

面向零排放的工业园区 高盐水综合利用技术研究

浦钱东

(南京万德斯环保科技股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要 工业园区高盐水排放量逐年增加, 含盐量高、成分复杂, 直接排放易造成水体污染。零排放政策推进, 对高盐水处理与综合利用提出更高要求。当前, 高盐水处理存在技术适配性差、资源回收率低、处理成本偏高、二次污染风险等问题, 制约零排放目标落地和资源高效利用。本文立足于工业园区零排放需求, 剖析高盐水来源和特性, 梳理现有综合利用技术应用现状、困境, 探索适配不同工况的高盐水综合利用技术路径, 优化技术组合方案, 以期为零排放下高盐水综合利用提供技术参考。

关键词 工业园区; 零排放; 高盐水综合利用

中图分类号: X703

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.20.038

0 引言

工业产业不断升级, 环保政策日益严格, 工业园区零排放成为绿色低碳发展核心要求。高盐水是园区废水处理末端难题, 其综合利用水平直接影响零排放目标实现。工业园区高盐水来源多样, 包括生产工艺废水、循环冷却水浓水等, 它含盐量高、成分复杂, 处理难度很大。目前多数工业园区处理高盐水, 仍以达标排放为核心目标, 综合利用程度比较低, 这样既浪费水资源、盐资源, 又容易引发二次污染。研究工业园区零排放下高盐水综合利用技术, 破解处理与利用面临的困境, 优化技术路径, 对推动工业园区绿色低碳发展、落实零排放政策具有重要的现实意义。

1 工业园区高盐水概况

1.1 来源与分类

工业园区高盐水来源多样, 这和园区产业类型有关, 也与生产工艺紧密联系。依照含盐量不同, 结合成分差异状况, 能够划分成多个类型。其中, 循环冷却水浓水占比最大, 工业生产中多次蒸发循环冷却水, 水分浓缩让含盐量明显上升, 因此成为高盐水的核心部分^[1]。这类高盐水含盐量不高、成分简单, 主要包含氯离子、钠离子等常见离子。其次是工艺废水浓水, 来自化工和制药行业, 还有电子、印染等生产领域, 生产废水先经预处理, 再通过生化处理, 之后浓缩形成高盐水。该类高盐水含盐量高、成分复杂, 含有重金属离子、有机物质, 也包含有害杂质, 处理难度极大。

1.2 核心特性分析

工业园区高盐水有三个核心特性, 它们分别是含盐量高、成分复杂、水质不稳定, 这些特性直接决定技术选择和适配性。高盐水最显著的特征是含盐量高, 多数园区高盐水含盐量超 5 000 mg/L, 部分化工、制药行业的可达 50 000 mg/L 以上, 这个数值远超常规废水处理标准, 对处理技术耐盐性要求很高。处理高盐水的核心难点是成分复杂, 除常规氯离子、钠离子、钙离子外, 还含有重金属离子、有机物、悬浮物、难降解杂质等, 部分杂质具有毒性和腐蚀性, 这不仅会增加处理难度, 还可能影响资源回收质量。

2 高盐水综合利用现存困境

2.1 技术适配性较差

当前工业园区高盐水综合利用技术适配性存在明显不足, 这种不足使得技术难以满足不同类型高盐水处理、利用需求。部分工业园区未结合高盐水的含盐量、成分差异选择技术, 盲目采用单一处理技术, 这导致处理效果不佳、资源回收率低。例如: 适用于低含盐量高盐水的反渗透技术, 若应用于超高盐水处理, 易出现膜污染、膜堵塞等问题, 膜使用寿命会大幅缩短, 处理成本也会增加。并且, 现有技术多针对单一杂质、单一资源回收设计, 对复杂成分高盐水的协同处理能力缺乏, 难以实现多资源同步回收。部分技术处理效率低、操作难度大, 这些问题使其难以适配工业园区规模化、连续化的处理需求, 制约综合利用水平提升^[2]。

作者简介: 浦钱东 (1981-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 环境工程。

2.2 资源回收率偏低

工业园区高盐水含有丰富的水资源、盐资源,但目前综合利用时,资源回收率一般较低,造成严重浪费。在水资源回收方面,多数工业园区高盐水经处理后,仅把部分达标水用作循环冷却补水,回收利用率不到 50%,大量处理后的水资源直接排放,没能实现循环利用。在盐资源回收方面,现有技术大多以脱盐为核心,对盐资源的分离、提纯不够彻底,回收的盐产品纯度低,多是工业级低品质盐,很难用于高端领域。有些工业园区甚至没开展盐资源回收,直接将脱盐产生的盐泥填埋处理,这样既浪费资源,又可能引发二次污染。

