

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.06.040

# “超滤+反渗透”工艺在污水厂再生水处理中的应用

巫进

(上海城投水务工程项目管理有限公司, 上海市 201103)

**摘要:**近年来,污水再生利用在行业内受到越来越广泛的关注。现阶段,我国很多污水处理厂设计时未考虑污水再生利用。以上海某污水处理厂为例,其在市政污水厂再生水设计时创新采用“超滤+反渗透”工艺,达到工业净水标准后回用,实现厂内自用水的自给自足,以为同类型污水厂再生水设计提供可参考借鉴的解决方案。工程再生水设计规模5 000 m<sup>3</sup>/d,超滤膜采用孔径为0.02 μm的中空纤维膜,设计膜通量不大于55 L/(m<sup>2</sup>·h),设计回收率不小于90%;反渗透膜采用卷式膜组件,设计系统回收率不小于70%。工程第一部分投资为2 091.17万元,单位经营成本为1.33元/m<sup>3</sup>。

**关键词:**再生水;工艺流程;超滤;反渗透

**中图分类号:** TU992

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)06-0147-04

## 0 引言

我国是个缺水国家,加强对水资源的管理和综合利用就显得尤为重要,污水处理后的尾水若进一步进行深度处理后加以利用,对实现资源的综合利用、节约运行成本以及实现双碳目标均具有重要意义。

根据《中国城乡建设统计年鉴-2020年》,截至2020年,再生水利用率仅为16%<sup>[1]</sup>,很多污水处理厂设计时未考虑污水再生利用。今后,污水厂尾水再生回用市场前景广阔。本文以上海某污水处理厂为例,介绍“超滤+反渗透”工艺在污水厂再生水处理中的应用,以为同类型污水厂再生水处理设计提供可参考借鉴的解决方案。

上海某污水处理厂出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准。化学除磷混凝剂采用浓度为26%的成品硫酸铝溶液(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为7.8%);助凝剂采用阴离子PAM,现场制备;辅助消毒剂采用浓度为10%成品次氯酸钠溶液;鼓风机曝气设备采用单级高速离心鼓风机,出水泵采用涡流式混流泵,两者的冷却方式均为水冷。

## 1 设计方案

### 1.1 工程规模及设计进出水水质

该工程主要用水点包括加药间药剂稀释用水、

鼓风机房冷却塔补水、出水泵冷却和润滑用水以及处理构筑物 and 厂内道路冲洗、绿化浇洒、化验、生活用水等。生活用水和化验用水需采用自来水;加药间药剂稀释用水,包括化学除磷混凝剂和化学除磷阴离子PAM助凝剂稀释用水,其中化学除磷混凝剂稀释用水要求不高,只要达到生活杂用水水质标准即可,而阴离子PAM对水质要求很高,除了卫生学指标外一般要求达到自来水水质标准;鼓风机房冷却塔补水与水泵冷却和润滑用水对水质要求也很高,为防止水中化学物质对设备的腐蚀,一般要求采用工业净水;构筑物和道路冲洗和绿化浇洒等用水对水质要求不高,采用污水厂尾水即可,无需进一步处理。

根据上述分析,该工程再生水服务范围为加药间药剂稀释用水、鼓风机房冷却塔补水与水泵冷却用水和润滑用水。通过计算,厂内再生水用量为4 977 m<sup>3</sup>/d,详细组成见表1。根据用水量,最终确定厂内再生水处理规模为5 000 m<sup>3</sup>/d。

表1 厂区再生水用量一览表

项目	数量	用水量指标	用水量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
阴离子PAM稀释用水量	204 kg/d	稀释到0.2‰溶液	1 020
硫酸铝稀释用水量	86 m <sup>3</sup> /d	稀释到5%溶液	447
鼓风机房冷却塔补水	8台风机24h	75 m <sup>3</sup> /h×0.03	54
出水泵房润滑及冷却用水	4台泵24h	5 L/s×2	3 456
小计			4 977

