

化工行业工业废水资源化利用路径探索

姜雪松

滨州市思源建设投资发展有限公司，山东滨州，256800；

摘要：化工行业工业废水成分复杂、污染物浓度高、处理难度大，传统处理模式以达标排放为主，资源利用率低且易造成环境压力。本文从化工废水资源化利用的核心价值出发，系统分析废水资源化的理论基础与现实条件，梳理水质预处理、资源回收、深度净化回用等关键环节的技术路径，探讨政策支持、经济激励、技术创新等保障机制。研究表明，通过分级处理-资源回收-循环回用的一体化模式，可实现废水处理与资源再生的协同发展。本文提出的多元化资源化路径，为化工行业降低水资源消耗、减少污染物排放提供技术参考，助力行业绿色低碳转型。

关键词：化工行业；工业废水；资源化利用；技术路径

DOI：10.64216/3104-9664.25.03.052

引言

化工行业作为国民经济支柱产业，生产过程中产生的大量工业废水成为水资源短缺与环境污染的重要诱因。传统废水处理方式存在资源浪费、运行成本高的弊端，难以适应绿色发展需求。因此，探索高效可行的工业废水资源化利用路径，实现水资源循环利用与污染物减排，对化工行业可持续发展具有重要现实意义，也是践行绿色发展理念的关键举措。

1 化工行业工业废水特性及资源化利用价值

1.1 化工工业废水的核心特性

化工工业废水因生产工艺、原料类型差异呈现显著复杂性，主要表现为污染物种类繁多，涵盖有机污染物、重金属离子、酸碱物质、盐类等多种成分，且不同污染物化学性质差异大，部分具有强毒性、难降解特性，在自然环境中易长期累积。废水浓度波动幅度大，COD、BOD5等指标往往远超常规废水，部分高盐废水含盐量可达数十克每升，甚至出现饱和和结晶现象。此外，废水水质稳定性差，受生产负荷、工艺调整、原料替换等因素影响，pH值、污染物浓度等关键指标易发生剧烈变化，给处理工艺适配与资源化利用效率提升带来诸多挑战。

1.2 资源化利用的多元价值维度

化工工业废水的资源化利用具有显著的环境、经济与社会价值。环境层面，通过水资源循环回用，可大幅减少新鲜水资源开采量，缓解工业用水与民生用水的供需矛盾，同时降低废水排放带来的水体污染风险，改善

流域生态环境质量。经济层面，回收废水中的重金属、盐类、有机化合物等资源，可直接转化为具有经济价值的工业原料或副产品，降低企业原料采购成本；中水回用则能减少工业水费支出与污水处理费用，显著提升企业整体经济效益。社会层面，资源化利用模式深度契合绿色发展理念，有助于企业树立环保责任形象，推动化工行业从高耗能高排放向绿色低碳转型升级。

2 化工工业废水资源化利用的关键技术路径

2.1 预处理技术：奠定资源化基础

预处理是化工废水资源化利用的前提，核心目标是去除悬浮物、调节水质参数，为后续资源回收与回用环节创造稳定条件。常用预处理技术包括格栅过滤、沉淀、混凝、中和、高级氧化等。格栅过滤与沉淀技术主要去除废水中的悬浮颗粒、泥沙、纤维等固体杂质，有效降低水体浊度与后续处理负荷；混凝技术通过投加聚合氯化铝、硫酸亚铁等混凝剂形成絮体，吸附去除胶体物质与部分溶解性污染物；中和技术精准调节废水pH值至适宜范围，避免强酸强碱对后续膜分离、生物处理等工艺产生腐蚀或抑制干扰；高级氧化技术则通过产生强氧化性自由基，快速分解难降解有机污染物，显著提高废水可生化性与资源回收效率。预处理技术的科学组合应用，可有效降低废水处理难度，保障后续资源化环节稳定高效运行。

2.2 资源回收技术：实现污染物增值转化

资源回收是资源化利用的核心环节，通过针对性技术精准提取废水中有价值的物质，实现污染物向可用资

源的增值转化。针对含重金属废水，主要采用化学沉淀、离子交换、吸附、膜分离等技术，将重金属离子转化为稳定沉淀物或通过吸附、截留实现高效分离回收，回收的重金属单质或化合物可重新用于化工生产原料。对于高盐废水，采用多效蒸发结晶、膜蒸馏、电渗析等技术实现盐类物质的分离提纯，得到工业级氯化钠、硫酸钠等盐产品，直接回用于生产过程。有机污染物含量较高的废水，可通过厌氧消化技术分解有机物产生沼气，作为清洁能源回收利用；也可采用溶剂萃取、活性炭吸附、树脂吸附等技术分离回收其中的酚类、烃类等有用有机成分，作为化工原料或副产品再利用。

