

“双碳”战略下我国污水再生利用技术及发展策略研究

宋 鹏

(青岛水务集团有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 再生水作为现代城市的第二水源,其低碳化处理和资源化利用程度关系到我国生态文明建设和资源节约型社会建设成效。然而,我国在水资源的绿色再生和低碳利用方面仍然面临诸多挑战,在“双碳”战略的背景下,如何实现污水再生利用过程的低碳化,成为了一个亟待解决的问题。深入探讨污水再生利用的低碳化发展策略,从国内外污水再生利用的现状分析、有关技术综合对比、低碳化发展潜力、能源转化及资源利用、低碳化再生利用工程的应用策略等多个维度进行全面分析,为我国污水再生利用技术发展和水资源管理提供科学、系统的策略化建议,助力我国在全球水资源可持续发展领域树立新的里程碑。

关键词: 再生水利用;双碳;发展策略;能源转换;资源回收

中图分类号: TU992;X703.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0001-07

Research on Wastewater Reuse Technology and Development Strategies in China under "Dual Carbon" Strategy

SONG Peng

(Qingdao Water Group Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract: Recycled water, as the secondary source of water in modern urban areas, the degree of its low-carbon treatment and resource utilization is related to the effectiveness of ecological civilization construction and construction of a resource-conserving society construction in China. Nevertheless, there are still many challenges in the green regeneration and low-carbon utilization of water resources in China. Under the background of the "dual carbon" strategy, how to achieve the low-carbonization of wastewater recycling reuse process has become an urgent problem to be solved. The low-carbon development strategy of wastewater recycling reuse is deeply discussed. In light of this, this study aims to delve into the development strategy of low-carbonization in wastewater regeneration and reuse. The comprehensive analysis is conducted from the multiple dimensions such as the analysis on the current situation of wastewater recycling reuse at home and abroad, the comprehensive comparison of the related technologies, the potential of low-carbon development, the energy conversion, the resource utilization, and the engineering application strategies of low-carbon recycling reuse, which provide the scientific and systematic strategic suggestions for the development of wastewater recycling reuse technologies and the management of water resource in China, and help China set a new milestone in the field of global sustainable water resources development.

Keywords: wastewater recycling reuse; dual carbon; development strategy; energy conversion; resource recovery

0 引言

目前全球正面临水资源短缺的挑战,为有效减轻这一逐年严峻的问题,多数国家和地区已将再生水作为“城市第二水源”^[1]。美国在污水再生利用方面采取行动较早,再生水已成为其水资源的重要组成部分。2019年美国宣布实施国家水回用行动计

划,旨在保障水安全、水资源的可持续性和韧性,该计划全面规划了市政污水等6大方向的水资源收集、再生与回用,并确定了200个行动目标^[2]。新加坡的“新生水”项目被全球公认为是污水再生利用的成功典范,通过先进的水处理技术将污水转化为高品质的饮用水,有效解决了新加坡水资源短缺问题,同时也树立了可持续发展城市和水资源管理的标杆^[3]。日本的污水再生利用历史可以追溯到20世纪60年代,再生水的利用率达90%以上,位列全球之首^[4]。以色列的大部分城市都已建立了健全的排污

收稿日期: 2024-04-16

作者简介: 宋鹏(1979—),男,硕士,高级工程师,从事市政工程建设、再生水厂运营、水生态治理及资源化利用等工作。

系统和污水再生利用工程,这使以色列水资源短缺问题得到缓解,并发展为水资源强国^[2]。这些国家的污水再生利用经验为全球提供了有益借鉴,展示了如何通过技术创新实现水资源的高效循环利用,为我国水资源节约和再利用提供了许多宝贵的实践经验。

当前,我国面临着严重的水资源短缺问题,2022年《中国水资源公报》显示,全国水资源总和为27 088.1亿 m^3 ,比多年平均值减少1.9%,人均水资源量逐年降低,不足世界平均水平的四分之一,已经接近或达到了水资源贫乏的标准^[5-7]。进入21世纪后,我国面临着两个重大水资源的挑战,即结构性缺水 and 水质性缺水。一方面,截至2023年,我国城市污水排放总量已超过700亿 m^3 ^[8]。在面对如此大规模的污水排放时,关键在于如何充分利用城市污水,将其转化为宝贵的资源。这不仅是促进水资源节约的重要手段,也是治理水污染和推动循环经济发展不可或缺的选择。另一方面,随着我国提出并深入实施“双碳”战略目标,各行各业都致力于实现经济社会全面的绿色转型,以构建绿色低碳循环发展的经济体系^[9]。在这一背景下,如何通过科学合理的手段降低污水再生利用过程中的碳排放,实现水资源的绿色再生和低碳利用,已成为水处理领域的重大议题。

