

# 市政污水处理厂尾水再生利用途径研究

文 / 闵建祥 宁夏福宁工程设计咨询有限公司

**摘要：**当代城镇化进程之加速推进，使得水资源供需矛盾愈发突出，而市政污水处理厂尾水作为城市水循环体系中的重要环节，其再生利用已成为破解水资源瓶颈制约的关键所在。本文基于当前我国城市水环境治理的现实需求，通过对市政污水处理厂尾水再生利用技术途径的深入调研与分析，系统阐述了尾水再生利用在多个方面的重要意义，还详细解析了四大技术途径的特点与优势，并针对性地提出了各类技术的优化策略与应用拓展方向，为我国市政污水处理厂尾水资源化利用提供了理论支撑与实践指导。

**关键词：**市政污水处理；尾水再生利用；深度处理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.118

## 引言

作为支撑人类生存和发展的战略资源，水资源短缺问题在全世界范围内愈演愈烈，在我国这样一个人口众多、区域分布极不均匀的发展中国家表现得尤为突出，已经成为制约我国经济社会可持续发展的瓶颈。随着城镇化率的不断上升和工业化的加速推进，城市用水需求呈刚性增长趋势，传统的开源节流措施无法有效缓解供需矛盾，市政污水处理厂尾水由于其稳定可靠的特点，其资源化利用价值越来越引起学术界和实务界的关注。

### 一、市政污水处理厂尾水再生利用的意义

#### （一）缓解城市水资源短缺压力

我国属于典型的水资源短缺国家，人均水资源占有量只有世界平均水平的四分之一，城镇化进程加快，居民的生活质量不断提升，城市供水需求持续上升，传统地表水和地下水储备已经无法满足日益增长的用水需求，造成供需矛盾越来越突出。市政污水处理厂尾水由于具有稳定的供给特点，且能有效控制水质，在城市水循环系统中处于重要位置，如果能够高效开发利用，合理利用市政污水处理厂尾水可以大幅度扩展城市可用水资源总量，从而建立多元化的水资源保障体系<sup>[1]</sup>。拿深圳来说，这里正在积极推行污水深度处理并循环利用的项目，当下，再生水的日均供应量已经超过了200万吨，这大约占到全市总用水量的30%，这样做既缓解了当地的水资源供需矛盾，又明显削减了对跨区域调水的依赖程度，极大地降低了获取水资源的成本，而且增强了城市供水的安全保障水平，给区域经济社会的可持续发展给予了有力的支持。

#### （二）减少环境污染与生态保护

传统污水处理厂直接排放尾水的做法既浪费了水资源，又给受纳水体带来了明显的影响。在水环境承载能力有限的地方，这样的排放方式很容易导致水体富营养化、生态系统退化等情况发生，市政污水处理设施借助尾水再生利用技术，采用深度净化工艺把尾水变成高品质的再生水，大幅度缩减了污染物的排放量，进而守护

好水环境质量，推动绿色发展。按照环保部门的数据统计，每处理1万吨污水处理厂尾水，可削减化学需氧量大约50千克，削减氨氮大概5千克，削减总磷约0.5千克，这表现出污水处理厂尾水具有很强的环境治理效能，通过人工湿地创建或者生态景观塑造等手段促使尾水循环利用，可以改良城市生态环境品质，提升居民的生活品质，而且有益于经济社会的可持续发展，给生态文明建设给予强有力的支撑。

#### （三）提高城市水循环利用效率

传统城市水务系统大多表现出线性特征。“取水—供水—排水”这种单向运行模式既造成水资源浪费，又加大了水体污染风险，市政污水处理厂通过创建“污水收集—净化处理—资源化利用”的全流程体系，把废水变成可再生的资源，做到水资源的高效循环和梯级开发，极大改善了城市水循环系统的整体效能，据权威机构统计，执行尾水回用工程之后，城市水资源综合利用率可以提升20%到40%，几乎到达国际领先水准。尾水再利用既可助力城市水务产业转型升级，又能塑造起包含污水处理，资源回收与循环再利用的现代水务产业链条，从而给城市可持续发展增添新的动力，在全球水资源短缺问题日趋严峻的当下，该种模式已经成为国际水务领域的核心发展方向，对于我国推动水资源管理现代化进程有着重大的战略意义<sup>[2]</sup>。

