

FilmTec™纳滤在工业废水处理中的应用

刘敏杰

技术服务与开发

世环会网络研讨会，2024年4月29日

DuPont Water Solutions
杜邦水处理解决方案



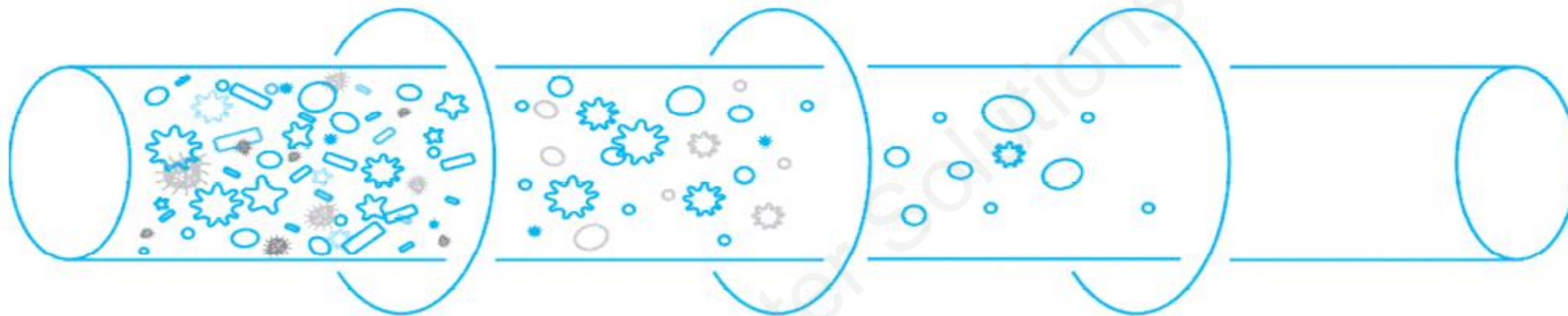


目录:

- 纳滤过滤基础
- FilmTec™纳滤产品线
- FilmTec™纳滤在工业废水领域的应用

纳滤过滤基础

膜分离基础



微滤 (0.1-1 μ m)

悬浮颗粒物、淤泥、粘土、藻类、浊度...

超滤 (0.01-0.1 μ m)

细菌、病毒、胶体、腐殖酸、金属氧化物胶体 (Fe, Mn)、浊度...

纳滤 (~1nm)

二价/高价盐、硬度、重金属、抗生素、农药化学残留、消毒副产物、内分泌干扰素、色度...

反渗透(~0.1nm)

几乎所有的盐、小分子有机物...

1 bar



120 bar

FilmTec™ 纳滤膜技术

□ 产品开发

- 1976年，美国北极星研究所（North Star Research Institute）John Cadotte 基于界面聚合技术，采用哌嗪（PIP）和均苯三甲酰氯（TMC）作为单体开发出第一张纳滤复合膜。

□ 工程应用

- 1984年，Filmtec公司首先提出“纳滤”、记录并推广应用。
- 1987年，Marathon 石油公司与FilmTec™ 合作开发出海水硫酸盐去除工艺，用来解决海上石油平台硫酸盐沉淀问题。
- 1999年，巴黎梅里奥赛水厂采用FilmTec™ NF200作为深度处理，去除有机物和农药。
- 2015年，陕西榆林某煤化工零排项目首次采用FilmTec™ XC-N进行浓盐水分盐，拉开了工业废水分盐零排放的序幕。
- 2020年，张家港水厂采用FilmTec™ NF270作为深度处理，提供高品质饮用水。
-

纳滤膜应用领域



工业

- 工业废水零排放分盐
- 盐湖提锂
- 氯碱膜法脱硝
- 有价金属、酸碱回收
-

市政

- 饮用水深度处理
- 渗滤液处理
-

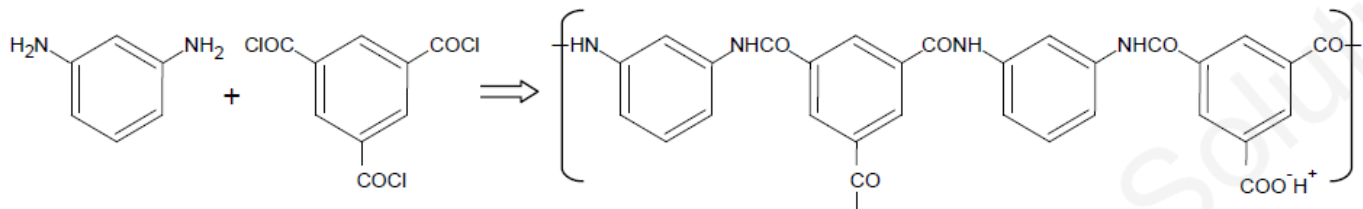
食品/饮料

- 果汁、乳制品浓缩
- 小分子有机物浓缩分离
-

- 有利于实现国家“双碳”目标，有助于提高人们生活品质。

FilmTec™ 反渗透 & 纳滤膜化学技术

FT30膜化学技术 - 高度交联的全芳香聚酰胺膜

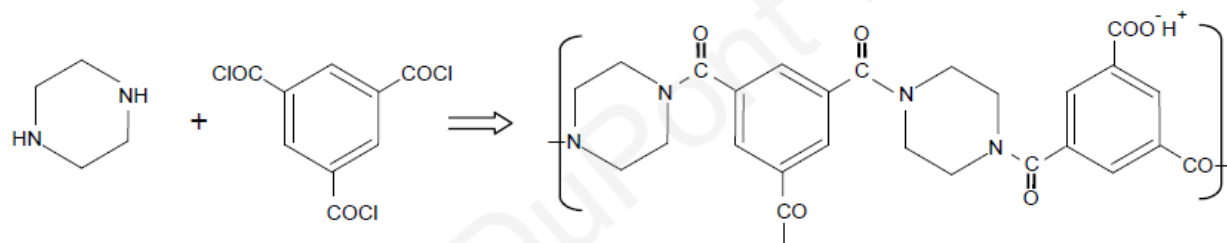


特征:

- 高脱盐率
- 大通量
- 高化学稳定性

Cadotte, J. E. US patent 4277344, 1979

NS300膜化学技术 - 含有杂环脂肪胺的聚哌嗪膜



特征:

