

氧化塘-人工湿地塘床系统处理造纸废水应用研究

徐亚东¹,王 超¹,王沛芳¹,徐维骊²

(1. 河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098; 2. 江苏双灯纸业集团公司,江苏 射阳 224300)

摘要 :在介绍江苏双灯纸业集团公司利用人工湿地塘床系统处理废水的工艺过程和运行情况的同时,分析了该系统净化污染物的机理及生态环境效益.分析结果表明,人工湿地塘床系统不仅对特征污染物指标 COD_{Cr}、BOD₅ 和 SS 等具有较高的去除率,还通过出水灌溉芦苇降低了土壤盐渍化程度,并且湿地中生长的芦苇可作为造纸原材料回收利用,同时人工湿地形成了独特的生态环境,既改善了局部景观,又保护了野生环境.

关键词 :人工湿地;塘床系统;造纸废水处理;生态效应

中图分类号 :X52 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2005)04-0382-04

制浆造纸工业,特别是草浆业,在我国国民经济中发挥着重要作用,但造纸过程中产生的高浓度废水对水环境的污染十分严重.利用人工湿地处理造纸废水,是一种投入小、耗能少、管理费用低的污水处理技术,在发达国家和发展中国家得到了广泛应用^[1].但利用湿地处理造纸废水还存在许多问题:废水中 COD 浓度过高,影响湿地植物的生长;冬季人工湿地无法处理污水;人工湿地处理后的出水仍会对环境造成一定的影响等等^[2].因此,必须寻求一种将人工湿地与其他处理技术相结合的方法,以实现草浆造纸废水的净化和利用.

江苏双灯纸业集团公司是利用稻草碱法制浆造纸的大型企业,位于盐城沿海滩涂湿地,毗邻国家级珍禽丹顶鹤自然保护区.为了解决好环境要求严与污水处理成本高的矛盾,该公司利用 2270hm² 的大面积滩涂湿地,建成了氧化塘-人工湿地废水处理系统.造纸废水经塘系统厌氧和兼性发酵后,进入芦苇湿地进行深度处理.人工湿地中的废水在不断降解的同时依靠大气蒸发和芦苇的蒸腾等作用被消耗掉,实现了封闭循环,没有对周围水环境造成不良影响.同时,富含有机物的污水灌溉还促进了滩涂土壤的改良和芦苇的生长,维护了珍稀鸟类的栖息地^[3].本文在分析对比造纸废水处理工艺的基础上,详细介绍了双灯纸业集团氧化塘-人工湿地塘床系统的工艺流程,并对其运行效果、处理机制和生态环境效益进行了分析研究.

1 工 艺 选 择

造纸废水处理多采用生化或物化与生化相结合的方法.物化法如气浮法、混凝法和沉淀法等主要通过向水中投放絮凝剂达到去除污染物的目的.生化法如传统活性污泥法、生物吸附氧化法(AB 法)、氧化沟法和土地处理法等则是利用微生物在好氧或厌氧的条件下对水中的有机物进行吸收降解,从而有效降解废水中的 BOD 和 COD.物化法工艺简洁、实施方便,但它的作用主要在于废水中悬浮物的去除,而对废水中有机污染物的作用不大.生化法对有机物的去除有较好的效果,但工艺实施相对复杂,且投资较大.因此,在工业生产中应针对废水特性和资源特点,选择最佳的处理工艺.

江苏双灯纸业集团公司采用稻草碱法制浆生产卫生纸,日产纸 53 t,产生废水 1.5 万 t,年产废水 540 万 t.其废水组成及水量、水质情况见表 1.

表 1 废水组成及水量、水质情况

Table 1 Composition and quantity of wastewater

组成	废水量/ (m ³ · d ⁻¹)	ρ(COD _{Cr})/ (mg · L ⁻¹)	ρ(SS)/ (mg · L ⁻¹)	pH 值
浓黑液	300	160 000	24 200	14.0
洗黑浆中段水	4 500	4 500	2 200	12.0
漂白中段水	5 000	1 500	7 150	7.5
造纸白水	4 000	150	135	7.0
其他废水	1 000	30	10	6.0
合 计	14 800	5 160	2 800	

注:ρ(COD_{Cr})和 ρ(SS)分别为 COD_{Cr} 和 SS 的质量浓度.

