

臭氧催化氧化技术在工业区水质净化厂深度处理中的应用

施震东

(上海市市政工程设计科学研究所有限公司, 上海市 200092)

摘要: 以长江边某工业区水质净化厂为例,通过分析现状水质问题和目标水质要求,针对核心的高级氧化工艺提出了多种试验方案。比选结果表明,臭氧催化氧化技术可显著降低化学需氧量(COD)出水浓度,因此该厂提标最终采用了臭氧催化氧化深度处理方案。依据中试结论,在水力停留时间为60 min,催化剂填充量为30%的条件下,臭氧投加量只需46 mg/L即可取得理想的处理效果,化学需氧量(COD)去除率可达48%以上。相关试验参数和结论可为相似项目的水质提升提供借鉴。

关键词: 臭氧催化氧化;深度处理;水质提升

中图分类号: X52

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0290-04

Application of Ozone-Catalytic Oxidation Technology in Advanced Treatment of Water Purification Plants in Industrial Zones

SHI Zhendong

(Shanghai Municipal Engineering Design Scientific Research Department Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Taking a water purification plant in an industrial zone along the Yangtze River as an example, a variety of test schemes are proposed for the core advanced oxidation process by analyzing the current water quality issues and the target treatment requirements. The comparative result shows that the ozone-catalytic oxidation technology can significantly reduce the effluent concentration of chemical oxygen demand (COD). Therefore, the ozone-catalytic oxidation advanced treatment scheme is finally adopted for the upgrading of this plant. Based on the conclusion of the pilot-scale test, under the condition of hydraulic retention time of 60 min and catalyst filling ratio of 30%, an ideal treatment effect can be achieved with an ozone dosage of only 46 mg/L, and the removal rate of COD can reach over 48%. The relevant test parameters and conclusions can provide reference for the water quality improvement of similar projects.

Keywords: ozone catalytic oxidation; advanced treatment; water quality improvement

0 引言

园区集中设置的水质净化厂作为园区水污染控制的末端保障环节,是实现尾水达标排放和区域水环境污染控制的重要措施。工业厂相较于城镇厂,其特点主要是来自于污水中含有园区特征性污染物质,因此,如何采用效果良好且成本可控的工艺对其进行去除是该类型污水处理厂提标改造的重点。

基于长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”历史背景^[1],本文以长江沿线某工业区水质净化厂提标改造工程为例,介绍了该厂提标改造方案的系统

化梳理过程,并重点阐述了采用高级氧化作为深度处理技术在工程中的技术参数选择和应用。

1 现状问题分析

该水质净化厂设计规模为4万 m³/d,污水来源为新材料产业园、新能源产业园和周边一些中小企业园排放的生产废水。该水质净化厂改造前的排放标准为地方排放标准,本次提标改造排放标准按《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级A标准执行。

该厂水质排放标准和改造前出水水质情况见表1。表中COD为化学需氧量;BOD₅为5日生化需氧量;SS为悬浮物含量;NH₃-N为氨氮含量;TN为总氮含量;TP为总磷含量。

收稿日期: 2025-11-24

作者简介: 施震东(1991—),男,硕士,工程师,从事污水处理、市政给排水、水环境治理等工作。

表 1 水质排放标准与改造前出水水质情况 单位:mg/L

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
改造前出水水质	65	11	20	5(8)	20	0.5
改造前出水水质标准	80	20	70	15	35	0.5
提标改造出水水质标准	50	10	10	5(8)	15	0.5

依据表 1 数据,按照提标改造的出水水质目标对现状水质进行分析。显然,目前出水中 COD、SS 和 TN 是提标改造需要解决的问题。

1.1 COD

根据统计,厂区 1~6 月份 COD 达标率为 30%,7~10 月份达标率为 70%,11 月份达标率为 45%,整体气温低于 12℃时 COD 达标率偏低。表 2 为某段日期的厂区进出水 COD 成分分析结果,其中 SCOD 为溶解性化学需氧量。

表 2 COD 成分分析汇总 单位:mg/L

日期	厂区进水		厂区出水	
	COD	SCOD	COD	SCOD
05-15	201	151	54	51
05-16	399	166	51	49
05-17	165	107	58	43

该厂的水质特点如下:

(1) 进水中 SCOD 占比为 40%~70%,出水中 SCOD 占比达 75%~95%,此类 COD 较难被混凝沉淀等方法去除。

(2) B/C(BOD₅与 COD 之比值)为 0.14~0.30,说明该厂水质可生化性较差。目前该厂主体工艺为水解酸化+AAO+混凝沉淀/磁混凝工艺,虽然水解酸化工艺能提高一定可生化性,但分析排放水质数据可知,目前工艺无法应对新水质标准的要求。

