

再生水回用于民俗旅游村水景观的工程实践

张 雄, 李冰心, 谷 阳, 李 阳, 蔡晓昂, 左雪蕊, 查切尼 (北京正和恒基滨水生态环境治理股份有限公司, 北京 100871)

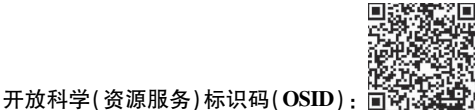
摘要 通过分析北京再生水回用现状及再生水在民俗旅游村的需求, 提出了再生水在民俗旅游村的回用策略, 并在北京市通州区于家务回族乡仇庄村进行了工程实践, 取得了良好的再生水处理及水景观构建效果, 结果表明: 表流人工湿地系统在水力负荷为 $0.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, 对各污染物具有较好的处理效果, 同时提高了场地的生态效益。该研究为我国民俗旅游村再生水回用及水景观建设提供了切实可行的技术思路, 同时也为农村高质量水景观环境的建设和水资源可持续利用提供模式参考。

关键词 再生水回用; 水景观; 民俗旅游村

中图分类号 X 703 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)14-0179-07

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.14.043



Application Mode and Engineering Practice of Reclaimed Water Reuse in Water Landscape of Folk Tourism Village
ZHANG Xiong, LI Bing-xin, GU Yang et al (Beijing Zeho Waterfront Ecological Environment Management Co., Ltd., Beijing 100871)

Abstract The current situation of reclaimed water reuse and the demand for reclaimed water in folk tourism villages in Beijing were analyzed, and a strategy for the reuse of reclaimed water in folk tourism villages was proposed. According to this strategy, engineering practice was carried out in Qiuzhuang Village, Yujiawu Huizu Township, Tongzhou District, Beijing City. The result showed it has achieved good reclaimed water treatment and water landscape construction effects, the surface flow constructed wetland system still has a good treatment effect on various pollutants when the hydraulic load is $0.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ and increased the ecological benefits of the base. In addition, it has provided practical technical ideas for the reuse of recycled water and water landscape construction in our folk tourism villages, and also created a model reference for the construction of high-quality water landscape environment in rural areas and the sustainable use of water resources.

Key words Reclaimed water reuse; Water landscape; Folk tourism village

北京是一个严重缺水的城市^[1], 根据《北京市水资源公报》, 2018 年北京市水资源总量为 35.46 亿 m^3 , 人均水资源占有量为 165 m^3 , 是我国和世界人均水资源占有量的 7.50% 和 1.88%。为了解决水资源供需的差距, 北京在加强利用常规水资源的同时, 采取一系列措施发展再生水回用, 以满足多种需求^[2]。北京市有 87.12% 的再生水用于景观环境, 根据北京市河湖水系水体功能及水质标准, IV 类、V 类水体河湖的环境用水可采用再生水补水。再生水回用可有效解决中心城约 290 km 河道、374 hm^2 湖面及永定河环境用水问题^[3]。

由于北京农村具有小规模地区管理的特点, 农村污水量少而分散^[4]。由于目前农村生活污水缺乏统一的处理流程和工艺, 再加上与现行的再生水景观回用水质标准在应用中存在冲突, 导致农村再生水回用技术仍面临水体富营养化、透明度不高、蚊虫滋生等问题^[5]。对于部分地区, 再生水回用的管网等配套设施不健全, 且对于管网合流溢流的情况考虑较少, 导致降雨集中时期污水处理能力不足, 影响水质^[6]。此外, 农村再生水的回用目标和途径不明确, 多数用于灌溉或就近水体排放, 未进行整体景观环境的建设, 造成农村再生水回用的浪费, 忽略了水景观与整体环境的融合和利用。

民俗旅游村一般指拥有传统乡村民俗文化特色, 从事旅游接待和经营的行政村或区域相对独立、规模合理、特色鲜明的自然村。北京市民俗旅游村位于房山、大兴、怀柔、密

云、通州、昌平、顺义等区, 经过实地调查, 其特点是生态基底较好、民俗文化浓厚, 但是水域污染日益严重, 水体面积减少, 水体净化方式落后, 水岸自然生态景观逐渐消失, 水域景观破碎度增加。民俗旅游村居住人口较少, 污水排放量不大, 且当地村庄发展以旅游业为主体产业, 因此村庄对处理设施出水水质有较高要求^[7]。

因此, 急需在北京市民俗旅游村通过水质净化技术和水环境修复技术, 增加水体循环, 改善水体流动性, 提高水体净化能力, 从整体上改善水环境和水生态。而利用再生水回用进行民俗旅游村的水景观构建, 同时维持其水质稳定性, 对于解决民俗旅游村水资源短缺问题及构建可持续、高质量的水景观环境具有重要意义。笔者通过分析再生水在民俗旅游村的回用策略, 并将该策略在北京市通州区于家务回族乡仇庄村进行了工程实践, 为再生水在民俗旅游村水景观建设的应用作出示范。

