Global Science Publishing

蒸发结晶技术在高盐废水的工业应用

陈振华
宜兴市和桥镇人民政府

摘要：在工业生产中，废水含盐量高的问题日益突出，特别是在化工、电力等行业，高浓度含盐废水的排放对环境造成了巨大压力。常规的物理和化学处理难以有效应对高盐废水中的有机污染物和高盐负荷，因此，蒸发结晶和生物处理技术逐渐成为主要解决方案。通过蒸发和浓缩，实现盐分结晶和水的回收，降低废水的盐度；生物处理则在后续阶段进一步分解有机污染物，达到处理的稳定性和高效性。这些综合方法不仅减轻了环境负担，还为资源回收提供了新思路。

关键词：高盐废水；蒸发结晶技术；工业应用

Research on Preservation Techniques for Biological Detection Reagents

Zhenhua Chen
Yixing City Heqiao Town People's Government

Abstract: The issue of high salinity in wastewater is increasingly prominent in industrial production, especially in sectors such as chemical and power industries, where the discharge of high-concentration saline wastewater places enormous pressure on the environment. Conventional physical and chemical treatments are often insufficient for effectively managing the organic pollutants and high salinity load in such wastewater. As a result, evaporation crystallization and biological treatment technologies have gradually become primary solutions. Through evaporation and concentration, salt crystallization and water recovery can be achieved, thus reducing the wastewater salinity; biological treatment further decomposes organic pollutants in subsequent stages, achieving stable and efficient treatment. These integrated approaches not only alleviate environmental burdens but also provide new perspectives for resource recovery.

Keywords: High-Salinity Wastewater; Evaporation Crystallization Technology; Industrial Application

1 基本情况

高盐废水主要产生于化工、冶金、电力等行业，含有大量无机盐、有机物及重金属，废水性质复杂，毒性较强，难以生物降解。其高盐浓度不仅影响微生物活性，还会造成设备腐蚀、结垢等问题，给后续处理带来较大难度。处理不当的高盐废水进入水体后，会显著影响生态环境，甚至危害人类健康[1]。高盐废水处理目标通常包括水分回收、污染物削减和资源化利用。蒸发结晶技术为实现这些目标提供了有效途径，通过蒸发分离水分，并使盐类结晶析出，进而降低废水处理的环境压力和成本。

2 调查与处理

2.1 现代工业常用蒸发器

升膜蒸发器利用液体沿加热管内壁上升形成的薄膜进行蒸发。液体通过预热后进入加热管底部，在加热作用下快速汽化。蒸汽产生的气体流动将液体带向上方，液膜因重力作用持续上升，逐渐形成稳定的蒸发过程。升膜蒸发器的传热系数较高，通常可达到1,100~2,300 W/（m^2 • K），

并具有较高的蒸发强度和较短的接触时间，能够有效处理高黏度、高黏性及发泡物质。此类型蒸发器适用于低粘度、高热敏性物料的处理，能够在较低温度下实现水分蒸发，并减少热降解风险。液膜厚度和流速均会影响传热效率，通过控制操作参数实现最佳效果，适用于石化、食品等行业的废水处理[2]。

2.2 降膜蒸发器

降膜蒸发器通过液体从蒸发管顶部喷淋而下，沿管壁形成下降液膜并进行蒸发。加热蒸汽传递热量，使液体在薄膜状态下快速蒸发，形成蒸汽和浓缩液。该设计有效防止干壁现象，并减少结垢风险。降膜蒸发器在传热效率方面表现较好，适合中高粘度废水的处理，可适应高浓度盐水和热敏性物料的浓缩。食品、制药和化工行业的应用较为广泛，因其对温度控制要求不高，能够提升运行稳定性并延长设备寿命。

2.3 强制循环蒸发器

强制循环蒸发器通过泵的强力循环作用，促使废水以较高速度通过加热管，蒸发效率明显提升。废水在循环过程中不断加热并蒸发，产生的蒸汽和浓缩液体随后分离。此类型蒸发器能够处理高黏度、易结垢的废水，适合高浓度的盐水处理，并可用于处理含有悬浮固体的废水。高流速设计减少结垢，降低维护需求。强制循环蒸发器应用于化工、冶金等行业，适应性较强，在处理复杂废水时表现出良好的稳定性和可靠性。