(3) 进水水质成分来源复杂,波动较大,上游来水主要为工业园区污水,经中转提升泵站输送至该厂进行处理。现状监测数据表明,部分厂区排水对本厂难降解 COD 比例贡献较大,如某酒精厂排水占该厂进水量的 10%,难降解 COD 比例达 23%,在进水水质冲击下 COD 难以稳定达标。

针对以上问题,解决思路为提高进水的稳定性、可生化性,并强化深度处理设施的 COD 去除能力。具体方案有:(1)增设调节池和高级氧化预处理单元,对部分含难降解污染物比例高的废水进行高级氧化预处理,以降低能耗和药耗。在此基础上,充分挖掘原处理设施的潜力。(2)末端深度处理增设高级氧化工段,以强化 COD 的去除,并作为出水 COD 达标的保障手段。

1.2 TN 和氨氮含量

现状 TN 达标率约 3%,氨氮含量达标率达 100%。由此可见,反硝化过程不充分是该厂 TN 达标处理的限制性过程。结合 BOD₅数据,发现该厂 BOD₅/TN 失衡,可判断碳源不足是反硝化不充分的主要原因。依据运行数据,应在厂内增加臭氧预氧化单元,保证部分 COD 可以转化为 BOD,同时增加部分可被反硝化菌利用的碳源,补充碳源投放设施,保证反硝化单元的功能。

1.3 SS

SS 现状约 20% 达标率,达标率低,其中无机组分偏高。原厂 SS 采用混凝沉淀+纤维滤布滤池去除,其中纤维滤布滤池运行状况不佳,不能满足出水 SS 的新要求。基于上述原因,深度处理工段可通过臭氧高级氧化后增加末端过滤设施来满足 SS 削减指标。

上述技术路线中,碳源投加和过滤工艺属于常规处理措施,工艺成熟度较高。高级氧化作为项目 COD 达标的核心工艺,考虑其投资和运行成本较高,需要经过进一步试验比选后确定。

2 高级氧化工艺比选

2.1 常规高级氧化技术

目前主流的高级氧化技术包括臭氧氧化^[2]、臭氧催化氧化和芬顿氧化^[3]等,主要是利用强氧化剂对废水中以常规技术手段难以降解的有机物进行处理。目前这一技术已经在较多工程中应用^[4]。臭氧氧化技术特点^[5]是氧化能力强,工艺自动化程度高,基本不产泥,缺点主要是设备采购成本较高,同时臭氧的制备成本也较高;芬顿氧化技术特点是设备投资相对较小,氧化能力极强,缺点是产泥量较大,需要配套污泥处理系统。

综上所述,结合该工程的实际情况和各高级氧化工艺的特点,开展小试对比试验,对臭氧高级氧化和芬顿氧化进行技术比选。

2.2 高级氧化工艺路线比选

该水质净化厂末端运用磁混凝沉淀和常规混凝沉淀 2 种工艺。本次工艺路线比选试验的原水分别采用这 2 种混凝沉淀后出水。依据试验条件的不同分成 3 个组别:纯臭氧组、臭氧+催化剂组和芬顿氧化组,各组别试验条件如下:

纯臭氧组:臭氧通气量 150 mL/min,浓度控制在 80 g/m³,投加时间 30 min。

臭氧+催化剂组:臭氧投加量和时间与纯臭氧组相同,但增加了柱状催化剂。该催化剂经原水充分浸泡后,已消除颗粒活性炭对 COD 吸附的影响;填充比例为 30%,粒径为 2.5~4 mm,柱长为 4~11 mm,年磨损率小于 3%,干堆积密度为 0.47 t/m³,湿堆积密度为 0.85 t/m³,球形系数为 0.825。

芬顿氧化组:pH 值 2~3,双氧水投加量 1 mg/(mg COD), Fe²⁺/H₂O₂=1:2,反应时间 30 min。

工艺路线试验比选结果见图 1。

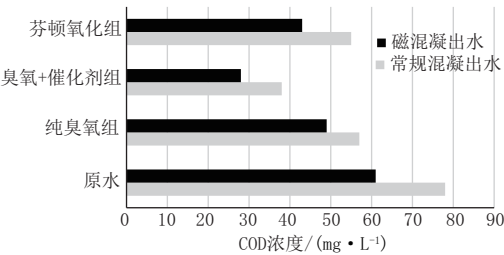


图1 高级氧化工艺出水水质对比

由图 1 可知,针对磁混凝沉淀和常规混凝沉淀废水,3 组试验均获得了一定处理效果。其中以臭氧+催化剂组的处理效果最为理想,处理后 COD 值显著降低,至 30 mg/L 以下(试验结果已排除颗粒活性炭吸附去除的 COD 影响),COD 去除率平均可达 57.8%;芬顿氧化组略优于纯臭氧组,芬顿氧化组 COD 去除率约为 37.2%,纯臭氧组 COD 去除率约为 32%。