针对该公司造纸废水的特性,参照造纸废水处理技术,以设计废水处理量 540 万 m³/a 计,对 4 种常用工艺进行技术经济比较,结果见表 2。

从表 2 可以看出,上述几种方法均可有效去除有机物,但各有优缺点。前 3 种处理工艺占地面积小,但工程投资大

(均在 1 400 万元以上),运行费用高(200 万元左右),且无经济回报;而人工湿地法去除效果稳定,投资仅为前 3 种方法的 50% 左右,运行费用仅为 1/5,还有相当可观的经济效益。缺点是占地面积较大。由于该公司地处沿海滩涂,可用湿地多,因此采用了人工湿地法。同时以循环经济理念为指导,把芦苇湿地处理污水与发展芦苇造纸产业结合起来,利用附近 2 270 hm² 的滩涂建成了全国最大的人工湿地塘床污水处理系统。

2 人工湿地塘床处理系统工艺流程

造纸废水人工湿地塘床处理系统的工艺流程是,生产废水经过木质素酸析、回收和斜网过滤等预处理后进入氧化塘系统,再通过加压输送到芦苇人工湿地系统进行深度处理。

人工湿地塘床系统由稳定塘系统、苇田系统和灌排系统组成。稳定塘系统占地 363 hm²、容积 718 万 m³,分为塘系统Ⅰ、塘系统Ⅱ两部分。塘系统Ⅰ包括厌氧塘和兼性塘各 1 座,塘系统Ⅱ为兼性塘 1 座。厌氧塘深度 3.5 m,属超深厌氧塘,在 COD 去除率、调节 pH 值、冬季处理废水方面比常规氧化塘有优势^[4]。污水在稳定塘系统Ⅰ经过 6 个月的停留时间,COD 达到 2 000 mg/L 左右,出水经输水渠送入塘系统Ⅱ继续进行兼性处理,最终排放到苇田系统。苇田系统由 6 块面积大小不等的苇田组成,总面积 1 800 hm²。经过塘床系统处理的污水($\rho(\text{COD}_{\text{Cr}}) \leq 450 \text{ mg/L}$)达到一级排放标准。为降低排放的污水对地表水环境的污染,达标尾水通过灌排系统在苇田系统与稳定塘系统Ⅱ中循环流动。根据水文资料统计,射阳地区的年均降雨量低于蒸发量,差额在 800 mm/hm² 以上^[3]。污水在污染物不断降解的同时依靠大气蒸发和芦苇的蒸腾作用被消耗掉,实现了封闭循环,达到了对外环境而言的零排放,而且芦苇在降解污染物的同时又促进了自身的生长。

3 运行效果

人工湿地塘床系统从 2001 年 1 月 8 日开始运行。从 2002 年 3 月~2003 年 2 月的监测结果来看,系统运行效果较好,各项指标去除率均较高(表 3)。

表 3 人工湿地系统处理效果
Table 3 Characteristic pollutant removal efficiency by man-made wetland system

处理系统		pH 值	SS		COD _{Cr}		BOD ₅	
			$\rho(\text{SS})(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	去除率/%	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	去除率/%	$\rho(\text{BOD}_5)(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	去除率/%
塘系统Ⅰ	进水	7.6~8.9	1 100~1 400		2 540~4 800		725~1 080	
	出水	8.4~8.7	419~517	61.9~63.1	1 310~2 070	48.4~56.9	138~159	81.0~85.3
塘系统Ⅱ	进水	8.3~8.7	260~431		1 210~1 530		81.0~85.3	
	出水	8.5~8.7	78~97	70.0~77.5	348~439	71.2~71.3	26.3~29.1	69.8~83.6
苇田系统		7.7~8.4		93.0	334~444	89.4	12.4~27.8	97.8

