

团 体 标 准

T/CSES XXXX—2020

工业高盐废水纳滤-反渗透分盐处理技术 指南

Technical guidelines for nanofiltration-reverse osmosis salt
fractionation for industrial high-salinity wastewater
treatment

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国环境科学学会 发布

目 次

前 言.....	IV
引 言.....	V
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 设计水质.....	4
4.1 各单元进水水质要求	4
4.2 水质测定方法	5
5 工艺设计.....	6
5.1 一般规定	6
5.2 前处理系统设计	6
5.3 纳滤-反渗透系统设计	6
5.4 结晶器设计	10
6 盐回收和水回用要求.....	10
6.1 盐回收要求	10
6.2 盐的指标测定	10
6.3 水回用要求	10
7 运行与维护.....	11
7.1 膜系统运行与维护	11
7.2 结晶系统运行与维护	11
附 录 A（资料性） 工业高盐废水前处理工艺	13
附 录 B（资料性） 膜元件污染与化学清洗	14
图 1 纳滤-反渗透分盐系统基本工艺流程.....	7
图 2 多级反渗透分盐系统工艺流程.....	7
图 3 多段纳滤-多段反渗透分盐工艺流程.....	7
图 4 多段纳滤-多级反渗透分盐系统工艺流程.....	7
图 5 多段多级纳滤-多级反渗透分盐系统工艺流程.....	8

表 1 纳滤单元进水水质指标要求	4
表 2 水中污染物浓度测定方法标准	5

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由同济大学提出。

本标准由中国环境科学学会归口。

本标准起草单位：同济大学、天津工业大学、天津膜天膜科技股份有限公司、香港大学、杭州上拓环境科技股份有限公司、宝山钢铁股份有限公司、同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司、内蒙古久科康瑞环保科技有限公司。

本标准主要起草人：王志伟、吴志超、汤初阳、王亮、胡晓宇、李恩超、孙文挺、冯磊、方毓淳、谭斌、王雪野、史威、戴若彬、李雪松、田晨昕、刘新超、朱羽廷、王巧英、赛世杰。

引 言

石油化工、煤化工、精细化工、制药、钢铁、纺织印染、火力发电等工业生产中排放废水盐分浓度高，处理不当将造成严重的环境污染。采用分盐处理技术，不仅可以实现废水再生利用，而且可将盐分资源化回收，降低废水处理成本。为规范工业高盐废水分盐处理技术应用，保障系统稳定、高效运行，编制本标准。

工业高盐废水纳滤-反渗透分盐处理技术指南

1 范围

本标准规定了工业高盐废水纳滤-反渗透分盐处理的术语和定义、工艺选择原则、设计、前处理、纳滤分盐、反渗透浓缩和盐回收等要求。

本标准适用于石油化工、煤化工、精细化工、制药、钢铁、纺织印染、火力发电等采用纳滤-反渗透分盐技术的企业，可作为企业废水回用和盐回收的技术依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。凡是注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 7475 水质 铜、锌、铅、镉的测定 原子吸收分光光度法
- GB 7484 水质 氟化物的测定 离子选择电极法
- GB 11905 水质 钙和镁的测定 原子吸收分光光度法
- GB 13195 水质 水温的测定 温度计或颠倒温度计测定法
- GB/T 1576 工业锅炉水质
- GB/T 5462 工业盐
- GB/T 6009 工业无水硫酸钠
- GB/T 6908 锅炉用水和冷却水分析方法 电导率的测定
- GB/T 6920 水质 pH值的测定 玻璃电极法
- GB/T 7477 水质 钙和镁总量的测定 EDTA 滴定法
- GB/T 8704.6 钒铁 硅含量的测定 硫酸脱水重量法和硅钼蓝分光光度法
- GB/T 11901 水质 悬浮物的测定 重量法
- GB/T 11903 水质 色度的测定
- GB/T 11906 水质 锰的测定 高碘酸钾分光光度法
- GB/T 13200 水质 浊度的测定
- GB/T 19249 反渗透水处理设备
- GB/T 20103 膜分离技术 术语
- GB/T 23837 工业循环冷却水中铝离子的测定 原子吸收光谱法
- GB/T 30888 纺织废水膜法处理与回用技术规范
- GB/T 32327 工业废水处理与回用技术评价导则
- GB/T 50050 工业循环冷却水处理设计规范
- DL/T 588 水质 污染指数测定方法
- HJ 487 水质 氟化物的测定 茜素磺酸锆目视比色法

