

内压式超滤换向流反洗技术优势

高占奎

国能水务环保有限公司, 北京

收稿日期: 2023年12月4日; 录用日期: 2024年6月13日; 发布日期: 2024年8月13日

摘要

根据电力行业的水质特点, 电厂广泛采用中水作为除盐水的来水水源, 水质相对于地表水而言水质较差, 从而需要进行深度预处理。目前深度预处理工艺主要是全膜法工艺流程UF超滤 + 两级反渗透 + 混床工艺, 而超滤在系统中发挥着重要的作用, 也是保证反渗透稳定运行的关键设备。很多工程大部分采用的外压式超滤, 而外压式进水口与反洗口方向固定不能调换, 运行周期时间相对较短, 且膜污染较严重, 经多次反洗后不能完全达到初始状态, 对此进行彻底展开分析试验比对, 根据水质及工艺系统要求选择适宜的内压式超滤膜, 在工艺设计方面通过增加适当的管路与阀门来实现超滤膜进水口与反洗口相互切换(即换向流运行), 分析此系统运行的状况, 延长超滤系统运行周期使用时间, 减少膜反洗的频次从而提高系统制水率, 从而达到节约用水的目的。

关键词

超滤, 换向流, 反渗透

Advantages of Internal Pressure Ultrafiltration Reverse Flow Backwashing Technology

Zhankui Gao

CHN Energy Water and Environmental Protection Co., Ltd., Beijing

Received: Dec. 4th, 2023; accepted: Jun. 13th, 2024; published: Aug. 13th, 2024

Abstract

According to the water quality characteristics of the power industry, power plants widely use reclaimed water as a source of desalinated water. The water quality is relatively poor compared to

文章引用: 高占奎. 内压式超滤换向流反洗技术优势[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(4): 890-895.

DOI: 10.12677/aep.2024.144117

surface water, so deep pretreatment is needed. Currently, the main deep pretreatment process is the full membrane process UF ultrafiltration + two-stage reverse osmosis + mixed bed process. Ultrafiltration plays an important role in the system and is also a key equipment to ensure the stable operation of reverse osmosis. Many projects use external pressure ultrafiltration, and the direction of the external pressure inlet and backwash outlet is fixed and cannot be changed. The operating cycle time is relatively short, and the membrane pollution is severe. After multiple backwashing, it cannot fully reach the initial state. Therefore, a thorough analysis and experimental comparison are carried out, and suitable choices are selected based on water quality and process system requirements. Internal pressure ultrafiltration membrane, In terms of process design, appropriate pipelines and valves are added to achieve mutual switching between the ultrafiltration membrane inlet and backwash port (i.e. reversing flow operation), analyze the operation status of the system, extend the operating cycle of the ultrafiltration system, reduce the frequency of membrane backwashing, and improve the water production rate of the system, thereby achieving the goal of water conservation.

Keywords

Ultrafiltration, Reverse Flow, Reverse Osmosis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电力行业是关系国计民生和社会发展的基础产业，既是能源生产供应大户，也是资源消耗和污染物排放大户。用于生产的煤与水资源成为了电厂的重中之重。近些年来煤耗已经基本上降到最低 249.7 克/千瓦时，现阶段水环保问题节约用水最为重要，鼓励新建、扩建燃煤电站采用新技术、新工艺、降低用水量，对于扩建项目，进行节水改造，尽量做到发电增容不增水。尤其在北方缺水地区新建电厂、扩建电厂禁止采用地下水，严格控制地表水的使用，鼓励利用城市污水处理厂的中水或其它废水回收再利用的中水，鼓励沿海缺水地区利用火力发电厂余热进行海水淡化等。近年来各地方区域要求发电厂必须优先采用城市中水作为生产水源，其他水源作为备用水源。随着城市化进程的不断推进，城市居民不断增多，由此产生的城市污水的数量与种类也在随着提升。污水的种类繁多，需合理选择相关技术，以此来解决现阶段城市污水处理中所存在的多方面的问题与不足[1]。而城市中水悬浮物及污染成分非常高，为使反渗透在系统稳定脱盐，超滤系统则发挥着重要作用，选择合适的超滤膜对其系统运行十分重要。