3.1 有机物的去除效果

系统进水中 BOD₅ 和 COD_{Cr} 的平均质量浓度分别为 725~1 080 mg/L 和 2 540~4 800 mg/L。通过稳定塘系统Ⅰ的降解,BOD₅ 和 COD_{Cr} 的去除率分别达 83.1% 和 52.7% 左右。通过稳定塘系统Ⅱ的降解,BOD₅ 和 COD_{Cr} 的去除率分别达 76.6% 和 71.3% 左右。经过苇田系统的进一步处理,BOD₅ 和 COD_{Cr} 平均质量浓度分别下降为 12.4~27.8 mg/L 和 334~444 mg/L,达到造纸工业水污染物排放一级标准。整个系统对 BOD₅ 和 COD_{Cr} 的去除率分别为 97.8% 和 89.4%。

3.2 SS 的去除效果

人工湿地塘床系统中进水 SS 的平均质量浓度为 1 100~1 400 mg/L。受芦苇植物的机械阻挡作用,水流速

度减缓,残留的颗粒及细小纤维在进水中发生沉降,随着距离的增加,沉降量逐渐减小,出水SS平均质量浓度下降为78~97 mg/L,总去除率达93.0%。悬浮固体主要沉积在高效复合厌氧塘,而难以沉淀的细小悬浮性有机物等在后续塘及苇田中逐渐附着在芦苇等水生植物的根、茎、叶上形成生物膜,又促进了有机物的降解^[5]。

3.3 系统稳定性

越冬问题是植物人工湿地系统存在的一个主要问题,但人工湿地塘床系统中的大面积塘系统对保持整个系统的稳定运行起到了重要作用。

人工湿地塘床系统在每年3月下旬至10月下旬正常运行,但在11月上旬至次年3月中旬,芦苇正值收割期,系统不能正常运行。此时,污水储存在厌氧塘和兼性塘中,不向苇田排放。塘系统的容量达到718万m³,足可容纳该公司整整一年的废水排放量。射阳地区所处的黄海海域属我国GB3097规定的二类海域,排入的造纸废水执行一级标准。从表4可以看出,经氧化塘与苇田处理过的造纸废水完全达到了排放标准,而且出水用于芦苇灌溉并不向周围环境排放,因此不会对周围环境造成污染。

4 经济与环境效益分析

4.1 对土壤的影响

造纸废水不含有毒的重金属,采用次氯酸盐漂白产生的AOX在综合废水中的质量浓度仅为4.5~2.7 mg/L,经过稳定塘系统的降解,进入苇田的AOX的质量浓度仅为1.9 mg/L,远低于国家造纸工业水污染物排放标准规定的9 mg/L的标准,不会对土壤产生明显的毒害作用。相反,污水中的有机物90%以上为腐殖质,可以改良土壤,促进植物生长。通过监测,发现稳定塘和污灌后苇田土壤中的 $\rho(\text{Na}^+)$ 和 $\rho(\text{Cl}^-)$ 下降, N 、 P 和有机质质量浓度上升,有助于生态系统的良性循环和提高土地生产力。

4.2 对水体的影响

江苏双灯纸业集团公司生态处理场被沿海的大堤包围,构成了一个独立封闭的水系。生态处理场的蒸发量与芦苇的蒸腾量比污水与降雨量之和约多2000万t^[6]。造纸废水只在稳定塘和苇田内循环利用,因而避免了对地面水环境的影响。对环绕生态处理场的射阳河口和潮间带海水监测结果表明,外围水体水质没有明显变化。射阳沿海地区为淤涨性滩涂,土壤空率率低,防渗性好,污水灌溉不会影响承压水。对潜水而言,因为与污水直接接触,水质发生缓慢变化。监测表明,随着污灌时间的延长,潜水的 $\rho(\text{COD})$ 缓慢上升, $\rho(\text{Na}^+)$ 和 $\rho(\text{Cl}^-)$ 缓慢下降,与土壤的变化趋势相近。这种变化,不仅不影响潜水的原有功能,还改良了土壤,改善了植被,促进了生态系统的良性循环。

