重要功能,还是城市休闲娱乐和生态教育的新兴场所^[2-4]。水是湿地公园的灵魂要素,因此一个良好的水系统设计是雨水湿地公园设计的首要任务。水系统设计主要包括水量保障与水质保障两部分内容^[5]。然而,目前国内关于雨水湿地公园水系统构建和设计方法的介绍并不多,雨水湿地公园系统的

水质水量保障相关的案例分析更是十分鲜见。

重庆是我国首批海绵城市建设试点城市之一,结合重庆市南岸区大众水体公园建设的工程实例,探讨了雨水湿地公园水系统构建方法以及水质水量保障的具体措施,分析了其运行费用,评估了其在海绵城市建设中的环境效益,以期海绵城市雨水湿地公园的设计及运行管理提供一定的借鉴。

1 湿地公园概况

大众水体湿地公园位于南岸区茶园新城,总面积为5.01 hm²。公园地势由西南向东北倾斜,处于新建区政府行政中心东侧,周边地块规划除行政用地外,还包括区会议中心广场及其绿化用地、其他商

住用地以及商务用地。该湿地公园的设计理念是在生态环保先行的前提下,融入海绵城市建设,同时提供一个可以让人回归自然、亲绿亲水的休闲娱乐场所。公园内的核心湿地水景(见表 1)主要包括雨水滞蓄湖、滨湖雨水净化湿地以及与湖相接的林荫小溪。

表 1 公园核心水景

Tab. 1 Main water body of the park

核心湿地水景	水域面积/m ²	平均设计水深/m
雨水滞蓄湖	10 050	1.8
滨湖湿地	2 860	0.6
林荫小溪	1 949	0.2

雨水湿地公园水系统设计旨在贯彻落实海绵城市建设精神,因此,在雨水径流汇水区内实施低影响开发(LID)措施,最大程度进行雨水径流的促渗、滞蓄和净化。具体设计目标:

① 滞蓄和利用城市雨水径流,构建园区核心水景(包括雨水滞蓄湖、滨湖湿地、林荫小溪等),并将雨水作为公园绿化浇洒用水进行资源化利用。

② 保证开发后,上述公园各水景的水量、水质满足全年景观需求。

因此,湿地公园水系统的设计包括了水景构建及水质水量保障两方面内容。

2 水源和水量保障设计

2.1 汇水区域的选择和划分

充足的水源是构建湿地景观的前提,根据设计目标,降雨所形成的城市地表径流是湿地公园主要的水量来源。在局域降水等气候要素相对稳定的条件下,地表径流量主要根据汇水区(见图 1)面积以及下垫面性质来计算确定。对于未开发区域,汇水区面积通常根据等高线确定的分水岭进行划分,而对于开发区,则要结合地形和雨水管网布置确定。

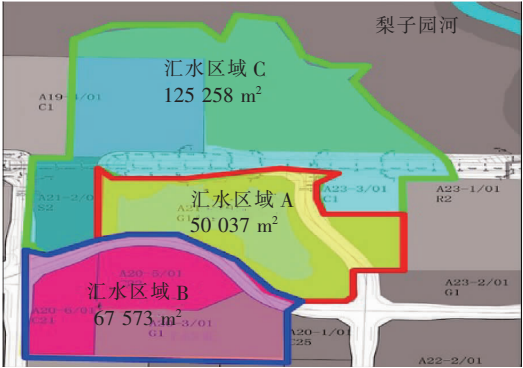


图 1 汇水区范围划分示意

Fig. 1 Schematic diagram of division of catchment area

湿地公园所在新城区具有完善的分流制排水管网,雨水干管主要沿主街道顺地形布设。根据雨水管的布置特点,通过水量衡算方案比较,并结合雨水干管就近接入的原则,确定将公园用地(汇水区 A)与其南北两个由地形和雨水管网构成的相对独立的汇水区(汇水区 B 和汇水区 C)作为地表径流的接入区。