由小试结果可知,高级氧化工艺对于该工程水质提升均有明显效果,且臭氧+催化剂的组合显著优于其他 2 组。因此选择臭氧+催化氧化作为本次提标改造高级氧化工艺。

2.3 臭氧+催化氧化中试

基本工艺路线确定后,鉴于臭氧催化氧化极高的运行成本(可占深度处理总成本的 60%~75%),需要进行中试试验,以期在满足达标要求前提下取得处理效果和经济效益的平衡点,也为后续设计规模的确定提供依据。中试试验采用连续流反应器进行,采用同一套设备分别进行低浓度臭氧投加和高浓度臭氧投加对比试验,所用催化剂均经原水充分浸泡以消除颗粒活性炭对 COD 吸附的影响。具体试验参数如下:

低浓度臭氧投加组试验条件为:流量 Q=130 L/h,臭氧投加量 6 g/h,水力停留时间为 60 min,催化剂填充比例 30%,稳定运行 7 d。

高浓度臭氧投加组试验条件为:流量 Q=130 L/h,臭氧投加量 12 g/h,水力停留时间为 60 min,催化剂

填充比例 30%,稳定运行 7 d。
高、低浓度臭氧投加组中试结果见图 2。

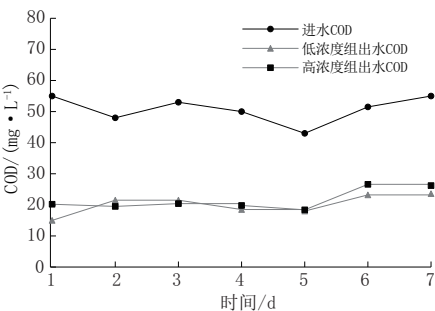


图2 高、低浓度臭氧投加组中试结果

上述试验结果表明,对于 COD 值在 50~80 mg/L 区间的原水,在水力停留时间为 60 min 并投加催化剂的条件下,高浓度组与低浓度组对于 COD 的处理效果有以下区别:

(1)从去除率看,低浓度组与高浓度组的 COD 去除率较为接近,出水 COD 基本可以稳定在 30 mg/L 以下,高浓度组将近 2 倍的投加量并未获得显著的提升效果。

(2)从出水 COD 绝对值看,低浓度组约 46 mg/L 的臭氧投加量已可基本保证出水 COD 降低至 30 mg/L 以下(试验结果已排除颗粒活性炭吸附 COD 的影响,此时计算氧化 1 mg COD 约需要 1.35 mg 臭氧),已优于该工程提标目标,可以保证 COD 出水指标稳定达标。

中试结果对比见表 3。

表 3 中试结果对比			
试验组别	臭氧投加量/ (mg·L ⁻¹)	COD 去除率/%	O ₃ 与 COD 之比/ (mg·mg ⁻¹)
低浓度组	46	48~69	1.35
高浓度组	92	52~74	2.63

3 臭氧接触反应池设计

通过中试试验确定臭氧催化氧化基本方案和工艺参数后,本次提标改造臭氧催化氧化处理反应池具体设计参数如下:

池体设计尺寸为 27.0 m×15.2 m×6.9 m,池型为同向流 3 格接触池,顶部加盖设尾气破坏器;水力停留时间共计 60 min,其中 35 min 反应时间,25 min 滞留时间;催化剂填充量 364 m³,床层高度 2.6 m。臭氧发生器采用液氧源型臭氧发生器,设置 3 台,单台规格为 30 kg/h;臭氧加注量可调范围为 31~93 mg/L,常规加注量为 31 mg/L;氧气源为成品液氧,经空浴汽化器汽化后供给臭氧发生器。

经核算,按4万t/d处理规模,臭氧设备及其配套设备增加的处理成本约为1.24元/t,经济成本在可接受范围内,实施后可减排COD约432t/年,环境效益显著。

4 结 语

(1)对于主要接纳化工废水的水质净化厂,通常难降解COD含量较高,常规生物法很难处理此类COD。此时可考虑在提标改造过程中采用臭氧催化氧化工艺,该工艺污泥量少,副产物少,对有机物的降解能力强,且兼具消毒作用。

