

船舶生活污水处理的实船试验研究

董良飞

(江苏工业学院 环境与安全工程系, 常州 213164)

摘要: 采用厌氧复合床反应器与接触氧化、接触沉淀相结合的工艺, 设计加工样机处理某货轮生活污水. 结合为期3个月的实船试验情况, 分析讨论了在船舶这一特殊场所与环境下进行污水处理所遇到的各种问题, 重点是水质预处理、水量调节、曝气方式选择, 流量输送与控制、供气及自控等附属设备选型与布设, 以及布水装置、摇晃与振动影响、装置密封与观察孔布设等细节问题, 提出了可能的解决方案, 可为船舶生活污水处理装置的进一步开发和完善提供参考.

关键词: 船舶; 船舶生活污水; 实船试验; 水质预处理; 小型污水处理装置开发

中图分类号: U664.9⁺2, X736.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2008) 01-0011-05

Experimental study on the treatment of ship domestic sewage

DONG Liang-fei

(Department of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The combined technology of UBF with contact-oxidation and contact-settling was adopted to design and manufacture a prototype which was installed in a cargo freighter to treat the domestic sewage. Through the 3 months of experiment aboard, some kinds of problems in special surroundings of ship were analyzed and discussed, especially from the aspects such as pretreatment of water quality, regulation of water quantity, selection of aeration modes, transportation and control of flux, selection and arrangement of accessory equipments, as well as some details such as water distribution, vibration influence, seal of water and air, and layout of sight holes. Some possible solutions are proposed to solve these problems, and that can offer references to further development and improvement of the treatment plant of ship domestic sewage.

Key words: ship; ship domestic sewage; experiment aboard; pretreatment of water quality; development of small sewage treatment plant

0 引言

随着航运业的发展, 船舶所带来的环境问题不断引起人们的关注, 其中船舶生活污水的排放以及对水体环境质量的影响已经相当严重而不容忽视. 船舶生活污水不同于城市污水, 特别是受到运动效应的影响, 其产生和排放有其独自的特点^[1]. 因此, 针对船舶这一特殊场所, 为能通过安装污水处理装置就地解决其生活污水污染问题, 进行实船试验的研究是非常必要的. 本研究采用根据实验室小试工艺设计加工的样机, 安装在实船上进行了工业化应用试验. 根据3个月的实船试验结果, 分析讨论了相关问题, 为进一步开发和

完善船舶生活污水处理装置参考.

1 材料与方法

1.1 处理工艺

根据实验室小试^[2], 确定采用厌氧复合床反应器(UBF)与接触氧化、接触沉淀相结合的工艺进行船舶生活污水的处理(如图1所示).

1.2 试验船舶及安装位置

进行实船试验的船舶为长航集团武汉轮船公司的一艘货轮, 定员40人, 该轮原使用粪便储存柜来收集停泊期间的厕所冲洗排水. 受现有舱容限制, 安装试验

收稿日期: 2007-05-09; 修回日期: 2007-07-04

基金项目: 交通部科技成果推广应用推荐项目(97-1-023)

作者简介: 董良飞(1972-), 男, 副教授, 博士, 主要从事水污染控制工程尤其是流动污染源的治理.

样机只能利用机舱中原粪便储存柜的位置,即长2 m、宽1.8 m、高1.8 m的空间。

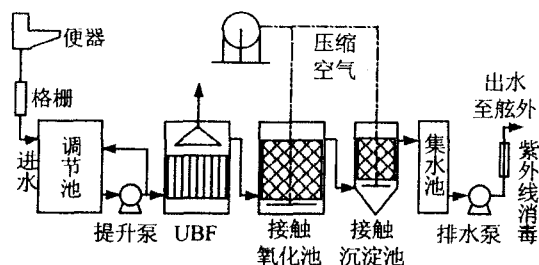


图1 实船试验工艺流程图

1.3 设计水量

船舶生活污水量与船舶类型、卫生器具及其冲洗方式有关^[3]。试验货轮上共有厕所3间,每间有一个蹲式大便器,原采用手动启闭截止阀进行冲洗。由于取水比较方便,而排水也无需处理,所以航行过程中经常出现阀门常开现象。为了进行粪便冲洗排水的收集和处理,根据现有管路情况,将截止阀更换为带有破坏真空的延时自闭式冲洗阀。该阀每次按动可延时2 s~6 s,冲水量为0.5 L~10 L。如果每人每天按1次大便和6次小便,每次均冲洗且按可能出现的最大排水量计算,则每人每天的生活污水排放量最大为70 L。船舶定员40人,则每天排放的污水量为2,800 L。由此可得设计水量 Q 为2,800 L/d \approx 120 L/h。

