

焦化废水处理工程设计实例及运行效果

李欢^{1,2}, 陶若虹^{1,2}, 孙斌^{1,2}, 许雅茹^{1,2}, 姚宏^{1,2}

(1. 北京交通大学 市政与环境工程系, 北京 100044; 2. 北京交通大学 水中典型污染物控制与水质保障北京市重点实验室, 北京 100044)

摘要: 焦化废水属于典型的高氨氮难降解有毒有害工业废水。采用预处理-生物处理(A/O/O)-后混凝联合工艺处理焦化废水,介绍了工艺流程、主要构筑物设计参数及设备选型。通过对废水处理系统进行水质调研,分析评价了其处理效果和出水水质指标。该工艺对COD、TOC、氨氮、总氮的去除率分别为95.6%、97.6%、99.9%、96.0%,对重金属也有一定的去除效果。出水多项指标达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准,经进一步深度处理后可完全达标排放。

关键词: 焦化废水; 工艺设计; A/O/O工艺

中图分类号: TU993 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)04-0097-05

Case Study on Design and Operation of a Coking Wastewater Treatment Project

LI Huan^{1,2}, TAO Ruo-hong^{1,2}, SUN Bin^{1,2}, XU Ya-ru^{1,2}, YAO Hong^{1,2}

(1. Department of Municipal and Environmental Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Beijing Key Laboratory of Water Pollution Control and Water Quality Protection, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Coking wastewater is a typically refractory and toxic industrial wastewater with high ammonia nitrogen. The process flow, main construction design parameters and equipment selection of a combined coking wastewater treatment process including pretreatment/biological treatment (A/O/O)/post coagulation were introduced. Based on the investigation of wastewater treatment system, the operation efficiency and effluent quality were analyzed and evaluated. The removal rates of COD, TOC, ammonia nitrogen and total nitrogen were 95.6%, 97.6%, 99.9% and 96.0%, respectively. The process also has a certain effect on removal of heavy metals. A number of indicators in the effluent can reach the first level criteria in *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978-1996). The effluent can be discharged completely after further advanced treatment with extra cost.

Key words: coking wastewater; process design; A/O/O process

我国是钢铁生产大国,焦炭是钢铁行业重要的生产原料,其炼制过程不可避免地伴随着焦化废水的产生。焦化废水是焦化厂在煤气净化、焦炭炼制

及化工产品回收过程中产生的工业废水,其成分复杂,含有大量有毒有害物质^[1],属于典型的高氨氮难降解有机工业废水。目前,国内外焦化废水的处

通信作者: 姚宏 E-mail: yaohongts@163.com

理工艺主要有 A/O 法^[2~4]、A/A/O 法^[5~6]、A/O/O 法^[7]、活性污泥法^[8~9]等。唐山某焦化废水处理厂采用预处理—生物处理(A/O/O)—后混凝处理系统,通过调研该厂废水处理工程设计参数及运行情况,分析各类污染物的去除规律,可为同类废水处理实际工程设计、运行及改造提供一定的参考。

1 废水来源及水质

废水水质、水量见表1。

表1 废水水质、水量

Tab.1 Wastewater quality and quantity

项 目	水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	色度/ 倍	pH 值	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
高浓度废水	75	200	9.62	3 960.0	5 398.5
低浓度废水	106	<10	6~8	<100	<100

高浓度废水主要产生于煤气净化过程,含有大量氨氮、挥发酚、氰化物等有毒有害物质,还有许多难以生物降解的多环芳香族化合物,含氮、氧、硫的杂环化合物等^[1]。低浓度废水包括冷凝水,化验室排水,由循环水系统排污水和生产新水组成的稀

释水三部分,其污染物浓度相对较低。该焦化废水处理工程一期设计处理水量为 $200 \text{ m}^3/\text{h}$,二期为 $400 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

2 废水处理工艺

2.1 废水处理工艺流程

高浓度废水中氨氮浓度高达 $4\,730 \text{ mg/L}$,因此选用蒸氨、除油、浮选等物化预处理方法,旨在提高废水的可生化性。废水经预处理后,进入缺氧/好氧/好氧(A/O/O)的内循环生物处理工艺,并在一级好氧阶段与稀释水混合,利用微生物的降解作用进一步去除废水中的氮、酚、氰及其他有害物质。后混凝处理工艺的主要目的是降低水中的悬浮物和COD。系统产生的污泥进行浓缩、脱水处理。系统出水可重新回用于焦化生产,当湿法熄焦时,出水送至炼焦车间作为熄焦补充水及水雾捕集水;其余时间出水用泵加压后送至烧结厂或原料场作为抑尘用水。污泥处理过程产生的泥饼送煤场掺入炼焦煤中焚烧。

