

“清时捷”供排水企业运行及管理成果专栏

楚金喜,吕丹,贾清龙,等. 活性污泥重金属中毒的工艺调控方法与对策[J]. 净水技术,2022,41(1):166-172.

CHU J X, LÜ D, JIA Q L, et al. Process control and solutions for activated sludge poisoning caused by heavy metals [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(1):166-172.



扫我试试?

活性污泥重金属中毒的工艺调控方法与对策

楚金喜¹,吕丹^{1,*},贾清龙¹,王保贵¹,许颖²

(1. 中原环保股份有限公司,河南郑州 450000;2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院,黑龙江哈尔滨 150000)

摘要 重金属中毒后,活性污泥的代谢活性会迅速下降,污水处理厂污染物去除效能会显著降低,严重时造成系统崩溃。中部城市某一污水处理厂发生活性污泥重金属中毒事件后,针对污泥中毒特征进行了详细分析,并采取增加曝气量、控制进水量、调节污泥回流量和剩余污泥排放量、投加外碳源等综合应对措施,可快速恢复污泥活性,使系统正常运行。文中对该事件中活性污泥重金属中毒特征和污水处理厂采取的工艺调控措施进行了分析和总结,可为我国污水处理厂应对类似事件,维持稳定运行提供有效借鉴。

关键词 污水处理厂 活性污泥 污泥中毒 进水异常 工艺调控

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2022)01-0166-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.01.026

Process Control and Solutions for Activated Sludge Poisoning Caused by Heavy Metals

CHU Jinxi¹, LÜ Dan^{1,*}, JIA Qinglong¹, WANG Baogui¹, XU Ying²

(1. Zhongyuan Environmental Protection Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;

2. School of Environmental Engineering Harbin Institute of Technology, Harbin 150000, China)

Abstract After heavy metal poisoning of activated sludge, the metabolic activity of activated sludge will decrease rapidly, the pollutants removal performance of sewage treatment plant will reduce significantly, and the system will collapse in severe cases. During an sludge heavy metal poisoning incident occurred in a sewage treatment plant at a central city, the characteristics of sludge poisoning were analyzed in detail, and comprehensive countermeasures including the increase of aeration rate, influent control, regulation of sludge recycle flow and excess sludge discharge, and the addition of external carbon source were taken. Metabolic activity of sludge were quickly restored, and sewage plant returned to normal operation. This article analyzed and summarized the characteristics of activated sludge heavy metal poisoning in incident and process control measures adopted by sewage treatment plant, which can provide an effective reference for other sewage treatment plants to cope with similar incidents and achieve stable operation.

Keywords wastewater treatment plant(WWTP) activated sludge sludge poisoning abnormal influent process control

随着我国城镇化建设进度的不断加快,国家各

级政府及相关部门加强了对城市污水处理的重视程度,加大了对污水治理的资金投入和力度,国内各个城市对不同种类污水的处理设施也逐渐完善,但由于城市旧城区的规划、人为的部分排放等,工业废水在一定程度上仍有混入城市生活污水处理系统的风险。近年来,活性污泥法因其去除率高、处理成本较

[收稿日期] 2021-02-03

[作者简介] 楚金喜(1987—),男,工程师,主要从事城市污水运营管理工作,E-mail:chujinxi@cpepgc.com。

[通信作者] 吕丹(1991—),女,工程师,主要从事城市污水运营管理工作,E-mail:lvdan@cpepgc.com。

低,成为城市污水处理的最主要方法^[1-2]。在活性污泥系统内,微生物在新陈代谢过程中大量消耗污水中的可降解有机物、去除氮磷,实现污水净化。但是活性污泥系统在运行过程中,易受到外界环境和进水水质的影响,如低温、金属离子和有毒工业废水等^[3-7]。其中,矿冶、化工、电子、仪表等工业在生产过程中会排出含重金属的废水,流入排水管网并最终进入污水处理厂,会引起活性污泥中毒,从而显著降低污染物去除效果^[8-10]。目前,国内外对此的研究主要集中在调查特定金属离子对活性污泥系统的影响^[11],并根据试验结果得出金属离子的抑制浓度,以及对重金属污泥中毒后的指标测定等。但对重金属中毒前期,根据工艺指标形成预警机制以及中毒后工艺恢复综合措施的研究仍旧较为薄弱。因此,降低重金属废水对活性污泥的影响、及时恢复污泥活性,成为污水处理厂的重要工作内容。本文以河南某污水处理厂为研究对象,重点介绍了活性污泥重金属中毒事件中前期工艺指标的波动和水厂采取的综合应急措施,以及恢复后如何形成系统的预警机制及恢复的具体流程,可为污水处理厂运行中

