

T/CCLA

团 体 标 准

T/CCLA XXXX—2025

海水淡化智能运维与浓盐水资源化利用评价指南

Evaluation guide for intelligent operation and maintenance of seawater desalination
and resource utilization of concentrated brine

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 总体要求	1
4.1 基本原则	1
4.2 基础条件	1
5 智能运维评价体系	1
5.1 设备状态智能监测	2
5.2 故障预测与诊断	2
5.3 能效优化控制	2
5.4 数字孪生应用	3
5.5 运维决策支持系统	3
6 浓盐水资源化利用评价体系	3
6.1 资源化路径	3
6.2 环境影响评估	4
6.3 经济可行性	4
6.4 技术成熟度	4
6.5 政策合规性	4
7 评价方法与等级划分	4
7.1 评价方法	4
7.2 等级划分标准	4
7.3 特殊情形处理	5
7.4 评价报告要求	5

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：

海水淡化智能运维与浓盐水资源化利用评价指南

1 范围

本文件规定了海水淡化系统智能运维与浓盐水资源化利用的评价指标体系、评价方法。

本文件适用于沿海地区及海岛海水淡化工程的智能运维管理与浓盐水资源化利用项目的规划、设计、运行及评估。

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/T 5462 工业盐

GB 8978 污水综合排放标准

GB/T 22900 科学技术研究项目评价通则

GB/T 32359 海水淡化反渗透膜装置测试评价方法

GB/T 43950 工业浓盐水回用技术导则

HJ/T 373 固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范（试行）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海水淡化智能运维 intelligent operation and maintenance of seawater desalination

通过物联网、大数据、人工智能等技术，实现海水淡化系统运行状态实时监测、故障预警、能效优化及全生命周期管理的运维模式。

3.2

浓盐水资源化利用 resource utilization of concentrated brine

对海水淡化过程中产生的高盐废水进行处理，回收盐类、矿物质等资源或转化为工业原料、养殖用水等的过程。

4 总体要求

4.1 基本原则

4.1.1 系统性：评价应覆盖智能运维与浓盐水资源化利用的全流程，包括技术、经济、环境及管理维度。

4.1.2 科学性：指标选取应基于行业实践数据，优先采用国家标准或权威机构发布的阈值。

4.1.3 动态性：评价体系应根据技术发展定期更新，鼓励可再生能源耦合、量子传感等新技术的应用。

4.2 基础条件

4.2.1 海水淡化项目应具备完整的工艺数据采集系统，数据存储时间不应小于3年。

4.2.2 浓盐水资源化利用设施应符合GB/T 43950中关于预处理、分盐及产物质量的要求。

5 智能运维评价体系

5.1 设备状态智能监测

5.1.1 监测系统配置要求

5.1.1.1 传感器选型：产水 TDS、ORP、温度等关键工艺参数监测应采用精度等级不低于 0.5 级的传感器，振动监测宜采用压电式加速度传感器。

5.1.1.2 数据采集频率：膜组件跨膜压差（TMP）、高压泵出口压力应实现连续监测，能耗数据宜按小时累计存储。

5.1.1.3 冗余设计：对反渗透装置、能量回收系统等核心设备，应配置双冗余传感器，单点故障时系统应能自动切换至备用传感器。

5.1.2 监测覆盖范围与指标

监测覆盖范围与指标应符合表1的规定。

表 1 监测覆盖范围与指标

评价指标	强制性要求	推荐性要求	数据来源
关键设备监测覆盖率	≥95%（含膜堆、高压泵、阀门组）	100%覆盖辅助系统	设备台账、系统拓扑图
数据传输准确率	≥99.9%（无丢包或误码）	支持5G/工业以太网双链路传输	通信日志、数据包校验记录
异常数据识别率	≥90%（如超量程、跳变值）	具备数据自愈功能	数据质控系统报告
环境参数监测	应监测进水浊度（≤1NTU）、水温	（≤0.1mg/m ³ ）	在线监测仪表实时数据

5.2 故障预测与诊断

5.2.1 预测能力要求

5.2.1.1 预测周期：应支持短期预测（≤24 小时）和中长期预测（1~30 天），短期预测精度不应小于 90%，中长期预测精度不应小于 80%。

5.2.1.2 寿命预测：反渗透膜元件剩余寿命预测误差不应大于±15%，高压泵轴承寿命预测应基于 L10 寿命理论模型，误差不应大于±2000 小时。

5.2.1.3 预警分级：应划分三级预警（I 级：轻微异常，II 级：功能退化，III 级：紧急故障），I 级预警响应时间≤2 小时，III 级预警应立即触发声光报警并推送至运维终端。

