

# 南方某市工业水厂的设计

## Design of an Industrial Water Plant in a City in the South

白永强

Yongqiang Bai

中国市政工程华北设计研究总院有限公司 中国·天津 300074

North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Tianjin, 300074, China

**摘要:** 为有效解决水资源短缺问题,可以将再生水用于工业、绿化、浇洒以及杂用水等用途。南方某市设计一座工业水厂,先行建设一期工程,土建规模为 10 万 m<sup>3</sup>/d,设备安装规模为 5 万 m<sup>3</sup>/d,主体工艺采用双膜法。可实现湖水、污水的资源化利用,缓解供需矛盾,为该市经济社会发展提供稳定的水资源保障。

**Abstract:** In order to effectively solve the water scarcity problems, reclaimed water can be used for industrial, greening, watering and miscellaneous water purposes. A city in the south designed an industrial water plant, and the first phase of the project was constructed, with a civil scale of 100,000 m<sup>3</sup>/d, an equipment installation scale of 50,000 m<sup>3</sup>/d, and the main process adopts the double membrane method. It can realize the resource utilization of lake water and sewage, alleviate the contradiction between supply and demand, and provide stable water resources guarantee for the city's economic and social development.

**关键词:** 再生水; 工业水厂; 双膜法

**Keywords:** reclaimed water; industrial water plant; double membrane method

**DOI:** 10.12346/etr.v5i4.7819

## 1 引言

优化水资源配置,为工业经济高速增长提供了稳固的水资源保障,从而提高水资源的利用率,提高水资源承载能力。工业水厂供水范围涵盖工程周边的经济技术开发区、商贸服务业集聚区、工业园区等产业集聚区,符合工业用户的用水要求。

## 2 总体方案

### 2.1 建设内容及规模

工业水厂一期工程土建规模为 10 万 m<sup>3</sup>/d,设备安装规模为 5 万 m<sup>3</sup>/d,主体工艺采用双膜法。二期工程土建规模为 10 万 m<sup>3</sup>/d,设备安装规模为 15 万 m<sup>3</sup>/d,主体工艺同样采用双膜法。本次工程的建设内容为一期工程,厂区预留二期工程用地,为保障二期预留地的合理性,设计中二期工程进行了设计并在总平布置中一并予以设计布局。

### 2.2 进、出水水质

工业水厂采用湖水、污水处理厂尾水双水源供给;在水

利枢纽工程建成之前,现阶段将污水厂尾水作为原水水源。污水厂尾水水质指标按照 GB18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 类标准,同时部分指标按照《关于提高浙江省城镇污水处理厂清洁排放执行标准的指导意见》执行。设计出水水质综合了《城市污水再生利用城市杂用水水质》《城市污水再生利用工业用水水质》《生活饮用水卫生标准》、其他现状工业水厂设计出水水质及调研的相关工业用户用水水质要求。

### 2.3 设计主要因素

对标工业水厂设计出水水质要求,进水中色度、嗅、浊度、COD、总氮、氨氮、总磷、粪大肠菌群、溶解性总固体及阴离子表面活性剂皆需要在工业水处理工艺中进一步处理净化后方能达标。

由本工程设计进出水水质分析可得:本工程工艺重点考虑的指标为色度、嗅、浊度、COD、总氮、氨氮、总磷、粪大肠菌群、溶解性总固体及阴离子表面活性剂。处理工艺的选择应包含去除有机物、除盐、消毒、脱色、提供余氯几

【作者简介】白永强(1989-),男,中国山西朔州人,硕士,从事市政水处理设计研究。

部分,且应着重考虑溶解性总固体的去除。

### 3 工艺比选

#### 3.1 除盐工艺的选择

常用于较大规模除盐的方法主要是离子交换法、电渗析法、反渗透法以及电吸附法。其中,离子交换法常用于水的深度除盐,制备纯水,一般应用在反渗透或电渗析工艺之后;电吸附法单个模块处理量较小,单条生产线最大产水能力约为 $4000\text{m}^3/\text{d}$ ,需要模块较多,且主要针对原水中含盐量较低且需要的脱盐率也较低的情况<sup>[1]</sup>。

