

城镇污水处理厂提标改造的共性瓶颈与突破策略研究

沈航^{1,2} 杜文龙^{1,2}

1 云南省生态环境科学研究院

2 云南省高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室

DOI:10.32629/eep.v9i1.3035

[摘要] 随着水生态环境保护工作的持续推进,作为重要的点源输入,城镇污水处理厂正朝着提高排水水质标准、减少污染负荷输入转变。当前,大多数的城镇污水处理厂已经能够满足国标要求,但在提标改造过程中,面临着低碳氮比污水脱氮、难降解COD去除、污泥减量等关键技术瓶颈。本文将针对此进行分析,从创新技术、精准管控、完善机制三个方面提出对策,其目的在于为城镇污水处理厂获得高质量发展提供实践参考路径。

[关键词] 污水处理厂; 提标改造; 深度处理; 技术瓶颈; 精准管控; 成本效益

中图分类号: U664.9+2 **文献标识码:** A

Research on common bottlenecks and breakthrough strategies in the upgrading and reconstruction of urban wastewater treatment plants

Hang Shen^{1,2} Wenlong Du^{1,2}

1 Yunnan Research Academy of Eco-environmental Sciences

2 Yunnan Key Laboratory of Pollution Process and Management of Plateau Lake-Watershed

[Abstract] With the continuous advancement of water ecological environment protection efforts, urban wastewater treatment plants, as important point source inputs, are transitioning towards improving drainage water quality standards and reducing pollution load input. Currently, most urban wastewater treatment plants have been able to meet national standards, but in the process of upgrading and renovation, they face key technical bottlenecks such as nitrogen removal from low carbon-to-nitrogen ratio sewage, removal of refractory COD, and sludge reduction. This article will analyze these issues and propose countermeasures from three aspects: innovative technology, precise control, and improved mechanisms. The purpose is to provide a practical reference path for urban wastewater treatment plants to achieve high-quality development.

[Key words] wastewater treatment plant; upgrading and renovation; advanced treatment; technical bottleneck; precise control; cost-effectiveness

引言

我国在2002年开始实施《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002),分别于2006年进行第1次修改、2025年进行第2次修改,实现了从框架搭建到精准升级的转变,促使我国的污水处理事业得到极大地发展,极大地促进了我国污水处理事业的发展。然而,在国家生态保护战略实施的推动下,以一级A为标准的污水处理管理办法已经难以满足当前水环境容量的要求。多地已经出台了更为严格的城镇污水处理标准,以“准IV类”、“准III类”为主,即主要污染物的排放指标需达到地表水IV类乃至III类标准^[1]。但在城镇污水处理厂进行提标改造的过程中,面临着技术困境、效益降低、管理复杂等问题,难以实现水质提升、成本可控的目标。

1 城镇污水处理厂提标改造面临的共性瓶颈

1.1 技术困境

以往实施的二级生物处理技术基本能够满足一级A排放标准,但在提标至“准IV类”、“准III类”时却表现出余力不足的情况。为实现更高水质的目标,污水处理可引入臭氧催化氧化、芬顿氧化、反硝化滤池等深度处理技术,但在实际应用过程中也面临着其他的挑战。城镇污水中的难降解化学需氧量(COD)去除难度较大,通常需要借助臭氧催化氧化、芬顿氧化等深度化学氧化技术,但其应用成本高,且还存在一定的生态风险。比如臭氧催化氧化,其吨水处理成本大约为0.6-0.75元,与常规二级处理工艺相比,其成本增加超过50%,且吨水投资费用可达600-900元。低碳氮比(C/N)也是我国城镇污水的主要特征,部分地区进

水C/N比仅为2.45左右,而反硝化过程所需的适宜C/N比通常为4-5,因而碳源缺口问题突出。为了能够使总磷(TP)的排放值达到更为严格的标准,通常污水处理厂需强化化学除磷技术,导致铝盐或铁盐的使用量增加。虽然这种技术可以使金属离子与磷酸根结合生成不溶性沉淀物,但过量投加药剂会造成污泥产量增加、药剂资源浪费。正因化学除磷药剂的投加量增加,部分污水处理厂的化学污泥产量也随之上升,其增量可达30%-40%。然而,污泥处置的政策和技术大多采用传统方法,这加剧了污泥处置压力,最终造成了泥水失衡的困局。

