

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.05.016

# 合流制溢流调蓄处理工艺效果评估及优化对策

史昊然

(中节能国祯环保科技股份有限公司, 安徽 合肥 230088)

**摘要:** 针对初期雨水及合流制溢流水质和水量波动大而引起的调蓄工程处理能力不足、运行能耗高及难以有效收集高负荷合流制溢流污水等问题,通过对不同时期进入调蓄工程的合流制溢流水质和水量特征的分析,结合调蓄工程处理工艺的沿程水质分析,考察了“微砂高效沉淀池+接触氧化池+D型滤池”工艺对合流制溢流的实际处理效果。结果表明,初期雨水及合流制溢流均呈水质和水量波动大、高氨氮、低 COD 的特征,氨氮是调蓄处理工艺出水水质达标的关键指标;同时,生化处理单元进水 COD 浓度低的特征不利于接触氧化池的生物挂膜,降低了工艺的实际处理能力。因此建议:①在接触氧化池后设置混凝加药装置,以保证出水 SS 和 TP 达标排放;②接触氧化池采用多点进水方式,并预留碳源投加装置;③增加精确曝气控制系统,实现节能降耗。

**关键词:** 合流制溢流; 调蓄处理工艺; 初期雨水; 氨氮

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)05-0106-05

## Performance Evaluation and Optimization Solutions of Combined Sewer Overflow Storage and Treatment Process

SHI Hao-ran

(CECEP Guozhen Environmental Protection Technology Co. Ltd., Hefei 230088, China)

**Abstract:** In view of the problems caused by the fluctuation of initial rainwater and combined sewer overflow wastewater quality and quantity, such as insufficient treatment capacity of regulation and storage project, high operation energy consumption, difficulty in effectively collecting combined sewer overflow wastewater with high load, etc, the quality and quantity characteristics of combined sewer overflow wastewater entering into regulation and storage project in different periods was analyzed, and the treatment effect of combined sewer overflow by the combined process of high efficiency fine sand sedimentation tank, contact oxidation tank and D-type filter was investigated through the water quality analysis along the process. The initial rainwater and combined sewer overflow were characterized by large fluctuation of water quality and quantity, high ammonia nitrogen and low COD. Therefore, ammonia nitrogen was the key index for the effluent of storage and treatment process to meet the discharge standard. At the same time, the low COD concentration in the influent of the biochemical treatment unit was not conducive to the growth of biofilm in the contact oxidation tank, which reduced the actual treatment capacity of the process. Suggestions were as follows: a precipitation unit should be set after the contact oxidation tank to ensure effluent SS and TP meeting the discharge standard; multi-point feeding

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07218001)

mode should be adopted in contact oxidation tank, and carbon source adding devices should be reserved; a precise aeration control system should be installed to achieve energy saving and consumption reduction.

**Key words:** combined sewer overflow; storage and treatment process; initial rainwater; ammonia nitrogen

随着城市化进程的加快,生活污水排放量不断增加;与此同时,城市面源污染尤其是初期雨水径流污染也日益严重<sup>[1-3]</sup>。由于受到合流制管网系统以及污水厂处理能力的限制,大量的混合雨污水溢流至受纳水体,给城市河网水系带来严重危害。如何有效控制和削减城市合流制溢流(CSO)污染,已经成为业内许多专家学者关注的焦点。如汉京超等人<sup>[4]</sup>重点研究了不同截流调蓄方案下的合流制溢流污染控制效果;高郑娟等人<sup>[5]</sup>研究了旋流分离技术对初期雨水及合流制溢流的控制效果。现阶段对于初期雨水及合流制溢流的研究往往停留于模型模拟或方案论证,缺乏实际处理工程验证研究,往往难以指导实际运营。

笔者以实际运营的调蓄治理工程为研究对象,通过分析各工艺段对初期雨水和合流制溢流的处理效果以及在运营中存在的 key 问题,提出调蓄处理工艺及运营优化对策建议,以期同类型治理工程的设计与运营提供借鉴。

## 1 调蓄处理工程概述

### 1.1 调蓄工程截流系统概况

该调蓄工程截流雨水汇水区域面积为 13.6 km<sup>2</sup>,汇水区域土地类型以城市住宅和工业园区为主,共设置 4 个截流点进行雨水干管截流,截流污水包括旱季雨水干管错接漏接污水、降雨期城市面源和合流制污水。

