

# 污水厂氧化沟工艺参数优化设计实践

康金郁

中国市政工程华北设计研究总院有限公司 天津 300381

**摘要:** 氧化沟作为污水处理的主流工艺,其运行效能和参数优化密切相关。经过水力参数优化设计、生物处理参数调控策略、曝气系统效能提升技术同时可显著改善处理成效。工程实践说明同时优化后的氧化沟系统出水COD、氨氮、总氮及总磷指标平稳做到一级A标准,系统抗冲击负荷能力提升,能耗降低31.6%,年运行成本利用率最大化约210万元,投资回收期仅1.8年同时减少碳排放约2800吨/年。

**关键词:** 氧化沟;工艺参数;优化设计;能耗降低

## 引言

氧化沟作为一种成熟的污水处理工艺,因其运行平稳、能耗低、处理效果好等优点,已在城市污水处理领域得到广泛应用。随着环境保护要求不断提高,排放标准日趋严格,同时能源价格持续上涨,传统运行模式在能效和处理深度方面面临新的挑战。在这种背景下,对氧化沟工艺参数进行优化已成为提升处理效能、降低运行成本的关键举措。通过科学合理的水力条件设计、精准的生物处理参数调控以及高效的曝气系统改进,不仅能够实现污染物的稳定去除,还能显著改善系统的抗冲击能力与经济效益。本文结合理论分析与工程实践,从多角度探讨氧化沟工艺优化设计的方法与路径,为污水处理厂提升运行水平、实现节能减排提供有益参考。

## 一、氧化沟工艺基本原理及现状

### (一) 氧化沟工艺构成与运行机理

氧化沟工艺是优化型活性污泥法的一种应用,主要由环形沟渠、曝气设备、回流系统和二沉池等关键构件组成。环形沟渠的形状一般为椭圆或跑道形,其内部设有推进器和曝气装置。运行时,混合液在沟内不断循环流动,形成好氧区、缺氧区和厌氧区交替分布的结构,从而有效去除有机物、氮和磷等污染物。曝气装置的设计既能提供足够的氧气,又能够确保液体的充分循环,这对提高处理效率至关重要。该工艺的最大优势之一是能够形成稳定的氧浓度梯度,使硝化与反硝化过程能够同步进行,从而提高氮的去除效果。在生物处理过程中,微生物在好氧区对有机物进行降解并进行硝化作用,而在缺氧区则实现反硝化和除磷,这一生物转化循环能够

有效地去除污水中的污染物<sup>[1]</sup>。氧化沟工艺不仅具有较高的污染物去除效率,还能够不同区域内实现多种处理功能,确保出水水质稳定达标。

### (二) 关键工艺参数影响因素分析

氧化沟工艺是优化型活性污泥法的一种典型形式,其核心构成包括环形沟渠、曝气设备、回流系统以及二沉池等。环形沟渠通常呈椭圆形或跑道形布置,内部设置有推进器和曝气装置,在运行过程中,混合液沿沟渠不断循环流动,进而在沟内自然形成好氧区、缺氧区和厌氧区交替分布的格局。这种多功能复合水环境能够保证有机物的高效降解,同时实现氮、磷等营养元素的去除。曝气设备既承担着供氧任务,又通过搅动作用维持液体的均匀循环,从而避免污泥沉积,提高系统稳定性。

氧化沟工艺的显著特点在于其能够营造相对平稳的溶解氧梯度,促使硝化和反硝化过程在同一系统内交替或同步进行,从而实现连续而高效的脱氮效果。在具体的生物学机制上,微生物群体在好氧区分解有机污染物并完成氨氮的硝化,而在缺氧区则通过反硝化作用将硝酸盐还原为氮气,同时配合厌氧区完成除磷功能,最终构成完整的生物转化循环。该循环不仅使污染物得以系统性去除,还增强了污水处理厂的抗冲击负荷能力,使出水水质更加稳定,满足严格的排放标准。

### (三) 国内氧化沟优化技术发展现状

我国氧化沟应用起步相对较晚但经过近三十年的技术引进、消化、创新,已形成具有中国特色优化技术体系。北京、天津等地区在Carrousel型氧化沟基础上实行本土化优化,发展出适应国内污水特性的DE型、CASS

