

工业废水梯级回用—资源回收— 零排放—一体化低碳模式构建

魏超

(南京万德斯环保科技股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要 工业废水排放是水资源浪费、环境污染的主要源头之一。传统废水处理模式能耗高、资源回收率低,难以适配“双碳”目标与绿色工业发展需求。构建工业废水梯级回用、资源回收和零排放一体化低碳模式,是破解工业废水处理难点、实现水资源循环利用、推动工业绿色低碳转型的关键路径。当前,工业废水处理仍存在突出问题,制约了一体化低碳模式的落地实施。本文立足于工业废水处理实际,剖析现有处理模式的困境及成因,结合梯级回用、资源回收与零排放的核心要求,探索一体化低碳模式的构建原则与具体实施路径,优化工艺组合、强化技术赋能、完善保障体系,以期为企业实现废水资源化、低碳化处理提供实践参考,助力工业绿色低碳高质量发展。

关键词 工业废水; 梯级回用; 资源回收; 低碳模式

中图分类号: X7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.09.027

0 引言

随着工业产业快速升级和“双碳”目标深入推进,绿色低碳已成为工业发展核心导向。工业废水处理作为工业绿色转型重要环节,面临更高要求。工业废水成分复杂,排放量巨大,若处理不当,不仅会污染地表水、地下水,还会造成水资源严重浪费。传统废水处理工艺难以实现水资源循环利用与低碳发展双重目标。梯级回用—资源回收—零排放一体化低碳模式将废水梯级回用、有价资源回收和零排放目标有机结合,实现“废水资源化、处理低碳化、排放无害化”协同发展。当前,我国工业废水一体化低碳处理模式还在探索,面临技术、管理、政策等多方面困境。开展相关模式构建研究,破解实施难题,对推动工业废水处理提质增效,节约水资源,助力工业绿色低碳转型有重要意义。

1 工业废水处理背景

“双碳”目标深入推进,绿色工业战略逐步落地,工业废水处理方向生变,从“达标排放”转向“资源化、低碳化、零排放”,多元转型成为趋势,它还是工业绿色低碳发展的核心抓手。现在,我国工业产业规模不断扩大,工业废水排放量始终很高,废水成分也越来越复杂,里面有重金属、盐类、有机物,还有其他多种污染物。要是处理得不好,不仅会污染地表水,

还会污染地下水环境,更会严重浪费水资源,这和我国水资源短缺的基本国情不符。传统工业废水处理模式主要采用末端治理,目标是“达标排放”,使用的工艺有活性污泥法、化学沉淀法等。这些工艺能耗高,药剂用量也大,碳排放量很突出,而且没重视废水中的有价资源,导致资源被浪费,所以很难适应低碳发展的需求。不同行业工业废水处理水平差异大,部分企业环保意识薄弱,处理设施较为落后,而且水资源循环利用理念未全面普及^[1]。因此,推动工业废水处理模式升级、创建一体化低碳体系,已成为破解工业环保、资源短缺双重困境的手段,助力工业实现高质量发展的迫切需求。

2 工业废水处理现存困境

2.1 废水回用率偏低

当前我国工业废水回用率普遍偏低,水资源循环利用水平不高,造成严重的水资源浪费。多数工业企业沿用“处理后排放”的传统模式,对废水回用重视程度不足,缺乏系统的废水梯级回用规划,仅将少量处理后废水用于厂区绿化、道路清扫等低标准场景,未能实现废水的分级利用、精准回用。部分企业废水处理工艺简陋,处理后废水水质难以满足生产回用标准,无法用于生产环节循环使用,只能达标排放。废

作者简介: 魏超(1993-),男,本科,工程师,研究方向: 环境工程。

水回用的管网建设不完善,不同水质废水的分流、输送系统不健全,导致处理后的回用废水难以精准输送至对应回用场景,进一步制约废水回用率提升,与水资源循环利用的绿色发展理念相悖。

2.2 资源回收不充分

工业废水中含有大量有价资源,这些资源包括重金属、盐类、有机物等。当前多数工业废水处理流程中,资源回收环节常缺失,或回收不够充分,造成资源浪费,还带来二次污染风险。部分企业只关注废水净化处理,忽视废水中有价资源的提取、回收,把处理过程产生的污泥、浓缩液等直接处理,既浪费了其中的有价资源,又增加处置成本和环境压力。现有资源回收技术较为落后,回收效率低、能耗高,部分技术难以规模化应用,特别是针对成分复杂的工业废水,很难实现多种资源同步回收。而且,企业资源回收意识不足,动力也缺乏,他们觉得投入成本高、收益周期长,所以不愿主动改造资源回收设施,这让资源浪费问题更严重了^[2]。

