

# 水厂超滤膜工艺自控系统的实现

杨超, 刘杰, 刘忠祥, 解存福

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

**摘要:** 给水工程中的超滤膜处理工艺控制过程比较复杂, 自控系统的编程、调试和网络架构等直接影响到超滤膜处理效果和运行成本。廊坊市地表水厂一期工程规模为  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用超滤膜工艺, 其控制流程包括膜池过滤控制流程、维护性清洗控制流程、恢复性化学清洗控制流程、膜完整性检测控制流程。2016年底投入运行以来, 超滤膜池自动运行稳定, 既保证了产水水质, 又提高了运行效率, 可为同行业相关设计提供借鉴和参考。

**关键词:** 水厂; 超滤膜; 自控系统; 控制流程; 运行效率

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0088-04

## Realization of Automatic Control System for Ultrafiltration Membrane in a Waterworks

YANG Chao, LIU Jie, LIU Zhong-xiang, XIE Cun-fu

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

**Abstract:** The control process of ultrafiltration membrane applied in water treatment plant is complicated, and the programming, debugging and network structure of the automation system directly affect the operation effect and cost. The ultrafiltration membrane technology and its control processes including membrane pool filtration, maintenance cleaning, restorative chemical cleaning, and membrane integrity inspection, was applied in Langfang surface waterworks with a capacity of  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  for its first stage project. Since the end of 2016, the ultrafiltration membrane control process had operated steadily to ensure the effluent quality and improve the efficiency of operation, which could provide reference for related industry design.

**Key words:** waterworks; ultrafiltration membrane; automatic system; control process; operation efficiency

随着社会经济的快速发展, 城市饮用水水质标准更加严格, 供水保证率和供水安全度要求日益提高, 使得超滤膜工艺在给水工程中得到推广应用<sup>[1-3]</sup>。该工艺需要依靠完整的自控系统来实现, 自控系统的编程、调试和网络架构等直接影响到超滤膜处理的效果和运行成本。

廊坊市地表水厂采用超滤膜处理工艺, 该水厂是南水北调的配套工程, 担负着廊坊市的主要供水任务。廊坊市属于严重缺水地区, 水源仅为开采地

下水, 人均水资源量只有  $260 \text{ m}^3$ , 随着地下水的水质受到了不同程度的污染, 供水安全性受到威胁。新建廊坊地表水厂  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的规模, 分两期实施, 一期规模为  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 于2016年底建成, 将南水北调的水引进廊坊市, 为城市的社会、经济和生态发展提供重要保障。

### 1 水厂工艺概述

根据南水北调工程取水口多年来的水质分析数据, 原水水质大多数指标符合《地表水环境质量标

准》(GB 3838—2002)的Ⅱ~Ⅲ类标准,常年浊度都不高。

该水厂的主要水处理建(构)筑物有:格栅间及取水泵房、混合絮凝池、沉淀池、超滤膜池、清水池、送水泵房及变配电间、加药加氯间及排泥水处理车间等。

工艺流程见图 1。

主要处理单元为浸没式超滤膜池,共 16 组膜池,其主要设计参数见表 1。

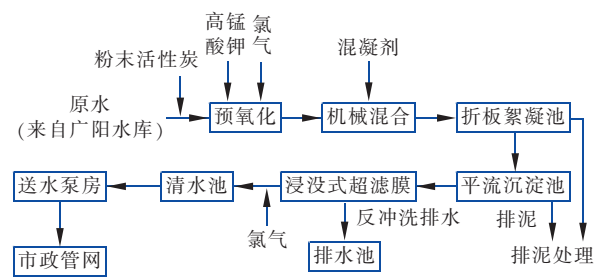


图 1 水厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of water treatment process

表 1 膜池主要设计参数

Tab.1 Main design parameters of ultrafiltration tank

项 目	参 数	项 目	参 数
设计处理水量/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	150 000	膜池尺寸/( $\text{m} \times \text{m} \times \text{m}$ )	$8.0 \times 5.7 \times 4.2$
超滤膜有效面积/ $\text{m}^2$	302 400	每池产水量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	448
膜池数/格	16(4 排)	每池反洗水量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	1 134
膜箱数/(个·格 $^{-1}$ )	9	每池气冲量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	1 512
设计膜通量/( $\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	23.7	单个膜箱尺寸/( $\text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm}$ )	$4\,625 \times 800 \times 3\,000$

