

[电动汽车]

# 自来水“CMF+DF”双膜法深度处理自动控制系统

文/北京碧水源科技股份有限公司设计研究院电气及仪控设计所 徐海鹏

论述了“CMF+DF”双膜法首次应用于江苏省盐城大丰市自来水公司（4万t/天）深度膜处理示范工程，运用PROFIBUS—DP现场总线、工业以太网通信、PLC控制和上位监控软件开发等技术完成自控系统的设计与实现，在产水达到出水标准的基础上，提高了系统自动化水平，减少了工人的劳动量，方便操作员操作，为市民的饮水健康安全提供了保障。

随着经济的高速发展，水污染问题日益严峻，水源地遭到污染的新闻更是屡见不鲜。为进一步改善、提升供水水质，保障应急供水，某自来水公司建设了4万t/日的超滤膜处理+5 000 t/日的纳滤膜处理示范工程，确保在地表水源遭遇极端污染的情况下，通过超滤纳滤双膜法水处理工艺保证居民生活饮用水的供应和安全。

## 双膜法深度水处理工艺概述

本项目原工艺为“混凝—沉淀—过滤”工艺，本次示范工程采用“砂滤+超滤（CMF）+超级纳滤膜（DF）”工艺。超滤膜处理技术广泛应用于地表水、废水中不溶性有机物、胶体、细菌及其他悬浮物微细颗粒杂质的去除。其机理是利用滤膜两侧的压力差，使水和溶解物透过膜，而截流悬浮物、细菌等。过滤孔径介于0.01~0.1 μm，对非溶解态污染物具有稳定的极高去除率，浊度的去除率大于99.9%，出水的浊度等污染物指标优于地表水Ⅲ类标准。另外，对细菌、大肠杆菌等微生物具有较强的截留能力。纳米过滤（纳滤）技术是当今最先进和最节能有效的膜分离技术，其原理是在高于溶液渗透压的作用下，其他物质不能透过半透膜而将这些物质和水分离开来。超级纳滤膜（DF）是截

留分子量为100~500道尔顿，并对溶解性无机盐具有选择性透过能力的低压分离膜，因此能够有效地去除水中的溶解盐类、胶体、微生物和有机物等。CMF、DF工艺流程图如图1~图3所示。

本文主要对CMF和DF工艺的自动控制系统作详细介绍。

超滤系统由进水单元、膜产水单元、空气擦洗单元、反洗水单元、化学清洗单元、中和单元及空压机供气单元组成，每一个廊道包含进水、产水、浓水、气擦洗、反洗进水、反洗排水、化学清洗进药、化学清洗循环、化学清洗回罐、产水端排气和浓水端排气等气动阀。进水泵、电加热器、自清洗过滤器、化学清洗泵、仪表空压机、气擦洗空压机、清洗罐补水、排空气动阀、次氯酸钠计量泵、柠檬酸计量泵、氢氧化钠计量泵和亚硫酸氢钠计量泵为公用设备。