1 研究区概况

仇庄村地处北京市通州区于家务回族乡的最南端, 南接河北, 西联大兴, 东与东方大学城相邻, 距城区约 31.5 km, 是通州区的南大门。2013 年仇庄村被评为“全国美丽乡村”创建试点单位, 2017 年被评为北京市通州区区级民俗旅游村。2020 年 12 月, 仇庄村被列入农业农村部推介首批全国村级“乡风文明建设”优秀典型案例, 以“倡、树、兴、展”为引领, 完善“家庭、学校、社会、网络”四位一体的工作模式, 开展特色文化活动, 传承弘扬优良家风。

仇庄污水处理站位于仇庄村西南角(图 1), 毗邻京沪高速, 距离北京市核心区 40 km, 临近仇庄村及仇庄孝道主题公园, 其他周边用地均为林地环绕。

基金项目 十三五国家水体污染控制与治理科技重大专项“北运河上游水环境治理与水生生态修复综合示范”(2017ZX07102004-003)。

作者简介 张雄(1986—), 男, 湖北黄梅人, 工程师, 硕士, 从事水环境保护与修复研究。

收稿日期 2022-03-31

2 民俗旅游村再生水回用策略及示范工程

2.1 策略

2.1.1 选择合适的水源与可行的再生水回用工艺。民俗旅游村水景观的构建可采用自然水源、再生水回用等方式。水质是水景观建设的基础和保障^[4],因此首先需通过水质净化

技术和水环境修复技术,从整体上改善水环境和水生态。目前农村污水再生回用的工艺主要有生态塘、人工湿地、浮动湿地等方式,以削减污染物、控制水体富营养化、保持水质稳定性为目标,结合不同工艺类型和特点,选择经济可行的再生水回用工艺。

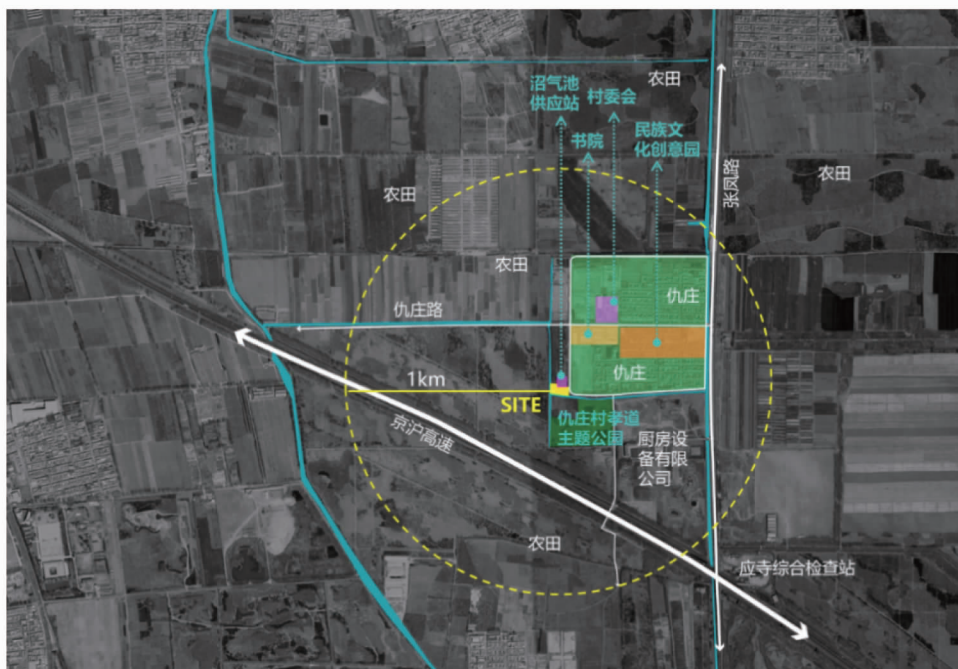


图1 仇庄污水处理站周边环境示意

Fig.1 Surrounding environment of Qiuzhuang Sewage Treatment Plant

2.1.2 符合民俗旅游村特点的水景观营造。民俗旅游村水景观的营造,首先是需要尊重自然、顺应自然,充分开发与利用村庄原有的井、渠、塘、堰、碓、缸等水景观设计元素;桥、亭、水街、驳岸、埠头等饰水元素要与古村落原有的风格和谐统一,秉承古朴、自然、生态、低碳的营造理念。其次,要保护现状资源,融入生态设计手法,营建人与自然共生人居环境,打造集生态、科普、休闲、展示、游览多功能于一体的民俗旅游村。最后,遵循保护优先、科学恢复、因地制宜、适度开发等原则,保护原有场地现状,迎合该地区居民的需要进行设计^[8]。

2.1.3 水质稳定性保持。首先,通过控制再生水水质确保来水水体质量,引导农业生产者科学地使用化肥、农药等,实现农产品的优质、无害和农业生产废物的资源化,防止农业面源污染。其次,适当引入经济价值较高、适应能力强及生态效益好的物种,使其形成高效、稳定的生态型人工植物群落。在改善水体水质的同时结合景观空间效果及产业经济需求,使其形成自然野趣的生态空间。还可根据气候特点,实行水期差异引水,同时在枯水期及丰水期配置相适宜的植物群落,达到改善水质和美化景观的双重效果。最后,随着村庄旅游业的发展,可能会存在两岸堆放垃圾以及直接向水体乱扔垃圾的现象,影响水系的景观效果,也通过地表径流引起水体污染。因此,加强管理是民俗旅游村景观水体水质保障的关键。

