

# 环境工程中废水资源化与能源化技术研究

崔宇飞

中冀石化工程设计股份有限公司 河北 保定 071030

**摘要：**近几年来，我国环境工程事业获得繁荣发展，循环经济发展模式也应运而生，其核心理念是实现资源高效节约。传统废水处理技术，主要注重消除废水中有害物质，保护生态环境和人类健康。然而，随着资源稀缺及环境污染问题愈发严重，单靠这种传统方法已无法满足现代社会多维需求。因此，本文将对环境工程中废水资源化与能源化技术要点进行研究，希望实现经济效率及环境效益双重提升目标。

**关键词：**环境工程；废水；资源化；能源化

前言：废水处理行业资源化与能源化技术，作为一项系统工程，其涉及政策引导、技术创新、资金投入及公众参与等多个维度的支持。在环境工程大背景下，废水处理行业的发展，不但面临新的机遇，同时也将迎接多重挑战。通过不断的探索实践，废水处理行业将对构建资源节约型及环境友好型社会，做出更大贡献。

## 1 环境工程中废水资源化利用技术要点

### 1.1 再生水回用用途

#### 1.1.1 工业

在当前的工业领域，水的使用量及排放量庞大且复杂，尤其是在应对水资源日益稀缺以及水价持续上升的环境下，工业部门显得亟需采取有效措施来应对挑战。为提高水资源的重复利用率，许多工厂已开始实施废水的循环利用策略。同时，使用城市再生水的行业兴趣也不断增加<sup>[1]</sup>。在中国，经过再生处理的城市污水现已在电力厂的循环冷却系统及造纸行业等方面获得广泛的应用，这一现象不但得到深度研究，也取得一定的实践成果。为保证再生水在工业应用中的安全性，必须严格遵循《城市污水再生利用工业用水水质》所规定的标准，旨在保证其在工业环节的应用不会造成设备损坏或影响产品的质量，确保整体生产安全。

#### 1.1.2 农业

以色列是全球最早将再生水用于农作物灌溉的国家之一，其在农业灌溉中应用再生水的比例高达原生污水的三分之二，成为全球最高水平。在中国，由于尤其北方地区农业灌溉用水不足的问题愈发突显，再生水灌溉技术逐渐受到重视并开始引入更多实践。采用再生水进行灌溉，不但节约水资源，而且对植物生长至关重要，因为它可以提供氮、磷等必要养分，并增加土壤中的有机质，显著提升土壤的肥力及作物的产量。此外，经过深度处理的污水能有效减少对环境的影响，降低其对人

类健康的潜在威胁。

#### 1.1.3 城市杂用水

再生水在城市环境中的应用日益显现出其重要性，特别是在城市杂用水的领域。再生水的适用范围极为广泛，涵盖绿地灌溉、消防用水补充、街道及建筑物的清洁、建筑施工期间的用水，以及公共设施及居民住宅的冲厕等功能。以西安市为例，该市在2014年实现再生水利用的显著突破，建成七座再生水处理设施，日处理能力达到26.3万m<sup>3</sup>，并设立138个取水点，以满足城市杂用水的需求。在城市杂用水的实际应用中，因与人类活动密切相关，保证再生水的使用不与人体直接接触是基本原则之一<sup>[2]</sup>。

再生水的回用还需严格遵循国家相关标准，特别是《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）。该标准对再生水的水质提出详尽的要求，包括微生物、化学指标，以及感官特性的规定，目的在于保证再生水在使用时不会对环境及人体健康产生负面影响。从系统工程的角度来看，城市杂用水的再生水利用涉及水质处理技术、供水安全、公众健康保障，以及环境影响等多重因素。随着城市化脚步的加快，城市水资源面临的压力日益增大，因此，合理利用再生水对于缓解城市水资源的短缺，提高水资源的利用效率具有重要意义。

在具体实施过程中，针对再生水的处理技术需要不断进行优化，以提升其水质的稳定性。同时，公众的意识也需通过宣传教育活动不断增强，让市民更好地理解再生水的使用。此时，政府及相关部门的政策引导措施显得尤为重要，以促进再生水在城市管理中的全面应用及可持续发展。再生水的利用还需与城市雨水收集、海水淡化等其他水资源补充措施有机结合，形成一个多元化的水资源供应体系。

