

# 原料药废水处理工程设计实例

何锐<sup>1,2,3</sup>, 夏晨娇<sup>1,2,3</sup>, 周宗远<sup>1,2,3</sup>

(1. 国家环境保护有机化工废水处理与资源化工程技术中心, 江苏 南京 210046; 2. 国家有机毒物污染控制与资源化工程技术研究中心, 江苏 南京 210046; 3. 江苏南大环保科技有限公司, 江苏 南京 210046)

**摘要:** 原料药废水生物毒性大、有机物浓度高、成分复杂,处理难度大。采用分质分类预处理+复合水解酸化池+一体化A/O池组合工艺处理原料药废水,设施运行稳定、抗冲击负荷能力强且运行操作简便。该工程设计规模为3 000 m<sup>3</sup>/d,工程总投资约5 800万元,运行费用为6.4元/m<sup>3</sup>。实际运行结果表明,处理出水水质能够达到沿海经济技术开发区废水接管标准。

**关键词:** 原料药废水; 复合水解酸化池; 一体化A/O池

**中图分类号:** X787 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)06-0120-05

## Design Example of Raw Pharmaceutical Wastewater Treatment Project

HE Rui<sup>1,2,3</sup>, XIA Chen-jiao<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Zong-yuan<sup>1,2,3</sup>

(1. State Environmental Protection Engineering Center for Organic Chemical Industrial Wastewater Disposal and Resources Reuse, Nanjing 210046, China; 2. National Engineering Research Center for Toxicant Pollution Control and Resource Reuse, Nanjing 210046, China; 3. Jiangsu NJU Environmental Technology Co. Ltd., Nanjing 210046, China)

**Abstract:** The raw pharmaceutical wastewater is very difficult to treat due to its high biological toxicity, high concentration of organic substance and complicated components. The combined process of classified pretreatment, hybrid hydrolysis acidification tank and integrated A/O reactor was used to treat the raw pharmaceutical wastewater. The wastewater treatment facility had stable operation, strong resistance to shock loading and easy operation. The design capacity of the project was 3 000 m<sup>3</sup>/d, the investment was about 58 million yuan, and the direct operation cost was 6.4 yuan/m<sup>3</sup>. The running results indicated the effluent quality could meet the wastewater discharge standard for the coastal economic and technological development zone.

**Key words:** raw pharmaceutical wastewater; hybrid hydrolysis acidification tank; integrated A/O reactor

某公司主要从事抗感染类原料药、心血管降脂类原料药、驱虫类原料药、抗结核病类原料药、专用化学品及农药原料药的生产。原料药的生产以化学合成为主,其废水成分复杂,中间产物多,生物毒性大,盐分高,残留的有机溶剂多,属难生物处理的高浓度有机废水<sup>[1~3]</sup>,处理难度大。

针对生产废水的水质特点,在试验研究的基础

上,采用“分质分类预处理+复合水解酸化池+一体化A/O池”组合工艺进行处理。实际运行结果表明,经过处理后废水排放可达到沿海经济技术开发区废水接管标准,可为类似废水处理工程设计提供一定的参考。

### 1 废水水质及水量

高浓废水主要产自中间体、产品的化学反应及

加工过程,除了含有未完全反应的化学原料,还含有部分中间体及少量残留的产品。低浓废水主要为车间设备及地面冲洗水、循环水排水、初期雨水、生活污水、蒸汽冷凝水等,其污染物浓度相对较低。设计废水处理量为 3 000 m<sup>3</sup>/d,高浓废水和低浓废水的水质水量见表 1。

表 1 高浓废水和低浓废水的水质水量

Tab. 1 Quantity and quality of wastewater with high concentration and low concentration

项 目	水量/ (m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	总氮/ (mg · L <sup>-1</sup> )	总盐/ (mg · L <sup>-1</sup> )
高浓废水	1 200	30 000	700	15 000
低浓废水	1 800	2 500	150	200 ~ 1 000