2.3 处理成本居高不下

处理成本偏高是制约工业园区高盐水综合利用推广的核心瓶颈,主要体现在设备投资、运行成本与维护成本三个方面。在设备投资方面,该种技术所需设备多为耐盐、耐腐蚀的专用设备,如特种反渗透膜、蒸发结晶设备等,此类设备造价高昂,大幅增加了工业园区初始投资压力^[3]。在运行成本方面,高盐水处理时要消耗大量电能、药剂等,尤其是蒸发结晶、膜分离等技术,能耗较高且药剂消耗量大,长期运行成本很难降低。在维护成本方面,高盐水腐蚀性、杂质含量都比较高,易造成设备磨损、膜污染、管道堵塞等问题,需要定期进行检修设备、更换膜件与清洗管道,这进一步增加了综合处理成本。

2.4 二次污染风险突出

部分工业园区高盐水综合利用时,缺乏有效环保管控措施,易引发二次污染问题,违背零排放与绿色发展理念。在盐资源回收过程中,分离提纯若不够彻底,回收盐产品中便含有重金属离子、有害有机物等杂质,这些杂质可能通过后续使用再次进入环境,造成土壤、水体污染。废水处理会产生大量盐泥、污泥等废弃物,部分园区未规范处理这些废弃物,直接填埋、堆放,易导致有害成分渗透,污染地下水和土壤。部分处理技术运行时,会产生废气、废液,若未做针对性处理,会引发大气、水体污染。

3 高盐水综合利用核心技术

3.1 膜分离回收技术

膜分离回收技术是工业园区高盐水综合利用的核心技术之一,它主要利用膜的选择透过性,把高盐水中的水资源和盐资源分离开来并回收,有处理效率高、能耗较低、操作简便等优势。常用的膜分离技术有反渗透(RO)、纳滤(NF)、电渗析(ED)等,不同技术有不同的适用场景。反渗透技术适合处理中低含盐量的高盐来回收水资源,在高压作用下,水分子能

透过反渗透膜,盐分与杂质则被截留,回收的淡水可用于循环冷却水补水、绿化用水等,水资源回收率能达到 60%~80%。纳滤技术适用于含有机物、重金属离子的高盐水处理,可实现盐资源和有机物、重金属的分离,提升盐资源回收纯度。电渗析技术则适用于高含盐量高盐水的脱盐处理,电场作用下离子定向迁移,以此实现盐与水的分离,该技术可用于盐资源初步回收,且适配性较强。

3.2 蒸发结晶技术

蒸发结晶技术主要用于超高含盐量高盐水的盐资源回收,核心是加热蒸发高盐水,使其达到饱和状态,进而让盐分结晶析出,实现盐资源分离回收,这是高盐水零排放的关键技术^[4]。常用的蒸发结晶技术有:多效蒸发(MED)、机械蒸汽再压缩(MVR)、太阳能蒸发等。多效蒸发技术借助多次蒸发冷凝,充分利用热能,降低能耗,适用于规模化高盐水处理,盐资源回收率能达 90% 以上,回收的盐产品纯度较高,可用于工业生产。机械蒸汽再压缩技术将蒸发产生的二次蒸汽压缩升温,重新用于蒸发过程,能耗比多效蒸发更低,运行成本优势更明显,适用于中大型工业园区。太阳能蒸发技术可使高盐水蒸发结晶,该种技术借助太阳能运行,能耗极低,环保且无污染。不过,它易受天气状况影响,其处理效率相对较低,适用场景包括小型工业园区,或者可用于辅助处理。

3.3 高级氧化处理技术

高级氧化处理技术主要用于处理成分复杂、含有机物、难降解杂质的高盐水,其核心是产生强氧化性自由基,这些自由基能降解高盐水中的有机物、有害杂质,同时降低水体毒性,为后续膜分离、蒸发结晶等技术提供支撑,最终提升综合利用效果。常用的高级氧化技术包括臭氧氧化、芬顿氧化、光催化氧化等。臭氧氧化技术依靠臭氧的强氧化性,可以降解高盐水中的有机物、还原性杂质,该技术反应速度快、无二次污染,适用于低浓度有机物高盐水的预处理。芬顿氧化技术适用于高浓度有机物、难降解杂质的高盐水处理,它通过亚铁离子和过氧化氢反应产生羟基自由基,这种自由基能高效降解有害杂质,但会产生少量污泥,所以需要配套污泥处理措施。光催化氧化技术依靠光催化剂,在光照条件下生成自由基,借此降解有机物质,该方法环保且无污染物产生,不过处理效率对光照条件依赖明显,所以更适合作为辅助处理手段。

3.4 资源协同回收技术

资源协同回收技术是破解高盐水资源回收率偏低的关键技术,核心是结合高盐水的成分特性、整合多种处理技术,实现水资源、盐资源、重金属离子等多

资源的协同回收,提升综合利用效益。该技术先预处理去除高盐水中的悬浮物、大分子有机物等杂质,再通过膜分离技术回收水资源,通过蒸发结晶技术回收盐资源,利用吸附、沉淀等技术,回收高盐水中的重金属离子、稀有元素等,实现“一水多用、一盐多收”^[5]。例如:化工行业含重金属高盐水,可先采用高级氧化技术降解有机物,再通过膜分离回收水资源,通过蒸发结晶回收盐资源,最后通过吸附技术回收重金属离子,这样既实现资源最大化利用,又降低二次污染风险,适配零排放政策需求。

