

探讨船舶生活污水处理技术及其发展趋势

东培华, 张 冉

(中设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘 要: 随着人们生态环境保护意识的提高, 船舶运输对水体生态环境的影响受到越来越多的关注。本文从船舶生活污水的特点及危害出发, 根据国内外船舶生活污水的排放标准及要求, 分析现阶段处理船舶生活污水采用的主要方法及工艺, 提出未来船舶生活污水处理技术研发的趋势。

关键词: 海洋环境; 船舶生活污水; 排放标准; 污水处理

中图分类号: U664. 9

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2019) 10-0120-02

船舶运输业由于其成本优势, 在国际商贸运输中所占比重在日益增大。然而, 船舶运输业蓬勃发展的同时也给水体生态带来了一定的压力, 近海海域受到越来越严重的污染, 给人类健康带来威胁。随着生态环境保护意识的增强, 船舶的污水排放开始受到更多的关注和重视。

一、船舶生活污水的特点及排放标准

1. 船舶生活污水的特点

船舶类型、采用的卫生器具等都影响着船舶生活污水的水质水量。一般货船由于船员人数及生活习惯较为固定, 其用水特性及用水量相对稳定; 客轮由于人员流动性大, 不确定性大, 用水量变化较大。船舶生活污水的污染物主要是高浓度有机物、氮磷等营养物质和病原微生物。这些污染物若没有得到有效处理而排放, 可能会导致水体富营养化、水体生态链破坏、水生生物生活环境破坏、影响人类健康等水污染事件。由于船舶空间限制, 均采用节水型卫生器具, 冲洗水量远小于城镇用水, 因此船舶生活污水中污染物浓度要高于城镇生活污水。污染物负荷高、水量波动大、受船舶航行影响等特点, 对船舶生活污水的处理工艺提出了更高的要求。

2. 船舶生活污水的排放标准

表 1 国际公约对船舶生活污水的排放标准

执行标准	MEPC.2 (IV) ^[1]	MEPC.159 (55) ^[2]	MEPC.227 (64) ^[3]
实施年份	2004 年实施	2010 年实施	2016 年实施, 现行
五日生化需氧量 (BOD ₅) (mg/L)	≤ 50	≤ 25	≤ 25Q ₀ /Q _e
悬浮物 (SS) (mg/L)	≤ 150	≤ 35	≤ 35Q ₀ /Q _e
耐热大肠菌群数 (个/100ml)	≤ 250	≤ 100	≤ 100
化学需氧量 (COD _{Cr}) (mg/L)	—	≤ 125	≤ 125 Q ₀ /Q _e
pH 值 (无量纲)	—	≤ 6.0-8.5	6.0-8.5
余氯 (mg/L)	—	≤ 0.5	≤ 0.5
总氮 (mg/L)	—	—	≤ 20Q ₀ /Q _e 或去除率 ≥ 70%
总磷 (mg/L)	—	—	≤ 1.0 或去除率 ≥ 80%

注: MEPC.227 (64) 中 Q₀ 为由流入污水处理装置的原污水水量; Q_e 为生活污水经污水处理装置处理后的水量。如果处理工艺采用了稀释法, Q_e 就是 Q₀ 和稀释水水量的和。

1973 年国际海事组织 (IMO) 海上环境保护委员会 (MEPC) 通过了 MARPOL 公约, 极大地推动了船舶生活

污水处理技术的发展。表 1 对比了不同阶段国际公约对船舶生活污水污染物的排放标准, 多年来排放标准在不断提高。

我国作为 MARPOL 公约的缔约国, 于 2006 年向 IMO 秘书处提交了加入《MARPOL 73/78 公约》附则 IV 的文件, 该附则于 2007 年 2 月 2 日正式对我国生效。近年来, 我国船舶生活污水的排放标准随着公约的变化也在不断提高。我国在 2018 年颁布并实施的《船舶水污染排放控制标准 GB 3552-2018》中针对不同时段安装 (含更换) 生活污水处理装置的船舶, 规定了其在内河及距最近陆地 3 海里以内 (含) 海域的生活污水污染物排放限值 (表 2)。随着生活污水处理装置安装 (含更换) 的年份变化, 对 BOD₅、SS、耐热大肠菌群数等污染物的排放要求越来越严格, 又逐步增加了 COD_{Cr}、pH 值、总氯 (总余氯)、总氮、氨氮、总磷等指标要求, 在指标数量及浓度排放限值上均严于国际公约的规定。