1.4 主体装置平面布置

根据小试装置试验得出的工艺参数,结合船舶生活污水排水量和安装位置进行样机的工艺计算和平面布置(见图2)。附属设施如水泵、自控箱等在装置周边布设。

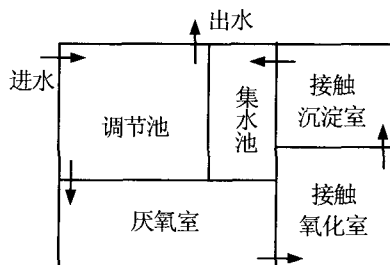


图2 样机各箱体的平面布置示意图

1.5 附属设备

1.5.1 除渣器

生活污水中含有毛发、纸片、碎布以及食物残渣等固体物质,它们会造成管道堵塞、泵的损坏,并影响后续处理单元的正常运行及出水水质,因此有必要设置除渣设备。为此,在污水进入调节池前的排水干管

上设置了一个机械除渣人工清渣的小型除渣器。

1.5.2 水泵

为进行调节池污水提升和清水池处理后的水排放,选用了2台25GW型卧式排污泵。

1.5.3 紫外线消毒器

小试中采用NaClO消毒虽然取得了较好的效果,但考虑到药剂存储和投加可能造成的安全问题,以及含氯消毒剂所带来的二次污染问题,本研究采用紫外线消毒。

1.5.4 供气

船舶在航行过程中使用压缩空气,压缩机产生的多余气体储存在气瓶中可供使用,因此为节省空间和供气设备,将船上压缩空气经过减压后并连接转子流量计引至装置。

1.5.5 自控装置

为了简化操作、便于管理,合理设计自控装置以减少船舶轮机管理人员的工作量,是非常必要的。本装置在调节池的溢流、高、低位及集水池的高、低位分别安装了电容物位控制器,并通过和提升泵及排放泵的连锁实现自动启停,并在自控柜上通过声光来显示。

2 结果与分析

样机主体装置(5个箱体)加工完成后吊装到船上,并现场装配了水泵、进水管、填料、供气管、排气管及自控部件和线路。清水调试后引入污水间歇运行,之后小流量连续运行并逐步调节流量至设计条件。实船试验研究工作历时3个月。

和实验室小试结果相比,实船试验没有达到预期的工艺运行效果和出水水质,但积累了相关实验参数和实船运行资料。下面结合实船试验过程中发现的问题,分析讨论其原因和改进方案,旨在为船舶生活污水处理装置的进一步开发和完善提供参考。

2.1 水质预处理

船舶生活污水除了含有城市生活污水中通常的悬浮物质外,由于船舶上生活空间的限制以及杂物收集设施的不完善,可能还会含有其他悬浮物,如烟头、玻璃渣等。实船试验期间,从格栅的拦截物中还发现过瓷片、骨头和刀片等物质。因此,对装置进水进行悬浮物拦截和除渣预处理是必要的。

在陆上小型生活污水处理装置中,机械格栅已被广泛应用,但栅渣的最后搬运仍需人力^[4]。这种机械格栅用于船上是不现实的,原因有二:1)机械格栅渠道上部的驱动部分及栅渣输送机所需的空间一般都在2 m以上,船上机舱难以提供如此大的空间;2)污水处理装置安装位置通常在下部机舱,与船员经常操作

和维护的其他轮机和动力设备在一起,和船员及旅客生活区的距离也不会很远,受美学及卫生要求限制,接纳污水及污物的设施都应密封,这对于拦截悬浮物的机械格栅而言很难实现。

由于受空间限制,在该实验装置的外部进水管道上加装了一个圆柱状除渣器,除渣器通过内部安装的栅条来拦截固体物质,栅条间距为5mm,下部设排渣口定期排出拦截物。从设计原理来看是合理的,但实际运行中发现问题较多。首先是排渣口漏水,主要是加工和密封处理不当造成的;然后是堵塞,栅条间距的设计主要是考虑对烟头的去除,因此间隙较小。运行中所拦截的粗纤维类物质,如未破碎的纸等粘稠物附着在栅条上很难被清除排出,加上除渣器容积有限,因此很快就被悬浮物质充满而堵塞。设计时只考虑去除悬浮固体,而对可能出现的悬浮固体性质和数量没有进行研究,使得除渣器难以发挥作用。随后对除渣进行了改造,去掉外部加装的除渣器,在调节池内进水口下设置滤框来拦截悬浮物。从悬浮物拦截和空间位置利用来看效果较好,但增加了清渣的劳动强度,即必须打开调节池盖板提出滤框进行清除。

