

厌氧/好氧/Fenton 流化床工艺处理废纸造纸综合废水

郑利, 王祥勇, 郑翔, 胡圣迪
(中国海诚工程科技股份有限公司, 上海 200031)

摘要: 越南某工业园区项目采用厌氧/好氧/Fenton 流化床工艺处理以废纸为原料生产瓦楞纸的造纸综合废水。预处理采用带盖板的水力弧形筛取代传统的斜筛,改善操作环境;冷却塔采用全玻璃钢结构的横流式污水冷却塔,防腐性能好,不易堵塞;厌氧工艺采用 UASB Plus 反应器,水力负荷为 $10.5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$;好氧曝气采用微孔管式曝气器,可在线起吊检修,膜片材质为硅橡胶;深度处理采用 Fenton 流化床工艺。处理后出水 $\text{SCOD} \leq 48 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 12 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 25 \text{ mg/L}$,满足当地环保排放要求。

关键词: 造纸综合废水; UASB Plus; Fenton 流化床

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)24-0070-05

Application of Anaerobic – Aerobic – Fenton Fluidized Bed Process in Wastewater Treatment from Paper Making with Recycled Paper

ZHENG Li, WANG Xiang-yong, ZHENG Xiang, HU Sheng-di
(China Haisum Engineering Co. Ltd., Shanghai 200031, China)

Abstract: The treatment process of anaerobic – aerobic – Fenton fluidized bed was adopted in wastewater treatment from paper making process with recycled paper in Vietnam. The arc screen with cover was used in pretreatment instead of the traditional inclined screen to improve the operation condition. The cooling tower was a type of cross-flow cooling tower with full glass fiber reinforced structure. So the cooling tower was resistant to corrosion and not easy to be jammed. Anaerobic treatment adopted UASB Plus with hydraulic loading as $10.5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$. Aeration distribution system adopted pipe fine bubble diffusers made of silicone diaphragm, which could be maintained online. Advanced treatment used patented Fenton FBR. The treated water quality was as follows: $\text{SCOD} \leq 48 \text{ mg/L}$, $\text{BOD}_5 \leq 12 \text{ mg/L}$, $\text{SS} \leq 25 \text{ mg/L}$, which could meet the demand of local environmental standard.

Key words: integrated paper wastewater; UASB Plus; Fenton FBR

某项目位于越南南部某工业园区内,生产工艺拟利用进口美废(AOCC)生产瓦楞箱板纸,一期、二期产品年产总量为 $70 \times 10^4 \text{ t}$,产生的生产及生活废水排入厂内配套废水处理站。为配合生产分期,废水站处理线分为两个可以独立运行的系列,总处理能力为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1 设计进、出水水质

进水为厂内生产废水和生活污水,进水水质参

照业主《废水处理工程规范书》及类似项目数据,排水水质要求执行越南国家行业标准《制浆造纸废水国家技术规程》(QCVN 12 – MT_2015/BTNMT) A 级及环保报告要求。

废水经处理达标后排入厂区附近的市政工业排水管,管道直径为 DN1 200,2 km 后纳入工业园区雨水总管。

具体设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

| 项 目 | SCOD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 温度/ ℃ | 色度/ 倍 |
|-----|--|---|--|----------|----------|
| 进水 | 4 500 | 2 000 | 2 000 | 50 | 400 |
| 出水 | 50 | 15 | 30 | — | 40 |

2 工艺流程及工艺设计^[1-3]

本项目废水处理采用厌氧/好氧/Fenton 流化床工艺,具体流程为弧形筛 + 冷却塔 + 初沉池 + 预酸化 + UASB Plus + 曝气池 + Fenton 流化床,如图 1 所示。