其中,汇水区 B 和汇水区 C 的雨水干管位于紧邻湿地公园的街道下,从标高和位置距离考虑,均可靠重力流引入湿地公园。

各汇水区下垫面情况及径流系数计算结果如表 2 所示。

表 2 汇水区下垫面情况及平均径流系数

Tab. 2 Conditions of watershed cover and average runoff coefficient

项目	水体/ m ²	广场/ m ²	绿地/ m ²	道路/ m ²	建筑/ m ²	平均径 流系数
汇水区 A	11 999	8 450	16 922	12 666	0	0.611
汇水区 B	0	0	9 360	24 061	34 152	0.703
汇水区 C	603	12 998	53 124	16 931	41 602	0.504
合计	12 602	12 998	79 406	62 108	75 754	0.582

2.2 水量平衡计算和水量保障评估

以公园内面积最大的核心水景——雨水滞蓄湖为对象,进行湿地公园水量收入与支出动态变化的水量平衡计算。其中,水量收入、支出以及盈亏所形成的溢流和计算方法分别见图 2 和表 3。

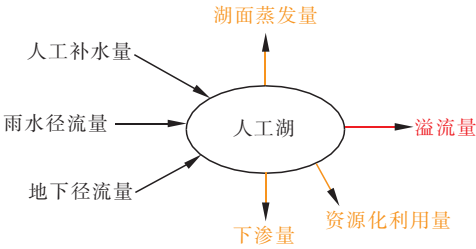


图 2 水量平衡计算

Fig. 2 Diagram of water balance

表 3 水量收入、支出项明细

Tab. 3 Items of water revenue and expenditure

水量收入	水量支出	溢流量
雨水径流量 人工补水量 地下径流量	蒸发量 下渗量 资源化利用量	水量收入 - 水量损失

雨水径流量计算公式如下:

$$Q_{\text{雨水径流}} = A_{\text{汇}} \times q \times \Psi \times \alpha \times \beta \times \gamma \quad (1)$$

式中 $A_{\text{汇}}$ ——汇水区面积, m²

q ——初期降雨量, m

Ψ ——综合径流系数, 本项目为 0.582

α ——初期弃流系数, 本项目取 1

β ——海绵渗透削减系数, 本项目取 0.85

γ ——季节折减系数, 本项目取 0.9

地下径流量计算公式如下:

$$Q_{\text{地下径流}} = K \times I \times B \times M \quad (2)$$

式中 K ——含水层渗透系数, m/d

I ——地下水水力坡度

B ——计算断面宽度, m

M ——含水层厚度, m

湿地公园场址地勘结果表明, 场地地下水贫乏, 受大气降水补给, 土层中只有局部有少量上层滞水, 因此将建成后湖水接纳的地下径流量计为 0。

蒸发量计算公式如下:

$$Q_{\text{蒸发量}} = A_{\text{水}} \times H \times j \quad (3)$$

式中 $A_{\text{水}}$ ——水面面积, m²

H ——表面蒸发系数, m/m²

j ——水景系数, 静水景(如湖、塘)取 1, 动水

景(如溪流、喷泉)取 1.2

下渗量计算公式如下:

$$Q_{\text{下渗量}} = A_{\text{湖}} \times k \times \gamma \times d_{\text{渗}} \quad (4)$$

式中 $A_{\text{湖}}$ ——湖体面积, m²

k ——渗透系数, 根据地质勘测结果及下垫面情况, 本项目取 0.008 m/d

γ ——季节折减系数, 本项目取 1.2

$d_{\text{渗}}$ ——下渗天数, d

在本设计中雨水资源化利用主要用于公园绿化, 雨水资源化利用量计算公式如下:

$$Q_{\text{雨水资源化利用}} = A_{\text{绿}} \times q_{\text{绿化定额}} \times d_{\text{绿}} \quad (5)$$

式中 $A_{\text{绿}}$ ——公园绿化面积, m²

$q_{\text{绿化定额}}$ ——绿化定额, 一般取值 1 ~ 3 L/(m² · d), 本项目取值 1.2 L/(m² · d)