处理同类事件提供借鉴。

1 污水处理厂基本情况

1.1 污水处理厂基本信息

该污水处理厂位于河南省中部,处理规模为 10 万 t/d,出水执行《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 908—2014)中的郑州市排放限值。该厂进水中工业废水占比约为 5%,采用改良氧化沟处理工艺,工艺流程如图 1 所示。生物处理单元分为 3 个系列,正常运行时污泥浓度维持在 $(4\ 500 \pm 500)$ mg/L,水力停留时间(hydraulic retention time, HRT)、污泥停留时间(sludge retention time, SRT)和污泥回流比分别为 10 h、20 d 和 60%,污泥容积指数(sludge volume index, SVI)维持在 (45 ± 10) mL/g。该污水厂为城镇污水处理厂,来水主要为城镇生活用水,实际运行平均进水化学需氧量(chemical oxygen demand, COD_{Cr})为 (250 ± 50) mg/L,其五日生化需氧量(biological oxygen demand, BOD_5)为 (125 ± 20) mg/L,可生化性良好,进水总磷(total phosphorus, TP)为 (5 ± 1.5) mg/L,进水氨氮(ammonia nitrogen)为 (45 ± 10) mg/L。

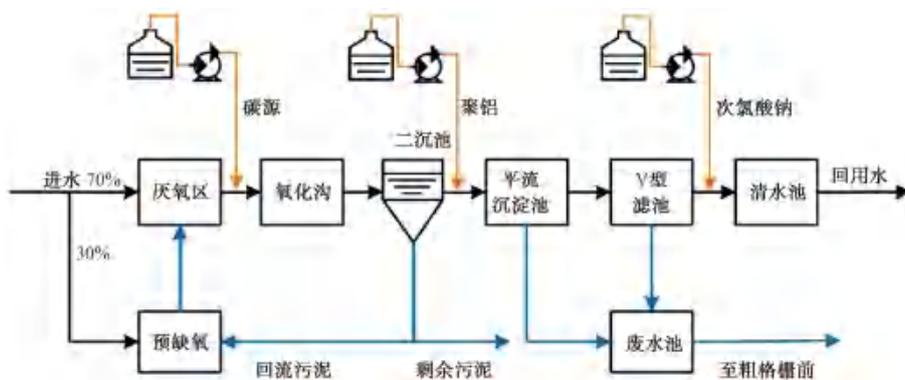


图 1 污水处理工艺流程图

Fig. 1 Schematic Diagram of WWTTP

1.2 水质分析方法

氨氮、TP、总氮(total nitrogen, TN)、悬浮物(suspended solids, SS)、 COD_{Cr} 均采用在线监测系统测定,测定方法均为标准方法^[12]。铅、铬、铜和镉等金属元素采用等离子发射光谱仪测定(Thermo Fisher, ICAP7200, 美国),砷和汞采用原子荧光光度计测定(普析 PF32, 北京),溶解氧(dissolved oxygen, DO)采用在线监测设备测定(HACH, DY3000, 美国),显微镜观察采用 Olympus CX31 显

微镜(日本)。

2 污泥中毒判断与现象表征

2019年6月—2020年3月,该污水处理厂先后多次出现进水异常事件,以2019年7月为例,异常当天在精准曝气运行模式下,生物池DO急剧升高,污泥沉降性变差。取样做微生物镜检,发现原生动物及后生动物活性较差;现场采样测试分析,发现生物池出水氨氮浓度升高,经验表明污泥已中毒,后续依据实际情况进行相关工艺调控后恢复。本节主要

