

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.18.018

污水处理厂积砂情况分析防治对策

王保贵, 蔺洪永, 刘玉婷, 张玲敏, 冯闪闪, 刘丹, 贾清龙,
杜莉莉

(中原环保股份有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 对某污水处理厂积砂情况进行调研,发现在前置缺氧区、厌氧区、出水口下游和内回流廊道转弯处存在明显积砂,且前置缺氧区和厌氧区积砂最为严重。对积砂的粒径分布进行分析表明,前置缺氧区和厌氧区的积砂中粒径 $>0.2\text{ mm}$ 的分别占48%和51%,其他区域为30%左右。曝气沉砂池除砂效率低,导致大量砂粒进入生物系统,这是造成生物系统积砂的直接原因;而生物系统设计缺陷、混合功率不足是造成生物系统积砂的重要原因。因此,需要实施曝气沉砂池精细化运维,提升沉砂池的除砂效率;增设搅拌设备和导流设施,减少砂粒沉积。

关键词: 污水处理厂; 曝气沉砂池; 沉砂; 粒径分布

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)18-0107-05

Analysis of Grit Sediment in a Sewage Treatment Plant and the Prevention Countermeasures

WANG Bao-gui, LIN Hong-yong, LIU Yu-ting, ZHANG Ling-min,

FENG Shan-shan, LIU Dan, JIA Qing-long, DU Li-li

(Central Plains Environmental Protection Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The grit sediment of a sewage treatment plant was investigated, and it is found that there are obvious grit sediments in the pre-anoxic zone, anaerobic zone, downstream of the outlet and the turning point of the internal return corridor, among which most are in the pre-anoxic zone and the anaerobic zone. The analysis of particle size distribution shows that 48% and 51% of grit particles with size over 0.2 mm are in the pre-anoxic zone and anaerobic zone, and about 30% are in other points. The low grit removal efficiency of the aerated grit chamber leads to a large number of grit entering the biological system, which is the direct cause of grit sediment in the biological system. The structural design defects and insufficient mixing power in biological systems are main causes of the grit sediments. Therefore, it is necessary to implement refined operation and maintenance of aerated grit chamber to improve the grit removal capacity, as well as add mixing equipment and diversion facilities to reduce sand deposits.

Key words: sewage treatment plant; aerated grit chamber; grit sediment; particle size distribution

我国城镇污水处理厂进水的含砂量较高,无机砂粒会加速机械设备和管道磨损,降低设备和管道

使用寿命,增加运维工作量和成本。进入生物系统的无机砂容易在生物池沉积,占用生物池容积,进而

影响污水处理效果^[1-3]。含有大量无机砂的剩余污泥无机质占比可达40%~70%^[4],在采用厌氧消化处理时,会导致污泥产气量不足,发酵罐积砂;而若采用焚烧处置时,高含砂量导致污泥热值下降,增加辅助燃料消耗,且砂粒会加速焚烧炉和烟气处理系统的磨损^[4]。此外,随着用地紧张和邻避效应加剧,建设地下污水处理厂成为北京、上海、广州等大城市的重要选择,而地下污水处理厂设备维护相对困难^[5],需要尽可能降低设备维修工作量,这就对预处理除砂提出了更高的要求。在当前“碳达峰、碳中和”的大背景下,提高污水处理厂预处理段除砂效率,对于提升生物处理和污泥处理系统的工艺设备稳定性和效率,降低损耗,减少碳排放具有重要意义。

然而,由于砂粒对设备和管道的磨损具有长期性,且积砂难以被及时发现,因此其危害较为隐匿。目前,对污水处理厂除砂问题的关注度不足,对污水处理厂除砂和积砂情况了解较少。

选取北方地区某运行多年的污水处理厂作为研究对象,对其生物池的积砂情况和原因进行分析,并就如何防治积砂提出相应的对策建议。

1 污水处理工艺和测试方法

1.1 污水处理工艺

该污水处理厂建成于2012年,设计处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,原水主要为城镇污水,含有少量工业废水。进水经粗细格栅、曝气沉砂池后进入生物池,然后经沉淀过滤消毒后回用,工艺流程如图1所示。



