

# 造纸废水处理的生态资源环境效益与利用措施研究

石雪云

(郑州市生态环境局登封分局, 郑州 452470)

**摘要:** 造纸工业是我国重要的传统产业, 但长期以来也是主要的工业污染源之一, 其产生的大量废水对环境造成严重污染。近年来, 随着可持续发展理念的深入人心, 造纸废水的资源化利用及其生态环境效益受到广泛重视。本文首先阐述了造纸废水的定义、特点及处理方法, 接着重点分析了造纸废水处理对生态环境保护、资源节约以及企业社会责任等方面的积极影响。在此基础上, 提出了进一步完善造纸废水处理利用质量的措施建议, 包括源头控制、工艺优化、中水回用以及政策扶持等, 旨在促进造纸行业节能减排, 实现资源循环利用, 推动生态文明建设, 为构建人与自然和谐共生的美好家园贡献一份力量。

**关键词:** 造纸废水处理; 生态资源环境效益; 利用措施

**中图分类号:** X793

**中图分类号:** A

**文章编号:** 1674-6937 (2024) 06-0038-03

纸张, 作为人类文明发展的见证者, 其重要性不言而喻。然而, 造纸工业在为人类提供这一不可或缺的生活必需品的同时, 也给环境带来了沉重的压力。造纸过程中产生的废水不仅量大, 而且含有大量的有机物、悬浮物、色度和化学需氧量等污染物, 若直接排放, 将对水体环境造成严重破坏。据统计, 我国造纸工业年废水排放量高达 63.5 亿吨 (2020 年数据), 居工业污染源之首, 占全国工业废水排放总量的 24.3%。造纸废水处理技术的不断进步, 使其在保护生态环境、节约资源能源、实现循环经济等方面发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。近年来, 我国政府不断加大对造纸行业环境治理的政策支持力度, 出台了《造纸工业清洁生产评价指标体系》、《造纸工业水污染物排放标准》等一系列鼓励技术创新、促进中水回用的政策文件。在这一良好形势下, 本文将系统分析造纸废水处理的生态资源环境效益, 并对提高废水利用质量提出切实可行的建议, 以期为造纸企业节能减排、实现可持续发展提供一些借鉴和参考。

## 1 造纸废水处理

### 1.1 造纸废水的定义

造纸废水是指造纸过程中产生的各种废水的总称。其主要来源包括制浆、造纸、纸浆漂白以及热电厂等环节。具体而言, 制浆工序中, 木材在蒸煮、漂白、筛浆和净浆等过程中会产生大量的污水; 造纸工序废水来自纸浆的制浆、抄纸、

干燥、涂布和上光等环节; 热电厂废水主要是锅炉排污水和循环冷却水<sup>[2]</sup>。此外, 生产过程中的设备清洗、地面冲洗、办公生活等也会产生一定量的废水。从废水量的分布来看, 制浆工序排放的废水占总量的 60% 左右, 是最主要的污染源。浆料漂白工序中, 由于使用大量漂白剂如次氯酸钠、氧化物等, 导致该部分废水具有高盐分、高色度、高 COD 和 AOX 等特征。相比之下, 造纸工序和热电厂的废水污染相对较轻。总的来说, 造纸废水来源复杂, 种类繁多, 对周边环境造成的潜在危害不容忽视。

### 1.2 造纸废水的特征及主要污染物

造纸废水的主要特征表现为 pH 偏酸、色度深、悬浮物多、有机物含量高<sup>[3]</sup>。由于纸浆原料和生产工艺的不同, 废水中所含污染物种类和浓度也有较大差异。但总体上, 其中最主要的几类污染物包括: 一是有机物: 主要为纤维素、半纤维素、木质素及其衍生物, 占造纸废水 COD 的 60%~70%, 是造纸废水中污染最严重的部分, 具有生物难降解性。二是悬浮物: 包括残留的纤维、纸屑、粘结剂和填料等。这些悬浮物不仅会使水体浑浊, 堵塞管道, 还会携带大量有机污染物, 增加水体的 BOD 和 COD 负荷。三是色度: 主要来自于木质纤维中的天然色素物质, 例如林格尼、塔尼和木质素等。造纸废水的深色不仅影响水体透光性, 还会阻碍光合作用, 危害水生生物。四是盐类: 源于原料预处理和化学品使用, 包括氯化物、硫酸盐和碱类等无机盐, 过量的盐类会干扰废水的生物处理。五是 AOX: 全卤