介绍污泥中毒的判断及具体中毒现象的表征。

2.1 DO 显著升高

城市污水处理厂运转过程中需向生物反应池内曝气, 活性污泥利用曝气提供的 DO 进行新陈代谢, 实现氧化分解有机物、氧化氨氮等目的^[13]。根据脱氮除磷理论指导及实际运行监测, 该厂通常将生物池好氧段 DO 控制在 2 mg/L 左右。活性污泥遇到有毒废水冲击时, 其新陈代谢受到抑制甚至停滞, 对反应池内 DO 的利用效率下降, 在同等曝气条件下, 生物池内的 DO 会快速升高, 基于该现象, 陈亚松等^[14]以 DO 为指示参数, 用于污泥中毒事件的预警。

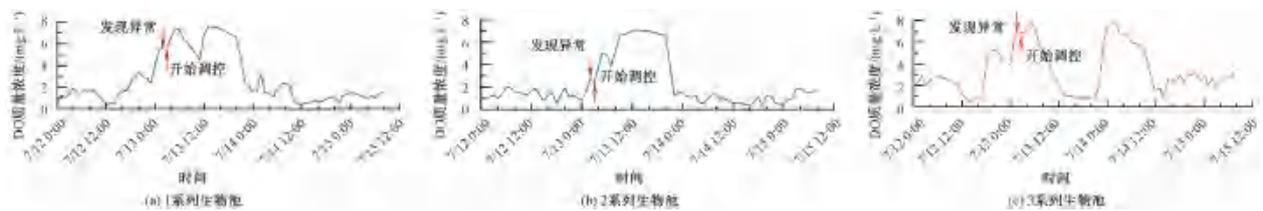


图2 重金属废水冲击前后 DO 变化情况

Fig. 2 Dynamics of DO before and after the Impact of Heavy Metal Wastewater

污泥发生中毒时, 即使生物池采用精确曝气方式降低曝气量, 好氧池内 DO 仍居高不下, 主要呈现为较低气水比下 DO 依旧异常升高, 与研究者所阐述现象内容基本印证, 由此可得出二者有一定的对应关系。该厂以 DO 为参考指标, 其异常升高时进行污泥中毒与工艺异常的预警, 且在实际运行中将自身厂内实际水量分配情况、其他项目监测指标、日常运行常规数据等结合, 多向印证进行污泥中毒与否的判断。

2.2 微生物镜检观察

在成熟的活性污泥系统内存在大量的原生动物,

本文涉及的污水处理厂采用精确曝气系统控制 DO, 正常运行时各生物池出口 DO 浓度均控制在 0.5~3.0 mg/L。图 2 为活性污泥受到重金属废水冲击前后的 DO 变化情况, 由图 2 可知, 受到重金属废水冲击后, 在同样的曝气条件下, 生物池 DO 迅速升高, 1 系列和 3 系列生物池内的 DO 在约 2 h 内分别达到 5.4 mg/L 和 6.6 mg/L, 2 系列生物池 DO 上升较慢, 在发现中毒时 DO 仅为 2.7 mg/L。这反映出发现异常时 1、3 系列微生物活性已经被严重抑制, 而 2 系列污泥中毒较轻, 主要原因是生物池 1、3 系列进水水量基本均等, 而 2 系列进水水量相对较低。

物, 它们与细菌相互依存, 可为活性污泥性能和污水处理效果好坏提供指示作用^[15]。其中, 钟虫、轮虫等为最常见的原生动物。图 3 为活性污泥中毒前后的显微镜照片。由图 3 可知: 在污泥中毒前, 系统内钟虫形态完好活性较强; 重金属废水冲击后, 生物池内钟虫出现断柄、缩口现象, 轮虫也出现活性降低、数量减少等现象。结果表明, 重金属废水可对生物池内的原生动物造成严重毒害作用, 该现象可以作为快速鉴定污泥中毒事件的依据。