2. 当前超滤膜技术现状及分类

目前深度预处理工艺主要全膜法工艺流程 UF 超滤 + 两级反渗透 + 混床工艺[2]，超滤膜技术是一种基于膜分离原理的先进水处理技术，广泛应用于环境工程领域，尤其在水处理中发挥着重要作用，其核心工作原理是通过微孔膜对水进行过滤，将水中的悬浮物、颗粒物、细菌、病毒等有害物质截留在膜的一侧，从而实现水的净化和分离[3]。首先，其物理特点使其能够高效地去除微小颗粒，微孔尺寸小，具有出色的截留效果；其次，相较于传统水处理方法，不需要复杂的化学试剂，简化了操作流程，降低了运行成本；最后，耐受高温和强抗酸能力使其适用于处理各类水质，包括高温水体和酸性水体。此外，超滤膜技术还以净化效果好著称，能够有效去除水中的有机物、微生物等，产水质量稳定可控。总体而言，超滤膜技术以其独特的物理隔离特性和操作便捷性，成为环境工程水处理中的重要工具，为解决水

资源短缺和水污染问题提供了一种可行的、高效的解决方案[4]。

超滤系统是保证反渗透系统安全运行的重要手段之一，也是深度处理最关键系统，超滤是一种高精度过滤技术，在水处理方面其主要功能是实现悬浮物、细菌及颗粒性杂质与水的分离达到水净化效果，根据处理对象和处理目标不同，可以选择不同的膜元件型式和膜过滤工艺，目前在中水深度处理与回用方面的应用概括起来主要有三种类型：压力式膜过滤(CMF)工艺、膜生物反应器(MBR)工艺、浸没式负压膜过滤(SMF)工艺。

1) 压力式膜过滤工艺(CMF)：这种膜过滤形式是目前最为成熟和应用最广泛的一种过滤方式，它是在传统膜过滤工艺的基础上加入反洗、气水双洗、加药强化清洗等膜污染控制手段后使膜过滤保持在高通量稳定运行。目前该工艺已经广泛用于市政污水三级深度处理，地表水净化，海水淡化预处理、工业用水处理等方面。压力式分为内压式与外压式两种。

外压式：而中空纤维超滤膜则是原液通过中空纤维的径向渗入，并通过中空纤维形成透射，而拦截物集中于中空丝外部。

内压式：原液先进入空心丝内部，由压差驱动，沿径向由内向外渗透到空心纤维中，然后留在空心丝内部，从另一端流出。

2) 膜生物反应器(MBR)工艺，是一种将膜浸没于活性污泥混合液中的使用方式，其直接作用原理是泥水分离，间接作用原理是可以提高污泥浓度，有效截留各种微生物，具有强化有机物、氨氮的去除效果，减少占地面积。因此在地紧张及高标准排放要求地区，或高氨氮废水处理方面具有较大优势。MBR技术正以超乎想象的速度在污水处理领域拓展其应用。

3) 浸没式负压膜过滤工艺(SMF)：这种膜过滤技术是将膜组件浸没在被处理的水中，采用重力流和负压运行方式实现水的净化过滤，其功能和处理对象与 CMF 基本相同，适用于污水深度处理回用，同时也有传统的工艺中水厂的提标扩容和自来水厂的升级改造。

