

再生水回用系统工艺设计及在市政景观中的应用

梁艮炎

筑博设计股份有限公司佛山分公司 广东佛山 528200

DOI:10.32629/ems.v8i6.20580

[摘要] 城市发展同时面临水资源短缺和水环境保护压力,再生水已经成为城市稳定供水的第二水源,将再生水用于补充市政景观水体,可同时实现节水,减少污染物排放和修复生态,本文梳理再生水回用过程中工艺选型,构筑物设计,水质保障,管网布置、景观应用各环节的相关内容,结合现行规范和已完成的工程,梳理出适配市政景观补水的再生水处理典型工艺流程,整理对应设计要点,梳理再生水进入城市公园,人工湖,生态湿地,河道补水等不同场景的应用模式,整理风险防控措施,为同类工程设计建设运行给出技术参考。

[关键词] 再生水;回用系统;工艺设计;市政景观;水质保障;生态补水

1 引言

我国城镇化快速推进,用水量持续增长,多数城市同时面对资源型缺水 and 水质型缺水问题,传统水源供给压力逐渐上升,污水处理厂二级出水规模稳定,可在城市周边就近获取,经过深度处理后回用于市政景观,可减少自来水消耗,减轻河湖生态补水压力,同时提高城市水环境质量和宜居水平。再生水回用系统集成污水处理深度净化输配调控景观应用等多个环节,属于综合性工程,工艺设计直接影响出水安全性稳定性经济性,市政景观用水对浊度色度氮磷微生物等指标设定明确限值,设计工艺时需要兼顾水体流动性生态相容性景观美学,工艺路线须成熟可靠,运维操作简便,抵御冲击负荷能力强。本文参照《城镇污水再生利用工程设计规范》《城市污水再生利用,景观环境用水水质》等国家标准,结合国内已投入使用的典型工程案例,系统梳理再生水回用系统工艺设计方法,说明该技术在市政景观中的应用路径,推动再生水在城市水环境治理和低碳建设实现规模化应用。

2 再生水水源与景观用水水质要求

2.1 水源水质特征

再生水水源多取自城镇污水处理厂二级出水,这类水源水质波动整体处于较小范围,水体内部依旧残留多种污染物,污染物包括悬浮物、溶解性有机物、氮、磷、无机盐,还有病原微生物,二级出水的COD、BOD₅、氨氮、总磷、浊度等指标中,多数无法满足景观用水的基本标准。总氮和总磷进入景观水体后,易引发富营养化,出现藻类大规模繁殖、水体

发黑发臭、生态系统退化等问题,需要通过深度处理,完成各类污染物的精准去除^[1]。

2.2 景观用水水质控制指标

执行分类工作遵循GB/T18921—2019标准,景观环境用水可分为三类,分别为观赏性景观环境用水、娱乐性景观环境用水、景观湿地环境用水,核心控制指标包括COD、BOD₅、SS、氨氮、总磷、总氮、浊度、色度、大肠菌群,观赏性景观水体的浊度需满足不超过5NTU。娱乐性水体的控制要求更严格,大肠菌群不超过1000CFU/100mL,管网末端余氯可控制在0.05-0.1mg/L范围,可保障消毒效果,同时降低消毒副产物带来的风险,景观补水环节,氮磷负荷列为优先控制项,总磷可控制在不超过0.5mg/L,总氮可控制在不超过15mg/L,可规避水体出现富营养化。

3 再生水回用系统工艺设计

3.1 总体工艺流程

面向市政景观回用的再生水系统,典型处理流程依次为污水处理厂二级出水,调节池,混凝沉淀或高效沉淀,生物滤池或人工湿地,过滤,消毒,清水池,再生水管网,最终进入景观水体,水质要求较高的娱乐性景观项目,可在基础流程之外增设臭氧氧化活性炭吸附或超滤单元,用地条件宽松,侧重生态效果的区域,可优先选取人工湿地生态塘等自然净化工艺,让处理过程与景观建设合为一体。

3.2 预处理单元设计

预处理功能为稳定水质水量,保护后续处理设备,处理步骤包括调节、格栅、沉砂,调节池有效容积依照最高日水

量的10%–20%设计,水力停留时间控制在4–8小时,池内加装曝气搅拌装置,避免污泥沉积,若出水中漂浮物和纤维含量偏高,可加装栅隙1–3mm的精细格栅。沉砂单元选用旋流沉砂池,可分离粒径 $\geq 0.2\text{mm}$ 的砂粒,避免滤料板结,也可避免设备受损,预处理完成后,SS可降低30%–50%,减轻后续深度处理的工作负荷^[2]。

