

工业污水处理及回收再利用研究

王日志

广州拉斯卡工程技术有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/EAE.2026030001

摘 要： 文章剖析了当前工业污水回收率低、意识薄弱、标准缺失及监管体系不完善等核心问题；继而详细论述了包括厌氧与好氧生物处理、离子交换树脂及反渗透在内的主流污水处理技术原理与应用特点；最后从工艺路线、利用方式及系统规划三个维度，阐述了实现工业污水资源化的具体途径与模式。研究试图为提升我国工业水资源循环利用效率、构建节水型生产体系提供理论参考与实践指引。

关 键 词： 工业污水处理；回收；再利用

Research on Industrial Wastewater Treatment and Recycling

Wang Rizhi

Raschka Guangzhou Engineering & Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article analyzes the core issues in current industrial wastewater management, including low recycling rates, weak awareness, lack of standards, and an imperfect regulatory system. It then elaborates on the principles and application characteristics of mainstream wastewater treatment technologies, such as anaerobic and aerobic biological treatment, ion exchange resins, and reverse osmosis. Finally, it explores specific approaches and models for achieving industrial wastewater resource utilization from three dimensions: process routes, utilization methods, and system planning. The study aims to provide theoretical references and practical guidance for enhancing the efficiency of industrial water resource recycling and establishing a water-saving production system in China.

Keywords： industrial wastewater treatment; recycling; reuse

引言

随着工业化进程加速，工业污水排放量持续增长，对环境承载力构成严峻挑战。实现工业污水的有效处理与安全回用，不仅是污染防治的必然要求，更是缓解水资源短缺、推动绿色发展的关键举措。当前，我国在工业污水处理与回收领域仍面临回收率偏低、标准体系不完善、技术应用不均衡等多重制约。

一、我国工业污水处理与回收的现状

（一）工业污水回收方面

1. 工业污水回收率低下

提升工业污水的回收利用水平，关键在于将循环经济理念作为根本指导，并围绕这一核心构建系统化、高效的新型资源利用模式。从现状来看，我国工业领域在此方面主要面临双重制约：一方面，针对不同行业和区域特点，工业污水的排放限值与水质要求尚未形成统一、精细化的标准体系；另一方面，处理后的水资源在实际回收再利用环节缺乏有效机制与配套设施，导致大量可再利用的水资源未被充分回用。

2. 污水回收利用意识普遍较低

现阶段，我国广大工业企业在应对生产过程中产生的废水时，普遍将治理重点置于排放前的检测环节。企业大多遵循“达标即排”的处理思路，即一旦经过处理后的污水检测结果符合国

家或地方规定的排放限值，便倾向于将其直接排入外界水体或市政管网，而很少进一步考虑将其作为可再生资源进行深度回用。这种“重排放、轻回用”的思维定式，不仅导致大量本可再次服务于生产或辅助环节的水资源被白白浪费，也反映出当前工业领域在节水与可持续水管理方面意识层面的整体薄弱，长远来看不利于水资源集约型社会建设和企业自身节能减排目标的实现^[1]。

3. 缺乏完善的污水标准检测机制

从整体制度框架来看，我国尚未在工业领域构建起一套全国统一、权责清晰且覆盖全面的污水检测标准体系。这种标准化的缺失，导致不同地区、不同行业在执行监管时尺度不一，客观上留下了管理缝隙。部分环保意识淡薄的企业便利用这一制度短板，为了片面追求经济效益、降低运营成本，选择规避规范的污水处理流程，将未经妥善处理或仅经简易处理的污水进行违规排放。此种行为不仅严重破坏了周边生态环境，也对公共用水安全构成了潜在威胁，凸显出完善顶层设计、建立强制性统一检测标

准的紧迫性与必要性。

4. 监督机制有待进一步系统化

现阶段，部分工业企业已经初步建立起针对生产与排放的内部监督机制。这些机制的设立，在提升企业管理规范性与运营效率方面起到了积极作用。在监督框架的约束与引导下，员工能够更自觉地进行工作复盘与技能优化。然而，必须清醒认识到，现有监督机制往往呈现碎片化、局部化的特点，尚未整合成一套目标明确、环节紧扣、覆盖全面且运行高效的有机系统^[9]。

二、工业污水处理的方法

（一）厌氧生物处理技术

厌氧生物处理技术是当前工业污水处理领域应用较为广泛的方法之一，其凭借流程相对简化、运行管理便捷等特点受到青睐。随着相关科学研究的深入与工程技术的持续进步，厌氧反应器的设计形式日益丰富，其可处理的污水种类和适用条件也不断扩展。在目前的工业实践中，技术较为成熟的第二代与第三代厌氧反应装置占据主流应用地位。例如，升流式厌氧污泥床（UASB）作为一种典型的颗粒污泥型反应器，其工作原理在于：反应过程中产生的沼气向上流动，促使污水与污泥充分混合接触；随后，借助内置的三相分离器，实现颗粒污泥的沉降回流、沼气的收集导出以及处理后上清液的排出。近年来，为适应更高的处理需求，研发机构对传统反应器结构进行了优化改进，新型反应器在保持核心原理的同时，通过显著增加反应器的高径比、提高内部上升流速等设计，强化了传质效率与处理稳定性，从而有效提升了工业污水的整体处理效能与水质净化水平。

