

仪化 45 万吨/年 PTA 废水处理工程实例

魏昆生, 丁大勇

(中国石化仪征化纤股份有限公司给排水厂, 仪征 211900)

摘要: 仪化 45 万吨/年 PTA 污水处理场, 作为中石化“十五”重点项目仪化二期 45 万吨/年 PTA 项目的配套环保工程于 2001 年 10 月开工建设, 2003 年 4 月正式投产运行, 设计处理规模 9600 吨/天, 处理最大 COD 负荷 8500 mg/L。该套废水处理装置采用厌氧+两段好氧工艺, 国内负责设计, 重要装置和设备国外引进, 其中厌氧工艺引进德国 Enviroasian 公司的 AF 厌氧反应过滤器, 自控部分采用先进的 PLC 和 DCS 系统, 好氧装置选用完全混合+延时曝气。经过 1 年多的投运, 工艺、设备运转情况良好, 各项出水指标均达到水质排放标准, 2004 年 7 月通过了国家环保总局组织的验收。

关键词: 处理 PTA 废水; 厌氧+两段好氧工艺; AF 厌氧反应过滤器; 机械浓缩脱水一体化处理

PTA 化工生产装置生产过程的废水主要来源于工艺废水、残渣浆料、不定期清洗排放和检修停车清洗排放等废水, 主要含有对苯二甲酸 (TA)、苯甲酸 (BA)、精对苯二甲酸 (PTA)、醋酸 (AA)、以及甲酸、醋酸酯等, 其中 30% 的 COD 来源于对苯二甲酸 (TA), 40% ~ 50% 来源于精对苯二甲酸 (PTA), 有机污染物以溶解性和胶状物质存在, 具有有机物浓度高、成份复杂和水量水质变化幅度大等特点, 属于较难处理的工业废水之一。国内对 PTA 化工废水大多采用以 UASB+好氧为主的处理工艺, 但存在负荷去除率不高、达标排放困难等问题。仪征化纤公司为确保新建 45 万吨/年 PTA 化工装置排放的废水能达到国家《污水综合排放标准》(GB8978—96) 的排放要求, 引进了 AF 厌氧过滤器+两段好氧工艺处理 PTA 化工废水, 目前运行情况良好。

1 进场废水水量、水质及排放水质指标

1.1 设计进场废水水质、水量

表 1 设计进水参数

COD _{Cr} (mg/L)	水量 (m ³ /d)	COD _{Cr} 负荷 (m ³ /d)	BOD ₅ /COD _{Cr}	Mn (mg/L)	pH	TSS (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	FOG
≤8500	9600	81.6	>0.6	≤40	4~7	≤600	70~200	≤50

1.2 AF 厌氧过滤器出水指标

表 2 厌氧过滤器出水指标

COD _{Cr} (mg/L)	COD _{Cr} 去除率 (%)	Mn (mg/L)	Mn 去除率 (%)	备注
≤1700	≥80	≤17.5	≥50	指标和去除率不同时考核

1.3 水质排放指标

表 3 设计排放标准

项目	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	P (mg/L)	Mn (mg/L)	pH
指标	≤100	≤30	≤15	≤0.5	≤2	6~9

2 废水处理工艺流程

2.1 工艺流程介绍

进场 PTA 废水经换热器冷却后,进入厌氧均质池(PTA 化工装置事故情况下: $\text{COD}_{\text{Cr}} \geq 8500 \text{ mg/L}$ 、 $\text{pH} > 7$ 或 $\text{pH} < 4$ 时则切换进事故池),而后经重力流入中和池与 AF 回流水一道混合后进入泵槽;中和池内有蒸气伴热装置,并投加氨水和磷酸,经过 N、P 营养调节后的污水则由两台潜水泵分别提升到两座 AF 池,每条 AF 池提升管线上设 pH 投加点,根据设定的 pH 自动控制 NaOH 的投加量。经 AF 处理后的废水在重力作用下流入好氧单元,依次经过一段完全混合曝气池、二沉池、二段延时曝气池、终沉池、监护池处理后外排,AF 产生的沼气通过火炬燃烧。工艺装置内的剩余污泥经污泥脱水间的机械一体化浓缩、脱水设备处理后外运,详细工艺流程见图 1。