- HJ 488 水质 氟化物的测定 氟试剂分光光度法
- HJ 535 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法
- HJ 536 水质 氨氮的测定 水杨酸分光光度法
- HJ 537 水质 氨氮的测定 蒸馏-中和滴定法
- HJ 579 膜分离法污水处理工程技术规范
- HJ 586 水质 游离氯和总氯的测定 N,N-二乙基-1,4-苯二胺分光光度法
- HJ 694 水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法
- HJ 757 水质 铬的测定 火焰原子吸收分光光度法
- HJ 828 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法
- HJ/T 71 水质 总有机碳的测定 燃烧氧化-非分散红外吸收法
- HJ/T 195 水质 氨氮的测定 气相分子吸收光谱法
- HJ/T 270 环境保护产品技术要求 反渗透水处理装置
- HJ/T 315 水质 铁的测定 邻菲罗啉分光光度法

3 术语和定义

GB/T 32327、GB/T 20103、GB/T 19249、HJ/T 270、HJ 579 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 32327、GB/T 20103、GB/T 19249、HJ/T 270、HJ 579 中的某些术语和定义。

3.1

工业高盐废水 industrial high salinity wastewater

工业生产过程中排出，总含盐质量分数为 1% 及以上的高含盐废水和废液，包含随水流失的工业生产用料、中间产物、副产品以及生产过程中产生的污染物。本标准简称“高盐废水”。

3.2

纳滤 nanofiltration

以压力为驱动力，用于脱除多价离子、部分一价离子和分子量 200~1000 的有机物的膜分离过程。
[来源：GB/T 20103—2006，定义 4.2.3]

3.3

反渗透 reverse osmosis

在高于渗透压差的压力作用下，溶剂（如水）通过半透膜进入膜的低压侧，而溶液中的其他组分（如盐）被阻挡在膜的高压侧并随浓溶液排出，从而达到有效分离的过程。

[来源：GB/T 20103—2006，定义 4.2.2]

3.4

膜 membrane

表面有一定物理或化学特性的薄的屏障物，它使相邻两个流体相之间构成了不连续区间并影响流体中各组分的透过速度。

[来源：GB/T 20103—2006，定义 2.1.1]

3.5

膜元件 membrane element

由膜、膜支撑体、流道间隔体、带孔的中心管等构成的膜分离单元。

[来源：GB/T 20103—2006，定义 2.2.1]

3.6

膜组件 membrane module

由膜元件、壳体、内联接件、端板和密封圈等组成的实用器件。

注：膜组件的壳体里可含有一个或数个膜元件。

[来源：GB/T 20103—2006，定义 2.2.3]

3.7

一价盐 monovalent salts

主要成分为氯化钠的结晶盐，其中氯化钠含量不小于 92%。

3.8

二价盐 divalent salts

主要成分为硫酸钠的结晶盐，其中硫酸钠含量不小于 92%。

3.9

分盐 salt fractionation

对废水中的一价盐和二价盐进行分离的工艺过程。

3.10

废水纳滤-反渗透分盐处理系统 nanofiltration-reverse osmosis salt fractionation for industrial wastewater treatment

以回收废水中的盐分为目的，由前处理单元、纳滤-反渗透分盐单元、盐结晶单元等设备和设施组成的系统。

3.11

淤泥密度指数 silt density index (SDI)

由堵塞 0.45 μm 微孔滤膜的速率所计算得出的、表征水中细微悬浮固体物含量的指数。

[来源：GB/T 20103—2006，定义 2.3.21]