工艺流程如图1所示。

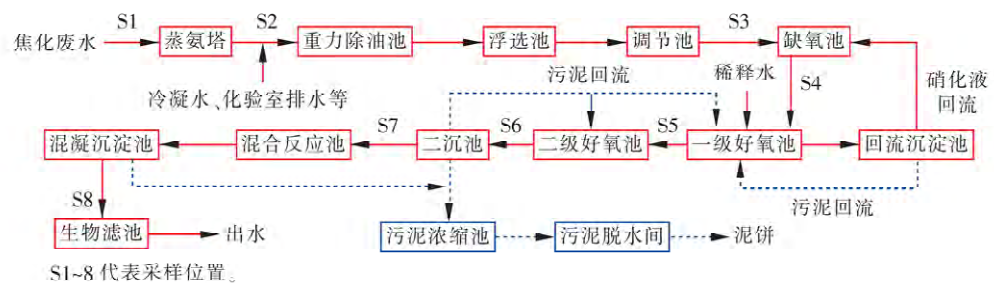


图1 废水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

2.2 主要构筑物设计及设备选型

2.2.1 预处理系统

① 蒸氨塔

设计直径为 2.2 m , $H=23.25 \text{ m}$,共2座,不锈钢结构。配备2组氨分缩器、饱和器和结晶槽,1台振动流化床干燥机,2台大母液循环泵($Q=1\,900 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=250 \text{ kPa}$)。

② 预处理泵房

设计尺寸($L \times B \times H$)= $18 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$,内设废水提升井、轻油分离池和油渣分离池。污水提升泵 $Q=76 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=210 \text{ kPa}$, $N=11 \text{ kW}$,一期1用,二期2用1备;轻油泵和油渣泵为耐腐蚀泵, $Q=3.6 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=410 \text{ kPa}$, $N=3.0 \text{ kW}$,分别为1用1备。

③ 重力除油池

共2座,钢筋混凝土结构,占地面积为 $6.7 \text{ m} \times 21 \text{ m}$,停留时间为 2 h ,用于去除蒸氨废水、轴封水和地坪冲洗水中的重油。排油泵 $Q=7.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=260 \text{ kPa}$, $N=3.0 \text{ kW}$,一期3用,二期6用;软管撇油机配针轮摆线减速机, $P=0.37 \text{ kW}$,加热装置功率为 0.6 kW ,一期1用,二期2用。

④ 浮选池

设射流气浮净化设备,处理水量为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$,钢制成套设备,循环水泵功率为 11 kW ,一期1用,二期2用。运行过程中需投加聚合硫酸铁,对除油池出水中的乳化油、浮渣进行分离处理。

⑤ 调节池

设计尺寸($L \times B \times H$)= $30 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$,共

2 座 钢筋混凝土结构。正常情况下调节池处于低液位工作状态, 总调节容积约为 $6\,600\text{ m}^3$, 调节时间约 40 h; 当系统出现事故时, 调节池贮存事故水量。

2.2.2 生物处理系统

① 布水器室

设计尺寸($L \times B \times H$) = $48\text{ m} \times 10\text{ m} \times 4.7\text{ m}$, 内设缺氧给水泵、原水给水泵及缺氧池配水用布水器。缺氧给水泵为离心泵, $Q = 360\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 160\text{ kPa}$, $N = 22\text{ kW}$, 一期 2 用 1 备, 二期 4 用 2 备; 原水给水泵为离心泵, $Q = 100\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 200\text{ kPa}$, $N = 11\text{ kW}$, 一期 1 用 1 备, 二期 2 用 1 备; 缺氧池布水器为脉冲布水装置, $Q = 240\text{ m}^3/\text{h}$, 工作压力为 0.25 MPa , 调速电机功率为 0.55 kW , 一期 3 用, 二期 6 用。

② 缺氧池

设计尺寸($L \times B \times H$) = $30\text{ m} \times 24\text{ m} \times 7\text{ m}$, 共 2 座 钢筋混凝土结构, 水力停留时间约 18 h, 内置组合填料, 竖向流。填料上的厌氧活性污泥能将废水中难生物降解的有机物水解、酸化, 从而改善废水的可生化性, 完成对废水的反硝化脱氮处理。