（二）好氧生物处理技术

好氧生物处理技术作为一种成熟的污水净化手段，在工业领域拥有长期的应用历史。近年来，相关技术与工程人员持续对该技术进行深化研究与细节优化，通过一系列工艺改良，显著提升了其污水处理的效果与稳定性。该技术体系包含多种具体工艺，其中 HCR 工艺（高效好氧生物反应器工艺）是代表性技术之一。HCR 工艺的核心创新在于，它成功地将高速射流曝气技术与紊流剪切作用相结合。这种融合不仅强化了氧气的传递与溶解效率，还创造了剧烈的流体剪切环境，能有效打碎、分散并去除污水中的悬浮污泥与生物絮体。现代好氧生物处理装置通过结构与运行参数的优化，取得了显著进步。一方面，装置内氧气的传质效率与转化利用率得到大幅提高，意味着同等能耗下可向微生物提供更多的溶解氧；另一方面，反应器的有效容积利用率也获得提升，在有限空间内创造了更大的生物反应区域。这些改进共同赋予了好氧处理系统较高的有机负荷承受能力^[10]。

（三）离子交换树脂处理技术

离子交换树脂技术是近年来工业污水处理领域中一项重要的创新技术。该技术的核心在于利用具有特定功能基团的合成高分子材料——离子交换树脂，通过其自身携带的可交换离子，与污水中的目标离子（如重金属离子）发生置换反应，从而实现对污染物的高效选择性去除。具体而言，离子交换树脂是一种不溶于

酸碱溶液的高分子多孔固体聚合物，其结构中的活性基团能够特异地吸附并结合污水中的汞、铜、铬等重金属离子。这项技术特别适用于处理那种重金属浓度虽相对较低但排放总量巨大的工业废水，能对其进行深度净化与回收。在工程应用中，该技术常与其他处理方法协同使用以提升整体效能。

（四）反渗透污水处理技术

反渗透（RO）技术，作为一种高效的膜分离技术，它代表了现代分离、净化与浓缩工艺的重要发展方向。与传统的物理化学分离方法相比，膜分离技术整体上具备能耗较低、处理效率高、操作相对简便及运行成本可控等综合优势，已成为污水再生处理领域的主流技术之一。在膜分离技术家族中，主要包括微滤、超滤、渗析、电渗析、纳滤及反渗透等多种方法。其中，反渗透技术凭借其独特的优势获得了广泛应用：该过程不发生相变，系统易于模块化设计，工艺流程简洁，操作维护较为方便，且装置规模灵活，投资与运行成本相对经济，能耗也处于较低水平。这些特点使其特别适用于对出水水质要求较高的场景。在资源循环利用的背景下，反渗透技术在大型工业城市的水资源管理中扮演着越来越重要的角色。将城市污水处理后，进一步通过反渗透等深度工艺净化，回用于工业生产过程，是实现水资源可持续利用的重要方向。

三、工业污水回收利用的途径

（一）工业污水回收利用的处理工艺

工业污水在城市污水总量中占据显著比例，其成分复杂，往往含有多种重金属及其他有毒有害物质。若未经有效处理直接排放，将对周边水体和土壤环境造成严重污染，并可能通过食物链危害人体健康。因此，对工业污水进行处理并实现回收利用，不仅是从源头削减污染、保护生态环境的必要举措，还能变废为宝，提升水资源利用效率，对于构建资源节约型和环境友好型社会具有积极的推动作用。

实现工业污水安全回用，需要系统而科学的处理工艺。整个流程通常始于对污水水质的全面分析与评估，这是后续选择针对性处理技术与工艺参数的基础。为了使处理后的水质满足特定回用标准（如工业冷却、绿化、冲洗等），一般需要进行深度处理。首先是预处理及微絮凝阶段，主要目的在于初步去除悬浮物和部分胶体物质，常结合过滤与消毒工艺进行。然后到混凝处理阶段，通过投加混凝剂使细小的悬浮颗粒和胶体聚集成较大絮体，便于后续分离，此阶段也伴随过滤与消毒的深化。还有常采用如淹没式生物滤池等生物处理单元，利用微生物的代谢作用有效降解污水中的有机污染物，之后再施以消毒步骤以控制病原微生物。最后，生物接触氧化处理，通过附着生长的生物膜进一步净化水质，其后通常还需进行混凝、沉淀和过滤等物理化学处理作为最终保障，确保出水水质稳定达到回用标准，从而安全地实现污水的资源化利用^[11]。