3.12

蒸发结晶器 evaporative crystallizer

通过蒸发溶剂，使得溶液中的溶质浓度增大，达到过饱和度，从而使盐析出的设备。

3.13

冷冻结晶器 freezing crystallizer

通过降低温度，使溶液产生过饱和析出晶体，实现溶液中不同组分分离的设备。

3.14

工业盐 industrial salt

达到工业盐标准的工业用盐。

3.15

浓水 concentrated water

高盐废水经纳滤、反渗透工艺处理产生的浓缩液（也称浓溶液或浓盐水）。

3.16

产水 product water

高盐废水经纳滤、反渗透工艺处理产生的透过液。

4 设计水质

4.1 各单元进水水质要求

4.1.1 工业高盐废水进入纳滤单元前应经过适宜的前处理。

4.1.2 纳滤单元进水的水质要求可参考表1。

4.1.3 由于纳滤单元产水品质较高，反渗透单元进水水质不作规定。

表1 纳滤单元进水水质指标要求

序号	项目	单位	进水限值	产水参考值
1	水温	°C	5~40	无要求
2	pH值	无量纲	6~9	6~9
3	悬浮物（SS）	mg/L	≤2	≤0.5
4	浊度	NTU	≤1	≤0.2
5	化学需氧量(COD _{Cr})	mg/L	≤100	≤20
6	氨氮	mg/L	≤5	≤1
7	色度	倍	≤80	≤10
8	总硬度（CaCO ₃ 计）	mg/L	≤200	≤25
9	余氯	mg/L	≤0.1	无要求
10	铁(III)	mg/L	≤0.05	≤0.01
11	铁(II)	mg/L	≤4	≤1
12	铝	mg/L	≤0.05	≤0.01
13	锰	mg/L	≤0.05	≤0.01
14	淤泥污染指数（SDI）	无量纲	≤5	无要求
15	其它重金属	mg/L	≤0.1	无要求
16	氟	mg/L	≤0.5	无要求
17	硅	mg/L	≤5.0	无要求

4.1.4 结晶器进水水质应根据一价/二价盐的品质要求进行规定，回收盐质量达不到要求时，可通过前处理工艺对影响一价/二价盐品质的杂质进行去除。必要时也可对结晶器进水进行电渗析、离子

交换和蒸发浓缩等补充处理，提高进水盐浓度，降低处理成本。

4.2 水质测定方法

4.2.1 应根据废水中污染物的种类，在各单元进水及各膜处理设施浓水出水位置处设置采样口。

4.2.2 对废水中污染物浓度的测定采用表2所列的方法标准。

表2 水中污染物浓度测定方法标准

序号	项目	方法标准名称	方法标准编号	
1	水温	水质水温的测定温度计或颠倒温度计测定法	GB 13195	
2	pH值	水质 pH值的测定 玻璃电极法	GB/T 6920	
3	悬浮物（SS）	水质 悬浮物的测定 重量法	GB/T 11901	
4	浊度	水质 浊度的测定	GB/T 13200	
5	化学需氧量（COD _{Cr} ）	水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法	HJ 828	
6	总有机碳（TOC）	水质 总有机碳的测定 燃烧氧化-非分散红外吸收法	HJ/T 71	
7	氨氮	水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法	HJ 535	
		水质 氨氮的测定 水杨酸分光光度法	HJ 536	
		水质 氨氮的测定 蒸馏-中和滴定法	HJ 537	
		水质 氨氮的测定 气相分子吸收光谱法	HJ/T 195	
8	色度	水质 色度的测定	GB/T 11903	
9	总硬度（CaCO ₃ 计）	水质 钙和镁总量的测定 EDTA滴定法	GB/T 7477	
10	钙	水质 钙和镁的测定 原子吸收分光光度法	GB 11905	
11	镁			
12	电导率	锅炉用水和冷却水分析方法 电导率的测定	GB/T 6908	
13	余氯	水质 游离氯和总氯的测定 N,N-二乙基-1,4-苯二胺分光光度法	HJ 586	
14	氟	水质 氟化物的测定 氟试剂分光光度法	HJ 488	
		水质 氟化物的测定 茜素磺酸锆目视比色法	HJ 487	
		水质 氟化物的测定 离子选择电极法	GB 7484	
15	硅	钼铁 硅含量的测定 硫酸脱水重量法和硅钼蓝分光光度法	GB/T 8704.6	
16	铁	水质 铁的测定 邻菲罗啉分光光度法	HJ/T 315	
17	铝	工业循环冷却水中铝离子的测定 原子吸收光谱法	GB/T 23837	
18	锰	水质 锰的测定 高碘酸钾分光光度法	GB/T 11906	
19	淤泥污染指数（SDI）	水质 污染指数测定方法	DL/T 588	
20	其它重金属	水质 铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 757	
21		水质 铜、锌、铅、镉的测定 原子吸收分光光度法	GB 7475	
22				镉
23				铅
24				铜
25	汞	水质 汞、砷、硒、铍和锑的测定 原子荧光法	HJ 694	

5 工艺设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 应依据水量、水质和膜组件进水要求等指标，选择合适的前处理技术。
- 5.1.2 应根据水量、产水要求、浓水要求和回收盐品质等指标，选择合适的膜组件。
- 5.1.3 应根据水量、分盐量及品质等指标，选择合适的盐结晶技术。
- 5.1.4 膜元件及设备选型应符合 HJ 579、GB/T 19249 和 HJ/T 270 的规定。
- 5.1.5 膜元件污染及化学清洗参见附录 B。