5.2.2 诊断技术要求

5.2.2.1 诊断方法：应采用多算法融合诊断，单一故障类型的诊断准确率不应小于 90%，复合型故障（如膜污染+阀门内漏）诊断准确率不应小于 85%。

5.2.2.2 故障定位精度：应能定位至具体部件，定位误差范围不得超过 1 个设备单元。

5.2.2.3 案例库建设：应建立故障案例库，覆盖至少 50 种典型故障模式（如浓差极化、膜降解、电机匝间短路），每年更新案例数量不应大于 5%。

5.3 能效优化控制

5.3.1 能耗管控指标

5.3.1.1 单位产品能耗

5.3.1.1.1 反渗透系统不应大于 3.5 kWh/m³（苦咸水水源）或不应大于 4.0 kWh/m³（海水水源）；

5.3.1.1.2 低温多效蒸馏（MED）系统不应大于 18 kWh/m³（含蒸汽折算能耗）；

5.3.1.1.3 能效优化算法投用后，能耗较优化前不应降低于 5%。

5.3.2 工艺参数优化

5.3.2.1 运行压力控制：反渗透系统应根据进水盐度实现动态调压，压力波动范围不应大于±0.05 MPa。

5.3.2.2 药剂投加优化：应通过 PID 自适应控制等智能算法调节阻垢剂、还原剂投加量，药剂单耗较手动控制宜降低超过 20%，且残余药剂浓度应符合 GB/T 32359 的要求。

5.3.2.3 清洗周期优化：应基于膜污染趋势预测自动生成清洗计划，化学清洗周期宜较固定周期延长 ≥30%，且清洗后膜通量恢复率不应小于 95%。

5.3.3 可再生能源协同

5.3.3.1 配置光伏/风电等可再生能源时，智能控制系统应具备功率平滑调节功能，可再生能源接入波动不应大于±10%额定功率时系统应能稳定运行。

5.3.3.2 应配套锂电池储能等储能系统，储能容量应满足至少 2 小时尖峰负荷调节需求。

5.4 数字孪生应用

5.4.1 模型构建要求

5.4.1.1 几何建模精度：膜组件、蒸发器等核心设备的三维模型几何误差不应大于±2 mm，流道、接口等关键部位应 1:1 还原。

5.4.1.2 物理场耦合：应包含至少 3 种物理场模拟（如流体动力学、传热、传质），浓盐水浓度分布模拟误差不应小于±3%，温度场模拟误差不应小于±1℃。

5.4.1.3 多尺度建模：应支持从“分子级（膜孔尺度）-设备级-系统级”的多尺度联动模拟，系统级模拟时间步长不应超过 1 分钟。

5.4.2 功能与性能要求

功能与性能要求应符合表2的规定。

表 2 功能与性能

功能模块	基本要求
实时映射	物理设备与虚拟模型数据同步延迟≤5秒
工况模拟	支持至少5种设计工况模拟
虚拟调试	应支持控制逻辑虚拟验证
模型校准	每季度进行一次模型校准，关键参数偏差>5%时应立即校准