## 1.2 回用技术

废水再生回用处理技术是一个涵盖广泛且复杂的领域,包括物理法、化学法及生物法三种核心方法,各自具有独特的处理机制。其一,物理法利用物理及机械手段实现废水中污染物的分离及回收。其常见技术包括过滤、沉淀、离心、气浮以及蒸发等。这些技术主要依靠物理作用力来直接移除废水中的污染物,具有操作简单、处理过程直观的特点。其二,化学法通过化学反应将废水中的污染物转化为无害或易于处理的物质。这些方法包括中和、萃取、氧化、混凝及沉降等<sup>[3]</sup>。化学法可以针对某些特定类型的污染物发挥显著效果,但可能会引入一些新的化学物质,因此在使用时需谨慎,以防止引发二次污染。这种技术的实施往往需要专业的设备及运行条件,以保证反应的有效性与安全性。其三,生物法利用微生物的代谢作用来分解及转化废水中的有害物质,是废水处理的另一大主流技术。其中,活性污泥法是应用最广泛的方法之一,它通过好氧或厌氧微生物的生化反应,将有机物质转化为无害物质,甚至可以实现能量的回收。相较于物理法及化学法,生物法通常具有更高的经济性,同时也可以实现废物的资源化,因此在实践中得到广泛应用。生物法中,活性污泥法特别强调好氧微生物的作用,其衍生的改良工艺包括氧化沟法、AO法、A2O法以及SBR法这些先进工艺因其速度快、处理效果好而成为城市废水处理的主流方法。然而,虽然好氧生物处理技术在许多情况下表现出色,但其运行成本较高且往往将污水中的污染物视为需要去除的负担,而非可回收资源。与此同时,厌氧处理技术,如厌氧发酵产甲烷技术,越来越受到重视,因其更强调废水的资源价值。

## 2 环境工程中废水有机化学能资源化利用技术要点

### 2.1 厌氧发酵产甲烷技术

厌氧发酵,又称为厌氧消化,是一种生物化学转化过程,在缺氧环境中,厌氧微生物通过代谢作用将可生物降解的有机物转化为甲烷( $\text{CH}_4$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )及其他副产品。这一过程由于其主要生成物为甲烷,因此有时被称作厌氧发酵产甲烷技术。它在废水处理中的应用,可以有效将有机污染物中蕴含的低品位化学能转化为相对高能量等级的沼气,尤其是甲烷。这不但对环境保护起到积极作用,同时也带来良好的经济效益。在废水处理领域,相较于需氧生物处理技术,厌氧发酵技术显示出显著的成本优势。由于该过程无需复杂的曝气设备,其设施建设及运营成本相对较低<sup>[4]</sup>。然而,厌氧发酵方式也存在一定的局限性。例如,厌氧微生物在低

温环境中的活性明显降低,这可能直接影响处理效率。为保证厌氧处理过程的高效性,通常需要对废水进行加热,这无疑将增加能源消耗及运行成本。

除以上问题,厌氧处理过程中还可能会产生硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )等恶臭气体,这些气体的释放不但对环境造成污染,亦可能对人体健康构成威胁。此外,虽然甲烷作为一种燃料被广泛应用,其燃烧时产生的热能利用率相对较低,约为30%。更为重要的是,甲烷是一种强效的温室气体,其对温室效应的贡献力是二氧化碳的20倍左右。为应对上述挑战,科研人员及工程师们正在积极探索各种策略以优化厌氧发酵过程。例如,通过改进废水的加热系统,可以有效减少能源的消耗;同时,使用生物滤塔等先进技术控制及降低恶臭气体的排放;此外,开发更为高效的甲烷利用技术也是当前的研究重点,致力于提高热能的回收及利用效率。同时,也有不少研究集中在减少甲烷的释放,以及将甲烷转化为更加环保的能源形式。

### 2.2 微生物燃料电池技术

微生物燃料电池(MFC)作为一种前沿的废水处理技术,展现卓越的创新潜力,它透过利用具备电化学生活性的微生物,将有机污染物中的化学能有效转化为电能。它不但可以有效清洁污水,还能从中提取能源,完美地实现废物处理与能源生产的双重效益,成为节能减排领域中的一个典范。未来,MFC的产业化应用展现出广阔前景,一旦成熟,将为能源、环境及社会的可持续发展带来显著的综合利益。微生物所具备的发电能力的探索可以追溯至20世纪早期。1911年,英国植物学家Potter通过使用大肠杆菌及酵母菌作为催化剂,并应用铂金电极,首次观察到微生物可以生成微量电能。这一现象促使他提出微生物燃料电池的基本概念。

进入20世纪80年代,随着电子传递中介体的普遍使用,微生物燃料电池的发电能力实现显著提升,激起学术界浓厚关注。1999年,MFC研究领域迎来关键的突破,韩国科学技术研究院的Kim及其团队发现,即使在没有电子中介体的情况下,MFC依然可以输出较高的电功率。这一创新发现促使无中介体微生物燃料电池研究的快速发展,也为后续的研究奠定基础。从2001年MFC产电功率不足 $0.1\text{W}/\text{m}^2$ 的发展,到今天已达到高达 $6.9\text{W}/\text{m}^2$ ,微生物燃料电池技术已取得显著的进展,其实用性研究也日益繁荣<sup>[5]</sup>。