2.2 再生水回用示范工程

2.2.1 项目背景。近些年,随着北京市美丽乡村的建设,北京市新建了大量的农村污水处理站,但处理后的再生水排放至附近沟渠和坑塘,未充分利用再生水资源,造成再生水浪费。依托于水专项——北京市农村再生水回用及水景观构建课题,项目组在通州区仇庄村建设一处农村再生水回用及水景观构建技术示范基地(简称“基地”)。

基地位于北京市通州区于家务回族乡仇庄村,仇庄村依托孝道传统文化发展休闲农业和乡村旅游。仇庄污水处理站建成于2019年,地理坐标为116.713°E,39.645°N,占地面积1 420.88 m²。污水处理工艺为A²/O+MBR,近期规模为200 m³/d,远期规模为1 000 m³/d,结合仇庄当地文化及景观要求,该项目采用半地下污水处理形式。

场站出水标准按照出水水质符合北京市地标《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB 11/1612—2019)新(改、扩)建农村生活污水处理设施水污染物排放二级A标准。由表1可知,仇庄污水处理站出水水质与再生水回用观赏性景观环境用水-水景类标准仍有较大差别,因此该项目通过建设表流人工湿地,实现再生水水质净化及维持其稳定性,达到再生水回用观赏性景观环境用水-水景类标准的要求。

原场站重点考虑净化污染的功能,缺少后续再生水回用的功能,设计出水直接排放至附近沟渠,未充分利用再生水资源,造成水资源浪费。通过基地建设,为民俗旅游村的再

生水回用水景观进行示范,在北京对农村再生水回用进行推广。

表 1 污水处理站设计进出水及再生水回用景观水体标准对比

Table 1 Comparison of landscape water standards for sewage treatment station design inlet and outlet water and reclaimed water reuse

序号 No.	水质指标 Water quality index	pH	SS mg/L	BOD ₅ mg/L	COD _{Cr} mg/L	NH ₄ ⁺ -N mg/L	TN mg/L	TP mg/L
1	场站进水水质	6~9	250	200	400	40	55	5.0
2	场站出水水质	6~9	10	10	50	5~8	—	0.5
3	再生水回用观赏性景观环境用水-水景类标准	6~9	5	6	—	3	10	0.3

2.2.2 项目目标。通过集成水专项研发的污水处理技术和再生水回用水景观构建技术,以水为题,利用自身所产再生水建设一个水景公园,为仇庄村美丽乡村建设,为仇庄民俗旅游的经济贡献力量。通过污水处理和再生水回用水景观的建设,开展多样化的科普活动,使项目场地成为一处宣传水资源再生利用及传递环保理念的科普示范基地,同时场地可为周围居民提供休闲游憩场所。

2.2.3 设计理念

(1)中水回用:构建生态公园。仇庄污水处理站可生产200 t/d 再生水,利用部分再生水作为场站内湿地公园的水源,具有溪流和水塘等多样的湿地景观,给居民带来不同的湿地风貌体验。

(2)表流湿地:深度净化水质。湿地水系设置表流湿地,选择较耐水湿的乔灌木来提升冬季景观效果,同时提高冬季水景观水体净化能力^[9],并在湿地底部铺设砾石、火山岩等填料,增强对污染物的去除效果。

(3)海绵系统:净化后排放。大量砾石可保证旱季景观

效果,雨季来自地面的雨水通过层层台地汇入洼地,形成小型的叠水景观,雨水经过植物净化后自然下渗。

(4)生境营建:创造多样生态。通过种植乔灌草,选择北京乡土植物,模拟自然群落结构,营造不同的陆生和湿生生境,同时与周围的公园和林地形成有效连接,丰富区域生物多样性。

(5)文化凸显:营造特色环境。仇庄拥有悠久孝道文化,通过特色的种植体现仇庄家庭和美、骨肉情深的“孝”文化。

2.2.4 设计方案。通过基地的建设为再生水回用民俗旅游村提供实践案例,积极探索农村再生水回用及水景观构建技术在农村的应用。

(1)总平面图(图2)。表流人工湿地面积为185.2 m²,水深为0.1~0.4 m,雨水花园面积为67.6 m²。基地的水源主要为污水处理站处理的再生水,雨水作为适当补充。水源主要通过将污水处理设备处理后的水引入场地,先流经西侧表流湿地,再通过管道进入东侧雨水花园,经过湿地植物进行净化。