3.3 深度处理主体工艺

3.3.1 混凝沉淀

混凝沉淀工艺可去除水体中悬浮物、胶体物质,还能去除部分磷元素和有机物,工艺常用药剂为聚合氯化铝、聚合硫酸铁,投加聚丙烯酰胺可增强混凝效果,高效沉淀池的表面负荷范围控制在 $8–12\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,设置斜管或斜板可完成沉淀过程,减少工艺占地,工艺出水中SS含量 $\leq 20\text{mg/L}$,总磷去除率可维持在60%–80%区间,可让后续过滤环节获得稳定进水水质。

3.3.2 生物处理与脱氮除磷

二级出水碳氮比数值偏低,可选用生物滤池反硝化滤池、生态湿地完成脱氮除磷,异养反硝化滤池多选用粒径2–4mm石英砂作为滤料,滤层深度控制在1.8–2.4m,滤速控制在8–10m/h,水力停留时间维持1.5–2h,运行中投加乙酸钠补充碳源,可同步完成脱氮,截留悬浮物,出水浊度可控制在2NTU以下。气水联合反冲洗的周期为24–36h,冲洗水量占总处理水量的比例为1%–3%,硫自养反硝化滤池运行过程无需外加碳源,运行过程成本偏低,可适配低碳源条件下景观补水环节的脱氮需求, A^2/O SBBR等强化生化工艺可同步完成硝化反硝化、生物除磷,出水氮磷指标稳定性更强^[3]。

3.3.3 过滤单元

过滤可保障出水浊度,控制悬浮物含量,当前工程领域常用过滤设施包括V型滤池、砂滤装置、纤维束滤池、滤布滤池,这类设施运行滤速范围控制在8–12m/h,可将出水SS控制在 5mg/L 以内,出水浊度不超过3NTU,采用超滤或微滤类膜工艺处理水体,出水浊度可控制在0.1NTU以内。膜工艺对微生物的控制效果稳定,可满足高标准景观水体、封闭性水体的处理要求,这类工艺投资和日常运维环节的花费偏高,运行过程中需要搭配专门的膜清洗系统。

3.3.4 消毒工艺

景观回用水完成消毒处理,可选方案包括紫外线,次氯

酸钠,臭氧,不同消毒工艺可组合使用,控制光复活现象,限制细菌再次繁殖,采用紫外线消毒,剂量需维持在 $30\text{mJ}/\text{cm}^2$ 及以上,接触时间需满足大肠菌群检测的合格要求,应用加氯消毒,监测管控对象为管网末端的余氯含量,避免细菌二次滋生。封闭景观水体中,投入氯的总量不可过高,氯浓度超出合理范围,会干扰水生动植物的正常生长存活。

3.4 清水池与输配管网设计

清水池的有效容积,按照最高日水量的10%–20%完成设计,可满足水量调节需求,也可保证消毒接触所需时长,再生水管网布置遵循“就近回用、分区独立”原则,可选择枝状结构,也可选择环状结构,管道与生活给水管网铺设时,水平方向净距不小于1.5m,垂直方向净距不小于0.5m,施工过程不允许出现混接。再生水管道外部涂刷浅绿色作为标识,每间隔50m设置标注“再生水”字样的标识,管道接口添加防误接结构设计,管内水流速度控制在0.6–1.2m/s,单位长度水头损失不超过5m/km,节点压力稳定在0.2–0.3MPa,管网末端安装排气阀和泄水阀,管道制作选用耐腐蚀、低渗出的材料,直径DN不超过100mm的管道多使用塑料材质,大口径管道可选择预应力钢筋混凝土管,也可选择经过防腐处理的钢制管道。

3.5 水质在线监测与自控系统

监测系统配套在线仪表,实时采集COD、氨氮、总磷、浊度、余氯、流量、压力等运行数据,数据可联动加药装置、反冲洗装置、泵组调整运行频率,加药环节可调整投放精度,反冲洗可自动调整运行状态,管网压力可维持平稳,药剂用量,电力消耗同步下降,出水水质稳定程度提高。

4 再生水在市政景观中的应用模式

4.1 城市河湖生态补水

再生水可为城市河道湖泊补充生态用水,是这类水体补水的主要来源,再生水补水可以维持河道湖泊基础径流,改善水体动力条件,提高水体自身净化能力,补水方案设计围绕“水量稳定、水质可控、水力循环”展开,整体采用低位进水高位出水的布局,增加水体推流与曝气,夏季水体温度高于 25°C 时,水力停留时间控制在10天以内,降低藻华暴发可能。方案融入生态浮岛设置、底质改良、水生植物群落搭建,以此建立稳定的水生态系统,同步提高景观效果与生态功能^[4]。

