

船用生活污水处理技术分析

张江龙, 刘孟云

(中国船级社 浙江分社, 浙江 宁波 315010)

摘 要: 2012 年 10 月 5 日, 国际海事组织 (IMO) 以 MEPC.227 (64) 决议通过了“2012 年生活污水处理装置排出物标准和性能试验实施导则”(简称 2012 年导则), 于 2016 年 1 月 1 日生效。这将给生活污水处理装置的厂家设计、制造和维护方面带来一定的冲击, 同时型式认可也面临着很多新问题。故结合调查情况, 通过解读 2012 年导则, 对产品型式认可、使用和维护中遇到的典型问题简析, 并提出解决措施。

关键词: IMO; 生活污水处理装置; 解决措施

中图分类号: U664.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2015) 09-0154-04

引言

近年来, 随着海上运输量逐年增加, 世界船队的发展以及船舶数量增加, 船舶所排放的生活污水对海洋的污染日益严重。国际海事组织 (IMO) 制定的船舶生活污水排放标准也更为严格, “2012 年导则”补充了试验用原水稀释规定, 增加了关于客船在特殊区域排放生活污水的性能指标 (总氮及总磷) 的新要求。适用于 2016 年 1 月 1 日及以后安装到船上的生活污水处理装置, 并替代 MEPC.159 (55) 决议, 这给船舶生活污水处理装置生产厂家、船员使用与维护都带来了新的挑战。为此, 根据调研结果对 2012 年导则修订内容进行了全面解读, 同时对常见问题提出了解决方案。

一、“2012 年导则”的解读

2012 年导则修订后替代了原导则, 与原导则相比较, 存在以下几方面内容的变化:

1. 对稀释方法的处理

对采用稀释方法的生活污水处理装置进行了规定, 对具有浓度限制的排出物标准授予一个稀释补偿系数 (Q_i/Q_e), 对具有减少率的排出物标准, 补充总减少率的计算方法。

2. 对总氮总磷的要求

补充了安装在特殊区域排放生活污水的客船上生活污水处理装置有关总氮及总磷性能指标的新要求: 总氮和总磷不超过: $20 (Q_i/Q_e) \text{ mg/L}$ 和 $1.0 (Q_i/Q_e) \text{ mg/L}$, 或者以减少率来考核, 至少 70%减少率和 80%减少率。

3. 排放标准的要求

国际海事组织 (IMO) 于 1973 年起通过防污染公约《MARPOL73/78》, 其中附则 IV 是关于防止船舶生活污水污染的规则。1976 年由环保会颁布 MEPC.2 (VI) 决议规定了其性能试验准则和排放标准; 至 2006 年又颁布 MEPC 159 (55) 决议, 将排放标准严格了近一倍, 此决议 2010 年 1 月 1 日起实施。2012 年 10 月 5 日环保会 (MEPC 64) 以 MEPC 227 (64) 决议通过了“2012 年导则”。以下是各主要排放标准比较, 见表 1。

表 1 主要排放标准的比较

排放标准	MEPC.2 (VI)	MEPC.159 (55)	MEPC.227 (64)	USCG	ALASKA
TSS (mg/L)	50	35	$35 (Q_i/Q_e)$	150	30
BOD5 (mg/L)	50	25	$25 (Q_i/Q_e)$	无要求	30
COD (mg/L)	无要求	125	$125 (Q_i/Q_e)$	无要求	无要求
大肠菌群数 (个/100ml)	250	100	100	200	20
PH	6~9	6~8.5	6~8.5	无要求	6~9
余氯 (mg/L)	尽可能低	< 0.5	-	无要求	0.01
氨氮 (mg/L)	无要求	无要求	-	无要求	10
总氮 (mg/L)	-	-	$20 (Q_i/Q_e)$	-	-
总磷 (mg/L)	-	-	$1.0 (Q_i/Q_e)$	-	-

