

运行与管理

# 城市污水高氯离子环境下曝气系统的技术改造措施

房安富

(大连东晟虎滩新区污水处理有限公司, 辽宁 大连 116015)

**摘要:** 沿海城市污水中一般氯离子浓度较高,对水下钢筋混凝土、黑色金属构件或设备本身会造成严重的腐蚀。其中曝气系统的金属紧固件腐蚀断裂,会造成曝气管脱落,导致系统无法正常运行。针对这种情况,采用独特的配重支座和非金属紧固件进行改造,从根本上解决了氯离子腐蚀问题,保证了曝气系统的稳定运行。

**关键词:** 含盐城市污水; 曝气系统; 氯离子腐蚀; 配重支座; 防腐蚀紧固件

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)20-0110-04

## Technical Renovation Measures of Aeration System in High Chloride Ion Environment of Urban Sewage

FANG An-fu

(Dalian Dongsheng Hutun New District Sewage Treatment Co. Ltd., Dalian 116015, China)

**Abstract:** In coastal areas, concentration of chloride in municipal wastewater is generally higher, which can seriously corrode underwater reinforced concrete, ferrous metal components or the device itself. The corrosion cracking of the metal fastener of the aeration system can cause the aeration pipe to fall off, leading to the failure of normal operation of the system. In view of this situation, a unique weight bearing pedestal and non-metallic fastener were used for technical reform, which fundamentally solved the problem of chloride corrosion and guaranteed the stable operation of the aeration system.

**Key words:** saline municipal wastewater; aeration system; chloride corrosion; weight bearing pedestal; anti-corrosion fastener

通常情况下,城市污水中氯离子浓度一般为100~600 mg/L。而沿海地区特殊的地理环境、饮食习惯或海鲜加工都会导致过量的氯离子进入城市污水系统。大连花园口经济区南濒黄海,有大面积的海产养殖滩涂,由于市政建设需要,填海后变为市政用地。花园口西部污水处理厂采用改良AAO工艺,设计规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,于2013年底建成投入运行。实际运行监测发现,污水中氯离子含量相对较高,对污水厂设施运行造成了很大的危害。

### 1 氯离子浓度的调查

花园口经济区西部污水处理厂长期监测数据表

明,氯离子浓度(1 000~8 000 mg/L)远远超出了普通城市污水处理厂氯离子含量(100~600 mg/L)。

为了确定该区域高氯离子成因及未来的变化趋势,2014年9月对近10 km<sup>2</sup>的建成区排水管网进行了一次全面采样调查。全区共采样20份,其中氯离子浓度>5 000 mg/L为7份,占35%,氯离子浓度在1 000~5 000 mg/L为9份,占45%,其余4份为氯离子浓度<1 000 mg/L,占20%。

通过现场调研和数据分析,园区污水氯离子普遍较高;从氯离子浓度和管网埋深的关系来看,随着管网埋深加大,氯离子浓度随之增高,说明有富含氯

离子的地下水进入管网。

从长期监测数据来看,氯离子含量受降雨影响较大。2017年旱季(11月—5月)污水氯离子浓度一般为3 000~8 000 mg/L,最高值达到9 300 mg/L;雨季(6月—10月)污水氯离子浓度为1 100~3 100 mg/L,最低浓度为650 mg/L。全年旱季平均流量为5 168 m<sup>3</sup>/d,雨季日均流量为9 438 m<sup>3</sup>/d。

## 2 氯离子对污水处理设施的腐蚀

从多年的运行经验来看,污水中的氯离子对污水处理厂设施的腐蚀表现在以下几个方面。

### ① 腐蚀混凝土<sup>[1]</sup>

含高浓度氯离子的污水与混凝土池体接触过程中,氯离子通过扩散渗入混凝土并到达钢筋表面(混凝土的宏观、微观缺陷大大提高了氯离子进入混凝土中的速度),破坏钢筋表面的钝化膜,并通过腐蚀电池及去阳极等作用,加速钢筋的腐蚀。从花园口污水处理厂构筑物与污水接触的内表面看,混凝土表面由于凝胶材质损失出现较严重沙化现象,局部出现顺筋腐蚀裂缝,混凝土表面锈迹清晰可见。