4.3 对芦苇生长的影响

用处理后的造纸废水灌溉芦苇,对芦苇的生长有较好的促进作用。污灌后,生态处理场大片苇田芦苇长势良好。为了定量说明问题,还进行了根栽试验。即用直径42 cm、高70 cm的铁皮桶5只,桶中装高度为50 cm的相同肥力的粉砂质土壤,斜插长度40 cm、粗细大致相同的芦根8支,用河水和 $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 分别为4000 mg/L,2000 mg/L,1000 mg/L,500 mg/L的造纸废水灌溉,使其生根、发芽、生长。结果表明,造纸废水灌溉的芦苇好于河水灌溉的芦苇,两者相比,密度提高11.5%,株高提高9.3%,株径提高13.2%,成株最大叶片之长宽积提高26.0%,产量提高80.9%^[6]。

4.4 对丹顶鹤等珍稀鸟类栖息的影响

污水处理场投入使用以来,鸟类的栖息情况正常。据调查,生态处理场内鸟类种群数量稳定,已观察到11目63种鸟类,其中国家一级保护动物丹顶鹤越冬数量在15~100只之间,冬季雁鸭类种群稳定在万只以上。

5 结 论

a. 利用人工湿地塘床系统处理造纸废水,系统对特征污染物指标 COD_{Cr} 、 BOD_5 和SS等具有较高的去除率,设计的人工湿地塘床系统耐冲击负荷强,出水水质稳定,且可用于芦苇灌溉,实现了废水资源化。利用湿地系统处理造纸废水,对周围的水环境及鸟类生存环境无不良影响,还使土壤盐分下降,有机质含量增加,土质得到改善,芦苇产量提高20%以上。

b. 人工湿地形成了独特的生态环境,既保护了野生动物,又提高了局部区域景观。通过预处理回收废纸

浆纤维、提取木质素和收割湿地中的芦苇作为造纸原料等措施,可产生一定的经济效益和环境效益。

c. 芦苇收割以后每隔 1~3 a 轮流向苇田灌清水洗盐淋碱,防止苇田长期封闭不排放造成盐碱化积累。这时进行洗盐淋碱的清水,不与生化尾水交叉,洗碱后水质同海水相似,可排海。苇田内可以实现水的蒸散消耗,封闭循环不排放,但在遇到特大暴雨径流很大时,应及时采取其他措施进行处置^[3]。

参考文献：

[1] ROBERT A. Corbitt standard handbook of environmental engineering[M]. New York :McGraw-Hill ,1998. 128—136.
[2] 白晓慧,王宝贞,余敏,等.人工湿地污水处理技术及其发展应用[J].哈尔滨建筑大学学报,1999,32(6):88—92.
[3] 王庆九,唐亮,柏益尧,等.造纸废水处理人工湿地系统规划研究[J].重庆环境科学,2003,25(1):28—31.
[4] 汪慧贞,吴俊奇,曹秀芹.超深厌氧塘的技术特性[J].环境工程,1997(3):16—18.
[5] 吴晓磊.人工湿地废水处理机理[J].环境科学,1995,16(3):83—86.
[6] 李凤翥,徐维骊.碱法草浆造纸废水生态处理[J].浙江造纸,2003(3):12—15.

Application of oxidation pond and man-made wetland pond-bed system to treatment of paper-making wastewater

XU Ya-dong¹, WANG Chao¹, WANG Pei-fang¹, XU Wei-liu²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;
2. Jiangsu Shuangdeng Paper Company, Sheyang 224300, China)

Abstract :An introduction was given to the operating condition of the pond-bed system and the technical process of its application to wastewater treatment in Jiangsu Shuangdeng Paper Company, and the mechanism of pollutant purification and eco-environmental benefits of the system were also analyzed. The results show that the man-made wetland pond-bed system has high removal rate of some characteristic pollutants, such as COD_{Cr}, BOD₅, and SS, and also decreases the level of soil salinization by effluent water irrigation of reed. The reed growing in wetland can be taken as paper-making materials, which will produce a certain benefit. Meanwhile, the unique eco-environment formed by man-made wetland system improves the local landscape, and protects the wild habitat environment.

Key words :man-made wetland ; pond-bed system ; treatment of paper-making wastewater ; ecological effect