为实现MFC技术的成功应用,必须综合考虑多个因素。这些因素包括微生物种群的选择、电极材料的优化、电池设计的改进以及操作条件的适宜调整等。此

外, MFC的商业化进程面临着成本效益评估、规模化生产及市场接受度等诸多挑战。因此, 未来的研究最迫切需在提高MFC的性能、降低生产成本及探索其在不同废水处理场景中的应用方面进行深入探讨。

### 3 环境工程中废水热能资源化利用技术要点

#### 3.1 热泵技术

城市污水处理厂的选址通常考虑到人口密度较低、地理位置相对偏远的区域, 这种选择在一定程度上限制其开发及应用的广泛性。然而, 即使这些处理厂与主要需求区域存在较远的距离, 对于一些在冷热能源需求上高度集中的商业区或住宅区, 仍然可以探索利用原生干渠中的污水作为一种可行的能源来源。原生干渠中所含的污水因其水量丰沛以及温度相对稳定, 而被视为一种富有潜力的优质冷热能源。然而, 该水体的水质相对较差, 含有较多的悬浮颗粒物及其他杂质, 通常不适宜直接使用。为此, 安装污水换热器成为解决该问题的有效方案。该装置可以利用中介水进行换热, 从污水中提取所需热量, 并将其输送至热泵机组, 从而实现高效的能源供应。这种污水源热泵技术相较于传统的能源供应方式, 展现出在节能、节水、减少初期投资以及环保方面的显著优势。

可以通过西安土门商圈集中供暖(制冷)项目来具体阐释它的应用。该项目成功部署污水源热泵系统, 满足312万 $\text{m}^2$ 建筑面积的供热及供冷需求。与传统的冷水机组及燃气锅炉相比, 该系统每年节约6783t标准煤, 且能减少16910t二氧化碳、112t二氧化硫、105t氮氧化物以及65t烟尘的排放, 取得显著的经济效益。通过这种利用污水作为能源的创新方法, 能源的利用效率得到显著提升, 并且大幅减少对传统能源的依赖, 进而降低温室气体及其他有害污染物的排放, 这对于促进城市的可持续发展、应对气候变化以及改善城市环境质量具有重要的积极意义。污水源热泵技术的成功应用, 不但展示污水处理厂在能源回收及环境治理方面的巨大潜力, 也反映出随着技术不断进步, 它在更广泛区域内得到应用的

期性。

#### 3.2 冷水相变供热技术

冬季低温条件下, 污水处理厂排放的再生水在经过热泵机组提取热能后, 其温度往往会进一步降低。一旦温度下降至传统热泵机组无法继续有效运作的水平, 便需依赖辅助热源, 如燃气锅炉等, 以满足持续的能量需求。不但增加能源消耗, 还可能对环境造成不利影响。为解决上述问题, 冷水相变供热技术作为一种创新的解决方案开始得到关注。它与常规热泵系统的原理有所不同, 原生污水源热泵或再生水源热泵主要侧重于从废水中提取显热。然而, 城市污水中蕴含的凝固潜热则展现出更大的能量潜力。

结语: 废水中蕴含着丰富的资源, 具有重要的应用潜力, 特别是在环境工程领域。本文通过探讨废水中的有机化学能及热能回收, 以及再生水回用等方面的主要技术, 阐明其在资源化与能源化过程中的重要性。这些技术的发展相对成熟, 因此在城市污水处理厂的改造、提升或新建过程中, 应该结合当地的自然、经济及社会条件, 合理集成这些技术, 以促使废水实现更为高效的能源化及资源化利用。

#### 参考文献

- [1]李康宁.光合微藻对废水重金属生物处理特性及生物质资源转化研究[D].重庆理工大学,2024.DOI:10.
- [2]赵昕悦,张拓实,孟祥伟,等.畜禽废水资源化与能源化利用研究进展——以养猪废水为例[J].东北农业大学学报,2023,54(05):88-96.
- [3]丁为俊,杜玉吉,丁江华,等.城市废水资源化与能源化处理技术进展[J].中国资源综合利用,2018,36(08):94-98+105.
- [4]朱先征.正渗透废水资源化技术及膜污染机制研究[D].华东师范大学,2017.
- [5]陈书勤,廖福真,黄巧萍,等.酵母废水资源化与能源化综合治理的研究进展[J].轻工科技,2013,29(09):101-104.