由于高浓废水水量较大、种类繁多、成分复杂,集团公司通过试验研究,将 100 多股高浓废水进行了分质分类,再采用针对性的预处理工艺。

废水处理后排入沿海经济开发区收集管网,进入开发区污水处理厂进行处理。废水排放执行《污

水综合排放标准》(GB 8978—1996)三级标准,氨氮和总磷执行《污水排入城市下水道水质标准》(CJ 343—2010),总盐执行开发区污水处理厂接管要求。具体指标:pH 值为 6 ~ 9、COD ≤ 500 mg/L、BOD<sub>5</sub> ≤ 300 mg/L、SS ≤ 400 mg/L、氨氮 ≤ 35 mg/L、总磷 ≤ 8.0 mg/L、总盐 ≤ 6 000 mg/L。

## 2 废水处理工艺

### 2.1 废水处理工艺流程

针对高浓废水的特点,采用芬顿氧化、混凝沉淀、臭氧氧化等物化预处理工艺,提高废水可生化性。预处理后的高浓废水,与易生化废水、脱盐后废水等低浓废水在生化调节池混合,采用复合水解酸化和一体化 A/O 生化处理工艺进一步降解污染物,实现达标排放。废水处理过程中产生的物化及生化污泥分别通过高压板框压滤机及叠螺脱水机脱水后,外委处理。对废水处理过程中产生的废气进行收集并作吸收处理。废水处理工艺流程见图 1。

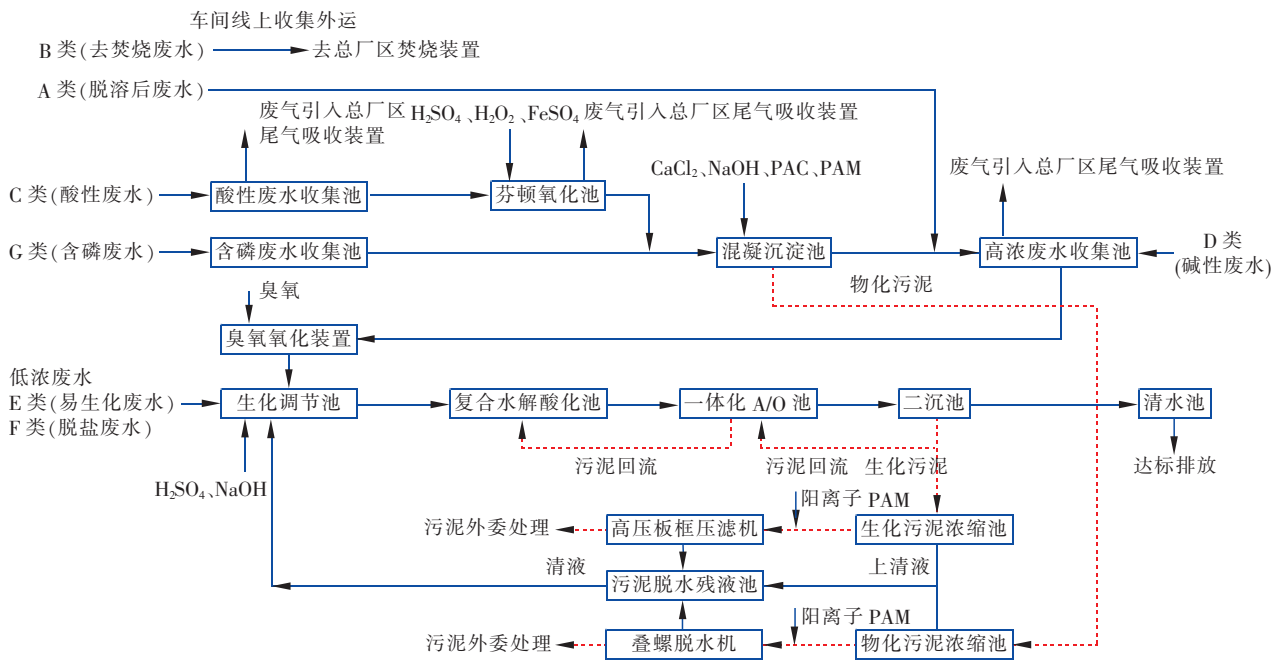


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

### 2.2 主要构筑物设计及设备选型

① 酸性废水收集池。1 座,收集 C 类废水(酸性废水)。设计尺寸: $L \times B \times H = 10.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ ;处理水量:75 m<sup>3</sup>/d;水力停留时间:5.6 d;结构:钢混,耐酸瓷砖防腐,封顶。配套设备:耐酸碱自吸泵 2 台, $Q = 11.0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 115 \text{ kPa}$ , $N = 1.5 \text{ kW}$ ,