该工程新建1套再生水处理系统,规模为5 000 m<sup>3</sup>/d,进水取自气水反冲洗滤池出水(除大肠杆菌指标外其

收稿日期: 2022-12-14

作者简介: 巫进(1981—),男,学士,工程师,从事水务工程项目管理工作。

余指标均已达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准),出水根据各用水点要求需达到工业净水标准。再生水处理系统进出水水质见表2。

表2 设计进出水水质表

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	铁	锰
设计进水水质 / (mg·L <sup>-1</sup> )	50	10	10	5(8)	15	0.5	-	-
设计出水水质 / (mg·L <sup>-1</sup> )	5	1	1	1	1	0.1	0.3	0.1

### 1.2 设计工艺流程

再生水处理系统的进水取自气水反冲洗滤池出水,经预处理的水进入超滤膜组件。超滤膜采用“由外至内”流动方式,通过超滤膜的过滤作用,SS及胶体物质基本得以去除,同时超滤膜对贾第鞭毛虫和隐孢子虫有大于99.99%的去除率,对病毒也有近99.95%的去除率。

过滤一定时间后,在膜的表面会沉积一层污染层,需要定期对膜组件进行反冲洗。反冲洗水泵将超滤出水提升加压后由超滤出水管进入系统,带压反洗水将膜表面的污染物冲洗出系统,膜元件的通量得以恢复。由于水中含有各种细菌、有机物、无机物等,仅用清水进行反洗并不能完全恢复膜通量,所以在膜元件过滤一定时间后,需要对膜进行化学加强反洗,通过化学药剂彻底去除膜表面的污染物。

为了减小水中盐类对加药效果的影响,达到再生水水质无机盐类的要求,采用反渗透膜对超滤出水进一步处理。反渗透膜采用卷式膜组件,采用半透膜进行压力分离,可有效去除水中的硝酸盐。反渗透工艺在产水的同时,污染物也在浓水侧集聚,超过了其在水中的自然溶解度,易引起结垢。运行中需投加阻垢剂来以减轻结垢趋势。反渗透出水进入回用水池存放,后通过回用水泵送至各用水点。再生水处理装置的工艺流程见图1。

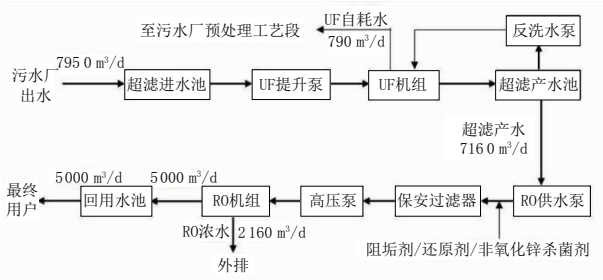


图1 工艺流程图

### 1.3 总体设计

该工程用地紧张,为节约用地,拟采用膜处理车间和回用水池上下叠合设计方案。新建再生水处理车间1座,规模为5000 m³/d,位于厂区东侧,平面尺

寸为46.8 m×21.3 m。上部按功能分为膜车间、加药间、辅助生产用房,下部为水池和泵房,平面布置见图2。

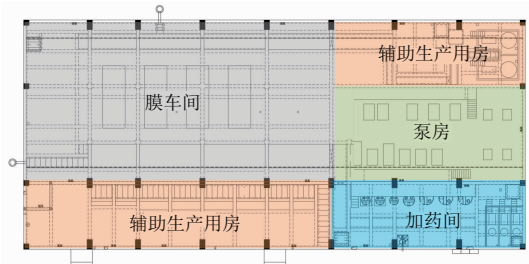


图2 平面布置图

## 2 工艺设计

### 2.1 超滤系统

#### 2.1.1 设计参数

平均进水量:  $Q=331 \text{ m}^3/\text{h}$  (其中  $32.9 \text{ m}^3/\text{h}$  为自耗水,供反冲洗和化学加强反洗使用);