然而,我国目前对污水再生利用的实施情况并不乐观,尤其在水资源绿色再生和低碳利用方面,尚未形成一套完整的技术理论和政策管理体系。为此,本文研究首先回顾和分析当前我国在污水再生利用方面的现状、问题及原因;其次,结合国内外的研究现状,从技术和策略两个层面,系统探讨污水再生利用的低碳化路径,以推动污水再生利用技术的健康发展和广泛应用;最后,通过对该领域未来发展趋势的预测和展望,为我国污水再生利用技术的创新和实践提供策略性的借鉴和参考。

1 我国污水再生利用现状及政策文件分析

1.1 再生利用现状

当前,我国许多城市供水稳定性不足,面临着生产和生活用水的短缺问题;此外,我国城市工业用水量较高,2022年工业万元产值用水量为49.6 m^3 ,是发达国家的5~10倍。未经充分处理的污水导致水体环境受到污染,我国南方多水地区已经出现了因水质而导致的缺水问题。在北方许多城市同时面临资

源性和水质性缺水的双重困境。水资源短缺和水污染严重已经成为制约城市可持续发展的重要因素,部分城市水资源短缺甚至成为制约城市发展的最主要因素。因此如何加强水资源保护,实现水资源再生利用,是保障和支持城市可持续发展的必然选择,也是实现可持续发展战略的重要举措。

我国的污水再生利用起步相对较晚,直到20世纪80年代才首次提出这一理念,并于2001年正式启动再生水利用工程^[6]。截至2022年底,我国城市的再生水利用率仅约为28.76%,与发达国家相比,我国的再生水利用率明显偏低^[10]。我国再生水利用率低于25%的省市区有20个,水资源状况与再生水利用率发展并不匹配。其中重庆、西藏和江西等省市的再生水利用率低于5%^[11];重庆地区由于地形原因造成管道建设难度大,再生水回用难;西藏地区人均水资源较为丰富,对于再生水回用需求较低,相关技术尚未发展;江西相比于北京、广东、江苏、山东等省市经济实力较差,污水处理与再生的设施和规模还有待完善。因此,再生水的开发利用不仅涉及到区域内再生水的投资强度和管道铺设规模,还受到经济发展水平、淡水资源丰富度、人均用水量和相关政策法规等因素的影响。

我国再生水利用率低的主要原因可以归结为两方面:一是部分城市的基础设施建设相对滞后,缺乏必要的输水管道;二是我国污水处理厂处理效率较低,难以进行高标准的处理。为解决这些问题,应加速城市基础设施建设,大力改造污水输送管道,变合流制为分流制,并系统排查和消除雨污混接现象,提高污水传输能力。此外,还应提高污水处理厂的规模与数量,实现污水处理提质增效,为再生水的利用提供保障,缓解我国水资源短缺问题。

1.2 政策文件分析

我国十分重视污水再生利用相关法律、政策及规范性文件的顶层编制工作。结合国内外污水再生利用特点,现阶段我国的再生水可用于工业生产、农业灌溉、市政杂用等方面。

如表1所列,综观我国污水再生利用代表性的法律政策及规范性文件,与其他水资源利用较好的国家相比尚存在以下不足:一是缺乏针对性和操作性强的立法;二是现行规定分散、位阶低,缺乏强制性;三是再生水法律和政策界定不明、管理分散,导致标准不一和地方规定不统一;四是激励措施不足,公众意识落后,影响了再生水处理工作的发展。