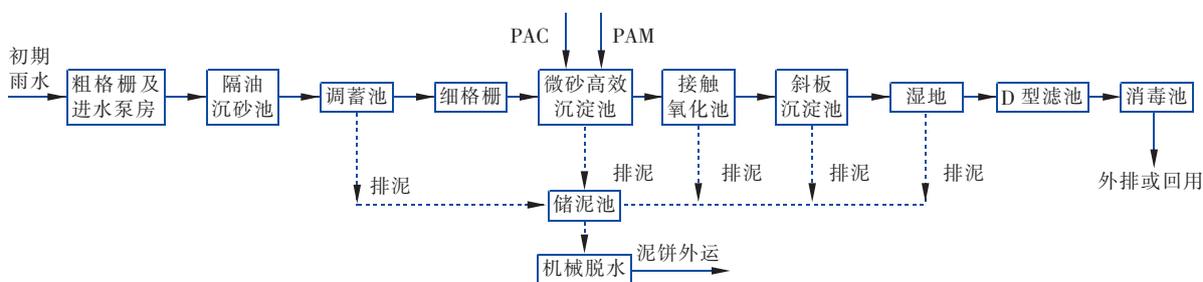


图1 雨水调蓄处理工程工艺流程

Fig. 1 Flow chart of rainwater storage and treatment project

## 2 调蓄工程进水水质和水量特征

### 2.1 旱季特征

常规雨水调蓄工程在旱季状态下调蓄池通常不

### 1.2 初期雨水调蓄设计规模与水质要求

该工程采用 SWMM 模型模拟计算各排口的初期雨水截留水量和初期雨水调蓄池容积。模型中设计暴雨的计算依据该市 1989 年—2008 年共 20 年的自记分钟雨量数据,通过模拟雨水排口截流前后的水质过程线及 COD、氨氮、TP 等污染物指标的排放总量,确定初期雨水设计规模为  $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中截流调蓄管调蓄量为  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、调蓄池调蓄量为  $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,处理水量为  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

设计进水水质指标根据初期雨水水质及辖区污水实际浓度进行分析确定,出水水质指标根据《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》(DB 34/2710—2016)要求,并参照国内类似的初期雨水处理工程进行确定,具体如下:设计进水 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 浓度分别为 200、15、3.5 mg/L,设计出水浓度分别为 40.0、2.0、0.3 mg/L。

### 1.3 处理工艺流程

合流制溢流污染特征显著,表现为水质和水量波动大、污染物浓度高、含有较多的无机沙粒及悬浮物,为有效去除污水中的固体悬浮物、浮油及泥沙,保障后续构筑物正常运行,同时便于长效维护管理,本项目采用“微砂高效沉淀池+接触氧化池+D型滤池”处理工艺,该工艺相对于常规活性污泥法具有更高的抗冲击负荷能力,同时为了满足后续的尾水回用,设置过滤及消毒工段。工艺流程见图 1。

参与使用,直接将污水输送到市政污水管网,并根据调蓄池的实际需求,进行排空反冲洗或者维修检查等操作。该项目具有调蓄处理初期降雨的功能,主

要采用生物接触氧化法,考虑到生物膜的生长需求,在旱季时,需根据进水量(进水泵房液位)及负荷,在保证出水水质达标、生物膜生长良好及调蓄池低液位的条件下,将管网中的污水及时提升至调蓄池进行处理。如图2所示,旱季平均处理量在6000 m<sup>3</sup>/d左右(占设计负荷的40%左右),处理后的出水作为十五里河的补充水源。旱季运行时,管网中的污水主要为生活污水,但区别于常规污水处理厂的进水浓度,主要表现为进水氨氮指标呈现高负荷、COD和TP两项指标为低负荷的特征,平均进水COD和TP浓度分别为设计浓度的60%和72%,平均进水氨氮浓度为设计浓度的1.93倍。