1 用 1 备;多曲面搅拌机 1 台, $N = 3 \text{ kW}$ ,叶轮 FRP 材质;在线 pH 计 1 台;在线液位计 1 台。

② 芬顿氧化池。1 座,分为 4 格,第一格投加芬顿药剂,第四格汇入含磷废水一同进入后续混凝沉淀池,芬顿氧化池采用穿孔管空气搅拌。设计尺寸: $L \times B \times H = 7.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ ;处理水量:75

$\text{m}^3/\text{d}$ ;反应区水力停留时间:4 d;结构:钢混,耐酸瓷砖防腐,封顶。配套设备:在线 pH 计 1 台。

③ 含磷废水收集池。1 座,收集 G 类废水(含磷废水)。设计尺寸: $L \times B \times H = 4.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ ;处理水量: $20 \text{ m}^3/\text{d}$ ;反应区水力停留时间:8.4 d;结构:钢混,耐酸瓷砖防腐,封顶。配套设备:耐酸碱自吸泵 2 台, $Q = 11.0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 115 \text{ kPa}$ , $N = 1.5 \text{ kW}$ ,1 用 1 备;多曲面搅拌机 2 台, $N = 1 \text{ kW}$ ,叶轮 FRP 材质;在线 pH 计 1 台;在线液位计 1 台。

④ 混凝沉淀池。1 座,处理经过芬顿氧化后的 C 类废水(酸性废水)及 G 类废水(含磷废水),前置药剂混合区,投加混凝药剂,采用机械搅拌。设计尺寸: $L \times B \times H = 10.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ ;沉淀区尺寸: $L \times B \times H = 10.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ ;处理水量: $95 \text{ m}^3/\text{d}$ (C 类  $75 \text{ m}^3/\text{d}$ ,G 类  $20 \text{ m}^3/\text{d}$ );表面负荷: $0.52 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;结构:钢混,环氧沥青漆防腐,半封顶。配套设备:斜管填料  $50 \text{ m}^3$ ,直径 80 mm,斜长 1 m,安装倾角  $60^\circ$ ,PP 材质;混凝搅拌机 1 台,直径为 900 mm,水下部分钢衬胶,双层折桨, $N = 5 \text{ kW}$ ;絮凝搅拌机 1 台,直径 900 mm,水下部分钢衬胶,框式, $N = 5 \text{ kW}$ ;渣浆泵 2 台, $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 320 \text{ kPa}$ , $N = 7.5 \text{ kW}$ ,1 用 1 备;在线 pH 计 1 台。

⑤ 高浓废水收集池。1 座,收集经过芬顿氧化、混凝沉淀处理后的 C 类废水(酸性废水)、混凝沉淀后的 G 类废水(含磷废水)、A 类废水(脱溶后废水)及 D 类废水(碱性废水),前置隔油池,去除浮油及重油,采用机械搅拌。设计尺寸: $L \times B \times H = 13.0 \text{ m} \times 21.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ ;隔油区尺寸: $L \times B \times H = 3.0 \text{ m} \times 21.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ ;处理水量: $1\,125 \text{ m}^3/\text{d}$ ;水力停留时间:1.5 d;结构:钢混,环氧沥青漆防腐,封顶。配套设备:桁车式刮油刮渣机, $B = 3.5 \text{ m}$ ,速度为  $1 \text{ m}/\text{min}$ , $N = 2.2 \text{ kW}$ ;油渣泵 2 台, $Q = 12.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 200 \text{ kPa}$ , $N = 3 \text{ kW}$ ;自吸提升泵 3 台, $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 250 \text{ kPa}$ , $N = 7.5 \text{ kW}$ ;潜水搅拌机 2 台, $N = 4 \text{ kW}$ ,液下材质 SUS304;在线 pH 计 2 台;在线液位计 1 台。

⑥ 臭氧氧化装置。主要处理高浓废水池内废水。配套设备:臭氧氧化塔 2 座,臭氧氧化塔内装填催化填料,处理水量为  $25 \sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,材质 SUS304,配套释放器;臭氧发生器 4 套,臭氧产量为  $5 \text{ kg}/\text{h}$ ,气量为  $175 \sim 250 \text{ m}^3/\text{h}$ , $N = 85 \text{ kW}$ 。