2.3 重金属含量测定

在发生进水异常时, 取异常进水进行重金属

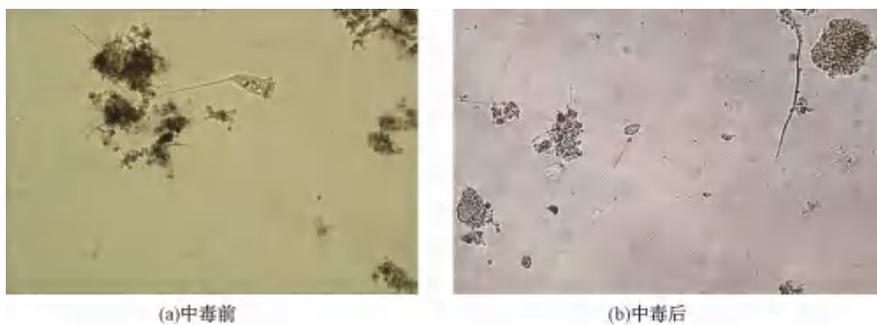


图3 原生动物钟虫在重金属废水冲击后断柄闭口现象

Fig. 3 Morphological Changes of Protozoa before and after the Impact of Heavy Metal Wastewater

含量检测,结果如表 1 所示。由表 1 可知:污水处理厂正常进水各类重金属含量均低于检出限,异常水质进水总砷质量浓度为 2.2~13.6 μg/L,进水总汞质量浓度为 0.12~0.46 μg/L,均明显高于

水质正常时重金属浓度;进水 pH 及氯化物指标浓度与正常进水指标相比变化不大,进水中砷、汞超标是造成活性污泥中毒、水厂运行异常的直接原因。

表 1 异常进水和正常进水中重金属浓度对比

Tab.1 Comparison of Heavy Metal Concentrations in Abnormal and Normal Influent Water

| 项目 | 铅 /(mg·L ⁻¹) | 铬 /(mg·L ⁻¹) | 砷 /(μg·L ⁻¹) | 汞 /(μg·L ⁻¹) | 镉 /(mg·L ⁻¹) | pH 值 | 氯化物 /(mg·L ⁻¹) |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|-------------------------------|
| 正常进水 | <0.07 | <0.03 | <1.0 | <0.04 | <0.005 | 7.53 | 97 |
| 异常进水 1 | <0.07 | <0.03 | 2.2 | 0.12 | <0.005 | 7.49 | 98 |
| 异常进水 2 | <0.07 | <0.03 | 13.4 | 0.23 | <0.005 | 7.43 | 67 |
| 异常进水 3 | <0.07 | <0.03 | 13.6 | 0.46 | <0.005 | 7.56 | 78 |
| 异常进水 4 | <0.07 | <0.03 | 4.0 | 0.17 | <0.005 | 7.51 | 92 |

注:正常进水为 2019 年连续 6 个月检测数据均值;异常进水为 2020 年该厂发生污泥中毒现象时进水水样的检测结果,日期分别为 2019 年 6 月 20 日、2019 年 7 月 13 日、2020 年 2 月 28 日、2020 年 3 月 1 日,水样均为瞬时样;此次研究内容结合 2019 年 7 月 13 日数据展开,此后该水厂进水异常均结合 7 月 13 日相关经验及结论展开,处理效果较好

2.4 沉降性能下降

正常运行状态下,活性污泥的沉降性能良好,各生物池内 SVI 维持在 (45±10) mL/g。重金属废水进入后,发现生物池内菌胶团结构变得松散,絮体变小,呈灰白色,不易下沉,上清液呈棕黄色且有羽片状絮体悬浮,各生物池内 SVI 升高至 (80±10) mL/g。与此同时,发现二沉池出水中含有大量悬浮物和污泥絮体,出水浑浊度升高(俗称“翻池”)。

2.5 污染物去除效率下降

图 4 为污泥中毒前后 3 个生物池系列出水氨

氮和 TP 的变化情况,每 2 h 测试 1 次数据。由图 4 可知,在正常运行状态下,3 个系列的脱氮除磷性能良好,生物池出水氨氮均低于 0.20 mg/L,生物池出水 TP 浓度均低于 0.15 mg/L,完全满足排放标准要求。在污泥中毒后,3 个系列生物池出水氨氮最高浓度达到 6.04、1.62 mg/L 和 5.62 mg/L,出水 TP 最高浓度分别达到 3.15、2.38 mg/L 和 3.01 mg/L,均出现大幅升高。这说明重金属能够显著抑制硝化细菌和聚磷菌的活性,导致脱氮除磷性能下降。