③ 一级好氧池和二级好氧池

设计尺寸($L \times B \times H$) = $22.5\text{ m} \times 24\text{ m} \times 7\text{ m}$, 各 2 座 钢筋混凝土结构, 以推流式运行, 水力停留时间约 16 h, 内置硅橡胶膜微孔曝气管。好氧池一侧配备离心鼓风机, $Q = 200\text{ m}^3/\text{min}$, $P = 68.6\text{ kPa}$, $N = 315\text{ kW}$, 一期 1 用 1 备, 二期 2 用 1 备。运行过程中投加适量磷酸钠和碳酸钠, 废水中的酚、氰等有害物质可被微生物降解。

④ 回流沉淀池

直径为 24 m , 共 2 座 钢筋混凝土结构, 沉淀时间为 1.5 h , 表面负荷为 $1.5\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。配备 2 台周边传动刮泥机, 直径为 24 m , 周边线速度为 $2 \sim 3\text{ m/min}$, 减速机功率为 $2 \times 0.75\text{ kW}$; 配备回流污泥离心泵, $Q = 300\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 210\text{ kPa}$, $N = 30\text{ kW}$, 一期 2 用 1 备, 二期 4 用 2 备。回流沉淀池中的上清液以 3 倍水量回流至缺氧池, 分离出的污泥回流至一级好氧池。

⑤ 二次沉淀池

共 2 座 钢筋混凝土结构, 直径为 18 m , 沉淀时间为 1.5 h , 表面负荷为 $1.0\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。配备 2 台周边传动刮泥机, 直径为 18 m , 周边线速度为 $2 \sim 3\text{ m/min}$, 减速机功率为 0.75 kW ; 配备回流污泥离心泵, $Q = 200\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 200\text{ kPa}$, $N = 18.5\text{ kW}$, 一期

1 用 1 备, 二期 2 用 2 备。二沉池中的上清液进入混合反应池, 分离出来的污泥部分回流至一级好氧池和二级好氧池, 剩余污泥送入污泥浓缩池。

2.2.3 后混凝处理系统

① 混合反应池

设计尺寸($L \times B \times H$) = $12.8\text{ m} \times 3\text{ m} \times 3.2\text{ m}$, 共 2 座 钢筋混凝土结构。配备 LHJ-700 型和 LFJ184-I、II、III 型搅拌机各 2 台; 配备混凝剂投加泵、溶药搅拌装置及助凝剂投加泵、溶药搅拌装置各 2 台。向混合反应池中投加聚合硫酸铁和聚丙烯酰胺, 使水中悬浮物形成絮凝体, 再经沉淀去除。

② 混凝沉淀池

共 2 座 钢筋混凝土结构, 直径为 18 m , 沉淀时间为 2 h , 表面负荷为 $1.0\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。配备 2 台周边传动刮泥机, 直径为 18 m , 周边线速度为 $2 \sim 3\text{ m/min}$, 减速机功率为 0.75 kW ; 配备排泥离心泵, $Q = 65\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 250\text{ kPa}$, $N = 7.5\text{ kW}$, 1 用 1 备。混合反应池出水进入混凝沉淀池, 沉淀池分离出来的污泥用泵送入污泥浓缩池, 上清液进入混凝出水池。

以上反应池均为一期 1 座运行, 二期 2 座并列运行。

2.2.4 污泥处理系统

① 污泥浓缩池

共 2 座 钢筋混凝土结构, 直径为 10 m , 浓缩时间为 12 h , 固体负荷为 $30\text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。配备 2 台中心传动浓缩机, 直径为 10 m , 周边线速度约为 1.3 m/min , 减速机功率为 0.75 kW 。剩余污泥及混凝污泥送入污泥浓缩池进行泥水分离, 浓缩后污泥含水率为 $97\% \sim 98\%$ 。

② 污泥脱水间

污泥脱水间占地面积为 $15\text{ m} \times 8\text{ m}$ 。内设 2 台带式压榨过滤机, 有效带宽为 2 m , 处理量为 $15\text{ m}^3/\text{h}$, 减速机功率为 3 kW 。产生的泥饼送煤场掺入炼焦煤中焚烧。

③ 过滤反冲洗水池

设计尺寸($L \times B \times H$) = $15\text{ m} \times 6\text{ m} \times 5\text{ m}$ 。过滤给水泵为离心泵, $Q = 200\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 200\text{ kPa}$, $N = 18.5\text{ kW}$, 一期 1 用 1 备, 二期 2 用 1 备。生物滤池过滤反冲洗水排入反冲洗水池。