## 二、尾水再生利用技术途径种类分析

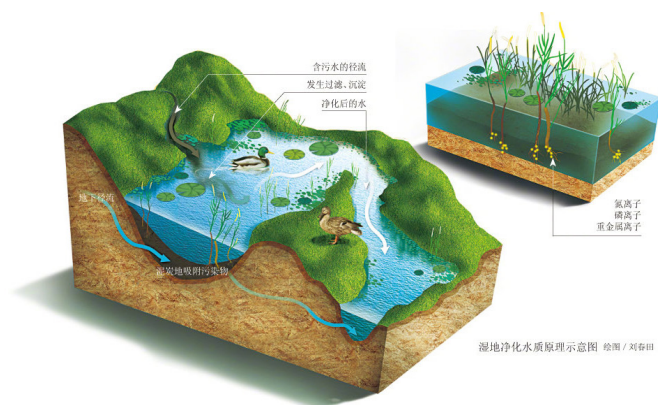
### （一）深度处理回用技术途径

深度处理回用技术是市政污水处理厂尾水再生利用的关键部分，它主要把传统的生物处理工艺加以整合，再添加混凝沉淀、过滤、活性炭吸附、臭氧氧化之类的深度净化单元，从而有效清除尾水中的悬浮颗粒物，有机污染物，病原微生物以及部分难以被降解的物质，保证出水品质达到《城市污水再生利用水质标准》的技术要求。这种技术方案有着运行稳定，工艺成熟，操作简单等特点，很适合应用于工业循环冷却水，城市绿化灌溉，景观补水等领域，有着明显的发展潜力和应用前景。

以北京市高碑店污水处理厂为例,“生物处理-混凝沉淀-砂滤-活性炭吸附-消毒”工艺流程具有明显的水质保障效果,监测数据表明该工艺在悬浮物去除率、化学需氧量削减率及氨氮去除效率等指标上均超出行业标准,悬浮物去除率高于95%,生物需氧量削减率高于80%,氨氮去除效率高于90%,虽然该技术路径有着突出的环境效益,但是仍然存在能耗较高等缺点,后续研究要关注技术创新和成本优化,从而推动技术体系的可持续发展 and 高效应用。

## (二) 生态湿地处理技术途径

生态湿地处理技术属于依靠自然生态系统净化机制的环保工艺,其主要原理是通过人工湿地系统创建,整合植物,微生物和土壤介质的协同效应,对污水处理厂排放的水展开深度净化,这种技术由于具有低成本,低能耗,操作简易,景观效果好的优点,在土地资源充裕的城乡地区有着广泛的运用潜力。(如图一)表面流人工湿地对于化学需氧量的去除效率可达到30%-60%,氨氮去除率在40%-80%,总磷去除率在20%-50%,悬浮物去除率常常高于80%。人工湿地生态系统具备独特的生态功能,在保护生物多样性,改善区域环境质量方面扮演着重要角色,江苏省昆山市巴城镇污水处理厂采用“生物处理+表面流人工湿地+潜流人工湿地”复合工艺技术,不但达成了尾水高效净化的目的,而且塑造起一个兼具污水处理,生态修复和科普教育功能的综合性示范平台<sup>[3]</sup>。



