

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.021

3D - RBC 立体结构生物转盘工艺处理村镇生活污水

高洪贵, 卢 军, 尚永超

(青岛欧仁环境科技有限公司, 山东 青岛 266005)

摘 要: 采用 PPP 模式新建了 3D - RBC 立体结构生物转盘工艺污水处理站, 处理南方某村镇生活污水。稳定运行后出水 COD 为 38.1 mg/L, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 2.7 mg/L, 总氮为 12.8 mg/L, 总磷为 0.34 mg/L, 达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。该工程采用 3 台生物转盘设备, 仅需启动、停止操作, 无需风机曝气, 占地约 60 m^2 , 生物转盘电耗为 0.108 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。该工程工艺部分投资约 200 万元。工程实践表明, 采用 3D - RBC 立体结构生物转盘工艺处理农村生活污水, 具有占地面积小、运行成本低、操作简便、运行稳定等特点。

关键词: 村镇生活污水; 生物转盘; 一体化设备

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000 - 4602(2021)04 - 0101 - 05

Treatment of Rural Domestic Sewage with 3D - RBC Process

GAO Hong-gui, LU Jun, SHANG Yong-chao

(Qingdao Ouren Environ-Tech Co. Ltd., Qingdao 266005, China)

Abstract: A three-dimensional rotating biological contactor (3D - RBC) sewage treatment station was built in public private partnership (PPP) mode to treat the rural domestic sewage in south China. After stable operation, the effluent COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$, TN and TP are 38.1 mg/L, 2.7 mg/L, 12.8 mg/L and 0.34 mg/L respectively, which meet the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). This project uses three units of RBC with start and stop operation, without aeration, cover an area of about 60 m^2 . The power consumption of the RBC is 0.108 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ sewage, and the investment of this project is about 2 million yuan. Engineering practice shows that the 3D - RBC has the advantages of small floor area, low operation cost, simple and stable operation for rural domestic sewage treatment.

Key words: rural domestic sewage; rotating biological contactor; integrated equipment

为改善农村生态环境,推进城乡污水处理全覆盖,全国各地陆续新建了村镇生活污水处理站,进行污水分散式处理^[1]。目前市场上村镇污水分散式处理工艺比较多,常见的主要有:厌氧滤床 - 接触氧化净化槽^[2]、厌氧 - 缺氧 - 好氧生物脱氮除磷工艺(AO 或 A²O 工艺) - 膜生物反应器(MBR)一体化工艺^[3]、生物转盘一体化工艺等。近几年来,国内

外专家、学者在如何改进生物转盘设备方面做了大量、深入的研究,在生活污水^[4]、采油废水^[5]、氨氮废水^[6]处理中均取得了一定的效果。韦真周等^[7]对生物转盘工艺处理小城镇生活污水的工程实例表明,该工艺对 COD 去除率为 85.47%,对 SS 去除率为 94.68%,对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率为 84.48%,对 TP 去除率为 78.33%。

通信作者: 高洪贵 E-mail: gaohonggui@qdouren.com

以3D-RBC立体结构生物转盘工艺处理某村镇生活污水工程为例,介绍生物转盘工艺的具体设计和运行情况。

1 工程概况

南方某村镇采用PPP模式新建了3D-RBC立体结构生物转盘工艺污水处理站,近期规模1000 m³/d,主要包括:格栅、调节池、3D-RBC一体化生物转盘设备、斜管沉淀池、污水分配池及储泥池、出

水间、管理房、配电间及污泥干化堆场等构筑物。该工程占地面积约1800 m²。

实际检测得进水COD为136~347 mg/L、NH₃-N为23~40 mg/L、TP为2.13~4.38 mg/L、TN为31.45~42.33 mg/L,结合实测数据确定该工程进水水质(见表1)。设计处理出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,污水中污染物最高允许排放浓度见表1。

表1 污水进水水质和排放标准

Tab.1 Influent quality and discharge standard

项目	COD/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	pH值
进水水质	≤500	≤250	≤200	≤45	≤40	≤5	6~9
排放标准	≤50	≤10	≤10	≤15	≤5(8)	≤0.5	6~9

注: 括号外数值为水温>12℃时的污水排放控制指标,括号内数值为水温≤12℃时污水排放控制指标。

2 污水处理工艺流程

结合该工程特点,从以下两个方面综合考虑,确定工艺流程:污水处理站选址在低洼处,污水经管网收集,自流经过机械格栅去除大块悬浮物后,进入调节池;污水处理站位于相对偏远的山区,缺乏专业的技术运维人员,宜选用施工快捷、后期运维方便、自动化程度高的一体化设备。生化工艺比选如下:

- ① A/O工艺施工周期长、操作运维复杂、建设成本适中、运行成本较低;
- ② 常规活性污泥法施工周期较长、操作运维适中、建设成本适中、运行成本较适中;
- ③ SBR工艺施工周期较长、操作运维较复杂、建设成本较高、运行成本较适中;
- ④ MBR工艺施工周期较短、操作运维较复杂、建设成本高、运行成本较高;
- ⑤ 3D-RBC立体结构生物转盘工艺施工周期短、操作运维简单、建设成本适中、运行成本低。

该工程污水的COD、NH₃-N可通过好氧段去除,常规工艺都可以满足要求,而现场缺乏专业的技术运维人员,宜选用施工快捷、后期运维方便、自动化程度高的工艺,减少后期运营管理的压力。A/O工艺、常规活性污泥法、SBR工艺、MBR工艺需要专业的技术人员操作,严格控制O段曝气量,需要实时监控溶解氧、污泥浓度等技术指标,而采用生物转盘工艺仅需要实时观察盘片挂膜情况,无需监控溶解氧、活性污泥浓度指标,运维人员易于操作;TN需要进行硝化液回流,经反硝化脱除,因此生化工艺前端需要缺氧段,后端设回流分配池便于回流布水;TP单纯采用生化去除,效果一般,后端需要辅助化学加药去除。处理出水中仍然含有大肠杆菌等微生物,需要进行消毒处理才能排放。经过以上工艺的比较,结合该污水处理站的实际情况,最终确定选用施工周期短、后期运维方便、运行成本低的3D-RBC立体结构生物转盘工艺。工艺流程见图1。

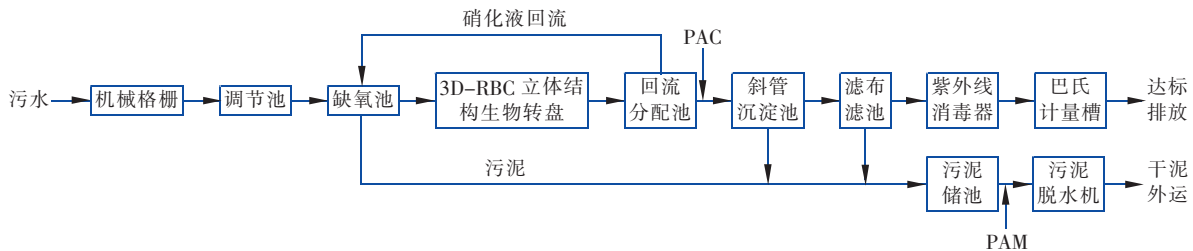


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

3 主要建(构)筑物参数

① 调节池

调节池1座,有效容积603.75 m³,半地下钢筋混凝土结构。主要设备:机械格栅1台,宽0.5 m,

栅距 10 mm,高 5.5 m,功率 0.75 kW;潜污泵 2 台(1 用 1 备),流量 42 m³/h,扬程 100 kPa,功率 2.2 kW;浮球液位计 1 个,线长 5 m;螺旋输送机 1 台,螺旋直径 220 mm,功率 0.75 kW,长 1.5 m。

调节池有效水力停留时间为 12.6 h;设置调节池高液位 3.00 m,低液位 0.50 m,潜污泵受缆式浮球控制,24 h 自动运行;机械格栅和螺旋输送机每天运行 4 次,每次运行 20 min。

② 缺氧池

缺氧池 1 座,有效容积 133.1 m³,半地下钢筋混凝土结构。主要设备:组合填料,规格 $\phi 150$ mm \times 2 000 mm,73.9 m³。

缺氧池为升流式,有效水力停留时间 3.2 h。缺氧池内溶解氧 0.3 mg/L。硝化液回流比 2 : 1。

③ 3D-RBC 立体结构生物转盘

3D-RBC 立体结构生物转盘槽体 3 座,每座规格为 6.3 m \times 2.6 m \times 1.48 m。主要设备:3D-RBC 立体结构生物转盘 3 台,单台处理水量 \geq 12.5 m³/h,进、出水口 DN150,功率 2.2 kW。

生物转盘 24 h 连续运行,转速为 3 ~ 5 r/min。每座 3D-RBC 立体结构生物转盘盘片面积 \geq 2 700 m²,水力停留时间 1.72 h。

④ 回流分配池

回流分配池 1 座,有效容积 48.0 m³,半地下钢筋混凝土结构。主要设备:潜污泵 2 台(1 用 1 备),流量 42 m³/h,扬程 100 kPa,功率 2.2 kW。

