

印染废水处理工程的新型生物流化床组合工艺技术分析

韦朝海¹, 黄会静¹, 任源¹, 吴超飞¹, 吴海珍², 卢彬³

(1. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510006; 2. 华南理工大学生物科学与工程学院, 广州 510006; 3. 广州境天环保科技有限公司, 广州 510640)

摘要: 针对高浓度难降解的工业有机废水, 利用自行开发的新型结构生物流化床技术, 通过工程设计实施了若干废水处理的应用实践. 从成功运行的 12 个工程中选取了 3 个分别为 1 200、2 000 和 13 000 m³/d 的印染废水处理工程作为案例, 分析流化床组合工艺处理难降解有机废水的原理, 从技术经济可行性方面总结新型生物流化床技术处理印染废水的工程经验. 3 个工程规模案例印染废水处理生物系统停留时间分别为 23、34 和 21.8 h, 进水容积负荷 (COD) 分别为 1.75、4.75、2.97 kg/(m³·d), 相应的 COD 去除率达 97.3%、98.1%、95.8%. 在正常运行工况条件下, 工艺出水的各项污染指标均达到广东省一级排放标准 (高于国家相应标准) 的限值要求, 整个工程的运行费用分别为 0.91、1.17 及 0.88 元/m³. 工程实践表明, 采用新型生物流化床组合技术处理印染废水, 克服了传统方法的缺点, 具有停留时间短、氧利用率高、有机污染物转化速率快以及污泥产量少等特点. 基于未来的发展, 提出了在组合工艺中实现低碳废水处理技术的流程, 考虑生态安全和资源循环利用的结合.

关键词: 环境工程; 印染废水; 生物流化床; 处理

中图分类号: X506 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)04-1048-07

Analysis of Novel Style Biological Fluidized Bed A/O Combined Process in Dyeing Wastewater Treatment

WEI Chao-hai¹, HUANG Hui-jing¹, REN Yuan¹, WU Chao-fei¹, WU Hai-zhen², LU Bin³

(1. College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. College of Bioscience and Bioengineering, South China University of Technology, Guangzhou, 510006 China; 3. Jingtian Environmental Protection Technology Co. Ltd., Guangzhou 510640, China)

Abstract: A novel biological fluidized bed was designed and developed to deal with high-concentration refractory organic industrial wastewater. From 12 successful projects, three cases of dyeing wastewater treatment projects with the scale of 1 200, 2 000 and 13 000 m³/d respectively were selected to analyze the principle of treating refractory organic wastewater with fluidized bed technology and discuss the superiority of self-developed biological fluidized bed from the aspects of technical and economic feasibility. In the three cases, when the hydraulic retention time (HRT) of biological system were 23, 34 and 21.8 h, and the volume loading of influents (COD) were 1.75, 4.75 and 2.97 kg/(m³·d), the corresponding COD removal were 97.3%, 98.1% and 95.8%. Furthermore the operating costs of projects were 0.91, 1.17 and 0.88 yuan per ton of water respectively. The index of effluent all met the 1st grade of Guangdong Province wastewater discharge standard. Results showed that the biological fluidized bed had characteristics of shorter retention time, greater oxygen utilization rate, faster conversion rate of organic pollutants and less sludge production, which made it overcome the shortcomings of traditional methods in printing and dyeing wastewater treatment. Considering the development of technology and the combination of ecological security and recycling resources, a low-carbon wastewater treatment process was proposed.

Key words: environmental engineering; dyeing wastewater; biological fluidized bed; treatment

我国印染企业主要采用以水为媒介的湿法加工工艺, 生产中使用了大量的清洁水, 同时排放出含有一定色度及不同浓度污染物的有害废水. 2007 年全国纺织行业仅印染废水年排放总量达到 23 ~ 30 亿 t^[1]. 印染厂主要加工纯棉织物、棉、化纤混纺织物和纯化纤维物, 其废水中的污染物质来自漂炼、染色、印花、整理等几个主要工序中使用的染料和助剂. 合成染料中 70% 是偶氮染料^[2], 一般情况下这些染料本身不会对人体产生有害影响, 但部分由致癌性的芳香胺类中间体合成的偶氮染料能够在人体内发生

还原反应使偶氮基断裂, 重新生成致癌的芳香类化合物, 经人体再次吸收和活化, 转变成人体病变诱发因素, 增加了致癌的可能性^[3]. 近年来, 印染工艺不断改革, 开发了一些用水少的新工艺, 如干丝光、干法退浆等. 虽然新工艺减少了废水的排放量, 但是染

