

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.14.020

两级活性焦吸附工艺用于全地下污水处理厂

张永森^{1,2}, 李国金^{1,2}, 刘振^{1,2}, 艾可³

(1. 天津市市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300392; 2. 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津 300392; 3. 杭州回水科技股份有限公司, 浙江 杭州 310051)

摘要: 郑州市某新建污水处理厂总规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用全地下式布置,出水COD需达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类标准,即 $\text{COD} \leq 20 \text{ mg/L}$ 。该厂采用两级活性焦吸附作为深度处理工艺。该案例两级活性焦吸附池和活性焦房的平面布置、设计参数、操作时序等设计经验,可为其他类似工程提供参考。

关键词: 全地下污水处理厂; 深度处理; 活性焦; 两级吸附

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)14-0120-04

Application of Two-stage Activated Coke Adsorption Process in an All-underground WWTP

ZHANG Yong-sen^{1,2}, LI Guo-jin^{1,2}, LIU Zhen^{1,2}, AI Ke³

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300392, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Infrastructure Durability, Tianjin 300392, China; 3. Hangzhou Huishui Technology Co. Ltd., Hangzhou 310051, China)

Abstract: The total scale of a new wastewater treatment plant (WWTP) in Zhengzhou is $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and it is all-underground. The effluent COD should meet level III of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), that is, $\text{COD} \leq 20 \text{ mg/L}$. Two-stage activated coke adsorption is used as advanced treatment unit in the WWTP. The layout, design parameters, operation sequence of the two-stage activated coke adsorption tank and chamber are elaborated, which can provide reference for other similar projects.

Key words: all-underground wastewater treatment plant; advanced treatment; activated coke; two-stage adsorption

随着郑州市的经济社会发展,城市用水量及污水排放量均不断增加。郑州市二七组团、管南组团两大区域内污水管网已成系统,但尚未配套建设污水处理设施,因此需新建污水处理厂,总规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据尾水排放水体环境质量要求,COD需要达到 20 mg/L 以下,排放标准较为严格。

活性焦是以褐煤等低变质煤为主要原料,通过干馏或活化得到的一种碳质吸附材料,具有官能团丰富、吸附效率高、价格相对便宜、机械强度高等特点,

其孔径结构的中孔较为发达,比表面积为 $500 \sim 600 \text{ m}^2/\text{g}$,适用于含有大分子污染物污水的深度处理^[1-5]。因此,本项目采用活性焦吸附作为深度处理单元去除COD。

1 工程概况

1.1 建设规模及设计水质

该污水处理厂一期工程建设规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总变化系数 $K_z=1.30$,进水以生活污水为主,设计进水质根据现场实测及指标法综合分析确定。

设计出水用于河道补水,其主要指标优于《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014),部分指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类标准。全厂设计进、出水水质见表1。其中,活性焦工艺段设计进水COD、BOD₅分别为50、10 mg/L,相应出水指标分别为20、4 mg/L。

表1 全厂设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of whole plant mg·L⁻¹

项目	进水	出水
COD	≤450	≤20
BOD ₅	≤200	≤4
NH ₃ -N	≤40	≤1
TN	≤50	≤10
TP	≤8.0	≤0.2
SS	≤400	≤5

1.2 总体工艺流程

污水处理厂总体工艺流程见图1。污水经格栅、泥渣砂分离设备去除漂浮物和悬浮物后进入二级生化系统,通过硝化、反硝化、吸磷和释磷等作用,去除水中有机物及氮、磷等污染物。泥水混合液进入二沉池进行固液分离,然后通过气浮池、V型滤池和两级活性焦吸附池进行深度处理,进一步去除难降解COD、SS及TP等污染物,尾水经消毒后提升外排。

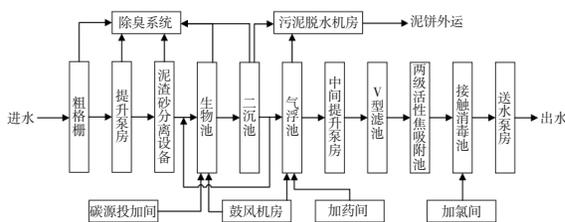


图1 污水处理厂总体工艺流程

Fig.1 Overall flow chart of wastewater treatment process

2 工程设计

2.1 总体布局

由于项目用地紧张,且对环境及生态质量要求较高,故采用全地下建设形式。厂区总占地面积为9.48 hm²,其中箱体3.91 hm²,地上建筑0.45 hm²,道路广场1.30 hm²,绿化约7.7 hm²。总平面布置见图2。地下箱体总尺寸:265.5 m×147.4 m×14.0 m,分两层布置,其中地下二层8.0 m,地下一层6.0 m,箱体覆土1.5 m,总深度15.5 m。