表 1 国内外污水再生利用代表性法律及规范性文件列表

序号	国家	污水再生利用相关法律、政策文件名称	污水再生利用的有关规定
1	中国	《中华人民共和国水法》(2016 年修订)	鼓励使用再生水,提高污水再生利用率
2		《中华人民共和国循环经济促进法》(2018 年修订)	鼓励和支持使用再生水,限制、禁止将自来水用于非饮用目的
3		《城镇排水与污水处理条例》(2013 年)	鼓励污水资源化和再生利用,优先使用再生水
4		《水回用导则 再生水利用效益评价》(GB/T 42247—2022)	规定了再生水利用效益评价的总则、评价指标和评价程序与方法,适用于再生水利用规划、设计、运营和管理
5		《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2020)	规定了城市污水再生利用城市杂用水的术语和定义、水质指标、采样与监测、安全利用
6		《城镇再生水厂运行、维护及安全技术规程》(CJJ 252—2016)	适用于以城镇污水或污水处理厂二级处理出水为水源的城镇污水再生利用设施的运行、维护与安全管理
7		《再生水水质标准》(SL 368—2006)	规定了地下水回灌、工业、农业、林业、牧业用水及城市非饮用水、景观用水中的再生水水质
8	美国	《天津市城市排水和再生水利用条例》	规定了天津市再生水的用途、规划、建设、运行管理等
9		《西安市城市污水处理和再生水利用条例》	规定了西安市再生水规划、建设、规范使用、设施维护等
10		《清洁水法》	提高污水排放标准,使污水具备再生利用潜力
11	日本	《水资源法》	为再生水项目提供政府资金支持
12		《再生水利用指南》	就再生水管理和利用制定技术指南
13	以色列	《污水处理水循环利用技术方针》	推动再生水利用,要求建筑物安装双重供水管道:自来水管和再生水管
14		《再生水利用下水道事业条例》	制定再生水利用技术方针
15		《下水道白皮书》	强调再生水利用的重要性
16	以色列	《水法》	规定国家统一管理水资源,建立用水配额制度和电价制度
17		《国家污水再生利用工程》	规定利用再生水,不可采用海水淡化

为适应我国城市污水再生利用管理工作,国家建设管理单位编制了《污水再生利用工程设计规范》(GB 50335—2002)、《城市污水再生利用分类》(GB/T 11919—2002)等专项标准,做好城市污水资源以及污水处理质量的管控,同时为技术管理提供标准的数据支撑。2021 年 1 月,国家发展和改革委员会等十部委联合发布了《关于推进污水资源化利用的指导意见》,明确了中国污水再生利用的发展目标和主要任务,这是污水处理进入资源化利用新阶段的重要标志。

2 污水再生利用技术及低碳发展的挑战

2.1 深度处理技术

2.1.1 混凝沉淀技术

混凝沉淀技术作为一种经典的化学深度处理方法,在污水处理技术中占有重要地位。该技术通过添加特定混凝剂,调整污水中悬浮颗粒的表面电性,促使污染物聚集形成易于沉淀的絮体,从而有效去除水中的悬浮物、磷等污染成份^[12]。实践证明:该技术能够显著降低城市污水中的总磷含量,达到更高的去除标准。目前混凝剂的成本一直是制约其发展的重要因素,未来应该进一步研究和优化混凝剂配方,提高混凝效率,降低能耗和碳排放,同时精确控制混凝剂的投加量,降低处理成本^[13],加强与其他技

术的融合和创新,形成高效、低耗、低碳的水处理体系,为污水的再生利用提供低碳技术路径^[5]。

2.1.2 生物滤池技术

生物滤池技术是一种利用固定生物膜进行污水处理的生物技术,特别适用于去除氮、磷等营养盐。该技术通过微生物的代谢活动,实现对污染物的生物降解和转化。与其他处理技术相比,生物滤池的耗电量和耗氧量相对较小,有助于降低整体能耗和碳排放。为了满足不同的处理需求,生物滤池的设计和操作条件需要根据特定的水质进行调整,包括选择合适的滤料、控制适宜的水力条件等^[13]。

尽管生物滤池具有投资成本低、操作简便的优点,但也存在一些挑战,如滤料堵塞、处理效率不稳定等^[14]。因此,未来的研究重点应放在提高系统的稳定性和处理效率上,包括开发新型滤料、优化操作参数等方面,以扩大其在污水再生处理领域的应用范围,推进低碳化发展。

2.1.3 膜处理技术

膜处理技术是近年来快速发展的一种高效分离技术,其通过物理筛分机制,能够有效去除水中的悬浮物、有机物和部分无机盐类。不同类型的膜根据其孔径大小和分离特性,可用于不同的处理目标,如微滤、超滤、纳滤和反渗透等^[15]。尽管膜处理技术在污水深度处理中显示出良好的处理效果,但膜污染

