

# 反渗透技术在工业水处理中的应用

于丽娜

(中海石油华鹤煤化有限公司, 黑龙江 鹤岗 154100)

[摘要] 为了充分利用反渗透设备技术, 探讨该技术在中海石油华鹤煤化有限公司各种具体设备和系统中的应用情况, 详细阐述其工作原理, 并对反渗透技术在工业水处理过程中的影响进行总结。分析反渗透技术在工业水处理中的具体应用实例, 揭示其在提高水处理效率方面的巨大潜力。

[关键词] 反渗透技术; 工作原理; 工业水处理; 膜材料

[中图分类号] TQ051; X703 [文献标志码] A [文章编号] 2097-4566 (2026) 02-0091-04

## Application of reverse osmosis technology in industrial water treatment

YU Lina

(CNOOC Huahe Coal Chemical Co., Ltd., Hegang 154100, China)

**Abstract:** In order to make full use of reverse osmosis technology, its application in various specific equipment and systems of CNOOC Huahe Coal Chemical Co., Ltd. is explored, its working principle is introduced in detail, and a comprehensive summary of the influence of reverse osmosis technology in the industrial water treatment process is carried out. The specific application examples of reverse osmosis technology in industrial water treatment are analyzed, revealing its huge potential in improving water treatment efficiency.

**Key words:** reverse osmosis technology; working principle; industrial water treatment; membrane materials

### 0 引言

反渗透水处理设备通过运用先进的膜分离技术, 显著提升了污水处理的效率和质量, 在生产活动中得到了广泛应用。在实际操作中, 为了能够充分发挥该设备的全部功能, 需要将多个设备进行合理组合, 并运用多种技术手段形成一个完备的流程体系, 高效地将水体中的污染物进行分离。

这种设备的高效性能, 不仅体现在其能够快速处理大量污水, 而且在处理过程中能够保持较低的能耗, 这对于追求可持续发展的现代工业来说, 具有非常重要的意义。反渗透技术的运用, 使得工业用水的循环利用成为可能, 大大减少了对新鲜水资源的需求, 同时也降低了废水排放对环境的影响。此外, 反渗透水处理设备的模块化设计, 使得设备的维护和升级变得更加方便快捷, 进一步提高了工业生产的灵活性和效率。

### 1 反渗透设备技术分析

反渗透设备技术的核心在于反渗透水处理系统, 它在温室条件下运作, 利用无相变的物理方

法, 从盐水中分离出盐分。反渗透设备技术的主要参数包括: 膜孔径大小, 它直接影响分离的质量和效率, 较小的膜孔径可以更有效地阻挡杂质; 膜能承受的压力, 这是确保反渗透设备正常运行的关键因素, 压力需适中以保证膜的分离效果和寿命; 脱盐率, 衡量反渗透膜去除盐分的能力, 先进的超薄复合膜元件已实现高达99.6%的脱盐率; 过滤精度, 保安过滤器的滤芯孔径分布须均匀一致, 以确保过滤阻力最小化, 同时拥有较大的通量和出色的截污能力; 产水压力, 在反渗透系统中, 需根据水质情况调整高压泵的运行时间, 以确保产水压力在合适范围内; 工作压力, 反渗透膜系统需要在一定的工作压力下运行, 如1.8 MPa, 以达到高效的脱盐效果; 处理效率, 反渗透设备能够快速处理大量污水, 同时保持较低的能耗, 这是衡量其性能的重要指标。

此外, 在水处理过程中, 反渗透设备还能有效地去除水中的病毒、胶体、细菌等有害物质。在工业应用中, 通过使用增压泵, 不仅能够降低设备运

收稿日期: 2024-05-29; 修回日期: 2025-01-08

作者简介: 于丽娜(1988—)女, 满族, 辽宁凤城人, 助理工程师, 从事污水处理相关工作。

行时产生的噪声，还能提高整个系统的稳定性。在水质监测方面，反渗透设备能够实时监控水质变化，确保水质的安全性得到显著提升<sup>[1]</sup>。在选择工业反渗透水处理设备的材质时，精细石英砂是一个优选，其过滤效果和运行效率均优于普通石英砂，从而更好地保护了反渗透膜。