DF系统主要由进水系统、DF膜过滤系统、化学清洗系统和产水系统等组成，包括进水泵、增压泵、高压泵和气动阀门等。

## 自动控制网络设计

自控系统根据工艺流程、设备平面布置等因素，遵循“分散控制、集中监控”原则，自控系统

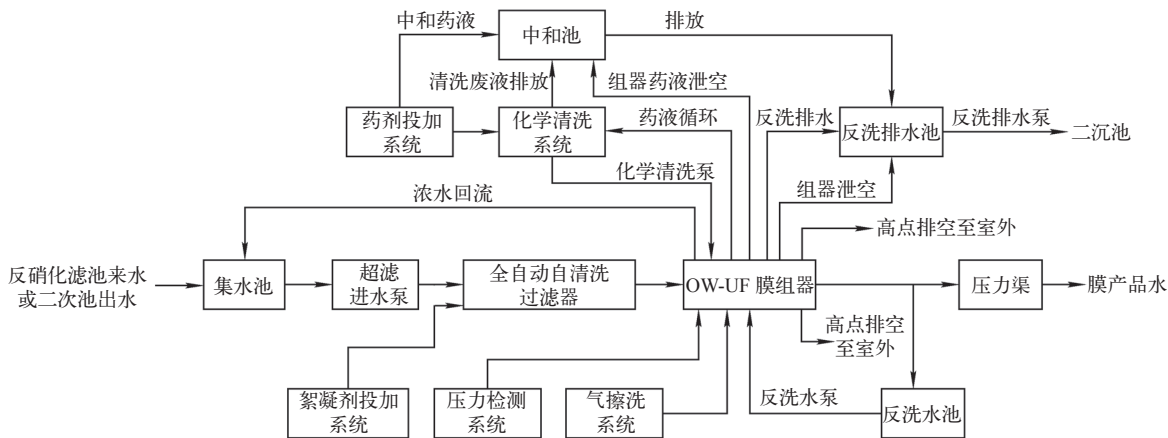


图1 CMF工艺流程图

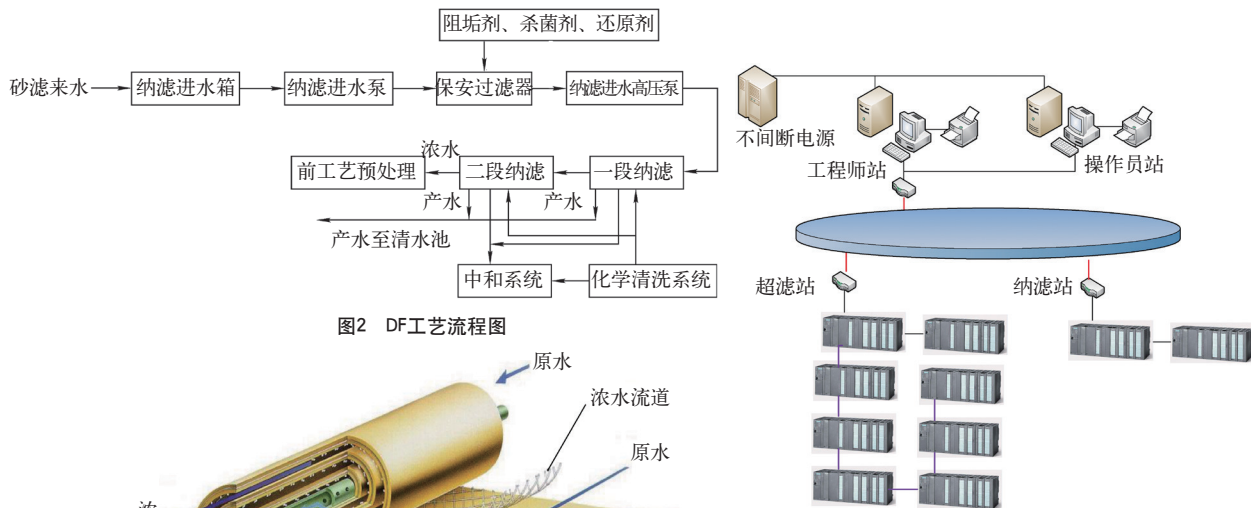


图2 DF工艺流程图

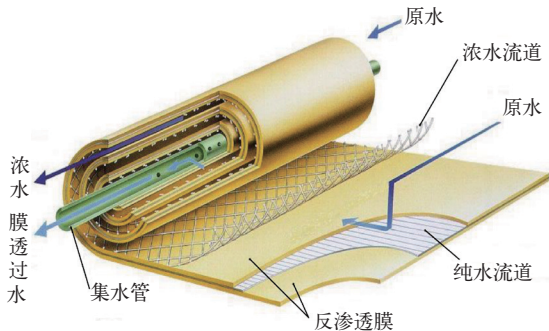


图3 DF膜过滤示意图

采用三层结构，即由管理层、控制层和设备层3个层次构成。管理层包含操作员、工程师站，可以监控全厂的设备状态、工艺流程、水质仪表的报表和曲线图。管理层与控制层通过光纤交换机工业以太网通信，极大提高了通信距离，保证了数据的极速传输。控制层由CMF主站及各分PLC站、DF部分PLC站组成。在现场设备、仪表集中区设PLC分站，CMF部分主站PLC通过PROFIBUS现场总线，将现场6个分站连在一起，通过光纤以太网传输信号到中控室上位工控机。设备层由现场的各种泵、阀门、仪表、管道和闸门等组成。