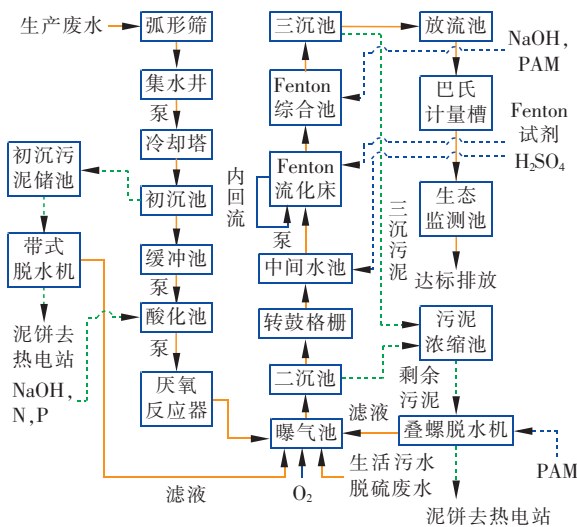


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

2.1 预处理单元

预处理单元主要包括弧形筛、集水井、冷却塔、初沉池、调节池。

① 弧形筛及集水井

生产车间来水为压力流,含有大量的纤维状颗粒。传统的斜网卫生条件差,操作人员劳动强度大;转鼓过滤机易堵塞,清洗困难。本设计采用了筛缝为 3 mm 的带盖板弧形水力筛,改善了卫生条件,同时设备没有传动机构,维护量小,只有清水冲洗用的气缸摆动装置是传动件,清洗也方便。

集水井设置在弧形筛下方,弧形筛出水直接流到集水井,然后用泵抽送至冷却塔。

② 冷却塔、初沉池、调节池

采用污水横流式冷却塔,玻璃钢结构,不易堵塞,维修方便,耐腐蚀性好,噪声也小。冷却塔出水重力流入初沉池。

初沉池采用圆形辐流式,设计表面负荷为 $0.68 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,刮泥机设机械开关和扭矩开关双重保护,有效解决了池底泥层过厚或突然停运而导致的设备损坏及变形问题。初沉池排泥泵入初沉污泥储池,初沉污泥泵采用转子泵,该类型泵耐磨损,维护工作量小。

缓冲池设置在冷却塔的正下方,可根据工艺运行条件控制液位高度,以满足调质调量的功能需要,池内设潜水搅拌机,防止池底有沉积物。缓冲池出水提升至预酸化池。

主要构筑物:初沉池 2 座, $\varnothing 28 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$,配水井 $\varnothing 5.7 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$,设配水分隔闸门;刮泥机材质:水下部分为 SS304,水上部分为碳钢防腐;刮泥机功率为 $2 \times 0.37 \text{ kW}$ 。

2.2 厌氧处理单元

厌氧处理单元主要包括预酸化池、厌氧反应器、沼气系统。

预酸化池内分为 2 格,分别与 2 台厌氧反应器 UASB Plus (以下简称 UP)相对应,池内设有潜水搅拌机。

UASB Plus 本质上是一个高效的上流式厌氧污泥床反应器。在反应器里,有机物在厌氧条件下被微生物转化为沼气和二氧化碳,上部的三相分离器可以在水流湍动的情况下实现气体、水和污泥分离。其显著特点是容积负荷高,可高达 $10 \sim 18 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$;反应器高度高达 18 m,远高于普通 UASB 反应器,因而单池容积大,处理水量大。

UP 反应器的设计负荷为 $10.5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,为保证厌氧的正常运行,要求 $\text{SCOD}/\text{SO}_4^{2-} \geq 5$;硫酸根浓度不能超过 900 mg/L ;预计厌氧段对 COD 的去除率 $\geq 70\%$ 。UP 出水进入好氧系统曝气池,产生的沼气引至沼气稳压柜,之后有两个出路,一路是正常情况下送去厂区发电站的焚烧炉作为补充燃料,二是非正常状态下(当焚烧炉发生事故或检修时),沼气出路切换到火炬燃烧。本设计采用的火炬为内燃式火炬,无外露明火;沼气稳压柜采用进口双膜气柜,沼气专用膜材,安装快捷,具有防紫外、耐腐蚀、耐磨性、抗菌、抗甲烷渗透性。气柜配有安全水封作为超压保护,配有超声波测距仪和压力传感器监测储量和膜压,工作压力为 2.5 kPa ,可以上下微调,超压保护装置 - 水封设定的额定工作压力为 3.6 kPa 。

主要构筑物及设备:

酸化池1座,分成2格,单格尺寸为 $16\text{ m} \times 11\text{ m} \times 5.5\text{ m}$,有效水深为 5 m ,搅拌机4台,材质SS316L。

UP反应器2座,罐体尺寸为 $\varnothing 18\text{ m} \times 18\text{ m}$,材质采用碳钢Q345+Q235B。

沼气稳压柜及火炬1座,双膜气柜, 150 m^3 ,双面PVC/PVDF涂层;1套沼气火炬,处理能力为 $1\,800\text{ m}^3/\text{h}$, $\varnothing 3\text{ m} \times 9\text{ m}$,壳体碳钢耐高温防腐,喷嘴材质310S,配置长明灯。