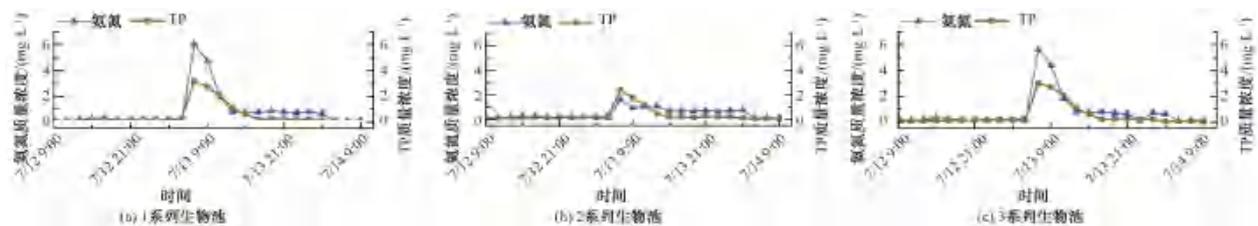


图 4 生物池出水中氨氮、TP 浓度变化情况

Fig. 4 Dynamics of Ammonia Nitrogen and TP in Effluent of Biological Zone before and after Sludge Poisoning

3 污泥中毒后工艺控制策略

3.1 控制进水量

当发生污泥中毒事件后,应根据实际情况优先恢复受影响较小的生物处理系列,在条件允许的情况下关闭或减小生物池进水量,以减小有毒废水对活性污泥的毒害作用。在活性污泥中毒事件中,精

准曝气运行模式下,生物池 DO 急剧升高,立即安排采样测试分析,发现生物池出水氨氮浓度升高,经验表明污泥已中毒。根据 DO 变化情况,发现 2 系列生物池中中毒现象较轻,因此,首先停止向 2 系列生物池进水,并开展闷曝、补充碳源等综合措施。在 2 系列生物池出水氨氮恢复正常水平时,重新进水,并开始对 1 系列生物池进行停水调控。1 系列在闷曝

7 h 后生物池出水氨氮浓度恢复正常, 3 系列生物池开始停水闷曝。结果表明, 停水闷曝对恢复活性污泥的活性有着较为显著的作用。

3.2 增加曝气量

污泥中毒后, 微生物活性降低, 此时增加曝气量可为微生物提供充足的 DO, 有助于快速恢复好氧微生物的活性。该厂发生污泥中毒后, 运行人员解除精准曝气自动控制, 将鼓风机出口导叶调至 100%。该水厂因鼓风机风量, 不能同时满足 3 个系列高 DO 需求。中毒后工艺调控过程中, 根据中毒严重程度, 率先选择对中毒情况最轻的 2 系列生物池进行停水闷曝, 对中毒情况较轻的 1 系列生物池进行高 DO 曝气激发活性, 最后根据监测数值进一步调整另外两个系统。

最终调整结果显示: 2 系列生物池内 DO 短时间内从 2.42 mg/L 升至 6.60 mg/L; 6 h 后出水氨氮浓度开始低于 1.0 mg/L; 11 h 后重新开始进水, 出水氨氮稳定在 1.0 mg/L 以下; 17 h 后将生物池曝气调整为精准曝气, 2 系列恢复正常。在该过程中: 1 系列生物池不停水曝气出水平均 DO 浓度维持在 6.60 mg/L, 3 系列的曝气量较小, DO 浓度在调控后 5 h 时开始逐渐下降, 最终降至 1.0 mg/L 左右; 1 系列和 2 系列生物池基本恢复后, 减少其曝气量, 增大 3 系列曝气量, DO 浓度升至 7 mg/L 以上, 在调控 12 h 后恢复正常。由此可知, 增大曝气量有助于提高微生物活性, 恢复生物系统。