本工程自动化控制系统网络拓扑图如图4所示。

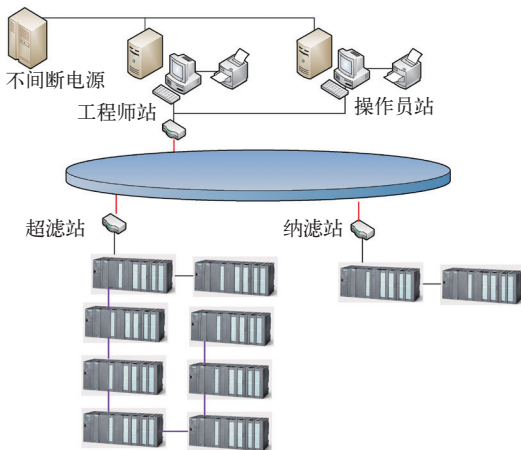


图4 自控网络拓扑图

## 自来水双膜法深度处理系统自动控制实现

在本系统中，数字开关量信号居多，同时又有大量的检测水质的仪表模拟量信号，其中逻辑控制比较复杂，如CMF工艺每组有很多气动阀，气动阀动作频繁，泵与泵之间的联动，阀门与阀门之间的联动，泵与阀门、泵与仪表之间的联动等。可编程程序控制器（PLC）是种专门针对此种复杂工业环境而设计的数字运算操作电子系统。

### 1. PLC硬件配置及控制方式

本项目选用了德国西门子S7-300系列高性能PLC，具体的硬件组态如图5所示。控制过程有三种方式：现场手动、上位机鼠标控制和PLC自动控制。现场手动控制就是工人在现场，选择手动还是自动，操作按钮箱起动或者停止，拥有最高优先级；上位机鼠标控制，就是操作人员在中控室工控机上通过点击鼠标等来实现全厂设备控制，优先级次于现场手动控制；PLC自动控制，就是根据工艺条件

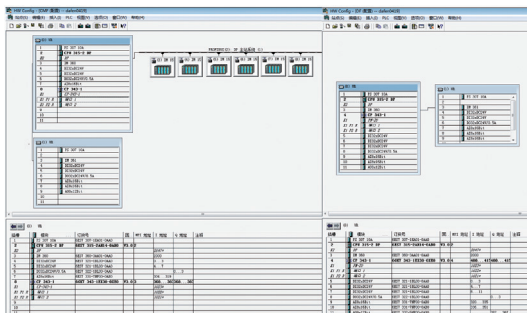


图5 PLC硬件组态图

预先编写好的程序, 自动执行控制, 优先级最低。

## 2. 工艺流程

### (1) CMF产水及化学清洗

正常情况下, 产水系统由PLC控制自动变频恒流量出水, 受时序控制, 产水28.5 min, 反洗1.5 min, 定时进行化学清洗, 但同时受超滤进水箱液位及跨膜压差控制。

当过滤运行时, 开起超滤进水泵、自清洗过滤器及系统所对应的阀门, 进水阀、浓水阀和产水阀开起, 其他气动阀关闭; 通过进水总管压力变送器控制超滤进水泵的变频。

### (2) DF工艺流程控制

1) 开机冲洗。在系统第一次起动或一个产水周期结束后, 系统需进行冲洗。

第一次起动: 打开产水不合格、浓水不合格气动阀; 5 s后, 启动DF进水泵, 冲洗5~10 min (时间可调)。冲洗结束后关闭DF进水泵, 5 s后关闭产水不合格、浓水不合格气动阀。系统进入正常产水或手动停止。

正常产水后每天起动。

2) 进产水。起动进水低压泵一延时20 s起动高压泵一起动段间增压泵 (视两段压差决定是否开启, 及运行频率) —产水24 h (可调) —关闭段间增压泵—缓停高压泵 (120 s内停止) —具备冲洗条件后, 用DF进水泵进行冲洗, 1~5 min (可调)。每周期共24 h。但同时受DF进水箱液位及压差控制。

