

人工湿地技术在住宅小区雨水回用工程中的运用

徐 云

山东齐鲁石化工程有限公司青岛分公司 山东 青岛 266555

摘要：本文围绕人工湿地技术在住宅小区雨水回用工程中的应用展开研究，分析小区雨水水质特性与回用途径，阐述人工湿地净化原理与适配优势。详细介绍系统设计、工艺选型、配套设施及施工要点，梳理日常运维管理方案，评估水质净化、节水增效、生态美化等应用成效，针对现存问题提出优化对策。该技术兼具生态性与经济性，能实现雨水资源化利用，缓解水资源压力，提升小区居住品质，具备广阔的推广应用价值。

关键词：人工湿地技术；住宅小区；雨水回用工程；运用

引言：城市化进程加快，水资源短缺与城市内涝问题日益凸显，住宅小区雨水资源化利用成为节水减排的重要途径。小区雨水污染较轻，回用潜力大，传统水处理工艺成本高、适配性差。人工湿地技术依托生态循环净化水质，运维简便、景观性强，与住宅小区建设需求高度契合。本文深入探究该技术在小区雨水回用中的实操路径，完善工程设计与运维体系，助力绿色宜居小区建设，推动城市水资源可持续利用与生态环保事业发展。

1 住宅小区雨水回用与人工湿地技术基础

1.1 住宅小区雨水特性分析

(1) 住宅小区雨水径流来源与水质特征。小区雨水径流主要来源于屋面、道路、绿地、停车场等区域，初期雨水污染物含量偏高，携带泥沙、悬浮物、少量有机物及重金属，后期雨水水质相对洁净，整体污染程度远低于生活污水，属于轻度污染水体，具备良好的回用潜力。(2) 雨水径流水质影响因素与污染规律。水质受季节、降雨强度、下垫面材质、周边环境等因素影响，夏季降雨频繁、污染物冲刷充分，水质相对较好；初期降雨污染负荷高，随着降雨时长增加，污染物浓度逐步下降并趋于稳定，呈现明显的初期冲刷规律。(3) 小区雨水回用水质标准与回用途径。雨水回用需符合城市杂用水水质标准，净化后主要用于小区绿化浇灌、道路清扫、景观水体补水、车辆冲洗等非饮用场景，既能节约自来水用量，又能减少雨水外排，缓解市政排水压力。

1.2 人工湿地技术核心原理

(1) 人工湿地的定义与分类。人工湿地是模拟自然湿地构建的生态水处理系统，依靠基质、植物、微生物协同净化水质，按水流方式主要分为表面流、潜流和垂直流人工湿地，其中潜流湿地更适合住宅小区应用。

(2) 人工湿地水质净化机理。系统通过物理过滤、吸附沉降去除悬浮物，利用化学反应降解污染物，借助植物

吸收、微生物分解转化有机物、氮磷等污染物，三者协同作用，实现水质深度净化。(3) 人工湿地系统的组成与运行特性。系统由基质层、水生植物、布水系统、集水系统组成，运行稳定、抗冲击负荷强，无需复杂设备，依靠自然生态循环运作，维护难度低^[1]。

1.3 人工湿地适配住宅小区雨水回用的优势

(1) 生态环保，贴合小区绿化景观需求。人工湿地搭配水生绿植，既能净化水质，又能打造生态景观，打破传统水处理设施的生硬感，和小区绿化融为一体，营造自然舒适的居住环境。(2) 造价低廉，运维成本低，适合小区规模化应用。系统基建成本低，不用大功率设备，能耗极少，日常只需简单清理维护，运维费用远低于常规水处理工艺，适合小区批量建设、长期使用。

(3) 占地灵活，可因地制宜布置，提升小区环境品质。可利用小区闲置绿地、边角空地、景观水池布置湿地，形状灵活多变，不占用核心居住空间，还能改善小区微气候，提升居住舒适度和楼盘品质。

2 人工湿地技术在住宅小区雨水回用工程中的具体运用

2.1 住宅小区雨水回用人工湿地系统整体设计

(1) 系统设计原则。系统设计需坚守四大核心原则，兼顾功能与品质。生态性方面，遵循自然生态循环规律，不破坏原有场地环境，依托生物、物理协同作用实现净水，杜绝二次污染。经济性以低成本为核心，简化工艺、减少设备投入，降低基建与后期运维开销，提升项目性价比。实用性贴合小区实际用水需求，适配雨水水量、水质特点，保证净化效果稳定，满足日常回用要求。美观性则融合小区景观风格，将湿地与绿化、小品结合，打造养眼的生态景观，避免设施突兀，提升整体居住质感。(2) 雨水收集-预处理-净化-储存-回用全流程设计。整套系统采用闭环式流程设计，实现雨水高效

