

污水处理过程中的节能减排技术要点及应用实践

文 / 万学彬 中国市政工程中南设计研究总院有限公司

摘要：随着近些年全球的能源紧缺和环境污染问题日益严峻，基于此，我国提出节能减排理念，旨在缓解能源危机、改善环境质量。节能减排技术在水资源管理和污水处理尤为关键，在污水处理方面存在的问题不容忽视。在此背景下，需要积极响应节能减排号召，通过优化流程和提升技术水平，减少对环境的影响；同时也需积极探索污水处理的策略，实现水资源的循环利用，减轻对自然水体的依赖与污染。对此，本文对基于节能减排的污水处理技术和污水处理过程中节能减排技术的应用展望进行研究，供参考。

关键词：污水处理；节能减排技术；应用要点

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.112

引言

随着城市化进程的不断加速，污水处理作为污水处理和转输的关键设施在城市水环境治理中的作用日益凸显。城市污水从收集进入排水系统至处理后排放，会经历多层级碳排放环节，产生大量温室气体。污水处理作为排水系统的重要一环，其高能耗、高碳排放问题日益凸显。因此，通过技术创新和应用提升污水处理运行效能，提高污水转输效率的同时降低运营成本，助力排水系统减污降碳协同增效，已成为污水处理行业亟待解决的问题。该研究旨在节能减排技术应用中的节能降耗效果，分析其对污水处理运行效率的影响，以及对环境和经济效益的贡献，以期为其他污水处理的运行改造提供参考，推动污水处理行业向更加高效、环保的方向发展。

一、污水处理节能减碳的意义

污水处理在节能减碳方面具有明显而迫切的意义，不仅是响应国家“双碳目标”的必要措施，也是推动环境保护与可持续发展的关键一环。根据现有数据，污水处理行业的碳排放量占全社会总排放量的1%到2%，在大型经济体中，这一比例蕴含着巨大的减排潜力”。具体来看，2020年污水处理全行业耗电大约为184亿度，这一数字不仅体现了行业规模的不断扩大，也揭示了能耗管理的重要性。同时，数据表明，2007年至2018年间，我国污水处理单位电耗和削减单位污染物的电耗持续增长，表明随着污水处理规模的扩大，能耗控制成为改革的重点领域。节能减碳措施的推进，不仅可以大幅度减少能源消耗、降低运营成本，还能够提升资源的综合利用效率，使污水处理成为资源回收与再利用的平台。此外，通过技术革新和工艺优化，这些处理可以减少对化石燃料的依赖，降低温室气体排放，加强生态系统的恢复与保护功能。

二、污水处理的运行现状

目前，城市化进程不断加快，工业废水和生活污水量逐年增加，如何对其进行科学处理成为人们面临的主要问题。在此背景下，对污水处理的处理效率提出较高要求，需要在提升水质的同时能够节能减排，促进经济与环境效益的共同发展。在污水处理的总运行成本中，

能耗成本占比较高，为40%左右，且能耗量仍在逐年提升，几乎超出污水处理的承受范围。为达到高质量的出水水质要求，能源消耗产生的二氧化碳数量逐渐增加，很难实现可持续发展目标。从整体上看，国内污水处理的能耗现状不够乐观，实施节能减排措施成为大势所趋。受思想意识、技术和资金等多种因素影响，国内污水处理普遍沿用粗放管理模式，存在以下突出问题。一是污水处理成本较高，经济效益较低；二是能耗较大，产生的污泥和二氧化碳较多，严重抑制污水处理的规模壮大和可持续发展。对此，污水处理应立足实际，积极制定节能减排方案，引入先进的节能技术，在确保出水水质达标的前提下，最大限度减少能源消耗，促进经济效益提升，取得良好的环保效益，实现绿色稳健发展。