5.2 前处理系统设计

- 5.2.1 前处理应根据原水水质、膜组件的结构、产水要求及回收率、回收盐品质要求等综合确定。
- 5.2.2 为防止和减缓膜堵塞、膜破损以及结晶器结垢，应对进水中的悬浮固体、微溶盐、有机物、油脂和重金属等污染物进行前处理。
- 5.2.3 前处理过程需充分考虑分盐经济性，若高盐废水中盐浓度相对较低时，可先经反渗透浓缩处理后，产生的浓盐水再进入纳滤-反渗透系统进行分盐。
- 5.2.4 为防止前处理加酸、加氯造成管道及设备的腐蚀，在纳滤、反渗透系统的低压侧，应采用 UPVC、PPH、玻璃钢或 HDPE 管材及连接件，在高压侧应采用不锈钢管材及连接件。
- 5.2.5 为防止化学氧化损伤，可采用在进水中添加还原剂(如亚硫酸氢钠)去除余氯或其他氧化剂，控制余氯含量满足纳滤系统进水要求。
- 5.2.6 在前处理设计时，可先采用饱和指数法评估水体的结垢潜势。为防止碳酸盐结垢导致的膜损伤，可加酸或阻垢剂控制结垢；为防止硫酸盐结垢导致的膜损伤，可投加阻垢剂进行控制。
- 5.2.7 为防止微生物污染，可向系统进水中投加杀菌剂进行杀菌消毒处理。
- 5.2.8 常见工业高盐废水的前处理工艺可参考附录 A。
- 5.2.9 废水进入纳滤单元之前应达到表 1 的水质要求。

5.3 纳滤-反渗透系统设计

5.3.1 工艺设计参数包括：

- (1) 设计产水量， m^3/h ；
- (2) 单支膜元件产水量， m^3/h ；
- (3) 水回收率，%；
- (4) 脱盐率，%；
- (5) 进水水质；
- (6) 产水水质；
- (7) 回收盐品质。

5.3.2 工艺流程

- 5.3.2.1 工业高盐废水纳滤-反渗透分盐系统基本工艺流程：适用于进水一次通过纳滤和反渗透系统即可达到产水要求，纳滤、反渗透浓水分别进入结晶器进行二价盐、一价盐回收可达到分盐要求的情况，其基本工艺流程如图 1 所示。

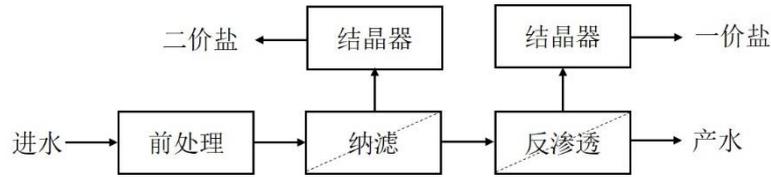
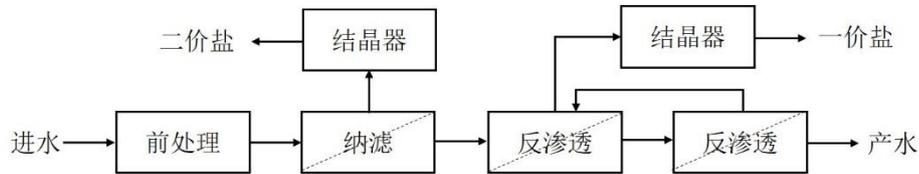


图1 纳滤-反渗透分盐系统基本工艺流程

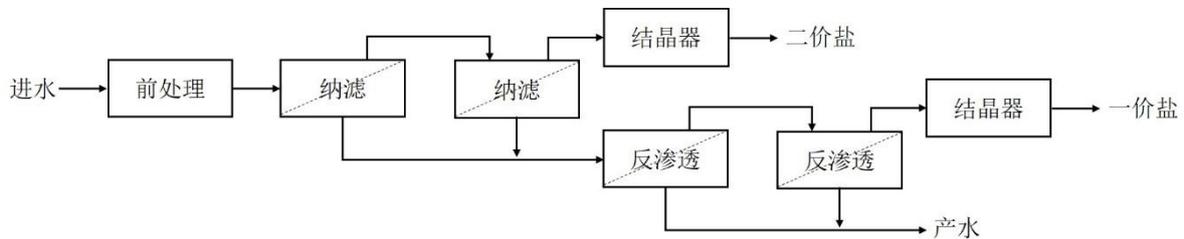
5.3.2.2 多级反渗透盐回收系统工艺流程：当单级系统分离的产水水质无法达到要求时，可采用多级反渗透工艺，即以上一级系统产水作为进水进入下一级反渗透系统继续分离，直至产水水质达标，工艺流程如图2所示。