收稿日期: 2010-05-05; 修订日期: 2010-06-26

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目 (2008BAC32B06-1); 广东省科技计划项目 (2009B020311001, 2009A080303007)

作者简介: 韦朝海 (1962 ~), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水污染控制理论与技术, E-mail: cechwei@scut.edu.cn

料的上染率都不太高(硫化染料上染率约 30%^[4]),因此废水中污染物质的浓度反而升高了.同时,随着新纺织纤维(如 Tencel 纤维、大豆纤维、竹纤维以及各种多元混纺织物等)的推广,各种新型的染料和助剂得到了广泛的使用.然而这些新型染料与助剂的使用却给废水处理带来新的问题.首先,新型染料中不含致癌芳香胺,但是其利用率较低,染色时无机盐用量大,使得废水盐分高色度大^[5];其次,废水 BOD 值下降而 COD 值增加,废水化学惰性增大,可生化性降低.美国染化工作者协会曾对大量染料及药剂进行测试,发现近一半染化料 B/C 值 < 0.1^[6].当采用新型聚丙烯酸酯的化学浆料时,退浆废水 COD 值能达到 20 000 ~ 40 000 mg/L, BOD 值却很低.

目前,国内外印染废水的处理方法主要包括了物理、化学和生物 3 种方法.吸附、混凝沉淀、臭氧脱色、电化学法等物理和化学方法能够使出水达到工艺用水要求,但是这些方法存在污泥量大、能耗大,且在实际工程应用上具有不可行性等缺点.因此,生物法是国内外处理印染废水的主要方法^[7].在我国,印染废水的处理主要以厌氧-好氧相结合的工艺为主.在厌氧的条件下,染料中的偶氮基团、三苯甲烷基团以及单氨基团聚合物可被厌氧微生物还原为芳香胺类化合物,而芳香胺化合物则可被好氧微生物降解和矿化^[8];同时好氧段所产生的剩余污泥全部回流到厌氧段,厌氧段有较长的污泥停留时间(SRT),有利于污泥厌氧消化,从而显著降低了整个系统的生物活性污泥量.然而,印染废水的色度来源于染料分子的共轭体系,即含有不饱和基团



$-\text{NO}_2$ 和醌化合物等的发色体系^[2].单纯的生化法对 BOD 去除能力较强,但去除 COD 和色度的能力有限.特别地,在“十一五”期间,国家要求印染行业单位国内生产总值能源消耗降低 20%左右,单位工业增加值用水量降低 30%,主要污染物排放总量减少 10%^[1].这就意味着印染废水的污染控制指标将越来越严格,对企业水回用的要求也越来越高.然而,印染废水通过目前现有的技术处理存在 2 个关键问题:一是难以将废水中的染料成分完全去除,外排水中仍含有低浓度染料,而这些成分在环境中能够稳定存在,半衰期较长,如在 pH 7,温度 25℃ 时水解活性蓝 19(RB19)的半衰期是 46 a^[9];二是不能降低水中的含盐量,限制了处理后的水回用,也对受

纳水体功能产生影响^[10].有研究表明,印染用水的电导率超过 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$,即含盐量约大于 2 000 mg/L 时,盐容易在织物上产生斑迹,影响产品的质量^[11].因此,为提高印染废水净化效率和脱色效果,包括高级氧化技术、常规物理化学技术和最重要的生物处理技术三者之间的组合技术正成为处理印染废水的热点领域^[12].

本课题组经过十几年的大量基础理论和实践的研究,克服流化床反应器在诸如操作和控制方面的困难,自行设计一种新型生物流化床,并将其成功应用于各种有机工业废水处理,取得了良好的效果.该种新型三重环流生物三相流化床的气相含率较其他环流反应器在相同条件下高 10% ~ 15%,气流量增大,缩短了循环时间,使液体循环速度加快,在处理有机工业废水时,其 COD 和 BOD 容积负荷能达到 3.4 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 及 1.7 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,气水比仅为 6 ~ 10,活性生物浓度 MLSS 为 20 ~ 40 g/L,在这种情况下,废水处理 COD、BOD 及色度的去除率分别达到 95.4%、95.1% 和 97.4%,且经过十多项工程验证,处理出水各项性能指标均符合国家和地方有关排放标准,运行实消耗费用低于 1.2 元/ m^3 .本研究从 12 个成功运行的工程项目中,选取 3 个不同规模的印染废水处理工程作为典型案例,分析生物流化床处理难降解有机废水的原理,总结生物流化床处理印染废水的工程经验,提出一个面向未来的印染废水处理的流化床低碳技术.