2.3 好氧处理单元

好氧处理单元包括曝气池、二沉池及鼓风系统。

曝气池采用传统推流式,分为4格,有效水深为 7 m ,配水采用可调式堰门。曝气池每格分别与4个二沉池相对应,每个系列都可以单独运行。曝气池污染物负荷设计值为 $1.2\text{ kgSCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,MLSS设计值为 $6\,000\text{ mg/L}$ 。

曝气系统采用德国REHAU微孔曝气管,充氧效率高,膜片材质为硅橡胶,不易老化和结垢,可在线提升清洗维护。曝气池供氧采用韩国空气悬浮鼓风机,高效节能环保,低噪声,无震动,维护工作少,运行控制方式多样化。每台设备配置PLC控制系统,运行信号及参数上传至废水站DCS系统。

二沉池采用圆形辐流式,表面负荷为 $0.40\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,刮泥机设机械开关和扭矩开关双重保护。二沉池出水流至中间水池,污泥回流泵按 $100\% \sim 200\%$ 配置,变频可调;剩余污泥泵提升至污泥浓缩池,变频可调,也可根据运行需要定时或连续排泥。

主要构筑物及设备:

曝气池4组,每组尺寸为 $90\text{ m} \times 12\text{ m} \times 8\text{ m}$,有效水深为 7 m 。

曝气系统,配 $\varnothing 92\text{ mm}$ 曝气管3264m。

鼓风机8台(6用2备),风量为 $100\text{ Nm}^3/\text{min}$,风压 79.6 kPa ,功率 175 kW ,叶轮材质:AI7075锻造铝合金,配套控制系统。风量 $52\% \sim 100\%$ 可调。

二沉池4座,混凝土结构,尺寸为 $\varnothing 26\text{ m} \times 5.0\text{ m}$;刮泥机材质:水下部分SS304,水上部分碳钢防腐;刮泥机功率: $2 \times 0.37\text{ kW}$ 。

2.4 Fenton深度处理

为改善以往Fenton流化床底部布水系统易于堵塞的状况,在中间水池前设置了 2 mm 的转鼓格栅,拦截大的漂浮物或杂质,并在泵入口设置管道过

滤器,确保布水系统不会发生堵塞。

中间水池会投加一定量的 H_2SO_4 ,降低pH值至 5.5 左右,出水通过泵提升至Fenton流化床,在流化床顶部分别投加亚铁盐($5\%\text{ Fe}^{2+}$)和 H_2O_2 (27.5%)(投加在顶部不同的分隔槽内),流化床内的pH值控制在 $3.5 \sim 3.8$,分别设有亚铁盐和双氧水的循环水回流泵,在底部不同的高度和配水系统混合,同时维持罐体内一定的上升流速($36 \sim 40\text{ m/h}$),实现石英砂载体的流化。

Fenton流化床出水依次重力流经pH值调节池、脱气池、絮凝池,pH值调节池内投加硫酸调整pH值至中性,脱气池内鼓入空气,絮凝池内投加PAM以增强絮凝效果,絮凝池出水流至三沉池。

三沉池为圆形辐流式,设计表面负荷为 $0.68\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,刮泥机设机械开关和扭矩开关双重保护。三沉池出水达标排至放流池,经巴氏计量槽后流入生态监测池,然后排入园区市政管网。

如出水不达标,用放流泵提升至事故池再做后续处理。

主要构筑物及设备:

转鼓格栅筛网孔径为 2 mm , 1.1 kW ,材质SS304。

中间水池1座, $7\text{ m} \times 7\text{ m} \times 4.8\text{ m}$,有效水深为 4.2 m ,设立式搅拌机,材质碳钢包胶,功率为 18.5 kW 。

Fenton流化床2套, $\varnothing 3.85\text{ m} \times 12.9\text{ m}$,初次运行需要内装 $\varnothing 0.5\text{ mm}$ 石英砂 50 t 。

Fenton综合池2个系列,每个系列配置如下:

a. pH值中和池2格,每格 $3.20\text{ m} \times 3.35\text{ m} \times 4.0\text{ m}$,有效水深为 3.30 m ,空气搅拌;

b. 脱气池2格,每格 $3.20\text{ m} \times 3.35\text{ m} \times 4.0\text{ m}$,有效水深为 3.30 m ,空气搅拌;

c. 絮凝池2格,每格 $3.20\text{ m} \times 3.35\text{ m} \times 4.0\text{ m}$,第一格空气搅拌,第二格搅拌机搅拌。

三沉池2座, $\varnothing 28\text{ m} \times 4.5\text{ m}$;刮泥机材质:水下部分SS304,水上部分碳钢防腐;刮泥机功率: $2 \times 0.37\text{ kW}$ 。

