

高盐废水蒸发结晶系统存在的问题及优化经济效益

马胤昭 戚娜娜 (天津黄埔盐化工程技术有限公司, 天津 300000)

摘要: 化工企业对高盐废水进行处理, 是顺应我国环保战略的必然之举, 而蒸发结晶系统则是处理高盐废水的核心技术之一。对此, 文章将以蒸发结晶系统为重点, 详细分析高盐废水定义, 探索高盐废水蒸发结晶系统存在的问题, 并在设备优化、工艺优化和运行管理优化这三个方面入手, 探讨高盐废水蒸发结晶系统优化策略, 进一步说明高盐废水资源化利用取得的经济效益。

关键词: 高盐废水; 蒸发结晶系统; 优化措施; 经济效益

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 012-0064-03

Issues in the Evaporation and Crystallization System of High-Salinity Wastewater and Optimization of Economic Benefits

Ma Yinzhao, Qi Nanna (Tianjin Huangpu Salt Engineering Technology Co., Ltd., Tianjin 300000, China)

Abstract: The treatment of high-salinity wastewater by chemical enterprises is an inevitable measure in line with China's environmental protection strategy, with the evaporation and crystallization system being one of the core technologies for such treatment. Focusing on the evaporation and crystallization system, this article provides a detailed analysis of the definition of high-salinity wastewater, explores existing issues in the system, and proposes optimization strategies from three aspects: equipment optimization, process optimization, and operational management optimization. It further elaborates on the economic benefits achieved through the resource utilization of high-salinity wastewater.

Keywords: High-salinity wastewater; Evaporation crystallization system; Optimization measures; economic benefits

在工业快速发展的背景下, 高盐废水排放量日益增加, 这就对自然环境造成了严重影响与威胁。作为一种强有力的高盐废水处理技术——蒸发结晶系统, 其可以将废水中存在的盐分结晶分离, 有效达成水资源的回收利用与盐分资源化目标。但是纵观实际情况可以发现, 在运行过程中, 高盐废水蒸发结晶系统存在诸多问题, 严重影响了其处理效果与运行稳定性。相关工作人员需认识到这一情况, 深入研究高盐废水蒸发结晶系统中存在的问题, 并提出有效优化策略, 保障系统运行效能, 助力高盐废水妥善处理, 促进化工企业实现环保效益与经济效益双赢, 力争为我国环保事业做出更大贡献。

1 高盐废水定义

所谓高盐废水, 其所指代的就是总含盐质量分数至少为 1% 的废水, 主要来源于化工、印染与海水淡化等多个工业领域。此类废水成分复杂, 除含有高浓度的氯化钠、硫酸钠等无机盐以外, 还存在大量的有机污染物、悬浮物和重金属离子, 展现出了高硬度、高腐蚀性等特点^[1]。纵观实际可知, 因为盐分过高会严重抑制微生物的活性, 因此过去所应用的生化处理工艺将难以直接达标排放, 如若处理不当, 高盐废水将造成水资源浪费, 还会导致土壤盐碱化与水体严重污染, 破坏生态平衡。现阶段, 蒸发结晶技术是达成此类废水“零排放”和资源化利用的核心手段, 其可

以借助加热汽化的方式使水分与盐分离, 最终将盐分结晶回收。但是在实际运行中, 高盐废水特殊的理化性质使得蒸发结晶系统面临能耗大、设备腐蚀严重等挑战与影响, 这些问题的存在直接限制了系统的经济性与运行稳定性。

2 高盐废水蒸发结晶系统存在的问题

2.1 设备方面的问题

2.1.1 蒸发器结垢与腐蚀

在高盐废水蒸发结晶系统中, 蒸发器有着不可忽略的重要作用, 但该设备经常遇到结垢与腐蚀问题。因为高盐废水中含有大量的钙、镁等离子, 在蒸发过程中, 水分蒸发使得这些离子的浓度不断提升, 当达到过饱和状态以后, 将会于蒸发器内壁形成垢层, 而垢层的导热系统远远小于金属材料, 这就严重影响了蒸发器的传热效率, 使得蒸发量大幅下降、能耗加剧。与此同时, 高盐废水一般情况下具有较强的腐蚀性, 其中的氯离子等会与蒸发器金属材料发生化学反应, 在潜移默化中腐蚀设备, 这就缩减了设备的应用寿命, 还会造成泄漏等安全事故^[2]。

2.1.2 结晶器堵塞

在结晶过程中, 因为晶体的生长速率太快或者操作条件控制不当, 晶体有可能在结晶器中大量聚集, 形成结块。除此以外, 废水中的杂质、悬浮物等也会与晶体一同沉积在结晶器的管道、阀门等位置, 造成

堵塞影响。当结晶器堵塞后,会影响物料的正常流动与结晶过程的顺利进行,使结晶效率下降,严重情况下还会导致系统停机,生产工作无法继续进行。

2.1.3 设备能耗高

经研究发现,蒸发过程需要耗费大量的热能来帮助废水蒸发,而过去所应用的蒸发设备传热效率十分有限,使得能源耗费严重。除此以外,为了维持系统的正常、稳定运行,如物料的输送、搅拌等,需要配备大量的动力设备,这些设备的运转也会耗费电力能源,过高的电能消耗加剧了处理成本,减少了系统经济性,限制了该技术的广泛应用^[3]。