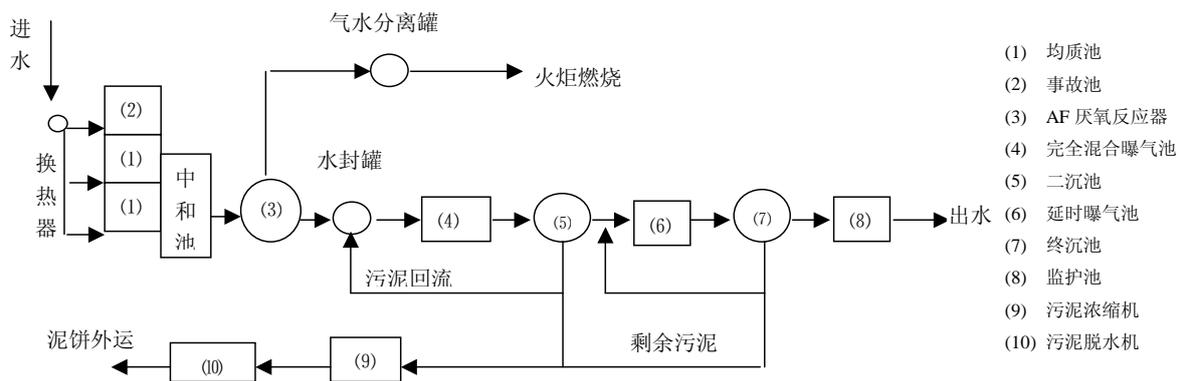


图 1 污水处理装置厌氧+两段好氧工艺布置图

AF 工艺采用上流式厌氧过滤器,该 AF 反应器比常见的 UASB 反应器更坚固可靠,更适用于层流模式下运行,能连续去除反应器底部的醋酸、苯甲酸和反应器上部的对苯二甲酸及邻苯二甲酸,反应器上部堆积着大量的填料,填料层下面、反应器底部 1~2 米内有一个膨胀的厌氧污泥床,污水中大部分有机成分通过反应器下部的特殊配水系统,经悬浮的污泥床和填料表面的污泥膜形成的混合生化系统而去除。

2.2 工艺构筑物及设备

① 均质池 2 座,每座尺寸 $58 \text{ m} \times 28 \text{ m} \times (6.0+0.7) \text{ m}$,各池对角安装 2 台 ABS 潜水搅拌机;事故池 1 座, $58 \text{ m} \times 28 \text{ m} \times (6+0.7) \text{ m}$,池对角安装 2 台 ABS 潜水搅拌机,另设 2 台污水提升泵。

② 中和池 1 座,尺寸为 $6.4 \text{ m} \times 6.4 \text{ m} \times (3.0+0.8) \text{ m}$,设 5.5 kW 搅拌机 1 台;泵槽 1 座,尺寸为 $6.4 \text{ m} \times 8.15 \text{ m} \times (2.15+1.65) \text{ m}$,槽底设 ABS 潜水进料泵 3 台。

③ AF 厌氧反应器 2 座,每座尺寸 $\phi 34.6 \text{ m} \times (8.4+1.1) \text{ m}$,设计容积负荷 $4.5 \sim 5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,污泥负荷率 $1 \text{ kgCOD}/\text{kgVSS} \cdot \text{d}$,停留时间 40 小时,内装 $14\,000 \text{ m}^3$ 填料;出水水封罐 1 座,尺寸为: $\phi 3 \text{ m} \times (7.2+0.8) \text{ m}$;气水分离罐 1 座,尺寸为 $\phi 2.8 \text{ m} \times 3.65 \text{ m}$ 。

④ 一段完全混合曝气池 2 座,每座尺寸 $22 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times (6.0+0.7) \text{ m}$,设计容积负荷 $2 \sim 2.5 \text{ kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$,停留时间 13.2 小时,底部安装 BZQ-W-192 型膜片式微孔曝气器 4992 套。

⑤ 二沉池 2 座,每座尺寸 $\phi 17 \text{ m} \times (3+0.5) \text{ m}$;设计表面负荷 $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

⑥ 二段延时曝气池 4 组,每组尺寸 $14 \text{ m} \times 53 \text{ m} \times (6.0+0.7) \text{ m}$,设计容积负荷 $0.3 \sim 0.35 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,停留时间 44.5 小时,底部安装 PZZ-150 型管式微孔曝气器。