注：多级（multipass）：上一膜组件的产水作为进水进入下一级膜组件进行再次分离的膜组件排列形式；若需提高水回收率，可在末级中采用多段反渗透工艺。

图2 多级反渗透分盐系统工艺流程

5.3.2.3 多段纳滤-多段反渗透分盐系统工艺流程：当一次纳滤分离的分盐品质或产水水质无法达到要求时，可采用多段纳滤-多段反渗透分盐工艺，即以上一段浓水作为进水进入下一段进行再次分离，工艺流程如图3所示。



注：多段（multistage）：上一膜组件所产浓水作为进水进入下一膜组件进行再次分离的膜组件排列形式，工程中可根据实际需求将后段所产浓水回流至前段进一步浓缩。

图3 多段纳滤-多段反渗透分盐工艺流程

5.3.2.4 多段纳滤-多级反渗透分盐系统工艺流程：当分盐品质和产水水质均需提升时，可采用多段纳滤-多级反渗透工艺，即通过多段纳滤提升二价盐分盐品质，同时采用多级反渗透进一步提升产水品质，工艺流程如图4所示。

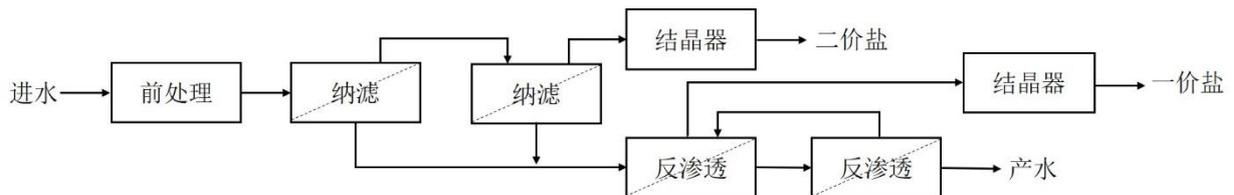


图4 多段纳滤-多级反渗透分盐系统工艺流程

5.3.2.5 多段多级纳滤-多级反渗透分盐系统工艺流程：当一价盐、二价盐品质和产水水质均需提升

时，可采用多段多级纳滤-多级反渗透集成工艺，通过多段多级纳滤提升一价盐和二价盐分盐品质，同时采用多级反渗透进一步提升产水品质，工艺流程如图 5 所示。

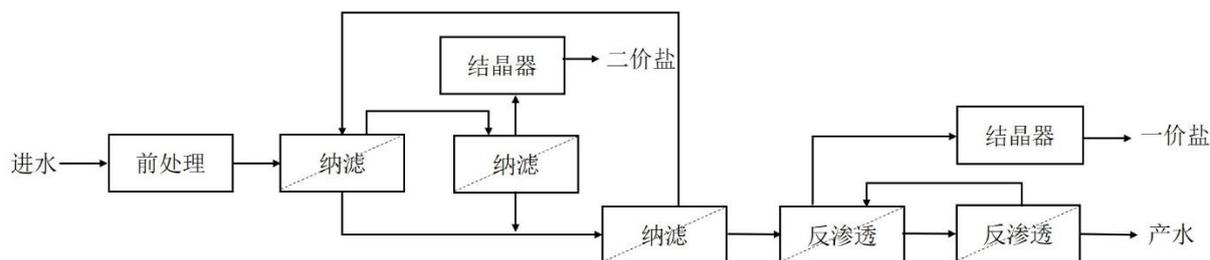


图5 多段多级纳滤-多级反渗透分盐系统工艺流程

5.3.3 基本设计计算

5.3.3.1 设计基本公式

(1) 流量平衡

在膜组件运行中，进、出组件的溶液流量是连续的，表达式为：

$$Q_f = Q_p + Q_r \dots\dots\dots(1)$$

式中：

Q_f ——进水流量，单位为立方米每小时（ m^3/h ）；

Q_p ——产水流量，单位为立方米每小时（ m^3/h ）；

Q_r ——浓水流量，单位为立方米每小时（ m^3/h ）。

(2) 物料平衡

在膜处理过程中，膜分离前、后的溶质质量守恒，表达式为：

$$Q_f C_f = Q_p C_p + Q_r C_r \dots\dots\dots(2)$$

式中：

C_f ——进水浓度，单位为毫克每升（ mg/L ）；

C_p ——产水浓度，单位为毫克每升（ mg/L ）；

C_r ——浓水浓度，单位为毫克每升（ mg/L ）。

(3) 水回收率 Y 按照公式(3)计算。

$$Y = \frac{Q_p}{Q_r} \times 100\% = \frac{Q_p}{Q_p + Q_r} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