1 流化床组合技术应用案例

1.1 工程概况

本研究选取的 3 个案例分别是:江门新会嘉成纺织服装有限公司,主要从事纺织制衣生产;恩平立一有限公司,迁建技改后,拥有浆染生产线和新增的织造、烧毛缩水、制衣和洗衣 4 条生产线;东莞紫丽纺织有限公司,是一家从事织造胚布及色布、漂染、定型、制衣配套生产的企业.三家公司都位于处于亚热带气候区的广东省,生产过程中均采用了面纱、还原染料、硫化染料等深色染料以及变性淀粉、烧碱、硫化碱、保险粉等还原性碱性浆料和助剂.这些染料与助剂一部分被吸收外,其余随废水排出.三家公司的生产废水主要来源于浆染和漂洗过程,其日排水量分别为:1 200、2 000 和 13 000 m^3 .

三家公司的生产废水具有几个共同的特点:一是废水色度大,pH 值高,最高达到 11.二是废水进水水质波动较大.以东莞紫丽为例,其进水 COD 在

1 a 中大多数时间在 600 ~ 800 mg/L, 2 ~ 3 个月进水 COD 浓度在 1 000 ~ 4 000 mg/L. 废水进水水质变化大相应地需要生物反应器有较强的缓冲能力. 三是废水有机物浓度高, 难降解有机物所占的比重大, BOD/COD < 0. 15, 特别是含有较高浓度的 PVA 浆

料, 该高浓度浆料只能溶于高温热水中, 在用常规的生化法处理时, 随温度降低呈胶状物析出; 其本身对微生物无毒, 但容易将微生物包裹, 使得该类废水的生化降解难以进行. 3 家公司废水水量以及进出水水质的统计数据列于表 1 中.

表 1 3 家印染废水处理工程进水量和进出水水质

Table 1 Characteristic of influent and standard of effluent

厂家	项目	设计水量 /m ³ ·d ⁻¹	COD /mg·L ⁻¹	BOD ₅ /mg·L ⁻¹	色度 /倍	SS /mg·L ⁻¹	pH	S ²⁻ /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹
江门嘉成	进水	1 200	1 000 ~ 5 000	100 ~ 400	1 000 ~ 3 000	200 ~ 1 000	9 ~ 11	4 ~ 8	—
	排放标准		90	20	40	60	6 ~ 9	0. 5	10
恩平立一	进水	2 000	2 000 ~ 6 000	500 ~ 1 100	1 000 ~ 3 500	500 ~ 2 000	9 ~ 14	2 ~ 10	—
	排放标准		100	20	40	60	6 ~ 9	0. 5	10
东莞紫丽	进水	13 000	600 ~ 4 000	150 ~ 1 000	500 ~ 2 500	200 ~ 1 000	8 ~ 9	2 ~ 4	—
	排放标准		100	25	40	70	6 ~ 9	0. 5	15

1. 2 工艺流程及技术原理

1. 2. 1 工艺流程

根据 3 家公司的废水特点, 设计符合实际的物理化学方法与流化床相结合的组合工艺, 一般工艺

流程如图 1 所示.

1. 2. 2 设计参数

各处理站主要构筑物的设计参数见表 2.

