



AWM

SOPORTE OFICIAL



**Proceso de limpieza
en línea por
ósmosis inversa**

Proceso de limpieza en línea por ósmosis inversa

La tecnología de ósmosis inversa (OI) se utiliza ampliamente en la industria del tratamiento de agua, especialmente en los campos de desalinización de agua de mar, purificación de agua potable y tratamiento de agua industrial. La membrana de ósmosis inversa es el componente principal de este proceso. Permite que las moléculas de agua pasen selectivamente a través de ella, mientras retiene sales disueltas, materia orgánica, coloides y otras impurezas. Sin embargo, a medida que el sistema funciona, inevitablemente se produce ensuciamiento de la superficie de la membrana, lo que conduce a una disminución del flujo de la membrana, un mayor consumo de energía del sistema y un deterioro de la calidad del agua del efluente. Para mantener el funcionamiento estable del sistema, la limpieza en línea (CIP) se ha convertido en un método de mantenimiento eficaz.

Principales factores de ensuciamiento de las membranas

- **Deposición convectiva**

En un sistema de ósmosis inversa, a medida que el agua pasa a través de la membrana bajo presión, las sustancias disueltas (como sales, coloides, microorganismos, materia orgánica, etc.) y las partículas en suspensión son retenidas por la membrana. Durante este proceso, el movimiento convectivo del agua sobre la superficie de la membrana hace que estas sustancias retenidas se depositen gradualmente sobre la superficie de la membrana. Esta deposición de sustancias causada por convección se denomina deposición convectiva. Es la principal causa de ensuciamiento de la membrana de ósmosis inversa.

- **Polarización por concentración**

La polarización de la concentración se refiere al fenómeno en el que, durante el proceso de separación, la solución en el líquido de alimentación pasa a través de la membrana bajo presión y los solutos (iones o solutos de diferentes pesos moleculares) quedan retenidos, lo que hace que la concentración en la interfaz de la membrana y la solución a granel o cerca de la región de interfaz de la membrana aumente. Bajo la influencia del gradiente de concentración, los solutos se difundirán desde la superficie de la membrana a la solución a granel, formando una capa límite, que aumenta la resistencia del fluido y la presión osmótica local, lo que conduce a una disminución en el flujo de permeación del solvente. La polarización de la concentración acelera el ensuciamiento de la membrana. Debido a la polarización de la concentración, la concentración de soluto cerca de la superficie de la membrana aumenta rápidamente, lo que provoca un aumento en la resistencia del fluido de la capa límite (o presión osmótica local), lo que conduce a una disminución en la fuerza impulsora de la transferencia de masa y da como resultado la deposición de ensuciamiento.

- **Retención de sustancias interceptadas**

Las sustancias interceptadas aceleran la acumulación de suciedad en las membranas. Por ejemplo, en las membranas espirales y en las membranas de láminas planas, hay una capa de malla de plástico entre los canales de alimentación que sostiene la membrana y aumenta la turbulencia, pero también provoca la interceptación. Los contaminantes quedan bloqueados por la malla y se depositan rápidamente.

¿En qué circunstancias es necesaria la limpieza?

El sistema de ósmosis inversa debe limpiarse antes de que la membrana se ensucie demasiado, ya que esto aumentará la dificultad de limpieza. La membrana de ósmosis inversa debe limpiarse inmediatamente cuando se produzcan las siguientes condiciones durante el funcionamiento:

- Bajo presión normal de agua de alimentación, el flujo de permeado disminuye entre un 10% y un 15% respecto del valor normal;
- Para mantener un flujo de permeado normal, la presión del agua de alimentación aumenta entre un 10% y un 15% después de la corrección de temperatura;
- La calidad del agua permeada disminuye entre un 10% y un 15% y el paso de sal aumenta entre un 10% y un 15%;
- La diferencia de presión entre las diferentes etapas del sistema aumenta significativamente.

¿Cómo realizar limpieza online?

La limpieza en línea es un método de limpieza de elementos de membrana sin desmontarlos, que normalmente incluye los siguientes pasos:

Análisis de contaminantes

Los contaminantes más comunes de la ósmosis inversa incluyen incrustaciones inorgánicas, óxidos metálicos, incrustaciones insolubles en ácido, incrustaciones de sílice, etc. Para abordar eficazmente estos diferentes contaminantes, se deben emplear métodos de limpieza adecuados. La selección incorrecta de productos químicos y métodos de limpieza a veces puede exacerbar la contaminación del sistema de membrana. Por lo tanto, es necesario determinar el tipo de suciedad en la superficie de la membrana antes de limpiarla. Están disponibles los siguientes métodos de análisis:

- Realizar una prueba de pérdida por ignición para calcular la relación de materia orgánica e inorgánica en los contaminantes en función del cambio de peso antes y después de la quema, para determinar el tipo de contaminación.
- Analizar los tipos y contenidos de elementos utilizando espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) y espectroscopia de difracción de rayos X (XRD) para determinar los principales componentes de los contaminantes inorgánicos.
- Combinar la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

(FTIR) y la cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) para caracterizar e identificar las especies químicas de contaminantes, obteniendo así información sobre la composición orgánica de los contaminantes de la membrana.