(4) 浓缩倍数 CF 按照公式(4)计算。

$$CF = \frac{Q_f}{Q_r} = \frac{100}{100 - Y} \dots\dots\dots(4)$$

(5) 脱盐率 R 按照公式(5)计算。

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

5.3.3.2 单支膜元件产水量温度校正

在设计温度与标称产水量对应温度不同时，需要对单支膜元件产水量（ Q_p (m³/h)）进行校正。一般采用生产厂家的提供相关资料进行校正，在无相应参考资料时，可以按照公式(6)进行近似校正。

$$Q_p = Q_{p,25} \times (1 + 0.0215)^{T-25} \dots\dots\dots(6)$$

式中：

- Q_p ——相对温度 T 下的产水量；
- $Q_{p,25}$ ——基准温度25°C下的产水量。

5.3.3.3 膜元件数量按公式(7)计算。

$$N_e = \frac{Q_p}{q_{\max} \times 0.8} \dots\dots\dots(7)$$

式中：

- Q_p ——设计产水量，单位为立方米每小时（m³/h）；
- q_{\max} ——膜元件最大产水量，单位为立方米每小时（m³/h）；
- 0.8——设计安全系数。

5.3.3.4 压力容器（膜壳）数量按式(8)计算。

$$N_v = \frac{N_e}{n} \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- N_v ——压力容器数；
- N_e ——设计元件数；
- n ——每个容器中的元件数。

5.3.4 管道

5.3.4.1 产水支管和干管的流速宜小于 1.0 m/s。

5.3.4.2 各段产水可直接输入产水箱。如各段产水管并联到一根总管时，则须在每段产水支管上安装防回流措施（如止回阀等）。

5.3.5 自动控制系统和仪表

5.3.5.1 自控系统的监控项目宜包括：

- (1) 温度，°C
- (2) 产水流量，m³/h；
- (3) 进水压力，MPa；
- (4) 进水电导率，μS/cm；
- (5) 进水 pH；
- (6) 余氯，mg/L；
- (7) 氧化还原电位（ORP），mV；
- (8) 液位，m；
- (9) 产水流量，m³/h；
- (10) 产水电导率，μS/cm；
- (11) 总溶解固体（TDS），mg/L；
- (12) 浓水流量，m³/h；
- (13) 浓水压力，MPa。

5.3.5.2 进水管应设置余氯或 ORP 监测器，并与还原剂加药装置联动运行。

5.3.5.3 高压泵进水口应设置低压保护开关，高压泵出水口应设置高压保护开关。

5.3.5.4 当加酸调节进水 pH 值时，应设置 pH 上、下限值切断开关；如进水设有升温措施，则应设置高温切断开关。

5.4 结晶器设计选型

5.4.1 结晶器选型

(1) 结晶器选型：根据浓水水量和回收盐的品质等要求，选择适当的结晶器类型；
(2) 操作温度：根据盐的溶解度及超溶解度曲线，选择合适的操作温度；
(3) 停留时间：根据对回收盐品质的要求与晶体成核生长动力学数据，确定晶体在结晶器内的停留时间；

(4) 有效尺寸：以停留时间和晶体生长速率为基础，确定结晶器有效尺寸。

5.4.2 自动控制系统和仪表

自控系统的监控项目应包括：

- (1) 压力，MPa；
- (2) 进水电导率， $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；
- (3) 进水流量， m^3/h ；
- (4) 各器件温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
- (5) 结晶器内液温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
- (6) 冷凝水流量， m^3/h ；
- (7) 回收盐量，kg。

6 盐回收和水回用要求

6.1 盐回收要求

6.1.1 反渗透膜浓水最终经结晶器结晶后，作为工业盐使用的，一价盐产品的理化指标应符合 GB/T 5462 的规定。

6.1.2 纳滤膜浓水最终经结晶器结晶后，作为工业盐使用的，二价盐产品的理化指标应符合 GB/T 6009 的规定。

6.2 盐的指标测定

6.2.1 对一价盐的各理化指标测定采用 GB/T 5462 中的方法与标准。

6.2.2 对二价盐的各理化指标测定采用 GB/T 6009 中的方法与标准。

6.3 水回用要求

6.3.1 反渗透膜产水用作冷却用水（包括直流冷却水和敞开式循环冷却水系统补充水）时，应达到《工业循环冷却水处理设计规范》（GB/T 50050）的要求。

6.3.2 反渗透膜出水用作低压锅炉补给水时，水质应达到《工业锅炉水质》（GB/T 1576）的要求。

6.3.3 反渗透膜产水用作工艺与产品用水时，应根据不同生产工艺的具体情况，通过试验验证以确保水质达到相关工艺的供水水质指标要求。必要时，也可对产水进行电渗析、离子交换等补充处理。

