煤气化废水处理工艺的现状与发展研究

武鹏鹏 梁杰斌

陕煤集团榆林化学有限责任公司 陕西 榆林 718000

摘要: 煤气化废水处理工艺是煤化工行业环保治理的关键环节。本文围绕煤气化废水的来源、特点及处理工艺分类,分析了当前工艺存在的处理效率不足、成本高昂、二次污染突出及稳定性差等问题,并从技术研发、成本控制、污染防治、行业监管及资源循环利用五方面提出发展策略,旨在为提升煤气化废水处理水平、推动行业绿色发展提供参考,助力解决煤化工产业环保瓶颈,实现经济效益与生态效益的协调统一。

关键词: 煤气化废水; 处理工艺; 现状; 发展

引言: 随着煤化工产业的快速发展,煤气化过程中产生的废水因其成分复杂、毒性强,成为制约行业可持续发展的重要环境问题。这类废水含有大量酚类、氰化物、氨氮及多环芳烃等污染物,若处理不当,将对水体、土壤及生态系统造成严重危害。当前,煤气化废水处理工艺虽已形成一定体系,但在效率、成本、二次污染控制等方面仍面临诸多挑战。本文基于现有工艺现状,探讨其存在的问题及优化路径,为推动煤气化废水处理技术升级、促进产业绿色转型提供理论与实践依据。

1 煤气化废水处理工艺概述

1.1 煤气化废水的来源与特点

煤气化废水主要源于煤气洗涤、冷凝及净化等环节,成分复杂多样,含酚类、氰化物、氨氮、多环芳烃等污染物,且多具有生物毒性。其水质波动大,COD、氨氮浓度高,盐含量也较高,处理难度极大。这些特性使得常规水处理技术难以达标,若直接排放,会严重污染水体和土壤,破坏生态平衡,威胁动植物及人类健康,是煤化工废水治理的重点与难点^[1]。

1.2 煤气化废水处理工艺的分类

煤气化废水处理工艺按原理可分为物理法、化学法、生物法及组合工艺。物理法有吸附、蒸馏等,用于分离污染物;化学法包括氧化、中和等,通过化学反应去除污染物;生物法利用微生物降解污染物,成本较低但受环境影响大。组合工艺如物理-化学-生物联用技术,能发挥各方法优势,提高处理效果,是当前应用较广泛的方式,不同工艺各有优劣,需依废水特性选择。

1.3 煤气化废水处理工艺的基本原则

煤气化废水处理工艺需遵循减量化、无害化、资源化原则。减量化通过优化生产工艺减少废水产生;无害化采用适宜处理技术降低污染物毒性,使其达标排放;资源化则通过回收废水中的有用物质,如酚、氨等,实现资源再利用。同时,还应兼顾技术可行性与经济合理

性,确保工艺稳定运行,平衡处理效果与成本,推动煤化工产业绿色可持续发展。

2 煤气化废水处理工艺的现状

2.1 处理效率有待提升

煤气化废水成分极为复杂,含大量难降解有机物,如多环芳烃、杂环化合物等,常规处理工艺难以应对。以生物处理法为例,微生物对这类复杂污染物降解能力有限,导致废水生物处理单元停留时间长,可达100小时以上,且出水COD仍在100mg/L以上,氨氮约15mg/L,难满足回用标准。同时,废水水质波动大,受煤质、生产工艺等因素影响,不同批次废水污染物浓度、种类差异明显,进一步冲击处理系统,使处理效率难以稳定维持,无法高效实现污染物去除与水质净化。

2.2 处理成本居高不下

一方面,处理流程复杂,需经预处理、生物处理、深度处理等多环节,各环节设备购置、运行维护成本叠加。如预处理中的脱氨工艺,常采用单塔加压侧线抽出汽提或双塔加压汽提,能耗高,且要应对铵盐结晶、结垢问题,增加维护成本。另一方面,部分处理技术依赖高价药剂、材料。像萃取脱酚常用的苯、重苯等萃取剂,价格高且易挥发、损失大;深度处理中活性炭吸附虽效果好,但活性炭成本高且再生困难。此外,高浓度氨氮废水处理需大量能耗,提升了整体成本,给企业带来沉重经济负担^[2]。

2.3 二次污染问题突出

处理过程中部分环节易引发二次污染。例如,在采用化学沉淀法除磷时,投加的化学药剂可能与废水中其他物质反应,生成新的难处理沉淀物,增加污泥产量与处理难度,若处置不当,会造成土壤、水体污染。萃取脱酚工艺中,萃取剂易在废水中残留,不仅影响后续生化处理微生物活性,还会随出水进入环境,造成污染。部分高级氧化技术在处理废水时,可能将大分子有机物