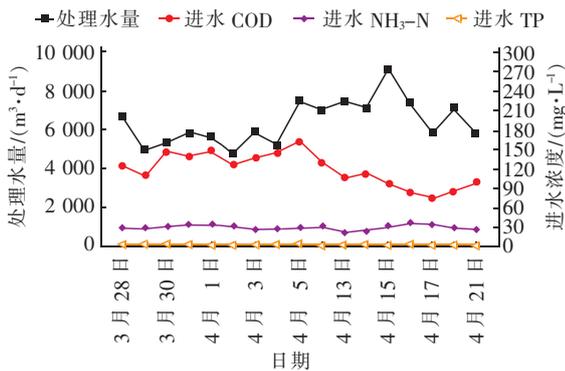


图2 旱季进水水质和水量特征

Fig. 2 Characteristics of inflow water quality and quantity in dry season

旱季运行时需及时关注天气情况,在雨水来临前及时降低调蓄池液位,将污水输送至污水管网,保持调蓄池低水位状态。

### 2.2 降雨期特征

降雨期应同时开启多台进水大泵收集来自地表的初期雨水,在调蓄池液位达到最高液位4.6 m时停止进水,开启设备在保证出水水质达标的情况下满负荷运行。在暴雨时,保证调蓄池满水(及时补充生产降低的调蓄池液位)。当调蓄池达到最高液位时,将多余的初期雨水排入污水管网,防止初雨溢流进入十五里河。运行过程中应根据厂外截流井处雨水水质浓度,及时调整截流井阀门的开关状态,若截流井浓度已低于该工程出水浓度,则及时关闭截流井处进水阀门,反之则打开阀门使雨水流入该工程的主干管,并及时提升至调蓄池。

降雨期雨水根据污染物浓度可分为初期雨水和雨季雨水(持续降雨超过2 d)两种情况,其中,初期雨水由于地表冲刷等因素导致其污染物浓度较高,

而雨季雨水则是连续降雨后由于雨水稀释作用使得其污染物浓度较低。如图3所示,降雨初期处理水量为设计负荷的90%以上,主要原因是降雨初期进水浓度波动较大,其中进水氨氮平均浓度为设计浓度的1.17倍,进水COD和TP平均浓度分别为设计浓度的25%和30%,需在确保出水水质达标的情况下,尽可能满负荷处理初期雨水。雨季雨水的污染物浓度通常较低,一般氨氮浓度不超过10 mg/L,由于目前运行时间较短,主要参考降雨2 d内的数据。

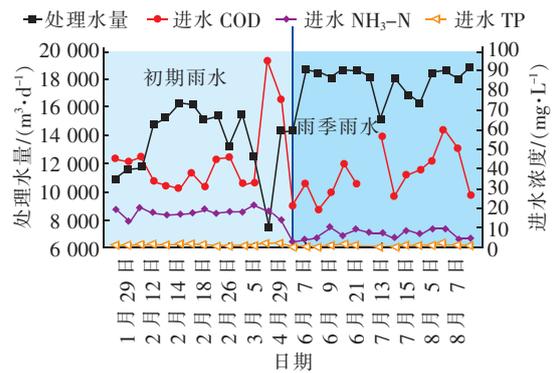


图3 雨季进水水质和水量特征

Fig. 3 Characteristics of inflow water quality and quantity in rainy season

## 3 处理效果分析

### 3.1 COD 的去除效果

COD 的去除效果如图4所示。

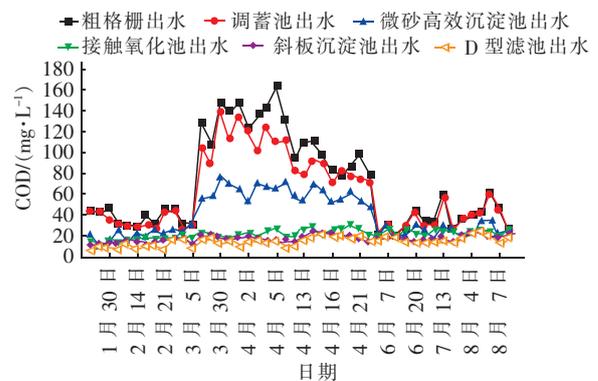


图4 各构筑物单元对COD的去除效果

Fig. 4 Removal effect of COD by each structure

其中,隔油沉砂池及调蓄池、微砂高效沉淀池、接触氧化池、斜板沉淀池、D型滤池对COD的平均去除率分别为12.8%、36.81%、24%、6.7%、4.3%。可知,各单元对COD去除的贡献率从大到小依次为微砂高效沉淀池、接触氧化池、隔油沉砂池及调蓄池、斜板沉淀池、D型滤池;微砂高效沉淀池

对去除 COD 的贡献率较高,其作为生化段的前处理单元,去除了 36.81% 的 COD,降低了生物膜碳源的供给量,成为微生物生长的一个限制因素。因此,在旱季和雨季交替过程及多雨时期,需投加碳源维持生物膜的生长。