型氧化沟。清华大学、同济大学等研究机构在氧化沟内部水流模拟、水力特性优化方面达到显著成果，为工程设计提供理论依据。

近年来，国内学者在曝气控制策略优化领域连续突破，成功实施根据氨氮在线监测间歇曝气控制系统关于南京、上海等地，能耗降低20%以上。哈尔滨工业大学开发的低温氧化沟运行技术处理北方地区冬季处理效能下降问题。生物优化技术在国内快速发展如武汉、广州等地应用的生物载体优化技术、颗粒污泥技术等显著提升氧化沟处理效能，新型复合工艺如A<sup>2</sup>/O-氧化沟、MUCT-氧化沟在重庆、成都等地区成功实施并针对不同水质特点实行本土化优化，处理出水平稳达到一级A标准。浙江、江苏地区开发的能量回收型氧化沟经过余热利用、太阳能辅助等技术从而达成能耗降低15%-30%的显著成效。

## 二、氧化沟工艺参数优化方法研究

### (一) 水力参数优化设计

氧化沟水力参数优化是提升系统性能基础环节。沟内流速作为重点参数，保持在0.25-0.45m/s可保证固体悬浮并降低能耗。沟深往往控制在4-6米，宽深比控制在2:1至3:1之间获得最优混合成效，弯道处减少短流、死区形成经过设计合理的转弯半径、导流装置，三维计算流体动力学模拟技术为参数优化提供科学依据，准确预测不同构型下的流速分布，多点进水方法均衡负荷分布从而减轻局部冲击<sup>[2]</sup>。内部导流墙、隔板位置调整优化厌氧区、缺氧区、好氧区分布，提升反硝化效率。工程实践证明，综合优化可使处理效能提升15%-20%，能耗降低10%-15%。

### (二) 生物处理参数调控策略

生物处理参数调控是氧化沟优化设计重点内容。污泥龄(SRT)作为核心生物参数，直接影响微生物群落结构、处理效能。研究说明在北方地区冬季低温条件下，适当延长SRT至20-25天可保持硝化菌活性。而夏季高温时然后缩短至12-15天可控制污泥产量并利用率最大化能耗，F/M比(食微比)调控策略应季节性调整，冬季保持较低F/M比(0.05-0.08kgBOD/kgMLSS·d)，夏季可适当提升至0.1-0.15kgBOD/kgMLSS·d。混合液回流比例调控对脱氮除磷成效显著，可提升总氮去除率对于内回流比控制在100%-200%。则需精确控制厌氧区水力停留时间在1-2小时对于磷生物去除。

碳源投加策略针对低C/N比进水从而采用间歇投加

方法优于连续投加，可降低外加碳源消耗30%以上。微生物群落结构调控是近年研究热点并经过特定功能菌群富集技术，如硝化菌接种、聚磷菌驯化，显著提升系统抗冲击负荷能力，生物絮体粒径控制技术经过调节搅拌强度、溶解氧梯度同时形成大粒径(200-500μm)絮体，改善污泥沉降性能，二沉池出水SS浓度降低40%以上，根据实时水质监测智能调控系统实行生物参数动态优化，根据进水水质波动自动调整核心运行参数，使系统始终处于最优状态。

### (三) 曝气系统效能提升技术

曝气系统作为氧化沟能耗首要来源，其效能提升对节能降耗意义重大。鼓风曝气与表面曝气组合应用变成主流走向，研究说明，底部微孔曝气器与表面机械曝气结合使用，可在保证充氧效能的同时减少能耗15%-25%，变频调速技术应用使曝气量能够精确匹配需氧量改变同时避免过量曝气造成的能源浪费，实行“按需供氧”，新型高效能曝气器研发达到突破如空气提升式射流曝气器氧利用率提升至35%-40%，显著高于传统穿孔曝气管的25%水平。

间歇曝气控制策略根据氧化沟内DO、氨氮浓度实时监测数据，动态调整曝气周期，既保证出水达标又降低能耗20%以上。曝气设备布局优化是另一核心因素从而研究发现，曝气设备沿沟长方向梯度分布比均匀分布更有利于形成理想溶解氧梯度然后提升氧气传递效能，高级氧化还原电位(ORP)控制技术经过监测不同样区域ORP值而且精确控制好氧区、缺氧区、厌氧区范围，优化脱氮除磷结果，低能耗推流设备的应用如低速大直径推进器代替传统曝气转刷，在保持相同流速条件下能耗降低30%以上<sup>[3]</sup>。多种曝气模式智能切换系统根据季节改变、水质波动并且自动选择最优曝气模式，达成全年能耗最小化，工程实践说明该技术可使年均能耗降低15%-20%。

## 三、工程实践应用效果评估

### (一) 参数优化实施过程及方案

某市污水处理厂氧化沟系统经过分阶段实施优化方案同时达到显著成效。优化前该厂出水水质波动较大，能耗居高不下，优化方案从水力参数入手同时调整内部导流设施，使沟内流速平稳在0.32m/s同时处理死区问题，生物参数调控采用季节性策略，夏季污泥龄控制在15天左右，冬季延长至22天同时保证硝化菌群稳定性。