⑦ 生化调节池。1 座,收集所有废水,泵入复

合水解酸化池,生化调节池采用机械搅拌。设计尺寸: $L \times B \times H = 21.0 \text{ m} \times 19.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ ;处理水量: $3\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ;水力停留时间:18 h;结构:钢混,环氧沥青漆防腐,封顶。配套设备:潜水搅拌机 2 台, $N = 5 \text{ kW}$ ,液下材质 SUS304;自吸提升泵 3 台, $Q = 65 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 250 \text{ kPa}$ , $N = 7.5 \text{ kW}$ ,2 用 1 备(至复合水解酸化池 A);自吸提升泵 3 台, $Q = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 350 \text{ kPa}$ , $N = 15 \text{ kW}$ ,2 用 1 备(至复合水解酸化池 B、C);在线 pH 计 1 台;在线液位计 1 台。

⑧ 复合水解酸化池。设计池体、布水、出水收集装置、排泥装置与升流式水解酸化池相同。复合水解酸化池上部是由填料及附着的生物膜组成的填料层,二者的结合很大程度上增加了反应器的有效容积,降低了污泥流失,提高了处理效率<sup>[4,5]</sup>。底部布水采用程控脉冲的形式,保障局部上升流速达到  $1.0 \text{ m}/\text{s}$  以上,上部出水部分回流至生化调节池,共 3 座,并联设计。A 座立面采用方形设计,设有高 7 m 的组合填料层。B、C 座立面采用圆形设计,设有高 14 m 的组合填料层和内回流泵。

A 座设计尺寸: $L \times B \times H = 30.0 \text{ m} \times 30.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m}$ ;处理水量: $1\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ;水力停留时间:7.6 d;结构:钢混,封顶,三布四油防腐(无碱方格玻璃布和 6101 型环氧树脂)。A 座配套设备:组合填料  $6\,000 \text{ m}^3$ ,直径为 150 mm,间距为  $150 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ ;填料支架,螺纹钢  $\varnothing = 24 \text{ mm}$ , $L = 20 \text{ km}$ ,环氧沥青漆三涂;在线 pH 计 1 台;在线 ORP 测定仪 1 台;在线温度计 1 台;进出电磁流量计 2 台。

B 座设计尺寸: $\varnothing \times H = 26.0 \text{ m} \times 18.0 \text{ m}$ ;水力停留时间:9 d;处理水量: $1\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ;结构:钢混,封顶,三布四油防腐(无碱方格玻璃布和 6101 型环氧树脂)。B 座配套设备:组合填料为  $7\,500 \text{ m}^3$ ,直径为 150 mm,间距为  $150 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ ;填料支架,螺纹钢  $\varnothing = 20 \text{ mm}$ , $L = 14\,400 \text{ m}$ ,环氧沥青漆三涂;管道回流泵 1 台, $Q = 160 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 320 \text{ kPa}$ , $N = 22 \text{ kW}$ ;在线 pH 计 1 台;在线 ORP 测定仪 1 台;在线温度计 1 台;排泥管道电动阀 1 台。

C 座设计尺寸及配套设备同 B 座。

⑨ 一体化 A/O 池。共 2 座,串联设计。A 座采用传统氧化沟池型,设置分段缺氧区和好氧区,池内架设了一体化沉淀装置,沉淀装置下部泥水流通,用于截留部分污泥,提高池内污泥浓度并保障池内推流形态,同时区分 A 座及 B 座活性污泥功能状

态,一体化沉淀装置保障出水  $SS \leq 200 \text{ mg/L}$ , A 座采用潜水推流器的推动力,保障池内流速控制在  $0.3 \text{ m/s}$  以上。B 座采用类氧化沟池型,前置了独立缺氧区,好氧区可通过气提装置回流至缺氧区,保障工艺整体脱氮效果;采用潜水推流器和气提装置的共同推动作用,保障池内流速控制在  $0.3 \text{ m/s}$  以上。一体化 A/O 池的供气采用了新兴节能风机(空气悬浮风机),与离心风机相比,节能降噪,操作维护便捷。设计池型见图 2。

