

用于净化景观水体水质的人工湿地设计

申 欢¹, 胡洪营¹, 潘永宝², 何 苗¹

(1. 清华大学 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 介绍了用于景观水体水质净化的人工湿地系统的工艺流程及设计方法,具体包括进行循环处理的人工湿地的设计、处理补充水的人工湿地的设计以及湿地几何尺寸的确定方法,该方法适用于以雨水或再生水为补充水源的人工景观水体水质净化工程。

关键词: 景观水体; 潜流式人工湿地; 水华

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2007)02 - 0039 - 04

Design of Constructed Wetland for Water Quality Purification of Artificial Scenic Water Body

SHEN Huan¹, HU Hong-ying¹, PAN Yong-bao², HE Miao¹

(1. State Key Joint Lab of Environmental Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2 School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The technological process and design method of subsurface-flow constructed wetlands for the water quality purification of artificial scenic water body were introduced. This method, including the design of constructed wetlands for treatment of recirculating water and make-up water and the determination of geometric dimensions of constructed wetlands, is suitable for the design of the water quality purification engineering of a artificial scenic water body using rainwater or reclaimed water as make-up water source.

Key words: scenic water body; subsurface-flow constructed wetland; algal bloom

目前,水质恶化和由水体富营养化引起的水华现象在人工景观水体中普遍存在,这不但破坏了水体的景观效果,而且在严重的情况下还会出现水体恶臭现象,使之成为新的污染源。因此研究开发经济、高效的人工景观水体水质净化和水华控制技术成为重要的课题。

通过多年的研究和工程实践,笔者所在课题组开发了景观型人工湿地水质净化成套技术,此技术能够用于以雨水和再生水为主要水源的人工景观水体的水质净化与水华控制。近年来,该技术已应用

于多个实际工程(见表 1),取得了较好的效果。

表 1 已建工程实例

Tab 1 Demonstration projects

名称	水面面积 /m ²	湿地面积 /m ²	补充水源	建成日期
清华大学节能示范楼景观水池水质净化与保持示范工程	32	32	雨水	2005年4月
清河党校桥西侧河水水质净化示范工程	6 000	600	二级出水	2005年8月
北京汇佳私立学校人工湖水水质净化与保持工程	6 000	500	再生水	2005年11月
国家广电总局培训中心人工湖水水质净化与保持示范工程	1 000	500	再生水	2005年12月

基金项目:“十五”国家科技攻关课题(2004BA809B04)

1 工艺流程

人工湿地净化景观水体水质的工艺流程如图 1 所示。将景观水体的水泵入潜流式人工湿地进行处理,处理出水回流至景观水体。这样可以通过人工湿地净化和保持水质,另外水在湿地和水体之间的不断循环,也能在一定程度上抑制藻类的过度生长。当以雨水或再生水作为补充水源时,应首先将雨水或再生水送入湿地进行处理,然后再进入景观水体。

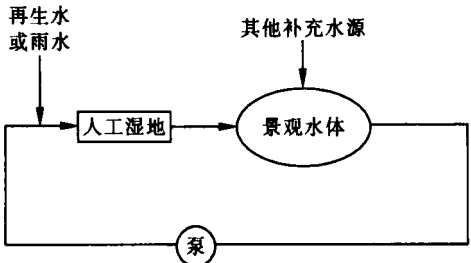


图 1 工艺流程

Fig 1 Flow chart of treatment process

潜流式人工湿地可以建设于景观水体周围的绿化带上,这样既能够充分发挥人工湿地的各种优势,又能够避免占用城市内有限的土地资源。

2 设计方法

人工湿地净化景观水体水质的设计可以从以下两个方面来考虑: 对景观水体的水进行循环处理; 对补充水(主要指再生水或雨水)进行处理。前者可以根据湿地的水力负荷进行设计,后者根据湿地污染物的面积负荷进行设计。具体流程见图 2。