平均产水量:  $Q=298 \text{ m}^3/\text{h}$ ;

单套机组产水量:  $Q=74.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ;

设备套数:4套;

操作周期:  $T=45 \sim 60 \text{ min}$ ;

反洗时间:  $t=38 \text{ s}$ ;

化学加强反洗周期:  $T=36 \sim 48 \text{ h}$ ;

设计回收率:不小于90%;

设计膜通量:不大于  $55 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

#### 2.1.2 主要设备

##### (1)超滤进水泵

工艺设置2台超滤进水泵(2用1备,全部变频),为超滤系统提供足够的运行压力。超滤进水泵采用变频恒定流量控制,通过出水流量的信号反馈至泵变频器,调整泵的转速,为超滤系统提供恒定流量的进水。基本技术参数为:流量  $Q=175 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程  $H=30 \text{ m}$ ,功率  $N=22 \text{ kW}$ 。

##### (2)絮凝剂投加系统

通过投加絮凝剂,可有效降低超滤系统的运行跨膜压差,可减少超滤膜的反洗和化学加强反洗的频率,从而提高整个超滤系统的效率和产水率,缓解超滤膜的污堵情况,保证超滤系统连续稳定运行。主要设备包括:絮凝剂计量箱1个,有效容积  $V=1000 \text{ L}$ ,PE材质,配套搅拌机;絮凝剂加药泵采用机械隔膜泵,2台(1用1备),单台流量  $Q=25 \text{ L}/\text{h}$ ,扬程  $H=50 \text{ m}$ ,配套阻尼器,安全阀,背压阀。

##### (3)自清洗过滤器

该系统共设置2台自清洗过滤器(1用1备),基

本技术参数为：单台流量  $Q=350\text{ m}^3/\text{h}$ ，过滤精度  $200\text{ }\mu\text{m}$ ，碳钢防腐壳体，不锈钢 SS316 L 滤网。

#### (4)超滤机组

超滤机组为超滤系统的核心部件。机组采用卧式布置，减少占地面积，总体布局采用上下分层结构，上层为设备间，下层为管道间。超滤进水设置压力传感器，当检测到进水压力高时，系统将停运以防止系统压力过高而损坏超滤膜组件。该系统设置 4 套超滤膜组件，基本技术参数为：单套设备产水量  $Q=298\text{ m}^3/\text{h}$ ，公称孔径  $d=0.02\text{ }\mu\text{m}$ ，配套压力表、压力传感器、电磁流量计、管路系统和阀门等。

## 2.2 反渗透系统

### 2.2.1 设计参数

平均进水量： $Q=298\text{ m}^3/\text{h}$ ；

平均产水量： $Q=208\text{ m}^3/\text{h}$ ；

机组数量：4 套；

单套机组产水量： $Q=52\text{ m}^3/\text{h}$ ；

系统回收率：不小于 70%；

设计膜通量：不大于  $20\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

### 2.2.2 主要设备

#### (1)反渗透进水泵

工艺配置 3 台反渗透进水泵(2 用 1 备)，用于反渗透系统的供水供压。基本技术参数为：单台流量  $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程  $H=30\text{ m}$ ，功率  $N=22\text{ kW}$ ，过流部件材质采用不锈钢 SS316L。

#### (2)反渗透高压泵

工艺配置 4 台反渗透高压泵，高压泵进口设置低压开关，出口设置高压开关。当高压泵进口压力低于设定值时，反渗透高压泵停机以免造成高压泵损坏；当高压泵出口压力过高时，高压泵停机以免对膜系统本身造成不可恢复的损伤。基本技术参数为：单台流量  $Q=70\text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程  $H=140\text{ m}$ ，功率  $N=55\text{ kW}$ 。

#### (3)阻垢剂加药装置

阻垢剂计量箱 1 个，有效容积  $V=500\text{ L}$ ，PE 材质，配套搅拌机。

阻垢剂加药泵采用电磁隔膜计量泵，2 台(1 用 1 备)，单台流量  $Q=12\text{ L}/\text{h}$ ，扬程  $H=50\text{ m}$ ，配套阻尼器，安全阀，背压阀。