3.3 投加碳源

研究表明, 投加碳源能够有效加快恢复中毒污泥的活性, 缩短恢复时间^[16]。发现污泥中毒后, 在开展曝气量调控的同时, 该厂增大碳源投加量, 在生物池投加乙酸钠含量为 20%、COD_{Cr} 当量为 2.5×10^5 mg/L 的碳源, 投加量从 30 mg/L 增加至 50~80 mg/L (约等于投加 12.5~20 mg/L COD_{Cr})。增加碳源投加后, 活性污泥中的微生物尤其是异养微生物的代谢活性增强, 可以缓解污泥汞、砷中毒造成的影响。

3.4 增大有效活性污泥浓度

在发现污泥中毒时, 二沉池中的活性污泥尚未受到毒害或中毒较轻, 因此, 及时增大污泥回流量可以有效稀释生物池内重金属的浓度, 降低有毒废水对活性污泥微生物的毒害, 同时, 可以增加生物池内

微生物浓度, 提高生物池系统的稳定性^[16]。发现污泥中毒后, 水厂将回流污泥量从 3 000 m³/h 提升至 4 200 m³/h, 污泥回流比从 70% 增加至近 100%, 生物池污泥浓度从 4 500 mg/L 逐步升高至 5 600 mg/L。待生物池内中毒污泥大规模进入二沉池后, 开始提高剩余污泥排放量, 通过排泥的方式将有毒有害物质在最短的时间内排出生物系统。氨氮出水从最高的 8.0 mg/L 逐步降低至 1.0 mg/L 以下, 基本实现了正常出水。此外, 在系统中毒较为严重, 氨氮居高不下的情况下, 也可采取向生物池投加硝化菌种、反硝化菌种、未中毒系列或新鲜活性污泥等, 迅速提高生物池内有效活性污泥的浓度, 保障正常出水。

3.5 加大水质监测频次

污水厂运行正常时, 每天取一次混合样进行水质分析化验。发生污泥中毒后, 水厂增加取样频次, 每 2 h 取一次生物池活性污泥样品, 直至生物池系统完全恢复活性。重点分析氨氮、TP 等水质指标, 同时开展微生物镜检。通过增加水质监测频次, 可以及时了解生物池内的活性污泥状态, 为及时改变调控策略提供依据, 变化趋势指导调控直至系统恢复。

3.6 设置污泥中毒预警系统

污泥中毒后, 系统的氨氮、硝氮等水质指标会出现大幅波动, 利用这些水质异常数据, 可以实现进水异常的预警。在发生重金属中毒事件后, 水厂开始探索进水异常预警机制。经多次试验, 最终选择在生物池好氧区第一廊道设置自动采样监测预警装置^[17]。该装置主要由自动采样系统和硝酸盐氮在线监测仪组成。该系统每 1 h 取一次生物池活性污泥样品, 测定其硝态氮浓度, 该数值直接反馈中控系统, 在现场硝态氮出现异常降低并达到预警值后, 中控系统自动调大 DO、加大碳源投加量、降低进水量、增大外回流、增大剩余排放量, 直至系统恢复正常。与生物池末端 DO 在线监测装置相比, 该预警系统可以提前 6 h 感知生物池异常情况, 工艺调控提前, 可显著降低有毒废水对活性污泥的毒害作用, 缩短污泥恢复时间。

通过对 DO、碳源投加量、进水量、污泥回流比和剩余污泥排放量等参数的综合调控, 水厂生物池活性污泥可在 24 h 全部恢复活性, 污泥沉降性能改

善,二沉池出水 SS 减少,出水氨氮、TP、TN 等指标降至排放标指以下,镜检发现钟虫、累枝虫等固着类纤毛虫增多,出水水质趋于良好。

4 结 论

综上,在该厂遭遇污泥重金属中毒及恢复过程工艺调控事件中,可总结出重金属污泥中毒特征及相对应工艺调控措施结论。

4.1 活性污泥中毒表征

(1)好氧池内 DO 异常上涨,极低气水比下 DO 依旧较高。

(2)镜检生物池微生物活性锐减甚至大量死亡。

(3)进水取样化验重金属、氯离子或其他有毒有害物质含量大幅上涨。

(4)生物池内菌胶团结构凝聚性及沉降性下降,SVI 升高。

(5)发生中毒系列出水氨氮、TP、TN 指标出现大幅升高,其中氨氮呈直线上升。

4.2 相应工艺调控措施

(1)激发微生物活性:中毒系列通过停水或降水量闷曝快速提升 DO 至 6 mg/L 以上、增大碳源投加至 50~80 mg/L 等方式激发活性污泥中的微生物活性,缓解污泥重金属中毒造成的影响。