1. 2. 3 技术原理

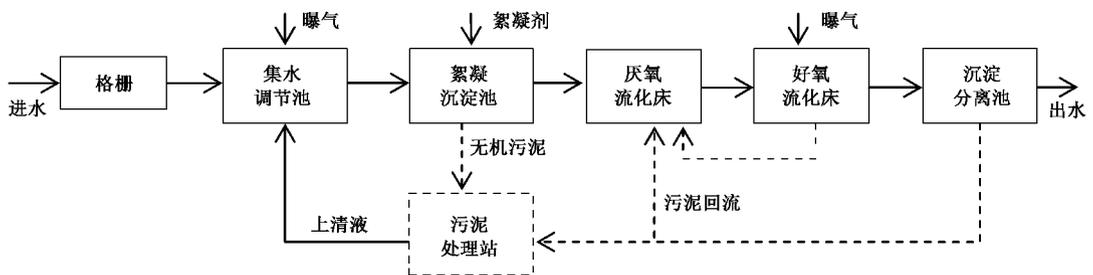


图 1 印染废水处理一般工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

表 2 各处理站主要构筑物设计参数

Table 2 Design parameters of main structures

构筑物名称	厂家	集水调节池	缺氧段	厌氧段	好氧段 1	好氧段 2	三相分离系统	沉淀分离池
容积负荷 (COD) /kg·(m ³ ·d) ⁻¹	江门嘉成	—	—	2. 00	1. 48	0. 82	2. 50 ¹⁾	1. 20 ¹⁾
	恩平立一	—	—	3. 87	1. 46	0. 548	2. 00 ¹⁾	1. 20 ¹⁾
	东莞紫丽	0. 95 ¹⁾	—	1. 38	1. 29	—	1. 70 ¹⁾	1. 30 ¹⁾
停留时间/h	江门嘉成	24. 0	3. 0	8. 0	6. 0	6. 0	2. 0	0. 33
	恩平立一	18. 0	4. 0	18. 0	9. 0	7. 0	2. 0	0. 5
	东莞紫丽	10. 5	3. 8	8. 0	8. 0	—	2. 0	2. 5

1) 表面负荷, m·h⁻¹

(1) 预处理

废水经格栅去除大颗粒的悬浮物后, 进入预处理阶段. 根据各工程废水的特点, 采用不同的预处理方法. 新会嘉成处理站由于漂染废水中含有部分大分子染料, 而这些物质对微生物有一定的毒性, 因此

在集水调节池后设置竖流沉淀池, 通过添加混凝剂, 去除颗粒稍小的悬浮物和部分的 COD 成分, 再进入生物系统. 恩平立一处理站因其废水中含有高浓度的难生化处理的 PVA, 首先在生物系统前设置水解酸化池利用酸性水解作用去除高浓度的 PVA、胶体

和硫化物;在进入好氧流化床前,设置生物絮凝沉淀池,向池中投加生物絮凝剂,吸附大分子有机物,再将吸附了大分子有机物的污泥回流至厌氧流化床,延长难降解有机物的停留时间,同时降低了废水 SS 和色度. 东莞紫丽废水水质波动较大且水温比较高,直接进入生物系统将会导致微生物的死亡. 因此,该工艺在调节池上部设一预混凝沉淀池,并在调节池里设置降温系统,起到稳定生物系统进水水质的作用.

(2) 生物处理 A/O 流化床

3 个工程案例的主体工艺均采用本课题组自行设计的新型生物流化床组合工艺. 生物流化床技术是目前国内外一致公认的效率较高的有机废水生物处理技术. 它具有反应器结构简单,流体传质传热与混合性能良好,低剪切而保持高的生物浓度及生物活性,不需污泥回流,节省动力及结构紧凑,单位体积负荷大,抗负荷冲击能力强,运行成本低及操作方便等优点^[13].

本研究报道的厌氧流化床是一种射流循环厌氧生物流化床,内设搅拌机和底部水射器,结构如图 2 所示. 该种射流厌氧流化床的特点是:回流水出口设在反应区顶部,以反应区出水作为回流水,实现反应区内循环,降低了三相分离区的水流量,改善污泥沉淀区的水力条件,减小分离区体积^[14]. 将厌氧流化床控制在 2 个阶段:缺氧段和厌氧段. 缺氧段的水力停留时间控制在比较短的时间内,通常是 6~8 h,它的作用在于利用兼氧菌使来自沉淀池废水 DO 降至 0.1 mg/L 以下,为进入完全的厌氧过程作准备,同时降低废水的部分 COD、BOD,初步分解有机物,尤其是芳香族化合物在此阶段进行开环反应. 厌氧段将大分子有机物如染料、浆料、烷基苯磺酸盐等转化为易降解的小分子化合物,提高好氧降解的可生化性. 此过程还起到反硝化的作用,去除部分 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$. 通过缺氧/厌氧流化床可以改变有机物的局部结构,提高废水的可生化性,为后续的好氧过程充分降解有机污染物打下良好基础.

为了强化好氧流化床反应器的性能,将普通的内循环流化床内导流筒改成三段或多段,在流化床内部形成多重环流^[15],实现快速混合与降低启动压力的目的,而顶部的高效分离区又能使载体和清水充分分离,底部直接采用华南理工大学研制卧式流化床的丰型分布器,反应器顶部设置导流挡板^[16]. 这种新型反应器的结构如图 3 所示. 其中填充体积分数 15% 左右的颗粒状活性炭和木屑为载体. 在流

化床外侧设置三相分离区,流化床出水在分离区内进行固液分离,避免出水带走载体和微生物;沉淀于分离区底部的载体和污泥依靠内吸自动回流至流化床降流区,保证流化床内的微生物量并实现污泥减量化. 这一过程的实现,使得反应器中的 HRT 和 SRT 完全分离,避免了传统活性污泥法工艺因污泥回流所带来的巨大能耗,减少了池体体积,同时也由于其较长的 SRT,有利于培养适于流化床处理的废水水质特点的特殊微生物的生长,提高反应器对难生物降解废水的处理性能.