Selección de la solución de limpieza

El tipo de solución de limpieza se determina en función del análisis de los contaminantes presentes antes de la limpieza. Para lograr resultados de limpieza óptimos, a veces se utiliza una combinación de diferentes agentes de limpieza químicos.

Se pueden utilizar soluciones de limpieza ácidas para eliminar las incrustaciones inorgánicas depositadas en la membrana de ósmosis inversa, mientras que se pueden utilizar soluciones de limpieza alcalinas para eliminar la materia orgánica y los contaminantes coloidales. A continuación, se muestran algunos esquemas de selección de agentes de limpieza químicos comunes:

Contaminantes	Agente de limpieza químico preferido	Condiciones de limpieza	Solución de limpieza química alternativa
Escala inorgánica	Solución de HCL al 0,2 %	PH: 1-2; temperatura < 38 °C	2% de ácido cítrico; 1%
Óxidos metálicos	Solución al 1%	Temperatura < 35 °C	0,5% de ácido fosfórico; 2% de ácido cítrico
Incrustaciones insolubles en ácido (CaF ₂ , BaSO ₄)	0,1 % NaOH + 1 % Na ₄ EDTA (sal tetrasódica del ácido etilendiaminotetraacético)	PH: 11-12; temperatura < 30 °C	Hexametáfosfato de sodio al 1%
Escamas de sílice	Solución de NaOH al 0,1 % + Na-SDS (dodecil sulfato de sodio) al 0,025 %	PH: 11-12; temperatura < 30 °C	Solución de NaOH al 0,1 % + Na ₄ EDTA al 1 %
Microorganismo	0,1 % NaOH+ 0,025 % Na-SDS	PH: 11-12; temperatura < 30 °C	Solución de NaOH al 0,1 % + Na ₄ EDTA al 1 %
Materia orgánica	Solución de NaOH al 0,1 % + Na-SDS al 0,025 %, utilizada como primer paso de limpieza.	PH: 11-12; temperatura < 30 °C	Generalmente se utiliza una solución de HCL al 0,2 % como segundo paso de limpieza después del lavado alcalino.

Cálculo del volumen de la solución de limpieza

Hay dos métodos para calcular el volumen de solución de limpieza para el sistema de ósmosis inversa:

- Calcular según la fórmula:

$$\text{Cleaning Solution Volume} = 1.2 \times (\text{Pressure Vessel } V + \text{Cleaning System Pipeline } V)$$

V representa el volumen vacío

- Calcule la cantidad real de solución limpiadora en función del modelo de la membrana de ósmosis inversa y el grado de contaminación:

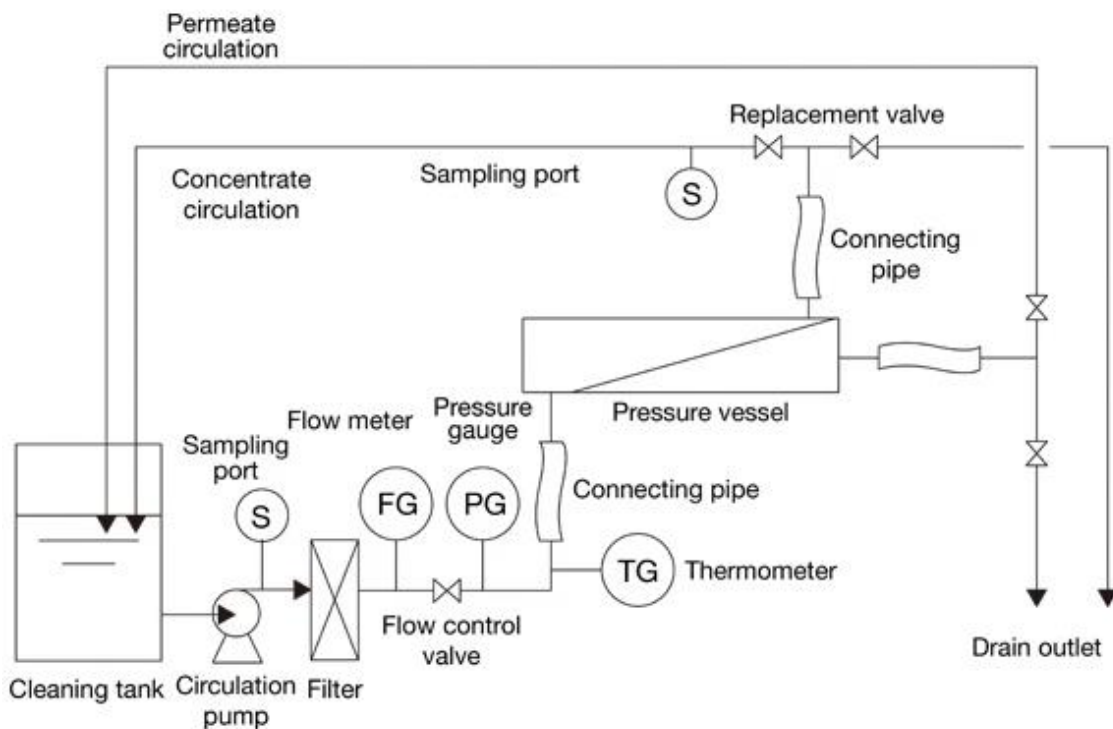
La contaminación se divide en dos situaciones:

- Cuando la contaminación no es grave, el volumen de la solución de limpieza para cada membrana de ósmosis inversa de recipiente a presión de $\Phi 101,6$ mm es de aproximadamente 8,5 a 9,5 L, y el volumen de la solución de limpieza para la membrana de ósmosis inversa de recipiente a presión de $\Phi 203,2$ mm debe ser de aproximadamente 33 a 35 L.

- Cuando la contaminación es grave, el volumen de solución de limpieza requerido para una membrana de ósmosis inversa de $\Phi 101,6$ mm es de aproximadamente 16 a 19 L, y el volumen de solución de limpieza para una membrana de ósmosis inversa de $\Phi 203,2$ mm debe configurarse entre 55 y 69 L.

Proceso de limpieza

La limpieza en línea se realiza con los elementos de membrana retenidos en el recipiente a presión. El equipo de limpieza generalmente incluye filtros de tanque de limpieza, bombas de circulación, manómetros, termómetros, medidores de presión, válvulas, puntos de muestreo y tuberías. El volumen del tanque de limpieza debe garantizar que cumpla con los requisitos de cantidad de agua utilizada para reemplazar el agua en las mangueras de conexión, tuberías y recipientes a presión de ósmosis inversa.



1. Formulación del plan de limpieza

① En este artículo, utilizamos una combinación de agentes de limpieza alcalinos y ácidos para limpiar el sistema de membrana de ósmosis inversa, que contiene CaF_2 e incrustaciones inorgánicas. Se utilizan soluciones de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio para ajustar el valor de pH del disolvente de limpieza.

2. Trabajos preparatorios antes de la limpieza

② Abra la válvula de entrada del dispositivo de ósmosis inversa e inyecte una cierta cantidad de permeado en el tanque de limpieza por ósmosis inversa. Ponga en marcha la bomba de circulación de ósmosis inversa para

hacer circular y limpiar la tubería de limpieza por ósmosis inversa, asegurándose de que la tubería esté limpia y libre de residuos.

③ Apague la bomba de circulación de ósmosis inversa, vacíe el tanque de limpieza de ósmosis inversa e inyecte el permeado de ósmosis inversa hasta una cierta altura (considerando la capacidad de toda la tubería). Encienda el calentador para calentar el agua en el tanque de limpieza a aproximadamente 40 °C.

④ Prepare soluciones de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio para ajustar el valor de pH del solvente de limpieza. Prepare un medidor de pH, mida y registre los cambios en el valor de pH de la solución de limpieza durante el proceso de limpieza.

3. Prepare la solución de limpieza alcalina

Ponga en marcha la bomba de circulación de ósmosis inversa para la circulación, agregue el agente de limpieza alcalino en el tanque de limpieza, luego agregue una cantidad adecuada de solución alcalina (NaOH) y mida el valor de pH de la solución para asegurarse de que alcance alrededor de 11.

4. Limpieza alcalina de membrana de ósmosis inversa

① **Limpieza alcalina por ósmosis inversa:** Ajuste la bomba de circulación de ósmosis inversa para mantener la presión de salida en alrededor de 0,2–0,25 Mpa. Deje que el agente de limpieza alcalino por ósmosis inversa circule dentro del sistema de ósmosis inversa. Mida el valor de pH de la solución alcalina cada 10 minutos. Si disminuye, indica que la solución de limpieza está disolviendo los contaminantes en la superficie de la membrana. Agregue una cantidad adecuada de solución alcalina (NaOH) para mantener el valor de pH de la solución alrededor de 11. Continúe circulando hasta que el valor de pH de la solución de limpieza ya no cambie (generalmente, necesita circular durante más de 30 minutos).