- 离子选择性脱除
- 更大通量
- 高化学稳定性

Cadotte, J. E. et al. NTIS report. No. PB253193. 1976

FilmTec™ 反渗透&纳滤典型性能对比

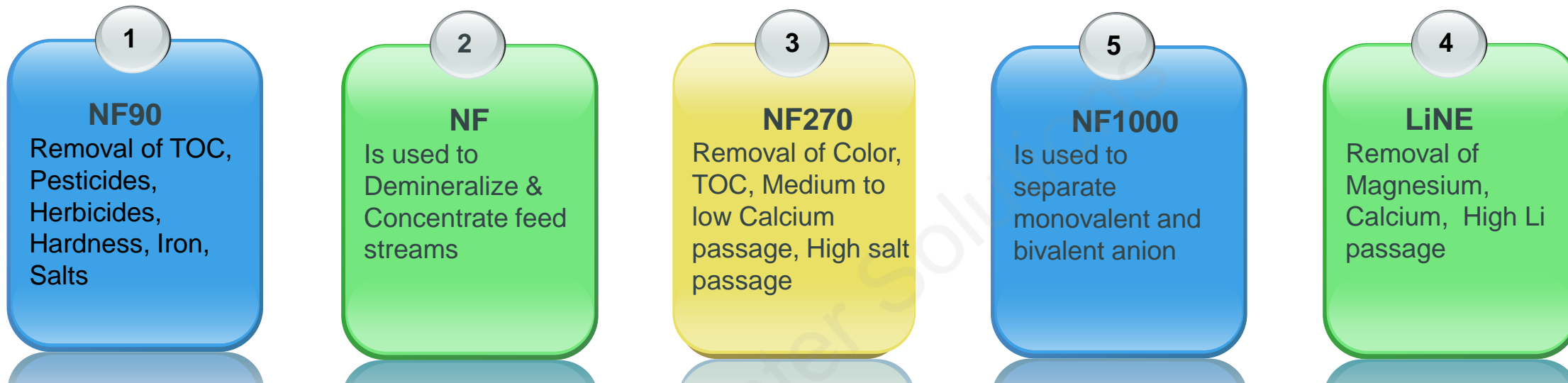
	反渗透		纳滤	
	标准反渗透	低压反渗透	致密型纳滤	疏松型纳滤
膜片类型	BW30	LE/XLE	NF90	NF270/NF1000等
典型运行压力(bar)	10-15	7-10	5-7	4-6
NaCl脱除率(%)	99.5	99	90	40
CaCl ₂ 脱除率(%)	99.6	99.2	90	50
MgSO ₄ 脱除率(%)	99.7	99.5	98	98
葡萄糖(MW:180)脱除率(%)	99.7	99.3	99	98
蔗糖(MW:342)脱除率(%)	99.8	99.6	99.3	99
	← 高脱盐		低能耗 →	
产水pH	pH降低, 呈酸性, 有一定腐蚀性		pH值变化略小, 腐蚀性略低, 可直接进管网	
结垢倾向	CaCO ₃ , SiO ₂ 结垢倾向略高		CaCO ₃ , SiO ₂ 结垢倾向略低	
系统回收率	~75%(压力、结垢)		75~85%	

测试条件: 45LMH通量@25°C

FilmTec™纳滤膜元件产品线



FilmTec™ 纳滤(NF)膜系列



产品	应用特点
NF90系列	最高的盐截留率（90%）*，很高的铁、杀虫剂、除草剂和TOC的去除率，是一种疏松反渗透，主要用于饮用水处理。
NF系列	中到高度的透盐率，中等程度钙的盐截留率（35~50%）**，很高程度的除草剂如莠去净和TOC的脱除率（95%），对无机离子具有选择性截留，主要应用于特殊料液浓缩分离工艺。
NF270系列	较高的NaCl透盐率，中等程度的钙的盐截留率（40~60%）**，很高的色度、TOC脱除率。主要用于饮用水处理、氯碱分盐、垃圾渗滤液等领域。
NF1000系列	采用改进的纳滤膜片，可去除分子量大于300的有机物，最高的二价盐脱除率，一价盐类可自由透过。主要用于工业废水零排放分盐。
LiNE系列	很高的锂离子透过率，高的钙、镁截留率。主要用于盐湖提锂领域。

备注：* NaCl截留率； ** CaCl₂截留率



FilmTec™ Fortilife™ 纳滤膜产品

高透水性，高选择性纳滤膜元件

主要特性

- 具有很高的二价离子选择分离性能，能够分离出高纯度的盐溶液，同时减少需要进一步热法处理的浓水体积。
- 采用专业设计和优化过的膜化学，使得膜元件具备良好的耐久性和使用寿命。
- 具有很高的产水效率，使得用户能够进一步提高水和资源的回收率，并/或降低能耗。
- 具有比FilmTec™ Fortilife™ XC-N更大的有效膜面积，可帮助用户降低系统整体投资和运行成本。

产品规格

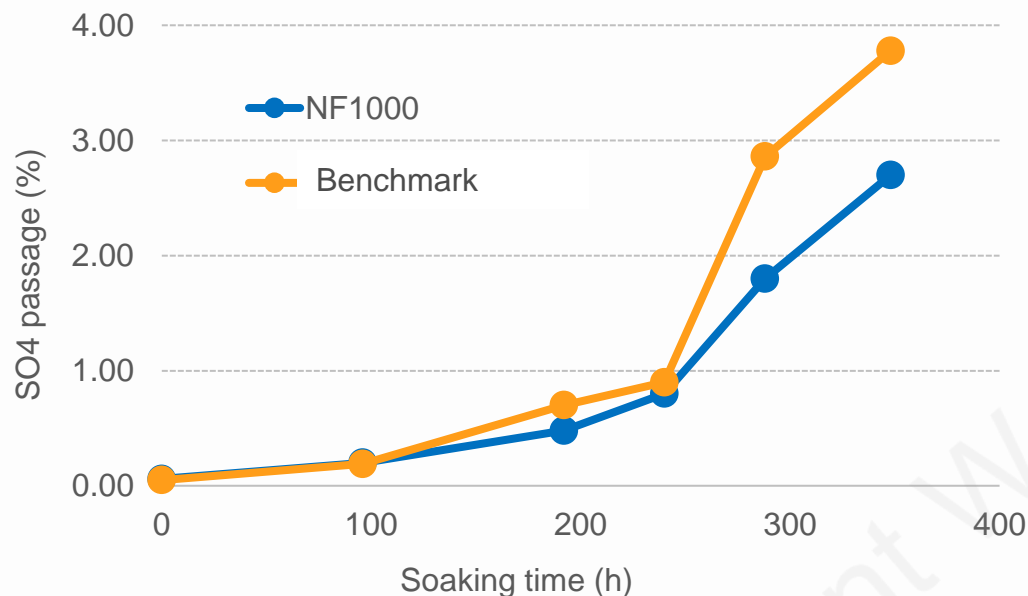
膜元件		NF1000	NF1000 HP
有效膜面积	m ²	37	37
进水流道	mil	34	34
产水量*	GPD	9025	8200
稳定脱盐率*	%	99.2	99.2
最低脱盐率*	%	98.0	98.0
Na ₂ SO ₄ 浓缩上限**	g/L	110	210