2.3 深度净化与回用技术：构建循环体系

深度净化技术旨在去除废水经预处理与资源回收后残留的微量污染物，使水质全面达到回用标准，实现水资源循环利用。常用深度净化技术包括超滤、反渗透、纳滤、消毒等。超滤技术借助多孔膜的筛分作用，可有效去除水中的胶体、悬浮物、微生物及部分大分子有机物，保障后续反渗透、纳滤等膜分离过程的稳定运行；反渗透与纳滤技术能高效截留水中的溶解性盐类、小分子有机物、重金属离子等，产出高品质再生水，可直接用于化工生产工艺用水、冷却用水、洗涤用水等场景。消毒技术则通过紫外线、臭氧、氯系消毒等方式，彻底杀灭再生水中的病原微生物，确保回用过程的卫生安全。根据不同回用场景的水质要求，灵活组合深度净化技术，可实现再生水在化工生产中的梯级利用，构建“取水-用水-处理-回用”的闭环水资源循环体系。

2.4 一体化资源化技术体系：提升综合效能

一体化资源化技术体系将预处理、资源回收、深度净化回用等环节有机整合，通过工艺优化设计与设备集成创新，实现各环节的无缝衔接与协同运行，减少中间转运环节的能耗损失与资源浪费。例如，采用“格栅过滤-混凝沉淀-高级氧化-膜分离-资源回收-消毒回用”一体化流程，可同步实现悬浮物去除、难降解污染物分解、有用物质回收与水资源回用的多重目标。该技术体系集成了各单元技术的优势，通过智能控制系统实现全程参数实时调控，具有处理效率高、占地面积小、运行成本低、操作便捷等突出优势，能充分发挥各技术的协同增效作用，大幅提升化工废水资源化利用的综合效能，是未来化工废水处理领域技术发展的重要方向。

3 化工工业废水资源化利用的保障机制

3.1 政策支持机制：强化引导与规范

完善的政策体系是推动化工废水资源化利用的重要保障。政府应出台针对性的法律法规，明确化工企业废水资源化利用的责任与要求，将资源化利用率纳入企业环保考核核心指标，与企业评优评级、产能审批、环保许可等直接挂钩，形成硬性约束。制定差异化财政补贴、税收减免等激励政策，对采用先进资源化技术且利用率达到行业领先水平企业，给予专项资金补贴与增值税即征即退优惠，降低企业初期投资与长期运行成本。建立健全行业标准与规范体系，明确再生水水质分级标准、资源回收产品质量要求、工艺技术操作规范及环保评估流程，为资源化利用提供清晰技术依据与操作指南。

3.2 经济激励机制：激发市场动力

构建有效的经济激励机制，可充分调动企业参与资源化利用的积极性。推行水资源阶梯水价与污水处理费差异化收费政策，对超定额用水企业实施超额累进加价，对资源化利用率达到30%以上的企业给予污水处理费50%以上减免，通过价格杠杆倒逼企业减少新鲜水使用与废水排放。建立资源回收产品市场化交易机制，搭建线上线下融合的供需对接平台，畅通回收盐类、重金属、有机原料等产品的销售渠道，完善产品质量认证体系，保障企业回收资源的稳定经济收益。鼓励金融机构加大对化工废水资源化项目的信贷支持力度，推出低息贷款、绿色融资担保、碳中和债券等多元化金融产品，简化审批流程，解决项目建设与运营的资金短缺问题，激发市场主体的投资热情与参与活力。

3.3 技术创新机制：突破核心瓶颈

技术创新是推动资源化利用持续发展的核心动力。政府应设立专项研发基金，引导企业加大科研投入，支持高校、科研机构与企业开展深度产学研合作，组建创新联合体，聚焦预处理高效分离、高盐废水资源回收、难降解有机物转化、膜材料改性等关键环节的核心技术研发，集中力量突破高难度废水资源化技术瓶颈。鼓励企业与科研单位联合开发高效、低成本、环保的新型处理药剂、高性能膜材料、高效催化剂等核心材料，提升技术装备的稳定性、耐用性与处理效率。加强先进技术的示范推广，搭建行业技术交流平台，组织现场观摩、技术培训与成果对接活动，建立技术推广补贴机制，促进成熟技术的产业化应用与迭代升级。