作者简介: 石雪云 (1970—), 女, 本科, 环保工程师, 研究方向: 环保工程与生态修复。

代有机化合物，主要来自浆料漂白过程，对环境具有一定毒性和持久性。

### 1.3 造纸废水处理的传统方法

造纸废水处理方法大致可分为物理法、化学法和生物法三种。物理法主要包括沉淀、过滤、离心分离等。通过使用絮凝剂促进固液分离，可去除废水中大部分悬浮物和部分溶解性有机物。这类方法操作简单，投资少，但处理效果一般，无法彻底去除废水中的 COD 和色度。常见的化学方法有化学氧化、电化学氧化、臭氧氧化和膜分离技术等。其中，臭氧氧化可高效去除废水颜色，降低 COD；而膜技术则能将污染物截留，回收资源。但化学法耗能大、运行成本高，部分氧化副产物也可能产生二次污染。生物法主要有好氧和厌氧两种生物处理方式。好氧生物处理是将有机物通过微生物代谢分解为 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub>，能够高效降解 COD。缺点是对难降解物质效果不佳，处理能力也易受环境因素影响。而厌氧生物处理的优点是能大幅降低能耗和污泥量，但处理时间较长且仅适用于可生物降解的有机物。

## 2 造纸废水处理的生态资源环境效益

### 2.1 减少水体污染，保护水生态环境

造纸废水如果未经适当处理便直接排放，将对接纳水体造成严重污染。以 1967 年 9 月发生在日本的“水熊毒杀事件”为例，万吨造纸废水排入河中，导致河水 COD 急剧升高，大量野生动物如水熊、鱼类中毒而死，给人类带来了沉重教训。造纸废水中所含的有机物、悬浮物、色度等污染物一旦进入水体，将引起溶解氧下降、水体变浑、增加 BOD 和 COD 负荷，严重危害水生生态系统。通过采用先进的污水处理工艺，可高效降解造纸废水中的有机污染物，去除悬浮物、色度和 AOX 等有害物质。比如在浙江某造纸企业，采用“生物处理 + 混凝沉淀 + 臭氧氧化 + 膜分离”的组合工艺，使出水 COD 和色度分别降至 60 mg/L 和 30 度以下，完全达标排放。经深度处理的清水不仅可循环利用，还可作为中水回用于景观绿化，避免了对外环境的污染。同时，部分污泥可资源化利用于生产环节，进一步减少了最终排放量，确保了废水处理的无污染排放，最大限度地保护了水生态环境。

### 2.2 废水资源化利用，实现循环经济

造纸是资源和能源密集型行业，合理利用废水资源不仅减少污染，还有助于推进循环经济发展。造纸废水中蕴藏着大量可回收利用的纤维素、能

源和化学品资源。通过膜分离等技术，可从废水中回收约 30% 的纤维素作为制浆原料重复使用，每年可节约木浆消耗量 315 万吨，减少对原生林木的砍伐。此外，经深度处理的造纸废水可作为清洁中水回用于生产或绿化，以降低新鲜水的消耗。以山东某大型造纸企业为例，其年中水回用率达 60%，节约新鲜水 1000 余万吨，减少废水排放量 800 余万吨。从污泥中也可回收能源和化学品资源，如通过污泥厌氧消化产生沼气发电，从浓缩液中回收烧碱等化学品循环使用。造纸污泥本身也可资源化利用，制成生物质能源或肥料基质。上述举措有助于构建“资源—产品—再生资源”的循环链条，提高资源利用率，减少原料和能源消耗，促进了造纸行业向循环经济的转型升级，实现可持续发展。

### 2.3 节约能源和资源，促进可持续发展

与传统的终端处理相比，造纸废水资源化利用途径可显著节约资源和能源，体现经济和环境的三重效益，有利于可持续发展理念的贯彻落实。回收利用废水中的纤维素、中水循环利用、污泥焚烧发电和沼气发电等措施，每年可为全行业节约用水量高达 60 亿立方米、木浆消耗量约 315 万吨，并减少化石燃料的使用<sup>[4]</sup>。以某大型造纸集团为例，实施废水资源化利用后，年可减排 COD 8.8 万吨、AOX 500 吨，并节省土地面积 300 余亩。浓缩膜技术回收木质纤维，还可使单位产品的热耗电降低 5%—10%。可见，推广造纸废水的资源化利用途径，不仅减少了“三废”排放及土地占用，更可充分发挥资源节约和环境保护的双重功效，为实现经济社会可持续发展提供有力支撑。

### 2.4 提高企业环保形象，增强社会责任感

造纸企业积极开展废水资源化利用，不仅有助于减少污染物排放、提高资源利用效率和降低运营成本，更彰显了企业承担社会责任、强化环保理念的决心，是提升企业形象的重要体现。以华润金陵造纸有限公司为例，其投资 2.3 亿元建设全球最大工业园区中水回用系统，日处理中水量达 10 万吨，排放水质全部实现再生水国家标准，充分展现了华润集团对环境保护的高度重视。此外，资源节约型生产模式的推广使用，也有利于提高企业资源利用效率，降低生产成本，增强核心竞争力。如广东某企业通过开发应用黑液高浓缩技术，年可回收小分子有机物 2 万吨，节省运营成本上千万元。因此，造纸企业履行环境社会责任，不仅传递了良好的环保理念，更有利于自身实现可持续发展，与社会、自然和谐共生。