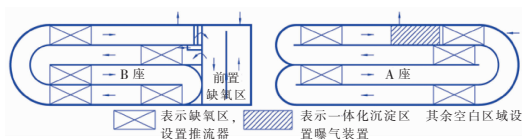


图 2 一体化 A/O 池设计池型

Fig. 2 Design of integrative A/O reactor

A 座设计尺寸: $L \times B \times H = 90.0 \text{ m} \times 29.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$ ;水力停留时间:4.3 d;处理水量: $3\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ;结构:钢混,环氧沥青漆防腐,封顶。A 座配套设备:潜水推流器 5 台, $N = 4 \text{ kW}$ ,叶轮直径为  $2\,500 \text{ mm}$ ,碳钢叶轮聚氨酯涂料;旋流混合扩散曝气器共 2 550 个;回流泵 3 台, $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 250 \text{ kPa}$ , $N = 7.5 \text{ kW}$ ,2 用 1 备;空气悬浮风机 4 台, $Q = 135 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 80 \text{ kPa}$ ,3 用 1 备(与 B 座共用);一体化沉淀装置 1 套;在线溶解氧测定仪 2 台;在线 pH 计 2 台;在线温度计 1 台。

B 座设计尺寸: $L \times B \times H = 90.0 \text{ m} \times 29.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$ ;水力停留时间:4.3 d;处理水量: $3\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ;结构:钢混,环氧沥青漆防腐,封顶。B 座配套设备:潜水搅拌机 4 台, $N = 7.5 \text{ kW}$ ,液下材质 SUS304;潜水推流器 5 台;潜水推流器 4 台, $N = 4 \text{ kW}$ ,叶轮直径为  $2\,500 \text{ mm}$ ,碳钢叶轮聚氨酯涂料;旋流混合扩散曝气器共 2 550 个;回流泵 3 台, $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 250 \text{ kPa}$ , $N = 7.5 \text{ kW}$ ,2 用 1 备;手动启闭机及闸门 1 套,铸铁材质,规格为  $800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ ;气提装置 1 套;在线溶解氧测定仪 2 台;在线 pH 计 2 台;在线温度计 1 台。

⑩ 二沉池。1 座,实现最终的泥水分离,出水进入清水池,达标排放。设计尺寸: $\varnothing \times H = 20.0 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ ;表面负荷: $0.47 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;结构:钢混,环氧沥青漆防腐。配套设备:周边传动刮泥机 1 台,液下材质 SUS304, $N = 1.1 \text{ kW}$ ;回流泵 2 台, $Q = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 320 \text{ kPa}$ , $N = 15 \text{ kW}$ ,1 用 1 备;排泥泵 2

台, $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 600 \text{ kPa}$ , $N = 11 \text{ kW}$ ,1 用 1 备。

⑪ 生化污泥浓缩池。1 座,生化剩余污泥产量约为  $997.5 \text{ kg/d}$ (绝干污泥)。设计尺寸: $\varnothing \times H = 8.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$ ;处理水量: $199.5 \text{ m}^3/\text{d}$ (含水率为 99.5%);结构:钢混,环氧沥青漆防腐,封顶。配套设备:污泥浓缩机 1 台,液下材质 SUS304, $N = 0.55 \text{ kW}$ ;螺杆泵 2 台, $Q = 45 \text{ m}^3/\text{h}$ , $N = 15 \text{ kW}$ ,1 用 1 备。

⑫ 物化污泥浓缩池。1 座,物化剩余污泥产量约为  $4\,657 \text{ kg/d}$ (绝干污泥)。设计尺寸: $L \times B \times H = 8.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$ ;处理水量: $233 \text{ m}^3/\text{d}$ (含水率为 98%);结构:钢混,环氧沥青漆防腐,封顶。配套设备:螺杆泵 2 台, $Q = 12 \text{ m}^3/\text{h}$ , $N = 5.5 \text{ kW}$ ,1 用 1 备。

⑬ 污泥脱水间。1 座,设计尺寸: $L \times B \times H = 16.0 \text{ m} \times 12.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m}$ ;结构:两层框架。内部设备:PAM 加药装置 1 套(含药剂碳钢储罐 1 个, $10 \text{ m}^3$ ;搅拌机 1 台,三叶桨推进式, $N = 5 \text{ kW}$ ;加药螺杆泵 3 台, $Q = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ , $N = 2.2 \text{ kW}$ ,2 用 1 备);叠螺脱水机 1 台,处理量为  $90 \sim 150 \text{ kg}$ (绝干污泥)/h;高压板框压滤机 2 台,滤室容积为  $3 \text{ m}^3$ ,过滤面积约  $180 \text{ m}^2$ ;电动污泥斗 3 台,容积为  $4 \text{ m}^3$ 。