(2)对于现状出水COD值在50~80mg/L区间的新材料产业园、新能源产业水质净化厂,臭氧催化氧化技术可显著降低COD出水浓度。依据中试结论,在水力停留时间为60min,催化剂填充量为30%条件下,臭氧投加量46mg/L即可取得理想的处理效

果,COD去除率可达48%以上。

(3)臭氧系统中臭氧发生器的功率较大,30kg/h的臭氧发生器功率可达250~300kW,其运行费用可占深度处理总运行费用的60%~75%。因此对于臭氧设备的选型应进行中试试验确认,并在工程建设运行后根据臭氧接触池进水水质调试臭氧投加量,降低运行成本。

参考文献:

- [1] 翁文林,吕永鹏,唐晋力,等.长江大保护城镇污水处理新模式新机制实践与探索[J].给水排水,2021,47(11):48-53.
- [2] 牟洁.臭氧氧化技术在水处理中的应用研究[J].环境与发展,2018,30(1):81-82.
- [3] 孙志霄.老龄垃圾填埋场渗滤液芬顿-絮凝联合处理工艺优化[J].城市道桥与防洪,2022(5):255-258.
- [4] 张辉鹏.MBR+臭氧+BAF工艺在工业废水处理中的应用[J].城市道桥与防洪,2025(4):300-304.
- [5] 吴晓波,雷文江,杨光,等.无锡市锡山区污水处理厂分厂提标改造方案研究[J].城市道桥与防洪,2023(2):113-115.

(上接第239页)

求,本文研究了梁桥、V型刚构、空腹式梁拱等八种桥式景观设计方案。通过对各方案结构特征、施工方案及景观寓意等多方面综合比选,推荐轨道适应性、经济性、文化表达及景观寓意全方位较为平衡的梁桥方案。本研究提出的多个方案,深度融合了工程技术、美学艺术、地域文化以及自然环境等要素,为高铁穿越风景区的桥梁景观设计提供了极具价值的参考。

参考文献:

- [1] 严士军.桥梁景观CI理论在桥型设计中的应用[J].城市道桥与防洪,2008(2):87-90.
- [2] 陆军.城市桥梁造型景观设计方法[J].城市道桥与防洪,2018(9):31-33;66.
- [3] 穆祥纯.基于传统与创新的法国城市桥梁[J].工程建设与设计,2012(1):66-73.
- [4] 宋桂峰,楼庄鸿,钟文香.我国的预应力混凝土V形支撑桥梁[J].公路交通科技,2003(2):34-38.
- [5] 石海峰.城市V型刚构景观桥设计及分析[J].中国住宅设施,2016(5):64-68.

- [6] 胡继铭,张军,王志君.V型刚构—单肋双肢景观拱桥设计分析[J].福建交通科技,2013(6):45-48;57.
- [7] 沈阿三,王鹏,王勇,等.空腹式连续刚架拱桥墩顶三角区域设计分析[J].公路,2015(11):95-98.
- [8] 赖亚平,闫福成,杨丁.大跨径上承空腹式梁拱组合刚构桥设计关键技术[J].公路交通科技,2024,41(5):69-78.
- [9] 赵秋,陈宝春,郭智勇,等.新月形拱—连续梁组合桥梁结构体系试验研究[J].土木工程学报,2015,48(增刊1):8-14.
- [10] 翟晓亮,刘喆,冯云成.新月形拱—连续梁组合体系桥优化分析[J].公路交通科技,2015,32(3):68-74.
- [11] 秦光祥.合川涪江四桥结构与创意设计研究[J].工程技术研究,2019(20):196-197.
- [12] 孙凯东.梁拱组合体系景观桥梁设计要点分析[J].工程技术研究,2025,10(12):195-197.
- [13] 杨翰超,王向东.京张高铁官厅水库特大桥景观照明创新设计研究[J].铁道勘察,2022,48(4):109-115.
- [14] 李锦,曾勇,陈家勇,等.沱江大桥BIM正向设计[J].中国勘察设计,2022(增刊1):86-89.
- [15] 黄韬.人字形景观独塔斜拉桥设计分析[J].城市道桥与防洪,2020(4):75-78.
- [16] 肖军.拉萨市纳金大桥总体方案设计要点[J].北方交通,2018(10):11-14.