3 运行效果

为考察废水处理系统对污染物的去除效果, 针对该工艺制定了相应的采样方案, 2016 年 10 月进

行了 3 次采样分析。结果见表 2。系统中有机物和 氮的变化见图 2。

表 2 平均进、出水水质及相关标准

Tab. 2 Average quality of influent and effluent and discharge standard

项 目	pH 值	色度/倍	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TOC/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	UV ₂₅₄ / cm^{-1}	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	硝态氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
原水	9.62	200	3 960	1 415	19.9	4 731.3	390.3	5 392
出水	7.76	10	176	34.1	2.06	3.6	165.1	218.2
GB 8978—1996 一级排放标准	6~9	50	60	20	—	15	—	—
GB 16171—2012 间接排放标准	6~9	—	150	—	—	25	—	50

注：“—”表示暂未有标准。

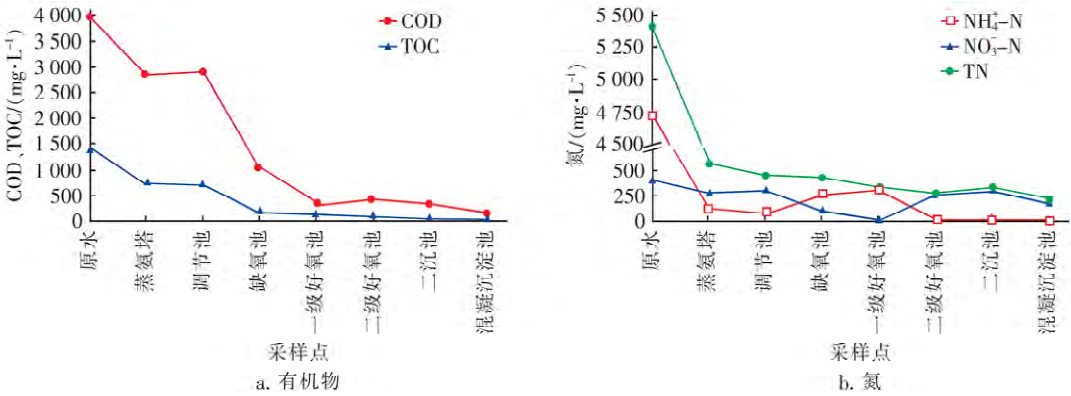


图 2 系统有机物、氮的浓度变化

Fig. 2 Change of organic concentration and nitrogen concentration

原焦化废水中有机物浓度较高,蒸氨塔及生物处理段对 COD 的去除率分别为 28.1%、85.2%,缺氧—一级好氧段对 COD 去除率为 66.8%,说明生物处理段运行较稳定。出水 COD、TOC 分别为 176.0、34.09 mg/L ,去除率分别为 95.6%、97.6%,说明该废水处理系统对有机物具有很好的去除效果。

废水中氮污染物的浓度很高,蒸氨对氨氮的去除率为 97.6%,A/O/O 工艺去除了绝大部分剩余氨

氮。一级好氧池出水氨氮浓度升高而硝态氮浓度降低,可能是因为注入了稀释水。

原煤中含有大量金属矿物质,其中一部分在炼焦、熄焦过程中随水蒸气挥发,还有一部分进入焦化废水。采用 ICP-MS(电感耦合等离子体质谱)法对焦化废水中 12 种重金属进行了测定,结果见表 3。系统对 Fe、Mo 的去除效果较好,去除率分别为 82.3%、74.1%,出水 Mn、Co 的浓度较原水有所增加,Zn、As、Hg 的浓度均较低。

表 3 重金属浓度变化

Tab. 3 Change of heavy metal concentration

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	原水	蒸氨塔	调节池	缺氧池	一级好氧池	二级好氧池	二沉池	混凝沉淀池	排放标准
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤ 0.5
Mn	0.001	0.004	0.003	0.004	0.003	0.006	0.003	0.675	≤ 2.0
Fe	3.900	3.066	2.903	2.108	0.403	1.194	1.227	0.689	—
Co	11.068	12.058	10.539	10.503	8.266	13.309	11.740	105.430	—
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤ 1.0
Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤ 0.5
Zn	0.015	0.013	0.024	0.013	0.007	0.010	0.009	0.004	≤ 2.0
As	0.004	0.003	0.003	0.005	0.005	0.006	0.006	0.002	≤ 0.5
Mo	1.353	1.404	0.885	0.557	0.231	1.047	0.623	0.350	—
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤ 0.1
Hg	0.007	0.007	0.005	0.003	0.008	0.003	0.003	0.002	≤ 0.05
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤ 1.0