和高运行成本仍是其主要的技术难题^[16]。

开发新型、高效、低能耗的膜材料是膜处理技术低碳发展的重要方向。此外通过开发新型清洗技术和清洗剂,并引入智能化控制系统,预测膜污染情况,及时采取清洗和维护措施,延长膜的使用寿命,也有助于实现低碳、高效、可持续的污水处理和再生过程^[17]。

2.1.4 高级氧化技术

高级氧化技术利用强氧化性的自由基,如羟基自由基,快速氧化并矿化水中的难降解有机物,是一种环境友好型的化学氧化技术。通过使用臭氧、紫外线、过氧化氢等氧化剂或将其组合使用,能够有效分解各种有机污染物,提高水质的生化性^[18]。

虽然高级氧化技术在有机污染物的去除方面表现出色,但其较高的运行成本和能耗是该技术的主要限制因素^[19]。未来,可以通过研发新型高效催化剂,提高催化剂的活性、稳定性和选择性,设计新型反应器,提高反应器的传质效率,以减少能量损失和碳排放,推动高级氧化技术在污水深度处理领域的低碳发展。

2.1.5 人工湿地技术

人工湿地技术模仿自然湿地的生态系统,通过植物、微生物和底物的协同作用,实现对污水中有机物、氮、磷等污染物的有效去除。在植物生长过程中,可以通过光合作用吸收二氧化碳,实现碳的固定。这种技术以其低成本、高效率和良好的环境适应性,成为污水深度处理的重要补充手段^[20]。

人工湿地在处理效率和成本方面具有优势,但占地面积大、对气候条件敏感等特点也限制了其应用范围^[21]。未来的研究方向包括优化湿地设计、选择更适应的植物种类和提高系统的处理能力等,以期在更广泛的地区推广人工湿地技术。

2.2 消毒技术

2.2.1 加氯消毒技术

加氯消毒技术是一种历史悠久且广泛应用的水处理消毒方法。其通过氯或氯化合物与水中微生物反应,破坏其生理功能,达到消毒的目的。这种方法对多种病原体都有良好的杀灭效果,能够有效保障出水水质安全^[22]。然而,加氯消毒的一个主要挑战是消毒副产物的形成,这些物质可能对人体健康和环境构成风险。

未来可以通过优化加氯消毒的工艺参数,如投加量、pH值等,降低氯的使用量,同时提高消毒效果

来实现低碳化处理,此外,还可以探索使用其他更为环保、高效的消毒剂,如臭氧、过氧乙酸等。

2.2.2 紫外消毒技术

紫外消毒技术是一种非化学的水处理方法,其通过紫外光破坏微生物的DNA,使其失去繁殖能力,从而实现消毒。这种方法不添加任何化学物质,不会产生有害的化学副产物,是一种环境友好的消毒方式。但是,紫外消毒的效率受到水质的影响,特别是水的浊度和有机物含量^[19]。

紫外消毒技术在现代水处理过程中越来越受欢迎,主要是因为其能够有效地杀灭病原体,而不影响水的其他物理和化学属性。未来的挑战在于进一步提高紫外消毒系统的能效比,包括开发新型紫外光源、优化流程设计、采用节能型的电源和控制系统,减少电力消耗,降低碳排放。

2.3 各技术对比及组合

在“双碳”战略目标的大背景下,污水再生和回用技术已成为环境工程领域的研究热点。各种污水处理和再生技术都有其独特的优势和局限性,因此组合应用多种技术已成为实现高效污水再生的有效策略。

如表2所列,不同污水再生技术的技术特点和组合潜能不同,通过合理组合不同的处理技术,不仅可以高效去除各种污染物,还可以优化整个处理过程的能耗和成本。例如,混凝沉淀技术与生物滤池的结合可以有效去除悬浮物和营养盐,但对某些难以去除的污染物可能需要更高级的处理方法。此外,膜技术与其他方法的结合也显示出对抗膜污染和降低能耗的潜力。