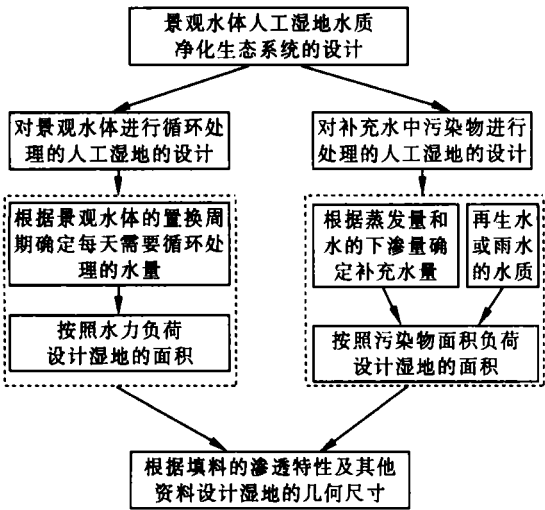


图 2 设计流程

Fig 2 Schematic diagram of designing method

2.1 进行循环处理的人工湿地的设计
处理水量的确定

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:

$$Q_x = V / T$$
 (1)

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

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

湿地面积的确定

根据水力负荷设计湿地的面积,计算公式如下:

$$A_x = Q_x / HL$$
 (2)

式中 A_x ——对景观水体的水进行循环处理需要的人工湿地的面积, m^2
 HL ——水力负荷,可取 $0.8 \sim 1.2 m^3 / (m^2 \cdot d)$

2.2 处理补充水的人工湿地的设计

补充水量的确定

根据蒸发量以及景观水体底部和侧壁的渗透水量来确定每天的补充水量,计算公式如下:

$$Q_B = A \times F + Q_s$$
 (3)

式中 Q_B ——补给的水量, m^3 / d
 A ——景观水体的面积, m^2
 F ——当地夏季最大蒸发月份的日平均蒸发量, $m^3 / (m^2 \cdot d)$
 Q_s ——景观水体的下渗水量, m^3 / d

湿地面积的确定

根据湿地污染物的面积负荷确定湿地的面积,计算公式如下:

$$A_B = Q_B \times (C_B - C_e) / N$$
 (4)

式中 A_B ——人工湿地去除补充水中污染物所需要的面积, m^2
 C_B ——补充水中污染物的浓度, g / m^3
 C_e ——湿地出水浓度, g / m^3
 N ——污染物面积负荷, $g / (m^2 \cdot d)$

分别计算去除 COD、BOD₅、TN、TP、SS 等污染物所需要的面积,选取其中最大的一个作为设计面积。在设计湿地面积时需要确定以下三个参数:

a 补充水中污染物浓度的确定

以再生水作为补充水源时,各种污染物的浓度可以参考《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)中的相关水质标准。

由于雨水的水质与降雨量、汇水面(屋面、地面和路面等)的材料和积累的污染物、空气质量、气候条件等许多因素有关,因此雨水中各种污染物浓度的变化较大,但在绿色建筑小区内,经过预处理的雨水中的污染物浓度会降低很多。

表 2给出了再生水和经过预处理的雨水中主要污染物的浓度范围^[1-3],以供设计参考。在有条件的情况下,应该对补充水的水质进行实际监测。

表 2 再生水和雨水中各种主要污染物的浓度范围

Tab 2 Water quality parameters of reclaimed water and rainwater		
mg · L ⁻¹		
水质指标	再生水	雨水
COD		20 ~ 100
BOD ₅	6	10 ~ 30
TN	15	0.5 ~ 10
NH ₄ ⁺ - N	5	0.3 ~ 6
TP	0.5	0.1 ~ 0.8
SS	10	10 ~ 60

b 出水水质的确定

湿地出水的水质应根据实际情况来考虑。以雨水或再生水作为景观水体的补充水源时,出水水质可以参考《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅲ类或Ⅳ类水体的水质标准。

c 湿地污染物面积负荷的确定

图 3~7分别为 TP、TN、COD、BOD₅和 SS等污染物的湿地面积负荷与出水浓度之间的关系。其中图 3、4为笔者课题组的研究成果,图 5~7是从相关文献中获得的^[4-7]。