## 2.3 工艺设计特点

① 按照“分质收集、分类处理”原则,对产生百余股废水进行分质分类。根据废水特点,采用针对性的预处理工艺,回收部分溶剂,节约能耗,降低处理难度。

② 采用芬顿氧化、混凝沉淀、臭氧催化氧化的组合预处理工艺,对提高废水的可生化性有非常明显的作用。通过臭氧催化氧化,废水的 B/C 值可由 0.1 提高至 0.3。

③ 复合水解酸化池采用高密度的填料及 60% ~ 70% 的填充率,提高池内的微生物量和抗冲击负荷能力,同时采用局部脉冲布水的形式,有效保障了生物膜的生长与代谢;实际运行数据显示,通过复合水解酸化池,废水的 B/C 值可由 0.3 提高至 0.5 左右,COD 去除率达到 40% ~ 60%。

④ 一体化 A/O 池采用氧化沟池型,通过设置推流器和底部曝气盘,保障池内流速及泥水混合效果,具有良好的去除 COD 和脱氮的效果。设计采用的空气悬浮风机,比传统离心风机能耗节省 30%。

⑤ 采用“分质分类预处理 + 复合水解酸化池 + 一体化 A/O 池”组合工艺处理原料药废水,设计



新颖合理,运行操作便捷,出水水质稳定。

### 3 运行结果

该工程于2015年3月竣工,调试期约9个月,各工艺单元运行正常,出水水质达到沿海经济技术开发区废水接管标准要求,2016年1月通过当地环保局验收,验收监测结果见表2。

表2 验收监测结果(日均值)

Tab.2 Acceptance monitoring results(daily mean values)

项 目	pH 值	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	氨氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	总磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	总盐/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
酸性废水收集池	1.2	80 000	未测	1.5	未测
混凝沉淀池	10.8	50 000	未测	1.2	未测
高浓废水收集池	8.7	28 000	未测	未测	未测
臭氧氧化塔	7.4	24 000	未测	未测	未测
生化调节池	7.4	8 000	110	7.2	3 200
排放水池	7.5	200	1.6	2.3	2 800

### 4 工程投资及运行费用

① 工程投资:总投资为5 800万元,其中土建费用、设备及安装费用为5 200万元,设计与调试费用为250万元,其他费用为350万元。

② 运行费用:动力费为 $3.5 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,药剂费为 $2.6 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,人工费为 $0.3 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,总运行费用为 $6.4 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### 5 结语

工程实践表明,采用“分质分类预处理+复合水解酸化池+一体化A/O池”组合工艺处理原料药生产废水,出水水质可满足沿海经济技术开发区接管标准要求。该处理工艺设计新颖合理,设施运行稳定,抗冲击负荷能力强且运行操作简便,可在类似

废水的处理中推广应用。

### 参考文献:

- [1] 徐文倩. 混凝—氧化法处理原料药废水[J]. 化工环保, 2013, 33(4): 316-320.
- [2] 李亚峰, 高颖. 制药废水处理技术研究进展[J]. 水处理技术, 2014, 40(5): 1-3.
- [3] 李宇庆, 马楫, 钱国恩. 制药废水处理技术进展[J]. 工业水处理, 2009, 29(12): 5-7.
- [4] 陈文琳, 吴德礼, 马鲁铭. 复合水解酸化+催化铁+CAST处理混合化工废水的试验研究[J]. 水处理技术, 2010, 36(6): 81-84.
- [5] 徐灏龙, 白俊跃, 王付超, 等. 升流式复合水解酸化工艺处理印染废水[J]. 环境工程, 2009, 27(S1): 617-619.



作者简介:何锐(1985-), 男, 江苏连云港人, 硕士, 工程师, 注册环保工程师, 主要从事环境工程技术研究、工程设计及环境咨询工作。

E-mail: ralf008008@163.com

收稿日期: 2016-08-26

浪费和污染水是人类对水资源的最大侵害