表2 不同污水再生利用技术对比及组合潜能分析表

序号	技术名称	建设投资	运行成本	维护难度	与其他技术组合的潜能
1	混凝沉淀	中	中	简单	可与生物处理技术结合,提高水质
2	生物滤池	中	低	中等	可与膜技术等结合,进一步净化水质
3	膜处理	高	中	复杂	可与多种技术结合,如生物法、高级氧化法
4	高级氧化	高	高	复杂	常与其他生物处理过程组合应用
5	人工湿地	低	低	简单	可处理传统工艺尾水,提高出水标准
6	加氯消毒	低	低	简单	作为最后消毒工序,可与多种技术结合
7	紫外消毒	低	中	中等	作为最后消毒工序,可与多种技术结合

总之,通过技术的组合应用,可以充分发挥各自的优势,获得更高效、更低碳的污水处理效果。这不仅有助于提高水资源的再利用率,还有助于降低处理过程中的碳排放。

3 污水再生利用技术的低碳化发展前景

3.1 低碳化潜能分析

在国家“双碳”战略驱动下,污水再生技术的进步不再局限于传统的污染物去除效能,而是延伸到了能源消耗、资源回收和环境影响等多方面的综合表现。这些技术的低碳潜力主要体现在以下几个关键领域。

一是节能减排。通过引入创新的节能技术和优化现有系统,特别是在生物处理阶段,可以大幅度降低整个污水处理过程的能源需求。此外,改进污泥处理流程,如采用厌氧消化和热解技术,能实现污泥减量化,降低处理能耗和碳排放。

二是能源回收。通过先进的生物技术,将污水和污泥中的有机物转化为可利用的生物能源,从而实现能源的自给自足,减少对化石能源的依赖,降低碳排放。

三是资源化利用。污水再生不仅可以回收水资源,还可以提取营养物质和能源,这些资源可以进一步用于农业、工业和其他领域,减少对新鲜水的需求,并促进可持续农业的发展。

四是绿色技术。发展和采用新型的环保污水处理技术,如膜生物反应器和厌氧氨氧化技术,这些技术以高效率 and 低能耗为特点,有助于推动整个行业的绿色转型。

五是系统优化。通过智能化的系统管理和高级控制策略,可以建立更加高效的运行模式,减少能源浪费,并提高整个处理过程的可持续性。

综上,污水再生技术在低碳化方面具有巨大的发展和提升潜力。通过技术创新和流程优化,这些技术不仅可以推动污水再生利用行业的可持续发展,而且对适应全球气候变化和保护生态环境也将产生深远影响。

3.2 能源转化及回收

污水再生利用不仅是一个净化水资源的过程,更是一个能源转化和回收的过程。在“双碳”目标的驱动下,充分利用污水处理过程中的能源转化和回收途径,对优化能源结构、提高能源利用效率和碳减排具有重要意义。

一是有机物的生物质能转化,通过厌氧消化、生物制氢等技术,将污水中的有机物转化为重要的生物资源,如甲烷、氢气等生物燃气^[23]。此外,微生物燃料电池技术也展现出将有机物直接转化为电能的潜力^[24]。

二是污泥的热能回收,将含有大量有机物的污水处理的副产品污泥,通过焚烧等热化学过程,转化为热能。此外,焚烧过程还可以回收金属等资源,实现资源的综合利用。

三是废热的回收与再利用,在污水处理过程中会产生大量废热,通过热泵等技术,可以将其转化为可再利用的热能,从而提高能源利用效率。废热回收可以显著降低污水处理厂的运营成本。通过回收废热用于供暖等用途,可以减少对传统能源的依赖,另一方面,废热回收还可以减少污水处理过程中的能源消耗和排放,进一步降低碳排放。

