

T/CCLA

团 体 标 准

T/CCLA XXXX—2025

海水淡化系统节能降耗与近零排放技术规范

Technical specification for energy saving and consumption reduction and near zero
discharge of seawater desalination system

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

中国化工流通协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 1

 4.1 系统设计原则 1

 4.2 分级能效指标 1

5 节能降耗技术要求 2

 5.1 能量回收系统 2

 5.2 膜系统优化 2

 5.3 新能源耦合 2

6 近零排放技术要求 3

 6.1 浓盐水减量化 3

 6.2 结晶盐资源化 3

 6.3 排放控制 4

前 言

本文件按照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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由中国化工流通协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

海水淡化系统节能降耗与近零排放技术规范

1 范围

本文件规定了海水淡化系统在节能降耗与近零排放方面的基本要求、技术要求。
本文件适用于采用反渗透（RO）、多效蒸馏（MED）、双膜耦合（UF-RO）等技术的海水淡化系统。

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。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 16889 生活垃圾填埋场污染控制标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

近零排放 near zero emission

海水淡化系统产生的浓盐水、污染物等通过资源化利用或无害化处理，实现污染物排放量趋近于零，且碳排放强度显著降低。

3.2

双膜耦合 double membrane coupling

以超滤膜（UF）为预处理、反渗透膜（RO）为核心的联用技术，通过膜材料优化和系统集成实现高效脱盐与节能。

3.3

能量回收装置 energy recovery device

将反渗透系统排放浓水的压差能转化为机械能或电能的设备，提升系统能源利用效率。

4 基本要求

4.1 系统设计原则

设计原则应符合下列要求：

- 选用高效卷式 RO 膜或海水淡化专用碟管式膜；
- 能量回收装置必须与高压泵联动控制；
- 浓盐水排放口应设置在线盐度监测仪。

4.2 分级能效指标

海水淡化系统能耗分级限额应符合表1的规定。

表 1 海水淡化系统能耗分级限额

淡化工艺	能效等级	吨水电耗(kWh/m³)	水回收率(%)
膜法	一级	≤2.8	≥50
	二级	≤3.2	≥45
	三级	≤3.6	≥40
热法	一级	≤1.5	≥35

淡化工艺	能效等级	吨水电耗(kWh/m³)	水回收率(%)
	二级	≤1.8	≥30

5 节能降耗技术要求

5.1 能量回收系统

- 5.1.1 高压泵应配备变频控制器，效率不应小于 92%，并与能量回收装置(ERD)形成压力联动，响应时间不应大于 100 ms。
- 5.1.2 选用等压式能量回收装置时，工作压力范围应为 5.0~6.5 MPa，压损率不应大于 3%；选用离心式能量回收装置时，单机处理流量不应小于 100 m³/h，能量回收效率不应低于 95%。
- 5.1.3 系统设计应满足：吨水电耗不应超过 3.2 kWh/m³ (二级能效)，示范项目不应超过 2.8 kWh/m³ (一级能效)。
- 5.1.4 能量回收系统应设置独立的性能监测模块，实时采集进出口压力、流量、能耗数据，并具备与中控系统的数据交互功能，数据存储周期不应小于 1 年。
- 5.1.5 每 6 个月对 ERD 密封件进行检查更换，每年进行解体清洗，关键部件磨损量不应大于 0.1 mm。

5.2 膜系统优化

5.2.1 膜材料选型

- 5.2.1.1 应选用耐污染型复合反渗透膜，脱盐率不应小于 99.8%。在 pH 2~11 范围内保持稳定运行。
- 5.2.1.2 碟管式膜组件应采用陶瓷或钛合金材质，耐受温度不应小于 45 ℃，机械强度不应小于 30 MPa。

5.2.2 预处理系统优化

- 5.2.2.1 超滤(UF)预处理膜通量应控制在 20~30 L/(m²·h)，产水 SDI₁₅≤3，浊度≤0.1 NTU。
- 5.2.2.2 保安过滤器滤芯精度应为 5 μm，过滤面积≥1.5 m²/支，更换周期不应超过 3 个月。

5.2.3 采二级 RO 浓缩工艺

- 5.2.3.1 一级 RO 回收率控制在 45%~50%，操作压力不应大于 6.0 MPa
- 5.2.3.2 二级 RO 进水含盐量不应大于 80000 mg/L，回收率不应小于 85%，浓水侧应设置减压装置，避免膜组件超压运行。
- 5.2.3.3 两级 RO 系统总回收率：膜法一级能效系统不应小于 55%，二级能效系统不应小于 50%。

5.2.4 膜清洗与维护

- 5.2.4.1 应配备全自动 CIP 清洗系统，清洗剂应包括柠檬酸（1.0%~2.0%）、EDTA（0.5%~1.0%）及专用阻垢剂，清洗周期：常规系统 3~6 个月/次，高污染系统 1~2 个月/次。
- 5.2.4.2 膜元件累计运行时间达到 3 年或脱盐率下降至初始值的 90%时，应进行更换。

