

# 海上生活污水处理工艺问题及改进措施

石俊飞 国健 张敏

中海油天津化工研究设计院有限公司 天津 300483

**摘要:** 本文通过系统总结海上平台生活污水电解法和生化法工艺运行过程中存在的问题,分析产生问题的原因,并针对各种问题提出相应的改进措施,为相应装置的优化设计和升级改造提供参考。

**关键词:** 海上平台; 生活污水; 生化法; 电解法; 改进措施

## 引言

海上平台生活污水处理装置根据处理工艺原理主要分为电解式和生化式,因两种装置在设计,罐体配置、机械配置等方面存在较大差异,其出现故障也不完全相同。这些问题不断恶化很可能造成系统崩溃,若提前了解问题的成因并及时进行干预,往往能够以较小的代价确保设备的正常运行。根据多年的装置设计、运行维护工作经验,总结了两类装置普遍存在的问题,并对问题进行深入分析,提出改进措施,以提高装置运行的稳定性。

## 1 目前生活污水处理工艺的分类

1.1 海上平台常见的生活污水处理工艺主要分为电解法和生化法。

电解法根据电极板形式不同可分为BOOKCELL式,棒状式,柱状式。不同的电极因流态、极板材质、极板涂层等不同,导致效率差异较大。书页型电极的阴极和阳极交替内嵌布置在基体材料表面,通过两面书页板结合在一起,流体自两片书页板之间腔室过流发生直接氧化或经氧化剂产物直接被氧化。棒状电极通过圆筒状阴极和阳极组合成环隙状电解腔,流体通过外接管道直接流经电解环隙时,在环隙内外两面发生氧化还原反应,达到清除有机物的作用。柱状电极是将阴极和阳极交替布置叠合在一起,相邻的阳极和阴极之间的间隙形成电解腔室,流体流经该电解腔体时靠相邻阴、阳极板产生的羟基自由基及直接电解氧化还原功能将分解水中的有机污染物质。

生化法主要以活性污泥法为主,常见的为接触氧化法,好氧活性污泥法,MBR法,SBR法等。接触氧化工艺包含有前端水解酸化罐,接触氧化罐及沉降罐或MBR膜分离罐,多数在水解酸化罐及接触氧化罐内增设填料,依靠填料增加微生物的附着,提高罐体微生物含量,在水解酸化罐内实现有机物的初步水解酸化降解,从难降解有机物变为易降解有机物,接触氧化罐内设置曝气充氧装置,使填料上的生物膜能够充分吸收氧气,

同时通过气泡抖动填料更新生物膜。好氧活性污泥工艺包含污水收集罐,好氧反应罐及MBR膜分离罐,收集罐用来收集和暂存污水,好氧罐主要功能是实现微生物的脱碳功能,经过好氧微生物的氧化分解,将污水中的有机物分解,出水COD达标。SBR工艺为间歇式一体化装置,装置内填充一定量的填料,污水进入装置后即可根据液位设定启动运行程序,按照时间顺序分别进行曝气充氧、静置沉降、清水排放、闲置或进水进行相应阶段的污水处理。MBR法多与其他工艺进行组合,替代沉淀池实现高效泥水分离。常用的MBR膜有中控纤维帘式膜、板式膜等。

## 2 电解式生活污水处理工艺常见问题分析

### 2.1 沉降过滤功能差

根据电解反应原理,无论是直接氧化电解还是间接氧化电解,能够对溶解性污染物进行氧化分解,但对于不溶性固体悬浮物作用甚微。因此,电解式工艺前端需设置功能较强的过滤系统,依靠过滤系统去除水中悬浮物颗粒物,避免影响出水水质。通常电解式生活污水处理工艺前端设置收集罐,较大颗粒悬浮物被收集到罐内,采用带粉碎功能的提升泵或独立的粉碎模块对悬浮物进行研磨。由于研磨功能有限,一般研磨后平均粒径达到1 mm,在后续工艺过程中直接进入电解腔进行电解。此颗粒物质难以在电解腔内被彻底氧化分解,仅能氧化悬浮颗粒表层污染物,大量悬浮物会随水流流出或黏附于罐壁,给设备运行带来隐患。

### 2.2 污水电导率

电导率是指污水在外加电场作用下的导电能力。电解法能够高效运行的因素之一为污水的电导率,只有污水满足一定的电导率,污水在电极间的电子转移效率才能达到最高。有研究表明当污水的电导率过低时,电极间电势差较大,电子在电极间传递效率降低,电解所引发的副反应较多,不仅能耗较高同时污染物去除效率降低。当污水电导率过高时,电极板之间电压升高,电极