### 3.2 氨氮的去除效果

氨氮的去除效果如图 5 所示。经过隔油沉砂池和调蓄池处理后氨氮浓度平均升高 10.9%,说明雨水中存在一定的有机氮,在调蓄池中发生了氨化作用,使得氨氮浓度升高;微砂高效沉淀池对氨氮的平均去除率为 8.5%,而接触氧化池对氨氮的平均去除率达到了 89.7%,斜板沉淀池和 D 型滤池中的氨氮浓度变化较小。由此可知,接触氧化池是发生硝化反应的主要单元。

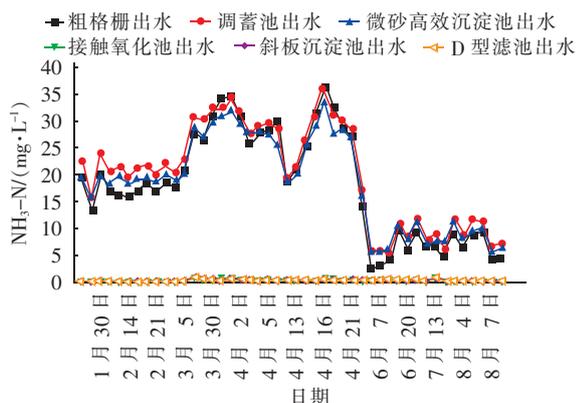


图 5 各构筑物单元对氨氮的去除效果

Fig. 5 Removal effect of ammonia nitrogen by each structure

### 3.3 TP 的去除效果

TP 的去除效果如图 6 所示。

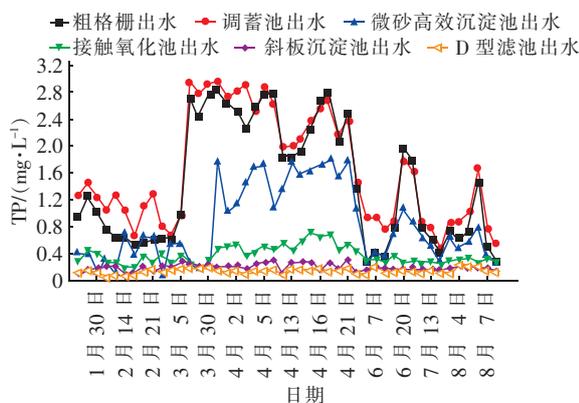


图 6 各构筑物单元对 TP 的去除效果

Fig. 6 Removal effect of TP by each structure

经隔油沉砂池和调蓄池处理后 TP 浓度平均升

高了 13.9%,说明通过截流井汇入调蓄池的雨水中存在影响磷释放的相关物质;微砂高效沉淀池、接触氧化池、斜板沉淀池、D 型滤池对 TP 的平均去除率分别为 57.3%、26.7%、11.0%、4.3%。可知,各单元对去除 TP 的贡献率从大到小依次为微砂高效沉淀池、接触氧化池、斜板沉淀池、D 型滤池,TP 的去除主要通过接触氧化池生物除磷和化学除磷(微砂高效沉淀池、斜板沉淀池)实现。接触氧化池的出水 TP 浓度范围为 0.18~0.73 mg/L,难以满足排放要求,经斜板沉淀池后所有指标均能满足排放要求,但斜板沉淀池出水水质仍存在波动,需经过 D 型滤池深度处理。

综上所述,初期雨水和旱季污水水质存在共同特征,表现为氨氮浓度高而 COD 浓度低。但旱季处理水量较低,当雨季初期处理水量上升时,对接触氧化池的瞬间处理负荷冲击较大;另外,由于微砂高效沉淀池设置在接触氧化池前端,进水中大部分 COD 在微砂高效沉淀池中已被去除,导致后续接触氧化池填料挂膜较难。因此,为了保证生化系统的正常挂膜量,为硝化菌附着提供载体,需要在生化段前端额外投加碳源,提高接触氧化池的硝化能力,保证最终出水水质达标。

## 4 存在的问题及优化建议

① 接触氧化池的出水 TP 难以满足排放要求。为保证出水 TP 的稳定达标,建议在接触氧化池后设置混凝加药装置,通过后续沉淀池的絮凝沉淀和滤池的过滤功能,保证出水 TP 达标排放。