回收利用。首先通过屋面、路面收集管网汇集雨水，输送至预处理单元去除大颗粒杂质；随后送入人工湿地进行深度净化，降解有机物、去除氮磷等污染物；净化达标后的雨水导入蓄水池储存，配备稳压输送装置，通过专用管道输送至各用水点，全程自动化运行，减少人工干预，实现雨水从收集到回用的无缝衔接，提升水资源利用率^[2]。（3）人工湿地选址与布局规划。湿地选址优先选用小区闲置空地、边角绿地、景观带周边等非核心区域，避开地下管线密集区和建筑承重区，保证场地地势平缓、便于雨水自流。布局上遵循因地制宜的理念，结合场地形状灵活规划，分散式布置可贴合小型地块，集中式布置适合大片闲置绿地，同时预留检修通道，兼顾运维便利性与景观整体性，不占用居民活动空间。

2.2 人工湿地工艺选型与结构设计

（1）适合住宅小区的人工湿地类型。结合小区规模、场地条件选用适配工艺，表面流湿地造价低、景观效果佳，适合小型小区和景观点缀，但净化效率偏弱。潜流湿地占地紧凑、除臭效果好、受环境影响小，净水能力强，适合多数住宅小区使用。复合流湿地结合两者优势，净化效果更稳定，适配大型小区或水质要求偏高的项目，日常推荐选用潜流或复合流湿地，平衡实用性与美观性。（2）湿地主体结构设计。池体采用钢筋混凝土或土工膜防渗结构，保证稳固耐用。填料层采用分层铺设设计，底层选用碎石、卵石做承托层，中层用石英砂、沸石做吸附层，表层用种植土适配植物生长，层层过滤提升净水效果。防渗层是核心构造，选用高密度聚乙烯土工膜，做好密封处理，杜绝雨水渗漏，避免污染地下水源。（3）水力参数设计。水力参数结合小区雨水水量合理设定，水力负荷控制在适宜区间，避免负荷过大超出净化能力。水力停留时间保持在合理时长，保证污染物充分降解。水深根据湿地类型调控，潜流湿地保持潜流状态，表面流湿地控制浅水深度，既满足植物生长需求，又能提升净化效率，防止积水滋生蚊虫^[3]。

2.3 人工湿地配套设施设计

（1）雨水预处理设施。预处理设施能有效减轻湿地净化压力，延长湿地使用寿命。初期弃流池用于排放污染较重的初期雨水，去除大部分泥沙和污染物。格栅拦截落叶、塑料袋等大块漂浮杂物，防止堵塞管道和填料缝隙。沉淀池进一步沉淀细小悬浮物，降低雨水浊度，三重预处理配合，保障湿地进水水质稳定。（2）湿地植物选配与种植设计。植物选用兼顾净水能力与景观效果，优先选用芦苇、菖蒲、美人蕉、鸢尾等本土水生植物，成活率高、耐污能力强、养护简便。种植采用疏密

结合的方式，按高矮、花期搭配，分层种植打造立体景观，同时保证植物根系充分接触水体，发挥吸附降解作用^[4]。（3）雨水储存与回用输送系统设计。蓄水池选用不锈钢、PE材质或现浇混凝土池体，容量根据小区日均用水量设计，配备过滤、防虫装置。回用输送系统采用专用管道，区分饮用水管网，配备增压泵、控制阀，实现绿化浇灌、道路清扫等用水的自动化输送，搭配计量装置，便于管控用水量。

2.4 工程施工与安装要点

（1）场地平整与防渗施工把控。施工前彻底清理场地杂物、碎石，平整地面并压实，防止后期不均匀沉降。防渗施工严把质量关，土工膜铺设平整无褶皱、无破损，搭接宽度达标，焊接处严密不漏，施工后做闭水试验，确认无渗漏再进行后续工序。（2）填料分层铺设与压实工艺。填料按设计厚度由下至上分层铺设，严控每层厚度，大粒径填料在下，细颗粒填料在上，杜绝混料。每层铺设后适度压实，保持间隙均匀，既保证水流通畅，又能发挥过滤吸附作用，避免填料过松流失或过紧堵塞。（3）植物栽种与系统调试流程。选在春秋适宜季节栽种植物，控制栽种深度和间距，栽种后及时浇水定根。系统完工后先通入清水试运行，检查水流、防渗、设备运行情况；再通入预处理后的雨水，逐步调试运行，监测出水水质，待系统稳定、水质达标后，正式投入使用。