$d_{\text{绿}}$ ——绿化天数, d

在降雨量和蒸发量数据取重庆南岸区多年均值而且不考虑人工补水量的情况下, 该湿地公园水量平衡计算结果见表 4。

表 4 水量平衡计算结果

Tab. 4 Water balance calculation results

月份	湖面蒸发量/m ³	水景蒸发量/m ³	地表径流量/m ³	绿化用水量/m ³	湖底下渗量/m ³	溢流量/m ³	湖面水位降/m
1 月	269	68	1 977	548	2 991	-1 900	-0.19
2 月	392	119	2 147	528	2 702	-1 594	-0.16
3 月	832	253	3 788	487	2 991	-775	-0.08
4 月	1 160	353	14 417	426	2 895	9 582	0.00
5 月	1 234	376	15 674	386	2 991	10 688	0.00
6 月	956	291	21 712	345	2 895	17 225	0.00
7 月	1 741	530	18 611	406	2 991	12 942	0.00
8 月	1 409	429	20 258	386	2 991	15 042	0.00
9 月	1 267	386	9 736	487	2 895	4 701	0.00
10 月	676	206	9 039	548	2 991	4 617	0.00
11 月	467	142	3 116	569	2 895	-956	-0.10
12 月	260	79	2 830	589	2 991	-10 89	-0.11
合计	10 663	3 232	123 303	5 706	35 217	68 483	-0.63

由表 4 可知, 将汇水区 A、B 和 C 的雨水径流汇入雨水滞蓄湖后, 湿地公园水量是充足的, 除去湖水支出项外, 湖水溢流量为 $6.85 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。雨水滞蓄湖水位在平水年的 11 月一次年 3 月将持续下降, 总下降深度为 0.63 m, 4 月湖水又会充盈。这种近自然的水位季节性波动可使人体验到不同的亲水景观效果, 符合湿地公园的设计主题。

用湖水平均容积除以入湖总水量可得湖水的换水周期^[6]。根据表 4 入湖水量数据计算, 公园雨水

滞蓄湖的换水周期为 53.7 d, 相当于每年换水 6.8 次。这一更新交换频率对湖体水质保持和生态恢复来说是有利的, 例如, 与该湖地理气候等条件类似的西安沣庆湖、湖南湘阴东湖、山东南四湖的换水周期分别为 53 ~ 125^[7]、51^[8] 和 216 d^[9], 这三个湖均是生态恢复良好的水体。因此, 本项目采用 A、B 和 C 三个汇水区的城市雨水径流构建湿地公园水系统水量是充足的, 并且从水体更新交换频率看, 符合可持续水体生态系统的构建条件。

2.3 干旱季节的备用补水设计

表4的水量衡算是在降水、蒸发等气候条件为多年平均值时的计算结果。对于干旱季节可能出现的水位下降过于剧烈,甚至湖水干涸、影响湿地生态和景观的情况,需考虑必要的备用补水措施。补水可选用自来水或就近水体引水补水两个方案。湿地公园东北向毗邻的梨子园河(见图1)旱季可引水最低水位为272 m,雨水滞蓄湖最低水位为268 m,地形和地势条件表明,可以依靠重力自流引梨子园河水进行补水。对梨子园河水的取样分析表明,其水质劣于湖水目标水质(Ⅳ类标准),但由于该河即将实施水体整治和生态修复措施,而且引入的河水将经过湿地处理后入湖,因此,决定选用梨子园河水旱季补水方案,引水管线沿新城路敷设,总长560 m。

3 水质保障设计

湿地公园所有水景的水量均来源于城市雨水地表径流,由于降雨对下垫面的冲刷,这些来水中通常含有大量影响景观水体水质的污染物质^[10-13],因此,还需要对引入园区的雨水进行水质控制,确保公园内湖泊、湿地等的水质能长期保持稳定并构建可持续生态景观。湿地公园雨水滞蓄湖及其他水景的设计目标水质为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水质。3个汇水区的雨水径流水质见表5。