### ② 腐蚀水下金属构件<sup>[2-5]</sup>

不同不锈钢材质耐氯离子腐蚀标准<sup>[4]</sup>如下:a. 304不锈钢氯离子含量为0~200 mg/L;b. 316不锈钢氯离子含量<1 000 mg/L。花园口污水厂氯离子浓度已经远远超过这两种材质所耐受的浓度,很容易受到氯离子的腐蚀。实际运行情况也如此,水下钢制设备和管材均发生了较严重的腐蚀,具体如图1所示。



图1 花园口污水处理厂氯离子腐蚀情况

Fig.1 Corrosion of chloride ions in Huayankou WWT

生化池曝气头紧固件被腐蚀断裂,造成管路系统上浮甚至折断,对生化系统造成严重的影响;深度处理不锈钢滤盘滤网(316L)在固定框架根部局部断裂;水下不锈钢化学螺栓、管道支架腐蚀断裂,造成设备脱落;水下不锈钢搅拌器不锈钢泵壳发生点蚀,造成泵壳穿透进水,造成电机保护停机;搅拌器不锈钢托架焊接部位发生点蚀造成托架断裂;水下

不锈钢管在焊接部位率先发生腐蚀穿透,形成漏水漏气;室内不锈钢闸门的设备由于受到含盐空气的腐蚀,不锈钢表面出现锈点。

上述腐蚀现象中,生化池曝气系统的腐蚀是致命的,直接导致生化系统无法正常运行。

## 3 生化池曝气装置的腐蚀状况分析

花园口污水处理厂设有2座生化池,每座生化池分为4格,每格通过位于池底的尺寸为0.9 m×0.9 m的洞口相连,每座生化池设置一个排水坑,用于排空。

由于水量较少,2013年12月只进行了1号生化池的调试工作。2015年4月,发现1号生化池部分发生严重的曝气不均匀现象,局部曝气,其余部分气泡很少。随即启动2号生化池,清空1号生化池,并对整个曝气系统进行了检查,发现曝气管局部大面积不锈钢紧固件断裂脱落,曝气管路上浮变形,管道部分有断裂;不锈钢曝气立管的不锈钢支架腐蚀断裂;曝气支管不锈钢材质上管箍腐蚀严重,已经脆化,管箍表面发亮,内部完全碳化,一碰即断,而下管箍受腐蚀程度比上管箍轻,很明显属于不锈钢晶间腐蚀;两个不锈钢螺栓立杆在与池底交接部位明显变细,有断裂现象;支架脱落部位,管式曝气头两端不锈钢管箍有断裂发生。

具体腐蚀情况见图2。



图2 曝气系统管路紧固件腐蚀情况

Fig.2 Corrosion of pipe fasteners in aeration system

从上述现象分析,曝气管路上支架始终受到管路浮力的作用,在螺杆根部和上管箍紧固部位由于浮力和震动会产生剪切力,在金属表面表面产生微

小裂隙,由于氯离子破坏金属表面钝化层,加之不锈钢内部存在的碳和铁之间形成的原电池和腐蚀电池作用,氯离子与铁离子发生的去阳极化反应,将不锈钢中的铁质进行了置换,最后只剩下了碳和不可置换的重金属,这可以解释上支架的碳化和立杆螺栓根部断裂情况。

#### 4 曝气装置维修方案的论证

在初步确定曝气装置腐蚀损坏状况后,根据工

表 1 曝气装置维修方案优、缺点比较

Tab. 1 Comparison of advantages and disadvantages of aeration device maintenance scheme