二、“2012 年导则”对产品设计和型式认可的影响

生活污水处理装置主要分为: 生化法、物化法和电解法。20 世纪 90 年代中后期, 我国从美国引进技术比较先进的电解法污水处理装置。电解法的优点: 整体体积小, 模块化设计, 处理生活污水种类全面, 黑水和灰水均可以处理。可随时启动、关机。运行时不需外加消毒灭菌剂。操作维护简单, 运行可靠, 无有害、有味气体放出。缺点: 一次性投资大, 运行费用高于生化法, 但低于物化法。

电解法技术凭借着低运行成本以及高处理效率具有广阔市场。目前, 为了响应国家海洋局的生活污水“零污染”的要求, 新建油气田投产生活污水 COD 入海总量不增加。中海油规定: 2014 年 2 月 13 日后, 海上油气生产设施生活污水处理均统一采用电解法处理, 同时将生活污水中灰水有条件回注。

下面将通过介绍电絮凝-膜法生活污水处理装置的按照“2012 年导则”进行型式认可的实例, 分析新要求对产品设计和型式认可的影响, 供读者借鉴。

1. 试验样机简介

本次试验机型为一台电絮凝-膜法生活污水处理装置, 按

收稿日期: 2015-07-17

作者简介: 张江龙, 中国船级社浙江分社。

$0.5 \leq \text{样机} \leq 10$ 倍缩放比例, 覆盖 10~200 人的设备范围。

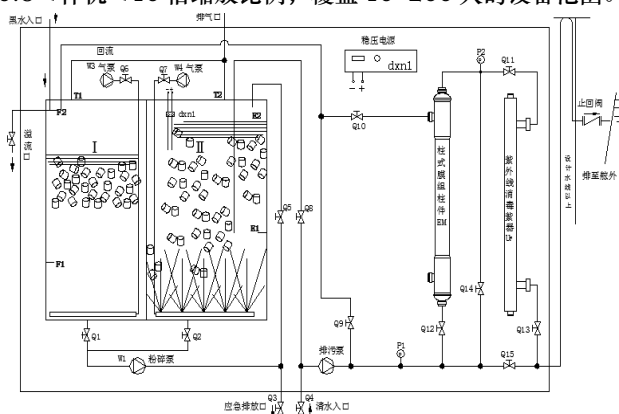


图1 M-MBBR-20 电絮凝-膜法生活污水处理装置系统图

系统原理：当污水槽内水位上升到液位开关 F1 时，粉泵 W1 启动。水位上升到液位开关 E2 时，曝气泵 W4 启动，移动床中生物膜载体开始悬浮运动，进入生化过程。同时 dxn1 电极接通电源，进入电化絮凝过程，电絮凝电极每隔 15min，正负电极交换一次。污水槽水位到液位开关 F2 时，溢流报警，黑水溢流，同时启动曝气泵 W3，dxn2 接通电源，污水槽进入生化、絮凝状态。污水槽水位高于 F1，曝气 4h 后，曝气泵 W3 曝气泵 W4 停止工作，dxn1、dxn2 停止工作。系统静态沉淀 1h 后，排污泵 W2 自动启动，移动床上清液泵入柱式膜分离器，分离后输入紫外线消毒装置，排舷外。

2. 试验项目及要求

(1) 外观检查：壳体为船用钢板，管材为 Q235-A 无缝/镀锌钢管，尺寸、焊接、内外壁涂层符合设计图纸技术要求。

(2) 水密试验：箱体进行 2.1m 水柱高度压力的试验，箱体之间、总箱体无渗漏、变形。

(3) 原污水质量：在陆上模拟船上条件，排入物由粪便、尿、手纸和厕所冲洗水、灰水组成原污水。按需加入原始生活污水泥，维持排入物的悬浮固体总量浓度不少于 500mg/L，总氮 Nitrogen 大于 70mg/L，总磷 Phosphorus 大于 6mg/L。