3 调查与处理

3.1 Oslo型结晶器

Oslo型结晶器采用低流速和重力沉降的方式实现大颗粒晶体的生长。结晶液在循环泵的作用下进入设备底部，缓慢上升后产生自然过饱和状态，从而促使晶体逐渐生长。该设备通过均匀的温度分布和稳定的过饱和度控制，减少了晶体的破碎，使晶体颗粒更均匀。Oslo型结晶器适用于生成大粒径、高纯度的晶体产品，常见于制盐、化工等行业中，用于生产需要颗粒度均匀的晶体。

3.2 DTB型结晶器

DTB型结晶器设计上采用机械搅拌方式，促进溶液与晶种的充分混合，并在适当过饱和状态下促进晶体生长。该设备具备内循环结构，能够保持均匀的晶体颗粒大小。通过中心区的回流作用，系统不断清除较小晶体，保留合适粒径的晶体，从而提高成品质量。DTB型结晶器常用于化工和制药行业的大规模生产，对晶体纯度和均匀性有较高要求的物料尤为适用，因其操作稳定、颗粒可控性高。

3.3 FC型结晶器

FC型结晶器采用快速冷却的方式促使晶体迅速沉淀。冷却介质直接进入结晶液中，使过饱和状态快速产生，并迅速促使晶体析出。由于快速降温能够降低溶解度，FC型结晶器适合处理热敏性物料，避免长时间加热对晶体造成不良影响。该类型结晶器适用于食品、制药等领域的结晶操作，尤其适合需要快速析出的晶体物料。

4 调查与处理

4.1 单效蒸发

单效蒸发系统利用单个蒸发器完成溶液的加热和蒸发。液体进入蒸发器后，通过外部热源将液体加热至沸点，溶液蒸发产生的蒸汽进入冷凝器，浓缩液则在蒸发器中留下。由于单效蒸发不进行热量的多次利用，其能耗相对较高，因此通常用于小规模或需要简单处理的场景。该系统结构相对简单，易于操作和维护，适合处理水量小或不敏感于能源消耗的废水。单效蒸发应用在一些小型工厂或能源供应丰富的环境中，能实现基础的水分蒸发和废液浓缩，但在工业中逐渐被多效蒸发所替代。

4.2 多效蒸发

多效蒸发通过多个蒸发器串联工作，利用一效蒸发器产生的蒸汽作为二效的热源，逐级进行蒸发，实现热量的反复利用，降低能耗。根据二次蒸汽与溶液的流动方向，多效蒸发分为不同流程。在并流过程中，溶液与二次蒸汽顺向流经各效，由于前效压力高于后效，溶液利用压差流动，但终效浓缩液的高黏度会导致换热系数降低。在回流过程中，溶液与二次蒸汽的流向相反，水泵将溶液输送至高压前一效，浓度和温度的影响被平衡，各效传热情况保持一致。不相容流动方式中，蒸汽顺序流经各效，而溶液独立出入各效，适用于含有结晶的废液处理。多效蒸发系统在石化、造纸、制药等行业广泛应用，有效降低能耗和废水排放量，提升了节能效果[3]。

4.3 多效蒸发与MVR结合

多效蒸发与MVR（机械蒸汽再压缩）技术结合后，系统的效率得到显著提升。MVR技术通过对蒸汽进行机械压缩，提高其温度和压力，使其作为热源循环使用，进一步减少了能量需求。为增强传热效果，可在蒸发器中加入三氧化二铝、聚四氟乙烯等惰性粒子，使气、液、固三相流动形成均匀的紊流状态，从而显著提高换热系数。粒子在流动中破坏了界面层，减少壁面摩擦，换热效率提高20%以上，同时降低15%的能源消耗。MVR技术特别适合高温、高浓度废水处理，广泛应用于制药、化工和冶金等领域，实现更高浓缩比和稳定的长期运行，同时避免污垢形成，降低运行成本[4]。

4.4 卧式薄膜喷淋MVC蒸发系统+结晶系统废水零排放技术

卧式薄膜喷淋MVC（机械蒸汽再压缩）蒸发系统结合结晶装置，设计用于实现废水零排放。处理后的高盐废水首先通过自动反冲过滤器去除杂质，送入板式换热器预热，并通过MVC系统冷却。高温液体进入卧式薄膜蒸发器，在蒸发器内壁形成薄膜，实现高效蒸发，提升了传热效率。MVC系统将产生的二次蒸汽机械压缩，提高其温度和压力，使其再次用作热源，极大地节省了能源。浓缩后的废水进入结晶系统，通过控制温度和压力，促使盐分和杂质形成晶体，实现水和盐的分离。