浸没式超滤系统既可抽真空虹吸出水,又可以泵抽吸出水,每池设 1 台变频水泵,单泵流量为  $450 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为  $100 \text{ kPa}$ 。

膜池反冲洗采用水泵直接冲洗,反冲洗水泵共 4 台,2 用 2 备。膜的化学清洗分为维护性清洗和恢复性清洗,均为在线清洗。

2 水厂自控系统概述

根据工艺需要,水厂自控系统采用“集中监控、管理,分散控制”的集散型系统,整个自控系统分为

三个层次,即管理监控层、现场控制层和设备层,由管理监控中心和 5 个 PLC 现场控制主站、16 个膜池控制子站组成全厂实时工业控制网。

控制层 PLC 和设备层之间通过标准总线进行数据通信;控制层 PLC 和中控室监控计算机之间通过  $10/100 \text{ M TCP/IP}$  光纤单环网工业以太网进行高速大容量数据交换;管理层各节点通过交换机构成星型以太网。

水厂自控系统见图 2。

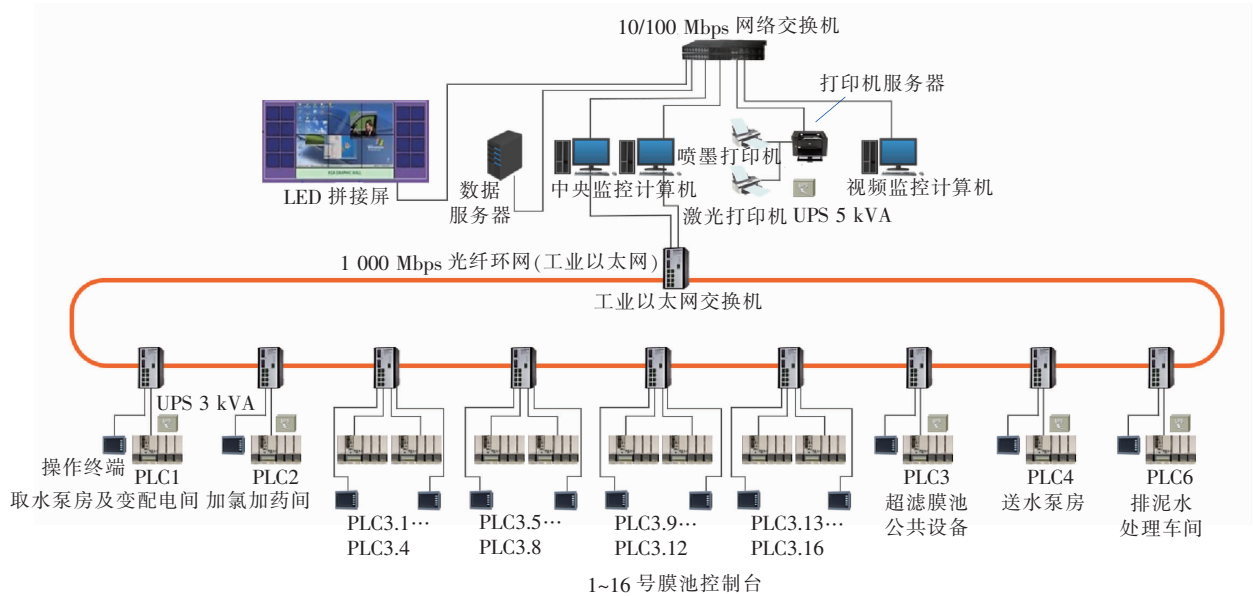


图 2 水厂自控系统

Fig.2 Automatic control system of the waterworks

### 3 超滤膜车间自控系统配置

#### 3.1 管理监控中心

该厂一期工程的监控中心设在超滤膜处理车间,主要由两台中央监控计算机、数据库服务器、视频监视计算机、拼接大屏幕等构成,作为管理控制中心。

两套中央监控计算机互为冗余,采用 Kingscada 上位监控软件,主要完成对膜池以及全厂其他处理段的管理、调度、集中操作、监视、系统功能组态等。在中央监控计算机操作界面上含有膜系统关键参数的显示,如过滤周期、系统运行状态的倒计时、液位、压力、跨膜压差、维护性清洗周期的计数等。对于膜系统不正常的运行状态或是应有的操作未按照程序执行,设立相应的报警信息,以方便运行人员采取相应的对策。