黑水及灰水的混合比例参照 ISO 15749-1: 2004 要求执行，试验时，废水量按 160L/人/d，每人每天的灰水量约 80L。灰水制备要求：洗涤剂 10g/100L，洗衣粉量为 20g/100L，洗发液为 5g/100L，食用油 25g/100L 和理发店头发为 1g/100L。

(4) 持续时间：稳定工况（对微生物进行驯化和培养，完成悬浮载体的挂膜）后，测试时间连续运行 10d，对排出物采集 40 份试样。

(5) 负荷试验：分别在最小、平均和最大容量负荷条件下进行试验。试验时，平均流量 125L/h，每天吃饭和交接班为高峰负荷，按平均负荷 2 倍计，约 250L/h。生化法生活污水处理装置，考虑进行零负荷试验。装置停止运行两天后重新运行，在 1~2d 内，应能恢复处理能力。

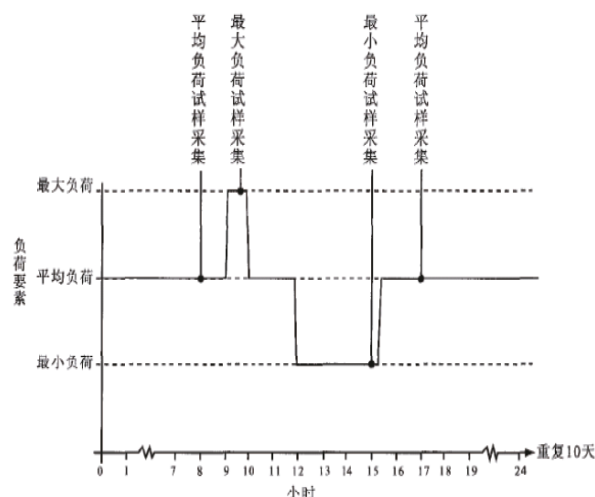


图2 高峰负荷分布图

(6) 取样次数和方法：对每一份排出物取样均应提取一份排入物取样进行分析，记录分析结果。排入物取样点位于生活污水处理装置产生的任何回流液、洗涤水或循环液的上游。

(7) 倾斜试验（含在 10d 型式试验时间内）：任何平面倾斜角达 22.5° 倾侧工况下运行 2d。

(8) 温度和盐度试验：对灰水进行降温 and 升温，模拟冲洗水高低温对菌种的影响，第二天对灰水加碎冰，温度降到 2°C ，持续一天；第四天对灰水加热，升温至 32°C ，持续一天。在原污水中循序加盐，保持在 35g/L。

(9) 排出物分析与测试：除规定的参数（耐热大肠杆菌、悬浮固体总量、COD、无硝化 BOD_5 、pH 值和余氯）外，记录包括固体总量、挥发性固体、可沉淀固体、挥发性悬浮固体、浑浊度、有机碳总量、大肠杆菌和粪便链球菌总量。用氯作消毒剂，排出物的消毒剂残余含量低于 0.5mg/L。

(10) “脱氮除磷”采用电絮凝法。原理：在外加直流电作用下，阳极铁板发生氧化反应，生成 Fe^{2+} ，其与阴极还原产生的 PO_4^{2-} 发生聚合反应生成具有很强吸附能力的 FePO_4 絮凝物；同时阴极产生的氢气微小气泡和电解水时阳极产生的氧气微小气泡也将带动絮凝物上浮。研究证明电絮凝技术应用用于除磷可以获得 90% 以上稳定的处理效果。

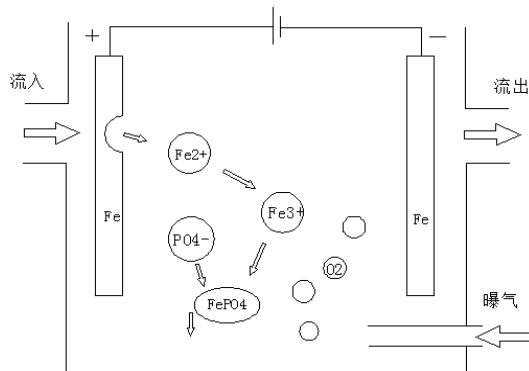


图3 电解法除磷原理图

3. 排放水标准及分析测试方法

本装置将黑水、灰水一并收集于污水槽中, 设为原污水进水量, 因而 $Q_i=Q_e$, 即: $Q_i/Q_e=1$, 则在测试排放水样本中, 排放指标分别如下所述:

- (1) 耐热大肠杆菌的几何均数不超过: 100 个/100mL。
- (2) 总悬浮物 (TSS) 的含量不超过 35mg/L。

测试方法:

1) 通过 1 个 $0.45\mu\text{m}$ 的过滤膜, 过滤具有代表性的样本, 在 105°C 的情况下晾干称重。

2) 离心过滤一个具有代表性的样本 (平均加速度 $2,800\sim 3,000g$ 的前提下至少 5min) 在 105°C 的情况下晾干称重。

3) 或其他等效的国际标准测量方法。

(3) 生物耗氧量 (BOD5) 不超过: 25mg/L。

测试方法参考《ISO10750: 2002》或其他等效的国际标准测试方法。

(4) 化学耗氧量 (COD) 不超过 125mg/L

测试方法参考《ISO5815-1: 2003》或其他等效的国际标准测试方法。

(5) pH 值

测试样本的 pH 值应当在 6~8.5 之间。

(6) 氮总含量 <20mg/L (或去除率 >70%), 磷总含量 <1.0mg/L (或去除率 >80%)。

脱氮除磷的试验方法可参照: ISO 29441: 2010 和 ISO 6878: 2004 的要求执行, 或其他国际认可的等效试验标准。

(7) 零或不能观察的数值: 对耐热大肠杆菌而言, 零值表示 1 个耐热大肠杆菌/100mL, 这值才能计算出几何平均值。若出现 COD, BOD 的数值低于观察值得极限值。则将以 1/2 的极限值代替, 以此计算几何值。

(8) 对排放水中: 固体总量; 挥发性固体; 可沉淀固体; 挥发性悬浮物; 浑浊度; 有机碳总量; 大肠杆菌和粪便链球菌总量提供参考值。

4. 结论

本次试验在新要求下的认可与老要求的比较情况, 主要有以下不同:

(1) 对于“稀释量的处理”, 试验将黑水、灰水一并收集于污水槽中, 设为原污水进水量, 因而 $Q_i=Q_e$, 稀释补偿系数 $Q_i/Q_e=1$, 并明确了黑、灰水的混合比例, 灰水的制备要求。

(2) 为达到总氮及总磷性能指标的新要求: 氮总含量 <20mg/L (或去除率 >70%), 磷总含量 <1.0mg/L (或去除率 >80%), 增加了“脱氮除磷”的处理和试验。

三、常见问题和解决方案

1. 产品设计与认可方面

通过实际调研, 常见问题主要是:

(1) 船用生活污水处理装置设计时, 如果采用“稀释量的处理”, 但不适用“特殊区域排放生活污水的客船”, 按 MEPC.227 (64) 决议认可时, 型式试验应增加那些内容?

分析解决: 如采用“稀释量的处理”, 应使用稀释补偿系数 Q_i/Q_e , 并考虑稀释 Q_d 的情况。

(2) 有厂家反馈: 船用生活污水处理装置不需要“稀释量的处理”, 也不适用“特殊区域排放生活污水的客船”, 并且已经按 MEPC.159 (55) 决议进行了认可。按照 MEPC.227 (64) 决议认可时, 型式试验是否可以免除?