产水系统运行时, 起动系统DF进水低压泵、DF进水高压泵、段间增压泵、非氧化杀菌剂计量泵、阻垢剂计量泵、还原剂计量泵、盐酸计量泵及系统所对应的阀门, 包括浓水气动阀、产水气动阀开启, 浓水回流气动调节阀; 及加药对应的电磁阀, 其他气动阀关闭; 系统正冲时, 开起系统DF进水低压泵、产水不合格气动阀、浓水外排气动阀开启, 其他气动阀关闭。

## 3. 程序设计感想与体会

为实现更高层次的智能化, CMF总进水泵需按总进水管压力调节电动机转速, 以实现恒压进水。每个廊道的出水由产水调节气动阀根据预先设置好的流量进行恒流量调节, 达到恒流量出水的效果。PID调节是一个动态的不断修正的过程, PID参数的调节需要经验和现场的情况不断的修改。程序采用面向过程的模块化编程思想框架, 以后要向着面向对象编程的方向去努力, 使得编程质量得到提升, 效率更高。

CMF部分每个廊道有大量的气动阀, 气动阀之间动作的逻辑顺序, 持续时间以及化学清洗时每个廊道动作要合理有序, 避免冲突。

DF工艺部分, 为保护膜组器, 一定要注意进水、增压和高压泵的先后起动顺序和泵的停止顺序及相应的时间间隔, 阀门的动作顺序与联锁保护, 保证动作的正确性, 才能避免发生膜爆破等事故。

## 工控机组态软件界面的开发

工作人员可以通过在中控室工控机上的组态软件, 实时监视和控制现场设备, 看到各项仪表生产数据、报警信息和报表等。

本工程采用西门子WinCC V7.2组态软件, 项目建立之后, 建立WinCC与SIMATIC PLC的数据通信。WinCC提供了TCP/IP的通信驱动程序。

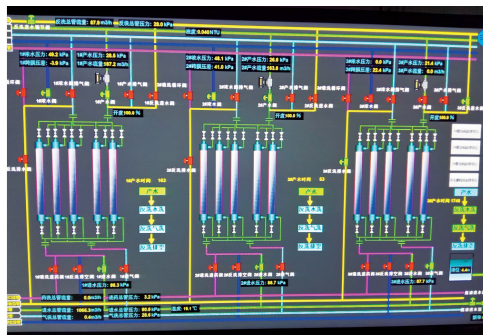


图6 CMF组态软件监控画面

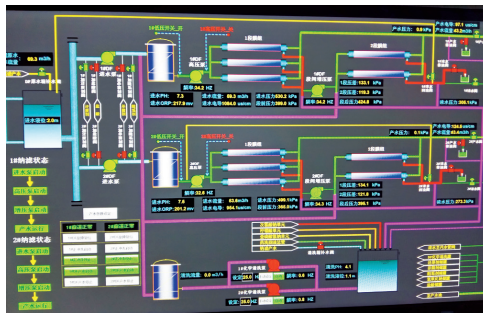


图7 DF工艺监控画面

如图6和图7所示，监控画面可以清晰展现工艺流程、设备状态、仪表参数和变频泵频率。操作人员可以通过组态软件鼠标远程操作各种设备，远程启动、停止；远程打开、关闭气动阀等；还包括报表、报警信息、仪表历史与实时曲线等内容，使用VBS脚本每天定时触发自动生成报表。在本项目中，CMF恒压进水、产水恒流量、出水PID调节和各廊道工艺流程逻辑得到了很好的控制。

## 关于智慧水务的感想

该项目是我公司CMF和DF技术首次运用于自来水行业，CMF和DF双膜法水处理工程相当于给全市人民装了一台超大型的净水机，出水质量高，可以直接饮用。稳定、可靠的自控系统为项目的成功提供了有力支撑。减少了工作人员的劳动负荷，提高了工作的效率和企业效益。

