

双膜法处理污水厂出水用于工业回用

王金龙

(青岛锦龙弘业环保有限公司, 山东 青岛 266500)

摘要: 青岛市黄岛区属于严重缺水地区,水资源短缺已成为制约地区经济发展的瓶颈,拟以污水厂合格出水为原水,实现中水精制满足工业用水需求。精制中水回用站占地为 1.86 hm^2 ,项目采用BOO形式,总投资为2.1亿元,以污水厂达到一级A标准的出水为原水,为黄岛区北部工业园区用水大户供水。设计产水量为 $20\,000\text{ m}^3/\text{d}$,设计进水量为 $34\,776\text{ m}^3/\text{d}$,设计外排水量为 $14\,616\text{ m}^3/\text{d}$ 。回用站分为产水、浓水及污泥三个系统,产水系统以高效石灰软化沉淀池、超滤、两级反渗透为核心,设计总回用率为57.49%,脱盐率 $>98\%$, $\text{TDS}\leq 100\text{ mg/L}$;浓水系统以活性炭沉淀池为核心,出水达到一级A标准;污泥系统采用板框压滤机,污泥含水率 $<80\%$ 后外运。系统实际运行效果良好,达到设计要求。

关键词: 超滤; 反渗透; 高效沉淀池; 活性炭沉淀池

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)04-0066-05

Treatment of Wastewater Treatment Plant Effluent by UF-RO for Industrial Reuse

WANG Jin-long

(Qingdao Jinlong Hongye Environmental Protection Co. Ltd., Qingdao 266500, China)

Abstract: Huangdao District of Qingdao was a serious water-deficient area, and the shortage of water resources became a bottleneck restricting the economic development of the region. It was proposed to use the qualified effluent of the wastewater treatment plant as the raw water to achieve the purification of reclaimed water to meet the industrial water demand. The refined water reuse station covered an area of 1.86 hm^2 , in the form of BOO with a total investment of 210 million yuan. The refined water reuse station, used WWTP first grade A standard effluent as raw water, supplied water to the large water users in the northern industrial zone of Huangdao District. The designed water production was $20\,000\text{ m}^3/\text{d}$, the designed inlet water was $34\,776\text{ m}^3/\text{d}$, and the designed external drainage was $14\,616\text{ m}^3/\text{d}$. The recycling station was divided into three systems including water production, concentrated water and sludge. The water production system used high-efficiency lime softening sedimentation tank, ultrafiltration, two-stage reverse osmosis as the core stage, the total reuse rate was 57.49%, the salt rejection rate $>98\%$, and $\text{TDS}\leq 100\text{ mg/L}$. The concentrated water system took the activated carbon sedimentation tank as the core stage, and the effluent reached the first grade A standard; the sludge system adopted the plate and frame filter press, and the sludge water content $<80\%$. The actual operation effect was good and met the design requirements.

Key words: ultrafiltration; reverse osmosis; high-efficiency sedimentation tank; activated carbon sedimentation tank

山东省属于严重缺水地区。青岛市黄岛区全年用水总量为 $1.97 \times 10^8 \text{ m}^3$, 工业用水占 37.9%, 水资源短缺已成为制约地区经济发展的瓶颈。为进一步优化水资源配置, 充分开发第二水源, 以污水厂合格出水为原水, 实现中水精制满足工业用水需求是可行的解决方案。工业用水主要是脱盐软水, 污水厂出水完全满足水源条件, 且相比自来水, 费用更低。黄岛北部工业园区需工业用水 $20\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, 拟通过精制污水厂出水, 实现中水脱盐回用, 充分利用城市第二水源, 缓解青岛用水紧张局面, 同时为全区中水回用建立示范工程。笔者以青岛市黄岛区精制中水回用站为例, 介绍精制中水回用站设计及运行, 为地区乃至全国的中水精制提供参考与技术支持。