表 2 我国船舶生活污水排放标准^[4]

装置安装 (含更换) 年份	2012 年 1 月 1 日前	2012 年 1 月 1 日及以后	2021 年 1 月 1 日及以后
BOD ₅ (mg/L)	50	25	20
SS (mg/L)	150	35	20
耐热大肠菌群数 (个/L)	2,500	1,000	1,000
COD _{Cr} (mg/L)	—	125	60
pH 值 (无量纲)	—	6.0-8.5	6.0-8.5
总氯 (总余氯) (mg/L)	—	< 0.5	< 0.5
总氮 (mg/L)	—	—	20
氨氮 (mg/L)	—	—	15
总磷 (mg/L)	—	—	1.0

二、船舶污水的处理方法

1. 物理化学法

物理法是指采用絮凝、沉淀、过滤等物理过程进行固液分离, 通过去除污水中的悬浮物、胶体、分散性颗粒等达到降低 COD、BOD 的目的。絮凝-沉淀是常用方法之一, 该方法操作简单, 安装方便, 设备体积小。化学絮凝需要加入大量絮凝剂, 絮凝剂的储存需要较大的空间, 存储期间可能造成污染。而电絮凝由于无需投加化学药剂, 絮凝效果好, 占地小等特点, 更适用于船舶污水处理^[5, 6]。船舶环境不同于

收稿日期: 2019-04-21

作者简介: 东培华 (1976-), 男, 中设设计集团股份有限公司高级工程师。

基金项目: 江苏省交通运输科技项目 (2018Y30)。

陆地, 其在航行过程中的震动、颠簸、转弯等都会影响重力沉淀的效果, 进而影响出水水质, 因此絮凝-沉淀一般多用于船舶生活污水的预处理阶段。膜分离技术对去除 SS、盐类、大肠杆菌等效果明显, 但膜易堵塞, 运行时进行反冲洗和膜组件更换都增加了水处理成本, 因此运行费用较高。化学氧化法主要包括臭氧氧化、芬顿氧化等, 反应快, 处理效率高, 去除 COD 具有较大优势, 但反应易产生有毒有害的副产物造成二次污染, 也存在需要较大空间储备化学药剂的问题。电化学法是利用电化学原理, 通过在电极表面发生的氧化还原反应来降解污染物, 具有设备占地面积小, 处理效率高, 操作简单, 启动方便等优点。但电化学反应的能耗高, 电极寿命短, 更换电极的费用高, 副反应严重, 产生污泥量大。

2. 生物法

生物法是利用微生物的生长代谢将污水中的污染物分解, 达到污水处理的目的。生物法可分为好氧生物法和厌氧生物法。目前用于船舶污水处理的主要为好氧生物法, 包括活性污泥法、接触式生物氧化、生物膜法等。生物法在市政生活污水处理中的应用已经十分成熟, 具有运行费用低, 出水水质好, 药剂使用少等优点。但与陆地相比, 船舶航行过程中会出现震动、摇摆、转弯, 船内温度过高等情况, 会对生物法的运行产生影响, 且生物法装置通常体积较大, 船舶空间的限制对生物法装置的设计提出了更高的要求。

活性污泥法作为成熟的水处理工艺, 投资小, 对氮、磷、COD、SS 等去除效果好。但活性污泥法易发生污泥膨胀, 易引发恶臭, 反应启动慢, 且占地面积大, 对船舶空间要求高。接触式生物氧化法的净化效率高, 剩余污泥少, 耐冲击负荷能力强。但需专业人员长期驯化细菌, 对操作人员要求较高。膜生物反应器 (MBR) 将活性污泥法和膜工艺有效结合, 利用微生物降解污染物的同时, 膜的截留作用使污泥龄延长, 提高出水水质。是目前较为成熟的船舶生活污水处理工艺。具有设备紧凑占地面积小, 处理效率高, 抗负荷冲击能力强, 出水水质稳定良好等优点。同时由于其自动化程度高, 操作简单, 更适用于缺少专业操作人员的船舶。

