

工业园区污水处理现状与问题

薛山

(中冶生态环保集团有限公司, 北京 100028)

[摘要] 工业园区涉及的企业、行业种类多,所排放的污水污染物浓度高,处理难度大,长期以来带来了一系列水污染及各类环境问题。本文总结归纳了典型工业园区废水的特性及污水处理模式,采用文献计量学统计方法,定量分析了当前工业废水主要深度处理技术的研究热点,并深入剖析了工业园区发展存在的问题,多维度阐述工业园区污水处理现状。最后,从园区建设规划、污水处理模式及技术选择、管理实践等角度,为工业园区有效做好污水处理、实现节能降碳提出可行建议。

[关键词] 工业园区;工业废水;废水特性;污水处理模式;深度处理

[中图分类号] X703 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2023)05-0063-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.05.012

0 前言

工业园区既是促进我国区域经济发展的重要平台,也是各类工业产业集群发展的关键载体,但是随着工业园区数量及规模的迅速扩张,工业园区污水处理问题逐渐成为水污染防治的重点和难点,尤其是在一些重点流域的污染问题中,有相当一部分来自工业园区。

由于工业园区聚集的企业类型不同,其排放的废水污染物种类多,成分复杂,致使我国工业园区污水处理面临着诸如污水量大、毒性高,处理难度大;水资源回用率低,未能有效循环利用;运营、监管水平参差不齐等实际问题,极大地增加了工业园区污水处理系统的运维难度。因此,在推动工业园区从“高速增长”向“高质量发展”的转变过程中,平衡环境保护与经济冲突,尤其工业园区污水的有效处理与高效利用,是极其重要的环节。

本文以工业园区污水处理为主旨,探讨了不同类型工业废水的特点及相关水处理工艺,分析了现存问题,并多角度总结了当前工业园区的污水处理现状,以为绿色生态工业园区污水处理体系的工艺设计、运营管理等方面提供参考。

1 工业园区污水处理现状分析

工业园区污水是工业园区内不同行业的企业生产过程中排放的污水的统称,包括企业生产废水、冷却排水及厂区生活污水三种。其中,企业生产废水指工业废水,包括工业生产用料、中间产物和产品以及生产过程中产生的污染物,这些废水如果随意排放往往会对周围的环境和生态造成不可逆的伤害。2021年各行业工业废水化学需氧量(COD)排放情况如图1所示。由图1可知,排放比例较高的是纺织业(印染等)16.3%,其次是造纸和纸制品行业14.0%,化学原料和化学制品制造业(农药、肥皂等)占13.8%,农副产品加工业占10.4%,其他行业(石化、冶金、制药等)占45.6%。

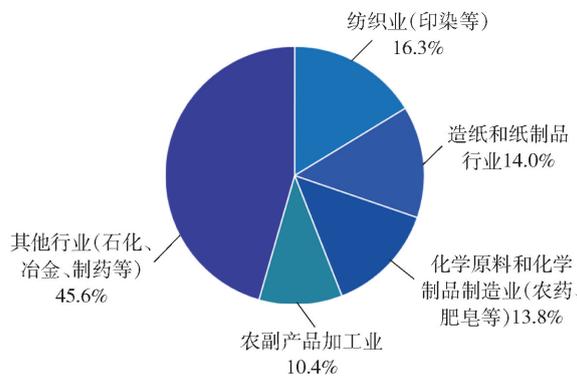


图1 2021年中国各行业工业废水化学需氧量排放情况

1.1 不同工业园区污水特点分析

与市政污水相比,大部分工业园区污水都含有难处理的工业废水,主要特点包括:1)水质成分复

[收稿日期] 2023-05-25

[作者简介] 薛山(1991—),男,江西黎川人,工程师,研究生,主要研究方向为生态环境领域市场投资工作。

[引用格式] 薛山.工业园区污水处理现状与问题[J].绿色矿冶,2023,39(5):63-67.