6.3.4 反渗透膜出水用作其他用途时，应达到相关供水水质指标要求。

7 运行与维护

7.1 膜系统运行与维护

7.1.1 膜处理系统的启动

- (1) 检查阀门、管路、设备及仪表能否正常运转；
- (2) 排尽膜组件中的空气；
- (3) 进水水质应符合膜元件的进水要求；
- (4) 按照操作规程要求，缓慢开启进水阀门，缓慢升高膜组件进水压力。

7.1.2 膜处理系统的调试

- (1) 膜处理系统按照各器件使用说明进行试运行，调试水泵等流体设备及压力计、温度计等计量设备，记录膜处理系统产水量、压力等运行数据；
- (2) 形成膜分离系统调试记录、72 小时连续运行记录和 24 小时满负荷运行记录；
- (3) 形成产水水质测试报告。

7.1.3 膜处理系统的运行与维护

- (1) 稳定运行后，及时记录运行参数；
- (2) 定期查看膜系统运行情况；
- (3) 定期记录膜处理系统的压力、温度、产水量、进出水电导率、TDS 等运行指标；
- (4) 定期检测产水水质；
- (5) 定期校验电导率仪、压力计、流量计等仪表，确保膜系统安全运行；
- (6) 定期进行膜组件清洗；
- (7) 定期进行检查维修，并做好记录；
- (8) 当运行压力、产水和电导率等发生异常时，按照操作规程及时处理。

7.1.4 膜处理系统的停运

- (1) 停止运行时，先停止出水再停止进水；
- (2) 按照操作规程要求，缓慢关闭进水阀门，缓慢降低膜组件的进水压力；
- (3) 停止运行后，用符合要求的前处理水或产水冲洗整个膜组件；
- (4) 停止运行期间，膜组件和管道内的水不能流失；
- (5) 停止运行期间膜元件的保存方法可见附录 B. 2；
- (6) 停止运行期间膜装置厂房的室温宜为 5~40℃。

7.2 结晶系统运行与维护

7.2.1 蒸发结晶系统的运行

7.2.1.1 蒸发结晶系统的启动

- (1) 严格按照蒸发结晶器启动操作流程，进行启动前准备；
- (2) 检查加热室、泵组、仪表、蒸汽与冷凝管路、加料管路等是否完好；
- (3) 按照启动流程依次开启进料阀、蒸汽阀等，查看液位情况。

7.2.1.2 蒸发结晶系统的调试

- (1) 蒸发系统按照使用说明进行试运行，调试蒸发结晶器、加热设备、冷凝器、泵、排水系统、电器仪表控制等运行数据；
- (2) 形成蒸发结晶系统调试记录，包括 72 小时连续运行记录和 24 小时满负荷运行记录；

(3) 形成回收盐产品质量报告。

7.2.1.3 蒸发结晶系统的运行与维护

- (1) 运行过程中，需保持操作条件的稳定；
- (2) 定期查看结晶器运行情况；
- (3) 定期记录蒸发结晶系统的液位、温度、压力、流量等运行指标；
- (4) 定期观察各加料泵、过料泵、强制循环泵的运行工况；
- (5) 定期检测盐产品质量；
- (6) 定期校验温度计、压力表、真空表等仪表，确保蒸发器安全运行；
- (7) 定期清除蒸发器内的结垢；
- (8) 定期进行检查维修，并做好记录。

7.2.1.4 蒸发结晶系统的停运

- (1) 出现运行异常，尽快切断蒸汽；
- (2) 在安全前提下，停止进料；
- (3) 处理料液，进行维修。

7.2.2 冷冻结晶系统的运行

7.2.2.1 冷冻结晶系统的启动

- (1) 严格按照冷冻结晶器启动操作流程，进行启动前准备；
- (2) 检查冷冻结晶系统的管道、阀门和搅拌装置是否完好；
- (3) 检查仪表、电器设备、传动装置等是否正常；
- (4) 打开进料泵进出口阀门，开启进料泵进料，液位控制在回流管回液为止；
- (5) 进完料后开启搅拌，再开启物料循环泵；
- (6) 打开冷媒阀门进行降温结晶，控制降温速度。