1 项目背景

青岛市黄岛区精制中水回用站位于南辛安河北、疏港高速以西,占地为 1.86 hm^2 ,项目采用 BOO 形式,总投资为 2.1 亿元。以污水厂合格出水为原水,一期设计供水量为 $20\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,为黄岛区北部工业园区,包括丽东化工、思远化工及青岛炼化等用水大户供水。

污水厂出水为典型的低温、低浊水,给预处理增加了难度^[1-3];同时,工业用水为脱盐软水,脱盐要求较高;另外,工艺产生的废水需达标外排。结合几方面难点,最终选择以高效沉淀→超滤→反渗透为核心的处理工艺。为保证出水脱盐要求,反渗透采用两级流程^[4],一级产水部分进入二级进行深度脱盐,以保证总出水脱盐要求。

2 工程设计

2.1 设计水质与水量

设计产水量为 20 000 m³/d, 设计进水量为 34 776 m³/d (其中包含水源热泵系统用水 6 216 m³/d), 外排水量为 14 616 m³/d。进水为黄岛某污水厂出水, 达到一级 A 标准, 外排水按一级 A 标准设计, 产水满足工业除盐水要求, 脱盐率 > 98%。具体设计水质如表 1 所示。

表 1 设计水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	浊度/NTU	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	TDS/ (mg·L ⁻¹)
原水		5(8)	50	5 600
产水	2	—	2	100
外排水		5(8)	50	

2.2 工艺流程

整个回用站分为产水、浓水及污泥三个系统,工艺流程分别如图 1~3 所示(图中数字单位: m^3/h)。产水系统以高效石灰软化沉淀池、超滤、两级反渗透为核心,总回用率为 57.49%;浓水系统以活性炭沉淀池为核心^[5],出水达到一级 A 标准;污泥系统采用板框压滤机,污泥含水率 $< 80\%$ 后外运。