杂多变,污染物浓度高,尤其盐、有机物含量高;2)水量水质不稳定;3)可生化性较差,一般 $BOD_5/COD_{Cr} < 0.3$;4)具有一定的毒性。因此针对不同工业园区污水情况,园区内污水处理厂应因地制宜,设计相匹配的污水理工艺,从而提高污水处理效果。下文将结合图1的排放情况,详述几种典型的工业园区污水主要污染物种类及处理工艺。

1.1.1 印染废水

印染行业作为纺织工业的重要分支,其产生的印染废水约占纺织工业所产废水总量的80%以上。印染废水的COD浓度高、波动大,各工艺段产生的废水混合后COD平均浓度可达1500~2000 mg/L, BOD_5 为200~400 mg/L, BOD_5/COD_{Cr} 一般小于0.2,处理难度较大。此类废水若未经处理或处理不达标排放,不仅会对生态环境造成严重的破坏,而且会直接影响减排降碳目标的实现。现阶段,印染废水处理及资源化回用技术仍以生物处理技术为主,缺乏较大技术突破,难以实现产业化。

1.1.2 造纸废水

造纸工业整个生产过程耗水量大,因而废水排放量也大。此类废水具有色度高、悬浮物含量高、有机物浓度高、污染负荷大等特点,尤其化学法制浆过程产生的蒸煮废液(称黑液、红液)中含有木质素、糖类、挥发性有机酸等物质,臭味明显,且污染性很强。其中的黑液更是由于碱性大、颜色深、臭味重、泡沫多等特性,被认为是造纸废水中危害最大、污染负荷最高的废水。目前,造纸行业普遍采用以生化为主体的三级废水处理技术。

1.1.3 农药废水

农药废水主要是农药生产过程中的排水、产品洗涤水、设备和车间地面的清洗水^[1]等,主要特点是:1)有机污染物浓度较高,每升合成废水的COD一般大于几万毫克,有时甚至高达几十万毫克^[2];2)具有一定的毒性,通常农药废水中除含有农药原药外,还含有酚类物质、砷类物质,有的农药废水甚至还含有汞重金属物质;3)难生物降解物质多,含盐量高(Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 的含量普遍较高)。目前,国内外的农药废水处理基本采用预处理加生化处理的方法,但生化二级处理方法占地面积大、运行费用高,因此开发简单、运行费用低、处理效果好的新型废水处理方法是当务之急。

1.1.4 制药废水

疫情三年,我国制药行业迅猛发展,制药废水排

放量也随之增加。制药废水大部分为高浓度有机废水,其中最具代表性、污染最严重的当属生物发酵制药、化学制药等产生的高浓度难降解有机废水^[3]。制药废水主要特点是有机物浓度较高,波动较大,成分较复杂多变,且含杂环类、难降解物质多、微生物抑制性强,毒性大,色度深,含盐量高,生化性特别差,且间歇性排放,属难处理的工业废水^[4]。当前制药废水主要以生化法为主,例如“厌氧-好氧”组合工艺、“水解酸化-好氧”组合工艺应用最为广泛。

1.1.5 石化废水

石化废水主要来自石化工业产品,如汽油、柴油、乙烯、甲苯等生产过程中产生的废水^[5],同时还来源于石化工业企业或生产设施区域内被污染的雨水、循环冷却水排污水、锅炉排污水以及生活污水等。石化废水种类繁多,组成复杂,大多含有石油类物质、硫化物、氨类物质、苯系物以及重金属等难生物降解的有毒有害污染物^[6],且在生产过程中,出水水质和水量波动较大,这些特点为该废水的妥善处理提出了挑战。石化废水处理主要以“除油除浊、脱氮脱盐”为主要目标,结合深度处理工艺,例如高级氧化,高效的设备集成是此类废水处理发展的主要方向。

1.1.6 冶金废水

冶金废水主要分为钢铁工业废水(黑色冶金工业废水)和有色冶金工业废水两个大类。钢铁工业中的废水主要来自选矿、烧结、炼铁、炼钢、轧钢、铁合金、冷却、洗涤等工艺工程,而有色冶金工业废水来自选矿、采矿、冶炼、成品加工等工序。冶金废水排放量大、污染成分复杂、浓度高且有时pH值极端^[7]。若处理不当,不仅会造成严重的环境问题,还会增加企业生产成本,产生大量难以回收的有害废渣,给环境带来二次污染,同时废水处理10%~20%的工业稀酸很难重新回到冶金工段,容易造成大量浪费。因此,冶金废水的处理和再利用问题成为冶金行业环保技术关注的焦点。目前对于冶金废水的处理,多采用膜分离技术^[8],但膜工艺对进水水质要求较高,需有相应的预处理技术。除膜工艺外,近些年电化学重金属废水深度处理技术也受到关注。

1.2 污水处理模式

除工业废水的处理工艺技术外,工业园区污水处理模式也在实践中逐步探索改进。目前,我国工业园区废水处理模式基本分为三种情况:单厂处理模式、合并处理模式、集中处理模式。单厂处理模式

