

海绵城市建设背景下对人工湿地的改造效果分析

焦继东, 曲直, 薛祥山, 杜家慧

(北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083)

摘要: 以玉溪某人工湿地区域为研究对象,借助 SWMM 模型和 ArcGIS 工具对海绵城市建设理念下的人工湿地改造效果进行分析,包括调蓄能力、承接周边区域雨水能力和雨水资源利用等方面。结果表明,对该湿地采取清淤挖深和设置溢流堰等工程措施,可使其调蓄量增加 $51\,070\text{ m}^3$,这为人工湿地承接周边区域雨水、暴雨时削峰错峰提供了调蓄空间;在典型平水年条件下,人工湿地可收纳并蓄存的雨水总量为 $2.97 \times 10^5\text{ m}^3$,对整个收水区域的年径流总量控制率的贡献值达到 12.07%,对海绵城市建设的年径流总量控制率具有重要作用;另外,汇入人工湿地的雨水利用总量为 $241\,874\text{ m}^3$,人工湿地的雨水资源利用率为 12.15%,这对周边区域水资源节约和海绵城市建设中水资源利用率贡献极大。

关键词: 人工湿地; 雨水调蓄; 雨水利用; 海绵城市

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)03-0130-04

Analysis on Reconstruction Effect of Constructed Wetland under Background of Sponge City Construction

JIAO Ji-dong, QU Zhi, XUE Xiang-shan, DU Jia-hui

(Beijing Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Performance of a modified constructed wetland with the concept of sponge city construction in Yuxi was analyzed with the support of SWMM model and ArcGIS, which included storage capacity, the ability receiving rainwater from surrounding areas and rainwater utilization. The results showed that the storage volume was increased by $51\,070\text{ m}^3$ through dredging and digging and deploying an overflow dam for the constructed wetland, which enlarged the rainwater storage capacity to receive rainwater from the surrounding areas, and provided adjusting redundancy to cut down rainstorm peak. During typical meteorological years, the total volume of rainwater storage capacity accepted by the wetland was $2.97 \times 10^5\text{ m}^3$, which contributed to 12.07% of the volume capture ratio of annual rainfall in this region. Thus, the modified constructed wetland played an important role for the volume capture ratio of annual rainfall. Under the same condition, the total volume of rainwater utilized by the wetland was $241\,874\text{ m}^3$ with rainwater utilization rate of 12.15%, which contributed greatly to water resource conservation in surrounding areas and water resource utilization in sponge city construction.

Key words: constructed wetland; rainwater storage; rainwater utilization; sponge city

近年来,我国城市建设进入低影响开发及海绵城市建设的新时期,玉溪凭借其优势成为国家第2

批海绵城市建设试点城市。在进行海绵城市建设过程中,湿地作为城市之肾,发挥着重要的作用^[1],人工湿地可以调蓄雨水、调节洪峰、减少暴雨对城市管网的压力,同时可以控制径流污染和强化水资源利用^[2-5]。在玉溪海绵城市建设的背景下,笔者以玉溪大河某人工湿地区域为研究对象,从调蓄能力提升、承接周边区域的径流雨水能力、雨水资源利用情况等方面分析改造后的人工湿地对海绵城市建设中水生态、水安全和水资源的贡献情况,以期为人工湿地的海绵改造提供参考。

1 研究区域概况

人工湿地位于玉溪大河北侧,与玉溪大河之间隔堤阻断,属于玉溪大河二期海绵改造工程范围,暂称该湿地为二期湿地;西侧为红旗河,在丰水期玉溪大河的河水汇入湿地,过多河水通过湿地溢流口进入红旗河。二期湿地面积为 9.2 hm²,呈现东北高、西南低的微地形,高程范围在 1 625.3 ~ 1 627.3 m 之间。

调蓄能力方面,二期湿地的现状调蓄空间受玉溪大河下游闸坝影响较大。当下游闸坝闭合时,湿地水位上升,最高高程达到 1 628.2 m,主河道的水继续进入湿地时,河水会溢流进入红旗河;当下游闸坝打开时,湿地水位下降至隔堤以下,闸门长时间打开时,湿地甚至出现干涸现象,基本无调蓄能力。