### 3 关于进一步提升造纸废水处理利用质量的措施建议

#### 3.1 加强源头控制, 采用清洁生产工艺

控制污染物的产生是治理造纸废水的首要环节。企业应优先考虑从生产工艺入手, 最大限度减少废水污染物的排放。具体可采取以下措施: 可以选择环保型木浆原料和化学品。传统木浆原料如木材和非木浆原料中含有一定量的挥发性有机物和氯化物等, 会导致废水中 COD、AOX 浓度较高。因此, 企业应充分利用农林业废弃物等无氯原料制浆, 减少使用含氯漂白剂, 从源头上降低废水中的污染物浓度。还采用清洁生产工艺。如推广使用无元素氯漂白工艺, 可有效降低 AOX 等有毒有害物质的产生; 采用分馏蒸煮、酸垢改性等深度节水措施, 减少废水排放量; 使用高浓缩、蒸汽重复利用工艺, 减少能源消耗和污染物产生。

#### 3.2 优化处理工艺, 提高处理效率

造纸废水工艺选择是废水处理效果的关键。可以建议优先采用高效膜分离工艺。膜分离技术具有分离效率高、自动化程度高、无二次污染等优点。如采用纳滤和反渗透膜组合工艺, 可有效降低造纸废水的色度、COD 和盐分, 提高中水回用率。膜分离与传统深床滤池相比, 能源消耗更低、占地面积更小、自动化水平更高。可将膜分离与其他工艺有机结合, 形成组合工艺。如“厌氧+好氧+膜组合工艺”, 一方面利用微生物降解可生物降解的有机物, 另一方面借助膜阻隔难降解的有机污染物, 从而实现废水的深度处理。此外, 臭氧氧化、芬顿氧化等化学氧化工艺也常常与生物处理或膜处理相结合, 提高了色度和 AOX 的去除率。对于难生物降解的废水, 建议采用高级氧化技术。如超临界水氧化、湿空气氧化、光催化氧化等, 能够高效降解难降解有机物, 减少二次污染<sup>[5]</sup>。

#### 3.3 促进中水回用, 实现资源化利用

造纸企业应充分利用经处理的中水, 推进废水资源化利用, 形成良性循环。一方面, 中水回用于生产工序, 可大幅节约新鲜水资源; 另一方面, 中水回用于厂区绿化、道路洒水等, 也有利于环境美化和减少废水排放。企业应制定完善的中水回用方案和技术路线。如在厂区内建设独立的中水回用系统, 设置中水池和管网, 实现供水和排水分离。在生产线上则根据用水质量要求, 对中水进行进一步深度处理, 确保可循环利用水质满足相应工艺用水标准。要加强对全流程的监测和管理。中水回用过程中, 应严格监测各环节水质指标, 防止二次污染。对于生产过程中排放的高盐分、高浓度废水, 则需

妥善收集分类处理, 避免与低盐分水体混合, 影响中水回用效果。企业还可考虑将污水处理和中水回收一体化。如采用膜生物反应器 (MBR) 工艺, 可有效解决传统好氧处理存在的污泥膨胀、出水浊度高等问题, 获得优质的中水, 直接回用于生产线, 减少了分步处理的能耗。

#### 3.4 加大政策扶持, 鼓励技术创新

推进造纸废水的高质量处理利用, 需要政府在政策和资金等方面给予大力支持, 为企业创造良好发展环境, 政府还应制定明确的法律法规和标准体系。以造纸行业的 ( 为例, 明确提出了“提高中水回用率”、“将污水处理达标排放与发展中有资源化利用”等要求。同时还应加快修订《造纸工业水污染物排放标准》, 进一步提高水污染物排放标准, 推动行业加快技术升级。还要通过经济杠杆政策来规范和引导企业行为。如对造纸行业实行累进环保税费制度, 加大对超标排放企业的惩处力度; 对采用先进适用工艺、高效利用水资源的企业给予税费减免等优惠政策, 促进行业清洁化生产和中水回用。

### 结论

造纸工业是我国传统产业的重要组成部分, 但同时也是主要的水环境污染源之一。合理有效处理造纸废水, 不仅能减少污染物排放、保护水生态环境, 更能通过资源化利用实现节能减排、推进循环经济发展, 助力生态文明建设。本文在分析造纸废水处理生态资源环境效益的基础上, 提出了从源头控制、工艺优化、中水回用到政策扶持等全方位的提升措施, 旨在为进一步加大节能减排力度, 持续推进废水等“三废”资源化利用, 实现造纸工业才能与生态环境协调发展贡献一份力量。

### 参考文献

- [1] 路程. 制浆造纸废水深度处理方法研究 [J]. 造纸科学与技术, 2024, 43 (1): 68-71.
- [2] 罗秋霞, 马乐凡, 李奔杰, 等. 造纸废水处理技术的原理和应用方法研究 [J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (2): 1-5.
- [3] 张璐, 邓银银, 张颖. 制浆造纸废水回收利用难点及处理工艺分析 [J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (2): 9-11.
- [4] 廖雄. 造纸行业的环境问题与生态环境保护策略 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52 (6): 12-14.
- [5] 成琳. 造纸废水处理技术的研究进展 [J]. 化学工程师, 2021, 35 (5): 60-62.