2.3 低碳技术应用不足

低碳技术是构建一体化低碳模式的核心支撑,但当前工业废水处理过程中,低碳技术应用不足,能耗与碳排放居高不下。传统废水处理工艺如活性污泥法、化学沉淀法等,能耗高、药剂用量大,处理过程中会产生大量碳排放,难以适配低碳发展需求。新型低碳处理技术如膜分离技术、高级氧化技术、节能生物处理技术等,虽具有能耗低、碳排放少的优势,但受技术成熟度、投入成本等因素制约,未能广泛应用。部分企业即使引入了低碳处理技术,也未能实现技术的优化组合与高效运行,导致技术优势难以充分发挥,仍存在能耗偏高、碳排放超标等问题。低碳技术研发、转化力度不足,缺少适配不同行业工业废水的专用低碳技术,制约了一体化低碳模式的构建。

2.4 模式协同性较差

工业废水梯级回用、资源回收、零排放间缺少有效协同机制,这让一体化模式难以形成合力,整体处理效果也因此变差。部分企业把梯级回用、资源回收和零排放看作独立环节,没有系统规划与协同设计,各环节衔接不畅、流程脱节。例如:废水梯级回用没考虑资源回收需求,废水中有价资源被白白浪费;资源回收环节设计没兼顾零排放目标,产生的二次废水难全量处理回用,达不到零排放要求。而且,企业内部各部门缺乏协同,生产部门、废水处理部门、资源回收部门各自为政,没能创建“生产—处理—回用—回收”闭环管理体系,进一步降低模式协同性与运行效率,制约了一体化低碳模式的落地。

3 一体化低碳模式构建原则

3.1 循环利用优先

循环利用优先原则围绕着工业废水资源化的核心,能最大限度减少水资源浪费,推动水资源高效循环。模式创建要立足于企业生产需求,考虑废水水质特点,需摒弃“处理后排放”的传统逻辑,构建分级回用体系。要将不同处理标准的废水,精准匹配至对应回用场景,优先保障生产环节回用,把深度处理后的废水用于工艺补水、设备冷却等核心场景,减少新鲜水资源消耗;合理拓展非生产回用场景,将适度处理后的废水,用于厂区绿化、道路清扫等,实现废水全量梯级回用,增值利用,践行绿色节水理念,推动水资源循环和工业生产的有机融合。

3.2 低碳高效适配

低碳高效适配原则围绕着“双碳”目标,它兼顾处理效率,节能减碳需求,目标是废水处理低碳化、高效化转型。在模式构建中,优先选用低碳技术,这类技术能耗低,碳排放少,处理效率高,用来替代传统工艺,传统工艺高能耗、高排放。同时优化工艺组合,目的是降低能耗,减少药剂用量;要加强处理系统节能改造,采用节能设备,优化运行参数,提升系统运行效率;合理利用可再生能源,如太阳能、风能,为废水处理、资源回收提供能源支撑,减少化石能源消耗,实现高效处理、节能减碳的协同推进^[3]。

3.3 协同闭环可行

协同闭环可行原则着重阐述梯级回用、资源回收、零排放的协同联动,创建能落地、可持续的闭环管理体系。模式构建要对三个核心环节做系统性规划、协同设计,优化流程衔接,确保各环节无缝联动,形成合力。废水梯级回用得兼顾资源回收与零排放目标,资源回收要减少二次废水产生,零排放须整合前两者成果,最终形成“生产、废水处理、梯级回用、资源回收、零排放”的闭环。结合企业行业特点、经济实力,确保模式设计适配可行,避免照搬照抄,保障模式长期稳定运行。

4 一体化低碳模式构建路径

4.1 构建梯级回用体系

为解决废水回用率低的难题,重点创建科学完善的废水梯级回用体系,通过废水分级处理、精准回用,全面提高水资源回用率。前期对企业废水水质、水量,回用需求开展全面调研,结合生产工艺特点,将废水划分为高、中、低三个等级,针对性设计处理工艺,

确保处理后废水精准匹配对应回用场景的水质要求。比如高浓度废水经深度处理后,可用于生产工艺补水、设备冷却;中浓度废水可用于车间清洗;低浓度废水直接用于厂区绿化、道路清扫。完善分质分流回用管网建设,搭建单独收集、精准输送的管网系统,避免不同水质废水混合污染,防止回用困难^[4]。创建动态管理机制,实时监测废水情况,监测指标包括水质、水量,同时关注回用状况,依据生产需求来调整,灵活变更回用方案;加强企业回用意识,改变“重排放、轻回用”观念,确保回用体系运行,保持其稳定高效状态。