1.2 效益降低

从效益方面来说,城镇污水处理厂在进行提标改造的过程中,应当遵循“边际效益递减”这一规律,在去除更多污染物的同时确保成本相对可控。如果污水处理厂为了确保出水水质优良而应用膜分离技术,与此同时,也会出现清洗次数增加、耗电量升高、固体废弃物增多等问题。高级氧化技术也是污水处理厂提标改造常用的新技术,但该技术需要应用高能耗设备,其成本也较为高昂。如果城镇污水处理厂通过高投入来降低污染物量,不仅收效甚微,还可能导致成本与效益出现严重失衡。

1.3 管理复杂性

首先,城镇污水处理厂为了实现提标改造的目标,污染物处理系统将会从以往单一流程变成多单元的综合系统,虽然能够保证水质的优良性,但同时也给管理增加了复杂性。比如,多种工艺和技术的综合应用会增加操作难度,或者不同工艺可能出现耦合效应。面对这些问题,污水处理厂则需要借助高度自动化或者智能化的设备,进而对管理人员的专业素养提出更高的要求。

其次,城镇污水处理厂提标改造时,极易忽视排水标准与受纳水体实际环境容量之间的匹配问题,而采用一刀切的提标标准,造成资源的错用或浪费。比如水资源丰富的地区,通常水体的自净能力较强,可以容纳一定的污染物。如果污水处理厂以高标准排放为参照,会导致投入产出比不合理,获得微弱的边际效应^[2]。反之,在缺水地区则需要执行高标准的提标要求,但也需要考虑其水环境容量,一旦污染物超过河流的自净能力,就会引起水体富营养化等问题,造成生态改善效果不佳。



图1 污水处理厂提标改造工程

最后,管网建设落后导致城镇污水处理厂的提标改造会陷

入外水渗、雨污分流不清的困境中。由于地下管网落后或者破损,地下水会渗入污水管网而稀释污染物的浓度,造成碳除磷效率下降。而污水处理厂为了达到污水排放标准,就会增加碳源投入,导致资源浪费等问题。雨污分流不清会导致雨水汇入污水系统,从而导致生化系统受到水力负荷的冲击,出现活性污泥流失、稀释效应加剧等问题。(如图1所示)

2 突破城镇污水处理厂核心问题的策略

2.1 加强技术创新

创新技术是解决提标改造导致成本增加这一困境的主要策略,必须应用智能化手段,挖掘现有工艺的潜能,将以往粗放式技术转变为更加精细化、智能化的模式。以传统的曝气系统为例,可利用模型预测控制和人工智能算法加强曝气系统的精确性,以实现实时的水质水量监测、动态预测需氧量、精准调节鼓风机导叶和阀门开度,达到能耗降低的目标^[3]。比如某地水处理公司使用精确智能曝气系统,将溶解氧浓度从2.5mg/L调整为1.0mg/L,控制精度提升超过60%,鼓风机能耗降低超5%,且碳源投加量也随之减少25%,该公司的年成本节约可达百万元。短程硝化反硝化可将硝化过程控制在亚硝酸盐阶段,同样能够降低曝气量和碳源消耗量。除此之外,积极开发新型催化剂材料是解决电耗高、药剂耗量大等问题的重要途径。比如,使用负载型过渡金属催化剂可提高臭氧的氧化能力,光催化或电催化氧化技术可减少二次污染。在进行膜分离时,应用新型高效模组可降低跨膜压差以减少抽吸泵的能耗,并且还可以应用抗污染涂层减少化学清洗的频率,从而起到减少药耗的作用。

2.2 精细化管控成本



图2 污水处理厂扩容改建

污水处理厂应积极建立单元成本核算模型,改变以往成本失控、定位困难的局面。根据不同的污水处理流程建立多维度的成本体系,比如加装智能电表核算关键设备的单位水量或电耗数据,或对碳源投加点和除磷投加点进行区分核算,或关联分析剩余污泥产量与进水负荷、药剂投加量之间的关系,明确导致污泥增加的关键。通过分析曝气单元的成本和进水水质可以明确是否存在过度曝气的现象,而一旦发现曝气系统失衡则可对其进行调整,从而降低曝气能耗。在控制污泥量与排泥量时,借助单元成本模型了解排泥量与污泥浓度、脱水药剂的成本关系,实现按需排泥,防止污泥处置成本增加^[4]。为了实现精细化成本