三、基于节能减排的污水处理技术

（一）污泥处理技术

污泥处理技术主要用于处理污水处理过程中产生的污泥，包括污泥浓缩、脱水、干化和焚烧等工艺。浓缩技术通过重力沉降或机械方法去除污泥中的水分，提高污泥的固体含量；脱水技术通过机械压榨或离心分离减小污泥的体积；干化技术则通过热能蒸发水分，使污泥进一步干燥，减小体积；焚烧技术通过高温燃烧将污泥中的有机物分解为气体和灰烬。污泥处理技术的特点是处理效率高，减少了处理过程中产生的废弃物和二次污染，适用于各种工业污水处理场景，如造纸、化工及城市污水处理厂。在节能方面，现代污泥处理技术如热脱水和焚烧技术，能回收部分热能用于能源再利用，从而实现节能减排目标。

（二）污泥厌氧消化与热电联产型的污水处理技术

通过研究显示，一个污水处理厂在运行过程中应用的电量大约为每立方米，每小时消耗0.6千瓦时，而污水处理过程中一些有机化合物燃烧产生的热能，超过了该数值的8倍。由此可见，污水中蕴藏的化学能源是不可小觑的，实现对这些化学能源的高效利用。利用厌氧消化产生的沼气进行发电和供热，就是实现污水处理节能减排的最佳方式（见图1）。尤其是在城市污水处理过程中，会沉淀大量的污染物质和污泥，在对这些污泥

进行处理时，消耗的化学物质和能量是不可小觑的。但如果直接在户外掩埋，产生的温室效应也是极为严峻的。因此，利用污泥厌氧消化和热电联产的方式，能够有效地将污泥中的化学能源进行转化，从而达到能源回收利用的目标。在污水处理厂中，污泥经过厌氧法处理之后，就能够得到可燃烧的沼气，而沼气是一种典型的清洁能源，以沼气发电也成为目前最为普遍的一种清洁发电形式。在我国广东地区的污水处理项目中大力地推广高温

发酵的污泥厌氧法，这种污泥厌氧法可以根据能源阶梯的原则，联合沼气热电联产技术，将污泥中获取的沼气用来发电。相比于传统的燃煤发电工艺技术，采用这种经济性的工艺可节约 558t 的标准碳，同时，还避免了碳燃烧过程中对大气造成的污染。广东地区在污水处理方面的这一创新举措，不仅展示了我国在环保和能源利用上的进步，更为其他地区提供了宝贵的经验。

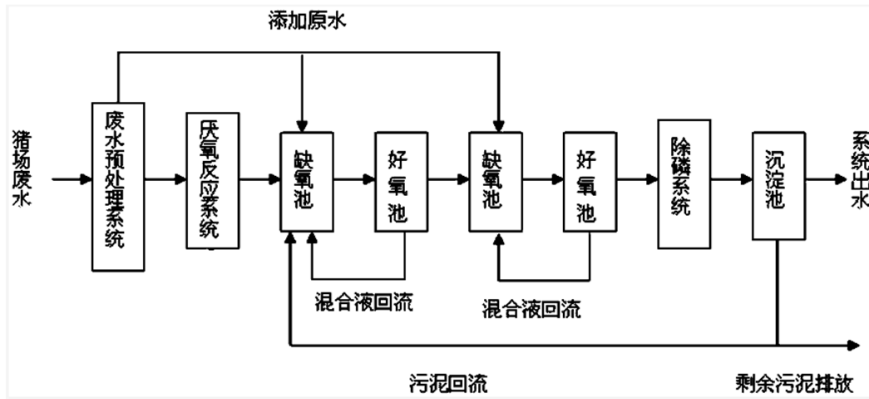


图 1 厌氧沼气发电

随着这一技术的普及，可以预见，未来将有更多的污水处理厂采用这种高温发酵的污泥厌氧法，实现污泥的资源化利用和清洁能源的产出。

(三) 物理处理

(1) 膜分离法。膜膜分离法。膜分离技术凭借显著优势，不仅高效祛除了污水中的异味和不良色泽，更能

能够对金属离子、微生物等复杂杂质进行深度过滤，为污水的处理质量提供了强有力的保证。这一技术不仅成本低廉，而且实用性极高，因此在石油化工等行业中得到了广泛的推广和应用。并且这种技术在其他公司的污水处理方面也得到了很大的推崇。