图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

其中,生物池分为两个平行系列,选取其中一个系列作为调研对象。该生物池采用改良氧化沟工艺,前置缺氧区、厌氧区、缺氧+好氧区的水力停留时间分别为1.5、1.5、16.8 h。30%~40%的进水与回流污泥一起进入前置缺氧区,60%~70%的进水直接进入厌氧区,污泥回流比为80%~100%。在冬季大修期间,对生物池各廊道的积砂情况进行调研并采样分析,同时采集了曝气沉砂池砂水分离器出

砂样本。

1.2 仪器设备

电子天平(梅特勒ME4002E)、电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒BGG-9035A)、标准筛、马福炉(天津中环SX-G36133)。

1.3 测试方法

积砂粒径分布分析:选用10、20、40、60、80、100、200目的标准筛,积砂洗净后烘干至质量恒定,然后用标准筛筛分。

2 结果分析

2.1 积砂点位分布

积砂点位分布见图2。

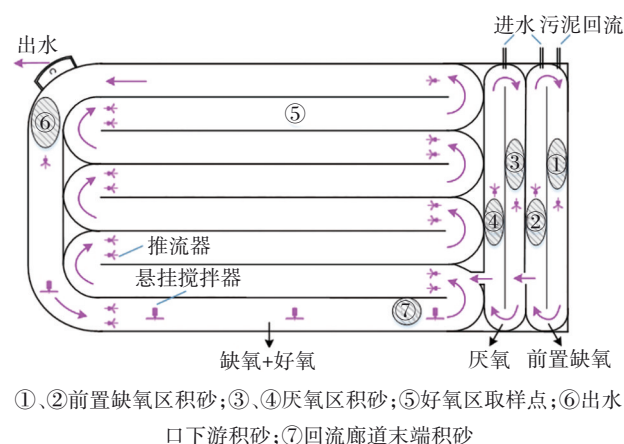


图2 生物池布置及积砂位置

Fig.2 Layout of the biological tank and the points of grit sediment

该生物池积砂位置集中在前置缺氧区、厌氧区、出水口位置和内回流廊道末端。前置缺氧区由两个相同的廊道组成,两个廊道内各有一处砂堆,均位于推流器上游紧挨推流器的位置。砂堆中间高两头低,总长度约6 m,宽度方向占满整个廊道,最高处超过1.5 m。厌氧区的积砂情况与前置缺氧区类似,砂堆位于潜水推流器后方紧挨推流器的位置,砂堆长度近8 m,最高处达2 m,宽度方向占满整个廊道。在出水口下游同样存在积砂,积砂高度约1 m,长度约10 m,宽度方向基本占满整个廊道。此外,内回流廊道末端也存在一堆积砂,高度和长度均较小,其形状似半个倒扣的碗。各好氧区由于曝气的搅动没有明显的砂堆,但在停止曝气后,仍有砂沉淀下来。