因此,研制体积小、除渣效果好、机械程度高、清渣方便的小型除渣器,对于船舶生活污水一体化处理装置的开发是必要的。

2.2 水量调节

受人数与工作生活习惯的影响,船舶生活污水的产生和排放在一天中变化很大,为保证处理装置(尤其是以生化法为主体工艺)的稳定运行,免受水力冲击负荷的影响,设置调节池进行水量调节是非常必要的。这也是目前国内船舶污水处理装置盲目追求体积小而忽略了调节池设置,运行效果差、出水水质不能达标的原因之一。调节池的容量取决于日排水量及排水量变化规律,对于不同功能的建筑物,日排水量及其排水规律有很大差异^[5]。

2.2.1 调节池容积的确定

陆上小型污水处理设施的调节池容积确定通常有以下3种方法:

1)在设计前已掌握准确的污水量排放规律的情况下,可通过绘制污水流量累积曲线用图解法求得理论调节容积;

2)根据上海市环保局组编的《民用建筑生活污水处理工程设计规定》(DBJ 08-71-98),其中对调节池的设计给出了指导性规定。调节池的调节容积与污水的实际排放量和成套装置的设计流量有关,见下式(此公式适用于排放时间不大于18h的污染源)^[6]。

$$V_0 = V_1 - QT$$

式中, V_0 为调节池的有效容积, m^3 ; V_1 为一天实际的污水排放量, m^3 ; Q 为设计流量, m^3/h ; T 为污水排放时间, h 。

3)对于缺乏上述污水排放量调查和统计数据,尤其是目前国内对各种建筑物的污水量及变化规律还没有准确的实地调查数据的情况下,就陆上小型污水处理装置而言,一般按平均小时流量的倍数即调节池停留时间的经济值来确定调节池容积。各种建筑物的调节池停留时间取值范围见表1^[7]。

表1 各种建筑物的调节池停留时间取值范围

类别	停留时间/h
住宅楼	6~8
商住楼	6~8
商办楼	8~10
办公楼	10~12
大型住宅小区	4~6

就本次实船试验而言,由于在样机设计前还未对试验货轮的厕所冲洗装置进行改造,因此无法获得实船生活污水排放量及其变化规律。在样机设计时首先确定布设几个主体结构物,而后充分利用剩余位置布设调节池,在没有实船调查资料的基础上为安全起见,选取了较大的调节容积(540L),按照120L/h的设计流量计算,则HRT为4.5h。

2.2.2 实船条件下调节池容积计算

为了研究船舶生活污水排放量及变化规律,在实船试验中对某天进入处理装置的污水量进行了24h实测,根据这一实测数据可统计出0h~24h的流量累积值(见表2),并可绘制出各时段进入调节池的污水量累积曲线(见图3)。

由图3可求出实船条件下调节池的控制出水流量为10.4L/h,而为保证均量进水所需的理论调节容积为32L,相当于约3倍HRT。

表2 试验货轮各时段排入调节池中的生活污水量累积值

时段	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12
累积量/L	8	12	14	17	21	29	41	81	91	103	111	121
时段	12~13	13~14	14~15	15~16	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~24
累积量/L	133	143	151	169	177	189	199	206	214	224	232	250

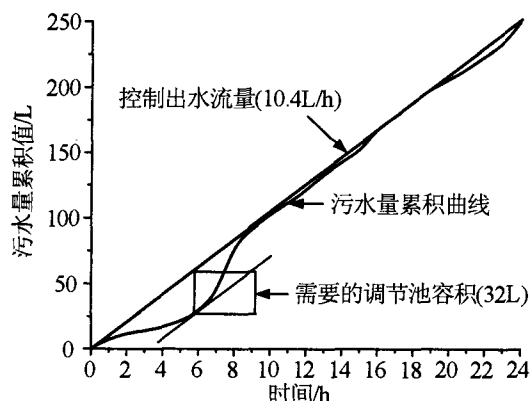


图3 试验货轮各时段生活污水污水量累积曲线

将样机设计流量(120 L/h)和调节容积(540 L)与实际排水量及相应的理论调节容积计算值进行比较,可见设计中对每人每天污水量(70 L)及调节池容积的估计值均过大.过大的污水量取值虽然对于提升泵的选型是有利的,但对生物处理是不利的.由于排水量减少使得污染物浓度增加,高流量间歇进水将提高反应器的容积负荷,并改变反应器的稳定运行状态;而污水在调节池中缺氧停留时间过长,将导致某些好氧处理中所不希望出现的微生物(如诺卡氏菌属)大量繁殖,从而影响生物处理装置的出水水质^[8].另外较大的设计流量和调节容积使得处理装置容积和占地偏大,增加了设备投资,造成资源浪费.