4.2 优化资源回收工艺

针对资源回收不充分问题,优化回收工艺设计,推动废水中有价资源高效回收,变废为宝,减少资源浪费,降低二次污染。结合工业废水成分特点,选用适配的回收技术,优化工艺组合方式,实现多种有价资源同步回收。其中,重金属废水采用膜分离、化学沉淀组合技术提取;高盐废水采用蒸发结晶技术回收盐类;有机废水采用厌氧发酵技术回收生物质能。将资源回收工艺嵌入废水处理全过程,在预处理、深度处理阶段同步开展资源回收,简化处理流程,降低回收成本。强化资源回收技术的研发和转化,推广高效低耗的规模化回收方法,通过政策引导、收益激励提升企业资源回收意识,增强其主动性,以此推动资源回收常态化、规范化。同时,建立资源回收效果监测体系,实时跟踪回收效率与资源纯度,动态优化工艺参数,保障回收质量稳定。推动回收资源本地资源化利用,搭建产业联动平台,实现回收资源的就近转化与循环利用。

4.3 推广低碳处理技术

破解低碳技术应用难题,要重点推广新型处理技术,优化工艺组合方式,实现废水处理节能减碳,提高处理效率和质量。加快推广膜分离技术、节能生物处理技术,还有高级氧化技术等新型低碳技术,用这些技术替代传统工艺,比如高能耗、高排放的活性污泥法,化学沉淀法等也在替换之列。结合不同行业废水特点,优化技术组合,提升处理效率,降低能耗与碳排放;加强低碳技术研发,进行适配性改造,推动科研机构和企业协同合作,研发专用低碳技术,这些技术要适配不同行业工业废水,提升技术成熟度,增强经济性^[5]。升级现有的废水处理设施,采用节能设备,优化运行参数,提升系统运行效率;合理利用太阳能、风能等可再生能源,为废水处理和资源回收提供能源支撑,降低化石能源消耗,强化低碳技术赋能作用。

4.4 强化模式协同管理

针对模式协同性较差的问题,需要强化梯级回用、资源回收、零排放的协同联动,打造闭环管理体系,提升模式运行效率。建立系统性协同规划机制,对三个核心环节统一规划、协同设计,优化流程衔接,确保各环节无缝联动、形成合力。例如:废水梯级回用方案设计时预留资源回收工艺接口,资源回收工艺优化时兼顾零排放目标,避免流程脱节。建立企业内部协同管理机制,整合生产部门、废水处理部门、资源回收部门的职责,明确各部门协同责任,打破各自为政的局面,形成“生产—废水处理—梯级回用—资源回收—零排放”的闭环管理。加强协同运行监测和调控,实时跟踪各环节运行情况,及时解决衔接不畅、运行不稳定问题,推动一体化模式高效协同运行。

5 结束语

创建工业废水梯级回用、资源回收、零排放一体化低碳模式,是破解工业废水处理难点,实现水资源循环利用,推动工业绿色低碳转型的重要路径,它契合“双碳”目标和绿色工业发展需求。当前工业废水处理还面临回用率偏低、资源回收不充分、低碳技术应用不足、模式协同性差等突出困境,这些问题制约了一体化模式的落地。要实现模式的有效构建,需坚持循环利用优先、低碳高效适配、协同闭环可行三大原则;同时需构建梯级回用体系,优化资源回收工艺,推广低碳处理技术,强化模式协同管理这四大路径,以此精准破解对应的困境。未来,要依据各行业企业实际情况,不断优化现有模式设计,避开应用中的误区,推动一体化低碳模式推广,助力工业绿色低碳发展,实现水资源循环和碳减排的双重目标。

参考文献:

- [1] 黄广礼.造纸工业废水深度处理与回用技术方案分析[J].华东纸业,2025,55(04):7-9.
- [2] 王朋,张新震,刘宇曦,等.高回收率中水回用深度处理工艺在钢铁废水处理中的应用[J].科技创新与应用,2025,15(03):185-188.
- [3] 杨清华,罗遥.天然气热电厂工业废水回用技术方案比较研究[J].科技创新与应用,2025,15(03):161-164.
- [4] 周俊怡,谢益民,张功侠,等.仿酶生物处理杨木心材Bio-APMP制浆废水及回用[J].中国造纸学报,2024,39(03):114-122.
- [5] 段小冰,翟秋月,净晓星,等.反渗透技术在钢铁工业废水资源回用系统中的应用[J].冶金动力,2023(01):77-81.