四是集成能源系统的构建,通过集成风能、太阳能等可再生能源,可以构建一个综合的能源系统,提高整个污水处理厂的能源自给自足能力。

如图1所示,荷兰阿姆斯特丹污水处理厂作为全世界技术最先进的污水处理厂,通过上述能量转换集成系统实现了能源自给自足,显著减少了对外部能源的依赖^[25]。



图1 荷兰阿姆斯特丹污水处理厂鸟瞰图

总之,污水再生技术在能源转化和利用方面的潜力巨大,这不仅可以减少对传统能源的依赖,降低碳排放,还可以促进循环经济的发展,具有重要的社会、经济和环境价值。

3.3 资源提取及利用

通过先进的提取和回收技术,污水中的高价值资源如碳源、氮磷资源、重金属和气态资源可以被有效回收,对于资源的可持续管理和环境保护具有重要意义。

一是水资源的回用。再生水作为稳定的“第二水源”,能够有效地替代自来水供应,减少对自然水源的开采和消耗,降低自来水的开采、净化和输送过

程的碳排放。再生水的循环利用能够显著减少区域内污染的排放量,减少污染物排放对周边环境的影响。

二是高价值碳源的提取。污水中的有机碳源可以用于生产生物塑料和其他高价值产品^[26]。通过各种技术,这些碳源可以被有效地提取和利用,促进绿色化学和可持续制造。

三是氮磷资源的回收。污水中富含大量的氮磷资源,经过处理之后得到浓缩,可以被回收用于农业施肥,减少对化学肥料的依赖,实现碳减排^[27]。

四是重金属的回收。通过先进的分离技术,污水中的重金属可以被安全地回收再利用,降低环境污染风险,为工业提供原料^[28]。

五是构建综合资源化利用平台。未来的污水处理厂将转型为资源回收和能源生产的综合平台。通过集成资源回收系统和智能技术,可以实现资源的最优配置和全面利用^[29]。

通过上述技术路径,污水再生处理不仅可以净化水质,还可以实现能源节约、资源回收和环境保护的多重效益,为实现“双碳”战略目标提供了有力支撑。

4 结 语

面对全球可持续发展和环境保护的紧迫需求,污水再生利用技术不仅是现代水资源管理的关键,更是实现“双碳”目标的战略要点。通过低碳化的工程实践,我们不仅致力于环境保护,更是在探索一条具有广泛社会经济效益的可持续之路。低碳化工程的实施不仅节约能源、降低运营成本,还能提升资源利用效率,实现经济与环境效益的双重最大化。此外,这一进程还能提升公众的环境保护意识,推动社会全面实现可持续发展。

为了深化污水再生利用的低碳化进程,我们需要从多维度出发,确保策略的全面性和协同性,包括通过精准的设计、有效的管理手段以及创新技术的广泛应用,推动污水再生利用工程向低碳化方向发展,为环境保护和可持续发展贡献力量。在未来的探索 and 实践中,我们还需积累更多经验,不断完善和优化低碳化工程策略。

基于“双碳”战略背景下的污水再生利用发展,本文提出以下策略建议。

4.1 推行低碳化工程设计

设计阶段应充分融入能源效率和资源回收的理念,强调能源消耗的最小化和能源回收率的最大化,同时致力于降低温室气体的排放。这可以通过优化

流程、应用高效设备、回收生物质能等多种方式实现。同时全生命周期的碳排放考量也是设计的必要组成部分。

4.2 深化能源和资源管理

低碳化工程的实施不仅需要精细的能源管理,还需对资源进行全面的综合管理。这不仅包括能源的回收,也涵盖了水资源、营养物质以及其他有价值资源的回收和再利用。此外,通过创新的资源回收技术,可以最大限度减少原材料的开采和消耗,实现循环经济的理念。例如,污水处理过程中的生物质能可以转化为电能或热能,为工程自身或周边社区提供可持续能源。

4.3 引进和应用创新技术

实现低碳化目标需要使用跨学科的创新技术,如纳米技术、生物技术、信息技术等。这些技术能够提高处理效率,减少能源消耗,并提高资源回收率。创新技术的引入还将推动污水处理行业的技术革新,提升整个行业的竞争力和可持续发展能力。例如,微生物燃料电池技术不仅可以处理污水中的有机物,还能在处理过程中产生电能,实现能源的双重回收。

4.4 实施低碳化运营

在运营阶段,需要采取一系列措施确保工程的低碳化,包括实施高效的运营管理系统,采取节能减排措施,以及进行碳排放的严格监控和管理。为了实现这些目标,可以引入智能化管理系统,通过实时数据的监控和分析,优化运营过程,降低能耗。同时,通过碳排放交易和碳足迹计算,企业能更直观地了解自身的环境影响,采取具体措施减少温室气体排放。

4.5 完善政策文件,加强公众参与

未来,我国需要加强对再生水利用法律政策的完善,包括提升立法水平,明确再生水的法律地位,建立系统的政策体系,完善资金保障机制,合理定价以形成价格优势,加强公众宣传和认知,强化水资源统筹规划,明确管理职责,制定严格的技术和质量标准,以及加强法律责任和监管力度。这一系列措施将为推动污水再生利用的健康发展,为低碳化进程提供有力的政策保障和社会支持。

参考文献:

- [1] 吕莹.我国城市再生水利用立法研究[D].兰州:西北民族大学,2019.
- [2] 滕玥.再生水利用的国际经验[J].环境经济,2023,1(6):56-59.