在《中国制造2025》行动纲领指导下，自动化、信息化两化融合，通过物联网、云计算和移动互联网等新技术的应用，能够深入挖掘和广泛运用水务信息资源，建立贯穿水生态、水环境、水资源、水安全、水体及设施的智慧水务综合管理体系，实现“智能感知、广泛互联、深度融合、业务协同、决策科学、服务主动”。

智慧水务发展大体可分为三个阶段，如图8所示。水务1.0阶段，以自动化控制为核心，着眼于一些工艺优化及生产效率提升；水务2.0阶段，以企业信息化为核心，更多地企业资源管理（ERP）、移动应用、算法应用方面进行突破；水务3.0阶段，则是大数据、人工智能和区块链的综合应用。目前，水务企业大多处于水务2.0（信息化）阶段，首先着力于营业收费，管网数字化信息化建设，其次分别为财务核算、OA、管网SCADA和视频监控等方面提升。

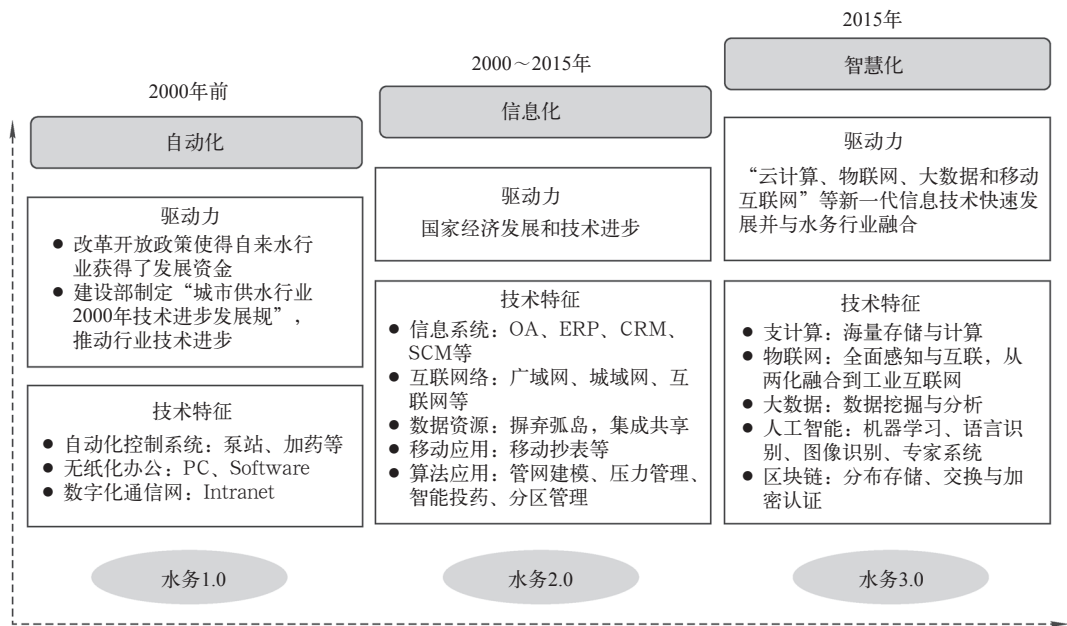


图8 智慧水务发展阶段

总体来看，水务企业当前对信息化投入普遍偏低，建设中也存在一些问题，主要包括：认知不统一，数据问题突出，标准规范缺失，参与者专业性不足等。

供水企业已经不断从技术、业务和管理等很多方面进行运用、整合。同时，在互联网+大数据的时代，传统的供水企业掌握着整个城市每个家庭的用水数据，如何发现这些数据内在的联系，并把这些联系转换成为商业策略，从而使供水企业在提供更好服务的同时进

一步挖掘这些数据的价值，这需要进一步深入的思考。

关乎最基础民生的供水行业应当对水资源的获取、加工、供应和回用全过程进行智慧化管理，让供水更安全、生产更高效且服务更优质。智慧水务的梦更需要我们去实现，这也是我们正在开展的工作内容。最后，还是希望大家能一起努力，把智慧水务这件事情做好。EA

（收稿日期：2019.03.27）

（编辑：朱金凤）