H_2O_2 储罐: 60 m^3 ,材质SS316L,槽罐设温度检测和自动喷淋水。

FeSO_4 溶解/溶液池4格,2格溶解,2格储存,每格 $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 5\text{ m}$,有效水深为 4 m ;溶解池搅拌机功率为 18.5 kW ,溶液池搅拌机功率为 11 kW ,浆

叶材质为碳钢包胶。

2.5 污泥脱水系统

初沉污泥经絮凝剂调理后,直接进入带式浓缩脱水一体机。该机型上部为预浓缩部分,下部为脱水部分。设备上部T型辊材质为SS304,下部挤压辊材质为20#钢包胶,滤带为耐磨耐腐蚀的聚酯材料。

剩余污泥、三沉污泥经污泥浓缩池浓缩,投加絮凝剂调理后进入叠螺脱水机。污泥浓缩池设刮泥机。脱水机滤液及浓缩池上清液重力流回曝气池。

预估整个处理过程中产生的绝干污泥量为56 t/d,预计经脱水处理后,污泥干度可达20%;然后运转厂内自备热电站,经干燥处理后送入焚烧炉。

2.6 事故池、生态监测池

根据当地环保要求,事故池停留时间不得低于18 h,生态监测池停留时间不得低于24 h。考虑到二期工程,总的废水处理量将达到30 000 m³/d,事故池、生态监测池由本期统一考虑。事故池总有效容积为28 000 m³,水力停留时间为22.5 h,分为2个池子,采用混凝土结构。生态监测池的有效容积为30 000 m³,水力停留时间为24 h,池体结构采用自然土夯实,并敷设HDPE土工膜(1.5 mm厚),侧壁斜坡另外在土工膜上敷设100 mm厚的素混凝土保护。

废纸堆场的初期雨水收集后送至事故池,根据运行状况,择时由泵提升至集水井进行后续处理。

2.7 臭气处理系统

酸化池、厌氧污泥池考虑臭气收集,收集后送入洗涤塔,通过投加碱液中和处理后排放。池体换气次数按6~8次/h计算。UP反应器不产生臭气。

臭气洗涤塔尺寸为 $\phi 1.8\text{ m} \times 4.8\text{ m}$,玻璃钢结构,处理量为70 m³/min。

3 设计重点、难点

① 控制厌氧反应的酸化度在30%左右,减少碱的投加量。

② 热电站脱硫废水含有较高的硫化物,而硫化物对厌氧菌有抑制作用,不宜直接进入厌氧系统,设计改为直接进入好氧系统。

③ 由于鼓风机出口最高温度可高达110℃左右,在人能碰到的风管处采取了防烫措施。同时,防止鼓风机房内形成负压,进风采用机械进风。

④ 配置了柴油发电机,以便在厂区发生停电

时维持工艺一些关键设备的连续运行。设计中考虑需要应急供电的设备主要有2台鼓风机、Fenton流化床的8台循环泵、集水井提升泵。鼓风机主要用来维持曝气池污泥的活性,防止污泥沉降后活性变差和堵塞微孔曝气管。Fenton流化床的循环泵需要连续运转,主要是防止流化床内晶化的石英砂沉降,一旦发生沉降,再次启动时很难靠水力条件将其流化。

⑤ H₂O₂受热光照易分解,有潜在爆炸危险。设计中,H₂O₂储罐所在化学品区设置顶棚防雨淋和光照,同时储罐配置了温度探测器和自动喷流水,一旦介质温度超过设定值,立刻启动喷淋水降温。项目所在位置为越南南部,热带气候,常年高温,尤其需要关注H₂O₂储存环境。

⑥ 初沉污泥考虑设有旁通接到剩余污泥储池的管路,初沉污泥脱水性能优于剩余污泥和三沉污泥,在剩余污泥、三沉污泥脱水性能不佳时适量加入初沉污泥,可以改善污泥性能,提高脱水效率。

⑦ 越南南部常年为高温天气,污水冷却塔全年都要运行,要考虑适当的富余量,同时要考虑多台并联运行。

⑧ 当地的特殊环保要求:

a. 设置生态监测池。出水指标监测池置于生态监测池之前,停留时间不小于24 h,而且要靠近厂区围墙边,周边不能种植高的植物,以免影响视线,此处围墙要求通透性,便于厂外就可以直接观测到监测池的水质状况。生态监测池可以不在废水处理站区域内。

b. 设置事故池。事故池的水力停留时间要求不低于18 h。

c. 厂内废纸堆场区域的初期雨水要进行收集,并送入废水处理站一并处理,初期雨水量按照重现期2年、15 min的降雨量设计。

4 池体防腐及材料选择

① UP厌氧反应器采用碳钢材质,内防腐采用环氧底漆+焦油环氧漆中间漆及面漆,干膜厚度不小于350 μm;外防腐采用环氧底漆+环氧中间漆+聚氨酯面漆,干膜厚度不小于240 μm。