5.3 新能源耦合

5.3.1 风光互补系统

- 5.3.1.1 风/光供电比例在 30%及以上时，制水成本不应超过 5.6 元/吨；光伏阵列转换效率不应小于 18%，风机切入风速不应大于 3.5 m/s，额定风速 12~15 m/s。
- 5.3.1.2 配套储能系统容量应满足系统最大负荷 2 小时以上供电需求，且蓄电池循环寿命不应小于 3000 次，充放电效率不应小于 85%。

5.3.2 余热利用型 MED 装置

- 5.3.2.1 造水比不应小于 8，蒸汽消耗不应大于 1.2 t 蒸汽/m³ 淡水。
- 5.3.2.2 余热回收换热器传热系数不应小于 2000 W/(m²·℃)，热损失率不应大于 5%。

5.3.3 智能能源管理

- 5.3.3.1 系统应配置能源管理系统(EMS)，具备负荷预测、动态调峰功能。

5.3.3.2 新能源供电波动超过±10%额定功率时，EMS 应自动切换至备用电源。

5.3.4 碳排放控制

5.3.4.1 新能源耦合系统的碳排放强度应较传统电网供电降低超过 30%及以上；其中光伏直供比例超过 50%的项目，碳排放强度不应大于 0.3 tCO₂/m³淡水；

5.3.4.2 应定期开展碳足迹核算，核算周期不应大于 1 年，并保留核算报告至少 3 年。

6 近零排放技术要求

6.1 浓盐水减量化

6.1.1 减量化工艺要求

浓盐水减量化应采用“预处理+深度浓缩”组合工艺：

- a) 预处理阶段：宜采用纳滤（NF）膜去除 Ca²⁺、Mg²⁺等二价离子，硬度去除率不应低于 90%，防止后续系统结垢；
- b) 深度浓缩阶段：优先选用三级反渗透（RO）或正渗透（FO）技术，系统总减量化率（体积减少比例）不应低于 75%。

6.1.2 三级 RO 浓缩技术参数

三级RO系统设计应满足：

- a) 进水含盐量不应大于 150000 mg/L，操作压力范围 6.0~7.5 MPa，膜元件应选用抗污染型海水淡化专用膜；
- b) 单级回收率控制在 30%~40%，系统总回收率不应小于 65%；
- c) 浓水侧应设置在线阻垢剂投加装置，投加量按浓水流量 1~3 mg/L 控制。

6.1.3 蒸发浓缩技术要求

采用机械蒸汽再压缩（MVR）蒸发时：

- a) 蒸发温度不应大于 70 ℃，避免热敏性物质分解；
- b) 蒸汽消耗不应大于 0.25 t/t 浓盐水，电能消耗不应大于 150 kWh/t 浓盐水；
- c) 浓缩液固含量（质量分数）不应低于 25%，为后续结晶工序提供进料。

6.2 结晶盐资源化

6.2.1 结晶工艺选择

结晶盐生产应优先采用多效蒸发结晶或MVR结晶技术，结晶器应配备自动清垢系统，连续运行周期不应小于30天。

6.2.2 结晶盐质量指标

结晶盐产品质量应符合表2的规定。

表 2 结晶盐产品质量

指标	优级品	合格品
氯化钠纯度（干基）	≥99.5%	≥99.0%
水不溶物	≤0.05%	≤0.1%
重金属（Pb、Cd、Hg）总和	≤0.001%	≤0.002%
白度	≥85度	≥80度

6.2.3 资源化利用

- 6.2.3.1 高纯度盐（≥99.5%）：应作为氯碱工业原料，进入离子膜电解工序，替代外购工业盐；
- 6.2.3.2 中纯度盐（99.0%~99.5%）：可用于道路融雪剂、水泥助磨剂或印染行业；
- 6.2.3.3 资源化利用率：结晶盐综合利用率不应低于 95%，禁止直接填埋处置。

6.3 排放控制

6.3.1 出水水质

经处理后排放的淡化水应符合表3的规定。

表 3 水质要求

指标	限值
盐度	≤1000 mg/L
pH值	6.5~8.5
化学需氧量（COD _{Cr} ）	≤30 mg/L
氨氮	≤1.0 mg/L
总磷	≤0.2 mg/L
重金属（Pb、Cr ⁶⁺ 、As）	均≤0.01 mg/L

6.3.2 残液与固废控制

6.3.2.1 蒸馏残液应采用固化处理，固化体浸出液污染物浓度需符合 GB 16889 的表 1 限值。

6.3.2.2 膜系统更换产生的废弃膜元件，应交由有资质单位进行资源化回收，回收率不应低于 80%。

6.3.3 监测

排放口应设置“盐度-流量-pH”三位一体在线监测系统，数据采集频率≥1次/5分钟，实时上传至地方生态环境部门监管平台。

6.3.4 排放评估

建立季度排放评估机制，年度污染物排放量（以盐负荷计）不应超过0.5 t/万m³淡化水，碳排放强度较常规系统降低40%以上。

6.3.5 应急防控

系统应设置应急缓冲池（容积≥24小时最大排放量），当监测数据超标时，自动切换至缓冲池暂存，待人工处理达标后排放。