氧化为小分子有毒有害物质，且氧化过程消耗大量能源，产生温室气体，对环境造成负面影响。

2.4 工艺稳定性较差

煤气化废水水质、水量不稳定，对处理工艺冲击大。水质上，酚类、氰化物、氨氮等污染物浓度大幅波动，使处理工艺难以适应，如生物处理系统中，酚类浓度过高会抑制微生物生长，导致处理效果恶化。水量方面，生产过程中的开停车、负荷调整等，会使废水水量时大时小，影响处理设备正常运行。同时，一些处理工艺对环境条件要求苛刻，温度、pH值等微小变化，都会干扰处理效果，如厌氧生物处理对温度敏感，温度波动超过适宜范围，微生物活性降低，工艺稳定性受影响。

3 煤气化废水处理工艺的发展策略

3.1 强化技术研发与创新

(1) 需突破核心污染物处理技术瓶颈。针对煤气化废水中难降解有机物和高浓度氨氮，重点研发高效处理技术。比如驯化抗毒性强的功能微生物菌群，提升生物处理对复杂污染物的降解效能；开发新型高级氧化技术，优化光催化、电催化等反应体系，增强对难降解物质的分解能力，同时降低能耗与药剂损耗。此外，研发改性吸附材料，提高对特定污染物的选择性吸附能力，解决传统材料效率低、再生难的问题。(2) 推动工艺集成优化与个性化设计。基于不同技术的优势互补性，构建“预处理-生物处理-深度处理”协同体系。例如将萃取脱酚与厌氧生物处理结合，降低酚类毒性以保障生物系统稳定；将膜分离与高级氧化联用，实现水质净化与污染物浓缩处理的高效衔接。同时，针对不同煤质、生产工况的废水特性，定制差异化工艺方案，增强系统对水质波动的适应性，提升整体处理效率。(3) 加速智能化技术融合应用。依托大数据、物联网和人工智能技术，搭建全流程监测调控平台。实时采集进水水质、设备参数、出水指标等数据，通过算法模型预测水质变化，动态调整药剂投加量、反应时间等参数，避免系统冲击。开发智能控制系统实现设备远程监控与故障预警，减少人工操作误差，提升工艺稳定性与经济性，推动处理过程从经验化向精准化管理转型。

3.2 多措并举降低处理成本

降低煤气化废水处理成本需从技术优化、管理提升和资源循环等多维度发力。在技术层面，推广低成本高效处理技术，如采用新型生物载体提高微生物附着效率，减少生物处理单元占地面积与能耗；开发替代性药剂，用低成本萃取剂替代传统高价萃取剂，同时优化药剂投加方式，通过精准计量降低消耗。此外，简化处理流程，在保证处理效果的前提下，合并功能相近的工艺环节，减少设备投资与运行成本。管理层面需强化全流程成本管控，建

立精细化运营机制。通过定期维护设备、优化操作参数，减少因设备故障导致的停机与维修费用；推行节能降耗措施，采用变频电机、高效曝气装置等节能设备，降低电耗、水耗等运行成本。同时，加强人员培训，提升操作技能，避免因操作不当造成的物料浪费与效率损失，从管理细节中挖掘成本下降空间。资源循环利用是降低成本的重要途径。对处理过程中产生的副产物进行回收，如从废水中提取酚、氨等物质，经提纯后作为化工原料回用，产生额外经济效益；将处理达标的废水用于厂区绿化、循环冷却等，减少新鲜水取用成本^[3]。

3.3 加强二次污染防治

加强煤气化废水处理过程中的二次污染防治，需构建“源头控制-过程削减-末端治理”的全链条防控体系。在源头控制环节，优化煤气化生产工艺，通过改进煤质预处理、调整气化参数等方式，减少废水中难降解污染物的生成量，从根本上降低后续处理难度及二次污染风险。例如，采用低硫煤种或洗选加工技术，可减少废水中硫化物含量，降低处理过程中有毒气体的挥发。过程削减方面，针对处理工艺中易产生二次污染的环节进行技术升级。对于化学沉淀法产生的污泥，采用脱水干化、无害化处置技术，避免污泥渗漏造成土壤污染；改进萃取工艺，选用低挥发、高稳定性的萃取剂，并通过密闭式萃取装置减少药剂挥发损失，降低对大气的污染。同时，在高级氧化处理单元安装尾气收集系统，对反应中产生的有害气体进行净化处理后再排放。末端治理需强化对二次污染物的集中处理。建立专门的污泥处理处置设施，通过焚烧、填埋或资源化利用等方式，实现污泥的减量化、无害化；对处理过程中产生的废水、废气进行跟踪监测，确保达标排放。