根据设计进出水水质要求,综合考虑以上脱盐工艺的规模应用情况、使用经验、工程投资等多个方面考虑,本工程选择反渗透法脱盐工艺和电渗析脱盐工艺作为备选工艺进行进一步技术比较并选择最佳的处理工艺。

采用反渗透工艺进行脱盐,其脱盐率可维持在95%~98%。根据前文确定的进水水质,通过反渗透后,出水溶解性总固体可降低至 $21\sim 35\text{mg/L}$ ,可以满足本工程的出水指标(溶解性总固体 $\leq 50\text{mg/L}$ )。

采用电渗析工艺进行脱盐,其脱盐率可达50%~60%,通过电渗析后,出水溶解性总固体可降低至 $280\sim 350\text{mg/L}$ 之间,采用电渗析方案不能满足本项目的出水水质需要。综上采用反渗透作为脱盐方案。

#### 3.2 反渗透工艺的具体形式

纳滤+反渗透及两段反渗透工艺方案在中水/再生水回用项目中都有应用,对于二段反渗透工艺两者都适用,关键因素还是看产水水质是否满足要求。

纳滤膜是一种特殊的分离膜品种,能截留约1纳米大小的物质,纳滤的操作区间介于超滤和反渗透之间,它截留的有机物分子量约为 $200\sim 400$ ,截留溶解性盐的能力约为20%~80%,对单价阴离子盐溶液的脱除率低于高价阴离子盐溶液,可用以去除水中的硬度,部分去除溶解性盐,纳滤膜两侧的运行压差一般为 $3.5\sim 16\text{bar}$ 。

本项目一期工程进水为污水处理厂尾水,尾水中离子物质的种类、浓度浮动范围较大,不确定性高,为保证后续工业企业用水安全性,选用能够更好地应对进水水质的波动、抗冲击负荷能力强的两段反渗透工艺。

#### 3.3 反渗透预处理方案

由于膜分离技术具有诸多优势,如常温下操作、分离过程无相变、节能、污染小等,作为一项成熟的技术,它已被广泛应用于工业用水及生活用水的制备,藻类和细菌的脱除,食品工业以及饮料果汁的提纯等<sup>[2]</sup>。

但同时,反渗透系统对进水水质要求非常严格,大多数情形下,对于反渗透膜元件来说,不能将水源直接由泵打入,这是因为水源中含有很多杂质,这些杂质会污染反渗透膜元件,影响反渗透膜元件的使用寿命,反渗透系统也不能稳定地运行,因此需要对反渗透进水进行有效的预处理<sup>[3]</sup>。反渗透前的预处理,主要是防止反渗透膜表面污染和机械损伤、防止反渗透膜表面结垢、防止反渗透受到微生物污染,所以

需要除去原水中的有害物质,包括悬浮杂质、胶体物质、有机物、细菌等。超滤是阻挡细菌和隐孢子虫、鞭毛虫等原生寄生虫的绝对屏障,因此超滤膜被广泛应用于污水回用和城市给水处理,特别是作为反渗透系统的预处理方法,更显示了超滤膜的优越性。本工程设置超滤膜作为其前处理工序,俗称“双膜工艺”。

#### 3.4 消毒工艺的选择

根据本工程工业水厂设计出水水质要求,粪大肠菌群不得检出,总氯 $\geq 1.0\text{mg/L}$ ,故必须进行加氯消毒及提供余氯。主要目的是利用物理或化学方法杀灭污水中的病原体微生物,防止对人类及畜禽的健康产生危害或对生态环境造成污染。城市污水二级处理出水中的微生物一般黏附在悬浮固体上,经过一定的深度处理后,细菌的相对含量大幅度减少,但其绝对值仍然很可观,并可能存在病原菌。为了确保再生水的卫生安全,必须进行杀菌消毒,以满足再生水标准中的细菌学指标要求。

目前中国常用的消毒方法有液氯消毒、二氧化氯消毒、紫外线消毒等。在各种氯消毒工艺中液氯消毒仍然是目前最为低廉的消毒手段,但液氯泄露较为危险,使用需要审批,较为繁琐,当地污水厂、工业水厂多采用次氯酸钠消毒,工作人员对其已有丰富的运行管理经验,且本项目有出厂余氯的要求,故采用次氯酸钠消毒并提供余氯工艺。