- [3] 卢睿卿,杨光,宫徽,等.新加坡新生水工艺对我国生产高品质回用水的启示[J].中国给水排水,2019,35(14):36-40.
- [4] 陈卓,陆慧闽,刘方华,等.日本再生水利用相关政策标准及典型案例[J].给水排水,2023,59(6):30-38.
- [5] 梁耀匀,黄潇.我国市政再生水深度处理技术研究进展[J].人民珠江,2023,7(1):1-9.
- [6] 柏昕然.我国再生水利用现状与发展趋势[J].供水技术,2022,16(4):47-49;56.
- [7] 张国珍,孙加辉,武福平.再生水回用的研究现状综述[J].净水技术,2018,37(12):40-45.
- [8] 陆飞彤.中国城市污水处理的现状与解决方案的探讨[J].清洗世界,2023,39(8):49-51.
- [9] 张继群,王爽.绿色低碳发展理念下我国节水工作的思考[J].中国水利,2023,3(17):29-32.
- [10] 陈梓豪,许萍.制约我国城市再生水推广利用的关键因素[J].水电能源科学,2021,39(11):76-80.
- [11] 张娟娟,黎佳茜,吴瑞,等.我国再生水循环利用:现状、趋势及对策[J].环境科学,2024,45(12):7031-7040.
- [12] 卫先宁.强化混凝优化再生水预处理效果及对膜污染的减缓作用[D].天津:天津大学,2020.
- [13] 赵杰.曝气生物滤池技术在再生水处理中的应用分析[J].价值工程,2022,41(34):127-129.
- [14] 孙阳.再生水深度处理系统设计及调试问题讨论[J].环境与发展,2020,32(4):101-103.
- [15] 张鸿斌,杨丽丽.论述膜技术在我国水和污水处理中的应用[J].城市道桥与防洪,2011(11):85-87;151.
- [16] 宫成清,罗丹,李新鑫.膜技术在污水深度处理回用中的应用研究[J].环境保护与循环经济,2021,41(11):33-35.
- [17] 赵丽红,郭佳艺.膜分离技术在再生水中的應用及膜污染研究进展[J].科学技术与工程,2021,21(19):7874-7883.
- [18] 付雪,许萍.再生水中微量有机污染物去除方法研究进展[J].应用化工,2022,51(3):771-776.
- [19] 孙晓云.基于UV高级氧化技术去除再生水消毒副产物前质的研究[D].济南:山东建筑大学,2020.
- [20] 李檬,郑华清,刘嘉恒,等.人工湿地深度净化再生水的效能与可持续性探讨[J].广东化工,2023,50(11):151-152;167.
- [21] 张高军,王永军,魏玉朝,等.改良人工湿地强化污水处理厂尾水脱氮性能研究[J].中国资源综合利用,2022,40(2):194-198.
- [22] 王彬.大型污水处理厂扩建工程关键节点的设计[J].城市道桥与防洪,2016(5):126-130.
- [23] 王妍妍.某生物质热电联产建设项目取水水源论证[J].河南水利与南水北调,2023,52(7):48-49.
- [24] 陈浩宇,孙强,胡雪帅.微生物燃料电池——人工湿地耦合系统研究进展[J].广东化工,2023,50(14):66-67;87.
- [25] 伽红凯,晁雨蝶.阿姆斯特丹的水管理[J].群众,2022(8):68-69.
- [26] 张波,张泽滨.利用剩余活性污泥合成生物塑料及其工艺与参数的研究[J].西南民族学院学报(自然科学版),2011,37(1):114-118.
- [27] 李子阳,陆东亮,华天予,等.蓝藻发酵液中氮磷回收及其作为反硝化碳源研究[J].环境化学,2020,39(12):3562-3573.
- [28] 王军.废水中重金属离子回收的现状研究[J].清洗世界,2023,39(3):66-68.
- [29] 翟玉启,王慧,郑心源,等.智能化园区再生水综合利用经济性及管理成效解析[J].现代物业(中旬刊),2019(7):6-11.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

