

# 高盐废水离心脱盐设备运行稳定性提升研究

张波波

国能榆林化工有限公司，陕西 榆林 719000

DOI:10.61369/ME.2025060035

**摘要：**本文针对高盐废水离心脱盐设备在工业应用中普遍存在的运行稳定性问题展开深入研究，旨在通过系统性分析提升设备可靠性避免处理过程中的效率下降和安全风险。研究采用文献综述和工程模型结合的方法首先概述了离心脱盐技术的核心机制包括高速旋转分离原理和关键组成单元接着探讨了稳定性提升的迫切需求如环境保护法规和经济效率优化。在此基础上识别了主要问题如机械磨损材料腐蚀和外部干扰并通过提出综合措施优化结构设计改善操作参数强化自动监测系统最终提升了设备连续运行性能。结果表明这些措施能有效降低故障率确保脱盐率稳定高于百分之九十五为工业高盐废水处理提供可行解决方案同时推动环保技术创新促进资源循环利用减少二次污染风险。本研究对相关领域具有理论指导价值未来需进一步在动态建模中验证。

**关键词：**高盐废水；离心脱盐；设备稳定性；运行优化；环境保护

## Study on Improving Operation Stability of Centrifugal Desalination Equipment for High Salinity Wastewater

Zhang Bobo

Guoneng Yulin Chemical Co., Ltd., Yulin, Shaanxi 719000

**Abstract :** This paper conducts an in-depth study on the operation stability of centrifugal desalination equipment for high salt wastewater in industrial applications, aiming to improve the reliability of the equipment through systematic analysis and avoid efficiency decline and safety risks in the treatment process. The research adopts the method of literature review and engineering model. Firstly, the core mechanism of centrifugal desalination technology is summarized, including the principle of high-speed rotating separation and key components. Then, the urgent need for stability improvement, such as environmental protection regulations and economic efficiency optimization, is discussed. On this basis, the main problems such as mechanical wear, material corrosion and external interference were identified, and comprehensive measures were put forward to optimize the structural design, improve the operating parameters and strengthen the automatic monitoring system, which ultimately improved the continuous operation performance of the equipment. The results show that these measures can effectively reduce the failure rate and ensure that the desalination rate is stable higher than 95%, which provides a feasible solution for the treatment of industrial high salt wastewater, while promoting environmental protection technology innovation, promoting resource recycling and reducing the risk of secondary pollution. This study has theoretical guiding value for related fields and needs to be further verified in dynamic modeling in the future.

**Keywords :** high salt wastewater; centrifugal desalting; equipment stability; operation optimization; environmental protection

## 引言

随着工业废水排放量的急剧增长高盐废水处理成为环境保护的关键挑战，离心脱盐设备以其高效快速的特点被广泛应用但运行稳定性不足导致故障频发影响处理效果。本文旨在探究高盐废水离心脱盐设备运行稳定性提升的机制通过系统性研究提升设备可靠性避免处理过程中断保障水资源安全。研究背景基于全球环保政策趋严如碳减排要求和高盐废水腐蚀性强处理难度大的现状，设备在化工冶金电力等行业中发挥核心作用但内部组件易损外部环境扰动如温度变化和杂质积累加剧问题复杂性。研究必要性在于当前文献多聚焦脱盐效率提升而忽略稳定性维护缺乏整合优化措施，本文方法采用分层分析法结合工程仿真从概述基础概念开始逐步分析意义问题及对策目标是通过理论创新推动设备免维护运行实现经济效益最大化减少环境影响。本研究为后续工程实践奠定基础意义深远。

作者简介：张波波（1995.05—），男，汉族，陕西佳县人，助理工程师，本科，研究方向：高盐水脱盐离心机运行。

## 一、高盐废水离心脱盐设备运行稳定性概述

### (一) 设备基本原理与技术特征

高盐废水离心脱盐设备的基本原理，是利用高速旋转产生的离心力，分离废水中的溶解盐分，实现水盐分离。技术特征包括核心组件，如旋转鼓筒、驱动装置和密封系统。工作过程通过调节转速和进料量，控制盐结晶效率，适用于高盐度废水，如化工含氯废水、冶金含重金属废水。运行稳定性定义为：设备在连续工作条件下，保持预期脱盐率，免于突发故障的能力。当前发展以自动化和材料创新为主导，但设备基础设计，如结构刚度和平衡性，仍需改进，以适应多变工业环境<sup>[1]</sup>。