## 4 工艺设计

### 4.1 工艺流程

本工程最终流程确定为浸没式超滤+反渗透+清水池+送水泵房。

### 4.2 一期工程布局分析

一期工程结合进出水方向将工程整体由北向南进行布置,工艺顺畅,用地合理,各功能分区明确,衔接紧密,同时预留了远期工程用地。

厂前区设置含实验室、办公室等功能齐全的综合楼和体育活动区。自超滤进水泵至反渗透处理装置的全部设备、构筑物、生产的辅助用房、变配电间皆集成在超滤反渗透车间,节约占地,方便管理。车间内部还包含中控室、消防泵房、水源空调站及参观通道,满足综合楼及变配电间的制冷、供热要求,满足厂区消防用水量的要求,满足人员参观检修的要求,同时设置独立的中央控制室及独立的上位系统,视频安防系统等,满足一期工程控制系统完整的要求。

清水池及送水泵房位于车间南侧,承接自车间反渗透的产水,利用送水泵房将产品水输送至厂界东南角的市政分质供水管网,水力顺畅。

加药系统设置氢氧化钠稀释装置,氢氧化钠稀释后储存,盐酸储存及投加泵区域设置单独密封隔段。

### 4.3 超滤处理系统

取自污水处理厂尾水管的原水进入超滤进水池,通过进水泵提升至自清洗过滤器后至超滤膜池。

原水进入超滤膜池后,干净的水以由外向内的方式通过

膜表面上的微孔，也就是从膜外面进入膜内部，而颗粒固体包括胶状物则被截留在膜池内，最后被排出系统。干净的水由每组的抽吸泵送至超滤产水池。

膜表面通过有效的自动清洗来维持洁净，其中包括空气擦洗，反冲洗，维护性和恢复性清洗。

主要设计参数如下：

设计净产水量：单套 $\geq 6700\text{m}^3/\text{d}$ ，共10套；

设计回收率： $\geq 90\%$ ；

设计净运行通量： $\leq 30\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ （净产水平均通量）。

主要组成及设备：

进水泵房：潜水离心泵4台（3用1备，全部变频，利旧），流量 $Q=730\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=12\text{m}$ ；潜水离心泵2台（1用1备，全部变频，新增），流量 $Q=1250\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=12\text{m}$ 。

自清洗过滤器：4台（3用1备，新增1台，3台利旧），流量 $Q=11150\text{m}^3/\text{h}$ ，精度过滤精度 $200\mu\text{m}$ 。

超滤膜组器：11套（7套利旧，4套新增），设备类型为浸没式超滤膜，膜元件形式为中空纤维膜，膜元件材质为PVDF，过滤孔径 $<0.03\mu\text{m}$ ，设计净通量： $\leq 30\text{LMH}$ ，单套膜面积为 $9450\text{m}^2$ ，单套膜组件数量为189支。

超滤产水及反洗系统：卧式离心泵6台（5用1冷备，全部变频），流量 $Q=740\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=12\text{m}$ ；卧式离心泵2台（1用1冷备，全部变频，利旧），流量 $Q=370\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=12\text{m}$ ；卧式离心泵3台（2用1备，全部变频，2台利旧，新增1台），流量 $Q=380\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=15\text{m}$ ；罗茨鼓风机3台（2用1备，2台利旧，新增1台），流量 $Q=16\text{m}^3/\text{min}$ ，扬程 $H=5\text{m}$ 。

化学清洗系统：卧式离心泵2台（1用1备，全部变频，新增），流量 $Q=380\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=15\text{m}$ ；卧式离心泵3台（2用1备，全部变频，新增1台，利旧2台），流量 $Q=250\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=10\text{m}$ 。

压缩空气系统：螺杆式空压机2台（1用1备，利旧），排气量 $Q=1.6\text{m}^3/\text{min}$ ，工作压力为 $0.85\text{MPa}$ 。