表5 各汇水区雨水径流水质

Tab.5 Water quality of rainfall runoff in each catchment

	area			mg · L ⁻¹
项目	汇水区 A	汇水区 B	汇水区 C	目标水质
DO	4.1 ~ 8.8	3.4 ~ 7.2	3.9 ~ 7.9	3
COD	18.5 ~ 31.5	32.5 ~ 108.5	29.5 ~ 80.4	30
SS	9.2 ~ 38.6	23.1 ~ 168.2	12.5 ~ 98.5	—
NH ₄ ⁺ - N	0.84 ~ 1.66	0.92 ~ 3.84	0.67 ~ 2.28	1.5
TN	0.92 ~ 2.24	1.52 ~ 4.85	1.22 ~ 3.02	1.5
TP	0.04 ~ 0.12	0.12 ~ 0.37	0.08 ~ 0.19	0.1
注: 汇水区 B 和 C 的水质数据为该汇水区雨水测定值,汇水区 C 数据为重庆市动步公园(与本案例公园下垫面情况类似)雨水测定数据。				

由表5可知,公园内(汇水区 A)雨水地表径流

水质较好,除悬浮固体浓度较高外,其他指标均较低。汇水区 B 和 C 水质较差,尤其是汇水区 B,除 DO 外,有机物、氮、磷以及悬浮固体均较目标水质高出很多。根据这一水质情况,接入水管标高和园区的湿地景观布置,在尽可能不用泵提升的情况下,对入园雨水进行处理后再排入雨水滞蓄湖,处理流程见图3,平面布置见图4。其中,汇水区 B 和 C 采用集中净化方案,即雨水径流先进入埋地式雨水调蓄池后,再通过人工湿地处理后入湖。园区内则因地制宜实施分散式净化方案,即雨水通过一系列分散式雨水下渗和净化处理设施后,以浅层地下渗流或地表散流的方式就近排入公园内的水体。

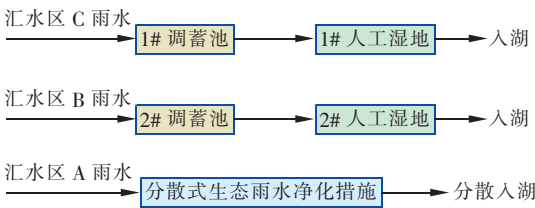


图3 雨水径流的处理流程

Fig.3 Rainfall runoff treatment process

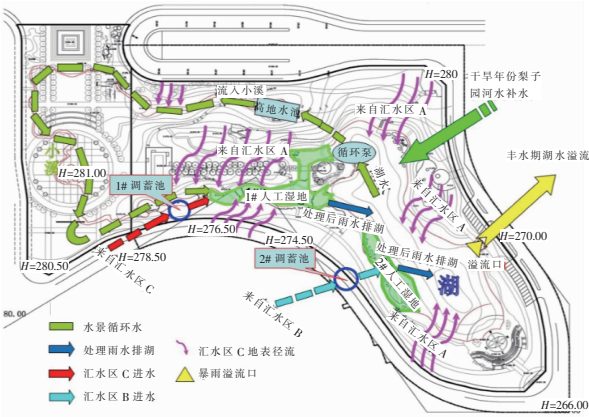


图4 入园雨水处理系统平面布置

Fig.4 Plane layout of stormwater treatment process in wetland park

3.1 入湖雨水的集中净化方案

汇水区 C 的接入雨水处理结合景观小溪进行布置,其处理流程见图5。

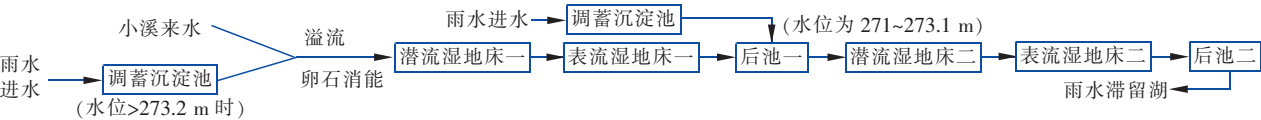


图5 雨水径流的处理和入湖流程布置

Fig.5 Stormwater runoff treatment and lake inflow flow layout

当调蓄池水位为 271 ~ 273.1 m 时,雨水自流入后池一,再经潜流床、表流床、后池二处理后入湖;当降雨调蓄池水位 > 273.2 m 时,绝大部分雨水溢流通过整个湿地处理流程。整个 1#雨水调蓄池有效容积为 570 m³,1#人工湿地总面积为 633 m²。汇水区 B 接入的雨水处理流程与汇水区 C 类似,其中 2#雨水调蓄池有效容积为 758 m³,2#人工湿地总面积为 797 m²。