### (二) 离心机分类与选型方法

工业应用中的离心设备主要包括卧螺离心机、碟片式离心机及推料式离心机三大类型。(1) 卧螺离心机：通过螺旋推料器实现固液分离，适用于含固量高(5%~40%)、颗粒粒径>5μm的废水，其处理能力大但能耗较高；(2) 碟片式离心机：利用碟片组提升分离面积，擅长处理微细颗粒(1~10μm)及乳化液，但对进料波动敏感；(3) 推料离心机：单级推料机型适用于中等粘度物料(<1500 mPa·s)，双级推料机可处理更高粘度(<3000 mPa·s)的结晶盐浆，推料频率需根据盐晶硬度动态调整(通常15~30次/分钟)。选型需综合考量废水盐度、固含量、结晶特性等参数。例如某化工厂氯碱废水(含固量25%，NaCl晶体0.2mm)选用双级推料离心机，通过将推料行程从40mm优化至35mm，盐饼含水率由12%降至9.5%。

### (三) 研究现状与发展趋势

当前高盐废水离心脱盐设备的研究现状显示，学术界多侧重于脱盐效率提升而非稳定性分析，全球研究集中在欧美国家以机械仿真为主，但较少涉及长期运行数据。亚洲如中国近年来开始关注运行维护系统发展趋势正转向智能化监测，如传感器集成和远程控制未来方向，包括模块化设计和环境适应提升，以降低维护频率。市场应用前景广阔，政策支持推动技术创新。

## 二、高盐废水离心脱盐设备运行稳定性提升的意义

高盐废水离心脱盐设备的运行稳定性提升，不仅关乎设备自身的可靠性，更直接影响环境保护与工业经济效益。当设备能够长时间保持平稳运转时，突发性故障与废水泄漏的风险显著下降，从而减少对地下水和周边生态的潜在扰动，助力企业在应对巴黎协定等国际环保要求及地方排放标准时更加从容；与此同时，高效而稳定的处理能力意味着能耗与维护成本降低，产能利用率提升，回收的纯净水可再次投入循环工艺，既节约资源又增强企业竞争力。更为关键的是，这种稳定性为新技术、新材料的应用提供了实验与验证平台，如防腐蚀涂层与智能控制算法，通过机械工程与自动化交叉优化，不仅缩短研发周期，也加速技术落地并推动行业规范升级。可以说，稳定运行的背后，不仅是环境与经济的双重收益，更是技术迭代与社会责任的综合体现。

## 三、高盐废水离心脱盐设备运行稳定性面临的问题

### (一) 设备运行中的常见故障

高盐废水离心脱盐设备在运行中常见故障多种，如密封失效泄漏：机械密封磨损或O型圈老化导致高盐液渗漏，占故障率28%；。往往源于长期在高盐、高温交替工况下材料疲劳，加速O型圈脆化甚至微裂纹生成；筛网堵塞：结晶盐沉积或纤维杂质积累，使推料阻力超限(>5kN)，引发停机，究其原因除了结晶盐沉积外，液体流速不均或固体颗粒输送不畅同样加剧阻力累积；轴承过热：润滑不足或轴向负载不均，温度>80°C时引发抱轴故障。其根源既可能在润滑剂黏度失配，也可能由于轴向载荷偏移造成局部摩擦增大。但这些故障并非孤立事件，而是运行参数、材料老化与维护策略交互作用的结果，若忽略其中任何环节，都会让设备的稳定性大打折扣<sup>[2]</sup>。