项 目	方案 I	方案 II
池子清理干净程度	基本干净,保持池底干燥,但清理污泥难度非常大,耗时长	露出曝气管即可,下面污泥无需清理,耗时长短
前期准备工作	重新构筑紧固件,准备工作简单	需要提前做好混凝土配重支座,制作 UPVC 管箍和 UPVC 螺栓,准备工作较复杂
作业难度	需要带电作业,重新预埋紧固件,作业难度较大	仅需要人工放置支座,作业方便、安全
紧固件的耐腐蚀性	不好,1~2 年后需要重新修改	寿命较长,好于方案 I
经验	传统方法,经验丰富	创新性设计,没有使用经验

方案 I 清理污泥难度非常大,耗时太长,且维修后 1~2 年还得重新维修,后患较多。而方案 II 避免了传统钢制的支架和管箍易受氯离子腐蚀的缺点,采用耐腐蚀的 UPVC 螺栓和管箍,使用寿命更长;可带泥作业,可操作性强。方案 II 虽然没有应用先例,但从风险分析上看,只需处理好配重与管道浮力的关系,选择适当材质的紧固件即可。综上所述,决定采用方案 II 实施技术改造。

#### 5 曝气装置的改进设计和使用情况

##### 5.1 曝气装置配重支座和 UPVC 紧固件设计

传统的曝气系统采用钢制紧固件,为克服曝气管产生的浮力,将整个曝气管路系统紧紧固定在池底,以减少管路系统的震动和位移。

改进设计是设置合适的配重块,并在配重块上预埋耐腐蚀材质的紧固件,固定曝气管路,替代埋设在池底的不锈钢紧固件。

配重设计,计算具体管路的浮力,并按照计算浮力的 2~3 倍计算配重质量;配重材质为细石混凝土浇筑而成。

配重数量确定:根据具体管道尺寸和距池底板的高度,确定单个配重的尺寸,并依据计算的配重质量和混凝土密度确定配重个数,并保证每个配重座之间距离不大于 1.5 m。管道支座上部按照支撑管道的尺寸做成 1/3 型管型。

程实际情况,初步确定了两个维修方案。

方案 I:按照原曝气装置固定方法,重新购置紧固件,对管道和曝气管进行修复后固定。

方案 II:创新曝气系统固定方法,取消原曝气系统的固定方法,修复管道和曝气管后,采用配重型支座对曝气系统进行支撑,紧固件采用 UPVC 螺栓和 UPVC 管箍将曝气管固定在支座上。

两种方案的优、缺点分析见表 1。

紧固件设计:采用 UPVC 耐腐蚀材料,每个配重支座预埋两个 UPVC 螺栓,上部紧固 UPVC 管箍。

原曝气管紧固件、新型配重支座及紧固实物见图 3。

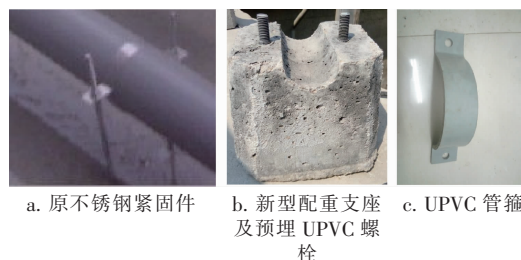


图 3 原曝气管紧固件、新型配重支座与紧固件实物

Fig. 3 Pictures of the original aeration fastener and a new type of weight support and fastener

##### 5.2 新型配重式曝气紧固件施工过程及使用效果

① 预制配重块:准备砂子、瓜子石、水泥等材料;制作配重块模板;并浇筑配重块,预埋 UPVC 螺栓,螺栓埋入部分进行适当处理,保证与混凝土有良好的粘结。脱模后养护,根据室温情况,具体确定可使用时间。