## 2 反渗透膜的应用条件

反渗透设备技术参数见表1。为了确保反渗透系统的高效运行，必须保证进水水质达到一定的标准。具体来说，进水的SDI（Silt Density Index，淤泥密度指数）值应小于3，同时浊度应低于0.1 NTU（Nephelometric Turbidity Units，散射浊度单位），这样做是为了防止膜孔发生堵塞现象<sup>[2]</sup>。此外，为了保证膜通量的高效和脱盐效率达到最佳状态，水温的控制也至关重要，应维持在20~30℃。在压力控制方面，操作压力是影响反渗透膜脱盐率和产水量的关键因素。对于广泛使用的聚酰胺膜来说，其最佳的工作压力范围应该在1.5~4.5 MPa。在这个压力区间内，压力每增加0.1 MPa，产水量可以提升3%~5%。然而，必须谨慎操作，避免因超压而导致膜的损坏。进水的pH也需要严格控制，对于大多数聚酰胺反渗透膜而言，最佳的pH范围应该在4~10，这样可以保持膜的稳定性和延长其使用寿命。在反渗透系统中，余氯含量的控制同样重要，必须严格限制在0.1 mg/L以下，以防止氧化性物质对膜材料造成损害。同时，还需要注意控制进水中铁、锰等金属离子的含量， $\rho$ (总铁)应 $\leq 0.1$  mg/L， $\rho$ (锰)应 $\leq 0.05$  mg/L，以避免这些金属离子在膜表面沉积，从而造成污染。在设备运行过程中，定期监测膜元件的压差变化也是必不可少的。在正常情况下，膜元件的初始压差应小于0.1 MPa。随着设备运行时间的延长，压差会逐渐上升，因此需要将其控制在一个合理的范围内，以确保系统的稳定运行<sup>[3]</sup>。

表1 反渗透设备技术参数

Table 1 Technical parameters of reverse osmosis equipment

水温/ ℃	操作压 力/MPa	进水 SDI值	进水 浊度/NTU	进水 pH	$\rho$ (余氯) ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\rho$ (总铁) ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\rho$ (锰) ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
20~30	1.5~4.5	<3	<0.1	4~10	<0.1	$\leq 0.1$	$\leq 0.05$

## 3 反渗透技术对工业水处理的影响

### 3.1 提高水资源利用率

在工业污水处理中，通过设置两级砂滤、精滤以及中空纤维超滤系统，可以有效地控制处理后水

体的浊度，确保水质达到更高的标准。更重要的是，这一技术不仅能够处理废水，还能将含盐水资源转化为可利用的清洁水资源<sup>[4]</sup>。

### 3.2 保障生产水质安全

通过应用反渗透技术，能够有效去除水中含有的各种污染物，提高水质安全性、稳定性。因为该项技术手段在应用时设置3层孔隙隔栏装置，并设置过滤精度为10  $\mu\text{m}$ 的PP保安过滤器，防止悬浮物污染，使用1~2 h后，超滤系统发挥功能，保证过滤效果。除此之外，通过设置加药装置，添加混凝剂，确保砂滤功效。而反渗透膜系统由多支反渗透膜构成，对膜系统进行冲洗，使水分子与各种溶解杂质有效分离开来<sup>[5]</sup>。

### 3.3 膜污染降低工业污水处理效果

在中海石油华鹤煤化有限公司（以下简称公司）工业水处理过程中，反渗透技术虽然发挥着重要的作用，但同样也会遇到一些问题，尤其是膜污染问题。由于工业废水中含有各种各样的杂质、微生物以及化学物质，这些成分都具有极强的污染性，它们容易在半透膜的表面聚集，从而形成膜污染。如果这种污染得不到及时的控制和处理，就会对反渗透设备的正常运行造成严重影响，导致脱盐效率降低，并且会增加设备的维护和清洁成本<sup>[6]</sup>。