图一 生态湿地处理技术

## (三) 膜分离净化技术途径

一种近年来水处理技术革新方面的重要成果——膜分离净化工艺利用了超滤,纳滤以及反渗透等不同孔径的膜材料实现对污水处理厂尾水中细菌,病毒,胶体颗粒,溶解性有机物,一些无机盐离子的去除,让出水品质甚至高于饮用水,从而给予尾水高品质回用可靠的技术支撑。其主要优势有处理效能优良,占地面积少,自动化

水平高而且进水水质适应能力强,非常适合用地紧张并且对水质有要求的中心城区。如今,这个国家再生水供应量占总用水量的大概四成,变成保证国家水资源安全的关键支柱,尽管取得了很大成果,不过膜分离技术依然碰上投资费用高,耗费能源多,膜被污染,运维花费高这些麻烦,急需依靠技术创新和改良工艺来改善其经济适用性。

## (四) 生物强化处理技术途径

生物强化处理技术属于一种重要的技术创新模式,它借助引入具备特定功能的微生物并改良其代谢活性,而且改进反应器结构设计,从而极大地提升了传统生物处理工艺对于目标污染物的去除效率,进而明显改善出水水质。这种技术存在多种具体的应用形式,比如生物膜反应器,膜生物反应器,移动床生物膜反应器等,具有高效能,较强的抗冲击负荷能力以及较低的污泥产量等技术特点,其中膜生物反应器把生物处理和膜分离技术融合起来,达成了高效的固液分离效果,而且维持较高的微生物浓度,从而加强了整体的处理效能。天津市纪庄子污水处理厂利用A<sup>2</sup>O-膜生物反应器工艺去处理城市污水,其出水水质已经达到了地表水IV类标准,对于整个区域的水环境质量改善有着不可小觑的作用。近些年来,厌氧氨氧化技术和短程硝化反硝化这些新的生物处理工艺,它们在提高脱氮除磷效能以及减少能量消耗方面的优点显现出来,给污水处理装置做到高效而稳定运转给予了很重要的技术改进扶持<sup>[4]</sup>。

## 三、尾水再生利用技术途径优化策略

### (一) 深度处理回用技术的工艺优化与应用研究

深度处理回用技术属于尾水再生利用的关键技术途径,其工艺革新与改良对整个行业的水平有着深远意义。在技术改进上,要着重注意能耗控制,药剂用量减少,处理效率提高这些关键指标,通过采用高效混凝剂,研制新型滤料,改进工艺参数设计等办法,形成经济可行又高效的深度处理体系。研究显示,用磁混凝技术取代传统混凝工艺,既能明显改善混凝效果,又能缩减反应时间,而且还能大幅度减小设备占地面积,而且采用陶粒或者火山岩这类新型生物滤料,可以在改良过滤性能的同时,延长反冲洗周期,进而进一步削减运行成本。回用技术的应用范围需要扩大,其适用性研究与创新实践存在欠缺,就工业循环冷却,城市景观补水,农田灌溉这些特定场合而言,要设计出不一样的工艺组合方案,从而做到精确处理并实现分质供水的目的。

### (二) 生态湿地处理技术的系统设计 with 性能优化

虽然生态湿地处理技术有着明显的环境效益和较低的运作成本,但是它处理效率低、占用空间大、受到季

节因素影响等问题依然比较明显,要改善这些状况,就非常必要通过系统化的改良设计和技术创新来加以改善。在规划的时候,应当全面考量当地的气候特性,土壤性质以及植被分布等情况,合理选定湿地种类,规模布局和植物栽种计划,进而营造出高效的稳定生态净化体系,尤其在水力规划方面,要着重处理好布水是否均匀,水流停留时长是否合适,还要想办法避免短流现象和局部死区的出现,以此全面改善整个系统的运作效率和处理水平。想要改进生态系统效能,关键在于仔细探究植物配置,微生物调节以及基质改良等要素,研究显示选取生命力顽强,净化效能出众并且具备生态美感的本土植物,可以明显提升湿地系统的污染物处理效率,把高效分解细菌群加以接种,并且采用生物载体技术<sup>[5]</sup>。