2.2 积砂粒径分布

在各积砂点位进行取样,同时增加好氧池(位

置⑤)底泥和曝气沉砂池砂水分离器后出砂样品,将前置缺氧区的两个积砂点和厌氧区两个积砂点的样品混合后作为该区样品。对各样品的砂粒粒径分布进行测定,结果如图3所示。

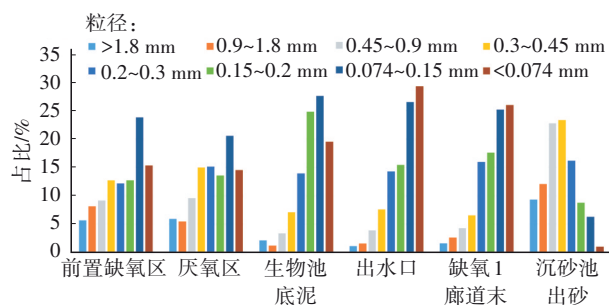


图3 各积砂砂粒样品的粒径分布

Fig.3 Particle size distribution of grit samples at each sampling point

由图3可知,在前置缺氧区内粒径 >1.8 mm、 $0.9\sim 1.8$ mm和 $0.45\sim 0.9$ mm的砂粒占比分别为5.7%、8.2%和9.2%,粒径为 $0.2\sim 0.45$ mm的砂粒占比均为12.2%~12.8%。在厌氧区,粒径 >1.8 mm、 $0.9\sim 1.8$ mm和 $0.45\sim 0.9$ mm的砂粒占比分别为6%、5.5%和9.6%,粒径 <0.45 mm的砂粒占比比较均匀,介于13.6%~20.6%之间。对于好氧池底泥、出水口积砂和回流廊道末端积砂,砂粒粒径分布基本一致,质量占比随粒径减小而上升,其中粒径 >0.45 mm的砂粒占比分别为7%、7%和9%,显著低于前置缺氧区和厌氧区,最大占比在粒径为 $0.074\sim 0.15$ mm和粒径 <0.074 mm区间内。由图3还可知,对于沉砂池出砂,各粒径范围的积砂质量占比近似呈正态分布,粒径介于 $0.3\sim 0.45$ mm的砂粒占比最大,其次为 $0.45\sim 0.9$ mm的砂粒,占比分别为23.3%和22.8%。

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021),沉砂池以去除相对密度 >2.65 、粒径 >0.2 mm的砂粒为主要目标。本系统曝气沉砂池出砂中粒径 >0.2 mm的砂粒占比超过84%,在前置缺氧区和厌氧区该比例分别为48%和51%,在生物池底泥、出水口和内回流廊道末端该比例分别为28%、29%和31%,表明该污水处理厂曝气沉砂池虽然能去除粒径 >0.2 mm的颗粒,但是效率有限,有相当部分的粗砂(粒径 >0.2 mm)进入了生物系统。此外,粒径分布结果表明,进入生物系统的大颗粒无机砂最先在前置缺氧和厌氧区沉积。

3 生物系统积砂原因分析

3.1 曝气沉砂池运维不够精细,除砂效率低

该污水处理厂曝气沉砂池按照设计停留时间为5 min,以去除粒径 >0.2 mm的砂粒为主要目的。然而,对生物池内积砂的粒径分布进行分析可知,粒径 >0.2 mm的砂粒在前置缺氧区和厌氧区内占比约为50%,其他区域的占比约为30%,占比均较高。这表明该曝气沉砂池效率不高,导致大量粗颗粒进入生物池。分析原因:首先是设计水力停留时间较短。根据德国污水处理规范,建议曝气沉砂池的停留时间(HRT)旱季时为20 min、雨季时为10 min^[6]。该曝气沉砂池设计停留时间相对较短,也是我国污水处理厂的普遍现象。其次,该厂曝气沉砂池的曝气引自生物池曝气系统,未设置流量计和变频调节设备,不能根据进水量变化情况及时增减气量,难以满足曝气沉砂池对气水比的控制要求。第三,污水处理厂注重吸砂机等机械设备是否正常运行,但对于提砂量、分砂效率、除砂效率等参数关注较少,不能根据数据及时调整或更换相关设备^[2,4,7]。

3.2 生物系统内混合功率不足

该污水处理厂在预缺氧和厌氧区安装了4台潜水推流器($N=3.5$ kW),在缺氧+好氧区共安装了16台潜水推流器($N=4.5$ kW)。预缺氧区和厌氧区的有效容积均为 $3\,125\text{ m}^3$,则平均混合功率为 2.24 W/m^3 ;缺氧+好氧区的总有效容积为 $35\,000\text{ m}^3$,平均混合功率为 2.06 W/m^3 。根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021):缺氧区和厌氧区的机械混合功率宜为 $2\sim 8\text{ W/m}^3$,并根据实际情况进行调整。由此可知,该生物系统推流器是按照最低混合功率要求设置的。由于推流器功率较低,砂粒进入生物系统后,在推流力量较弱的位置沉积下来,这就是预缺氧区、厌氧区的积砂主要集中在紧邻推流器上游区域的原因。混合液(1.8~2.0倍的进水量)经出水口流入二沉池后,回流廊道内混合液流速突然下降,而该区域混合功率较低,砂粒易在内回流廊道内沉积,且在流速开始下降区最为严重(图2⑥)。