3.4 加强行业自律与监督

加强煤气化废水处理的行业自律与监督，需构建“企业主体责任-行业协同约束-相关部门监管保障”的多元治理体系。企业层面应强化自律意识，严格遵守环保法规与行业标准，建立内部环保管理制度，定期开展废水处理设施自查，确保处理工艺稳定运行、排放达标。可通过组建环保管理团队，加强员工环保培训，将环保绩效纳入考核体系，从内部推动规范操作与责任落实。行业组织应发挥桥梁纽带作用，制定高于国家标准的行业自律公约，推动企业间环保技术交流与经验共享。通过建立行业黑名单制度，对违规排放、数据造假的企业进行曝光与惩戒，形成行业内的正向约束机制。同时，组织开展环保核查与评级，引导企业对标先进，提升整体环保管理水平。相关部门监管需强化执法力度，完善在线监测系统，实现对废水处理设施运行状态、污染物排放数据的实时监控，对超标排放、偷排漏排等行为依

法从严处罚。建立跨部门联合执法机制，加强与环保、工信等部门的协同联动，形成监管合力。

3.5 推动资源循环利用

推动煤气化废水的资源循环利用，需建立“污染物回收-中水回用-能源转化”的综合利用体系。第一，在污染物回收方面，针对废水中高浓度的酚、氨等物质，采用高效萃取、汽提等技术进行分离提纯。例如，通过优化萃取工艺参数，提高酚类物质回收率至90%以上，回收的酚可作为化工原料回用于生产，降低外购原料成本；利用氨汽提技术回收氨氮，制成氨水或铵盐，实现氮资源的循环利用，减少化肥类产品的的外购需求。第二，中水回用是资源循环的重要环节，经深度处理达标的废水可分级回用。将水质较好的出水用于煤气化系统的洗涤、循环冷却等工艺环节，替代新鲜水资源，降低工业用水成本；水质稍次的出水可用于厂区绿化、道路清扫等，实现水资源梯级利用，减少废水外排压力。据测算，中水回用率每提升10%，企业年用水量可减少约8%。第三，探索废水资源化利用路径，对处理过程中产生的污泥进行厌氧消化处理，产生的沼气可作为燃料用于厂区供热或发电，实现污泥的减量化与能源回收。通过构建“废水-资源-能源”的循环链条，将环保成本转化为资源效益，提升煤化工企业的绿色竞争力。

3.6 加强专业人才培养与储备

(1) 构建多层次人才培养体系。高校需针对性增设煤化工环保专业方向，优化课程体系，将煤气化废水处理工艺原理、先进技术应用、污染防治规范等核心内容融入教学，同时强化实验教学环节，配置模拟处理装置，培养学生理论与实践结合能力。职业院校则侧重技能型人才培养，开设工艺操作、设备维护等实操课程，与行业标准对接，确保毕业生快速适应岗位需求，为行业输送基础人才。(2) 深化校企协同育人机制。企业应主动

与科研院校共建产学研合作基地，设立定向培养项目，通过“订单式”培养模式，根据企业技术需求定制课程内容。同时，定期组织在职员工参与进修培训，邀请行业专家开展专题讲座，针对新型处理技术、智能控制系统等内容进行实操教学，提升员工对复杂工艺的掌控能力，解决一线技术人才技能老化问题。(3) 搭建行业人才交流与激励平台。行业协会可定期举办技术研讨会、技能竞赛，为人才提供交流展示机会，促进跨企业技术经验共享。建立人才评价与激励机制，对在工艺创新、难题攻克中表现突出的个人或团队给予表彰，同时推动企业完善薪酬体系与晋升通道，通过政策引导和待遇保障吸引并留住核心人才，形成良性人才生态^[4]。

结束语

煤气化废水处理工艺的完善是煤化工产业绿色转型的关键。当前工艺虽面临效率、成本、二次污染等多重挑战，但通过技术创新、成本管控、污染防治等策略的推进，已展现出明确的改进路径。未来，需持续整合技术研发、人才储备、行业监管等多方力量，构建“处理高效、成本可控、环境友好、资源循环”的工艺体系，以破解环保瓶颈，推动煤化工产业与生态环境协调发展，为实现“双碳”目标与可持续发展战略提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 段锦章. 煤气化废水处理工艺流程研究[J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(6): 58-60.
- [2] 郭根有. 煤气化工艺中高氨氮废水的处理方法探讨[J]. 化工管理, 2018, (27): 195-196.
- [3] 吴二飞, 高琳, 耿春宇, 等. 煤气化废水的冷冻浓缩处理技术研究[J]. 水处理技术, 2019, 45(10): 106-109
- [4] 陈鹏程, 何红兵, 饶天曦, 等. 煤气化废水深度处理技术分析与研究[J]. 化工管理, 2019(30): 93-94.