（二）工业污水回收利用的方式

工业污水资源化利用的途径，根据系统构建与管理的差异，

主要可划分为两种根本性模式：

1.分散式回收利用

这种模式通常应用于单个建筑或有限建筑群范围。其核心在于在用水点或邻近区域建设独立、小规模的中水处理与回用设施，对当地产生的工业污水进行收集、就地处理和循环利用。该模式的优势在于具备较强的灵活性与针对性，能够依据特定用户的具体需求、污水水质特性以及回用用途，量身定制适宜的处理工艺与技术路线。这种针对性的设计，有助于在满足特定水质标准的同时，优化系统投资与运行成本，从而提升项目整体的经济性与可行性，尤其适合用水点分散、水质要求多样或市政管网覆盖不足的场所。

2.集中式回收利用

该模式以整个城市或大型区域为服务单元，主要依托大型市政污水处理厂或专门的再生水厂，对汇集的大量污水进行统一、深度的净化处理，使之达到再生水标准后，通过专用的再生水管网系统输配给广大用户，实现规模化的水资源再利用。依据系统服务范围与规模的不同，集中式回用框架下的中水系统主要可细分为三种形态：

工业中水系统：指在单个工厂或大型工业园区内部独立建设的回用系统。因其处理的废水通常成分复杂、浓度较高且可能含有特定污染物，处理站往往基于安全、降噪、土地利用效率等因素考虑，选址于厂区内地势较低或相对边缘的位置（如地下室、独立车间等）。该系统生产的再生水，水质要求低于饮用水但满足特定用途，主要用于厂区内部的冲洗厕所、道路及车辆清洁、景观绿化灌溉以及部分对水质要求不高的工业冷却水补充等^[5]。

区域中水系统：该系统的服务对象通常是功能相对集中的区域，如工业开发区、大型住宅社区、大学城或商业中心区等。其收集的原始水源更为广泛且水质通常优于单一工厂的排水，可能包括区域市政污水处理厂的二级出水（尾水）、区域内工业企业排放的污染负荷较轻的废水（如循环冷却系统排污水）、以及区域内产生的生活污水等。这类系统在区域尺度上实现水资源的集中优化管理与循环利用，是连接分散处理与全市性回用的重要中间环节。

城市中水系统：亦可称为大规模污水再生回用系统，是集中式回收利用的典型代表。该系统以整座城市的污水收集管网为基础，对汇集的全城生活污水和经预处理达标的工业废水进行统一的深度处理，产出高品质再生水。其核心目的是为城市提供替代性水源，产水主要回用于水质要求较高的工业用户（如作为锅炉补给水、工艺用水或高品质冷却水），或用于城市杂用（如景观水体补水），是实现城市层面水资源可持续管理、缓解供水压力的重要战略举措。

（三）分散式工程污水和集中式工业污水的回收利用规划

分散式工程污水回收利用通常首先应用于独立的建筑单体。为有效降低直接排放至市政管网的污水总量，减轻公共污水处理设施的负荷，许多建筑项目开始规划并建设其专属的工程污水站。这些站点能够对建筑内部产生的污水进行就地处理和初步净化，处理后的出水既可用于建筑内部的非饮用回用（如冲刷、绿化等），亦可在达到市政接管标准后排放至城市污水管网。集中式工业污水回收利用则主要依托于城市范围内的多个专业化废水处理厂共同协作完成。不同的处理厂依据其地理位置、工艺特点和处理能力，分别负责处理来自不同区域或具有不同性质的工业废水。这种分工协作模式能够更有针对性地处理各类复杂废水。

四、结束语

文章系统梳理了我国工业污水处理与回收利用的现状、技术及途径，指出当前主要问题。为解决这些问题，文章提出了强化循环经济理念引导、构建精细化标准体系、推广厌氧与好氧生物处理、离子交换树脂及反渗透等适用技术，并依托分散式与集中式相结合的资源化模式实现分级分类利用。未来需进一步深化行业标准建设，推动技术集成创新，健全政策激励与监管机制，促进污水处理与回用工艺的智能化、系统化发展，从而全面提升工业水资源可持续管理能力，助力生态文明建设与高质量发展目标的实现。

参考文献

[1] 郭洪萍. 工业污水处理方式方法与回收利用途径 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(7):3929.
[2] 靳荣辉. 关于工业污水处理与回收利用的探究 [J]. 百科论坛电子杂志, 2020(6): 1996-1997.
[3] 龙杨胜, 徐久盛, 宋瑞娟. 化工企业工业废水回收利用技术研究与应用 [J]. 生态与资源, 2024(5): 8-10.
[4] 温会涛. 高效生物处理技术在污水处理中的应用与优化 [J]. 石化技术, 2025, 32(8): 152-154.
[5] 袁玺, 郭亮. 膜生物反应技术在污水处理中的应用 [J]. 低碳世界, 2024, 14(1): 22-24.