3.3 生物处理系统构筑物设计存在缺陷

首先,该污水处理厂的內回流廊道的宽度与好氧区廊道宽度相等,导致混合液在经过生物系统出水口后流速突然下降,这是內回流廊道内易出现砂粒沉积的內在原因。其次,內回流廊道末端转弯处

未设置导流墙,廊道内侧流速下降最大,容易产生砂粒沉降,这是内回流廊道末端靠中心隔墙处(图2⑦)存在积砂的重要原因。此外,厌氧池的出水口未设置导流设施,其出水与内回流廊道混合液在此处垂直相汇,回流混合液的流动受阻,加剧了砂粒沉积。

4 污水生物处理系统积砂防治策略

4.1 延长曝气沉砂池HRT

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2006),曝气沉砂池“最高流量时的停留时间应大于2 min”,《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)将该要求调整为“停留时间宜大于5 min”。而至“十三五”末,我国污水处理率已超过97.5%,因此我国污水处理厂曝气沉砂池的HRT普遍为2~5 min,停留时间较短^[8-9]。平流沉砂池或旋流沉砂池也存在类似问题^[10]。若雨水混入污水管道,则沉砂池的水力停留时间会更短,同时还会增加进水的含砂量。2021年郑州“7·20”特大暴雨后,部分污水处理厂的有机质占比最低降至20%。实际调研还发现,有的污水处理厂曝气沉砂池连续多年不出砂却找不出原因,亦有污水处理厂出砂量明显小于设计出砂量。

因此,对于新建污水处理厂,尤其是未设置初沉池的污水处理厂和地下、半地下污水处理厂,应该根据试验和同类污水处理厂实际运行情况,适当延长沉砂池HRT。对于已有污水处理厂,若条件允许,可开展扩建改造。同时,污水处理厂在运营过程中,应对沉砂池实施精细化运维,曝气沉砂池宜单独供气并安装变频调控设备,实现曝气量与进水量联动,保证合适的气水比。应定期监测沉砂池提砂、分砂和除砂效率并不断优化相关运行参数^[2, 4, 7, 11],及时调整或更换机械设备,保障沉砂池的高效运行。苏东霞等^[7]通过增加曝气沉砂池的气量调节阀并将气水比控制在0.12,优化提砂泵控制方式,增设旋流分离器等改造措施,使得曝气沉砂池的除砂效率提高30.0%。

4.2 合理设置推流器

污水处理厂由于预缺氧区或厌氧区是最先承接进水的区域,也是接收污泥回流的最常用区域,该区域内混合液中无机质含量最高,最易出现砂粒沉积,因此应该提高设计混合功率,不应按照标准规范的最低要求进行设置。在流速出现下降的区

域,也应该提高混合功率,尤其是流速下降的初始位置。该污水处理厂在内回流廊道内增设了4台悬挂式搅拌器,该区域由于流速下降易积砂,但调研发现除积砂点⑦外,其他区域均未见明显积砂,说明提高混合功率可较好地防止砂粒沉积。建议后续在预缺氧区、厌氧区、生物系统出水口增设搅拌器,以减少砂粒沉积。

4.3 优化生物池结构设计

建议在内回流廊道末端转弯处设置导流墙,平衡弯道内外侧流速差;在厌氧区混合液出口处设置导流墙,避免两股混合液的垂直交汇。此外,对于类似的工艺,建议在设计时将内回流廊道宽度降低,保证混合液在生物系统出水口后流速稳定,从而减少砂粒沉积。

5 结论

截至2021年底,我国已有超过50%的城镇污水处理厂运行超过10年。随着污水处理厂运行年限的增加,生物系统内积砂问题开始显现,但由于其具有隐匿性而尚未受到广泛关注。预处理除砂设施效率低、生物系统混合功率不足和结构设计缺陷等是造成积砂的主要原因,实施沉砂池精细化运维、合理布设搅拌设备和导流设施是减少砂粒沉积的重要措施。同时,还应该不断提升污水管道质量和管网施工水平,减少渗漏和雨污混接,从源头降低进水含砂量;而在末端治理领域,需要加强积砂清理与资源化利用技术装备开发,提升积砂利用价值。