以上三种工艺中第一种外压式与内压式在电厂最为广泛使用。

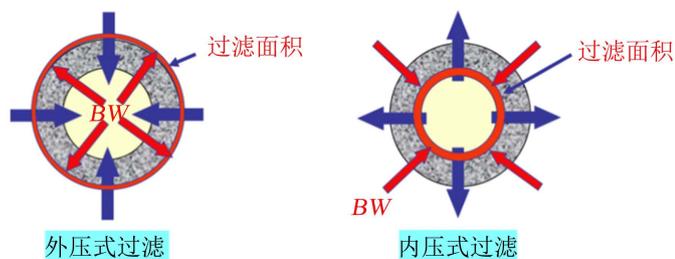
外压式超滤膜：

中空纤维超滤膜则是原液经压力差沿径向由外向内渗透过中空纤维成为透过液，而截留的物质则汇集在中空丝的外部。

外压膜：又称复合膜，膜壁 2 层，有独立内壁支撑层，不会被外部压力损坏。

内压膜：没有独立内壁支撑层，但也可以外压过滤(膜组件的反冲洗就是)必须比正常运行压力低 50%。

内压超滤膜采用专利成膜技术，具有耐污染性强、膜丝强度高、截留精度高的特点。对原水水质变化适应性强，操作维护简单，产水水质稳定可靠，适合于处理各类地下水、微污染地表水、市政污水/工业废水回用处理、海水脱盐预处理等场合，可有效去除水中浊度、悬浮物、胶体、微生物等指标物质。外压式超滤膜与内压式超滤膜进水方向有着本质区别见图 1，其过滤原理一致。



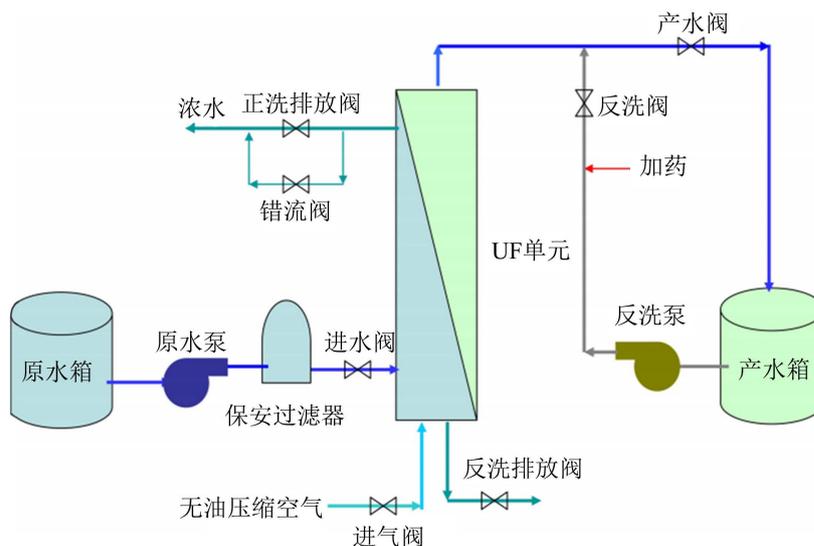
Picture 1. The inlet direction of the external pressure ultrafiltration membrane and the internal pressure ultrafiltration membrane

图 1. 为外压力式超滤膜与内压式超滤膜的进水方向

水处理超滤膜过滤可分为全量过滤和错流过滤两种模式。全量过滤又称“死端过滤”，是指给水全部透过膜(运行时产水量等于给水量)，被截留物质留在超滤膜的给水一侧，经过一段时间的运行，被截留物质累积到一定程度，需进行冲洗。当进水悬浮物含量、浊度和 COD 值均较低时，可以考虑采用全量过滤。错流过滤是指给水中的大部分透过膜，剩余部分给水形成浓水沿膜表面排出系统。错流的目的是增加膜表面的切向流速，缓解膜污染；但水利用率相对较低，能耗较大。根据原水水质的不同，选择不同的错流量。一般情况下，系统错流量应设计为过滤流量的 10%~35%。全量过滤通常需要考虑正冲，错流过滤一般无需正冲。

3. 内压超滤膜换向反洗技术优势

案例：某电厂为热电联产 $2 \times 350 \text{ MW}$ 燃煤机组，初建设时采用地下深井水作为生产用水，经过多年后，于 2020 年更换城市中水作为全厂生产用水主要水源。城市中水入厂后采用机加池 + 变孔隙过滤工艺 + 超滤反渗透工艺完全满足中水水质。近年来由于周边工业企业增多，该厂外送蒸汽也随之增多，原有除盐水系统(外压式超滤 + 反渗透)出力仅为 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ，水量远远不能满足自用与外送需要，见图 2。2020 年进行除盐水扩建，增加产水量为 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ，系统为内压式超滤 + 反渗透。



Picture 2. External pressure ultrafiltration membrane operating system

图 2. 为外压式超滤膜运行系统

图 3 为一般外压超滤膜，设有 2~3 个接口，接口位进水、产水、端部浓水排放，当超滤运行一段时间后(30 分钟)后，需要短暂进行反洗约为(1~3 分钟)，此时反洗进水由产水端进入超滤膜进行反洗。产水端与进水端固定方式进水，两者不能相互颠倒进水。