(2)快速排出系统有害物质:增大污泥回流比至 100%补充生物池有效活性污泥,加大剩余污泥排放量,通过“大回流、大排泥”的方式达到快速排出有害物质,恢复生物池工艺处理整体效果目的。

(3)风险预防及数据监测:日常运行期间,定期进行常规工艺指标及中毒后指标数据测定,确定生物系统敏感点及数据警戒点,做好风险预防及数据监测工作,降低污泥重金属中毒风险及影响。

(4)形成完整响应及恢复机制:事件初期根据污泥中毒特征判断是否发生污泥中毒;事件中以工艺数据为参考及时调整恢复手段及运行机制,跟踪恢复数据,保证系统快速恢复;事件后结合恢复遇到问题增加相关设备及中毒预警系统,进行事件总结并优化响应及恢复机制。

参 考 文 献

[1] ZHANG Q H, YANG W N, NGO H H, et al. Current status of

urban wastewater treatment plants in China [J]. Environment International, 2016, 92-93: 11-22. DOI:10.1016/j.envint.2016.03.024.

[2] SUN Y, CHEN Z, WU G, et al. Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: Implications for resources utilization and management [J]. Journal of Cleaner Production, 2016(10): 1-9.

[3] WU C Y, ZHOU Y X, ZHANG S Y, et al. The effect of toxic carbon source on the reaction of activated sludge in the batch reactor [J]. Chemosphere, 2017, 194: 784 - 792. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.12.075.

[4] SUN J, YANG Q, WANG D B, et al. Nickel toxicity to the performance and microbial community of enhanced biological phosphorus removal system [J]. Chemical Engineering Journal, 2017, 313: 415-423. DOI:10.1016/j.cej.2016.12.078.

[5] CHEN Y, LAN S, WANG L, et al. A review: Driving factors and regulation strategies of microbial community structure and dynamics in wastewater treatment systems [J]. Chemosphere, 2017,174: 173-182. DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.01.129.

[6] JI B, CHEN W, ZHU L, et al. Isolation of aluminum-tolerant bacteria capable of nitrogen removal in activated sludge [J]. Marine Pollution Bulletin, 2016(1-2):31-34.

[7] AUGER C, HAN S, APPANNA V P, et al. Metabolic reengineering invoked by microbial systems to decontaminate aluminum: Implications for bioremediation technologies [J]. Biotechnology Advances, 2013, 31(2): 266-273.

[8] 史旭东. 浅谈重金属对污水处理中活性污泥影响 [J]. 山西建筑, 2011, 37(9):122-124.

[9] CHEN X. Exploratory study of landfill leachate toxic effects to sludge characterized by endogenous respiration rate constant [C]. International Conference on Energy. 2017. DOI: 10.2991/eesed-16.2017.31.

[10] 吴魏刚,夏亚军,朱师杰,等. 医药废水造成市政污水处理厂污泥中毒后的工艺控制 [J]. 中国给水排水, 2014, 30(2): 102-104.

[11] 储杰. 上海市某污水处理厂污泥重金属特性及其主成分分析 [J]. 净水技术,2021,40(s1):179-182.

[12] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编写委员会. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.

[13] 李圭白,张杰. 水质工程学 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2013.

[14] 陈亚松,杜郁,杨广文,等. 溶解氧突变指数对活性污泥重金属中毒的预警 [J]. 净水技术, 2014, 33(3): 65-68.

[15] 李探微,彭永臻,朱晓. 活性污泥中原生动物的特征和作用 [J]. 给水排水,2001, 27(4): 24-27.

[16] 李朝阳,李辰. 污水处理厂活性污泥中毒的原因探讨与控制 [J]. 中国给水排水, 2013, 29(18): 146-148.