⑦ 终沉池 2 座，每座尺寸 $\phi 24\text{ m}\times(3.5+0.5)\text{ m}$ ，设计表面负荷 $0.5\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。

⑧ 出水监护池 2 座，每座尺寸 $20\text{ m}\times 20\text{ m}\times(4+0.5)\text{ m}$ ，停留时间 8 小时，设有 2 台进口 KSB 潜水泵。

⑨ 污泥脱水间配备 2 台 $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$ ，ROS2BG2 型污泥螺压浓缩机和 2 台 $Q=10\text{ m}^3/\text{h}$ ，UCD305-00-02 型污泥离心脱水机，两套装置有各自先进的溶、配药系统，对剩余污泥进行机械浓缩脱水一体化处理。

各单元配套设备动力见表 1。

表 1 PTA 污水处理场工程配套动力一览

项 目	厌氧单元	好氧单元	污泥处理单元	循环水单元	其它	合 计
装机容量(kW)	202	1126	102	583	86	2099
备 注	其它部分包括中控、办公楼及辅助用电设施					

2.3 控制水平及方式

场内污水处理的控制、监视、连锁由 DCS 分散控制系统执行，DCS 分散控制系统配备先进可靠的软、硬件，整个系统包括操作站、控制单元、功能卡、电源、机柜、机架、通讯接口、系统连接电缆，系统设备阀门的开停实现了中央控制。厌氧系统采用先进的 PLC 和 DCS 自动控制系统。场内共装有 10 条控制回路和 47 条控制连锁，其中的主要控制回路有换热器污水出水温度、均质池液位、中和池温度、厌氧反应器进水流量、厌氧反应器进水 pH、火炬压力、泵槽液位等，主要的连锁有进出场污水 COD 连锁、各种进料出水泵、阀门流量、液位连锁、火炬压力连锁、关键设备的温度、振动连锁等。

装置的仪表设计先进，配有多种型号的在线仪表。废水进均质池和出监护池前分别要经过一台 GIMAT COD-FIX2000 型和一台 COD-FIX200 型 COD 在线分析仪检测，当进水 $\text{COD}\geq 8500\text{ mg/L}$ 时，通过阀门启闭将废水切换进事故池，出水 $\text{COD}\geq 100\text{ mg/L}$ 时，通过自动切换的外排污水阀将不合格废水送生活区另一污水处理场进行再处理。

3 工艺运行情况

3.1 工艺运行

该套装置自投运以来，正常 COD 进场负荷维持在 6000 mg/L 左右，pH 值 4~7，污水的可生化性 >0.6 ，Mn 含量较高，平均值 12.56 mg/L ，最高值达到 46.3 mg/L 。事故状态下进场污水的最大 COD 值为 $11\ 940\text{ mg/L}$ ，最大 $\text{pH}>13$ ，最小 $\text{pH}<2$ 。经过一年多的调试运行，装置参数的达标率稳步提高。截止 2004 年 3 月底 COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、pH、Mn 五项指标均达到国家排放标准，合格达标率为 100%，日均运行负荷达到设计的 80% 以上，COD、 BOD_5 去除率分别高达 98.8% 和 99.9%，Mn、总 P 去除率达到 84.7% 和 75.3%，最大日处理污水 8640 m^3 ，日均产沼气 $18\ 000\text{ m}^3$ 。表 2~3 分别列出 2004 年 1~6 月废水处理前后的水质和出水各项水质指标的去除率。

表 2 2004 年 1~6 月废水处理前后的水质

项目 月份	进水水质							出水水质						
	CODcr (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	pH	氨氮 (mg/L)	Mn (mg/L)	总 P (mg/L)	CODcr (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	pH	氨氮 (mg/L)	Mn (mg/L)	总 P (mg/L)
1	7326	4059	330	4.8	6.78	12.56	0.82	74	3.3	70	8.5	0.64	2.01	0.28
2	6299	4644	243	4.6	6.87	10.	1.08	79	3.3	87	8.5	0.81	2.2	0.50

						49								
3	7109	5093	344	5.1	10.39	12.51	1.45	73	2.93	83	8.6	0.80	2.12	0.46
4	5575	4314	97	4.7	6.73	11.64	1.29	73	3.04	19.8	8.3	0.91	1.70	0.18
5	6542	4467	38	4.7	25.51	10.86	1.29	74	3.07	14.3	8.4	0.89	1.65	0.17
6	5673	4347	42	4.8	9.38	11.25	0.85	78	3.07	13.8	8.3	1.33	1.77	0.17