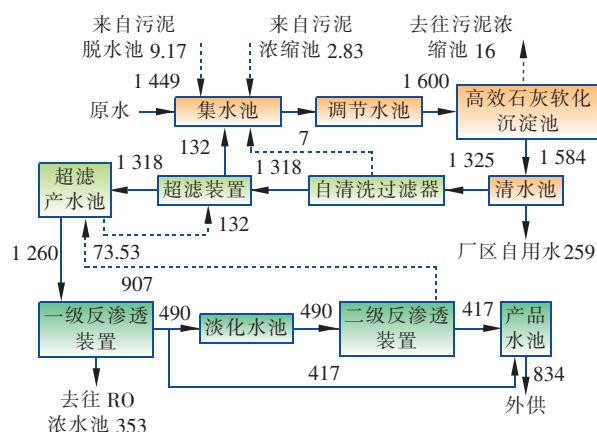


图 1 产水工艺流程与水量平衡

Fig. 1 Water production process flow and water balance

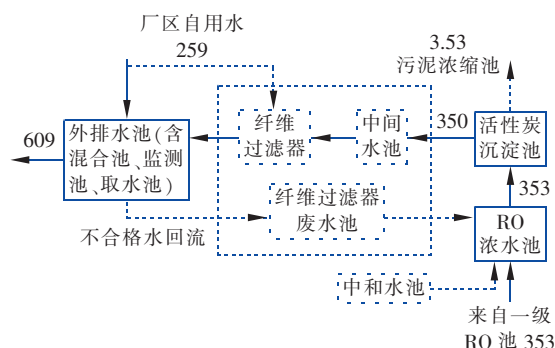


图2 浓水工艺流程与流量平衡

Fig. 2 Concentrated water treatment process flow and flow balance

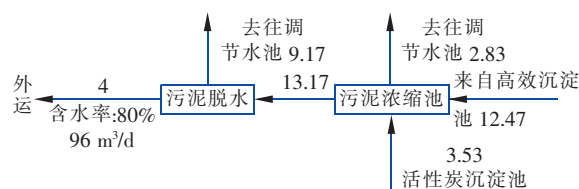


图3 污泥处理工艺流程与流量平衡

Fig. 3 Sludge treatment process flow and flow balance

各工艺段水质要求:预处理以去除胶体及悬浮物为主,并采用石灰软化,出水调节 pH 值至弱碱性;超滤作为反渗透的预处理,延长反渗透运行周期

及膜寿命,超滤脱盐率 $<10\%$;反渗透为主要脱盐工艺,反渗透进水需严格控制 pH 值及氧化物,防止被污堵及氧化,各工艺段水质控制见表 2。

表 2 各主要工艺段设计水质

Tab. 2 Design water quality of main units

项目	浊度/NTU	pH 值	余氯/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ORP/mV
预处理出水	10	7.8~8.1		
超滤产水	0.2			
反渗透进水	0.2		<0.1	200

2.3 预处理系统

预处理系统由集水池、调节池、高效池、清水池组成,设计流量为 $1\,600\text{ m}^3/\text{h}$ 。集水池与调节池合建;集水池 1 座,有效池容为 378 m^3 ,尺寸为 $23.0\text{ m} \times 4.7\text{ m} \times 4.2\text{ m}$;调节池 1 座,有效池容为 $3\,933\text{ m}^3$,尺寸为 $45.0\text{ m} \times 23.0\text{ m} \times 4.2\text{ m}$;高效池 2 座合建,总有效池容为 $1\,654\text{ m}^3$,尺寸为 $28.5\text{ m} \times 20.05\text{ m} \times 6.3\text{ m}$;高效池分为快速混凝区、石灰反应区、絮凝区、沉淀区、pH 调节区,HRT 分别为 2.26、2.26、11.3、46.2、0.42 min;清水池 2 座,单池有效池容为 400 m^3 ,尺寸为 $9.5\text{ m} \times 7.25\text{ m} \times 6.5\text{ m}$ 。

集水池设有立式离心提升泵 3 台(2 用 1 备),单台设计流量为 $800\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 60 kPa;调节池设有立式离心提升泵 3 台(2 用 1 备),单台设计流量为 $800\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 150 kPa。调节池同时设有 4 台潜水搅拌机,单台功率为 6.5 kW,叶轮转速为 303 r/min;高效池各设有 3 台污泥排放/循环螺杆泵(2 用 1 备),共 6 台,流量为 $40\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 200 kPa;高效池的快速混凝区、石灰反应区、絮凝区、pH 调节区各设置搅拌器 1 台,沉淀区各设刮泥机一套。

调节池投加次氯酸钠 2 mg/L,高效池投加 PAC 25 mg/L、熟石灰 100 mg/L、PAM 0.3 mg/L(阴离子)。

2.4 超滤系统

超滤系统由自清洗过滤器、超滤池、超滤产水池组成,设计流量为 $1\,325\text{ m}^3/\text{h}$ 。自清洗过滤器 3 台,过滤精度为 $100\text{ }\mu\text{m}$,出水浊度 $\leq 1\text{ NTU}$,SDI ≤ 5 ;规格 $\varnothing 480\text{ mm} \times 1\,600\text{ mm}$,本体材料为碳钢衬塑,设计压力为 1.0 MPa,进水压力 $>0.1\text{ MPa}$,单台设计处理流量为 $450\text{ m}^3/\text{h}$;手动模式时,连续运行 4 h 后自动清洗 15 s。超滤装置共 7 组(6 用 1 备),由碳钢支架、UPVC 和不锈钢管路、超滤膜组成,采用

UNA-620A 型超滤膜,膜公称孔径为 $0.01\text{ }\mu\text{m}$,每台过滤瞬时通量为 $235\text{ m}^3/\text{h}$,76 支膜/组,尺寸为 $8\,080\text{ mm} \times 1\,830\text{ mm} \times 4\,284\text{ mm}$,设计压力为 1.0 MPa,运行压力为 0.25 MPa,产水浊度 $<0.2\text{ NTU}$,SDI ≤ 3 ,水洗强度为 $50\sim 120\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,气洗强度为 $5\sim 15\text{ Nm}^3/(\text{h} \cdot \text{支膜})$,系统回收率 $\geq 90\%$ 。超滤产水池有效池容为 560 m^3 。