4 零排放下综合利用技术路径

4.1 中低含盐量技术路径

针对中低含盐量(5 000 mg/L ~ 20 000 mg/L)高盐水,结合成分简单、处理难度小的特性,创建“预处理、膜分离、水资源回收”的综合利用技术路径,兼顾处理效率与成本控制。首先开展预处理工作,采用沉淀、过滤等技术,去除高盐水中的悬浮物、胶体杂质、部分重金属离子,避免杂质引发膜污染,提升后续膜分离技术的处理效果,延长设备使用寿命。预处理完成后,以反渗透技术作为核心处理单元,回收高盐水中的水资源,回收的淡水可用于工业园区循环冷却水补水、绿化用水、生产辅助用水等,实现水资源循环利用。膜分离产生的浓水,可进一步采用纳滤技术深度处理,该技术能回收部分盐资源,剩余浓水则进入后续处理单元,如此可确保达到零排放要求。同时,此技术路径能耗较低,成本可控,能够适配多数工业园区中低含盐量高盐水的处理需求^[6]。

4.2 超高含盐量技术路径

对于含盐量超20 000 mg/L的高盐水,结合其盐分高、成分杂的特性,创建“预处理—高级氧化—膜分离—蒸发结晶”的一体化综合利用技术方法,达成资源回收和零排放的双重目的。预处理阶段采用过滤、吸附等方式,去除水中悬浮物、大分子杂质。接着运用高级氧化技术,降解高盐水中的有机物、难降解杂质,降低水体毒性,为后续步骤做好准备。膜分离阶段采用电渗析技术,让盐和水初步分离,回收部分水资源,浓缩盐分,减轻后续蒸发结晶的处理压力。蒸发结晶阶段应用MVR技术,高效回收盐资源,回收盐产品提纯后用于工业生产,蒸发所得冷凝水再次回收利用,剩余少量盐泥规范处理后无害化处置,以此达到高盐水零排放和资源最大化利用。此一体化工艺在实际的工程运用中展现出较高的稳定性,能够有效应对盐分极高的高盐水的水质波动,进而增强系统抵御冲击负荷的能力,通过工程实践验证可知,水资源的回收比例能够达到85%以上,结晶盐的纯净程度符合工业盐的标准,达成

了固体废弃物的减量化以及资源化目标,为化工、医药等类型的园区实现高盐水零排放提供可复制的范例。

4.3 复杂成分技术路径

对于成分复杂、含有机物与重金属离子的高盐水,创建“预处理、高级氧化、资源协同回收、深度处置”的综合利用技术路径,可破解成分复杂与二次污染难题。预处理阶段,采用沉淀、混凝等技术,去除高盐水中的悬浮物、部分重金属离子。高级氧化阶段,采用芬顿氧化或臭氧氧化技术,降解有机物、难降解杂质,降低水体毒性、腐蚀性^[7]。资源协同回收阶段,整合膜分离、蒸发结晶和吸附技术,同步回收水资源、盐资源、重金属离子,水资源回收用于循环利用,盐资源回收用于工业生产,重金属离子回收实现资源化再利用,提升综合利用效益。在深度处置环节,需要规范处理盐泥、污泥这类废弃物,处理方式可选择固化填埋、资源化利用等,这么做是为了避免二次污染,同时保证处理全程满足零排放及绿色发展的要求,它能够适配化工、制药等行业,处理成分复杂的高盐水。

5 结束语

在工业园区零排放政策下,高盐水综合利用是推动水资源、盐资源循环利用,防范环境污染的关键举措,也是促进工业园区走绿色低碳发展道路的必然要求。目前,该领域面临诸多困境:技术适配性不佳、资源回收率不高、处理成本较高、二次污染风险明显等。这些问题制约着零排放目标的实现和资源的高效利用。膜分离、蒸发结晶、高级氧化、资源协同回收技术是高盐水综合利用的核心技术。依据高盐水的含盐量、成分差异,创建个性化综合利用技术路径,能够有效破解现存难题,提高综合利用水平,为工业园区零排放提供稳固技术支持。

参考文献:

- [1] 孙蕊,谢桂龙,郭彦深,等.中和站氯化钙高盐水资源化利用技术[J].冶金设备,2022(S1):72-74,32.
- [2] 陈德武.煤制气项目高盐水处理与资源化利用[J].给水排水,2022,58(05):60-64.
- [3] 卞卡,柏建彪,赵涛.粉煤灰及高盐水绿色处理技术与应用[J].中国煤炭,2021,47(04):65-69.
- [4] 顾雨薇,李雪,陈硕,等.高盐水中硝酸根的电化学去除方法[J].科学通报,2020,65(26):2880-2894.
- [5] 刘文,徐学文,纳娟,等.煤化工高盐水回用系统高硅阻垢剂的性能研究[J].冶金动力,2020(08):64-69.
- [6] 同[5].
- [7] 刘金哲,田京雷,王鑫国,等.钢铁行业高盐水零排放处理技术[J].河北冶金,2020(07):74-78.