3.2 雨水的分散式净化方案

湿地公园(汇水区 A)下垫面情况良好,主要是绿地、运动步道、栈道以及休闲广场等,而且园区内分布着相互连通循环的雨水滞蓄湖、小溪与湿地等水景,十分有利于因地制宜地设置 LID 中的各项雨水分散式促渗和净化设施,并同时净化后的雨水散流就近排入水体。本项目中设计的分散式雨水设施包括路边卵石沟、植草沟、湖边植被缓冲带、下沉式雨水花园、透水砖铺砌广场以及可透水步道等。由于公园内雨水径流水质较好,经过这些设施的截留、过滤、微生物降解等物化、生化过程,能去除水中大量的污染物,尤其是初期雨水中的悬浮固体和有机物^[14-15]等,使进入水体的水质得到良好保障。

3.3 水景水质长期保持与生态恢复方案

由于湿地公园内雨水滞蓄湖、林荫小溪及湿地等均是新构建的水体景观,因此,除了对入水水质进行严格控制外,还需要采取相关的水质长期保持措施,促进公园内水景尤其是雨水滞蓄湖可持续性生态系统的构建。具体措施主要包括以下 3 个方面:

① 水系连通循环。将小溪、湿地和湖水连通起来,在湖西北小山上设置高地水池和循环泵,既能形成更加天然的流动水体景观,又能促进公园内各水体水质的保持。循环泵 $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 0.25 \text{ MPa}$,小溪平均设计流速可达 0.015 m/s ,泵每日按 12 h 运行(晚间停运),则可使雨水滞蓄湖的换水周期由 53.7 d 降到 31.3 d,大大提高了湖水的水量更新交换频率,对水质的保持是有利的。

② 水体充氧。主要包括利用地形的天然跌水充氧以及在湖内设置充氧喷泉两项措施。在林荫小溪和湿地中利用地形落差设置具有动感的跌水景观,可有效增加水中的溶解氧浓度,有利于有机物和氮磷的去除。在湖体的南北两处没有进水的水流滞缓区各设功率为 2.2 kW 的增氧喷泉 1 台,可根据水质选择性运行,这一措施主要针对重庆炎热的夏

季水温较高,缓流水体中溶解氧较低这一情况,通过增加湖水 DO 浓度,保障湖水水质和水生生物的生存条件,防止出现藻华及死鱼事件。

③ 水生植物群落构建。虽然湿地生境(基底、水系统等)构建好后,湿地水生植物群落会在自然演替中恢复,但演替速度慢且无景观预见性。因此,采用了两类植物群落构建措施:首先在溪流和湖滨的部分位置装填或覆盖取自附近湖塘的近岸表层土(含乡土种子库),促进自然恢复;其次是人工种植水生植物,所选的优势种均为重庆本地的竹叶眼子菜、风车草、香蒲、菖蒲、睡莲等,点缀种按景观需求选取再力花、水生美人蕉以及落羽杉等。滨湖植物的种植尽可能按天然湿地水生植物的带状分布情况(沉水→浮水→挺水植物顺序),沿岸边坡种植。另外,在容易形成死水区的湖南岸设置 2 座 50 m² 无框架人工浮岛,种植重庆本地植物风车草。

4 水系统的运行费用及效益分析预算

目前,该雨水湿地公园已完成 3 个汇水区的接入管网建设,公园主体已完成施工图设计,预计 2021 年建成并实现蓄水和水系统的正式运行。因此,除了测定多场公园汇水区接入的雨水径流水质外,还没有公园水系统运行的水质数据。

湿地公园水系统的运行费用和节水效益预算分别见表 6、7。运行费用合计 2.64 万元/a。

表 6 湿地公园水系统运行费用组成

Tab. 6 Composition of water system operating costs of wetland park 万元·a⁻¹

项目	费用	备注
动力	1.44	水下增氧机($N = 2.2 \text{ kW}$)间歇运行,平均按每天运行 4 h;循环泵($N = 4 \text{ kW}$)每天运行 12 h;电价为 0.6 元/(kW·h)
人工	1.20	运行管理 2 人,工资为 5 000 元/(人·月),包括设备维护、人工湿地、浮岛运行维护及调蓄池清淤等
注: 湖滨、溪流等水生植物的维护费用为公园日常景观维护开销,不计入水系统运行费用。		