超滤给水泵 4 台(3 用 1 备),设计流量为 $480\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 300 kPa;超滤反洗泵 2 台(1 用 1 备),设计流量为 $230\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 250 kPa;超滤清洗泵 2 台(1 用 1 备),设计流量为 $230\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 250 kPa;均为卧式离心泵。

超滤分为过滤、气水反洗、维护性清洗 EFM、化学清洗 CIP、气密性检测 PDT 几种状态,维护性清洗及化学清洗需投加次氯酸钠、氢氧化钠、盐酸。过滤 30 min 后反洗,反洗 5~10 min;反洗达到 48 次后进行 EFM 清洗;反洗达 1 440 次后,进行 CIP 清洗;EFM 周期约 1 次/(1~2) d,CIP 周期约 1 次/30 d。

2.5 反渗透系统

反渗透系统包括保安过滤器、一级反渗透、一级反渗透产水池、RO 浓水池、二级反渗透、产品水池。一级反渗透设计流量为 $1\,260\text{ m}^3/\text{h}$,浓水设计流量为 $353\text{ m}^3/\text{h}$,二级反渗透设计流量为 $490\text{ m}^3/\text{h}$ 。保安过滤器 6 台,5 台与一级反渗透配套,1 台与化学清洗配套,规格 $\varnothing 450\text{ mm} \times 1\,200\text{ mm}$,卧式圆筒,筒体材质 SS316L,滤芯材质 PP,4 支/台大通量滤芯,过滤精度为 $5\text{ }\mu\text{m}$,流量为 $260\text{ m}^3/\text{h}$,工作压力为 0.2~0.4 MPa,前后工作压差 $<0.10\text{ MPa}$,进水 SDI <3 ,SS $<1\text{ mg/L}$ 。系统采用 5 组产水量为 $181.5\text{ m}^3/\text{h}$ 的反渗透处理膜组,每套 39 个压力容器,排列比为 26:13,每个压力容器内装有 7 支反渗透膜,5 组共计 1 365 支膜,运行压力为 1.5~2.5 MPa,脱盐率 $\geq 98\%$,回收率为 72%。二级反渗透采用 3 组产水量为 $165\text{ m}^3/\text{h}$ 的反渗透处理膜组,每套 16 个压力容器,排列比为 12:4,所有压力容器安装在一个机架上;每个压力容器内装有 7 支卷式复合反渗透膜,3 组共计 336 支膜;二级反渗透系统回收率设计为 85%,系统脱盐率 $\geq 96\%$,单支膜的脱盐率 $>99.5\%$ 。一级反渗透产水池 1 座,有效池容为 400 m^3 ;RO 浓水池 1 座,有效池容为 650 m^3 ;产品水池 2 座,总有效池容为 $8\,000\text{ m}^3$ 。

一级反渗透给水泵 5 用 1 库备,设计流量为

252 m³/h,扬程为450 kPa;一级反渗透高压泵5台,设计流量为252 m³/h,扬程为1.7 MPa;一级反渗透段间增压泵5台,设计流量为128 m³/h,扬程为450 kPa;一级反渗透冲洗泵1用1备,设计流量为130 m³/h,扬程为400 kPa;二级反渗透高压泵3台,设计流量为165 m³/h,扬程为1.45 MPa;化学清洗泵2台,设计流量为130 m³/h,扬程为400 kPa;均为卧式离心泵。