## 4 反渗透技术在工业水处理中的应用实例

### 4.1 膜材料选取和装置选择

#### 4.1.1 膜材料选取

目前，市场上主要的膜材料包括聚偏氟乙烯(PVDF)和聚醚砜(PES)。聚醚砜作为一种膜材料，在化学稳定性方面表现出色，具有良好的抗氧化性能。此外，PES膜的亲水性和表面光洁度都明显优于聚偏氟乙烯膜，而且其成孔精度也相对较高。然而，PES膜的一个显著缺点是柔韧性较差，这使得它在实际使用过程中容易发生脆断，因此，尽管PES膜在某些性能上优于PVDF，但其使用率并没有达到像PVDF那样广泛。PVDF膜材料则以其卓越的化学稳定性和抗氧化性而著称，它在柔韧性和拉伸强度方面也表现出色，成为应用最为广泛的膜材料之一。

#### 4.1.2 装置选择

首先，需要选择合适的反渗透进水管混合器，其管径的计算应基于流速在0.9~1.2 m/s的范围内。对于管径超过500 mm的情况，最大流速可以设定为1.5 m/s。通常情况下，管道混合器设计为3节，以确保管内水压能够达到0.098 MPa

(1.0 kg/cm<sup>2</sup>) 的标准。基于这些参数, 可以选择型号为GH-300的管道混合器<sup>[7]</sup>。

其次, 在挑选RO保安过滤器时, 应当确保所选设备具备高过滤精度, 滤芯孔径分布均匀一致, 从而保证过滤阻力最小化, 同时拥有较大的通量和出色的截污能力。滤芯材料必须保持高洁净度, 以确保对过滤介质不会产生污染。此外, 滤芯应具备良好的耐酸碱性能, 能够抵抗各种化学溶剂的侵蚀。同时, 为了确保长期稳定运行, 过滤器自身应具有较高的结构强度, 并能够承受高温环境而不发生变形。在综合比较了不同型号的过滤器后, 推荐选择型号为MF35-40-05-304的过滤器, 因为它在上述各方面都表现优异。

第三, 在挑选高压泵时, 应优先考虑那些适用于水平轴向吸入形式的卧式多级离心泵。这种泵的设计应当结构紧凑且布局合理, 以便于安装, 同时占地面积要尽可能小。在实际使用高压泵的过程中, 必须确保泵机组能够稳定运行, 振动幅度要小, 产生的噪声要低, 以保证长期的使用寿命。至于泵的型号, 没有特别的要求<sup>[8]</sup>。

第四, 在选择反渗透装置时, 应确保其具备较高的脱盐率, 能够有效地除去水中的细菌、毒素及其他有机物, 从而确保污水处理之后的最终水质能够达到GB 17323—1998标准<sup>[9]</sup>。在选择反渗透装置的过程中, 反渗透膜元件的选择至关重要。因为, 在反渗透膜元件中, 膜是整个反渗透膜元件的核心部分。而支撑物或连接物的存在, 则是为了使膜具有一定的形状和强度, 它们能够承受较高的压力, 防止进水、产水间以及与外界之间的泄漏, 能够避免进水与产水间过大的压差, 从而保证整个反渗透装置稳定运行。

#### 4.2 反渗透膜污染处理过程

经过污水装置处理并达到合格标准的污水、原水净化装置产生的排污水、循环水系统的排污水、循环水旁滤器进行反洗时产生的排水, 以及本反渗透设备自身的排污水, 这些不同来源的水体首先汇集到均质池中。随后, 通过提升泵的作用, 被输送到BAF池(生物膜过滤池)。在BAF池中, 水体会经历一系列的处理步骤, 包括产水池的进一步净化、絮凝反应池中化学物质的添加以促进悬浮颗粒的聚集、斜管沉淀池中颗粒的沉降分离, 以及通过增压泵的加压, 最终完成整个废水处理的流程。反渗透设备能够有效地去除水中的各种溶解性固体、重金属离子以及其他形式的有害物质, 显著地降低