分析解决: 新型的生活污水处理装置涉及灰水处理, 应该增加混合水试验, 并注意黑水及灰水混合比例, 以及灰水制备要求。另外, 生化法处理高盐污水有一定难度, 嗜盐细菌的培养需要比较长时间, 如适用的冲洗水为海水, 则应进行盐度试验: 盐度不低于 35g/L 试验时间至少 1d。

2. 产品使用、维护及 PSC 检查

(1) 使用使用、维护的问题

船舶生活污水处理装置处于良好的工作状态, 是船舶管理人员的一项重要工作, 也是 PSC 检查官在船舶安全检查中经常检查的项目。在使用和平时维护中应注意以下问题:

1) 船员应熟悉生活污水处理装置操作, 悬挂操作指南、操作说明和管路图。

2) 定期检查曝气室内活性污泥的浓度及调整通风量、定期补充消毒剂等, 并做好维修保养记录。

3) 两舷边生活污水排放接头法兰应为标准尺寸; 生活污水的处理管路中直接排放通海阀应关闭上锁。

(2) 港口国控制 PSC 检查

2012 年, 某船舶防止生活污水污染证书 (ISPP) 上未显示船上配有在港期间可临时收集和储存生活污水及灰水的舱柜, 且未申请岸上回收。该船实际配备了可接收灰水及经生活污水处理装置处理过的生活污水的灰水舱, 因此 PSCO 怀疑该船违反该国港口当局的相关规定进行了非法排放。PSCO 对该船进行了罚款处罚, 并限期整改。

“生活污水的灰水舱”问题的分析解决:

“生活污水的灰水舱”能够收集未经处理的生活污水, 但不具有舷外排放的管路, 只是具有排岸及通往生活污水处理装置的管路, 如图 4 所示, 这种布置主要是为了应对港口内不准排放而设。收集柜 (Tank for collecting sewage) 仅仅收集和储存灰水, 不适用于 MARPOL 公约有关集污舱 (Holding tank) 的定义, 因此不列入船舶防止生活污水污染 ISPP 证书。

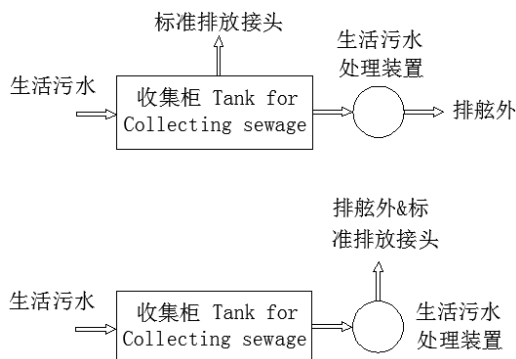


图4 生活污水灰水舱的原理图

(下转第 179 页)

运行,达到力矩均衡功能。

位置同步:这里每套传动装置都计算当前位置值,但同一时刻只有主站计算的位置有效。

该方案中,八套传动装置采用负载均衡控制,并以主站计算的位置值作为传动系统的位置实际值参与位置控制。各个传动单元有独立的位置计算,主站的切换不影响位置值的计算,能保证系统的连续运行,而速度控制的给定由传动控制站的位置发生器统一产生并传送到各个传动装置。

在一台传动装置故障退出后,由同步轴传力驱动运行,其负载被正常运行的传动装置平均负担。

变频调速柜之间通过 PROFINET 通讯构成传动控制系统,并通过传动装置间的 PROFINET 通讯实现八套电气传动装置之间无扰主从切换控制和力矩均衡控制等。

传动系统的主/从切换控制,主从力矩均衡控制,速度控制等功能由 CU320-2DP 工艺控制板来完成,通过工业现场总线网连接八个传动装置,达到数据的传送和协调,组成具有位置环、速度环、电流环三闭环控制的升船机电气传动控制系统。

四、结语

本文构皮滩第一级升船机西门子 S150 传动系统总体规划设计与实现,已用于乌江构皮滩升船机项目中,也适用于其它同类型钢丝绳卷扬升船机,设计方案和设备配置对系统设计具有较强的指导借鉴意义。