表面产生的羟基自由基减少,造成体系氧化性能降低。<sup>[1]</sup>

### 2.3 电流密度

电流密度是单位面积板上提供的电流强度的大小。通常情况下电流密度越大,电极产生的氧化剂含量越高,污染物去除效果越好。但较大的电流密度不仅增加电能的消耗,同时较大电流密度长期作用与电极,会促使阳极极化严重,加速电极结垢与消耗。电解法污水处理装置的来水水质通常是具有波动性的,但污水装置在运行过程中无法自动调节对应的电流大小,常常会出现在高峰有机负荷情况下,电流密度处于欠缺状态,污染物无法被全部降解,而在低峰有机负荷情况下电流密度又处于盈余状态,造成电能浪费。

### 2.4 电极出水管堵塞

海上平台多数电解法工艺需要掺入一定量的海水作为电解质,海水中大量的钙、镁等矿物质离子以及其碳酸氢盐,能够与电解副产物氢氧根发生化学反应,生成沉淀或胶体物质氢氧化物沉淀,长期附着沉积在管道表面,形成垢层,造成严重的管道阻塞。

## 3 生化式生活污水处理装置常见问题分析

### 3.1 污泥浓度难以维持

活性污泥是生化法污水处理工艺的核心,海上平台一体化污水处理装置设计都较为紧凑,节省占地空间的同时,也增加了活性污泥的负荷。尤其在海上平台多采用的浸没式MBR工艺中,以生化罐保留高浓度活性污泥而具备优势,其活性污泥浓度可高达10000-40000mg/L。然而,生化法设备在运行过程中,经常出现污泥死亡或减少,主要原因为:(1)装置过度曝气,现有的生化法装置多数配置较为简单,曝气风机在运行过程中无法根据处理水量或水中溶解氧含量自动调节风量,导致水源过度曝气,活性污泥发生过度氧化,有机成分降低,活性下降;(2)水力停留时间短,通常生活污水的水力停留时间(HRT)为6-8小时,而平台生活污水典型的排放特点呈现早晚高峰期,高峰水量可达日平均水量的3-4倍,在高峰排水时段的排水量占总排水量的70%,污水在装置内的停留时间明显低于设计值,生化系统内的微生物群落未能形成稳定的世代关系;(3)污泥停留时间长。生化法工艺通过微生物的同化作用和异化作用去除水中的污染物,同化作用形成微生物本身,最终以活性污泥的形式存在,需要定期从系统中排出。若长期不排,老化的活性污泥分泌胞外酶,影响处理水质,同时老化活性污泥重新溶解,污染物重新返回水中,使系统处理效率降低;(4)盐度波动明显。部分平台采用海水冲厕,装置即处理淡水成分的灰水,又处理含盐量高的

黑水,由于两种污水排放时间上不同步,导致装置进水有时是以淡水为主的灰水,有时是以海水为主的黑水,两种水源可导致生化系统盐度在淡水和海水之间波动,不利于耐盐菌的形成,污泥浓度难以维系。

### 3.2 峰值水力冲击及负荷冲击

海上平台污水一个明显的排放特点为波动性较大,其水量变化系数甚至可以高达3~4,而部分生化法装置的各级反应单元依靠重力自流进行流体输送,各级罐体液位高低完全取决于最后一级罐体过流液位高度,导致各级罐体始终处于高液位状态,在高峰排水时段,装置无多余缓存空间,导致进水量过大而产生前级流程冒罐或产生溢流,冒罐或溢流又导致活性污泥被携带流失。同时因罐体无调节功能,装置无法实现来水水质的调控,装置长期运行在高低负荷波动的状态下,难以形成稳定成熟的活性污泥生态系统。

### 3.3 装置结构设计问题

由于一体化装置集成度较高,污水在装置各个功能单元流动过程中常常发生短流,进水布水不均匀,曝气不均匀等问题。主要原因为装置设计时未考虑流体流态,同一功能腔室的进出管口设置在同侧同高位置,回流水管出水端未进行配水设计,曝气管布置较为随意,导致曝气在整个罐内分布不均匀,容易产生死角而发生污泥堆积厌氧。