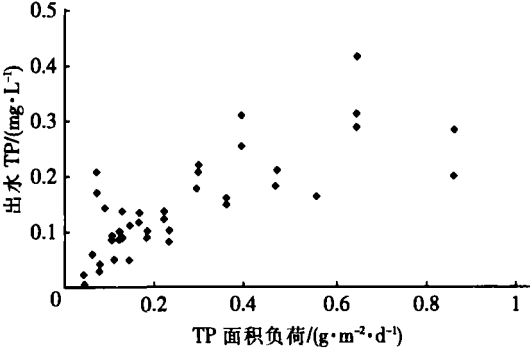


图 3 TP面积负荷与出水浓度之间的关系

Fig 3 TP in effluent as a function of area load rate

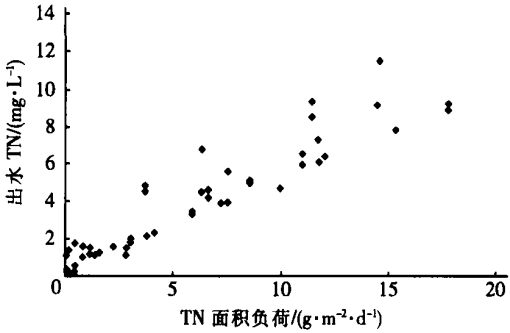


图 4 TN面积负荷与出水浓度之间的关系

Fig 4 TN in effluent as a function of area load rate

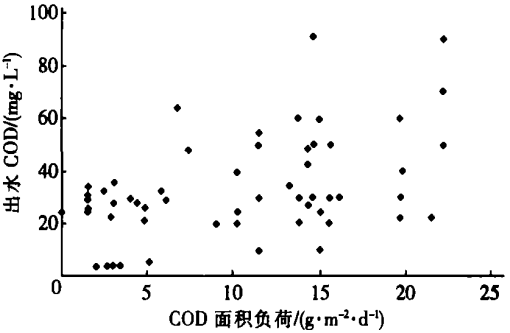


图 5 COD面积负荷与出水浓度之间的关系

Fig 5 COD in effluent as a function of area load rate

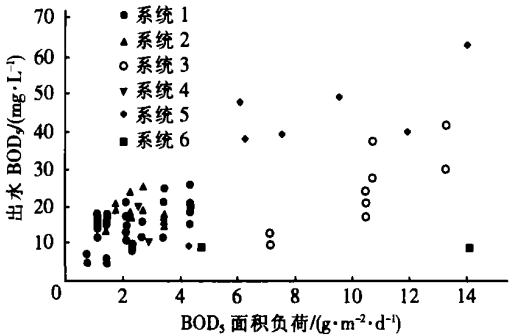


图 6 BOD₅面积负荷与出水浓度之间的关系

Fig 6 BOD₅ in effluent as a function of area load rate

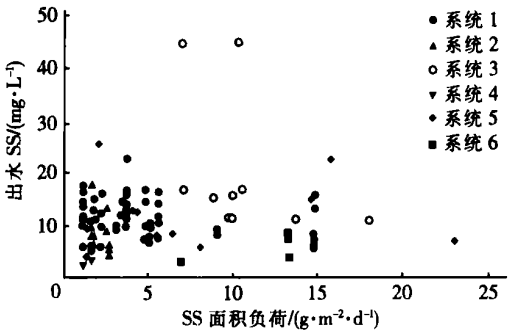


图 7 SS面积负荷与出水浓度之间的关系

Fig 7 SS in effluent as a function of area load rate

设计中可根据出水浓度与面积负荷的关系,选

取预期出水水质对应的面积负荷。

2.3 湿地几何尺寸的设计

湿地宽度的设计

由于潜流式人工湿地的水力学特性符合 Darcy 公式^[8], 因此湿地的宽度可以根据下式计算:

$$W = \frac{Q}{K_s \times n \times D_m} \quad (5)$$

式中 W ——湿地的宽度, m

Q ——处理的水量, m^3/d

n ——水力坡度, 一般取 0.005 ~ 0.01^[7]