* Permeate flow and salt rejection based on the following standard conditions: 2,000 ppm MgSO₄, 70 psi (4.8 bar), 77°F (25°C), and 15% recovery

**Results calculated by Wave based on below conditions:
NF1000: 5% element recovery, FF=0.70, T=25°C, flux 5 LMH, @40bar;
NF1000 HP: 5% element recovery, FF=0.70, T=25°C, flux 5 LMH, @80bar

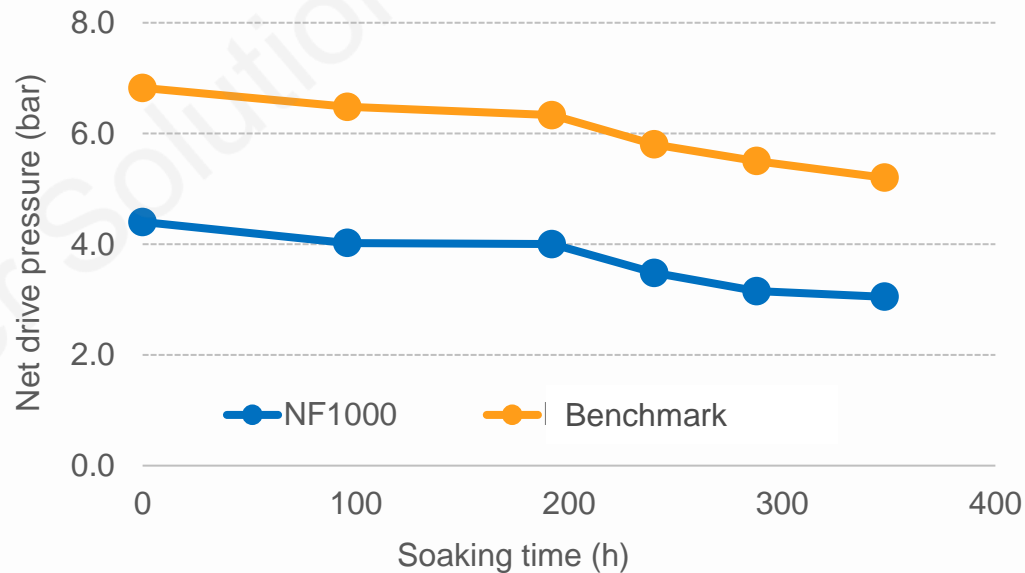
FilmTec™ Fortilife™ 纳滤膜产品升级亮点

与某品牌的NF产品相比，化学清洗的耐久性相似



在pH= 12、50°C的严苛条件下浸泡不同时间后，定期检测各膜元件在该条件下的性能变化。

与某品牌的NF产品相比，NF1000具有更高的透水性和更低的净驱动压力

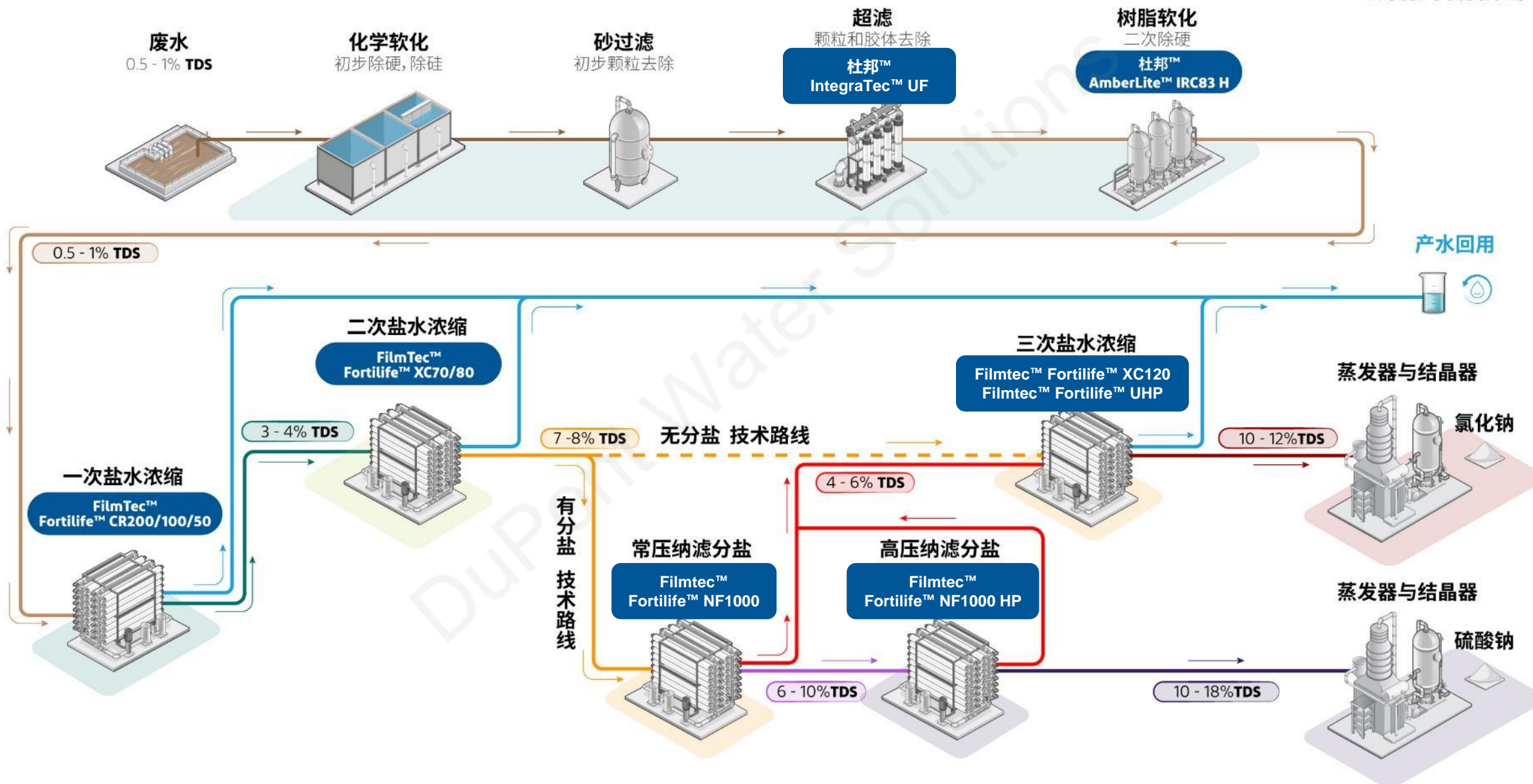


全新纳滤膜化学

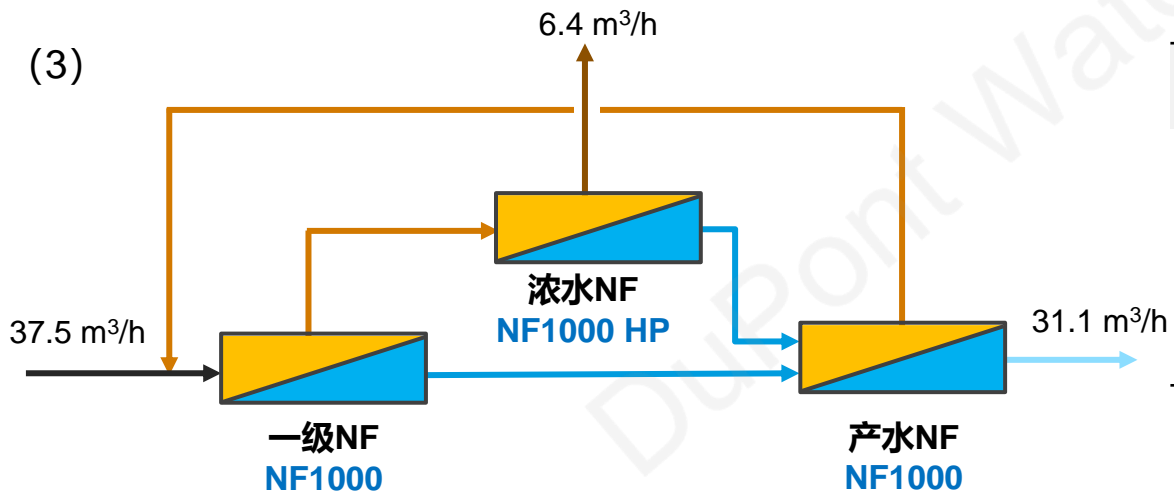
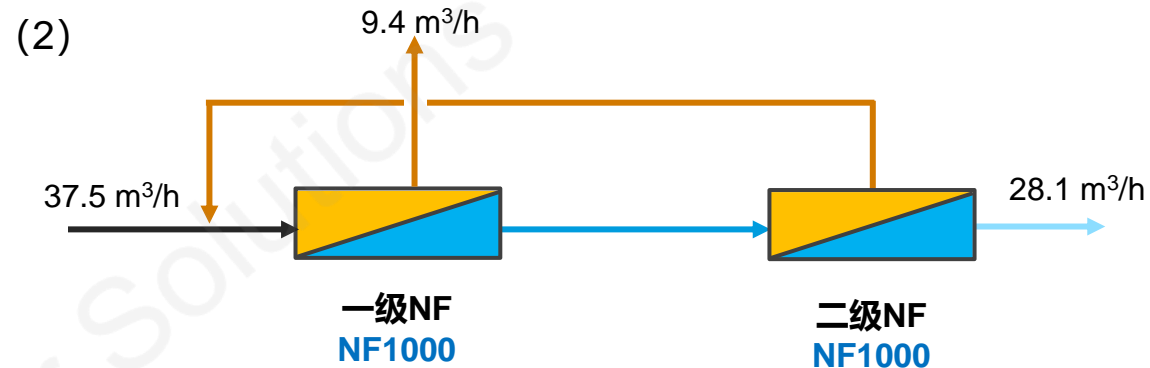
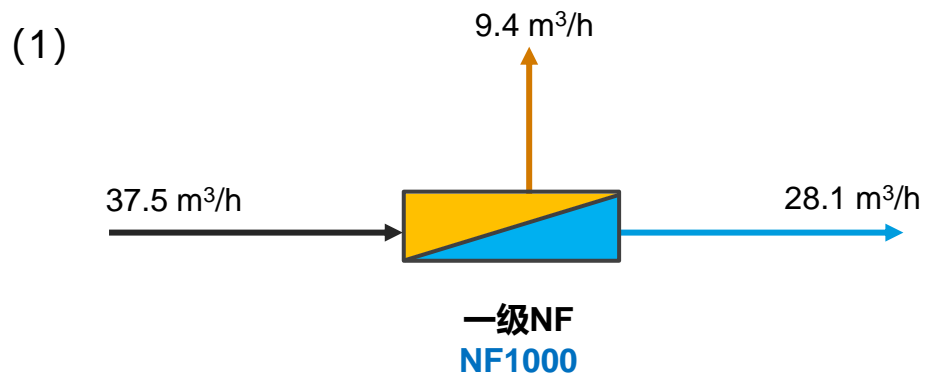
- NF1000 / NF1000 HP 采用杜邦最新升级的纳滤膜化学，保留了杜邦纳滤膜产品高产水效率和高一二价离子分离效率优势的同时耐化学清洗性能得到大幅度提升，实际应用中具有更好的耐久性和更长的元件寿命。

FilmTec™纳滤在工业废水领域的应用

杜邦水处理近零排放完整解决方案



几种不同纳滤分盐工艺的组合



设计	回收率 /%	浓水侧 SO ₄ ²⁻ /ppm	产水侧 SO ₄ ²⁻ /ppm
1	75	92,049	358.6
2	75	93,098	1.2
3	83	136,507	2.0

上述结果基于以下条件进行计算：TDS: 55,446 ppm, SO₄²⁻: 23,324 ppm, Cl⁻: 12,714 ppm, pH 7;

杜邦纳滤在工业废水领域的应用业绩表

序号	项目名称	所在区域	应用领域	原水类型	处理水量(m3/h)	纳滤型号	投运时间