2.2 工艺方面的问题

2.2.1 蒸发过程控制困难

对蒸发过程进行控制难度较大,因为蒸发过程涉及到了若干种因素,如温度、压力等,这些参数之间相互关联、相互影响,牵一发而动全身。如温度过高将导致结垢加剧,而温度太低则会降低蒸发效率。除此之外,压力的变化还会影响蒸汽的产生与利用效率。需提高重视的是,高盐废水的成分复杂,并且稳定性较差,不同批次的废水成分可能存在差别,这也在一定程度上增加了蒸发过程控制的难度,无法保障系统始终处于最优运行状态。

2.2.2 结晶质量不佳

结晶质量直接关系着盐分的回收利用价值,但是在实际生产过程中,结晶质量通常无法达到理想化状态。经研究得知,干扰结晶质量的要素较多,如过饱和度和控制不当、晶种添加不科学等,前者会导致晶体生长速率过快,所形成的晶体颗粒细小、形状不规则,不益于后续的固液分离与盐分的提纯。而后者则会使得结晶过程无法正常启动或者结晶效果较差。

2.2.3 废水处理不彻底

蒸发结晶系统虽然可以将废水中存在的盐分结晶分离,但是在实际运行过程中,经常会出现废水处理不到位、不彻底的情况。整体上来看,经过蒸发结晶以后,母液中依旧含有一定量的盐分与有机物,若将其直接排放,必然会对环境造成污染影响。与此同时,废水中的部分微量有害物质,如重金属离子等,可能无法在蒸发结晶的过程中全部去除,残余的这些物质将影响处理后水质的达标情况,这就限制了水资源的正常回用。

3 高盐废水蒸发结晶系统优化措施

对高盐废水蒸发结晶系统进行优化,可以在设备、人员和工艺这三个方面入手,下文将分别阐述:

3.1 设备优化

3.1.1 防垢与防腐措施

由上文分析可知,蒸发器结垢与腐蚀问题的存在

一直以来都是影响系统运行的主要因素。为改善这一情况,相关工作人员可应用防垢与防腐这两种处理方法,前者要求工作人员安装在线清洗设备,借助该设备定期对蒸发器进行清洁,避免垢层形成与持续累积。还可以应用添加阻垢剂的手段,改变盐类的结晶模态,抑制垢层生长、蔓延。后者则要求工作人员优选耐腐蚀的材料制作蒸发器,如钛合金、不锈钢等。并于设备表面进行防腐涂层的处理工作,如喷涂氟碳漆等,强化设备的抗腐蚀能力。需要提高关注的是,工作人员应严控废水的水质和操作条件,规避因为水质恶化与操作不合理夹具结垢与腐蚀程度^[4]。

3.1.2 结晶器改进

面对结晶器堵塞的问题,工作人员可对结晶机展开优化改造,调整结晶器的结构设计方式,如应用特殊的搅拌设备,促使溶液的流动更加匀称,避免晶体聚集和沉积。在此基础上,增加结晶器的清洗口和排渣口,便于定期清理结晶器内部附着的杂质和结块。除此之外,应改进结晶器的进料方式,促使物料匀称地进入到结晶器之中,规避局部过饱和造成晶体迅速生长。值得一提的是,引进先进的结晶控制技术也是有效举措,该技术可以实时监测结晶过程中的参数信息,便于工作人员结合实际情况调整操作条件,提升结晶效率和质量。

3.1.3 节能设备应用

为顺应我国可持续发展战略,就需要降低设备能耗,积极引用节能型设备,如新型降膜蒸发器、板式蒸发器等,此类设备的传热效率稳定,可大幅缩减能源损耗。工作人员还可以选用机械蒸汽再压缩(MVR)技术,将二次蒸汽压缩升温以后重新利用,此举可大幅提升蒸汽利用率,避免生蒸汽被消耗浪费。对于动力设备来说,工作人员可选择性能稳定的节能型电机和泵,优化设备运行参数,降低设备的耗电量。在多种节能设备的引进与应用下,可有效降低系统的运行成本。

3.2 工艺优化

3.2.1 蒸发过程优化控制

对蒸发过程进行优化控制不是一蹴而就的,而是需要工作人员在多个方面入手统筹考量的。为提升蒸发过程优化控制效能,工作人员就需要打造精准的数学模型,深入分析温度、压力与液位等若干个参数之间存在的关系,再应用先进的传感器和控制系统,实时监测并调整这些参数,以保障整个蒸发过程稳定、顺利。如工作人员可根据废水的成分和流量,动态化调整加热蒸汽的流量与温度,促使蒸发速率和废水的处理量相适配。与此同时,工作人员还可以应用模糊