5 高盐废水生物处理流程的选择

5.1 高含盐废水的预处理办法

高含盐废水进入生物处理流程前，需通过预处理以有效降低废水的盐分和悬浮杂质含量，从而减少后续处理的负担。在预处理中，采用蒸发法对废水进行脱盐处理最为安全经济。多效减压蒸发、浓缩、结晶等工艺将废水浓缩至接近饱和，再通过结晶蒸发析出盐分。废水经过浓缩和蒸发后，结晶盐从蒸发器底部排出，经分离装置将水与结晶盐分开，结晶盐被收集至盐池，进一步浓缩循环使用。通过这样的预处理方法，废水中对微生物不利的高盐成分得到有效控制，为后续的生物处理创造了良好的条件，并在水质上满足环保标准。

5.2 调节池

调节池用于均衡废水的水质和水量，避免高含盐量的波动对生物处理系统产生不利影响。废水在调节池内停留一段时间，经过均化，使废水中的盐分浓度达到稳定。调节池内通常设有搅拌装置或气体混合系统，以避免悬浮物沉积，同时维持水质均匀性。调节池能够有效缓冲进水的瞬时冲击，维持处理系统的稳定性，并通过调节废水的pH值和温度等参数，进一步提升生物处理的效果。此池还为后续曝气池创造更适宜的条件。

5.3 曝气池

曝气池是高盐废水生物处理的核心反应区，通过曝气提升溶解氧浓度，促进微生物对有机物的分解和盐分的适应性降解。通过设置曝气装置，氧气被均匀分布在水体中，增强微生物的活性，提高其处理能力。针对高盐废水的处理，需选择耐盐性较强的菌种，这些微生物能够在高盐环境下有效生存和降解有机污染物。

5.4 二沉池

二沉池用于从曝气池中分离活性污泥，实现处理水与污泥的沉降分离。高盐废水中含有氯化钠或氯化钙时，沉淀效果可能受影响，因此二沉池需保持表面负载在合理范围内，以适应高浓度污泥的沉降需求。在处理高浓度废水时，尤其是含有$CaCl_2$的废水，选用边缘驱动的刮泥机有助于提升沉淀效果。适当增加污泥回流速度也有助于系统稳定性，减缓废水浓度波动带来的冲击。为适应盐分变化，在调节池的进出口设置电导监控器可实时跟踪盐浓度变化，确保稳定运行。同时，通过保持一定量的污泥储备，当曝气池出现污泥损失时可及时补充，使二沉池和生物处理系统快速恢复至正常状态。

6 结束语

综上所述，高盐废水处理技术通过蒸发结晶与生物处理的结合，能够实现资源的有效回收和废水零排放的目标。蒸发结晶技术通过多效蒸发与机械蒸汽再压缩工艺，显著降低了能耗，使废水中的盐分高效析出，而生物处理则进一步降解有机污染物，增强了水质的稳定性。处理过程中，预处理阶段、调节池、曝气池、二沉池等各环节协同作用，不断提高系统的适应性和可靠性。

参考文献

[1] 周楠, 李亮, 马璐頔, 等. 高盐有机废水处理技术研究进展[J]. 现代化工, 2024, 44(01): 74-77.

[2] 宋超, 向轶, 顾一飞, 等. 蒸发结晶对高盐有机废水性质的影响[J]. 石化技术与应用, 2024, 42(01): 67-70.

[3] 刘铁刚, 吴杰, 耿书林. 含盐废水蒸发结晶技术方案可行性研究[J]. 石化技术, 2023, 30(02): 17-19.

[4] 刘晶. 煤化工高盐废水的蒸发结晶工艺技术研究[J]. 化工管理, 2023, (06): 162-164.

[5] 黄光明. MVR 蒸发结晶装置控制仪表安装调试中的技术管理与问题处置措施[J]. 中华纸业, 2021, 42(08): 31-36.

Copyright © 2025 by author(s) and Global Science Publishing Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access