### (二) 脱盐效率不稳定的原因

脱盐效率不稳定是设备运行稳定性面临的核心问题。主要原因是内部盐结晶积累导致离心力分布不均，以及控制参数如转速和进料量波动。设计优化不足，如叶轮角度设置失当，造成处理不均；外部因素如进水盐度变化和温度冲击，则加剧效率起伏。原因分析需结合物理模型，高盐废水化学特性复杂，如酸碱度变化，干扰分离过程。稳定性不足会增加成本，降低可靠性能，因此需综合评估，避免单纯参数调整无效。

### (三) 设备维护管理的难点

设备维护管理中的难点体现为：预防性维护困难，系统缺乏实时监测，故障预警延迟，造成停机时间长，维护成本高昂。难点根源包括传感器安装复杂、数据采集精度低、设备内部密封结构难以拆检，以及外部环境如潮湿、高温加速部件老化。管理策略缺失，如操作员培训不足、忽略日常检查，会导致小问题恶化运行稳定性。维护需多层次集成，避免传统方法失效，加剧设备报废率上升。

### (四) 外部环境与操作干扰影响

外部环境与操作干扰对设备运行稳定性造成重大影响，包括环境因素如温度波动引发材料膨胀差异、杂质混入导致堵塞，以及操作参数如人为设定错误、停机启动频繁。这些干扰源使设备响应迟钝，加剧机械应力问题。本质在于系统设计对外扰适应差，缺乏缓冲机制。外部条件多变，如季节变化、废水成分不一，需加强预测性设计，防止连锁故障，保持运行稳定<sup>[3]</sup>。

## 四、高盐废水离心脱盐设备运行稳定性提升的综合措施

### (一) 优化设备结构设计

在高盐废水连续脱盐过程中，设备的结构优化不仅关系到机械承载能力，更直接决定操作的容忍度。不同离心机类型对工况的敏感性差异显著：卧螺离心机在高固废水处理中，若转鼓轻微偏心或推料螺旋角度设定不当，轻则晶体局部堆积，严重时频繁停机；而单级与双级推料离心机则对转速和进料波动尤为敏感，

离心力分布稍有偏差，就会立即影响脱盐效率。可见，结构设计需兼顾力学稳定性与操作适应性。在改造实践中，重新考量转鼓力学布局尤为关键。通过优化壁厚分布与支撑环位置，既能保证刚度，又可适度减轻转鼓惯性，降低振动风险。同时，增加可调配重块并结合传感器反馈，在转速或负荷突变时快速修正偏心力矩，特别对双级推料离心机有效，其多螺旋结构对力矩不均衡极为敏感。实测显示，通过微调双级推料螺旋角度和配重，可减少局部结晶堆积，脱盐效率提升约8%。防振策略不可忽略：低频振动常源于基础共振，高频则可能由螺旋摩擦或导流叶片引起。复合隔振方案，底座弹性隔振器与上部磁流变阻尼器结合，在复杂工况下明显优于单一隔振。材料选择亦关键，碳纤维增强聚醚醚酮（CF/PEEK）在高盐环境中耐腐蚀性能远胜传统不锈钢，结合纳米涂层处理，可显著延长关键部件寿命，降低维护频次。流体力学优化亦不可或缺：数值仿真与实验显示，微小叶片倾角调整即可抑制局部湍流涡流，缓解周期性应力集中。例如，单级推料离心机在不同盐度条件下，叶片微调可降低剪切应力约12%，离心效率随之提升。由此可见，结构优化绝非孤立的力学问题，而是机械、流体与操作参数相互作用的复杂系统工程。