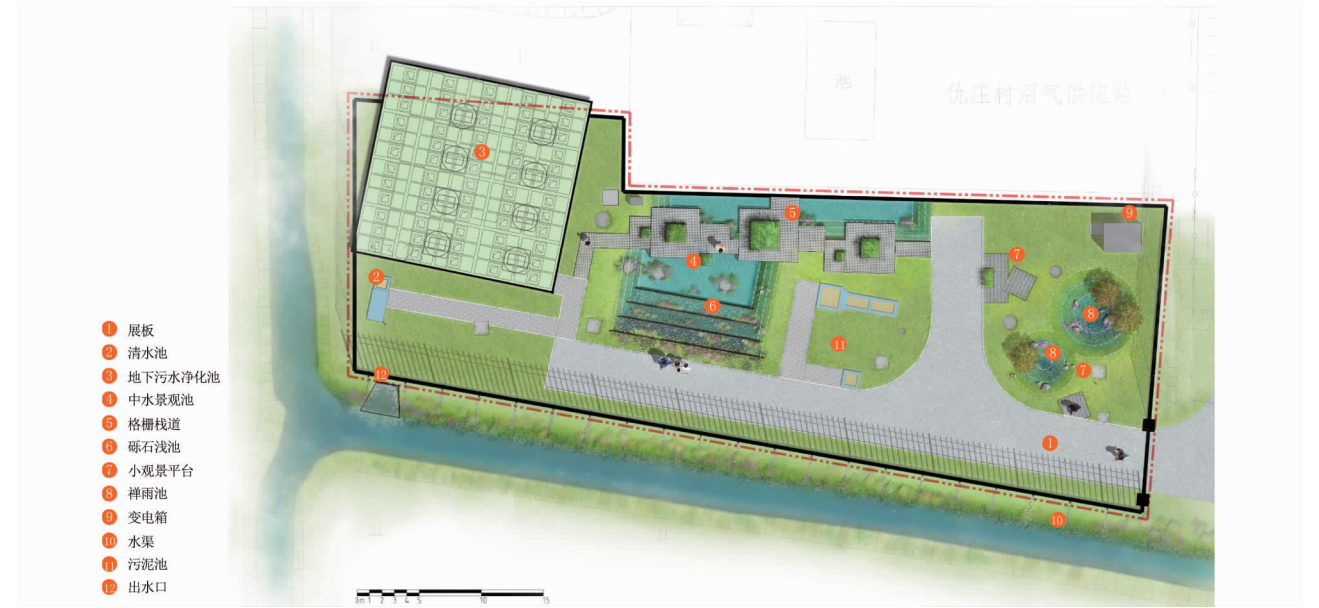


图2 基地总平面
Fig.2 Base plan

(2)驳岸设计。表流湿地的驳岸采用砾石驳岸+钢板的形式,使水体营养物质与岸边的基质进行物质和能量交换,不仅能够增强水体自净能力,保障水体景观中生物过程,还

有利于保障结构的稳定性,砾石驳岸+钢板的驳岸具有良好的景观效果,与周围环境有较好的衔接。

沟渠驳岸坡度较陡,在雨水的冲刷下,部分驳岸已经被

清掏,威胁到围墙的稳定性,驳岸采用枝桩沉床生态工法可提升沟渠的生态性与景观性,丰富仇庄村生态功能。枝桩沉床生态工法主要做法为表层铺设枝桩捆,内填种植土;间隔 200 mm 用 2 股绳捆扎枝桩形成直径为 150 mm 的枝桩捆,枝桩捆横向和竖向交错布置捆扎,组成 1 000 mm×1 000 mm 的方格,方格内填满种植土。其上部采用粒径为 10~20 mm 的碎石整体覆盖,防止表层土被水流冲刷。

(3)植物设计。植物作为水景观中的重要环节,不仅能净化水体中的污染物及吸收有毒害气体,还可以提高景观丰富度,提升水景观的生态性和观赏性。在湿地的下层以现状

草坪打底。
场地土方整理后将现状草坪进行重新回填利用,不造成浪费。中层以砂地植被和湿生草本植被为主,根据地形、水淹条件的不同,选择景观效果较好,既耐水湿又耐旱、低维护的植物,布置于表流湿地、雨水花园、水景。现状井盖周围种植较高的湿生草本进行遮挡。上层以观花小乔进行点景,体现仇庄“孝”文化,彰显家庭和美、骨肉情深。利用花期长的藤蔓植物对重点景观区域的铁栏杆进行修饰和美化,弱化场地内外不良景观因素的影响(图 3)。

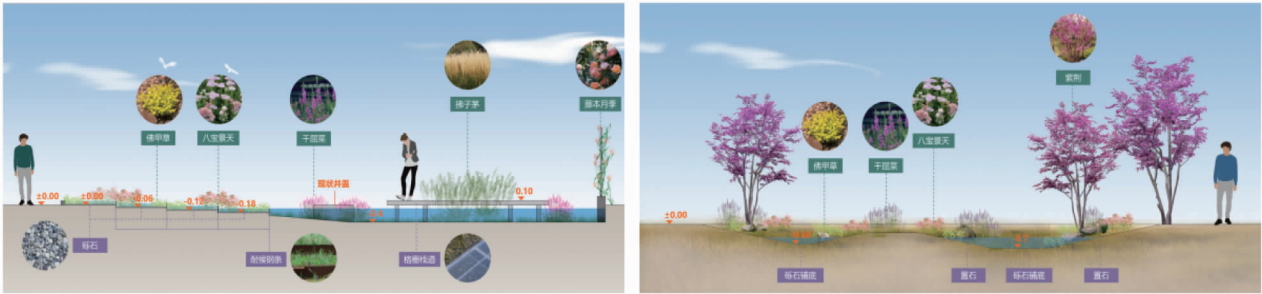


图 3 种植剖面
Fig.3 Planting profile

(4)科普游赏。基地主入口区设有科普展示牌,用于展示农村污水处理技术、中水回用效果,宣传节能环保、绿色发展理念。基地西区主要是农村污水处理构筑物,通过清水池可以展示污水处理站出水效果。在场地北区主要展示中水水景,通过表流湿地和雨水花园重点展示中水回用水景观的