该电厂在扩建除盐水系统时，由于占地面积以及膜通量等关系，经各方讨论最终确定为内压式超滤膜，中标单位为德国内压超滤膜，其展开面积约为(80 m^2)，膜材质为 PES，该超滤膜为多孔超滤膜可有效去除多种水源中的颗粒物、细菌病毒等微生物，当进水水质波动时也有优异过滤性能。膜丝完整无破损是确保将污染物过滤去除的前提。

图 4 和图 5 为 dizzer 膜组件的结构特性，相对于外压式超滤膜具有更灵活的操作，可采用死端过滤或错落过滤，四段过滤模式在大多数应用是最经济的过滤模式。过滤及膜清洗时可采用“顶部至底部”及“底部至顶部”的进水模式。相对而言比较灵活，在实际运行中的特点也是比较显著。

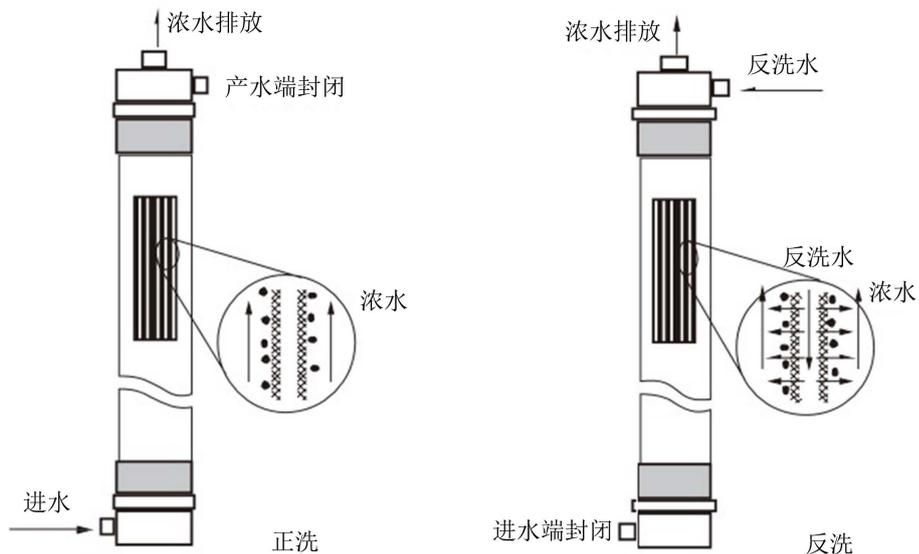


Figure 3. External pressure ultrafiltration membrane backwash process
图 3. 为外压式超滤膜反洗过程



Figure 4. Internal pressure type ultrafiltration membrane frame
图 4. 内压式超滤膜组架

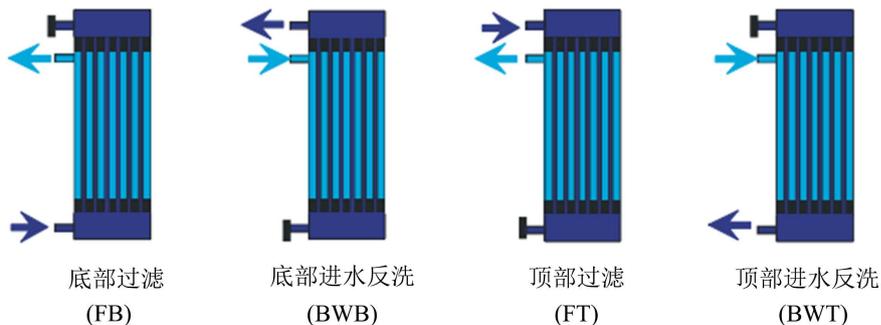


Figure 5. Internal pressure ultrafiltration membrane backwash process
图 5. 内压式超滤膜反洗过程