② 酸化池、厌氧污泥池、Fenton综合池、FeSO₄溶解/溶液池、化学品围堰采用FRP防腐,五油三布,干膜厚度不低于1 mm,手糊法施工。

③ Fenton流化床出水管采用SS316L材质,其

他废水管采用 SS304。沼气管、污泥管、PAM 加药管采用 SS304 材质,其他化学品采用 UPVC 材质,废气管采用 FRP 材质。

④ 金属球阀口径小于 50 mm 的,采用焊接式;UPVC 球阀口径小于 50 mm 的,采用承插粘接;口径大于 50 mm 的球阀采用法兰式。蝶阀采用对夹式,阀体及阀门材质为 SS304。

⑤ 池外部分的管道支架、预埋件采用碳钢防腐,池内部分的管道支架、预埋件采用 SS304。主管廊材质采用碳钢防腐。

5 经济分析

预估项目药耗、电耗见表 2。

表 2 工程药耗及电耗

Tab. 2 Chemicals and power consumption

| 项目 | 浓度/% | 用量 |
|---------------------------------------|------|-------------------------------------|
| 工业用水 | — | 0.01 m ³ /m ³ |
| NaOH | 30 | 0.12 kg/m ³ |
| H ₂ SO ₄ | 98 | 0.25 kg/m ³ |
| H ₃ PO ₄ | 85 | 0.035 kg/m ³ |
| 尿素 | — | 0.1 kg/m ³ |
| FeSO ₄ · 7H ₂ O | 90 | 0.5 ~ 0.6 kg/m ³ |
| H ₂ O ₂ | 27.5 | 0.6 kg/m ³ |
| PAM(阴离子) | — | 0.003 kg/m ³ |
| PAM(阳离子) | — | 3 kg/tDS |
| 电耗 | — | 0.13 kW · h/m ³ |

6 运行效果

目前产品生产线只上了一条,废水产生量为 9 500 m³/d,废水处理站运行一个系列,稳定运行时的平均进、出水水质见表 3。可见,出水水质完全达到了设计标准。稳定运行时,预处理 + 厌氧、好氧、Fenton 深度处理单元对 COD 的去除率分别为 75%、85%、72%。

表 3 实际进、出水水质

Tab. 3 Actual influent and effluent quality

| 项目 | SCOD/ (mg · L ⁻¹) | BOD ₅ / (mg · L ⁻¹) | SS/ (mg · L ⁻¹) | 温度/ ℃ |
|----|----------------------------------|---|--------------------------------|----------|
| 进水 | 4 600 | 1 500 | 2 200 | 50 |
| 出水 | 48 | 12 | 25 | — |

7 结语

预处理 + 厌氧处理 + 好氧处理 + Fenton 深度处

理工艺是比较成熟的废纸制浆造纸废水的典型处理工艺,能够保证出水水质达到严格的排放标准。

参考文献:

- [1] 时孝磊,李锋民,胡洪营. 水解酸化 - 好氧 - Fenton 氧化工艺处理制浆造纸废水工程实例[J]. 给水排水, 2012, 38(7): 47 - 51.
Shi Xiaolei, Li Fengmin, Hu Hongying. Application of hydrolytic acidification-aerobic biological treatment-Fenton process in pulping and papermaking wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(7): 47 - 51 (in Chinese).
- [2] 方明亮,杨云龙,翟家斌. 以造纸废水为主的某污水处理厂工艺设计[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 32 - 35.
Fang Mingliang, Yang Yunlong, Zhai Jiabin. Process design of a papermaking wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(4): 32 - 35 (in Chinese).
- [3] GB 50014—2006, 室外排水设计规范 (2016 年版) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
GB 50014 - 2006, Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering (2016 ed) [S]. Beijing: China Planning Press, 2016 (in Chinese).



作者简介:郑利(1974 -), 女, 安徽蒙城人, 硕士, 高级工程师, 主要从事给排水工程设计工作。

E-mail: 413039335@qq.com

收稿日期: 2018 - 06 - 13