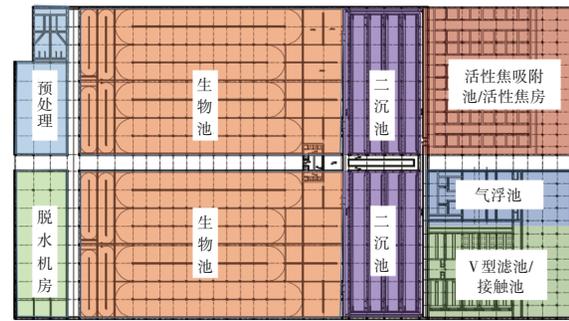


图2 污水处理厂总平面布置

Fig.2 General layout of wastewater treatment process

粗格栅及进水泵房、泥渣砂分离设备间、五段式Bardenpho工艺(加填料)生物池、二沉池、气浮池、V型滤池、接触消毒池等布置于地下二层,鼓风机房、生物除臭系统、加药系统、配电间等布置于地下一层,脱水机房、送水泵房、活性焦吸附池及活性焦房双层布置,综合楼及化验室、食堂及附属用房、传达室等布置于地上。

2.2 活性焦系统设计参数

① 活性焦投加量

活性焦设计吸附容量为300 kgCOD/t,吸附饱和周期为160 d。正常运行后,活性焦投加量为10.0 t/d。

② 活性焦吸附池

为保证吸附效果,采用两级活性焦吸附池串联形式,原水依次经过一级吸附池、二级吸附池。两级均为32格,共64格,单格尺寸5 m×5 m。第一级有效水深为9.8 m,单格填装65 t活性焦;第二级有效水深为8.5 m,单格填装50 t活性焦。设计上升流速均为5.21 m/h。每格吸附池内设置1套布水器,过水流量为170 m³/h,1套活性焦刮板,转速3 r/min, N=1.1 kW。

③ 活性焦房

活性焦房土建包含2座配焦池、1座滤液池,设备包含2台脱水振动筛、6台(4用2备)加焦泵及10台(8用2备)排焦泵。加焦泵及排焦泵规格相同,单台Q=40 m³/h, H=250 kPa, N=11 kW,变频控制。

2座配焦池分别为一、二级吸附池配焦,有效容积均为6.9 m³。滤液池尺寸:L×B×H=5.0 m×3.1 m×4.0 m,有效容积为62.0 m³。配焦池及滤液池内均设置搅拌器。