② 清理生化池,漏出曝气管即可。

③ 放置配重块并调整曝气管水平,安装上部管箍,并在螺栓和螺母上打眼,安装绑带,防止螺栓脱落。



④ 进行曝气运行试验,合格即可进水运行。

2015年5月中、下旬,对1号生化池曝气系统进行了修复,修复效果见图4。

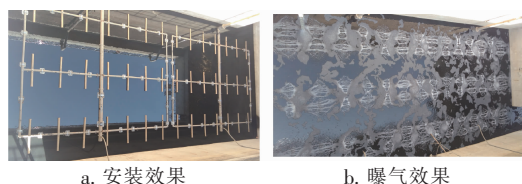


图4 配重式曝气系统安装及曝气效果

Fig.4 Installation and aeration effect of weight type aeration system

从安装完毕至今,已经运行了4年,曝气较为均匀,没有发现紧固件脱落情况。唯一不足的是维修时未发现不锈钢曝气立管漏气情况,维修后不长时间相继出现了水下多处的焊接部位腐蚀导致漏气现象,需要在下次维修中对立管进行更换,采用UPVC材质管道。考虑到UPVC受紫外光照射易变脆,水上部分仍为不锈钢管材,水下1m以下部位改为UPVC曝气管。

## 6 结语

针对沿海地区高含盐污水或企业含盐废水,在设计和运行中应注意以下几个问题:

① 做好前期水质监测工作,确定氯离子对污水厂设施、设备、管道的腐蚀程度,并有针对性地采取防腐措施,或提高材质标准,或革新设计保证设施设备能够长期稳定运行。

② 由于氯离子对钢构件的腐蚀作用,传统钢制紧固件安装曝气系统,对高含氯离子城市污水不适用,使用寿命较短,而且不易维修。

③ 对高含氯离子城市污水处理系统,采用新型配重式曝气系统完全可行;维修时无需完全清理底泥,维修便捷。由于采用了非金属的紧固件,可有效解决氯离子对传统钢紧固系统的腐蚀问题,保证生化系统长期稳定运行。

④ 对高氯离子污水,曝气系统应尽量采用高分子材质,如UPVC等,其中包括进入水下的曝气立管,也应尽可能采用耐腐蚀管道,接口位置应在生化池液位下1m左右,既避免了UPVC管道受到紫外线损伤,又为维修曝气立管提供了最大的方便。

⑤ 建议对混凝土配重支座表面进行防腐,可以减缓氯离子对混凝土配重支座的腐蚀。

## 参考文献:

- [1] 刘文军,王军强. 氯离子对钢筋混凝土结构的侵蚀分析[J]. 混凝土,2007(4):20-22.  
Liu Wenjun, Wang Junqian. Analysis of chloride ion diffusion in reinforced concrete structures[J]. Concrete, 2007(4):20-22(in Chinese).
- [2] 史艳华,于洋,梁平,等. 316L不锈钢在氯离子环境中的腐蚀行为[J]. 材料保护,2015,48(8):29-32.  
Shi Yanhua, Yu Yang, Liang Ping, et al. Corrosion behaviors of 316L austenitic stainless steel in solutions containing chloride ions[J]. Materials Protection, 2015, 48(8):29-32(in Chinese).
- [3] 吕国诚,许淳淳,程海东. 304不锈钢应力腐蚀的临界氯离子浓度[J]. 化工进展,2008,27(8):1284-1287.  
Lü Guocheng, Xu Chunchun, Cheng Haidong. Critical chloride concentration of stress corrosion cracking for 304 stainless steel[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2008, 27(8):1284-1287(in Chinese).
- [4] 高秀山. 火电厂循环冷却水处理[M]. 北京:中国电力工业出版社,2001.  
Gao Xiushan. Treatment of Recycling Cooling Water in Power Plant[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001(in Chinese).
- [5] GB/T 50050—2017,工业循环冷却水处理设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2007.  
GB/T 50050—2017, Code for Design of Industrial Recirculating Cooling Water Treatment[S]. Beijing: China Planning Press, 2007(in Chinese).



作者简介:房安富(1973—),男,河北武安人,硕士,高级工程师,主要从事水处理及管理方面的研究。

E-mail: fafx@163.com

收稿日期:2019-05-27