表 3 出水各项水质指标的去除率

项目 月份	COD _{Cr} 去除率 (%)			BOD ₅ 去除率 (%)			去除率 (%)		
	AF	两段好氧	AF+两段好氧	AF	两段好氧	AF+两段好氧	Mn	NH ₃ -N	总 P
1	85.2	92.3	98.9	89.2	99.4	99.9	84.0	90.5	65.9
2	85.5	92.3	98.7	87.6	99.4	99.9	86.5	88.2	53.7
3	85.5	92.8	98.9	90.6	99.4	99.9	83.1	92.3	68.3
4	84.5	91.7	98.7	90.2	99.3	99.9	85.4	86.2	86.0
5	84.8	92.6	98.9	89.7	99.3	99.9	84.8	96.5	86.8
6	83.3	92.1	98.6	89.0	99.3	99.9	84.3	85.8	91.0
平均	84.8	92.3	98.8	89.4	99.4	99.9	84.7	89.9	75.3

注：表 2 中 1 ~ 3 月 SS 值超标的原因在于二段曝气池进水负荷低、C 源少，终沉池出水夹带少量解絮污泥，造成装置运行前期监护池出水部分 SS 值超标。后对装置进行了优化调整，分流一段曝气池部分进水给二段好氧曝气，从而提高了二段的 C 源，特别是提高了可生化性，改善了二段曝气池污泥活性，同时总 P 去除率也得到了较大提高。

泥线脱水间的螺压浓缩机和卧式离心脱水机每天处理 480 m³ 剩余污泥，离心脱水机处理后的污泥含水率为 82%，最低为 71.69%，污泥浓缩、脱水消耗聚丙烯酰胺分别为 4%和 5% (kg/t·ds)，指标、消耗均达到设计要求。

3.2 主要经济技术指标

本工程占地 6.4 公顷，定员 48 人，总投资 10 719.39 万元，其中设备费 3463.7 万元，污水处理单耗为 3 kW·h/m³ 污水，处理污水的运行成本为 6.79 元/吨污水，表 4 列出污水处理场的运行成本。该运行成本在同类 PTA 污水处理工程中相对较低，其主要原因是工艺选择合理、技术先进，为国内首创，特别是 AF 厌氧工艺处理了 85%的有机污染物消耗的成本不到 40%，同时还产出 18 000 m³/d 的可用沼气。

表 4 污水处理场运行费用

运行费用组成	材料费	电费	蒸气费	人工费	折旧	其它	合计
成本 (元/千吨污水)	580.37	629.14	623.91	776.78	2945.08	1233.33	6788.61

4 结论与存在的问题

① AF 装置的处理效率高，抗冲击负荷能力强，运行的最高容积负荷达 4.0 kg/m³·d；对有机污染物的去除率高，COD、BOD₅ 去除率分别高达 85%、89%；占地面积小，无需供氧和搅拌设施，产泥量少，仅为好氧法的 1/10 ~ 1/5，大大减少了污泥处理装置和污泥处理费用。

② AF 厌氧器运转费用少，耗电低，用电容量仅为 135 kW，产气量大，可进行综合利用，具有较好的经济效益。

③ 厌氧整套工艺自动化程度高，操作管理简单，温度和 pH 都实现了自动控制，由于装置本身是一个密闭系统，从而杜绝了有害和有味气体的扩散，减轻对操作人员和大气污染。

④ 污泥处理单元技术领先，机械一体化浓缩脱水设备运转良好，浓缩脱水消耗较低，吨干污泥耗药在 4~5 公斤，污泥的固体回收率保持了 90% 以上的水平，泥饼含水率 \leq 82%。

⑤ 由于一段曝气池采用完全混合式，极易发生污泥膨胀，投运以来已发生过 3 次以上污泥膨胀，究其根源与从厌氧装置出水中夹带厌氧污泥影响好氧活性污泥法的正常运行有关；好氧一、二段的 C 源分配不合理，致使二段污泥因长期缺少 C 源发生解絮，污泥缺少活性，沉降性能差。

⑥ PTA 来水中 Mn 的含量较大，对好氧工艺活性污泥的运行有一定影响，含量较大时易造成污泥中毒。同时，最终出水的色度也相对较大，影响了排放水的感观，有待研究解决。