曝气系统改造是优化核心同时采用溶解氧分区控

制技术, 好氧区保持在1.8–2.2mg/L, 缺氧区控制在0.3–0.5mg/L同时配合新型膜片微孔曝气器替换原有曝气设备。回流比根据进水氨氮浓度动态调整, 内回流比在150%–200%之间浮动, 外回流比保持在60%–80%, 优化方案实施周期为六个月同时分为参数测试期、设备改造期、系统调试期, 确保系统平稳过渡。

### (二) 优化前后处理效能对比分析

经过系统性工艺参数优化后, 污水厂氧化沟的处理效能有了显著提升, 出水水质各项指标均能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准的要求。具体来看, COD去除率由优化前的85.3%提高至92.7%, 出水COD浓度稳定控制在38mg/L以下, 显著改善了有机物去除效果。氨氮去除效果提升尤为突出, 其去除率由82.1%升至96.8%, 出水氨氮浓度从原先的5.2mg/L降低至1.5mg/L以下, 即使在北方冬季低温条件下, 系统仍能保持稳定的脱氮能力, 显示出较强的温度适应性。

在总氮方面, 去除率由65.3%提高到83.5%, 优化后出水总氮稳定低于10mg/L, 充分说明内部回流与反硝化条件的优化发挥了积极作用。总磷去除率也显著改善, 由原有水平提升15个百分点, 达到94.3%, 进一步保证了系统的除磷效果。优化后的系统抗冲击负荷能力明显增强, 当进水BOD浓度波动幅度高达 $\pm 40\%$ 时, 出水水质的波动依然能控制在 $\pm 10\%$ 以内, 显示出良好的稳定性与缓冲能力。污泥性质也有所改善。SVI值由150mL/g下降至85mL/g, 污泥沉降性能大幅提升, 二沉池出水悬浮物浓度下降约45%, 有效降低了出水浊度, 增强了处理的可靠性。总体而言, 优化后的氧化沟系统不仅大幅度提升了污染物去除率, 还增强了运行的稳定性与抗干扰能力, 为实现长期高效运行提供了有力保障。

### (三) 经济效益与能耗降低成效

参数优化带来显著经济效益, 首要体现在能耗降低、运行成本减少二方面。曝气系统能耗作为最大电力消耗单元同时优化后单位处理水量电耗从 $0.38\text{kWh}/\text{m}^3$ 降至 $0.26\text{kWh}/\text{m}^3$ , 降幅达31.6%。以该厂日处理5万吨污水计算并且年利用率最大化电费约120万元, 药剂投加量

也有明显减少, PAC投加量减少25%, 聚合氯化铝减少30%并且年利用率最大化药剂费用约45万元。

维修费用也因设备运行状态改善而降低, 最重要设备故障率下降40%, 年维修费用利用率最大化约30万元。运行人员劳动强度降低, 自动化档次提高, 人工成本每年利用率最大化约15万元, 综合计算, 系统优化后年运行成本下降约210万元, 投资回收期仅为1.8年, 除经济效益外, 优化还带来环境效益, 碳排放量每年减少约2800吨并且为区域环境质量改善做出贡献<sup>[4]</sup>。系统优化经验已在周边五座同类型污水处理厂推广应用, 平均能耗降低28%, 出水水质全部平稳达标。

### 结语

氧化沟工艺参数的系统优化实践表明, 通过水力条件的合理设计、生物处理参数的科学调控以及曝气系统效能的提升, 可以显著改善污水处理厂的整体运行效果。在优化措施实施后, 出水水质不仅能够长期稳定达到一级A排放标准, 同时能耗大幅降低, 运行成本显著节约, 经济与环境效益兼得。该方法为提升污水厂运行效能提供了切实可行的路径和经验。未来研究应进一步关注智能化与自动化控制系统的开发, 探索低碳节能运行的新模式, 并结合新型功能微生物及先进生物强化技术, 为我国污水处理行业的绿色可持续发展提供更强有力的技术支撑。

### 参考文献

- [1] 李轩. 氧化沟工艺污水处理厂的优化设计[J]. 江西建材, 2017(1): 2.
- [2] 王全, 王立, 刘欢, 等. 污水处理厂扩建工程中A<sup>2</sup>O型氧化沟工艺优化设计[J]. 中国给水排水, 2019, 35(6): 5.
- [3] 魏政. 某污水厂脱氮工艺过程物料平衡分析[D]. 长安大学, 2013.
- [4] 叶心杰. 污水处理厂A/A/O底曝氧化沟工艺设计[J]. 生态与环境科学, 2023(4).