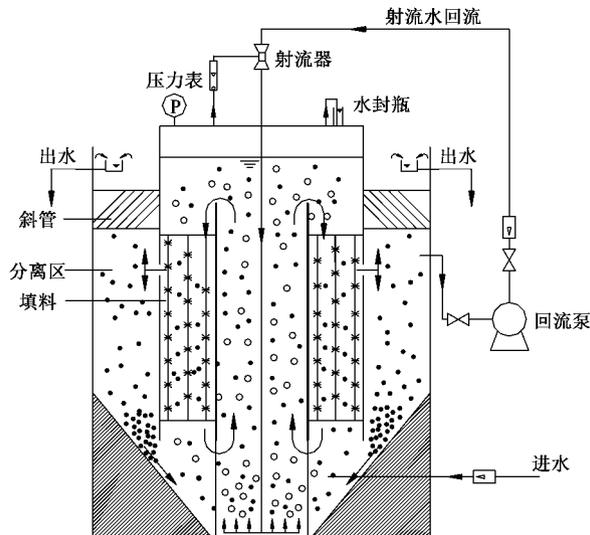


图 2 射流循环厌氧生物流化床结构

Fig. 2 Schematic of Jet loop anaerobic biological fluidized bed

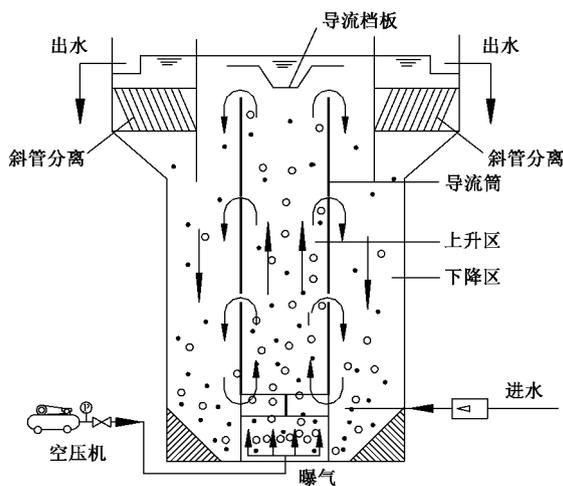


图 3 好氧生物三相流化床结构

Fig. 3 Schematic of aerobic biological fluidized bed

(3) 深度处理

经过前处理和生物流化床处理,废水的大部分指标如 COD、BOD、SS 等已基本达到了当地的排放

标准.为了稳定长效达标排放,3个案例中均采用混凝技术结合砂滤工艺作为后处理工段,混凝技术充分考虑药剂种类、反应机制与分离效率的有效结合,再通过过滤工艺拦截残余的细小颗粒污泥.

(4) 回用技术

根据企业对水回用的要求,设计不同的废水回用系统.嘉成废水处理站在砂滤池后增加一澄清过滤器.澄清过滤器是一套给水处理设备,包括水力澄清池和无阀滤池两部分.恩平立一工程回用系统包括臭氧催化氧化和无机膜过滤.经过深度处理的外排水可以回用到生产过程中.

2 工程效果分析

2.1 过程数据分析

3个工程经过了几年的运行,始终保持着高效的污染物去除效率.为考察前处理、生物处理、后处理等各个工艺段的处理效果,将近2年3个工程的主要工艺单元主要污染物指标的进、出水平均值数据综合分析列于表3中.从表3可以看出,厌氧池虽然去除COD、BOD的能力有限,去除率只有20%~

30%,但其具有良好的脱色功能,色度去除率达55%,因为厌氧段主要作用是将大分子有机物分解为小分子物质,提高废水的可生化性.废水经过厌氧段,BOD/COD值由原来的0.1提高到了0.3以上,废水组成已明显改变,这对于好氧生物处理效能的发挥具有重要的意义.从好氧段的数据可以看出,好氧段发挥了理想的去除COD、BOD的效果,出水已基本达到排放标准.经过砂滤池,出水水质优于当地要求的排放标准.