表 7 湿地公园水系统节水效益

Tab. 7 Water-saving efficiency of wetland park water system

节水指标	效益	备注
节水量/ (m ³ ·a ⁻¹)	54 820	湖面蒸发量 + 溪流、水景蒸发量 + 湖水下渗量 + 公园绿化用水量
节省水费/ (万元·a ⁻¹)	19.19	水价按 3.5 元/m ³ 计

结合表6、7可以看出,水系统的运行带来的经济效益十分可观,扣除水系统运行费用,由于利用雨水节约的水费达到16.55万元/a。另一方面,湿地公园水系统的实施将有效滞蓄和净化242 868 hm² (3个城市汇水区的总面积)的城市地表径流,充分体现了海绵城市建设理念,且带来的环境效益也十分可观。

5 结论

① 雨水湿地公园水系统设计的关键是水源的选择以及水量和水质的保障。

② 雨水水量来源需结合城市地形和管网布置,选取经济、适宜的汇水区,并通过水量衡算确定汇水区面积,但同时需要考虑备用的干旱季节补水措施。

③ 雨水湿地公园的水质保障需要进行系统考虑,通常可从控制入流地表径流水质和对水景实施长期水质保持及生态修复措施两个方面进行设计。

参考文献:

- [1] 蒋真. 基于“海绵城市”理念的重庆南山雨水管理方法研究[J]. 重庆建筑,2015,14(11):16-19.
Jiang Zhen. Study on “sponge city” theory-based rainwater management methods of Nanshan in Chongqing [J]. Chongqing Architecture,2015,14(11):16-19(in Chinese).
- [2] 王振宇,阳雨平,杨楚思. 基于海绵城市视角的城市雨水湿地设计初探[J]. 环境工程,2017,35(6):5-9.
Wang Zhenyu, Yang Yuping, Yang Chusi. Preliminary design on urban rainwater wetland based on the sponge urban perspective [J]. Environmental Engineering, 2017,35(6):5-9(in Chinese).
- [3] 蔡家珍. 海绵城市视角下的雨洪公园初探[J]. 长春师范大学学报,2018,37(10):94-97,105.
Cai Jiazen. A preliminary study on stormwater park in the view of sponge city [J]. Journal of Changchun Normal University, 2018, 37(10):94-97,105(in Chinese).
- [4] 刘然彬,赵亚乾,沈澄,等. 人工湿地在“海绵城市”建设中的作用[J]. 中国给水排水,2016,32(24):49-53,58.
Liu Ranbin, Zhao Yaqian, Shen Cheng, et al. Application of constructed wetlands to construction of sponge city [J]. China Water & Wastewater,2016,32(24):49-53,58(in Chinese).
- [5] 佟庆远,杜娟. 城市景观水体水质保障设计实践[J]. 建设科技,2009(23):56-57.
Tong Qingyuan, Du Juan. To protect water quality in urban landscape design practice [J]. Construction Science and Technology, 2009(23):56-57(in Chinese).
- [6] 王洗民,翟淑华,张红举,等. 基于水质改善目标的太湖适宜换水周期分析[J]. 湖泊科学,2017,29(1):9-21.
Wang Xianmin, Zhai Shuhua, Zhang Hongju, et al. Research on appropriate hydraulic retention time on basis of water quality improvement of Lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences,2017,29(1):9-21(in Chinese).
- [7] 吴秋琴,宋孝玉,秦毅. 再生水为水源的城市湖泊生态环境需水量计算[J]. 水利与建筑工程学报,2016,14(6):92-95.
Wu Qiuqin, Song Xiaoyu, Qin Yi. Calculation of eco-environmental water demand of urban lake with reclaimed water as the water source [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering,2016,14(6):92-95(in Chinese).
- [8] 郭武,钱湛. 湖南湘阴东湖水体生态流量及换水周期计算方法[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(9):66-68,96.
Guo Wu, Qian Zhan. Aquatic ecology flow and changing water cycle calculation method for Dong Lake in Xiangyin, Hunan [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2011,31(9):66-68,96(in Chinese).
- [9] 金相灿,等. 中国湖泊环境(第1册)[M]. 北京:海洋出版社,1995.
Jin Xiangcan, et al. Lake Water Environment in China (volume 1) [M]. Beijing:China Ocean Press,1995(in Chinese).
- [10] 蒋海涛,丁丹丹,韩润平. 城市初期雨水径流治理现状及对策[J]. 水资源保护,2009,25(3):33-36.
Jiang Haitao, Ding Dandan, Han Runping. Countermeasures and present conditions for managing urban initial rainwater runoff [J]. Water Resources Protection,2009,25(3):33-36(in Chinese).
- [11] 钟登杰,张湖川,李林澄,等. 城市初期雨水污染及处理措施综述[J]. 环境污染与防治,2019,41(2):224-230.
Zhong Dengjie, Zhang Huchuan, Li Lincheng, et al. Pollution and treatment measures of urban initial