是指工业废水通过生产企业自设设施处理;合并处理模式是指工业废水排入周边的城镇污水厂与生活污水共同处理;集中处理模式则是工业园区专门建设工业废水处理厂,集中处理园区内各生产企业所排的工业废水。

据了解,2020年,全国省级工业园区中,依托园区周边城镇污水处理厂进行废水处理、采用合并处理模式的占比约为50%,合并处理模式是目前主要的工业园区污水处理模式。随着环境指标的提高以及区域产业的聚集,建议各工业园区要“因地制宜、因园施策”,优化现有工业废水处理模式。具体模式的选取,应综合考虑企业规模、园区建设、地理空间聚集等因素。

2 深度处理技术

工业园区污水由于其污染物种类多、水质复杂多变且大多含有毒有害物质等特点,仅采用单一处理技术或仅依靠单纯的生活污水处理工艺很难实现达标排放,必须进行深度处理。近年来,工业园区污水深度处理技术的研发和应用已成为行业的热点问题,本文通过文献计量学的分析统计方法,筛选总结了2000年至今主要的深度处理技术研究方向,结果如图2所示。由图2可知,目前研究较多的深度处理工艺主要有微电解、芬顿催化氧化法、膜分离法、臭氧催化氧化法、曝气生物滤池以及机械压缩蒸发。

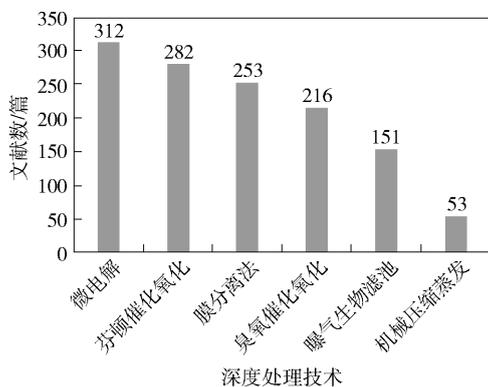


图2 2000—2023年工业废水深度处理技术相关文献统计

2.1 微电解法

微电解法是指不需要外加直流电源的电解,依靠以铁、碳为主的复合填料的电势差形成的原电池体系,通过吸附、氧化还原、电富集等作用机理去除污染物的方法,又称零价铁法、内电解法或铁碳法。该方法可以有效去除水中的钙、镁离子从而降低水的硬度,同时微电解过程中产生的活性氢氧自由基

也可以起到灭菌消毒的作用,铁碳微电解技术已成为工业废水处理领域中常用的工艺方法之一^[9],特别适用高盐、高COD、难降解废水的处理。微电解填料作为微电解法中最重要的部分,在长期运行后易出现填料板结钝化、阴极阳极分离的现象,严重影响处理效果,因此微电解填料的研发和改性是扩大微电解法应用的核心关键。

2.2 芬顿催化氧化法

芬顿催化氧化法主要利用 Fe^{2+} 和 H_2O_2 之间的链式反应产生羟基自由基,进而有效降解各种有毒及难降解有机化合物,具有反应速度快、反应时间短、操作流程简单、反应活性高等优点,而且降解污染物生成的多为无害的 H_2O 、 CO_2 和无机盐等,是重要的高级氧化技术之一。芬顿催化氧化法现已广泛应用于含有大量难降解有机污染物的工业废水^[10]、生活污水的处理工艺中。但值得注意的是,芬顿催化氧化法在实操过程中也存在一些缺点,如产生的含铁底泥较多,造成污泥处置成本费用增加;对污水pH值要求较高,容易造成酸碱药剂浪费等。近年来,鉴于传统芬顿处理技术在实际应用中存在的缺点,在其工艺基础上也衍生出很多新工艺,例如将芬顿试剂中的 Fe^{2+} 替换为其他催化材料,或者将芬顿处理技术与紫外光、电解、微波技术相结合,这些方法被称为类芬顿氧化法,在处理有机废水时也能取得很好的效果。

2.3 膜分离法

膜分离法是以选择性多孔薄膜为分离介质,借助某种推动力(如压力差、浓度差、电位差等)实现选择性分离的技术。该方法具有能耗低、效率高、工艺简便等特点,在环境、化工、生物、食品等行业的工业废水资源化利用中优势显著。最常用的膜有微滤膜、超滤膜、纳滤膜和反渗透膜,在工业园区废水处理中通常采用膜组合工艺,即双膜法,例如“超滤+反渗透”双膜技术处理印染废水、重金属废水效果明显。但膜分离法在实际应用中主要面临对水质条件比较苛刻、膜污染严重、膜组件更换成本高等问题,这些问题已经成为限制膜分离技术进一步发展的瓶颈。通过采用适当的预处理工艺以及研发新型膜材料,可解决膜分离法应用过程的问题。