#### (4)还原剂加药装置

还原剂计量箱 1 个，有效容积  $V=500\text{ L}$ ，PE 材质，配套搅拌机。

还原剂加药泵采用电磁隔膜计量泵，2 台(1 用 1 备)，单台流量  $Q=12\text{ L}/\text{h}$ ，扬程  $H=50\text{ m}$ ，配套阻尼器，

安全阀，背压阀。

#### (5)精密过滤器

配置 4 台精密过滤器，精密过滤器用于去除大于  $5\text{ }\mu\text{m}$  的颗粒物，保护反渗透膜元件。基本技术参数为：单台流量  $Q=70\text{ m}^3/\text{h}$ ，过滤精度为  $5\text{ }\mu\text{m}$ 。

#### (6)反渗透机组

该系统设置 4 套反渗透机组，采用模块化组架设计，组架上配备压力容器、本体管道、接头、法兰和连接件、阀门以及支架、紧固件、夹具等附件。反渗透机组浓水排水管装设流量控制阀和流量计，以控制水的回收率<sup>[2]</sup>。基本技术参数为：单套设备产水量  $Q=52\text{ m}^3/\text{h}$ ，系统脱盐率不大于 98%，运行压力不小于  $1.6\text{ MPa}$ 。

#### (7)段间泵

工艺配置 4 台段间泵(全部变频)，用于反渗透系统的二段增压。基本技术参数为：单台流量  $Q=35\text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程  $H=15\text{ m}$ ，功率  $N=3\text{ kW}$ 。

## 2.3 膜清洗系统

### 2.3.1 超滤反冲洗泵

超滤反冲洗水源取自超滤产水池，在反冲洗过程中反冲洗泵将水从超滤膜组件的清水出口反向送入中空纤维膜内进行清洗。系统设置 2 台超滤反冲洗泵(1 用 1 备，全部变频)，基本技术参数为：单台流量  $Q=370\text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程  $H=32\text{ m}$ ，功率  $N=45\text{ kW}$ 。

### 2.3.2 化学加强反洗装置

根据运行情况，定期对膜作较为彻底的清洗，去除膜上黏附的细菌、藻类等生物体，水垢和有机物等，使膜通量得到良好的恢复。主要设备如下：

#### (1)NaClO 加药装置

NaClO 计量箱 1 个，有效容积  $V=2\text{ }000\text{ L}$ ，PE 材质，配套搅拌机。

NaClO 加药泵采用气动隔膜泵，2 台(1 用 1 备)，单台流量  $Q=1\text{ }000\text{ L}/\text{h}$ ，扬程  $H=40\text{ m}$ ，配套阻尼器，安全阀，背压阀。

#### (2)柠檬酸加药装置

柠檬酸计量箱 1 个，有效容积  $V=2\text{ }000\text{ L}$ ，PE 材质，配套搅拌机。

柠檬酸加药泵采用气动隔膜泵，2 台(1 用 1 备)，单台流量  $Q=1\text{ }000\text{ L}/\text{h}$ ，扬程  $H=40\text{ m}$ ，配套阻尼器，安全阀，背压阀。

#### (3)NaOH 加药装置

NaOH 计量箱 1 个，有效容积  $V=2\text{ }000\text{ L}$ ，PE 材质，配套搅拌机。



NaOH加药泵采用气动隔膜泵,4台(2用2备),单台流量 $Q=1\ 000\ \text{L/h}$ ,扬程 $H=40\ \text{m}$ ,配套阻尼器,安全阀,背压阀。

#### (4)在线化学清洗装置

在线化学清洗水箱1个,有效容积 $V=5\ 000\ \text{L}$ ,PE材质。

在线化学清洗水泵采用卧式端吸离心泵,2台(1用1备),单台流量 $Q=200\ \text{m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=30\ \text{m}$ ,功率 $N=30\ \text{kW}$ 。