了水中杂质的质量分数、总溶解固体(TDS)含量以及水的硬度, 从而确保水质的清洁和安全<sup>[9]</sup>。工艺流程见图1。

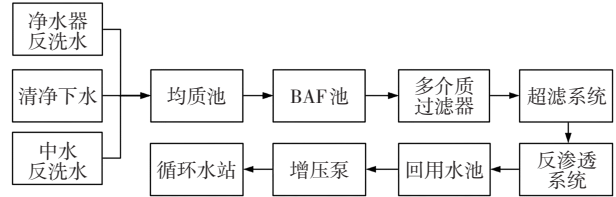


图1 反渗透设备的工艺流程

Fig. 1 Process flow of reverse osmosis equipment

在系统启动之后, 首先需要将产水排放阀、浓水排放阀、冲洗进水阀等关键阀门打开, 以启动冲洗水泵。此时, 工作人员需要密切监控冲洗水量, 并相应地调整出水手动阀, 以确保冲洗过程顺利进行。冲洗过程通常持续2~5 min, 以确保系统内部的清洁。完成冲洗之后, 应立即关闭各个阀门, 以防止不必要的水资源浪费。随后, 系统将进入正常的产水流程。在这个阶段, 需要将进水阀、产水排放阀、产水阀等几个关键阀门打开, 并启动反渗透增压泵、阻垢剂加药泵、杀生剂等设备, 以完成产水及杀菌工作。在盐酸加药泵的操作中, 必须测定进水的pH, 并根据测定结果做好启停控制, 以确保系统稳定运行。同样, 还原剂加药泵的操作也需要根据进水的ORP(氧化还原电位)值进行启停控制, 以维持系统的化学平衡。此外, 还需要定期检测保安过滤器的进水压力, 一旦压力达到或超过0.1 MPa, 应立即启动反渗透高压泵, 以保证系统的高效运行。在产水电导达到预设目标值后, 应关闭产水排放阀, 以确保产水的质量。如果在监测过程中发现产水电导率连续2 min超过设定值, 应立即打开产水排放阀, 直到产水电导率降至设定范围以下, 此时再关闭产水排放阀, 以维持系统的稳定和产水质量。

在反渗透系统中, 高压泵启动, 工作人员开始计时, 并且要密切关注水质情况以及产水压力。根据这些参数, 调整高压泵的运行时间, 确保其在80~120 min。当高压泵运行完毕并自动停止后, 接下来的步骤是关闭反渗透增压泵和加药泵, 并对系统进行彻底冲洗。冲洗过程结束后, 需要停止反渗透冲洗水泵, 并关闭冲洗进水阀、浓水排放阀以及产水排放阀。此时, 系统已经准备好进入正常的产水状态, 并且可以进行停机冲洗。在停机冲洗之后, 再次停止反渗透高压泵, 等待其完全停止后, 再关闭反渗透增压泵和加药泵。随后, 工作人员需

要打开冲洗进水阀、浓水排放阀和产水排放阀，同时关闭进水阀和产水阀。然后启动反渗透冲洗水泵，进行2~5 min的冲洗。冲洗完成后，再次停止反渗透冲洗水泵，并关闭冲洗进水阀、浓水排放阀和产水排放阀。至此，污水处理流程已经完成，整个系统可以安全地进入待机状态<sup>[10]</sup>。

#### 4.3 设备应用及处理

将反渗透设备应用于废水处理时，首先需要使用提升泵将均质池中的废水打入BAF池，在那里通过生化作用降解COD（化学需氧量）和NH<sub>3</sub>-N等有害物质。随后，废水进入物化预处理单元，在混凝剂和助凝剂的作用下，完成絮凝沉淀，去除悬浮物和胶体。处理后的水进入中水收集池，经过提压后进入多介质系统。多介质系统将水过滤后收集在清水池中，然后通过超滤给水泵送入超滤系统。在超滤系统中，大部分胶体硅和有机物被去除。超滤产水经过提升后，进入反渗透系统进行脱盐处理，最终得到合格的产品水，可以回用于工业生产。