2.4 臭氧催化氧化法

臭氧催化氧化法也属于高级氧化方法中的一种,其原理是利用臭氧产生的高活性羟基自由基($\cdot\text{OH}$)促使有机物快速无机化。目前,臭氧催化氧

化工艺已被广泛应用于石化、印染、造纸、医药等行业,用以深度处理废水中有毒有害的难降解有机物,同时杀灭水中的病原菌,不产生二次污染,并且能够增加水中的溶解氧含量^[11],被认为是目前最有前景的工业水处理工艺之一。但臭氧氧化法仍存在臭氧利用率低、对难降解污染物矿化率低、设备与运行费用较昂贵等问题,因此在实际应用过程中,往往引入催化剂,用以改善臭氧利用率,提高羟基自由基的产率。

2.5 曝气生物滤池(BAF)

曝气生物滤池属于生物膜工艺的一种,通过填充利于生物富集的载体填料,完成生物降解与吸附过滤过程,从而进化水质,是目前被广泛采用的生物处理方法。生物膜法的主要优点是对水质、水量变化的适应性较强,较适合于工业园区污水处理^[12],尤其对食品加工、酿造、印染等行业有机废水的处理效果显著。曝气生物滤池工艺具有有机物容积负荷高、水力负荷大、水力停留时间短、出水水质高、所需占地面积小、基建投资少、能耗及运行成本低等应用优势,但也存在硝化性能易受有机负荷影响、反硝化过程易受溶氧条件和碳源不足等问题影响的弊端,这些问题需要在生产实践中通过优化运行参数及滤池结构或与其他工艺耦合来改善。

2.6 机械压缩蒸发(MVR)

机械压缩蒸发是利用压缩机提高二次蒸汽的热能回收利用率,循环利用蒸汽热量进而减少对外界热源需求的一种蒸发技术^[13]。MVR蒸发法处理废水范围广,净化效果好,能彻底去除废水中的大部分污染物,并能回收污水中有价值的成分,常用于化工、高盐废水处理。MVR蒸发设备紧凑、占地面积小、能耗低、运行费用低、操作简单等特点使其在蒸发结晶领域备受关注,采用MVR处理高盐废水可以有效避免腐蚀、结垢、起沫等问题。但在实际工程应用过程中,存在初始投资高、生产能力不足、运行不稳定、易垢结焦等问题,在工艺设计时,需综合考虑各种影响因素,降低其运行风险。

3 工业园区污水处理存在问题分析

3.1 园区工业废水排放情况不明晰

工业园区聚集着大量生产企业,其生产性质、工艺、产品均不尽相同,如何准确掌握园区工业废水污染物排放情况,做到有的放矢,对症下药,是实现园区污水有效处理的重要前提。当前,部分工业园区

就存在排污情况难以摸清的困难。究其原因,一是园区规划执行不够明晰,以致于入园企业在性质、产品范围等方面与规划有较大差别;二是园区内的企业生产状况可能缺乏稳定性;三是传统排污监管污染物仅针对化学需氧量、生化需氧量、氨氮等常规指标,观测污水中反映工业园区产业结构和排放特征的污染物。这些原因都会导致污水特征无法被科学评估,一旦园区典型污染物排放情况不明,就容易造成所接收工业废水的处理厂因进水水质、水量的巨大波动而出现运行问题。

3.2 排放指标制定不科学

当前,工业园区的污水集中处理通常采用《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级A标准作为出水指标,但也随之产生了一些问题。其一,工业园区涉及行业类型繁多,污水类型也较多,如印染废水、生物制药废水等,各自有各自的行业排放标准,若行业标准与城镇一级A标准不匹配时,容易出现“超标”排放的问题;其二,绝大多数工业园区对于典型污染物的控制预处理要求不明确,导致园区集中式污水厂采用的处理工艺并不能完全适用于多数工业行业废水的深度处理,从而达到污水排放标准;其三,盲目提标。近年来,越来越多的园区盲目提出污水处理出水达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅳ类或Ⅲ类水质的过高要求,而一般的提标改造主要有两种途径:一是在生物段投加碳源以及除磷药剂,二是末端增加深度处理工艺,这两种方式无疑会增加能耗物耗和人工成本,加之工业废水处理难度本身就相对较大,因此过度追求排放高标准,得不偿失。