5.5 运维决策支持系统

5.5.1 系统功能要求

5.5.1.1 应支持智能派单（基于运维人员位置、技能匹配度），工单响应率不应小于 95%，完成及时率不应小于 90%。

5.5.1.2 应具备智能库存预警功能，膜元件、高压泵密封件等关键备件安全库存应满足至少 30 天用量，备件周转率不应小于 8 次/年。

5.5.2 决策优化指标

5.5.2.1 调度优化：多任务并行调度时，资源冲突解决率不应小于 95%，运维成本较传统人工调度应降低 15%及以上。

5.5.2.2 方案生成：应能针对膜污染、能耗异常等典型场景自动生成 3 套以上优化方案，并给出量化对比（如能耗降幅、成本差异）。

5.5.2.3 人员效能：运维人员人均管理设备数量不应小于 50 台（套），膜更换等关键操作的标准化作业执行率不应小于 98%。

5.5.3 人机协作要求

5.5.3.1 权限管理：应采用三级权限控制（操作员、工程师、管理员），关键操作（如系统启停、参数修改）应支持双人授权模式。

5.5.3.2 培训支持：宜内置虚拟培训模块，模拟至少 20 种运维场景（如膜元件更换、化学清洗），新员工培训考核通过率不应小于 90%。

6 浓盐水资源化利用评价体系

6.1 资源化路径

6.1.1 提锂提溴技术成熟度评分不应小于 8.0/10（基于反渗透工艺数据），锂回收率不应小于 80%，

溴回收率不应小于 75%。

6.1.2 盐化工原料提取纯度应符合 GB/T 5462 的规定，氯化钠含量不应小于 96%，钙镁离子含量不应大于 0.3%。

6.1.3 生态补水路径应满足 HJ/T 373 的规定，盐度波动幅度不应超过自然潮汐变化范围的 10%。

6.2 环境影响评估

6.2.1 排放口周边海域盐度波动幅度应控制在自然潮汐变化范围内，生态影响指数不应大于 0.41。

6.2.2 铅、汞等重金属排放浓度不应大于 GB 8978 中表 1 一级标准，有机物排放浓度不应大于 5 mg/L。

6.2.3 环境影响评估报告应包含生态风险评估、碳足迹核算、生物多样性影响等内容，报告编制周期不应大于 3 个月。

6.3 经济可行性

6.3.1 万吨级项目投资回收期不应超过 5 年，单位成本曲线显示产能超 8 万吨/日后边际成本显著下降。

6.3.2 浓盐水资源化利用项目应开展全生命周期成本分析，包括建设成本、运营成本、维护成本、环境成本等。

6.3.3 经济可行性评估应考虑市场价格波动、政策补贴、税收优惠等因素，评估结果应量化呈现。

6.4 技术成熟度

6.4.1 膜分离、蒸发结晶、离子交换等关键技术应经过中试验证，技术成熟度等级不应低于 TRL 7。

6.4.2 技术成熟度评估应包括技术可行性、可靠性、可维护性、可扩展性等指标，评估方法应符合 GB/T 22900 要求。

6.4.3 创新技术应提供专利证书、第三方检测报告等证明材料，技术推广应用前景应进行市场调研分析。

6.5 政策合规性

6.5.1 项目应取得环境影响评价、排污许可、安全生产许可等审批手续，审批文件齐全有效。

6.5.2 政策合规性评估应包括政策符合性分析、风险评估、应对措施等内容，评估结果应形成书面报告。

7 评价方法与等级划分

7.1 评价方法

7.1.1 指标权重分配

采用层次分析法（AHP）确定各层级指标权重，智能运维评价体系权重占 40%，浓盐水资源化利用评价体系权重占 60%。二级指标权重通过专家打分法确定，如设备状态智能监测权重占智能运维的 25%，故障预测与诊断占 20%，能效优化控制占 20%，数字孪生应用占 15%，运维决策支持系统占 20%。

7.1.2 评分计算规则

采用百分制量化评分，每个二级指标设定基础分值（如 10 分），根据实际达标情况按比例扣分或加分。可按下列记分：

- a) 设备状态监测覆盖率 95%及以上得满分，每降低 1%扣 0.5 分；
- b) 故障预测准确率 85%及以上得满分，每降低 1%扣 0.2 分；
- c) 浓盐水回收率 85%及以上得满分，每降低 1%扣 1 分。
- d) 总评分=Σ（各指标实际得分×权重系数），保留小数点后两位。

7.2 等级划分标准

根据总评分结果，按以下规则划分四个等级，形成“优秀-良好-合格-不合格”的梯度评价体系：

表 3 等级划分

等级	分数范围	智能运维得分要求	资源化利用得分要求	综合判定规则
优秀	≥90分	≥36分（40分制）	≥54分（60分制）	需同时满足智能运维与资源化利用双达标，且无重大扣分项（如环境违规、安全事故）
良好	80-89分	≥32分	≥48分	允许存在次要扣分项（如设备监测盲区≤3%），但核心指标（如能耗、回收率）达标
合格	70-79分	≥28分	≥42分	基础指标达标，但存在改进空间（如模型更新周期>3个月），需制定整改计划
不合格	<70分	<28分或<42分	任一体系得分低于阈值	存在重大缺陷（如排放超标、故障频发），需停工整改并重新评价

7.3 特殊情形处理

7.3.1 加分项：采用 AI 故障预测、区块链数据追溯等创新技术且效果显著的项目，可额外加 5-10 分，需提供专利证书或第三方测试报告。

7.3.2 扣分项：发生安全事故、环境违法事件的项目，直接扣除 20 分并判定为不合格；数据造假或审计不通过的项目，扣除全部对应指标分数。

7.3.3 复评机制：不合格项目整改后需在 3 个月内申请复评，复评通过可调整等级。

7.4 评价报告要求

评价报告应包含以下要素：

- a) 项目基本信息（名称、规模、工艺类型）；
- b) 指标得分明细与计算过程；
- c) 等级判定依据及特殊情形说明；
- d) 存在问题与改进建议；
- e) 审计机构签章与日期。