1	印染园区废水零排项目	广东	印染	工业废水	7600	XC-N, XC-N HP	2019
2	工业园区综合污水零排放项目	宁夏	煤化工	工业废水	3000	XC-N	2018
3	陕西某工业废水零排项目	陕西	煤化工	工业废水	1500	XC-N, XC-N HP	2021
4	山东某钢铁工业废水零排项目	山东	冶金&钢铁	工业废水	1300	XC-N	2018
5	陕西某二期工业废水零排项目	陕西	煤化工	反渗透浓水	1300	XC-N	2019
6	内蒙古某煤化工零排放项目	内蒙古	煤化工	工业废水	905	XC-N HP	2024
7	延长陕西某能化工业废水零排项目	陕西	煤化工	反渗透浓水	900	XC-N	2014
8	延长陕西某能化一期零排更换项目	陕西	煤化工	反渗透浓水	900	XC-N	2019
9	延长陕西某能化工业废水零排项目	陕西	煤化工	反渗透浓水	750	XC-N	2019
10	河北某钢铁零排放项目	河北	冶金&钢铁	工业废水	700	XC-N	2020
11	山东某化工零排放项目	山东	化工/石化	工业废水	600	XC-N	2017
12	山西某焦化工业废水零排项目	山西	化工/石化	河水、工业废水	600	XC-N, XC-N HP	2020
13	神华内蒙某工业废水零排项目	内蒙古	煤化工	工业废水	600	XC-N	2021
14	辽宁某煤化工工业废水零排项目	辽宁	煤化工	工业废水	390	NF90	2018
15	内蒙古某煤化工一期零排放项目	内蒙古	煤化工	反渗透浓水	380	XC-N, NF90, NF270	2013
16	内蒙古某煤化工二期零排放项目	内蒙古	煤化工	工业废水	380	NF270	2023
17	山西某焦化项目	山西	焦化	工业废水	350	XC-N	2023
18	内蒙某稀土工业废水零排项目	内蒙古	化工/石化	工业废水	300	NF270, NF90	2016
19	山东某工业废水零排项目	山东	化工/石化	工业废水	250	XC-N HP	2023
20	中国石化某工业废水零排项目	山东	化工/石化	工业废水	245	XC-N	2019
21	安徽某化工废水零排放项目	安徽	化工/石化	工业废水	240	XC-N	2021
22	安徽某钢铁北区废水零排放项目	安徽	冶金&钢铁	工业废水	240	XC-N	2022
23	内蒙古某新能源工业废水零排项目	内蒙古	煤化工	工业废水	200	NF270	2015
24	宁夏某煤化工废水零排放项目	宁夏	煤化工	工业废水	150	NF1000	2023
43						