由于最新的船舶生活污水排放标准中对氮、磷的排放提出了明确要求, 因此 MBR 工艺需要强化脱氮除磷。目前脱氮的强化通常是通过空间交替或时序交替提供好氧/缺氧环境来实现。李红瑛等在研究中发现通过前置缺氧单元实现空间交替的 A/O-MBR 工艺, 其回流比控制在 200%~300% 时, COD 及氨氮能达到较高的处理效率^[7]。间歇曝气 MBR 是控制曝气时间来实现好氧缺氧环境的时序交替, 通过硝化-反硝化达到脱氮的目的。时序交替不需要缺氧池, 节约空间, 污水还可以为反硝化反应提供碳源。张志超等研究了脱氮除磷膜-生物反应器中的除磷效果及特性, 结果表明该工艺具有稳定高效的除磷效果, 总磷的平均去除率为 92.0%^[8]。利用化学法除磷也是一种高效除磷的选择, 向污水中投加絮凝剂, 形成磷酸盐沉淀, 再通过固液分离达到除磷的效果。迟军等在研究中发现向 MBR 中加入絮凝剂不仅能够提高工艺的除磷效率, 还能起到延缓反应器膜污染的效果^[9]。

三、目前船舶生活污水处理装置存在的问题及对策

20 世纪 60 年代, 一些发达国家就开始参考陆地生活污水处理系统来研究船舶生活污水处理工艺。英国汉姆沃斯公司开发研制的“超三叉机”系列处理装置和德国开发研制的 Bio-Compact 系列处理装置, 均运用了生物法。丹麦阿特拉斯公司研制的 WSH 型船舶生活污水处理装置采用的是物化法。美国 Severn Trent de Nora 公司开发研制的 Ompipure 系列处理装置则运用了电化法。国内船舶水处理技术研究开始的相对较晚, 在 20 世纪 70 年代上海船舶设备研究所在国内首先开展了对船舶生活污水处理技术的研究。

近年来随着排放标准的不断提高, 生态环境保护意识的不断增强, 原有的生活污水处理装置已不能满足船舶生活污水排放要求和生态环境保护的需求。刘强针对远洋货轮的生活污水水量、水质及船舶航行特征, 集成化设计了适用于远洋货轮的 MBR 污水处理装置, 该装置包含了过滤-粉碎-调节-MBR-紫外线消毒等工艺, 运行结果表明其出水水质达到了国际和国内对船舶污水排放的要求^[10]。交通部上海船舶科学运输研究所研制的 CSWA 系列生活污水处理装置采用了生物接触氧化法+紫外杀菌+消毒的组合方法。多种工艺联合使用可以提高处理效率、提升出水水质, 组合工艺的研究及其装置的研发成为船舶污水处理新的研究方向。

四、结语

影响船舶生活污水处理工艺效率的因素众多, 主要有船舶对于污水处理装置的空间限制、船舶的日常运行及维护、负荷冲击、能耗等。随着日益严格的排放要求, 综合各种工艺的优缺点, 开发多种工艺联合处理船舶生活污水的装置, 进行不断的技术革新, 开发新的工艺产品, 提高船用生活污水处理设备的处理效率及运行稳定性, 成为船舶水处理技术开发的新挑战和新机遇。

参考文献

- [1] IMO. MEPC.2 (VI) 决议[S]. 1976.
- [2] IMO. MEPC.159 (55) 决议[S]. 2006.
- [3] IMO. MEPC.227 (64) 决议[S]. 2012.
- [4] GB 3552-2018, 船舶水污染物排放控制标准[S]. 2018.
- [5] 牛庆林, 曹顺安. 电絮凝法预处理船舶生活污水研究[J]. 应用化工, 2018, 47 (03): 541-544+547.
- [6] 钟登杰, 胡芝悦. 电化学法处理生活污水研究进展[J]. 工业水处理, 2016, 36 (04): 5-9.
- [7] 李红瑛, 陈卫, 孙敏. A/O—MBR 处理低浓度生活污水的试验研究[J]. 中国给水排水, 2007, (03): 96-98.
- [8] 张志超, 黄霞, 肖康等. 脱氮除磷膜-生物反应器的除磷效果及特性[J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2008, (09): 1472-1474+1478.
- [9] 迟军, 王宝贞, 吕斯豪. 一体化复合式膜生物反应器除磷研究[J]. 水处理技术, 2003, (01): 47-49.
- [10] 刘强. 船舶生活污水 MBR 集成化处理装置工程设计[J]. 工业用水与废水, 2018, 49 (06): 80-83.