与周边区域雨水管网衔接方面,现状湿地周边区域雨水通过雨水管网输送至下游合流箱涵内,合流箱涵绕过湿地将合流污水输送至玉溪大河下游。由此可知,现状雨水管网与湿地无相关衔接,同时合流箱涵输送大量合流污水,给玉溪大河的下游河道带来了严重的污染。

水资源利用方面,当玉溪大河下游闸坝打开时,湿地区域内无水源可供使用;当玉溪大河下游闸坝关闭时,仅有周边紧邻的绿地浇灌用水取自湿地,且水源为河道水体,而不是周边汇入的雨水。可见,现状湿地范围内基本无雨水资源可用。

2 改造措施与计算方法

2.1 针对调蓄能力的改造措施与计算

针对本湿地区域的现状,增加其调蓄能力主要依靠两种措施,一是对湿地进行清淤挖深,二是引调水工程,即引水进入湿地并限制湿地水体外流。

① 清淤挖深措施

在玉溪大河下游闸门打开的情况下,为保证清

淤后湿地中的水生植物正常生长,清淤后湿地常水位保持在 50 cm 左右。根据水深需求,结合湿地出口处隔堤高程为 1 626.1 m,最终设计湿地底部高程为 1 625.6 m。

② 引调水工程

考虑到玉溪大河下游闸门打开时,隔堤阻断了河水进入湿地,故将湿地东侧与玉溪大河相交的隔堤处破除并建设进水闸门,通过闸门保证玉溪大河主河道低水位情况下水体能进入湿地。

同时,现状湿地下游出水口处高程过低,下游闸门打开时,主河道水位降低,湿地区域水体随即流入玉溪大河,导致湿地无法蓄存雨水。为留住湿地区域蓄存的水量,在湿地出水口处设置一道溢流堰,溢流堰高程与相邻的隔堤保持一致,即 1 626.1 m。

综上,两种措施共同作用,在河道下游闸门常开的情况下,湿地也能蓄存一定量的水体,且常水位高程为 1 626.1 m,水深为 50 cm 左右。

③ 计算方法

本研究利用 ArcGIS 生成海绵改造后的湿地高程图,并通过 ArcGIS 中的“面积和体积”工具计算不同水深下的湿地底部面积和蓄水容积,从而整理得到蓄水曲线,如图 1 所示。

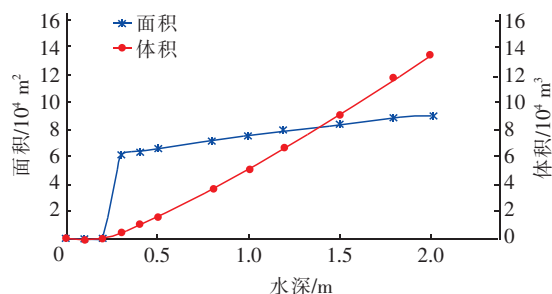


图1 海绵改造后湿地水深与面积、容积的关系曲线

Fig. 1 Relationship between water depth and area/volume of constructed wetland after reconstruction

2.2 雨水管网优化与模型构建

① 雨水管网优化

通过海绵城市建设,对湿地周边区域内的排水管网进行雨污分流改造、新建雨水管网等,同时将区域内的雨水经雨水管网输送至湿地北侧,通过旋流沉砂池进行一级处理后排入湿地。

② 模型构建

利用 SWMM 对人工湿地及其周边区域构建水文模型,分析计算汇入湿地的径流雨水量。建模过

程中,首先对收水范围进行子汇水区划分、雨水管网概化;并对初步构建的模型进行参数率定和验证;设置湿地的调蓄容积曲线;最后运行模型,查看并分析模拟结果。

一般而言,SWMM 模型中子汇水区的划分方法主要有:利用 ArcGIS 中泰森多边形法对研究区域进行划分;根据区域内的管网走向、小区、街道和建筑物情况,进行人工划分。本研究区域范围不大,为了更真实地反映实际排水情况,在实地踏勘收集资料的基础上,对研究区域采用人工划分子汇水区的方法,最终得到子汇水区 71 个,见图 2。