脱水振动筛的筛面尺寸为4 800 mm×1 800 mm,筛缝1 mm, N=18.5 kW。

2.3 活性焦系统平面布置

活性焦吸附池及活性焦房平面布置见图 3。

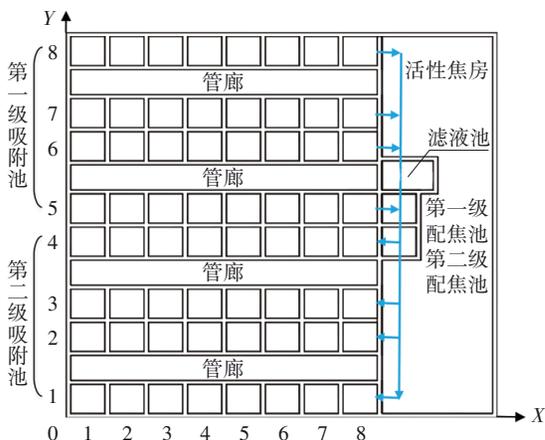


图 3 活性焦系统平面布置

Fig.3 Layout plane of activated coke system

两级活性焦吸附池均为 32 格,分 2 个廊道,4 行布置。为便于运行控制,特设吸附池横向为 X 轴,竖向为 Y 轴,单格对应编号为 X_iY_i ,则一级吸附池对应编号为 $(X_1Y_5, X_2Y_5, \dots, X_8Y_5)$ 、 $(X_1Y_6, X_2Y_6, \dots, X_8Y_6)$ 、 $(X_1Y_7, X_2Y_7, \dots, X_8Y_7)$ 、 $(X_1Y_8, X_2Y_8, \dots, X_8Y_8)$ 。二级吸附池的对应编号为 $(X_1Y_1, X_2Y_1, \dots, X_8Y_1)$ 、 $(X_1Y_2, X_2Y_2, \dots, X_8Y_2)$ 、 $(X_1Y_3, X_2Y_3, \dots, X_8Y_3)$ 、 $(X_1Y_4, X_2Y_4, \dots, X_8Y_4)$ 。配焦池、滤液池、脱水振动筛布置在负一层,加焦泵及排焦泵设在负二层。

3 活性焦系统操作运行时序

活性焦系统运行主要包括换焦及洗焦两个过程。

3.1 换焦过程

换焦主要目的是将吸附饱和的活性焦从系统移除,同时向系统中添加新的活性焦,保证系统正常运行。换焦包含 4 个操作步骤:①一级排焦;②二级排焦;③一级加焦;④二级加焦。换焦流程见图 4。一级排焦是将第一级吸附池内吸附饱和的废焦,用排焦泵输送至振动筛脱水,包装储存后择期外运。二级排焦是将第二级吸附池的活性焦用排焦泵输送至振动筛清洗脱水并送入一级配焦池。一级加焦是将第二级吸附池排往一级配焦池的活性焦,用加焦泵输送至第一级吸附池。二级加焦是将新焦在二级配焦池配水后,用加焦泵输送至第二级吸附池。二级排焦和一级加焦两个步骤一般同时进行。

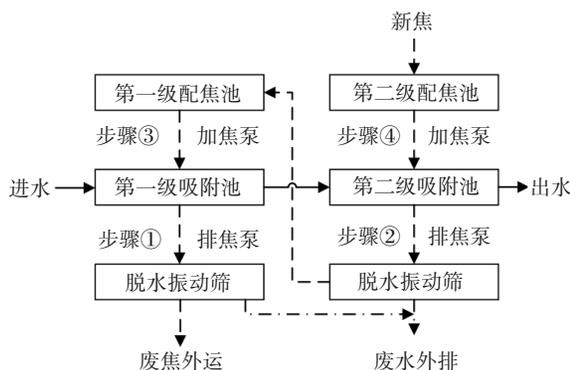


图 4 换焦流程

Fig.4 Flow chart of changing activated coke

一级、二级排焦:每行吸附池共用 1 台排焦泵,干基排焦量 5~6 t/h。排焦过程中水与焦的体积比为 1:2,产生的滤液 27 m³/h,排空活性焦 50 t(1 格吸附池的活性焦量)需 10 h,产生总滤液量为 270 m³。排焦完成后需用清水冲洗管道以免堵塞。

一级、二级加焦:2 座活性焦配焦池分别供一、二级吸附池配焦使用。配焦池的焦、水体积比为 1:2。每个廊道(对应 2 行 16 个吸附池)配 1 台加焦泵,干基加焦量为 5~6 t/h,每加满一格吸附池需 10 h。

设计流量下,正常运行所需更换活性焦量为 10 t/d。另外,因为第二级活性焦吸附池单格可以填装约 50 t 活性焦,因此每 5 天换焦一组,共 32 组,换焦周期为 160 d,活性焦吸附饱和周期也为 160 d。