综上所述能够明显看出内压式超滤膜与外压式超滤膜的区别，该电厂在除盐水扩建完成后，采用中水深度处理后进入内压式超滤膜运行，产水一次性合格，目前近两年的内压式超滤膜，对其跨膜压差进行测量，压差为 0.031~0.04 MPa，其超滤膜几乎仍然达到原有初始使用时的状态，出水水质极其稳定，

经测量观察断丝率几乎没有。这些优良的性能指标取决于该内压膜独有的特性，就是进水口、反洗口，可以相互调换。也就是说膜上下两端可以任意一端进水，反洗亦是如此。由于超滤膜末端污染一般比进水端严重，故此在每次反洗后执行下一次时无论是进水端还是反洗端，均由另外一端口进入，这样可以有效的阻止了超滤的污堵问题，并且能够让单支超滤膜内的上下两端的性能保持一致。经本次扩建系统的内压式超滤膜与其原有超滤膜进行对比，两超滤系统出力均为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 的情况下，该内压式超滤膜的跨膜压差小于外压式超滤膜的跨膜压差，当两种超滤膜在设定的时间 24 小时需要执行 CEB 化学清洗时，内压式超滤膜此时压差依然稳定仍然可继续运行，也就是说当压力式超滤膜需要强制执行 CEB 时，内压式超滤膜的压差依然正常。当突破设定的时间继续运行 10 多个小时时，产水量仍然保持可以保持在 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ，且跨膜压差相对稳定，在后续实验运行时当内压超滤膜压差达到 0.08 MPa 时，此时进行 CEB 化学清洗，清洗后的内压式超滤膜的性能恢复很好，跨膜压差值达到 0.04 以下非常稳定，出水水质 $\text{SDI} < 3$ ，完全满足后续反渗透进水要求。

4. 内压超滤膜研究需避免污堵的影响

凭借着多年的城市污水处理经验可知，超滤膜会根据在使用过程中受到的污染程度而选择针对性的清洗手段，因此清洗前一定要进行清洗力度的划分，根据相关的标准再进行清洗操作，现阶段使用清洗超滤膜结构的方法并无法实现 100% 清洁，因此在超滤膜技术的未来发展过程中，需要提高超滤膜结构的清洗水平，从而增强超滤膜循环使用的能力，此外进行超滤膜清洗过程中也需要对水资源类型进行准确划分，通过判断未来需要处理水资源的类型，从而对超滤膜结构受到污染程度进行判断，提前做好相应的清洗计划，提升超滤膜结构质量和可重复性[5]。

5. 结语

内压式超滤膜比外压式超膜有着更优秀的特点，如膜面积大，制水通量大，确实是在水质不是很恶劣的情况下是非常好的选择，相对于外压膜数量少、造价低，各电厂在新建或扩建除盐水项目中对于超滤膜的选择是内压膜还是外压膜时，应根据制水量的要求、原水的水质，以及布置占地面积，价格等多重因素进行选择，选择出优质的产品，配合上位机画面设定好各项参数，日常维护好，才能发挥其超滤膜的性能优势。在此前提下，内压膜给出了更多选择空间。在工程水处理过程中，超滤膜技术的应用需要结合实际情况进行合理规划，同时加强维护管理、优化工艺流程，确保其正常运行和提高处理效果。为此相关人员也需要加强超滤膜技术的研发和推广，不断提高其性能和效率，为工程水处理提供更好的技术支持[6]。

参考文献

- [1] 韩买良, 沈明忠. 火力发电厂水处理技术与节水技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [2] 师虹. 全膜法水处理工艺在环境保护中的应用[J]. 山西化工, 2023, 43(2): 113-114, 117.
- [3] 黄凯楠, 吉学智, 王飞, 高成云, 卢静琼. 超滤膜技术概述[J]. 化工进展, 2021, 40(z2): 219-225.
- [4] 郭林冠. 论超滤膜技术在环境工程水处理中的应用分析[J]. 工程建设, 2024, 7(1): 73-75.
- [5] 郭燕, 杨斌, 陈曜. 环境工程水处理中超滤膜技术的应用分析[J]. 生态环境与保护, 2022, 5(3): 71-73.
- [6] 张若汉, 金芷琪. 市政工程水处理过程中的超滤膜技术探究[J]. 水上安全, 2024(1): 25-27.