3 人工湿地技术在住宅小区雨水回用工程运行管理、成效分析与优化建议

3.1 人工湿地雨水回用系统日常运维管理

（1）水质监测与定期检测方案。建立常态化水质监测机制，保障出水水质达标。定期检测进水、出水水质，重点监测悬浮物、有机物、氮磷等指标，常规月份每月检测一次，雨季及气温突变时期加密检测频次，做好数据记录与台账整理。设置简易在线监测设备，实时把控水质变化，一旦发现水质超标，立刻排查原因，及时采取调控措施，确保回用水符合城市杂用水标准，满足回用使用要求。（2）湿地植物养护与更新管理。做好植物日常养护，维持湿地净化能力。定期修剪枯枝败叶，清理枯死植株，防止植物残体腐烂污染水体；春夏生长期适量补水施肥，提高植物长势与耐污性；秋冬季节做好防冻防护，选用耐寒品种降低冻伤风险。每隔2-3年对老化、退化植株分批更新，补种本土水生植物，保持植物群落健康，持续发挥净水与景观作用。（3）系统清淤、堵塞防控与设备维保。定期清理预处理设施淤泥与杂物，每年对湿地填料表层进行浅度清淤，防止淤泥

堆积堵塞孔隙。日常严控进水污染物浓度，做好初期雨水弃流，从源头防控填料堵塞。定时巡检水泵、阀门、管道等设备，清理污垢、紧固部件，定期保养维修，更换老化零件，保证设备正常运转，杜绝管道漏水、水泵停运等故障^[5]。

3.2 工程应用成效分析

(1) 水质净化效果评估。人工湿地对雨水净化效果显著，能有效去除水体中的悬浮物、泥沙、有机物及氮磷营养盐，悬浮物去除率可达80%以上，有机物降解率超60%，出水水质清澈达标，完全满足小区非饮用水回用要求，净化过程无化学药剂添加，不会产生二次污染，生态安全性高。(2) 雨水回用率与节水效益测算。系统投用后，能大幅收集利用屋面、路面雨水，小区雨水回用率可提升至30%-50%，有效替代自来水用于绿化浇灌、道路清扫等场景，大幅减少自来水消耗量。按年均降雨量测算，单个中等规模小区每年可节约自来水数万吨，降低物业供水开支，带来可观的经济效益，同时减轻市政供水压力。(3) 生态效益与景观提升效果。系统减少雨水外排总量，缓解市政管网排水压力，降低城市内涝风险；湿地植物与水体构成小型生态系统，涵养水源、净化空气，改善小区微气候。同时，水生绿植搭配水景打造生态景观，打破硬质景观的单调感，美化小区环境，提升居住舒适度与楼盘整体品质。

3.3 现存问题与优化改进建议

(1) 运行中常见问题。系统长期运行易出现填料堵塞、水流不畅问题，进而导致净化效率下降；秋冬气温降低，植物生长停滞，微生物活性减弱，净水效率大幅下滑；部分小区运维不到位，淤泥堆积、植物衰败，进一步影响系统运行效果。(2) 工艺优化与运维改进措施。优化工艺设计，采用多级分层填料，增设反冲洗装

置，定期疏通填料，防控堵塞；冬季搭建保温棚、选用耐寒植物，提升低温时段运行效率。建立规范化运维制度，专人负责日常管护，定时清淤、修剪植物，加密低温期水质监测与设备巡检，及时修复故障。(3) 推广应用的保障措施与发展建议。加大技术宣传力度，普及雨水回用生态效益，争取物业与居民支持；出台小区运维管理规范，统一运维标准；结合小区实际情况，定制化设计湿地系统，推行轻量化、景观化建设模式。鼓励新建小区同步配套，老旧小区因地制宜改造，推动人工湿地雨水回用技术规模化、常态化应用。

结束语

人工湿地技术应用于住宅小区雨水回用，实现了水质净化、景观营造、节水减排的多重效益，是生态宜居建设的优质方案。工程实践证明，该技术运行稳定、性价比高，能有效盘活雨水资源，减轻市政负担。未来需持续优化工艺设计，补齐低温运行、堵塞防控等短板，健全标准化运维机制。加大推广力度，推动新建小区标配、老旧小区改造适配，让生态净水技术惠及更多居民，助力城市绿色低碳发展。

参考文献

- [1]杨长明,张翔,郝彦璋.人工湿地污水生态处理技术研究现状、挑战与展望[J].工业水处理,2021,41(9):18-25.
- [2]王卫宏.住宅小区PP模块雨水收集系统施工技术探析[J].安徽建筑,2021,28(07):66-73.
- [3]潘雨.住宅小区雨水花园海绵化景观设计分析[J].绿色建筑,2021,13(4):29-34.
- [4]张敏.人工湿地技术在住宅小区雨水回用工程中的应用[J].工程建设与设计,2021,15(19):68-70.
- [5]徐明明.住宅小区污水、雨水利用设计[J].工程建设,2020,52(1):36-40.