阻垢剂采用母管投加,还原剂与反渗透一一对应投加;杀菌药剂采用非氧化杀菌剂,设计投药量≥50 mg/L;化学清洗采用氢氧化钠、盐酸、EDTA清洗。

2.6 活性炭沉淀池

活性炭沉淀池1座,设计处理量为400 m³/h。包括活性炭快速混合池(4.2 m×4.2 m×7.7 m),有效容积为115 m³,停留时间为17.3 min;PAC快速混合池(4.75 m×4.75 m×7.7 m),有效容积为146 m³,停留时间为21.95 min;絮凝池尺寸为2.5 m×4.75 m×7.7 m,有效容积为91 m³,停留时间为13.72 min;沉淀池(8.0 m×8.0 m×7.7 m)有效容积为415 m³,停留时间为62.2 min。

中和水池设有提升泵2台(1用1备),流量为30 m³/h,扬程为150 kPa;活性炭沉淀池设有提升泵2台(1用1备),流量为400 m³/h,扬程为150 kPa,

污泥排放/循环泵3台(2用1备),流量为40 m³/h,扬程为200 kPa。

活性炭快速混合池投加粉末活性炭,设计投加量为150 mg/L;PAC快速混合池投加PAC,设计投加量为25 mg/L;絮凝池投加PAM,设计投加量为0.5 mg/L。

2.7 污泥处理系统

系统污泥包括高效沉淀池污泥、活性炭沉淀池污泥,污泥浓缩池2座,单座尺寸为Ø10 m×5.5 m,污泥输送泵3台(2用1备),流量为50 m³/h,扬程为800 kPa,滤布冲洗泵1台,流量为13 m³/h,扬程为6 MPa;板框压滤机2台,进泥含水率为95%,泥饼含水率≤80%,绝干泥量为20 t/(台·d),单台功率为55 kW。输送泵前投加PAM,设计投加量为5 mg/L(阳离子)。

2.8 空压系统与水源热泵系统

空气压缩机2台(1用1备),流量为3.5 m³/h, H=1.0 MPa;冷干机1台,流量为3.5 m³/h;空气储罐3台,2台2 m³,1台5 m³。

水源热泵,热交换机1台。

2.9 加药

系统加药如表3所示。PAM采用螺杆泵投加,PAC等一般药剂采用电磁计量泵投加,双膜清洗投药采用气动隔膜泵投加。

表3 系统加药

Tab.3 System dosing

药剂	年消耗量/(t·a ⁻¹)	日常存储量/t	用途	备注
混凝剂 PAC(10%)	3 163	35	作为混凝剂用于高密度沉淀池和后混凝池	液体,纯度≥10%
PAM	16	0.5	作为絮凝剂用于高密度沉淀池	粉末,纯度≥98%
熟石灰	2 490	100	作为软化剂用于高密度沉淀池	粉末,纯度≥85%
EDTA	9.6	0.5	反渗透膜清洗药剂	固体,纯度≥99%
盐酸	227	20	用于废水中和、滤膜清洗	商品液,浓度≥31%
NaClO(10%)	369	15	用于超滤膜的反洗、超滤膜和反渗透膜的化学清洗	商品液,浓度≥10%
阻垢剂	27	0.8	投加于反渗透前端以防止无机盐在反渗透膜表面的沉积	商品液
还原剂(亚硫酸氢钠)	33	0.8	作为还原剂投加至反渗透前保安过滤器	固体,纯度≥98%
非氧化性杀菌剂	0.01	0.01	投加至反渗透前保安过滤器	商品液,浓度100%
氢氧化钠	121	4	用于超滤膜和RO膜的化学清洗,以及用于RO产水,pH调节	商品液,浓度≥30.5%
粉末活性炭	1 485	25	用于浓相水处理	粉末

3 系统调试与运行

整个项目于2016年6月开始施工,2017年3月开始通水调试,2017年4月正式供水,供水量根据

需求方调整,按设计参数运行。目前原水流量为1 025 m³/h,供水量为625 m³/h,外排水量为400 m³/h,总回收率为60.97%。产水pH值为7~8,浊