7.2.2.2 冷冻结晶系统的调试

(1) 冷冻结晶系统按照使用说明进行试运行，调试冷冻结晶器、冷却设备、泵、电器仪表控制等运行数据；

- (2) 形成冷冻结晶系统调试记录，包括 72 小时连续运行记录和 24 小时满负荷运行记录；
- (3) 形成回收盐产品质量报告。

7.2.2.3 冷冻结晶系统的运行

- (1) 运行过程中，需保持操作条件的稳定；
- (2) 定期检查结晶器运行情况；
- (3) 定期记录冷却结晶系统的液位、温度、流量等运行指标；
- (4) 定期观察各进料泵、循环泵的运行工况；
- (5) 定期检测盐产品质量；
- (6) 定期校验设备管道保温设施，确保冷量利用率；
- (7) 定期进行检查维修，并做好记录。

7.2.2.4 冷冻结晶系统的停运

- (1) 关闭循环泵和搅拌装置；
- (2) 关闭阀门和电源；
- (3) 长期停用时，要排尽系统内的积水，防止管道或设备冻裂。

附录 A

(资料性)

工业高盐废水前处理工艺

A.1 各类工业高盐废水在进入纳滤-反渗透工艺之前，需要进行二级或者三级处理。一般采用物化处理、生化处理和三级处理（如需要）相结合的处理工艺，使处理水质满足纳滤进水要求。

A.1.1 石油工业废水处理工艺可参考 HJ 2045-2014 石油炼制工业废水治理工程技术规范及 GB 50747-2012 石油化工污水处理设计规范。

A.1.2 煤化工废水处理工艺可参考 HJ 2022-2012 焦化废水治理工程技术规范。

A.1.3 发酵类制药工业废水处理工艺流程可参考 HJ 2044-2014 发酵类制药工业废水治理工程技术规范。

A.1.4 烧碱、聚氯乙烯工业废水处理工艺可参考 HJ 2051-2016 烧碱、聚氯乙烯工业废水处理工程技术规范。

A.1.5 钢铁工业废水处理工艺可参考 HJ 2019-2012 钢铁工业废水治理及回用工程技术规范。

A.1.6 纺织印染工业废水处理工艺可参考 HJ 471-2020 纺织染整工业废水治理工程技术规范

A.1.7 火力发电废水处理工艺可参考 DL/T 5046-2018 发电厂废水治理设计规范。

A.2 在上述处理工艺中，二级生化处理如果与膜分离相结合，可以采用膜生物反应器工艺，根据具体水质情况可以省去三级处理工艺，有关膜生物反应器工艺可以参照 GB/T 33898-2017、T/CECS 152-2017 和 DG/TJ08-2190-2015。

附录 B

(资料性)

膜元件污染与化学清洗

B.1 纳滤、反渗透系统污染与清洗

B.1.1 膜运行出现下列情形之一时，应进行化学清洗：

- a) 产水量下降 10%；
- b) 压力降增加 15%；
- c) 透盐率增加 5%。

B.1.2 化学清洗剂的选择应根据污染物类型、污染程度和膜的物化性质等来确定。常用的化学清洗剂有：氢氧化钠、盐酸、柠檬酸、Na-EDTA、表面活性剂、酶制剂等。

B.1.3 化学清洗液的温度：在 pH=2~10 的范围内，最高温度不超过 45℃，其他情况下最高温度不超过 35℃。

B.1.4 复合清洗时，应采用先碱洗再酸洗的方法。常用的碱洗液为 0.1%（质量分数）NaOH（氢氧化钠）水溶液；常用的酸洗液为 0.2%（质量分数）HCl 盐酸或 1%~2%（质量分数）柠檬酸溶液。

B.2 膜元件的保存方法

B.2.1 短期存放（5 天~30 天）操作：

- a) 清洗膜元件，排除内部气体；
- b) 用 1%亚硫酸氢钠保护液冲洗膜元件，浓水出口处保护液浓度达标；
- c) 全部充满保护液后，关闭所有阀门，使保护液留在压力容器内；
- d) 每 5 天重复 b)、c) 步骤。

B.2.2 长期存放操作：存放温度 27℃以下时，每月重复 b)、c) 步骤一次；存放温度 27℃以上时，每 5 天重复 b)、c) 步骤一次。

B.2.3 恢复使用时，应先用低流量进水冲洗 1 小时，再用大流量进水（浓水管调节阀全开）冲洗 10 分钟。