回流分配池有效水力停留时间 1.2 h;硝化液回流泵 24 h 运行,回流量为 200%。

⑤ 斜管沉淀池

斜管沉淀池 1 座,有效容积 48.0 m³,半地下钢筋混凝土结构。主要设备:污泥回流泵 2 台(1 用 1

备),流量 42 m³/h,扬程 100 kPa,功率 2.2 kW;斜管长 1 m,PP 材质;隔膜计量泵流量 2 L/h;PE 储液桶 1.5 m³。

斜管沉淀池有效水力停留时间 1.2 h,表面负荷 2.6 m³/(m² · h)。药剂浓度 5%,加药系统 24 h 运行。

⑥ 滤布滤池、紫外消毒器、巴氏计量槽

滤布滤池规格为 $L \times B \times H = 5.5$ m \times 1.5 m \times 1.5 m,功率 1.5 kW。紫外消毒器 1 台,处理水量 42 m³/h,功率 1.28 kW。巴氏计量槽(进水槽)尺寸 1.0 m \times 0.3 m \times 0.8 m、出水槽尺寸 0.36 m \times 0.18 m \times 0.80 m,明渠流量计 0.1 ~ 10 m³/s,防水等级 IP65。

滤布滤池进水 SS 为 17.80 mg/L,出水 SS 为 6.70 mg/L。

4 调试运行

该生活污水处理工程于 2018 年 4 月开始调试,调试方案如下:

①各建(构)筑物注入清水;②单机运行各个电机、泵等,调三相电机正反转;③依次运行机械格栅、调节池潜污泵、生物转盘、硝化液回流泵、污泥回流泵、滤布滤池、紫外线消毒器等,污水处理系统联动运行;④为缩短调试周期,可向缺氧池中投加生化污泥,进行污泥接种,并且开启沉淀池污泥回流,减少污泥流失,逐渐增大进水量,经过 15 ~ 30 d,生物转盘盘片上附着一层生物膜,逐渐增加硝化液回流量和污泥回流量;⑤配 5% PAC 溶液,并按照一定投加量投加到斜管沉淀池;⑥出水经滤布滤池深度处理后排放。

经过一个月左右的稳定运行,出水各项指标均达到排放标准,具体见表 2。

表 2 实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

项目	COD/ (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	pH 值
排放标准	50	10	15	5(8)	0.5	6 ~ 9
进水水质	347.6	180.3	42.3	22.5	3.6	7
出水水质	38.1	6.7	12.8	2.7	0.34	7

注: 括号外数值为水温 > 12 °C 时的控制指标,括号内数值为水温 \leq 12 °C 时的控制指标。

5 技术经济分析

① 投资估算:工艺约 202.78 万元,结构约 130.29 万元,电气约 54.55 万元,自控工程约 23.25

万元,管网约 285.33 万元,场坪约 144.31 万元。

② 运行费用:主要包括电费、人工费、药剂费。主要设备及能耗见表 3。

表3 主要设备电耗

Tab.3 Power consumption of main equipment

项目	数量/台		单机功率/kW	使用功率/kW	运行时间/(h·d ⁻¹)	耗电量/(kW·h·d ⁻¹)
	总数	备用				
机械格栅	1	0	0.75	0.60	1.33	0.80
螺旋输送机	1	0	0.75	0.60	1.33	0.80
调节池提升泵	2	1	0.75	0.60	24.00	14.40
3D-RBC生物转盘	3	0	2.20	1.50	24.00	108.00
硝化液回流泵	2	1	2.20	1.76	24.00	42.24
污泥回流泵	2	1	2.20	1.76	24.00	42.24
加药系统	1	0	1.10	0.88	24.00	21.12
滤布滤池	1	0	1.50	1.20	24.00	28.80
紫外消毒器	1	0	1.28	1.02	24.00	24.58

注：耗电量总计为 282.98 kW·h/d,未包括路灯、照明等污水站用电。

a. 电费 E_1 :按电价为 0.8 元/(kW·h) 计算,折合 $E_1 = 0.226$ 元/ m^3 ;

b. 药剂费 E_2 :按投加 PAC 10 L/h, PAC 浓度 5%,单价 2 000 元/t 计算, $E_2 = 0.024$ 元/ m^3 ;

c. 人工费 E_3 :安排 2 人轮流操作运行,平均工资为 4 000 元/(月·人), $E_3 = 0.20$ 元/ m^3 ;

d. 设备运营维护费用暂不列出。

直接运行费用 = $E_1 + E_2 + E_3 = 0.45$ 元/ m^3 。

6 经验总结

3D-RBC 立体结构生物转盘工艺处理村镇生活污水实景见图 2。



图2 3D-RBC 立体结构生物转盘工艺处理村镇生活污水实景

Fig.2 Project image of rural sewage with 3D-RBC rotating biological contactor

该工程经验总结如下:

① 由于村镇生活污水管网需要原有路面破碎、征地等工作,在缺乏水文地理资料、地下管线资料等情况下,污水收集管网施工不确定因素多、难度大、周期长;

② 村镇生活污水管网中常常会混入雨水,造成污水浑浊,无机杂质含量增加,影响污水站的正常运行;