K_s ——填料的透水系数, m/d

D_m ——处理区填料厚度, 一般取 0.4 ~ 0.7 m

在运行过程中, 由于悬浮污染物的截留以及生物膜的孳生, 填料的透水系数会不断下降, 因此在实际设计时通常取清洁填料透水系数的 10% 作为设计标准。建议在有条件的情况下对所选填料的透水系数进行实测^[9]。

若湿地单元宽度过大则对布水均匀不利, 容易造成短流, 通常以湿地单元宽度 ≤ 60 m 为宜^[7]。当计算得到的宽度 > 60 m 时可将湿地分为若干个宽度 ≤ 60 m 的单元, 并联运行。

湿地长度的设计

$$L = A/W \quad (6)$$

式中 L ——湿地的长度, m

A ——湿地的面积, m^2

湿地长度过短时难以保证布水均匀, 但长度过大时会造成工程量增加, 另外还会造成进出口之间水位差增大, 使水位调节困难并且不利于植物的成活。通常湿地单元的长度以 15 ~ 50 m 为宜^[7, 10, 11]。当计算得到的长度 > 50 m 时可将湿地分为若干个长度 ≤ 50 m 的单元, 串联运行。

湿地床高程和厚度的确定

湿地处理区出水口处填料表面高程 (E_{me}) 为:

$$E_{me} = E_{be} + D_m + D_s \quad (7)$$

湿地进口填料表面高程 (E_{mo}) 为:

$$E_{mo} = E_{me} + L \times s \quad (8)$$

湿地进口底部的高程 (E_{bo}) 为:

$$E_{bo} = E_{be} + L \times s \quad (9)$$

整个湿地床的厚度 (D) 为:

$$D = D_m + D_s \quad (10)$$

式中 D_s ——表层填料厚度, 一般为 0.1 ~ 0.15 m

s ——处理区底部坡度, 一般取 0.005 ~ 0.01^[7, 10]

3 结语

采用人工湿地定期对人工景观水体的水进行处理, 可以有效改善景观水体的水质, 避免水华的发生。该方法为绿色建筑景观水体水质净化与保持工程提供了系统的设计方法, 对于提高城市居民生活质量、保护城市水环境、实现城市污水和雨水的资源化具有重要意义。

参考文献:

- [1] 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
- [2] 车武, 汪慧贞, 任超, 等. 北京城区屋面雨水污染及利用研究 [J]. 中国给水排水, 2001, 17(6): 57 - 61
- [3] 赵剑强. 城市路面径流污染的调查 [J]. 中国给水排水, 2002, 18(1): 33 - 35
- [4] 刘超翔, 胡洪营, 张建, 等. 人工复合生态床处理低浓度农村生活污水 [J]. 中国给水排水, 2002, 18(7): 1 - 4
- [5] 刘超翔, 胡洪营, 张建, 等. 表面流与潜流式生态床处理农村污水 [J]. 中国给水排水, 2002, 18(11): 5 - 8
- [6] 刘超翔, 胡洪营, 孟远航, 等. 人工复合生态床处理生活污水的性能及流态研究 [J]. 中国给水排水, 2003, 19(2): 93 - 94
- [7] EPA/625/R - 99/010, Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters [S].
- [8] 高拯民, 李宪法. 城市污水土地处理利用设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991
- [9] 闻德荪. 工程流体力学 (下册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991
- [10] 国家环保局科技标准司. 城市污水土地处理技术指南 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997
- [11] 沈耀良, 王宝贞. 废水生物处理新技术 ——理论与应用 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999

电话: (010) 62794005 (胡洪营)

E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2006 - 05 - 18