### 3.4 MBR污染堵塞严重

MBR单元作为生化工艺系统的关键功能模块,决定着装置的产水量大小。设备在运行过程中,往往会出现跨膜压差增大,膜污堵严重,产水通量衰减的问题。经分析,膜污堵的主要原因包括<sup>[2-5]</sup>:(1)膜本身的材质,不同膜材质对水及污染物的亲和力不同,容易造成不同程度的吸附污堵;(2)活性污泥系统的性状,如污泥的成熟度,浓度,污泥的粒径,活性污泥在培养初期主要为游离态细菌,形成的滤膜更加致密,而成熟的菌胶团形成滤膜松散;(3)活性污泥细菌的生长状态,当污泥系统受到外界刺激或长期低负荷,细菌容易产生外聚合物(EPS),该物质能够黏附在膜表面,影响膜产水;(4)膜组件的运行条件,通常情况下膜组在运行过程中需要定时进行反洗,若反洗周期设定太长,膜表面滤层增厚产水通量急剧下降;(5)进水水质,如油脂类物质,强酸,强碱性,有毒物质以及突发性高有机负荷等进入生化系统,对污泥系统产生影响,也可能造成膜组件产生污堵。

## 4 改进措施

### 4.1 电解法改进措施

电解法工艺改进措施主要有以下几点,一是加强工艺前端的固液分离,可通过设置精密过滤功能单元或沉降功能单元,并辅以化学药剂沉降,降低进入电解槽的污水悬浮物含量;二是研制高效电催化氧化极板,通过在阳极表面涂敷具有催化活性的金属元素,降低阳极表面氧化还原反应的活化能,增强电解效率,提高氧化剂产量;三是设置相应的在线检测手段,采用自动控制方式调节海水的掺入配比,根据电导率及时调整电解电流,使电解槽始终运行在最佳工况下,提高污染物的去除效率。

#### 4.2 生化法改进措施

生化法工艺改进措施主要有以下几点:一是通过设置缓冲调节罐或通过变换调整罐体运行液位,来增强装置对来水水质和水量的调节功能,避免高峰水量情况下对活性污泥系统的冲击;二是增强相关指标的检测,如溶解氧,氧化还原电位,污泥浓度等关键生化指标,通过多种指标的相互印证,能够准确判别工艺运行过程中已经发生或即将发生的问题,及早进行干预;三是优化生化反应罐体的流体流态设计,通过相关模拟软件对流体流态进行模拟,优化设备工艺布水、布气的均匀性,防止出现短流或流体不均匀情况,提高相关物质如溶解氧、污染物的传质效率;四是优化MBR膜组件关键部件的设计,加强MBR膜组的曝气吹扫系统设计,增大MBR膜组的选型通量,合理设置膜组件抽吸及反洗周期,加强工艺前端预处理设施效果,尤其对油脂类物质的控制,防止对膜单元造成不可逆污堵。

#### 4.3 生化电解法工艺相结合

生化电解法是将生化法和电解法工艺进行整合,在一套污水处理装置中同时具备两种污水处理工艺。生化电解法多以先生化后电解的工艺进行组合,污水进入装置后先进行一定程度的生物降解,依靠生化系统中的菌胶团去除大部分悬浮物质和有机物,剩余部分有机物再

经过电解进行电化学氧化还原处理后得到进一步降低。通常生化工艺直接处理来自平台的污水,而电解工艺则需要根据污水的盐度适当配比一定的海水,提高污水的电导率,增强电解反应效果。

#### 4.4 智慧化与数字化设备改进

为适应多变的来水工况,需要及时对装置运行的参数进行适当的调整。可通过植入智能化及数字化检测模块,通过配备多种信息采集传感器如电解法的电导率仪器,电压电流监控仪器及生化法的溶氧仪,MLSS在线检测仪器等,开发一体化装置的数据收集及智慧化调控系统,实现污水装置的精细化运行,保持运行工艺稳定,出水达标。

#### 结束语

本文分析了海上平台生活污水处理的两大类工艺常见的工艺问题,通过分析问题可能的原因,提出有针对性的解决措施。海上平台生活污水处理装置整体设备智能化、自动化程度较低,对此方面的研究已经成为当下的热点方向。本文对装置现场运行实际问题进行归纳总结,以期在装置产品迭代更新过程中,通过设计环节对相关问题进行规避,为同行提供借鉴。

#### 参考文献

- [1] 张子臣,王万福,霍志坚,等,电催化氧化处理海上平台生活污水[J].化学与生物工程,2017,34(1):62-65.
- [2] 张鹤怀,等,MBR膜污染机理及影响因素[J],绿色科技,2020(22):86-90.
- [3] 高放,马林,霍涛,等.膜生物反应器污染及防控方法研究进展[J].环境工程,2020,38(3):69-75.
- [4] 宋建昕.倒置 A2O+MBR 处理生活污水过程中膜污染及膜清洗方式研究[J].中国市政工程,2020,210(3):50-52+130.
- [5] 罗玲,袁野,钟常明,MBR过程溶解性微生物产物对膜污染影响研究进展1[J].应用化工,2021,4:1100-1106.