③ 村镇污水工程多数地处偏远地区,专业技术人员相对缺乏,综合考虑施工难易、后期运维等方面因素,适宜选用施工简易、运维简单、可全自动运行的一体化污水处理设备;

④ 村镇污水工程施工过程中设备、材料应准备周全,否则可能会因为现场缺乏设备、材料等短期无法供给而严重影响施工周期;

⑤ 村镇污水工程在运维过程中,易损件、易耗品要做好备品备件,防止设备出现故障时,零件无法及时供给而影响污水站运行。

7 结论

村镇生活污水具有水质不稳定、不同时间段水量波动较大以及比较分散、受场地限制等特点,采用 3D-RBC 立体结构生物转盘工艺的一体化污水处理设备处理该生活污水,简化了施工难度,缩短了施工周期。3D-RBC 立体结构生物转盘一体化设备,仅需启动、停止操作,无需风机曝气,3 台生物转盘占地约 60 m^2 ,生物转盘电耗为 0.108 kW·h/ m^3 。数据表明,3D-RBC 立体结构生物转盘工艺具有占地面积小、运行成本低、操作简便、运行稳定的特点。该污水处理工程系统运行良好,出水水质各项指标均能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

参考文献:

[1] 伦斯 P,泽曼 G,莱廷格 G. 分散式污水处理与再利

- 用——概念、系统和实践[M]. 王晓昌,彭党聪,黄廷林,译. 北京:化学工业出版社,2004.
- Lens P, Zeeman G, Lettinga G. Decentralised Sanitation and Reuse—Concept, Systems and Implementation[M]. WANG Xiaochang, PENG Dangcong, HUANG Tinglin, translated. Beijing: Chemical Industry Press, 2004 (in Chinese).
- [2] 高蓉菁, 闵毅梅. 厌氧滤床-接触氧化工艺净化槽处理太湖流域分散性生活污水的可行性研究[J]. 环境工程学报, 2007, 1(11): 59-63.
- GAO Rongjing, MIN Yimei. Feasibility study of Johkaso with the process of anaerobic filter bed-contact aeration treatment dispersed domestic wastewater to Tai Lake basin [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2007, 1(11): 59-63 (in Chinese).
- [3] 谢晴, 张静, 麻泽龙, 等. A²/O-MBR 工艺在农村生活污水处理中的示范[J]. 环境工程, 2016, 34(7): 38-41, 87.
- XIE Qing, ZHANG Jing, MA Zelong, et al. Demonstration of A²/O-MBR process in rural domestic sewage treatment[J]. Environmental Engineering, 2016, 34(7): 38-41, 87 (in Chinese).
- [4] 白爱梅, 王秀莲. 生物转盘处理生活污水[J]. 煤矿现代化, 2006(增刊): 105-106.
- BAI Aimei, WANG Xiulian. Biology cycle to treat domestic sewerage [J]. Coal Mine Modernization, 2006 (z1): 105-106 (in Chinese).
- [5] 张研. 电化学预氧化-生物转盘联合处理采油污水[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.
- ZHANG Yan. Electrochemical Pre-oxidation and Rotating Biological Contactor Combined Treatment of Extraction Sewage [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2008 (in Chinese).
- [6] 江溢. A/O 生物转盘工艺处理氨氮废水[J]. 上海环境科学, 2001, 20(8): 390-392.
- JIANG Yi. Treatment of ammonia nitrogen wastewater with A/O system and lasting rotating biological contactor process [J]. Shanghai Environmental Sciences, 2001, 20(8): 390-392 (in Chinese).
- [7] 韦真周, 范庆丰, 容继, 等. 生物转盘处理小城镇生活污水工程实例[J]. 水处理技术, 2016, 42(2): 133-136.
- WEI Zhenzhou, FAN Qingfeng, RONG Ji, et al. A case history of treating urban sewage by rotating biological contactor [J]. Technology of Water Treatment, 2016, 42(2): 133-136 (in Chinese).

作者简介:高洪贵(1983-),男,山东青岛人,硕士,工程师,主要从事污水处理工程设计、工程施工管理等工作。

E-mail: gaohonggui@qdouren.com

收稿日期:2019-07-30

修回日期:2020-09-06

(编辑:衣春敏)

更正

刊登于本刊 2020 年第 18 期第 81 页的文章“MBR 工艺用于山东省某污水处理厂扩建工程”,第一作者单位有误,特更正如下:

MBR 工艺用于山东省某污水处理厂扩建工程

郑枫¹, 慕杨², 孙逊²

(1. 山东职业学院 城市轨道交通机电教研室, 山东 济南 250104; 2. 济南市市政工程设计研究院 <集团> 有限责任公司, 山东 济南 250002)

(本刊编辑部)