储气罐：1台（利旧），容积 $V=3.0\text{m}^3$ ，工作压力 $1.0\text{MPa}$ ，配自动排水阀、压力表、安全阀、仪表阀。

冷干机：1台（利旧），流量 $Q=2.1\text{m}^3/\text{min}$ ，工作压力 $1.0\text{MPa}$ 。

废水及中和废水系统：卧式离心泵2台（1用1备，新增），流量 $Q=300\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=20\text{m}$ ；中和废水外排泵2台（1用1备，新增），流量 $Q=200\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=20\text{m}$ 。

#### 4.4 反渗透处理系统

反渗透系统包括：反渗透装置、反渗透供水泵、保安过滤器、反渗透高压泵、化学清洗系统、反渗透在线加药系统。

反渗透是以压力为推动力，利用反渗透膜只能透过水而不能透过溶质的选择透过性，从某一含有各种无机物、有机

物和微生物的水体中，提取纯水的物理分离过程。

主要设计参数如下：

平均进水水量： $2778\text{m}^3/\text{h}$ ；

净产水水量： $2083\text{m}^3/\text{h}$ ；

设计回收率： $\geq 75\%$ ；

设计运行通量： $\leq 17\text{LMH}$ 。

主要组成及设备：

反渗透进水系统：卧式离心泵5台（4用1备，全部变频，4台利旧），流量 $Q=750\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=35\text{m}$ ；卧式离心泵7台（全部变频，利旧），流量 $Q=280\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=150\text{m}$ ；保安过滤器7台（利旧），流量 $Q=340\text{m}^3/\text{h}$ ，过滤精度 $5\mu\text{m}$ ，大流量折叠滤芯；卧式离心泵3台（新增，全部变频），流量 $Q=395\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=150\text{m}$ ；保安过滤器3台（新增），流量 $Q=480\text{m}^3/\text{h}$ ，过滤精度 $5\mu\text{m}$ ，大流量折叠滤芯；卧式离心泵7台（全部变频，利旧），流量 $Q=140\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=30\text{m}$ ；卧式离心泵3台（全部变频，新增），流量 $Q=200\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=30\text{m}$ 。

反渗透膜组器：反渗透机架7套（利旧），内部填充 $35:18$ ，共53支6芯膜壳；反渗透膜元件2226支（利旧），聚酰胺复合膜， $34\text{mil}$ ，膜面积 $37\text{m}^2$ ；反渗透机架3套（新增），内部填充 $49:25$ 共74支6芯膜壳；反渗透膜组件1332支（新增），聚酰胺复合膜， $34\text{mil}$ ，膜面积： $37\text{m}^2$ 。

化学清洗系统：卧式离心泵2台（1用1备，全部变频，利旧），流量 $Q=280\text{m}^3/\text{h}$ ，过滤精度 $5\mu\text{m}$ ，大流量折叠滤芯；电加热器6台（新增3台，3台利旧），功率 $100\text{kW}$ ；清洗水箱2台（新增1台，1台利旧），容积 $V=15\text{m}^3$ ；卧式离心泵1台（新增，变频），流量 $Q=395\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=35\text{m}$ ；清洗过滤器1台（新增），流量 $Q=395\text{m}^3/\text{h}$ ，过滤精度 $5\mu\text{m}$ ，大流量折叠滤芯。

反冲洗系统：卧式离心泵3台（2用1备，全部变频，新增1台，2台利旧），流量 $Q=200\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=35\text{m}$ ；冲洗水箱1台（新增），容积 $V=15\text{m}^3$ 。

## 5 结语

建设本项目可以开发利用非常规水资源，实现湖水、污水的资源化利用，增加分质水供给、缓解供需矛盾，为该市经济社会高质量发展提供稳定的水资源基础保障。

## 参考文献

- [1] 王凤侠,卫新来,刘俊生.电渗析技术在废水处理中的应用进展[J].赤峰学院学报(自然科学版),2019,35(12):36-41.
- [2] 岳金强,赵艺,焦振雄.城市污水再生利用新模式的探讨[J].中国资源综合利用,2019,37(2):93-95.
- [3] 张翌.超滤-反渗透双膜法处理渤海湾海水试验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.