应用,在对水质进行保障的前提下营造民俗旅游村水景观。在场地南区主要展示再生水回用沟渠,通过沟渠将场地与孝道主题公园进行有机连接。场地本身亦是一个兼具水资源再利用、海绵系统、水生态修复的绿色示范。基地参观游线设计见图 4。

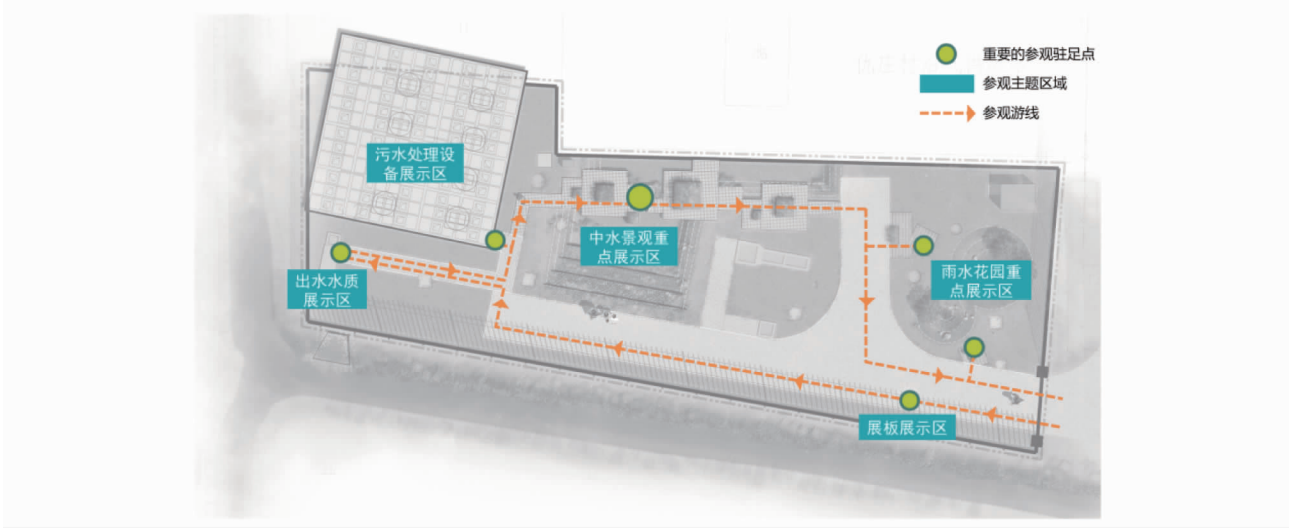


图 4 基地参观游线设计
Fig.4 Design of base tour line

3 实践效果分析

3.1 污水处理站水质处理效果

3.1.1 对 COD 的去除效果。2021 年 4—6 月,仇庄污水处理站的进出水 COD 监测数据见图 5。进水 COD 浓度为 34.6~89.6 mg/L,出水 COD 浓度为 14.96~25.98 mg/L,能够稳定达到设计要求,平均去除率为 67.98%。

3.1.2 对 NH₄⁺-N 的去除效果。2021 年 4—6 月,仇庄污水

处理站的进出水 NH₄⁺-N 监测数据见图 6。进水 NH₄⁺-N 浓度为 5.28~31.67 mg/L,出水 NH₄⁺-N 浓度为 0.08~4.28 mg/L,能够稳定达到设计要求,平均去除率为 93.73%。
3.1.3 对 TP 的去除效果。2021 年 4—6 月,仇庄污水处理站的进出水 TP 监测数据见图 7。进水 TP 为 0.47~4.30 mg/L,出水 TP 为 0.04~0.48 mg/L,能够稳定达到设计要求,平均去除率为 85.90%。

3.2 表流人工湿地再生水水质净化及稳定性保持试验 于 2021 年 4—6 月采用不同的水力负荷,分别为 0.10、0.15 和 0.25 m³/(m²·d),对表流人工湿地再生水水质净化效果进行试验研究。通过分析湿地中试系统对北京农村再生水的水