案例1：72,000 m³/d矿井水+煤化工废水零排放项目

■ 项目信息

• 项目地点:	宁夏
• 应用领域:	矿井水+煤化工废水零排放
• 工艺路线:	多工艺组合 (UF+RO+NF)
• 处理水量:	72,000 m ³ /d <ul style="list-style-type: none">• 36,000 m³/d 矿井水• 36,000 m³/d 煤化工废水
• 调试时间:	2019

■ 使用产品

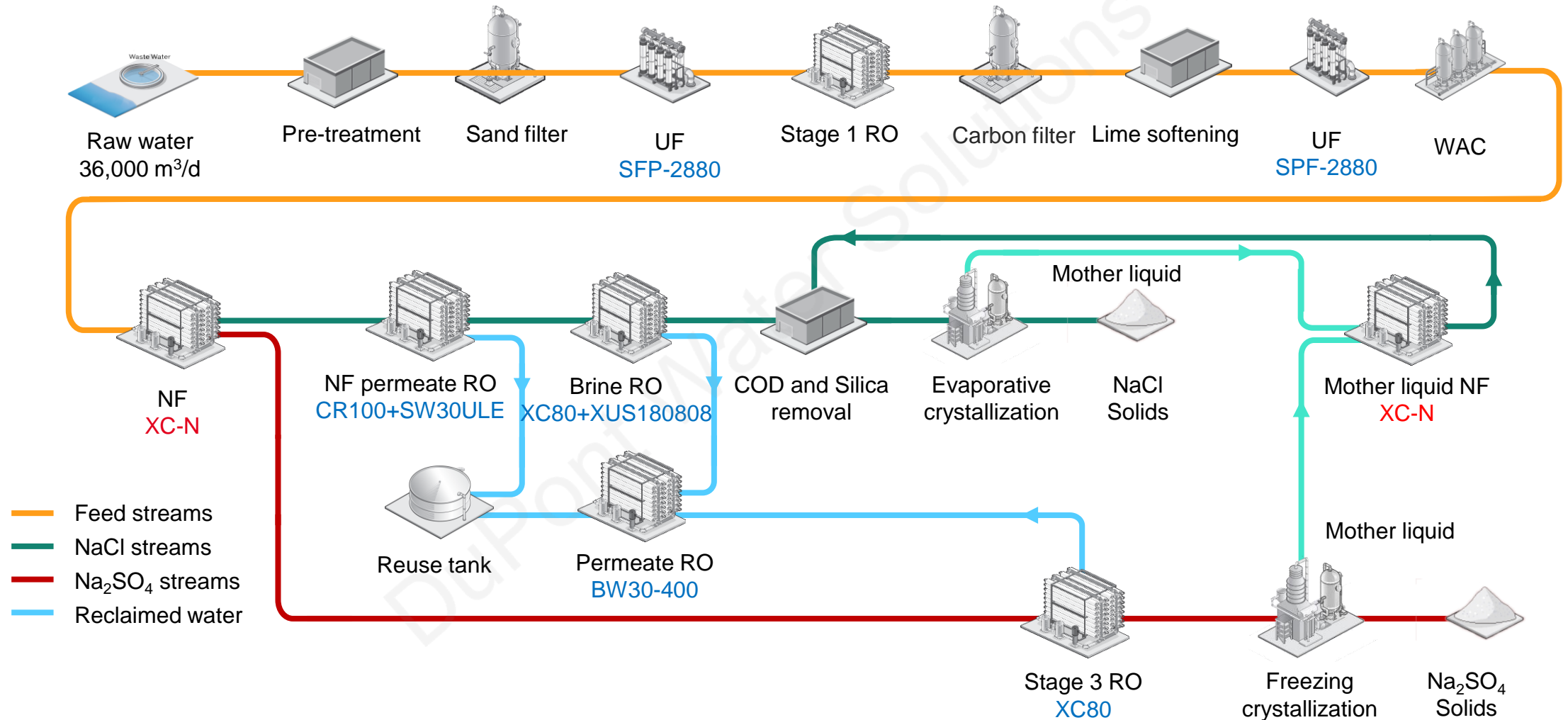
产品	数量 (pcs)
Integratec™ UF	1640
BWRO	240
SWRO	336
Fortilife™CR/XC/UHP	1164
Fortilife™NF	1050

■ 收益

- 终端用户每年可回收利用水资源大于2400万吨 (含蒸汽冷凝水), 实现向黄河的废水零排放;
- 实现高品质的NaCl (39900 t/a)和Na₂SO₄ (43200 t/a)资源回收, 低于15%的杂盐(14600 t/a);