注：“ND”表示未检出，“—”表示暂未有标准。

4 存在的问题及建议

蒸氨工艺处理效果受温度影响大, 能耗大, 高温高压条件下设备腐蚀严重, 操作复杂, 运行费用高, 且蒸氨出水温度很高, 需增加冷却步骤, 进一步增加了处理成本。另外, 蒸氨塔出口氨氮浓度直接影响处理费用^[10]。建议在出水达标的前提下, 进一步优化蒸氨塔运行参数, 综合考虑蒸氨塔和生化处理的成本和负荷, 寻找最适的蒸氨塔出口氨氮浓度, 也可适当降低进入蒸氨塔的废水比例。

A/O/O 生物处理工艺运行效果欠佳, 为了满足国家颁布的最新污水排放标准, 目前该厂在混凝沉淀工艺后增加了电催化氧化-反渗透深度处理工艺, 出水水质能够达标, 但这无疑增加了处理成本。针对这一问题, 可以考虑采用新的处理工艺, 如在一级好氧池后增加厌氧氨氧化生物脱氮工艺, 强化脱氮效果^[11~13]。

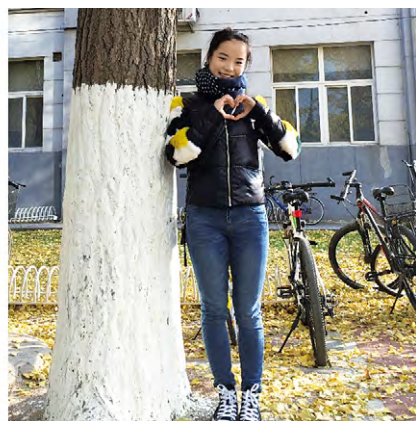
5 结论

① 该焦化废水处理厂采用预处理-生物处理(A/O/O)-后混凝处理联合工艺处理焦化废水, 设计合理, 运行稳定, 出水多项指标达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 一级标准。

② A/O/O 生物处理工艺运行效果欠佳, 结合电催化氧化-反渗透深度处理工艺后, 出水可达标排放, 但处理成本增加。建议采用新的处理工艺, 强化脱氮效果。

参考文献:

- [1] 任源, 韦朝海, 吴超飞, 等. 焦化废水水质组成及其环境学与生物学特性分析[J]. 环境科学学报, 2007, 27(7): 1094-1100.
- [2] 张晓辉, 皮科武. A/O-混凝沉淀工艺处理酚、氰废水工程实例研究[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(11): 76-78.
- [3] 郭军, 刘广平, 韩维, 等. A/O-混凝沉淀工艺处理焦化废水的工程设计及运行[J]. 工业用水与废水, 2009, 40(4): 86-88.
- [4] 金涛, 陈迪勤, 冯卫强. 焦化废水处理工程优化改造及运行[J]. 中国给水排水, 2015, 31(16): 85-87.
- [5] 滕蒙, 孟庆锐. 利用 A/A/O 工艺处理焦化废水的工程实例总结[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(3): 835-838.
- [6] 李亚峰, 苏雷, 刘济嘉. 物化-生化组合工艺处理焦化废水的工程实例[J]. 工业水处理, 2016, 36(1): 90-93.
- [7] 韦朝海, 贺明和, 吴超飞, 等. 生物三相流化床 A/O²组合工艺在焦化废水处理中的工程应用[J]. 环境科学学报, 2007, 27(7): 1107-1112.
- [8] 杨宗鑫, 王兵, 胥锋, 等. 活性污泥法对焦化废水的处理[J]. 环境科技, 2008, 21(S2): 22-23.
- [9] 罗伟, 姚良雨, 孙桐泽. 传统活性污泥法处理焦化废水的改进[J]. 燃料与化工, 2008, 39(2): 53-54.
- [10] 廖明森, 赵月红, 宁朋歌, 等. 焦化废水脱除氨氮过程的操作优化[J]. 计算机与应用化学, 2014, 31(6): 669-674.
- [11] 吕艳丽, 单明军, 王旭, 等. 短程硝化-厌氧氨氧化处理焦化废水的研究[J]. 冶金能源, 2007, 26(5): 55-58.
- [12] 林琳, 李玉平, 曹宏斌, 等. 焦化废水厌氧氨氧化生物脱氮的研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(9): 1201-1206.
- [13] 薛占强, 李玉平, 李海波, 等. 短程硝化/厌氧氨氧化/全程硝化工艺处理焦化废水[J]. 中国给水排水, 2011, 27(1): 15-19.



作者简介: 李欢(1993-), 女, 河北承德人, 硕士研究生, 主要研究方向为工业水处理技术。

E-mail: 16121235@bjtu.edu.cn

收稿日期: 2017-04-27