质净化效果,重点探讨不同水力负荷下表流湿地对再生水水质净化效果的影响,为更好地处理北京市农村再生水工程提供参考。

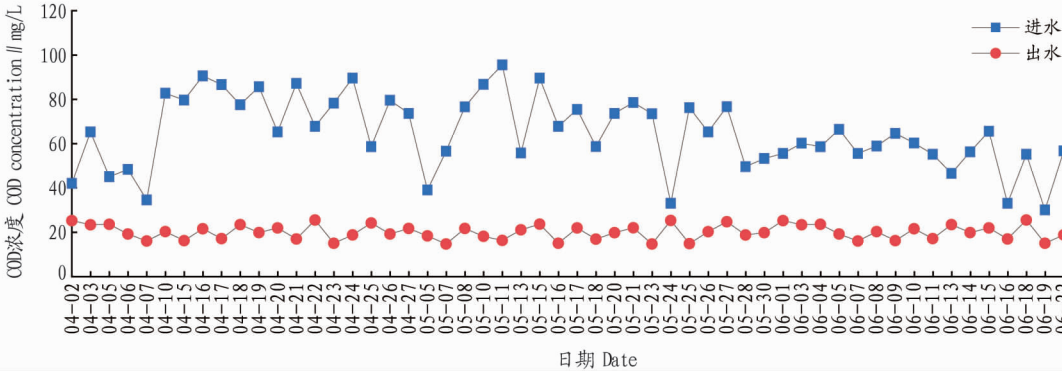


图 5 仇庄污水处理站进出水 COD 浓度变化

Fig.5 Variation of COD concentration in the influent and effluent of the Qiuzhuang Wastewater Treatment Plant

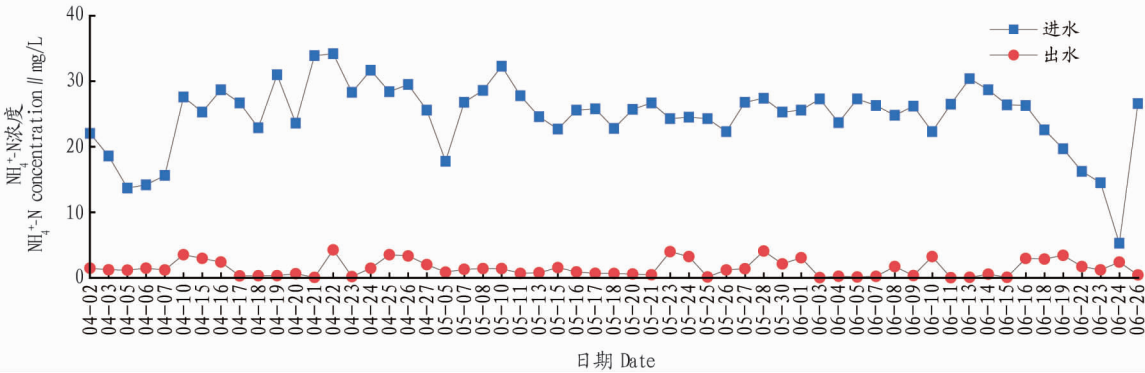


图 6 仇庄污水处理站进出水 NH₄⁺-N 浓度变化

Fig.6 Variation of NH₄⁺-N concentration in the influent and effluent of the Qiuzhuang Wastewater Treatment Plant

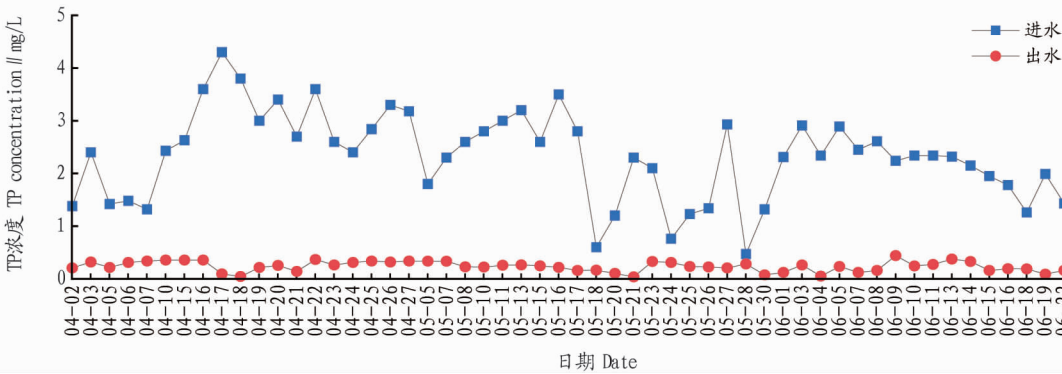


图 7 仇庄污水处理站进出水 TP 浓度变化

Fig.7 Variation of TP concentration in the influent and effluent of the Qiuzhuang Wastewater Treatment Plant

3.2.1 对 COD 的净化效果。根据试验结果可知,水力负荷 0.10 m³/(m²·d)条件下,表流人工湿地系统对再生水的 COD 去除率在 11%~21%,平均去除率为 17.1%;水力负荷 0.15 m³/(m²·d)条件下,表流人工湿地系统对再生水的 COD 去除率在 12%~15%,平均去除率为 13.63%;水力负荷 0.25 m³/(m²·d)条件下,表流人工湿地系统对再生水的 COD