污泥处理方面,该组合工艺的剩余污泥主要来自混凝过程产生的无机污泥.因生物系统能在工艺内部消除污泥的增值.有机污泥绝大部分停留在厌氧阶段,经长时间的消化过程,有机物成分转变成小分子化合物如乙酸、丙酸和甲烷.好氧阶段产生的污泥通过回流进入厌氧阶段,基本停留在池底或处于悬浮状态,可实现充分的降解产生甲烷气体.污泥在厌氧段的减少量与好氧段的污泥增加量能够基本持平,即整个厌氧/好氧工艺基本无剩余污泥外排.因此流化床组合工艺的污泥产生率仅为常规活性污泥法的1/10,可实现每年清理一次的简单化管理.

表3 主要工艺单元主要污染指标的去除率

Table 3 Wastewater treatment results of each unit

项目	厂家	进水	预处理		厌氧段		好氧1		好氧2		深度处理		总去除率/%
			出水	去除率/%	出水	去除率/%	出水	去除率/%	出水	去除率/%	出水	去除率/%	
COD/mg·L ⁻¹	江门嘉成	3 000	1 850	41.7	1 225	39.5	306	75	110	64.0	80	27.3	97.3
	恩平立一	4 000	2 903	27.4	610 ¹⁾	79.0	183	70.0	82	55.2	78	4.9	98.1
	东莞紫丽	2 000	1 230	38.5	750	39.0	115	85.0	—	—	85	26.1	95.8
BOD ₅ /mg·L ⁻¹	江门嘉成	600	430	29.3	350	18.6	52.5	85.0	17.2	67.2	15	12.8	97.5
	恩平立一	800	520	35	231 ¹⁾	55.6	66	71.4	23	65.2	20	13.0	98.7
	东莞紫丽	400	310	22.5	250	19.4	27	89.2	—	—	18	33.3	96.2
色度/倍	江门嘉成	2 000	450	77.5	203	54.9	81.2	60.0	40.6	50.0	36.5	10.1	98.2
	恩平立一	2 250	1504	33.2	354 ¹⁾	76.5	106	70.1	37	65.1	33	10.8	98.5
	东莞紫丽	1 000	700	30.0	280	60.0	84	70.0	—	—	25	70.2	97.5

1) 恩平立一厌氧段数据是指废水经厌氧流化床和生物絮凝池后的排水数据

2.2 投资运行费用分析

恩平立一废水处理工程进水水量大,废水水质差,且当地对出水的要求较高,其单元投资及运行费用都相对较高.东莞紫丽废水处理工程规模大,且其排放标准对出水水质的要求也较高,但是其单元投

资和总运行费用相比于其他2个工程却最低,更体现了流化床工艺处理工程规模大的有机废水上的优势.总体而言,流化床工艺处理印染废水能够节省大量的药剂费,总的运行费用在1.0元/m³左右.3个处理工程的基建费用和运行费用如表4所示.

表4 各工程费用分析

Table 4 Cost of the processes

厂家	基建费用		运行费用				总运行费/元·m ⁻³
	工程总投资/万元	单元投资/元·m ⁻³	电费/元·m ⁻³	人工费/元·m ⁻³	药剂费/元·m ⁻³		
江门嘉成	177.7	1 480	0.36	0.2	0.30~0.40	0.86~0.96	
恩平立一	399.5	1 995	0.67	0.05	0.45	1.17	
东莞紫丽	1 232.2	933.5	0.48	0.03	0.20~0.25	0.85~0.90	

2.3 与不同工艺运行效果的对比

表 5 对比了不同工艺处理印染废水的效果. 数据显示,应用 A/O 新型生物流化床组合工艺处理印染废水,具有停留时间短,容积负荷高,污染物质去除效率高. 生物流化床的一个显著特点在于高生物量总固体浓度,高生物量浓度减少了处理的水力停留时间. 生物流化床在正常的流化态条件下所有工况与物料分布均接近全混流^[15],从而克服了传统活性污泥法的不完全混合及氧传质

效率不高等问题,使得颗粒与液体之间的界面不断更新,加上水、气流紊动情况较好,提高了基质和氧的传递速度,从而提高了生化反应的速度. 以往实验证明,三重环流的生物流化床气相含率高,能够使氧的传质系数较普通的环流反应器提高 10% ~ 15%^[17]. 同时由于生物浓度高、传质效果好,含高浓度有毒物质废水进入流化床后就能很快得到混合与稀释,提高了反应器耐负荷冲击能力^[18].