案例1: 72,000 m³/d 矿井水+煤化工废水零排放项目

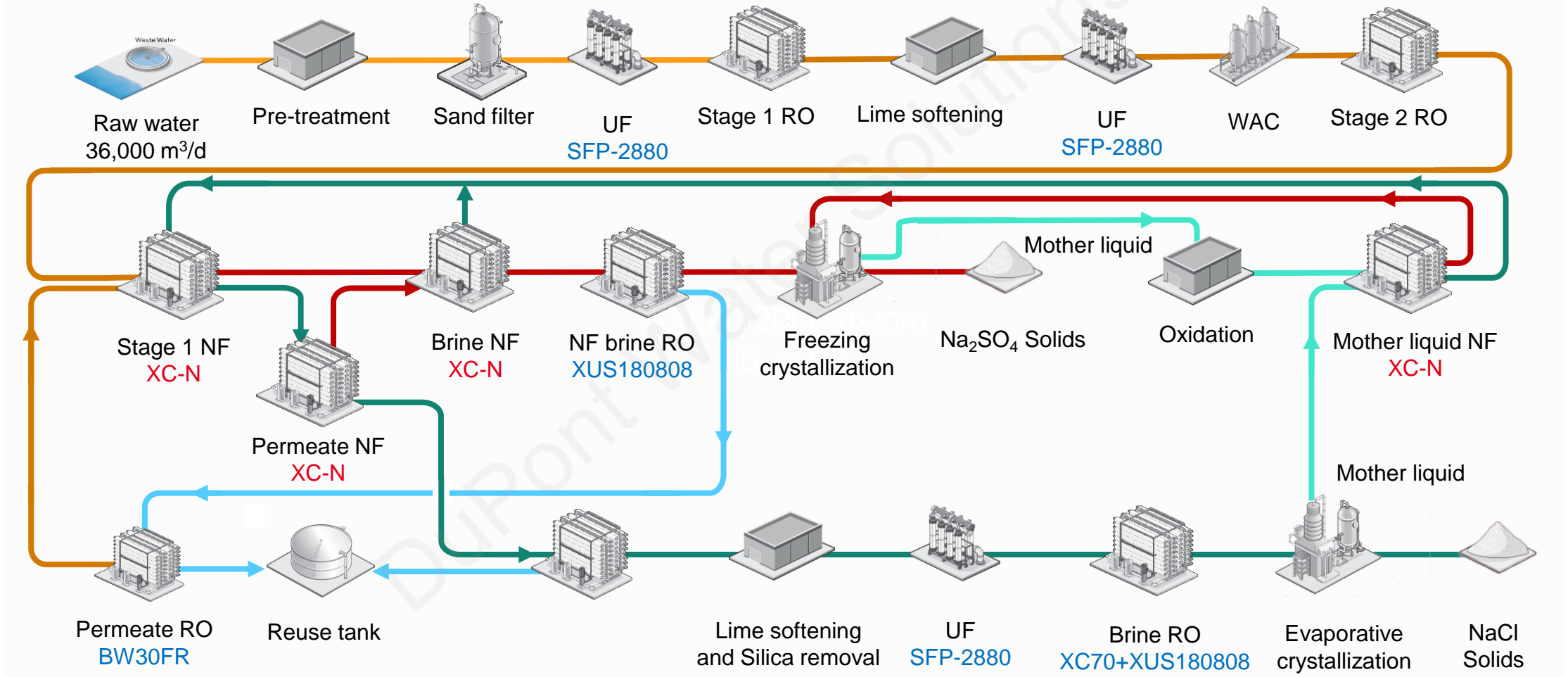
I 工艺流程图 (36,000 m³/d 矿井水)



案例1: 72,000 m³/d 矿井水+煤化工废水零排放项目

工艺流程图 (36,000 m³/d 煤化工废水)

— Feed streams
— NaCl streams
— Na₂SO₄ streams
— Reclaimed water



案例1: 72,000 m³/d矿井水+煤化工废水零排放项目

煤化工废水二级RO浓水水质 (mg/L)

TDS	19,342	Ca	0.6
COD _{cr}	109	Mg	0.3
Cl	4,970	Sr	0.8
SO ₄	7,166	Ba	0.1
F	3.3	Na	6,771
HCO ₃	76.5	K	131.0
CO ₃	12.1	NH ₄	1.1
NO ₃	122	pH	8.0
B	51.9	SiO ₂	31.7

煤化工废水一级NF设计及运行参数

膜元件	FilmTec™ Fortilife™ XC-N
设计产水流量	152.2 m ³ /h
设计回收率	73%
套数	2用1备
系统配置	14:7(6)
平均通量	17.8 LMH

离子组成	进水浓度/ppm	脱除率
SO ₄	8959	98.60%
TOC	40.7	88.20%
HCO ₃	2800	21.40%
SiO ₂	26.7	0.01%
Cl	4461	-0.08%
NO ₃	164	-22.50%

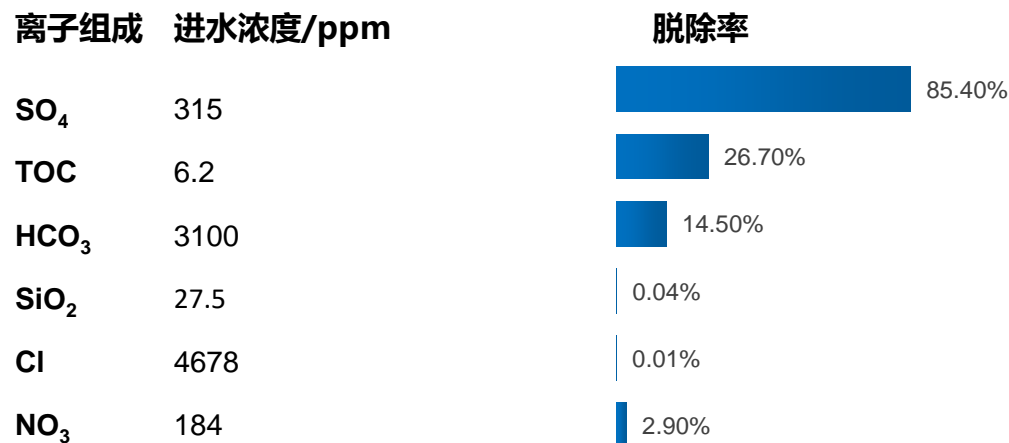
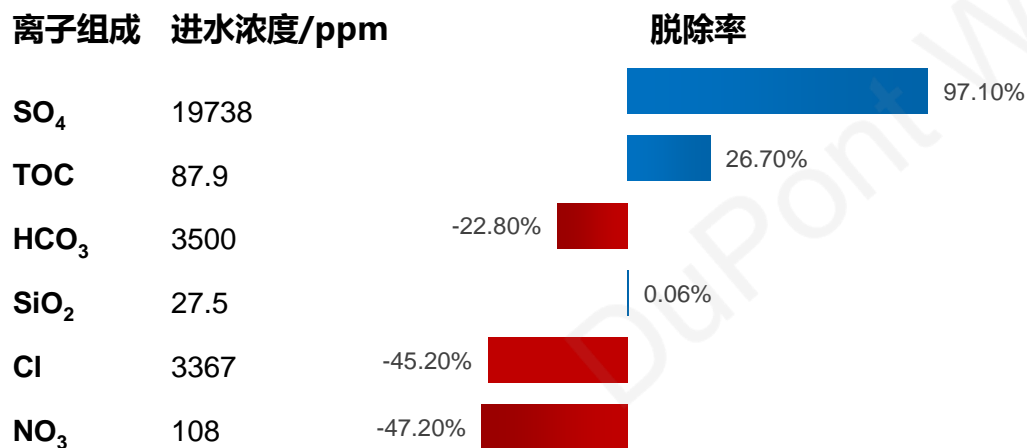
案例1：72,000 m³/d矿井水+煤化工废水零排放项目