去除率在 5%~13%,平均去除率为 9.79%(图 8)。

3.2.2 对 NH₄⁺-N 的净化效果。根据试验结果可知,水力负荷 0.10 m³/(m²·d)条件下,表流人工湿地系统对再生水的 NH₄⁺-N 的去除率在 14%~18%,平均去除率为 15.58%;水力负荷 0.15 m³/(m²·d)条件下,对再生水 NH₄⁺-N 的去除率在 6%~11%,平均去除率为 8.21%。水力负荷 0.25 m³/(m²·d)

条件下,对再生水的 NH_4^+-N 去除率在 3%~8%,平均去除率为 6.16%(图 9)。

3.2.3 对 TN 的净化效果。根据试验结果可知,水力负荷 $0.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 条件下,表流人工湿地系统对再生水 TN 去除率在 13%~18%,平均去除率为 15.79%;水力负荷 $0.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 条件下,对再生水的 TN 去除率在 5%~10%,平均去除率为 5.91%;水力负荷 $0.25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 条件下,对再生水的 TN 去除率在 2%~7%,平均去除率为 4.84%(图 10)。

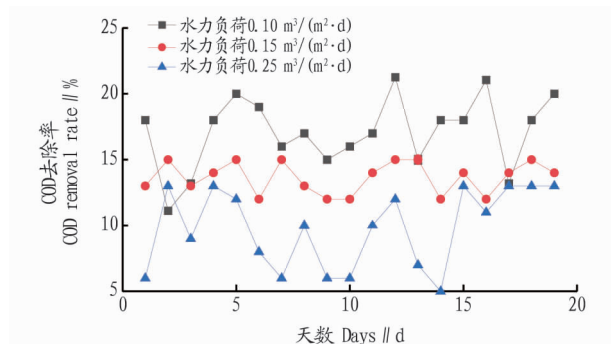


图 8 不同水力负荷条件下表流人工湿地 COD 去除率

Fig.8 The removal rate of COD in the surface flow constructed wetland under different hydraulic loading conditions

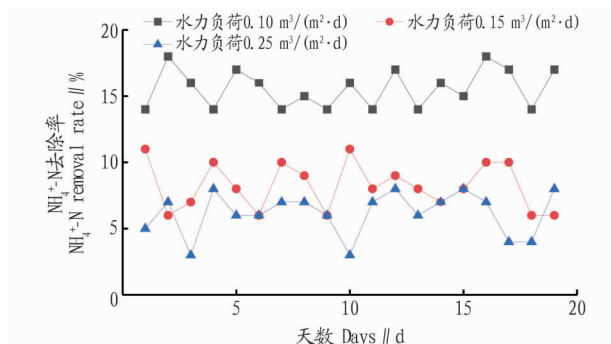


图 9 不同水力负荷条件下表流人工湿地 NH_4^+-N 去除率

Fig.9 The removal rate of NH_4^+-N in the surface flow constructed wetland under different hydraulic loading conditions

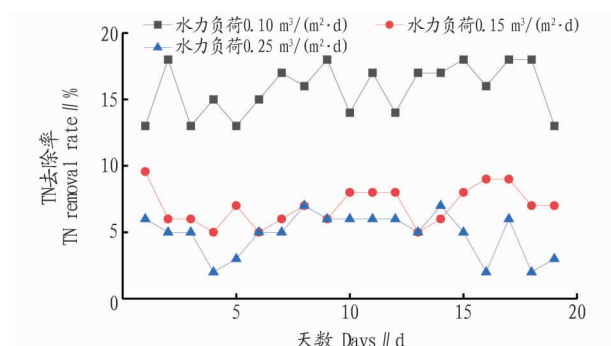


图 10 不同水力负荷条件下表流人工湿地 TN 去除率

Fig.10 The removal rate of TN in the surface flow constructed wetland under different hydraulic loading conditions

3.2.4 对 TP 的净化效果。根据试验结果可知,水力负荷 $0.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 条件下,表流人工湿地系统对再生水 TP 去除率在 16%~21%,平均去除率为 13.28%;水力负荷 $0.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 条件下,对再生水的 TP 去除率在 10%~

12%,平均去除率为 10.18%;水力负荷 $0.25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 条件下,对再生水的 TP 去除率在 7%~11%,平均去除率为 9.47%(图 11)。

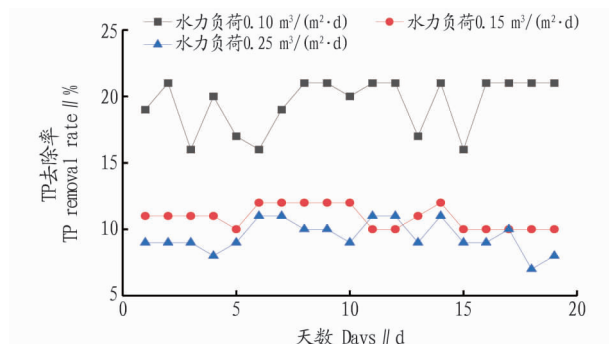


图 11 不同水力负荷条件下表流人工湿地 TP 去除率

Fig.11 The removal rate of TP in the lower flow constructed wetland under different hydraulic loading conditions