因此,装置设计前进行实船污水量及排放规律的调查统计,对于污水处理装置的调节池容积设计及稳定运行是十分必要的.

2.3 曝气方式选择

2.3.1 水深对曝气中氧转移效率的影响

曝气的主要目的是提供好氧生物反应所需的溶解氧,同时可起到污水搅动并增强和生物相接触的传质作用.影响氧转移速率的因素主要有污水水质、溶解氧的饱和度、污水水温及污水紊流程度.对鼓风曝气池,溶解氧饱和度值应是扩散装置出口处和混合液表面两处的溶解氧饱和度的平均值,按下列公式计算^[9]:

$$C_{sb} = C_s \left(\frac{P_b}{2.066 \times 10^5} + \frac{O_i}{42} \right)$$

式中, C_{sb} 为鼓风曝气池内混合液溶解氧饱和度的平均值, mg/L; C_s 为在大气压力条件下氧的饱和度, mg/L; P_b 为空气扩散装置出口处的绝对压力, Pa. 其值等于下式: $P_b = P + 9.8 \times 10^3 H$

式中, H 为空气扩散装置的安装深度, m; P 为大气压力, $P = 1.013 \times 10^5$ Pa; O_i 为气泡在离开池面时氧的百分比.按下式求定:

$$O_i = \frac{21(1 - E_A)}{79 + 21(1 - E_A)} 100\%$$

式中, E_A 为空气扩散装置的氧利用效率.

从上述公式可知,鼓风曝气池内混合液溶解氧的平均饱和度值,与曝气装置的安装深度和氧利用效率有关.25℃时氧在水中的饱和度和水深的关系见表3.

表3 25℃时氧在水中的饱和度和水深的关系

水深/m	1	2	3	4
饱和度/mg·L ⁻¹	9.22	10.02	10.84	11.66

由表3可见,氧在水中的溶解受水深的影响较大.而船舶生活污水处理装置由于空间受限,通常高度较小(装置水深较浅, <2m),这就使得氧在水中的转移效率降低.有资料表明,船舶生活污水处理装置的氧转移效率<2%,这要求较大供气能力的鼓风装置^[8].

2.3.2 船用曝气方式的选择

鼓风曝气系统的空气扩散装置主要分为微气泡、中气泡、大气泡、水力剪切、水力冲击及空气升液等类型.在陆上小型生活污水处理装置中,好氧处理大多采用生物接触氧化工艺,目前广泛采用的曝气设备为膜片式微孔曝气器和穿孔管.

在实船试验样机设计中,考虑装置构造和容积限制,选用了结构简单、易于布设的穿孔管.样机接触氧化池高度约1.4 m,曝气管淹没水深约1 m.样机安装后清水调试时未发现问题,但在航行中发现曝气不均匀,经分析为船舶倾斜所致.造成船舶倾斜的原因主要是船舶压载水的排放及清水和燃料油的使用.

由于穿孔管属中气泡型空气扩散装置,气泡出口阻力小,加上船用生活污水处理装置水深较浅,船舶倾斜后穿孔管上部淹没水深变化造成压力分布不均,这将对穿孔管的曝气均匀性产生较大影响.因此用污水处理装置曝气方式宜选用微气泡大阻力型的空气扩散装置,如可变孔曝气软管等^[10].

2.4 附属设备选型和布设

2.4.1 流量输送与控制

为了向后续构筑物均匀输送调节池中的污水,以及清水池排水,考虑管理和维护方便,样机选用了两台同型号的卧式污水泵.装置设计流量为120 L/h,从调节池向UBF反应器提升污水加上管路损失所需扬程<2 m,在工业应用中无法选配到如此小流量、低扬程的污水泵,实验中选用的25 WG型污水泵流量 $Q = 3.0 \text{ m}^3/\text{h} \sim 7.25 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H = 12.5 \text{ m} \sim 7.9 \text{ m}$,功率 $N = 1.1 \text{ kW}$.在设计中考虑提升泵出水大部分流量回流来搅拌调节池均匀水质,小部分流量朝后续反应器输送污水.但在实际运行中发现,调整好出水流量(回流和输送)后,

当泵停止后再次启动时出水流量分配将改变,通常是流量输送减小或停止.这主要是输送流量所占出水流量比例太小(4%),通过阀门的开启度来进行流量分配和控制,由于污水中杂质堵塞阀门等导致出水压力变化,使泵再次启动时流量分配发生变化.此,船用小型污水处理装置的污水提升和计量也是一个值得研究的问题.