3.2 洗焦过程

洗焦是将池底的活性焦气提至池顶洗焦器内进行清洗,排出污染物,并在一定程度上恢复活性焦吸附能力的过程,具体见图 5。

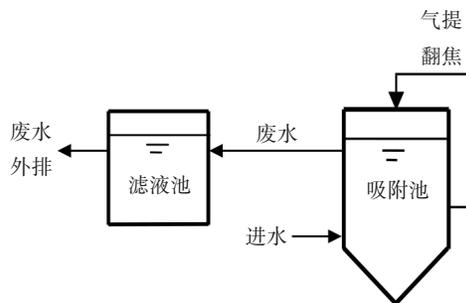


图 5 洗焦过程

Fig.5 Washing activated coke process

单格吸附池洗焦时产生的污水流量为 0.6 m³/min,同一列同一级活性焦吸附池(4 格)同时洗焦,产生的污水流量为 2.4 m³/min。洗焦污水首先

进入滤液池,然后排入厂区污水管道。

洗焦过程采取定时洗焦,即每日固定时间(可调)按照设定程序和顺序开始,直至洗焦完毕。

洗焦过程共分16组,每组同时洗焦,一级每组洗焦1 h,二级每组洗焦30 min,第一级活性焦吸附池所有吸附池共需洗焦时间为8 h(共8组),第二级活性焦吸附池所有吸附池共需洗焦时间为4 h(共8组),每天共需洗焦时间为12 h。

4 活性焦再生

吸附饱和的活性焦统一运至活性焦再生厂进行物理再生。

首先将吸附饱和的活性焦进行脱水,去除表面附着的水分。再将脱水后的活性焦运送至外热式回转加热炉,将饱和活性焦加热到600~800℃,使活性焦上吸附的一部分有机物沸腾、汽化脱附,一部分有机物发生分解反应,生成小分子碳氢化合物脱附。在饱和活性焦加热过程中,其表面残留的水分升温变成高温蒸汽,用以辅助清理活性焦中孔,使其恢复吸附性能。完成再生阶段的高温活性焦被送入水冷式回转冷却装置,经过降温后,使用筛分装置去除再生过程中产生的细小颗粒焦后进行成品包装,达到再生资源回收利用的目的。再生过程中产生的裂解气体经过降温、除尘、碱洗、活性焦吸附、催化氧化、脱硝处理,达到《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)后排放。

5 投资与费用

本工程总投资为121 848.59万元,总成本为14 024.76万元,单位成本为4.42元/m³;经营成本为6 885.09万元,单位经营成本为2.1元/m³,其中活性焦系统经营成本为0.51元/m³。

6 结论

该全地下式污水厂采用“五段式Bardenpho(加填料)生化池+二沉池+气浮池+V型滤池+两级活性焦吸附池+接触消毒池”工艺,实际出水主要指标优于《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014),部分指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准。该案例两级活性焦吸附系统用于全地下污水处理厂深度处理去除COD时,吸附池及活性焦房的平面布置、设计参数、操作时序等可为其他类似工程设计提供参考。

参考文献:

- [1] 王赛,时玉龙,蒋奇海,等. 两种碳基材料对二级出水中有机物的去除特性[J]. 中国给水排水, 2021, 37(5): 43-50.
WANG Sai, SHI Yulong, JIANG Qihai, et al. Removal characteristics of organic matters from secondary effluent by two types of carbon based adsorbent[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(5): 43-50(in Chinese).
- [2] 高伟楠. 高出水标准下的再生水厂COD深度处理工艺比选[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 58-61.
GAO Weinan. Comparison and selection of advanced treatment process for COD removal from reclaimed water plants with high effluent quality [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 58-61(in Chinese).
- [3] 李国金,李霞,王万寿,等. 活性焦吸附应用于市政污水深度处理中的系统布置及控制[J]. 给水排水, 2018, 44(6): 20-23.
LI Guojin, LI Xia, WANG Wanshou, et al. System layout and control of activated coke adsorption process in municipal wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(6): 20-23 (in Chinese).
- [4] 李国金,李霞,王万寿,等. 活性焦吸附工艺在市政污水深度处理中的应用[J]. 给水排水, 2018, 44(5): 28-30.
LI Guojin, LI Xia, WANG Wanshou, et al. Application of activated coke adsorption process in advanced treatment of municipal wastewater [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(5): 28-30 (in Chinese).
- [5] 滕济林,姜艳,曹效鑫,等. 粉末活性焦强化A/A/O工艺处理煤气化废水的中试研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(5): 1249-1255.
TENG Jilin, JIANG Yan, CAO Xiaoxin, et al. Pilot study on powdered lignite-coke-enhanced A/A/O process for coal gasification wastewater treatment [J]. Journal of Environmental Science, 2014, 34(5): 1249-1255 (in Chinese).

作者简介:张永森(1992-),男,安徽六安人,硕士,工程师,从事给水排水工程设计工作。

E-mail:hit549@163.com

收稿日期:2021-07-10

修回日期:2021-11-01

(编辑:衣春敏)