参考文献:

- [1] 罗本福,周鹏飞,宁海燕,等. 污水厂沉砂池气提式提砂效率提升实验研究[J]. 应用化工, 2021, 50(10): 2691-2694, 2705.
LUO Benfu, ZHOU Pengfei, NING Haiyan, et al. Analysis and discussion on the sand removal efficiency of air-lift type in the grit chamber[J]. Applied Chemical Industry, 2021, 50(10): 2691-2694, 2705 (in Chinese).
- [2] 辛立伟,李波,吴光学,等. 曝气沉砂池除砂效果的影响因素[J]. 净水技术, 2017, 36(8): 13-19, 31.
XIN Liwei, LI Bo, WU Guangxue, et al. Influencing factors on sand removal efficiency in aerated grit chamber[J]. Water Purification Technology, 2017, 36(8): 13-19, 31 (in Chinese).
- [3] 范荣桂,王权程,李巍,等. 城市污水处理厂提标改造

- 工程实践[J]. 中国给水排水, 2015, 31(4): 88-91.
- FAN Ronggui, WANG Quancheng, LI Wei, *et al.* Upgrading and reconstruction project practice of a municipal sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(4):88-91 (in Chinese).
- [4] 谭学军,王磊. 我国重点流域典型污水厂污泥处理方式调研与分析[J]. 中国给水排水, 2022, 38(14): 1-8.
- TAN Xuejun, WANG Lei. Investigation and analysis on the treatment and disposal methods of typical sewage treatment plant sludge in China's key river basins [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(14): 1-8 (in Chinese).
- [5] 邱维. 地下污水处理厂风险分析及对策探讨[J]. 中国给水排水, 2017, 33(8): 32-34.
- QIU Wei. Risk assessment and solution proposal of underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(8): 32-34 (in Chinese).
- [6] 潘伯寿. 德国污水处理技术的新进展[J]. 中国给水排水, 1997, 13(5): 27-30.
- PAN Boshou. New development of wastewater treatment technology in Germany [J]. China Water & Wastewater, 1997, 13(5): 27-30 (in Chinese).
- [7] 苏东霞,刘学锋. 某污水处理厂曝气除砂系统提质增效改造研究[J/OL]. 净水技术, [2022-10-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1513.TQ.20220808.1628.002.html>.
- SU Dongxia, LIU Xuefeng. Study on optimization and transformation of aeration sand removal system in a WWTP [J/OL]. Water Purification Technology, [2022-10-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1513.TQ.20220808.1628.002.html> (in Chinese).
- [8] 李春光. 城镇污水处理厂沉砂池设计探讨[J]. 给水排水, 2014, 40(z1): 210-212.
- LI Chunguang. The discussion on the design of grit chamber in urban sewage treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(z1): 210-212 (in Chinese).
- [9] 孙晶晶,羊鹏程,鲍立新,等. 曝气强度对曝气沉砂池运行效果的影响分析[J]. 中国给水排水, 2013, 29(21): 55-57.
- SUN Jingjing, YANG Pengcheng, BAO Lixin, *et al.* Influence of aeration intensity on operation of aerated grit chamber [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(21):55-57 (in Chinese).
- [10] 欧进浩,李明. 曝气沉砂池的升级改造[J]. 中国给水排水, 2014, 30(2): 80-81.
- OU Jinhao, LI Ming. Upgrading and reconstruction of aerated grit chamber [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(2): 80-81 (in Chinese).
- [11] 李佟,崔春玥,郝凤玲,等. 曝气沉砂池除砂效果分析与优化研究[J]. 给水排水, 2017, 43(2): 45-48.
- LI Tong, CUI Chunyue, HAO Fengling, *et al.* Analysis and optimization of sand removal efficiency of aerated grit chamber [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(2):45-48 (in Chinese).
- 作者简介:王保贵(1988-),男,山东临沂人,博士,工程师,主要研究方向为污水处理与水污染控制。
E-mail:baogui19@163.com
收稿日期:2023-01-28
修回日期:2023-03-23

(编辑:衣春敏)

尊法学法守法用法, 治水管水兴水护水