### (三) 膜分离净化技术的成本控制与创新策略

膜分离净化技术有着很强的处理能力,但是它高高的开始投入和运作费用极大限制了它的普遍应用,促使膜分离净化技术向前发展,关键是改善成本控制策略并加强技术创新能力。(如图二)在成本管理方面,要从膜材料采购,能源消耗改良以及污染防控这三方面展开改进,通过增大规模化生产的规模来削减单个设备的购买费用,改进工艺流程以削减能耗,完善预处理方法减轻膜污染程度,从而达成整体运作成本的降低,格外是应该加大膜污染机理方面的研究力度,开发高效的清洗技术和长久有效的防污技术,进而延长膜组件的使用寿命,缩减频繁替换的次数。技术创新方面,要着重关注新型膜材料的研发,膜组件结构的改良,工艺流程的更新这些关键问题,研制具备抗污染性能,高流体的通量和长久服役特点的先进膜材料,可以明显改善膜分离技术的实际应用效果,采用浸没式或者管式等新式的膜组件结构设计,就能切实提升系统的运行稳定性和可靠性,



图二 膜分离净化技术

把膜分离技术同生物降解,高级氧化等其他处理单元融合起来,进而做到资源利用效率的全方位提高。

### (四) 生物强化处理中菌种优化与工艺改进研究

生物强化处理技术的核心是最大限度地发挥微生物的高效降解潜能,其性能优化主要依靠菌种改良和工艺更新。在菌种改良上,要着重开展高效功能菌株的筛选,培养和应用研究,特别是针对难降解有机物和新型污染物,研发具有针对性降解特性的专用微生物制剂,要系统调节微生物生态系统的总体平衡,通过精确调节营养成分,营造适宜生长环境,科学创建菌群结构,创建起稳定高效的生物处理体系,引进硝化细菌,反硝化细菌,聚磷菌等特定功能菌种,可以明显改善系统的脱氮除磷能力,加入纤维素降解菌,蛋白酶降解菌等专用菌剂,能够进一步加强系统对特定有机污染物的去除效果。工艺优化研究要围绕反应器结构设计,操作参数调节以及载体材料选取这些主要部分展开,采用序批式反应器,连续流搅拌反应器或者升流式厌氧污泥床等不同类型的生物处理装置,可以给特定的微生物群落营造出合适的生存条件,利用精细操控溶解氧浓度, pH 值,温度范围以及污泥留存时间等运行参数。

### 结语

市政污水处理厂尾水再利用成为解决城市水资源紧缺的重要途径,技术创新和实际应用对于推动节水型社会形成及生态文明建设有着重大战略价值。相关研究显示,深度处理回用技术、生态湿地净化方法、膜分离提纯过程、生物强化处理模式等各自具备独到之处,在不同场合下体现出明显技术优势和发展潜能,随着对水质管理标准要求逐步严厉并且用水需求不断增多,已有的技术仍需进一步完善并改善处理效率、经济性和系统性方面的表现情况。

### 参考文献

- [1] 廖平. 污水处理厂尾水在污泥处理厂的再生利用实践 [J]. 净水技术, 2024, 43(S01): 165-170.
- [2] 王禹来, 陈强, 何利, 等. 污水处理厂尾水生态处理及综合利用技术研究 [J]. 水电站设计, 2023, 39(1): 11-15.
- [3] 胡龙刚, 郭嘉伟, 吴宇鑫, 等. 陕西省城镇污水处理厂尾水时空排放特性分析 [J]. 人民黄河, 2023, 45(S01): 78-79.
- [4] 王策. 上海城镇污水处理厂尾水再生利用潜力分析 [J]. 净水技术, 2023, 42(6): 103-111.
- [5] 郇亚君, 蔡伟. 城镇污水厂尾水人工湿地生态组合系统处理效果研究 [J]. 环境工程, 2023, 41(S01): 96-98.