2.4.2 供气

样机用气来自于船舶主机工作时所产生的压缩空气,但船舶在靠岸或抛锚时主机往往停止运行,储存在气瓶中的压缩空气会很快用完,在较长时间停机时将无法对装置供气.因此,为保证装置的正常运行,应设置单独的供气装置(如鼓风机或气泵).

2.4.3 自控布设

由于污水产生量的不均匀性及排放的不连续性,调节池的污水输送也是间歇进行的.通常设置水泵的自动启闭都采用低水位停泵,高水位开泵的控制方式.可对调节池后的提升泵而言,高水位开泵时已无调节容积.如高水位开泵后再有高峰流量,此时调节池将出现溢流.因此应将启动液位设置在调节池最低水位以上,水泵提升 10 min 水量所对应的液位线上,一般亦可设在调节水位的 1/3 处,这样可避免调节池因水泵自动启闭液位设置不当而造成的调节功能失效^[6].本样机除了在调节池设置高低水位外,还在其上部安装了一个溢流报警液位电极.实船试验过程中一次由于厕所冲洗阀门故障,调节池出现溢流报警,因此对于船舶安全和正常运行而言,设置这一液位电极是非常必要的.

2.5 其它细节问题

2.5.1 布水装置

为保证 UBF 反应器的均匀出流,在其上部加设了一个锯齿形出水堰,考虑薄壁出流的水力条件较好,采用 1 mm 镀锌铁皮制作.但在空间限制下,镀锌铁皮和碳钢间的焊接操作很难进行,密封不好导致出水短流,泥水分离效果不好,影响出水水质.因此,对出水堰的设计和加工应考虑一体式组合到反应器箱体中.

2.5.2 摇晃和振动影响

船舶在航行中摇晃和振动使得泥水分离及沉降效果变差,设计中虽然考虑到这一问题而采用了接触沉淀池,但由于接触介质为较大空隙的组合填料,因此航行时的运动效应对出水水质的影响仍然较大.振动还影响到装置管路的连接和仪器仪表的安装使用,出现管路连接处漏水、仪器仪表接触不良和误报现象.

2.5.3 装置密封与观察孔布设

由于离工作及生活区较近,调试后对该装置加盖密封.但设计中没有考虑设置观察孔,因此运行中只有打开盖板观察曝气及生物膜生长情况等,给操作管理带来不便,同时影响船上的工作和生活环境.

3 结论

通过 3 个月的实船试验,针对船舶生活污水的特点,笔者认为在船舶生活污水处理装置的开发中应注意以下问题:

1) 应对船舶生活污水的水量和水质情况进行实船调查,以便合理设计或选择除渣装置和调节池;

2) 受水深及倾斜的影响,船舶生活污水处理装置的曝气宜选用微气泡大阻力型的空气扩散装置;

3) 船舶的运动效应(振动、摇晃等)会对污水处理装置的自控、固液分离及管路连接等产生不利影响,设计中应加以考虑;

4) 很多细节问题(如处理装置布水、污水提升与输送等)可能直接影响船舶生活污水处理装置的正常运行及出水水质,也应予以重视.

参考文献:

- [1] 董良飞,何桂湘.船舶生活污水水量及水质特征研究[J].给水排水,2006,32(2): 72-76.
- [2] 董良飞,张志杰.UBF-接触氧化处理船舶生活污水[J].长安大学学报(自然科学版),2005,25(3): 103-106.
- [3] 董良飞.船舶生活污水污染特征及控制对策研究[D].西安:西安建筑科技大学,2005.
- [4] 王波,肖勇.小型生活污水处理设施概述[J].海岸工程,2003,22(4): 69-76.
- [5] 北京水环境技术与设备研究中心.三废处理工程技术手册(废水卷)[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [6] 李怀正,胡国林,宗兵年.小型生活污水处理装置存在问题及对策[J].给水排水,2000,26(4): 61-63.
- [7] 刘世涛.小型生活污水处理装置的流量调节,城市公用事业[J].2002,16(6): 18.
- [8] Gerry.F.Maloney.Redesigning and Refurbishing Noncompliant Shipboard Treatment Plants[A].Ballast Water, Waste Water and Sewage Treatment on Ships and in Ports[C].Bremerhaven: Eule & Partners International Consulting, 2001.
- [9] 张自杰.排水工程下册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [10] 侯立安.小型污水处理与回用技术及装置[M].北京:化学工业出版社,2003.