度 <2 NTU,电导率为 $50\sim 60\ \mu\text{S}/\text{cm}$,TDS为 $20\sim 40\ \text{mg}/\text{L}$,COD $<2\ \text{mg}/\text{L}$,脱盐率 $>98.6\%$;外排水COD $<50\ \text{mg}/\text{L}$,氨氮 $<5\ \text{mg}/\text{L}$;污泥产量为 $30\ \text{t}/\text{d}$,含水率 $<80\%$ 。实际运行中,脱盐效果较好,暂时未开启二级反渗透即可满足出水要求。

4 投资运行费用

项目整体投资为2.1亿元。由于供水负荷不同,能耗、物耗的吨水费用不同,以75%的负荷率核算,物耗(药耗)为 $1.5\ \text{元}/\text{m}^3$,能耗(电耗)夏季为 $2.5\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,冬季为 $3.0\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。药耗部分主要包括预处理部分的熟石灰、混凝剂、絮凝剂、次氯酸钠;超滤部分的盐酸、氢氧化钠;反渗透部分的阻垢剂、还原剂及相关清洗药剂。

5 结论

① 以污水厂一级A出水为原水,通过高效预处理、双膜工艺可达到工业脱盐水要求;反渗透浓水通过活性炭沉淀池处理,出水水质稳定达到一级A标准;污泥经过浓缩、板框压滤,含水率 $<80\%$ 。

② 供水量为 $625\ \text{m}^3/\text{h}$ 时,产水pH值为 $7\sim 8$,浊度 <2 NTU,电导率为 $50\sim 60\ \mu\text{S}/\text{cm}$,TDS为 $20\sim 40\ \text{mg}/\text{L}$,COD $<2\ \text{mg}/\text{L}$,系统脱盐率 $>98.6\%$,总回收率为 60.97% ;污泥产量为 $30\ \text{t}/\text{d}$,含水率 $<80\%$;超滤回收率 $\geq 90\%$,一级反渗透回收率为 72% 。

参考文献:

- [1] 汪志永,戴红玲,周政,等. 低温低浊水处理技术的研究与应用[J]. 水处理技术,2016,42(10):20-24.
Wang Zhiyong, Dai Hongling, Zhou Zheng, *et al.* Research and application of low temperature and low turbidity water treatment technology[J]. Technology of Water Treatment,2016,42(10):20-24(in Chinese).
- [2] 肖刚,袁本松,贺晓娟,等. 地表水厂絮凝池改造及运行优化研究[J]. 给水排水,2018,44(10):19-22.
Xiao Gang, Yuan Bensong, He Xiaojuan, *et al.* Study on retrofit and operation optimization of flocculation tank in surface water plant[J]. Water & Wastewater Engineering,2018,44(10):19-22(in Chinese).
- [3] 姜继平,李玉立,王鹏,等. 水厂低温低浊排泥水混凝处理工艺设计优化[J]. 净水技术,2018,37(8):61-65.
Jiang Jiping, Li Yuli, Wang Peng, *et al.* Design optimization of coagulation treatment process for sludge wastewater of low temperature and low turbidity in WTP[J]. Water Purification Technology,2018,37(8):61-65(in Chinese).
- [4] 翟燕,王文娜,靖大为. 两级反渗透系统中膜元件的优化组合[J]. 供水技术,2015,9(2):1-4.
Zhai Yan, Wang Wenna, Jing Dawei. Optimal combination of membrane component in first and secondary reverse osmosis system[J]. Water Technology,2015,9(2):1-4(in Chinese).
- [5] 邢思初,卢文卓,张东波,等. 粉末活性炭回流高密度沉淀池生物强化作用研究[J]. 给水排水,2014,40(8):14-18.
Xing Sichu, Lu Wenzhuo, Zhang Dongbo, *et al.* Study on biologically improved reflux high-concentration sedimentation tank by powered activated carbon[J]. Water & Wastewater Engineering,2014,40(8):14-18(in Chinese).



作者简介:王金龙(1988—),男,辽宁大连人,本科,工程师,主要从事污水、中水精制回用厂运行管理。

E-mail:15712796070@163.com

收稿日期:2019-05-11