- rainwater: A review [J]. Environmental Pollution & Control, 2019, 41(2): 224-230 (in Chinese).
- [12] 张志彬, 孟庆宇, 马征. 城市面源污染的污染特征研究[J]. 给水排水, 2016, 42(增刊): 163-167.
Zhang Zhibin, Meng Qingyu, Ma Zheng. Study on pollution characteristics of urban non-point source pollution[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(S1): 163-167 (in Chinese).
- [13] 熊家晴, 高延雄, 刘瑞. 雨水处理自然流人工湿地面积计算方法[J]. 中国科技论文在线, 2010, 5(7): 505-508.
Xiong Jiaqing, Gao Yanxiong, Liu Rui. The area calculating method on the surface flow constructed wetland for rainfall processing[J]. China Science Paper Online, 2010, 5(7): 505-508 (in Chinese).
- [14] 王庆元, 曹振华. 人工湿地处理初期雨水技术的探讨[J]. 中国资源综合利用, 2017, 35(3): 44-47.
Wang Qingyuan, Cao Zhenhua. Explore of constructed wetland technology in initial rainwater treatment[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2017, 35(3): 44-47 (in Chinese).
- [15] 尤洋, 陈建刚, 苏东彬. 人工湿地对道路雨水径流的处理效果研究[J]. 中国给水排水, 2012, 28(17):

82-83, 87.

You Yang, Chen Jiangang, Su Dongbin. Treatment efficiency of road rainwater runoff by constructed wetland [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(17): 82-83, 87 (in Chinese).



作者简介: 肖海文(1976-), 女, 四川雅安人, 博士, 副教授, 从事雨水、废水的治理和资源化利用以及人工湿地废水处理技术研究。

E-mail: xiaohaiwen99@163.com

收稿日期: 2019-08-26

(上接第159页)

- 综合利用, 2017, 35(10): 23-25.
Lu Jin. Research and application of high efficiency sedimentation tank[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2017, 35(10): 23-25 (in Chinese).
- [3] 陈霖, 于涛. MBBR + 氧化沟与改良 AAO 工艺用于污水处理厂提标扩建[J]. 中国给水排水, 2019, 35(8): 58-62.
Chen Lin, Yu Tao. Application of MBBR + oxidation ditch and modified AAO process in the upgrading and extension of sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(8): 58-62 (in Chinese).
- [4] 周丽颖, 张竑, 张云霞. 泰州市第一污水处理厂升级改造扩建工程 AAO 工艺的应用[J]. 中国给水排水, 2014, 30(2): 90-93, 97.
Zhou Liying, Zhang Hong, Zhang Yunxia. Application of AAO process to upgrading and retrofitting of Taizhou WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(2): 90-93, 97 (in Chinese).



作者简介: 刘丽(1982-), 女, 湖南长沙人, 本科, 高级工程师, 主要从事污水治理设计和技术管理工作。

E-mail: 147135981@qq.com

收稿日期: 2020-02-13