生活污水处理工艺	化学处理法	利用中和, 混凝, 电解, 氧化还原
括生活污水处理设备	学科分类	环境科学
利用筛滤法, 沉淀法, 过滤法		

表 1 污水处理方法

(2) 吸附法。吸附法，顾名思义就是利用各种吸附剂来消除污水的异味以及恢复污水的色泽，常用的吸附剂包括活性炭、活性炭纤维及水沸石等。吸附法虽然在一定程度上能够有效祛除污染物，但却存在着局限性。首先，从经济角度来看，吸附法的处理成本较为高昂，这在一定程度上限制了其广泛应用。其次，虽然吸附法能够有效改善污水的外观和气味，但却未能从根本上增强水质，同时还很容易导致二次污染。所以，在处理污水时，为了实现更全面、更有效的污水处理，通常会需要联合使用其他处理方法。(3) 浮油隔断技术。在石油化工企业的生产流程中，常常会产生具有多种复杂成分的污水，并且有很多颗粒状污垢和生物薄膜漂浮在污水之上。这些污垢和薄膜上附着了许多轻质浮油，它们浮于表面，导致水体和空气之间的接触被阻断，从而影响到水中依赖氧气生存的生物的存活。这种状况使得石油化工厂的污水净化效果大打折扣。对于此种情况，有效应用浮油隔断技术就显得至关重要，这一技术的应用，

使得污水在经过隔油池的过程中，能够有效去除其表面的漂浮物，从而确保水体的纯度，在一定程度上减小了需氧生物由于污水中的杂质而受到的影响。

(四) 高效能源利用技术

在污水处理领域，高效能源利用技术主要通过优化能源使用方式和提升能源转换效率，图 2 为污水源热泵系统是以污水作为低温热源，利用热泵技术回收或提取污水中的低温热能为建筑物供热供冷，其中污水包括市政管网中未处理的原生污水、污水处理厂已处理污水等。为应对污水或地表水水质条件，目前的系统多采用间接式热泵系统。污水先将热量传递给清洁水（起中介导热作用，又称中介水），中介水再进入热泵机组进行冷热量转换。污水热泵供热制冷系统宏观上由三个子循环系统构成，即污水循环、中介循环和末端循环，热泵机组的内部还有一个热泵工质（例如氟利昂）循环，即热泵机组的工作过程，宏观上不显现。系统的主要设备包括污水泵、疏导式换热器、中介泵、热泵机组、末端泵。

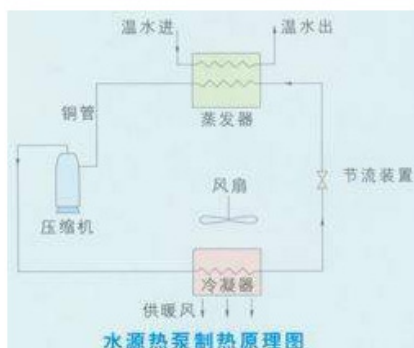
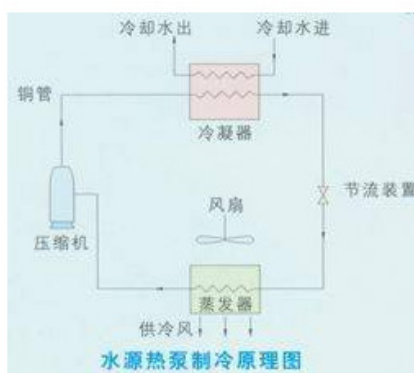


图2 双源热泵在污水处理中的应用

四、污水处理过程中节能减排技术的应用展望

(一) 持续优化与升级智能化管理系统

建立以数据为驱动的持续改进机制，包括实施高质量的数据收集和分析流程监控系统性能，识别优化机会并基于数据分析结果调整操作策略。污水处理应定期评估智能化管理系统的技术性能和经济效益，确保其始终保持在行业最佳实践水平之上。采用开放式架构和标准化技术为系统提供更大的灵活性和扩展性，便于集成新的技术和应用，支持跨平台的数据交换和共享。强化人员培训和发展计划确保员工掌握最新的技术知识和管理技能，增强应对技术变革的能力。与技术供应商建立长期合作关系，保证污水处理及时获得技术支持和更新服务。