煤化工废水浓水NF系统设计及运行参数

膜元件	FilmTec™ Fortilife™ XC-N
设计产水流量	63 m ³ /h
设计回收率	70%
套数	2用1备
系统配置	6:3(6)
平均通量	17.2 LMH

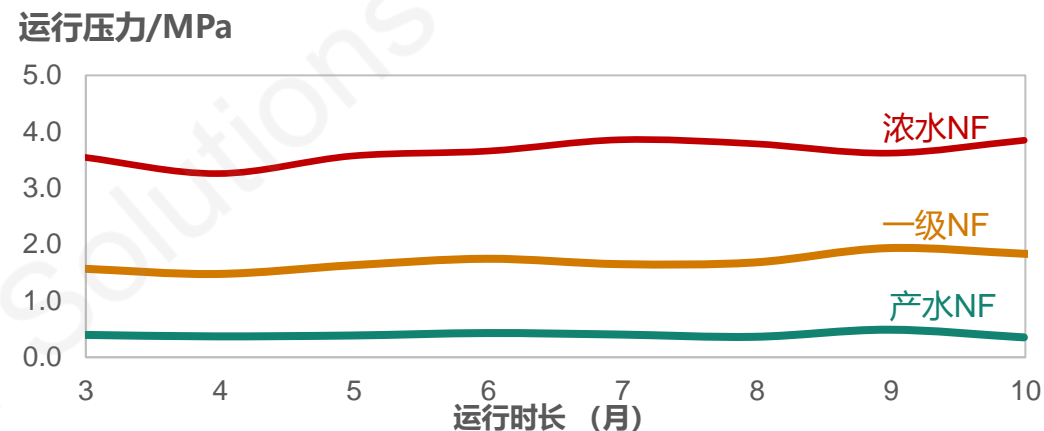
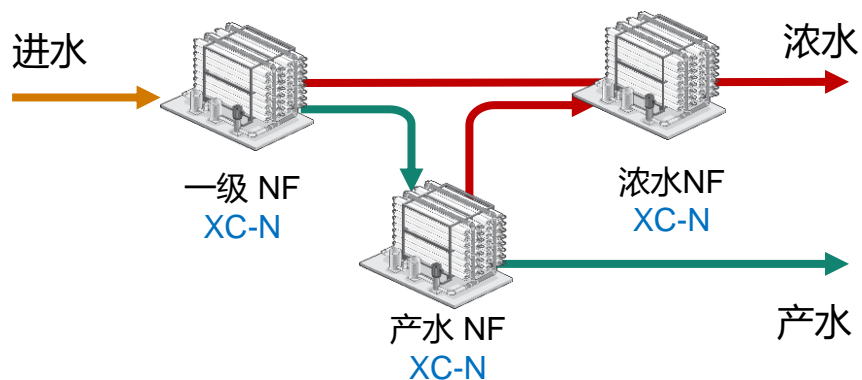
煤化工废水产水NF设计及运行参数

膜元件	FilmTec™ Fortilife™ XC-N
设计产水流量	181.5 m ³ /h
设计回收率	84.3%
套数	2用1备
系统配置	12:8:5(6)
平均通量	17.8 LMH



案例1: 72,000 m³/d矿井水+煤化工废水零排放项目

煤化工废水NF系统长期运行数据 (来自第三方文献)



离子组成	进水浓度/ppm	脱除率
SO ₄	10286	99.8%
Ca	12.8	85.9%
Mg	8.5	85.9%
COD	192.2	51.5%
NH ₄	23.7	50.2%
SiO ₂	20.3	-1.0%
NO ₃	775.5	-9.0%
Cl	5341.9	-13.1%

系统名称	清洗频次			合计
	酸洗	碱洗	EDTA洗	
一级NF	1.05	0.7	0.35	2.1
产水NF	0	0	0	0
浓水NF	0.7	0.15	0.15	1.0

数据来源: 赛世杰等, 高分离纳滤系统在煤化工高盐废水零排放中的应用, <https://mp.weixin.qq.com/s/d-958ddfSqFQcbsr63ZazQ>



案例2：3600 m³/d煤化工废水零排放项目

■ 项目信息

• 项目地点:	宁夏
• 应用领域:	煤化工废水零排放
• 工艺路线:	多工艺组合 (UF+RO+NF)
• 处理水量:	3,600 m ³ /d
• 调试时间:	2020