3.2.5 试验结论。水力负荷是人工湿地的重要设计参数。该试验结果也证明了水力负荷对污染物去除率的影响,在水力负荷为 $0.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的条件下,表流人工湿地系统对再生水的 COD、 NH_4^+-N 、TN、TP 的去除率最高,在水力负荷为 $0.25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的条件下,表流人工湿地系统对再生水的 COD、 NH_4^+-N 、TN、TP 的去除率最低。水力负荷为 0.10 和 $0.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,出水平均水质满足《城市污水再生利用景观环境用水水质 (GB/T 18921—2019)》中观赏性景观环境用水水景类的要求。

水力负荷越小,污水的停留时间就越长,对污染物的去除率越高^[10],但进水负荷过小难以充分发挥湿地的净化能力,且需要更大的占地面积。根据该试验结果,表流人工湿地系统在不同的水力负荷条件下运行,在水力负荷为 0.10 和 $0.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,对各种污染物仍具有较好的处理效果,为实际工程应用提供技术支撑及参考价值。

在湿地设计中既要在一定程度上缩小占地面积,又要适当加大水力负荷,提高处理量。因此,在综合考虑以上各方面因素时,水力负荷 $0.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 为净化北京市农村再生水表流人工湿地运行的最佳水力负荷。

3.3 场地水生态变化情况 在仇庄污水处理站建设表流人工湿地与雨水花园(图 12),不仅可以起到净化水质、调蓄雨水、维持再生水水质稳定性、构建水景观的作用,还重建了稳定的水生植物群落,提高了场地的生物多样性。

起伏的地形和洼地可作为鸟类的营巢和庇护地,砾石保留足够的空隙利于昆虫、两栖动物等的繁衍生长。滩缓坡护岸通过卵石的自然堆砌,为水生动植物提供了良好的生存环境,同时结合种植耐水植物,更利于营造自然野趣的生态空间环境。

4 结论

(1)通过对目前北京市农村再生水回用现状及再生水回用于景观水体的应用进行分析,针对民俗旅游村对景观水体水质需求高、水量少等问题,结合民俗旅游村的特点,提出了再生水在民俗旅游村的回用策略,即选择可行的污水再生处

理工艺、营造符合民俗旅游村特点的水景观,同时提出了再生水回用于景观水体的水质稳定性保持的方法,并根据该策

略在北京市通州区于家务回族乡仇庄村进行了工程实践,为再生水在民俗旅游村水景观建设的应用作出示范。



图 12 技术示范基地现场
Fig.12 On-site of technology demonstration base

(2)仇庄污水处理站对农村生活污水的 COD、NH₄⁺-N、TN 的平均去除率分别为 67.98%、93.73%、85.90%,出水水质符合北京市地标《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB 11/1612—2019)新(改、扩)建农村生活污水处理设施水污染物排放二级 A 标准。建设表流人工湿地系统处理仇庄污水处理站出水,在最佳水力负荷 0.15 m³/(m²·d)的条件下,表流人工湿地系统对再生水的 COD、NH₄⁺-N、TN、TP 的平均去除率分别为 13.63%、8.21%、5.91%、10.18%,出水平均水质满足《城市污水再生利用 景观环境用水水质(GB/T 18921—2019)》中观赏性景观环境用水水质景类的要求。

(3)场地的建设起到净化水质、调蓄雨水、维持再生水水质稳定性、维持水景观的作用,还重建了稳定的水生植物群落,提高场地的生物多样性。不仅可以展示农村再生水回用于民俗旅游村水景观的可能性,为美丽乡村的水景观建设提供理论和实践支撑,同时为游客和居民提供了一处科普教育

场所,提高了全民环保意识。

参考文献

- [1] YI L L, JIAO W T, CHE C X, et al. An overview of reclaimed water reuse in China[J]. Journal of environmental sciences, 2011, 23(10): 1585-1593.
- [2] WANG J H, SHANG Y Z, WANG H, et al. Beijing's water resources: Challenges and solutions[J]. Journal of the American water resources association, 2015, 51(3): 614-623.
- [3] ZHU Z F, DOU J. Current status of reclaimed water in China; An overview [J]. Journal of water reuse and desalination, 2018, 8(3): 293-307.
- [4] 陈菁, 吕萍. 农村水景观建设[M]. 南京: 河海大学出版社, 2011.
- [5] 龙怡静. 以再生水为水源的景观水体藻类水华爆发条件与控制策略研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- [6] 赵高辉. 北京市典型农村污水处理技术适用性评估[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
- [7] 杨春娣, 曹旭, 张璇, 等. 再生水回用景观水体的富营养化情况调查: 以西安护城河为例[J]. 科技创新与应用, 2019(10): 57-58.
- [8] 李冰心, 张雄, 李阳. 基于再生水的北京农村水景观构建策略与措施[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(17): 82-84, 87.
- [9] 崔丽娟, 李伟, 张曼胤, 等. 不同湿地植物对污水中氮磷去除的贡献[J]. 湖泊科学, 2011, 23(2): 203-208.
- [10] 孔庆玲. 人工湿地水力条件优化设计[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.