### 2.3.3 废水中和系统

中和系统是对超滤装置的化学清洗废水进行无害化处理的系统。主要设备如下:

#### (1)中和废水泵

工艺设置2台中和废水排放泵,用于排除中和后的废液,基本设计参数为:单台流量 $Q=200\ \text{m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=10\ \text{m}$ ,功率 $N=11\ \text{kW}$ 。

#### (2)中和加药系统

还原剂计量箱1个,有效容积 $V=500\ \text{L}$ ,PE材质,配套搅拌机。

还原剂加药泵采用气动隔膜泵,2台(1用1备),单台流量 $Q=1\ 000\ \text{L/h}$ ,扬程 $H=40\ \text{m}$ ,配套阻尼器,安全阀,背压阀。

### 2.4 出水供水系统

反渗透系统的出水进入回用水池,回用水池平面尺寸为 $28.9\ \text{m} \times 21.3\ \text{m}$ ,有效水深为 $2\ \text{m}$ ,停留时间为 $6\ \text{h}$ 。为防止水质恶化,回用水池内部设置导流

墙。出水设置恒压变频供水泵3台(2用1备,全部变频),单台流量 $Q=105\ \text{m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=30\ \text{m}$ ,电机功率 $N=15\ \text{kW}$ 。

## 3 综合效益分析

该再生水系统自投入运行后,运行效果稳定,每年节约自来水耗量 $182.5\ \text{万}\ \text{m}^3$ ,取得了较大的社会效益。该系统第一部分投资为 $2\ 091.17\ \text{万元}$ ,单位运行成本为 $1.33\ \text{元}/\text{m}^3$ ,低于自来水价格,具有较好的经济效益。

## 4 结语

本文以上海某污水处理厂为例,介绍污水厂再生水回用设计,以期同类型污水厂再生水设计提供可参考借鉴的解决方案。工程再生水设计规模 $5\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ ,进水取自气水反冲洗滤池出水,采用“超滤+反渗透”工艺处理至工业净水标准后回用。超滤膜采用孔径为 $0.02\ \mu\text{m}$ 的中空纤维膜,设计膜通量不大于 $55\ \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,设计回收率不小于 $90\%$ ;反渗透膜采用卷式膜组件,设计系统回收率不小于 $70\%$ 。工程第一部分投资为 $2\ 091.17\ \text{万元}$ ,单位经营成本为 $1.33\ \text{元}/\text{m}^3$ 。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.中国城乡建设统计年鉴.2020年[M].北京:中国计划出版社,2021.
- [2] 李玉林,杜善明,吴国祥,等.预处理+双膜法工艺在煤制烯烃循环水系统排污处理中的应用[J].煤炭加工与综合利用,2018(4):5.

\*\*\*\*\*  
(上接第134页)

需征用大面积周边农田,板桩施工所需人工相比其他传统护岸施工所需人工大幅度减少;施工时震动及噪音小,对周边住户的影响可降到最低,施工机械由一般普通机械就可完成施工,施工成型后使用年限长,无需后续维护,也可循环使用。塑钢板桩总体造价也低于生态砌块、格宾石笼、混凝土等传统护岸。

总的来说,高强度塑钢组合板桩产品作为一种新的技术和工艺,适用于堤防、护岸、挡土墙、防渗、

支护等相关水利与土木工程,施工完成后美观实用,后期维护简单,具有良好的使用效果和广泛的推广应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 顾靖超,周跃华,陆立国,等.高强度塑钢板桩在黄河护岸工程中的应用[J].人民黄河,2019,41(11):22-25,64.
- [2] 王捷.浅析上海市几种常用生态护岸型式的设计思路[J].水资源开发与与管理,2019(11):42-46.
- [3] 夏清.上海市生态护岸中预制砌块的应用及研究[J].珠江水运,2021(5):83-84.