公司日产生废水量为500 m<sup>3</sup>，废水中 $\rho(\text{COD})$  2 500 mg/L、 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ （氨氮）120 mg/L、 $\rho(\text{TDS})$ （总溶解固体）15 000 mg/L，还含有多种重金属离子，如 $\rho(\text{铜})$  2 mg/L、 $\rho(\text{镍})$  1 mg/L等。采用PVDF材质的反渗透膜，系统配置两级砂滤、精滤装置，中空纤维超滤系统，以及一套高效的反渗透处理单元。预处理阶段，通过混凝沉淀去除大部分悬浮物和胶体，出水浊度降低至0.1 NTU以下。随后，废水进入反渗透系统，在1.8 MPa的工作压力下，RO膜表现出色，脱盐率高达99.5%，产水 $\rho(\text{TDS})$ 降至150 mg/L以下，重金属离子完全去除（ $\rho(\text{铜}) < 0.01$  mg/L， $\rho(\text{镍}) < 0.005$  mg/L）。系统稳定运行后，每日可产出约450 m<sup>3</sup>的高质量回用水，回用率超过90%。处理过程中，反渗透膜系统每运行8 h进行一次自动冲洗，每次冲洗耗水量约5 m<sup>3</sup>，有效预防了膜污染。公司污水处理效果数据见表2。

表2 污水处理效果

Table 2 Effect of sewage treatment

处理指标	原水质量浓度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	处理后质量浓度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	去除率/%
COD	2 500		高效去除
NH <sub>3</sub> -N	120		高效去除
TDS	15 000	150	99.5
铜离子	2	<0.01	>99.95
镍离子	1	<0.005	>99.95

## 5 结论

本文探讨了反渗透技术在工业水处理领域的应用情况。反渗透设备作为污水处理过程中的核心过滤设备，在实际应用过程中，必须进行周密的压力管理。这包括对压力进行恰当的调节，以确保设备运行在最佳状态，从而提升反渗透技术的应用效率。为了使反渗透设备的功能得到最大限度的发挥，我们应当注重其运行的精密度，确保膜组件的功能性不受损害。此外，通过提高污水的二次利用率，可以有效控制污水处理的成本，并且提高水资源的利用率。

#### [参考文献]

- [1] 郭文霞. 反渗透技术在处理除盐水中的应用[J]. 山西化工, 2023, 43(1): 143-144, 156.  
GUO W X. Application of reverse osmosis in desalting water treatment [J]. Shanxi Chemical Industry, 2023, 43 (1): 143-144, 156.
- [2] 刘尚铭. 反渗透设备技术在工业水处理中的应用[J]. 石化技术, 2020, 27(1): 46-47.  
LIU S M. Application of reverse osmosis equipment technology in industrial water treatment[J]. Petrochemical Industry Technology, 2020, 27(1): 46-47.
- [3] 赵书芳. 反渗透水处理设备在工业污水处理中的应用探析[J]. 清洗世界, 2022, 38(1): 76-78.
- [4] 孟振良. 水处理系统反渗透设备的维护分析[J]. 中国金属通报, 2020(4): 86-87.
- [5] 白雪. 反渗透水处理设备在污水处理中的应用分析[J]. 化工管理, 2018(23): 187-188.
- [6] 刘庆超. 反渗透水处理设备在污水处理中的应用分析[J]. 当代化工研究, 2018(3): 114-115.  
LIU Q C. Application analysis of reverse osmosis water treatment equipment in sewage treatment [J]. Modern Chemical Research, 2018 (3): 114-115.
- [7] 戚滢滢, 苏洋舟, 程晓英, 等. 双膜法处理化工废水过程中反渗透膜污染机制研究[J]. 工业水处理, 2024, 44(11): 142-147.  
QI Y Y, SU Y Z, CHENG X Y, et al. Research on reverse osmosis membrane fouling during the treatment of chemical wastewater by double membrane method [J]. Industrial Water Treatment, 2024, 44(11): 142-147.
- [8] 李亚楠, 李超. 反渗透膜污染及防控研究进展[J]. 山东化工, 2023, 52(5): 97-99, 104.  
LI Y N, LI C. Research progress of reverse osmosis membrane pollution and control measures [J]. Shandong Chemical Industry, 2023, 52(5): 97-99, 104.
- [9] 骆兆飞, 许学军. 工业废水处理中反渗透技术的应用研究[J]. 中国标准化, 2017(12): 181-182.
- [10] 王剑波. 化工废水处理中反渗透膜污染的产生及清洗探讨[J]. 中国战略新兴产业, 2024(5): 123-125.