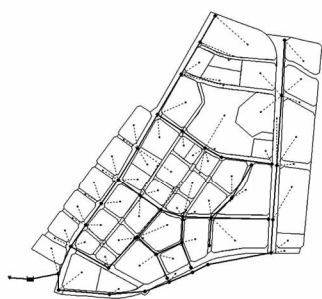


图2 研究区域的概化示意

Fig.2 Generalization of study area

本研究区域大部分为城中村,排水系统不够健全,通过海绵城市建设,对区域内合流制管网进行雨污分流改造,对不满足排水规范的雨水管进行改建或新建。模型中对海绵改造后的排水管网进行概化,最终得到雨水管 42 条,并将湿地概化为调蓄池进行模拟,如图 2 所示。

③ 参数率定与验证

SWMM 模型中的水文水力参数直接影响降雨的产汇流结果,所以参数率定的准确性对模型模拟具有重要的意义。水文水力参数主要包括子汇水区和管网的地理特征信息,包括不同下垫面类型的洼蓄、下渗等参数。其中,表征地理特征信息的参数主要通过管网、检查井的实测高程来体现;汇水分区洼蓄参数主要根据实际工程情况进行参数识别;透水区域的渗透参数是在选取霍顿公式的基础上进行参数优化。模型参数率定结果如下:最大入渗率 (MaxRate) 和最小入渗率 (MinRate) 分别为 76.2、3.8 mm/h,渗透衰减系数 (Decay Constant) 为 9.2 h^{-1} ,管道曼宁系数 (Conduit Roughness) 为 0.015,不透水区曼宁系数 (N-imperv) 为 0.013,透水区曼宁系数 (N-perv) 为 0.03。

2.3 水资源利用措施计算

根据海绵城市的考核意见,针对雨水资源利用率的计算是雨水收集净化并用于道路浇洒、园林绿地浇洒、市政杂用、工农业生产、冷却、景观、河道补水等的雨水总量(按年计算)与平均降雨量(折算成 mm)的比值,即:雨水利用率 = (雨水年利用总量 ÷ 汇集该部分雨水的区域面积) / 年均降雨量。

雨水利用的原则:①雨水年利用总量由每日利用雨水量加和所得;②每日利用雨水量由需水量 (V_1) 和降雨量 (V_2) 所决定,当 $V_1 > V_2$ 时,则 $V_1 - V_2$ 即为当日利用雨水量,当 $V_1 \leq V_2$ 时,则当日利用雨水量为零;③本研究中的需水量主要从湿地周边绿地浇洒用水量、靠近湿地的道路浇洒量和保持湿地水生植物正常生长的景观用水量这 3 部分进行分析,相关需水量计算可参考《室外给水设计规范》(GB 50013—2006)的有关公式;④本研究中汇集该部分雨水的区域面积主要包括上游雨水管网覆盖区域的面积、湿地周边雨水汇入的面积和湿地自身水面面积。

3 结果与分析

3.1 湿地蓄水能力提升分析

利用 ArcGIS 对湿地现状和清淤挖深后的效果进行分析,首先根据湿地改造前后测绘数据生成高程图,借助 ArcToolbox 中 Spatial Analyst 下的填挖方工具对湿地高程图进行模拟,得到填挖方量,从而得到湿地海绵改造后增加的洼蓄容积。如图 3 所示,红色部分(填方)是指相对于现状高程增加了,其中中间红色区域为景观岛;蓝色部分(挖方)是相对于现状地形进行挖深;灰色区域高程不变,即未对该区域进行改造。结果表明,填方量为 $4\,869 \text{ m}^3$,挖方量为 $49\,470 \text{ m}^3$,洼蓄量较之前增加了 $44\,601 \text{ m}^3$ 。