表 5 不同工艺处理印染废水的比较

Table 5 Comparison of different process for dyeing wastewater treatment

工艺	生物段 HRT/h	容积负荷 (COD) /kg·(m ³ ·d) ⁻¹	COD 去除率 /%	色度去除率 /%	文献
A/O 活性污泥法	36	3.47	78.4	92.0	[19]
接触氧化法	46	0.80	93.0	97.0	[20]
BAF	18	2 ~ 3.01	85.0	95.0	[21]
CASS	14	1.0	96.0	98.0	[22]
A/O 新型流化床	8 ~ 18	1.75 ~ 4.75	95.8 ~ 97.3	97.5 ~ 98.5	本研究

3 印染废水处理低碳技术工艺的提出

从上述 3 个工程案例可以看出,不同规模的废水工程采用 A/O 组合的生物流化床技术与一般物化方法相结合在技术上具有可行性,在经济上具有合理性,完全能够达到广东省一级排放标准的要求. 尽管如此,随着排放标准的日趋严格和水费的不断上涨,兼具技术和经济可行性的印染废水深度处理和回用技术的结合将成为未来研究的重点. 基于此,可以将印染废水处理的流程归纳为预处理、生物处理、后处理(达标)和深度处理(回用)4 个阶段,通过有效组合以适应未来日趋严格的排放要求,提高水的回用率. 预处理的目的在于去除悬浮物与部分色度成分污染物,调节生物系统进水的水质,降低部

分负荷,节省动力能耗,然而,此部分付出了一定的化学能,产生化学污泥;生物处理需要考虑高效型的反应器,通过氧利用率提高、过程污泥减量化的实现、污泥活性的保持以及生物过程污染物化学转化的适配进行优化;后处理工艺主要考虑生物处理出水中悬浮物、胶体物质及残余有机物,其中 SMP、POPs 和 EDCs 等成分最需关注;深度处理工艺则是针对小颗粒物、盐分以及废水中的痕量有机污染物的去除,实现回用与安全的目标,在深度处理中,高级氧化过程结合膜技术具有优势. 在上述组合工艺运行基础上,将低碳思想融入未来废水处理工艺中,开发了在处理工艺中改变传统能源的输入,利用太阳能转换装置,在生物处理曝气、后处理的光催化中充分利用太阳能,减少工艺中能源的输入,如图 4

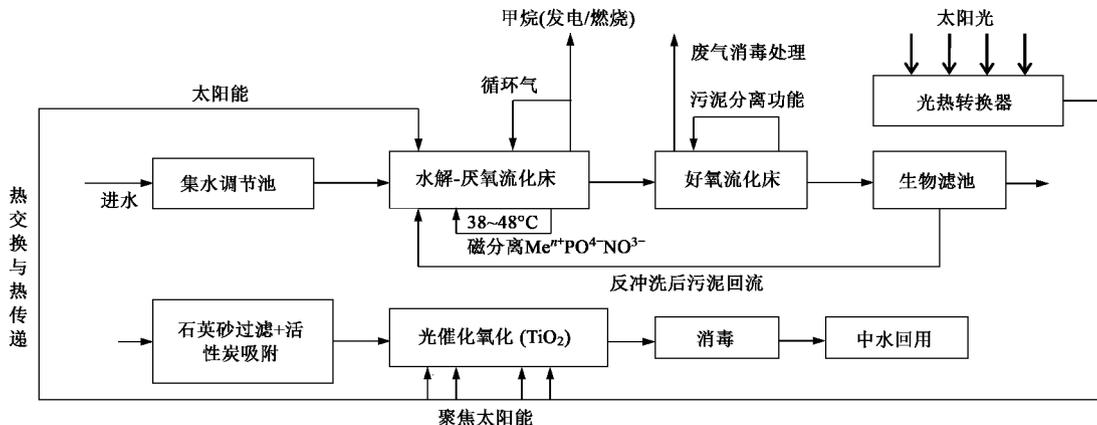


图 4 生物流化床低碳技术工艺处理印染废水工艺流程

Fig. 4 Flow chart of wastewater treatment process with solar energy

所示为一流化床利用太阳能实现低碳技术处理印染废水工艺的流程,其中试装置正准备投入运行。

4 结论

(1)采用新型生物流化床组合工艺能够有效地处理印染废水.新型生物三相流化床结构紧凑,占地面积小,具有停留时间短、容积负荷高、抗冲击能力强以及有机污染物降解效率高等特点,成为现代印染废水高效处理的一种技术选择。