4.2 人工湿地与景观净化塘

人工湿地可同步完成水体处理与景观营造,目前应用范围较广的类型有水平潜流湿地,表面流湿地,复合结构湿地,脱氮除磷过程中,从业者多选用沸石、石灰石、钢渣等材料填充湿地内部,提高处理能力,挑选水生植物时,芦苇、香蒲、菖蒲、鸢尾等可同时满足水体净化与景观观赏两方面需求。湿地投入运行后,水力控制参数处于 $0.2 - 0.8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 区间,水力停留时间设定为 3 - 7 天,处理对象包括氮磷,有机物,悬浮物,出水水质稳定,可直接排入景观湖,人工湿地可结合公园步道、观景平台建设,整合生态净化与休闲游憩两类功能,形成公共景观节点^[5]。

4.3 城市公园与广场景观水体

城市公园内的喷泉溪流景观湖,可优先选取再生水作为水源,封闭性水体需要配套循环净化装置和曝气装置,依靠再生水补水循环过滤消毒生态净化的组合方式维持水体品质,喷泉瀑布这类动态水景,对浊度色度有较高要求,可选取混凝沉淀砂滤 UV 氯的组合工艺,避免喷头堵塞,也可避免水体产生异味。景观水体周边可布设安全标识,标注再生水的使用范围,防止人员误接触。

4.4 市政绿化灌溉与道路浇洒

再生水应用范围覆盖行道树灌溉、公园绿地维护、广场供水及道路清洁,可替代的自来水量占总用水量七成以上,这类用水场景可配套智能灌溉系统,系统依照土壤含水量和天气数据完成水量调整,可提高单位水资源的实际利用效果,再生水灌溉所用管网,和居民日常生活供水管网完全分设,浇灌过程使用专用喷头和快速取水阀,管道外部设置清晰标识,可保障应用过程安全。

5 景观应用风险防控与运维管理

5.1 富营养化防控

氮磷可诱发景观水体出现藻华,是其中核心影响因素,管控进入水体的污染物,让源头排放中总磷浓度不超过 0.5 mg/L ,总氮浓度不超过 15 mg/L ,维持水体流动,补充空气,提高水体溶解氧含量,限制底泥向水体释放污染物,在水体中分别种植沉水植物、浮叶植物和挺水植物,搭建多层复合生态系统。投放滤食性鱼类和底栖动物,帮助控制藻类生长,按时收割水生植物,避免植物残体分解造成二次污染。

5.2 水质安全与卫生防控

搭建源头处理、管网输送、末端保障三层水质管控模式,按固定周期排查检查管网,预防管道泄漏和不同管线混接问题,景观区域内要立好再生水禁止接触、严禁游泳垂钓这类警示标牌,用作娱乐用途的景观水体,需要加密监测微生物相关指标,保证人群接触时不会出现安全问题^[6]。

5.3 运维管理要点

可建立标准化的运维模式,覆盖内容包括滤池反冲洗,膜清洗,药剂投加,设备保养,水质检测,应急处置,雨季合流制溢流、冬季低温等工况运行时,可强化预处理与沉淀环节,保障出水状态稳定,搭建智慧化平台,可完成远程监控,故障报警,能耗分析,优化调度等操作,压低整体的运维成本。

6 结语

再生水回用系统进行工艺设计,需以景观用水水质要求为核心方向,选取“预处理+深度净化+消毒+安全输配”的运行流程,流程运行稳定,设计过程需同时覆盖技术方面可行性,经济方面合理性,日常运维方面简便性,脱氮除磷,过滤,消毒三类操作,是保障景观用水达到安全标准的核心环节。人工湿地一类生态工艺,可将水质处理环节与景观建设融合,适配城市公共空间使用需求,市政景观的多个领域,包括河湖补水,人工湿地,公园水体,绿化灌溉,均可引入再生水,应用空间充足,再生水投入使用,可缓解城市水资源短缺现状,调整城市水环境状态,优化区域生态水平。

[参考文献]

- [1]王幸伟,矫忠直,张刚,等.焦化废水深度处理零排放技术的应用实例[J].水处理技术,2024,50(10):139-142+146.
- [2]周俊豪.高级氧化法在焦化废水处理中的应用研究进展[J].煤化工,2023,51(05):62-65.
- [3]张鑫,张蒙蒙.焦化废水的水质特征及治理[J].炼油与化工,2023,34(05):8-12.
- [4]韩依飏,刘原麟.芬顿氧化法处理焦化废水的研究进展[J].燃料与化工,2023,54(03):60-63.
- [5]陈楚晓,韩宏彦,郝京华,等.基于 TRIZ 理论的再生水回用超滤系统设计[J].科学技术创新,2022,(09):172-175.
- [6]赵志远,杜崇.基于多因素影响的城市再生水利用配置[J].陕西水利,2025,(12):6-9.