[17] 楚金喜,吕丹,贾清龙,等. 一种氧化沟工艺脱氮除磷预控方法及其装置: CN111410314B [P]. 2020.

【编辑推荐】文中从一线运行角度出发,对污水处理厂某次活性污泥重金属中毒导致运行异常的现象进行剖析,梳理出5种较为常见的污泥中毒特征,为一线技术人员在日常运行中的诊断识别提供借鉴。同时,文中对污泥重金属中毒可采取的方法措施进行了总结,提出了较为详实且可操作的工作流程,为类似的污水处理厂运行管理提供了案例支持和方法指导,具有一定的指导意义。

(上接第139页)

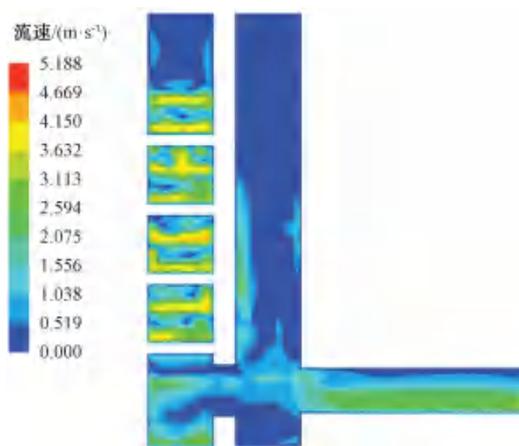


图5 折板型消能竖井流速分布

Fig. 5 Distribution of Velocity in Baffle-Drop Type Energy Dissipation Shaft

总结了折板型消能竖井的计算公式,以及在实际山城排水项目中进行了应用。弥补了国内相关工程的空白。

(2)目前,国内外对折板型竖井消能理论公式的研究较少,只有牟祎^[2]研究应用在 $13\sim 43.4\text{ m}^3/\text{s}$ 的消能公式。为了解决消能公式的缺失,采用数值模拟对设计竖井进行消能模拟,模拟结果折板型竖井消能率为97.48%,出水管流速可以符合规范要求。

(3)折板型消能竖井用于山地城市排水管道系统具有消能充分等特点,但目前不管是折板型消能竖井本身的消能机理,或是其设计计算方法,都是建立在一定的模型试验或相关理论推导基础上,而相关的理论模型特别是矩形折板的构造还有待完善。

参考文献

- [1] 黄明利, 张志恩, 谭忠盛. 我国城市防洪排涝深层隧道建设模式[J]. 土木工程学报, 2017(s1): 76-81.
- [2] 牟祎. 城市深隧排水系统折板竖井泄流消能计算模型研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2019.
- [3] ODGAARD A J, LYONS T C, CRAIG A J. Baffle drop structure design relationships [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 139(9): 995-1002.
- [4] 王斌, 邓家泉, 何贞俊, 等. 折板跌落式竖井设计约束条件研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2015, 13(5): 363-374.
- [5] 王志刚, 张东, 张宏伟, 等. 折板消能竖井中的折板功能分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2015, 13(4): 270-276.
- [6] 何贞俊, 王斌, 杨聿, 等. 市政排水系统中竖井研究及应用进展[J]. 中国给水排水, 2017, 33(10): 49-53.
- [7] 王斌, 陈良, 冯爽, 等. 深层隧道排水系统中矩形折板竖井水力特性试验研究[J]. 人民长江, 2020, 51(7): 168-180.
- [8] 杨乾, 杨庆华, 郑立宁, 等. 深隧排水折板型竖井泄流消能的试验研究[J]. 西南交通大学学报, 2020, 40(9): 1000-1005.
- [9] 马一祎. 排水系统中跌水结构的气体卷吸和能量耗散问题研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [10] 王福军. 计算流体动力学分析——CFD软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [11] HIRT W C, NICHOLS B D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries [J]. Journal of Computational Physics, 1981, 39(1): 201-225.
- [12] 朱颖儒, 张利平, 白朝伟. 竖井旋流放水洞水力学特性三维数值模拟分析[J]. 西北水电, 2017(5): 82-86.

因本刊为黑白印刷,文中图4~图5彩图可扫描右侧二维码查看电子版。