数据库服务器采用 KingHistorian 实时数据库软件,实时接收现场采集的各类数据,包括工艺流程参数、设备运行状态和报警信号等,具有定时巡测、随机点测、分组监测等功能,建立各类实时数据库和历史数据库,为网络上其他节点提供相应权限级别的数据服务。

#### 3.2 现场控制站

超滤膜处理车间设一套 PLC 控制主站,采用双 CPU 冗余,具有更高的可靠性,主要负责膜池的反冲洗泵、鼓风机、维护性清洗系统、化学清洗系统的设备自控和数据采集。在每个膜池设置一个 PLC 子站控制台,负责单个膜池的信号采集和自动运行。子站控制台嵌有触摸屏,可以显示膜池的阀门状态、池内液位、产水量、跨膜压差、出水浊度等多项检测数据。

每个 PLC 子站通过以太网交换机与控制主站进行数据交换,PLC 根据膜工艺要求进行控制参数设定,并可在触摸屏上进行修改。

#### 3.3 在线仪表的设置和作用

每座膜池设置超声波液位计,控制膜池恒水位过滤;膜池出水管设置压力变送器,检测阻塞情况,控制反冲洗的进行;在出水管设电磁流量计,计量抽吸泵的产水量;膜池出口设置浊度计,检测膜池的过滤效果;膜池总出水设置颗粒计数仪,检测膜池的水质、监测膜的完整性。

### 4 超滤膜池的控制流程

超滤膜池的整体控制流程见图3。

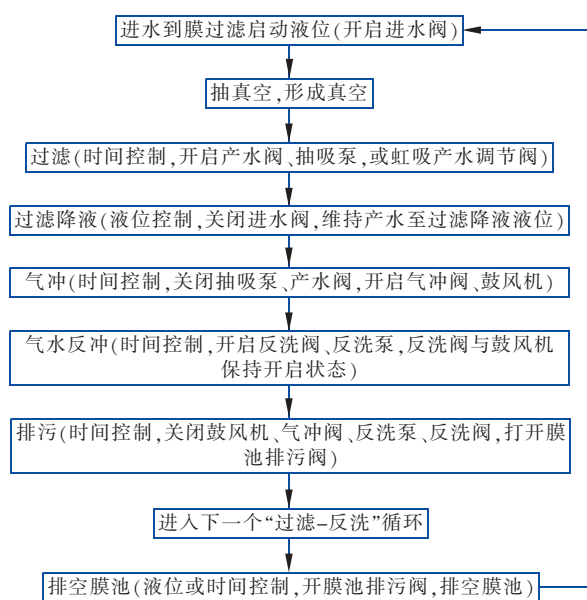


图3 超滤膜池控制流程

Fig. 3 Control flow of ultrafiltration tank

#### 4.1 膜池过滤控制流程

沉淀池来水由进水配水渠、进水闸,经配水堰进入每组膜池,自外而内穿过膜丝经集水系统虹吸或泵抽吸至清水渠,最后由总出水管送至清水池。在沉淀后出水注满膜池后(达到设定过滤水位),首先启动真空抽虹吸装置,虹吸形成后缓缓启动清水抽吸泵或打开出水调节阀。装置投入运行后,由膜池液位控制抽吸泵的转速或调节出水调节阀的开度,以保证超滤装置的恒流过滤。

#### 4.2 膜池反冲洗控制流程

正常的膜池反冲洗根据时间或跨膜压差状态自动进行。反冲洗采用透过液(超滤出水)进行反洗,水反洗的同时膜箱底部曝气。

膜池反冲洗过程由下列步骤组成:

- ① 膜池气动进水闸关闭,产水继续运行,膜池降低水位,约1 min;
- ② 关闭抽吸泵或出水调节阀;
- ③ 启动擦洗鼓风机,开启该膜池的气动进气阀,膜池曝气;
- ④ 开启反冲洗水阀、反冲洗水泵,气水同洗约2.5 min;
- ⑤ 停止鼓风机,关闭该膜池的气动进气阀;关闭反洗泵,关闭反洗阀;
- ⑥ 打开排水气动提板闸,排污一定水量后,约1 min,关闭提板闸;

⑦ 打开气动进水闸进水,达到液位后(约1 min)重新开始过滤。

#### 4.3 维护性清洗控制流程

维护性清洗程序根据计数至 $M$ 次排空周期后,进入维护性清洗程序。通常而言,维护性清洗周期为7~14 d。不同膜池间的维护性清洗轮流进行,并根据现场需要,设置一键式维护性清洗模式。该步骤在膜系统运行的任何阶段均可有效插入。

#### 4.4 恢复性化学清洗控制流程

恢复性化学清洗的周期可根据膜污染程度而定,一般为2~4个月,由碱洗、酸洗以及漂洗三部分组成。

#### 4.5 膜完整性检测控制流程

膜完整性检测(MIT)过程为全自动,每次耗时约10 min。检测频率根据需要确定,即在产水浊度、颗粒计数异常时进行。

若压力衰减速率 $\leq 3$  kPa/min,膜完整性检测通过,系统恢复正常过滤状态,即开启抽真空引水,启动抽吸泵过滤;若压力衰减速率 $> 3$  kPa/min,膜完整性检测失败,PLC报警,该膜过滤池停机,然后需要人工找出破损部位,并进行修复。

### 5 自动报警系统

在膜池自动运行的过程中,运行参数和重要数据均设有报警信号,提示运行人员处理。

① 膜池低液位:在过滤以及停池阶段,保证水位没过膜丝。

② 膜池不能正常反洗报警:如果不能正常反洗,连续过滤时间超过两个过滤周期,系统报警,并强制反洗。

③ 膜池不能正常排空报警:膜池每“过滤-反洗”循环几个周期后排空一次,如果不能正常排空,则报警,提示运行人员强制排空。

④ 膜池降液超过设定时间报警:打开排污阀辅助降液,运行人员看到降液报警后,该膜池进入维护清洗程序,完成后再重新运行。

### 6 结论

廊坊市地表水厂一期工程于2017年4月11日正式通水并投入运行,并获得了中国建筑工程“鲁班奖”。出厂水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T

206—2005),出厂水浊度 $\leq 0.3$  NTU,确保城市居民获得优质安全的饮用水。

该水厂的自控系统运行稳定,实现超滤膜池的连续自动运行、自动反冲洗、自动维护性清洗和恢复性清洗,日常无需现场运行人员的人为参与,既提高了运行效率,又保证了产水质量。

#### 参考文献:

- [1] 李圭白,田家宇,齐鲁. 第三代城市饮用水净化工艺及超滤的零污染通量[J]. 给水排水,2010,36(8):11-15.  
Li Guibai, Tian Jiayu, Qi Lu. The third generation of urban drinking water treatment process and zero-membrane fouling flux of ultrafiltration [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(8): 11-15 (in Chinese).
- [2] 金喆. 浸没式超滤膜在自来水厂改造中的应用[J]. 城镇供水,2014(4):89-91.  
Jin Zhe. The application of immersion ultrafiltration membrane in water plant renovation [J]. City and Town Water Supply, 2014(4): 89-91 (in Chinese).
- [3] 王秀芳. 超滤膜技术在宁波市江东水厂升级改造中的应用[J]. 中国给水排水,2016,32(18):77-79.  
Wang Xiufang. Application of UF membrane technology to upgrading of Ningbo Jiangdong Waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(18): 77-79 (in Chinese).



作者简介:杨超(1972—),女,天津人,学士,高级工程师,主要从事市政供水、污水处理工程的设计与研究。

E-mail: yangchao95@cemi.com.cn

收稿日期:2019-02-09