控制、神经网络控制等职能控制算法,提升控制精准性和适切性,降低人为因素对蒸发过程造成的不良影响,最终提升蒸发效率和产品质量^[5]。

3.2.2 结晶工艺改进

对结晶工作进行改进优化,可提升结晶质量。工作人员应精准控制过饱和度,在合理的进料速度和温度调节下,促使溶液缓慢达到过饱和状态,为晶体匀称成长提供条件。在这一基础上,科学优化晶种的添加方法和数量,选用适宜的晶种类型和粒径,在结晶初期加入适量的晶种,以此来引导晶体的生长方向。调整搅拌速度与方式,使溶液中的溶质均匀分布,规避局部浓度过大导致晶体生长异常。除此以外,工作人员还可以应用分级结晶等技术,对不同粒径的晶体进行分离并提纯,以提升结晶产品的纯度和质量。

3.2.3 废水深度处理

若废水处理不彻底、不到位,将对后续工作的进行造成严重影响,亟需应用有效举措进行废水处理。工作人员可结合实际情况选择膜分离技术,如反渗透膜、纳滤膜等,以此来进一步去除母液中的盐分与有机物,提升水资源回用率。还可结合高级氧化技术,如臭氧氧化、芬顿氧化等,分解废水中难以降解的有机物,减少废水的化学需氧量(COD)。与此同时,还可以应用离子交换树脂等方法,去除废水中的重金属离子,保障处理完毕后的废水满足排放标准,达成水资源的循环利用和环境保护目标。

3.3 运行管理优化

3.3.1 人员培训与管理

任何工作的进行都无法脱离人员的支撑,如若工作人员的专业素养难以得到保障,必然会导致工作的开展频频受阻。为提升系统运行效率,就需积极进行工作人员的培训与管理工作,制定系统、完善的人员培训方案,定期带领操作人员参与到专业知识和技能培训中,主要培训内容为系统的工作原理、操作流程与故障处理等,还可以邀请领域内专家现场指导,提升操作人员随机应变的能力和理论理解能力。在此基础上,构建绩效考核机制,对操作人员的工作状态、表现等进行评估和奖惩,激励操作人员自主学习,提升自身业务水平。并鼓励操作人员投入到系统的优化和改进中,全面发挥出操作人员的主观能动性。

3.3.2 设备维护保养制度完善

作为生产系统的核心构成部分——设备,其运行状态直接关系到生产效率。相关工作人员需完善设备的维护保养制度,为设备正常运转提供条件。在实际工作中,可打造内容详细、科学的设备维护档案,记录设备的运行情况、维护时间与维修情况等信息,规

划相应的维护保养计划,明确维护保养的内容、周期与负责人。在制度的约束下,定期对设备进行清洁、润滑与紧固等日常工作,若发现设备中零部件磨损严重,应及时将其更换。除此以外,还需做好对设备的巡检和监测工作,第一时间发现设备的潜在问题并进行处理。为应对突发性设备故障,工作人员需储备必要的备品备件,当设备出现故障以后可及时更换,减少停机时间,降低损失。

4 高盐废水资源化利用的经济效益

高盐废水蒸发结晶过程中得到的盐类产物,主要成分为氯化钠、硫酸钠等常见盐类,其纯度可达到工业级标准(纯度 $\geq 95\%$)。这些盐类产物可直接用于化工、制药、食品加工等多个行业,作为原料或辅料使用。在盐类资源回收方面,回收的盐类产物具有广阔的市场需求和应用前景,其销售价格足以覆盖回收过程中的成本,并产生一定的利润空间。以氯化钠为例,其市场价格约为500-800元/t,考虑到回收过程中的损耗和加工成本,每吨废水可回收的盐类产物带来的直接经济效益可达数百元。

5 结束语

新时代环境中,我国可持续发展战略的提出如火如荼,各个领域都需要为环境保护事业做出一份贡献。而高盐废水一直以来都是难以解决的问题,如何妥善处理高盐废水,成为了相关工作人员需要思考的重点。为更好地改善废水处理方法,就需要发挥出蒸发结晶系统的作用。但是该系统在运行过程中也存在一定的缺陷与不足,容易受到多种因素影响,工作人员需积极改善并优化,保障蒸发结晶系统正常运行,促使废水的处理效率不断提高,顺应我国环保战略要求。

参考文献:

- [1] 朱春梅,罗平凯,李长云,等.高盐废水脱盐过程中钙镁结垢抑制技术研究进展[J].工业水处理,2026,46(01):42-50.
- [2] 安子韩,高丽丽,单科,等.面向高盐高COD废水预处理的仿生膜制备及抗污染性能研究[J].盐科学与化工,2026,55(01):42-45+54.
- [3] 艾艺捷,王敬荃,郭洪光.活性氯介导下新污染物降解协同产氢工艺研究[J].中国给水排水,2026,42(01):64-70.
- [4] 党红鸽,胡学斌,吕正忠,等.离子色谱法测定高盐废水中氯离子和硫酸根离子的优化[J].煤化工,2025,53(06):102-106+133.
- [5] 邓超翰,周伟健,周勇波,等.制药行业高浓高盐有机废水综合处理现状[J].工业用水与废水,2025,56(06):7-13.