② **Remojo con agente de limpieza alcalino:** Después de que la membrana de ósmosis inversa se haya limpiado con la solución alcalina, detenga la bomba de circulación de ósmosis inversa y cierre todas las válvulas del sistema de ósmosis inversa, permitiendo que la membrana de ósmosis inversa se sumerja en la solución alcalina durante un período determinado (generalmente más de 5 horas).

③ **Recirculación del agente de limpieza alcalino:** abra la válvula de entrada de limpieza del dispositivo de ósmosis inversa, la válvula de salida y la válvula de retorno del lado de permeado para permitir que el agente de limpieza alcalino fluya a través de la membrana en serie. Registre cualquier cambio en el valor de pH de la solución (normalmente recircule durante más de 1 hora).

④ **Enjuague bien la solución alcalina:** apague la bomba de circulación de ósmosis inversa y cierre la válvula de salida. Abra la válvula de drenaje del

tanque de limpieza para vaciar la solución de limpieza alcalina de ósmosis inversa. Cierre la válvula de entrada y la válvula de salida de limpieza del dispositivo de ósmosis inversa. Abra la válvula de descarga de concentrado y la válvula de drenaje del lado del permeado para vaciar el agente de limpieza alcalino del dispositivo de ósmosis inversa. Luego abra la válvula de entrada de lavado y ponga en marcha la bomba de lavado de ósmosis inversa para lavar el sistema de ósmosis inversa. Una vez que la conductividad del permeado de ósmosis inversa sea inferior a 30 $\mu\text{s}/\text{cm}$, abra la válvula de entrada de limpieza de ósmosis inversa y la válvula de salida de limpieza respectivamente para lavar a contracorriente la tubería y el tanque de limpieza hasta que el agente de limpieza alcalino en la tubería se haya eliminado por completo.

5. Preparar solución de limpieza ácida

Inyectar una cierta cantidad de permeado de ósmosis inversa en el tanque de limpieza por ósmosis inversa. Abrir la válvula de circulación de la bomba de limpieza por ósmosis inversa, poner en marcha la bomba de circulación de ósmosis inversa para que circule, añadir una cantidad adecuada de agente de limpieza ácido y solución de ácido clorhídrico hasta que el valor de pH de la solución alcance 2,0.

6. Limpieza y remojo, enjuague con solución limpiadora ácida.

El proceso de lavado ácido de la membrana de ósmosis inversa es básicamente el mismo que el proceso alcalino. Durante el proceso de limpieza, el valor de pH de la solución debe comprobarse con frecuencia. Si el valor de pH aumenta, indica que hay depósitos que se neutralizan con el agente de limpieza ácido. Es necesario agregar una cantidad adecuada de solución de ácido clorhídrico para mantener la solución de limpieza en alrededor de 2,0. Después de la limpieza, también es necesario remojarla durante más de 5 horas y luego hacerla circular nuevamente durante 1 hora y registrar los cambios del valor de pH. Luego, inicie todo el sistema de limpieza por ósmosis inversa para enjuagar el dispositivo de ósmosis inversa.

7. Reiniciar el sistema

Una vez que los componentes y el sistema se hayan estabilizado, registre los parámetros operativos después de reiniciar el sistema.



Precauciones de limpieza en línea

- La temperatura de la solución de limpieza debe mantenerse entre 25 y 35 °C. La solución de limpieza debe prepararse con permeado de ósmosis inversa o agua desionizada y debe mezclarse de manera uniforme.
- Durante la limpieza, se debe drenar el agua residual del recipiente de presión de ósmosis inversa y de las tuberías, y el concentrado generado durante el proceso de limpieza se debe hacer circular de nuevo hacia el tanque de solución de limpieza. Si la solución de limpieza que regresa se decolora o se vuelve turbia de manera notable, se debe preparar una nueva solución de limpieza. Si el cambio de pH de la solución de limpieza recirculada supera los 0,5, se debe reajustar el pH o se debe reemplazar la solución de limpieza.
- Una vez finalizada la limpieza según el tiempo especificado, se debe enjuagar inmediatamente con permeado de ósmosis inversa o agua desionizada. El tiempo de enjuague suele ser de 30 a 60 minutos, y se debe drenar el agua de salida de ósmosis inversa. Después de confirmar que se completó el enjuague, es mejor ponerlo en funcionamiento normal de inmediato. El tiempo desde la limpieza química hasta el funcionamiento no debe superar las 24 horas.
- El personal que prepara la solución de limpieza debe prestar atención a la seguridad, usar guantes, gafas y ropa protectora y preparar agua y medicamentos de emergencia en el lugar.
- Los instrumentos y válvulas de tuberías que no estén relacionados con el trabajo de limpieza deben cerrarse para garantizar un aislamiento efectivo.