参考文献

- [1] 谭守林.思林水电站 500t 级垂直升船机设计布置[J].贵州水力发电,2008.
- [2] 段波,张生权.垂直升船机电力拖动与控制设计研究[J].人民长江,2009.
- [3] 段波,张生权.垂直升船机电力拖动与控制设计研究-升船机电力拖动与控制 交流变频调速 设计方案.网络
<http://www.redlib.cn/html/5467/2009/58511632.htm>

(上接第 156 页)

如果设置的舱柜仅用做收集经生活污水处理装置处理后的污水,如图 5 所示。



图5 灰水舱仅作为收集经处理后污水的原理图

为了应对越来越多的港口国检查方面的需要,可以采取的措施:1)增设满足 MARPOL 公约要求的集污舱,在船舶进入限排区域内停止排放任何生活污水及灰水,将在限排区域外通过生活污水泵排至舷外。2)对生活污水系统进行改造,将某个压载舱作为生活污水及灰水的临时储存舱,在限排区域外通过压载水系统或独立管系排至舷外。

探讨:由于国际海事组织 IMO 尚未对 MARPOL 附则 IV

- [4] 孟利平,杨小松,张生权.彭水升船机电力拖动与计算机监控系统结构及特点[J].水电自动化与大坝监测,2008.
- [5] 张生权,董博文.直接转矩控制变频装置在升船机主拖动系统中的应用[C].第11届全国电气自动化电控系统学术年会论文集,2002.
- [6] 易春辉,李天石.升船机电气控制系统的应用与研究[J].电气自动化,2004,(6):20~23.
- [7] 易春辉,李天石.多电机直流传动系统在钢丝绳卷扬提升中的应用[J].电气传动,2004,(4):57~60.
- [8] 易春辉,李天石.升船机电气传动系统方案的研究[J].电气传动自动化,2005,(3):37~40.
- [9] 易春辉,李天石,刘锦.水电站 PLC 系统双 I/O 冗余输入输出解决方案[J].水力发电,2003,(11):44~46.
- [10] 石晓俊,廖沛霖,易春辉.高坝洲升船机计算机监控系统上位机系统设计与实现[J].水电自动化与大坝监测,2006,(3):15~18.
- [11] 石晓俊,廖沛霖,易春辉.高坝洲升船机计算机监控系统网络分系统调试[J].水利水电技术,2006,(8):119~121.
- [12] 易春辉.岩滩升船机电气传动系统的应用与研究[J].陕西省水利发电会,水电站自动化工程技术研讨会论文,2002,7~15.
- [13] 黄建平,易春辉.丹江口大坝升船机监控系统设计[J].人民长江,2012,(5):39~41.
- [14] 黄建平,张海峰,易春辉.南水北调丹江口升船机电力拖动系统设计与应用[J].红水河,2012,(2):12~16.
- [15] 易春辉,石晓俊,刘锦.水力式升船机电气控制系统设计与实现.水力发电,2012,(10):64~66.
- [16] 易春辉,黄建平,张文剑.亭子口升船机电气控制系统总体设计与实现.中国水运,2013,(5):57~58,60.
- [17] SIEMENS 构皮滩升船机投标方案.

进行修改以规范在压载舱内储存生活污水和灰水的做法,并且压载水公约也尚未生效,最终解决方案仍需在 IMO 通过相关修正案及压载水公约生效后而确定。

四、结束语

由于国际船舶防止生活污水污染公约的更新,对船舶生活污水的排放标准要求越来越严格。相信随着国际上对保护海洋环境的日益重视,船舶生活污水处理装置技术升级,和按照新要求的型式检验,将降低船舶引起的近海污染。

参考文献

- [1] IMO《2012 年生活污水处理装置排出物标准和性能试验实施导则》(MEPC.227(64)决议),2012,10.
- [2] 国际海事组织防污公约 MARPOL 2011 综合文本[M].北京,人民交通出版社,2012,5.
- [3] 岳进堂.船用生活污水处理装置实用分析[J].船海工程,2004,3.
- [4] 中国船级社产品检验指南(I 期)2013 修改通报.北京,2013,4.