3.4 企业主体责任机制：强化内生动力

企业作为废水产生与资源化利用的责任主体,应树立绿色发展理念,将资源化利用纳入企业中长期发展战略,与生产工艺优化、产品结构调整、产业链升级同步规划、同步实施。加大环保投入力度,按照资源化利用要求改造升级现有废水处理设施,主动引进吸收国内外先进的资源化技术与工艺,优化处理流程,提高水资源循环利用与资源回收效率,打造绿色低碳生产体系。建立健全内部管理制度,配备专业技术团队与监测设备,加强废水处理与资源化过程的实时运行监控,完善数据记录、分析与追溯系统,确保处理效果与回用安全达标。加强员工环保培训与绿色理念宣贯,将资源化利用责任分解到各部门、各岗位,纳入绩效考核体系,提升全员环保意识与专业操作技能,形成全员参与、全过程管控、全流程优化的资源化利用格局。

4 化工工业废水资源化利用的发展趋势

4.1 技术集成化与智能化

未来化工废水资源化技术将朝着集成化与智能化方向深度发展。通过多技术深度融合与工艺优化,开发“预处理-资源回收-深度净化-回用-监测”一体化处理系统,实现污染物去除、资源回收与水资源回用的同步优化,减少设备冗余、占地面积与能耗损失。借助物联网、大数据、人工智能、数字孪生等新一代信息技术,构建智能化监控与调控系统,在处理设施关键节点布设传感器,实时监测废水水质、设备运行状态、能耗等关键参数,通过大数据分析 with 算法模型实现工艺参数的精准动态调控,提前预警潜在故障,大幅提升处理效率、系统稳定性与资源回收率,降低人工成本与运行能耗。

4.2 资源回收高值化

资源回收高值化成为资源化利用的重要发展趋势。不再局限于简单的水资源回用与基础盐类、重金属初级回收,而是通过精细化分离提纯、催化转化、生物转化等先进技术,深度挖掘废水中有效成分的价值,将其转化为高附加值产品。例如,从含重金属废水中回收高纯度金属单质、高端化工催化剂原料或电子级金属化合物,从有机废水中提取高价值的精细化工中间体、生物可降解材料或医药原料,通过延长产业链、提升产品纯度与附加值,显著提高资源回收的经济效益,增强资源化利用模式的市场竞争力与可持续性。

4.3 全产业链协同推进

化工废水资源化利用将打破单一企业局限,呈现全产业链协同发展的鲜明态势。在化工园区层面,构建跨企业的水资源循环共享体系,根据不同企业的用水水质要求差异,实现废水梯级利用、资源共享与污染物集中处理,提高区域水资源整体利用效率与环境治理效能。上下游企业建立长期稳定的协同合作机制,共同研发适配性强的资源化技术与工艺,打通废水产生、集中处理、资源回收、产品再利用的全流程环节,形成从废水产生到资源再生的完整产业链条。

4.4 绿色低碳化转型

绿色低碳成为资源化利用的核心导向与必然要求。聚焦“双碳”目标,研发低能耗、低污染、低排放的处理技术与工艺,采用节能型设备、优化工艺路线与操作参数,减少资源化过程中的电能、热能消耗与碳排放。大力优化能源结构,推广太阳能、风能、生物质能等清洁能源为废水处理设施供能,配套建设储能系统,降低化石能源依赖与环境影响。通过资源循环利用与低碳技术的深度融合,结合清洁生产工艺改进、原料替代等源头减排措施,实现化工行业废水处理从“末端治理”向“源头减排-过程控制-末端资源化-能源回收”的全流程绿色低碳转型,助力行业碳达峰、碳中和目标实现。

5 结论

化工行业工业废水资源化利用是破解水资源短缺与环境污染难题的关键路径,具有显著的环境、经济与社会价值。通过预处理-资源回收-深度净化回用的技术路径,结合政策支持、经济激励、技术创新与企业责任落实的保障机制,可实现废水资源的高效利用与循环再生。未来,随着技术集成化、资源高值化、产业链协同化与绿色低碳化的发展,化工废水资源化利用将迈向更高水平,为行业绿色转型提供有力支撑,推动经济社会与生态环境可持续发展。

参考文献

- [1]王洪臣. 化工废水处理与资源化利用技术进展[J]. 环境工程学报, 2022, 16(5): 1345-1358.
- [2]雷鹏举. 膜分离技术在化工废水资源化中的应用进展[J]. 化工进展, 2023, 42(3): 1689-1702.
- [3]赵建夫. 高盐化工废水资源化处理技术研究现状与展望[J]. 中国环境科学, 2021, 41(8): 3650-3662.