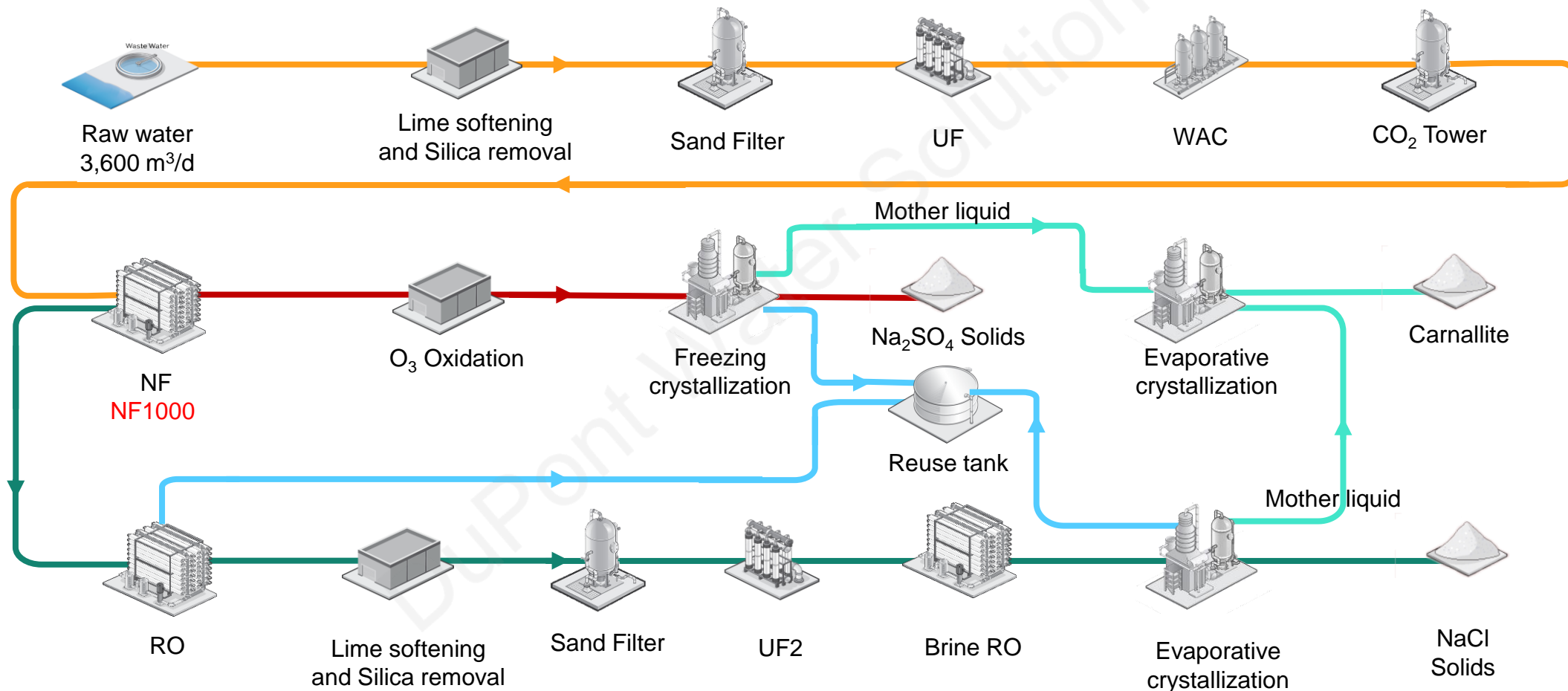
■ 使用产品

产品	数量 (pcs)
UF	144
BWRO	306
SWRO	108
Fortilife™NF 1000	360

案例2：3600 m³/d煤化工废水零排放项目

工艺流程图 (3,600 m³/d 煤化工废水)

— Feed streams
— NaCl streams
— Na₂SO₄ streams
— Reclaimed water



案例2：3600 m³/d煤化工废水零排放项目

I 纳滤进水水质 (mg/L)

TDS	24,000
COD _{cr}	209.5
Cl	8,260.7
SO ₄	5,669.5
HCO ₃	20
CO ₃	7.5
Ca	2
Mg	1

I NF系统设计数据

膜元件	FilmTec™ Fortilife™ NF1000
设计处理量	92 m ³ /h
设计回收率	85%
套数	2用1备
系统配置	10:5:5(6)
平均通量	17.6 LMH
设计特点	一级三段，三段Feed and bleed 设计

I NF系统运行数据

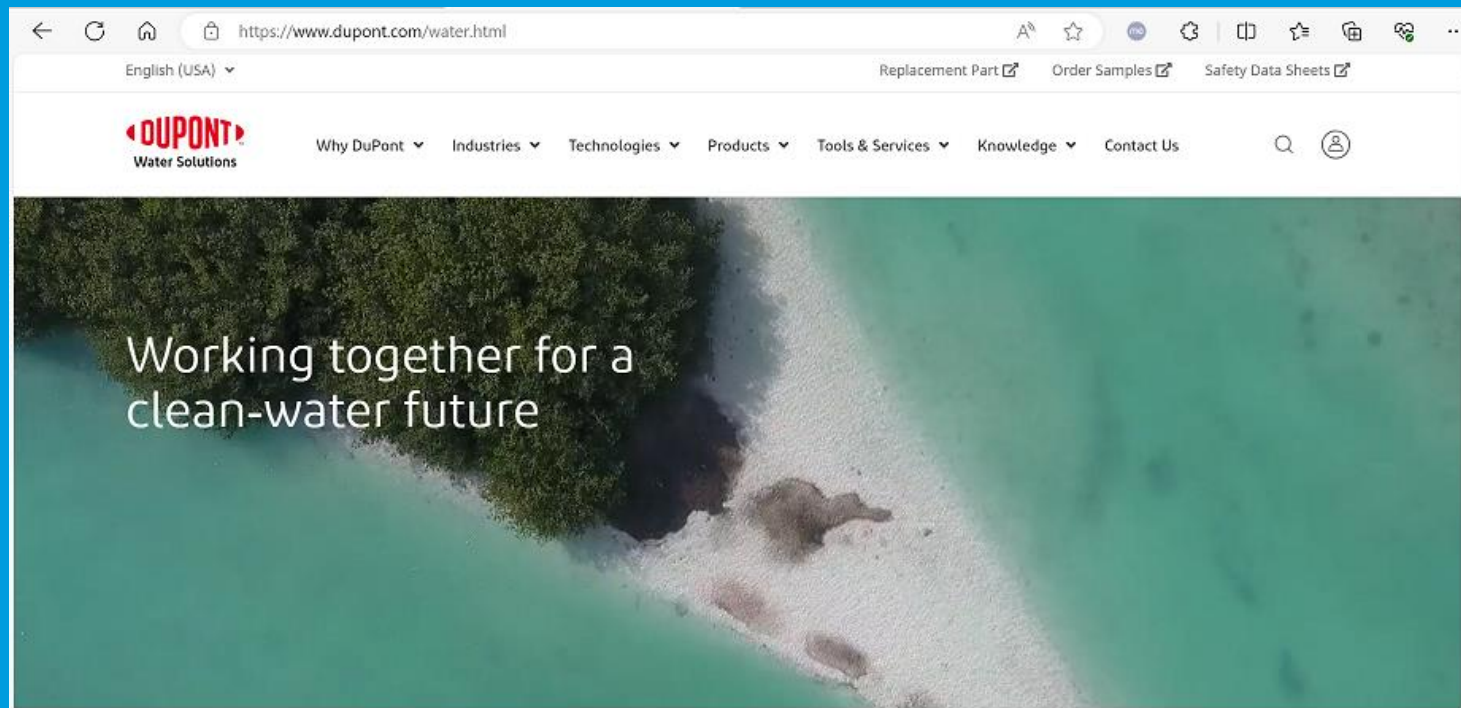
位置	给水压力	段间压差	SO ₄ ²⁻ 去除率
一段	< 1.5 MPa	< 0.15 MPa	> 99%
二段	< 1.6 Mpa	< 0.2 Mpa	
三段	< 2 MPa	< 0.3 Mpa	

感谢您的聆听!

请与我们联系:

杜邦水处理官网: www.dupont.com/water

杜邦水处理微信公众号





© 2024 DuPont. All rights reserved. DuPont™, the DuPont Oval Logo, and all trademarks and service marks denoted with ™, SM or ® are owned by affiliates of DuPont de Nemours, Inc. unless otherwise noted. Nothing contained herein shall be construed as a representation that any recommendations, use or resale of the product or process described herein is permitted and complies with the rules or regulations of any countries, regions, localities, etc., or does not infringe upon patents or other intellectual property rights of third parties.

The information provided herein is based on data DuPont believes to be reliable, to the best of its knowledge and is provided at the request of and without charge to our customers. Accordingly, DuPont does not guarantee or warrant such information and assumes no liability for its use. If this product literature is translated, the original English version will control and DuPont hereby disclaims responsibility for any errors caused by translation. This document is subject to change without further notice.