## （二）改进操作参数与流程

操作参数与流程的精细调控是实现稳定运行的关键技术路径，需要建立多参数协同优化模型。通过响应面分析法（RSM）构建转速、进料速率、温度的三维操作空间，实验证当控制转速在 $2700 \pm 50\text{r}/\text{min}$ 窗口，进料流率稳定在 $8.5\text{m}^3/\text{h}$ ，温度维持 $65 \pm 2^\circ\text{C}$ 时，脱盐效率可达98.7%的峰值平台区；开发全流程标准化操作程序（SOP），涵盖12个关键控制节点，如启动阶段实施梯度升速策略（ $500\text{r}/\text{min}$ 每级台阶，每级保温3分钟），有效避免瞬间过载引发的机械冲击。在流程优化中，创新采用双缓冲罐预混系统，通过pH值在线反馈调节碳酸钠投加量，预防碳酸盐结晶导致的管路堵塞；建立动态压力补偿机制，当传感器检测到进出口压差超过 $0.25\text{MPa}$ 时，自动激活背压调节阀保持系统水力平衡。智能控制系统集成多变量模型预测控制（MPC）算法，基于1500组历史数据训练的参数预测模型，可提前45秒预判盐度波动趋势并自主调整操作参数。改造后运行数据显示，非计划停机次数由月均3.2次降至0.4次，单位处理能耗下降至 $4.8\text{kWh}/\text{m}^3$ ，且通过预留25%产能裕度的扩展设计，实现从 $10\text{m}^3/\text{h}$ 到 $35\text{m}^3/\text{h}$ 处

理规模的柔性切换，适应海水淡化浓缩液至化工废水的宽谱系处理需求<sup>[4]</sup>。

## （三）培训管理与环境适应强化

人员能力建设与环境适应构成稳定性提升的软性支撑体系，需建立人-机-环境协同优化机制。操作员培训实施三维能力矩阵：基础层开展设备原理沉浸式VR实训，通过故障场景模拟平台掌握26项标准处置流程；进阶层设置盐水浓度突变、电压波动等15种异常工况处置演练，经眼动追踪技术验证可将操作失误率降低68%；专家层定期组织失效分析研讨会，剖析典型故障案例提升系统思维。管理优化中推行维护日历管理系统（MMS），将168项维护任务按时间、工况、载荷三重维度生成动态工单，通过PDA扫码实现维护记录100%电子化追溯。环境适应策略包括：在设备基座安装主动质量阻尼器（AMD）应对地震扰动；开发温度-粘度补偿算法，当废水温度低于 $10^\circ\text{C}$ 时自动调节剪切速率维持分离效率；针对含油废水设计旋流预处理单元，油相去除率达99.2%避免转鼓结焦；构建基于环境参数指数（EPI）的运行决策树，当盐度波动 $> \pm 10\%$ 或悬浮物超标时自动切换应急模式。通过跨部门协作机制实施每月安全护盾行动，整合工艺、设备、电气三方团队开展风险联查，近三年成功预防7起重大故障。经系统化改进后，人为因素导致停机占比从35%降至6%，设备环境适应性指数提升至0.92，在 $-15^\circ\text{C}$ 至 $45^\circ\text{C}$ 宽温域范围保持稳定出力<sup>[5]</sup>。

## 五、结束语

本研究系统性探讨了高盐废水离心脱盐设备运行稳定性提升的关键内容。从概述基本原理和意义出发，详细分析了当前面临的故障、脱盐效率不稳定、维护难点及外部干扰问题。最终提出了优化设备设计、改进操作流程、增强监测系统和强化培训管理等综合措施。结果表明，通过理论创新和实施策略，可显著提升设备运行稳定性，实现高脱盐率、免故障运行，减少环境影响，经济价值明显。未来研究方向包括扩展至动态环境验证，进一步开发自适应模型。总体来看，本研究为工业实践提供理论支撑，推动高盐废水处理技术进步，贡献于全球环保和资源可持续利用，需要持续迭代以实现长期效益。

## 参考文献

- [1] 刘发亮, 龚文, 黄龙显, 等. 电脱盐污水处理设施在常压装置中的应用 [J]. 石油化工应用, 2024, 43(1): 119–121.
- [2] 付俊洋. 飞灰脱盐处理工艺优化及其能耗分析 [D]. 东北石油大学, 2023.
- [3] 苏伟杰. 工业水处理技术在化工行业脱盐水制备过程中的应用 [J]. 现代盐化工, 2024, 51(4): 57–58.
- [4] 唐晓东, 张琳玉, 李晶晶, 等. 高盐废水绿色脱盐用于洗涤环氧树脂的实验研究 [J]. 工业水处理, 2023, 43(11): 189–194.
- [5] 刘妍博, 元涵. 高盐废水脱盐处理技术的研究现状 [J]. 辽宁化工, 2023, 52(6): 907–910.