(二) 增强节能技术的适应性与灵活性

实施定制化的节能方案充分考虑每个污水处理的具体条件和需求，保障所选技术最适合其特定环境，提高了技术的适应性最大化节能效果。采用模块化设计的节能技术，为污水处理提供更大的灵活性。模块化技术允许方根据实际处理需求和未来扩展需求，灵活调整技术配置和处理能力，无需进行大规模的基础设施改造。加强技术创新和研发投入，探索和开发新的节能材料、设备和工艺，不断提升节能技术的效率和适用范围^[5]。通过技术创新，可以应对更广泛的处理需求和环境挑战，确保节能技术能够持续适应行业发展和环境保护的新要求。建立跨行业合作平台，共享节能技术的最新进展和实践经验，促进技术交流和知识传播，加速节能技术的迭代升级和应用普及，为污水处理提供更加灵活和高效的节能解决方案。

(三) 改良曝气控制系统

在污水处理运行中，能源消耗是重要的成本支出，通过降低能源采购量、革新优化污水处理技术的方式，可达到降本增效的目标。目前，城镇污水处理多采用氧处理技术进行污水有机物降解，利用曝气工艺向污水中注入氧气，促进混合液中有有机物和微生物的充分反应，达到降解目标。但曝气系统运行中，需要大量电能进行驱动，能源消耗量较高。因此，需要改良曝气控制系统来达到节能效果，措施如下。一是综合分析曝气设备调节和氧气供给能力。合理设定污水处理的曝气效率、曝气设备规模等，并以曝气设备和氧气供给能力调节为重点，选择与污水处理要求充分适应的曝气设备，由此提高曝气节能效果。二是合理控制曝气系统规模。污水处理设计时，应以每日、每小时的高峰期需氧量为依据，科学设定曝气系统的规模。在投入使用后，还要灵活控制，确保在缺氧状态下活性污泥仍可正常运行一段时间，以免影响水质。三是加大风量控制力度。处理风量多以气阀控制和调节为依据，在设计阶段应正确选择设备类型，建议使用带有变频调速功能的系统，可根据实际情况灵活控制风量，减少运行能耗。

(四) 实现对污水热源的大量应用

考虑到目前我国能源紧缺的背景，关于热能供应的市场价格变动极为敏感，而城市热水管网建设存在的滞后问题，也严重地限制了污水热泵技术的推广。但是，单纯地依靠光伏发电产生的电量是极为有限的，并且光伏发电也具有供电不稳定的问题。因此，关于污水处理的水源热泵处理技术在发电过程中的融合应用，也会在未来持续发展，并探索出更加稳定的电力能源存储技术，从而推动该项技术实现大规模普及。

结语

目前，企业越来越重视工业污水处理排放，也着手开发先进的新工艺、新技术，这在一定程度上可提高污水处理水平。但随着企业生产规模的扩大、生产范围不断拓宽，污水产生量不断增大，同时污水成分日趋复杂，污水处理存在越来越多的不确定性。因此，企业对污水处理仍须持续重视，不断革新技术，争取成为环境友好型、资源节约型的行业标杆。

参考文献

[1] 韩斌，杜凯污水处理过程中的节能减排技术应用研究[J]. 清洗世界，2024，40(4): 118-120.
 [2] 张启业，程瑶瑶，于毅，等. 医院污水站节能减排技术与策略研究[J]. 皮革制作与环保科技，2024，5(5): 145-147.
 [3] 宋玲玲. 节能减排技术在新型煤化工领域的应用分析[J]. 石化技术，2020，27(1): 246-247.
 [4] 白均良. 市政给排水设计中节能减排技术研究[J]. 科技创新导报，2019，16(16): 36-37.
 [5] 江荣浩. 浅析制药机械设备节能减排现状及改进措施[J]. 中国设备工程，2019(11): 88-89.