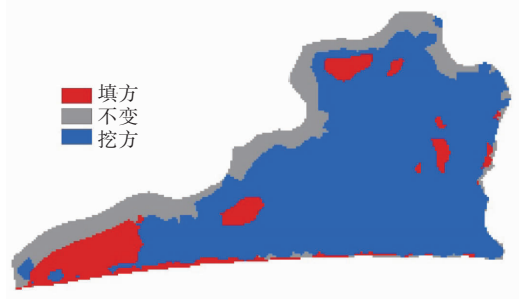


图3 人工湿地区域填挖方情况

Fig.3 Excavation and fill of constructed wetland

同时,对湿地出口处设置的溢流堰进行蓄水能

力分析。溢流堰的顶端高程为 1 626.1 m, 利用 ArcGIS 计算从高程 1 626.1 m 至湿地现状底面的体积为 6 469 m³。

综上,通过对湿地进行清淤挖深和设置溢流堰,可使湿地整体调蓄量增加 51 070 m³。

3.2 承接周边区域雨水能力分析

由 SWMM 模拟结果可知,在典型平水年(2007 年)降雨条件下,研究区域内的总降雨量为 2.46×10^6 m³,进入湿地的径流雨水量为 4.25×10^5 m³,溢出湿地的径流雨水量为 1.28×10^5 m³。由此可知,湿地全年控制的径流雨水总量为 2.97×10^5 m³,对整个收水区域的年径流总量控制率为 12.07%。

3.3 水资源利用率分析

上游雨水管网的覆盖面积为 1 968 571 m²,湿地周边区域(含湿地)面积为 313 025 m²,即汇集该部分雨水的区域总面积为 2 281 596 m²。

雨水利用量方面,湿地周边绿地浇灌用水量为 67 104 m³,湿地周边道路浇洒量为 142 182 m³,保持湿地水生植物正常生长的景观用水量为 32 588 m³,典型平水年下雨水利用总量为 241 874 m³。计算可知,二期湿地的雨水资源利用率为 12.15%。

4 结论

① 通过对玉溪大河二期湿地进行清淤挖深工程使其调蓄量增加 44 601 m³,通过对湿地出水口处设置溢流堰使其调蓄量增加 6 469 m³,最终海绵改造后湿地较之前增加的调蓄量为 51 070 m³,增加的调蓄空间为周边区域缓解旱季工程性缺水 and 暴雨时的削峰错峰提供了蓄存空间。

② 在典型平水年(2007 年)降雨条件下,汇入湿地的雨水总量为 4.25×10^5 m³,湿地控制的雨水总量为 2.97×10^5 m³,湿地对整个收水区域的年径流总量控制率达到 12.07%,对海绵城市试点区的年径流总量控制率达标具有重要意义。

③ 在典型平水年(2007 年)条件下,汇入湿地的雨水利用总量为 241 874 m³,二期湿地的雨水资源利用率为 12.15%,这对研究区域内水资源节约和海绵城市建设中水资源利用率贡献极大。

参考文献:

[1] 过江洋,吴慧芳. 人工湿地的发展及在海绵城市建设中的应用[J]. 市政技术,2017,35(6):143-145.

Guo Jiangyang, Wu Huifang. Wetland development and application in construction of sponge city[J]. Municipal Engineering Technology, 2017, 35(6): 143-145 (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] 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.
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 (in Chinese).
- [4] 魏海琪. 海绵城市背景下的城市人工湿地设计研究[D]. 北京:北方工业大学,2017.
Wei Haiqi. Study on Urban Constructed Wetland Design in Sponge City [D]. Beijing: North China University of Technology, 2017 (in Chinese).
- [5] 肖海文,柳登发,张盛莉,等. 人工湿地处理雨水径流的设计方法和实例[J]. 中国给水排水,2013,29(8):37-41.
Xiao Haiwen, Liu Dengfa, Zhang Shengli, et al. Design and case of constructed wetland for stormwater runoff treatment[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(8): 37-41 (in Chinese).



作者简介:焦继东(1990-),男,安徽阜阳人,硕士,工程师,主要从事水环境规划和设计工作。

E-mail:jjdeffort@163.com

收稿日期:2018-07-12