3.3 园区监管力度不足

工业园区在建设过程缺少有力监管,污染防治基础设施建设不完善,配套管网覆盖不够,影响污水有效处理。同时,监管部门在企业污水预处理、外排等方面的关注、监督力度有所欠缺,导致部分企业预处理工作落实不到位,存在污水直排、偷排情况。另外,就园区管理、监督而言,主要负责单位较多,如企业是预处理的主要负责对象,预处理的监督主要由环保部门负责,而污水处理终端又由园区管委会或市政部门管理,这种多方监管模式,也可能增加园区污水处理难度。

4 结束语

工业园区是工业企业的集聚区,也是工业废水

排放的集中区,较其他区域,其水环境问题更为突出,因此工业园区的污水处理是水污染工作的重中之重。为有效做好工业园区污水处理,实现节能降碳,从园区整体规划出发,要优化产业结构,严格控制高污染、高能耗、高耗水的项目建设;从园区污水处理模式出发,要强化工业园区污水集中处理设施,提升企业、园区自身的污水处理效能;从园区污水处理技术出发,要以现有工艺技术为基础,推动探索节水减排、污水回用、污泥发电等绿色低碳发展技术组合模式,研发集成低成本、高性能工业废水循环利用装备技术工艺;从园区管理角度出发,要鼓励园区建立废水“分类收集、分质处理、一企一管、一园一策”的精细化与模式化管理体系,强化必要的非常规污染指标监管,构建智能化园区水系统大数据管理平台,降低工业园区运作成本和环境风险。

[参考文献]

- [1] 陈元邦. 农药废水处理的新方向在于资源化[J]. 中国农资,2016(29):21.
- [2] 戎倩云. 2,4-D 农药生产过程中缩合工段废水的处理与资源化[D]. 南京师范大学,2019.
- [3] 李彬,张晨阳,陶伟伟. 制药废水处理技术研究进展[J]. 工业水处理,2022,42(11):7-17.

- [4] 罗勇泉,颜雪明. 制药废水处理方法概述[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2018,39(1):52-56.
- [5] 付丽亚. 石化废水臭氧/曝气生物滤池深度处理工艺与机理研究[D]. 北京:清华大学,2018.
- [6] 宋巍. 浅析应用生物降解处理石油化工废水[J]. 黑龙江科技信息,2016(19):90.
- [7] 邵立南,杨晓松. 有色金属冶炼污酸处理技术现状及发展趋势[J]. 有色金属工程,2013,3(5):59-60.
- [8] 李秒. 冶炼废水零排放处理工艺[J]. 有色冶金节能,2020,36(1):64-66.
- [9] 张帅,赵志伟,彭伟,等. 铁碳微电解技术在水处理中的应用[J]. 化学与生物工程,2016,33(12):14-18.
- [10] ZHANG M H, DONG H, ZHAO L, WANG D X, MENG D. A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective [J]. Science of The Total Environment, 2019, 670: 110-121.
- [11] 杨文玲,王坦. 臭氧催化剂催化机理及其应用研究进展[J]. 应用化工,2020,49(11):2936-2940.
- [12] 崔福义,张兵,唐利. 曝气生物滤池技术研究与进展[J]. 环境污染治理技术与设备,2005,6(10):4-10.
- [13] 瞿瑞,张占梅,付婷. MVR 法处理含盐废水中试研究[J]. 环境工程学报,2016,12(7):3671-3676.

Present Situation and Problems of Sewage Treatment in Industrial Park

XUE Shan

Abstract: Industrial parks involve many kinds of enterprises and industries. The concentration of sewage pollutants discharged is high and the treatment is difficult. It has brought a series of water pollution and various environmental problems for a long time. This paper summarized the characteristics and sewage treatment modes of typical industrial park wastewater, analyzed the research hotspots of the main advanced treatment technologies of industrial wastewater, and deeply analyzed the problems existing in the development of industrial parks, and expounded the current situation of sewage treatment in industrial parks from multiple dimensions. Finally, from the perspective of park construction planning, sewage treatment mode and technology selection, management practice, etc., feasible suggestions were put forward for industrial parks to effectively treat sewage and achieve energy conservation and carbon reduction.

Key words: industrial park; industrial wastewater; wastewater characteristics; sewage treatment mode; advanced treatment