② 在雨季初期,由于处理水量的增加,对接触氧化池的处理负荷冲击较大,为确保接触氧化池的挂膜量和处理效果,建议接触氧化池采用多点进水方式,并预留碳源投加装置。

③ 进水水质波动大,风机风量无法变频调节,不利于节能降耗。建议在设计时考虑增加精确曝气控制系统,根据实际进水水质和水量及时调整接触氧化池的气水比(曝气量),实现节能降耗。

④ 降雨末期雨污混流的氨氮浓度会升高,此时调蓄池的蓄水量仍较多,不能有效收集高浓度负荷污水。建议根据在线水质情况结合 RTC 程序进行截流井闸门的反馈控制,以调高调蓄池对高负荷段雨污混流的收集率。调蓄池运营期间,在处理初期雨水的同时,需要保留部分余量处理降雨末期的雨污混流污水,最大程度降低排入十五里河的污染

负荷。

## 5 结论

① 调蓄工程的进水水质和水量波动大,进水碳氮比失衡。其中,旱季水量少,为保持微生物活性,需处理少量管网污水;雨季水量大,降雨末期存在部分水量不能有效收集处理的现象;旱季进水和初期雨水水质浓度高,且呈现高氨氮、低COD的特征;连续降雨后由于雨水稀释作用,进水水质浓度明显下降。

② 初期雨水和旱季污水水质存在共同特征,即氨氮浓度高而COD浓度低。但旱季处理水量较低,当雨季初期处理水量上升时,对接触氧化池的瞬间处理负荷冲击较大;另外,由于微砂高效沉淀池设置在接触氧化池前端,进水中大部分COD在微砂高效沉淀池中已被去除,导致后续接触氧化池填料挂膜较难。因此,为了保证生化系统的正常挂膜量,为硝化菌附着提供载体,需要在生化段前端额外投加碳源,提高接触氧化池的硝化能力,保证最终出水水质达标。

③ 考虑到调蓄工程的进水水质特征,为保障接触氧化池生物膜的正常生长,建议设计时将接触氧化池采用多点进水方式,并预留碳源投加装置。同时为了保证出水TP达标排放,接触氧化池后段应设置混凝加药装置;并增加精确曝气控制系统,实现节能降耗。

## 参考文献:

[1] 李畅,涂晓杰,秦雅琪,等. 南宁市道路初期雨水径流污染物浓度分析[J]. 环境工程,2017,35(7):70-75.  
LI Chang, TU Xiaojie, QIN Yaqi, *et al.* Analysis of pollutants concentration of initial rainwater in Nanning roads [J]. Environmental Engineering, 2017, 35 (7): 70-75 (in Chinese).

- [2] 张显忠. 合肥市老城区初期雨水污染现状与调蓄策略[J]. 中国给水排水,2012,28(22):38-42.  
ZHANG Xianzhong. Present situation and storage strategy of initial rainwater pollution in Hefei old town [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28 (22): 38-42 (in Chinese).
- [3] 王倩,张琼华,王晓昌. 国内典型城市降雨径流初期累积特征分析[J]. 中国环境科学,2015,35(6):1719-1725.  
WANG Qian, ZHANG Qionghua, WANG Xiaochang. Cumulative characteristics of runoff pollutants in typical domestic cities [J]. China Environmental Science, 2015, 35(6):1719-1725 (in Chinese).
- [4] 汉京超,王红武,刘燕,等. 城市合流制管道溢流污染削减措施的优化选择[J]. 中国给水排水,2014,30(22):50-54.  
HAN Jingchao, WANG Hongwu, LIU Yan, *et al.* Optimization selection of reduction measures of pollutants from combined sewer overflows [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(22):50-54 (in Chinese).
- [5] 高郑娟,孙朝霞,贾海峰. 旋流分离技术在雨水径流和合流制溢流污染控制中的应用进展[J]. 建设科技,2019(3):96-100.  
GAO Zhengjuan, SUN Zhaoxia, JIA Haifeng. Progress in application of cyclone separation technology in pollution control of runoff and combined over flows [J]. Construction Science and Technology, 2019(3):96-100 (in Chinese).

作者简介:史昊然(1982- ),男,安徽合肥人,硕士,高级工程师,研究方向为污水处理、流域治理及运营管理。

E-mail:94622404@qq.com

收稿日期:2020-03-19

修回日期:2020-06-10

(编辑:刘贵春)