管控, 城镇污水处理厂还可以通过提升效率、减少浪费等方式来实现成本效能的最大化, 确保每一笔资金都用在最合适的地方。比如十堰市某城镇污水处理厂, 通过实施“按效付费”机制, 将污水处理费与关键污染物削减量挂钩, 较传统付费方法节约0.25元/吨, 极大地提升了污水处理厂的运营积极性, 也有助于推动污水处理朝着“按效付费”的方向转变。(如图2所示)

2.3 完善管理机制

多工艺耦合会增加城镇污水处理厂的操作难度, 如果单纯依靠经验进行运营管理, 则很难适应其发展方向。针对于此, 城镇污水处理厂应全面促进数字化与智能化转型, 建立全流程的实时控制平台, 并借助在线传感网络对各环节进行自动优化, 以提升运营管理的专业性和智能化。在智能化平台的帮助下, 系统可自动调节各环节的参数, 从而避免人工操作滞后性或不专业性引起的冲突。借助自动化、智能化工具还可以对风险问题进行提前预判, 从而降低污水处理厂运行过程中的风险。与此同时, 污水处理厂也应该注重提升管理人员、操作人员的专业素养, 为相关人员提供专业的培训学习机会。比如, 在引进新设备、新工艺时, 邀请行业专家对操作人员进行实操培训, 确保每位操作人员掌握其规律和标准。如果自身能力一时难以得到提升, 还可以合理利用第三方托管服务解决管理薄弱点。

遵循差异化评估的原则, 根据当地的实际情况进行提标改造, 实现环境与经济效益的平衡。比如, 水资源丰富地区可放宽部分污水排放指标, 利用水体自净能力实现修复, 而缺水或敏感水体流域则应当执行更严格的排放标准, 以促使污水排放后能够转化为区域水资源。在实际应用过程中, 为了能够实现资源的最优配置, 可以建立符合提标改造需求的评估制度, 对已经改造完成的项目进行追踪评价, 从而总结经验, 为后续的管理决策提供指引^[5]。

针对管网滞后对污水处理厂提标改造造成制约的问题, 污水处理厂管理层应当积极对管网系统进行全面排查和修复,

借助新型技术查找外水渗入点, 并及时进行修复和更新改造, 从而提高进水污染物的浓度。通过对管网系统进行改造, 不仅为污水处理厂的生化系统提供了更充足的碳源, 还可以有效减少无效水力负荷, 更符合当前节能环保理念。在难以完全对雨污进行分流的区域, 污水处理厂可建立调蓄水池或截流井收集雨水并暂存, 避免瞬时流量冲击生化系统而造成活性污泥流失。同时, 利用管网空间对水质水量进行调节, 确保进水负荷能够处于平稳可控的范围内, 使污水处理厂在稳定条件下发挥最大效能。

3 结语

城镇污水处理厂的提标改造并非各个单元的简单叠加, 而是需要针对技术、管理等各个环节进行改造的巨大工程。为了适应当前节能环保的理念, 城镇污水处理厂应通过创新技术、管控成本、完善机制等多渠道使污水能够高效、低碳地回归生态环境, 实现人类社会发展与自然环境稳定的和谐。我国当前的污水处理厂提标改造已进入深水区, 未来应致力于智能化、低碳化进行突破, 以促进污水处理行业的转型升级。

[参考文献]

- [1]罗水斌. 城镇污水处理厂提标改造技术的应用分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(18): 159-161.
- [2]常杰, 李贵芝, 席英伟, 等. 城镇污水处理厂提标改造工作的思考与探索[J]. 中国沼气, 2024, 42(04): 38-42.
- [3]田建开, 王文相, 姚峰. 城镇污水处理厂提标改造的对策分析与工程实践[J]. 水处理技术, 2024, 50(02): 135-139+143.
- [4]王磊. 反硝化滤池+臭氧活性炭在高标准城镇污水处理厂原位提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(7): 160-167+182.
- [5]杨洁. 城镇污水处理厂提标改造的思考研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(21): 186-188.

作者简介:

沈航(1991—), 男, 汉族, 云南建水人, 本科, 工程师, 研究方向: 水污染防治。