(2)厌氧流化床采用水射流进行搅拌,使废水与厌氧污泥充分混合与接触,最大限度地利用厌氧微生物的处理能力,实现 50% 以上的脱色效率,通过局部的完全厌氧作用或生物吸附作用使废水 COD、BOD 值部分去除,同时改变废水水质组成而有利于好氧过程.好氧生物三相流化床的内导流筒采用多重环流结构,实现强化传质,提高氧的利用率,对降低系统能耗起决定作用,此反应器内废水的 COD、BOD 去除率能够达到 70% ~ 90%,容积负荷达到 3.4 kg/(m³·d) 及 1.7 kg/(m³·d),显示出高效性。

(3)生物流化床组合工艺能够充分发挥厌氧-好氧耦合的优势,将大部分污泥停留在厌氧段,由于分离区的实现使厌氧段较长的固体停留时间而有利于污泥厌氧消化,降低整个系统的剩余污泥量。

(4)未来的印染废水处理工艺应当追求生态安全与低碳技术的结合,即将低碳思想融入未来废水处理工艺中,发展低能耗、低污染、低排放的高效型低碳废水处理新工艺,要求系统集成与综合优化。

参考文献:

- [1] 王建庆,李桂生,李戎. 节能减排与我国印染行业的技术进步[J]. 染整技术, 2008, **30**(6): 26-30.
- [2] Dos Santos A B, Cervantes F J, Van Lier J B. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology [J]. *Bioresource Technology*, 2007, **98**(12): 2369-2385.
- [3] Weisburger J H. Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health [J]. *Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 2002, **506-507**: 9-20.
- [4] 朱虹,孙杰,李剑超. 印染废水处理技术[M]. 北京: 中国纺

织工业出版社, 2004. 4-15.

- [5] 章杰. 近三十年我国染料工业的发展[J]. 印染, 2005, **31**(9): 38-43.
- [6] 陈季华. 纺织染整废水处理技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008. 16-18.
- [7] 张林生. 印染废水处理技术及典型工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 44-45.
- [8] Van der Zee F P, Villaverde S. Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes—A short review of bioreactor studies [J]. *Water Research*, 2005, **39**(8): 1425-1440.
- [9] Hao O J, Kim H, Chiang P C. Decolorization of wastewater [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1999, **30**(4): 449-505.
- [10] 张国平,徐宏凯,李士安,等. 高含盐印染废水的处理回用 [J]. *净水技术*. 2006, **25**(2): 59-61.
- [11] Rozzi A, Malpei F, Bonomo L, *et al.* Textile wastewater reuse in northern Italy (Como) [J]. *Water Science and Technology*. 1999, **39**(5): 121-128.
- [12] Hai F I, Yamamoto K, Fukushi K. Hybrid treatment systems for dye wastewater [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2007, **37**(4): 315-377.
- [13] 韦朝海,焦向东,陈焕钦. 生物好氧流化床废水处理技术研究进展 [J]. *环境科学与技术*, 1998, (4): 5-9.
- [14] 韦朝海,王文祥,吴超飞. 射流循环厌氧流化床两相厌氧处理高浓度硫酸盐有机废水 [J]. *化工学报*, 2007, **58**(1): 205-211.
- [15] 韦朝海,谢波,吴超飞,等. 三重环流生物流化床反应器的混合特性 [J]. *化学反应工程与工艺*, 1999, **15**(2): 174-178.
- [16] 韦朝海,李磊,吴锦华,等. 漏斗型导流内构件对内循环三相流化床流体力学与传质特性的影响 [J]. *化工学报*, 2007, **58**(3): 591-595.
- [17] 韦朝海,谢波,吴超飞,等. 三重环流生物流化床的流体力学与传质特性 [J]. *化学反应工程与工艺*, 1999, **15**(2): 166-173.
- [18] 韦朝海,吴锦华,慎义勇,等. 优势菌种与三重环流三相流化床耦合处理油制气厂废水 [J]. *环境科学学报*, 2002, **22**(2): 171-176.
- [19] 曾建新. “厌氧+兼氧+好氧+物化”工艺处理印染废水 [J]. *化学工业与工程技术*, 2009, **30**(4): 52-54.
- [20] 陈平. 棉纺印染废水的处理工艺 [J]. *给水排水*, 2009, **35**(6): 65-70.
- [21] 李川. 水解酸化-活性污泥法处理印染废水研究 [J]. *环境工程学报*, 2009, **3**(10): 1789-1792.
- [22] 陈中健,杨玉杰,黄永明. 应用 CASS 工艺处理印染废水的工程实例 [J]. *给水排水*, 2009, **35**(11): 73-75.